



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การประยุกต์ข้อมูลจากแผนที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยี
เกษตรแม่นยำ”

โดย

ปญญา ตระกูลยิ่งเจริญ
สธิระ อุดมศรี
อัยยะ พินจงสกุลดิษฐ์
และคณะ

เมษายน 2563

สัญญาเลขที่ RDG 62T0094

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประยุกต์ข้อมูลจากแผนที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยี
เกษตรแม่นยำ”

โดย

ปญญिता ตระกูลยิ่งเจริญ
สธิระ อุดมศรี
อัยยะ พินจงสกุลดิษฐ์
และคณะ

เมษายน 2563

สนับสนุนโดยสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกสว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	
บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	ก
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	10
โครงการย่อยที่ 1	ย่อย1-1
โครงการย่อยที่ 2	ย่อย2-1
โครงการย่อยที่ 3	ย่อย3-1
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	11

บทสรุปผู้บริหาร

แผนวิจัยการประยุกต์ข้อมูลจากแผนที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ มี 3 โครงการย่อย โครงการแรก โครงการที่สองหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล โครงการที่สามเป็นการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดปุ๋ยสำหรับอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง (โครงการหลังเป็นโครงการต่อเนื่องจากปีก่อนหน้า) แต่ละโครงการมีจุดมุ่งหมายที่ต่างกันแต่เมื่อแผนงานสิ้นสุด ผลลัพธ์ที่ได้จะสนับสนุนงานพัฒนาผลผลิตอ้อยซึ่งกันและกัน จุดมุ่งหมายของแต่ละโครงการก็คือการดำเนินงานของกิจกรรมที่ต้องทำ ในรายงานนี้เป็นการรายงานผลการดำเนินงานในช่วง 12 เดือน

โครงการ“ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์หองค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ” มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาและสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตอ้อย โดยรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการปลูกอ้อยจำนวน 106 ตัวอย่าง ดำเนินการกิจกรรมวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่จัดเก็บได้ และจัดทำแผนที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารสำหรับการปลูกอ้อย ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ พบว่าวิธีที่สามารถให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดในข้อมูลเกือบทุกชนิด คือวิธี IDW (Inverse Distance Weighting) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตอ้อย ได้แก่ ปฏิกริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า โดยภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่เป็นบวกกับผลผลิตอ้อย โครงการ “การหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล” โดยใช้ข้อมูลดินของกรมพัฒนาที่ดินในกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่รวมมากกว่า 50,000 ไร่ รวมทั้งสิ้น 8988 จุด ร่วมกับข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ 4 จังหวัดจำนวน 100 จุด มีขั้นตอนหลักคือ แปลผลค่าวิเคราะห์ดิน จัดกลุ่มและเลือกความถี่สูงที่สุดภายใต้เงื่อนไข ก่อนจะนำมาหาค่าเฉลี่ยประจำกลุ่ม ผ่านการทำงานจริงด้วยการใช้งานโปรแกรม excel และ ภาษา JavaScript เพื่อการใช้งานลำดับขั้นตอนทำงานผ่าน โปรแกรมสำหรับใช้งานอินเทอร์เน็ตที่สนับสนุนการทำงาน โดยผลที่ได้ พบว่า สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมี 2 สูตร ได้แก่ 17-9-18 และ 17-6-17 ประมาณ 100 – 150 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับการสร้างสูตรปุ๋ย จะได้ธาตุอาหารใกล้เคียงกับที่พืชต้องการ ไม่ขาดธาตุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ง่ายต่อการผสมปุ๋ยเพื่อใช้งานในปริมาณมาก และถูกต้องตามหลักวิชาการ โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” มีจุดมุ่งหมายเพื่อประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดเพื่อนำไปผสมกันใช้ปลูกอ้อยเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ปุ๋ยที่ผสมแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยครบทุกธาตุ การประมวลผลใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับตลอดช่วงปลูก ค่าคุณสมบัติดินที่ใช้ปลูกอ้อย และเขตของค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ก่อนจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้อย่างมั่นใจ ต้องดำเนินการ 2 ขั้นตอน สอบเทียบโปรแกรมเพื่อปรับปรุงรูปแบบการที่ใช้ในการคำนวณและหาเขตค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ในปีแรกพบว่าตำรับทดลองที่ใช้ข้อมูลคุณลักษณะทั้งจากแผนที่ดินและจากการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะดินในห้องปฏิบัติการ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยเพื่อใช้

ในแต่ละตำรับทดลองนั้น อ้อยปลูกใหม่ให้ผลผลิตที่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกัน ในทุกสถานที่ทดสอบ ผลผลิตอ้อยที่ได้รับจากตำรับทดลองที่ใช้แผนที่ดินและค่าวิเคราะห์ในท้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 16.9-22.9 และ 17.3-21.6 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างของคุณภาพความหวานของผลผลิตอ้อย ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.8-15.8% ส่วนในปีที่สองซึ่งเป็นอ้อยต่อได้ผลทดลองในทำนองเดียวกัน การใช้แผนที่ดินและการใช้ค่าวิเคราะห์ในท้องปฏิบัติการเป็นฐานในการกำหนดปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลผลิตระหว่าง 15.6-17.1 และ 14.1-15.1 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ไม่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยของตำรับทดลอง คุณภาพความหวานของอ้อยในแต่ละตำรับทดลองก็ไม่แตกต่างกัน ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.3-15.5% ในปีแรกอ้อยได้รับน้ำฝนรวมกับให้น้ำเสริมในช่วง 835-1,294 มม. อุณหภูมิช่วงเติบโตด้านลำต้นและสะสมน้ำตาลในช่วง 28.0-28.8 และ 27.0-28.0 เซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่อ้อยต่อได้รับน้ำระหว่าง 571-886 มม. และอุณหภูมิในสองช่วงการเจริญเติบโตเป็น 28.2-29.2 และ 27.6-28.8 เซลเซียสตามลำดับ จึงสรุปว่าการตอบสนองด้านผลผลิตของอ้อยต่อปุ๋ยจะเกิดขึ้นเมื่ออ้อยได้รับน้ำมากกว่า 900 มม. ตลอดช่วงปลูก ส่วนคุณภาพของอ้อยที่ไม่แตกต่างกันเพราะอ้อยได้รับอุณหภูมิพอๆกันในทุกสถานที่และทุกปีที่ทดสอบ

สำหรับการใช้จ่ายงบประมาณทุกโครงการใช้จ่ายงบประมาณด้านค่าจ้างและค่าตอบแทนได้ 100% ของงบประมาณที่ได้ตั้งไว้ ส่วนงบค่าใช้สอยใช้ไปน้อยกว่าที่ตั้งงบประมาณแต่ค่าวัสดุมีการใช้เกินงบประมาณที่ตั้ง อย่างไรก็ตามเมื่อมีการถัวเฉลี่ยการใช้งบสองส่วนหลังอยู่ในงบประมาณพอดี

Abstract

The “Application of PCA and spatial interpolation methods on various soil attributes data for sugarcane production under precision agricultural technology” project aimed at finding production factors affecting on sugarcane growth and yield. The projecting consists of 1) collecting and analysing soil attribute data on sugarcane productivity, 2) soil maps related to managements on soils, water, and plant nutrition. The 1st phase concentrated in areas of Chaiyaphon, Nakhon Ratchasima, Buriram, and Surin provinces. Results showed that the best method of spatial interpolation on soil attributes was inversed distance weighting (IDW). Principle component analysis of 4 factors affecting yield, namely soil pH, organic matter (OM), phosphorus (P), and potassium (K) contents, showed that these factors were poor correlated. OM, P, and K had positive relations to yield while soil pH had a negative relation to yield.

The “Mathematical algorithm for obtaining fertilizer formulations suitable and specific to sugarcane plantation areas of sugar-mill” project aimed at finding the algorithm of fertilizer formulation. The result must be suitable and specific site of application. The project used soil map data which covered an area of 50,000 rai, total count of 8,988 locations, incorporation with localized 100 data points of field data. Formulation algorithm consisted of 1) soil map interpretation, and 2) grouping results to strict criteria. All methods of data processing were conducted by either MS Excel or JavaScript programming. Results showed that the fertilizer formulas of 17-9-18 and 17-6-17 at rate of 100-150 kg/rai were suitable for the aforementioned provinces. Formulations algorithm guaranteed that sugarcane would received sufficient amount of essential macronutrient elements.

The “Computer Program for Fertilizer Determination for High Yielding Sugarcane” project aimed at finding commercial fertilizer blending to produce high yield sugarcane. The fertilizer blending result would hold all essential nutrients, including macro, micro, and minor elements. The computer program required 1) amount of rainfall along sugarcane growing period, 2) soil attributes of a sugarcane plot, and 3) a set of computation constants, as inputs. The applicability of the computer program required two steps of development, namely calibration and validation. The calibration was performed for improve types of equations and computation constants used in the computer program. The validation was made for the program reliability or confidence of application. For 2 years of work, the resulting computer program held >90% reliability. This project was also conducted in the farmer fields in concurrent period of the computer program development. The field experiments investigated fertilizer blending results of the computer program using soil attributes either from soil maps or from laboratory analysis. The 1st year results showed that sugarcane yields responded to fertilizer treatments. They were not show any differences in yields for sources of soil attributes used. Yields were ranged from 16.9-22.9 and 17.3-21.6 ton/rai for uses of soil map and laboratory analysis of soil attributes, respectively. Their sugarcane quality were not statistically different, ranging from 14.8-15.8%CCS. In the 2nd year, results were almost the same as those of the 1st year. The uses of two sources of soil attributes on fertilizer treatments gave no any significantly differences in yields. Their ranges were 15.6-17.1 and 14.1-15.1 ton/rai, respectively for uses of soil map and lab analysis. Their sugarcane quality were not statistically different, ranging from 14.3-15.5%CCS. In the 1st year of experiment, sugarcane

received 835-1,294 mm. amount of water, and average temperatures of 28.0-28.8 and 27.0-28.0C for their vegetative and sugar accumulation growth periods respectively. In the 2nd year, they received 571-886 mm. of water, and temperatures of 28.2-29.2 and 27.6-28.6C for their two growing periods. These results suggested that sugarcane would respond to any fertilizer treatments only if they have received total amount of water for >900 mm. annually.

บทคัดย่อ

โครงการ “ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ” มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาและสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตอ้อย โดยรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการปลูกอ้อยจำนวน 106 ตัวอย่าง ดำเนินการกิจกรรมวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่จัดเก็บได้ และจัดทำแผนที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารสำหรับการปลูกอ้อย ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ พบว่าวิธีที่สามารถให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดในข้อมูลเกือบทุกชนิด คือวิธี IDW (Inverse Distance Weighting) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตอ้อย ได้แก่ ปฏิกริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า โดยภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่เป็นบวกกับผลผลิตอ้อย โครงการ “การหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล” โดยใช้ข้อมูลดินของกรมพัฒนาที่ดินในกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่รวมมากกว่า 50,000 ไร่ รวมทั้งสิ้น 8988 จุด ร่วมกับข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ 4 จังหวัดจำนวน 100 จุด มีขั้นตอนหลักคือ แปลผลค่าวิเคราะห์ดิน จัดกลุ่มและเลือกความถี่สูงที่สุดภายใต้เงื่อนไข ก่อนจะนำมาหาค่าเฉลี่ยประจำกลุ่ม ผ่านการทำงานจริงด้วยการใช้งานโปรแกรม excel และ ภาษา JavaScript เพื่อการใช้งานลำดับขั้นตอนทำงานผ่าน โปรแกรมสำหรับใช้งานอินเทอร์เน็ตที่สนับสนุนการทำงาน โดยผลที่ได้ พบว่า สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมี 2 สูตร ได้แก่ 17-9-18 และ 17-6-17 ประมาณ 100 – 150 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับการสร้างสูตรปุ๋ย จะได้ธาตุอาหารใกล้เคียงกับที่พืชต้องการ ไม่ขาดธาตุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ง่ายต่อการผสมปุ๋ยเพื่อใช้งานในปริมาณมาก และถูกต้องตามหลักวิชาการ โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” มีจุดมุ่งหมายเพื่อประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดเพื่อนำไปผสมกันใช้ปลูกอ้อยเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ปุ๋ยที่ผสมแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยครบทุกธาตุ การประมวลผลใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับตลอดช่วงปลูก ค่าคุณสมบัติดินที่ปลูกอ้อย และเขตของค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ก่อนจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้อย่างมั่นใจ ต้องดำเนินการ 2 ขั้นตอน สอบเทียบโปรแกรมเพื่อปรับปรุงรูปแบบการใช้ในการคำนวณและหาเขตค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ในปีแรกพบว่าตำรับทดลองที่ใช้ข้อมูลคุณลักษณะทั้งจากแผนที่ดินและจากการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะดินในห้องปฏิบัติการ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยเพื่อใช้ในแต่ละตำรับทดลองนั้น อ้อยปลูกใหม่ให้ผลผลิตที่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกัน ในทุกสถานที่ทดสอบ ผลผลิตอ้อยที่ได้รับจากตำรับทดลองที่ใช้แผนที่ดินและค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 16.9-22.9 และ 17.3-21.6 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างของคุณภาพความหวานของผลผลิตอ้อย ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.8-15.8% ส่วนในปีที่สองซึ่งเป็นอ้อยต่อได้ผลทดลองในทำนองเดียวกัน การใช้แผนที่ดินและการใช้ค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเป็นฐานในการกำหนดปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลผลิตระหว่าง 15.6-17.1 และ 14.1-15.1 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ไม่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยของตำรับทดลอง คุณภาพความหวานของอ้อยในแต่ละตำรับทดลองก็ไม่แตกต่างกัน ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.3-15.5% ในปีแรกอ้อยได้รับน้ำฝนรวมกับให้น้ำเสริมในช่วง 835-1,294 มม. อุณหภูมิช่วงเติบโตด้านลำต้นและสะสมน้ำตาลในช่วง 28.0-28.8 และ 27.0-28.0 เซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่อ้อยต่อได้รับน้ำระหว่าง 571-886 มม. และอุณหภูมิในสองช่วงการเจริญเติบโตเป็น 28.2-29.2 และ 27.6-28.8 เซลเซียสตามลำดับ จึงสรุปว่าการตอบสนองด้านผลผลิตของอ้อยต่อปุ๋ยจะเกิดขึ้นเมื่ออ้อยได้รับน้ำมากกว่า 900 มม. ตลอดช่วงปลูก ส่วนคุณภาพของอ้อยที่ไม่แตกต่างกันเพราะอ้อยได้รับอุณหภูมิพอๆกันในทุกสถานที่และทุกปีที่ทดสอบ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เกษตรกรแม่นยำเป็นการใช้ทรัพยากรหรือจัดการกับทรัพยากรให้เหมาะสมกับพื้นที่ เพื่อนำพื้นที่นั้นมาใช้สำหรับการผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะได้ผลสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้ เช่นได้รับผลผลิตที่สอดคล้องกับปัจจัยการผลิต ผลผลิตมีคุณภาพดีสอดคล้องกับความต้องการของตลาด และในกระบวนการผลิตนั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การผลิตด้านการเกษตรด้วยเกษตรกรแม่นยำนั้นส่วนใหญ่จะเน้นที่การผลิตพืช ดังนั้นผู้ผลิตหรือเกษตรกรต้องทราบถึงความต้องการของพืชที่จะตนผลิตเป็นอย่างดีเสียก่อน จากนั้นตรวจสอบสภาพทรัพยากรเพื่อการผลิตพืชในพื้นที่ ถ้าสภาพทรัพยากรใดเหมาะสมต่อการผลิตพืชอยู่แล้วผู้ผลิตก็ไม่ต้องปรับปรุงหรือแก้ไขสภาพทรัพยากรนั้น แต่ถ้าสภาพทรัพยากรไม่เหมาะสมผู้ผลิตจำเป็นต้องปรับแก้สภาพที่เป็นข้อจำกัดนั้นให้เหมาะสม หรือแก้ไขด้วยการจัดหาปัจจัยการผลิตพืชเสริมเพิ่มเติมในกระบวนการผลิตพืช

ทรัพยากรที่จำเป็นจะใช้ในการผลิตพืชได้แก่ ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรดิน และสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ) ทรัพยากรน้ำจะหมายถึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำฝน การกระจายตัวหรือปริมาณน้ำจะสามารถนำมาใช้ได้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของพืชที่จะผลิตมากน้อยเพียงใด เช่นถ้าต้องการผลิตอ้อย ในช่วงปลูกใหม่ๆ 30 วันแรกของการปลูกอ้อยไม่ต้องการน้ำมากนักปริมาณที่ต้องการเพียง 30 มม. แต่ถ้าในช่วงนี้ไม่มีฝนตกเลย ผู้ผลิตอ้อยต้องจัดหา น้ำจากแหล่งน้ำมาเสริมจากสภาพทรัพยากรน้ำฝนเพิ่มเติมจึงจะทำให้อ้อยงอกและเจริญเติบโตต่อไปได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้ผลิตอ้อยต้องตรวจสอบทรัพยากรในพื้นที่ของตน ตอบคำถามให้ได้ว่าอะไรคือข้อจำกัดและจะเป็นข้อจำกัดที่เวลาใดในช่วงของการปลูกอ้อย และข้อจำกัดเหล่านั้น ณ ช่วงการปลูกใดจะแก้ไขหรือจัดหาปัจจัยการผลิตมาเสริมเติมได้ทันทั่วทั้งที่ ดังนั้นการทราบถึงข้อจำกัดในการผลิตก็เพื่อใช้ในการวางแผนและการจัดการการผลิตอ้อยให้ได้รับตามที่ตนได้ตั้งจุดมุ่งหมายของการผลิตไว้

สำหรับทรัพยากรดินนั้นสมบัติดินจะถูกใช้เป็นตัวบอกหรือกำหนดข้อจำกัดในการผลิตอ้อย สมบัติดินเหล่านั้นแบ่งออกเป็น 3 หมวด คือสมบัติดินด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ สมบัติด้านฟิสิกส์ที่มีผลต่อการเป็นข้อจำกัดในการผลิตอ้อยได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน ความพรุนรวมของดิน เนื้อดิน (ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว) ความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน ความสามารถในการปลดปล่อยน้ำในดินให้อ้อยได้ใช้ ความสามารถในการแทรกซึมน้ำของดิน ความสามารถในการนำน้ำภายในชั้นหน้าตัดดิน การจับเชื่อมกันของอนุภาคดิน เป็นต้น สมบัติทางเคมีที่สามารถใช้ระบุข้อจำกัดของดินในการปลูกอ้อยได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดินซึ่งขึ้นกับ ค่าปฏิกิริยาดิน (soil pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณธาตุอาหารต่างๆที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ของอ้อยในดิน ความสามารถในการดูดซับประจุบวกหรือแลกเปลี่ยนประจุบวก ความอิ่มตัวของดิน การนำไฟฟ้าของดิน (ใช้ระบุว่าเป็นดินที่มีอิทธิพลของเกลือต่อการผลิตอ้อยหรือไม่) ส่วนสมบัติทางชีวภาพของดินที่อาจเป็นข้อจำกัดในการผลิตอ้อย ได้แก่ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่ออ้อย ปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนในชั้นรากอ้อย ปริมาณจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายเศษซากอ้อย เป็นต้น

ถ้าผู้ผลิตอ้อยทราบว่าสมบัติดินอันไหนไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตพืช เช่นความหนาแน่นรวมของดินแน่นเกินไป ผู้ผลิตก็สามารถแก้ไขให้ความหนาแน่นดินลดลงได้ด้วยการไถดินหรือนำวัสดุอินทรีย์มาผสมคลุกเคล้า และถ้าผู้ผลิตอ้อยทราบว่าสมบัติดินด้านธาตุอาหารในดินมีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ผู้ผลิตก็สามารถเลือกที่จะให้ปุ๋ยเฉพาะธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการผลิตอ้อยเป็นธาตุอาหารธาตุอาหารไป

สมบัติดินจะต้องสามารถระบุค่าเป็นเชิงปริมาณเท่านั้น จึงจะเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ เช่นมีผู้แนะนำว่าดินที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอ้อยต่อมีค่าความหนาแน่นรวมไม่เกิน 1.2 ก./ลบ.ซม. แต่ถ้าดินที่จะใช้ผลิตอ้อยของเกษตรกรมีค่าความหนาแน่นรวมเป็น 1.6 ก./ลบ.ซม. ผู้ผลิตอ้อยก็สามารถทราบได้ทันทีว่าจะต้องทำให้ดินมีความหนาแน่นลดลงมากกว่า 0.4 ก./ลบ.ซม. ถ้าเกษตรกรต้องการใช้วัสดุอินทรีย์มาผสมคลุกเคล้ากับดินเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการ เกษตรกรก็สามารถคำนวณปริมาณวัสดุอินทรีย์ได้อย่างถูกต้อง และสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นได้ทันที การคำนวณความต้องการปุ๋ยจากแบบจำลองต่างๆ ก็เช่นเดียวกันต้องการค่าสมบัติดินที่เกี่ยวข้องในเชิงปริมาณจึงจะทำให้ผลการคำนวณความต้องการปุ๋ยสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด

ข้อมูลสมบัติดินในเชิงปริมาณได้จาก 2 แหล่งใหญ่ๆ แหล่งแรกจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร จัดเก็บตัวอย่างดินและจำแนกดิน จากนั้นสร้างเป็นแผนที่ดินในระดับความละเอียดที่แตกต่างกันไปตามจุดมุ่งหมายของแต่ละโครงการ แผนที่ดินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของโครงการต่างๆ จะให้ข้อเสนอแนะด้านขอบเขตของชุดดินหรือกลุ่มชุดดิน ข้อมูลคุณลักษณะของแต่ละชุดดินได้จากการจัดเก็บตัวอย่างดินแล้ววิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลคุณลักษณะของขอบเขตชุดดินหรือขอบเขตของแต่ละกลุ่มชุดดิน และมีข้อเสนอแนะการใช้ว่าควรได้มาซึ่งข้อมูลคุณลักษณะได้มาเช่นไร ส่วนที่ 2 ของข้อมูลสมบัติดินเชิงปริมาณ ได้จากการที่โรงงานน้ำตาลได้จัดเก็บตัวอย่างดินพร้อมระบุพิกัดจากแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรที่รับการส่งเสริม โรงงานน้ำตาลจะส่งตัวอย่างดินดังกล่าวให้แก่หน่วยงานที่รับวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติดิน จากนั้นก็ส่งผลให้เกษตรกรเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ทางโรงงานน้ำตาลไม่ได้ใช้ประโยชน์จากการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติดินในลักษณะนี้ในเชิงลึกมากนัก

จะเห็นได้ว่าทั้งกรมพัฒนาที่ดินและโรงงานน้ำตาลมีข้อมูลคุณสมบัติดินในเชิงปริมาณอย่างมาก หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นแหล่งข้อมูลสมบัติดินขนาดใหญ่ (big data of soil attributes) ถ้ามีการรวบรวมหรือนำมาวิเคราะห์ก็จะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายได้อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ประยุกต์เข้ากับหลักการของเกษตรแม่นยำ แต่คงต้องระลึกไว้ตลอดว่าข้อมูลขนาดใหญ่เหล่านั้นต้องมีความถูกต้องและเชื่อถือได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ

- 2) หาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล
- 3) สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 1

ภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 1 การวิจัยครั้งนี้จะทำในเฉพาะพื้นที่นำร่องซึ่งครอบคลุมพื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ ที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยในปีการผลิต 2559/2560 ประมาณ 1,700,000 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 35 ของพื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่ปลูกอ้อยร้อยละ 15 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ ในปีแรกจะรวบรวมข้อมูลลักษณะและสมบัติดิน (หรือข้อมูลคุณลักษณะดิน) ที่มีผลต่อการปลูกอ้อย มีการเก็บตัวอย่างดินพร้อมทั้งวิเคราะห์หาค่าข้อมูลคุณลักษณะดินเพิ่มเติมในบางพื้นที่ที่ข้อมูลไม่ครบถ้วน สมบูรณ์ ตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลดินให้มีความถูกต้อง เตรียมและสร้างฐานข้อมูลคุณลักษณะดินให้ครบถ้วน สมบูรณ์และพร้อมใช้งานด้วยระบบภูมิสารสนเทศ รวมทั้งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการปลูกอ้อย และสร้างสมการปัจจัยที่เกิดจากข้อมูลคุณลักษณะดินหลายๆ อย่างร่วมกัน มีการสร้างเป็นแผนที่คุณลักษณะดินเพื่อการจัดการ ดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อยได้อย่างถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ หาวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่และประชากรข้างเคียงที่เหมาะสมกับข้อมูลคุณลักษณะดินหนึ่งๆ ในปีที่สองจะสุ่มตรวจสอบข้อมูลดินและผลผลิตว่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปรับปรุงเบื้องต้นหรือไม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลทุติยภูมิ และตรวจสอบว่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จากวิธีการประมาณค่าหรือไม่ และหาแนวทางการปรับแก้วิธีการประมาณค่าในช่วงตรวจสอบการใช้แผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินด้วยการจัดทำแปลงทดสอบจัดการ ดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย

ส่วนในปีที่สามดำเนินการแก้ไขข้อมูล คัดเลือกข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการผลิตอ้อยที่มากที่สุด และปรับปรุงสมการปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตอ้อย พร้อมปรับปรุงการสร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการจัดการน้ำและธาตุอาหารอ้อยอีกครั้ง และทดสอบการใช้งานด้วยการจัดทำแปลงทดสอบ ในงานวิจัยนี้ข้อมูลคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อยจะใช้ตัวแปรดังต่อไปนี้ ขนาดอนุภาคดินทราย ขนาดอนุภาคดินเหนียว ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออ้อยในชั้นรากอ้อย ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปฏิกิริยาของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ขอบเขตงานวิจัยภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 2

ภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 2 หาวิธีทางที่มีขั้นตอนที่แน่นอน (algorithm) สำหรับใช้หาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจงในพื้นที่ส่งเสริมของโรงงานน้ำตาลแต่ละโรงงาน ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินเกี่ยวข้องกับการกำหนดสูตรปุ๋ยของอ้อยตามแนวคิดของปุ๋ยสั่งตัด และในขั้นต้นของงานวิจัยนี้จะทำในพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตจังหวัด นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

ขอบเขตงานวิจัยภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 3

ภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินที่จะใช้ศึกษาจะใช้ข้อมูลคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปและอัตราปุ๋ยของอ้อยตามแนวคิดปุ๋ยสั่งตัด และในขั้นต้นของงานวิจัยนี้จะสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถใช้และทดสอบผลได้ทุกพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

การดำเนินงานตามแผนการวิจัยจะทำให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆดังนี้

โครงการย่อยที่ 1

- 1) มีจำนวนฐานข้อมูลดินเพิ่มขึ้นและมีความถูกต้องมากขึ้น
- 2) ได้สมการปัจจัยทางดินเพื่อใช้ในอนาคตเกษตรแม่นยำ
- 3) สร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย และสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย มีความถูกต้อง และประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำได้

โครงการย่อยที่ 2

- 1) ได้ algorithm ที่ใช้สร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่

โครงการย่อยที่ 3

- 1) ผลผลิตอ้อยของเกษตรกรที่มีความพร้อมจะสูงขึ้นมากกว่า 20%
- 2) คุณภาพผลผลิตอ้อยของเกษตรกรที่มีความพร้อมจะสูงขึ้นมากกว่าเดิมมากกว่า 8%
- 3) เกษตรกรที่มีความพร้อมมีความเข้าใจเรื่องการจัดการธาตุอาหารในไร่อ้อยได้ดีขึ้น
- 4) เกษตรกรและโรงงานตระหนักถึงการใช้อินทรีย์วัตถุเพื่อการผลิตอ้อย

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิยามของเกษตรแม่นยำคือการสร้างแนวทางการจัดการในระบบการผลิตการเกษตรโดยการใช้ข้อมูล ซึ่งข้อมูลมาจากหลายๆแหล่งข้อมูล การได้มาซึ่งข้อมูลนั้นอาจได้จาก การสำรวจระยะไกล (remote sensing) เครื่องกำหนดพิกัดตำแหน่งผิวโลก (Pocknee *et al.*, 2002) ในขั้นต้นเกษตรกรมักนึกถึงการทำแผนที่สภาพความสมบูรณ์ของแปลงปลูกพืชของตน ซึ่งจัดทำได้จากข้อมูลดาวเทียม แต่ปัจจุบันอาจทำได้จากโดรน (UAV) (Krienke *et al.*, 2017) เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วเกษตรกรตรวจสอบพื้นที่แปลงปลูกพืชของตน และหาเหตุผลว่าทำไมในแต่ละสถานที่ในแปลงปลูกเดียวกันพืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้ไม่เหมือนกัน จึงจัดทำแผนที่ปัจจัยการผลิตต่างๆ เช่นแผนที่ความอุดมสมบูรณ์ของดิน แผนที่แสดงความแน่นทึบของแปลงปลูกพืช หรือจัดทำเป็นแผนที่ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพืช เป็นต้น (Guastaferrero *et al.*, 2010) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงการเจริญเติบโตก็ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดที่ทำให้พืชในแปลงเดียวกันเจริญเติบโตได้ไม่เท่ากัน และเมื่อการผลิตพืชในรอบใหม่เริ่มขึ้น เกษตรกรก็ได้พัฒนาเครื่องจักรกลที่สามารถใส่ปัจจัยการผลิตให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่เป็นข้อจำกัดของการเจริญเติบโต (Olson, 1998)

การจัดทำแผนที่ปัจจัยการผลิตของแปลงปลูกเกษตรกรจะใช้วิธีนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ การจัดเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ทำได้หลายแบบ เช่นใช้เซนเซอร์ติดไปกับรถแทรกเตอร์พร้อมกับการกำหนดพิกัดตำแหน่งเมื่อเซนเซอร์ตรวจวิเคราะห์ดิน ซึ่งค่าวิเคราะห์ดินจะได้เป็นค่าเชิงปริมาณ หรือเก็บตัวอย่างดินเป็นตัวแทนของกริดที่มีขนาดต่างๆกันในแปลงปลูก ในแต่ละแปลงปลูกแบ่งเป็นหลายๆตารางกริด จะเห็นได้ว่าจะมีข้อมูลในลักษณะของค่าวิเคราะห์หนึ่งๆเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ซึ่งการสร้างแผนที่ค่าวิเคราะห์ดินเหล่านั้นก็จะทำด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประมวลผลที่ใช้วิธีธรณีสัณติ แนวทางการสร้างแผนที่อาจทำได้หลายวิธี แต่ทุกวิธีต้องอาศัยการประมาณค่าในช่วงทั้งสิ้น

การนำแนวคิดเกษตรแม่นยำมาใช้เริ่มต้นในประเทศออสเตรเลีย ประเทศในยุโรป และสหรัฐอเมริกา การจัดทำแผนที่แปลงปลูกพืชของประเทศเหล่านี้เป็นแปลงปลูกพืชขนาดใหญ่มาก ใหญ่มากกว่า 100 ไร่ ความแปรปรวนของสมบัติดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงมีมาก คุณสมบัติดินของสองสถานที่ในแปลงปลูกเดียวกันอาจแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในทางตรงข้ามแปลงปลูกอ้อยในประเทศไทย แปลงปลูกอ้อยเป็นแปลงเล็กมีขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 15 ไร่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแปลงปลูกอ้อยของไทยแปลงหนึ่งๆมีความแปรปรวนของสมบัติดินน้อย การตรวจสอบข้อจำกัดของทรัพยากรดินของแปลงปลูกอ้อยอาจใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวกำหนดได้

เอกสารอ้างอิง

- Guastaferro F., A. Castrignanò, D. De Benedetto, D. Sollitto, A. Troccoli, and B. Cafarelli. 2010. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. Precision Agriculture (2010) 11: 600-620. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4>
- Krienke B., B. Richard, M. Ferguson, K. Schlemmer, D. H. Marx and E. Kent. 2017. Using an unmanned aerial vehicle to evaluate nitrogen variability and height effect with an active crop canopy sensor. Precision Agriculture 18: 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>
- Olson K. 1998. Precision Agriculture: Current economics and environmental issues. Sixth Joint Conference on Food, Agriculture and the Environment (in honor of Professor Emeritus Philip M. Raup) Minneapolis, Minnesota.
- Pocknee S., C. Kvien, G. Rains, T. Fiez, J. Durfey and P. Mask. 2002. Web-Based Educational Programs in Precision Agriculture. Precision Agriculture 3:327-340. <https://doi.org/10.1023/A:1021536704349>.

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

แนวทางการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมมีวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน และในแต่ละวัตถุประสงค์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แนวทางการดำเนินงานภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 1

การดำเนินงานของภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 1 ทำได้ดังนี้

ปีที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบหลัก : PCA

- 1) ศึกษา ค้นคว้า จัดเตรียมเอกสาร และประสานงานเพื่อการดำเนินงานวิจัย การคัดเลือกพื้นที่
- 2) รวบรวมข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีอยู่แล้ว และรวบรวมข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ถ้าพบว่าข้อมูลที่มีอยู่ไม่ครบถ้วนหรือมีการกระจายค่าไม่ดี จะเก็บตัวอย่างดิน และวิเคราะห์หาค่าข้อมูลคุณลักษณะดินเพิ่มเติม และจะวิเคราะห์เฉพาะคุณลักษณะที่มีผลต่อผลผลิตอ้อย
- 3) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อผลผลิตอ้อย
- 4) คัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการผลิตอ้อยและเขียนสมการปัจจัยดังกล่าวจากค่าข้อมูล

คุณลักษณะดินหลายๆอย่างโดยใช้เทคนิค PCA

- 5) เตรียมและสร้างฐานข้อมูลดินสำหรับการผลิตอ้อย
- 6) ตรวจสอบการใช้งานได้ของฐานข้อมูลสำหรับการผลิตอ้อย ด้วยการทดสอบในแปลงปลูกอ้อย
- 7) จัดทำรายงานความก้าวหน้าของโครงการ
- 8) จัดทำรายงานโครงการฉบับสมบูรณ์

ปีที่ 1 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ : Interpolation การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

- 1) รวบรวมและตรวจสอบข้อมูลผลวิเคราะห์ดินแบบที่มีพิกัด ปีที่เก็บ ปีที่วิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ดิน โดยแยกข้อมูลตามขอบเขตชุดดิน

2) วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลคุณลักษณะดินที่ชัดเจนได้ข้อมูลคุณลักษณะดินใดที่มีวิธีการแปลงค่าข้อมูลทีนิยมนมี 2 แบบคือ 1) แบบลอการิทึม (log-normal transformation) 2) แบบถอดรากที่สอง (square root transformation) ซึ่งค่าข้อมูลที่ถูกแปลงค่าจะแปลงกลับเป็นค่าปกติเมื่อแสดงผล

- 3) ประมวลผลข้อมูลหาค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลเชิงคุณลักษณะเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation, CV)

4) วิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่แปรผันตามระยะทาง โดยใช้วิธีวิธีสถิติหาแบบที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) ที่มีค่าสูงที่สุด

- 5) กำหนดจุดเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดินเพิ่มเติม

6) วิเคราะห์หาวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลคุณลักษณะของดินแต่ละชนิด โดยกำหนดให้จุดที่ทราบค่าแล้ว 1 จุดเป็นจุดที่ไม่ทราบค่า แล้วใช้ข้อมูลจากจุดข้างเคียงที่เหลือมาประมาณค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่จุดดังกล่าว จากนั้นเปลี่ยนจุดที่สมมติเป็นจุดไม่ทราบค่า แล้วทำการประมาณค่าใหม่ ทำเช่นนี้จนครบทุกจุด (Cross Validation) ที่มีในชุดข้อมูลเชิงคุณลักษณะชนิดต่างๆ ตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการ

ประมาณค่าในช่วงแต่ละวิธีโดยนำค่าข้อมูลที่วัดได้จริง และข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) โดยวิธีที่เหมาะสมที่สุดจะให้ MSE น้อยที่สุด

7) วิเคราะห์หาจำนวนประชากรข้างเคียงที่เหมาะสมในการประเมินค่าในแต่ละวิธี

8) สร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำและธาตุอาหาร

ปีที่ 2: ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ : Interpolation การปฏิบัติงานภาคสนาม การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน นำเข้าข้อมูล และการจัดทำแผนที่

1) เก็บตัวอย่างดินภาคสนามเพิ่มเติม โดยทำในตำแหน่งที่สงสัย หรือคาดว่าจะทำให้ผลการสร้างแผนที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จากนั้นวิเคราะห์ดิน

2) ปรับปรุงแผนที่คุณลักษณะของดินแต่ละประเภทในพื้นที่เป้าหมาย ให้ถูกต้องตามหลักการและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วทั้งหมดในปีแรก ร่วมกับการจัดเก็บดินเพิ่มเติม

3) ทำแปลงทดสอบผลการใช้แผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อยในพื้นที่เป้าหมาย เพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงแผนที่อีกครั้ง

ปีที่ 3: ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ : Interpolation การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

1) ทดสอบความถูกต้องของแผนที่คุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำและธาตุอาหาร โดยทำแปลงทดสอบอีกครั้งในพื้นที่เป้าหมายนำผลที่ได้ไปปรับปรุงการสร้างแผนที่อีกครั้ง

2) ปรับปรุงแผนที่

3) จัดสร้างแอปพลิเคชันเพื่อใช้งานแผนที่คุณลักษณะดินเพื่อการจัดการน้ำและธาตุอาหาร พร้อมทั้งจัดการฝึกอบรมการใช้งาน

แนวทางการดำเนินงานภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 2

การดำเนินงานของภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 3 ทำได้ดังนี้

การพัฒนา algorithm สำหรับการใช้งานในโรงงานน้ำตาล ซึ่งมีการพึ่งพาอาศัยกันกับเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยของประเทศไทย ย่อมส่งผลให้เกษตรกรปลูกอ้อยมีความเป็นอยู่ดีขึ้น โดยในการสร้าง algorithm นี้จะถูกพัฒนาบนความรู้พื้นฐานด้านดิน เพราะเป็นต้นทุนที่มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ พื้นที่ใดมีลักษณะใกล้เคียงกัน จะสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการไปสู่ที่เหล่านั้นได้โดยไม่คลาดเคลื่อนจากที่ก่อนหน้านี้ได้ จึงเป็นเหตุผลในการใช้ข้อมูลดินเป็นหลัก โดยจะทำการพัฒนา ภายในขอบเขตพื้นที่ปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ขออนแก่น 3 โดยการทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

1) การเก็บข้อมูลพื้นฐานของอ้อย โดยการตรวจเอกสาร

2) การเก็บข้อมูลดิน โดยการเก็บข้อมูลจากแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน และจากภาคสนาม โดยทำการเก็บดินเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมี ในแต่ละขอบเขตชุดดิน เพื่อหาค่าเฉลี่ย และตัวแปรที่เกิดผลกระทบจริงกับการปลูกอ้อย

3) การเก็บข้อมูลจากเกษตรกร ถึงผลผลิต และการจัดการดินและปุ๋ย เพื่อการประเมินย้อนหลัง และหาค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อยในแต่ละพื้นที่ หรือรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จากโรงงานน้ำตาลที่เข้าร่วมโครงการ

การพัฒนา algorithm โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน

1) การพัฒนา algorithm ส่วนต้นสำหรับการหาค่าธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกอ้อย จากการนำข้อมูลพื้นฐานจากด้านต้นมาประมวลผลด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เพื่อการสร้าง สมการ algorithm ที่อ้างอิงกับผลผลิต โดยคงสภาพตัวแปรไว้ สำหรับการปรับใช้งานสมการนี้ในภายหลังได้

2) การพัฒนา algorithm สำหรับการแปลงค่าธาตุอาหารที่อ้อยต้องใช้ให้กลายเป็นสูตรปุ๋ยและปริมาณที่ผู้ใช้สามารถปรับแต่งชนิดปุ๋ยที่ต้องการใช้ได้เอง โดยใช้ ตรรกศาสตร์และการหาสมการสามตัวแปร เป็นพื้นฐานในการหา algorithm ชุดนี้

ตรวจสอบความถูกต้องกับแปลงทดสอบ

- 1) ทำการปลูกอ้อยทดสอบตามสูตรปุ๋ยที่สร้างจาก algorithm ที่ได้
- 2) ทำการตรวจสอบความแม่นยำทางสถิติ เพื่อหาแนวโน้มและการปรับแต่ง algorithm ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- 3) ทำการปลูกอ้อยทดสอบอีกครั้ง เพื่อทำการทดสอบ algorithm รอบสุดท้าย
- 4) ปรับแต่ง algorithm และตรวจสอบความถูกต้องตามค่าทางสถิติ ก่อนส่งมอบให้ผู้พัฒนาภายใต้โครงการนี้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการใช้งาน algorithm นี้ต่อไป

แนวทางการดำเนินงานภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 3

การดำเนินงานของภายใต้วัตถุประสงค์ที่ 3 แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1) ตรวจสอบเอกสารผลการวิเคราะห์เนื้อเยื่ออ้อยจากงานวิจัย เพื่อหาสัดส่วนธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง (มากกว่า 30 ตันต่อไร่) สัดส่วนดังกล่าว เช่น N:P, N:K, N:Ca, N:Mg, N:S, N:Zn, N:Cu, N:Mn, P:K เป็นต้น การตรวจสอบเอกสารจะค้นหาสัดส่วนให้ได้จนเกือบครบหรือครบทุกสัดส่วนของธาตุอาหารหลัก รอง และเสริม การดำเนินงานวิจัยในส่วนนี้จะตรวจสอบเอกสารจากแหล่งข้อมูลได้แก่ งานวิจัยของ สกว. ของ สอน. จากข้อมูลที่เชื่อถือได้และเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต และจากวารสารวิชาการของอ้อยในท้องสมุด ผลที่คาดว่าจะได้คือ สัดส่วนธาตุอาหารและส่วนเบี่ยงเบน ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้นี้จะใช้เป็นกฎเกณฑ์สำหรับการคำนวณหารูปและปริมาณปุ๋ยเพื่อการผลิตอ้อยผลผลิตสูง

2) ปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหารูปและปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอ้อยผลผลิตสูง การปรับปรุงจะปรับปรุงการเลือกใช้กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการกำหนดปริมาณธาตุอาหาร กระบวนการที่เลือกใช้ขั้นตอนพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปีแรกอาจไม่เหมาะสม การปรับปรุงเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบในภาคสนามมีความใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น

3) การตรวจสอบผลการคำนวณในแปลงปลูกอ้อย ขั้นตอนนี้ทำเพื่อตรวจสอบผลที่คำนวณได้ว่าจะสามารถทำให้ปลูกอ้อยแล้วได้ผลผลิตที่สูงจริงหรือไม่ การทดสอบกับแปลงอ้อยต่อที่ใช้ทดสอบเบื้องต้นในปีแรก ในขั้นตอนนี้ต้องเก็บตัวอย่างอ้อยและดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่ออ้อยของช่วงเวลาการเจริญเติบโตของอ้อยที่กำหนดที่จัดเก็บได้ในปีแรกของการวิจัย

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานแยกในแต่ละโครงการย่อย ดังต่อไปนี้

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการ“ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ” มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาและสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตอ้อย โดยรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการปลูกอ้อยจำนวน 106 ตัวอย่าง ดำเนินการกิจกรรมวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้ และจัดทำแผนที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารสำหรับการปลูกอ้อย ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ พบว่าวิธีที่สามารถให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดในข้อมูลเกือบทุกชนิด คือวิธี IDW (Inverse Distance Weighting) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตอ้อย ได้แก่ ปฏิกริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า โดยภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่เป็นบวกกับผลผลิตอ้อย โครงการ “การหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล” โดยใช้ข้อมูลดินของกรมพัฒนาที่ดินในกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่รวมมากกว่า 50,000 ไร่ รวมทั้งสิ้น 8,988 จุด ร่วมกับข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ 4 จังหวัดจำนวน 100 จุด มีขั้นตอนหลักคือ แปลผลค่าวิเคราะห์ดิน จัดกลุ่มและเลือกความถี่สูงที่สุดภายใต้เงื่อนไข ก่อนจะนำมาหาค่าเฉลี่ยประจำกลุ่ม ผ่านการทำงานจริงด้วยการใช้งานโปรแกรม excel และ ภาษา JavaScript เพื่อการใช้งานลำดับขั้นตอนทำงานผ่าน โปรแกรมสำหรับใช้งานอินเทอร์เน็ตที่สนับสนุนการทำงาน โดยผลที่ได้ พบว่า สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมี 2 สูตร ได้แก่ 17-9-18 และ 17-6-17 ประมาณ 100 – 150 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับการสร้างสูตรปุ๋ย จะได้ธาตุอาหารใกล้เคียงกับที่พืชต้องการ ไม่ขาดธาตุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ง่ายต่อการผสมปุ๋ยเพื่อใช้งานในปริมาณมาก และถูกต้องตามหลักวิชาการ โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” มีจุดมุ่งหมายเพื่อประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดเพื่อนำไปผสมกันใช้ปลูกอ้อยเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ปุ๋ยที่ผสมแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยครบทุกธาตุ การประมวลผลใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับตลอดช่วงปลูก ค่าคุณสมบัติดินที่ใช้ปลูกอ้อย และเซตของค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ก่อนจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้อย่างมั่นใจ ต้องดำเนินการ 2 ขั้นตอน สอบเทียบโปรแกรมเพื่อปรับปรุงรูปแบบการใช้ในการคำนวณและหาเซตค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ในปีแรกพบว่าตำรับทดลองที่ใช้ข้อมูลคุณลักษณะทั้งจากแผนที่ดินและจากการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะดินในห้องปฏิบัติการ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยเพื่อใช้ในแต่ละตำรับทดลองนั้น อ้อยปลูกใหม่ให้ผลผลิตที่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกัน ในทุกสถานที่ทดสอบ ผลผลิตอ้อยที่ได้รับจากตำรับทดลองที่ใช้แผนที่ดินและค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 16.9-22.9 และ 17.3-21.6 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างของคุณภาพความหวานของผลผลิตอ้อย ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.8-15.8% ส่วนในปีที่สองซึ่งเป็นอ้อยต่อได้ผลทดลองในทำนองเดียวกัน การใช้แผนที่ดินและการใช้ค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเป็นฐานในการกำหนดปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลผลิตระหว่าง 15.6-17.1 และ 14.1-15.1 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ไม่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยของคุณภาพความหวานของอ้อยในแต่ละตำรับทดลองก็ไม่แตกต่างกัน ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.3-15.5% ในปีแรกอ้อยได้รับน้ำฝนรวมกับให้น้ำเสริมในช่วง 835-1,294 มม. อุณหภูมิช่วงเติบโตด้านลำต้นและสะสมน้ำตาลในช่วง 28.0-28.8 และ 27.0-28.0 เซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่อ้อยต่อได้รับน้ำระหว่าง 571-886 มม. และอุณหภูมิในสองช่วงการเจริญเติบโตเป็น 28.2-29.2 และ 27.6-28.8 เซลเซียสตามลำดับ จึงสรุปว่าการตอบสนองด้านผลผลิตของอ้อยต่อปุ๋ยจะเกิดขึ้นเมื่ออ้อยได้รับน้ำมากกว่า 900 มม. ตลอดช่วงปลูก ส่วนคุณภาพของอ้อยที่ไม่แตกต่างกันเพราะอ้อยได้รับอุณหภูมิพอๆกันในทุกสถานที่และทุกปีที่ทดสอบ

สัญญาเลขที่ RDG 62T0094

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วง
เชิงพื้นที่ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ”

โดย

สธิระ อุดมศรี

อัยยะ พินิจสกุลดิษฐ์

กฤติโสภณ ดวงกมล

สุลาวัลย์ สุทธิวรวงศ์

ศรัญญา หน่อแก้ว

สุนันทา อูสาหะ

กิตติ วงษ์แสง

เมษายน 2563

“งานวิจัยยังไม่สมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง”

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ ของข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการผลิตรายด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำนั้น มีความมุ่งหมายในเรื่องการนำข้อมูลดินไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากกรมพัฒนาที่ดินเป็นหน่วยงานหลักในการสำรวจดิน เพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร การจัดทำแผนที่คุณลักษณะดินแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชนั้นจะเกิดประโยชน์สูงสุดหากมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีพื้นที่นำร่องใน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ กับพืชปลูกเป็นอ้อยโรงงาน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกอ้อยโรงงานประมาณ 3,389,000 ไร่ ซึ่งงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะหรือสมบัติของดิน ว่าวิธีใดที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลสมบัติดินใด และจัดทำแผนที่คุณลักษณะดินแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย รวมถึงการสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตของอ้อย โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของลักษณะและสมบัติของดิน เพื่อตรวจสอบการใช้งานของสมการที่ได้กับแนวคิดเกษตรแม่นยำ จากการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นของข้อมูลเชิงคุณลักษณะ 6 ชนิด ได้แก่ ปฏิกริยาดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ความหนาแน่นรวมของดิน และเนื้อดิน พบว่า ทุกชุดข้อมูลมีการแปลงค่าข้อมูลในรูปแบบ log-Normal ก่อนนำไปวิเคราะห์สถิติตัวอื่น ซึ่งในการศึกษาวิธีการประมาณค่าในช่วงของข้อมูลเชิงคุณลักษณะ 6 ชนิด ข้างต้น พบว่าวิธีที่สามารถให้ผลการประมาณค่าที่ให้ผลดีที่สุดที่สุดในข้อมูลเกือบทุกชนิด คือวิธี IDW (Inverse Distance Weighting) ซึ่งสามารถประมาณค่าข้อมูลปฏิกริยาดิน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ความหนาแน่นรวมของดิน และ เนื้อดิน (อนุภาคดินทราย อนุภาคดินทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว) เมื่อนำผลจากการประมาณค่ามาคืนค่ากลับ โดยมีค่าความแปรปรวน ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าเฉลี่ยกำลังสอง น้อยที่สุด และชุดข้อมูลที่ทำการประมาณค่าได้นั้นอยู่ในช่วงที่เกิดขึ้นจริง และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตรายได้แก่ ปฏิกริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า โดยภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่เป็นบวกกับผลผลิตอ้อย ขณะที่การวิเคราะห์ผลของหน่วยแผนที่ดินและกลุ่มชุดดินต่อการปลูกอ้อย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (ทิศทางเป็นลบ) กับผลผลิตอ้อย และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของกลุ่มเนื้อดินต่อการปลูกอ้อย พบว่าองค์ประกอบทั้ง 4 ไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

บทคัดย่อ

โครงการการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) และการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ของข้อมูลคุณลักษณะดิน (soil attribute) เพื่อการผลิตรายด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำนั้น มีความมุ่งหมายในเรื่องการนำข้อมูลดินไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากกรมพัฒนาที่ดินเป็นหน่วยงานหลักในการสำรวจดิน เพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร การจัดทำแผนที่คุณลักษณะดินแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชนั้นจะเกิดประโยชน์สูงสุดหากมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีพื้นที่นำร่องใน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ กับพืชปลูกเป็นอ้อยโรงงาน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกอ้อยโรงงานประมาณ 3,389,000 ไร่ โดยเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะหรือสมบัติของดินว่าวิธีใดที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลสมบัติดินใด และจัดทำแผนที่คุณลักษณะดินแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย รวมถึงการสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตของอ้อย โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของลักษณะและสมบัติของดิน เพื่อตรวจสอบการใช้งานของสมการที่ได้กับแนวคิดเกษตรแม่นยำ ซึ่งการวิเคราะห์สถิติเบื้องต้นของข้อมูลเชิงคุณลักษณะ 6 ชนิด ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื้อดิน (อนุภาคดินทราย (sand) อนุภาคดินทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay)) และ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) พบว่า ทุกชุดข้อมูลต้องมีการแปลงค่าข้อมูลในรูปแบบ log-Normal ก่อนนำไปวิเคราะห์สถิติตัวอื่น เช่นในเรื่องของการประมาณค่าในช่วง จากการศึกษาวิธีการประมาณค่าในช่วงของข้อมูลเชิงคุณลักษณะ 6 ชนิด ข้างต้น พบว่าวิธีที่สามารถให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดข้อมูลเกือบทุกชนิด คือวิธี IDW (Inverse Distance Weighting) ซึ่งเมื่อนำผลจากการประมาณค่ามาคืนค่ากลับ โดยมีค่าความแปรปรวน (Standard Deviation) ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Error) ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation: CV) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean Square) น้อยที่สุด และชุดข้อมูลที่ทำให้การประมาณค่าได้นั้นอยู่ในช่วงที่เกิดขึ้นจริง ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ควรใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Kriging และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่ามาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตรายได้แก่ ปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า โดยภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกิริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางที่เป็นบวกกับผลผลิตอ้อย ขณะที่การวิเคราะห์ผลของหน่วยแผนที่ดินและกลุ่มชุดดินต่อการปลูกอ้อย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนปฏิกิริยาดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (ทิศทางเป็นลบ) กับผลผลิตอ้อย และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของกลุ่มเนื้อดินต่อการปลูกอ้อย พบว่าองค์ประกอบทั้ง 4 ไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

Abstract

The application project of main component analysis and spatial interpolation of soil attribute data for sugarcane production with precise agricultural technology. The purpose of this study is the use of soil data is the most effective because the Land Development Department is the main to produce the soil maps for agricultural use. Mapping of soil attribute of each type related to soil, water and nutrients managements for growing plants will benefit the most if used widely. This project have pilot areas in four provinces: Nakhon Ratchasima, Chaiyaphum, Buriram and Surin, about 3,389,000 rai of sugarcane planting. The objective are study what methods is fit to estimate soil properties and provides a map of each soil attribute, which related to soil management, water management and nutrients management for sugarcane growth, as well as the formation of factors that affect the planting and yield of sugarcane. Analysis of the main components for the prioritization of soil characteristics and properties to check the use of the equation obtained with the concept of precision agriculture. Data were analyzed using preliminary statistics 6 soil properties such as soil reaction, organic matter, phosphorus, potassium, bulk density and soil texture. It was found that all data sets were converted in log-Normal format before being analyzed for other statistics. which to study of the estimation methods in spatial interpolation of 6 types above, it found that the IDW (Inverse Distance Weighting) method is the best estimation results in almost soil properties, which can estimate soil data. When the estimated results are returned by providing the variance, standard deviation and root mean square. And the estimated data set is in the actual range. While the amount of organic matter should be used for estimation by the Kriging method. And when using the interpolation to analyze the Principle Component Analysis (PCA) from the 4 variables that affect sugarcane production, such as soil reaction, organic matter, phosphorus and potassium, it is found that overall, the correlation between independent variables was low. The correlation of organic matter, phosphorus and potassium is associated in the same direction. However, the soil reaction is associated in a positive direction with sugarcane yield. While the analysis of the influence results of soil mapping unit and soil group on sugarcane planting shows the correlation between independent variables was low to medium. The amount of organic matter, phosphorus and potassium is associated in the same direction, but soil reaction is associated in the opposite direction (negative direction) to sugarcane yields, And analysis of the main components of the soil particle on sugarcane planting, It was found that the 4 components were not correlated or very few correlated.

สารบัญ		หน้า
บทสรุปผู้บริหาร		
บทคัดย่อ (ไทย-อังกฤษ)		
สารบัญ		ก
สารบัญตาราง		ข
สารบัญภาพ		จ
บทที่ 1 บทนำ		
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ		1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ		1-2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย		1-2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ		1-3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		2-1
2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) และการประมาณค่าในช่วง (Interpolation)		2-1
2.2 ดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย		2-2
2.3 ทรัพยากรดินในพื้นที่		2-2
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย		3-1
3.1 การเก็บข้อมูลพื้นฐาน		3-1
3.2 การประมาณค่าในช่วง Interpolation ปีที่ 1		3-1
3.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อผลผลิตอ้อย โดยใช้ PCA		3-1
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล		4-1
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลดิน เพื่อใช้ในการประมาณค่าในช่วง		4-1
4.2 ผลการประมาณค่าในช่วง		4-13
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA)		4-40
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ		5-1
บรรณานุกรม		บ 1

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	ชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์	2-6
ตารางที่ 2	พิกัดตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์	4-1
ตารางที่ 3	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของค่าปฏิกิริยาดิน (pH H ₂ O; 1:1)	4-5
ตารางที่ 4	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาดินกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-5
ตารางที่ 5	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	4-5
ตารางที่ 6	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-6
ตารางที่ 7	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II; มก/กก)	4-6
ตารางที่ 8:	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-7
ตารางที่ 9	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของโพแทสเซียมที่ละลายได้ (K(NH ₄ OAc) ; (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	4-7
ตารางที่ 10	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่ละลายได้กับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-7
ตารางที่ 11	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของค่าความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	4-8
ตารางที่ 12	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-8
ตารางที่ 13	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของค่าขนาดอนุภาคดินทราย (% sand)	4-9
ตารางที่ 14	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคดินทรายกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-9
ตารางที่ 15	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของค่าขนาดอนุภาคดินทรายแป้ง (% silt)	4-9
ตารางที่ 16	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคดินทรายแป้งกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-10
ตารางที่ 17	ข้อมูลสถิติพื้นฐานของค่าขนาดอนุภาคดินเหนียว (% clay)	4-10
ตารางที่ 18	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคดินเหนียวกับค่าข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ	4-11
ตารางที่ 19	ข้อมูลสถิติของค่าปฏิกิริยาดิน ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-14
ตารางที่ 20	ข้อมูลสถิติของค่าปฏิกิริยาดิน ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-15

สารบัญตาราง

ตารางที่ 21	ข้อมูลสถิติของค่าปฏิกิริยาดิน ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-15
ตารางที่ 22	ข้อมูลสถิติของปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-16
ตารางที่ 23	ข้อมูลสถิติของปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-16
ตารางที่ 24	ข้อมูลสถิติของปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%) ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-16
ตารางที่ 25	ข้อมูลสถิติของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-17
ตารางที่ 26	ข้อมูลสถิติของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-17
ตารางที่ 27	ข้อมูลสถิติของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-17
ตารางที่ 28	ข้อมูลสถิติของโพแทสเซียมที่ละลายได้ ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-18
ตารางที่ 29	ข้อมูลสถิติของโพแทสเซียมที่ละลายได้ ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-18
ตารางที่ 30	ข้อมูลสถิติของโพแทสเซียมที่ละลายได้ ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-18
ตารางที่ 31	ข้อมูลสถิติของค่าความหนาแน่นรวม ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-19
ตารางที่ 32	ข้อมูลสถิติของค่าความหนาแน่นรวม ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-19
ตารางที่ 33	ข้อมูลสถิติของค่าความหนาแน่นรวม ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-19

สารบัญตาราง

ตารางที่ 34 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทราย ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co- kriging	4-20
ตารางที่ 35 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทราย ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co- kriging	4-20
ตารางที่ 36 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทราย ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-20
ตารางที่ 37 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทรายแบ่ง ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-21
ตารางที่ 38 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทรายแบ่ง ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-21
ตารางที่ 39 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินทรายแบ่ง ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-21
ตารางที่ 40 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินเหนียว ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-22
ตารางที่ 41 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินเหนียว ที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-22
ตารางที่ 42 ข้อมูลสถิติของค่าขนาดอนุภาคดินเหนียว ที่ระดับความลึก 60-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging	4-22
ตารางที่ 43 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อย ความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในแต่ละชุดดิน	4-40
ตารางที่ 44 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผลผลิตอ้อย ค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ ค่าฟอสฟอรัส และค่าโพแทสเซียม	4-42
ตารางที่ 45 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	4-44
ตารางที่ 46 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	4-45
ตารางที่ 47 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	4-48

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 แผนที่ชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และ สุรินทร์	2-4
ภาพที่ 2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกอ้อยโรงงาน จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์	2-5
ภาพที่ 3 แผนที่การกระจายตัวของค่าปฏิกิริยาดิน ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-24
ภาพที่ 4 แผนที่การกระจายตัวของค่าปฏิกิริยาดิน ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-25
ภาพที่ 5 แผนที่การกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุ ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-26
ภาพที่ 6 แผนที่การกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์วัตถุ ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-27
ภาพที่ 7 แผนที่การกระจายตัวของค่าฟอสฟอรัส ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-28
ภาพที่ 8 แผนที่การกระจายตัวของค่าฟอสฟอรัส ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-29
ภาพที่ 9 แผนที่การกระจายตัวของค่าโพแทสเซียม ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-30
ภาพที่ 10 แผนที่การกระจายตัวของค่าโพแทสเซียม ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-31
ภาพที่ 11 แผนที่การกระจายตัวของค่าความหนาแน่นรวม ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-32
ภาพที่ 12 แผนที่การกระจายตัวของค่าความหนาแน่นรวม ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-33
ภาพที่ 13 แผนที่การกระจายตัวของค่าขนาดอนุภาคดินทราย (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-34
ภาพที่ 14 แผนที่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินทราย (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-35

สารบัญภาพ

ภาพที่ 15 แผนที่การกระจายตัวของค่าขนาดอนุภาคดินทรายแป้ง (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-36
ภาพที่ 16 แผนที่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินทรายแป้ง (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-37
ภาพที่ 17 แผนที่การกระจายตัวของค่าขนาดอนุภาคดินเหนียว (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี IDW	4-38
ภาพที่ 18 แผนที่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินเหนียว (%) ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0-100 เซนติเมตร จากการประมาณด้วยวิธี Kriging	4-39
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตอ้อย กับตัวแปรอิสระ	4-42
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปของ Biplot	4-43
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและตัวแปรอิสระ	4-44
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปของ Biplot	4-45
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและตัวแปรอิสระ	4-46
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปของ Biplot	4-47
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและตัวแปรอิสระ	4-48
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปของ Biplot	4-49

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในแต่ละปีการผลิตอ้อยค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อยสำหรับประเทศไทยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.0-12.0 ตันต่อไร่ แต่ในปีการผลิต 2558/59 และ 2559/60 ผลผลิตอ้อยลดลงเหลือเพียง 7.5 ตันต่อไร่ ปริมาณอ้อยเข้าหีบโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศได้ลดลงอย่างมาก โรงงานไม่สามารถผลิตน้ำตาลได้ตามศักยภาพ การจะทำให้โรงงานน้ำตาลสามารถผลิตน้ำตาลได้ตามศักยภาพจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณอ้อย หรือหาแนวทางเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกให้มีความสูงกว่าที่เป็นอยู่ ในปีหีบ 2560/61 มีโรงงานเป็นจำนวนมากที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นจากเดิม แต่พื้นที่ที่เพิ่มเหล่านั้นได้มาจากพื้นที่ปลูกข้าวเดิมซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวและพื้นที่ปลูกพืชไร่เดิม แต่เกษตรกรเปลี่ยนมาปลูกอ้อย พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นมาเหล่านั้นไม่ได้หมายความว่ามีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ผลผลิตที่คาดหวังก็ควรจะอยู่ในระดับค่าเฉลี่ยของประเทศหรือแต่ละภูมิภาค ซึ่งการจะเพิ่มผลผลิตอ้อยจำเป็นต้องจัดการปัจจัยการผลิตอย่างเหมาะสมทุกปัจจัย เช่น การจัดการดิน การจัดการธาตุอาหาร การจัดการน้ำ รวมทั้งสภาพภูมิอากาศต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มผลผลิตของอ้อยมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ถึงแม้ว่าบางครั้งเกษตรกรสามารถจัดการทุกปัจจัยการผลิตให้แก่อ้อยแล้ว แต่ผลผลิตที่อ้อยตอบสนองได้นั้นยังไม่สูงมากจนถึงระดับที่เกษตรกรตั้งใจไว้ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ยังไม่สามารถจำแนกได้ว่าปัจจัยไหนที่ส่งผลต่อผลผลิตอ้อยมีความสำคัญเป็นอันดับแรกๆ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการก่อน ดังนั้นการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis; PCA) จะสามารถช่วยให้จำแนกได้ว่าปัจจัยใดมีความสำคัญเป็นอันดับแรกๆ และมีความสำคัญมากน้อยเพียงใดต่อผลผลิตของอ้อย รวมทั้งจะต้องจัดการกับปัจจัยอะไรก่อนหรือหลัง เพื่อจะสามารถทำให้ได้ผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ซึ่งเกษตรกรจะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวางแผนการปลูกอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ผลผลิตสูง และสามารถลดต้นทุนการผลิต การหาปัจจัยที่เกิดจากสมบัติของดินหลายๆ อย่างร่วมกันแล้วกำหนดเป็นข้อจำกัด และสามารถจัดการกับข้อจำกัดของปัจจัยดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง จะทำให้การผลิตอ้อยมีความสอดคล้องกับหลักการเกษตรแม่นยำ

ผลผลิตของอ้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของปัจจัยการผลิต เช่น ลักษณะและสมบัติของดิน ธาตุอาหาร น้ำ แสง อุณหภูมิ ความชื้น และการจัดการ เป็นต้น ปัจจัยแต่ละตัวเหล่านี้มีความสำคัญมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ชนิด และช่วงการเจริญเติบโตของอ้อย โดยทั่วไปลักษณะภูมิอากาศทั้ง แสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ และปริมาณน้ำในช่วงการเจริญเติบโตของอ้อยมีอย่างเพียงพอ หรือมีการจัดการน้ำแก่อ้อยอย่างเหมาะสมในพื้นที่ปลูกอ้อยของไทยแล้ว ปัจจัยข้างต้นดังกล่าวจะไม่ใช่ว่าข้อจำกัดต่อการให้ผลผลิตของอ้อย ดังนั้นการจัดการดินด้าน

ธาตุอาหารและปุ๋ยแก่อ้อยจึงเป็นตัวกำหนดระดับผลผลิตที่สำคัญของอ้อย ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะและสมบัติของดิน (ข้อมูลคุณลักษณะของดิน) ที่ใช้ปลูกอ้อย

กรมพัฒนาที่ดิน โดยกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน ได้จัดทำแผนที่ชุดดินทั้งประเทศ และมีข้อมูลคุณลักษณะของดินประจำชุดดินที่พบในแผนที่ดิน แต่ข้อมูลคุณลักษณะดินประจำชุดดินที่ใช้ในแผนที่ดินได้จากการเก็บตัวอย่างดินจากบางสถานที่เท่านั้น จึงทำให้การใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการจัดการดินสำหรับการผลิตอ้อยโดยตรงจากแผนที่ดินอาจมีความผิดพลาดไปได้ แต่หากมีการปรับแก้ค่าของข้อมูลคุณลักษณะดินประจำชุดดินที่เหมาะสมแล้ว อาจนำข้อมูลคุณลักษณะดินที่ปรับแก้เหล่านั้นมาใช้เพื่อการจัดการน้ำและธาตุอาหารแก่อ้อยได้ การปรับแก้ค่าข้อมูลคุณลักษณะดินประจำชุดดินอาจทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือจากระบบภูมิสารสนเทศ (geographic information system, GIS) ซึ่งเป็นระบบที่ต้องการข้อมูลคุณลักษณะที่มีความต่อเนื่องในเชิงพื้นที่ หรือประมาณค่าข้อมูลคุณลักษณะให้มีความต่อเนื่องเชิงพื้นที่ (หรือเป็นการประมาณค่าข้อมูลคุณลักษณะเชิงพื้นที่, spatial interpolation) โดยระบบภูมิสารสนเทศสามารถใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินต่างๆจากแผนที่ดิน เพื่อนำไปสร้างเป็นแผนที่ใหม่ซึ่งเป็นข้อมูลคุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดินเรื่องน้ำและธาตุอาหารแก่อ้อยได้

การประมาณค่าข้อมูลคุณลักษณะเชิงพื้นที่ที่มีหลักการคือ ใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินที่สนใจที่เป็นตัวแปรและมีตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์กำกับ ซึ่งมีการเรียกตัวแปรข้อมูลคุณลักษณะดินแบบนี้ว่าเป็นตัวแปรเชิงพื้นที่หรือตำแหน่ง (regionalized variables) และเมื่อนำค่าตัวแปรเชิงตำแหน่งมากำหนดมาหาค่าความสัมพันธ์กันเชิงพื้นที่ (spatial correlation) ก็จะสามารถนำความสัมพันธ์ที่ตรวจพบกับค่าข้อมูลคุณลักษณะดินที่สนใจสร้างเป็นแผนที่และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งแผนที่ดินที่กรมพัฒนาที่ดินจัดทำขึ้นนั้นค่าของข้อมูลคุณลักษณะดินประจำชุดดินก็จัดเป็นตัวแปรเชิงพื้นที่ซึ่งจะสามารถนำมาใช้เป็นตัวเริ่มต้นสำหรับการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสร้างสมการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกและให้ผลผลิตของอ้อย โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของลักษณะและสมบัติของดิน

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการประมาณค่าวิธีใดที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลดิน เพื่อการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารของอ้อย

1.2.3 เพื่อตรวจสอบการใช้งานของสมการที่ได้กับแนวคิดเกษตรแม่นยำ

1.2.4 เพื่อจัดทำแผนที่คุณลักษณะดินแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำและธาตุอาหารอ้อย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะทำในเฉพาะพื้นที่นำร่องซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ ที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยในปีการผลิต 2559/2560 ประมาณ 1,700,000 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 35 ของพื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่ปลูกร้อยละ 15 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ

โดยในปีแรกจะรวบรวมข้อมูลลักษณะและสมบัติดิน (หรือข้อมูลคุณลักษณะดิน) ที่มีผลต่อการปลูกอ้อย มีการเก็บตัวอย่างดินพร้อมทั้งวิเคราะห์หาค่าข้อมูลคุณลักษณะดินเพิ่มเติมในบางพื้นที่ที่ข้อมูลไม่ครบถ้วน สมบูรณ์ ตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลดินให้มีความถูกต้อง เตรียมและสร้างฐานข้อมูลคุณลักษณะดินให้ครบถ้วน สมบูรณ์ และพร้อมใช้งานด้วยระบบภูมิสารสนเทศ รวมทั้งวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการปลูกอ้อย และสร้างสมการปัจจัยที่เกิดจากข้อมูลคุณลักษณะดินหลายๆ อย่างร่วมกัน มีการสร้างเป็นแผนที่ คุณลักษณะดินเพื่อการจัดการ ดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อยได้อย่างถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ หาวิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่และประชากรข้างเคียงที่เหมาะสมกับข้อมูลคุณลักษณะดินหนึ่งๆ

ในปีที่สองจะสุ่มตรวจสอบข้อมูลดินและผลผลิตว่าสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปรับปรุงเบื้องต้นหรือไม่ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลหัตถ์ภูมิ และตรวจสอบว่าสอดคล้องกับค่าที่ได้จากวิธีการประมาณค่าหรือไม่และหาแนวทางการปรับแก้วิธีการประมาณค่าในช่วงตรวจสอบการใช้แผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินด้วยการจัดทำแปลงทดสอบจัดการ ดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย

ส่วนในปีที่สามดำเนินการแก้ไขข้อมูล คัดเลือกข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อการผลิตอ้อยที่มากที่สุด และปรับปรุงสมการปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตอ้อย พร้อมปรับปรุงการสร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินเพื่อการจัดการน้ำและธาตุอาหารอ้อยอีกครั้ง และทดสอบการใช้งานด้วยการจัดทำแปลงทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อยจะใช้ตัวแปรดังต่อไปนี้ ขนาดอนุภาคดินทราย ขนาดอนุภาคดินเหนียว ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่ออ้อยในชั้นรากอ้อย ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปฏิกิริยาของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีจำนวนฐานข้อมูลดินเพิ่มขึ้นและมีความถูกต้องมากขึ้น

1.4.2 ได้ปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อผลผลิตอ้อย ที่สามารถนำมาใช้วางแผนในการจัดการดินและปุ๋ยให้เหมาะสมต่อความต้องการของอ้อย

1.4.3 ได้สมการปัจจัยทางดินเพื่อใช้ในอนาคตเกษตรแม่นยำ

1.4.4 สร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน น้ำ และธาตุอาหารอ้อย และสามารถนำไปใช้งานได้จริง มีความถูกต้อง และประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำได้

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) และการประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

การใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการคัดเลือกและปรับปรุงฐานข้อมูลดิน เพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการผลิตพืช จุดมุ่งหมายของการหาองค์ประกอบที่แท้จริงเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และหาความสอดคล้องของตัวแปรต่าง ๆ จนถูกสกัดออกมาเป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบหลัก โดยการอธิบายในรูปของตัวแปรที่ลดลง (He et al., 2018) โดยองค์ประกอบหลักและน้ำหนักที่ถูกสกัดออกมา จะสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อนำไปประยุกต์กับการผลิต้อยด้วยการใช้ฐานข้อมูล การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนิยมใช้ในการศึกษาความแปรปรวนของข้อมูลคุณลักษณะดิน โดยสามารถใช้ในการวัดความแตกต่างหรือความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ได้อีกด้วย (Baggie et al., 2018) โครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในการคัดเลือกข้อมูลคุณลักษณะดิน ที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการผลิต้อย และเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเพิ่มประสิทธิภาพของดินในการเพิ่มผลผลิต้อยอย่างมีประสิทธิภาพ การประยุกต์ใช้จะสร้างสมการของปัจจัยจากค่าข้อมูลคุณลักษณะดินที่คัดเลือกได้

อกันตรี (2551) นำเทคนิควิธีการทางธรณีสถิติมาใช้ประเมินค่าธาตุอาหารพืชในดิน พบว่าสมบัติทางเคมีของดินมีความสัมพันธ์กันเชิงพื้นที่ ทางด้านทิศทาง ระยะห่าง และปริมาณ นิธิรัตน์ (2546) กล่าวว่าไว้ว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่คือความถูกต้องของข้อมูล และข้อมูลต้องมีความต่อเนื่องในเชิงพื้นที่ รวมทั้งมีการกระจายตัวของจุดตำแหน่งข้อมูลอย่างทั่วถึง

การประมาณค่าข้อมูลนั้นมีหลายวิธีโดย Laslett et al.(1987) ทำการประมาณค่า pH ด้วยวิธีต่างๆ พบว่า วิธี Ordinary kriging ดีกว่า Inverse distance weighting (IDW) แต่ค่าอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจน ต้องใช้วิธี Splines สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินด้วยวิธี IDW, Ordinary kriging และ lognormal ordinary kriging พบว่าวิธี lognormal ordinary kriging สามารถใช้ประมาณค่าได้ดีที่สุด มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Kravchen and Bullock, 1999) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Gotway et al.(1996) ที่พบว่าวิธี Kriging ให้ผลถูกต้องกว่า IDW แต่ตรงข้ามกับงานวิจัยของ Weber and Englund (1992) ที่พบว่า วิธี IDW ให้ผลถูกต้องกว่า Kriging ซึ่งสรุปว่าวิธีการประมาณค่าในช่วงนั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับพื้นที่ที่ทำ และชนิดของข้อมูลคุณลักษณะดิน

ผ่องพรรณ และคณะ (2561) ทำการวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล และสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weighted Linear Combination : WLC) ซึ่งปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักหรือความสำคัญสูงสุด คือ แหล่งน้ำ ปริมาณน้ำฝน ลักษณะ

ดิน และความสามารถในการระบายน้ำของดิน สามารถประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัด สุราษฎร์ธานีได้

ณัฐพล และอาภากร (2559) ศึกษาแบบจำลองทางสถิติเชิงพื้นที่สำหรับการคาดคะเนสมบัติพื้นฐานของ ดิน ณ บ้านโป่งลึกบางกลอย อ.แก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี พบว่าการประมาณค่าแบบ IDW เหมาะสำหรับการใช้ประมาณค่าไนโตรเจน (N) และการประมาณค่าแบบ RBF เหมาะสำหรับการใช้ประมาณค่า P K และ pH และสามารถนำแผนที่มาใช้ในการวางแผนปรับปรุงดิน เลือกชนิดพืช และการใส่ปุ๋ยได้

2.2 ดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย

อ้อยเป็นพืชเขตร้อน ความยาวของช่วงวันที่เหมาะสม ประมาณ 11.5-12.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสม ตลอดฤดูการปลูกประมาณ 26-35 องศาเซลเซียส สามารถปลูกในดินทรายจนถึงดินเหนียวจัด แต่ดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกอ้อย คือ ดินร่วนทราย หรือดินร่วนเหนียว มีค่า pH ตั้งแต่ 5.5-7 มีความลึกของหน้าดินพอสมควรและระบายน้ำหรืออากาศได้ดี จนถึงปานกลาง ลักษณะทางเคมีและธาตุอาหาร ไม่สามารถสังเกตได้ชัดเจน แต่อาจสังเกตจากการอาการของอ้อยมีการเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญมาก แต่สามารถทำได้โดย การเก็บตัวอย่างดินไปส่งวิเคราะห์ ค่าทางเคมี เช่น ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดิน และลักษณะทางกายภาพ ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าหรือการสัมผัส เช่น ความแน่นทึบของดิน ดินเป็นทรายจัด หรือเป็นดินโปร่งร่วนซุย มีช่องว่างให้อากาศและน้ำอยู่ หรือเป็นดินดานที่รากอ้อยไม่สามารถแทงทะลุผ่านได้ หน้าดินเวลาแห้งแล้วแข็งเป็นแผ่นหรือร่วนซุย เวลาให้น้ำหรือฝนตกน้ำซึมลงไปเร็วหรือช้าเหล่านี้ เป็นต้น ดินในแปลงปลูกอ้อยที่ผ่านการไถพรวนมาเป็นเวลานาน จะทำให้อนุภาคดินแยกตัวออกจากกัน อนุภาคบางอย่างจะเรียงตัวกันเป็นแผ่นแข็งๆ ฉาบผิวหน้าดินทำให้ออxygenไม่เพียงพอที่จะทะลุได้ยาก เมื่อเวลาฝนตกน้ำจะไม่ซึมลงไป ดินจะเก็บน้ำไว้ได้น้อย เมื่อฝนแล้งอ้อยจะเหี่ยวเฉาอย่างรวดเร็ว การไถพรวนที่ความลึกระดับเดียวกันนานๆ ทำให้ชั้นดินถูกขบจนโลกดซๆ จนกลายเป็นแผ่นทึบหรือที่เรียกว่าดินดาน รากอ้อย ไม่สามารถแทงทะลุได้ ต้นอ้อยจะชะงักการเจริญเติบโตและยังทำให้อินทรีย์วัตถุในดินหมดไป ดินไถร่อยไถจะแน่นทึบเก็บน้ำและอากาศ ไว้ในดินได้น้อย การเจริญเติบโต การดูดน้ำ และธาตุอาหารของต้นอ้อยจะถูกจำกัด

2.2 ทรัพยากรดินในพื้นที่

พื้นที่ปลูกอ้อยโรงงานในเขตจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ มีพื้นที่ 3,389,312 ไร่ จากข้อมูลดิน 1: 25,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน พบ 68 ชุดดิน โดยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดประมาณ 3,389,300 ไร่ ชุดดินที่มีการปลูกอ้อยมากที่สุดคือ ชุดดินวังไธ พื้นที่ประมาณ 416,800 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 12.3 รองลงมาคือชุดดินภูพาน ชุดดินชินิ ที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากกว่าร้อยละ 5 ตามตารางที่ 1 และภาพที่ 1 โดยมีลักษณะดินดังนี้

หน่วยดิน ตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน (AC)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกถึงลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาใหม่ มีลักษณะการสลับชั้นของเนื้อดิน ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวอาจพบกรวดท้องน้ำปะปนในชั้นดินล่าง ดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.5-7.0) การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำและเป็นดินเนื้อหยาบ รวมทั้งอาจมีความเสี่ยงเรื่องน้ำท่วมฉับพลัน

ชุดดิน บ้านไผ่ (Bpi)

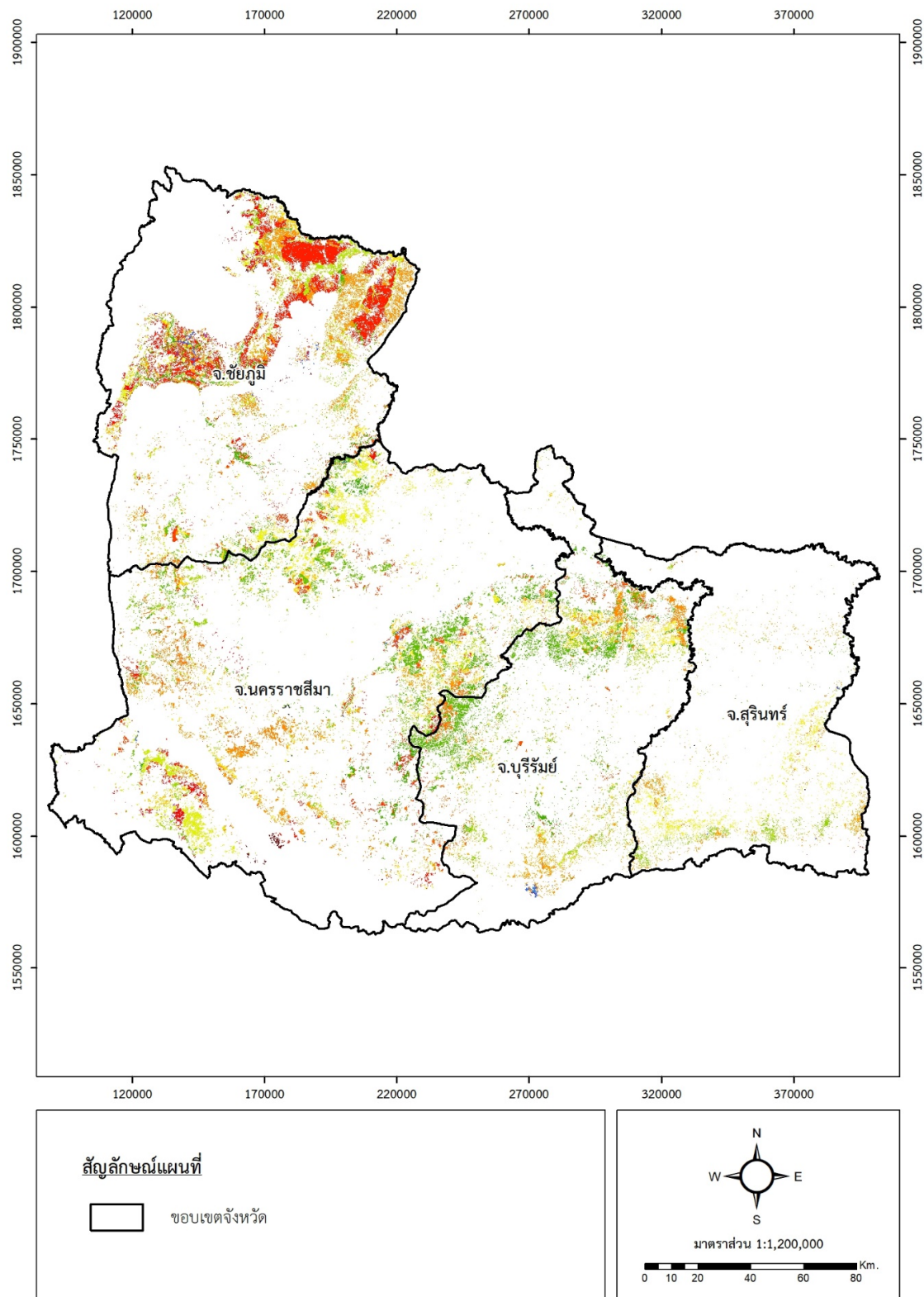
ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือทราย ถัดลงไปเป็นทรายปนดินร่วน สีเทาปนชมพู และระหว่างความลึก 50-100 ซม. จะพบดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลปนเหลือง อาจพบจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ตลอดหน้าตัดดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีเนื้อดินเป็นทราย

ชุดดิน บุรีรัมย์ (Br)

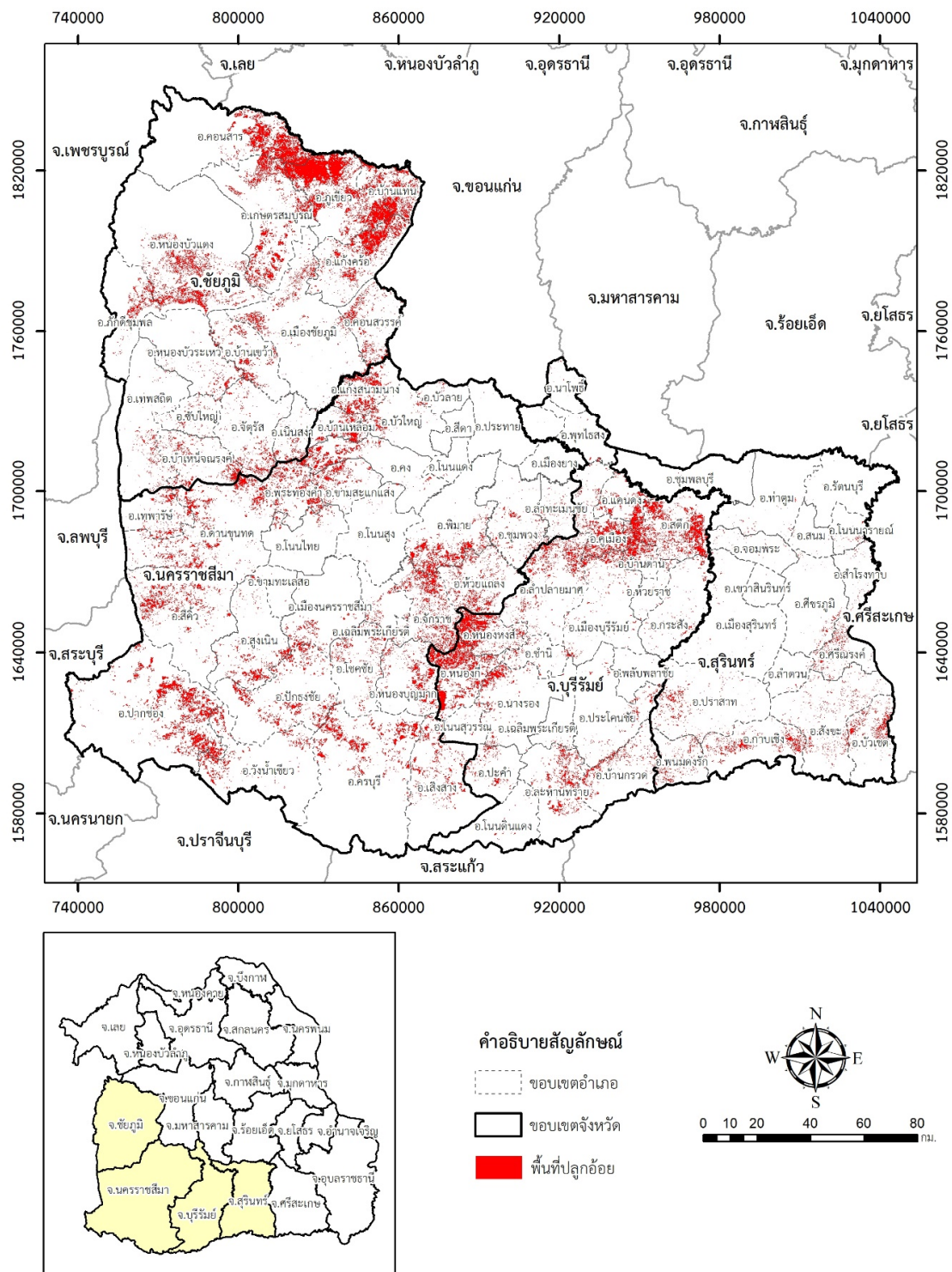
ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัด ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินภูเขาไฟ พวกหินบะซอลต์ ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) ในดินล่าง พบรอยไถลและผิวหน้าที่ถูกกดตัน อาจพบก้อนปูนทุติยภูมิ ในฤดูแล้งจะมีรอยแตกกระแหงกว้างและลึกและมีรอยไถลในหน้าตัดดิน การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว มีข้อจำกัดเป็นดินเหนียวจัด

ชุดดิน ชุมพลบุรี (Chp)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนถึงทรายปนดินร่วน แล้วแต่ตะกอนที่น้ำพามาทับถมในแต่ละปี โดยแต่ละชั้นเนื้อดินและสีจะแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อาจจะได้รับคามเสียหายจากน้ำท่วม ในฤดูน้ำหลาก



ภาพที่ 1 แผนที่จุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์



ภาพที่ 2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกอ้อยโรงงาน จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

ตารางที่ 1 ชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

สัญลักษณ์	ชุดดิน	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
AC	ตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน	26,087.65	0.77
Bpi	ชุดดินบ้านไผ่	20,764.97	0.61
Br	ชุดดินบุรีรัมย์	29,005.05	0.86
Chp	ชุดดินชุมพลบุรี	65,201.97	1.92
Ci	ชุดดินโคกชัย	16,990.32	0.50
Ckr	ชุดดินจักราช	24,839.80	0.73
Cni	ชุดดินขำนิ	204,381.10	6.03
Cpa	ชุดดินชุมแพ	48,379.44	1.43
Cpg	ชุดดินชุมพวง	83,191.12	2.45
Cpr	ชุดดินจอมพระ	82,460.22	2.43
Ct	ชุดดินต๋ำรัส	125,803.37	3.71
Cu	ชุดดินจันทึก	2,416.22	0.07
Cy	ชุดดินชัยภูมิ	1,202.15	0.04
Don	ชุดดินดงยางเอน	3,720.30	0.11
Ht	ชุดดินห้วยแถลง	50,034.33	1.48
Ka	ชุดดินกันทรวิชัย	7,740.41	0.23
Kbr	ชุดดินครบุรี	4,958.31	0.15
Kg	ชุดดินคำบง	93,326.58	2.75
Ki	ชุดดินกุลาร้องไห้	17,475.80	0.52
Kld	ชุดดินกลางดง	20,517.61	0.61
Kmr	ชุดดินเขมราษฎร์	33,582.97	0.99
Kng	ชุดดินคง	72,638.89	2.14
Ksb	ชุดดินเขตรสมบูรณ์	67,045.69	1.98
Kt	ชุดดินโคราช	674.20	0.02

ตารางที่ 1 ชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ชุดดิน	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
Kts	ชุดดินขามทะเลสอ	357.45	0.01
Lah	ชุดดินละหานทราย	64,376.94	1.90
Lb	ชุดดินลพบุรี	24,851.95	0.73
Lo	ชุดดินเลย	403.04	0.01
Ls	ชุดดินลำสนธิ	5,569.81	0.16
ML	ชุดดินมวกเหล็ก	77,114.67	2.28
Mr	ชุดดินแม่ริม	5,558.91	0.16
Msk	ชุดดินมหาสารคาม	112,097.80	3.31
Nad	ชุดดินนาคูน	11,113.02	0.33
Nbd	ชุดดินหนองบัวแดง	2,852.59	0.08
Nbn	ชุดดินหนองบุญนา	34,907.97	1.03
Ndg	ชุดดินโนนแดง	99,392.21	2.93
Ng	ชุดดินน้ำพอง	8,232.91	0.24
Nkg	ชุดดินหนองกง	46,380.50	1.37
Nt	ชุดดินโนนไทย	38,851.53	1.15
Pc	ชุดดินปากช่อง	9,560.51	0.28
Pho	ชุดดินพล	27,119.03	0.80
Pm	ชุดดินพิมาย	6,784.65	0.20
Png	ชุดดินโพนงาม	37,516.86	1.11
Ps	ชุดดินภูสอ	196.13	0.01
Pt	ชุดดินประทาย	632.86	0.02
Ptc	ชุดดินปักธงชัย	114,913.80	3.39
Ptk	ชุดดินพระทองคำ	87,832.83	2.59
Pu	ชุดดินภูพาน	398,009.67	11.74

ตารางที่ 1 ขุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ขุดดิน	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
Re	ขุดดินร้อยเอ็ด	94,655.83	2.79
Si	ขุดดินสี่คิ้ว	84,287.93	2.49
Sik	ขุดดินศรีขรภูมิ	25,480.82	0.75
Sn	ขุดดินสูงเนิน	68,614.94	2.02
So	ขุดดินสบปราบ	1,447.63	0.04
Ssk	ขุดดินศรีสะเกษ	21,766.61	0.64
St	ขุดดินสีทน	17,209.09	0.51
Su	ขุดดินสุรินทร์	5,500.77	0.16
Suk	ขุดดินสตึก	32,793.00	0.97
Th	ขุดดินธวัชบุรี	46,263.03	1.36
Tk	ขุดดินตากลิ	13,921.64	0.41
Tpr	ขุดดินเทพารักษ์	51,687.26	1.53
Tsr	ขุดดินทุ่งสัมฤทธิ์	3,247.01	0.10
Tt	ขุดดินท่าตูม	7,573.79	0.22
Wa	ขุดดินวัฒน	21,091.87	0.62
Wi	ขุดดินวังไ	416,882.06	12.30
Wk	ขุดดินวังน้ำเขียว	61,112.99	1.80
Wn	ขุดดินวาริน	17,878.05	0.53
Ws	ขุดดินวังสะพุง	57,807.60	1.71
Yt	ขุดดินยโสธร	3,814.82	0.11
zM	พื้นที่อื่น ๆ	16,210.34	0.48
zW	พื้นที่น้ำ	2,959.37	0.09
รวมพื้นที่		3,389,311.69	100.00

ชุดดิน โศคชัย (Ci)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินเหนียวลึกมาก ค่อนข้างร่วนซุย ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินภูเขาไฟ พวกหินบะซอลต์ ดินบนเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีนํ้าตาลปนแดงเข้มมาก ดินล่างเป็นดินเหนียว สีแดงหม่นหรือแดงหม่นเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน จักราช (Ckr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำ ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายในตอนบนและอาจพบดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีข้อจำกัดคือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับพืชในฤดูเพาะปลูกและเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลาย

ชุดดิน ชำนิ (Cni)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินทรายแป้ง ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง จนถึงดินเหนียว และมีศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร อาจพบก้อนลูกรังปะปนอยู่บ้าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว มีข้อจำกัดคือ มีโอกาสเกิดชั้นดานไถพรวนได้ง่าย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ชุดดิน ชุมแพ (Cpa)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาที่บดอยู่บนหินตะกอน ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง พบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินพวกหินทรายแป้งในช่วงความลึก 100-150 ซม. การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ

ชุดดิน ชุมพวง (Cpg)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีนํ้าตาลปนแดง ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย และอาจเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่าง สีแดงหรือแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH

4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย อาจขาดน้ำ ในช่วงของฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน จอมพระ (Cpr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีเทาที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายนดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายละเอียดถึงละเอียดมาก ปฏิกริยาดินเป็น กรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน จตุรัส (Ct)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีเทาปานกลางถึงชั้นหินพื้น ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อทรายแป้งที่มีปูนปน ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบสูง ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ที่อาจมีเศษหินปะปนบ้าง ในช่วงความลึก 50-100 ซม. จะพบชั้นหินผุ ถัดจากชั้นหินผุเป็นชั้นหินแข็งซึ่งเป็นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ในดินบน และเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ดินค่อนข้างแน่นทึบ โครงสร้างไม่เหมาะสม น้ำซึมผ่านได้ช้า อาจขาดแคลนน้ำได้ในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน จันทึก (Cu)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินทรายจัดลึก เนื้อดินเป็นทรายนดินร่วนตลอด ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินแกรนิต อาจพบก้อนกรวดปะปนในดินล่าง กรวดที่พบเป็นแร่ควอตซ์และเฟลด์สปาร์ อาจพบจุดประสีในชั้นหินต้นกำเนิดที่กำลังสลายตัว ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างมาก มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินเป็นทราย โครงสร้างของดินไม่ดี

ชุดดิน ชัยภูมิ (Cy)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีเทาที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วน หรือดินร่วนเหนียวปนทราย และตอนล่างอาจเป็นดินเหนียว อาจพบชั้นทรายแทรกสลับเป็นแถบบางๆ และเม็ดปูนในชั้นดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.5-

7.0) ในดินบน และเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว มีข้อจำกัด คือ อาจได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมในบางครั้งของรอบปี

ชุดดิน ดงยางเอน (Don)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแฉะ ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแฉะ ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายแฉะถึงดินร่วนเหนียวปนทรายแฉะ ดินร่วนปนดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีข้อจำกัด คือ มีโอกาสเกิดชั้นดานไถพรวน และขาดแคลนน้ำในช่วงเพาะปลูก

ชุดดิน ห้วยแกลง (Ht)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินทรายเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายและดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับพืชในฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน กันทรวิชัย (Ka)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัด ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา พบชั้นศิลาแลงอ่อน (plinthite) ประมาณ 2-20 % ในฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหงกว้างและลึกพบรอยไถล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ตลอดหน้าตัดดิน การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว มีข้อจำกัด คือ มีน้ำท่วมขังนานในฤดูฝน เป็นดินเหนียวจัด สมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี

ชุดดิน ครบุรี (Kbr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมากที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินภูเขาไฟ พวกหินบะซอลต์ ดินบนเป็นดินเหนียวปนทรายแฉะหรือดิน ดินล่างเป็นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชอาจขาดน้ำในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน คำบาง (Kg)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบ พวกหินทรายหรือหินในกลุ่ม ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นทรายปนดินร่วนและเปลี่ยนเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายในช่วงความลึก 100-150 ซม. ซึ่งเป็นชั้นสะสมอนุภาคดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบน และเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมากเกินไป มีข้อจำกัด คือ ดินเป็นทรายจัดความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ธาตุอาหารพืชในดินถูกชะล้างได้ง่าย เสี่ยงต่อความเสียหายจากการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน กุลาร้องไห้ (Ki)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสี ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาท้องถิ่น ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งเป็นชั้นสะสมประจุโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในฤดูแล้งจะมีคราบเกลือลอยหน้าผิวดิน ในดินล่างลึกกว่า 1 เมตรลงไปเป็นดินร่วน สีเทาหรือสีเทาปนเขียว อาจพบดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0-7.0) ในดินบน และเป็นด่างเล็กน้อยถึงเป็นด่างจัด (pH 7.5-8.5) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว มีข้อจำกัด คือเป็นดินเค็มด่าง มีเกลือโซเดียมสูงซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีโครงสร้างไม่เหมาะสม

ชุดดิน กลางดง (Kld)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อละเอียดหรือหินในกลุ่ม ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน เขมราฐ (Kmr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสี ที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินตะกอนสองยุค (ทราย/เหนียว) หรือตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบที่ถูกชะมาทับถมอยู่บนหินตะกอนเนื้อละเอียด ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ช่วงเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินจะพบภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ซึ่งอาจพบการสะสมลูกรัง หรือกรวดปริมาณเล็กน้อย พบศิลาแลงอ่อน (plinthite) ในชั้นดินล่าง ชั้นหินผุและหินพื้นพวกหินทราย การระบายน้ำค่อนข้างเร็วในดินบนและดีปานกลางในดินล่าง มีข้อจำกัดด้าน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน คง (Kng)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบ พวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนเหนียว ภายในความลึกก่อน 100 ซม.จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน เกษตรสมบูรณ์ (Ksb)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงดินเหนียวจัดตลอดหน้าตัดดิน ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในชั้นดินบน ส่วนชั้นดินล่าง พบรอยไถและผิวหน้าที่ถูกกดตัน ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) และอาจพบชั้นหินทรายแข็งที่กำลังสลายตัวในบางบริเวณ ฤดูแล้งหน้าดินแตกระแหงกว้างและลึก การระบายน้ำเร็ว มีข้อจำกัด คือ เสี่ยงต่อการเกิดน้ำหลากในฤดูฝน สมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี

ชุดดิน โคราช (Kt)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบ พวกหินทราย ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับพืชในฤดูเพาะปลูกและเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลาย

ชุดดิน ขามทะเลสอ (Kts)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากตะกอนเนื้อหยาบที่สลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของหินทราย และได้รับอิทธิพลจากหินเกลือ ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีเทาหรือเทาปนชมพู ซึ่งเป็นชั้นสะสมโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบจุดประสีนํ้าตาล เหลืองปนนํ้าตาลตลอดหน้าตัดดิน ในฤดูแล้งพบคราบเกลือบนผิวนํ้าดิน ส่วนในดินล่างลึกกว่า 1 เมตร เป็นดินร่วน สีเทาหรือเทาปนเขียว ลึกลงไปพบชั้นดินร่วนเหนียวปนทรายปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0-7.0) ในดินบนและด่างเล็กน้อยถึงเป็นด่างจัด (pH 7.5-8.5) ในดินล่าง บางบริเวณพบก้อนปูนปะปน การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เป็นดินเค็มด่าง มีเกลือโซเดียมสูงซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีโครงสร้างไม่เหมาะสม

ชุดดิน ละหานทราย (Lah)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกลับมาก ที่เกิดจากตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบที่ถูกชะมาทับถม ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล เทาปนน้ำตาล ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและอาจพบดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่างลึกๆ สีเทา เทาปนชมพูจนถึงขาว จะพบจุดประสีแดงปนเหลือง น้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.5) ตลอดหน้าตัดดิน การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดน้ำในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน ลพบุรี (Lb)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินเหนียวจัดลึก ตลอดชั้นดินเป็นดินเหนียว ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาทับถมอยู่บนลานตะพักปูนมาร์ล บริเวณเขาหินปูน ดินบนมีสีดำหรือเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินล่างมีสีดำหรือสีเทาเข้มมากจนถึงน้ำตาลปนเทา พบชั้นปูนมาร์ลในระดับลึก 80 ซม.ลงไป ปฏิกริยาดินเป็นด่างปานกลางถึงเป็นด่างจัด (pH 8.0-9.0) ในฤดูแล้งจะแตกกระแหงเป็นร่องกว้างกว่า 1 ซม. หรือมากกว่า ที่ความลึก 50 ซม. และรอยแตกนี้จะคงอยู่นาน จะพบรอยไถและหน้าดินมีมวลก้อนกลมของปูนสะสมอยู่ทั่วไป การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ เป็นดินเหนียวจัด โครงสร้างของดินไม่ดี เมื่อแห้งจะแข็งมากแต่พอเปียกน้ำจะแฉะ การเกษตรกรรมทำได้ลำบาก

ชุดดิน เลย (Lo)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกลับมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินแกรนิต ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวที่มีทรายปน สีน้ำตาลปนแดง น้ำตาลปนแดงเข้มและแดงในตอนล่าง อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง จะพบอนุภาคพวกควอตซ์ที่เป็นก้อนเหลี่ยมตลอดทุกชั้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ พืชอาจขาดแคลนน้ำถ้าฝนทิ้งช่วง

ชุดดิน ลำสนธิ (Ls)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกลับมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนเทาเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม มีจุดประสีแดงและสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) และตอนล่างเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีแดงปนเหลืองและสีแดง และพบก้อนปูนหุติภูมิปะปน ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) การระบายน้ำดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ ดินตอนบนมักแน่นทึบ รากขนไชได้ยาก

ชุดดิน มวกเหล็ก (Ml)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินตื้นถึงชั้นเศษหินหนาแน่นและ/หรือ หินต้นกำเนิด ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อละเอียดหรือหินในกลุ่มและหินที่แปรสภาพ ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนเทาหรือน้ำตาลเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ดินล่าง มีสีน้ำตาลปนเหลือง น้ำตาล หรือน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ที่มีเศษหินหรือกรวดปะปนมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) จะพบหินที่กำลังสลายตัวที่ความลึกไม่เกิน 50 ซม. จากผิวดิน บางบริเวณอาจพบเศษหินลอยอยู่บนหน้าดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เป็นดินตื้น พบชั้นหินพื้น ที่ความลึกไม่เกิน 50 ซม. จากผิวดิน เป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของรากพืช

ชุดดิน แม่ริม (Mr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นก้อนกรวดและหินมนเล็กหนาแน่นตั้งแต่ภายใน 50 ซม. จากผิวดิน ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน อาจมีกรวดและหินมนเล็กปะปน สีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย มีกรวดและหินมนเล็กปะปนอยู่หนาแน่นมาก มากกว่า 35 % โดยปริมาตร สีน้ำตาลปนเหลืองถึงแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เป็นดินตื้นถึงชั้นกรวดและหินมนเล็ก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงดินจะถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน มหาสารคาม (Msk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือทราย สีน้ำตาลปนเทา ถัดลงไปเป็นทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลปนแดง จะมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายในระหว่างความลึก 50-100 ซม. และพบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือเหลืองปนแดงภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบน และเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0-7.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ ดินเป็นทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงฝนแล้ง และเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลาย

ชุดดิน นาดูน (Nad)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินตะกอนสองยุค (ทราย/เหนียว) หรือตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบที่ถูกชะมาทับถมอยู่บนหินตะกอนเนื้อละเอียด ดินบนมีเนื้อดินเป็น

ทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเหลืองถึงน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ดินล่าง เป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา และอาจมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายปนลูกรังหนาประมาณ 10-20 ซม. ส่วนที่ความลึกประมาณ 80 ซม.ลงไป เป็นชั้นดินเหนียวมีสีเทาอ่อนที่สลายตัวมาจากหินทรายแป้ง พบจุดประสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง พบศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณมาก และพบชั้นหินทรายแป้งที่กำลังผุภายในความลึก 150 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) การระบายน้ำค่อนข้างเร็วในดินบนและตีปานกลางในดินล่าง มีข้อจำกัดคือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ชุดดิน หนองบัวแดง (Nbd)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินที่เกิดจากเกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินตะกอนสองยุค (ทราย/เหนียว) หรือตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบที่ถูกชะมาทับถมอยู่บนหินตะกอนเนื้อละเอียด ดินบนมีเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล น้ำตาลอ่อน มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลแก่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 4.5-6.0) ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนปนทรายปนกรวดลูกรังมากถึงดินเหนียวปนทรายปนกรวดลูกรังมาก สีน้ำตาล มีจุดประสีแดงหรือน้ำตาลแก่ ส่วนดินล่างช่วง 50-100 ซม. จากผิวดินพบชั้นของความไม่ต่อเนื่อง เนื้อดินเป็นดินเหนียวสีเทา เทาอ่อนหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีต่างๆ และพบศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณ 5-50 % ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.0) และพบชั้นหินตะกอนพวกหินทรายแป้งที่กำลังสลายตัว ลึกมากกว่า 150 ซม. การระบายน้ำตีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เป็นดินต้นถึงชั้นกรวดลูกรัง เนื้อดินบนค่อนข้างเป็นทราย

ชุดดิน หนองบุญนา (Nbn)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำ ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาหรือน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนปนดินเหนียว สีเทาปนน้ำตาลอ่อนหรือเทาปนชมพู พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลปนแดงตลอด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบน และกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย

ชุดดิน โนนแดง (Ndg)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบ ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีเทาหรือเทาปนน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายและดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่างลึกๆ สีน้ำตาลปนเทา และเทาหรือเทาปนชมพูในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือเหลืองปนแดง ภายในความลึกก่อน 100 ซม.จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH

5.5-7.0) ในดินล่าง บางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลจากดินเค็มที่พบใกล้เคียง การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับพืชในฤดูเพาะปลูก บางพื้นที่อาจพบคราบเกลือบนผิวดิน

ชุดดิน น้ำพอง (Ng)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของ หินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือทราย สีน้ำตาลปนเทาหรือน้ำตาล ดินล่างเป็นทรายปนดินร่วน สีชมพู หรือน้ำตาลซีดมาก พบชั้นสะสมดินเหนียวที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายช่วงความลึก 100-150 ซม. สีเทาปนชมพู น้ำตาลซีด พบจุดประสีน้ำตาลแก่ เหลืองปนแดง หรือแดงปนเหลือง และอาจพบชั้นลูกรังหนาแน่นในดินชั้นล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมาก มีข้อจำกัด คือ ดินเป็นทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจน ในช่วงฝนแล้งและเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลาย

ชุดดิน หนองกุ้ง (Nkg)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาล เทาหรือน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว สีเทาปนน้ำตาลอ่อน พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลตลอด อาจพบก้อนเหล็กหรือแมงกานีสสะสมในชั้นดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและกรดปานกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (pH 6.0-8.5) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เสี่ยงต่อการขาดน้ำในฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน โนนไทย (Nt)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินทรายแป้งที่มีปูนปน มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบสูง ดินบนเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนเทาหรือน้ำตาลปนเหลือง มีจุดประสีแดงหรือแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.5-7.0) ดินล่าง เป็นดินเหนียวปนทรายแป้งถึงดินเหนียว สีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลปนแดง มีจุดประสีเทา แดงแดงปนเหลือง อาจพบก้อนสะสมของเหล็กและแมงกานีส รวมทั้งเศษหินทรายแป้งเนื้อปูนในชั้นดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) และพบชั้นหินทรายแป้งที่กำลังผุพังสลายตัวภายในความลึก 150 ซม. การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัดด้านสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ดินค่อนข้างแน่นทึบ โครงสร้างไม่เหมาะสม น้ำซึมผ่านได้ช้า อาจขาดแคลนน้ำได้ในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน ปากช่อง (Pc)

ลักษณะสมบัติของดิน ดินเหนียวจัดร่วนซุย ลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ของหินปูน หรือหินปูน ร่วมกับหินดินดาน ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลปนแดงเข้ม สีแดงเข้ม อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน พล (Pho)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก mujgdbf0kd การสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินตะกอนสองยุค (ทราย/เหนียว) หรือตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบที่ถูกชะมาทับถมอยู่บนหินตะกอนเนื้อละเอียด ดินบนเป็นดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลหรือน้ำตาลอ่อน และเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาปนชมพูหรือเทาในชั้นดินล่างลึกลงไป ช่วงเปลี่ยนแปลงเนื้อดินเป็นดินเหนียวจะพบภายในความลึก 100 ซม. อาจพบชั้นลูกรังปริมาณเล็กน้อยในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง มักพบจุดประสีแดงและสีลาแลงอ่อน (plinthite) ในชั้นดินล่าง และพบชั้นหินผุ หินพื้นพวกหินทรายแป้ง ช่วงความลึก 100-150 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบน และเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน พิมาย (Pm)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนมีสีเทาเข้มหรือน้ำตาลปนเทาเข้ม ดินล่างมีสีเทาหรือเทาอ่อน พบจุดประสีน้ำตาลแก่ น้ำตาลปนเหลือง น้ำตาลปนแดง หรือแดงปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน พบรอยไถและผิวหน้าที่ถูกกดตันชัดเจน อาจพบก้อนเหล็กหรือแมงกานีสสะสมปะปนอยู่ในดินชั้นล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ตลอดชั้นดิน ฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหงกว้างและลึก การระบายน้ำเลว มีข้อจำกัด คือ พืชปลูกมีโอกาสได้รับความเสียหายจากน้ำท่วมขังอย่างฉับพลันในช่วงที่มีน้ำหลาก

ชุดดิน โพนงาม (Png)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกปานกลางถึงลึกที่พบชั้นหินพื้นในช่วงความลึก 100-150 ซม. จากผิวดิน ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนพวกทรายเนื้อละเอียดหรือหินในกลุ่ม และมีหินดินดาน หินฟิลไลต์เป็นหินพื้น ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน สีน้ำตาลเข้ม น้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนแดง แดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) และพบลูกรังที่เป็นพวกเหล็กเคลือบเศษหิน (pseudo-laterite) และชั้นหินพื้นระหว่างความลึก 100-150 ซม. การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ชุดดิน ภูสะนา (Ps)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกปานกลางถึงชั้นกรวดเหลี่ยมของแร่ควอตซ์หนาแน่นมากภายในความลึก 50 ซม. จากผิวดิน ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินแกรนิต ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีนํ้าตาลเข้มหรือสีนํ้าตาลปนเทาเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดเหลี่ยมมาก สีนํ้าตาลแก่หรือสีแดงปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5) ปริมาณและขนาดของควอตซ์เหลี่ยมจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึก พบชั้นหินแกรนิตที่กำลังผุพังสลายตัวมีสีแดง สีขาว และสีเหลืองปะปนกัน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ ดินมีกรวดเหลี่ยมปะปน รากพืชซอนไชได้ยาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ดินจะถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน ประทาย (Pt)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินเค็มลึก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายสีนํ้าตาลหรือนํ้าตาลอ่อน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ส่วนดินล่างที่เป็นชั้นสะสมเกลือ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย สีเทาปนชมพู เทาอ่อนหรือนํ้าตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นด่างเล็กน้อยถึงด่างจัด (pH 7.5-8.5) อาจพบชั้นไม่ต่อเนื่องทางธรณีที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ที่จะมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน พบจุดประสีนํ้าตาลแก่ นํ้าตาลปนเหลือง หรือเหลืองปนนํ้าตาลตลอดชั้นดินในฤดูแล้งพบคราบเกลือบริเวณผิวดิน การระบายน้ำเลว มีข้อจำกัด คือ เป็นดินเค็มด่าง มีเกลือโซเดียมสูงซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีโครงสร้างไม่เหมาะสม

ชุดดิน ปักธงชัย (Ptc)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาล นํ้าตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาล นํ้าตาลปนเหลือง นํ้าตาลปนแดง หรือแดงปนเหลือง อาจพบจุดประสีนํ้าตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดงปริมาณเล็กน้อย ภายในความลึก 100 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ดินอาจถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน พระทองคำ (Ptk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาลเข้มหรือนํ้าตาล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาลหรือนํ้าตาลอ่อน พบจุดประสีนํ้าตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดงในช่วงความลึก 75-100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) การระบายน้ำดีปานกลาง มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำหากฝนทิ้งช่วง พื้นที่ที่มีความลาดชันเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน ภูพาน (Pu)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทาง ไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร หินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดิน ร่วนปนทราย สีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลือง น้ำตาลปนแดง หรือแดงปนเหลือง อาจพบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือเหลือง ปนแดงปริมาณเล็กน้อย อาจพบลูกรังปริมาณเล็กน้อยร่วมกับเศษหินทรายในหน้าตัดดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึง กรดเล็กน้อย(pH 5.0-6.5) ในดินบน และกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง มักพบก้อนหินทรายลอย อยู่บนผิวดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ ควรมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ และจัดระบบการปลูกพืชที่ เหมาะสม ปรับปรุงบำรุงดินอยู่เสมอโดยเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น

ชุดดิน ร้อยเอ็ด (Re)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบชะมาทับถมบนพื้นผิวของการ กล่ยมผิวดิน ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดิน ร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนปนทราย อาจพบชั้นดินร่วน ปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีเทาปนน้ำตาลอ่อน หรือเทาปนชมพู พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลปนแดงตลอด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรด เล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง การระบายน้ำ ค่อนข้างเลวถึงเลว มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ เสี่ยงต่อการขาดน้ำใน ฤดู หนาว

ชุดดิน สีคิ้ว (Si)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ น้อยกว่า 1 กิโลเมตร หินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทรายที่มีปูนปน (calcareous sandstone) ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สี น้ำตาลหรือน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลปนแดงหรือแดงเข้ม อาจพบชั้นหิน ทรายที่มีปูนปน ในระดับความลึกมากกว่า 1.5 เมตร ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย(pH 5.5-6.5) ในดิน บน และกรดจัดถึงด่างปานกลาง (pH 5.5-8.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย

ชุดดิน ศรีขรรค์ (Sik)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดิน ร่วนเหนียว สีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาล มีจุดประสีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลปนเหลือง ดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วน เหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาอ่อน น้ำตาลปนเทาจางหรือเทา มีจุดประสีต่างๆ และพบ ศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร ภายในความลึก 150 ซม. อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีส สะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และเป็นกรดปานกลางถึงเป็น

กลาง (pH 6.0-7.0) ในดินล่าง การระบายน้ำ ค่อนข้างเลว มีข้อจำกัด คือเนื้อดินค่อนข้างแน่นทึบ ข้าวไม่แตกกอ

ชุดดิน สูงเนิน (Sn)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีกรมมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนพวกหินทรายแป้งที่มีปูนปน (calcareous siltstone) ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วน สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินร่วนเหนียวและเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้งในดินล่างสีคล้ำไป สีน้ำตาลปนแดงหรือแดงปนเหลือง อาจพบจุดประสีเทาในดินล่างลึกๆ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบนและเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.5) ในดินล่าง มักพบผงปูนอ่อนปะปนในหน้าตัดดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน สบปราบ (So)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นหินพื้นภายใน 50 ซม. ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินบะซอลต์ ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวถึงดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาลเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (pH 6.0-7.5) การระบายน้ำดี ข้อจำกัด คือ ดินตื้น บางบริเวณมีก้อนหินปะปนอยู่ในเนื้อดินและอยู่บนผิวหน้าดิน

ชุดดิน ศรีสะเกษ (Ssk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีกรมมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินภูเขาไฟ พวกหินบะซอลต์ ดินบนเป็นดินร่วนปนกรวด ลูกรัง ถึงดินร่วนเหนียวปนกรวด ลูกรัง สีน้ำตาลเข้ม หรือน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนกรวด ลูกรัง ถึงดินเหนียวปนกรวด ลูกรัง สีแดง สีแดงปนน้ำตาล อาจพบเศษหินผุปะปนในเนื้อดินภายในความลึก 150 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ตลอดชั้นดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินปนกรวด ลูกรัง ทำให้ขัดขวางต่อการเจริญเติบโตของพืช และเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำหากฝนทิ้งช่วง รวมทั้งพื้นที่มีความลาดชันเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน สีทน (St)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีกรมมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาของวัสดุที่พัฒนามาจากหินเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล ดินล่างมีลักษณะไม่แน่นอน เป็นพวกดินเหนียวหรือพวกทรายและจะแสดงลักษณะการเรียงชั้นสลับกันแล้วแต่ชนิดของวัตถุต้นกำเนิดที่น้ำพามาทับถมใน

แต่ละปี มีสีเทา เทาปนชมพูหรือน้ำตาลปนเทา จะพบจุดประสีแดงปนเหลือง น้ำตาลหรือเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ตลอดชั้นดิน การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการเสียหายจากน้ำท่วม

ชุดดิน สุรินทร์ (Su)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินตื้นถึงชั้นกรวดลูกรัง ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้าย มาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินภูเขาไฟ พวกหินบะซอลต์ ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนกรวด สีน้ำตาลเข้มหรือแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนกรวดหรือดินเหนียวปนกรวด สีน้ำตาลปนแดงเข้มหรือแดง เข้มและพบชั้นหินผุของวัตถุต้นกำเนิดดินช่วง 50-100 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ตลอดหน้าตัดดิน การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เป็นดินตื้น มีก้อนกรวดลูกรังมาก ทำให้ขัดขวางการเจริญเติบโต ของพืช เสี่ยงต่อการ ขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน สตึก (Suk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาเข้มหรือน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่าง สีน้ำตาลแก่น้ำตาลปนเหลืองหรือเหลืองปนแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบน และกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน รัชบุรี (Th)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา เนื้อดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย แปร สีน้ำตาล น้ำตาลอ่อน หรือน้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแปร สีน้ำตาลอ่อน เทาปนชมพู หรือเทา และพบศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณ 5-50 % ภายในความลึก 150 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) มีจุดประสีน้ำตาลแก่ แดงหรือแดงปนเหลือง ตลอดชั้นดิน การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีอินทรีย์วัตถุต่ำ มักมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน

ชุดดิน ตากลิ (Tk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินตื้นถึงชั้นปูนมาร์ลที่พบภายใน 50 ซม.จากผิวดิน ที่เกิดจากตะกอนน้ำพาทับถม อยู่บนลานตะพักปูนมาร์ล ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแปร ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.0-8.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแปร และมีเม็ดปูนปน มีสีขาวของผงปูนทุยภูมิหรือปูนมาร์ล ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.5) ใต้ชั้นดินลงไปเป็นชั้นปูนมาร์ลสีขาวทั้งที่เป็นเม็ดและที่เชื่อมต่อกันหนาแน่น การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ ดินตื้นถึงชั้นปูนมาร์ล ซึ่ง

จะมีผลกระทบทางกายภาพและทางเคมีต่อพืช ดินอาจขาดสมดุลธาตุอาหารโดยเฉพาะการขาดฟอสฟอรัสและจุลธาตุบางชนิด

ชุดดิน เทพารักษ์ (Tpr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีปานกลาง ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อทรายแป้งที่มีปูนปนที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบสูง มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.5-7.0) ส่วนดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) อาจพบเม็ดปูนหรือผงปูนในดินชั้นล่าง ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินหรือชั้นหินพื้นพบระหว่างความลึก 50-100 ซม.จากผิวดิน และมีสีต่างๆ ของหินทรายแป้งที่กำลังสลายตัว ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0)การระบายน้ำดี มีข้อจำกัดด้านสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ดินค่อนข้างแน่นทึบ โครงสร้างไม่เหมาะสม อาจขาดแคลนน้ำได้ในช่วงฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน พุ่งสัมฤทธิ์ (Tsr)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีมาก เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าดิน ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา มีสีเทาเข้มหรือน้ำตาลปนเทาเข้มในดินบน ดินล่างมีสีเทาหรือเทาอ่อน พบจุดประสีน้ำตาลแก่ น้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลปนแดงตลอดหน้าตัดดิน มีชั้นดินตอนล่างที่สะสมเกลือ มีโครงสร้างเป็นแบบแท่งหว่าดัด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบน และกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ในดินล่าง ฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหกว้างและลึก ส่วนใหญ่มีคราบเกลือบริเวณผิวดิน การระบายน้ำเลว มีข้อจำกัด คือ เป็นดินเค็มต่าง ดินเหนียวจัด หน้าแล้งดินแน่นทึบ แตกกว้างและลึก

ชุดดิน ทำตุม (Tt)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสี ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน สีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว สีเทาปนชมพูหรือเทา มีจุดประสีแดง แดงปนเหลือง หรือน้ำตาลตลอดชั้นดิน และมีศิลาแลงอ่อน (plinthite) ปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร พบชั้นดินที่มีเนื้อดินเป็นทรายหรือดินร่วนปนทราย ระหว่างความลึก 100-150 ซม. ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ในดินล่าง การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว มีข้อจำกัดด้านความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อาจเกิดการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้งได้

ชุดดิน วัฒนา (Wa)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีมาก ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา ที่ส่วนใหญ่มาจากหินภูเขาไฟ ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีดำหรือเทาเข้มมากมีจุดประสีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรด

เล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาหรือเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือสีน้ำตาลเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-8.0) และจะพบรอยถูไถเป็นมัน ในตอนล่างจะพบชั้นก้อนปูนหุ้มห่อมีเสี้ยนหนาแน่น ในฤดูแล้งหรือฝนทิ้งช่วงนานๆ ดินจะแห้งและแข็ง แตกกระแหงเป็นร่องลึก การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินเหนียวจัด ยากต่อการไถพรวน และแตกกระแหง ทำให้รากพืชเสียหาย

ชุดดิน วังไผ่ (Wi)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีมาก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนพวกหินทรายแป้งร่วมกับหินดินดาน ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลเข้มถึงน้ำตาลปนแดงเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างตอนบน เป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีแดงปนเหลืองถึงแดง ส่วนตอนล่างเป็นดินเหนียว สีแดง มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองและน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินพบลึกมากกว่า 150 ซม. การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีข้อจำกัด คือ พื้นที่ที่มีความลาดชัน หน้าดินเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน วังน้ำเขียว (Wk)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินต้นถึงชั้นกรวด เศษหิน ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินทราย มีเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนเทา ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ส่วนดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายปนเศษหินและกรวดปริมาณมาก สีน้ำตาลแก่หรือแดงปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) และพบชั้นหินพื้นภายในความลึก 50 ซม. และพบเศษหิน ก้อนหินลอยหน้าบนผิวดินอยู่ทั่วไป การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เป็นดินต้นถึงชั้นเศษหินหนาแน่น พื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ดินจะถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน วาริน (Wn)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินสีที่ เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายใน ตอนล่าง สีแดงปนเหลืองหรือเหลืองปนแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ

ชุดดิน ว่างสะพุง (Ws)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกปานกลาง ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อละเอียดหรือหินในกลุ่มและหินที่แปรสภาพ ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีนํ้าตาลเข้มถึงนํ้าตาลปนเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างตอนบนเป็นดินเหนียว สีแดงปนเหลืองถึงแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ตอนล่างเป็นดินเหนียวมีเศษหินปะปนหนาแน่น และส่วนใหญ่พบชั้นหินพื้นภายในความลึก 100 ซม. สีนํ้าตาลปนแดงหรือนํ้าตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เป็นดินลึกปานกลาง รากของพืชที่มีระบบรากลึกอาจถูกจำกัดการเจริญเติบโต สภาพพื้นที่มีความลาดชันสูง ดินเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน ยโสธร (Yt)

ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึก ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ และ/หรือ เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไม่ไกลนักของหินตะกอนเนื้อหยาบพวกหินทราย ดินบนเป็นทรายปนดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย สีนํ้าตาลเข้มหรือนํ้าตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีแดงปนเหลืองหรือแดง ลีกลงไปเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีแดงหรือแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบน และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดี มีข้อจำกัด คือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

1) เก็บทำการประมาณค่าในช่วง Interpolation

รวบรวมและตรวจสอบข้อมูลผลวิเคราะห์ดินแบบที่มีพิกัด ปีที่เก็บ ปีที่วิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ดิน โดยแยกข้อมูลตามขอบเขตชุดดิน ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เนื้อดิน (อนุภาคดินทราย อนุภาคดินทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว) และ ความหนาแน่นรวมของดิน

2) เก็บเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อผลผลิตอ้อย โดยใช้ PCA

รวบรวมข้อมูลคุณลักษณะดินและรวบรวมข้อมูลผลผลิตอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และเก็บตัวอย่างดินเพิ่มเติมและวิเคราะห์หาค่าข้อมูลคุณลักษณะดินเพิ่มเติม และวิเคราะห์เฉพาะคุณลักษณะที่มีผลต่อการผลิตอ้อย ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และอินทรีย์วัตถุ

3.2 การประมาณค่าในช่วง Interpolation ปีที่ 1

1) รวบรวมและตรวจสอบข้อมูลผลวิเคราะห์ดินแบบที่มีพิกัด ปีที่เก็บ ปีที่วิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ดิน โดยแยกข้อมูลตามขอบเขตชุดดิน

2) วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลคุณลักษณะดินที่ชัดเจนได้ข้อมูลคุณลักษณะดินใดที่มีวิธีการแปลงค่าข้อมูลที่มี 2 แบบคือ (1) แบบลอการิธึม (log-normal transformation) (2) แบบถอดรากที่สอง (square root transformation) ซึ่งค่าข้อมูลที่ถูกแปลงค่าจะแปลงกลับเป็นค่าปกติเมื่อแสดงผล

3) ประมวลผลข้อมูลหาค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลเชิงคุณลักษณะเช่น ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation, CV)

4) วิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่แปรผันตามระยะทาง โดยใช้วิธีสถิติ (วิธีประมาณค่าเชิงพื้นที่; spatial interpolation) ได้แก่วิธี Kriging, IDW, Natural Neighbor, และ co-kriging หา รูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากค่าความแปรปรวน (Variance) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D) ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Error) ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation: CV) และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean Square) น้อยที่สุด

5) สร้างแผนที่ข้อมูลคุณลักษณะดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำและธาตุอาหาร

3.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณลักษณะดินที่มีผลต่อผลผลิตอ้อย โดยใช้ PCA

คัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการผลิตอ้อยและเขียนสมการปัจจัยดังกล่าวจากค่าข้อมูลคุณลักษณะดินหลายๆอย่างโดยใช้เทคนิค PCA

สัญญาเลขที่ RDG 62T0094

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและ
จำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล”

โดย

นายอรรถะ พินิจสกุลดิษฐ์

นายกิตติ วงษ์แสง

นางสาวสิริเกตุ ชุ่มเชื้อ

เมษายน 2563

“งานวิจัยยังไม่สมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง”

สารบัญ

หน้า

บทสรุปผู้บริหาร	
บทคัดย่อ (ไทย-อังกฤษ)	
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1-2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 ลักษณะทั่วไปของอ้อย	2-1
2.1.1 สภาพดินฟ้าอากาศ	2-1
2.1.2 การเลือกพื้นที่ปลูกอ้อย	2-1
2.1.3 การเตรียมดิน	2-1
2.1.4 ถูปลูกและวิธีการปลูก	2-1
2.1.5 วิธีการปลูกอ้อย	2-2
2.1.6 การเลือกใช้พันธุ์อ้อยให้เหมาะสมกับพื้นที่	2-2
2.1.7 การใส่ปุ๋ย	2-4
2.1.8 การเก็บเกี่ยว	2-4
2.1.9 วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	2-5
2.2 ทรัพยากรดินในพื้นที่	2-5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	3-1
3.1.1 การเก็บข้อมูลพื้นฐาน	3-1
3.1.2 การพัฒนา algorithm โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน	3-1
3.1.3 การหาปริมาณปุ๋ยที่อ้อยต้องการในแต่ละจุด	3-3
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	4-1
ผลการดำเนินงาน	4-1
ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยผสมใช้สำหรับโรงงานอ้อย	4-5
ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเชิงบรรยาย	4-7
ทดสอบนำลำดับขั้นตอนที่แน่นอนมาใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วย excel และภาษา javascript	4-10
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	5-1
บรรณานุกรม	บ 1
ภาคผนวก	ผ 1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การแปลผลจากค่าวิเคราะห์ดินเป็นความต้องการธาตุอาหารของ อ้อย	3-3
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่ระหว่างกลุ่มชุดดินและสภาพการใช้ที่ดินของ พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง	4-2
ตารางที่ 3 ค่าวิเคราะห์ดินเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าวิเคราะห์ดินประจำจังหวัด จากกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อย	4-2
ตารางที่ 4 แนวโน้มค่าวิเคราะห์ดินของข้อมูลดินจากฐานข้อมูลและภาคสนาม	4-2
ตารางที่ 5 ปัญหาด้านการเกษตรของครัวเรือนเกษตรกร ปีการผลิต 2562/63	4-3
ตารางที่ 6 แนวคิดในการเพิ่มผลผลิตของครัวเรือนเกษตรกร ปีการผลิต 2562/63	4-3
ตารางที่ 7 ความต้องการธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกอ้อยรายจังหวัด ในพื้นที่ที่ศึกษา	4-3
ตารางที่ 8 ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืชเศรษฐกิจอ้อยโรงงานปีที่ 1 บริเวณพื้นที่กลุ่มเนื้อดินร่วนปนทราย จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ปีการผลิต 2562/63	4-12
ตารางที่ 9 ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีจากข้อมูลย้อนหลังปี 2560/2561 ของ โรงงานน้ำตาล ครบุรี	4-13
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการเลือกใช้ปุ๋ยในวิธีต่าง ๆ จากข้อมูลของพื้นที่ โรงงานน้ำตาล	4-14

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 4.1	จุดเก็บดินและจุดเก็บข้อมูลด้านเศรษฐกิจของอ้อยในพื้นที่ที่ศึกษา	15
ภาพที่ 4.2	ภาพรวมของลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อการประเมินสูตรปุ๋ย	20
ภาพที่ 4.3	ตัวโปรแกรมเบื้องต้นซึ่งพัฒนาเพื่อยืนยันการทำงานของลำดับขั้นตอนที่	26

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการการหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล เพื่อสร้างกระบวนการ หรือแนวทางการหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม สำหรับการผสมปุ๋ย เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรที่ปลูกอ้อยโรงงาน ซึ่งโรงงานจะผลิตปุ๋ยแจกจ่ายให้เกษตรกร โดยปุ๋ยที่ผลิตต้องมีน้อย สูตรเพื่อง่ายในการผสม และสูตรเหล่านั้นต้องมีค่าใกล้เคียงกับธาตุอาหารที่อ้อยบริเวณนั้นต้องการ ทำให้สามารถควบคุมการใส่ปุ๋ยให้ถูกต้องกับเกษตรกรที่ปลูกอ้อยในคราวเดียว โดยรวบรวมข้อมูลที่ศึกษา ในพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ จากข้อมูลจุดวิเคราะห์ดินของกรมพัฒนาที่ดินในกลุ่มชุด ดินที่ปลูกอ้อยที่มีพื้นที่มากกว่า 50,000 ไร่ รวมทั้งหมด 8,988 จุด ทั้งจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ 4 จังหวัด 100 จุด ทั้งดินบนและดินล่าง รวมถึงข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลที่ให้ความร่วมมือ พบว่า ดินที่ทำการปลูกอ้อย มากกว่า 75% อยู่บนพื้นที่ดอน ลักษณะดินที่พบมากที่สุดเป็นดินปนทราย บางส่วนเป็นดินสีแดง และบางส่วนเป็นดินที่มีความลึกปานกลาง จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่า ดินจังหวัดชัยภูมิมีค่าไนโตรเจนต่ำ จังหวัดที่เหลือนีไนโตรเจนต่ำมาก ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม อยู่ระดับต่ำและต่ำมาก ทำให้สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อยแต่ละจังหวัด ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมคือ 18-9-18 จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และสุรินทร์ คือ 24-9-18 ซึ่งปริมาณปุ๋ย ใช้ในอ้อยปลูก คือ 70 กิโลกรัมต่อไร่ และอ้อยต่อคือ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะภูมิอากาศ เป็นสำคัญ ในปีที่มีสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม เช่นปี 62/63 การใส่ปุ๋ยไม่แสดงความแตกต่างด้านการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม เมื่อนำข้อมูลโรงงานอ้อยจังหวัดบุรีรัมย์ มาทดสอบลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อการหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม สำหรับโรงงาน พบว่า สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมี 2 สูตร ได้แก่ 17-9-18 และ 17-6-17 ประมาณ 100 – 150 กิโลกรัมต่อไร่ รวมถึงบางแปลงต้องมีการเพิ่มยูเรีย อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลของโรงงานอ้อยพบว่า เกษตรกร นิยมใช้ปุ๋ยสูตร 21-7-18 ในปริมาณ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ธาตุอาหาร ที่ได้ใกล้เคียงกับสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับการ ปลูกอ้อยแต่ละจังหวัด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบจะพบว่า การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับการสร้างสูตร ปุ๋ยให้กับโรงงานอ้อยใช้ส่งเสริม จะได้ธาตุอาหารใกล้เคียงกับที่พืชต้องการมากกว่า และไม่ขาดธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ง่ายต่อการผสมปุ๋ยเพื่อใช้งานในปริมาณมาก และง่ายต่อการจัดการ พร้อมคำนวณ ปริมาณปุ๋ยให้แปลงเกษตรพร้อมกันเป็นจำนวนมากได้ ทำให้ประหยัดเวลา และควบคุมค่าใช้จ่ายได้ ทั้งยังถูก หลักทางวิชาการอีกด้วย

บทคัดย่อ

โครงการการหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมและจำเพาะกับพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล ทำขึ้นเพื่อสร้างกระบวนการ หรือแนวทาง เพื่อการหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม สำหรับการผสมปุ๋ยเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรที่ปลูกอ้อยโรงงาน ซึ่งโรงงานจะผลิตปุ๋ยแจกจ่ายให้ลูกค้าเอง โดยต้องมีน้อยสูตรเพื่อง่ายในการผสม และสูตรเหล่านั้นต้องมีค่าใกล้เคียงกับธาตุอาหารที่อ้อยบริเวณนั้นต้องการ เมื่อสามารถคำนวณสูตรปุ๋ยเหล่านี้ได้ ทำให้สามารถควบคุมการใส่ปุ๋ยให้ถูกต้องกับเกษตรกรที่ปลูกอ้อยในคราวเดียว โดยรวบรวมรายละเอียดที่ศึกษาในพื้นที่ 4 จังหวัด อันได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ จากข้อมูลวิเคราะห์ดินของกรมพัฒนาที่ดินในกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อยในพื้นที่รวมมากกว่า 50,000 ไร่ รวมทั้งสิ้น 8988 จุด ทั้งจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ 4 จังหวัด 100 จุด ดินบน และดินล่าง รวมถึงข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลที่ให้ความร่วมมือ โดยพบว่าอ้อยปลูกกันอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 40, 55 และ 31 คิดเป็น 46% โดยดินที่ทำการปลูกอ้อยมากกว่า 75% อยู่บนที่ดอน และดินที่จะพบมากที่สุดเป็นดินปนทราย บางส่วนเป็นดินเหนียวบนที่ดอน และบางส่วนเป็นดินปนกรวดที่มีความลึกปานกลาง จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่า ดินโดยเฉลี่ยมีค่าไนโตรเจนต่ำกว่า 0.05% หรือ มี %OM 0.69-1.23 ส่วนฟอสฟอรัสจะอยู่ที่ 9.1-25.6 มก./กก. และโพแทสเซียมจะอยู่ที่ 14.2-79.4 มก./กก. ทำให้สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อยแต่ละจังหวัด ได้เรียงดังต่อไปนี้ ชัยภูมิ ได้แก่ 18-9-18 จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และสุรินทร์ คือ 24-9-18 ซึ่งปริมาณที่ใช้ในอ้อยปลูกคือ 70 กิโลกรัมต่อไร่ และอ้อยต่อคือ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นกับภูมิอากาศด้วย ในปีที่มีภูมิอากาศไม่เป็นใจ เช่นปี 62/63 การใส่ปุ๋ยไม่เห็นผลให้กับการเจริญเติบโตของอ้อยได้อย่างชัดเจน จากนั้น นำข้อมูลโรงงานอ้อยจังหวัดบุรีรัมย์ นำมาทดสอบกระบวนการหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับโรงงาน ซึ่งมีขั้นตอนหลักคือ แปลผลค่าวิเคราะห์ดิน จัดกลุ่มและเลือกความถี่สูงสุดที่สุทธภายใต้เงื่อนไข ก่อนจะนำมาหาค่าเฉลี่ยประจำกลุ่ม ผ่านการทำงานจริงด้วยการใช้งานโปรแกรม excel และภาษา JavaScript เพื่อการใช้งานลำดับขั้นตอนทำงานผ่าน โปรแกรมสำหรับใช้งานอินเทอร์เน็ตที่สนับสนุนการทำงาน โดยผลที่ได้ พบว่า สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมมี 2 สูตร ได้แก่ 17-9-18 และ 17-6-17 ประมาณ 100 – 150 กิโลกรัมต่อไร่ รวมถึงบางแปลงต้องมีการเพิ่มยูเรีย ประมาณ 13 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ดี เมื่อคำนวณกลับเป็นธาตุอาหาร ก็ยังถือว่าอยู่ในแนวทางของปุ๋ยประจำจังหวัดที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ และจากข้อมูลการศึกษาและข้อมูลของโรงงานอ้อยพบว่า เกษตรกรนิยมใช้ปุ๋ยสูตร 21-7-18 ในปริมาณ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพบว่า การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับการสร้างสูตรปุ๋ยให้กับโรงงานอ้อยใช้ส่งเสริม จะได้ธาตุอาหารใกล้เคียงกับที่พืชต้องการมากกว่า และไม่ขาดธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ง่ายต่อการผสมปุ๋ยเพื่อใช้งานในปริมาณมาก และง่ายต่อการจัดการ พร้อมคำนวณปริมาณปุ๋ยให้แปลงเกษตรกรพร้อมกันเป็นจำนวนมากได้ ทำให้ประหยัดเวลา และควบคุมค่าใช้จ่ายได้ ทั้งยังถูกหลักทางวิชาการอีกด้วย

Abstract

Mathematical algorithm for obtaining fertilizer formulations suitable and specific to sugarcane plantation areas of sugar-mill. It was created to create processes or guidelines for finding the right fertilizer formula for sugarcane farmers who receive fertilizer from the owner of the sugar-mill and plant the sugarcane as ordered. Therefore, the fertilizer formula should be easy to blend and correct according to the technical principles. So, Project Studied in Nakhon Ratchasima, Chaiyaphum, Buriram and Surin provinces. By Using the soil data from the Land Development Department and field data. The field soil data collected from Soil Group is planted sugarcane total area of more than 50,000 rai, a total of 8988 points. Field data from 4 provinces, a total of 100 points. And the sugar-mill farmer data. Found that sugarcane is cultivated a lot in soil group 40, 55 and 31, representing 46%. Over 75% of the area is in upland. The most common soil is sandy soil, clayey upland soil and moderately depth soil. Chemical analysis results are Nitrogen, Organic Matter, Phosphorus and Potassium Found that Nitrogen is lower than 0.05%, %OM 0.69-1.23, Phosphorus is 9.1-25.6 ppm, Potassium is 14.2-79.4 ppm. Resulting in the fertilizer formula for sugarcane of Chaiyaphum is 18-9-18 and Others is 24-9-18. Quantity used for sugarcane planting are 70 kg/rai and sugarcane stumping are 100 kg/rai. Depending on the climate as well likes year 2019/2020, the weather is bad. Fertilizer is not effective. By the way. When using data from sugar-mill to process algorithm. Worked through Excel and controlled using by the JavaScript. Found that the specific fertilizer formula of sugar-mill is 17-9-18 and 17-6-17 approximately 100-150 kg/rai and some fields want to fill urea 13 kg/rai. So, it is close to the Fertilizer formula of province. Further studies have shown that the fertilizer that farmers use is 21-7-18, 50 kg/rai. When compared with province's formula and calculated formula, using algorithm will get nutrients that are closer to what plants need than other way. Not lacking in phosphorus and potassium, resulting in easy to mix fertilizer for use in large scale and easy to handle it. Able to calculate the amount of fertilizer for many agricultural plots at the same time Resulting in saving time and control costs also being correct according to academic principles.

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การปฏิบัติโดยทั่วไปเพื่อจัดหาอ้อยเข้าหีบของโรงงานน้ำตาลแต่ละแห่งนั้น ทำได้โดยโรงงานน้ำตาลจัดหาเกษตรกรที่ตกลงจะปลูกอ้อยและนำอ้อยที่ตนผลิตได้ส่งมอบแก่โรงงานน้ำตาล เรียกเกษตรกรว่าชาวไร่ ซึ่งจะรับการส่งเสริมการปลูกอ้อยจากโรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำตาลตกลงจะจัดสรรปัจจัยด้านการผลิตอ้อยให้แก่เกษตรกรที่ได้รับการส่งเสริม โดยปัจจัยการผลิตอาจอยู่ในรูปของเงินทุน เพื่อให้เกษตรกรที่ได้รับการส่งเสริมนำไปจัดสรรและใช้จ่ายเองสำหรับการปลูก หรือปัจจัยการผลิตที่โรงงานน้ำตาลจัดหาให้แก่เกษตรกรโดยตรง ได้แก่ ปุ๋ย ยาป้องกันกำจัดศัตรูพืช ท่อนพันธุ์อ้อย และเครื่องจักรกลสำหรับใช้ในขั้นตอนการปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย เป็นต้น

เกษตรกรที่ได้รับการส่งเสริมตระหนักดีว่าถ้าปลูกอ้อย และต้องการให้ได้ผลผลิตที่ดีคุ้มค่าต่อการลงทุนปลูกนั้น แปลงอ้อยต้องใส่ปุ๋ยในปริมาณมาก แต่ปุ๋ยที่จะใส่นั้น มักจะเป็นปุ๋ยที่ได้รับมาจากโรงงานน้ำตาลเท่านั้น มีน้อยรายนักที่จะซื้อปุ๋ยมาใส่เอง เมื่อเป็นเช่นนี้โรงงานน้ำตาลจึงจำเป็นต้องจัดหาปุ๋ยที่มีสูตรที่เหมาะสมสำหรับแปลงอ้อยที่ได้รับการส่งเสริมทุกแปลง นอกเหนือจากนั้น ปุ๋ยที่ส่งเสริมต้องสมดุลกันทั้งยังส่งผลให้อ้อยเจริญเติบโตให้ผลผลิตมีคุณภาพในปริมาณมาก และต้องลงทุนในการผสมปุ๋ยในราคาที่ถูกที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนให้โรงงาน ปุ๋ยของแต่ละโรงงานจำเป็นต้องตอบสนองครอบคลุมธาตุอาหารในแปลงเกษตรของชาวไร่ ทั้งยังต้องมีน้อยสูตร เพื่อง่ายต่อการผสม อย่งไรก็ดี สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน จะอ้างอิงสภาพธาตุอาหารในดินในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจวิเคราะห์ดิน และเมื่อระยะเวลาผ่านไปก็จำเป็นต้องมีการตรวจวิเคราะห์ดินใหม่เรื่อย ๆ เพราะเมื่อมีการใช้งานพื้นที่ไปสักระยะ ธาตุอาหารในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้ต้องเปลี่ยนปุ๋ยสูตรใหม่ ดังนั้น การที่ทราบถึงวิธีการหรือกระบวนการซึ่งเป็นขั้นตอนที่แน่นอนในการคำนวณหาสูตรปุ๋ยเพื่อการผสมใช้กับแปลงเกษตรของชาวไร่ ทำให้โรงงานสามารถนำไปปฏิบัติได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนสูตรปุ๋ยใหม่ จะทำให้โรงงานน้ำตาลมีต้นทุนที่ต่ำในการจัดหาปุ๋ยเพื่อให้แก่ชาวไร่เพื่อส่งเสริมต่อไป

ซึ่งการใช้แนวคิด การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินนั้น จะใช้ข้อมูลคุณลักษณะดินของแปลงที่ใช้ปลูกอ้อยร่วมกับสภาพแวดล้อมที่แปลงปลูกอ้อยนั้นตั้งอยู่ รวมถึงสมบัติทางเคมีของดินมาใช้ประเมินธาตุอาหารที่ต้องการของพืช ทำให้พืชได้รับปุ๋ยเท่าที่จำเป็น ลดการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างฟุ่มเฟือย โดยการใช้แนวคิดนี้สำหรับแปลงอ้อยที่ได้รับการส่งเสริมจากโรงงานน้ำตาล ส่งผลให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ สามารถลดต้นทุนให้แก่โรงงานอ้อย และเกษตรกรสามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างเหมาะสม แต่ก็เกิดความยุ่งยากในการหาสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอ้อย เนื่องจากปริมาณการใช้ธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมีความหลากหลาย ในกรณีนี้ จึงมีแนวคิดเพื่อหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอน (algorithm) สำหรับจัดการหรือประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ของการใช้ธาตุอาหารหลักจากแปลงเกษตรในพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล จัดทำกระบวนการและทดสอบสร้างเป็นสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับสภาพดินและสภาพแวดล้อมของแปลงปลูกอ้อยที่รับการส่งเสริม

โดยมีเป้าหมายให้สูตรปุ๋ยที่ได้จากลำดับขั้นตอนที่แน่นอนนี้ จะต้องทำให้มีการสูญเสียธาตุอาหารสำหรับการผลิตน้อยที่สุด ในการผลิตปุ๋ยแบบจำนวนมากได้ โดยพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูลได้แก่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อพัฒนาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนสำหรับใช้สร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่ส่งเสริมของโรงงานน้ำตาลในพื้นที่บริเวณจังหวัด นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอน (algorithm) ในการคำนวณสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาล การหาสูตรปุ๋ยจะใช้แนวคิดปุ๋ยสั่งตัดเป็นหลัก กล่าวคือเป็นการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และคำนึงถึงข้อมูลดินอย่างอื่นด้วย ในปีแรกจะรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นระดับแปลงปลูกเพื่อใช้กำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก จากข้อมูลงานวิจัย และการตรวจเอกสารต่าง ๆ ให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น รวมถึงการลงพื้นที่เพื่อรวบรวมข้อมูลแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกรที่รับการส่งเสริมจากโรงงานน้ำตาล แล้วนำมาหาวิธีการที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ย อย่างไรก็ดี ในปีแรกผลที่ได้จะเป็นลำดับขั้นตอนที่แน่นอนและเป็นโปรแกรมอย่างง่ายเพื่อทดสอบการทำงานของลำดับขั้นตอน ซึ่งเป็นการประเมินข้อมูลจากฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้วบางส่วน โดยจะดำเนินการพื้นที่นำร่องในเขตจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ เพราะเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสม ทั้งในการปฏิบัติงานและหนึ่งในเจ้าหน้าที่โครงการชุดมีสัมพันธ์อันดีกับโรงงานในพื้นที่เหล่านี้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ ลำดับขั้นตอนที่แน่นอน ที่ใช้สร้างสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่บริเวณจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของอ้อย

อ้อย นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศประมาณ 7,650,000 ไร่ และผลผลิต 10.47 ตัน/ไร่ (ข้อมูลเพาะปลูกปี 2546/2547) พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพอาศัยน้ำฝน ดินที่ใช้ปลูกอ้อยซ้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน มักมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในเกณฑ์ต่ำ นอกจากนี้หากมีการชะล้างพังทลายของดินก็จะทำให้ดินเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว

อ้อย เป็นพืชจัดอยู่ในตระกูลหญ้า มีแหล่งกำเนิดที่เกาะนิวกินีในมหาสมุทรแปซิฟิก ลักษณะภายนอกประกอบด้วยลำต้นมีข้อและปล้องชัดเจน มีใบเกิดสลับข้างกัน มีส่วนกาบใบหุ้มลำต้นไว้ โดยกาบใบและใบจะมีไขและขนอยู่ด้วย รากอ้อยเป็นระบบรากฝอยแต่แข็งแรง สามารถหยั่งลงไปดินได้ลึก ลำต้นอ้อยสามารถแตกหน่อได้จากตาของข้อล่างๆที่ชิดกัน

2.1.1 สภาพดินฟ้าอากาศ

อ้อยจัดเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและกึ่งร้อน มีปริมาณน้ำฝนและแสงแดดจัด แต่เจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส โดยมีการกระจายของฝนสม่ำเสมอ จะต้องมีความชื้นน้ำฝน 1,500 มิลลิเมตรต่อปี อ้อยเจริญเติบโตช้าในเดือนแรกๆ อ้อยที่มีอายุมากจะมีระยะเวลาเจริญเติบโตนาน ให้ผลผลิตสูง ประเทศที่ปลูกอ้อยหลายประเทศจะเก็บเกี่ยวอ้อยเมื่อมีอายุ 11-16 เดือน

อ้อยขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิดที่มีอากาศและน้ำถ่ายเทได้สะดวก เพราะต้นอ้อยขณะยังเล็กจะไม่สามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ ดินที่ใช้ปลูกจะต้องไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป และมีธาตุอาหารสมบูรณ์

2.1.2 การเลือกพื้นที่ปลูกอ้อย

การเลือกพื้นที่ปลูกอ้อย ควรเป็นที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง หรือพื้นที่ราบ มีหน้าดินลึกอย่างน้อย 20 นิ้วดินมีความอุดมสมบูรณ์ดี เป็นพื้นที่ในเขตชลประทาน การคมนาคมสะดวก และจะต้องอยู่ห่างจากโรงงานน้ำตาลไม่เกิน 50 กิโลเมตร เพราะจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งอ้อยเข้าโรงงาน

2.1.3 การเตรียมดิน

การเตรียมดินเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะอ้อยมีระบบรากยาวประมาณ 4 เมตร เมื่อปลูกแล้วสามารถรักษาไว้ได้หลายปี โดยการแตกหน่อใหม่เป็นอ้อยต่อ การเตรียมดินที่ดีควรปฏิบัติดังนี้

1. การไถ ควรไถอย่างน้อย 2 ครั้ง โดยไถในขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะ ไถลึกอย่างน้อย 20 นิ้วหรือมากกว่า จะช่วยให้รากหยั่งลึก แข็งแรง เจริญเติบโตดี สะดวกในการเก็บเกี่ยว ถ้าชั้นล่างเป็นดินดานต้องใช้ไถระเบิดดินดานก่อนการปลูก

2. การปรับระดับพื้นที่ จะช่วยป้องกันน้ำท่วมขัง คือ การไถหน้าดินมากองรวมกันแล้วปรับระดับดินให้ได้ระดับจึงค่อยเกลี่ยหน้าดินให้เสมอทั่วทั้งแปลง

การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยขาดการบำรุงรักษาเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตต่ำลงทุกปี จึงจำเป็นต้องรักษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินให้คงที่หรือเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับผลผลิตอ้อย เพราะอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญต่อการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น ในดินเหนียวทำให้ความหนาแน่นของดินต่ำลง ในดินร่วนดินทรายทำให้มีการจับตัวของดินดีขึ้น ลดการชะล้างพังทลายของดินและอินทรีย์วัตถุยังสลายตัวให้ธาตุอาหารพืชและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

2.1.4 ฤดูปลูกและวิธีการปลูก

ฤดูปลูก แบ่งเป็น 2 ฤดูคือ

1. ต้นฤดูฝน เขตชลประทาน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน
2. ปลายฤดูฝน เน้นการปลูกอ้อยข้ามแล้ง เดือนตุลาคม-ธันวาคม ในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย

2.1.5 วิธีการปลูกอ้อย

1. ยกร่องปลูกให้มีระยะระหว่างร่อง 1.0-1.5 เมตร ถ้าปลูกปลายฤดูฝนยกร่องแล้วต้องปลูกทันทีเพื่อรักษาความชื้น
2. เตรียมพันธุ์อ้อยโดยลอกกาบใบ นำไปวางในร่องทิ้งลำให้ยอดหันไปทางเดียวกัน วางโคนซ้อนปลายเล็กน้อย ใช้มีดคมสับเป็นท่อนๆ ละ 2-3 ตา ถ้าปลูกต้นฝนกลบหนา 3-5 เซนติเมตร ปลูกปลายฤดูฝนกลบดินให้แน่นและหนา 15-20 เซนติเมตร
3. การปลูกอาจใช้แรงงานคน หรือเครื่องปลูก ถ้าใช้เครื่องปลูกอ้อยเครื่องจะเปิดร่อง ใส่ปุ๋ย วางท่อนพันธุ์ และกลบดินโดยอัตโนมัติ
4. ในบางพื้นที่ถ้ามีน้ำเกษตรกรจะปลูกอ้อยโดยการปล่อยน้ำเข้าตามร่องก่อนปลูกอ้อย เมื่อดินแห้งหมาดๆ แล้วจึงปลูกอ้อยโดยวางท่อนพันธุ์และกลบดินให้แน่นพอประมาณ มีความหนา 10-15 เซนติเมตร

2.1.6 การเลือกใช้พันธุ์อ้อยให้เหมาะสมกับพื้นที่

การผลิตขยายอ้อยพันธุ์ดีให้มีประสิทธิภาพที่สามารถให้ผลผลิตได้อย่างเต็มศักยภาพนั้น ปัจจัยแรกที่สำคัญที่สุดคือการเลือกใช้พันธุ์อ้อยให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยมีหลักการของการคัดเลือกพันธุ์อ้อยให้เหมาะสมกับพื้นที่ดังนี้

1. เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงและมีคุณภาพ ความหวานสูง ซึ่งโดยควรมีค่าซีซีเอส สูงกว่า 12

2. เป็นพันธุ์อ้อยที่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญ โดยเชื่อมโยงกับแหล่งปลูกอ้อย กล่าวคือ ในพื้นที่ใดที่มีโรคและแมลงศัตรูอ้อยชนิดใด พันธุ์อ้อยที่ควรเลือกใช้ในพื้นที่นั้น ๆ ก็ควรเป็นพันธุ์อ้อยที่ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญดังกล่าวเช่น การต้านทานต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคเส้ดำ การเข้าทำลายของหนอนกออ้อย เป็นต้น

3. สอดคล้องกับพฤติกรรมความชอบ และวิธีการปฏิบัติในการปลูกและดูแลรักษาอ้อยของเกษตรกร แต่ละรายในแต่ละพื้นที่รวมทั้งความพร้อมทางด้านเครื่องมือ เครื่องจักรกลทางเกษตร และแรงงาน เป็นต้น

4. เลือกพันธุ์อ้อยให้เหมาะสมกับสภาพดินในพื้นที่ปลูกอ้อยของแต่ละท้องถิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามสภาพดิน วิธีการให้น้ำ เป็นต้น เพื่อให้อ้อยสามารถแสดงศักยภาพ ของพันธุ์อ้อยในการให้ผลผลิตและคุณภาพ อ้อยได้อย่างเต็มที่ ตามคำแนะนำของ นักวิชาการหรือนักส่งเสริมที่มีข้อมูลว่าพันธุ์อ้อยใด เหมาะสมกับชนิดดิน แบบใด และ รูปแบบวิธีการปลูกแบบใด

5. พิจารณาความสามารถในการไว้ตัวของอ้อย โดยพบว่าอ้อยต่อคือส่วนที่ เป็นผลกำไรของการผลิต อ้อย ดังนั้น อ้อยที่เลือกใช้ควรเป็นพันธุ์ที่สามารถไว้ต่อได้ดีและนานหลายปีโดยไม่แต่ละรอบผลผลิตอ้อยอาจ ลดลงได้แต่ไม่ควรเกินร้อยละ 20 ของอ้อยปลูก

6. อายุการเก็บเกี่ยวอ้อย เพราะอ้อยแต่ละสายพันธุ์มีอายุการเจริญเติบโต และ การสะสมน้ำตาลที่แตกต่างกันไป โดยบางพันธุ์มีการสะสมน้ำตาลเร็ว บางพันธุ์มีการสะสมน้ำตาลช้า และความยาวนานของการมี ระดับการสะสมน้ำตาลในระดับสูง (ความหวาน ลดลงเร็ว หรือช้า) ซึ่งพันธุ์อ้อยที่เกษตรกรชาวไร่สามารถ เลือกใช้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม

6.1 อ้อยพันธุ์เบา คืออ้อยที่มีการสะสมน้ำตาลเร็วและมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 8-10 เดือน อาจ เก็บเกี่ยวช่วงต้นฤดูหีบ (พฤศจิกายน – ธันวาคม) เช่น K84-69, K90-77, LK95-118, LK95-124, อีเหี่ยว, อุ่ทอง 2, อาทอง 5, อุ่ทอง 6, KU50, KU60-2 และ KU60-3 เป็นต้น

6.2 อ้อยพันธุ์กลาง คืออ้อยที่มีการสะสมน้ำตาลเร็วปานกลาง อายุการเก็บเกี่ยวระหว่าง 10-12 เดือน เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวช่วงกลางหีบ (มกราคม – กุมภาพันธ์) เช่น K88-65, K88-87, K92-80, K97-27, K9972, อุ่ทอง 3, อุ่ทอง 8, กพส. 94-13 และขอนแก่น 3 เป็นต้น

6.3 อ้อยพันธุ์หนัก คืออ้อยที่มีการสะสมน้ำตาลช้าอายุการเก็บเกี่ยวมากกว่า 12 เดือน เหมาะสม สำหรับการเก็บเกี่ยวปลายฤดู เช่น K84-200, K88-92, K92-213, K90-54, อุ่ทอง 1 และอุ่ทอง 7 เป็นต้น

7. พันธุ์อ้อยที่มีคำแนะนำและส่งเสริมให้ปลูกในแต่ละเขตพื้นที่ดังนี้

7.1 พื้นที่ปลูกอ้อยในเขตภาคเหนือ ได้แก่ LK92-11, ขอนแก่น 3, K88-92, K99-72, K97-27, อุ่ทอง 3 และ อุ่ทอง 7 เป็นต้น

7.2 พื้นที่ปลูกอ้อยในเขตภาคกลาง ได้แก่ LK92-22, ขอนแก่น 3, K88-92, K99-72, อุทอง 7 เป็นต้น

7.3 พื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ LK92-11, ขอนแก่น 3, K88-92, K95-84, อุทอง 1, อุทอง 2, อุทอง 3 และอุทอง 7 เป็นต้น

7.4 พื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ K88-92, K95-84, K97-27, LK92-11 และขอนแก่น 3 เป็นต้น

2.1.7 การใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ควรจะใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ที่ช่วยปรับสภาพทางกายภาพของดินร่วมกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีที่ใส่ควรธาตุอาหารครบทั้ง 3 ชนิด คือ N P K เช่น ปุ๋ยสูตร 15-15-15, 13-13-21 เป็นต้น ควรใส่ปุ๋ยเคมีหลังปลูกหรือหลังแต่งตออ้อย 2 ครั้ง

ดินร่วนปนทราย ให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 13-13-21 รองกันร่องพร้อมปลูกหลังแต่งตอ 1 เดือน อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองเมื่ออายุ 2-3 เดือน อัตรา 60 กิโลกรัมต่อไร่ ถ้าเป็นอ้อยตอหลังตัดแต่งตอให้เพิ่มปุ๋ยสูตร 40-0-0 อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 20-30 กิโลกรัมต่อไร่

ดินร่วน หรือดินร่วนเหนียว ให้ปุ๋ยสูตร 16-8-8 หลังปลูกหรือหลังแต่งตอ 1 เดือน อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่สองเมื่ออายุ 2-3 เดือน อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่

- อ้อยปลูกและอ้อยตอที่ปลูกในเขตชลประทานเมื่ออ้อยอายุ 2-3 เดือน ให้เพิ่มปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

- การให้ปุ๋ยทุกครั้ง ทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยตอควรให้ขณะดินมีความชื้น โดยโรยข้างแถวอ้อยห่างประมาณ 10 เซนติเมตร และต้องฝังกลบปุ๋ย ยกเว้นการให้ปุ๋ยรองกันร่อง

2.1.8 การเก็บเกี่ยว

ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

1. เก็บเกี่ยวอ้อยที่อายุ 10-14 เดือนหลังปลูก
2. น้ำอ้อยมีความหวานมากกว่า 10 ซีซีเอส หรือมีค่าบrixของส่วนกลางและปลายลำอ้อยแตกต่างกันน้อยกว่า 2
3. ควรตัดอ้อยตอเข้าโรงงานก่อนอ้อยปลูก

วิธีการเก็บเกี่ยว

1. ใช้แรงงาน

- ใช้มีดากใบและกาบใบออกทั้ง 2 ด้าน แล้วตัดอ้อยให้ชิดดิน

- ควรตัดยอดอ้อยต่ำกว่าจุดตอใบประมาณ 25-30 เซนติเมตร ในอ้อยที่ไม่ออกดอกและตัดต่ำจากใบประมาณ 100-150 เซนติเมตร ในอ้อยที่ออกดอก

- ใช้ยอดอ้อยมัดโคนและปลายลำอ้อยมัดละ 10 ลำ วางเรียงในไร่

2. ใช้เครื่องเก็บเกี่ยว

- ใช้เครื่องแบบตัดเป็นท่อน ตั้งใบมีดล่างให้ชิดดิน และใบมีดบนให้ได้ระดับกับความสูงของอ้อย ปฏิบัติเช่นเดียวกับคำแนะนำในการตัดอ้อยโดยใช้แรงงานคน แล้วใส่รถบรรทุกส่งเข้าโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง

2.1.9 วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

1. การปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว

- อ้อยที่ใช้แรงงานตัด ต้องส่งเข้าโรงงานภายใน 1-2 วัน

- อ้อยที่ตัดโดยใช้เครื่องเก็บเกี่ยว ต้องส่งเข้าโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง

2. การขนส่ง

- เตรียมยานพาหนะในการขนส่งไว้ล่วงหน้าก่อนการเก็บเกี่ยว

- รถบรรทุกอ้อยต้องสะอาด ไม่ควรเป็นรถที่ใช้บรรทุกดินสัตว์ มูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี และสาร

ป้องกันกำจัดศัตรูพืช เพราะมีการปนเปื้อนได้

- ต้องไม่มีดิน และหินติดไปกับลำอ้อย

2.2 ทรัพยากรดินในพื้นที่

ในพื้นที่ 4 จังหวัดที่ได้ทำศึกษานั้น อันได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ พบว่าพื้นที่ที่ใช้ปลูกอ้อยอยู่บนกลุ่มชุดดินที่มีความหลากหลาย ทั้งในที่ลุ่มและที่ดอน โดยมากพบในที่ดอน ซึ่งมีลักษณะจำเพาะเจาะจงใกล้เคียงกันในทั้ง 4 จังหวัด อย่างไรก็ตาม ดินเหล่านั้นได้ถูกจำแนกไว้แล้วในฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งทำการสำรวจมาอย่างต่อเนื่อง พบว่าข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลงง่ายเช่น เนื้อดิน สีดิน หรือระดับความลึกถึงชั้นขัดขวางรากพืช เป็นต้น ค่าเหล่านั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมาก มีกลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่ โดยจะนำมาคิดเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยรวมมากกว่า 50,000 ไร่ จะพบว่ามีกลุ่มชุดดินที่อยู่ในพื้นที่มีดังต่อไปนี้

กลุ่มชุดดินที่ 4

กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำที่มีอายุน้อย ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาคือ โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 7

กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาคือ โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็ง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 15

กลุ่มดินทรายแป้งสีมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเร็ว ถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ปัญหาคือ หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 16

กลุ่มดินทรายแป้งสีมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเร็ว ความ อุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 17

กลุ่มดินร่วนละเอียดสีมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเร็วถึง ค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำ นาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 18

กลุ่มดินร่วนละเอียดสีมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเร็ว ถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ปัญหาคือ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ขาดแคลนนํานาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 19

กลุ่มดินร่วนหยาบที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ มีชั้นแน่นทึบภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยา ดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ เนื้อดิน ค่อนข้างเป็นทรายที่มีชั้นดานภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํานาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 20

กลุ่มดินเค็มเกิดจากตะกอนลำน้ำ มีคราบเกลือลอยหน้าหรือมีชั้นดานแข็งที่สะสมเกลือภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินเค็ม มักพบชั้นดานแข็งที่มีการสะสมเกลือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และ ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด ในพื้นที่ดินเค็มจัด มีคราบเกลือมาก ไม่มีแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 22

กลุ่มดินร่วนหยาบลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้า และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำให้ความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 31

กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาคือ ขาดแคลนนํ้า ในพื้นที่ลาดชันสูง เกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

กลุ่มชุดดินที่ 33

กลุ่มดินทรายเป้งละเอียดหรือดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนแม่น้ำหรือตะกอนน้ำพารูปพัด ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาคือ ขาดแคลนนํ้าในระยะที่ฝนทิ้งช่วงนาน บางพื้นที่อาจพบชั้นดานแข็งที่เกิดจากการเกษตรกรรม

กลุ่มชุดดินที่ 35

กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้า และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก

กลุ่มชุดดินที่ 36

กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ปัญหาคือ ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้า และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

กลุ่มชุดดินที่ 37

กลุ่มดินร่วนหยาบลึกปานกลาง ที่เกิดจากการสลายตัวหรือพัดพาตะกอนเนื้อหยาบ มาทับถมบนชั้นหินผุในช่วงความลึก 50-100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้า ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

กลุ่มชุดดินที่ 40

กลุ่มดินร่วนหยาบลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดหรือเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้า ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

กลุ่มชุดดินที่ 41

กลุ่มดินทรายหนาปานกลาง ที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือตะกอนเนื้อหยาบ ทับอยู่บนชั้นดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดี อยู่บนชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินทรายหนาปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้านาน ในระยะที่ฝนตกหนักจะมีน้ำขังหรือเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน เกิดเป็นร่องทั่วไปในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 44

กลุ่มดินทรายหนาที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือตะกอนเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินทรายหนา ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้านาน หน้าดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดิน เกิดเป็นร่องทั่วไปในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 47

กลุ่มดินตื้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง มีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินตื้นถึงชั้นหินพื้น ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนนํ้าและเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน บางพื้นที่มีเศษหินหรือหินพื้นๆ ฝังบริเวณหน้าดิน

กลุ่มชุดดินที่ 55

กลุ่มดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนหินหรือลูกรัง ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาคือ ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนกรวดหรือลูกรัง ขาดแคลนนํ้า และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน

กลุ่มชุดดินที่ 56

กลุ่มดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหินหรือลูกรัง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาคือ ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนกรวดหรือลูกรัง ขาดแคลนนํ้า และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน บางพื้นที่เป็นดินกรดจัดมาก

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนหรือ algorithm สำหรับการใช้งานในการคำนวณสูตรผสมปุ๋ยสำหรับโรงงานน้ำตาลนี้ จะถูกพัฒนาบนความรู้พื้นฐานด้านดิน เพราะเป็นต้นทุนที่มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ พื้นที่ใดมีลักษณะใกล้เคียงกัน จะสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการไปสู่ที่เหล่านั้นได้ ภายในขอบเขตพื้นที่ปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัด นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และชัยภูมิ การทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1 การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

1. การเก็บข้อมูลพื้นฐานของอ้อย โดยการตรวจเอกสารเป็นหลัก
2. การเก็บข้อมูลดิน โดยการใช้ข้อมูลจากแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลจากภาคสนาม โดยทำการเก็บดินเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางเคมี ในแต่ละขอบเขตกลุ่มชุดดิน เพื่อหาค่าเฉลี่ย ของแต่ละกลุ่มชุดดิน
3. การเก็บข้อมูลจากเกษตรกร ถึงผลผลิต และการจัดการดินและปุ๋ย เพื่อการประเมินย้อนหลัง และหาค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อยในแต่ละพื้นที่ หรือรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จากโรงงานน้ำตาลที่เข้าร่วมโครงการ

3.1.2 การพัฒนา algorithm โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน

ขั้นตอนที่ 1 การหาปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ

การให้ธาตุอาหารหรือปุ๋ยให้กับพืชนั้น โดยมากจะใช้หลักการอ้างอิงจาก Liebig's law of the minimum ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า ธาตุอาหารที่ขาด เมื่อใส่แล้วพืชจะเจริญเติบโตดีขึ้น ส่วนธาตุที่ไม่ขาด ใส่มากไปก็ไม่ส่งผลดีขึ้นมากนัก ซึ่งการที่จะทราบได้ว่าธาตุอาหารพืชชนิดใดขาด รวมถึงขาดไปเท่าไรนั้น ต้องทำการวิเคราะห์ดินเสียก่อน หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลการแปลงธาตุอาหารในดินเป็นชนิดและปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ โดยจะมีหน่วยงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และมหาวิทยาลัยด้านการเกษตรทำการศึกษาไว้ ในที่นี้จะขออ้างอิงวิธีการหาปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการจากค่าวิเคราะห์ดินดังนี้

วิธีที่ 1 การใช้ตารางจากกรมวิชาการ ซึ่งจะมีอยู่ในหนังสือ “คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ” ข้อมูลในหนังสือจะแบ่งตามชนิดพืช โดยจะใช้งานข้อมูลทางเคมีของดินและชนิดพืช เพื่อการประเมินค่าชนิดและความต้องการธาตุอาหารพืชเฉพาะธาตุอาหารหลัก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะสะดวกรวดเร็วที่สุด เพราะค่าที่ได้มีการออกแบบให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย ทำให้สามารถใช้งานได้เลย

วิธีที่ 2 การใช้ข้อมูลจากปุ๋ยสั่งตัด ปุ๋ยสั่งตัดเป็นผลงานร่วมของอาจารย์หลายท่านหนึ่งในนั้นคือ ศ.ดร. ทศนีย์ อุตตะนันท์ ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ริเริ่มสายงานด้านปุ๋ยสั่งตัดของประเทศไทย โดยข้อมูลดังกล่าวจะเน้นไปที่ข้าว และข้าวโพดเป็นหลัก ส่วนอ้อยมีแค่บางส่วนของประเทศ โดยมากเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะอ้างอิงจากข้อมูลดิน โดยต้องทราบข้อชุดดินเสียก่อน จึงจะนำข้อมูลอื่นมาแปลผลต่อได้

วิธีที่ 3 จากการตรวจเอกสารงานวิจัยอ้อย ซึ่งมีการพัฒนาเพื่อหาปริมาณธาตุอาหารรวมถึงจากการเก็บข้อมูลจากเกษตรกร ถึงปริมาณปุ๋ยที่ใส่และผลผลิตที่ได้

เมื่อนำวิธีทั้งหมดมาสังเคราะห์เป็นกระบวนการใหม่ สำหรับอ้อยโดยเฉพาะ โดยจะกำหนดให้ใช้งานข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตรเป็นหลัก ก่อนปรับด้วยข้อมูลดินเช่นเดียวกับปุ๋ยสั่งตัด เช่นนี้จะทำให้สามารถประเมินธาตุอาหารหลักในการใส่ปุ๋ยให้แก่อ้อยเบื้องต้นได้ ทั้งนี้ ให้ทราบว่าค่าดังกล่าวเกิดจากการประเมิน ยังไม่ได้ทำแปลงทดลองเปรียบเทียบค่า จึงเป็นค่าที่ยังสามารถปรับแก้ได้ในอนาคต หรือถ้าต้องการใช้การประเมินความต้องการธาตุอาหารพืชชนิดเจาะลึกรายพันธุ์ ก็สามารถนำค่าดังกล่าวมาปรับปรุงใหม่ได้

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อการแปลงสูตรปุ๋ยจำนวนมากให้เหลือน้อยสูตร

เมื่อนำค่าวิเคราะห์ดินของแต่ละแปลงมาเทียบกับข้อมูลที่ได้จากข้อที่ 1 จะได้ความต้องการธาตุอาหารประจำแปลง โดยในแต่ละพื้นที่ส่งเสริมของโรงงานอ้อย จะมีลูกไร่ที่อยู่ภายใต้การส่งเสริมเป็นจำนวนมาก เมื่อรวมความต้องการธาตุอาหารพืชประจำแปลงหลายแปลงเข้า เราจะนำค่าดังกล่าว มาแปลงเป็นสูตรปุ๋ยประจำพื้นที่ โดยจะมีกระบวนการแปลงเป็นสูตรปุ๋ยคือ

2.1 การหาสัดส่วนขั้นต่ำ (ratio) โดยการนำสูตรปุ๋ยทั้ง 3 ตัวทั้งหน้า กลาง หลัง มาแปลงเป็นสัดส่วนขั้นต่ำ ที่ต้องทำเช่นนี้เพราะ แต่ละแปลงจะมีสูตรปุ๋ยที่ต้องการไม่ซ้ำกัน แต่อาจมีบางส่วนที่ซ้ำกันในรูปสัดส่วน ซึ่งทางหลักคณิตศาสตร์ ถือว่าเป็นสูตรเดียวกัน แต่วางกันที่ปริมาณที่ต้องใช้ ทำเพื่อลดสูตรปุ๋ยลงมาในระดับหนึ่งเสียก่อน

2.2 การหาความถี่ (frequency) ของสัดส่วนขั้นต่ำของสูตรปุ๋ยของแปลงเกษตร โดยจะทำการหาสัดส่วนที่พบมากที่สุด เพื่อตั้งเป็นสูตรปุ๋ยหลัก หรือหาสูตรปุ๋ยรองได้

2.3 การปรับสูตร หรือเปรียบเทียบสูตรใกล้เคียง เพื่อให้สูตรเดียวครอบคลุม จำเป็นต้องมีการปรับสูตรเล็กน้อย เพื่อให้สูตรนั้น สามารถใช้งานได้ในพื้นที่จำนวนมาก แต่ก็ยังไม่ทำให้สูตรปุ๋ยนั้นจะใช้ได้จริง จำเป็นต้องระบุเงื่อนไขในการแปลงสูตร โดยสูตรปุ๋ยจะถูกมองเป็นสัดส่วนตามค่าทางคณิตศาสตร์ เมื่อนำมาตรวจสอบผ่านเงื่อนไข และดำเนินการภายใต้เงื่อนไขตามลำดับที่ถูกต้อง ลำดับขั้นตอนนั้นก็เสร็จสมบูรณ์ โดยเงื่อนไขที่ถูกกำหนดไว้ ก่อนนำไปแปลงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ จะถูกกำหนดเองโดยผู้พัฒนาแต่ละคน เปรียบเหมือนลายเซ็นประจำตัว ซึ่งเงื่อนไขของลำดับขั้นตอนที่แน่นอนนี้ มีดังต่อไปนี้

1. สูตรที่ได้ ธาตุอาหารไม่ควรขาด (N – P – K) หรือถ้าขาดก็ควรอยู่ในช่วงที่รับได้
2. ปริมาณของสูตรที่ได้ควรทำได้ประมาณ 100 kg ของจำนวนแปลงส่วนใหญ่หรือใกล้เคียง
3. ในกรณีพื้นที่ที่มีสูตรซ้ำเกิน 60% ของจำนวนแปลง ถือว่าสูตรนั้นเป็นตัวแทนของพื้นที่ โดย (60% เป็นค่าเบื้องต้น เพื่อสามารถปรับใช้ในอนาคตได้)
4. ในกรณีพื้นที่ที่มีสูตรซ้ำไม่เกิน 60% ควรสร้างเพิ่มอีกสูตร
5. ในสูตรปุ๋ยจะให้ความสำคัญกับธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นหลัก แต่ถ้าขาดไนโตรเจนมากเกินไป ก็จะมีคำแนะนำให้ใส่ยูเรียเพิ่ม
6. สร้างสูตรไม่ควรเกิน 2 สูตร กรณีสูตรมีความต่างกันมากไป จะใช้สูตรปุ๋ยประจำจังหวัดแทน ซึ่งได้จากการคำนวณด้วยสมการนี้ แต่ใช้ฐานข้อมูลจากงานวิจัยที่ 1 ในการหาค่าประจำจังหวัด

7. ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อแปลงไม่ควรเกิน 200 kg

โดยเมื่อกำหนดสูตรปุ๋ยได้แล้ว ก็ต้องนำไปคำนวณหาสูตรที่ถูกต้องและปริมาณที่ต้องใช้ ภายใต้งี๊วไขทั้งหมด อย่างไรก็ดี สูตรปุ๋ยที่ได้นั้น จำเป็นต้องถูกนำไปตรวจสอบเพื่อหาความถูกต้อง รวมถึง ปริมาณผลผลิตที่ได้ต้องไม่ลดลงไปจากเดิมในทางสถิติ

ตารางที่ 1 การแปลผลจากค่าวิเคราะห์ดินเป็นความต้องการธาตุอาหารของอ้อย

ความต้องการธาตุอาหาร	อ้อยปลูก	อ้อยต่อ
อินทรีย์วัตถุ (OM, %)		
<1	ปุ๋ย N 18 กก./ไร่	ปุ๋ย N 24 กก./ไร่
1-2	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	ปุ๋ย N 18 กก./ไร่
>2	ปุ๋ย N 6 กก./ไร่	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่
ฟอสฟอรัส (P, มก./กก.)		
<15	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 6 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 9 กก./ไร่
15-30	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 6 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 9 กก./ไร่
>30	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 3 กก./ไร่	ปุ๋ย P ₂ O ₅ 6 กก./ไร่
โพแทสเซียม (K, มก./กก.)		
<60	ปุ๋ย K ₂ O 12 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 18 กก./ไร่
60-90	ปุ๋ย K ₂ O 12 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 18 กก./ไร่
>90	ปุ๋ย K ₂ O 6 กก./ไร่	ปุ๋ย K ₂ O 12 กก./ไร่

ดัดแปลงจาก คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ 2548

3.1.3 การหาปริมาณปุ๋ยที่อ้อยต้องการในแต่ละจุด

จากการศึกษา พบว่าข้อมูลที่เหมาะสมในการใช้ประเมินธาตุอาหาร คือการนำข้อมูลของทางกรม วิชาการเกษตรมาใช้เบื้องต้น พร้อมกับนำมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ธาตุอาหารของดิน นำมาแปลงเป็นค่า สำหรับกำหนดปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ดังสมการ

$$F = K_s \times P_p$$

โดย ค่า	F	หมายถึง สัดส่วนธาตุอาหารที่อ้อยต้องการ
	K _s	หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของกลุ่มชุดดิน
	P _p	หมายถึง ผลวิเคราะห์ดินที่นำมาเปรียบเทียบกับตารางความต้องการธาตุอาหาร ผ่านการระบุว่าเป็นอ้อยปลูกหรืออ้อยต่อ

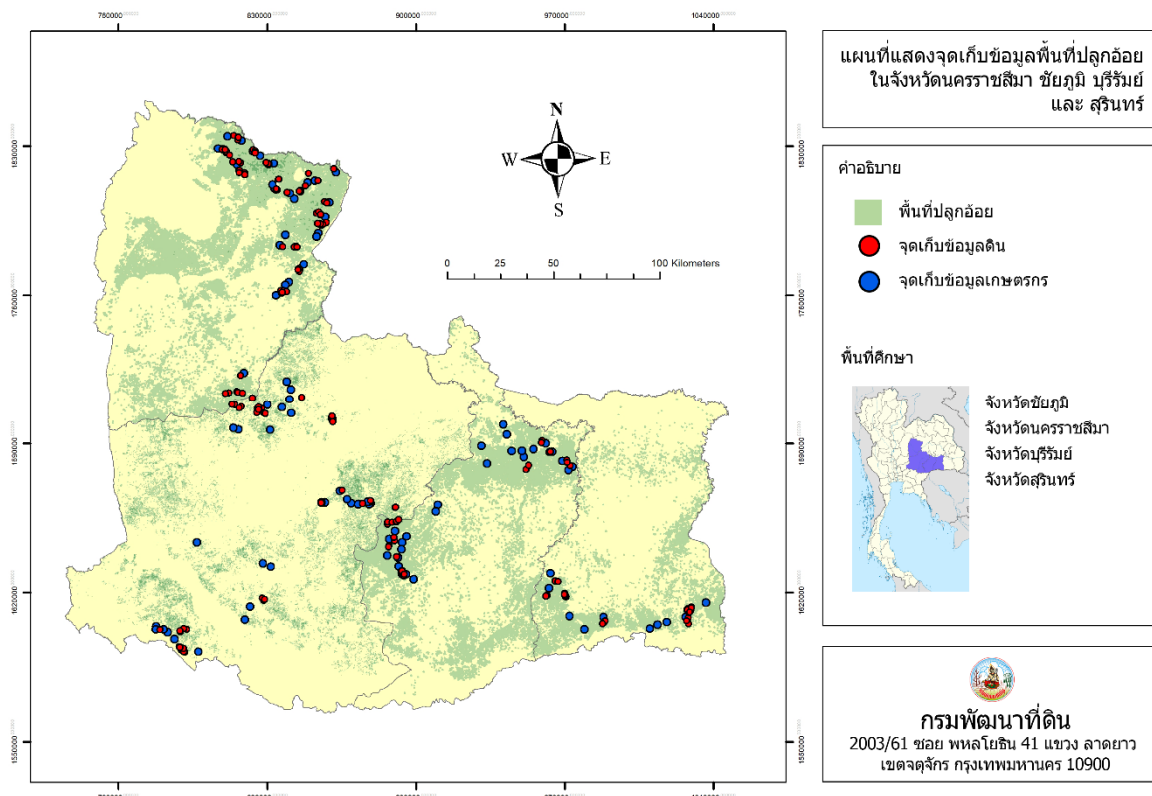
ซึ่งค่า P_p จะหาได้ (ตารางที่ 1) จะมีเกณฑ์ระบุไว้อย่างละเอียด เมื่อมีค่าการวิเคราะห์ดิน ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่ใช้ประเมินเบื้องต้นเท่านั้น ค่าเหล่านี้ยังต้องนำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของกลุ่มชุดดินเพื่อทำให้ ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องใส่ให้ดินเพื่อการนำธาตุอาหารไปใช้ในพืชชนิดต่าง ๆ มีค่าเท่าใด โดยค่าสัมประสิทธิ์ ของกลุ่มชุดดิน จะได้จากการคำนวณและการปรับแต่งให้ถูกต้องจากการทำแปลงทดสอบปลูก ซึ่งไม่สามารถ

ดำเนินการให้ครบทุกกลุ่มชุดดินได้ ทำให้จำเป็นต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์กลุ่มชุดดินเป็น 1.0 ไว้ เพื่อการประเมินต่อในขั้นต่อไปได้ อย่างไรก็ดี จากการวิเคราะห์ตัวเลข จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละกลุ่มชุดดินจะส่งผลให้ใช้ปุ๋ยมากขึ้นหรือน้อยลง ซึ่งสัมพันธ์กับค่า CEC ในดิน โดยจะต้องทำการพิสูจน์ต่อไป

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการดำเนินงาน

พื้นที่เก็บข้อมูลอยู่ในพื้นที่ 4 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และ สุรินทร์ มีจุดเก็บดินรวมถึงจุดเก็บข้อมูลด้านเศรษฐกิจ (ภาพที่ 1) โดยจุดต่าง ๆ จะกำหนดจากการสุ่มในพื้นที่ที่ใช้ปลูกอ้อย และยังมีความต่างกันในแต่ละกลุ่มชุดดิน และความเหมาะสมอื่น ๆ ทั้งนี้รวมถึงความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ด้วย ทำให้ข้อมูลมีความหลากหลายและครอบคลุมในทุกกลุ่มดิน (ตารางที่ 2) จากนั้นนำข้อมูลค่าวิเคราะห์ในพื้นที่เป้าหมายของกรมพัฒนาที่ดิน 8,899 จุด (ตารางที่ 3) ค่าที่ได้มาหาแนวโน้มของธาตุอาหารเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บมาเปรียบเทียบกับภาคสนามในปัจจุบัน (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ดี พบว่าค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ซึ่งมีแนวโน้มที่ต่ำอยู่แล้วนั้น มีแนวโน้มลดลง ทำให้จำเป็นต้องมีการปรับการใช้ปุ๋ยให้ถูกต้องตามหลักวิชาการโดยเร็ว ทั้งนี้ ยังได้ตัวอย่างข้อมูลค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารจากโรงงาน ซึ่งจะนำมาใช้ทดสอบประเมินสูตรปุ๋ยด้วย เพื่อให้ผลลัพธ์การพัฒนาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนมีความใกล้เคียงมากที่สุด



ภาพที่ 1 จุดเก็บดินและจุดเก็บข้อมูลด้านเศรษฐกิจของอ้อยในพื้นที่ที่ศึกษา

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่ระหว่างกลุ่มชุดดินและสภาพการใช้ที่ดินของพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง

ลำดับ	กลุ่มชุดดิน	พื้นที่ปลูกอ้อย (%)	จุดเก็บดิน (%)	จุดเก็บข้อมูลเกษตรกร (%)
1	4	3	2	3
2	7	5	3	4
3	15	7	10	3
4	16	1	1	0
5	17	2	2	1
6	18	2	7	0
7	19	0	0	6
8	20	1	2	1
9	22	3	4	3
10	31	11	10	7
11	33	3	3	11
12	35	8	12	12
13	36	5	6	1
14	37	1	3	0
15	40	22	15	20
16	41	5	6	4
17	44	3	3	9
18	47	3	2	3
19	55	13	10	10
20	56	3	1	3

ตารางที่ 3 ค่าวิเคราะห์ดินเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนค่าวิเคราะห์ดินประจำจังหวัดจากกลุ่มชุดดินที่ปลูกอ้อย

ค่าวิเคราะห์ดิน	EC (MEAN)	%OM (MEAN)	P (ppm) (MEAN)	K (ppm) (MEAN)	จำนวนจุด
ชัยภูมิ	1.29	1.23	16.3	63.2	1429
นครราชสีมา	1.33	0.82	25.6	79.4	3240
บุรีรัมย์	1.44	0.69	10.9	39.3	2295
สุรินทร์	0.41	0.83	9.1	14.2	2024
เฉลี่ย	1.12	0.89	15.5	49.0	

ตารางที่ 4 แนวโน้มค่าวิเคราะห์ดินของข้อมูลดินจากฐานข้อมูลและภาคสนาม

ค่าวิเคราะห์ดิน	ชัยภูมิ		นครราชสีมา		บุรีรัมย์		สุรินทร์	
	LDD	field	LDD	field	LDD	field	LDD	Field
Nitrogen	L	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL
Phosphorus	M	L	M	L	VL	VL	VL	VL
Potassium	M	L	M	L	L	L	VL	L

*LDD คือค่าจากฐานข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งทำการศึกษาไว้ในอดีต

field คือค่าจากการออกไปเก็บดินภาคสนามเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร

โดยจะพบว่ากลุ่มชุดดินที่ 40 พบมากที่สุดในพื้นที่ปลูกอ้อยที่ทำการศึกษา รองลงมาจะเป็นกลุ่มชุดดินที่ 55 และ 31 ซึ่งหมายถึง พื้นที่แถบนี้เป็นพื้นที่ดอน ดินส่วนใหญ่เป็นดินปนทราย บางพื้นที่เป็นดินสีแดง และ

บางพื้นที่เมื่อขุดลึกลงไปครึ่งเมตร ก็จะพบชั้นหินพื้น (bed rock) ชั้นกรวด (gravels) หรือชั้นลูกรัง (laterite) ขัดขวางการเจริญของรากพืช โดย 3 กลุ่มชุดดินนี้ จะกินอาณาบริเวณประมาณ 46% แต่ถ้ามองเป็นลักษณะพื้นที่ จะพบว่า พื้นที่ปลูกอ้อยนั้นส่วนใหญ่ใช้พื้นที่ดอนปลูกอ้อย ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการจัดการน้ำที่ถูกต้องเหมาะสมถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น เช่นเดียวกับธาตุอาหารในดิน ซึ่งจะพบว่า ดินของพื้นที่ที่ทำการศึกษา มีความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงจากเดิม จากการใช้งานที่ดิน ซึ่งถือเป็นเรื่องปกติสำหรับพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้อง และบางส่วนก็เป็นธรรมชาติของดินอยู่แล้ว ซึ่งมีความสามารถในการเก็บธาตุอาหารต่ำ ทั้งนี้ นอกจากข้อมูลทางกายภาพแล้ว เมื่อดูข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ครอบครัวยกของเกษตรกรกว่า 95% มีปัญหาทางการเกษตร ลักษณะปัญหาด้านการเกษตรที่พบส่วนใหญ่ คือ ปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำร้อยละ 82.61 ของครัวเรือนเกษตรกรที่มีปัญหา รองลงมาคือ ปัญหาขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร 52.80 ปริมาณผลผลิตตกต่ำร้อยละ 39.13 ขาดแคลนแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรร้อยละ 21.12 ปัจจัยการผลิตมีราคาสูงร้อยละ 14.29 คุณภาพผลผลิตตกต่ำร้อยละ 7.45 ขาดแคลนแรงงานร้อยละ 2.48 ขาดแคลนเงินลงทุนร้อยละ 1.86 สำหรับปัญหาผู้ซื้อเอาเปรียบ (กดราคา) และปัญหาไม่มีที่ทำกินเป็นของตนเองมีสัดส่วนของปัญหาเท่ากันที่ร้อยละ 0.62 ของครัวเรือนเกษตรกรที่มีปัญหาทั้งหมด (ตารางที่ 5)

จากปัญหาเบื้องต้น ถ้าไม่นับราคาค่าผลผลิตตกต่ำ ปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำและผลผลิตตกต่ำคือ ปัญหาที่เกษตรกรปลูกอ้อยต้องเผชิญ ซึ่งไปสอดคล้องกับข้อมูลทางกายภาพที่บ่งชี้ว่า สภาพพื้นที่ที่ปลูกอ้อยนั้น มีปัญหาจากการขาดการบริหารจัดการน้ำและการจัดการธาตุอาหารในดินที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า เกษตรกรกว่าครึ่ง ไม่ทราบวิธีแก้ไขปัญหาค่าผลผลิตตกต่ำ (ตารางที่ 6) โดยครัวเรือนเกษตรกรส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 53.29 ของครัวเรือนเกษตรกรทั้งหมดไม่ทราบวิธีเพิ่มผลผลิต รองลงมาคิดว่า การลงทุนจัดหาแหล่งน้ำ การเพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมี และเพิ่มปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ จะสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มได้ โดยเกษตรกรที่มีแนวคิดนี้คิดเป็นร้อยละ 20.96 17.37 และ 9.58 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในการเพิ่มผลผลิตด้วยวิธีอื่น ได้แก่ การเปลี่ยนพันธุ์ใหม่ มีการปรับปรุงบำรุงดิน เปลี่ยนสูตรปุ๋ยเคมี เพิ่มจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย และเปลี่ยนพื้นที่ปลูกใหม่ เป็นที่น่าสนใจมาก ที่เกษตรกรร้อยละ 17.37 คิดจะเพิ่มปุ๋ยเคมีในการเกษตร แต่กลับมีเพียงร้อยละ 1.8 เท่านั้นที่คิดจะปรับเปลี่ยนสูตรปุ๋ยเคมี จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เห็นได้ชัดว่า โรงงานอ้อย ซึ่งเป็นผู้กำหนดสูตรปุ๋ยเพื่อนำไปส่งเสริมให้กับชาวไร่ นั้น คงจะเป็นความหวังและแนวทางในการจัดการให้เกษตรกรที่ปลูกอ้อย ให้ใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่รวดเร็วและเป็นรูปธรรมที่สุด ทั้งนี้ ในกรณีปัญหาด้านน้ำของเกษตรกรปลูกอ้อย ซึ่งมีเกษตรกรกว่าร้อยละ 20 เห็นว่า ควรลงทุนจัดหาแหล่งน้ำนั้น ถือว่าเกษตรกรมีแนวคิดที่ถูกต้องแล้ว แต่ยังคงขาดการขยายผล ซึ่งหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรเข้ามาดูแลเพิ่มเติมต่อไป

ตารางที่ 5 ปัญหาด้านการเกษตรของครัวเรือนเกษตรกร ปีการผลิต 2562/63

รายการ	ร้อยละ
ครัวเรือนที่มีปัญหาทางการเกษตร	96.41
ครัวเรือนที่ไม่มีปัญหาทางการเกษตร	3.59
ลักษณะปัญหาทางการเกษตรฯ	
ราคาค่าผลผลิตตกต่ำ	82.61
ขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร	52.80
ปริมาณผลผลิตตกต่ำ	39.13

รายการ	ร้อยละ
ขาดแคลนแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร	21.12
ปัจจัยการผลิตมีราคาสูง	14.29
คุณภาพผลผลิตตกต่ำ	7.45
ขาดแคลนแรงงาน	2.48
ขาดแคลนเงินลงทุน	1.86
ผู้ซื้อเอาเปรียบ(กดราคา)	0.62
ไม่มีที่ทำกินเป็นของตัวเอง	0.62

ที่มา: จากการสำรวจ กลุ่มเศรษฐกิจที่ดินทางการเกษตร, 2562

ตารางที่ 6 แนวคิดในการเพิ่มผลผลิตของครัวเรือนเกษตรกร ปีการผลิต 2562/63

แนวคิดในการเพิ่มผลผลิตของครัวเรือนเกษตรกร	ร้อยละ
ลงทุนจัดหาแหล่งน้ำ	20.96
เพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมี	17.37
เพิ่มปุ๋ยอินทรีย์	9.58
เปลี่ยนพันธุ์ใหม่	3.59
ปรับปรุงบำรุงดิน	3.59
เปลี่ยนสูตรปุ๋ยเคมี	1.80
เพิ่มจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยเคมี	1.20
เปลี่ยนพื้นที่ปลูกใหม่	0.60
ไม่ทราบวิธี	53.29

ที่มา: จากการสำรวจ กลุ่มเศรษฐกิจที่ดินทางการเกษตร, 2562

ค่าวิเคราะห์ดินพื้นที่ทั้ง 4 จังหวัด เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ย เพื่อการกำหนดสูตรปุ๋ยสำหรับพื้นที่แต่ละจังหวัด และพื้นที่รวมทั้งหมดทั้ง 4 จังหวัด เพื่อการสร้างเป็นค่าพื้นฐานของธาตุอาหารในดินประจำจังหวัด ดังตารางที่ 7 จะพบว่า สูตรปุ๋ยที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้ง 4 จังหวัด จะได้สูตร 24-9-18 ซึ่งตัวเลขดังกล่าวเป็นเพียงค่าประเมินจากฐานข้อมูล และข้อมูลที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสมจากตารางที่ 1 กระนั้น สูตรปุ๋ยที่ระบุไม่ใช่สูตรตายตัว แต่เป็นแนวทางให้ โดยอ้างอิงจากค่าวิเคราะห์ โดยสูตรใกล้เคียงก็สามารถใช้ได้ เช่น สูตรปุ๋ยที่โรงงานในจังหวัดบุรีรัมย์ที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลมาให้ได้ผสมปุ๋ยในสูตร 21-10-18 ซึ่งถ้ามีการจัดการอินทรีย์วัตถุที่ดีพอ ปุ๋ยสูตรนี้ก็ถือว่าเป็นสูตรที่เป็นตัวแทนของโรงงานได้ เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรประจำจังหวัด ก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

ตารางที่ 7 ความต้องการธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกอ้อยรายจังหวัดในพื้นที่ที่ศึกษา

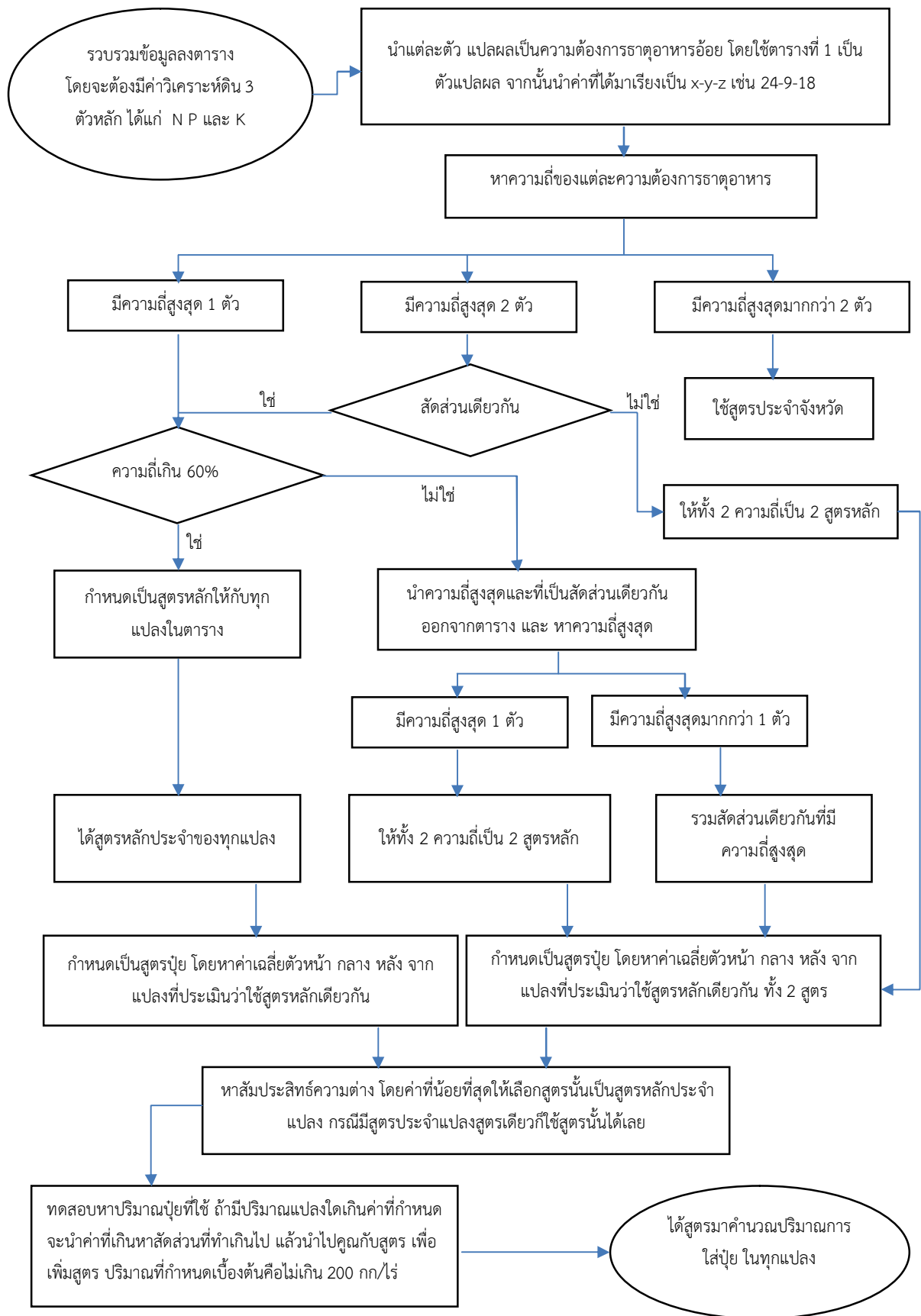
จังหวัด	อ้อยปลูก	อ้อยต่อ	สูตรปุ๋ย*
ชัยภูมิ	12-6-12	18-9-18	18-9-18
นครราชสีมา	18-6-12	24-9-18	24-9-18
บุรีรัมย์	18-6-12	24-9-18	24-9-18
สุรินทร์	18-6-12	24-9-18	24-9-18
รวม 4 จังหวัด	18-6-12	24-9-18	24-9-18

*อ้อยต่อใช้ 100 กิโลกรัมต่อไร่ อ้อยปลูก ใช้ 70 กิโลกรัมต่อไร่ ต่อรอบการผลิตโดยประมาณ

ในการผสมปุ๋ยสำหรับชาวไร่ที่รับการสนับสนุนปุ๋ยจากโรงงานนั้น จำเป็นต้องมีการคำนวณเพิ่มเติมให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเกินและเพื่อลดต้นทุนส่วนเกินออกไปให้ได้มากที่สุด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้ เมื่อเป็นเช่นนั้น ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยผสมใช้สำหรับโรงงานอ้อย จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ การหาวิธีประเมินสูตรปุ๋ยและปริมาณได้เอง เพราะอย่างที่ทราบกันดีว่า การใส่ปุ๋ยให้กับพืชเหมือนการวิ่งไล่จับ เพราะธาตุอาหารจะเปลี่ยนไปตามการใช้งาน ยิ่งใช้งานมาก ธาตุอาหารก็หายไปมาก และต้องวิเคราะห์ดินใหม่ เพื่อให้ทราบว่าปัจจุบัน ธาตุอาหารในดินเหลือปริมาณเท่าใด พร้อมทั้งกำหนดสูตรปุ๋ยใหม่ ซึ่งอาจเกิดในทุกปีหรือรอบหลายปี ตามแต่ความเหมาะสมของแต่ละโรงงานจะทำได้ต่อไป

ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ยผสมใช้สำหรับโรงงานอ้อย

การหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อสร้างสูตรปุ๋ย จะใช้ผังงาน (Flow Chart) เพื่อการอธิบายภาพรวมก่อนจะเจาะลึกควบคู่ไปกับลำดับขั้นตอนที่แน่นอน โดยจะมีลักษณะภาพรวมของขั้นตอน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ภาพรวมของลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อการประเมินสูตรปุ๋ย

ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเชิงบรรยาย

1. การหาปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ด้วยการเก็บข้อมูลจากแปลงเกษตร นำมาเข้าตาราง โดยใช้ข้อมูลขั้นต่ำเพื่อการคำนวณสูตรปุ๋ยดังต่อไปนี้

1.1 %OM (ร้อยละของอินทรีย์วัตถุ)

1.2 Phosphorus (ฟอสฟอรัส)

1.3 Potassium (โพแทสเซียม)

โดยนำค่าที่ได้จากข้อมูลข้างต้น ไปเทียบกับตารางที่ 1 ซึ่งทำการปรับปรุงจากต้นฉบับ ให้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยในปัจจุบัน โดยจะมีค่าเปรียบเทียบของข้อมูล %OM, Phosphorus และ Potassium เมื่อนำข้อมูลไปแทนค่า จะได้ค่าความต้องการธาตุอาหารในแต่ละแปลง โดยจะบอกในลักษณะเช่นเดียวกับสูตรปุ๋ย N-P-K ในแต่ละแปลงจะมีค่าประจำแปลง 1 ค่า จากนั้นนำค่าที่ได้ ไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของกลุ่มชุดดิน (ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็น 1 เพราะไม่สามารถทำแปลงได้ในปีนี้)

2. นำความต้องการธาตุอาหารพืชในทุกแปลง จัดเรียงลงกลุ่มของข้อมูลที่เรียงลำดับกัน (array) หรือตาราง (table) โดยข้อมูลจะเรียงลำดับเป็นแถว (row) เป็นสดมภ์ (column) ก็ได้ เพื่อหาลำดับแปลงว่า มีค่าความต้องการธาตุอาหารในแต่ละแปลงเท่าไร

3. หาความต้องการธาตุอาหารที่มีทั้งหมดโดยลดให้เหลือเฉพาะตัวที่ไม่ซ้ำกันและหาความถี่ในแต่ละตัว เพื่อทราบถึง ความถี่แต่ละความต้องการธาตุอาหาร ความถี่สูงสุด และความถี่สูงสุดของความต้องการธาตุอาหารนั้นก็มีตัวที่มีความถี่สูงสุด

4. ในกรณีความต้องการธาตุอาหารที่ความถี่สูงสุดมี 1 ตัว สามารถนำค่าความต้องการธาตุอาหารตัวนั้น กำหนดเป็นสูตรหลักตัวที่ 1 ได้ทันที แต่เพื่อตรวจสอบว่า ต้องมีสูตรหลักตัวที่ 2 หรือไม่ให้นำความถี่ของสูตรหลักตัวที่ 1 เปรียบเทียบกับความถี่ทั้งหมด

4.1. มีความถี่มากกว่า 60% ของจำนวนแปลงทั้งหมด จะมีสูตรหลักเพียง 1 ตัว

4.2. มีความถี่น้อยกว่า 60% ของจำนวนแปลงทั้งหมด กำหนดให้มีสูตรหลัก 2 สูตร การหาสูตรหลักตัวที่ 2 ทำโดย ตัดความถี่สูตรหลักตัวแรกออกจากกลุ่มของข้อมูลที่เรียงลำดับกัน แล้วตรวจสอบความถี่ของความต้องการธาตุอาหารอันดับ 2

4.2.1 กรณีที่มีความถี่สูงสุดลำดับ 2 เพียงค่าเดียว ให้กำหนดเป็นสูตรหลักตัวที่ 2

4.2.2 กรณีที่มีความถี่สูงสุดของความต้องการธาตุอาหารอันดับที่ 2 มากกว่า 2 ค่าขึ้นไป จะทำการตรวจสอบหาค่าที่สูงสุดเพียงค่าเดียวจากการตรวจสอบสัดส่วน แล้วนำค่าเดียวนั้น กำหนดให้เป็นสูตรหลักตัวที่ 2

การตรวจสอบสัดส่วน

ทำได้โดย นำความต้องการธาตุอาหารทั้ง 2 ตัวที่ต้องการตรวจสอบ นำมาแยกออกเป็น ตัวหน้า กลาง หลัง เพื่อแทนค่า N P K จากนั้น ทำการทดสอบโดยนำค่าความรับได้ประจำธาตุอาหาร ซึ่งเป็นตัวแปรผันตามการใช้งาน มีไว้เพื่อการปรับสูตรให้มีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อมีการใช้งานสูตรมากครั้ง ตามหลักพื้นฐานการเขียน algorithm โดยอย่างไรก็ดี ค่าดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรชื่อ NShift PShift และ KShift ซึ่งจะกำหนดค่าพื้นฐานจากข้อมูลเบื้องต้นเป็น 0.8, 0.2 และ 0.4 ตามลำดับ นำมาคูณกับแต่ละตัวเพื่อหาค่า NMax, Pmax และ KMax ดังนี้

NShift : 0.8 (ค่าแปรผันตามการใช้งาน สำหรับ version 1)

PShift : 0.2 (ค่าแปรผันตามการใช้งาน สำหรับ version 1)

KShift	: 0.4 (ค่าแปรผันตามการใช้งาน สำหรับ version 1)
N1	: ตัวหน้าความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 1
N2	: ตัวหน้าความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 2
NMax	: $N1 \times (1 + NShift)$
P1	: ตัวกลางความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 1
P2	: ตัวกลางความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 2
Pmax	: $P1 \times (1 + PShift)$
K1	: ตัวท้ายความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 1
K2	: ตัวท้ายความต้องการธาตุอาหารตัวที่ 2
KMax	: $K1 \times (1 + KShift)$

ถ้ากรณีที่ $N1 \leq N2 \leq NMax$ และ $P1 \leq P2 \leq Pmax$ และ $K1 \leq K2 \leq Kmax$ จะถือว่าทั้ง 2 ความต้องการธาตุอาหาร สามารถใช้เป็นตัวแทนซึ่งกันและกันได้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีโอกาสที่ไม่เข้ากรณี แต่ถือว่าสามารถใช้แทนกันได้ โดยเปรียบเทียบกับสัดส่วนขั้นต่ำ ซึ่งในกรณีนี้ จะลดเวลาโดยการตรวจสอบกระบวนการเดิม เพียงนำค่า N1, NMax, P1, Pmax, K1 และ KMax คูณกับ $(P2/P1) - 0.001$ แล้วทำการตรวจสอบอีกครั้ง ถ้าเข้ากรณีก็ถือว่าทั้ง 2 ความต้องการธาตุอาหารนี้ สามารถใช้เป็นตัวแทนซึ่งกันและกันได้นั่นเอง

5. ในกรณีความถี่สูงสุดมี 2 ตัว สำหรับการหาสูตรหลักตัวที่ 1 จะทำการตรวจสอบสัดส่วน ของทั้ง 2 ความต้องการธาตุอาหาร ถ้าใช่ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 4 อีกครั้ง แต่ถ้าไม่ใช่ จะจบที่น้ำหนักทั้ง 2 กำหนดให้เป็นสูตรหลักตัวที่ 1 และ 2 แทนที่ เพราะเงื่อนไขที่มีสูตรปุ๋ยได้อย่างมาก 2 สูตรเท่านั้น

6. ในกรณีความถี่สูงสุดมีมากกว่า 2 ตัว ให้ทำการจับคู่ตรวจสอบทีละคู่ เพื่อหาความถี่สูงสุดให้ได้เหลือแค่ 1 หรือ 2 ค่า แล้วทำการตรวจสอบความถี่ ทำตามข้อ 4 หรือ ข้อ 5 อีกครั้งตามเงื่อนไข แต่ถ้าไม่สามารถเข้าเงื่อนไขได้จริง หมายถึงสูตรปุ๋ยแต่ละแปลงมีความแตกต่างกันไป โดยมากจะเกิดจากการมีข้อมูลแปลงน้อยมากจนไม่สามารถประเมินสูตรปุ๋ยได้ จะถือว่าให้ใช้สูตรปุ๋ยของจังหวัดแทน เพราะอย่างน้อย ก็อ้างอิงจากหลักวิชาการ

7. การกำหนดสูตรปุ๋ย ซึ่งการกำหนดสูตรปุ๋ยนั้น จะทำโดย นำสูตรหลักตัวที่ 1 หรือสูตรหลักตัวที่ 2 ทำการตรวจสอบกับกลุ่มของข้อมูลที่เรียงลำดับกัน เพื่อหาว่า ความต้องการธาตุอาหารอันดับใดที่สามารถใช้ร่วมกับสูตรหลักแต่ละตัวได้บ้าง โดยจะนำมาหาความถี่ แล้วแยกตามตัวกลางตัวหลังตัวหน้า ก่อนนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง ดังสมการ

$$Nms1 = \sum(N11 + N12 + \dots + Nnm) / Fall$$

$$Pms1 = \sum(P11 + P12 + \dots + Pnm) / Fall$$

$$Kms1 = \sum(K11 + K12 + \dots + Knm) / Fall$$

$$Nms2 = \sum(N21 + N22 + \dots + Nnm) / Fall$$

$$Pms2 = \sum(P21 + P22 + \dots + Pnm) / Fall$$

$$Kms2 = \sum(K21 + K22 + \dots + Knm) / Fall$$

Nms1 : สูตรปุ๋ยตัวหน้าที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 1

Pms1 : สูตรปุ๋ยตัวกลางที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 1

Kms1 : สูตรปุ๋ยตัวท้ายที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 1

Nms2 : สูตรปุ๋ยตัวหน้าที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 2

Pms2	: สูตรปุ๋ยตัวกลางที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 2
Kms2	: สูตรปุ๋ยตัวท้ายที่แปลงมาจากสูตรหลักตัวที่ 2
Nnm	: สูตรปุ๋ยตัวหน้า ที่ตรวจสอบสัดส่วนกับ สูตรหลักตัวที่ n แล้วผ่านเป็นลำดับที่ m
Pnm	: สูตรปุ๋ยตัวกลาง ที่ตรวจสอบสัดส่วนกับ สูตรหลักตัวที่ n แล้วผ่านเป็นลำดับที่ m
Knm	: สูตรปุ๋ยตัวท้าย ที่ตรวจสอบสัดส่วนกับ สูตรหลักตัวที่ n แล้วผ่านเป็นลำดับที่ m
Fall	: จำนวนแปลงทั้งหมด

จากนั้นจะได้สูตรปุ๋ยที่ใช้จากสูตรหลักที่ 1 คือ Nms1, Pms1, Kms1 เช่นเดียวกันกับสูตรที่ 2 ซึ่งได้จาก Nms2, Pms2, Kms2 โดยจะนำมาเรียงกันใหม่ ในรูปแบบ หน้า-กลาง-หลัง โดยจะเรียกแต่ละตัวว่าค่าตัวหน้า ค่าตัวกลาง และค่าตัวหลัง ตามลำดับ เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบกับสูตรปุ๋ยจริง

8. ทำการกำหนดว่าแปลงใดใช้สูตรปุ๋ยตัวใด โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความต่าง (Q) โดยจะมีเงื่อนไขอยู่คือ เนื่องจากไนโตรเจน สามารถหาเพิ่มเติมได้ง่ายที่สุดและมีราคาถูกที่สุดในบรรดาปุ๋ยทุกชนิดซึ่งสามารถหาซื้อและใส่เพิ่มได้ จากอินทรีย์วัตถุ พืชบำรุงดิน หรือยูเรียก็ตาม แต่ ธาตุอาหารอีก 2 ธาตุ จะไม่สามารถเพิ่มได้โดยง่าย ดังนั้น จึงทำให้จะเลือกพิจารณาที่ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นหลัก โดยจะทำการตรวจสอบในแต่ละลำดับของความต้องการธาตุอาหารกับสูตรปุ๋ยทั้ง 2 สูตร (ยกเว้นมีสูตรเดียว จะไม่ต้องตรวจสอบ) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q1 = & (\text{Math.abs}(((p1 * w2) + (p2 * w1)) * (\text{Math.abs}(w1 - p1)))) \\
 & - (((p2 * w3) + (p3 * w2)) * (\text{Math.abs}(w2 - p2)))) * NV \\
 & + (\text{Math.abs}(((p2 * w3) + (p3 * w2)) * (\text{Math.abs}(w2 - p2)))) \\
 & - (((p3 * w1) + (p1 * w3)) * (\text{Math.abs}(w3 - p3)))) * PV \\
 & + (\text{Math.abs}(((p3 * w1) + (p1 * w3)) * (\text{Math.abs}(w3 - p3)))) \\
 & - (((p1 * w2) + (p2 * w1)) * (\text{Math.abs}(w1 - p1)))) * KV \\
 Q2 = & (\text{Math.abs}(((p1 * s2) + (p2 * s1)) * (\text{Math.abs}(s1 - p1)))) \\
 & - (((p2 * s3) + (p3 * s2)) * (\text{Math.abs}(s2 - p2)))) * NV \\
 & + (\text{Math.abs}(((p2 * s3) + (p3 * s2)) * (\text{Math.abs}(s2 - p2)))) \\
 & - (((p3 * s1) + (p1 * s3)) * (\text{Math.abs}(s3 - p3)))) * PV \\
 & + (\text{Math.abs}(((p3 * s1) + (p1 * s3)) * (\text{Math.abs}(s3 - p3)))) \\
 & - (((p1 * s2) + (p2 * s1)) * (\text{Math.abs}(s1 - p1)))) * KV
 \end{aligned}$$

Q1 : ค่าตัวแทนสูตรปุ๋ยที่ 1

Q2 : ค่าตัวแทนสูตรปุ๋ยที่ 2

NV : ค่าแทนความสำคัญของธาตุอาหารไนโตรเจน = 0.1

PV : ค่าแทนความสำคัญของธาตุอาหารฟอสฟอรัส = 0.5

KV : ค่าแทนความสำคัญของธาตุอาหารโพแทสเซียม = 0.4

p1 : ค่าตัวหน้าของความต้องการธาตุอาหารพืชจากกลุ่มข้อมูลที่เรียงลำดับ (nitrogen)

p2 : ค่าตัวกลางของความต้องการธาตุอาหารพืชจากกลุ่มข้อมูลที่เรียงลำดับ

(phosphorus)

p3 : ค่าตัวหลังของความต้องการธาตุอาหารพืชจากกลุ่มข้อมูลที่เรียงลำดับ (potassium)

w1 : ค่าตัวหน้าของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 1 (nitrogen)

w2 : ค่าตัวกลางของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 1 (phosphorus)

w3 : ค่าตัวหลังของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 1 (potassium)

s1 : ค่าตัวหน้าของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 2 (nitrogen)

s2 : ค่าตัวกลางของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 2 (phosphorus)

s3 : ค่าตัวหลังของสูตรปุ๋ยที่ได้จากสูตรหลักที่ 2 (potassium)

Math.abs คือ การหาค่า absolute หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรนั้น ๆ

กรณีที่ค่า Q1 น้อยกว่า Q2 ถือว่าสูตรปุ๋ยจากสูตรหลักที่ 1 เหมาะสมกว่า ถ้าในกรณีตรงข้าม สูตรปุ๋ยจากสูตรหลักที่ 2 จะเหมาะสมกว่า ซึ่งเมื่อคำนวณครบทุกลำดับในกลุ่มข้อมูลที่เรียงลำดับ ก็จะได้สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับทุกแปลงในเบื้องต้น

9. การหาสูตรที่เหมาะสมและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับทุกแปลง จะทำได้โดย นำสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมเบื้องต้นในแต่ละแปลง ทำการคำนวณหาปริมาณเบื้องต้น ในแต่ละแปลง โดยการคำนวณหาปริมาณเบื้องต้น นั้น ถ้ายึดตามเงื่อนไข ธาตุที่มีความสำคัญและมีราคาสูงสุดคือ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยจะนำมาประเมินแค่ 2 ตัวเท่านั้น ส่วนไนโตรเจน ค่อยเพิ่มด้วยยูเรียได้ในภายหลัง เพื่อลดความฟุ่มเฟือยของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยวิธีการหาดังนี้

Po : ค่าตัวกลางความต้องการธาตุอาหาร / ค่าตัวกลางสูตรปุ๋ย * 100

Ko : ค่าตัวหลังความต้องการธาตุอาหาร / ค่าตัวหลังสูตรปุ๋ย * 100

กรณี Po มีค่ามากกว่า Ko ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ของแปลงนั้นจะเท่ากับ Po ในกรณีอื่น ให้ใช้ปริมาณปุ๋ยเท่ากับ Ko ซึ่งปริมาณนั้นจะมีค่าเดียวต่อแปลง อย่างไรก็ตาม เมื่อได้สูตรปุ๋ยเบื้องต้นและปริมาณปุ๋ยเบื้องต้น ต่อแปลงครบแล้ว สุดท้ายจะคำนวณหาสูตรปุ๋ยและปริมาณปุ๋ยที่แท้จริงต่อไป

10. การหาสูตรปุ๋ยที่แท้จริงและปริมาณปุ๋ยที่แท้จริง ทำได้โดยนำปริมาณเบื้องต้นทั้งหมดมาที่ได้มา จากข้อ 9 ทำการตรวจสอบหาปริมาณสูงสุดที่เกิดขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่เกินปริมาณที่กำหนด (ใน version 1 กำหนดไว้ไม่เกิน 200 กก.ต่อไร่) ซึ่งโดยมากก็มักจะไม่เกิน แต่ในกรณีเกินหรือต้องการปรับลดหรือเพิ่มสูตรเพื่อความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน จะทำการปรับสูตรปุ๋ยให้สูงขึ้นเพื่อลดปริมาณการใช้ปุ๋ยลง ทั้งนี้ทำได้โดยหาตัวคูณ ดังนี้

$$\text{percentA} = 100 * (1 + \text{FShift})$$

percentA : ตัวคูณปรับสูตร

FShift : ตัวปรับสูตร ใช้ลดหรือเพิ่มปริมาณปุ๋ยและสูตรปุ๋ยโดยไม่มีผลกระทบต่อสูตรหลัก (ใช้กรณีแก้ไขปริมาณ โดยปกติค่านี้จะไม่ใช้งาน)

โดยค่านี้จะถูกตั้งไว้เป็นลำดับสุดท้ายเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ในกรณีต้องการปรับค่าปุ๋ยให้เหมาะสมกับพื้นที่ หรือความต้องการพิเศษนอกเหนือจากหลักคำนวณ เช่น ต้องการให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยไม่เกิน 2 กระสอบต่อรอบการปลูก หรืออยากทดสอบว่า ปรับหาสูตรปุ๋ยที่ใกล้เคียงในท้องตลาด เป็นต้น โดยค่านี้จะถูกควบคุมด้วยตัวแปร FShift ซึ่งปกติจะระบุค่าไว้ที่ 0 คือไม่มีการปรับเปลี่ยนสูตรปุ๋ยและปริมาณ สุดท้าย เมื่อนำสูตรปุ๋ยและปริมาณเบื้องต้นนำมาคูณกับ percentA ก็จะได้สูตรและปริมาณที่แท้จริงของแต่ละแปลง

ทดสอบนำลำดับขั้นตอนที่แน่นอนมาใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วย excel และภาษา javascript

เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของลำดับขั้นตอนที่แน่นอน จำเป็นต้องทดสอบในการทำงานจริงเท่านั้น ในที่นี่ จะทำการทดสอบใช้งานด้วยการเขียนลำดับขั้นตอนที่แน่นอน หรือ algorithm โดยนำมาดัดแปลงใช้กับ โปรแกรม excel และภาษา javascript ซึ่งเป็นภาษาพื้นฐานในการเขียนเว็บไซต์ที่ต้องการให้เกิดการ ปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน ทั้งนี้ ตัวทดสอบโปรแกรมนั้นจะถูกแนบไฟล์ไปพร้อมกับไฟล์รายงานฉบับนี้ด้วย โดยใช้ ตัวอย่างจากข้อมูลของโรงงานจากจังหวัดบุรีรัมย์ที่มอบข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินของเกษตรกรในพื้นที่ให้กับ โครงการนี้ ซึ่งทางผู้จัดทำโครงการรู้สึกขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง และผลที่ได้เป็นดังนี้

FID	pH	EC	OM_P_ppm	K_ppm	Cane_Type	SoilGroup	FarmNumber	FarmerName	Formular_Want	ปริมาณที่ควรใช้(กก/ไร่)
1	6.50	0.09	1.34	94.00	134.00	1	ไม่มี	01-01479-02	***** 12-6-12	17-9-18 67
2	6.00	0.02	0.59	16.00	25.00	1	ไม่มี	01-01981-06	***** 18-9-18	17-9-18 100
3	6.00	0.02	0.29	10.00	21.00	1	ไม่มี	01-01981-07	***** 18-9-18	17-9-18 100
4	6.00	0.01	0.94	60.00	37.00	1	ไม่มี	01-02555-06	***** 18-6-18	17-6-17 106
5	6.70	0.03	0.72	14.00	46.00	1	ไม่มี	01-02656-01	***** 18-9-18	17-9-18 100
6	6.50	0.03	0.45	14.00	30.00	1	ไม่มี	01-02656-02	***** 18-9-18	17-9-18 100
7	6.50	0.01	0.59	40.00	19.00	1	ไม่มี	01-02757-05	***** 18-6-18	17-6-17 106
8	6.50	0.01	0.55	15.00	24.00	2	ไม่มี	01-02757-06	***** 24-9-18	17-6-17 150
9	6.00	0.02	0.72	26.00	35.00	1	ไม่มี	01-02757-08	***** 18-9-18	17-9-18 100
10	6.50	0.02	0.65	51.00	56.00	1	ไม่มี	01-02757-09	***** 18-6-18	17-6-17 106
11	6.50	0.02	0.47	39.00	63.00	1	ไม่มี	01-03516-20	***** 18-6-18	17-6-17 106
12	6.50	0.01	0.44	98.00	95.00	2	ไม่มี	01-03516-22	***** 24-6-12	17-6-17 100 + ยูเรีย 15 กก/ไร่
13	6.50	0.04	0.39	23.00	19.00	1	ไม่มี	01-06498-07	***** 18-9-18	17-9-18 100
14	6.50	0.03	0.44	20.00	15.00	1	ไม่มี	01-06544-18	***** 18-9-18	17-9-18 100
15	6.50	0.05	0.42	74.00	40.00	1	ไม่มี	01-06544-23	***** 18-6-18	17-6-17 106
16	6.50	0.02	0.60	46.00	15.00	1	ไม่มี	01-06544-24	***** 18-6-18	17-6-17 106
17	6.50	0.04	0.55	15.00	21.00	1	ไม่มี	01-07031-02	***** 18-9-18	17-9-18 100
18	6.50	0.02	0.54	8.00	17.00	1	ไม่มี	01-07079-02	***** 18-9-18	17-9-18 100
19	6.50	0.01	0.44	17.00	30.00	2	ไม่มี	01-07079-05	***** 24-9-18	17-6-17 150
20	6.50	0.01	0.97	129.00	24.00	2	ไม่มี	01-07257-01	***** 24-6-18	17-6-17 106 + ยูเรีย 13 กก/ไร่
21	6.50	0.01	0.71	94.00	32.00	2	ไม่มี	01-07257-03	***** 24-6-18	17-6-17 106 + ยูเรีย 13 กก/ไร่
22	6.50	0.09	0.77	95.00	167.00	1	ไม่มี	01-07257-18	***** 18-6-12	17-6-17 100
23	6.50	0.01	0.91	69.00	48.00	2	ไม่มี	01-07257-21	***** 24-6-18	17-6-17 106 + ยูเรีย 13 กก/ไร่
24	7.00	0.05	0.74	91.00	43.00	1	ไม่มี	01-07257-23	***** 18-6-18	17-6-17 106
25	6.50	0.02	0.71	105.00	99.00	2	ไม่มี	01-07257-24	***** 24-6-12	17-6-17 100 + ยูเรีย 15 กก/ไร่
26	6.50	0.03	1.18	118.00	31.00	2	ไม่มี	01-07884-02	***** 18-6-18	17-6-17 106
27	6.00	0.06	1.70	78.00	79.00	2	ไม่มี	01-10086-03	***** 18-6-18	17-6-17 106
28	6.50	0.03	0.87	98.00	134.00	1	ไม่มี	01-101450-02	***** 18-6-12	17-6-17 100
29	6.80	0.03	0.81	72.00	25.00	1	ไม่มี	01-10396-03	***** 18-6-18	17-6-17 106

ภาพที่ 3 ตัวโปรแกรมเบื้องต้นซึ่งพัฒนาเพื่อยืนยันการทำงานของลำดับขั้นตอนที่แน่นอน

จะเห็นได้ว่า ตัวโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนนั้นสามารถประเมินสูตรปุ๋ยออกมาได้ ทั้ง สูตรและปริมาณ โดยจะทราบตั้งแต่ต้นแล้วว่า การประเมินรวม จะยังไม่ละเอียดถึงระดับการประเมิน รายแปลง แต่อย่างน้อยก็ถือว่าเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมเรียกใช้ได้ โดยข้อมูลที่ได้จากการประเมินตามเงื่อนไขนั้น ผลคือ สูตรปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับโรงงานในพื้นที่บุรีรัมย์ที่ได้ให้ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินมา คือ สูตร 17-9-18 และ 17-6-17 โดยจะใส่ประมาณ 100 กิโลกรัมต่อรอบการปลูก พบว่า ยังมีบางแปลง ที่ต้องใส่ยูเรียเพิ่มประมาณ 13 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของสูตรปุ๋ยประจำจังหวัดบุรีรัมย์ คือ 24-9-18 พบว่า สูตรปุ๋ยที่ได้จากการคำนวณระดับโรงงาน จะมีความใกล้เคียงกัน ในปุ๋ยสองตัวหลัง แต่จะแตกต่างกันเห็นได้ชัดในส่วนของปุ๋ยตัวหน้า เป็นตัวแทนของไนโตรเจน ซึ่งในตัวโปรแกรมจะทำการปรับลดสูตร และระบุให้เฉพาะบางแปลงที่ต้องใส่ยูเรียเพื่อเพิ่มไนโตรเจนเท่านั้น เพื่อการลดต้นทุน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของเกษตรกร ซึ่งอยู่ในพื้นที่ดินลักษณะที่เป็นดินปนทราย โดยจะยกตัวอย่างจากข้อมูลของการปลูกอ้อยปีที่ 1 ซึ่งจะพบว่า

สูตรปุ๋ยที่เป็นที่นิยมในพื้นที่เป็นดินปนทราย คือสูตร 16-8-8, 16-16-8 สำหรับรองพื้น 21-7-18, 16-8-8 สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 และ 21-7-18 สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ประมาณ 1 - 1.3 กระสอบต่อครั้ง ซึ่งถือ

ว่า ถ้าเปรียบเทียบกับสูตรของจังหวัดนั้น มีความใกล้เคียงกันมาก แต่อาจต่างกันบ้างสำหรับธาตุอาหารที่ได้จากการใส่หลายครั้ง ควรมีการปรับลดลง ซึ่งการใส่ปุ๋ยในดินปนทราย เกษตรกรมักจะเพิ่มปริมาณปุ๋ยขึ้น

ตารางที่ 8: ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืชเศรษฐกิจอ้อยโรงงานปีที่ 1 บริเวณพื้นที่กลุ่มเนื้อดินร่วนปนทราย จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ปีการผลิต 2562/63

สูตรปุ๋ย	จำนวนแปลง	ร้อยละ	ปริมาณการใช้ (กก./ไร่)
ปุ๋ยรองพื้น			
สูตร 16-16-8	6	20.69	60.88
สูตร 16-8-8	11	37.93	55.60
สูตร 13-13-21	1	3.45	50.00
สูตร 18-8-18	1	3.45	50.00
สูตร 21-7-18	3	10.34	50.00
สูตร 22-8-18	1	3.45	50.00
สูตร 15-15-15	4	13.79	46.43
สูตร 28-10-10	2	6.90	44.23
สูตร 46-0-0	2	6.90	25.00
ปุ๋ยครั้งที่ 1			
สูตร 21-7-18	14	35.90	63.21
สูตร 13-13-21	1	2.56	50.00
สูตร 18-8-18	1	2.56	50.00
สูตร 22-8-18	1	2.56	50.00
สูตร 28-10-10	3	7.69	50.00
สูตร 15-15-15	4	10.26	47.02
สูตร 16-8-8	12	30.77	46.34
สูตร 16-16-8	4	10.26	43.85
สูตร 46-0-0	4	10.26	38.33
ปุ๋ยครั้งที่ 2			
สูตร 16-8-8	3	10.71	80.77
สูตร 21-7-18	16	57.14	58.05
สูตร 13-13-21	1	3.57	50.00
สูตร 16-20-0	1	3.57	50.00
สูตร 20-8-20	1	3.57	50.00
สูตร 22-8-18	2	7.14	50.00
สูตรปุ๋ย	จำนวนแปลง	ร้อยละ	ปริมาณการใช้ (กก./ไร่)
ปุ๋ยครั้งที่ 2 (ต่อ)			
สูตร 28-10-10	1	3.57	50.00
สูตร 15-15-15	2	7.14	46.53
สูตร 46-0-0	5	17.86	35.94
ปุ๋ยครั้งที่ 3			
สูตร 15-15-15	1	50.00	50.00

สูตร 28-10-10	1	50.00	50.00
สูตร 46-0-0	1	50.00	25.00

ที่มา: จากการสำรวจ กลุ่มเศรษฐกิจที่ดินทางการเกษตร, 2562

เปรียบเทียบกับข้อมูลตัวอย่างการใส่ปุ๋ยย้อนหลังจากโรงงานที่นครบุรี ที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลให้กับทางโครงการ ซึ่งทางผู้จัดทำโครงการรู้สึกขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง ผลที่ได้พบว่า เกษตรกรจะใช้ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งแรกเมื่ออายุ 0-30 วัน และครั้งที่ 2 อายุ 60-120 วัน พบว่าสูตรปุ๋ยที่นิยมใช้คือ 27-12-6 และ 21-7-18 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้งข้อมูลทำให้พบว่า สูตรมาตรฐานจากการเลือกใช้ของเกษตรกรคือ 21-7-18 ซึ่งเป็นสูตรปุ๋ยที่มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้ของสูตรปุ๋ยประจำพื้นที่ ซึ่งถือว่าค่อนข้างตรงกันกับสัดส่วนของสูตรปุ๋ยประเมินได้ของพื้นที่ 4 จังหวัด อย่างไรก็ดี เมื่อนำสูตรปุ๋ยในพื้นที่ จากโรงงานและการใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอน (algorithm) มาเปรียบเทียบผลพบว่า การใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนจะมีผลให้เกิดการสูญเสียของธาตุอาหารน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ในช่วงราคานั้น จะพบว่ายังมีค่าเฉลี่ยแพงกว่าสูตรปุ๋ยโดยทั่วไป แต่เฉลี่ยแล้วเป็นวิธีที่มีการขาดธาตุอาหารพืชน้อยที่สุด ซึ่งอาจหมายถึงเกษตรกร ใส่ปุ๋ยไม่ถูกต้องหลักวิชาการ ดังตารางที่ 10 ทั้งนี้ขึ้นกับข้อกำหนดของการพัฒนาลำดับขั้นตอนให้ตรงตามกรอบที่วางไว้แต่ต้น

ตารางที่ 9 ปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีจากข้อมูลย้อนหลังปี 2560/2561 ของโรงงานน้ำตาลนครบุรี

รายการ	จำนวนแปลง	ร้อยละ	ปริมาณการใช้ (กก./ไร่)
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1			
สูตร 27-12-6	3291	71.6	50.0
สูตร 21-7-18	432	9.4	50.0
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2			
สูตร 21-7-18	2126	46.2	50.0
สูตร 27-12-6	1784	38.8	50.0

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการเลือกใช้ปุ๋ยในวิธีต่าง ๆ จากข้อมูลของพื้นที่โรงงานน้ำตาล

ความต้องการธาตุอาหาร	ปุ๋ยที่เกษตรกรนิยมใช้+ปุ๋ยที่ส่งเสริมจากโรงงานน้ำตาลนครบุรี								ปุ๋ยจากการใช้งานลำดับขั้นตอน			
	สูตร	ปริมาณ	ราคา รวม	สถานะธาตุอาหาร	สูตร	ปริมาณ	ราคา รวม	สถานะธาตุอาหาร	สูตร	ปริมาณ	ราคา รวม	สถานะธาตุอาหาร
12-6-12	21-7-18	100	1,710	N+, P+, K+	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-9-18	67	1033	N-, P0, K0
18-9-18	21-7-18	100	1,710	N+, P-, K0	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-9-18	100	1541	N-, P0, K0
18-6-18	21-7-18	100	1,710	N+, P+, K0	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	106	1465	N0, P+, K0
24-9-18	21-7-18	100	1,710	N-, P-, K0	16-8-8	130	1,443	N-, P+, K-	17-6-17	150	2072	N+, P0, K+
24-6-12	21-7-18	100	1,710	N-, P+, K+	16-8-8	130	1,443	N-, P+, K-	17-6-17+U15	100	1592	N0, P0, K+
24-6-18	21-7-18	100	1,710	N-, P+, K0	16-8-8	130	1,443	N-, P+, K-	17-6-17+U13	106	1647	N0, P+, K0
18-6-12	21-7-18	100	1,710	N+, P+, K+	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	100	1382	N-, P0, K+
12-6-18	21-7-18	100	1,710	N+, P+, K0	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	106	1465	N+, P+, K0
12-9-18	21-7-18	100	1,710	N+, P-, K0	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	150	2072	N++, P0, K+
6-6-12	21-7-18	100	1,710	N+++ , P+, K+	16-8-8	130	1,443	N+++ , P+, K-	17-9-18	67	1033	N+, P0, K++
18-9-12	21-7-18	100	1,710	N+, P-, K+	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	150	2072	N++, P+, K++
12-9-12	21-7-18	100	1,710	N+, P-, K+	16-8-8	130	1,443	N+, P+, K-	17-6-17	150	2072	N++++, P+, K++
6-9-12	21-7-18	100	1,710	N++++, P-, K+	16-8-8	130	1,443	N++++, P+, K-	17-6-17	150	2072	N++++, P+, K++
6-9-18	21-7-18	100	1,710	N++++, P-, K0	16-8-8	130	1,443	N++++, P+, K-	17-6-17	150	2072	N++++, P+, K+
6-6-18	21-7-18	100	1,710	N++++, P+, K0	16-8-8	130	1,443	N++++, P+, K-	17-6-17	106	1465	N++++, P0, K+

ปริมาณในแต่ละสูตรใช้การประมาณจากข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์และข้อมูลโรงงานอ้อย

ใช้ราคาจากการคำนวณผสมแม่ปุ๋ยใช้เองโดยยูเรียกระสอบละ 700 DAP กระสอบละ 1200 MOP กระสอบละ 1100

U13,U15 คือการเพิ่มยูเรียจำนวน 13,15 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการคำนวณราคาจะถูกนำไปคิดเพิ่มเติมด้วย

ราคาปุ๋ยจากฐานข้อมูลตุลาคมปี 2557 ปุ๋ย 21-7-18 อยู่ที่กระสอบละ 855 บาท และ 16-8-8 อยู่ที่กระสอบละ 555 บาท

สถานะธาตุอาหารโดย + จะหมายถึงได้ธาตุอาหารเกิน - จะหมายถึงธาตุอาหารขาด และ 0 หมายถึงธาตุอาหารพอดี จำนวนเครื่องหมายจะเพิ่มมากตามจำนวนเท่าของความต้องการธาตุอาหาร เช่น ++ หมายถึงธาตุอาหารที่ได้เกินมาน้อย 2 เท่าของความต้องการ

อย่างไรก็ตาม ข้อดีที่พบได้จากการใช้ลำดับขั้นตอนที่แน่นอนในการประเมินสูตรปุ๋ยสำหรับโรงงานน้ำตาลเพื่อใช้ในการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรที่ปลูกอ้อยนั้นคือ ความเร็วในการประเมินค่าทางเศรษฐกิจ เพราะเป็นรูปแบบการคำนวณที่ออกแบบสำหรับใช้งานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถประเมินสูตรปุ๋ยปริมาณที่ต้องใช้แต่ละแปลง ปริมาณผสมทั้งหมด และปริมาณการลงทุนได้ทันที ข้อดีลำดับต่อมาคือ การที่เราสามารถตรวจสอบผลของธาตุอาหารได้ ทำให้รู้ว่าขาดธาตุอะไรและต้องการปริมาณเท่าไร แก้ปัญหาการใส่ปุ๋ยตามกันของเกษตรกรและลดต้นทุนการผลิตหรือปรับต้นทุนให้เหมาะสมกับสภาพจริง และข้อดีลำดับสุดท้ายคือ มีวิธีการใส่ปุ๋ยและปริมาณการใส่ปุ๋ย มีผลรับรองจากเอกสารทางวิชาการ ทำให้มั่นใจว่า ผลที่ได้นั้นถูกต้องในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีข้อเสียเช่นกัน เช่นอาจพบว่ามีบางแปลงยังมีการใส่ปุ๋ยเกินความต้องการพืช เพราะต้องระบุสูตรผสมสำหรับโรงงานทำให้เกิดสูตรจำกัด ซึ่งผสมใช้สำหรับแปลงจำนวนมาก ไม่เจาะจงเป็นรายแปลงนั่นเอง

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเพื่อหาลำดับขั้นตอนที่แน่นอน ผลที่ได้จากการประเมินสูตรและปริมาณปุ๋ยได้ถูกต้องตามที่กำหนดเงื่อนไข มีความคล้ายคลึงกับสูตรที่เกษตรกรใช้ที่ได้จากข้อมูลของโรงงานอ้อย และข้อมูลเศรษฐศาสตร์ แม้เกษตรกรจะไม่ทราบถึงสูตรและปริมาณปุ๋ยตามหลักวิชาการแต่จากข้อมูลการใช้ปุ๋ยพบว่าสัดส่วนของสูตรปุ๋ยที่นิยมใช้กัน มีความสอดคล้องกับปุ๋ยที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนไปตามการใช้งานและการสังเกตของเกษตรกร แต่ยังคงต้องมีการปรับแก้ให้แม่นยำยิ่งขึ้นด้วยการทดสอบและปรับค่าความคลาดเคลื่อนจากการปลูกจริง ในปีที่เป็นตัวแทนการปลูกอ้อยปกติได้ดี ซึ่งควรมีการประเมินและปลูกทดสอบ อย่างน้อย 2 รอบ และปลูกในพื้นที่เฉพาะกลุ่มชุดดินที่กำหนด เพื่อหาผลผลิตที่ได้ พร้อมตรวจสอบค่าเบี่ยงเบน เพื่อการปรับสูตรและปริมาณปุ๋ยให้ถูกต้องยิ่งขึ้นไป และเมื่อเสร็จแล้วควรพัฒนาต่อเป็น application ให้พร้อมใช้งาน และควรใช้ข้อมูลจากทั่วประเทศและแปลงทดสอบทั่วประเทศ โดยเฉพาะเขตที่มีการปลูกอ้อยมาก เพื่อสามารถขยายผลในการใช้งานได้ น่าเสียดายปีที่ทำการทดสอบมีปัญหาด้านสภาพภูมิอากาศ ทำให้ผลผลิตซึ่งเป็นตัวแทนไม่ถูกต้องนัก และสุดท้าย ขั้นตอนที่แน่นอนเพื่อกำหนดสูตรปุ๋ยที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อสร้างเป็นแนวทางในการพัฒนา โดยสามารถแยกส่วนการทำงาน หรือเลือกใช้ได้ เช่น ส่วนที่ใช้ในการคำนวณปุ๋ยเพื่อการผลิตปุ๋ยสำหรับโรงงาน ทั้งนี้ ถ้าต้องการนำไปใช้สำหรับพืชชนิดอื่นทั้งกระบวนการการปรับให้ใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 ตามชนิดพืช น่าจะช่วยให้สามารถขยายผลนำไปใช้ได้ แต่ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. เอกสารวิชาการลำดับที่ 8/2548. สำนักงานเลขาธิการกรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. น. 35 – 40.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. สืบค้นจาก: http://oss101.idd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm (25 มีนาคม 2563)
- กรมส่งเสริมการเกษตร. **การปลูกอ้อย**. สืบค้นจาก: <http://www.servicelink.doae.go.th/webpage/book%20PDF/crop/c009.pdf> (25 มีนาคม 2563)
- กลุ่มเศรษฐกิจที่ดินทางการเกษตร. 2562. **ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลสภาพทั่วไปของครัวเรือนเกษตรกร และภาวะการผลิตพืชเศรษฐกิจอ้อยโรงงานปีการผลิต 2562/63**. กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.
- สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยน้ำตาลทรายและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง. **คู่มือการจัดการไร่อ้อยอย่างยั่งยืน**. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สนอ.). 2558. **เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์อ้อย**. น. 18 – 25.
- สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน 2550. **การจัดการดินสำหรับปลูกอ้อย**. กรมพัฒนาที่ดิน.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. 2552. **โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2544. **เอกสารวิชาการ การปลูกดูแลรักษาพันธุ์อ้อย** สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร. น. 21-26.
- Guastaferro F., A. Castrignanò, D. De Benedetto, D. Sollitto, A. Troccoli, and B. Cafarelli. 2010. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. *Precision Agriculture* (2010) 11: 600-620. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4>
- Krienke B., B. Richard, M. Ferguson, K. Schlemmer, D. H. Marx and E. Kent. 2017. Using an unmanned aerial vehicle to evaluate nitrogen variability and height effect with an active crop canopy sensor. *Precision Agriculture* 18: 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>
- Olson K. 1998. *Precision Agriculture: Current economics and environmental issues*. Sixth Joint Conference on Food, Agriculture and the Environment (in honor of Professor Emeritus Philip M. Raup) Minneapolis, Minnesota.
- Pocknee S., C. Kvien, G. Rains, T. Fiez, J. Durfey and P. Mask. 2002. Web-Based Educational Programs in Precision Agriculture. *Precision Agriculture* 3:327-340. <https://doi.org/10.1023/A:1021536704349>.

ภาคผนวก

งานวิจัยโครงการนี้เป็นการพัฒนาลำดับขั้นตอนที่แน่นอน เพื่อให้สามารถแสดงผลได้ชัดเจน จำเป็นต้องแปลงลำดับขั้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทางโครงการได้ใช้ excel ในการจัดการฐานข้อมูล และใช้ภาษา Javascript เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการไหลเวียนของการคำนวณ และเพราะ source code มีความยาวมากไม่สามารถพิมพ์ออกมาได้ ทางโครงการจึงนำ source code ทั้งหมดเขียนลงในแผ่นซีดีแบบดิจิทัล source code ประกอบด้วยไฟล์ดังต่อไปนี้ readme.txt, sugarcals.html, temp.xls และ temp03.csv ซึ่งเป็นฐานข้อมูลค่าวิเคราะห์ของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดบุรีรัมย์

ไม่ต้องการการติดตั้งโปรแกรม สามารถใช้งานไฟล์ชื่อ sugarcals.html ได้ทันที หรืออ่าน readme.txt เพื่อทำความเข้าใจในการใช้งาน

การแปลผลวิเคราะห์ดิน

ตารางเปรียบเทียบระดับไนโตรเจน (N) ในดิน

ระดับไนโตรเจนต่ำมาก (VL)	>0.05%
ระดับไนโตรเจนต่ำ (L)	0.05-0.09%
ระดับไนโตรเจนปานกลาง (M)	0.10-0.14%
ระดับไนโตรเจนสูง (H)	>=0.15%

ตารางเปรียบเทียบระดับต่อฟอสฟอรัส ในดิน

ระดับฟอสฟอรัสต่ำมาก (VL)	<= 3 mg/kg
ระดับฟอสฟอรัสต่ำ (L)	3-10 mg/kg
ระดับฟอสฟอรัสปานกลาง (M)	11-25 mg/kg
ระดับฟอสฟอรัสสูง (H)	26-45 mg/kg
ระดับฟอสฟอรัสสูงมาก (VH)	>45 mg/kg

ตารางเปรียบเทียบระดับต่อปริมาณโพแทสเซียมในดิน

ระดับโพแทสเซียมต่ำมาก (VL)	<= 30 mg/kg
ระดับโพแทสเซียมต่ำ (L)	31-60 mg/kg
ระดับโพแทสเซียมปานกลาง (M)	61-90 mg/kg
ระดับโพแทสเซียมสูง (H)	91-120 mg/kg
ระดับโพแทสเซียมสูงมาก (VH)	>120 mg/kg

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 18 มิ.ย. 62 - 22 มิ.ย. 62 จังหวัดนครราชสีมา

Run no	Lab No.	Sendor Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			ϕ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
1		K01	Bt	15+	7.5YR2.5/3	sl		VL	VL	VL	6.0	14.8507	101.7597	796993	1643647	150.44	142.63	50.89	4.08	3.30	2.13	8.51
2		K01	Bt	25+	7.5YR2.5/2	sl+		VL	L	VL	6.0	14.8507	101.7597			156.04	148.63	55.24	4.48	3.43	1.73	7.93
3		K02	Bt	15+	7.5YR4/3	scl		VL	VL	VL	5.5	14.7580	102.0466	182009	1633649	153.49	146.22	50.76	4.53	3.05	1.94	7.62
4		K02	Bt	25+	5YR4/2	scl+		VL	VL	M	7.0	14.7580	102.0466			153.09	145.23	51.09	4.30	3.00	2.16	8.35
5		K03	Bt	15+	5YR3/3	scl		H	H	L	6.5	14.7437	102.0803	185620	1632018	146.82	140.06	54.82	4.40	3.40	1.65	7.93
6		K03	Bt	25+	7.5YR3/3	scl		H	L	L	5.5	14.7437	102.0803			137.38	130.53	51.28	4.85	3.78	1.13	8.64
7		K04	Bt	15+	7.5YR2.5/1	sl		VL	M	VL	7.0	15.0138	102.3044	210128	1661619	150.77	145.46	51.48	4.83	3.10	1.65	5.65
8		K04	Bt	25+	7.5YR3/2	scl	f3 5YR4/6	VL	M	L	7.0	15.0138	102.3044			158.73	154.03	53.26	4.80	3.75	1.48	4.66
9		K05	Bt	15+	10YR2/1	cl		VL	L	M	6.5	15.0137	102.3197	211774	1661588	129.91	122.24	50.47	4.05	3.10	1.80	10.69
10		K05	Bt	25+	7.5YR2.5/1	cl	f1 5YR4/6	VL	L	L	7.0	15.0137	102.3197			129.55	122.23	51.16	4.80	3.70	1.06	10.30
11		K06	Bt	15+	5YR4/1	cl		VL	M	H	7.5	15.0251	102.4179	222355	1662724	166.59	121.09	54.42	4.90	3.25	1.09	68.25
12		K06	Bt	25+	7.5YR2.5/2	c		VL	L	M	7.5	15.0251	102.4179			155.94	139.35	51.15	4.63	3.55	1.48	18.81
13		K07	Bt	15+	7.5YR3/3	sl		VL	H	H	6.0	15.0088	102.4358	224260	1660897	145.62	136.98	52.68	4.43	3.10	1.76	10.25
14		K07	Bt	25+	7.5YR4/4	sl+		VL	H	L	6.0	15.0088	102.4358			149.80	140.57	53.28	4.15	3.85	1.68	10.57
15		K08	Bt	15+	7.5YR2.5/2	scl		H	L	L	5.5	15.0041	102.4651	227406	1660341	139.43	133.69	41.29	4.33	3.00	2.09	6.21
16		K08	Bt	25+	7.5YR3/4	scl	f2 5YR5/8	VL	L	VL	6.0	15.0041	102.4651			146.38	140.77	50.51	4.05	3.00	2.33	6.22
17		K09	Bt	15+	5YR4/4	scl		L	H	L	6.5	15.0025	102.5138	232644	1660104	150.45	137.82	52.51	4.80	3.50	1.35	14.80
18		K09	Bt	25+	7.5YR3/4	scl+		VL	L	VL	7.0	15.0025	102.5138			150.72	137.62	51.45	4.88	3.50	1.32	15.20
19		K10	Bt	15+	7.5YR4/3	sl		VL	H	M	6.5	15.0063	102.5196	233273	1660518	147.87	141.59	53.37	4.40	3.75	1.55	7.12
20		K10	Bt	25+	7.5YR7/5	sl+		VL	M	L	5.0	15.0063	102.5196			150.22	143.40	53.31	4.18	3.15	2.08	7.57
21		K11	Bt	15+	7.5YR5/3	sl		VL	VH	M	6.5	15.0150	102.5135	232628	1661488	150.07	143.72	49.87	4.50	3.25	1.81	6.77
22		K11	Bt	25+	7.5YR3/3	sl+	f1 2.5YR4/6	VL	VH	L	7.5	15.0150	102.5135			156.58	150.18	52.60	4.60	3.25	1.81	6.56
23		K12	Bt	15+	7.5YR4/6	sl		VL	H	M	6.0	15.0139	102.5074	231970	1661374	135.86	129.05	50.61	4.40	3.78	1.36	8.68
24		K12	Bt	25+	7.5YR3/4	sl+		VL	H	L	6.5	15.0139	102.5074			143.29	135.84	52.07	4.93	3.00	1.46	8.89
25		K13	Bt	15+	7.5YR4/2	sl		VL	H	VL	6.0	15.0600	102.3861	218979	1666628	145.57	141.74	51.02	4.28	3.75	1.68	4.22
26		K13	Bt	25+	7.5YR4/6	sl+		VL	H	VL	5.0	15.0600	102.3861			142.64	139.02	49.93	4.85	3.75	1.29	4.06
27		K14	Bt	15+	7.5YR3/4	sl		VL	H	L	6.0	15.0472	102.3561			144.26	138.85	50.31	4.78	3.23	1.53	6.11
28		K14	Bt	25+	7.5YR3/3	sl+		VL	H	L	6.0	15.0472	102.3561			144.96	139.64	52.50	4.75	3.43	1.43	6.11
29		K15	Bt	15+	7.5YR3/2	sl		VL	VH	VL	6.5	14.5759	101.9865	821823	1613531	154.89	137.51	53.47	4.48	3.00	1.78	20.68
30		K15	Bt	25+	7.5YR3/3	scl		VL	VH	M	5.0	14.5759	101.9865			144.10	135.64	51.26	4.90	3.45	1.30	10.03
31		K16	Bt	15+	7.5YR3/3	scl		VL	M	L	6.0	14.5200	101.9630	819369	1607308	164.07	153.60	53.94	4.45	3.35	1.91	10.51
32		K16	Bt	25+	7.5YR3/2	scl+	f3 5YR5/8	VL	H	L	7.0	14.5200	101.9630			160.53	150.50	52.66	4.40	3.50	1.84	10.25
33		K17	Bt	15+	7.5YR3/4	scl		VL	L	L	6.0	14.5200	101.9630	819369	1607308	155.91	139.53	53.78	4.48	3.55	1.53	19.10
34		K17	Bt	25+	5YR2.5/1	scl+	f3 2.5YR4/8	VL	M	M	6.5	14.5200	101.9630			163.93	147.95	53.89	4.70	3.80	1.43	16.99
35		K18	Bt	15+	7.5YR4/4	cl		VL	L	L	5.0	14.3875	101.7590	797542	1592363	152.85	138.04	51.50	4.83	3.83	1.23	17.11
36		K18	Bt	25+	7.5YR2.5/2	cl, sg25%	f2 2.5YR4/8	VL	VL	M	5.0	14.3875	101.7590			145.39	129.98	41.45	4.43	3.95	1.45	17.41

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 18 มิ.ย. 62 - 22 มิ.ย. 62 จังหวัดนครราชสีมา

Run no	Lab No.	Sendor Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			ϕ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
37		K19	Bt	15+	7.5YR3/2	sl		VL	L	VL	4.5	14.4420	101.6554	786292	1598265	152.94	144.84	51.16	4.80	3.25	1.59	8.65
38		K19	Bt	25+	7.5YR3/3	sl+		VL	L	L	5.0	14.4420	101.6554			150.61	143.29	53.79	4.85	3.28	1.48	8.18
39		K20	Bt	15+	7.5YR3/3	sl		VL	M	VL	5.0	14.3993	101.6858	789627	1593576	133.95	121.71	41.65	4.48	3.00	1.69	15.29
40		K20	Bt	25+	7.5YR2.5/3	sl+		VL	L	L	4.5	14.3993	101.6858			144.07	132.80	52.07	4.48	3.03	1.69	13.96
41		K21	Bt	15+	7.5YR3/3	c		VL	L	L	6.0	14.4717	101.6259	783072	1601516	148.70	126.31	53.35	4.75	3.60	1.14	30.69
42		K21	Bt	25+	7.5YR3/6	c+		VL	VL	L	6.0	14.4717	101.6259			131.24	111.06	41.13	4.50	3.48	1.26	28.86
43		K22	Bt	15+	5YR3/4	cl		VL	VL	L	5.5	14.4840	101.6096	781298	1602858	149.60	126.73	54.69	4.30	3.65	1.36	31.75
44		K22	Bt	25+	2.5YR2.5/4	cl+		VL	VL	L	5.5	14.4840	101.6096			139.54	116.77	50.15	4.48	3.85	1.10	34.18
45		K23	Bt	15+	7.5YR4/6	cl		VL	VL	L	6.5	14.4842	101.5756	777631	1602839	140.62	126.34	52.06	4.63	3.95	1.12	19.22
46		K23	Bt	25+	5YR4/6	cl+		L	VL	L	5.0	14.4842	101.5756			146.81	131.98	51.27	4.48	3.50	1.46	18.37
47		K24	Bt	15+	7.5YR4/4	cl, sg		VL	VL	L	6.5	14.4967	101.5763	777691	1604223	145.52	131.71	52.73	4.20	3.25	1.75	17.49
48		K24	Bt	25+	7.5YR4/4	cl+, g		VL	VL	VL	6.0	14.4967	101.5763			148.31	134.35	50.07	4.80	3.85	1.21	16.56
49		K25	Bt	15+	5YR3/2	sl		VL	VH	H	7.5	15.5692	101.9743	819021	1723507	144.40	138.58	50.85	4.50	3.00	1.84	6.63
50		K25	Bt	25+	5YR3/3	sl+		VL	VH	VH	7.5	15.5692	101.9743			152.57	145.00	52.23	4.75	3.00	1.74	8.16
51		K26	Bt	15+	5YR3/2	sl		M	L	H	7.0	15.4166	102.0347	181710	1706595	145.53	141.02	49.82	4.45	3.38	1.73	4.95
52		K26	Bt	25+	7.5YR3/3	sl+		VL	M	H	7.5	15.4166	102.0347			139.45	133.67	51.84	4.70	3.45	1.37	7.06
53		K27	Bt	15+	7.5YR4/1	sl		VL	VH	H	7.0	15.4327	102.0755	186117	1708318	145.88	134.64	40.88	4.58	3.25	1.75	11.99
54		K27	Bt	25+	7.5YR2.5/1	sl+		VL	L	M	7.0	15.4327	102.0755			159.32	147.85	52.52	4.70	3.00	1.83	12.03
55		K28	Bt	15+	7.5YR3/2	sl		VL	VH	H	7.0	15.5306	102.1612	195465	1719035	147.19	139.40	50.05	4.05	3.65	1.90	8.72
56		K28	Bt	25+	7.5YR3/3	sl+		VL	H	H	7.5	15.5306	102.1612			149.48	142.41	50.71	4.40	3.25	1.85	7.71
57		K29	Bt	15+	7.5YR4/3	sl		VL	VL	VL	6.5	15.4960	102.1788	197304	1715179	131.21	128.17	50.53	4.50	3.50	1.39	3.92
58		K29	Bt	25+	7.5YR4/4	sl+		VL	VL	VL	7.0	15.4960	102.1788			130.33	128.79	51.52	4.85	3.75	1.11	1.99
59		K30	Bt	15+	7.5YR4/6	sl		VL	VL	VH	7.0	15.4551	102.1722	196536	1710659	147.38	139.02	40.11	4.48	3.00	2.09	8.45
60		K30	Bt	25+	7.5YR4/4	scl		VL	VL	H	7.0	15.4551	102.1722			149.83	141.01	47.03	4.50	3.25	1.82	9.38
61		Kt_31	Bt	15+				VL	VL	M	7.0	15.367749	102.357905	216359	1700735	147.03	139.94	53.55	4.53	3.05	1.76	8.21
62		Kt_31	Bt	25+				L	VL	L	7.5	15.367749	102.357905			148.01	140.73	51.62	4.05	3.10	2.23	8.17
63		Kt_32	Bt	15+				M	VL	M	7.0	15.420102	102.138104	192823	1706833	126.19	122.02	51.43	4.15	3.20	1.63	5.91
64		Kt_32	Bt	25+				M	VL	L	7.5	15.420102	102.138104			115.74	112.65	52.08	4.33	3.05	1.35	5.10
65		Kt_33	Bt	15+				M	VL	M	7.5	15.394254	102.178156	197087	1703914	112.45	108.44	53.17	4.23	3.25	1.21	7.26
66		Kt_33	Bt	25+				L	VL	M	7.5	15.394254	102.178156			123.06	117.32	50.59	4.45	3.03	1.42	8.60
67		Kt_34	Bt	15+				VL	VL	L	6.0	15.324997	102.086104	187095	1696376	155.14	138.81	50.77	4.05	3.05	2.24	18.55
68		Kt_34	Bt	25+				VL	VL	L	5.5	15.324997	102.086104			156.94	139.86	52.18	4.25	3.25	1.90	19.48
69		Kt_35	Bt	15+				VL	VL	M	7.5	15.327102	101.947235	816483	1696658	149.72	137.64	54.31	4.30	3.13	1.83	14.50
40		Kt_35	Bt	25+				VL	VL	VL	7.5	15.327102	101.947235			143.15	131.05	52.27	4.78	3.25	1.35	15.36
71		Kt_36	Bt	15+				M	VL	H	7.5	15.335144	101.925002	814082	1697516	155.11	146.78	53.84	4.50	3.10	1.88	8.96
72		Kt_36	Bt	25+				M	VL	H	7.0	15.335144	101.925002			162.95	152.39	52.89	4.65	3.78	1.55	10.61

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 24 ก.ค. 62 - 28 ก.ค. 62 จังหวัดชัยภูมิ

Run no	Lab No.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			φ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
1		Cp_1	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	15.897444	102.119586	191552	1759716	161.60	152.60	52.30	4.75	3.90	1.45	8.97
2		Cp_1	Bt	25+				VL	VL	L	7.0	15.897444	102.119586			150.38	142.43	53.02	4.38	3.38	1.75	8.89
3		Cp_2	Bt	15+				VL	VL	M	6.0	15.939843	102.160741	196026	1764350	137.79	134.52	50.31	4.63	3.05	1.64	3.88
4		Cp_2	Bt	25+				VL	VL	L	5.5	15.939843	102.160741			139.07	135.45	49.91	4.08	3.48	1.88	4.23
5		Cp_3	Bt	15+				VL	VL	L	5.5	15.953964	102.177431	197835	1765890	135.39	131.38	50.97	4.23	3.18	1.80	4.99
6		Cp_3	Bt	25+				VL	VL	VL	5.0	15.953964	102.177431			140.16	135.22	50.49	4.53	3.40	1.55	5.83
7		Cp_4	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	16.006668	102.222820	202775	1771660	147.04	134.43	41.17	4.33	3.08	2.06	13.52
8		Cp_4	Bt	25+				VL	VL	VL	5.0	16.006668	102.222820			154.99	143.07	50.73	4.60	3.08	1.80	12.91
9		Cp_5	Bt	15+				VL	VL	VL	6.0	16.027327	102.244609	205139	1773916	154.04	144.32	50.23	4.10	3.73	1.91	10.33
10		Cp_5	Bt	25+				VL	VL	VL	6.5	16.027327	102.244609			146.45	137.65	52.06	4.83	3.18	1.47	10.28
11		Cp_6	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	16.143404	102.302638	211521	1786687	120.46	118.14	54.03	4.40	3.05	1.38	3.62
12		Cp_6	Bt	25+				L	VL	VL	6.5	16.143404	102.302638			125.53	123.11	49.96	4.43	3.53	1.34	3.31
13		Cp_7	Bt	15+				VL	VL	L	7.0	16.158336	102.309786	212307	1788330	140.18	132.75	50.92	4.18	3.33	1.79	9.08
14		Cp_7	Bt	25+				VL	VL	L	7.0	16.158336	102.309786			149.74	139.26	42.60	4.38	3.58	1.79	10.84
15		Cp_8	Bt	15+				VL	VL	H	5.5	16.193584	102.322166	213683	1792215	134.02	130.80	49.53	4.18	3.65	1.62	3.96
16		Cp_8	Bt	25+				VL	VL	L	6.0	16.193584	102.322166			136.69	133.43	52.40	4.40	3.23	1.65	4.02
17		Cp_9	Bt	15+				VL	VL	M	7.0	16.226385	102.340674	215710	1795821	143.57	138.83	50.53	4.38	3.10	1.89	5.37
18		Cp_9	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	16.226385	102.340674			142.40	137.79	53.04	4.43	3.48	1.58	5.44
19		Cp_10	Bt	15+				VL	VL	L	6.5	16.287727	102.359992	217864	1802586	134.40	129.48	51.13	4.55	3.50	1.38	6.28
20		Cp_10	Bt	25+				VL	L	M	7.0	16.287727	102.359992			131.13	120.70	49.39	4.15	3.60	1.46	14.63
21		Cp_11	Bt	15+				L	VL	VL	6.0	16.287697	102.359977	217862	1802583	137.94	133.79	51.73	4.90	3.90	1.12	5.06
22		Cp_11	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	16.287697	102.359977			138.44	134.48	50.70	4.15	3.90	1.59	4.73
23		Cp_12	Bt	15+				L	VL	M	7.5	16.413409	102.392398	221508	1816456	141.94	132.97	52.45	4.28	3.25	1.72	11.14
24		Cp_12	Bt	25+				VL	VL	L	7.5	16.413409	102.392398			139.33	130.29	53.31	4.90	3.48	1.17	11.74
25		Cp_13	Bt	15+				VL	VL	M	7.0	16.380771	102.298025	211374	1812975	135.71	134.27	53.16	4.28	3.50	1.61	1.78
26		Cp_13	Bt	25+				VL	VL	L	7.0	16.380771	102.298025			144.92	141.65	51.48	4.88	3.33	1.45	3.63
27		Cp_14	Bt	15+				VL	VL	VH	6.0	16.373558	102.266882	208035	1812221	128.34	126.38	52.61	4.13	3.53	1.56	2.66
28		Cp_14	Bt	25+				VL	VL	M	5.0	16.373558	102.266882			150.33	146.05	51.40	4.63	3.20	1.76	4.52
29		Cp_15	Bt	15+				L	VL	VL	6.0	16.338051	102.234494	204519	1808336	133.47	130.33	52.04	4.43	3.88	1.31	4.01
30		Cp_15	Bt	25+				VL	VL	VL	6.5	16.338051	102.234494			130.48	127.66	52.58	4.38	3.40	1.46	3.76
31		Cp_16	Bt	15+				VL	VH	VH	6.5	16.305687	102.206022	201426	1804794	136.48	130.84	52.22	4.65	3.33	1.39	7.17
32		Cp_16	Bt	25+				VL	H	H	5.5	16.305687	102.206022			141.18	138.01	49.80	4.68	3.83	1.34	3.59
33		Cp_17	Bt	15+				L	L	L	7.0	16.153568	102.164254	196726	1788011	132.52	127.23	52.32	4.73	3.13	1.36	7.06
34		Cp_17	Bt	25+				L	VL	VL	6.5	16.153568	102.164254			131.40	125.78	53.41	4.78	3.58	1.13	7.77
35		Cp_18	Bt	15+				L	VL	M	7.0	16.109235	102.140455	194111	1783137	147.87	135.14	40.04	4.23	3.15	2.15	13.39
36		Cp_18	Bt	25+				L	VL	L	6.0	16.109235	102.140455			158.92	145.78	49.86	4.50	3.95	1.53	13.70
37		Cp_19	Bt	15+				L	VL	VH	8.0	16.328034	102.186949	199420	1807296	142.36	133.39	52.51	4.68	3.38	1.39	11.09

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 24 ก.ค. 62 - 28 ก.ค. 62 จังหวัดชัยภูมิ

Run no	Lab No.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			φ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
38		Cp_19	Bt	25+				VL	VL	VH	7.0	16.328034	102.186949			143.63	134.02	50.30	4.95	3.33	1.31	11.48
39		Cp_20	Bt	15+				VL	VL	L	7.0	16.349175	102.120616	192361	1809737	149.16	134.85	50.59	4.15	3.35	1.86	16.98
40		Cp_20	Bt	25+				VL	VL	M	8.0	16.349175	102.120616			154.03	138.90	50.83	4.18	3.33	1.93	17.18
41		Cp_21	Bt	15+				L	VL	L	6.0	16.367754	102.113003	191576	1811806	141.26	129.00	53.02	4.38	3.48	1.45	16.14
42		Cp_21	Bt	25+				VL	VL	L	7.5	16.367754	102.113003			142.75	128.52	50.63	4.23	3.93	1.41	18.27
43		Cp_22	Bt	15+				VL	L	VH	7.5	16.455728	102.119693	192430	1821537	133.74	125.47	52.13	4.45	3.10	1.52	11.28
44		Cp_22	Bt	25+				VL	VL	H	7.5	16.455728	102.119693			151.21	140.91	50.70	4.05	3.35	2.09	11.42
45		Cp_23	Bt	15+				M	L	VH	7.5	16.454158	102.095633	189856	1821400	138.71	124.13	50.81	4.53	3.28	1.39	19.89
46		Cp_23	Bt	25+				M	L	VH	7.5	16.454158	102.095633			139.46	124.00	50.84	4.43	3.30	1.44	21.13
47		Cp_24	Bt	15+				M	VL	M	7.0	16.489569	102.059822	186086	1825377	152.47	136.70	52.73	4.08	3.50	1.83	18.78
48		Cp_24	Bt	25+				VL	VL	L	7.0	16.489569	102.059822			152.67	137.14	53.61	4.83	3.48	1.31	18.59
49		Cp_25	Bt	15+				VL	VL	M	7.0	16.509811	102.028732	182797	1827668	143.17	133.79	50.56	4.15	3.10	1.98	11.27
50		Cp_25	Bt	25+				L	L	M	7.0	16.509811	102.028732			143.67	132.71	50.12	4.05	3.90	1.64	13.27
51		Cp_26	Bt	15+				VL	VL	L	7.5	16.553968	101.977271	817771	1832567	166.94	150.21	52.57	4.83	3.23	1.65	17.13
52		Cp_26	Bt	25+				VL	VL	L	6.0	16.553968	101.977271			170.09	151.72	50.51	4.05	3.13	2.51	18.15
53		Cp_27	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	16.574656	101.917632	811367	1834765	139.88	136.08	52.90	4.05	3.48	1.85	4.57
54		Cp_27	Bt	25+				VL	L	VL	7.0	16.574656	101.917632			138.77	135.67	52.89	4.43	3.20	1.68	3.74
55		Cp_28	Bt	15+				L	VL	VL	6.5	16.521737	101.874590	806854	1828838	144.72	136.99	49.78	4.18	3.08	2.06	8.86
56		Cp_28	Bt	25+				L	VL	L	6.0	16.521737	101.874590			142.35	135.37	51.13	4.95	3.53	1.24	8.29
57		Cp_29	Bt	15+				M	VL	L	4.5	16.519499	101.897192	809272	1828625	138.38	131.10	51.36	4.65	3.90	1.20	9.13
58		Cp_29	Bt	25+				L	VL	VL	4.0	16.519499	101.897192			140.24	133.32	52.51	4.85	3.50	1.25	8.56
59		Cp_30	Bt	15+				L	VL	M	7.5	16.452700	101.957491	815822	1821321	136.51	133.59	50.70	4.60	3.43	1.45	3.52
60		Cp_30	Bt	25+				VL	VL	M	7.5	16.452700	101.957491			135.13	132.50	52.05	4.73	3.60	1.27	3.27

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 3 ส.ค. 62 - 8 ส.ค. 62 จังหวัดสุรินทร์ จังหวัดบุรีรัมย์

Run no	Lab No.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			φ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
1		Su_1	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	14.696248	103.299580	316913	1625419	141.81	136.20	53.89	4.43	3.25	1.64	6.82
2		Su_1	Bt	25+				VL	VL	VL	5.5	14.696248	103.299580			122.73	117.71	40.21	4.43	3.75	1.34	6.48
3		Su_2	Bt	15+				VL	VL	VL	6.5	14.633912	103.291724	316014	1618528	133.61	130.77	54.10	4.70	3.65	1.21	3.70
4		Su_2	Bt	25+				VL	VL	VL	6.5	14.633912	103.291724			132.57	127.91	50.87	4.23	3.53	1.55	6.05
5		Su_3	Bt	15+				VL	VL	L	7.0	14.514244	103.379102	325333	1605219	123.66	118.72	50.55	4.05	3.15	1.68	7.25
6		Su_3	Bt	25+				VL	VL	M	7.0	14.514244	103.379102			122.34	117.55	52.70	4.45	3.60	1.16	7.39
7		Su_4	Bt	15+				VL	VL	L	6.5	14.456217	103.443216	332200	1598751	132.97	126.41	51.10	4.28	3.28	1.60	8.71
8		Su_4	Bt	25+				VL	L	L	6.5	14.456217	103.443216			143.90	136.52	50.08	4.20	3.05	2.04	8.54
9		Su_5	Bt	15+				VL	L	VL	6.0	14.507512	103.527295	341301	1604366	154.04	140.72	50.38	4.55	3.28	1.69	14.74
10		Su_5	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	14.507512	103.527295			153.00	141.52	53.80	4.73	3.20	1.56	13.09
11		Su_6	Bt	15+				VL	VL	VL	4.5	14.452988	103.728511	362954	1598205	159.71	145.22	51.37	4.50	3.18	1.85	15.44
12		Su_6	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	14.452988	103.728511			167.03	151.54	53.14	4.83	3.70	1.45	15.74
13		Su_7	Bt	15+				VL	VL	M	6.5	14.470507	103.761884	366562	1600123	154.70	145.95	52.23	4.70	3.33	1.62	9.34
14		Su_7	Bt	25+				VL	VL	M	6.5	14.470507	103.761884			152.25	143.55	51.91	4.25	3.10	2.08	9.49
15		Su_8	Bt	15+				VL	VL	M	7.5	14.479670	103.802475	370942	1601113	172.19	158.65	50.32	4.48	3.10	2.22	12.50
16		Su_8	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	14.479670	103.802475			172.14	158.42	51.03	4.50	3.63	1.86	12.78
17		Su_9	Bt	15+				VL	VL	VL	6.5	14.499696	103.884693	379815	1603284	141.23	134.56	52.72	4.80	3.35	1.35	8.15
18		Su_9	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	14.499696	103.884693			144.25	137.22	50.46	4.95	3.38	1.33	8.10
19		Su_10	Bt	15+				VL	VL	VL	4.5	14.559445	103.973940	389463	1609848	164.83	150.57	52.47	4.90	3.28	1.59	14.54
20		Su_10	Bt	25+				VL	VL	VL	4.5	14.559445	103.973940			164.41	149.77	52.03	4.83	3.78	1.41	14.98
21		Br_1	Bt	15+				VL	L	VL	6.0	15.131297	103.387312	326710	1673484	146.84	137.01	52.51	4.45	3.50	1.55	11.63
22		Br_1	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	15.131297	103.387312			146.06	137.01	51.37	4.70	3.48	1.42	10.57
23		Br_2	Bt	15+				VL	M	VL	6.5	15.144252	103.405903	328718	1674903	158.02	148.38	50.36	4.80	3.08	1.76	9.83
24		Br_2	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	15.144252	103.405903			148.04	139.18	50.13	4.10	3.48	1.94	9.95
25		Br_3	Bt	15+				L	VL	VL	6.0	15.169710	103.361753	323995	1677755	145.90	136.85	50.73	4.58	3.48	1.50	10.51
26		Br_3	Bt	25+				L	VL	VL	6.5	15.169710	103.361753			147.23	138.11	51.64	4.43	3.05	1.84	10.55
27		Br_4	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	15.210787	103.317125	319234	1682336	159.69	145.33	52.59	4.68	3.63	1.48	15.48
28		Br_4	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	15.210787	103.317125			154.72	143.27	54.13	4.75	3.15	1.60	12.84
29		Br_5	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	15.247962	103.289296	316276	1686473	169.91	155.95	54.72	4.70	3.38	1.73	13.79
30		Br_5	Bt	25+				VL	VL	VL	6	15.247962	103.289296			167.32	153.27	51.87	4.63	3.30	1.82	13.86
31		Br_6	Bt	15+				VL	VL	VL	6.5	15.224282	103.235997	310529	1683898	153.58	143.60	52.39	4.75	3.43	1.50	10.94
32		Br_6	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	15.224282	103.235997			144.76	137.48	52.38	4.78	3.50	1.35	8.55
33		Br_7	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	15.191767	103.193490	305932	1680338	122.85	118.74	50.88	4.90	3.63	0.99	6.06
34		Br_7	Bt	25+				VL	VL	VL	6.0	15.191767	103.193490			147.16	140.79	52.94	4.75	3.48	1.42	7.25
35		Br_8	Bt	15+				VL	VL	VL	6.0	15.217776	103.185559	305104	1683223	170.54	155.46	54.85	4.75	3.58	1.59	14.99
36		Br_8	Bt	25+				VL	VL	VL	6.5	15.217776	103.185559			164.99	150.07	51.35	4.13	3.50	2.10	15.11
37		Br_9	Bt	15+				VL	VL	VL	6.5	15.216670	103.139861	300193	1683142	153.69	143.00	50.29	4.10	3.40	2.06	11.53
38		Br_9	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	15.216670	103.139861			160.51	149.34	54.17	4.63	3.18	1.78	11.74
39		Br_10	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	15.288384	103.119982	298126	1691096	148.88	140.95	52.40	4.63	3.55	1.48	8.96
40		Br_10	Bt	25+				L	VL	VL	6.0	15.288384	103.119982			149.29	141.53	52.73	4.50	3.10	1.80	8.74
41		Br_11	Bt	15+				VL	VL	VL	5.0	15.331148	103.106684	296738	1695841	156.54	145.55	53.57	4.70	3.25	1.63	11.95
42		Br_11	Bt	25+				VL	VL	VL	4.5	15.331148	103.106684			153.66	145.43	50.11	4.23	3.50	1.94	8.63
43		Br_12	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	15.240767	103.009251	286183	1685932	137.96	134.34	52.15	4.63	3.25	1.50	4.40
44		Br_12	Bt	25+								15.240767	103.009251			141.88	138.35	51.64	4.63	3.05	1.69	4.07
45		Br_13	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	15.166458	103.033204	288683	1677686	143.37	138.70	54.87	4.65	3.45	1.43	5.57
46		Br_13	Bt	25+				M	VL	VL	7.0	15.166458	103.033204			143.95	139.37	52.67	4.33	3.33	1.77	5.28

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลค่าวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม วันที่ 3 ส.ค. 62 - 8 ส.ค. 62 จังหวัดสุรินทร์ จังหวัดบุรีรัมย์

Run no	Lab No.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Color (moist)	Texture	Mottles	N	P	K	pH	Lat	Long	E	N	Wt. of Can & Core, (g)			ϕ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	qw % by wt.
																Moist soil	Dry soil	Core				
47		Br_14	Bt	15+				VL	VL	VL	5.0	14.995623	102.813409	264870	1659003	151.25	138.35	53.20	4.58	3.08	1.68	15.15
48		Br_14	Bt	25+				M	VL	VL	5.0	14.995623	102.813409			141.59	125.89	50.70	4.08	3.30	1.74	20.88
49		Br_15	Bt	15+				L	VL	VL	6.5	14.967333	102.804395	263869	1655881	147.62	142.81	53.57	4.60	3.70	1.45	5.39
50		Br_15	Bt	25+				L	VL	VL	6.5	14.967333	102.804395			144.23	139.69	49.86	4.08	3.05	2.25	5.05
51		Br_16	Bt	15+				L	VL	M	7.0	14.682128	102.702408	252572	1624426	135.91	132.12	51.90	4.78	3.25	1.37	4.72
52		Br_16	Bt	25+				L	VL	M	7.0	14.682128	102.702408			139.67	135.57	50.89	4.25	3.08	1.94	4.84
53		Br_17	Bt	15+				M	VL	VL	6.5	14.702527	102.669063	249003	1626720	133.02	129.15	50.79	4.08	3.25	1.84	4.94
54		Br_17	Bt	25+				L	VL	VL	6.5	14.702527	102.669063			125.84	121.92	49.56	4.33	2.53	1.94	5.42
55		Br_18	Bt	15+				L	VL	VL	5.0	14.702897	102.652841	247255	1626779	139.75	134.98	53.05	4.38	3.48	1.56	5.82
56		Br_18	Bt	25+				L	VL	VL	5.0	14.702897	102.652841			145.54	140.30	55.15	4.05	3.08	2.15	6.15
57		Br_19	Bt	15+				VL	VL	M	7.5	14.736705	102.637587	245651	1630539	137.69	133.11	50.44	4.05	3.10	2.07	5.54
58		Br_19	Bt	25+				VL	VL	M	7.5	14.736705	102.637587			139.36	134.36	51.99	4.25	3.05	1.90	6.07
59		Br_20	Bt	15+				VL	VL	H	7.5	14.774495	102.635984	245522	1634723	118.30	111.59	42.00	4.15	3.05	1.69	9.64
60		Br_20	Bt	25+				VL	VL	M	7.5	14.774495	102.635984			125.23	118.95	50.55	4.05	3.60	1.47	9.18
61		Br_21	Bt	15+				VL	VL	L	7.5	14.809869	102.650814	247161	1638622	135.10	128.30	52.41	4.28	3.25	1.62	8.96
62		Br_21	Bt	25+				VL	VL	L	7.5	14.809869	102.650814			138.02	131.30	51.94	4.45	3.60	1.42	8.47
63		Br_22	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	14.839008	102.655017	247647	1641842	154.70	141.00	50.18	4.13	3.23	2.10	15.08
64		Br_22	Bt	25+				VL	VL	VL	7.0	14.839008	102.655017			166.29	151.30	52.67	4.38	3.15	2.08	15.20
65		Br_23	Bt	15+				VL	VL	M	7.5	14.862700	102.674150	249734	1644443	140.63	131.49	52.89	4.55	3.38	1.43	11.63
66		Br_23	Bt	25+				VL	VL	M	7.5	14.862700	102.674150			136.45	125.75	52.84	4.43	3.25	1.45	14.68
67		Br_24	Bt	15+				VL	VL	VL	7.0	14.887774	102.623413	244302	1647276	147.17	139.39	54.42	4.25	3.28	1.83	9.16
68		Br_24	Bt	25+				VL	VL	L	7.0	14.887774	102.623413			136.78	129.24	51.75	4.58	2.60	1.81	9.73
69		Br_25	Bt	15+				VL	VL	L	7.5	14.854535	102.599253	241662	1643625	133.64	121.59	40.41	4.08	3.05	2.03	14.84
70		Br_25	Bt	25+				VL	VL	L	7.5	14.854535	102.599253			133.48	129.76	50.47	4.05	3.25	1.89	4.69
71		Br_26	Bt	15+				VL	VL	VL	5.5	14.784200	102.589742	240554	1635850	131.74	127.91	55.29	4.38	3.70	1.30	5.27
72		Br_26	Bt	25+				VL	VL	VL	5.0	14.784200	102.589742			146.59	134.40	49.34	4.05	2.45	2.69	14.33
73		Kt_31	Bt	15+				VL	VL	M	7.0	15.367749	102.357905	216359	1700735	147.03	139.94	53.55	4.53	3.05	1.76	8.21
74		Kt_31	Bt	25+				L	VL	L	7.5	15.367749	102.357905			148.01	140.73	51.62	4.05	3.10	2.23	8.17
75		Kt_32	Bt	15+				M	VL	M	7.0	15.420102	102.138104	192823	1706833	126.19	122.02	51.43	4.15	3.20	1.63	5.91
76		Kt_32	Bt	25+				M	VL	L	7.5	15.420102	102.138104			115.74	112.65	52.08	4.33	3.05	1.35	5.10
77		Kt_33	Bt	15+				M	VL	M	7.5	15.394254	102.178156	197087	1703914	112.45	108.44	53.17	4.23	3.25	1.21	7.26
78		Kt_33	Bt	25+				L	VL	M	7.5	15.394254	102.178156			123.06	117.32	50.59	4.45	3.03	1.42	8.60
79		Kt_34	Bt	15+				VL	VL	L	6.0	15.324997	102.086104	187095	1696376	155.14	138.81	50.77	4.05	3.05	2.24	18.55
80		Kt_34	Bt	25+				VL	VL	L	5.5	15.324997	102.086104			156.94	139.86	52.18	4.25	3.25	1.90	19.48
81		Kt_35	Bt	15+				VL	VL	M	7.5	15.327102	101.947235	816483	1696658	149.72	137.64	54.31	4.30	3.13	1.83	14.50
82		Kt_35	Bt	25+				VL	VL	VL	7.5	15.327102	101.947235			143.15	131.05	52.27	4.78	3.25	1.35	15.36
83		Kt_36	Bt	15+				M	VL	H	7.5	15.335144	101.925002	814082	1697516	155.11	146.78	53.84	4.50	3.10	1.88	8.96
84		Kt_36	Bt	25+				M	VL	H	7.0	15.335144	101.925002			162.95	152.39	52.89	4.65	3.78	1.55	10.61

สัญญาเลขที่ RDG62T0094

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง”

โดย

ปญญिता ตระกูลยิ่งเจริญ

กฤษฏ์ สังขศิลา

รัชชัย อินทร์บุญช่วย

เมษายน 2563

“งานวิจัยยังไม่สมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง”

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้คำนวณหาชนิดและปริมาณของปุ๋ยที่มีขายตามท้องตลาดเพื่อนำมาผสมกัน ใช้สำหรับปลูกอ้อยโดยคาดว่าอ้อยจะให้ผลผลิตที่สูงตามที่กำหนด ดำเนินการรวม 2 ปี การพัฒนาโปรแกรมทำแล้วเสร็จในปีแรก สำหรับงานในปีที่สองนี้ดำเนินงานสองส่วน ปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีความน่าเชื่อถือ และการตรวจสอบผลการคำนวณชนิดและปริมาณปุ๋ยที่เป็นคำตอบในแปลงปลูกของเกษตรกร การหาคำตอบมี 3 ขั้นตอน คำตอบขั้นต้นจะเป็นการหาปริมาณอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน) และจุลธาตุ (สังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และโบรอน) ที่พอเพียงต่อความต้องการของอ้อยที่จะให้ผลผลิตสูงตามกำหนด คำตอบขั้นที่สองคือปริมาณธาตุอาหารที่คำนวณได้ขั้นต้นเทียบให้เป็นปริมาณธาตุอาหารที่ต้องใส่ลงไปในดิน และคำตอบขั้นสุดท้ายคือการนำคำตอบขั้นที่สองกำหนดเป็นชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีขายตามท้องตลาด

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบขั้นต้น คำนวณจากฐานข้อมูลความต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากนั้นใช้ค่าสัดส่วนธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุต่อธาตุไนโตรเจนที่ตรวจพบในใบอ้อย (N:Ca N:Mg N:S N:Zn N:Cu N:Mn N:Fe และ M:B) เพื่อคำนวณหาความต้องการธาตุอาหารรองและจุลธาตุ

คำตอบขั้นที่สองทำโดยสร้างสมการอนุพันธ์อธิบายถึงสมดุลของแต่ละธาตุอาหารในดิน จะสร้างสมการแยกกันในแต่ละธาตุอาหาร ดังนั้นแต่ละธาตุอาหารจะไม่มีปฏิกริยาสัมพันธ์กันในดิน ในแต่ละสมการอนุพันธ์สมดุลธาตุอาหารในดินประกอบด้วยพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นตัวแทนกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในดิน พจน์เหล่านี้มีรูปแบบเป็นสมการย่อยเขียนให้อยู่ในรูปที่เป็นฟังก์ชันของค่าคุณสมบัติดิน (เช่นค่าความเป็นกรดด่างดิน หรือปริมาณอนุภาคขนาดแร่ดินเหนียว เป็นต้น) และ/หรือค่าตัวแปรสภาพแวดล้อมอื่น (เช่นปริมาณน้ำฝนรายวัน เป็นต้น) กระบวนการที่เลือกให้มีในสมการสมดุลธาตุอาหารในดินได้แก่ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ กระบวนการตรึงธาตุอาหารในดิน กระบวนการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหาร กระบวนการดูดซับธาตุอาหารที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ และกระบวนการชะละลาย การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในลักษณะนี้ก็เพื่อให้โปรแกรมมีความสามารถนำไปใช้คำนวณหาคำตอบได้ในสภาพหลากหลายของค่าคุณสมบัติดินและสภาพแวดล้อมที่ใช้ปลูกอ้อยของประเทศ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงประกอบไปด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ย่อยๆจำนวนมาก และมีหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบของสมการถูกเลือกให้เหมาะสมสำหรับแต่ละกระบวนการ สมการย่อยที่จะประกอบด้วยค่าคงที่และอาจมีหลายค่าคงที่ต่อสมการ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการหาค่าคงที่ที่เหมาะสม เรียกวิธีการหาค่าคงที่ว่า “การสอบเทียบโปรแกรม” (calibration of the program) โครงการเลือกวิธีการสอบเทียบด้วยการเดาค่าคงที่ขึ้นมาหนึ่งเซตเสียก่อน จากนั้นใช้ค่าคงที่เซตนี้ไปคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริงจากแปลงเกษตรกรเพื่อหาความผิดพลาด ถ้าค่าความผิดพลาดยังสูงอยู่จะปรับปรุงเซตของค่าคงที่ แล้วใช้ค่าคงที่ของเซตที่ปรับปรุงแล้วไปคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ครั้งใหม่ ทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จนได้เซตของค่าคงที่ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยมากๆ จึงสิ้นสุดขั้นตอนสอบเทียบ และเซตค่าคงที่ที่ปรับปรุงแล้วสามารถนำไปใช้งานได้ โครงการเลือกใช้วิธีลองผิดลองถูกในการปรับปรุงเซตของค่าคงที่ ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์และค่าที่วัดได้จริงในแปลงปลูกอ้อยต่อไปนี้ถูกใช้เพื่อการสอบเทียบ ใช้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12

เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของไนโตรเจนในดิน ใช้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของฟอสฟอรัสในดิน ใช้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของโพแทสเซียมในดิน ใช้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของแคลเซียมในดิน ใช้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของแมกนีเซียมในดิน ใช้ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินและความเข้มข้นของกำมะถันในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของกำมะถันในดิน ใช้ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินและความเข้มข้นของสังกะสีในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของสังกะสีในดิน ใช้ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินและความเข้มข้นของทองแดงในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของทองแดงในดิน ใช้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินและความเข้มข้นของเหล็กในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของเหล็กในดิน และใช้ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้ในดินและความเข้มข้นของโบรอนในใบอ้อยขณะอายุ 8 และ 12 เดือนในการสอบเทียบสมการสมดุลของโบรอนในดิน ค่าที่วัดได้จริงที่ใช้ในการสอบเทียบโปรแกรมครั้งนี้ได้จากการอ้อยปลูกทดสอบในปีแรกจากแปลงเกษตรกร 3 สถานที่ ได้แก่ สถานที่ทดสอบกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขต ทั้งสามสถานที่ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดนครปฐมและกาญจนบุรี เมื่อได้เซตของค่าคงที่แล้วยังต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (validation of the program) หรือเปอร์เซ็นต์ความมั่นใจในการใช้งานว่ามีความมั่นใจในการใช้งานมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าความน่าเชื่อถือได้สามารถคำนวณได้จากค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ใช้วิธีหาความผิดพลาดสัมพัทธ์ของค่าที่วัดได้จริงเทียบกับค่าที่คำนวณได้เช่นเดียวกับในขั้นตอนสอบเทียบ ใช้เซตค่าคงที่เซตเดียวที่เป็นผลลัพธ์ของการสอบเทียบค่าที่วัดจริงได้จากอ้อยตอนแปลงที่เป็นแปลงเดียวกันกับอ้อยปลูกในปีแรก ผลการใช้ความเข้มข้นธาตุอาหารในใบอ้อยได้ค่าความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็น 97 64 88 74 86 93 64 97 96 90 และ 96% และเมื่อใช้การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดินโปรแกรมมีค่าน่าเชื่อถือเป็น 99 99 95 97 92 90 95 97 98 93 และ 90% สำหรับธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน สังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และโบรอน ตามลำดับ

ในการหาคำตอบขั้นที่สามเป็นการนำคำตอบขั้นที่สองไปคำนวณหา ชนิดและปริมาณของปุ๋ยที่มีขายตามท้องตลาดที่จะนำมาผสมกันเพื่อใช้ปลูกอ้อยให้ผลผลิตสูง ใช้หลักการสมดุลปริมาณแคปไออนและแอนไอออนที่ละลายได้จากปุ๋ย กล่าวคือในการดูดซับธาตุอาหารของอ้อยในแต่ละครั้ง อ้อยจะดูดธาตุอาหารในรูปของแคปไออน (ประจุบวก) ให้มีปริมาณพอๆ กันกับปริมาณของแอนไอออน (ประจุลบ) โครงการเลือกใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมของสมการด้วยวิธีซิมเพลก (simplex algorithm)

การตรวจสอบคำตอบขั้นที่สามที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำโดยใช้แปลงทดสอบที่เป็นแปลงเดียวกันกับที่ได้ดำเนินการไว้ในปีแรกแต่อ้อยเป็นอ้อยต่อ กำหนด 7 ตำรับทดลอง ให้ปุ๋ยตามเกษตรกร (1 ตำรับทดลอง) ให้ปุ๋ยโดยใช้ค่าคุณสมบัติดินจากแผนที่ดิน แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณชนิดและปริมาณปุ๋ยโดยกำหนดผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตันต่อไร่ (3 ตำรับทดลอง) และกำหนดปุ๋ยโดยเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์หาคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้เมื่อกำหนดผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตันต่อไร่ (3 ตำรับทดลอง) ทดสอบทั้ง 3 สถานที่เดิม พบว่าผลผลิตที่ได้จากตำรับทดลองเหล่านี้้อยู่

ในช่วงที่มีผลผลิตที่สูงกว่าของเกษตรกรทั่วไป ผลผลิตอยู่ระหว่าง 14.1-17.1 ตันต่อไร่ ทุกตำบลทดลองให้ผลผลิตที่ต่ำกว่ากำหนดไว้ตามตำบลทดลอง (เช่นกำหนดไว้ 15 ได้จริงเพียง 14.1 ตันต่อไร่ เป็นต้น) สาเหตุที่ผลผลิตอ้อยไม่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกันตามตำบลทดลอง เกิดจากปริมาณน้ำที่อ้อยได้รับในแต่ละแปลง (น้ำฝนรวมน้ำให้เสริม) อยู่ในช่วง 571-886 มม./ปี ซึ่งต่ำกว่าปริมาณน้ำที่พอเพียงต่อความต้องการของอ้อยซึ่งมีความต้องการมากกว่า 1200 มม./ปี

บทคัดย่อ

โครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” มีจุดมุ่งหมายเพื่อประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดเพื่อนำไปผสมกันใช้ปลูกอ้อยเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ปุ๋ยที่ผสมแล้วจะมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยครบทุกธาตุการประมวลผลใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับตลอดช่วงปลูก ค่าคุณสมบัติดินที่ใช้ปลูกอ้อย และเซตของค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ก่อนจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้อย่างมั่นใจ ต้องดำเนินการ 2 ขั้นตอน สอบเทียบโปรแกรมเพื่อปรับปรุงรูปแบบการใช้ในการคำนวณและหาเซตค่าคงที่ที่ใช้ในการประมวลผล ทั้งสองขั้นตอนทำโดยใช้หลักหาความผิดพลาดสัมพัทธ์ระหว่างค่าที่คำนวณได้และค่าที่วัดได้จริง ใช้ค่าข้อมูลสิ้นปีแรกของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่คงเหลืออยู่ในดินและค่าความเข้มข้นธาตุอาหารที่สะสมในใบเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน โดยแยกหาสำหรับแต่ละธาตุอาหาร ใช้ข้อมูลที่ได้จากงานทดสอบในแปลงปีที่สองสำหรับการตรวจหาความน่าเชื่อถือของโปรแกรม แต่ใช้เฉพาะข้อมูลเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน พบว่าผลการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความน่าเชื่อถือของแต่ละธาตุอาหาร >75% และ >90% เมื่อใช้ความเข้มข้นธาตุอาหารในใบและการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินเป็นตัวตรวจสอบตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าทั้งตัวโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเซตของค่าคงที่ที่ใช้รวมประมวลผลให้ความน่าเชื่อถือในระดับที่จะสามารถนำไปใช้งานได้

การดำเนินงานทดสอบในแปลงเกษตรกร เพื่อใช้ตรวจสอบการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของอ้อย ในปีแรกพบว่าตำรับทดลองที่ใช้ข้อมูลคุณลักษณะทั้งจากแผนที่ดินและการวิเคราะห์ค่าคุณลักษณะดินในห้องปฏิบัติการ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลหาชนิดและปริมาณปุ๋ยเพื่อใช้ในแต่ละตำรับทดลองนั้น อ้อยปลูกใหม่ให้ผลผลิตที่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกัน ในทุกสถานที่ทดสอบ ผลผลิตอ้อยที่ได้รับจากตำรับทดลองที่ใช้แผนที่ดินและค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 16.9-22.9 และ 17.3-21.6 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ไม่พบความแตกต่างของคุณภาพความหวานของผลผลิตอ้อย ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.8-15.8% ส่วนในปีที่สองซึ่งเป็นอ้อยต่อได้ผลทดลองในทำนองเดียวกัน การใช้แผนที่ดินและการใช้ค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเป็นฐานในการกำหนดปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลผลิตระหว่าง 15.6-17.1 และ 14.1-15.1 ตันต่อไร่ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้ไม่ตอบสนองต่อชนิดและปริมาณปุ๋ยของตำรับทดลอง คุณภาพความหวานของอ้อยในแต่ละตำรับทดลองก็ไม่แตกต่างกัน ซีซีเอสอยู่ระหว่าง 14.3-15.5% ในปีแรกอ้อยได้รับน้ำฝนรวมกับให้น้ำเสริมในช่วง 835-1,294 มม. อุณหภูมิช่วงเติบโตด้านลำต้นและสะสมน้ำตาลในช่วง 28.0-28.8 และ 27.0-28.0 เซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่อ้อยต่อได้รับน้ำระหว่าง 571-886 มม. และอุณหภูมิในสองช่วงการเจริญเติบโตเป็น 28.2-29.2 และ 27.6-28.8 เซลเซียสตามลำดับ จึงสรุปว่าการตอบสนองด้านผลผลิตของอ้อยต่อปุ๋ยจะเกิดขึ้นเมื่ออ้อยได้รับน้ำมากกว่า 900 มม. ตลอดช่วงปลูก ส่วนคุณภาพของอ้อยที่ไม่แตกต่างกันเพราะอ้อยได้รับอุณหภูมิพอกันในทุกสถานที่และทุกปีที่ทดสอบ

Abstract

The “Computer Program of Fertilizer Determination for High Yielding Sugarcane” project aimed at finding of types and rates of commercial fertilizers for application on high yielding sugarcane. The finding fertilizers would hold all sugarcane essential nutrients. The program requires amount of rainfall, soil attributes, and a set of program constants as inputs. Program has passed two major steps for its reliability of application, namely program calibration and validation. Both steps require to find relative error which computed from differences between computed values and measurement values. The project used nutrient concentration in sugarcane leaves and that of in soils as tested values. All essential nutrients were performed individually. Collected data from sugarcane at ages of 8 and 12 months were used for calibration, while those of at the 8 month were used for program validation. Results of both steps gave reliability indices more than 75% for leaf and >90% for soil. Both indices explicitly showed that the program was applicable.

To investigate the applicability of the result of the computer program, the field tests were performed for 2 consequence years. In the 1st year, soil attributes from either the soil map or the laboratory analysis was used to compute types and rates of fertilizer, treated as fertilizer treatments. The yield responded well among fertilizer treatments. Any source of soil attributes used did not give any difference in yield responses. The yield ranged 16.9-22.9 ton/rai and 17.3-21.6 ton/rai for uses of the soil map and the laboratory analysis, respectively. The quality of sugarcane was not different among fertilizer treatments. The CCS values ranged 14.8-15.1%. In the 2nd year, sugarcane yield responded in the same manner as did the 1st year. The yield responses ranged 15.6-17.1 and 14.1-15.1 ton/rai for uses of the soil map use and laboratory analysis, respectively. Their yield responses were not significantly different among fertilizer treatments. The CCS values were not significant as well. Their CCS values ranged between 14.3-15.5%. In the 1st year, sugarcane received total water amount of 832-1294 mm. While that of in the 2nd year received total water amount of 571-886 mm. It drastically decreased in total amount received from year to year. The sugarcane received average temperatures of 28.0-28.8C and 27.0-28.0C respectively for their vegetative and sugar accumulation growth period in the 1st year. They received average temperatures of 28.3-29.2C and 27.6-28.8C for the two stages of growth in the 2nd year. Results strongly suggested that sugarcane will response to any fertilizer treatment when it receive total amount of water for more than 900 mm. annually.

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	
บทคัดย่อ (ไทย-อังกฤษ)	
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1-2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผลของสัดส่วนธาตุอาหารในใบ รูปธาตุอาหารในดิน ต่อผลผลิตของอ้อย	2-1
2.2 สัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง	2-1
2.3 การแจกกระจายปริมาณธาตุอาหารในใบอ้อยตามอายุอ้อย	2-2
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 กิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3-1
3.1.1 การสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3-1
3.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3-3
3.2 กิจกรรมทดสอบผลการปรับปรุงคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ	3-3
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	
4.1 ผลการดำเนินงานกิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-1
4.1.1 กิจกรรมย่อยการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างใบ	4-1
4.1.2 กิจกรรมย่อยการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างดิน	4-11
4.2 อภิปรายผลการดำเนินงานในส่วนของการดูดซับธาตุอาหารของอ้อยจากดิน	4-18
4.2.1 ปริมาณการดูดซับธาตุอาหารจากดินของอ้อย	4-18
4.2.2 สัดส่วนธาตุอาหารที่จะนำไปใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-20
4.3 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-21
4.3.1 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับไนโตรเจน	4-22

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4.3.2 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับฟอสฟอรัส	4-25
4.3.3 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโพแทสเซียม	4-29
4.3.4 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแคลเซียม	4-32
4.3.5 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมกนีเซียม	4-35
4.3.6 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับกำมะถัน	4-38
4.3.7 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับสังกะสี	4-41
4.3.8 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับทองแดง	4-44
4.3.9 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมงกานีส	4-47
4.3.10 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับเหล็ก	4-50
4.3.11 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโบรอน	4-53
4.4 ผลทดสอบการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ	4-56
4.4.1 การเขตกรรมของแปลงทดสอบ	4-58
4.4.2 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 4 เดือน	4-59
4.4.3 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 6 เดือน	4-60
4.4.4 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 8 เดือน	4-61
4.4.5 องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต คุณภาพของอ้อยต่อเมื่อเก็บเกี่ยว	4-61
4.5 อภิปรายผลในแปลงทดสอบ	4-64
4.5.1 ผลของตำรับทดลองต่อผลผลิตของอ้อยต่อ	4-64
4.5.2 ผลของตำรับทดลองต่อคุณภาพของอ้อยต่อ	4-64
4.5.3 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อผลผลิตและคุณภาพอ้อยต่อ	4-64
4.6 ผลิตรหัสที่ได้จากโครงการ	4-65
4.6.1 ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-65
4.6.2 ฐานข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-67
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	5-1
5.2 ข้อเสนอแนะ	5-2
บรรณานุกรม	บ-1
ภาคผนวก Computer Source Code	ผ-1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1	3-2
ตัวแปร (X) ที่ใช้ในการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ในดินและในใบอ้อย สำหรับการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
ตารางที่ 3.2	3-4
รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ในแปลงทดสอบตามตำรับทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบ กำแพงแสน ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่	
ตารางที่ 3.3	3-4
รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ในแปลงทดสอบตามตำรับทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบ ดอนแสลบ ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่	
ตารางที่ 3.4	3-5
รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ในแปลงทดสอบตามตำรับทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบ ตลาดเขต ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่	
ตารางที่ 4.1	4-2
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.2	4-3
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ดอนแสลบ (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.3	4-4
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ตลาดเขต (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.4	4-5
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.5	4-6
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ดอนแสลบ (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.6	4-7
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ตลาดเขต (งานทดลองในปีแรก)	
ตารางที่ 4.7	4-8
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองปีที่สอง)	
ตารางที่ 4.8	4-9
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลองดอน แสลบ (งานทดลองปีที่สอง)	
ตารางที่ 4.9	4-10
ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อย อายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลองตลาด เขต (งานทดลองปีที่สอง)	

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.10 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองกำแพงแสน เมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)	4-12
ตารางที่ 4.11 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองดอนแสลบ เมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)	4-13
ตารางที่ 4.12 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองตลาดเขต เมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)	4-14
ตารางที่ 4.13 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยต่อที่ 1 สถานที่ทดลองกำแพงแสน เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งาน ทดลองในปีที่สอง)	4-15
ตารางที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยต่อที่ 1 สถานที่ทดลองดอนแสลบ เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งาน ทดลองในปีที่สอง)	4-16
ตารางที่ 4.15 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยต่อที่ 1 สถานที่ทดลองตลาดเขต เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งาน ทดลองในปีที่สอง)	4-17
ตารางที่ 4.16 แสดงสัดส่วนธาตุอาหารต่อไนโตรเจนของใบอ้อยอายุ 8 เดือน และจะนำไปใช้ ในการคำนวณความต้องการปุ๋ยของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	4-21
ตารางที่ 4.17 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ ไนโตรเจน ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-24
ตารางที่ 4.18 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ ฟอสฟอรัส ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-28
ตารางที่ 4.19 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ โพแทสเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-31
ตารางที่ 4.20 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ แคลเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-35
ตารางที่ 4.21 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ แมกนีเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-38
ตารางที่ 4.22 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ กำมะถัน ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-41
ตารางที่ 4.23 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ สังกะสี ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-44

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.24 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ ทองแดง ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-47
ตารางที่ 4.25 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ แมงกานีส ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-50
ตารางที่ 4.26 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับเหล็ก ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-53
ตารางที่ 4.27 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับ โบรอน ในขั้นตอน Calibration และ Validation	4-56
ตารางที่ 4.28 การเขตกรรมของแปลงทดสอบอัตราและปุ๋ยสำหรับอ้อยให้ผลผลิตสูง	4-57
ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวน สามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 4 เดือน	4-59
ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวน สามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 6 เดือน	4-60
ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวน สามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 8 เดือน	4-61
ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตและค่าบrixอ้อยต่อของแปลงทดสอบดำรับ ทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลองขณะเก็บเกี่ยว	4-62
ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบคุณภาพผลผลิตอ้อยต่อของแปลงทดสอบดำรับทดลอง จำนวนสามสถานที่ทดลองขณะเก็บเกี่ยว	4-63
ตารางที่ 4.34 ชื่อตารางและหน้าที่ของข้อมูลในตารางของฐานข้อมูล “TRF_HighYieldCane.s3db”	65

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 4.1	ปริมาณน้ำฝนสะสม (กรอบบน) และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ (กรอบล่าง) ใน แปลงทดสอบ 3 สถานที่	4-58
ภาพที่ 4.2	หน้าต่างตอบโต้ของโปรแกรมกำหนดปุ๋ยเพื่อการปลูกอ้อยผลผลิตสูง	4-65
ภาพที่ 4.3	ตัวอย่างหน้าต่างตอบโต้เมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลที่จำเป็นแล้วเสร็จ	4-66

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในแต่ละปีการผลิตอ้อยค่าเฉลี่ยของผลผลิตอ้อยสำหรับประเทศไทยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.0-12.0 ตันต่อไร่ แต่ในปีการผลิต 2558/59 และ 2559/60 ผลผลิตอ้อยลดลงเหลือเพียง 7.5 ตันต่อไร่ ปริมาณอ้อยเข้าหีบโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศได้ลดลงอย่างมาก โรงงานไม่สามารถผลิตน้ำตาลได้ตามศักยภาพ การจะทำให้โรงงานน้ำตาลสามารถผลิตน้ำตาลได้ตามศักยภาพจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณอ้อย หรือหาหนทางเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกให้มีความสูงกว่าที่เป็นอยู่ ในปีหีบ 2560/61 มีโรงงานเป็นจำนวนมากที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นจากเดิม ทำให้ปีการผลิตดังกล่าวมีอ้อยให้โรงงานน้ำตาลหีบได้เพิ่มขึ้นถึง 134 ล้านตัน อย่างไรก็ตามผลผลิตต่อไร่ก็ยังคงไม่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากพื้นที่ที่เพิ่มเหล่านั้นได้มาจากพื้นที่ปลูกข้าวเดิมซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว และพื้นที่ปลูกพืชไร่เดิมแต่เกษตรกรหันมาปลูกอ้อย พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นมาเหล่านี้ไม่ได้หมายความว่ามีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ผลผลิตที่คาดหวังก็น่าจะอยู่ในราวค่าเฉลี่ยของประเทศหรือในแต่ละภูมิภาค การจะเพิ่มผลผลิตอ้อยให้ได้สูงๆนั้น (อ้อยผลผลิตสูงในงานวิจัยนี้จะหมายถึงอ้อยที่ให้ผลผลิตได้มากกว่าหรือเท่ากับ 20 ตันต่อไร่) ปัจจัยการผลิตจะต้องเหมาะสมทุกปัจจัย ปริมาณน้ำต้องมีให้อ้อยได้อย่างเพียงพอ ถ้าคาดว่าปริมาณฝนไม่เพียงพอเกษตรกรก็ต้องจัดหาน้ำเสริมให้แก่อ้อยได้ การกำจัดวัชพืชที่ทันต่อเวลา การจัดหาพันธุ์ที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตที่สูง การจัดการธาตุอาหารก็ต้องเหมาะสมกับปริมาณผลผลิตที่สูง ในบางครั้งเกษตรกรก็จัดการทุกปัจจัยการผลิตให้แก่อ้อยแล้วแต่ก็ยังพบว่าผลผลิตที่อ้อยตอบสนองได้นั้นยังไม่สูงมากจนถึงระดับที่เกษตรกรตั้งใจไว้ ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดเชิงลึกทางวิชาการด้านการจัดการปัจจัยการผลิต ในข้อเสนอโครงการนี้เลือกที่จะหาทางจัดการเชิงลึกเกี่ยวกับการจัดการธาตุอาหารของอ้อย โดยเน้นว่าการที่ผลผลิตไม่เป็นไปตามคาดเกิดจากการที่เกษตรกรใช้ธาตุอาหารซึ่งเป็นปัจจัยการผลิตที่ไม่เหมาะสม ในปีการผลิตอ้อย 61/62 โครงการได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานสนับสนุนการวิจัย ให้จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดรูปและอัตราของปุ๋ยธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และทดสอบผลโดยตรงในแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนการใช้งานได้จริงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบผล ซึ่งการตรวจสอบผลไม่สามารถทำได้ในปีแรกของการดำเนินงาน โครงการนี้จึงเป็นโครงการแบบต่อเนื่อง เพื่อปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีความสอดคล้องกับผลที่เกิดขึ้นจริงที่ค้นพบในการดำเนินงานในปีแรก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 กำหนดสัดส่วนธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยที่ให้ผลผลิตสูงโดยใช้สิ่งที่ค้นพบในการดำเนินงานปีแรก

1.2.2 ปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลหาอัตราและรูปของธาตุอาหารที่จะให้เป็นปุ๋ยแก่อ้อยด้วยการใช้กระบวนการที่เหมาะสมที่เกิดจากการค้นพบในการดำเนินงานในปีแรก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ปรับปรุงเฉพาะโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหารูปและอัตราการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก อาหารรอง และจุลธาตุ ด้วยการใช้สิ่งที่ค้นพบจากการทำแปลงทดสอบจริงในพื้นที่ของเกษตรกร และใช้ผลการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำแปลงทดสอบซ้ำในปีที่สองของการดำเนินงาน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ผลผลิตอ้อยของเกษตรกรที่มีความพร้อมเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยจะสูงขึ้นมากกว่า 20%
- 1.4.2 คุณภาพผลผลิตอ้อยของเกษตรกรที่มีความพร้อมจะสูงขึ้นมากกว่าเดิมมากกว่า 8%
- 1.4.3 เกษตรกรที่มีความพร้อมมีความเข้าใจเรื่องการจัดการธาตุอาหารในไร่อ้อยได้ดีขึ้น

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลของสัดส่วนธาตุอาหารในใบ ธาตุอาหารในดิน ต่อผลผลิตของอ้อย

Hunsigi (2011) ตรวจพบว่าอ้อยที่ปลูกในประเทศอินเดียแล้วให้ผลผลิตสูงในดินแตกต่างกันสามชนิดจะมีสัดส่วนธาตุอาหาร N:P:K ในดินที่เหมาะสมเพียงช่วงค่าช่วงหนึ่งเท่านั้น และเสนอว่าเป็น 1.0:0.7:1.5 ซึ่งเป็นสัดส่วนของธาตุอาหารดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อยให้ผลผลิตสูง (มากกว่า 16 ตันต่อไร่) Jeevika et. al. (2016) พบว่าอ้อยที่มี N:S ในใบประมาณ 20:1 จะทำให้อ้อยมีผลผลิตที่สูงกว่าอ้อยที่มี N:S ในใบในสัดส่วนอื่นๆ ดินยังมีค่า N:S สูงเท่าใดก็จะทำให้ดินนั้นมีความเสี่ยงต่อการขาด S มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงกับอ้อยจึงต้องระมัดระวังที่จะทำให้อ้อยเกิดการขาดธาตุ S ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ย N ในอัตราที่สูง ควรต้องใส่ปุ๋ย S ร่วมด้วยเพื่อมั่นใจว่าจะมี S เพียงพอต่อการสร้างผลผลิตของอ้อยและรักษาคุณภาพของอ้อยให้ดีเมื่อเก็บเกี่ยว (Haneklaus, 2006) Singh et. al. (2008) พบว่าอ้อยที่ปลูกในอินเดียที่ให้ธาตุ S เพิ่มเติมแก่อ้อยที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมในรูป KCl ทำให้ผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้นมากกว่า 15% แต่ถ้าให้แมกนีเซียมเพิ่มเข้าไปอีกในรูปของ $MgSO_4$ จะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 33% การเพิ่มขึ้นของผลผลิตเกิดจากการปรับสัดส่วน Cl:S ในดินเพื่อให้เกิดการดูดซับ S เข้าในอ้อยเพิ่มขึ้น Watanabe et. al. (2016) ทดลองปลูกอ้อยในญี่ปุ่น พบว่าการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูป KCl และ K_2SO_4 ให้ผลผลิตและคุณภาพความหวานอ้อยที่แตกต่างกัน โดยการใช้ปุ๋ยในรูป K_2SO_4 ให้ทั้งผลผลิตและคุณภาพความหวานของอ้อยที่ดีกว่า และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบปุ๋ยของทั้งสองรูป พบว่าทั้ง KCl และ K_2SO_4 มีไอออนได้แก่ K^+ Cl^- SO_4^{2-} ที่เหมือนกัน แต่สัดส่วน Cl:S ในปุ๋ยรูป K_2SO_4 จะมีค่าสัดส่วน Cl:S ที่ต่ำกว่า จึงอาจอนุมานได้ว่าปุ๋ยในรูป K_2SO_4 ทำให้เกิดความสมดุลในการดูดซับธาตุอาหารของ Cl และ S ได้ ทั้งนี้เพราะ S เป็นธาตุอาหารรองซึ่งมีความต้องการในปริมาณมากกว่า Cl ที่เป็นจุลธาตุ

Reis and Monnerat (2003) ได้ศึกษาสัดส่วนของธาตุอาหารในใบอ้อยขณะอ้อยเจริญเติบโตในช่วงย่างปล้อง พบว่าอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง (มากกว่า 16 ตันต่อไร่) มีสัดส่วนธาตุอาหารในใบที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับอ้อยที่ให้ผลผลิตที่ต่ำ สัดส่วนธาตุอาหารจะหมายถึงสัดส่วนที่เกิดจากธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อยทุกธาตุอาหาร (เช่น N:P N:K N:Ca N:Mg N:S N:Cu ... Zn:Mn) และเสนอแนะการใช้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบว่าอ้อยมีแนวโน้มจะให้ผลผลิตที่สูงหรือต่ำ การที่อ้อยสองกลุ่ม (ผลผลิตสูงหรือต่ำ) มีสัดส่วนธาตุอาหารที่ไม่เหมือนกันแสดงถึงข้อจำกัดด้านการดูดซับธาตุอาหารที่ต้องเกิดความสมดุลในแต่ละธาตุ จึงจะทำให้อ้อยมีผลผลิตที่สูง ดังนั้นการที่ดินจะมีความสมดุลด้านธาตุอาหารนั้นจะเกิดขึ้นจากการจัดการรูปของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่เหมาะสม รวมทั้งอัตราการใช้เพื่อให้เกิดความสมดุลและพอเพียงต่อการให้ผลผลิตที่สูงของอ้อย

2.2 สัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง

ผลจากการตรวจเอกสารและสังเคราะห์เอกสารด้านธาตุอาหารอ้อยมากกว่า 34 เรื่อง (เอกสารที่ใช้อ้างอิงแสดงในบรรณานุกรม) พบว่าอ้อยจะมีอายุอยู่ในช่วง 135-365 วัน มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบเฉลี่ยเป็น 1.42% ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเป็น 0.16% โพแทสเซียมเฉลี่ยเป็น 1.21% แคลเซียมเฉลี่ยเป็น 0.52% แมกนีเซียมเฉลี่ยเป็น 0.32% ซัลเฟอร์เฉลี่ยเป็น 0.17% สังกะสีเฉลี่ยเป็น 0.000166% ทองแดงเฉลี่ยเป็น 0.007587% แมงกานีสเฉลี่ยเป็น 0.031500% และเหล็กเฉลี่ยเป็น 0.099256%

ถ้าไม่คำนึงถึงอายุอ้อยสัดส่วนธาตุอาหารในใบ ได้แก่ N:Ca, N:Mg, N:S, N:Zn, N:Cu, N:Mn, และสัดส่วน N:Fe มีค่าเฉลี่ยเป็น 3.8, 6.5, 7.4, 5899.9, 885.4, 104.3, และ 26.1 ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลหาค่าสัดส่วน โดยคำนึงถึงอายุใบพบว่าถ้าอายุใบน้อยกว่า 8 เดือน ค่าเฉลี่ยสัดส่วนธาตุอาหารเหล่านี้มีค่าเป็น 5.9, 8.9, 8.8, 5336.6, 2131.7, 18.3 ตามลำดับ (ไม่มีสัดส่วน N:Fe) ถ้าใบอ้อยอายุ 8 เดือนค่าเฉลี่ยสัดส่วนธาตุอาหารเหล่านี้มีค่าเป็น 4.0, 6.4, 8.6 1096.4 3032.6 ตามลำดับ (ไม่มีสัดส่วน N:Mn และ N:Fe) ผลการสังเคราะห์เสนอแนะว่า สัดส่วนธาตุอาหารต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มมีใบจนถึงอายุ 8 เดือน จากนั้นค่าสัดส่วนธาตุอาหารจะมีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงความต้องการ N ของอ้อยในช่วง 8 เดือนแรกมีค่ามากกว่าธาตุอาหารอื่นๆ อย่างมาก แต่หลังจากอ้อยมีอายุ 8 เดือนไปแล้วมีความเป็นไปได้สองอย่างคือ ความต้องการใช้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุจะเพิ่มขึ้นหรือความต้องการใช้ไนโตรเจนลดลง จึงมีผลทำให้สัดส่วนไนโตรเจนต่อธาตุอาหารรองและจุลธาตุมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ตรวจเอกสารได้กับฐานข้อมูลสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยที่ได้จาก Diagnosis and Recommendation Integrated System for nutrients (DRIS) (Reis et. Al., 2003) จะพบว่าผลการตรวจเอกสารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนสอดคล้องกับตัวเลขสัดส่วนในฐานข้อมูล DRIS ได้แก่สัดส่วนของ N:Ca, N:Mg และ N:S แต่ค่าสัดส่วนของ N:S ทั้งที่ตรวจเอกสารได้ และจากฐานข้อมูล DRIS จะสอดคล้องกับงานของ Jeevika et. Al. (2016) ที่ว่าอ้อยผลผลิตสูงควรมีสัดส่วนดังกล่าวของใบที่อายุ 8 เดือนไม่เกิน 20:1 ผลการตรวจเอกสารจะพบว่าสัดส่วนของ N:Zn, N:Cu และ N:Mn มีความแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับของฐานข้อมูล DRIS การตรวจเอกสารและข้อมูลจาก DRIS ที่สอดคล้องกันบางส่วนขัดแย้งกันบางส่วนเสนอแนะว่าควรจะใช้สัดส่วนที่ต้องวิเคราะห์เองกับพันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูกในประเทศเองจะมีความเหมาะสมและถูกต้องกว่าการนำข้อมูลจาก DRIS และการตรวจเอกสารมาใช้งาน

สัดส่วนธาตุอาหารของอ้อยผลผลิตสูงที่ตรวจพบในประเทศไทย รายงานของกุ่มท (กุ่มทและคณะ, 2562) ได้วิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุอาหารใดๆต่อไนโตรเจนของใบอ้อยอายุ 8 เดือนพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่าอ้อยที่ได้ผลผลิตสูงกว่า 16 ตันต่อไร่มีค่าสัดส่วน N:Ca ระหว่าง 2.66-3.99 N:Mg ระหว่าง 8.41-16.42 N:S ในช่วง 6.35-14.72 N:Fe ในช่วง 92.98-238.88 N:Mn ในช่วง 131.52-565.47 N:Cu ในช่วง 96-470 N:Zn ในช่วง 497.86-872.45 และ N:B ในช่วง 4529.87-7586.94 ซึ่งมีความสอดคล้องกับของ DRIS เฉพาะสัดส่วนของ N:Ca N:Mg และ N:S เท่านั้น

2.3 การแจกกระจายปริมาณธาตุอาหารในใบอ้อยตามอายุอ้อย

ผลจากการตรวจเอกสารและสังเคราะห์เอกสารด้านธาตุอาหารอ้อยมากกว่า 34 เรื่อง (เอกสารที่ใช้อ้างอิงแสดงในบรรณานุกรม) พบว่าการแจกกระจายธาตุอาหารตามอายุของอ้อยเป็นดังต่อไปนี้

ไนโตรเจน ในอายุ 0-135 วันมีค่าความเข้มข้นในใบเป็น 1.52% ช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นไนโตรเจนในใบเป็น 1.32-1.80% ในช่วง 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 1.61-1.77% ในช่วง 180-195 วันมีค่าความเข้มข้นในใบ 1.70% ในช่วงอายุ 195-210 วันมีความเข้มข้นเป็น 1.71-1.87% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นไนโตรเจนเป็น 0.40% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นไนโตรเจนเป็น 0.30% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง จากนั้นเมื่ออ้อยอายุมากขึ้นความเข้มข้นในใบจะสูงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 240 วัน จากนั้นค่าความเข้มข้นในใบจะลดลง พฤติกรรมการสะสมไนโตรเจนในใบอ้อยจะเริ่มตั้งแต่อ้อยงอกจนถึงจุดสูงสุดเพียงจุดเดียวเมื่ออ้อยอายุราวๆ 8 เดือน จากนั้นการสะสมไนโตรเจนในใบจะลดลง

ฟอสฟอรัส ในช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบเป็น 0.13-0.18% ในช่วง 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 0.17% ในช่วงอายุ 195-210 วันความเข้มข้นเป็น 0.18-0.19% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสเป็น 0.02% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสเป็น 0.01% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในช่วง 240 วันแรก จากนั้นค่าความเข้มข้นในใบจะลดลง การสะสมฟอสฟอรัสในใบจะเริ่มตั้งแต่อ้อยงอกค่อนข้างสม่ำเสมอจนอายุ 8 เดือน แล้วการสะสมฟอสฟอรัสในใบจะลดลงอย่างรวดเร็ว

โพแทสเซียม ในช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นโพแทสเซียมในใบเป็น 1.14-1.18% ในช่วง 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 1.18-1.54% ในช่วงอายุ 195-210 วันความเข้มข้นเป็น 1.71-1.87% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นโพแทสเซียมเป็น 1.62% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นโพแทสเซียมเป็น 1.52% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง จากนั้นเมื่ออ้อยอายุมากขึ้นความเข้มข้นในใบจะสูงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 240 วัน จากนั้นค่าความเข้มข้นในใบจะลดลง พฤติกรรมการสะสมโพแทสเซียมในใบอ้อยจะเริ่มตั้งแต่อ้อยงอกจนถึงจุดสูงสุดเพียงจุดเดียวเมื่ออ้อยอายุราวๆ 8 เดือน จากนั้นการสะสมโพแทสเซียมในใบจะลดลง แต่ลดลงในอัตราที่น้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าแทบจะคงที่หลังจากอ้อยอายุ 8 เดือน แสดงถึงความต้องการใช้โพแทสเซียมในอัตราที่สูงหลังอ้อยอายุ 8 เดือน

แคลเซียม ในอายุ 0-135 วันมีค่าความเข้มข้นในใบเป็น 0.18% ช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นแคลเซียมในใบเป็น 0.18% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นแคลเซียมเป็น 0.14% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นแคลเซียมเป็น 0.62% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นแคลเซียมในใบมีค่าค่อนข้างคงที่จนถึงอายุ 240 วัน จากนั้นค่าความเข้มข้นในใบจะเพิ่มขึ้น พฤติกรรมการสะสมแคลเซียมในใบอ้อยเป็นไปในอัตราที่คงที่ตั้งแต่อ้อยงอกจนอ้อยอายุราวๆ 8 เดือน จากนั้นการสะสมแคลเซียมในใบจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

แมกนีเซียม ในช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมในใบเป็น 0.08% ในช่วง 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 0.19% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมเป็น 0.15% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมเป็น 0.16% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างต่ำ จากนั้นเมื่ออ้อยอายุมากขึ้นความเข้มข้นแมกนีเซียมในใบจะสูงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 240 วัน จากนั้นค่าความเข้มข้นในใบค่อนข้างคงที่ พฤติกรรมการสะสมแมกนีเซียมในใบอ้อยจะเริ่มตั้งแต่อ้อยงอกจนถึงอ้อยอายุราวๆ 8 เดือน จากนั้นการสะสมแมกนีเซียมในใบจะค่อนข้างคงที่

กำมะถัน ในช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมในใบเป็น 0.14% ในช่วง 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 0.18% ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมเป็น 0.13% และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นแมกนีเซียมเป็น 0.14% เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นกำมะถันในใบอ้อยมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่งอกจนเก็บเกี่ยว

สังกะสี ในช่วงอายุ 135-150 วันมีค่าความเข้มข้นสังกะสีในใบเป็น 1.40 มก./กก. ในช่วงอายุ 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 1.40 มก./กก. ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นสังกะสีเป็น 3.10 มก./กก. และช่วงอายุ 240-365 วันมีค่าความเข้มข้นสังกะสีเป็น 1.20 มก./กก. เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างต่ำ จากนั้นเมื่ออ้อยอายุมากขึ้นความเข้มข้นในใบจะสูงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 240 วัน แล้วค่อยลดลง พฤติกรรมการสะสมสังกะสีในใบอ้อยจะเริ่มตั้งแต่อ้อยงอกจนถึงจุดสูงสุดจุดเดียวเมื่ออ้อยอายุราวๆ 8 เดือน จากนั้นการสะสมสังกะสีในใบจะลดลง

ทองแดง ในช่วงอายุ 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 50.0 มก./กก. ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นทองแดงเป็น 4.70 มก./กก. เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง จากนั้นเมื่ออายุมากขึ้นความเข้มข้นในใบจะลดลงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 180 วัน พฤติกรรมการสะสมทองแดงในใบอ้อยจะมีอัตราสูงตั้งแต่ออ้อยงอกจนถึงจุดสูงสุดจุดเดียวเมื่ออ้อยอายุราวๆ 6 เดือน จากนั้นการสะสมทองแดงในใบจะลดลง

แมงกานีส ในช่วงอายุ 150-180 วันมีค่าความเข้มข้นในช่วง 900.0 มก./กก. ช่วงอายุ 210-240 วัน มีค่าความเข้มข้นแมงกานีสเป็น 10.00 มก./กก. เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าความเข้มข้นของแมงกานีสในใบมีค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง จากนั้นเมื่ออายุมากขึ้นความเข้มข้นในใบจะลดลงขึ้นตามอายุจนถึงอายุ 180 วัน พฤติกรรมการสะสมแมงกานีสในใบอ้อยจะมีอัตราสูงตั้งแต่ออ้อยงอกจนถึงจุดสูงสุดจุดเดียวเมื่ออ้อยอายุราวๆ 6 เดือน จากนั้นการสะสมแมงกานีสในใบจะลดลง

เหล็ก มีข้อมูลเพียงอายุที่ 240 วันมีความเข้มข้นในใบเป็น 52.70 มก./กก.

การสังเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจพบในรายงานสามารถใช้เป็นแบบเพื่อการจัดสร้างสมการเป็นตัวแทนการแจกกระจายธาตุอาหารในใบอ้อยที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังออ้อยงอกได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กมุท สังขศิลา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และสัณชัย ภูเงิน 2562. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดรูปและอัตราปุ๋ยธาตุอาหารหลัก อาหารรอง และจุลธาตุ สำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง ชุดโครงการวิจัยด้านอ้อยและน้ำตาล สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ปีงบประมาณ 2561.
- Haneklaus, S., E. Bloem, E. Schnug, L. J. de Kok, and I. Stulen. 2006. Chapter 7: Sulfur, 183-238. In Handbook of Plant Nutrition. A. V. Barker and D. J. Pilbeam eds. CRC series. Taylor and Francis, New York.
- Hunsigi Gururaj. 2011. Potassium management strategies to realize high yield and quality of sugarcane. Karnataka J. Agric. Sci. 24(1):45-47.
- Jeevika, K., S. Pragadeesh, and A. M. Haroon. 2016. Assessment of nutrient ratios in the leaf of sugarcane grown in Theni district of Tamil Nadu, India. Journal of Applied and Natural Science 8(1):77-79.
- Reis Junior dos Anjos. Roberto and Pedro Henrique Monnerat. 2003. Norms establishment of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for nutritional diagnosis of sugarcane. Pesq. agropec. bras. Brasilia. 32(2): 277-282.
- Watanabe. Kenta, Yasunori. Fukuzawa, Shun-Ichiro Kawasaki, Masami Ueno, and Yoshinobu Kawamitsu. 2016. Effects of potassium chloride and potassium sulfate on sucrose concentration in sugarcane juice under pot conditions. Sugar Tech. 18(3):258-265.
- Singh V. K., A. K. Shukla, M. S. Gill, S. K. Sharma, and K. N. Tiwari. 2008. Improving sugarcane productivity through balanced nutrition with potassium, sulphur, and Magnesium. Better Crops India: 24:12-14.

เอกสารที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์อ้างอิงไว้ในหัวข้อบรรณานุกรม

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย การดำเนินงานของโครงการแบ่งเป็น 2 กิจกรรมหลัก ได้แก่กิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และกิจกรรมทดสอบผลการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ

3.1 กิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์: เป็นการใช้ค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างใบอ่อนและดินที่ได้จากงานปลูกอ่อนทดสอบในปีแรก เพื่อปรับปรุงกระบวนการต่างๆที่ใช้จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การปรับปรุงในกิจกรรมนี้ทำ 2 แบบ ได้แก่ปรับเปลี่ยนรูปสมการ และ/หรือกำหนดค่าคงที่ให้กับสมการที่ใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เรียกเป็นการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (program calibration) และเมื่อสอบเทียบโปรแกรมแล้วเสร็จจะดำเนินการเพื่อการตรวจความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (program validation) ต่อไป

3.1.1 การสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Calibration of the computer program) โครงการได้จัดเก็บตัวอย่างใบอ่อนที่ได้จากแต่ละตำรับทดลองงานปลูกอ่อนทดสอบในปีแรก (ที่อายุอ่อน 8 เดือน และ 12 เดือนหรือเก็บเกี่ยว) ได้นำตัวอย่างใบวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์) และจุลธาตุ (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโบรอน) ตรวจสอบสัดส่วนธาตุอาหารของอ่อนที่ให้ผลผลิตสูงและการเบี่ยงเบนของสัดส่วน โครงการได้จัดเก็บตัวอย่างดินในแปลงทดสอบเดียวกันกับตัวอย่างใบทั้งสองเวลาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและในใบอ่อนจะนำไปใช้ร่วมกันเพื่อปรับปรุงสมการต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการปรับปรุงจะเน้นการปรับเปลี่ยนรูปสมการที่ใช้เป็นตัวแทนของความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆต่ออ่อน และการดูกินธาตุอาหารต่างๆของอ่อนจากดิน การปรับปรุงอีกอย่างคือการหาค่าของค่าคงที่ของสมการที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทั้งการปรับเปลี่ยนรูปสมการและการเลือกใช้ค่าของค่าคงที่ของสมการใช้วิธี numerical shooting ซึ่งสามารถทำโดยนำผลวิเคราะห์ดินและตัวอย่างใบอ่อนเมื่ออ่อนอายุได้ 8 หรือ 12 เดือน เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ถ้าต้องการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับธาตุไนโตรเจน จะนำปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมดของดินเมื่ออ่อนมีอายุเป็น 8 หรือ 12 เดือน ใช้สัญลักษณ์เป็น (X_8^N, X_{12}^N) เมื่อตัวห้อยใช้แทนอายุอ่อนมีหน่วยเป็นเดือน ส่วนตัวยก S หมายถึงดิน และใช้ผลวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ่อนเมื่ออ่อนอายุ 8 และ 12 เดือน (X_8^L, X_{12}^L) (ตัวยก L หมายถึงใบอ่อน) จากนั้นจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน โดยจะใช้ค่าวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดินเมื่อเริ่มปลูกเป็นสภาพเงื่อนไขเริ่มต้น เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดินเมื่ออ่อนอายุ 8 และ 12 เดือน (X_8^N, X_{12}^N) และค่าคำนวณปริมาณไนโตรเจนในใบอ่อนอายุ 8 และ 12 เดือน มีความแตกต่างจากค่าที่วัดจริงมากน้อยเพียงไร ความแตกต่างจะแสดงด้วยค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (ε) ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$\varepsilon = \left| \frac{x-y}{x} \right| \dots\dots\dots [3.1]$$

เมื่อ x หมายถึงค่าที่เกิดจากการวัดได้จริง (สำหรับไนโตรเจน x จะได้แก่ $X_8^S, X_{12}^S, X_8^L, X_{12}^L$) และ y หมายถึงค่าที่เกิดจากการคำนวณ (สำหรับไนโตรเจน y จะได้แก่ $Xc_8^S, Xc_{12}^S, Xc_8^L, Xc_{12}^L$) การปรับเปลี่ยนรูปสมการจะกระทำเมื่อค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ส่วนใหญ่มีค่าที่สูงมาก เช่น $\varepsilon > 20.0$ สำหรับการเลือกใช้ค่าคงที่ของสมการที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้ก็ต่อเมื่อค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ส่วนใหญ่มีค่าที่ต่ำ เช่น $\varepsilon < 0.5$

จากการทดสอบแปลงปลูกอ้อยในปีแรก จะมีตัวอย่างดินและใบอ้อยจากตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7 ซึ่งเป็นตำรับทดลองที่ใช้ข้อมูลวิเคราะห์ดินจริง จาก 3 สถานที่ทดลอง รวมทั้งสิ้นจาก 9 ตำรับทดลอง แต่ละตัวอย่างดินและใบอ้อยมี 2 เวลาคือที่อ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน ดังนั้นในการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับธาตุอาหารหนึ่งๆ จะสอบเทียบจากค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ที่เกิดในดินจำนวน 9 ค่าในแต่ละเวลา และเกิดในใบอ้อยอีก 9 ค่าในแต่ละเวลา รวมทั้งสิ้น 36 ค่า การสอบเทียบสำหรับธาตุอาหารอื่นก็จะทำในทำนองเดียวกันกับธาตุไนโตรเจน ตัวแปร (X) ที่ใช้ในการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ในดินและในใบอ้อยของธาตุอาหารอื่นๆ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปร (X) ที่ใช้ในการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ในดินและในใบอ้อยสำหรับการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ธาตุอาหาร	ในดิน (ตัวยก S)	ในใบอ้อย (ตัวยก L)
ไนโตรเจน	ปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดิน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในใบอ้อย
ฟอสฟอรัส	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ้อย
โพแทสเซียม	ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในใบอ้อย
แคลเซียม	ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในใบอ้อย
แมกนีเซียม	ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในใบอ้อย
กำมะถัน	ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้	ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในใบอ้อย
ทองแดง	ปริมาณทองแดงที่สกัดได้	ปริมาณทองแดงทั้งหมดในใบอ้อย
สังกะสี	ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้	ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในใบอ้อย
แมงกานีส	ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้	ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในใบอ้อย
เหล็ก	ปริมาณเหล็กที่สกัดได้	ปริมาณเหล็กทั้งหมดในใบอ้อย
โบรอน	ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้	ปริมาณโบรอนทั้งหมดในใบอ้อย

Numerical shooting กระทำเพื่อการหาค่าของค่าคงที่ของสมการที่เหมาะสมที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังได้กล่าวไปแล้วว่าค่าของค่าคงที่ที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้จะต้องให้ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ $\varepsilon < 0.5$ การจะกระทำให้ความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าน้อยๆทำได้หลายวิธี โครงการเลือกใช้วิธีลองผิดลองถูก (trial and error) กล่าวคือเริ่มต้นเดาค่าคงที่ที่จะใช้ทั้งหมดเสียก่อน เรียกเป็นเซตแรกของค่าคงที่ จากนั้นใช้ค่าคงที่ในเซตแรกนี้คำนวณค่าของตัวแปรที่ใช้ในการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ตามสมการที่ 3.1 ถ้าค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่าสูงก็จะปรับปรุงเซตแรกของค่าคงที่เสียใหม่ แล้วสร้างเป็นค่าคงที่เซตใหม่ขึ้นมา จากนั้นก็ใช้ค่าคงที่เซตใหม่นี้คำนวณหาตัวแปรในสมการหาค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ครั้งใหม่ จะกระทำ

เช่นนี้ซ้ำๆ จนกว่าจะได้เซตของค่าคงที่เซตใหม่ที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มีค่าน้อยๆ เช่น $\varepsilon < 0.5$ จึงจะสามารถนำเซตของค่าคงที่นั้นไปใช้งานจริงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้

3.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือได้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Validation of the computer program) การตรวจสอบความน่าเชื่อถือเป็นการทดสอบว่าทั้งตัวโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเซตของค่าคงที่ที่ใช้จะมีสามารถใช้งานได้ดีเพียงไร มีระดับความน่าเชื่อถือสูงหรือไม่ โครงการเลือกที่จะตรวจสอบความน่าเชื่อถือจากการใช้ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ตามสมการ 3.1 แต่ข้อมูลที่นำมาใช้จะเป็นคนละชุดกับที่ใช้ในการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โครงการเลือกใช้ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างค่าคำนวณและค่าวัดจริงที่เกิดขึ้นกับอ้อยตอของงานทดสอบแปลงปลูกอ้อยในปีที่ 2 (การทดสอบอ้อยในแปลงปลูกปีที่ 2 จะนำเสนอในหัวข้อถัดไป) ข้อมูลที่ใช้คือค่าวิเคราะห์ดินและใบอ้อยขณะที่ย่อยต่อมีอายุ 8 เดือน ใช้ข้อมูลจากตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7 เพราะตำรับทดลองเหล่านี้มีค่าสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นของดินที่ครบถ้วน (complete initial conditions) ซึ่งเป็นข้อมูลค่าวิเคราะห์ของตัวอย่างดินในตำรับทดลองเดียวกันของอ้อยทดสอบในปีแรก ค่าความน่าเชื่อถือได้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (r) สามารถคำนวณได้จาก

$$r = 1.0 - \varepsilon \quad \dots\dots[3.2]$$

3.2 กิจกรรมทดสอบผลการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ ทดสอบกับอ้อยตอ 1 ในสถานที่ทดสอบเดิม ซึ่งมี 3 สถานที่ ได้แก่แปลงทดสอบกำแพงแสน แปลงทดสอบดอนแสลบ และแปลงทดสอบตลาดเขต ในแต่ละสถานที่ทดสอบกำหนดให้มี 7 ตำรับทดลอง ใช้ผลการคำนวณรูปและอัตราธาตุอาหารปุ๋ยหลัก ปุ๋ยรอง และจุลธาตุ จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ปรับปรุงแล้ว ให้มีตำรับทดลองดังต่อไปนี้ ตำรับทดลองที่ 1 ให้ปุ๋ยตามเกษตรกรปฏิบัติ ใช้ค่าวิเคราะห์ดินจากแผนที่ดินคำนวณรูปและอัตราปุ๋ยจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดให้มีระดับผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตัน/ไร่ เป็นตำรับทดลองที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ และใช้ค่าวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการคำนวณรูปและอัตราปุ๋ยจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดให้มีระดับผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตัน/ไร่ เป็นตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ ในขณะที่อ้อยมีอายุ 8 เดือน เก็บตัวอย่างใบอ้อย และดินจากตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7 เพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารอ้อยเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความเชื่อถือได้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยที่อายุ 12 เดือน จะใช้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อยตรวจสอบผลการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตำรับทดลองที่ 1: ให้ปุ๋ยตามเกษตรกรปฏิบัติคือให้ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งแรก 16-8-8 อัตรา 50 กก./ไร่ ครั้งที่ 2 ให้ 16-16-8 อัตรา 50 กก./ไร่ และครั้งที่ 3 ให้ 21-0-0 อัตรา 50 กก./ไร่

ตำรับทดลองที่ 2 3 และ 4: ใช้ค่าวิเคราะห์ดินจากแผนที่ดินกล่าวคือค่าธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองจะใช้ค่าจากแผนที่ดิน ส่วนจุลธาตุจะใช้ค่าวิเคราะห์ดินเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือนเพื่อเป็นสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นของการคำนวณและกำหนดผลผลิตให้เป็นตามตำรับทดลองที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ใส่สำหรับตำรับทดลองที่ 2 3 และ 4 เป็นดังตารางที่ 3.2 3.3 และ 3.4

ตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7: ใช้ค่าวิเคราะห์ดินจากห้องปฏิบัติการ กล่าวคือค่าธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุจะใช้ผลวิเคราะห์ดินเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน เป็นสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นของธาตุอาหารและกำหนดระดับผลผลิตตามตำรับทดลองทั้ง 3 ตามลำดับ ตารางที่ 3.2 3.3 และ 3.4 แสดงรูปและอัตราปุ๋ยที่ต้องใส่ให้แก่แปลงทดสอบกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขตตามลำดับ

กำหนดอัตราการใช้ปุ๋ย: ในแต่ละตำบลทดลองและแต่ละสถานที่กำหนดให้ใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งแรกภายใน 2 เดือนหลังเริ่มนับอายุอ้อยต่อ ครั้งที่ 2 และ 3 ภายใน 4 และ 6 เดือนหลังจากเริ่มนับอายุอ้อยต่อ อัตราใส่แบ่งใส่ในอัตรา 40% 30% และ 30% ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ใส่ในแปลงทดสอบตามตำบลทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบกำแพงแสน ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่

รูปปุ๋ย	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
16-8-8	50.0	-	-	-	-	-	-
16-16-8	50.0	-	-	-	-	-	-
21-0-0	50.0	-	-	-	-	-	-
Combine	-	-	-	-	-	-	-
copper sulphate	-	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4
Dolomite	-	22.6	28.5	33.4	23.1	29.6	34.3
dolomite New	-	8.1	10.0	11.6	8.2	10.2	11.5
double super phosphate	-	37.3	45.2	51.8	37.4	45.3	52.3
FeSO4	-	0.1	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5
magnesium sulphate	-	-	-	-	-	-	0.6
manganese nitrate	-	1.4	1.7	1.9	1.4	1.7	1.9
potassium chloride	-	6.9	5.4	4.1	5.5	1.6	-
potassium sulphate	-	23.8	33.4	41.6	25.7	38.3	47.1
Urea	-	28.7	35.0	40.3	28.8	35.3	40.6
Zinc sulphate	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3.3 รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ใส่ในแปลงทดสอบตามตำบลทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบดอนแสลบ ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่

รูปปุ๋ย	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
16-8-8	50.0	-	-	-	-	-	-
16-16-8	50.0	-	-	-	-	-	-
21-0-0	50.0	-	-	-	-	-	-
Combine	-	-	-	-	-	-	-
copper sulphate	-	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4
Dolomite	-	22.6	28.5	33.4	24.0	28.8	34.2
dolomite New	-	8.1	10.0	11.6	8.3	9.0	11.7
double super phosphate	-	37.3	45.2	51.8	37.5	47.5	51.9
FeSO4	-	0.1	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5

magnesium sulphate	-	-	-	-	-	3.4	-
manganese nitrate	-	1.4	1.7	1.9	1.4	1.7	1.9
potassium chloride	-	6.9	5.4	4.1	2.6		1.1
potassium sulphate	-	23.8	33.4	41.6	29.5	41.7	45.3
Urea	-	28.7	35.0	40.3	29.1	35.7	40.5
Zinc sulphate	-	-	-	-	-	0.1	-

ตารางที่ 3.4 รูปและอัตราปุ๋ยที่ใช้ใส่ในแปลงทดสอบตามตำรับทดลองต่างๆ ที่แปลงทดสอบตลาดเขต ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น กก./ไร่

รูปปุ๋ย	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
16-8-8	50.0	-	-	-	-	-	-
16-16-8	50.0	-	-	-	-	-	-
21-0-0	50.0	-	-	-	-	-	-
Combine	-	-	-	-	-	-	-
copper sulphate	-	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4
dolomite	-	22.6	28.5	33.4	21.2	28.4	34.0
dolomite New	-	8.1	10.0	11.6	7.9	10.0	11.6
double super phosphate	-	37.3	45.2	51.8	37.2	45.2	51.8
FeSO ₄	-	0.1	0.3	0.4	0.0	0.2	0.4
magnesium sulphate	-	-	-	-	-	-	-
manganese nitrate	-	1.4	1.7	1.9	1.3	1.7	1.9
potassium chloride	-	6.9	5.4	4.1	10.9	5.6	2.0
potassium sulphate	-	23.8	33.4	41.6	18.4	33.1	44.2
urea	-	28.7	35.0	40.3	28.3	35.0	40.4
Zinc sulphate	-	-	-	-	-	-	-

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จะนำเสนอผลการดำเนินงานตามกิจกรรมต่างๆ ของโครงการ ซึ่งมี 2 กิจกรรมหลัก ได้แก่กิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาความต้องการธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุของอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง และกิจกรรมการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ

4.1 ผลการดำเนินงานกิจกรรมปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมย่อยเป็นดังต่อไปนี้

4.1.1 กิจกรรมย่อยการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างใบ โครงการได้จัดเก็บตัวอย่างใบอ้อยของตำรับทดลองต่างๆ ทั้ง 7 ตำรับทดลอง (ได้แก่ ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (T1) ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกรและค่านิ่งถึงสมดุลรูปของธาตุอาหาร (T2), ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจากแผนที่ดิน (T3), ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจากแผนที่ดินและค่านิ่งถึงสมดุลรูปของธาตุอาหาร (T4), ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้จากห้องปฏิบัติการ (T5), ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้จากห้องปฏิบัติการและค่านิ่งถึงสมดุลรูปของธาตุอาหาร (T6), และใส่ปุ๋ยครึ่งหนึ่งของตำรับทดลองที่ 6 (T7)) และทุกซ้ำ (มี 3 ซ้ำ) ของการทดลองในปีงบประมาณแรก เมื่ออ้อยอายุได้ 8 และ 12 เดือน และได้้นำตัวอย่างใบอ้อยเฉพาะซ้ำที่ 1 ของทุกตำรับการทดลองและทุกสถานที่ทดลอง (มี 3 สถานที่ทดลอง คือที่กำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขต) ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารเมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลองต่างๆ เมื่ออ้อยมีอายุ 8 เดือน (ตารางที่ 4.1-4.3) และอ้อยอายุ 12 เดือน (ตารางที่ 4.4-4.6) ค่าวิเคราะห์ใบในอ้อยเหล่านี้จะนำไปใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนรูปสมการและค่าคงที่ของสมการในการสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (calibration of the computer program) ส่วนในปีที่ 2 โครงการได้จัดเก็บใบอ้อยต่อที่ 1 จากตำรับทดลองที่ใช้ค่าวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการเพื่อกำหนดให้อ้อยได้ผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตันต่อไร่ จากสถานที่ทดลองทั้งสาม เก็บเฉพาะใบอ้อยต่อที่ 1 ที่มีอายุ 8 เดือน ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารแสดงในตารางที่ 4.7-4.9 ผลวิเคราะห์นี้จะนำไปใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือและใช้งานได้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (validation of the computer program) ซึ่งผลของการสอบเทียบและหาความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองในปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	1.58	1.46	1.44	1.58	1.49	1.44	1.28	1.28	1.58	1.47
Total P (%)	0.21	0.19	0.21	0.20	0.22	0.18	0.16	0.16	0.22	0.20
Total K (%)	0.71	0.80	0.49	0.57	0.81	0.53	0.53	0.49	0.81	0.63
Total Ca (%)	0.49	0.48	0.46	0.40	0.56	0.42	0.40	0.40	0.56	0.46
Total Mg (%)	0.19	0.14	0.12	0.15	0.16	0.09	0.09	0.09	0.19	0.13
Total S (%)	0.11	0.10	0.17	0.18	0.24	0.21	0.16	0.10	0.24	0.17
Total Fe (mg/kg)	75.07	61.23	73.68	127.95	128.93	131.02	137.26	61.23	137.26	105.02
Total Mn (mg/kg)	120.51	49.55	61.53	27.98	58.69	42.87	42.12	27.98	120.51	57.61
Total Cu (mg/kg)	8.69	11.44	5.30	2.58	0.74	ไม่พบ	ไม่พบ	0.74	11.44	5.75
Total Zn (mg/kg)	21.78	21.17	18.46	18.14	30.02	26.34	25.36	18.14	30.02	23.04
Total B (mg/kg)	3.50	2.20	1.25	1.41	2.35	2.56	1.75	1.25	3.50	2.15
Ratio										
N:Ca	3.20	3.05	3.13	3.99	2.66	3.47	3.22	2.66	3.99	3.25
N:Mg	8.41	10.68	12.44	10.25	9.34	16.42	13.82	8.41	16.42	11.62
N:S	14.34	14.72	8.24	8.68	6.35	6.72	7.97	6.35	14.72	9.57
N:Fe	211.14	238.88	195.24	123.66	115.90	109.98	92.98	92.98	238.88	155.40
N:Mn	131.52	295.16	233.82	565.47	254.62	336.10	302.99	131.52	565.47	302.81
N:Cu	127.13	96.57	208.33	428.16	1493.32			96.57	1493.32	470.70
N:Zn	727.79	691.01	779.41	872.45	497.86	547.10	503.25	497.86	872.45	659.84
N:B	4529.87	6634.39	11467.96	11206.21	6359.73	5634.82	7275.74	4529.87	11467.96	7586.96
ผลผลิต, ตัน/ไร่	24.25	22.88	19.75	21.88	17.25	21.38	19.63	17.25	24.25	21.00

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก ร่อง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ดอนแสลบ (งานทดลองในปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	1.46	1.57	1.16	1.25	1.49	1.39	1.53	1.16	1.57	1.41
Total P (%)	0.16	0.22	0.18	0.16	0.20	0.19	0.16	0.16	0.22	0.18
Total K (%)	0.55	0.54	2.02	0.53	1.73	0.55	0.58	0.53	2.02	0.93
Total Ca (%)	0.46	0.43	1.39	0.54	1.37	0.48	0.58	0.43	1.39	0.75
Total Mg (%)	0.12	0.14	0.33	0.12	0.29	0.09	0.12	0.09	0.33	0.17
Total S (%)	0.20	0.20	0.18	0.18	0.20	0.18	0.21	0.18	0.21	0.19
Total Fe (mg/kg)	239.38	167.96	478.76	155.56	408.20	177.91	161.61	155.56	478.76	255.63
Total Mn (mg/kg)	64.01	41.35	146.70	45.18	129.50	43.77	160.96	41.35	160.96	90.21
Total Cu (mg/kg)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
Total Zn (mg/kg)	29.36	30.58	93.02	28.94	70.23	28.50	34.22	28.50	93.02	44.98
Total B (mg/kg)	3.52	2.14	4.56	4.43	3.37	2.55	3.36	2.14	4.56	3.42
Ratio										
N:Ca	3.15	3.63	0.83	2.33	1.09	2.92	2.65	0.83	3.63	2.37
N:Mg	12.39	11.06	3.48	10.79	5.15	14.79	13.09	3.48	14.79	10.11
N:S	7.47	7.65	6.57	6.86	7.26	7.66	7.35	6.57	7.66	7.26
N:Fe	60.97	93.32	24.26	80.53	36.40	77.98	94.49	24.26	94.49	66.85
N:Mn	228.02	379.09	79.17	277.31	114.74	317.00	94.87	79.17	379.09	212.88
N:Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N:Zn	497.20	512.62	124.85	432.87	211.55	486.78	446.29	124.85	512.62	387.45
N:B	4150.44	7317.11	2548.80	2826.66	4406.91	5440.99	4545.90	2548.80	7317.11	4462.40
ผลผลิต, ตัน/ไร่	13.63	22.00	21.13	16.88	20.88	17.25	19.63	13.63	22.00	18.77

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รong และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลองตลาดเขต (งานทดลองปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	1.04	1.28	1.10	1.20	1.09	1.17	1.22	1.04	1.28	1.16
Total P (%)	0.19	0.21	0.21	0.20	0.18	0.18	0.23	0.18	0.23	0.20
Total K (%)	0.53	0.68	0.37	0.58	0.66	0.55	0.79	0.37	0.79	0.60
Total Ca (%)	0.34	0.30	0.19	0.35	0.36	0.43	0.30	0.19	0.43	0.32
Total Mg (%)	0.18	0.15	0.08	0.15	0.14	0.17	0.15	0.08	0.18	0.15
Total S (%)	0.18	0.20	0.18	0.18	0.17	0.17	0.21	0.17	0.21	0.19
Total Fe (mg/kg)	158.12	162.32	168.12	169.14	177.55	199.92	158.02	158.02	199.92	170.46
Total Mn (mg/kg)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
Total Cu (mg/kg)	42.31	34.47	38.22	24.37	41.86	43.01	11.58	11.58	43.01	33.69
Total Zn (mg/kg)	ไม่พบ	6.94	5.76	3.08	1.91	1.09	3.02	1.09	6.94	3.63
Total B (mg/kg)	1.78	1.53	1.94	1.82	1.21	1.32	1.43	1.21	1.94	1.58
Ratio										
N:Ca	3.06	4.29	5.90	3.40	3.05	2.72	4.12	2.72	5.90	3.79
N:Mg	5.93	8.37	13.77	7.75	7.66	6.91	7.97	5.93	13.77	8.34
N:S	5.76	6.30	5.94	6.74	6.38	6.94	5.71	5.71	6.94	6.25
N:Fe	66.05	78.58	65.26	70.82	61.59	58.62	77.28	58.62	78.58	68.32
N:Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N:Cu	42.84	52.59	47.43	74.40	43.31	42.15	156.58	42.15	156.58	65.61
N:Zn	-	1836.61	1905.50	3890.48	5737.11	10752.16	4038.91	1836.61	10752.16	4693.46
N:B	5867.83	8326.10	5648.33	6574.19	9025.50	8854.32	8514.83	5648.33	9025.50	7544.44
ผลผลิต, ตัน/ไร่	18.40	20.90	22.72	20.62	21.60	20.32	18.95	18.40	22.72	20.50

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	1.08	-	-	-	1.12	1.10	1.13	1.08	1.13	1.11
Total P (%)	0.20	-	-	-	0.27	0.16	0.15	0.15	0.27	0.19
Total K (%)	1.27	-	-	-	0.78	1.13	1.11	0.78	1.27	1.07
Total Ca (%)	0.19	-	-	-	0.44	0.20	0.26	0.19	0.44	0.27
Total Mg (%)	0.13	-	-	-	0.23	0.14	0.13	0.13	0.23	0.16
Total S (%)	0.29	-	-	-	0.29	0.24	0.22	0.22	0.29	0.26
Total Fe (mg/kg)	2.61	-	-	-	3.44	3.28	4.43	2.61	4.43	3.44
Total Mn (mg/kg)	27.87	-	-	-	65.88	42.95	52.44	27.87	65.88	47.29
Total Cu (mg/kg)	35.75	-	-	-	41.97	31.11	156.44	31.11	156.44	66.32
Total Zn (mg/kg)	18.05	-	-	-	24.01	18.53	15.37	15.37	24.01	18.99
Total B (mg/kg)	2.74	-	-	-	3.02	2.38	3.47	2.38	3.47	2.90
Ratio										
N:Ca	5.81	-	-	-	2.47	5.32	4.10	2.47	5.81	4.43
N:Mg	8.23	-	-	-	4.61	7.80	8.11	4.61	8.23	7.19
N:S	3.68	-	-	-	3.70	4.44	4.89	3.68	4.89	4.18
N:Fe	4144.91	-	-	-	3148.29	3302.97	2444.65	2444.65	4144.91	3260.21
N:Mn	388.81	-	-	-	164.49	252.31	206.64	164.49	388.81	253.06
N:Cu	303.11	-	-	-	258.20	348.35	69.27	69.27	348.35	244.74
N:Zn	600.48	-	-	-	451.30	584.79	704.85	451.30	704.85	585.35
N:B	3949.20	-	-	-	3586.81	4553.91	3126.06	3126.06	4553.91	3803.99
ผลผลิต, ตัน/ไร่	24.25	22.88	19.75	21.88	17.25	21.38	19.63	17.25	24.25	21.00

ตารางที่ 4.5 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ดอนแสลบ (งานทดลองปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	0.77	-	-	-	0.67	0.75	0.75	0.67	0.77	0.74
Total P (%)	0.06	-	-	-	0.14	0.10	0.10	0.06	0.14	0.10
Total K (%)	1.07	-	-	-	0.78	1.15	1.43	0.78	1.43	1.10
Total Ca (%)	0.27	-	-	-	0.25	0.21	0.35	0.21	0.35	0.27
Total Mg (%)	0.10	-	-	-	0.10	0.10	0.13	0.10	0.13	0.11
Total S (%)	0.20	-	-	-	0.24	0.22	0.22	0.20	0.24	0.22
Total Fe (mg/kg)	3.71	-	-	-	3.37	3.57	3.17	3.17	3.71	3.46
Total Mn (mg/kg)	37.01	-	-	-	36.08	51.76	30.66	30.66	51.76	38.88
Total Cu (mg/kg)	109.46	-	-	-	86.97	89.78	171.22	86.97	171.22	114.36
Total Zn (mg/kg)	13.57	-	-	-	12.32	13.89	17.24	12.32	17.24	14.26
Total B (mg/kg)	2.61	-	-	-	1.13	1.78	2.55	1.13	2.61	2.02
Ratio										
N:Ca	2.88	-	-	-	3.08	3.68	2.19	2.19	3.68	2.96
N:Mg	7.50	-	-	-	7.47	7.72	5.84	5.84	7.72	7.13
N:S	3.79	-	-	-	3.24	3.47	3.57	3.24	3.79	3.52
N:Fe	2079.54	-	-	-	2289.04	2160.70	2431.57	2079.54	2431.57	2240.21
N:Mn	208.41	-	-	-	213.83	149.03	251.63	149.03	251.63	205.72
N:Cu	70.47	-	-	-	88.70	85.92	45.05	45.05	88.70	72.54
N:Zn	568.36	-	-	-	625.95	555.35	447.50	447.50	625.95	549.29
N:B	2960.64	-	-	-	6823.12	4321.85	3028.35	2960.64	6823.12	4283.49
ผลผลิต, ตัน/ไร่	13.63	22.00	21.13	16.88	20.88	17.25	19.63	13.63	22.00	18.77

ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 12 เดือนของอ้อยปลูกใหม่ เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ตลาดเขต (งานทดลองปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	0.84	-	-	-	0.75	0.66	1.15	0.66	1.15	0.85
Total P (%)	0.09	-	-	-	0.12	0.06	0.19	0.06	0.19	0.11
Total K (%)	1.27	-	-	-	1.23	1.06	1.27	1.06	1.27	1.21
Total Ca (%)	0.31	-	-	-	0.31	0.37	0.28	0.28	0.37	0.32
Total Mg (%)	0.14	-	-	-	0.16	0.15	0.16	0.14	0.16	0.15
Total S (%)	0.21	-	-	-	0.26	0.17	0.20	0.17	0.26	0.21
Total Fe (mg/kg)	2.90	-	-	-	3.33	2.99	38.35	2.90	38.35	11.89
Total Mn (mg/kg)	36.72	-	-	-	28.41	36.02	25.42	25.42	36.72	31.64
Total Cu (mg/kg)	116.16	-	-	-	106.02	290.17	119.49	106.02	290.17	157.96
Total Zn (mg/kg)	14.86	-	-	-	17.27	15.03	27.01	14.86	27.01	18.54
Total B (mg/kg)	4.30	-	-	-	3.39	5.00	5.15	3.39	5.15	4.46
Ratio										
N:Ca	2.71	-	-	-	2.71	2.29	2.99	2.29	2.99	2.67
N:Mg	6.17	-	-	-	5.42	5.59	5.27	5.27	6.17	5.61
N:S	3.95	-	-	-	3.21	4.85	4.14	3.21	4.85	4.04
N:Fe	2904.97	-	-	-	2527.88	2820.82	219.71	219.71	2904.97	2118.34
N:Mn	229.45	-	-	-	296.61	233.93	331.48	229.45	331.48	272.87
N:Cu	72.54	-	-	-	79.48	29.04	70.52	29.04	79.48	62.89
N:Zn	567.09	-	-	-	487.96	560.65	311.91	311.91	567.09	481.90
N:B	1958.84	-	-	-	2485.10	1684.11	1636.33	1636.33	2485.10	1941.09
ผลผลิต, ตัน/ไร่	18.40	20.90	22.72	20.62	21.60	20.32	18.95	18.40	22.72	20.50

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รong และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง กำแพงแสน (งานทดลองปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	-	-	-	-	0.93	0.77	0.66	0.66	0.93	0.79
Total P (%)	-	-	-	-	0.12	0.12	0.06	0.06	0.12	0.10
Total K (%)	-	-	-	-	0.93	1.29	0.76	0.76	1.29	0.99
Total Ca (%)	-	-	-	-	0.42	0.46	0.43	0.42	0.46	0.44
Total Mg (%)	-	-	-	-	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10
Total S (%)	-	-	-	-	0.27	0.35	0.22	0.22	0.35	0.28
Total Fe (mg/kg)	-	-	-	-	99.69	82.67	70.69	70.69	99.69	84.35
Total Mn (mg/kg)	-	-	-	-	31.93	30.90	46.78	30.90	46.78	36.54
Total Cu (mg/kg)	-	-	-	-	4.80	4.92	3.38	3.38	4.92	4.37
Total Zn (mg/kg)	-	-	-	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
Total B (mg/kg)	-	-	-	-	6.50	4.82	11.48	4.82	11.48	7.60
Ratio										
N:Ca	-	-	-	-	2.21	1.68	1.55	1.55	2.21	1.81
N:Mg	-	-	-	-	9.21	7.23	6.44	6.44	9.21	7.63
N:S	-	-	-	-	3.43	2.18	2.99	2.18	3.43	2.87
N:Fe	-	-	-	-	93.01	93.08	93.89	93.01	93.89	93.33
N:Mn	-	-	-	-	290.35	249.03	141.88	141.88	290.35	227.08
N:Cu	-	-	-	-	1930.85	1563.37	1963.96	1563.37	1963.96	1819.39
N:Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N:B	-	-	-	-	1426.70	1597.58	578.22	578.22	1597.58	1200.84
ผลผลิต, ตัน/ไร่	-	-	-	-	14.30	19.20	16.70	14.30	19.20	16.73

ตารางที่ 4.8 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รong และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลอง ดอนแสลบ (งานทดลองปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	-	-	-	-	0.81	0.77	0.78	0.77	0.81	0.79
Total P (%)	-	-	-	-	0.16	0.12	0.15	0.12	0.16	0.14
Total K (%)	-	-	-	-	1.22	1.05	0.96	0.96	1.22	1.08
Total Ca (%)	-	-	-	-	0.48	0.58	0.78	0.48	0.78	0.61
Total Mg (%)	-	-	-	-	0.13	0.10	0.16	0.10	0.16	0.13
Total S (%)	-	-	-	-	0.20	0.20	0.18	0.18	0.20	0.19
Total Fe (mg/kg)	-	-	-	-	84.04	132.00	89.34	84.04	132.00	101.80
Total Mn (mg/kg)	-	-	-	-	49.01	62.20	37.19	37.19	62.20	49.47
Total Cu (mg/kg)	-	-	-	-	6.86	5.29	6.79	5.29	6.86	6.31
Total Zn (mg/kg)	-	-	-	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
Total B (mg/kg)	-	-	-	-	5.28	6.51	5.44	5.28	6.51	5.74
Ratio										
N:Ca	-	-	-	-	1.68	1.32	1.00	1.00	1.68	1.34
N:Mg	-	-	-	-	6.29	7.40	4.81	4.81	7.40	6.17
N:S	-	-	-	-	4.04	3.93	4.40	3.93	4.40	4.12
N:Fe	-	-	-	-	95.94	58.41	87.34	58.41	95.94	80.56
N:Mn	-	-	-	-	164.53	123.95	209.82	123.95	209.82	166.10
N:Cu	-	-	-	-	1175.78	1458.21	1148.62	1148.62	1458.21	1260.87
N:Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N:B	-	-	-	-	1526.15	1185.04	1435.70	1185.04	1526.15	1382.30
ผลผลิต, ตัน/ไร่	-	-	-	-	13.70	14.30	18.10	13.70	18.10	15.37

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รong และจุลธาตุ และสัดส่วนธาตุอาหารในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยต่อที่ 1 เทียบกับผลผลิตที่ได้สำหรับสถานที่ทดลองตลาดเขต (งานทดลองปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
Total N (%)	-	-	-	-	0.21	0.36	0.84	0.21	0.84	0.47
Total P (%)	-	-	-	-	0.05	0.16	0.13	0.05	0.16	0.11
Total K (%)	-	-	-	-	0.80	1.13	0.83	0.80	1.13	0.92
Total Ca (%)	-	-	-	-	0.60	0.27	0.93	0.27	0.93	0.60
Total Mg (%)	-	-	-	-	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13
Total S (%)	-	-	-	-	0.25	0.17	0.24	0.17	0.25	0.22
Total Fe (mg/kg)	-	-	-	-	106.00	106.26	109.21	106.00	109.21	107.16
Total Mn (mg/kg)	-	-	-	-	68.65	14.00	59.05	14.00	68.65	47.24
Total Cu (mg/kg)	-	-	-	-	4.72	8.68	6.32	4.72	8.68	6.57
Total Zn (mg/kg)	-	-	-	-	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
Total B (mg/kg)	-	-	-	-	7.36	8.59	8.23	7.36	8.59	8.06
Ratio										
N:Ca	-	-	-	-	0.36	1.33	0.90	0.36	1.33	0.86
N:Mg	-	-	-	-	1.62	2.57	6.38	1.62	6.38	3.52
N:S	-	-	-	-	0.85	2.07	3.53	0.85	3.53	2.15
N:Fe	-	-	-	-	20.24	33.56	76.54	20.24	76.54	43.45
N:Mn	-	-	-	-	31.26	254.72	141.55	31.26	254.72	142.51
N:Cu	-	-	-	-	454.97	410.92	1322.94	410.92	1322.94	729.61
N:Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N:B	-	-	-	-	291.74	415.06	1015.28	291.74	1015.28	574.03
ผลผลิต, ตัน/ไร่	-	-	-	-	13.7	14.3	18.1	-	-	-

4.1.2 กิจกรรมย่อยการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างดิน โครงการได้จัดเก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองของตำบลทดลองต่างๆ เฉพาะซ้ำที่ 1 ของการทดลองในปีงบประมาณแรก เมื่ออายุได้ 8 และ 12 เดือน และได้นำตัวอย่างดินวิเคราะห์ ส่วนในปีงบประมาณที่ 2 เก็บตัวอย่างดินจากตำบลทดลองที่ 5 6 และ 7 ซึ่งเป็นตำบลทดลองที่ใช้ค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกำหนดปุ๋ยให้ได้ผลผลิตเป็น 15 20 และ 25 ตันต่อไร่ ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุของดินเป็นดังตารางที่ 4.10-4.12 สำหรับตัวอย่างดินอายุปลูกใหม่ในปีแรก และตารางที่ 4.13-4.15 สำหรับอายุต่อที่ 1 ในปีงบประมาณที่ 2

ตารางที่ 4.10 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองกำแพงแสนเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อ้อยอายุ 8 เดือน										
pH 1:1	6.69	7.78	7.43	6.16	7.50	7.40	7.92	6.16	7.92	7.27
Ece (dS/m)	0.31	0.46	0.34	0.21	1.29	0.38	0.42	0.21	1.29	0.49
OM (%)	1.16	1.20	1.43	1.08	1.48	1.29	1.22	1.08	1.48	1.27
Avail. P (mg/kg)	65.50	112.88	147.38	59.50	117.75	106.25	127.75	59.50	147.38	105.29
Exch. K (mg/kg)	82.23	119.86	105.05	107.16	91.41	125.71	140.26	82.23	140.26	110.24
Exch. Ca (mg/kg)	1480.70	2255.00	1822.70	1242.30	2156.70	1939.40	2090.50	1242.30	2255.00	1855.33
Exch. Mg (mg/kg)	243.88	186.70	227.08	233.84	206.97	236.61	197.67	186.70	243.88	218.97
Extr.Fe (mg/kg)	11.21	2.80	7.51	33.80	3.80	8.11	3.04	2.80	33.80	10.04
Extr.Mn (mg/kg)	12.14	5.89	7.74	27.97	5.27	8.07	3.88	3.88	27.97	10.14
Extr.Cu (mg/kg)	0.71	0.82	0.90	1.03	0.76	1.10	1.02	0.71	1.10	0.91
Extr.Zn (mg/kg)	0.97	0.84	1.20	1.32	0.99	1.21	0.89	0.84	1.32	1.06
Sol.B (mg/kg)	0.38	0.25	0.21	0.23	0.27	0.83	0.15	0.15	0.83	0.33
Extr.S (mg/kg)	109.83	1.88	0.83	0.56	123.63	0.83	0.80	0.56	123.63	34.05
อ้อยอายุ 12 เดือน										
pH 1:1	5.76	7.51	7.25	6.28	7.66	7.17	7.98	5.76	7.98	7.09
Ece (dS/m)	0.38	0.28	0.60	0.23	0.96	0.36	0.37	0.23	0.96	0.46
OM (%)	1.24	1.30	1.58	1.49	1.56	1.55	1.33	1.24	1.58	1.44
Avail. P (mg/kg)	47.00	91.38	112.00	75.38	112.88	103.50	124.50	47.00	124.50	95.23
Exch. K (mg/kg)	60.75	62.69	61.30	110.40	54.79	82.96	86.51	54.79	110.40	74.20
Exch. Ca (mg/kg)	1403.70	1808.70	1830.90	1276.00	2002.60	1806.20	2836.90	1276.00	2836.90	1852.14
Exch. Mg (mg/kg)	216.46	173.39	192.54	198.35	194.75	196.08	185.46	173.39	216.46	193.86
Extr.Fe (mg/kg)	48.04	3.03	5.52	28.14	3.14	7.42	1.94	1.94	48.04	13.89
Extr.Mn (mg/kg)	25.32	7.77	11.71	24.41	6.87	15.59	5.22	5.22	25.32	13.84
Extr.Cu (mg/kg)	1.40	1.13	1.14	1.17	1.41	1.59	1.18	1.13	1.59	1.29
Extr.Zn (mg/kg)	1.12	0.99	1.35	1.12	1.23	1.18	0.91	0.91	1.35	1.13
Sol.B (mg/kg)	0.41	0.69	0.55	0.72	1.15	0.65	0.56	0.41	1.15	0.67
Extr.S (mg/kg)	0.26	1.34	2.43	1.50	1.64	0.88	0.73	0.26	2.43	1.25

ตารางที่ 4.11 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองดอนแสลบเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อ้อยอายุ 8 เดือน										
pH 1:1	7.33	7.93	7.14	6.63	7.98	6.09	6.49	6.09	7.98	7.08
Ece (dS/m)	0.23	0.73	0.31	0.22	0.33	0.72	0.43	0.22	0.73	0.42
OM (%)	1.12	1.39	1.22	1.03	1.21	0.80	1.38	0.80	1.39	1.17
Avail. P (mg/kg)	47.13	153.88	29.13	33.76	115.00	35.56	35.44	29.13	153.88	64.27
Exch. K (mg/kg)	84.22	111.61	131.18	110.32	105.15	166.35	76.93	76.93	166.35	112.25
Exch. Ca (mg/kg)	1965.80	3643.90	1746.60	2243.00	2432.70	2506.00	1519.30	1519.30	3643.90	2293.90
Exch. Mg (mg/kg)	266.94	311.80	299.02	507.98	732.80	831.44	541.52	266.94	831.44	498.79
Extr.Fe (mg/kg)	7.34	2.15	10.07	22.57	2.22	19.23	19.91	2.15	22.57	11.93
Extr.Mn (mg/kg)	8.84	3.87	17.25	23.48	3.03	55.16	21.80	3.03	55.16	19.06
Extr.Cu (mg/kg)	1.18	1.30	0.97	1.26	1.36	1.46	1.30	0.97	1.46	1.26
Extr.Zn (mg/kg)	0.66	0.82	0.65	1.08	0.71	0.74	0.79	0.65	1.08	0.78
Sol.B (mg/kg)	0.04	0.11	0.12	0.11	0.06	0.06	0.05	0.04	0.12	0.08
Extr.S (mg/kg)	0.55	0.84	0.47	0.98	0.29	0.69	22.79	0.29	22.79	3.80
อ้อยอายุ 12 เดือน										
pH 1:1	6.69	8.02	7.26	6.38	7.28	6.24	6.21	6.21	8.02	6.87
Ece (dS/m)	0.34	0.70	0.38	0.36	0.27	0.39	0.26	0.26	0.70	0.39
OM (%)	1.47	1.21	1.53	1.13	1.36	1.06	1.46	1.06	1.53	1.32
Avail. P (mg/kg)	26.06	120.25	63.88	25.81	71.00	43.13	41.00	25.81	120.25	55.88
Exch. K (mg/kg)	87.55	104.44	64.11	38.48	72.47	92.99	50.35	38.48	104.44	72.91
Exch. Ca (mg/kg)	1561.30	3772.00	2020.10	2144.80	1365.70	1565.70	2279.10	1365.70	3772.00	2101.24
Exch. Mg (mg/kg)	337.52	324.19	262.13	269.93	216.54	234.39	252.65	216.54	337.52	271.05
Extr.Fe (mg/kg)	17.08	1.72	7.19	25.25	3.26	27.58	29.58	1.72	29.58	15.95
Extr.Mn (mg/kg)	33.46	6.50	24.12	36.67	11.15	37.70	21.21	6.50	37.70	24.40
Extr.Cu (mg/kg)	1.29	1.74	1.77	1.28	2.06	1.68	1.84	1.28	2.06	1.67
Extr.Zn (mg/kg)	0.77	1.23	0.97	0.53	0.94	2.09	1.12	0.53	2.09	1.09
Sol.B (mg/kg)	0.39	0.59	0.63	0.34	0.40	0.16	0.63	0.16	0.63	0.45
Extr.S (mg/kg)	2.08	0.91	0.67	0.36	0.16	0.26	0.36	0.16	2.08	0.69

ตารางที่ 4.12 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยปลูกใหม่ สถานที่ทดลองตลาดเขตเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน แยกตามตำรับ ทดลอง (งานทดลองในปีแรก)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อ้อยอายุ 8 เดือน										
pH 1:1	7.56	7.38	7.71	8.20	7.71	8.04	7.97	7.38	8.20	7.80
Ece (dS/m)	0.54	0.34	0.88	0.41	0.92	0.47	0.51	0.34	0.92	0.58
OM (%)	1.86	1.53	1.70	1.40	2.07	1.64	1.45	1.40	2.07	1.67
Avail. P (mg/kg)	125.13	99.25	119.25	160.13	157.50	107.25	100.00	99.25	160.13	124.07
Exch. K (mg/kg)	121.41	122.58	171.27	141.96	114.42	130.28	130.74	114.42	171.27	133.24
Exch. Ca (mg/kg)	2249.00	2261.70	2561.30	2486.50	3118.80	2267.60	1833.30	1833.30	3118.80	2396.89
Exch. Mg (mg/kg)	449.85	676.14	812.19	546.57	265.52	742.15	282.16	265.52	812.19	539.23
Extr.Fe (mg/kg)	8.96	10.41	6.93	2.48	10.96	4.88	6.01	2.48	10.96	7.23
Extr.Mn (mg/kg)	7.65	10.61	6.28	2.89	8.16	3.75	5.29	2.89	10.61	6.38
Extr.Cu (mg/kg)	2.12	1.82	2.60	1.68	3.27	1.49	1.50	1.49	3.27	2.07
Extr.Zn (mg/kg)	1.34	1.57	2.92	0.97	2.66	1.26	0.98	0.97	2.92	1.67
Sol.B (mg/kg)	0.15	0.25	0.33	0.11	0.32	0.14	0.18	0.11	0.33	0.21
Extr.S (mg/kg)	2.28	2.02	2.26	53.72	2.23	1.95	2.33	1.95	53.72	9.54
อ้อยอายุ 12 เดือน										
pH 1:1	7.54	7.81	7.98	7.99	7.68	7.99	7.96	7.54	7.99	7.85
Ece (dS/m)	0.62	0.38	0.98	0.56	1.23	0.82	0.55	0.38	1.23	0.73
OM (%)	2.12	1.49	1.26	1.52	1.52	1.80	1.80	1.26	2.12	1.64
Avail. P (mg/kg)	86.13	69.25	96.00	149.75	165.38	105.25	84.38	69.25	165.38	108.02
Exch. K (mg/kg)	77.06	83.79	92.54	126.99	76.53	77.15	56.16	56.16	126.99	84.32
Exch. Ca (mg/kg)	1995.00	1266.50	2333.80	2356.40	2658.50	2232.80	2136.80	1266.50	2658.50	2139.97
Exch. Mg (mg/kg)	886.54	791.76	910.16	891.71	863.37	949.38	860.05	791.76	949.38	879.00
Extr.Fe (mg/kg)	6.94	4.36	3.41	2.64	8.96	4.26	4.55	2.64	8.96	5.02
Extr.Mn (mg/kg)	7.71	6.68	5.58	4.92	5.93	6.13	6.98	4.92	7.71	6.27
Extr.Cu (mg/kg)	1.92	1.57	1.51	2.17	2.60	1.65	1.50	1.50	2.60	1.85
Extr.Zn (mg/kg)	1.54	1.05	1.01	1.33	2.59	1.08	0.93	0.93	2.59	1.36
Sol.B (mg/kg)	0.57	0.50	0.76	0.60	0.77	0.71	0.81	0.50	0.81	0.67
Extr.S (mg/kg)	0.59	1.89	0.86	0.92	4.81	1.04	0.69	0.59	4.81	1.54

ตารางที่ 4.13 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยตอปีที่ 1 สถานที่ทดลองกำแพงแสนเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งานทดลองในปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อ้อยอายุ 8 เดือน										
pH 1:1	-	-	-	-	7.74	6.75	6.78	6.75	7.74	7.09
Ece (dS/m)	-	-	-	-	0.73	0.73	1.09	0.73	1.09	0.85
OM (%)	-	-	-	-	1.45	2.21	1.84	1.45	2.21	1.83
Avail. P (mg/kg)	-	-	-	-	132.33	98.22	167.47	98.22	167.47	132.67
Exch. K (mg/kg)	-	-	-	-	76.80	104.68	134.79	7.68	134.79	82.39
Exch. Ca (mg/kg)	-	-	-	-	255.74	4014.01	2689.21	255.74	4014.01	2319.65
Exch. Mg (mg/kg)	-	-	-	-	99.80	112.71	98.72	9.98	112.71	73.80
Extr.Fe (mg/kg)	-	-	-	-	32.32	13.71	20.05	13.71	32.32	22.03
Extr.Mn (mg/kg)	-	-	-	-	43.99	39.83	23.07	23.07	43.99	35.63
Extr.Cu (mg/kg)	-	-	-	-	2.26	1.70	1.83	1.70	2.26	1.93
Extr.Zn (mg/kg)	-	-	-	-	2.18	1.70	1.30	1.30	2.18	1.73
Sol.B (mg/kg)	-	-	-	-	0.96	0.82	0.65	0.65	0.96	0.81
Extr.S (mg/kg)	-	-	-	-	5.90	6.12	51.83	5.90	51.83	21.29

ตารางที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงอ้อยตอที่ 1 สถานที่ทดลองดอนแสลบเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งานทดลองในปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อ้อยอายุ 8 เดือน										
pH 1:1	-	-	-	-	8.01	7.12	6.26	6.26	8.01	7.13
Ece (dS/m)	-	-	-	-	0.45	0.30	0.49	0.30	0.49	0.42
OM (%)	-	-	-	-	1.26	1.24	1.50	1.24	1.50	1.33
Avail. P (mg/kg)	-	-	-	-	106.99	64.23	56.50	56.50	106.99	75.91
Exch. K (mg/kg)	-	-	-	-	90.87	125.71	102.77	90.87	125.71	106.45
Exch. Ca (mg/kg)	-	-	-	-	2977.13	2563.25	1999.64	1999.64	2977.13	2513.34
Exch. Mg (mg/kg)	-	-	-	-	135.89	171.01	161.20	135.89	171.01	156.04
Extr.Fe (mg/kg)	-	-	-	-	7.58	30.47	45.43	7.58	45.43	27.83
Extr.Mn (mg/kg)	-	-	-	-	25.39	57.82	68.99	25.39	68.99	50.73
Extr.Cu (mg/kg)	-	-	-	-	1.26	1.34	1.62	1.26	1.62	1.41
Extr.Zn (mg/kg)	-	-	-	-	0.54	0.35	0.60	0.35	0.60	0.50
Sol.B (mg/kg)	-	-	-	-	0.20	0.39	0.78	0.20	0.78	0.46
Extr.S (mg/kg)	-	-	-	-	0.94	1.08	1.49	0.94	1.49	1.17

ตารางที่ 4.15 ปริมาณธาตุอาหารหลัก ร่อง และจุลธาตุ ของดินจากแปลงย่อยที่ 1 สถานที่ทดลองตลาดเขตเมื่ออายุ 8 เดือน แยกตามตำรับทดลอง (งานทดลองในปีที่สอง)

รายการ	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	ค่าน้อย	ค่ามาก	เฉลี่ย
อายุ 8 เดือน										
pH 1:1	-	-	-	-	7.84	7.37	7.61	7.37	7.84	7.61
Ece (dS/m)	-	-	-	-	1.20	1.66	1.04	1.04	1.66	1.30
OM (%)	-	-	-	-	2.08	1.73	1.84	1.73	2.08	1.88
Avail. P (mg/kg)	-	-	-	-	155.94	134.69	89.93	89.93	155.94	126.85
Exch. K (mg/kg)	-	-	-	-	88.65	159.26	127.58	88.65	159.26	125.16
Exch. Ca (mg/kg)	-	-	-	-	4013.52	3065.43	2222.64	2222.64	4013.52	3100.53
Exch. Mg (mg/kg)	-	-	-	-	672.90	616.70	622.86	616.70	672.90	637.49
Extr.Fe (mg/kg)	-	-	-	-	20.74	9.11	20.62	9.11	20.74	16.82
Extr.Mn (mg/kg)	-	-	-	-	30.50	68.52	29.44	29.44	68.52	42.82
Extr.Cu (mg/kg)	-	-	-	-	3.27	0.55	1.82	0.55	3.27	1.88
Extr.Zn (mg/kg)	-	-	-	-	8.42	1.22	0.70	0.70	8.42	3.45
Sol.B (mg/kg)	-	-	-	-	0.68	0.63	0.39	0.39	0.68	0.57
Extr.S (mg/kg)	-	-	-	-	3.14	78.25	1.91	1.91	78.25	27.77

4.2 อภิปรายผลการดำเนินงานในส่วนของการดูดซับธาตุอาหารของอ้อยจากดิน

4.2.1 ปริมาณการดูดซับธาตุอาหารจากดินของอ้อย ผลจากแปลงทดสอบทั้ง 3 สถานที่ ทั้งที่เป็นอ้อยปลูกใหม่ (งานทดลองปีแรก) และอ้อยต่อที่ 1 (งานทดลองปีที่ 2) อาจสรุปคร่าวๆได้ดังนี้ ผลผลิตโดยทั่วไปของอ้อยต่อที่ 1 ลดต่ำกว่าอ้อยปลูกใหม่ประมาณ 14.52% ส่วนสาเหตุและค่าองค์ประกอบผลผลิตจะนำเสนอในภายหลัง ในส่วนของการดำเนินงานส่วนนี้จะเน้นเฉพาะเรื่องของการดูดซับธาตุอาหารของอ้อย และการลดต่ำลงของปริมาณธาตุอาหารในดิน ซึ่งสามารถสรุปในแต่ละธาตุอาหาร และในส่วนของผลที่สามารถนำไปใช้งานเพื่อปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้เป็นดังต่อไปนี้

ธาตุไนโตรเจน ความเข้มข้นไนโตรเจนที่ใบของอ้อยปลูกใหม่จะสูงกว่าของอ้อยต่อที่ 1 ทั้ง 3 สถานที่ ทดลอง ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบอ้อยอายุ 8 เดือน ลดลงจาก 1.47 1.41 และ 1.16% เหลือเพียง 0.72 0.77 และ 0.84% สำหรับสถานที่ทดลองกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขตกตามลำดับ อ้อยต่อที่ 1 จึงดูดซับธาตุไนโตรเจนได้เพียง 58% ของอ้อยปลูกใหม่เท่านั้น ความเข้มข้นไนโตรเจนในใบของอ้อยอายุ 12 เดือนมีค่าเป็น 1.11 0.74 และ 0.85% ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าอ้อยดูดซับธาตุไนโตรเจนได้ลดลงหลังจากอ้อยอายุ 8 เดือนไปแล้ว

ธาตุฟอสฟอรัส ความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ใบของอ้อยปลูกใหม่จะสูงกว่าของอ้อยต่อที่ 1 ทั้ง 3 สถานที่ ทดลอง ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบอ้อยอายุ 8 เดือน ลดลงจาก 0.20 0.18 และ 0.20% เหลือเพียง 0.10 0.14 และ 0.13% สำหรับสถานที่ทดลองกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขตกตามลำดับ อ้อยต่อที่ 1 จึงดูดซับธาตุฟอสฟอรัสได้เพียง 63% ของอ้อยปลูกใหม่เท่านั้น เมื่อเทียบสัดส่วน N:P ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:4.15 ถึง 1:7.87 ทั้ง 3 สถานที่ ซึ่งชี้ให้เห็นชัดเจนว่าอ้อยสามารถดูดซับไนโตรเจนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้มากกว่าฟอสฟอรัส ส่วนความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบอายุ 8 เดือนมีค่าสูงกว่าของอ้อยอายุ 12 เดือนเล็กน้อย และมีค่าเป็น 0.20 0.10 และ 0.12% ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยดูดซับฟอสฟอรัสได้ลดลงหลังจากอ้อยอายุ 8 เดือน

ธาตุโพแทสเซียม ความเข้มข้นโพแทสเซียมที่ใบของอ้อยปลูกใหม่จะต่ำกว่าของอ้อยต่อที่ 1 ทั้ง 3 สถานที่ ทดลอง ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยต่อเพิ่มขึ้นจาก 0.79 0.99 และ 0.82% ของอ้อยปลูกใหม่เป็น 0.99 1.08 และ 0.92% สำหรับสถานที่ทดลองกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขตกตามลำดับ อ้อยต่อที่ 1 จึงดูดซับธาตุโพแทสเซียมได้ 115% ของอ้อยปลูกใหม่ เมื่อเทียบสัดส่วน N:K ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:1.17 ถึง 1:1.6 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:0.51 ถึง 1:0.79 สำหรับอ้อยต่อชี้ให้เห็นชัดเจนว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับโพแทสเซียมได้มากกว่าอ้อยต่อที่ 1 และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะพอกพูนกับโพแทสเซียม ส่วนความเข้มข้นโพแทสเซียมในใบอายุ 8 เดือนมีค่าน้อยกว่าของอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าเป็น 1.07 1.11 และ 1.21% ของทั้ง 3 สถานที่ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับโพแทสเซียมได้เพิ่มสูงขึ้นหลังจากอ้อยอายุ 8 เดือนไปแล้ว และอาจสูงขึ้นเป็น 2 เท่าของการดูดซับในช่วง 8 เดือนแรกของการเจริญเติบโต

ธาตุแคลเซียม ความเข้มข้นแคลเซียมที่ใบของอ้อยปลูกใหม่จะต่ำกว่าของอ้อยต่อที่ 1 ทั้ง 3 สถานที่ ทดลอง ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอ้อยอายุ 8 เดือนของอ้อยต่อเพิ่มขึ้นจาก 0.39 0.58 และ 0.32% ของอ้อยปลูกใหม่เป็น 0.44 0.61 และ 0.60% สำหรับสถานที่ทดลองกำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขตกตามลำดับ อ้อยต่อที่ 1 จึงดูดซับธาตุแคลเซียมได้ 134% ของอ้อยปลูกใหม่ และเมื่อเทียบสัดส่วน N:Ca ของใบอ้อยอายุ 8

เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:2.58 ถึง 1:3.67 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:1.33 ถึง 1:1.81 สำหรับอ้อยต่อ ซึ่งให้เห็นชัดเจนว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับแคลเซียมได้มากกว่าอ้อยต่อที่ 1 และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับแคลเซียม ส่วนความเข้มข้นแคลเซียมในใบอายุ 8 เดือนมีค่าพอกับอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าระหว่าง 0.27-0.46% ของทั้ง 3 สถานที่ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับแคลเซียมพอกันในช่วงทั้งก่อนและหลังอ้อยอายุ 8 เดือนของการเจริญเติบโต

ธาตุแมกนีเซียม ความเข้มข้นแมกนีเซียมที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าพอกับของอ้อยต่อที่ 1 และมีค่าพอกันทั้ง 3 สถานที่ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 0.10-0.15% และเมื่อเทียบสัดส่วน N:Mg ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:7.35 ถึง 1:10.01 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:3.52 ถึง 1:7.63 สำหรับอ้อยต่อ ซึ่งให้เห็นว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับแมกนีเซียมได้มากกว่าอ้อยต่อที่ 1 และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับแมกนีเซียมอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นแมกนีเซียมในใบอายุ 8 เดือนมีค่าพอกับอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าระหว่าง 0.27-0.46% ของทั้ง 3 สถานที่ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับแมกนีเซียมพอกันในช่วงทั้งก่อนและหลังอ้อยอายุ 8 เดือนของการเจริญเติบโต

ธาตุกำมะถัน ความเข้มข้นกำมะถันที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าพอกับของอ้อยต่อที่ 1 และมีค่าพอกันทั้ง 3 สถานที่ ความเข้มข้นของกำมะถันในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 0.19-0.22% และเมื่อเทียบสัดส่วน N:S ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:5.45 ถึง 1:7.61 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:2.15 ถึง 1:4.12 สำหรับอ้อยต่อ ซึ่งให้เห็นว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับกำมะถันได้มากกว่าอ้อยต่อที่ 1 และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับกำมะถันอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นกำมะถันในใบอายุ 8 เดือนมีค่าพอกับอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าระหว่าง 0.18-0.23% ของทั้ง 3 สถานที่ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับกำมะถันพอกันในช่วงทั้งก่อนและหลังอ้อยอายุ 8 เดือนของการเจริญเติบโต

ธาตุเหล็ก ความเข้มข้นเหล็กที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าพอกับของอ้อยต่อที่ 1 และมีค่าพอกันทั้ง 3 สถานที่ ความเข้มข้นของเหล็กในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 84.35-112.80 ม.ก./ก.ก. และเมื่อเทียบสัดส่วน N:Fe ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:813.78 ถึง 1:857.16 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:80.56 ถึง 1: 93.33 สำหรับอ้อยต่อ ซึ่งให้เห็นว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับเหล็กได้น้อยกว่าอ้อยต่อที่ 1 และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับเหล็กอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นเหล็กในใบอายุ 8 เดือนมีค่าสูงกว่าของอ้อยอายุ 12 เดือนอย่างมาก และมีค่าระหว่าง 110.01-172.51 และ 3.72-14.89 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยอายุ 8 และ 12 เดือนตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับเหล็กในปริมาณที่สูงในช่วง 8 เดือนแรกของการเจริญเติบโต หลังจากนั้นการดูดซับจะลดลง

ธาตุทองแดง ความเข้มข้นทองแดงที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าสูงกว่าของอ้อยต่อที่ 1 เป็นอย่างมาก ความเข้มข้นของทองแดงในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 78.88-114.36 ม.ก./ก.ก. และ 4.37-6.31 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยปลูกใหม่และอ้อยต่อตามลำดับ และเมื่อเทียบสัดส่วน N:Cu ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:64.63 ถึง 1:72.54 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:1260.87 ถึง 1:1819.39 สำหรับอ้อยต่อ ซึ่งให้เห็นว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับทองแดงได้มากกว่าอ้อยต่อที่ 1 อย่างมาก และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับทองแดงเป็นอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นทองแดงในใบอายุ 8 เดือนมีค่าต่ำกว่าของอ้อยอายุ 12 เดือนอย่างมาก และมีค่าระหว่าง 5.02-76.51 และ 115.99-171.89 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยอายุ 8

และ 12 เดือนตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับทองแดงในปริมาณที่สูงในช่วงหลังจากอ้อยเจริญเติบโตไปแล้ว 8 เดือนมากกว่าในช่วง 8 เดือนแรกของการเจริญเติบโต

ธาตุสังกะสี ความเข้มข้นสังกะสีที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าสูงกว่าของอ้อยต่อที่ 1 เป็นอย่างมาก ความเข้มข้นของสังกะสีในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 21.57-33.81 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยปลูกใหม่ ส่วนของอ้อยตอพบในปริมาณที่น้อยไม่สามารถวัดค่าได้ และเมื่อเทียบสัดส่วน N:Zn ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:446.30 ถึง 1:632.75 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ ในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับสังกะสีเป็นอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นสังกะสีในใบอายุ 8 เดือนมีค่าพอกันกับของอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าระหว่าง 19.30-23.25 และ 14.48-19.77 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยอายุ 8 และ 12 เดือนตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับสังกะสีในปริมาณที่พอกันทั้งในช่วงการเจริญเติบโต 8 เดือนแรกและหลังจากนั้น

ธาตุโบรอน ความเข้มข้นโบรอนที่ใบของอ้อยปลูกใหม่มีค่าต่ำกว่าของอ้อยต่อที่ 1 แต่ไม่สูงมากนัก ความเข้มข้นของโบรอนในใบอ้อยอายุ 8 เดือนมีค่าระหว่าง 2.42-2.91 ม.ก./ก.ก. และ 5.74-8.06 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยปลูกใหม่และอ้อยตอตามลำดับ และเมื่อเทียบสัดส่วน N:B ของใบอ้อยอายุ 8 เดือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1:4397.34 ถึง 1:6211.34 สำหรับอ้อยปลูกใหม่ และอยู่ระหว่าง 1:1200.83 ถึง 1:1382.30 สำหรับอ้อยตอชี้ให้เห็นว่าอ้อยปลูกใหม่สามารถดูดซับโบรอนได้น้อยกว่าอ้อยต่อที่ 1 อย่างมาก และในภาพรวมแล้วการดูดซับไนโตรเจนของอ้อยจะสูงกว่าการดูดซับโบรอนเป็นอย่างมาก ส่วนความเข้มข้นโบรอนในใบอายุ 8 เดือนมีค่าพอกันกับของใบอ้อยอายุ 12 เดือน และมีค่าระหว่าง 1.54-3.40 และ 1.82-4.51 ม.ก./ก.ก. สำหรับอ้อยอายุ 8 และ 12 เดือนตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้หมายความว่าอ้อยสามารถดูดซับโบรอนในปริมาณที่พอกันตลอดทุกช่วงการเจริญเติบโต

4.2.2 สัดส่วนธาตุอาหารที่จะนำไปใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะใช้หาปริมาณธาตุอาหารทุกธาตุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอ้อยให้ได้ผลผลิตที่สูง (สูงกว่า 16 ตันต่อไร่) ใช้แนวคิดนำสัดส่วนธาตุอาหารใดๆ ต่อธาตุไนโตรเจนในใบอ้อยที่อายุ 8 เดือน ในการคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารใดๆ นอกเหนือจากไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งจะหาปริมาณที่อ้อยต้องการในฐานข้อมูลความต้องการธาตุอาหารหลักของอ้อย ดังนั้นสำหรับธาตุอาหารอื่นๆจำเป็นต้องใช้สัดส่วนธาตุอาหารนั้นต่อไนโตรเจน ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของสัดส่วนธาตุอาหารของใบอ้อยอายุ 8 เดือน แสดงเฉพาะหน่วยทดลองที่ให้ผลผลิตสูงกว่า 16.0 ตัน/ไร่ โครงการใช้ค่ามัธยฐานของสัดส่วนธาตุอาหารต่อไนโตรเจนเป็นฐานของการคำนวณความต้องการปริมาณธาตุอาหารอื่นๆ จากปุ๋ยด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.16 แสดงสัดส่วนธาตุอาหารต่อไนโตรเจนของใบอ้อยอายุ 8 เดือน และจะนำไปใช้เป็นฐานในการคำนวณความต้องการปุ๋ยของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สัดส่วน	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าฐานนิยม	ค่าที่นำไปใช้
N:Ca	1:2.73	1:3.05	1:3.05	1:3.05
N:Mg	1:8.98	1:8.37	1:1.62	1:8.37
N:S	1:6.72	1:6.72	1:0.85	1:6.72
N:Fe	1:93.76	1:80.53	1:20.24	1:80.53
N:Mn	1:230.86	1:241.43	1:31.26	1:241.43
N:Cu	1:545.10	1:156.58	1:42.15	1:156.58
N:Zn	1:1841.82	1:691.01	1:124.85	1:691.01
N:B	1:5516.99	1:5648.33	1:291.74	1:1787.82*

* เลือกใช้ที่ 25 percentile

4.3 ผลสอบเทียบเพื่อหาค่าคงที่และรูปสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์หาความต้องการธาตุอาหารของอ้อยผลผลิตสูง และผลการหาความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ “วิธีการดำเนินงาน” การสอบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (program calibration) ต้องใช้ค่าที่วัดได้จริงของความเข้มข้นธาตุอาหารในใบอ้อย และค่าวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารในดินที่ใช้ปลูกอ้อยเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือน จากตำรับทดลองที่ 5 6 และ 7 ของทั้ง 3 สถานที่ทดลอง แต่เมื่อพิจารณาให้ถี่ถ้วนแล้ว พบว่ามีข้อมูลเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ในการสอบเทียบได้ นั่นคือได้เฉพาะค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 12 เดือนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะค่าสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นของค่าปริมาณธาตุอาหารที่โครงการได้จัดเก็บจากตัวอย่างดินในแปลงทดสอบตั้งแต่เริ่มต้นในปีแรกของโครงการเป็นการเก็บแบบสุ่มทั่วแปลง (composite sampling) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของดินในแต่ละสถานที่ทดลองเท่านั้น ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินดังกล่าวไม่ได้เก็บในระดับหน่วยทดลอง ทำให้การใช้ค่าสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นดังกล่าวเพื่อการสอบเทียบมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ที่สูงมาก และไม่สามารถเลียนสภาพที่เกิดขึ้นจริงในแปลงทดลองได้ ดังนั้นการสอบเทียบจึงเลือกใช้เฉพาะค่าความเข้มข้นธาตุอาหารในอ้อยที่อายุ 8 และ 12 เดือนเท่านั้น

ส่วนการตรวจหาความน่าเชื่อถือได้ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ต้องใช้ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ้อยและดินเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน เมื่อตรวจสอบข้อมูลจากตารางที่ 4.7-4.9 (ความเข้มข้นธาตุอาหารในใบอ้อย) และ 4.13-4.15 (ความเข้มข้นธาตุอาหารในดิน) พบว่ามีบางหน่วยทดลองที่มีปัญหา กล่าวคือบางหน่วยทดลองของสภาพเงื่อนไขเริ่มต้นมีค่าความเข้มข้นธาตุอาหารในดินที่สูงกว่าเมื่ออ้อยมีอายุ 8 เดือน ซึ่งสภาพนี้จะไม่เกิดขึ้นได้ในสภาพจริง ที่เกิดขึ้นได้เป็นเพราะขณะที่จัดเก็บตัวอย่างดินในแต่ละหน่วยทดลองที่เวลาเริ่มต้น และที่เวลา 8 เดือน อาจเก็บตัวอย่างดินจากจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ห่างกันมากเกินไป จึงอาจทำให้เมื่อวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินที่ 8 เดือนมีค่าสูงกว่าสภาพเริ่มต้นได้ ดังนั้นในการตรวจสอบหาความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเลือกใช้เฉพาะค่าวิเคราะห์ดินปลูกอ้อยที่อายุ 8 เดือนจากหน่วยทดลองที่มีค่าต่ำกว่าสภาพเริ่มต้นเท่านั้น ข้อมูลจากหน่วยทดลองที่เลือกใช้จะนำเสนอในหัวข้อการตรวจสอบความน่าเชื่อถือสำหรับแต่ละธาตุอาหารต่อไป

4.3.1 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับไนโตรเจน

4.3.1.1 สมการสมดุลปริมาณไนโตรเจนในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dN}{dt} = \frac{du_N}{dt} + \frac{dc_N}{dt} + \frac{dS_N}{dt} + \frac{dl_N}{dt} + \frac{df_N}{dt} \quad \text{.....(N-1)}$$

โดยที่ $\frac{dN}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_N}{dt}$ คืออัตราการดูดกินไนโตรเจนของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการไนโตรเจนของอ้อย) $\frac{dc_N}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_N}{dt}$ คืออัตราการดูดซับไนโตรเจนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_N}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_N}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ย คำตอบที่ต้องการของสมการนี้คือพจน์ $\frac{df_N}{dt}$

4.3.1.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน $\frac{dN}{dt}$

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของไนโตรเจนดังสมการ

$$\frac{dN}{dt} = \frac{(N^{t+1} - N^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(N-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0475$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คือปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา $t + 1$ หาได้จาก

$$OM^{t+1} = OM^t \exp\left(-\left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} + k \cdot d\right) \cdot \Delta t\right) \quad \text{.....(N-3)}$$

เมื่อ OM^t คือปริมาณอินทรีย์วัตถุคงเหลือที่เวลา t ค่าคงที่มีค่าเป็น $V = 1.0 \times 10^{-7}$, $K = 1.0$, $k = 4.3 \times 10^{-3}$ และ $d = 2.5 \times 10^{-5}$ ส่วน Δt คือ เวลาที่ $t + 1$ ลบด้วยเวลา t (การสอบเทียบใช้ค่า $\Delta t = 1$ วินาที)

4.3.1.3 อัตราความต้องการไนโตรเจน, $\frac{du_N}{dt}$ พจน์อัตราความต้องการไนโตรเจน $\frac{du_N}{dt}$ ใช้สมการระบุ เขียนได้เป็น

$$N_{total} = \frac{V_{OMN} \times TonR}{K_{MN} + TonR} \quad \text{.....(N-4)}$$

ใช้ค่า $V_{OMN} = 66.8640$ และ $K_{MN} = 33.6675$ ส่วน $TonR$ คือค่าผลผลิตที่ต้องการในหน่วยตันลำอ้อยต่อไร่ (สำหรับการสอบเทียบจะใช้ค่าผลผลิตที่เกิดจากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง)

พจน์ N_{total} คือความต้องการไนโตรเจนตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยว การคำนวณหาความต้องการไนโตรเจนที่เวลาใดๆ t จำเป็นต้องใช้สมการอธิบายความต้องการไนโตรเจนที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ($\frac{du_N}{dt}$) กำหนดความต้องการไนโตรเจนที่เวลา t ใดๆ คือผลคูณ N_{total} และ shape factor สามารถเขียนสมการได้ในรูป

$$\frac{du_N}{dt} = N_{total} \cdot \left(\alpha - \frac{1}{\beta + \gamma \exp(\delta(1-x))}\right) \quad \text{.....(N-5)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ shape factor ใช้ค่าคงที่ $\alpha = 1.0000$, $\beta = 0.9980$, $\gamma = 4000.00$ และ $\delta = -11.5000$ ตามลำดับ และ $x = t/t_{max}$ เมื่อ t คือเวลาใดๆหลังปลูก และ t_{max} คือเวลาเมื่อเก็บเกี่ยว พจน์ $\frac{du_N}{dt}$ คือความต้องการไนโตรเจนทั้งหมดของอ้อยที่เวลา t พจน์นี้เป็นความต้องการทั้งหมดที่จะใช้สร้างชีวมวลของอ้อย การคำนวณในภายหลังต้องการเฉพาะปริมาณไนโตรเจนเพื่อสร้างใบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นถ้าทราบสัดส่วนการแจกกระจายของไนโตรเจนไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของเวลา $pN(t)$ ก็จะสามารถหาความต้องการไนโตรเจนเพื่อใช้สร้างเฉพาะใบที่เวลา t ได้ $N(t)$ ได้ พจน์นี้มีค่าเป็น

$$N(t) = \frac{du_N}{dt} \cdot pN(t) \quad \text{.....(N-6)}$$

พจน์ $pN(t)$ การแจกกระจายปริมาณไนโตรเจนไปยังใบใช้สมการพหุนามกำลังสี่ซึ่งได้เป็น

$$pN(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 \quad \text{.....(N-7)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 2.9664104 \times 10^{-1}$, $a_1 = -6.61292244 \times 10^{-4}$, $a_2 = 6.41815568 \times 10^{-6}$, $a_3 = -2.5537117 \times 10^{-8}$ และ $a_4 = 3.00255 \times 10^{-11}$

4.3.1.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_N}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารไนโตรเจนคือ การเปลี่ยนรูปอยู่ในฟอร์มที่ไนโตรเจนนั้นเป็นประโยชน์ต่ออ้อยทันทีและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที กำหนดให้ขึ้นกับความต้องการไนโตรเจนเพื่อการสร้างมวลชีวภาพหรือ $N_{biomass}(t)$ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$N_{biomass}(t) = \frac{du_N}{dt} \quad \text{.....(N-8)}$$

พจน์ $\frac{dc_N}{dt}$ เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_N}{dt} = \left(\vartheta_{Nd} + \frac{V_{Nd} \cdot N_{biomass}(t)}{K_{Nd} + N_{biomass}(t)} \right) \quad \text{.....(N-9)}$$

เมื่อ ϑ_{Nd} , V_{Nd} และ K_{Nd} คือค่าคงที่ของสมการ ในการสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $\vartheta_{Nd} = 6.833 \times 10^{-4}$, $V_{Nd} = 8.4840$ และ $K_{Nd} = 94.0149$

4.3.1.5 อัตราการดูดซับไนโตรเจนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_N}{dt}$

การดูดซับไนโตรเจนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_N}{dt} = S_N^{t+1} - S_N^t \quad \text{.....(N-10)}$$

เมื่อ

$$S_N^{t+1} = N^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(N-11)$$

พจน์ S_N^{t+1} , S_N^t คืออัตราการดูดซับไนโตรเจนพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_N^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับไนโตรเจนด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ N^t คือปริมาณไนโตรเจนที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 4.0040$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.1.6 อัตราการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_N}{dt}$ การชะ

ละลายของไนโตรเจนเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของไนโตรเจนเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_N}{dt} = N^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(N-12)$$

อัตราการชะละลายของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 7.6048$ และ $K = 20000.00$

4.2.1.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการที่ใช้สำหรับไนโตรเจน ความคลาด

เคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานที่ (ตารางที่ 4.16) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับไนโตรเจนมีค่าระหว่าง 0.70-1.87 สถานที่ที่กำแพงแสนให้ความผิดพลาดน้อยที่สุด ในขณะที่สถานที่ดอนแสลบและตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนพอๆกันและสูงกว่าที่กำแพงแสน

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณไนโตรเจนที่ใบ และปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนหลังเริ่มนับอายุอ้อยต่อที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ใบและดินมีค่าเป็น 0.0265 และ 0.0081 ตามลำดับ ค่าความน่าเชื่อถือจึงมีค่าเป็น 0.9735 และ 0.9919 ตามลำดับ จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของไนโตรเจนมีความน่าเชื่อถือที่สูงและสามารถนำไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.17 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับไนโตรเจน ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-N/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-N/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลไนโตรเจนในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.001179	0.000034	0.000867	0.000015	0.7963
	6	0.001351	0.000039	0.001038	0.000019	0.7020
	7	0.001281	0.000037	0.000847	0.000018	0.8131
ตลาดเขต	5	0.000695	0.000042	0.000893	0.000013	1.1682
	6	0.000615	0.000037	0.000792	0.000010	1.5074
	7	0.000668	0.000040	0.000940	0.000019	0.6836
ดอนแสลบ	5	0.001838	0.000038	0.000792	0.000011	1.8796
	6	0.001770	0.000036	0.000695	0.000012	1.8454
	7	0.001694	0.000035	0.000713	0.000011	1.8002
-----มวลไนโตรเจนในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.000242	-	0.000249	-	0.0051
ตลาดเขต	5	0.000292	-	0.000288	-	0.0119
ดอนแสลบ	7	0.000293	-	0.000276	-	0.0625
-----มวลอินทรีย์วัตถุในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	9747	-	9744	-	0.0004
ตลาดเขต	5	11181	-	11424	-	0.0212
ดอนแสลบ	7	8488	-	8467	-	0.0026

4.3.2 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับฟอสฟอรัส

4.3.2.1 สมการสมดุลปริมาณฟอสฟอรัสในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dP}{dt} = \frac{du_P}{dt} + \frac{dc_P}{dt} + \frac{ds_P}{dt} + \frac{dl_P}{dt} + \frac{df_P}{dt} \quad \text{.....(P-1)}$$

โดยที่ $\frac{dP}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_P}{dt}$ คืออัตราการดูดกินฟอสฟอรัสของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการฟอสฟอรัสของอ้อย) $\frac{dc_P}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{ds_P}{dt}$ คืออัตราการดูดซับฟอสฟอรัสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_P}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียฟอสฟอรัสจากดินโดยกระบวนการชะละลาย และ $\frac{df_P}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากปุ๋ยและเป็นคำตอบที่ต้องการของสมการ [P-1]

4.3.2.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส, $\frac{dP}{dt}$

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของฟอสฟอรัสตั้งสมการ

$$\frac{dP}{dt} = \frac{(P^{t+1} - P^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \dots\dots(P-2)$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของฟอสฟอรัสในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0200$ พจน์การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณแบบเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.2.3 อัตราความต้องการฟอสฟอรัส, $\frac{dup}{dt}$ พจน์อัตราความต้องการฟอสฟอรัสใช้

เขียนได้เป็น

$$P_{total} = \frac{V_{OMP} \times TonR}{K_{MP} + TonR} \quad \dots\dots(P-3)$$

ใช้ค่า $V_{OMP} = 68.2639$ และ $K_{MN} = 63.9678$ ส่วน $TonR$ คือค่าผลผลิตที่ต้องการในหน่วยตันลำอ้อยต่อไร่ (สำหรับการสอบเทียบจะใช้ค่าผลผลิตที่เกิดจากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง)

พจน์ P_{total} คือความต้องการฟอสฟอรัสตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยว การคำนวณหาความต้องการฟอสฟอรัสที่เวลา t ใดๆ จำเป็นต้องใช้สมการอธิบายความต้องการฟอสฟอรัสที่เป็นฟังก์ชันของเวลา จึงกำหนดให้ความต้องการฟอสฟอรัสที่เวลา t ใดๆ คือผลคูณ P_{total} กับ shape factor ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ในรูป

$$\frac{dup}{dt} = P_{total} \left(\alpha - \frac{1}{\beta + \gamma \exp(\delta(1-x))} \right) \quad \dots\dots(P-4)$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่เป็น $\alpha = 1.00$, $\beta = 0.998$, $\gamma = 110.00$ และ $\delta = -7.50$ ตามลำดับ และ $x = t/t_{max}$ เมื่อ t คือเวลาใดๆหลังปลูก และ t_{max} คือเวลาเมื่อเก็บเกี่ยว พจน์ $\frac{dup}{dt}$ คือความต้องการฟอสฟอรัสทั้งหมดของอ้อยที่เวลา t พจน์นี้เป็นความต้องการทั้งหมดที่จะใช้สร้างชีวมวลของอ้อย การคำนวณในภายหลังต้องการเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสเพื่อใช้สร้างใบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นถ้าทราบสัดส่วนการแจกกระจายของฟอสฟอรัสไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของเวลา $pP(t)$ ก็จะสามารถหาความต้องการฟอสฟอรัสเพื่อใช้สร้างเฉพาะใบที่เวลา t ได้ $P(t)$ ได้และเขียนสมการได้เป็น

$$P(t) = \frac{dup}{dt} \cdot pP(t) \quad \dots\dots(P-5)$$

พจน์ $pP(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายฟอสฟอรัสไปยังใบที่เวลา t ใดๆ เวลา t มีหน่วยเป็นวันหลังปลูก ในการแจกกระจายปริมาณฟอสฟอรัสไปยังใบใช้สมการพหุนามกำลังสี่เขียนได้เป็น

$$pP(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 \quad \dots\dots(P-6)$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 4.5973 \times 10^{-1}$, $a_1 = 4.3606 \times 10^{-3}$, $a_2 = -8.4504 \times 10^{-5}$, $a_3 = 3.6565 \times 10^{-7}$ และ $a_4 = -4.5373 \times 10^{-10}$

4.3.2.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dC_p}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารฟอสฟอรัสเกิดจากกระบวนการตรึงฟอสฟอรัสทั้งหมดให้อยู่ในรูปที่เป็นและไม่เป็นประโยชน์ต่ออ้อย เขียนสมการได้เป็น

$$P_{avai}^t = \left(1 - \frac{dC_p}{dt}\right) \cdot P^t \quad \dots\dots\dots(P-7)$$

พจน์ P_{avai}^t จึงหมายถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และถูกนำไปใช้ได้โดยอ้อยที่เวลา t ใดๆ พจน์ P^t หมายถึงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ซึ่งสามารถหาได้จากปริมาณฟอสฟอรัสเวลาก่อนหน้า P^{t-1} เขียนสมการได้เป็น

$$P^t = \left(\frac{V_{cp} \cdot P^{t-1}}{K_{cp} + P^{t-1}} + k \cdot P^{t-1}\right) \quad \dots\dots\dots(P-8)$$

ในการ calibration ใช้ค่า $V_{cp} = 3.5652 \times 10^{-4}$, $K_{cp} = 850.01$ และ $k = 7.1743 \times 10^{-5}$ ส่วนพจน์ $\frac{dC_p}{dt}$ เป็นสัดส่วนการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ กำหนดให้เป็นฟังก์ชันของค่าความเป็นกรดค่าของดิน เช่น

$$\frac{dC_p}{dt} = g(soilpH) \quad \dots\dots\dots(P-9)$$

การสอบเทียบครั้งนี้ พจน์ $g(soilpH)$ ใช้การอ่านค่าจากตารางการตรึงฟอสฟอรัสที่ระดับความเป็นกรดต่างของดินต่างๆ กัน

4.3.2.5 อัตราการดูดซับฟอสฟอรัสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_p}{dt}$

การดูดซับฟอสฟอรัสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_p}{dt} = S_p^{t+1} - S_p^t \quad \dots\dots\dots(P-10)$$

เมื่อ

$$S_p^{t+1} = P^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t}\right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots(P-11)$$

พจน์ S_p^{t+1} , S_p^t คืออัตราการดูดซับฟอสฟอรัสพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_p^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ P^t คือปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.4004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.2.6 อัตราการสูญเสียฟอสฟอรัสไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dl_p}{dt}$ การชะ

ละลายของฟอสฟอรัสเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของฟอสฟอรัสเลขตราอ้อยได้เป็น

$$\frac{dl_p}{dt} = P^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (P-12)$$

อัตราการชะละลายของฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 13.4404$ และ $K = 200000.00$

4.3.2.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับฟอสฟอรัส ความคลาดเคลื่อน

สัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานที่ (ตารางที่ 4.17) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ε) สำหรับฟอสฟอรัสมีค่าระหว่าง 0.0133-0.2313 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสในใบทั้งสามสถานที่ให้ค่าพอๆ กัน สถานที่กำแพงแสนและสถานที่ดอนแสลบให้ความผิดพลาดสัมพัทธ์ในดินพอๆ กัน

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เมื่ค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่าในขั้นตอน calibration เล็กน้อย มีค่าระหว่าง 0.1891-0.7012 และมีค่าเฉลี่ยความน่าเชื่อถือได้เป็น 0.6358 ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0013-0.0131 มีค่าความน่าเชื่อถือเป็น 0.9934 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุฟอสฟอรัสมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.18 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับฟอสฟอรัส ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-P/rai/day		ค่าวัดจริง, kg-P/rai/day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลฟอสฟอรัสในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000617	-	0.000691	-	0.1076
	6	0.000727	-	0.000716	-	0.0166
	7	0.000682	-	0.000579	-	0.1774
ดอนแสลบ	5	0.000526	-	0.000661	-	0.2040
	6	0.000454	-	0.000493	-	0.0799
	7	0.000502	-	0.000472	-	0.0640
ตลาดเขต	5	0.000850	-	0.000705	-	0.2067
	6	0.000812	-	0.000659	-	0.2313
	7	0.000770	-	0.000780	-	0.0133

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-P/rai/day		ค่าวัดจริง, kg-P/rai/day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลฟอสฟอรัสในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	6	0.000217	-	0.000128	-	0.7012
ดอนแสลบ	5	0.000277	-	0.000233	-	0.1891
ตลาดเขต	5	0.000254	-	0.000211	-	0.2023
-----มวลฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	6	65.9	-	66.0	-	0.0013
ดอนแสลบ	5	44.7	-	45.0	-	0.0053
ตลาดเขต	5	106.2	-	104.8	-	0.0131

4.3.3 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโพแทสเซียม

4.3.3.1 สมการสมดุลปริมาณโพแทสเซียมในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dK}{dt} = \frac{du_K}{dt} + \frac{dc_K}{dt} + \frac{ds_K}{dt} + \frac{dl_K}{dt} + \frac{df_K}{dt} \quad \text{.....(K-1)}$$

โดยที่ $\frac{dK}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_K}{dt}$ คืออัตราการดูดกินโพแทสเซียมของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการโพแทสเซียมของอ้อย) $\frac{dc_K}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียมในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{ds_K}{dt}$ คืออัตราการดูดซับโพแทสเซียมและที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_K}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียโพแทสเซียมจากดินโดยกระบวนการชะละลาย และพจน์ $\frac{df_K}{dt}$ จึงมีค่าเท่ากับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากปุ๋ย และคือคำตอบที่ต้องการของสมการ [K-1]

4.3.3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม, $\frac{dK}{dt}$

การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของโพแทสเซียมดังสมการ

$$\frac{dK}{dt} = \frac{(K^{t+1} - K^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(K-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของโพแทสเซียมในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0425$ พจน์การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณแบบเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.3.3 อัตราความต้องการโพแทสเซียม, $\frac{du_K}{dt}$ พจน์อัตราความต้องการโพแทสเซียมใช้สมการระบุ เขียนได้เป็น

$$K_{total} = \frac{V_{OMK} \times TonR}{K_{MK} + TonR} \quad \text{.....(K-3)}$$

ใช้ค่า $V_{OMK} = 80.0593$ และ $K_{MN} = 40.7709$ ส่วน $TonR$ คือค่าผลผลิตที่ต้องการในหน่วยตันลำอ้อยต่อไร่ (สำหรับการสอบเทียบจะใช้ค่าผลผลิตที่เกิดจากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง)

พจน์ K_{total} คือความต้องการโพแทสเซียมตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยว การคำนวณหาความต้องการโพแทสเซียมที่เวลา t ใดๆ จำเป็นต้องใช้สมการอธิบายความต้องการโพแทสเซียมที่เป็นฟังก์ชันของเวลา จึงกำหนดความต้องการโพแทสเซียมที่เวลา t ใดๆ คือผลคูณ K_{total} และ shape factor สามารถเขียนสมการได้ในรูป

$$\frac{du_K}{dt} = K_{total} \left(\alpha - \frac{1}{\beta + \gamma \exp(\delta(1-x))} \right) \quad \text{.....(K-4)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่เป็น $\alpha = 1.00$, $\beta = 0.95$, $\gamma = 650.00$ และ $\delta = -9.15$ ตามลำดับ และ $x = t/t_{max}$ เมื่อ t คือเวลาใดๆหลังปลูก และ t_{max} คือเวลาเมื่อเก็บเกี่ยว พจน์ $(K_{total} \cdot \frac{du_K}{dt})$ คือความต้องการโพแทสเซียมทั้งหมดของอ้อยที่เวลา t พจน์นี้เป็นความต้องการทั้งหมดที่จะใช้สร้างชีวมวลของอ้อย การคำนวณในภายหลังต้องการเฉพาะปริมาณโพแทสเซียมเพื่อสร้างใบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นถ้าทราบสัดส่วนการแจกกระจายของโพแทสเซียมไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของเวลา $pK(t)$ ก็จะสามารถหาความต้องการโพแทสเซียมเพื่อใช้สร้างเฉพาะใบที่เวลา t ได้ $K(t)$ ได้ และเขียนสมการได้เป็น

$$K(t) = \frac{du_K}{dt} \cdot pK(t) \quad \text{.....(K-5)}$$

พจน์ $pK(t)$ การแจกกระจายปริมาณโพแทสเซียมไปยังใบใช้สมการพหุนามกำลังสองเขียนได้เป็น

$$pK(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(K-6)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.662250879$, $a_1 = -1.63368721 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 2.58259289 \times 10^{-6}$

4.3.3.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียมในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_K}{dt}$ การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารโพแทสเซียมมีสองกระบวนการที่เกี่ยวข้อง คือกระบวนการตรึงโพแทสเซียมให้อยู่ในรูปที่เป็นและไม่เป็นประโยชน์ต่ออ้อย ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ทันทีที่เวลา t ใดๆ ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้ K_{ready}^t เขียนสมการได้เป็น

$$K_{ready}^t = \left(1 - \frac{dc_K}{dt} \right) \cdot K^t \quad \text{.....(K-7)}$$

และให้พจน์ $\frac{dc_K}{dt}$ คือสัดส่วนการตรึงโพแทสเซียม กำหนดให้มีความน้อยขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน (clay) และปริมาณน้ำฝน ($Rain^t$) พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_K}{dt} = \left(\frac{V_{cl} \cdot clay}{K_{cl} + clay} \right) \left(\frac{V_{rain} \cdot Rain^t}{K_{rain} + Rain^t} \right) \quad \text{.....(K-8)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ $V_{cl}=1.02$, $K_{cl}=100.508$, $V_{rain}=2.20$ และ $K_{rain}=0.20$ และพจน์ K^t สามารถหาได้จากปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า K^{t-1} เขียนสมการได้เป็น

$$K^t = \left(\frac{V_{ck} \cdot K^{t-1}}{K_{ck} + K^{t-1}} + k \cdot K^{t-1} \right) \quad \text{.....(K-9)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{ck} = 7.1738 \times 10^{-4}$, $K_{ck} = 29.8804$ และ $k = 4.8898 \times 10^{-4}$

4.3.3.5 อัตราการดูดซับโพแทสเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_K}{dt}$ การดูดซับโพแทสเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_K}{dt} = S_K^{t+1} - S_K^t \quad \text{.....(K-10)}$$

เมื่อ

$$S_K^{t+1} = K^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(K-11)}$$

พจน์ S_K^{t+1} , S_K^t คืออัตราการดูดซับโพแทสเซียมพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t+1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_K^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึง การดูดซับโพแทสเซียมด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับ โดยอนุภาคดินด้วย พจน์ K^t คือปริมาณโพแทสเซียมที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.3.6 อัตราการสูญเสียโพแทสเซียมไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_K}{dt}$ การชะละลายของโพแทสเซียมเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของโพแทสเซียมเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_K}{dt} = K^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(K-12)}$$

อัตราการชะละลายของโพแทสเซียมขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.3.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับโพแทสเซียม ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.18) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับโพแทสเซียมมีค่าระหว่าง 0.2459-0.7366 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณโพแทสเซียมในใบทั้งสามสถานีให้ค่าพอๆกัน

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณโพแทสเซียมที่มีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration ค่าระหว่าง 0.0196-0.2763 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.8798 ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในชั้น

หน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0087-0.1543 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดิน เป็น 0.9454 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุโพแทสเซียมมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถ นำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.19 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโพแทสเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-K/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-K/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลแคลเซียมในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.005002	0.000370	0.003809	0.000215	0.5159
	6	0.005787	0.000428	0.003089	0.000386	0.4906
	7	0.005468	0.000404	0.002836	0.000348	0.5441
ดอนแสลบ	5	0.003500	0.000438	0.007650	0.000271	0.5804
	6	0.003072	0.000385	0.002009	0.000330	0.3476
	7	0.003358	0.000421	0.002411	0.000467	0.2459
ตลาดเขต	5	0.007281	0.000422	0.003925	0.000416	0.4342
	6	0.006993	0.000405	0.003077	0.000337	0.7366
	7	0.006671	0.000386	0.004122	0.000377	0.3218
-----มวลโพแทสเซียมในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.001447	-	0.001476	-	0.0196
ดอนแสลบ	5	0.001672	-	0.002310	-	0.2763
ตลาดเขต	5	0.001783	-	0.001675	-	0.0646
-----มวลโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	52.1	-	51.6	-	0.0087
ดอนแสลบ	5	61.0	-	61.1	-	0.0009
ตลาดเขต	5	67.2	-	58.2	-	0.1543

4.3.4 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแคลเซียม

4.3.4.1 สมการสมดุลปริมาณแคลเซียมในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dCa}{dt} = \frac{duCa}{dt} + \frac{dcCa}{dt} + \frac{dScCa}{dt} + \frac{dlCa}{dt} + \frac{dfCa}{dt} \quad \dots\dots(Ca-1)$$

โดยที่ $\frac{dCa}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{duCa}{dt}$ คืออัตราการดูดกินแคลเซียมของอ้อย จากดิน (พจน์นี้คือความต้องการแคลเซียมของอ้อย) $\frac{dcCa}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของแคลเซียมในชั้นหน้าตัดดิน

$\frac{dSc_a}{dt}$ คืออัตราการดูดซับแคลเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dI_{Ca}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียแคลเซียมจากดิน โดยกระบวนการชะละลาย และพจน์ $\frac{df_{Ca}}{dt}$ เปรียบเสมือนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยและเป็นคำตอบของสมการ [Ca-1]

4.3.4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียม, $\frac{dCa}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของแคลเซียมดังสมการ

$$\frac{dCa}{dt} = \frac{(Ca^{t+1} - Ca^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \dots\dots\dots(Ca-2)$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของแคลเซียมในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0229$ พจน์การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณแบบเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.4.3 อัตราความต้องการแคลเซียม, $\frac{du_{Ca}}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Ca ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณหาการสอบเทียบครั้งนี้ใช้ N:Ca ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการแคลเซียมต้องการหาความต้องการไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณหาจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการแคลเซียมที่ใบที่เวลาใดๆ $Ca(t)$ ได้ดังสมการ

$$Ca(t) = \frac{N(t)}{N:Ca} \quad \dots\dots\dots(Ca-3)$$

และ

$$\frac{du_{Ca}}{dt} = \frac{Ca(t)}{pCa(t)} \quad \dots\dots\dots(Ca-4)$$

พจน์ $pCa(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายแคลเซียมไปยังใบที่เวลา t และใช้สมการพหุพจน์กำลังสองเขียนได้เป็น

$$pCa(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \dots\dots\dots(Ca-5)$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.5585, a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259$

4.3.4.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของแคลเซียมในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_{Ca}}{dt}$ การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารแคลเซียม กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในดิน (Ca^t) ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Ca^t_{ready} ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้เขียนสมการได้เป็น

$$Ca^t_{ready} = \left(1 - \frac{dc_{Ca}}{dt}\right) Ca^t \quad \dots\dots\dots(Ca-6)$$

และให้พจน์ $\frac{dc_{Ca}}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคนาดินเหนียวของดิน ($clay$) และค่าความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงแคลเซียมไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_{Ca}}{dt} = \left(\frac{V_C \cdot clay}{K_C + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \dots\dots\dots(Ca-7)$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_C = 0.5, K_C = 5.0, V_R = 0.5$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Ca^t สามารถหาได้จากปริมาณแคลเซียมทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Ca^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Ca^t = \left(\frac{V_{cCa} \cdot Ca^{t-1}}{K_{cCa} + Ca^{t-1}} + k \cdot Ca^{t-1}\right) \quad \dots\dots\dots(Ca-8)$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cca} = 1.3738 \times 10^{-1}$, $K_{cca} = 288.8048$ และ $k = 1.0598 \times 10^{-1}$

4.3.4.5 อัตราการดูดซับแคลเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_{Ca}}{dt}$ การดูดซับแคลเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_K}{dt} = S_{Ca}^{t+1} - S_{Ca}^t \quad \text{.....(Ca-9)}$$

เมื่อ

$$S_{Ca}^{t+1} = Ca^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(Ca-10)}$$

พจน์ S_{Ca}^{t+1} , S_{Ca}^t คืออัตราการดูดซับแคลเซียมพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{Ca}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึง การดูดซับแคลเซียมด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากมายของการดูดซับโดย อนุภาคดินด้วย พจน์ Ca^t คือปริมาณแคลเซียมที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 300.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.4.6 อัตราการสูญเสียแคลเซียมไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_{Ca}}{dt}$ การชะละลายของแคลเซียมเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของ แคลเซียมเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_{Ca}}{dt} = Ca^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(Ca-11)}$$

อัตราการชะละลายของแคลเซียมขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.4.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับแคลเซียม ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.19) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับแคลเซียมมีค่าระหว่าง 0.6143-2.6454 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณแคลเซียมในใบมากที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณแคลเซียมที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0009-0.0625 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.7371 ส่วนปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือน มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0009-0.0625 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9754 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุแคลเซียมมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.20 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแคลเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Ca/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Ca/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลแคลเซียมในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.001651	0.000033	0.000673	0.000022	0.9768
	6	0.001451	0.000029	0.000625	0.000012	1.3293
	7	0.001483	0.000030	0.000547	0.000015	1.3569
ดอนแสลบ	5	0.002340	0.000108	0.002386	0.000015	3.1742
	6	0.000773	0.000036	0.000691	0.000010	1.3044
	7	0.000926	0.000043	0.000950	0.000019	0.6143
ตลาดเขต	5	0.002256	0.000030	0.000391	0.000020	2.6454
	6	0.002436	0.000033	0.000439	0.000022	2.5040
	7	0.001539	0.000021	0.000286	0.000016	2.3466
-----มวลแคลเซียมในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	0.000672	-	0.001013	-	0.3367
ดอนแสลบ	7	0.001313	-	0.000943	-	0.3916
ตลาดเขต	6	0.000621	-	0.000661	-	0.0605
-----มวลแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	1805.6	-	1807.1	-	0.0009
ดอนแสลบ	7	1427.7	-	1343.8	-	0.0625
ตลาดเขต	6	2038.5	-	2060.0	-	0.0104

4.3.5 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมกนีเซียม

4.3.5.1 สมการสมดุลปริมาณแมกนีเซียมในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dMg}{dt} = \frac{du_{Mg}}{dt} + \frac{dc_{Mg}}{dt} + \frac{ds_{Mg}}{dt} + \frac{dl_{Mg}}{dt} + \frac{df_{Mg}}{dt} \quad \dots\dots(Mg-1)$$

โดยที่ $\frac{dMg}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Mg}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินแมกนีเซียมของ
อ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการแมกนีเซียมของอ้อย) $\frac{dc_{Mg}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของแมกนีเซียมในชั้นหน้า
ตัดดิน $\frac{ds_{Mg}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับแมกนีเซียมที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Mg}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสีย
แมกนีเซียมจากดินโดยกระบวนการชะละลาย และพจน์ $\frac{df_{Mg}}{dt}$ เปรียบเสมือนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยและ
เป็นคำตอบของสมการ [Mg-1]

4.3.5.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียม, $\frac{dMg}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของแมกนีเซียมดังสมการ

$$\frac{dMg}{dt} = \frac{(Mg^{t+1} - Mg^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(Mg-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของแมกนีเซียมในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0229$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณแบบเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.5.3 อัตราความต้องการแมกนีเซียม, $\frac{duMg}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Mg ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:Mg ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การหาค่าความต้องการแมกนีเซียมต้องการหาความต้องการไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณหาจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการแมกนีเซียมที่ใบที่เวลาใดๆ $Mg(t)$ ได้ดังสมการ

$$Mg(t) = \frac{N(t)}{N:Mg} \quad \text{.....(Mg-3)}$$

และ

$$\frac{duMg}{dt} = \frac{Mg(t)}{pMg(t)} \quad \text{.....(Mg-4)}$$

พจน์ $pMg(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายแมกนีเซียมไปยังใบที่เวลา t ใช้สมการพหุนามกำลังสองเขียนได้เป็น

$$pMg(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(Mg-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.271$, $a_1 = 1.0676 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = -4.0897 \times 10^{-6}$

4.3.5.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของแมกนีเซียมในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dcMg}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารแมกนีเซียม กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในดิน (Mg^t) ดังนั้นปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Mg_{ready}^t ซึ่งย่อยสลายดูดกินได้เขียนสมการได้เป็น

$$Mg_{ready}^t = \left(1 - \frac{dcMg}{dt}\right) Mg^t \quad \text{.....(Mg-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dcMg}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($clay$) และค่าความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงแมกนีเซียมไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dcMg}{dt} = \left(\frac{V_c \cdot clay}{K_c + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \text{.....(Mg-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_c = 0.5$, $K_c = 5.0$, $V_R = 0.5$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Mg^t สามารถหาได้จากปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Mg^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Mg^t = \left(\frac{V_{cMg} \cdot Mg^{t-1}}{K_{cMg} + Mg^{t-1}} + k \cdot Mg^{t-1}\right) \quad \text{.....(Mg-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cMg} = 7.6738 \times 10^{-2}$, $K_{cMg} = 288.8048$ และ $k = 6.5598 \times 10^{-2}$

4.3.5.5 อัตราการดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_{Mg}}{dt}$ การดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_K}{dt} = S_{Mg}^{t+1} - S_{Mg}^t \quad \text{.....(Mg-9)}$$

เมื่อ

$$S_{Mg}^{t+1} = Mg^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(Mg-10)}$$

พจน์ S_{Mg}^{t+1} , S_{Mg}^t คืออัตราการดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{Mg}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับแมงกานีสด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากมายของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ Mg^t คือปริมาณแมงกานีสที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 300.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.5.6 อัตราการสูญเสียแมงกานีสจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_{Mg}}{dt}$ การชะละลายของแมงกานีสเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของแมงกานีสโดยเลขตรรกอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_{Mg}}{dt} = Mg^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(Mg-11)}$$

อัตราการชะละลายของแมงกานีสขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.5.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับแมงกานีส ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.20) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับแมงกานีสมีค่าระหว่าง 0.1606-2.2799 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณแมงกานีสในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณแมงกานีสที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมากมีค่าระหว่าง 0.0642-0.2020 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.8566 ส่วนปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0025-0.1317 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9209 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของการดูดซับแมงกานีสมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปแบบสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.21 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมกนีเซียม ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Mg/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Mg/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลแมกนีเซียมในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000311	0.000013	0.000294	0.000008	0.2901
	6	0.000203	0.000008	0.000205	0.000006	0.1606
	7	0.000229	0.000009	0.000188	0.000005	0.4763
ดอนแสลบ	5	0.000337	0.000026	0.000746	0.000005	2.2799
	6	0.000104	0.000008	0.000191	0.000004	0.6633
	7	0.000128	0.000010	0.000290	0.000006	0.5566
ตลาดเขต	5	0.000589	0.000019	0.000235	0.000007	1.6485
	6	0.000629	0.000020	0.000268	0.000006	1.8596
	7	0.000522	0.000016	0.000221	0.000006	1.5894
-----มวลแมกนีเซียมในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	0.000106	-	0.000100	-	0.0642
ดอนแสลบ	5	0.000116	-	0.000139	-	0.1640
ตลาดเขต	5	0.000119	-	0.000149	-	0.2020
-----มวลแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	66.2	-	66.3	-	0.0025
ดอนแสลบ	5	81.9	-	91.3	-	0.1032
ตลาดเขต	5	511.8	-	452.2	-	0.1317

4.3.6 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับกำมะถัน

4.3.6.1 สมการสมดุลปริมาณกำมะถันในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dS}{dt} = \frac{du_S}{dt} + \frac{dc_S}{dt} + \frac{dS_s}{dt} + \frac{dl_S}{dt} + \frac{df_S}{dt} \quad \text{.....(S-1)}$$

โดยที่ $\frac{dS}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_S}{dt}$ คืออัตราการดูดกิ้นกำมะถันของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการกำมะถันของอ้อย) $\frac{dc_S}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของกำมะถันในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_s}{dt}$ คืออัตราการดูดซับกำมะถันที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_S}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียกำมะถันจากดินโดยกระบวนการชะละลาย และพจน์ $\frac{df_S}{dt}$ เปรียบเสมือนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยและเป็นคำตอบของสมการ [S-1]

4.3.6.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถัน, $\frac{dS}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของกำมะถันดังสมการ

$$\frac{dS}{dt} = \frac{(S^{t+1} - S^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(S-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของกำมะถันในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0229$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณแบบเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.6.3 อัตราความต้องการกำมะถัน, $\frac{du_s}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:S ในใบที่เวลา 8 เดือนในการคำนวณหาการสอบเทียบครั้งนี้ N:S ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการกำมะถัน จำเป็นต้องหาความต้องการไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณหาจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการกำมะถันที่ใบที่เวลาใดๆ $S(t)$ ได้ดังสมการ

$$S(t) = \frac{N(t)}{N:S} \quad \text{.....(S-3)}$$

และ

$$\frac{du_s}{dt} = \frac{S(t)}{pS(t)} \quad \text{.....(S-4)}$$

พจน์ $pS(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายกำมะถันไปยังใบที่เวลา t ใช้สมการพหุนามกำลังสองเขียนได้เป็น

$$pS(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(S-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.639$, $a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259 \times 10^{-6}$

4.3.6.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของกำมะถันในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dcs}{dt}$ การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารกำมะถัน กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณกำมะถันทั้งหมดในดิน (S^t) ดังนั้นปริมาณกำมะถันที่เป็นประโยชน์ได้ทันที S_{ready}^t ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้เขียนสมการได้เป็น

$$S_{ready}^t = \left(1 - \frac{dcs}{dt}\right) S^t \quad \text{.....(S-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dcs}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($Clay$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงกำมะถันไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dcs}{dt} = \left(\frac{V_{Cl} \cdot Clay}{K_{Cl} + Clay}\right) \left(\frac{V_{pH} \cdot soilpH}{K_{pH} + soilpH}\right) \quad \text{.....(S-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_{Cl} = 0.1$, $K_{Cl} = 5.0$, $V_{pH} = 1.0$ และ $K_{pH} = 5.0$ และพจน์ S^t สามารถหาได้จากปริมาณกำมะถันทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า S^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$S^t = \left(\frac{V_{cs} \cdot S^{t-1}}{K_{cs} + S^{t-1}} + k \cdot S^{t-1}\right) \quad \text{.....(S-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cs} = 2.7173 \times 10^{-2}$, $K_{cs} = 288.8048$ และ $k = 2.8098 \times 10^{-2}$

4.3.6.5 อัตราการดูดซึบกัมมะถันที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_s}{dt}$ การดูดซึบกัมมะถันที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซึบด้วยอนุภาคนาดินเหนียว และดูดซึบด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_s}{dt} = S_s^{t+1} - S_s^t \quad \text{.....(S-9)}$$

เมื่อ

$$S_s^{t+1} = S_s^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(S-10)}$$

พจน์ S_s^{t+1} , S_s^t คืออัตราการดูดซึบกัมมะถันพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t+1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_s^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึง การดูดซึบกัมมะถันด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซึบโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ S_s^t คือปริมาณกัมมะถันที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 300.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.6.6 อัตราการสูญเสียกัมมะถันไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dL_s}{dt}$ การชะละลายของกัมมะถันเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของกัมมะถันเลขเตตราออย์ได้เป็น

$$\frac{dL_s}{dt} = S_s^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(S-11)}$$

อัตราการชะละลายของกัมมะถันขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.6.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับกัมมะถัน ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.21) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับกัมมะถันจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.2902-1.4222 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณกัมมะถันในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาเพื่อตรวจสอบว่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณกัมมะถันที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0096-0.1177 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.9307 ส่วนปริมาณกัมมะถันที่แตกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0777-0.1247 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.8981 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุกัมมะถันมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.22 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับกำมะถัน ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-S/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-S/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลกำมะถันในใบ ^{ขั้นตอน} Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000532	0.000011	0.000375	0.000018	0.3833
	6	0.000576	0.000012	0.000406	0.000018	0.3641
	7	0.000461	0.000010	0.000284	0.000015	0.4829
ดอนแสลบ	5	0.000271	0.000013	0.000451	0.000017	0.3181
	6	0.000227	0.000011	0.000335	0.000013	0.2388
	7	0.000258	0.000013	0.000445	0.000015	0.2902
ตลาดเขต	5	0.000829	0.000012	0.000240	0.000020	1.4221
	6	0.000734	0.000011	0.000226	0.000012	1.1877
	7	0.000853	0.000012	0.000260	0.000013	1.1768
-----มวลกำมะถันในใบ ^{ขั้นตอน} Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.000203	-	0.000188	-	0.0806
ดอนแสลบ	5	0.000207	-	0.000185	-	0.1177
ตลาดเขต	5	0.000247	-	0.000249	-	0.0096
-----มวลกำมะถันที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ^{ขั้นตอน} Validation -----						
กำแพงแสน	5	3.6	-	4.0	-	0.1033
ดอนแสลบ	5	0.6	-	0.6	-	0.1247
ตลาดเขต	5	2.3	-	2.1	-	0.0777

4.3.7 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับสังกะสี

4.3.7.1 สมการสมดุลปริมาณสังกะสีในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dZn}{dt} = \frac{du_{Zn}}{dt} + \frac{dc_{Zn}}{dt} + \frac{dS_{Zn}}{dt} + \frac{dl_{Zn}}{dt} + \frac{df_{Zn}}{dt} \quad \dots\dots(Zn-1)$$

โดยที่ $\frac{dZn}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Zn}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินสังกะสีของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการสังกะสีของอ้อย) $\frac{dc_{Zn}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของสังกะสีในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Zn}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับสังกะสีที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Zn}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียสังกะสีจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_{Zn}}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยสังกะสีจากปุ๋ยและเป็นคำตอบที่ต้องการของสมการ [Zn-1]

4.3.7.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสี, $\frac{dZn}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของสังกะสีดังสมการ

$$\frac{dz_n}{dt} = \frac{(Zn^{t+1} - Zn^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(Zn-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของสังกะสีในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.001$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณหาได้เช่นเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.7.3 อัตราความต้องการสังกะสี, $\frac{du_{zn}}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Zn ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:Zn ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการสังกะสี ต้องทราบความต้องการของไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการของสังกะสีที่ใบที่เวลาใดๆได้เป็น

$$Zn(t) = \frac{N(t)}{N:Zn} \quad \text{.....(Zn-3)}$$

และ

$$\frac{du_{zn}}{dt} = \frac{Zn(t)}{pZn(t)} \quad \text{.....(Zn-4)}$$

พจน์ $pZn(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายสังกะสีไปยังใบที่เวลา t ใช้สมการพหุนามกำลังสองเขียนได้เป็น

$$pZn(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(Zn-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.5750$, $a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259 \times 10^{-6}$

4.3.7.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของสังกะสีในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_{zn}}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารสังกะสี กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดิน (Zn^t) ดังนั้นปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Zn^t_{ready} ซึ่งย่อยสามารถดูดกินได้จึงเขียนสมการได้เป็น

$$Zn^t_{ready} = \left(1 - \frac{dc_{zn}}{dt}\right) Zn^t \quad \text{.....(Zn-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dc_{zn}}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคนาดินเหนียวของดิน ($clay$) และค่าความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงสังกะสีไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_{zn}}{dt} = \left(\frac{V_c \cdot clay}{K_c + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \text{.....(Zn-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_c = 0.05$, $K_c = 5.0$, $V_R = 1.0$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Zn^t สามารถหาได้จากปริมาณสังกะสีทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Zn^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Zn^t = \left(\frac{V_{cZn} \cdot Zn^{t-1}}{K_{cZn} + Zn^{t-1}} + k \cdot Zn^{t-1}\right) \quad \text{.....(Zn-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cZn} = 1.0285 \times 10^{-3}$, $K_{cZn} = 288.8048$ และ $k = 3.6598 \times 10^{-3}$

4.3.7.5 อัตราการดูดซับสังกะสีที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_{zn}}{dt}$ การดูดซับสังกะสีที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคนาดินเหนียวและดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_{zn}}{dt} = S_{zn}^{t+1} - S_{zn}^t \quad \dots\dots(Zn-9)$$

เมื่อ

$$S_{zn}^{t+1} = Z_n^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Zn-10)$$

พจน์ S_{zn}^{t+1} , S_{zn}^t คืออัตราการดูดซับสังกะสีพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{zn}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับสังกะสีด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดิน ด้วย พจน์ Z_n^t คือปริมาณสังกะสีที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.7.6 อัตราการสูญเสียสังกะสีไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_{zn}}{dt}$ การชะ

ละลายของสังกะสีเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของสังกะสีเลยเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_{zn}}{dt} = Z_n^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Zn-11)$$

อัตราการชะละลายของสังกะสีขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.7.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับสังกะสี ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.22) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับสังกะสีจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.7617-6.0187 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณสังกะสีในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณสังกะสีที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.1087-0.1911 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.6462 ส่วนปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0460-0.0480 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9540 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของการดูดซับสังกะสีมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.23 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับสังกะสี ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Zn/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Zn/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลสังกะสีในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000008310	0.000000170	0.000003827	0.000000126	0.7617
	6	0.000008670	0.000000180	0.000004162	0.000000120	0.7899
	7	0.000008940	0.000000180	0.000003679	0.000000092	1.1976
ดอนแสลบ	5	0.000005840	0.000000270	0.000012972	0.000000076	1.5498
	6	0.000004370	0.000000200	0.000004349	0.000000071	0.9139
	7	0.000005190	0.000000240	0.000005942	0.000000100	0.7625
ตลาดเขต	5	0.000014180	0.000000190	0.000002202	0.000000115	3.0423
	6	0.000014220	0.000000190	0.000001182	0.000000094	6.0187
	7	0.000014260	0.000000200	0.000003055	0.000000158	1.9653
-----มวลสังกะสีในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	0.00000195	-	0.00000176	-	0.1087
ดอนแสลบ	7	0.00000277	-	0.00000342	-	0.1911
ตลาดเขต	7	0.00000055	-	0.00000231	-	0.7615
-----มวลสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	7	0.914	-	0.874	-	0.0460
ดอนแสลบ	7	0.384	-	0.403	-	0.0480
ตลาดเขต	7	0.166	-	0.470	-	0.6470

4.3.8 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับทองแดง

4.3.8.1 สมการสมดุลปริมาณทองแดงในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dCu}{dt} = \frac{du_{Cu}}{dt} + \frac{dc_{Cu}}{dt} + \frac{dS_{Cu}}{dt} + \frac{dl_{Cu}}{dt} + \frac{df_{Cu}}{dt} \quad \text{.....(Cu-1)}$$

โดยที่ $\frac{dCu}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Cu}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินทองแดงของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการทองแดงของอ้อย) $\frac{dc_{Cu}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของทองแดงในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Cu}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับทองแดงที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Cu}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียทองแดงจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_{Cu}}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยทองแดงจากปุ๋ย ค่าตอบที่ต้องการของสมการนี้คือพจน์ $\frac{df_{Cu}}{dt}$

4.3.8.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดง, $\frac{dCu}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของทองแดงดังสมการ

$$\frac{dCu}{dt} = \frac{(Cu^{t+1} - Cu^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(Cu-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของทองแดงในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.001$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณหาได้เช่นเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.8.3 อัตราความต้องการทองแดง, $\frac{du_{Cu}}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Cu ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:Cu ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการทองแดง ต้องทราบความต้องการของไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการของทองแดงที่ใบที่เวลาใดๆได้เป็น

$$Cu(t) = \frac{N(t)}{N:Cu} \quad \text{.....(Cu-3)}$$

และ

$$\frac{du_{Cu}}{dt} = \frac{Cu(t)}{pCu(t)} \quad \text{.....(Cu-4)}$$

พจน์ $pCu(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายทองแดงไปยังใบที่เวลา t ใช้สมการพหุพจน์กำลังสองเขียนได้เป็น

$$pCu(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(Cu-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.6520$, $a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259 \times 10^{-6}$

4.3.8.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของทองแดงในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_{Cu}}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารทองแดง กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณทองแดงทั้งหมดในดิน (Cu^t) ดังนั้น ปริมาณทองแดงที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Cu^t_{ready} ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้จึงเขียนสมการได้เป็น

$$Cu^t_{ready} = \left(1 - \frac{dc_{Cu}}{dt}\right) Cu^t \quad \text{.....(Cu-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dc_{Cu}}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($clay$) และความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงทองแดงไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_{Cu}}{dt} = \left(\frac{V_C \cdot clay}{K_C + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \text{.....(Cu-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_C = 0.05$, $K_C = 5.0$, $V_R = 1.0$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Cu^t สามารถหาได้จากปริมาณทองแดงทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Cu^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Cu^t = \left(\frac{V_{CCu} \cdot Cu^{t-1}}{K_{CCu} + Cu^{t-1}} + k \cdot Cu^{t-1}\right) \quad \text{.....(Cu-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{CCu} = 2.8738 \times 10^{-3}$, $K_{CCu} = 288.8048$ และ $k = 3.5598 \times 10^{-3}$

4.3.8.5 อัตราการดูดซับทองแดงที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Cu}}{dt}$ การดูดซับทองแดงที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_{Cu}}{dt} = S_{Cu}^{t+1} - S_{Cu}^t \quad \text{.....(Cu-9)}$$

เมื่อ

$$S_{Cu}^{t+1} = Cu^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Cu-10)$$

พจน์ S_{Cu}^{t+1} , S_{Cu}^t คืออัตราการดูดซับทองแดงพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t+1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{Cu}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับทองแดงด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ Cu^t คือปริมาณทองแดงที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.8.6 อัตราการสูญเสียทองแดงไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_{Zn}}{dt}$ การชะ

ละลายของทองแดงเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของทองแดงเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_{Cu}}{dt} = Cu^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Cu-11)$$

อัตราการชะละลายของทองแดงขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.8.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับทองแดง ความคลาดเคลื่อน

สัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.23) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับทองแดงจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.7124-0.9656 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณทองแดงในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณทองแดงที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0080-0.0470 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.9725 ส่วนปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตาดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0020-0.0326 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9674 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุทองแดงมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.24 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับทองแดง ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Cu/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Cu/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลทองแดงในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000002180	-	0.000000120	-	9.0962
	6	0.000002390	-	-	-	-
	7	0.000001800	-	-	-	-
ดอนแสลบ	5	0.000001610	-	0.000009792	-	0.9178
	6	0.000001150	-	0.000008312	-	0.9308
	7	0.000001590	-	0.000024538	-	0.9676
ตลาดเขต	5	0.000003530	-	0.000006136	-	0.7124
	6	0.000003400	-	0.000005931	-	0.7134
	7	0.000003220	-	0.000014350	-	0.8878
-----มวลทองแดงในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.00000035	-	0.00000035	-	0.0080
ดอนแสลบ	5	0.00000069	-	0.00000066	-	0.0470
ตลาดเขต	6	0.00000044	-	0.00000058	-	0.2425
-----มวลทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	1.568	-	1.519	-	0.0326
ดอนแสลบ	5	0.864	-	0.847	-	0.0200
ตลาดเขต	6	0.508	-	0.370	-	0.3733

4.3.9 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมงกานีส

4.3.9.1 สมการสมดุลปริมาณแมงกานีสในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dMn}{dt} = \frac{du_{Mn}}{dt} + \frac{dc_{Mn}}{dt} + \frac{dS_{Mn}}{dt} + \frac{dl_{Mn}}{dt} + \frac{df_{Mn}}{dt} \quad \dots\dots(Mn-1)$$

โดยที่ $\frac{dMn}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมงกานีสในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Mn}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินแมงกานีสของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการแมงกานีสของอ้อย) $\frac{dc_{Mn}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของแมงกานีสในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Mn}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Mn}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียแมงกานีสจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_{Mn}}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยแมงกานีสจากปุ๋ยและเป็นคำตอบที่ต้องการของสมการ [Mn-1]

4.3.9.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมกานีส, $\frac{dMn}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมกานีสเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของแอมกานีสดังสมการ

$$\frac{dMn}{dt} = \frac{(Mn^{t+1} - Mn^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(Mn-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของแอมกานีสในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.005$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณหาได้เช่นเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.9.3 อัตราความต้องการแอมกานีส, $\frac{duMn}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Mn ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:Mn ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาความต้องการแอมกานีส ต้องทราบความต้องการของไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการของแอมกานีสที่ใบที่เวลาใดๆได้เป็น

$$Mn(t) = \frac{N(t)}{79.17} \quad \text{.....(Mn-3)}$$

และ

$$\frac{duMn}{dt} = \frac{Mn(t)}{pMn(t)} \quad \text{.....(Mn-4)}$$

พจน์ $pMn(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายแอมกานีสไปยังใบที่เวลา t ในการแจกกระจายปริมาณแอมกานีสไปยังใบ ใช้สมการพหุนามกำลังสองเขียนได้เป็น

$$pMn(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(Mn-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.655$, $a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259 \times 10^{-6}$

4.3.9.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของแอมกานีสในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dcMn}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารแอมกานีส กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณแอมกานีสทั้งหมดในดิน (Mn^t) ดังนั้นปริมาณแอมกานีสที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Mn_{ready}^t ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้จึงเขียนสมการได้เป็น

$$Mn_{ready}^t = \left(1 - \frac{dcMn}{dt}\right) Mn^t \quad \text{.....(Mn-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dcMn}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($clay$) และค่าความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงแอมกานีสไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dcMn}{dt} = \left(\frac{V_c \cdot clay}{K_c + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \text{.....(Mn-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_c = 0.2$, $K_c = 5.0$, $V_R = 1.0$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Mn^t สามารถหาได้จากปริมาณแอมกานีสทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Mn^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Mn^t = \left(\frac{V_{cMn} \cdot Mn^{t-1}}{K_{cMn} + Mn^{t-1}} + k \cdot Mn^{t-1}\right) \quad \text{.....(Mn-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cMn} = 6.4285 \times 10^{-3}$, $K_{cMn} = 288.8048$ และ $k = 1.1598 \times 10^{-2}$

4.3.9.5 อัตราการดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dS_{Mn}}{dt}$ การดูดซับแมงกานีสที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียว และดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_{Mn}}{dt} = S_{Mn}^{t+1} - S_{Mn}^t \quad \dots\dots(Mn-9)$$

เมื่อ

$$S_{Mn}^{t+1} = Mn^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Mn-10)$$

พจน์ S_{Mn}^{t+1} , S_{Mn}^t คืออัตราการดูดซับแมงกานีสพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{Mn}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับแมงกานีสด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ Mn^t คือปริมาณแมงกานีสที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.9.6 อัตราการสูญเสียแมงกานีสไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dI_{Mn}}{dt}$ การชะละลายของแมงกานีสเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของแมงกานีสเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dI_{Mn}}{dt} = Mn^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Mn-11)$$

อัตราการชะละลายของแมงกานีสขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.9.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับแมงกานีส ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานที่ (ตารางที่ 4.24) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับแมงกานีสจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.2757-4.4288 สถานที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณแมงกานีสในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณแมงกานีสที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0313-0.0419 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.9634 ส่วนปริมาณแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0023-0.0279 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9779 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของการดูดซับแมงกานีสมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.25 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับแมงกานีส ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ดำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Mn/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Mn/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลแมงกานีสในใบ ^{ชั้น} ตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.00001269	0.00000028	0.00000958	0.00000041	0.3233
	6	0.00001102	0.00000024	0.00000868	0.00000033	0.2757
	7	0.00001159	0.00000025	0.00000783	0.00000037	0.4065
ดอนแสลบ	5	0.00001642	0.00000081	0.00003054	0.00000027	1.2283
	6	0.00000526	0.00000026	0.00000853	0.00000032	0.2861
	7	0.00001910	0.00000094	0.00003569	0.00000022	1.9071
ตลาดเขต	5	0.00004462	0.00000066	0.00001015	0.00000023	2.6616
	6	0.00001911	0.00000028	0.00000195	0.00000027	4.4288
	7	0.00003290	0.00000049	0.00000766	0.00000018	2.5319
-----มวลแมงกานีสในใบ ^{ชั้น} ตอน Validation -----						
กำแพงแสน	6	0.00000276	-	0.00000235	-	0.1733
ดอนแสลบ	7	0.00000461	-	0.00000476	-	0.0313
ตลาดเขต	6	0.00000239	-	0.00000229	-	0.0419
-----มวลแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ^{ชั้น} ตอน Validation -----						
กำแพงแสน	6	26.827	-	26.766	-	0.0023
ดอนแสลบ	7	47.657	-	46.361	-	0.0279
ตลาดเขต	6	45.908	-	46.045	-	0.0030

4.3.10 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับเหล็ก

4.3.10.1 สมการสมดุลปริมาณเหล็กในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dFe}{dt} = \frac{du_{Fe}}{dt} + \frac{dc_{Fe}}{dt} + \frac{dS_{Fe}}{dt} + \frac{dl_{Fe}}{dt} + \frac{df_{Fe}}{dt} \quad \text{.....(Fe-1)}$$

โดยที่ $\frac{dFe}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินเหล็กของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการเหล็กของอ้อย) $\frac{dc_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของเหล็กในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับเหล็กที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียเหล็กจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยเหล็กจากปุ๋ยและเป็นคำตอบที่ต้องการของสมการ [Fe-1]

4.3.10.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็ก, $\frac{dFe}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของเหล็กดังสมการ

$$\frac{dFe}{dt} = \frac{(Fe^{t+1} - Fe^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(Fe-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของเหล็กในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0060$ การย่อยสลาย OM^{t+1} คำนวณหาได้เช่นเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.10.3 อัตราความต้องการเหล็ก, $\frac{du_{Fe}}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:Fe ในใบเป็นเวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:Fe ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการเหล็ก ต้องทราบความต้องการของไนโตรเจนที่ใบในเวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการของเหล็กที่ใบในเวลาใดๆได้เป็น

$$Fe(t) = \frac{N(t)}{N:Fe} \quad \text{.....(Fe-3)}$$

และ

$$\frac{du_{Fe}}{dt} = \frac{Fe(t)}{pFe(t)} \quad \text{.....(Fe-4)}$$

พจน์ $pFe(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายเหล็กไปยังใบเป็นเวลา t ใช้สมการพหุพจน์กำลังสองเขียนได้เป็น

$$pFe(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(Fe-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.650$, $a_1 = -2.5703 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 5.5259 \times 10^{-6}$

4.3.10.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของเหล็กในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dc_{Fe}}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารเหล็ก กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณเหล็กทั้งหมดในดิน (Fe^t) ดังนั้นปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ได้ทันที Fe^t_{ready} ซึ่งอ้อยสามารถดูดกินได้จึงเขียนสมการได้เป็น

$$Fe^t_{ready} = \left(1 - \frac{dc_{Fe}}{dt}\right) Fe^t \quad \text{.....(Fe-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dc_{Fe}}{dt}$ มีค่ามากน้อยขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($clay$) และค่าความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงเหล็กไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dc_{Fe}}{dt} = \left(\frac{V_c \cdot clay}{K_c + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH}\right) \quad \text{.....(Fe-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_c = 0.075$, $K_c = 5.0$, $V_R = 1.0$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Fe^t สามารถหาได้จากปริมาณเหล็กทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Fe^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Fe^t = \left(\frac{V_{cFe} \cdot Fe^{t-1}}{K_{cFe} + Fe^{t-1}} + k \cdot Fe^{t-1}\right) \quad \text{.....(Fe-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{cFe} = 1.7738 \times 10^{-3}$, $K_{cFe} = 288.8048$ และ $k = 4.1598 \times 10^{-3}$

4.3.10.5 อัตราการดูดซับเหล็กที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{ds_{Fe}}{dt}$ การดูดซับเหล็กที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียวและดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{ds_{Fe}}{dt} = S_{Fe}^{t+1} - S_{Fe}^t \quad \text{.....(Fe-9)}$$

เมื่อ

$$S_{Fe}^{t+1} = Fe^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Fe-10)$$

พจน์ S_{Fe}^{t+1} , S_{Fe}^t คืออัตราการดูดซับเหล็กพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_{Fe}^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับเหล็กด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ Fe^t คือปริมาณเหล็กที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.10.6 อัตราการสูญเสียเหล็กไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dFe}{dt}$ การชะ

ละลายของเหล็กเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของเหล็กเลยเซตแรกอ้อยได้เป็น

$$\frac{dFe}{dt} = Fe^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \dots\dots(Fe-11)$$

อัตราการชะละลายของเหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.10.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับเหล็ก ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.24) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับเหล็กจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.3056-2.2149 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณเหล็กในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณเหล็กที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0138-0.1409 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.9034 ส่วนปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0006-0.0387 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9293 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุเหล็กมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.26 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับเหล็ก ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-Fe/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-Fe/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลเหล็กในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.0000282600	-	0.0000207619	-	0.3611
	6	0.0000341400	-	0.0000261498	-	0.3056
	7	0.0000382900	-	0.0000251529	-	0.5223
ดอนแสลบ	5	0.0000524600	-	0.0000949591	-	0.4476
	6	0.0000216700	-	0.0000341919	-	0.3662
	7	0.0000194400	-	0.0000353445	-	0.4500
ตลาดเขต	5	0.0000832100	-	0.0000258823	-	2.2149
	6	0.0000841900	-	0.0000274163	-	2.0708
	7	0.0000611100	-	0.0000202092	-	2.0239
-----มวลเหล็กในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.0000072700	-	0.0000071708	-	0.0138
ดอนแสลบ	5	0.0000084500	-	0.0000080289	-	0.0524
ตลาดเขต	5	0.0000093500	-	0.0000108832	-	0.1409
-----มวลเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	21.733	-	21.719	-	0.0006
ดอนแสลบ	5	4.897	-	5.094	-	0.0387
ตลาดเขต	5	13.902	-	13.937	-	0.0025

4.3.11 ผลสอบเทียบค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโบรอน

4.3.11.1 สมการสมดุลปริมาณโบรอนในดิน เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{dB}{dt} = \frac{du_B}{dt} + \frac{dc_B}{dt} + \frac{dS_{Fe}}{dt} + \frac{dl_{Fe}}{dt} + \frac{df_{Fe}}{dt} \quad \text{.....(B-1)}$$

โดยที่ $\frac{dFe}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโบรอนในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{du_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการดูดกินโบรอนของอ้อยจากดิน (พจน์นี้คือความต้องการโบรอนของอ้อย) $\frac{dc_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการเปลี่ยนรูปของโบรอนในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการดูดซับโบรอนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dl_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการสูญเสียโบรอนจากดินโดยกระบวนการชะละลายและ $\frac{df_{Fe}}{dt}$ คืออัตราการปลดปล่อยโบรอนจากปุ๋ยและเป็นคำตอบที่ต้องการของสมการ [B-1]

4.3.11.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโบรอน, $\frac{dFe}{dt}$ การเปลี่ยนแปลงปริมาณโบรอน เกิดจาก 2 แหล่ง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และการลดลงของโบรอนดังสมการ

$$\frac{dB}{dt} = \frac{(B^{t+1} - B^t)}{\Delta t} = f(OM^{t+1} - OM^t) \quad \text{.....(B-2)}$$

เมื่อ f คือเปอร์เซ็นต์ความมากน้อยของโบรอนในอินทรีย์วัตถุ การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $f = 0.0030$ คำนวณหาได้เช่นเดียวกับของไนโตรเจนตามสมการ [N-3]

4.3.11.3 อัตราความต้องการโบรอน, $\frac{du_B}{dt}$ ใช้ค่าสัดส่วน N:B ในใบที่เวลา 8 เดือน ในการคำนวณเพื่อสอบเทียบครั้งนี้ N:B ใช้ค่าที่ได้จากหน่วยทดลองที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 4.1-4.9) การจะหาค่าความต้องการโบรอน ต้องทราบความต้องการของไนโตรเจนที่ใบที่เวลาใดๆ $N(t)$ ให้ได้เสียก่อน การคำนวณจะใช้สมการ [N-3] [N-4] และ [N-5] และสามารถคำนวณหาความต้องการของโบรอนที่ใบที่เวลาใดๆได้เป็น

$$B(t) = \frac{N(t)}{2548.8} \quad \text{.....(B-3)}$$

และ

$$\frac{du_B}{dt} = \frac{B(t)}{pB(t)} \quad \text{.....(B-4)}$$

พจน์ $pB(t)$ คือสัดส่วนการแจกกระจายโบรอนไปยังใบที่เวลา t ใช้สมการพหุพจน์กำลังสองเขียนได้เป็น

$$pB(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 \quad \text{.....(B-5)}$$

เมื่อค่าคงที่มีค่าเป็น $a_0 = 0.578$, $a_1 = -3.1601 \times 10^{-3}$ และ $a_2 = 8.6601 \times 10^{-6}$

4.3.11.4 อัตราการเปลี่ยนรูปของโบรอนในชั้นหน้าตัดดิน, $\frac{dCB}{dt}$

การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารโบรอน กำหนดให้ขึ้นกับปริมาณโบรอนทั้งหมดในดิน (B^t) ดังนั้นปริมาณโบรอนที่เป็นประโยชน์ได้ทันที B_{ready}^t ซึ่งย่อยสามารถดูดกินได้จึงเขียนสมการได้เป็น

$$B_{ready}^t = \left(1 - \frac{dCB}{dt}\right) B^t \quad \text{.....(B-6)}$$

และให้พจน์ $\frac{dCB}{dt}$ มีค่ามากขึ้นกับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน ($clay$) และความเป็นกรดต่างของดิน ($soilpH$) การเปลี่ยนรูปจึงเปรียบเสมือนการตรึงโบรอนไม่ให้เกิดประโยชน์ต่อพืช พจน์นี้เขียนสมการได้เป็น

$$\frac{dCB}{dt} = \left(\frac{V_C \cdot clay}{K_C + clay}\right) \left(\frac{V_R \cdot soilpH}{K_R + soilpH^t}\right) \quad \text{.....(B-7)}$$

การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าเป็น $V_C = 0.01$, $K_C = 5.0$, $V_R = 1.0$ และ $K_R = 5.0$ และพจน์ Fe^t สามารถหาได้จากปริมาณโบรอนทั้งหมดในดินที่เวลาก่อนหน้า Fe^{t-1} กำหนดให้มีค่าเป็น

$$B^t = \left(\frac{V_{CB} \cdot B^{t-1}}{K_{CB} + B^{t-1}} + k \cdot B^{t-1}\right) \quad \text{.....(B-8)}$$

ในการ calibration ใช้ค่าเป็น $V_{CB} = 3.5755 \times 10^{-3}$, $K_{CB} = 288.8048$ และ $k = 3.8129 \times 10^{-3}$

4.3.11.5 อัตราการดูดซับโบรอนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน $\frac{dS_B}{dt}$ การดูดซับโบรอนที่ผิวอนุภาคดินภายในชั้นหน้าตัดดิน (sorption) จะเกิดได้ 2 ส่วน ได้แก่ดูดซับด้วยอนุภาคขนาดดินเหนียวและดูดซับด้วยอินทรีย์วัตถุในดิน เขียนสมการเป็น

$$\frac{dS_B}{dt} = S_B^{t+1} - S_B^t \quad \text{.....(B-9)}$$

เมื่อ

$$S_B^{t+1} = B^t \cdot \left(\frac{V \cdot OM^t}{K + OM^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(B-10)}$$

พจน์ S_B^{t+1} , S_B^t คืออัตราการดูดซับโบรอนพจน์ที่ผิวอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุที่เวลา $t + 1$ และ t ตามลำดับ พจน์ OM^t ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลือในดินที่เวลา t ส่วนพจน์ S_B^{t+1} ที่หาได้จาก OM^t ไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนถึงการดูดซับโบรอนด้วยอนุภาคดิน แต่ค่าคงที่ทั้งสอง (V และ K) แสดงเป็นนัยถึงความมากน้อยของการดูดซับโดยอนุภาคดินด้วย พจน์ B^t คือปริมาณโบรอนที่คงเหลือในสารละลายดินที่เวลา t การสอบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าคงที่ $V = 0.8004$ และ $K = 3000.0$ และ $\Delta t = 1$ วินาที

4.3.11.6 อัตราการสูญเสียโบรอนไปจากดินโดยกระบวนการชะละลาย, $\frac{dl_B}{dt}$ การชะละลายของโบรอนเกิดจากการที่ดินได้รับน้ำเช่นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน เขียนสมการการชะละลายของโบรอนเลขเขตรากอ้อยได้เป็น

$$\frac{dl_{Fe}}{dt} = B^t \cdot \left(\frac{V \cdot Rain^t}{K + Rain^t} \right) \cdot \Delta t \quad \text{.....(B-11)}$$

อัตราการชะละลายของโบรอนขึ้นอยู่กับปริมาณ $Rain^t$ การสอบเทียบใช้ค่าคงที่ $V = 23.592$ และ $K = 20000.00$

4.3.11.7 ผลการสอบเทียบค่าคงที่และสมการสำหรับโบรอน ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างผลคำนวณและที่วัดได้จริงจากแปลงทดสอบ 3 สถานี (ตารางที่ 4.26) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ϵ) สำหรับโบรอนจะเกิดที่ใบมีค่าระหว่าง 0.8583-4.1015 สถานีที่ทดลองตลาดเขตให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของปริมาณโบรอนในใบสูงที่สุด

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ในขั้นตอน calibration นี้มาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอน validation พบว่าทั้งการใช้ปริมาณโบรอนที่ใบมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าในขั้นตอน calibration อย่างมาก มีค่าระหว่าง 0.0165-0.0700 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยที่ใบเป็น 0.9568 ส่วนปริมาณโบรอนที่แลกเปลี่ยนได้ในชั้นหน้าตัดดินที่เวลา 8 เดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก 0.0043-0.1588 ให้ความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของดินเป็น 0.9039 จึงทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณในส่วนของธาตุโบรอนมีความน่าเชื่อถือที่สูง ซึ่งสามารถนำทั้งรูปสมการและค่าคงที่ของสมการไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.27 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดจากการหาค่าคงที่และรูปสมการสำหรับโบรอน ในขั้นตอน Calibration และ Validation

สถานที่	ตำรับ ทดลอง	ค่าคำนวณ, kg-B/rai-day		ค่าวัดจริง, kg-B/rai-day		คลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ (ε)
		อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	อ้อย 8 เดือน	อ้อย 12 เดือน	
-----มวลโบรอนในใบ ขั้นตอน Calibration-----						
กำแพงแสน	5	0.000002410	0.000000040	0.000000379	0.000000025	2.9724
	6	0.000002300	0.000000040	0.000000512	0.000000025	2.0593
	7	0.000002790	0.000000050	0.000000321	0.000000033	4.1015
ดอนแสลบ	5	0.000001320	0.000000050	0.000000805	0.000000011	2.1314
	6	0.000001140	0.000000040	0.000000503	0.000000014	1.5537
	7	0.000001160	0.000000050	0.000000755	0.000000023	0.8583
ตลาดเขต	5	0.000005040	0.000000050	0.000000175	0.000000037	14.0799
	6	0.000002690	0.000000030	0.000000180	0.000000051	7.1929
	7	0.000003150	0.000000030	0.000000181	0.000000049	8.3719
-----มวลโบรอนในใบ ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.000000480	-	0.000000464	-	0.0346
ดอนแสลบ	5	0.000000520	-	0.000000512	-	0.0165
ตลาดเขต	5	0.000000820	-	0.000000766	-	0.0700
-----มวลโบรอนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ขั้นตอน Validation -----						
กำแพงแสน	5	0.648	-	0.645	-	0.0043
ดอนแสลบ	5	0.151	-	0.134	-	0.1251
ตลาดเขต	5	0.384	-	0.457	-	0.1588

4.4 ผลทดสอบการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแปลงทดสอบ

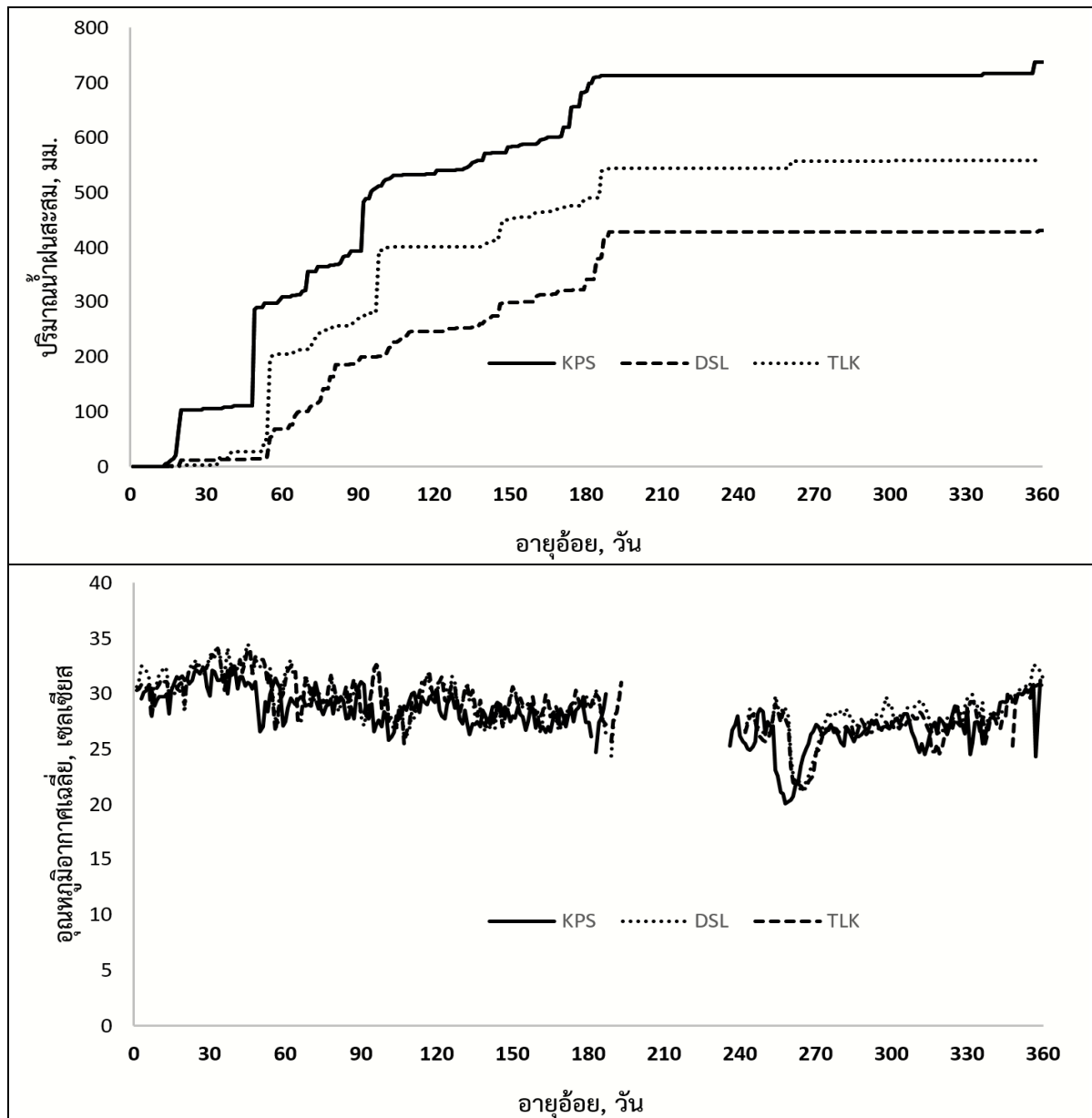
4.4.1 การเขตกรรมของแปลงทดสอบ: อ้อยปลูกใหม่ปีแรกในแต่ละแปลงทดสอบเก็บเกี่ยวไม่พร้อมกัน จึงทำให้วันเริ่มนับอายุอ้อยต่อการทดสอบปีที่ 2 มีความแตกต่างกัน การเขตกรรมในแต่ละแปลงทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.26 ปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละแปลงทดสอบมีค่าดังต่อไปนี้ ที่แปลงกำแพงแสนมีปริมาณฝน 736 มม. ที่แปลงดอนแสลบมีปริมาณน้ำฝนสะสมน้อยที่สุดเพียง 431 มม. ส่วนน้ำฝนสะสมของแปลงตลาดเขตมีปริมาณ 560 มม. (ภาพที่ 4.1 กรอบบน) ในแต่ละแปลงทดสอบสามารถให้น้ำเสริมได้ 5 7 และ 7 ครั้ง คิดเป็นปริมาณน้ำ 150 140 และ 140 มม. สำหรับสถานที่กำแพงแสน ดอนแสลบ และตลาดเขต ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้นและช่วงสะสมน้ำตาลของแปลงที่กำแพงแสนมีค่าเป็น 28.2 และ 27.6C ตามลำดับ ส่วนของแปลงทดสอบดอนแสลบมีค่าเป็น 29.2 และ 28.8C ส่วนของที่แปลงตลาดเขตมีค่าเป็น 29.0 และ 27.8C (ภาพที่ 4.1 กรอบล่าง) โครงการได้จัดเก็บองค์ประกอบการเจริญเติบโตของอ้อย

ตั้งแต่เริ่มนับอายุอ้อยจนถึงเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.29 ถึง 4.32) รวมทั้งคุณภาพผลผลิตที่เข้าหีบเมื่อเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.28 การเขตกรรมของแปลงทดสอบอัตราและรูปของปุ๋ยสำหรับอ้อยให้ผลผลิตสูง

ชนิดเขตกรรม	แปลงกำแพงแสน	แปลงตลาดเขต	แปลงดอนแสลบ
เริ่มนับอายุอ้อยต่อ	25 มี.ค. 2562	19 มี.ค. 2562	19 มี.ค. 2562
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1	23 พ.ค. 2562	15 พ.ค. 2562	15 พ.ค. 2562
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2	26 มิ.ย. 2562	21 ก.ย. 2562	21 ก.ย. 2562
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	15 ก.ค. 2562	ไม่ได้ให้	ไม่ได้ให้
ให้น้ำครั้งที่ 1	15 เม.ย. 2562	18 เม.ย. 2562	18 เม.ย. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 2	21 มิ.ย. 2562	02 มิ.ย. 2562	02 มิ.ย. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 3	18 ก.ค. 2562	07 ก.ค. 2562	07 ก.ค. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 4	17 ต.ค. 2562	06 ส.ค. 2562	06 ส.ค. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 5	ไม่ได้ให้	15 ก.ย. 2562	15 ก.ย. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 6	ไม่ได้ให้	04 พ.ย. 2562	04 พ.ย. 2562
ให้น้ำครั้งที่ 7	ไม่ได้ให้	08 ม.ค. 2562	08 ม.ค. 2562
กำจัดวัชพืช	ถาก กรัมมอกโซน 0.75 ลิตร/ไร่ พาราครอต 0.75 ลิตร/ไร่	2, 4D 1 ลิตร/ไร่ ยาฆ่าหญ้า 1 ลิตร/ไร่	2, 4D 1 ลิตร/ไร่ ยาฆ่าหญ้า 1 ลิตร/ไร่
เก็บเกี่ยว	5 ก.พ. 2563	16 ก.พ. 2563	13 ก.พ. 2563
อายุเมื่อเก็บเกี่ยว	317 วัน	334 วัน	331 วัน

หมายเหตุ: การให้น้ำที่แปลงกำแพงแสนให้แบบร่องคู ให้นานครั้งละ 48 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณน้ำที่ให้ได้ครั้งละ 30 มม. ส่วนที่แปลงตลาดเขตและดอนแสลบให้น้ำแบบหยดให้ครั้งหนึ่งนาน 48 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณน้ำที่ให้ได้ครั้งละ 20 มม.



ภาพที่ 4.1 ปริมาณน้ำฝนสะสม (กรอบบน) และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ (กรอบล่าง) ในแปลงทดสอบ 3 สถานที่ KPS-แปลงทดสอบกำแพงแสน TLK-แปลงทดสอบตลาดเขต DSL-แปลงทดสอบดอนแสลบ

4.4.2 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 4 เดือน ในช่วงการเจริญเติบโต 4 เดือนแรกตำรับทดลองสถานที่ให้จำนวนลำต่อตารางเมตรที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 5.1-6.5 ลำต่อตารางเมตร แต่ไม่พบความแตกต่างของตำรับทดลองปุ๋ยต่อจำนวนลำต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของตำรับทดลองปุ๋ยอยู่ระหว่าง 5.3-6.0 ลำต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4.29) สถานที่ทดสอบกำแพงแสนให้ความสูงของลำที่ 4 เดือนสูงที่สุดที่ 86.6 ซม. ตำรับทดลองปุ๋ยให้ความสูงที่ไม่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 65.3-69.1 ซม. สถานที่ทดสอบกำแพงแสนให้จำนวนปล้องต่อลำที่ 4 เดือนสูงที่สุดจำนวน 9.1 ปล้อง ไม่พบความแตกต่างของตำรับทดลองให้ปุ๋ยต่อความสูงที่ 4

เดือน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.1-8.5 ปล้องต่อลำ สถานที่กำแพงแสนให้ค่าความยาวต่อปล้องเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 9.8 ซม./ปล้อง ไม่พบความแตกต่างของตำรับทดลองปุ๋ย ให้ค่าเฉลี่ยเป็น 7.9-8.5 ซม./ปล้อง (ตารางที่ 4.29)

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อ 1 ของแปลงทดสอบตำรับทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 4 เดือน

	จำนวนลำ/ตร.ม.	ความสูง	จำนวนปล้อง	ความยาวปล้อง
ปัจจัยหลัก: สถานที่ทดลอง				
สถานที่กำแพงแสน	6.5 b	86.6 c	9.1 c	9.8 b
สถานที่ตลาดเขต	5.1 a	53.3 a	7.3 a	7.4 a
สถานที่ดอนแสลบ	5.5 a	62.7 b	8.4 b	7.5 a
p-value	0.038	<0.001	<0.001	<0.001
ระดับนัยสำคัญ	*	**	**	**
ปัจจัยรอง: ตำรับทดลองปุ๋ย				
ตำรับที่ 1	5.9	67.8	8.1	8.4
ตำรับที่ 2	5.8	66.8	8.5	7.9
ตำรับที่ 3	5.8	65.6	8.2	8.1
ตำรับที่ 4	5.6	69.2	8.3	8.2
ตำรับที่ 5	5.6	69.1	8.4	8.2
ตำรับที่ 6	6.0	69.0	8.2	8.4
ตำรับที่ 7	5.3	65.3	8.2	8.5
p-value	0.755	0.437	0.630	0.674
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
cv, %	19.33	31.94	23.89	32.43

4.4.3 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 6 เดือน การเจริญเติบโตของอ้อย 6 เดือนแรก พบความแตกต่างอย่างมีนัยเฉพาะตำรับทดลองสถานที่ กล่าวคือสถานที่กำแพงแสนให้องค์ประกอบผลการเจริญเติบโตที่ 6 เดือนสูงที่สุด มีค่าเป็น 5.7 จำนวนลำ/ตร.ม. ความยาวลำ 135.0 ซม. 14.5 ปล้องต่อลำ และความยาวปล้อง 9.4 ซม.ต่อปล้อง ไม่พบความแตกต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางลำจากทั้ง 3 สถานที่ทดสอบค่าเฉลี่ยเป็น 2.8-2.9 ซม. (ตารางที่ 14.30) ไม่พบความแตกต่างองค์ประกอบเหล่านี้จากตำรับทดลองให้ปุ๋ยทั้ง 7 ตำรับ มีค่าเฉลี่ยเป็น 5.4-5.8 ลำ/ตร.ม. 13.6-14.0 ปล้อง/ลำ เส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 2.8-2.9 ซม. ค่าเฉลี่ยความยาวลำเป็น 109.8-116.6 ซม. และความยาวปล้องเฉลี่ยเป็น 8.0-8.3 ซม./ปล้อง (ตารางที่ 14.30)

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อ 1 ของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 6 เดือน

	จำนวนลำ/ ตร.ม.	จำนวนปล้อง/ลำ	เส้นผ่า ศ.ก., ซม.	ความยาวลำ, ซม.	ยาวปล้อง เฉลี่ย, ซม.
ปัจจัยหลัก: สถานที่ทดลอง					
สถานที่กำแพงแสน	5.7 b	14.5 c	2.9 b	135.0 b	9.4 c
สถานที่ตลาดเขต	6.0 b	13.9 b	2.8 a	100.4 a	7.3 a
สถานที่ดอนแสลบ	5.1 a	13.3 a	2.8 a	102.9 a	7.7 b
p-value	0.010	0.006	0.184	<0.001	<0.001
ระดับนัยสำคัญ	**	**	ไม่แตกต่าง	**	**
ปัจจัยรอง: ดำรับทดลองปุ๋ย					
ดำรับที่ 1	5.7	13.6	2.8	109.8	8.1
ดำรับที่ 2	5.7	13.9	2.9	112.6	8.2
ดำรับที่ 3	5.5	14.3	2.8	113.4	8.0
ดำรับที่ 4	5.8	14.1	2.9	112.9	8.1
ดำรับที่ 5	5.7	13.8	2.9	111.4	8.1
ดำรับที่ 6	5.5	14.0	2.9	116.6	8.3
ดำรับที่ 7	5.4	13.9	2.8	112.9	8.1
p-value	0.908	0.731	0.728	0.597	0.570
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
cv, %	15.43	19.92	12.64	25.13	15.66

4.4.4 การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ อายุ 8 เดือน การเจริญเติบโตของอ้อยในช่วง 8 เดือนแรก สำหรับดำรับทดลองสถานที่ทดสอบไม่พบความแตกต่างของจำนวนลำต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.2-5.8 ลำ/ตร.ม. แต่พบความแตกต่างของจำนวนปล้องต่อลำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำ ความยาวลำ และความยาวเฉลี่ยต่อปล้อง มีค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบการเจริญเติบโตเหล่านี้เป็น 17.8-19.4 ปล้อง/ลำ 2.6-2.8 ซม. 144.3-180.5 ซม./ลำ และ 8.3-9.4 ซม./ปล้อง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.31) สำหรับดำรับทดลองปุ๋ยทั้ง 7 ดำรับทดลองพบผลการทดสอบในลักษณะเดียวกัน คือไม่มีความแตกต่างของจำนวนลำ/ตร.ม. (ค่าเฉลี่ย 5.4-5.7) พบความแตกต่างของจำนวนปล้องต่อลำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำ ความยาวลำ และความยาวเฉลี่ยต่อปล้อง ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบดังกล่าวมีค่าระหว่าง 17.2-19.3 ปล้องต่อลำ เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2.6-2.8 ซม. ความยาวลำระหว่าง 151.7-168.6 ซม. และ 8.1-9.1 ซม./ปล้อง (ตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตอ้อยต่อ 1 ของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลอง อ้อยอายุ 8 เดือน

	จำนวนลำ/ ตร.ม.	จำนวนปล้อง/ ลำ	เส้นผ่า ศ.ก., ซม.	ความยาวลำ, ซม.	ยาวปล้อง เฉลี่ย, ซม.
ปัจจัยหลัก: สถานที่ทดลอง					
สถานที่กำแพงแสน	5.8	19.4 b	2.6 b	180.5 c	9.4 b
สถานที่ตลาดเขต	5.4	17.8 a	2.8 c	144.3 a	8.3 a
สถานที่ดอนแสลบ	5.2	18.0 a	2.7 a	150.2 b	8.5 a
p-value	0.483	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	**	**	**	**
ปัจจัยรอง: ดำรับทดลองปุ๋ย					
ดำรับที่ 1	5.4	17.6 a	2.7 bc	153.5 ab	8.8 bc
ดำรับที่ 2	5.5	18.7 b	2.7 bc	168.6 d	9.1 c
ดำรับที่ 3	5.4	19.3 b	2.6 a	154.7 abc	8.1 a
ดำรับที่ 4	5.4	18.8 b	2.8 c	160.3 bc	8.6 b
ดำรับที่ 5	5.7	17.2 a	2.6 a	151.7 a	8.9 bc
ดำรับที่ 6	5.4	18.6 b	2.7 bc	158.6 abc	8.6 b
ดำรับที่ 7	6.0	18.5 b	2.7 bc	160.9 c	8.7 bc
p-value	0.990	<0.001	0.004	<0.001	<0.001
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	**	**	**	**
cv, %	17.53	16.04	3.88	17.31	16.57

4.4.5 องค์ประกอบผลผลิต ผลผลิต และคุณภาพอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตและคุณภาพของอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยว (อายุเก็บ 12 เดือน) สำหรับดำรับทดลองสถานที่พบความแตกต่างของจำนวนลำต่อไร่ค่าในช่วง 8,270-10,209 สถานที่ทดลองกำแพงแสนให้จำนวนลำ/ไร่สูงที่สุด ไม่พบความแตกต่างของจำนวนปล้องต่อลำและเส้นผ่าศูนย์กลางลำ มีจำนวนปล้องต่อลำระหว่าง 20.5-20.8 เส้นผ่าศูนย์กลางลำอ้อยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.7-2.8 ซม. ที่กำแพงแสนให้ค่าเฉลี่ยความยาวลำ (191.8 ซม.) ความยาวปล้องต่อลำ (9.6 ซม.) ค่าบrix (24.5 23.2 21.0 องศาบrixที่โคน กลาง และปลายลำตามลำดับ) และผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด (18.0 ตัน/ไร่) (ตารางที่ 4.32) สำหรับดำรับทดลองปุ๋ยทั้ง 7 ไม่พบความแตกต่างขององค์ประกอบผลผลิตอ้อยเหล่านี้เมื่อเก็บเกี่ยว มีค่าเฉลี่ยจำนวนลำต่อไร่เป็น 8607-9630 มีค่าเฉลี่ยจำนวนปล้องต่อลำเป็น 20.3-21.3 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางลำระหว่าง 2.7-3.0 ซม. ความยาวลำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 159.1-169.2 ซม. ค่าความยาวปล้องเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.3-8.4 ซม./ปล้อง ค่าบrixที่โคนลำ กลางลำ และปลายลำอยู่ระหว่าง 23.6-24.2 22.4-23.1 และ 19.9-20.9 องศาบrix มีผลผลิตเฉลี่ยระหว่าง 14.1-17.1 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.32)

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตและค่าปริkszอัยตอ 1 ของแปลงทดสอบตำรับทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลองขณะเก็บเกี่ยว

	จำนวน ลำ/ไร่	จำนวน ปล้อง/ลำ	เส้นผ่า ศ.ก., ซม.	ความยาว ลำ, ซม.	ผลผลิต, ตัน/ไร่	ปริkszที่โคน	ปริkszที่ กลางลำ	ปริkszที่ปลาย	ยาวปล้อง เฉลี่ย, ซม.
ปัจจัยหลัก: สถานที่ทดลอง									
สถานที่กำแพงแสน	10,209 b	20.7	2.7	191.8 c	18.0 b	24.5 b	23.2 b	21.0 b	9.6 c
สถานที่ตลาดเขต	8,794 a	20.5	2.8	131.9 a	14.5 a	23.6 a	22.9 b	20.5 ba	6.6 a
สถานที่ดอนแสลบ	8,270 a	20.8	2.8	167.0 b	13.3 a	23.3 a	22.3 a	20.1 a	8.1 b
p-value	0.004	0.537	0.266	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
ระดับนัยสำคัญ	**	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	**	**	**	**	**	**
ปัจจัยรอง: ตำรับทดลองปุ๋ย									
ตำรับที่ 1	8,607	20.5	2.9	164.8 ab	14.7	23.7	23.1	20.9	8.2 ab
ตำรับที่ 2	9,089	20.3	2.7	169.2 b	17.1	23.8	22.4	19.9	8.4 b
ตำรับที่ 3	9,630	21.3	2.7	162.8 ab	16.0	24.0	23.0	20.6	7.7 a
ตำรับที่ 4	9,400	20.8	2.7	162.8 ab	15.6	23.6	23.1	20.9	8.1 ab
ตำรับที่ 5	8,852	20.3	2.8	164.7 ab	14.4	24.0	22.5	20.9	8.3 ab
ตำรับที่ 6	8,911	21.3	2.7	161.2 ab	14.1	24.2	22.9	20.4	7.3 a
ตำรับที่ 7	9,148	20.2	3.0	159.1 a	15.1	23.6	22.6	20.3	8.1 ab
p-value	0.503	0.334	0.587	0.412	0.178	0.303	0.261	0.060	0.068
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
cv,%	14.39	20.22	40.83	24.12	21.17	8.19	9.91	12.95	26.86

คุณภาพของอ้อยเข้าหีบที่เข้าหีบเมื่อเก็บเกี่ยว (อายุเก็บ 12 เดือน) ดำรับทดลองสถานที่ให้ความแตกต่างของคุณภาพอ้อยเฉพาะปริมาณเส้นใยและปริมาณแป้ง มีค่าเฉลี่ยเป็น 12.6-12.9% และ 50.3-58.7% ตามลำดับที่กำแพงแสนให้ค่าบrix (23.8 องศาบrix) และค่าโพลาไรตี้ (20.1%) สูงที่สุด ในขณะที่สถานที่ตลาดเขตให้ค่าเพียวริตี้ (91.5%) และซีซีเอส (15.8%) สูงที่สุด (ตารางที่ 4.33) สำหรับดำรับทดลองปุ๋ยพบความแตกต่างเฉพาะปริมาณเส้นใย โดยการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกรให้ค่าเส้นใยสูงที่สุดที่ 14.1% องค์ประกอบคุณภาพอื่นๆไม่พบความแตกต่างของดำรับทดลองปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยบrixระหว่าง 22.6-23.3 องศาบrix โพลาไรตี้มีค่าระหว่าง 19.4-20.4% เพียวริตี้ระหว่าง 85.0-88.2% ซีซีเอสระหว่าง 14.3-15.5% และปริมาณแป้งระหว่าง 53.1-64.1% (ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบคุณภาพผลผลิตอ้อยต่อ 1 ของแปลงทดสอบดำรับทดลองจำนวนสามสถานที่ทดลองเมื่อเก็บเกี่ยว

	Brix, องศา	Polarity, %	Purity, %	Fiber, %	CCS, %	แป้ง, %
ปัจจัยหลัก: สถานที่ทดลอง						
สถานที่กำแพงแสน	23.8 c	20.1 b	84.3 b	12.9	14.7 b	58.7
สถานที่ตลาดเขต	22.2 a	20.3 b	91.5 c	12.6	15.8 c	65.1
สถานที่ดอนแสลบ	23.1 b	19.0 a	82.1 a	12.9	13.6 a	50.3
p-value	0.001	<0.001	<0.001	14.3	<0.001	0.108
ระดับนัยสำคัญ	**	**	**	ไม่แตกต่าง	**	ไม่แตกต่าง
ปัจจัยรอง: ดำรับทดลองปุ๋ย						
ดำรับที่ 1	22.6	19.5	86.1	14.1 b	14.3	64.0
ดำรับที่ 2	22.9	19.4	85.0	12.6 a	14.4	58.0
ดำรับที่ 3	23.2	20.4	88.2	13.6a	15.5	59.2
ดำรับที่ 4	23.1	19.9	86.1	12.4 a	14.9	53.1
ดำรับที่ 5	23.3	19.9	85.8	12.7 a	14.8	64.1
ดำรับที่ 6	23.0	19.5	85.0	12.9 a	14.4	53.4
ดำรับที่ 7	23.1	19.8	85.6	12.3 a	14.7	58.2
p-value	0.174	0.128	0.265	0.027	0.108	0.442
ระดับนัยสำคัญ	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	*	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
cv,%	3.48	4.94	5.57	9.83	8.41	24.86

หมายเหตุ: polarity เป็นในส่วนของน้ำคั้น (juice)

4.5 อภิปรายผลในแปลงทดสอบ

4.5.1 ผลของตำรับทดลองปุ๋ยต่อผลผลิตของอ้อยตอ ตลอดช่วงการเจริญของอ้อยตอ เช่น 4 และ 6 เดือน องค์ประกอบการเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนลำต่อตารางเมตร ความสูง จำนวนปล้องต่อลำ ความยาวปล้องเฉลี่ย เส้นผ่าศูนย์กลางลำ ในแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งที่ให้อ้อยในแต่ละตำรับทดลองที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.29-4.30) เมื่ออ้อยตอมีอายุ 8 เดือนจะพบความแตกต่างของจำนวนปล้องต่อลำ แต่ความแตกต่างมีค่าไม่มากนัก ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 17.2-19.3 ปล้องต่อลำ พบความแตกต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางลำ เช่นเดียวกันค่าตัวแปรนี้ไม่แตกต่างกันมากนักอยู่ระหว่าง 2.6-2.8 ซม. พบความแตกต่างของความยาวต่อปล้อง แต่ก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.6-9.1 ซม./ปล้อง และพบความแตกต่างของความยาวลำ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 151.7-168.6 ซม. (ตารางที่ 4.31) จากองค์ประกอบผลผลิตที่กล่าวมาในช่วง 8 เดือนแรกของอ้อยตอ ความแตกต่างเหล่านี้ที่เกิดจากตำรับทดลองปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่เด่นชัด และไม่มีศักยภาพที่จะทำให้ผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ ค่าเฉลี่ยของผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 14.7-17.1 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.32) อีกทั้งคุณภาพผลผลิตก็ไม่มี ความแตกต่างกัน เช่น ซีซีเอสมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 14.3-15.5% จึงกล่าวได้ว่าตำรับทดลองปุ๋ยทุกตำรับทดลองไม่ตอบสนองต่อการให้อ้อยในรูปและปริมาณที่แตกต่างกัน สาเหตุการไม่ตอบสนองปุ๋ยที่ให้อ้อยอภิปรายในหัวข้อถัดไป

4.5.2 ผลของตำรับทดลองสถานที่ต่อคุณภาพของอ้อยตอ ตลอดช่วงการเจริญเติบโตไม่ว่าอายุอ้อยตอจะเป็น 4 6 8 เดือน หรือเมื่ออายุเก็บเกี่ยว องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนลำ/ตร.ม. ความยาวลำ เส้นผ่าศูนย์กลางลำ ความยาวปล้อง และจำนวนปล้องต่อลำ และผลผลิตของอ้อยตอจากสถานที่ทดสอบ กำแพงแสนจะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากสถานที่ทดสอบดอนแสลบ และตลาดเขตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตัวแปรองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตที่ได้รับจากสองสถานที่ทดสอบหลังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย (ตารางที่ 4.32) ผลชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของสถานที่มีผลต่อการให้ผลผลิตอ้อยเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของตำรับทดลองปุ๋ยในแต่ละสถานที่ ก็ไม่พบว่าผลผลิตตอบสนองต่อรูปและปริมาณปุ๋ยที่ให้อ้อยในแต่ละตำรับทดลองปุ๋ย ในแต่ละสถานที่พบความแตกต่างองค์ประกอบคุณภาพของผลผลิตอ้อย (ตารางที่ 4.33) ค่าซีซีเอสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13.6-15.8% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่อ้อยมีคุณภาพความหวานที่ดี สถานที่ตลาดเขตให้ความหวานดีที่สุด รองลงมาคือสถานที่กำแพงแสน และสุดท้ายคือสถานที่ดอนแสลบ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงกล่าวได้ว่า มีปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมอย่างน้อยสองปัจจัยที่ควบคุมด้านการให้ผลผลิตของอ้อยและควบคุมคุณภาพอ้อย

4.5.3 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อผลผลิตและคุณภาพอ้อยตอ นอกเหนือจากดินแล้วโครงการได้ตรวจวัดสภาพอากาศเหนือแปลงปลูกอ้อยอีก 2 ตัวแปรคืออุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน และปริมาณฝนที่ตกสะสมตั้งแต่เริ่มนับอายุอ้อยตอจนเก็บเกี่ยว อีกทั้งบันทึกจำนวนครั้งการให้น้ำ พบว่าสถานที่กำแพงแสนมีปริมาณฝนรวมการให้น้ำจำนวน 886 มม. ในขณะที่ดอนแสลบและตลาดเขตได้รับน้ำรวม 572 และ 700 มม. ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิในช่วงการเจริญเติบโตด้านลำต้น (อ้อยอายุ 0-300 วัน) ของสถานที่ทดสอบทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ยเป็น 28.2 29.2 และ 29.0 เซลเซียสตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิอากาศในช่วงสะสมน้ำตาลของอ้อยมีค่าเฉลี่ยของทั้งสามสถานที่เป็น 27.6 28.8 และ 27.8 เซลเซียสตามลำดับ โดยทั่วไปอ้อยมีความต้องการใช้น้ำที่พอเพียงในปริมาณที่มากกว่า 1,200 มม. จึงเป็นไปได้ว่าสาเหตุที่ตำรับทดลองปุ๋ยไม่ตอบสนองต่อรูปและปริมาณปุ๋ยที่ให้อ้อยในแต่ละตำรับทดลองปุ๋ยเกิดจากการที่อ้อยได้รับน้ำตลอดช่วงการเจริญเติบโตที่น้อยเกินไป เมื่อพิจารณาถึงด้านคุณภาพ

ความหวานของผลผลิตอ้อยซึ่งมีค่าที่สูงซึ่งมักจะใช้ค่าอุณหภูมิเป็นตัวกำหนด ทั้งสามสถานที่ที่มีสิ่งที่คล้ายคลึงกันคือ ในช่วงสะสมน้ำตาลมีค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าช่วงเจริญต้นลำต้น และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงสะสมน้ำตาลต่ำกว่า 28 เซลเซียส และถ้าอุณหภูมิทั้งสองช่วงมีความแตกต่างกันมากเท่าใดความหวานของอ้อยยิ่งมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ “โปรแกรมคอมพิวเตอร์กำหนดปุ๋ยสำหรับการปลูกอ้อยที่ให้ผลผลิตสูง” จะได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ คำตอบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือความต้องการธาตุอาหารในหน่วย กก-ธาตุอาหาร/ไร่ ธาตุอาหารที่ต้องการจากปุ๋ยที่ใช้ ในหน่วย กก-ธาตุอาหาร/ไร่ และปริมาณปุ๋ยที่ผู้ใช้ระบุปุ๋ยจะผสมกันให้ได้ธาตุอาหารตามที่ต้องการได้ ปุ๋ยแต่ละตัวที่ใช้จะมีหน่วยเป็น กก-ชื่อปุ๋ย/ไร่ ซึ่งรายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

4.6.1 ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย icon เพื่อให้ผู้ใช้เรียกใช้งานตามระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และเมื่อผู้ใช้เรียกใช้งานจะปรากฏเป็นฟอร์มหรือหน้าต่างตอบโต้กับผู้ใช้เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ (ภาพที่ 4.2) ผู้ใช้กรอกข้อมูลในกล่อง “เลือกพันธุ์อ้อย” “เลือกภูมิภาคที่ปลูก” “ผลผลิตต้นต่อไร่” และ “ชื่อดิน” ของหน้าต่างตอบโต้ และกาเครื่องหมายในปุ๋ยที่ต้องการผสม

The screenshot shows a software window titled "Nutrient Requirement for High yield sugarcane". It features several input fields for user data, a list of fertilizer options with checkboxes, and buttons for calculation and optimization.

Input Fields:

- เลือกพันธุ์อ้อย: [Empty field]
- ผลผลิตต้นต่อไร่: [Empty field]
- วันเริ่มนับอายุ: 29
- เลือกภูมิภาคที่ปลูก: [Empty field]
- เดือนเริ่มนับอายุ: 04

Soil and Plant Parameters:

- เลือกดิน: [Empty field]
- ชื่อดิน: [Empty field]
- กลุ่มดินที่: [Empty field]
- pH: [Empty field]
- OM: [Empty field]
- Avail_P: [Empty field]
- Exch_K: [Empty field]
- CEC: [Empty field]
- BS: [Empty field]
- EC: [Empty field]
- Texture: [Empty field]
- Root zone: 0.35
- density, g/cm3: 1.20
- %sand: [Empty field]
- %silt: [Empty field]
- %clay: [Empty field]

Fertilizer Selection:

- เลือกปุ๋ยที่มีขายในท้องถิ่น
- ☒ 16-16-8
- ☒ 16-8-8
- ☒ 18-46-0
- ☒ Combine
- ☒ FeSO₄
- ☒ ammonium sulphate
- ☒ copper sulphate
- ☒ dolomite
- ☒ dolomite New
- ☒ double super phosphate
- ☒ magnesium chloride
- ☒ magnesium sulphate
- ☒ manganese nitrate
- ☒ potassium chloride
- ☒ potassium nitrate
- ☒ potassium sulphate
- ☒ single super phosphate
- ☒ triple super phosphate
- ☒ urea
- ☒ zinc nitrate
- ☒ zinc sulphate

Buttons:

- Read Const
- Calculation
- Optimize
- fileOut

ภาพที่ 4.2 หน้าต่างตอบโต้ของโปรแกรมกำหนดปุ๋ยเพื่อการปลูกอ้อยผลผลิตสูง

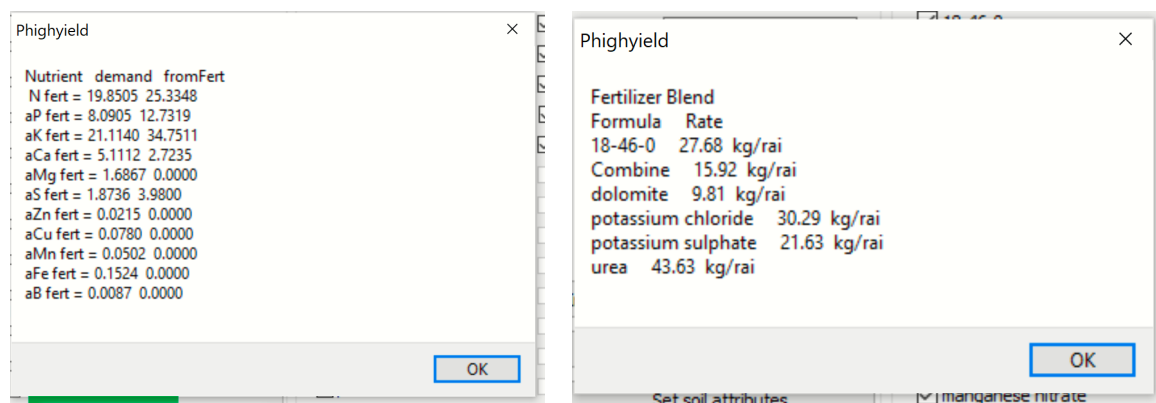
เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูล เช่นปลูกขอนแก่น 3 ปลูกภาคกลาง เลือกระดับผลผลิตเป็น 15 ตันต่อไร่ ปลูกบนดินทำ
 ม่วง การกรอกข้อมูลจะเป็นในลักษณะผู้ใช้เพียงคลิกจาก popup menu ในแต่ละกล่องข้อมูล ผู้ใช้สามารถเลือก
 ป้อนข้อมูลที่จำเป็นโดยการพิมพ์ข้อมูลเองได้ โดยกดปุ่ม “Manual Input” แล้วพิมพ์ข้อมูลที่ต้องการเองได้
 ตัวอย่างที่ป้อนข้อมูลที่จำเป็นแล้วเสร็จแสดงในภาพที่ 4.3

The screenshot shows a software window titled "Nutrient Requirement for High yield sugarcane". It contains several input sections:

- Top Section:** Fields for "เลือกพันธุ์อ้อย:" (Khon Kaen 3), "ผลผลิตต้นต่อไร่" (15.0), "วันเริ่มนับอายุ:" (29), "เลือกภูมิภาคที่ปลูก:" (Central Region), and "เดือนเริ่มนับอายุ:" (04).
- Left Section (Soil Data):** Fields for "ชื่อดิน:" (Tha Muang series), "กลุ่มดินที่" (38), "pH" (6.20), "OM" (2.20), "Avai_P" (28.75), "Exch_K" (12.02), "CEC", "BS" (81.50), "EC" (0.06), "Texture" (Sandy loam; Loamy sand), "Root zone" (0.35), "density, g/cm3" (1.20), "%sand" (80), "%silt" (10), and "%clay" (10).
- Right Section (Fertilizer Selection):** A list of fertilizers with checkboxes, including 16-16-8, 16-8-8, 18-46-0, Combine, FeSO4, ammonium sulphate, copper sulphate, dolomite, dolomite New, double super phosphate, magnesium chloride, magnesium sulphate, manganese nitrate, potassium chloride, potassium nitrate, potassium sulphate, single super phosphate, triple super phosphate, urea, zinc nitrate, and zinc sulphate.
- Bottom Section:** Buttons for "Read Const", "Calculation", "Optimize", and "fileOut". A "Manual Input" button is highlighted in the center.

ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างหน้าต่างตอบโต้เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่จำเป็นแล้วเสร็จ

เมื่อผู้ใช้งานต้องการให้โปรแกรมคำนวณค่าตอบที่ต้องการให้ ผู้ใช้เพียงกดที่ปุ่มตามลำดับได้แก่ ปุ่ม “Read
 Const” “Calculation” และ “Optimize” ตามลำดับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะแสดงผลคำนวณให้ เมื่อผู้ใช้งาน
 กดปุ่ม “Read Const” โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะอ่านค่าคงที่ของสมการที่ใช้ในโปรแกรมจากตารางต่างๆ ของ
 ฐานข้อมูลให้ และเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม “Calculation” โปรแกรมจะคำนวณความต้องการธาตุอาหารในการปลูกอ้อยให้
 ได้ผลผลิตที่ผู้ใช้กรอกข้อมูลไว้เมื่อเริ่มต้นและคำนวณความต้องการธาตุอาหารจากปุ๋ย ค่าคำนวณความต้องการธาตุ
 อาหาร และความต้องการจากปุ๋ยจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นกับสมบัติดินที่เป็นข้อมูลคุณลักษณะของดินที่ผู้ใช้กรอกเมื่อ
 เริ่มต้น และเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม “Optimize” โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณปริมาณและชนิดปุ๋ยที่ต้องนำมาผสมกัน
 เพื่อให้แก่อ้อย (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างผลคำนวณเมื่อผู้ใช้กดปุ่ม “Read Const” และ “Calculation” (ภาพซ้าย) และกดปุ่ม “Optimize” (ภาพขวา)

4.6.2 ฐานข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ฐานข้อมูลที่ใช้เรียกชื่อเป็น “TRF_HighYieldCane.s3db” เป็นฐานข้อมูลแบบ Sqlite ซึ่งเป็นฐานข้อมูลอนุญาตให้ใช้ได้อิสระ (open source database) ฐานข้อมูลประกอบด้วยตารางต่างๆใช้ ชื่อตารางและข้อมูลในตารางเหล่านั้นมีหน้าที่อย่างไร แสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ชื่อตารางและหน้าที่ของข้อมูลในตารางของฐานข้อมูล “TRF_HighYieldCane.s3db”

ชื่อตาราง	หน้าที่
Demand	จัดเก็บข้อมูลค่าคงที่อธิบายความต้องการ N P K สำหรับการผลิตอ้อยที่ระดับผลผลิตต่างๆ สำหรับอ้อยแต่ละพันธุ์
functionValues	จัดเก็บข้อมูลค่าคงที่ที่ใช้ในสมการต่างๆของโปรแกรม
totalX	จัดเก็บค่าคงที่เฉพาะการเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหาร
RatioValue	จัดเก็บค่าสัดส่วนธาตุอาหารรองและจุลธาตุต่อไนโตรเจน
n_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายไนโตรเจนไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
p_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายฟอสฟอรัสไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
k_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายโพแทสเซียมไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
ca_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายแคลเซียมไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
mg_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายแมกนีเซียมไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
s_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายกำมะถันไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
zn_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายสังกะสีไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
cu_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายทองแดงไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
mn_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายแมงกานีสไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
fe_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายเหล็กไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
b_partition	จัดเก็บค่าคงที่การแจกกระจายโบรอนไปยังใบที่เป็นฟังก์ชันของอายุอ้อย
ชื่อตาราง	หน้าที่

SoilSeries	จัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของชุดดิน
sansiltclaydb	จัดเก็บปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของดินเนื้อต่างๆ
Climate	จัดเก็บข้อมูลน้ำฝนรายวันที่เป็นตัวแทนของภาคต่างๆของไทย
percentNutrients	จัดเก็บข้อมูลสัดส่วนปริมาณธาตุอาหารต่อปริมาณทั้งหมดของปุ๋ยชนิดต่างๆ
molelonperkg	จัดเก็บปริมาณโมลแอมโมเนียมและแคปไซออนที่ได้จากปุ๋ยชนิดต่างๆที่มีมวล 1 กก.

ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลข้อมูลในตาราง Demand functionValues และ TotalX โดยสร้างเป็นเรคคอร์ดใหม่ แล้ว insert ข้อมูลเรคคอร์ดใหม่นี้ลงในตารางได้ การเพิ่มเติมเรคคอร์ดจะทำต่อเมื่อผู้ใช้มีข้อมูลของอ้อยพันธุ์ใหม่เพิ่มเติม ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลลงในตาราง percentNutrients และ molelonperkg ได้เช่นเดียวกับการเพิ่มเรคคอร์ดในตารางก่อนหน้านี้ การเพิ่มเรคคอร์ดในตารางอันหลังจะทำต่อเมื่อมีข้อมูลปุ๋ยที่มีขายในท้องตลาดเพิ่มเติม

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

Computer Source Code

งานวิจัยโครงการนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทางโครงการได้ใช้ Delphi XE เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการไหลเวียนของการคำนวณ และเพราะ source code มีความยาวมากไม่สามารถพิมพ์ออกมาได้ ทางโครงการจึงนำ source code ทั้งหมดเขียนลงในแผ่นซีดีแบบดิจิทัล source code ประกอบด้วยไฟล์ดังต่อไปนี้ highyield.dfm, highyield.pas, Phighyield.dpr, Phighyield.dproj, Phighyield.res และ Phighyield.exe

ในแผ่นซีดีนอกเหนือจาก source code แล้วทางโครงการได้บันทึกฐานข้อมูล TRF_HighyieldCane.s3db ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณไว้ด้วย

การติดตั้งโปรแกรม สร้าง folder: HyldNutrients ภายใต้ C:\ จากนั้นให้ copy ไฟล์ Phighyield.exe และฐานข้อมูล TRF_HighyieldCane.s3db ลงใน folder C:\ HyldNutrients\ แล้วสร้าง shortcut ของไฟล์ Phighyield.exe ก็สามารถใช้งานโปรแกรมได้

ผู้ใช้สามารถ download โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Phighyield.exe) และไฟล์ฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณ (TRF_HighyieldCane.s3db) ได้จากลิงค์

<https://drive.google.com/drive/folders/1HUZAM333nWNYQ6716CmXvvrOLgTL-sZ-?usp=sharing>