รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก”

โดย

ธนัญกรณ์ ใจผ่อง

ทิตินัย เทียนแย้ม

เคนตะ วาตานาเบะ

เอนก สุขเจริญ

กิตติเดช โพธิ์นิยม

ธันวาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG61T0072

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก”

โดย

ธนัญกรณ์ ใจผ่อง
ทิตินัย เทียนแย้ม
เคนตะ วาตานาเบะ
เอนก สุขเจริญ
กิตติเดช โพธิ์นิยม

ธันวาคม 2561

บทสรุปผู้บริหาร

แผนงานวิจัย “การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาดเล็ก”

ประกอบด้วย 2 โครงการย่อย

โครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

โครงการย่อยที่ 2 การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาดเล็ก

ผู้วิจัย นายธนัญกรณ์ ใจผ่อง นาทิตินัย เทียนแย้ม นายเคนตะ วาตานาเบะ นายเอนก สุขเจริญ และ นายกิตติเดช โพธิ์นิยม

แหล่งทุน ทุนวิจัยมุ่งเป้า ปีงบประมาณ 2561 อ้อยและน้ำตาล สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

งบประมาณ 900,000 บาท

ปัจจุบันเกษตรกรชาวไร่อ้อยนิยมใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยเพื่อใส่ปุ๋ยให้กับอ้อยซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกรวดเร็วและลดการใช้แรงงาน ปุ๋ยที่ใส่ลงไปนั้นจะถูกฝังกลบลงในดินลึกประมาณ 15-40 เซนติเมตร เพื่อลดการสูญเสียจากสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด การชะล้างของหน้าดิน อย่างไรก็ตามการเจริญของรากอ้อยที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของการใส่ปุ๋ยซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของอ้อยยังมีการศึกษาไม่มากนักว่าควรใส่ปุ๋ยที่ความลึกเท่าใดในแต่ละช่วงอายุของอ้อย ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการเจริญของรากที่ระดับความลึกต่างๆ ร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อให้ทราบตำแหน่งการใส่ปุ๋ยที่รากพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดและเป็นการพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าที่มีใช้ในปัจจุบัน

จากการศึกษาพบว่ารากของอ้อยที่อายุ 3 และ 6 เดือน จะมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากสูงสุดอยู่ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร จากผิวดินเหมือนกันแม้จะอยู่ในสภาพแห้งแล้ง และพบว่าในสภาพแห้งแล้งการกระจายตัวของรากมีแนวโน้มที่จะหยั่งลงลึกมากกว่าในสภาพที่มีการให้น้ำปกติ ขณะที่การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยได้ออกแบบให้ระบบรักษาระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยโดยใช้แบบล้อกันจมซึ่งใช้งานได้ดีกว่าแบบระบบสกีกันจมที่มีใช้กันทั่วไป และจากผลการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 10-30 เซนติเมตร พบว่าการใสปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ให้ผลที่ดีในเรื่องของความสามารถในการทำงาน ประสิทธิภาพการทำงาน ประหยัดเชื้อเพลิง และการักษาความชื้นของดิน ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญของรากที่พบมากที่ระดับความลึกนี้ การศึกษาในครั้งนี้นอกจากจะสามารถใส่ปุ๋ยให้กับอ้อยในตำแหน่งที่เหมาะสมและสม่ำเสมอได้แล้ว เกษตรกรยังสามารถใช้รถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเป็นต้นกำลังได้ สามารถลดต้นทุนในเรื่องของเครื่องจักรต้นกำลัง ลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและแรงงานจากการฝังกลบปุ๋ยได้

บทคัดย่อ

การใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยในอ้อยเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งปุ๋ยที่ใส่ลงไปนั้นจะถูกฝังกลบลงในดินลึกประมาณ 15-40 ซม. อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังมีการศึกษาน้อยมากว่าควรใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกเท่าใดจึงจะเหมาะสมกับตำแหน่งของรากที่จะนำธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบการเจริญของรากและตำแหน่งการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ย จากการศึกษาการเจริญของรากอ้อยที่สัมพันธ์กับความชื้นร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 ซม. และในช่วง 3 ถึง 6 เดือน มีการปรับการให้น้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ให้น้ำปกติและงดให้น้ำเพื่อเปรียบเทียบการเจริญของรากในสองสภาวะ พบว่าข้อมูลการเจริญของรากที่อายุ 3 และ 6 เดือน สูงสุดอยู่ที่ความลึก 10-20 ซม. จากผิวดิน แต่แตกต่างในกรรมวิธีที่งดให้น้ำจะมีปริมาณและน้ำหนังแห้งของรากน้อยกว่า การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยได้พัฒนาให้สามารถรักษาระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยโดยใช้ล้อกันจม พบว่ามีความสามารถในการทำงานที่ความลึก 10 20 และ 30 ซม. อยู่ที่ 2.55 2.33 และ 1.73 ไร่/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการทำงานที่ 67.58 67.00 และ 62.41 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 0.89 0.91 และ 1.74 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ จากข้อมูลการวิจัยการใสปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 ซม. มีข้อดีในเรื่องของความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงาน ประหยัดเชื้อเพลิง และสอดคล้องกับการเจริญของรากที่พบมากที่ระดับความลึกนี้

Abstract

Sugarcane growers using fertilizer machine to apply fertilizer into the soil which approximately 15-40 cm depth but no evidence for optimum depth of fertilizer placement for sugarcane production and relates to sugarcane root distribution. This research combined with 2 experiments as (1) Study on the relationship between root growth and soil moisture content with fertilizer application methods and (2) Development of fertilizer machine for small tractor. The result showed root observation at 3 MAT revealed the highest root biomass, density, and distribution were found at 10-20 cm. At 3 MAT, fertilizer was placed at different depths of 10, 20, and 30 cm, and irrigation was separated for 2 treatments as well-watered and drought conditions by withholding water for 3 months. Root observation at 6 MAT revealed 10-20 cm depth showed the highest root distribution and density in both conditions. However, total root biomass was significantly lower under the drought condition. The second experiment showed the result of the performance of the ability of work was similar between 10 and 20 cm depth by 2.55 and 2.33 Rai/hour better than at 30 cm depth was 1.73 Rai/hour. The efficiency of work at 10, 20, and 30 cm depth is 67.58, 67.0, and 62.41% respectively. Fuel consumption is highest in 30 cm depth at 1.74 Liter/Rai follow by 10 and 20 cm depth is 0.89 and 0.91 Liter/Rai, respectively. Thus, applying the fertilizer at 20 cm depth may benefit for root growth with high efficiency of work and reduce fuel consumption.

Abbreviations: MAT, month after transplanting.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม

รายงานฉบับสมบูรณ์

แผนงานวิจัย “การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก”

คณะผู้วิจัย	**สังกัด**
1. ดร.ธนัญกรณ์ ใจผ่อง (หัวหน้าแผนงานวิจัย/หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1)	ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ กองบริหารงานวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
2. นายทิตินัย เทียนแย้ม (หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2)	
3. นายเอนก สุขเจริญ (นักวิจัย)	
4. นายกิตติเดช โพธิ์นิยม (นักวิจัย)	
5. ดร. เคนตะ วาตานาเบะ (นักวิจัย)	ศูนย์นวัตกรรมและการวิจัยมิตรผล ศูนย์นวัตกรรมและการวิจัยมิตรผล อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ
6. รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ (ที่ปรึกษา)	ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ชุดโครงการวิจัยด้านอ้อยและน้ำตาล

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ชื่อแผนงานวิจัย

การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

Studies on relationship between sugarcane root growth, soil moisture content and fertilizer application methods to plant growth and development of fertilizer machine for small tractor

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

อ้อย (*saccharum offiicinarum* L.) เป็นพืชที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล และอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่องมากมาย รวมทั้งเป็นเศรษฐกิจที่สำคัญในหลายประเทศที่อยู่ในเขต tropical และ subtropical ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการผลิตอ้อยและส่งออกน้ำตาลเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยสูงถึง 105 ล้านตัน สามารถผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 11.2 ล้านตัน (USDA Foreign Agriculture Service, 2017) และเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลลำดับ 2 ของโลก ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยอยู่ประมาณ 11 ล้านไร่ แต่พบว่าส่วนใหญ่เป็นแปลงอ้อยขนาดเล็กถึงร้อยละ 86 (พื้นที่<50 ไร่) แปลงขนาดกลาง 13 เปอร์เซ็นต์ (พื้นที่ระหว่าง 50-250 ไร่) และเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่เป็นแลงขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) (Sriroth, Vanichsriratana and Sunthonvarabhas, 2016) ด้านผลผลิต พบว่าผลผลิตต่อไร่ของไทยอยู่ที่ 11.75 ตันต่อไร่ ปีการผลิต 2554-2555 ซึ่งต่ำกว่าประเทศขู่แข่ง เช่น ออสเตรเลีย และบราซิล ซึ่งมีผลผลิต 13.07 และ 12.23 ตันต่อไร่ ตามลำดับ (อดิศักดิ์, 2558) อย่างไรก็ตามการจะเพิ่มผลิตอ้อยให้สูงขึ้นนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ การจัดการดิน น้ำ ธาตุอาหาร ที่เหมาะสมจะช่วยให้อ้อยเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมามีการศึกษาและพัฒนามากในประเทศไทย ขณะที่ตรงกันข้ามกับการศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ใต้ดินนั่นก็คือรากยังพบว่ายังมีการศึกษาไม่มากนัก ทั้งที่รากมีความจำเป็นอย่างมากในการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็น 1) ดูด น้ำและแร่ธาตุที่ละลายน้ำจากดินเข้าไปในลำต้น 2) ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุรวมทั้งอาหารซึ่งพืชสะสมไว้ในรากขึ้นสู่ส่วนต่างๆของลำต้น 3) การแลกเปลี่ยนก๊าซ 4) เป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนเพื่อการเจริญพัฒนาส่วนของลำต้น ส่วนยอด และ 5) การยึดลำต้นไว้กับดิน (Smith, Inman-Bamber and Thorburn, 2005) ด้วยเหตุนี้หากเราเข้าใจการเจริญเติบโตของรากอ้อยร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นและความลึกในการใส่ปุ๋ย ก็จะทำให้การจัดการธาตุอาหารพืชและการใส่ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ในปัจจุบันการผลิตอ้อยพบว่ามีการนำเครื่องจักรกลเข้ามาใช้ในทุกขั้นตอนการผลิตมากขึ้นเพื่อลดปัญหาด้านแรงงาน เนื่องจากแรงงานมีราคาแพงและหายากและเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ส่วนมากเครื่องจักรกลที่นำมาใช้จะมีขนาดใหญ่ อุปกรณ์ต่อพ่วงจึงมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ทำให้มีราคาแพงเกษตรกรจึงไม่มีกำลังในการซื้อ และดังที่ได้กล่าวมาแล้ว 86 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เป็นแปลงอ้อยขนาดเล็ก ดังนั้นหากมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ให้มีขนาดเล็กลงและสามารถต่อพ่วงกับรถแทรค

เตอร์ที่มีขนาดเล็กได้ (ขนาดเล็กกว่า 50 แรงม้า) ก็จะทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงการใช้เครื่องจักรได้มากขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตในภาพรวม ในการศึกษาครั้งนี้ขอกล่าวถึงเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ซึ่งมีหลายบริษัทผลิตออกมาหลายรูปแบบ แต่ไม่พบว่ามีรายงานการศึกษา วิธีการฝังกลบ ผลกระทบระหว่างระยะห่างต้น ความลึกในการฝังปุ๋ย ในแต่ละช่วงอายุอ้อยและความสัมพันธ์กับการเจริญของรากอ้อย หรือให้ข้อมูลในการปฏิบัติ ด้วยเหตุนี้หากมีการพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่สามารถใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กร่วมกับวิธีการฝังที่สัมพันธ์กับการเจริญของระบบรากอ้อย ก็น่าจะเป็นผลดีในการส่งเสริมให้อ้อยมีการเจริญเติบโตที่ดี รวมทั้งเกษตรกรสามารถใช้เครื่องจักรเข้ามาลดปัญหาการใช้แรงงานและลดต้นทุนการผลิตได้

การศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย 2 การศึกษา คือ โครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และ โครงการย่อยที่ 2 การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยที่โครงการย่อยที่ 1 จะทำการศึกษาการเจริญของรากเมื่อมีการให้น้ำในรูปแบบที่แตกต่างกันร่วมกับการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน ว่ามีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยอย่างไร ซึ่งเมื่อได้ข้อมูลจากโครงการวิจัยย่อยที่ 1 แล้ว จะสามารถนำไปใช้กับการพัฒนาและออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยในโครงการย่อยที่ ๒ เพื่อให้การให้ปุ๋ยโดยใช้เครื่องจักรกลเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่ออ้อย และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในเรื่องของการใช้แรงงานที่ขาดแคลนในปัจจุบันได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงวิธีการใส่ปุ๋ยและพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการวิธีฝังกลบปุ๋ยที่สัมพันธุ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุที่ส่งเสริมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อย

1.2.3 เพื่อศึกษาออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

1.2.4 เพื่อทดสอบและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

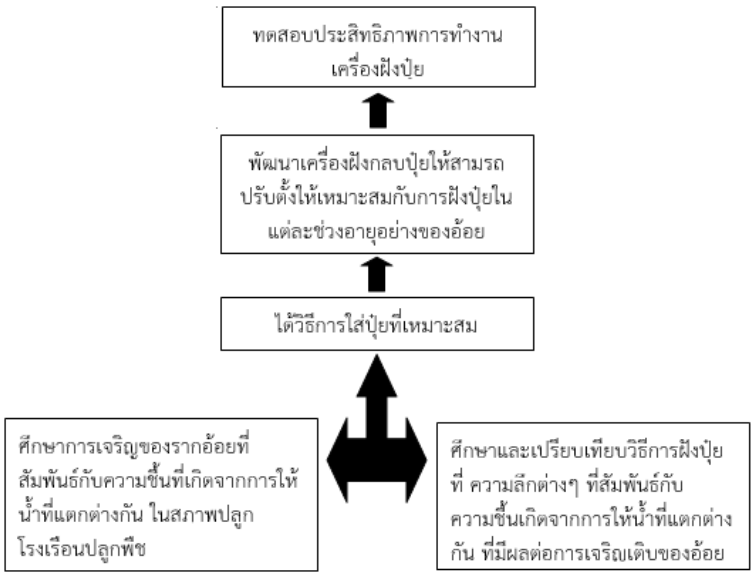
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาที่แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.3.1 การศึกษาการเจริญของรากอ้อยที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ ทำการทดลอง ณ โรงเรือนของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ของบริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด โดยใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นการทดลองในโรงเรือนปลูกพืชของบริษัท ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาความสัมพันธุ์ของการเจริญเติบโตของรากในแต่ละช่วงอายุกับการให้น้ำที่มีรอบการให้ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ร่วมกับการ

ฝังปุ๋ยที่ความลึกต่างกัน 3 รูปแบบ โดยศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยในดินที่มีความชื้นแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ย เพื่อหาความชื้นในดินและความลึกในการฝังปุ๋ยที่เหมาะสมและส่งเสริมในการเจริญเติบโตของอ้อย ทั้งในดินที่มีความชื้นมากหรือน้อย รวมทั้งการศึกษาการกระจายตัวของรากที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อการให้ปุ๋ยและน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3.2 การสร้างและพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยติดตั้งกับแทรกเตอร์ขนาดเล็ก สามารถปรับตั้งให้เหมาะสมกับการฝังปุ๋ยในแต่ละช่วงอายุอย่างมีประสิทธิภาพโดยอ้างอิงวิธีการจากข้อมูลจากการทดลองที่ 1 และเมื่อทดสอบประเมินผลการทำงานของเครื่องฝังปุ๋ยแล้ว สามารถใช้งานในการปฏิบัติงานจริงได้



รูปที่ 1 กรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของการเจริญของรากอ้อยกับความชื้นในดินด้วยการให้น้ำแบบต่างๆ ในระดับความลึกต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการน้ำที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิต

1.4.2 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลิต

1.4.3 ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยรวมถึงวารสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.4 เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และช่วยลดปัญหาแรงงานคน รวมถึงการฝังปุ๋ยในแต่ละช่วงอายุอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มผลผลิตอ้อยให้สูงขึ้นได้

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ได้นำไปใส่ใน บทที่ 2 ของแต่ละโครงการย่อยแล้ว

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนงานวิจัย

แบ่งออกเป็น 2 โครงการวิจัยย่อย โดยทั้ง 2 โครงการสามารถเริ่มต้นไปพร้อมกันได้โดยมีโดยหัวหน้าโครงการวิจัยย่อยเป็นผู้บริหารการวิจัย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ ดำเนินโดยเริ่มจากการเตรียมพื้นที่ปลูกอ้อยในโรงเรือนของบริษัทมิตรผล มิตรภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ และเตรียมวัสดุต่างๆ ที่จะต้องใช้ในการทำวิจัย รวมไปถึงการประสานงานแลปวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดวันส่งตัวอย่างวิเคราะห์ จากนั้นจะเป็นการปลูกอ้อยเพื่อศึกษาทั้งในสภาพแปลงปลูกและเรือนปลูกพืชทดลอง ตามกรรมวิธีการวิจัยที่กำหนด บันทึกข้อมูล วิเคราะห์ และจัดทำรายงานวิจัย

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก จะมีการดำเนินการทันทีในส่วนของศึกษาลักษณะทางกายภาพของอ้อยเพื่อใช้กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ จากนั้นออกแบบและสร้าง และทดสอบประเมิณผล สรุป และทำรายงาน

3.2 แผนงานของโครงการมีรายละเอียด

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินกิจกรรมโครงการย่อยที่ 1

เดือนที่	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้
1- 2	1. สำรวจพื้นที่และวางแผนการทดลอง 2. เตรียมพื้นที่และเพาะต้นกล้าอ้อยเพื่อการทดลอง	1. ข้อมูลที่จะต้องใช้ในการจัดการเรือนทดลอง 2. กล้าอ้อยที่พร้อมทำการทดลอง
3-6	1. ทำการทดลองและเก็บผลการทดลองการเจริญของราก 2. ทำการทดลองและเก็บผลการทดลองการเจริญเติบโตของอ้อยที่ให้ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน	1. ผลการทดอลอง ประกอบด้วยการเจริญเติบโตของรากในช่วง 3 เดือน และ 6 เดือน 2. การเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละช่วงอายุที่มีการให้ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน
7-12	1. ทำการทดลองและเก็บผลการทดลองการเจริญของราก	1. ผลการทดอลอง ประกอบด้วยการเจริญเติบโตของรากที่ 12 เดือน 2. การเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละช่วงอายุที่มีการให้ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน

เดือนที่	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้
1- 2	1. สำรวจพื้นที่และวางแผนการทดลอง 2. เตรียมพื้นที่และเพาะต้นกล้าอ้อยเพื่อการทดลอง	1. ข้อมูลที่จะต้องใช้ในการจัดการเรือนทดลอง 2. กล้าอ้อยที่พร้อมทำการทดลอง
	2. ทำการทดลองและเก็บผลการทดลองการเจริญเติบโตของอ้อยที่ให้ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน 3. รวบรวมผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลองและจัดทำรายงานผลการทดลอง	3. รายงานสรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาดเล็ก

ตารางที่ 2 แผนการดำเนินกิจกรรมโครงการย่อยที่ 2

เดือนที่	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้
1- 2	1. เก็บข้อมูลเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ 2. ทดสอบการทำงานในเชิงห้องทดลอง	1. ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ย 2. เครื่องต้นต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาและผลการทดสอบการงานของเครื่องในระดับห้องทดลอง
3-6	1. แก้ไขข้อบกพร่องและทดสอบการทำงานในแปลงทดลอง 2. ทดสอบประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่อ้อยอายุ 3 เดือน และวิเคราะห์ผล	1. ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องฝังกลบในแปลงทดลอง 2. ผลการทดสอบประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่อ้อยอายุ 3 เดือน
7-12	1. ทดสอบประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่อ้อยอายุ 6 เดือน และวิเคราะห์ผล 2. รวบรวมผลการทดลอง และจัดทำรายงานผลการทดลอง	1. ทดสอบประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่อ้อยอายุ 6 เดือน 2. รายงานสรุปผลการทดลอง

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

- ได้รายงานผลการศึกษาไว้ในแต่ละส่วนของโครงการย่อยแล้ว

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

สรุปผลการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

จากการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ โดยได้ศึกษาการเจริญของรากอ้อยที่อายุต่างๆ และความสัมพันธ์ของรากกับความชื้น และวิธีการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างๆ เช่นที่ระดับความลึก 10 20 และ 30 ซม. พบว่า

1. รากอ้อยที่อายุ 3 เดือน ที่มีการจัดการน้ำแบบปกติ รากของอ้อยสามารถหยั่งลึกลงไปในดินมากกว่า 1 เมตร แต่จะมีการกระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณผิวดินที่ความลึก 0-30 ซม. พบมากบริเวณใต้ลำต้นของอ้อยแล้วแผ่กระจายออกด้านข้าง จากการทดลองพบความหนาแน่นและแผ่กระจายของรากสูงที่ระดับความลึก 10-20 ซม. ซึ่งเป็นระดับความลึกที่ดินมีความชื้นคงที่และมากกว่าที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ซึ่งเป็นบริเวณใกล้ผิวดินที่อาจมีการสูญเสียน้ำจากสภาพแวดล้อมได้ง่าย

ข้อเสนอแนะ หากมีการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยในช่วงอ้อยอายุน้อยกว่า 3 เดือน ควรให้ปุ๋ยฝังลงไปในดินที่ระดับความลึกในช่วง 10-20 ซม. ห่างจากโคนต้นประมาณ 30 ซม. ซึ่งเป็นตำแหน่งที่รากของอ้อย มีความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากตามแนวรัศมีมากที่สุด อีกทั้งความลึกที่ระดับ 10-20 ซม. ในสภาวะปกติจะมีความชื้นเพียงพอและค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับที่ใกล้ผิวดินที่สามารสูญเสียความชื้นได้ง่าย และระดับความลึกนี้ยังเป็นระดับความลึกที่ไม่ลึกมาก รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการลากเครื่องฝังกลบปุ๋ยจึงไม่จำเป็นต้องใช้กำลังมาก มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ทำงานได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกมากขึ้น และหยัดพลังงานเชื้อเพลิง

2. น้ำ และความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของอ้อย จากการทดลอง พบว่า ความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำและการฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยมาก ขณะที่การจัดการน้ำ 2 รูปแบบ คือ การให้น้ำปกติกับการงดการให้น้ำช่วง 3-6 เดือน จากข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน พบว่า มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อ้อยมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้การจัดการน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญในการปลูกอ้อยให้ได้ผลผลิตดี จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้มีการใส่ปุ๋ยแต่ถ้าอ้อยขาดน้ำก็จะส่งผลให้ผลผลิตไม่ดีตามไปด้วย การจะใส่ปุ๋ยให้ได้ประโยชน์นั้นดินต้องมีความชื้นเพียงพอหรือมีการให้น้ำ รากอ้อยก็จะนำทั้งความชื้นและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายและมีประสิทธิภาพส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต คุณภาพและผลผลิตของอ้อย

3. รากอ้อยที่อายุ 6 เดือน มีการเจริญได้ดีในสภาพการจัดการน้ำปกติ แต่จะลดความหนาแน่นและการแผ่กระจายตามแนวรัศมีลงเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ จากการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นของราก รวมถึงน้ำหนักแห้งของรากจะลดลงน้อยเมื่อรากประสบกับภาวะแห้งแล้งเปรียบเทียบกับรากของอ้อยในสภาวะปกติ อย่างไรก็ดีแม้ปริมาณรากจะแตกต่างแต่ความหนาแน่นและการกระจายตัวตามแนวรัศมีจะมีลักษณะเหมือนกันคือจะมีกากรกระจายตัวมากที่ระดับความลึก 10-20 ซม. เช่นเดียวกับอ้อยที่อายุ 3 เดือน และลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แต่จะมีข้อแตกต่างตรงที่รากอ้อยที่ประสบกับสภาวะแห้งแล้งจะมีการพัฒนารากในระดับที่ลึกขึ้นให้มีปริมาณมากขึ้นเพื่อหยั่งลึกลงไปหาความชื้นในชั้นดินที่ลึกลงไป

ข้อเสนอแนะ หากมีการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยในช่วงอ้อยอายุน้อยกว่า 6 เดือน ควรให้ปุ๋ยฝังลงไปในดินที่ระดับความลึกในช่วง 10-20 ซม. ห่างจากโคนต้นประมาณ 30 ซม. ซึ่งเป็นตำแหน่งที่รากมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากตามแนวรัศมีมากที่สุดตามข้อมูลการทดลอง เลือกช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยในช่วงที่ดินมีความชื้นเหาะสม หรือมีการให้น้ำตามหลังการใส่ปุ๋ยก็จะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยมีข้อเสนอแนะเช่นเดียวกับข้อเสนอแนะในข้อที่ 1

4. การเจริญเติบโตของอ้อยและการเจริญของรากหลังการกลับมาให้น้ำปกติ ช่วง 6 -12 เดือน พบว่าเมื่อมีการให้น้ำปกติ รากสามารถเจริญกลับมาเป็นปกติได้เร็วกว่าการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน จะเห็นได้จากข้อมูลความหนาแน่นของรากและการกระจายตัวของรากเมื่ออายุ 12 เดือน ที่สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างจากอ้อยที่มีการจัดการน้ำปกติ ขณะที่การเจริญเติบโตด้านความสูง ความยาวลำ ขนาดลำ น้ำหนักลำ และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) ซึ่งเป็นส่วนเหนือดิน ยังคงต่ำกว่าอ้อยที่มีการจัดการน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในการเจริญเติบโตของอ้อยและการเจริญของราก น้ำและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตที่ชัดเจน จากการทดลอง พบว่า การฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งความลึกต่างๆ และความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำร่วมกับการฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งต่างๆ ที่อ้อยอายุ 6 เดือน มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยมากและแทบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติหรือความสัมพันธ์กันเลย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเมื่ออ้อยเมื่อมีการให้น้ำตามปกติอ้อยสามารรถเจริญเติบโตได้แต่จะช้ากว่าอ้อยที่มีการจัดการน้ำปกติตลอดการปลูก ส่งผลให้มีผลผลิตและคุณภาพของอ้อยน้อยกว่า

ข้อเสนอแนะ จากการทดลองจะพบว่าอ้อยที่ผ่านสภาพแห้งแล้งจะมีการปรับตัวต่างๆ ทางสรีระวิทยา ไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตทางลำต้น ลดพื้นที่ใบ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างรากเพื่อให้อ้อยสามารถทนต่อสภาวะ

แห้งแล้งได้นานที่สุด รากเป็นอวัยวะแรกของอ้อยที่รับรู้และได้รับผลกระทบโดยตรงจากสภาะนี้ และจะส่งสัญญาณไปยังส่วนเหนือดินเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม จากการทดลองจะเห็นว่าอ้อยที่ผ่านสภาวะแห้งแล้งจะกลับมามีสภาพเหมือนอ้อยที่ได้รับน้ำปกติเป็นไปได้ยากมาก แม้รากที่เป็นส่วนสนับสนุนน้ำและธาตุอาหารจะกลับมาเป็นปกติได้เร็วกว่าการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้ทันกับอ้อยปกติ ดังนั้นการจัดการน้ำที่เพียงพอให้กับอ้อยตลอดช่วงการเจริญเติบโต หรือโดยเฉพาะระยะย่างปล้อง (elongation phase) ก็จะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของอ้อย และที่สำคัญไม่ควรปล่อยให้อ้อยอยู่ในสภาวะแล้งที่ยาวนานเนื่องจากจะไม่สามารถเจริญเติบโตและผลผลิตได้ทันช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย การศึกษาออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย และการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า จากงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ โดยการทดลองได้ทำการฝังปุ๋ยในช่วงความลึก 10 – 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นการฝังปุ๋ยที่ใกล้เคียงกับการฝังปุ๋ยแบบใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ย และวัดความชื้นของดิน การใช้รถแม็กโครขุดดินเพื่อศึกษาการกระจายตัวของรากในภาคสนาม และ การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรถแทรกเตอร์ที่ใช้ใส่ปุ๋ยอ้อยแบบขับวิ่งเข้าระหว่างร่องอ้อย ได้แก่ KUBOTA, KIOTI, John Deere และ Yanmar โดยขนาดร่องอ้อยที่ใช้เครื่องจักรกลปฏิบัติงานส่วนใหญ่จะมีขนาดเฉลี่ย 1.50 เมตร พบว่า เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ต้นแบบ สามารถฝังปุ๋ยและปรับตั้งระดับความลึกได้ 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร โครงเครื่องมีขนาดความกว้าง 1,100 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกินขนาดความกว้างของร่องอ้อย น้ำหนักของเครื่องต้นแบบเท่ากับ 212 กิโลกรัม ซึ่งไม่เกินขนาดน้ำหนักที่รถแทรกเตอร์สามารถยกได้บริเวณปลายแขนยกที่มีค่าเฉลี่ย 788 กิโลกรัม ระบบรักษาระดับความลึกของดินใช้แบบล้อกันจมซึ่งใช้งานได้ดีกว่าแบบระบบสกีกันจม ในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของขาไถฝังกลบปุ๋ย โดยกำหนดให้แรงที่ได้จากการวัดเก็บข้อมูลเท่ากับ 10,000 นิวตัน พบว่า ไม่ส่งผลให้โครงสร้างของขาไถฝังกลบปุ๋ยเสียหายหรือหากได้รับแรงเกินที่กำหนดส่วนที่เสียหายบริเวณจุดแรกคือ บริเวณ

จุดเชื่อมต่อระหว่างขาไถฝังกลบปุ๋ยกับแผ่นยึดฐานขาไถฝังกลบปุ๋ย หากมีการใช้งานในสภาพดินที่มีความแข็งของดินสูง อาจมีการเสริมความแข็งแรงบริเวณดังกล่าว

สรุปผลการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยพื้นที่แปลงทดสอบมีสภาพดินมีลักษณะดินร่วนปนเหนียวมีความชื้นของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 9.73, 10.38 และ 10.06% ตามลำดับ ค่าการแทงทะลุของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 23.20, 25.60 และ 34.93 kg/cm^2 ตามลำดับ รถแทรกเตอร์สำหรับทดสอบยี่ห้อคูโบต้า รุ่นSunshine ขนาด 26 แรงม้า รอบเครื่องยนต์ขณะปฏิบัติงาน 1750 รอบ/นาที พบว่า การฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.91 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.19 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.33 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 67.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการฝังปุ๋ยที่ระดับ 10 เซนติเมตร สมรรถนะการทำงานอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งจากการศึกษาการเจริญของรากอ้อยจะเห็นได้ว่า การฝังปุ๋ยที่เหมาะสมควรอยู่ที่ระดับความลึกที่ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีรากอ้อยหนาแน่นและมีความชื้นดินที่เหมาะสม ในขณะเดียวกัน การฝังปุ๋ยที่ระดับ 30 เซนติเมตร ส่งผลให้การใช้น้ำเชื้อเพลิงสูงขึ้นและมีความสามารถเชิงพื้นที่ต่ำ ทำให้ค่าใช้จ่ายในปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของแรงฉุดลากจะพบว่า เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นแรงฉุดลากก็สูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานลดลงและการลื่นไถลของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น โดยจุดต่อพ่วงทั้ง 3 จุด มีทิศทางของแรงเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน และแรงฉุดลากมีผลต่อความสม่ำเสมอของความลึกการฝังกลบปุ๋ย โดยแรงที่เพิ่มส่งผลให้รถแทรกเตอร์เกิดการลื่นไถลทำให้ต่อยกอุปกรณ์ให้สูงขึ้นจากดิน

ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กครั้งนี้ ได้ใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และแปลงเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งลักษณะของดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หากมีแนวทางในการทำวิจัยต่อไป ควรมีการทดสอบเครื่องฝังกลบปุ๋ยในสภาพดินที่หลากหลายชนิด ซึ่งพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่มีการปลูกอ้อยในสภาพดินร่วนปนทราย โดยลักษณะของดินมีผลต่อแรงฉุกลากรวมถึงความลึกที่สามารถฝังกลบปุ๋ยได้ และการพัฒนาต่อนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกอ้อยหลากหลายแบบอีกด้วย

ข้อสรุปของทั้งสองโครงการในการตอบวัตถุประสงค์ในการทดลองมี ดังนี้

1. เพื่อศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงวิธีการใส่ปุ๋ยและพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลที่ได้รับ

จากผลการทดลอง พบว่าความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่อการเจริญของราก ดังจะเห็นได้จากความแตกต่างของปริมาณและการกระจายตัวของรากเมื่อมีการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน โดยพบว่าในดินที่มีการจัดการน้ำที่ดีและมีความชื้นเหมาะสมรากของอ้อยจะเจริญและกระจายตัวได้ดีในชั้นดินที่ไม่ลึกมากนักหรือบริเวณผิวดิน การเจริญของรากอ้อยที่อายุ 3 และ 6 เดือน จากการทดลองในสภาพที่มีการจัดการน้ำรากของอ้อยจะมีความหนาแน่นและมีการกระจายตัวได้ดีที่สุดช่วงความลึก 10-20 ซม. เช่นเดียวกันกับรากของอ้อยที่มีการงดน้ำหรือทำให้อยู่ในสภาพแล้ง แต่พบว่า รากของอ้อยที่อยู่ในสภาพแล้งมีแนวโน้มที่จะหยังลึกลงไปในดินมากขึ้นดังจะเห็นได้จากข้อมูลของการกระจายตัวของอ้อยในสภาพแล้งในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ยังพบอีกว่าเมื่ออ้อยขาดน้ำจะส่งผลโดยตรงต่อความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากจากข้อมูล root biomass ทำให้รากในช่วงนั้นมีปริมาณลดลงส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชในส่วนของการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ดีเมื่อมีการให้น้ำกับอ้อยที่ผ่านสภาพแล้งอีกครั้งรากสามารถปรับตัวได้ดีและสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติเช่นเดียวกับอ้อยที่มีการจัดการน้ำได้ จากการทดลอง ช่วงเดือนที่ 6-12 ที่มีการให้น้ำปกติรากอ้อยกลับคืนสู่สภาพปกติและไม่มีความแตกต่างกันเมื่ออ้อยอายุครบ 12 เดือน อย่างไรก็ตามขณะที่ในส่วนใต้ดินสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (recovery) แต่ส่วนเหนือดินของอ้อยกลับไม่สามารถคืนสู่สภาพปกติจึงทำให้อ้อยมีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น หากเป็นไปได้การจัดการน้ำให้เพียงพอตลอดช่วงการเจริญเติบโต หรือระยะย่างปล้อง (elongation phase) ก็จะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย และที่สำคัญไม่ควรปล่อยให้อ้อยอยู่ในสภาวะแล้งที่ยาวนาน เช่น ในช่วงเดือน มกราคม-เมษายน เนื่องจากจะไม่สามารถทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตกลับคืนสู่สภาพปกติได้ทันช่วงเวลาเก็บเกี่ยวส่งผลให้มีผลผลิตต่ำ

2. เพื่อศึกษาวิธีการวิธีฝังกลบปุ๋ยที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุที่ส่งเสริมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อย

ผลที่ได้รับ

จากจากข้อมูลความชื้นดินที่ระดับความลึกแตกต่างกันที่ 10 20 และ 30 ซม. ในสภาพที่มีการให้น้ำปกติ พบว่า ที่ความลึก 10 ซม. มีการสูญเสียความชื้นในดินได้ง่ายต่อสภาพแวดล้อม เช่น อากาศร้อนหรือมีแสงแดดจัด ในช่วงกลางวัน ทำให้ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 ซม. มีน้อยกว่าและมีเสถียรภาพน้อยกว่าที่ความลึก 20 และ 30 ซม. ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก ขณะที่ในดินที่อยู่ในสภาพแล้งไม่มีการให้น้ำความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 ซม. จะลดลงอย่างรวดเร็ว แตกต่างจากชั้นดินที่ความลึก 20 และ 30 ซม. ที่จะลดลง

อย่างช้าๆ ซึ่งจากการศึกษาในวัตถุประสงค์ข้อแรกได้ข้อมูลว่ารากของอ้อยจะมีความหนาแน่นและมีการกระจายตัวได้ดีที่สุดช่วงความลึก 10-20 ซม. สอดคล้องกับการเป็นชั้นที่มีความชื้นค่อนข้างคงที่และดินไม่ลึกจนเกินไป และจากการศึกษาความแข็งของดินที่ 3 ระดับความลึก คือ 10 20 30 ซม. ด้วยการวัด soil penetration พบว่า เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นความแข็งของดินก็จะเพิ่มตามไปด้วย และมีค่ามากขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพแห้งแล้งส่งผลให้ยากต่อการเจริญของราก การใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกันคือ 10 20 และ 30 ซม. พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติต่อการเจริญเติบโตของอ้อย และวิธีฝังกลบปุ๋ยกับความชื้นในดินไม่มีความสัมพันธ์กันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย

จากข้อมูลเบื้องต้นการใส่ปุ๋ยที่ระยะ 10-20 ซม. ซึ่งเป็นความลึกที่มีความหนาแน่นและการแผ่กระจายตัวของรากตามแนวรัศมีมากที่สุด จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย ขณะที่การให้ปุ๋ยที่ระดับ 0-10 ซม. ที่มีความหนาแน่นของรากน้อยกว่าที่ 10-20 ซม. อาจทำให้รากพืชสามารถนำธาตุอาหารจากปุ๋ยไปใช้ได้น้อยกว่าเนื่องจากมีความชื้นต่ำและเสี่ยงต่อสภาพแล้งที่ผิวดิน ขณะที่ความลึก 30 ซม. มีความชื้นสูงและมีเสถียรภาพ จะมีความแน่นของดินมากทำให้มีกระจายตัวของรากน้อยกว่าทั้ง 2 ระดับความลึกที่กล่าวมา ทำให้การจะใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรเพื่อฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกนี้จึงเป็นไปได้ยาก หรืออาจจะเป็นไปได้หากใช้เครื่องจักรที่มีกำลังสูงแต่ก็จะสูญเสียเชื้อเพลิงที่ใช้สูงตามไปด้วย

3. เพื่อศึกษาออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

ผลที่ได้รับ

เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ต้นแบบ สามารถฝังปุ๋ยและปรับตั้งระดับความลึกได้ 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร โครงเครื่องมีขนาดความกว้าง 1,100 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกินขนาดความกว้างของร่องอ้อย น้ำหนักของเครื่องต้นแบบเท่ากับ 212 กิโลกรัม ซึ่งไม่เกินขนาดน้ำหนักที่รถแทรกเตอร์สามารถยกได้บริเวณปลายแขนยกที่มีค่าเฉลี่ย 788 กิโลกรัม ระบบรักษาระดับความลึกของดินใช้แบบล้อกันจมซึ่งใช้งานได้ดีกว่าแบบระบบสกีกันจม

4. เพื่อทดสอบและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรคเตอร์ขนาด 24 แรงม้า เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

ผลที่ได้รับ

ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องฝังกลบปุ๋ย แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ที่มีความสามารถการทำงานที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร คือ 2.55 และ 2.33 ไร่/ชั่วโมง สูงกว่าที่ 30 เซนติเมตร ที่ 1.73 ไร่/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานที่ความลึก 10 20 และ 30 เซนติเมตร อยู่ที่ 67.58 67.00 และ 62.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงการทำงานที่ความลึก 30 เซนติเมตร สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุด 1.74 ลิตร/ไร่ ขณะที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร มีอัตราสิ้นเปลืองอยู่ที่ 0.89 และ 0.91 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีความสามารถและประสิทธิภาพการทำงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่ามาก ขณะที่การฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร มีความสามารถและประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิงดีแต่อาจมีข้อเสียที่ความลึกในการฝังไม่ลึกมากปุ๋ยอาจถูกชะล้างของน้ำหรือสูญเสียไปกับสภาพแวดล้อมได้ง่าย ด้วยเหตุนี้การใส่ปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร จึงน่าจะมีความเหมาะสมเพราะเครื่องฝังปุ๋ยมีความสามารถ มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดเชื้อเพลิงดีไม่ต่างจากที่ความลึก 10 เซนติเมตร และการใส่ปุ๋ยที่ความลึกนี้มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากที่มีมากในระดับความลึก 10-20 เซนติเมตร จากผลการทอลองโครงการย่อยที่ 1

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการย่อยที่ 1

การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

Study on relationship between root growth and soil moisture content with fertilizer application methods in sugarcane

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

อ้อย (*saccharum offiicinarum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ ซึ่งประเทศไทยสามารถส่งออกน้ำตาลไปยังตลาดต่างประเทศสูงถึง 11.2 ล้านตัน ในปี พ.ศ.2560 (USDA Foreign Agriculture Service, 2017) ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลลำดับ 2 ของโลก โดยตลาดส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชีย เช่น อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น กัมพูชา เกาหลีใต้ มาเลเซีย จีน และอื่น ๆ สาเหตุที่ทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตอ้อยได้เป็นจำนวนมากนั้นมาจากหลายสาเหตุ เช่น มีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย และอ้อยมีราคาสูงกว่าพืชเศษฐกิจชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าว และมันสำปะหลัง จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกอ้อยกันมากขึ้น รวมถึงการได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลในเรื่องราคาอ้อยและการสนับสนุนเงินลงทุน ทำให้ผลผลิตอ้อยของประเทศมีเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยมาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแม้ประเทศไทยจะมีผลผลิตรวมอ้อยเป็นจำนวนมากแต่ในเรื่องของผลผลิตต่อพื้นที่และปริมาณน้ำตาลในอ้อยยังต่ำกว่าประเทศคู่แข่ง เช่น ออสเตรเลีย และบราซิล ซึ่งในประเด็นนี้ก็ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาให้เทียบเท่ากับประเทศที่มีผลผลิตและคุณภาพสูง

ปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับอ้อยในหลากหลายสาขา เช่น การปรับปรุงพันธุ์อ้อย การจัดการโรคและแมลงในอ้อย การจัดการน้ำ การจัดการดินและรวมไปถึงการจัดการธาตุอาหารในอ้อย เพื่อให้อ้อยมีผลผลิตและคุณภาพสูง ขณะที่การศึกษาเรื่องรากซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในส่วนเหนือดินตลอดชั่วอายุขัยของพืชยังมีการศึกษาน้อยมากเนื่องจากรากเป็นอวัยวะที่อยู่ใต้ดินจึงมีความยุ่งยากในการศึกษา ทำให้ข้อมูลความรู้เรื่องรากอ้อยยังมีไม่มากนัก แต่ที่จริงแล้วรากมีความสำคัญต่อพืชอย่างมากเพราะรากมีหน้าที่ดูดซับน้ำและธาตุอาหารให้กับพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นการศึกษาการเจริญของรากจึงมีความสำคัญในการที่จะทำให้อ้อยทั้งต้นมีการเจริญเติบโตและมีผลผลิตที่ดี

การปลูกอ้อยในปัจจุบันมีการใส่ปุ๋ยให้กับอ้อยในหลายรูปแบบและช่วงอายุ เช่นการใส่ปุ๋ยรองพื้นพร้อมปลูก และการใส่ปุ๋ยแต่งหน้า ซึ่งมีระยะเวลาการใส่หลังปลูกที่หลากหลายบ้าง 2-3 เดือนหลังปลูก จนถึง 4 เดือนหลังปลูก แต่ยังไม่มีการศึกษาที่แน่ชัดว่าวิธีการที่ใส่ปุ๋ยให้กับอ้อยในแต่ละช่วงอายุดังกล่าวนั้นรากอ้อยสามารถดูดซับเอาไปเพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่และวิธีการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับ

ความลึกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเหมาะสมหรือไม่กับอายุอ้อย จากการศึกษา อ้อยมีระบบรากเป็นระบบฝอย (fibrous root system) เมื่ออ้อยเจริญเติบโตเต็มที่รากจะมีช่วงรัศมี 50- 100 เซนติมเตร และลึกลงไปในดินได้ 100-150 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ (อดิศักดิ์, 2558) อย่างไรก็ดี ตั้งแต่อ้อยเริ่มงอก อ้อยจะสร้างรากออกมาหลายชนิดในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต ซึ่งรากจะพัฒนาและทำหน้าที่ในระดับความลึกที่แตกต่างกันเพื่อขึ้นกับสภาพพื้นที่ๆ ปลูกอ้อยเพื่อทำหน้าที่ในการดูดน้ำและอาหารให้กับอ้อย ซึ่งประเด็นนี้เป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาการเจริญของรากแต่ละช่วงอายุเพื่อที่จะทราบตำแหน่งของการใส่ปุ๋ยที่แม่นยำและเพื่อรากอ้อยสามารถนำไปใช้ได้ง่าย

ด้วยเหตุนี้หากเราเข้าใจการเจริญของรากอ้อยในแต่ละช่วงอายุก็จะทำให้มีวิธีการจัดการธาตุอาหารพืชและการใส่ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น อ้อยสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ลดการรบกวนดินซึ่งจะมีผลต่อรากอ้อยซึ่งจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนเหนือดินในกรณีที่ตำแหน่งของการใส่ปุ๋ยมีผลกระทบต่อราก ดังนั้นการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบจึงมีความสำคัญในการศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการแปลงและการจัดการธาตุอาหารอ้อยให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพที่ดี ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงวิธีการใส่ปุ๋ยและพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการวิธีฝังกลบปุ๋ยที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินในแต่ละช่วงอายุที่ส่งเสริมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาการเจริญของรากอ้อยที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ ทำการทดลอง ณ โรงเรือนของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ของบริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด โดยใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นการทดลองในโรงเรือนปลูกพืชของบริษัท ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของรากในแต่ละช่วงอายุกับการให้น้ำที่มีรอบการให้ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ร่วมกับการฝังปุ๋ยที่ความลึกต่างกัน 3 รูปแบบ โดยศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยในดินที่มีความชื้นแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยเพื่อหาความชื้นในดินและความลึกในการฝังปุ๋ยที่เหมาะสมและส่งเสริมในการเจริญเติบโตของอ้อย ทั้งในดินที่มีความชื้นมากหรือน้อย รวมทั้งการศึกษาการกระจายตัวของรากที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อการให้ปุ๋ยและน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของการเจริญของรากอ้อยกับความชื้นในดินด้วยการให้น้ำแบบต่างๆ ในระดับความลึกต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการน้ำที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิต

1.4.2 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลิต

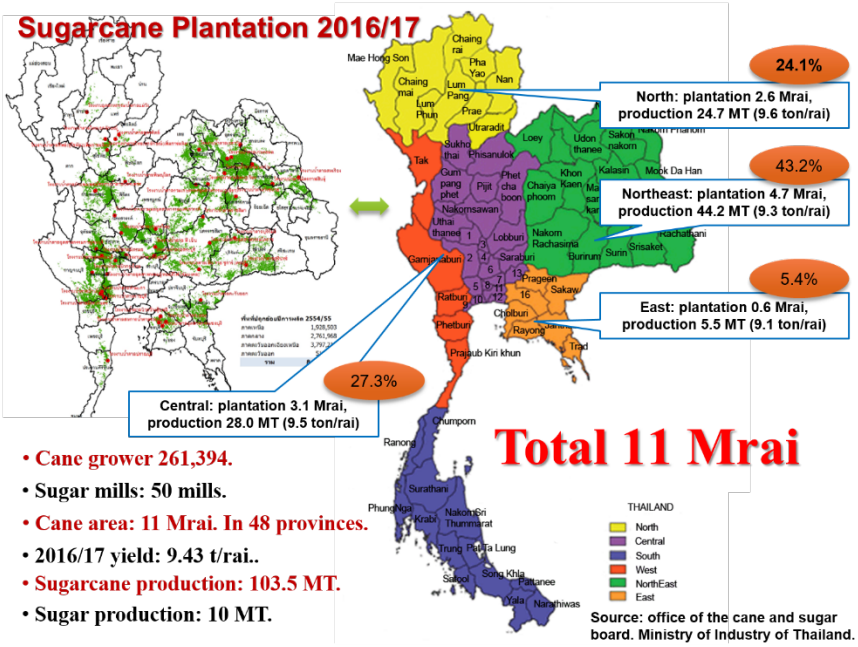
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อ้อยในประเทศไทย

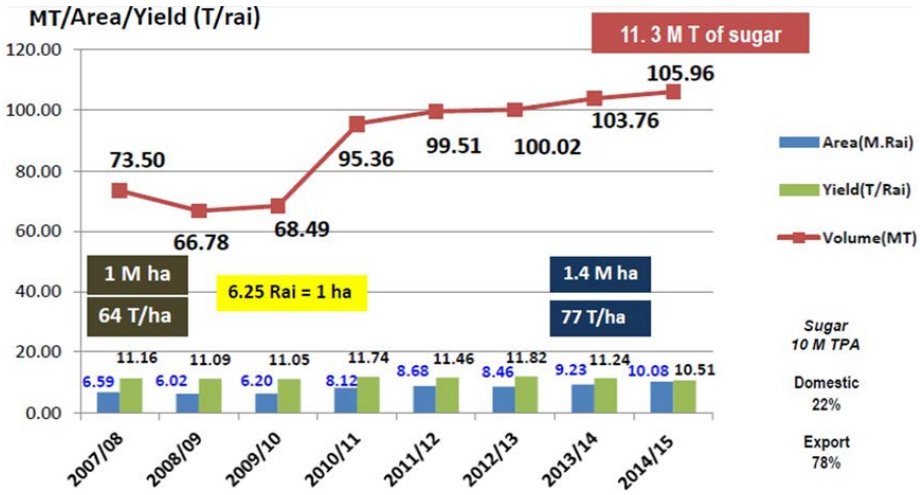
อ้อย (*saccharum offiicinarum* L.) เป็นพืชที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล และอุตสาหกรรมเกี่ยวเนื่องมากมาย รวมทั้งเป็นเศรษฐกิจที่สำคัญในหลายประเทศที่อยู่ในเขต tropical และ subtropical ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการผลิตอ้อยและส่งออกน้ำตาลเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยสูงถึง 105 ล้านตัน สามารถผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 11.2 ล้านตัน (USDA Foreign Agriculture Service, 2017) และเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลลำดับ 2 ของโลก

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยอยู่ประมาณ 11 ล้านไร่ แต่พบว่า ส่วนใหญ่เป็นแปลงอ้อยขนาดเล็กถึงร้อยละ 86 (พื้นที่<50 ไร่) แปลงขนาดกลาง 13 เปอร์เซ็นต์ (พื้นที่ระหว่าง 50-250 ไร่) และเพียง 1

เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่เป็นแปลงขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) (Sriroth, Vanichsriratana and Sunthonvarabhas, 2016)



รูปที่ 2 พื้นที่การปลูก ผลผลิต ของอ้อยที่ปลูกในประเทศไทย ในปี 2016/17



รูปที่ 3 ผลผลิตอ้อยรวมของประเทศ ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ ผลผลิตน้ำตาล และพื้นที่ปลูก ในช่วงปี 2007/08–2014/15 (Pipat, 2015)

พื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทยส่วนใหญ่ปลูกมากในเขตถาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็นร้อยละ 43.2 รองลงมาคือภาคกลางและถาคตะวันตก 27.3 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยภาคเหนือและภาคตะวันออก 24.1 และ 5.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยมีผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศอยู่ที่ 9.4 ตัน/ไร่ (2016/17) มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 103.5 ล้านตัน และสามารถผลิตน้ำตาลได้ 10 ล้านตัน (รูปที่ 3) อย่างไรก็ดีการปลูกอ้อยในประเทศไทยยังมี

แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยเหมาะแก่การปลูกอ้อย และอ้อยมีราคาสูงเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ทำให้จูงใจเกษตรในการปลูก รวมทั้งรัฐบาลให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ทำให้อ้อยเป็นพืชที่มีพื้นที่ปลูกและผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.2 ประวัติอ้อย

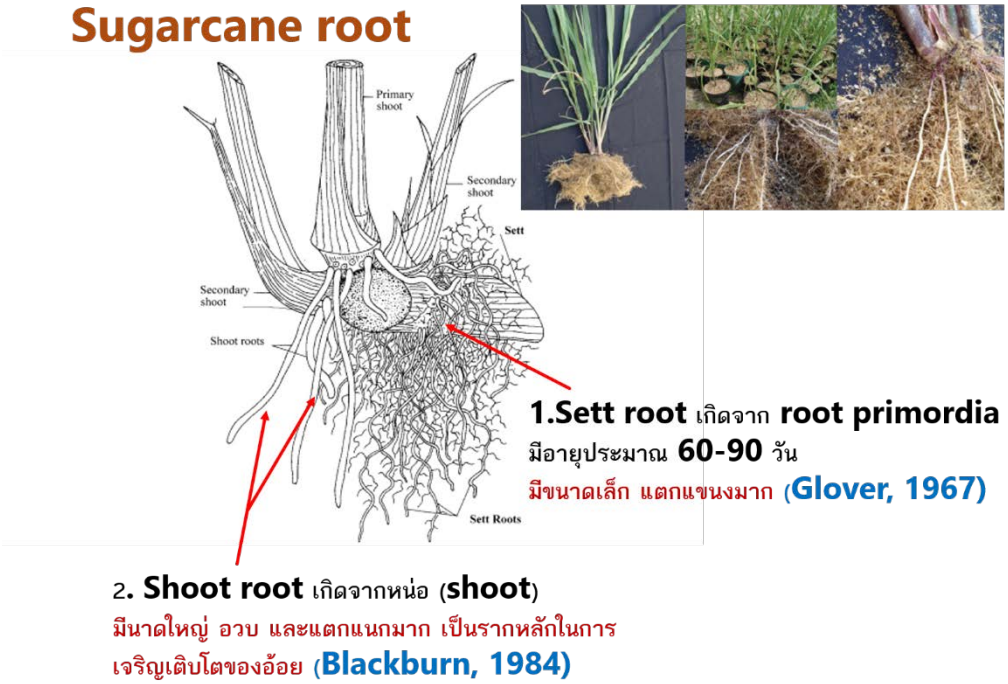
อ้อย เป็นพืชวงศ์ POACEAE วงศ์เดียวกับ ไผ่ หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด และ ข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดที่เกาะนิวกินีในหมาสมุทรแปซิฟิค และถูกนำออกไปจากเกาะโดยการติดต่อค้าขายและการล่าเมืองขึ้นของมนุษย์สมัยก่อนประวัติศาสตร์ โดยคาดว่ามีการแพร่กระจายไปได้ 3 ทาง คือ 1) การแพร่กระจายไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้สู่หมู่เกาะโวโลมอน นิวเฮบริดิส และนิวคาเลโดเนีย ซึ่งเกิดขึ้นนานนับหมื่นปีก่อนคริสตศักราช 2) การแพร่กระจายจากนิวกินีไปทางทิศตะวันตกสู่หมู่เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย แหลมมลายู ฟิลิปปินส์และอินโดจีนซึ่งรวมถึงประเทศไทย จนถึงชายฝั่งอ่าวเบงกอลประเทศอินเดีย เมื่อประมาณ 6,000 ปีก่อนคริสตศักราช 3) การแพร่กระจายไปทางทิศตะวันออกสู่เกาะต่างๆ เช่น ฟิจิ ตองกา ซามัย คุก มาร์เคซัส โซไซเอติ อิสเทอร์ และฮาวาย รวมทั้งเกาะอื่น ๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิค เมื่อประมาณ 500 ปีหลังจากที่อ้อยแพร่ไปถึงอ่าวเบงกอล (พืชเศรษฐกิจ, 2542) ประโยชน์จากอ้อยมีมากมาย เช่น ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณ 17-35% ชานอ้อย (bagasse) ที่ถูกบีบเอาน้ำอ้อยออกไปแล้วสามารถนำมาใช้ทำกระดาษ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วยอ้อยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้นในระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ และ 35 องศาใต้ ประเทศผู้ปลูกอ้อยที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล คิวบา และอินเดีย (https://th.wikipedia.org/wiki/อ้อย)

2.3 ลักษณะทั่วไปของอ้อย

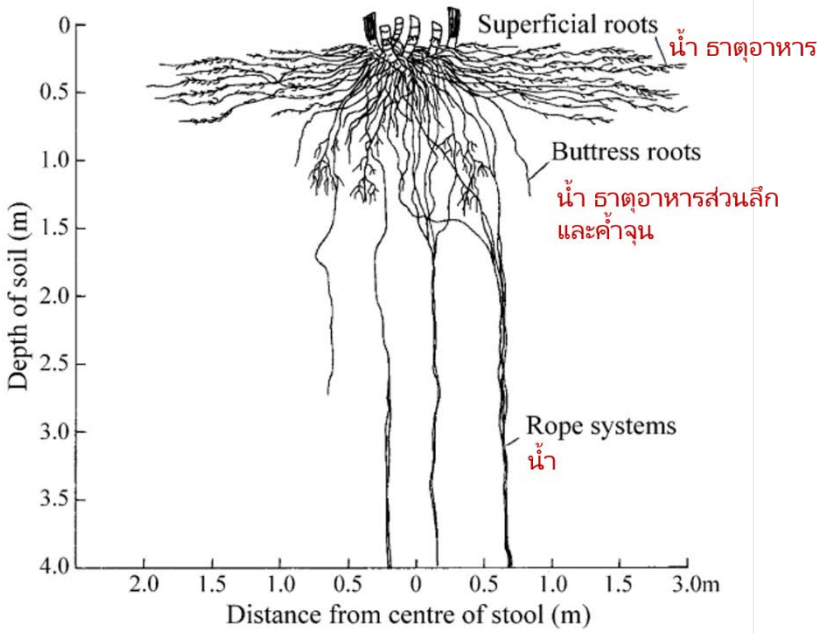
อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์หญ้า การจำแนกทางชีพจักรจัดเป็นพืชที่มีอายุหลายฤดู พันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูกในปัจจุบันเกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ปลูกกับพันธุ์ที่เป็นเครือญาติกัน (พืชเศรษฐกิจ, 2542)

ราก อ้อยมีระบบรากฝอย (fibrous root system) มีช่วงรัศมี 50- 100 เซนติมเตร และลึกลงไปในดินได้ 100-150 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นดิน (อดิศักดิ์, 2558) โดยที่อ้อยหลังจากปลูกอ้อยแล้วรากชนิดแรกที่เจริญออกมาปุ่มรากของท่อนพันธุ์ เรียกว่า sett root รากชนิดนี้ มีลักษณะเล็กและแตกแขนงมาก อ้อยใช้ประโยชน์จากรากนี้ในการหาอาหาร ในช่วงสัปดาห์แรกแรกๆ ของการงอก และรากชุดนี้จะสลายไปในที่สุดหลังจากปลูกแล้วประมาณ 3 เดือน จากนั้นอ้อยจะพัฒนารากชุดที่สองออกมาจากหน่อ (shoot) ที่งอกขึ้นมาใหม่จากท่อนพันธุ์ จึงเรียกรากชนิดนี้ว่า shoot root มีขนาดใหญ่ อวบ กว่ารากชนิดแรก และรากชนิดนี้จะ

แตกแขนงได้มาก (Smith, Inman-Bamber and Thorburn, 2005) รากชนิดนี้สามารถเกิดได้ต่อเนื่องและเป็นรากสำคัญในการเจริญเติบโตของอ้อย ซึ่งรากชนิดนี้สามารถจแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ 1) รากในระดับผิวดิน (superficial root) เกิดไกล้ผิวดิน มีความยาวประมาณ 0.5-2.5 เมตร และแผ่ลึกลงไปในดินได้ประมาณ 20- 30 เซนติเมตร มีหน้าที่ในการดูดน้ำและอาหาร 2) รากลึกปานกลาง (buttress root) มีขนาดใหญ่กว่ารากชนิดอื่นๆ รากจะลงลึกทำมุมกับผิวดิน 45-60 องศา มีความยาว 0.5-1.5 เมตร มีหน้าที่ดูซับน้ำและอาหารในส่วนที่ลึกกว่ารากชนิดแรกและมีหน้าที่ยึดลำต้น 3) รากลึก (rope system) เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากและหยั่งลึกลงแนวดิ่ง บางครั้งพบว่าลึกถึง 3 เมตร (อดิศักดิ์, 2558)

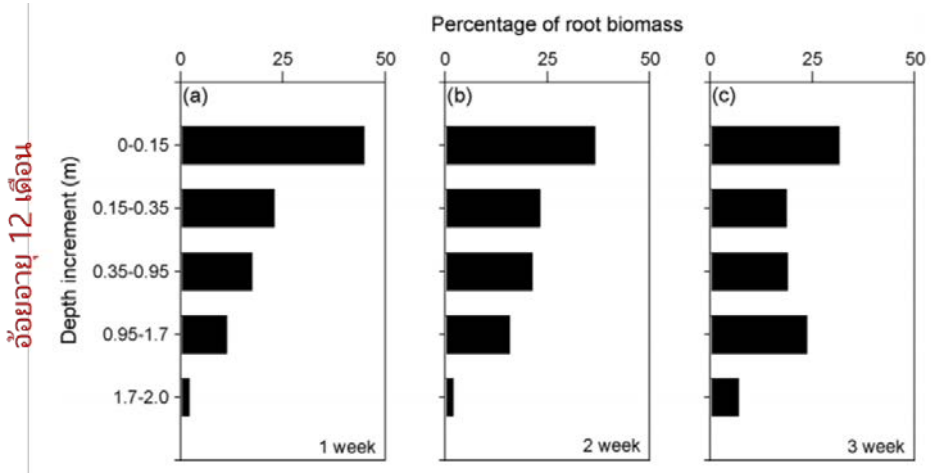


รูปที่ 4 การเจริญเติบโตของรากและรากชนิดต่างๆ (Blackburn, 1984 และ Glover, 1967)



รูปที่ 5 การเจริญเติบโตของรากและรากชนิดต่างๆ (Blackburn, 1984)

รากมีความสำคัญอย่างมากในการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็น 1) ดูด น้ำและแร่ธาตุที่ละลายน้ำจากดินเข้าไปในลำต้น 2) ลำเลียง น้ำและแร่ธาตุรวมทั้งอาหารซึ่งพืชสะสมไว้ในรากขึ้นสู่ส่วนต่างๆของลำต้น 3) การแลกเปลี่ยนก๊าซ 4) เป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนเพื่อการเจริญพัฒนาส่วนของลำต้น ส่วนยอด และ 5) การยึดลำต้นไว้กับดิน (Smith, Inman-Bamber and Thorburn, 2005)



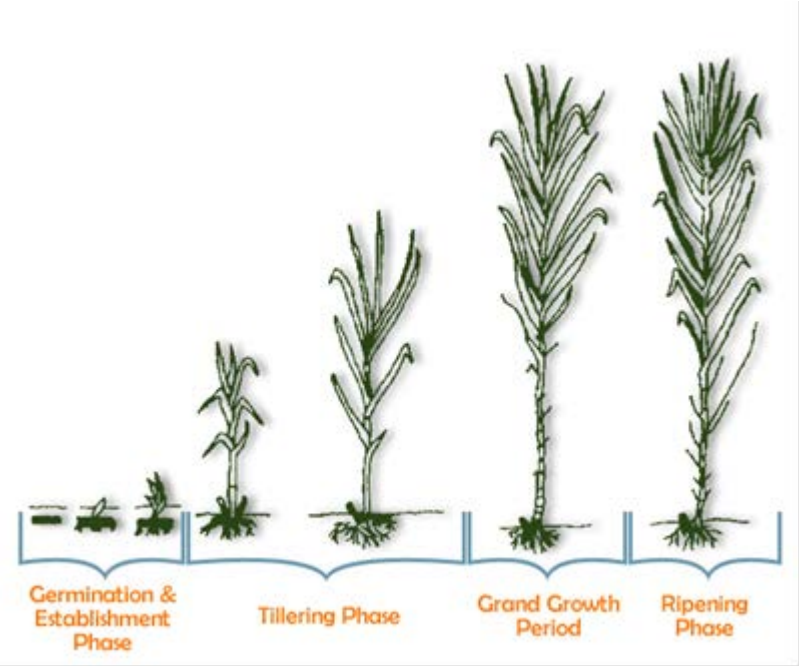
รูปที่ 6 การกระจายตัวของราก (root biomass) ที่มีการให้น้ำที่ต่างกันเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน (Baran et al., 1974)

อ้อยโดยทั่วไป 50% ของ root biomass พบที่ระดับความลึก 20 ซม. จากผิวดิน หรือ 85% ที่ระดับความลึกไม่เกิน 60 ซม. (Blackburn, 1984) อย่างไรก็ดีการกระจายตัวของรากก็ขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ลำต้น มีลำต้นอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่อยู่ใต้ดินและเหนือดิน ส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่าตอหรือเหง้า และส่วนที่อยู่เหนือดินเป็นส่วนที่รองรับใบและช่อดอก บริเวณลำต้นเหนือดินจะมองเห็นข้อและปล้องอย่างชัดเจน จำนวนข้อและปล้องจะแตกต่างกันตามพันธุ์ อายุและสภาพดินและอากาศ ลำต้นอ้อยมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่สะสมน้ำตาลและเมื่อเก็บเกี่ยวก็จะถูกส่งเข้าโรงงานเพื่อผลิตน้ำตาลต่อไป นอกจากนั้น อ้อยยังสามารถขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้ส่วนของลำต้น cutting, set หรือ seed cane ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ขยายพันธุ์อ้อยในปัจจุบัน

ใบ เกิดเรียงสลับกันบนลำต้น บางพันธุ์อาจเกิดเวียนรอบต้น ใบติดกับข้อของลำต้นตรงส่วนของฐานใบ โครสร้างใบประกอบด้วย กาบใบ และแผ่นใบกาบใบไม่มีเส้นกางใบและมักมีสีเขียวอ่อนหรือม่วงแดง ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเม็ดสีของอ้อยแต่ละพันธุ์ ใบมีสีเขียวแกมเหลืองจนถึงเขียวเข้มขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ขอบใบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อและมีความคม รอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบด้านในมีลิ้นใบ (ligule) และมีหูใบ (auricle) ยื่นแหลมออกมาจากส่วนของกาบใบ ด้านหลังรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีพื้นที่คล้ายสามเหลี่ยมเรียกว่า (dewlap)

ดอก ช่อดอกของอ้อยเรียกว่า arrow หรือ tassel เป็นแบบ panicle เกิดที่ปลายยอดของลำต้น อ้อยเป็นพืชที่ไวต่อช่วงแสง ถูกจัดเป็นพืชวันสั้น (short day plant) จะออกดอกเมื่อเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน อ้อยในประเทศไทยจักมักออกดอกในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม นอกจากปัจจัยเรื่องช่วงแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก เช่น พันธุ์ อายุอ้อย อุณห๓มิ และความชื้น (พืชเศรษฐกิจ, 2542)



รูปที่ 7 ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย (ที่มา: http://www.siamprocane.com/kn13.html)

2.4 การเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อยมีระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ คือ

1. ระยะงอก (germination phase) เริ่มปลูก 1.5 เดือน (3-6 สัปดาห์) อ้อยใช้อาหารจากท่อนพันธุ์และความชื้นในดินรวมทั้งปุ๋ยที่ใส่รองพื้น ทั้งนี้ยังขึ้นกับพันธุ์ สภาพของท่อนพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์มีความสัมพันธ์กับความงอก การได้รับน้ำและไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์จะทำให้อ้อยงอกได้ดี ระยะนี้มีความสำคัญและเป็นตัวกำหนดจำนวนกอต่อไรซึ่งมีผลต่อผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว

2. ระยะแตกหน่อ (tiller phase) เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 2-4 เดือน การแตกตอเกิดจากตาอ้อยที่อยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน ทำให้ลำต้นหรือหน่อที่เกิดขึ้นภายหลังอยู่ใกล้ผิวดินหรือลอยขึ้น การเจริญเติบโตระยะนี้ต้องการแสงแดดจัด อุณหภูมิสูง และต้องการน้ำมากกว่าระยะงอก ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากขึ้น จึงควรใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในช่วงนี้ จำนวนหน่อยที่แตกในระยะนี้จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำต่อกอ

3. ระยะย่างปล้อง (grand growth phase หรือ elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องจากการแตกกอ เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 4-5 เดือน โดยที่อ้อยจะเจริญเติบโตได้เร็วสุดเมื่ออายุ 6-7 เดือน ต้องการแสงแดดจัดเพื่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น มีความต้องการน้ำ และปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด การขาดปุ๋ยจะทำให้ปล้องสั้น น้ำหนักต่อลำอ้อยลดลง ทำให้ผลผลิตอ้อยทั้งหมดลดลงด้วย ระยะนี้เป็นตัวกำหนดขนาดและน้ำหนักของลำอ้อยและเป็นช่วงที่อ้อยเจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงต้องการปัจจัยต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโต

4. ระยะสุกแก่ (ripening phase) เป็นระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตที่ช้ามาก สังเกตุได้จากส่วนยอดจะอยู่ชิดกันมาก ปริมาณน้ำตาลที่สังเคราะห์แสงได้จะสะสมไว้ที่ลำต้นมากขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ระยะสุกเป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด ระยะนี้ต้องการแสงแดดจัดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงหรือสร้างน้ำตาลสะสมในลำต้นและต้องการอุณห๓มิต่ำหรืออากาศหนาวเย็นซึ่งจะช่วยให้นำตาลที่ใบส่งมาสะสมที่ลำต้น ถ้าอากาศหนาวติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานจะส่งเสริมให้อ้อยมีความหวานเพิ่มขึ้น ระยะนี้ต้องการน้ำน้อยกว่า 3 ระยะแรกและไม่ต้องการปุ๋ยในโตรเจนในระยะนี้หากมีปุ๋ยในโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากจะทำให้ความหวานน้อยลง (พืชเศรษฐกิจ, 2542) และ http://sugarcane2836.blogspot.com/p/blog-page_4715.html)

2.5 ฤดูการปลูกอ้อยในประเทศไทย

ธวัช และ ทิพาวดี (2543) ได้รายงานว่า การปลูกอ้อยให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงนั้น อ้อยจะต้องอยู่ในไร่ไม่น้อยกว่า 12 เดือน ฉะนั้นการจะเลือกปลูกเวลาใดเหมาะสมต้องคำนึงถึง ฝน ชนิดของดิน แหล่งน้ำ อุปกรณ์ให้น้ำ จำนวนพื้นที่ปลูกอ้อย ซึ่งสามารถแยกให้ชัดเจนได้ ดังนี้

1. การปลูกอ้อยข้ามแล้งหรือปลูกอ้อยหลังฝน การปลูกจะปลูกหลังจากหมดฤดูฝนแล้วในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะเริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคม-ปลายเดือนพฤศจิกายน ความชื้นหมด ก็เลิกปลูก แล้ว

ตัดเข้าหีบในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์อายุอ้อย 13-15 เดือน การปลูกอ้อยวิธีนี้จะใช้ความชื้นที่มีอยู่ในดินให้เป็นประโยชน์ให้มากที่สุด

2. การปลูกอ้อยน้ำราด การปลูกอ้อยวิธีนี้จะต้องมีแหล่งน้ำอยู่ใกล้แปลงอ้อย เพื่อให้ความชื้นแก่ท่อนอ้อยในช่วงปลูกเท่านั้น หลังจากยกร่องเสร็จ ปล่อยน้ำในร่องอ้อยทิ้งไว้ 1-2 วัน ดินเริ่มหมาดใส่ปุ๋ยรองพื้นวางท่อนพันธุ์ สับ 3-4 กลบท่อนพันธุ์ วิธีการเช่นนี้ ส่วนใหญ่จะ ดำเนินการในช่วง ธันวาคม – กุมภาพันธ์ ซึ่งอากาศยังไม่ร้อนจัด ถ้าปลูกในช่วงอากาศร้อนจัด เช่น มีนาคม – เมษายน ดินแห้งและแข็งจัด อ้อยที่ปลูกด้วยวิธีนี้จะมีอายุอยู่ในไร่ไม่น้อยกว่า 12 เดือน ผลผลิตและ คุณภาพจะสูง

3. การปลูกอ้อยต้นฝน การปลูกอ้อยต้นฝนส่วนใหญ่จะเริ่มเตรียมดินหลังจากฝนที่ได้ เริ่มตก ซึ่งจะเป็นช่วงเดือนเมษายนเป็นต้นไป การปลูกต้นฝนจะปลูกในสภาพร่วนเหนียว หรือดินร่วนปนทรายที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง ควรจะปลูกให้แล้วเสร็จภายในเดือนมิถุนายน ถ้าอยู่ในช่วงฝนตก (ถ้ากลบท่อนพันธุ์จะเน่า) ถ้าที่ต่ำเกรงว่าน้ำจะแช่ขัง ควรปลูกบนสันร่อง

2.6 การจัดการน้ำในการปลูกอ้อยทดลองในโรงเรือน

การศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยในกระถางมีการทดลองอยู่พอสมควรแต่ส่วนใหญ่จะไม่ระบุปริมาณการให้น้ำที่ชัดเจนนักในแต่ละช่วงอายุของอ้อยว่าให้ในปริมาณเท่าใด และแต่ละการทดลองยังมีขนาดของกระถางที่แตกต่างกันทำให้การให้น้ำมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม พบว่ามีรายงานการทำการทดลองปลูกอ้อยในกระถางขนาดเล็ก ขนาด 0.015 ลูกบาศก์เมตร โดยให้น้ำ 500 มิลลิลิตร/ต้น/วัน ในช่วง 1-3 เดือนแรก จากนั้นให้ที่ 1 ลิตร/ต้น/วัน และตั้งแต่เดือนที่ 5-12 ให้น้ำ 1.5 ลิตร/ต้น/วัน ซึ่งเป็นการให้น้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยอายุมากขึ้น (Jaiphong et al; 2017) สอดคล้องกับ หนังสือคู่มือการปลูกอ้อยของประเทศญี่ปุ่นที่มีการให้น้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น โดยที่อ้อยช่วงอายุ 1-3 เดือน จะมีการใช้น้ำอยู่ประมาณ 110 มิลลิลิตร/ต้น/วัน จากนั้นช่วงอายุ 3-6 เดือน จะเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 800 มิลลิลิตร/ต้น/วัน และตั้งแต่เดือนที่ 7 เป็นต้นไปอ้อยจะมีความต้องการน้ำอยากมากเฉลี่ยถึง 2.1 ลิตร/ต้น/วันและจะลดลงมาเล็กน้อยในช่วง ripening phase เพื่อเข้าสู่การเก็บเกี่ยว (Kiyomatsu; 1986) อย่างไรก็ตามอ้อยมีความต้องการน้ำต่อปีอยู่ในช่วง 1,100-1,800 มิลลิเมตรต่อปี แต่ก็ต้องขึ้นกับสถานที่และลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ (Carr and Knox; 2010) ขณะที่รายงานการให้น้ำเสริมในอ้อยด้วยระบบน้ำหยดในสภาพแปลงปลูก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า มีค่าเฉลี่ยการให้น้ำเท่ากับ 458 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ หรือเฉลี่ยการให้น้ำเสริมประมาณ 0.78 ลิตร/ตารางเมตร/วัน (สุดชล และธีรยุทธ; 2558) ด้วยเหตุนี้การทดลองจึงจะต้องกำหนดปริมาณน้ำให้เพียงพอต่อการปลูกในกระถางภายใต้โรงเรือน

2.7 การจัดการธาตุอาหารในอ้อย

อดิศักดิ์ (2558) ได้รายงานว่าคำแนะนำการใส่ปุ๋ยให้อ้อยควรจะใช้ค่าวิเคราะห์ดินเป็นหลักเพราะแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดีชาวไร่อ้อยส่วนใหญ่จะไม่มีการเก็บตัวอย่างดินเพื่อส่งวิเคราะห์

เพราะยังไม่ทราบว่าสำคัญอย่างไร ส่งไปที่ไหน หรือมีค่าใช้จ่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีข้อแนะนำสำหรับชาวไร่อ้อยที่ไม่มีผลวิเคราะห์ดินแต่ทราบว่าเนื้อกินเป็นชนิดใด ดังนี้

1. อ้อยที่ปลูกในดินเหนียวกับดินร่วนเหนียว ดินลักษณธนี้มักมีธาตุฟอสและโพแทสเซียมอยู่มาก สามารถแนะนำเป็นปุ๋ยเคมีสูตร 14-14-14, 15-15-15 หรือ 16-16-16 อัตรา 40-50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งครั้งแรกหลังปลูก 1 เดือน หรือหลังแต่งตอทันที ครั้งที่ 2 ใส่หลังปลูกหรือหลังแต่งตอ 2-3 เดือน ถ้าเป็นพื้นที่มีน้ำชลประทานควรเพิ่มปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15-20 กิโลกรัมต่อไร หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 25-30 กิโลกรัมต่อไรในการใส่ครั้งที่ 2

2.การใช้ปุ๋ยเคมีในดินทราย ดินทรายมักขาดธาตุโพแทสเซียมเนื่องจากถูกชะล้างได้ง่าย จึแนะนำปุ๋ยสูตร 12-12-12, 13-13-13 หรือ14-14-21 อัตรา 40-60 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่พร้อมปลูกหรือหลังแต่งตอ 20 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือใส่ครั้งที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยสูตร 21-0-0 อัตรา 30-40 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 46-0-0 อัตรา 15-20 กิโลกรัมต่อไร่โดยใส่หลังปลูกหรือหลังแต่งตอ 60 วัน ในเขตชลประทานให้เพิ่มปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 25-30 กิโลกรัมต่อไร่ ในการวส่ครั้งที่ 2

ศุภกาญจน์ และคณะ (2555) รายงานการจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในพื้นที่ดินทรายภาคตะวันออกฉียงเหนือ ในดินชุดบ้านไผ่ จ.ขอนแก่น พบว่าเมื่อพิจารณาถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินดังกล่าว ควรใส่ปุ๋ย 18-6-8 กก. (N-P2O5-K2O)/ไร่ (รวม 40 กก.) ขณะที่พันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ย 27-6-18 (N-P2O5-K2O)/ไร่ (รวม 51 กก.) ขณะที่เอกสารเผยแพร่การดูแลรักษาอ้อยของโรงงานน้ำตาลครบุรี แนะนำการใส่ปุ๋ยว่า ครั้งที่ 1 ให้ใส่ปุ๋ยรองพื้นพร้อมปลูก โดยเน้นปุ๋ยไนโตรเจนกับปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 50 กก./ไร่ โดยในครั้งที่ 2 : เมื่ออ้อยอายุ 3-4 เดือน เน้นปุ๋ยไนโตรเจนกับปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 50-100 กก./ไร่ ในกรณีที่อ้อยเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร ให้ใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 3 โดยเน้นปุ๋ยไนโตรเจน และการให้ปุ๋ยทุกครั้งควรให้ขณะดินมีความชื้น และใส่โดยการฝังกลบ (ที่มา: http://www.kbs.co.th/uploads/sustain_sugarcane/article-004.pdf) และคำแนะนำการใส่ปุ๋ยในอ้อยของบริษัทผลิตปุ๋ยเคมี ประวิทย์กรุ๊ป แนะนำให้ใส่ ครั้งที่ 1 รองพื้นพร้อมปลูกหรือ หลังตัดอ้อยไม่เกิน 15 วัน สูตร 16-16-8 + 11.0S หรือ สูตร 16-8-8 + 3.5MgO + 5.2CaO 1.9S อัตรา 50 กก./ไร่ ครั้งที่ 2 ระยะแตกกอหรือย่างปล้องประมาณ 3-4 เดือน สูตร 46-0-0 อัตรา 25-50 กก./ไร่ ครั้งที่ 3 เพิ่มผลผลิตและเร่งความหวานประมาณ 5-6 เดือน สูตร 15-7-18 + 1.7MgO + 3.9CaO หรือ สูตร 21-7-18 + 0.2MgO + 0.3CaO + 1.3S หรือ สูตร 20-8-20 + 1.2MgO + 1.5CaO อัตรา 50 กก./ไร่ (ที่มา: http://www.pravitgroup.co.th/2016/fertilizer_cane/)

ธวัช และ ทิพาวดี (2543) ได้รายงาว่า ในระยะสัปดาห์แรก ๆ ของการเจริญเติบโตอ้อยจะดูดธาตุไนโตรเจนในปริมาณมากกว่าที่ต้องการใช้จริง ๆ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในอ้อย ทั้งส่วนบนดิน และใต้ดินเพิ่มขึ้นถึงขีดสูงสุด เมื่ออ้อยอายุ 1 เดือน และหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว การลดลงของไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้น ซึ่งต้องใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นนั่นเองเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากอัตราการดูดซึมก็จะเพิ่มขึ้น ขณะที่อ้อยอายุ 6 เดือนนั้น ส่วนยอดกำลังเติบโตเต็มที่ การดูดซึมไนโตรเจนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นอัตราการดูดซึมจะลดลง อ้อยปลูกจะสามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้มากกว่าอ้อยตอ เพราะอ้อยปลูกมีระบบรากดีกว่าจึงมีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยสูงกว่า ส่วนอ้อยตอนั้นเนื่องจากโครงสร้างของดิน

เสื่อม การระบายอากาศไม่ดี ระบบรากจึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าอ้อยปลูก ดังนี้ถ้ามีการไถพรวนดินในระหว่างร่องของอ้อยตอจะทำให้การใช้ปุ๋ยดีขึ้น

ในส่วนของฟอสฟอรัสมีผลมากต่อการเจริญเติบโตของรากและหน่อ ธาตุฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างโปรตีน และเชื่อกันกว่าทำหน้าที่บังคับการทำงานของเซลล์ส่วนใหญ่ ปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมดในดินแต่ละแห่งแตกต่างกัน และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะแตกต่างกันยิ่งขึ้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่แนะนำให้ใส่พร้อมกับน้ำชลประทาน ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสจะถูกตรึงอย่างเหนียวแน่น โดยดินชั้นบน การเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยฟอสฟอรัส ควรคำนึงถึงการใส่ปุ๋ยดังกล่าวในรูปที่ละลายน้ำ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดนั่นคือ ใกล้รากอ้อยและใกล้ระดับล่างสุดของชั้นที่มีรากมาก ที่สุด ร่วมกับการไถให้ลึกถึงดินชั้นล่างเพื่อให้ฟอสฟอรัสที่ดินเก็บไว้จะได้เป็นประโยชน์ต่อพืช การผสมหินฟอสเฟตที่บดละเอียดกับดินชั้นล่างที่ขาดฟอสฟอรัสจะช่วยส่งเสริมให้อ้อยมีรากมากและหยั่งลึกด้วย

อ้อย เป็นพืชที่ต้องการธาตุโปแตสเซียม ในปริมาณมากกว่าธาตุอาหารชนิดอื่น หน้าที่ของธาตุโปแตสเซียมมีมากมายหลายอย่าง เช่น ช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างโปรตีน การเคลื่อนย้ายโปรตีนและน้ำตาลต่าง ๆ ช่วยในการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสูงต้นพืช ช่วยให้รากเจริญเป็นปกติ เป็นต้น จากบทบาทอันสำคัญของธาตุโปแตสเซียมที่มีบทบาทต่อการเปิดปิดของปากใบพืชนั่นเอง แสดงให้เห็นว่า ธาตุโปแตสเซียมมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อพืชและไม่มีไอออนชนิดใด ๆ ที่พบในพืชจะสามารถทำหน้าที่แทนได้เลย ปริมาณโปแตสเซียมที่อ้อยต้องการ ขึ้นอยู่กับชนิดดินนั้นมีความสามารถที่จะให้ โปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ดินเหนียวส่วนมากมีโปแตสเซียมเพียงพอ แต่ดินทราย อาจมี โปแตสเซียมไม่เพียงพอ ควรให้ปุ๋ยโปแตสเซียมควบคู่กับการไถเตรียมดิน ในดินเหนียวควรให้ปุ๋ยโปแตสเซียมประมาณ 10-20 กิโลกรัม ห/ไร่/ปี เมื่ออ้อยอายุประมาณ 3-7 เดือน ให้ปุ๋ยโปแตสเซียม ประมาณ 15-30 กก./ไร่

ประสิทธิ์ และ สุนทรี (2555) รายงานผลการวิจัยปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84 ว่าโดยได้ประเมิณแยกเป็นสองส่วน คือ ปริมาณธาตุอาหารในมวลแห้งทั้งหมดของอ้อย และปริมาณธาตุอาหารเฉพาะส่วนของลำอ้อยที่เก็บเกี่ยวออกจากแปลง พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหารเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรง ซึ่งค่าความลาดชันจะเท่ากับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%เชิงมวลแห้ง) สำหรับมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด (Md_w) ได้ค่าเฉลี่ย N=0.667%, P=0.113%, K=1.5% เมื่อ $Md_w \leq 8$ ตันต่อไร่ และ K=120 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อ Mdw > 8 ตันต่อไร่ Ca= 0.148% และ Mg = 0.118% สำหรับมวลแห้งผลผลิตลำอ้อย (Md_{cy}) มีความเข้มข้นเฉลี่ย N = 0.636%, P = 0.106%, K = 1.332% เมื่อ Mdcy ≤ 2.6 ตันต่อไร่ และ K = 35 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อ Mdcy > 2.6 ตันต่อไร่ Ca = 0.081% และ Mg = 0.115% โดยที่ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมวลแห้งของอ้อย ยกเว้นโพแทสเซียมที่จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนคงที่ระดับหนึ่งและพบว่าโพแทสเซียมมีมากึง 51% ของปรมาณมหธาตุอาหารรวมทุกชนิด ปริมาณมหธาตุอาหารในลำอ้อยที่เก็บเกี่ยวมีค่าประมาณ 24% ของที่ปรากฏในมวลแห้งของอ้อย และเมื่อคำนวณผลผลิตลำอ้อยสด 20 ตันต่อไร่ มหธาตุอาหารพืชที่ปรากฏในมวลแห้งของลำอ้อยที่เก็บเกี่ยวออกไปเท่ากับ N = 24.7, P = 4.1, K = 35.0, Ca = 3.2 และ Mg = 4.4 กิโลกรัมต่อไร่ สูตรปุ๋ยเคมีที่ตรงกับปรมาณธาตอาหารในมวลอ้อย

ทั้งหมดคือ N:P:K เท่ากับ 6:1:10 โดยช่วงที่อ้อยมีความต้องกรธาตุอาหารมากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงที่อ้อยสร้างมวลแห้งมากที่สุดคือ 8 เดือน ดังนั้นการใส่ธาตุอาหารให้กับอ้อยให้ได้เท่ากับปริมาณที่นำออกไปและตรงกับช่วงที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ก็จะส่งผลดีในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของอ้อยอย่างยั่งยืน

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

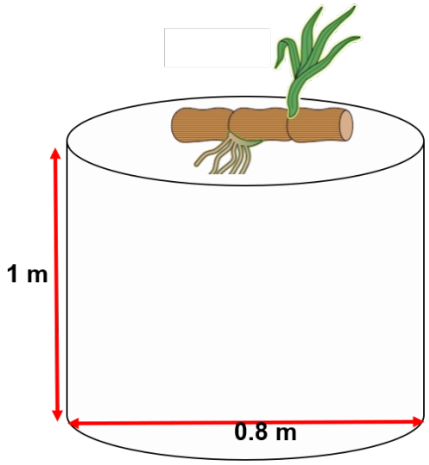
การทดลองการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ ได้ดำเนินการทดลอง ณ โรงงานน้ำตาลมิตรผลภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด

การทดลอง การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

3.1 การเตรียมพื้นที่และต้นกล้าในการวิจัยในโรงเรือน

(1) ทำการเพาะกล้าอ้อยจากท่อนพันธ์อ้อยพันธ์ขอนแก่น 3 ในถาดปลูก จนต้นกล้ามีอายุ 1 เดือนจึงย้ายลงปลูกในกระถางที่เตรียมไว้

(2) เตรียมกระถาง กระถางที่ใช้จะใช้ท่อซีเมนต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 50 เซนติเมตร 2 อันต่อกัน รวมสูง 100 เซนติเมตร โดยด้านล่างของท่อซีเมนต์ใบล่างจะปิดด้วยแผ่นซีเมนต์และมีรูระบายน้ำ

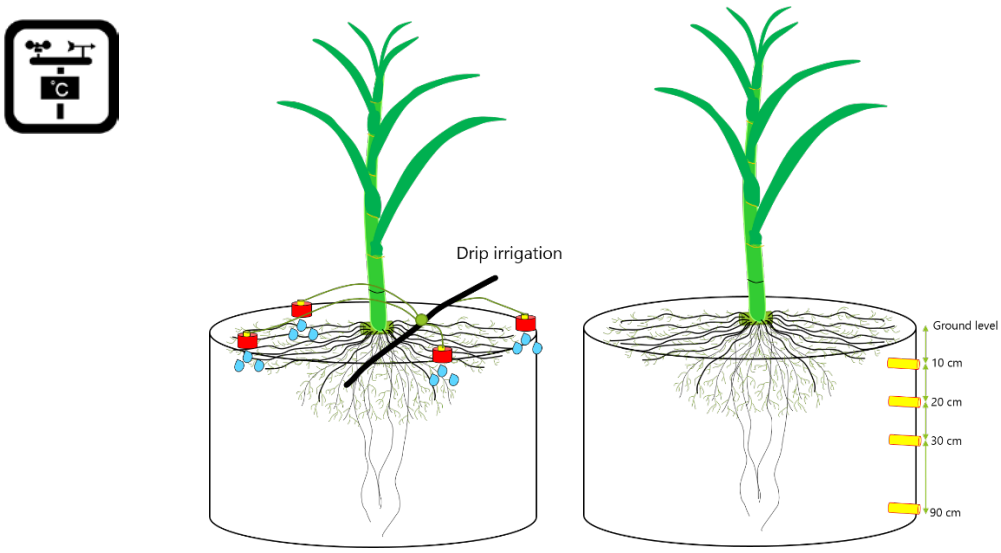


รูปที่ 8 กระถางที่ใช้ในการทดลอง ทำจากท่อซีเมนต์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร 2 อันต่อกัน

จากนั้นนำกระไปวางในโรงเรือนและนำดินในพื้นที่แปลงทดลองมาเติมให้เต็ม รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 21-7-18 โดยใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือในการทดลองนี้ใช้ 24.5 กรัมต่อกระถางพื้นที่ 0.78 ตารางเมตร จากนั้นจึงย้ายกล้ามาปลูก

(3) เมื่อย้ายลงปลูกแล้วจะทำการวางระบบน้ำหยดเพื่อให้ทุกต้นได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอในเดือนแรกก่อนเปลี่ยนแปลงตามกรรมวิธีที่กำหนด (รูปที่ 9)

(4) เมื่อย้ายปลูกลงในกระถางแล้ว ภายกระถางจะติดตั้งเครื่องวัดความชื้นในดินและอุณภูมิในดิน ที่ความลึก 10 20 30 และ 90 เซนติเมตร ทั้งหมดจำนวน 3 ชุดเพื่อเป็นตัวแทนของความแตกต่างกันของความชื้นในการให้น้ำในการทดลอง รวมไปถึงติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสง อุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน เพื่อติดตามสภาวะแวดล้อมในดินตลอดการทดลอง (รูปที่ 8)

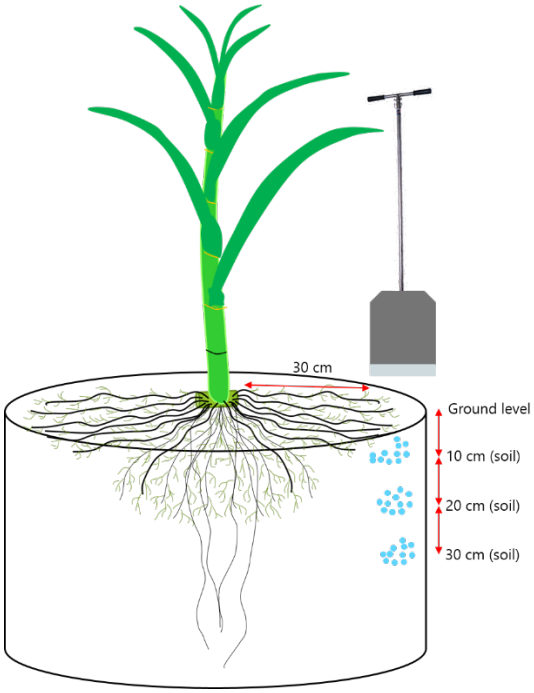


รูปที่ 9 ติดตั้งระบบน้ำและอุปกรณ์วัดความชื้นดิน อุณภูมิ ที่ระดับความลึกต่างๆ ตามตำแหน่งการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีทดลอง

3.2 การวางแผนการทดลองและการเก็บข้อมูล

(1) การทดลองจะเริ่มเมื่ออ้อยมีอายุครบ 3 เดือน โดยในช่วง 1-3 เดือนแรกจะมีการให้น้ำหยดในอัตรา 1 ลิตร ต่อต้นต่อวัน และเมื่อครบ 3 เดือน เริ่มการทดลองโดยมีการให้น้ำโดยน้ำหยด 2 รูปแบบ คือ การให้น้ำหยดปกติ (control) สัปหาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ครั้งละ 8 ลิตร และ ไม่มีการให้น้ำจนถึงอายุ 6 เดือน เพื่อจำลองการขาดน้ำ (แล้ง) ในช่วงการเจริญเติบโต โดยก่อนการฝังปุ๋ยและการงดน้ำในกรรมวิธีที่ไม่มีการให้น้ำจะมีการให้น้ำกับอ้อยในทุกกรรมวิธีก่อนเริ่มทำการทดลอง หรือในทุกกระถางจะได้รับน้ำประมาณ 80 ลิตร จากนั้นจะทำการฝังปุ๋ยสูตร 21-7-18 โดยใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ 25 กรัมต่อกระถาง (คำนวณจากพื้นที่กระถาง) เมื่ออ้อยอายุได้ 3 และ 6 เดือน ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันคือ ที่ 10 20 และ 30 เซนติเมตร โดยฝังห่างจากโคนต้น 30 เซนติเมตร โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นตามรูปที่ 10 ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กปลายคมเจาะเป็นแนวเส้นตรงห่างจากอ้อย 30 เซนติเมตร ตามระดับความลึกของแต่ละกรรมวิธี ดังรูปที่ 10 จากนั้นใส่ปุ๋ยและฝังกลบ โดยแต่ละต้นจะใส่ปุ๋ย 25 กรัมต่อกระถางในพื้นที่ 0.78 ตารางเมตร (เทียบเท่า 60 กิโลกรัม/ไร่) เหตุผลที่ใช้อุปกรณ์เจาะดินเพื่อการใส่ปุ๋ยนี้เพื่อให้ไกล้เคียงกับการ ริบเปอร์ (riper) ที่ใช้แหวกดินเพื่อใส่ปุ๋ยในเครื่องฝังกลบปุ๋ยทั่วไป

(2) การทดลองนี้ประกอบด้วย รูปแบบการให้น้ำ 2 รูปแบบและความลึกในการฝังกลบปุ๋ยอีก 3 ระดับ รวมเป็น 6 กรรมวิธีทดลอง ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ จึงมีจำนวนกระถางทั้งหมด 24 กระถาง แต่เพื่อการเก็บตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์ 3 ครั้งคือที่ 3 เดือน 6 เดือน และเก็บเกี่ยวจึงต้องทำการปลูกเพิ่มเป็น ที่อายุ 3 เดือน 4 กระถาง ที่อายุ 6 และเก็บเกี่ยว อีกอย่างละ 24 กระถางทั้งหมด 52 กระถาง โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)



รูปที่ 10 รูปแบบและวิธีการฝังปุ๋ยในแต่ละกรรมวิธี เมื่ออ้อยอายุ 3 และ 6 เดือน

3.3 การเก็บข้อมูลการทดลอง

(1) เมื่ออ้อยอายุได้ 3 และ 6 เดือน รวมถึงเมื่อครบกำหนดเก็บเกี่ยวจะมีการเก็บตัวอย่างรากและการเจริญเติบโต โดยทำการแยกส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเพื่อเก็บข้อมูล (รูปที่ 11)

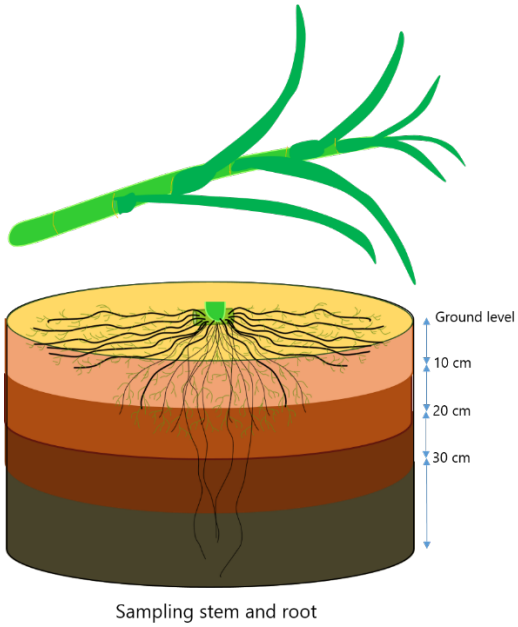
(1.1) ส่วนเหนือดิน คือ ลำต้น จะทำการวัด ความสูงอ้อย เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวของลำต้น น้ำหนักลำต้น น้ำหนักสดและแห้ง จำนวนใบ พื้นที่ใบ รวมถึงค่าบริกซ์

(1.2) ส่วนใต้ดิน คือราก จะทำการวัด root biomass ของแต่ละระดับความลึกและการกระจายตัวตัวในแนวระนาบ โดยเก็บข้อมูลดังนี้

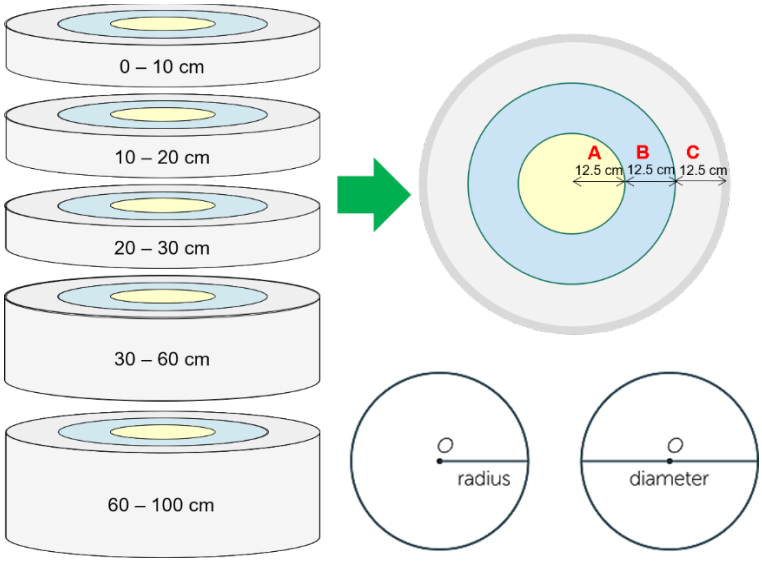
- ข้อมูลการกระจายตัวของรากแนวตั้ง (vertical) และ root biomass ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 เซนติเมตร ที่ 3 6 และ 12 เดือน (เก็บเกี่ยว) (รูปที่ 12)
- ข้อมูลการกระจายตัวของรากแนวนอน (horizontal) และ root biomass ที่รัศมีแบ่งออกเป็น 3 ช่วงในแต่ละชั้นดินคือ 12.5 12.5-25 และ 25-37.5 ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 เซนติเมตร ที่ 3 6 และ 12 เดือน (เก็บเกี่ยว) (รูปที่ 12)

จากนั้นหาน้ำหนักแห้งของรากโดยนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศา ชั่งและหาน้ำหนักแห้ง เพื่อดูปริมาณการกระจายตัวของรากในแต่ละระดับความลึกที่กำหนด

(2) ตั้งแต่เดือนที่ 7-12 จะมีการวัดด้วยเครื่อง portable Measurement Device for Sugarcane (Non-destructive cane measurement) เพื่อหาค่า Brix Pol fiber และ ccs



รูปที่ 11 การเก็บตัวอย่างเมื่ออ้อยอายุ 3 และ 6 เดือน โดยแยกเป็นส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน



รูปที่ 12 การเก็บตัวอย่างเมื่ออ้อยอายุ 3 6 และ 12 เดือน

(3) เมื่ออ้อยอายุครบ 12 เดือน ทำการเก็บเกี่ยว และมีการเก็บตัวอย่างรากและการเจริญเติบโต โดยทำการแยกส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเพื่อเก็บข้อมูล เช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตที่ 3 และ 6 เดือน

เมื่อหีบน้ำอ้อยแล้วนำน้ำอ้อยไปวิเคราะห์น้ำตาล ได้แก่ กลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส ด้วยเครื่อง High-performance liquid chromatography system ซึ่งข้อมูลนี้จะนำไปหา sugar yield จากสูตร

$$\text{Sugar yield} = \text{sucrose content (\%)} / 100 \times \text{stem weight (g)} \times 0.5$$

where the value 0.5 represents the mean efficiency of the squeezing machine, as calculated by (1 – bagasse weight) / stem weight.

(4) ข้อมูลอื่น ๆ ที่เก็บเพิ่มเติม

ข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยทำการเก็ข้อมูลทุกเดือน ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว โดยมีข้อมูล ต่าง ๆ ดังนี้ ความสูงของอ้อย เส้นผ่านศูนย์กลางลำอ้อย จำนวนข้อ ความยาวของข้อ จำนวนกอต่อพื้นที่ และจำนวนลำต่อกอ

(5) ข้อมูลสภาพอากาศต่างๆ โดยติดตั้งสถานีตรวจวัดอากาศและสภาพแวดล้อมไว้ในแปลงทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละกรรมวิธี รวมทั้งเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาแอปพลิเคชั่น ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของชุดโครงการนี้ โดยทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- daily maximum and minimum temperatures
- daily average relative humidity
- Total incident solar radiation

(6) เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของแต่ละกรรมวิธี สรุป วิเคราะห์ผลการทดลองและจัดทำรายงาน

3.4 การดำเนินการทดลอง ได้ดำเนินการมีดังต่อไปนี้

1. การจัดการโรงเรือนทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ใช้โรงเรือนเพาะชำที่มีขนาดใหญ่ ขนาด กว้าง 12 เมตร ยาว 24 เมตร จั่วสูง 6 เมตร ซึ่งเหมาะสมต่อการทดลอง แต่เนื่องด้วยโรงเรือนนี้เป็นเรือนเพาะชำเดิมจึงต้องมีการปรับปรุงอย่ามากเพื่อทำหลังคาพลาสติกคุมเพื่อกันฝนและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

รูปที่ 13

โรงเรือนเพาะชำที่คลุมด้วยมุ้งตาข่ายทั้งโรงเรือน ขนาด กว้าง 12 เมตร ยาว 24 เมตร สูง 6 เมตร

รูปที่ 14 ทีมงานกำลัง

ติดตั้งรางล๊อคพลาสติกที่จะคลุมบนหลังคาเพื่อให้พลาสติกตึงและแข็งแรง

รูปที่ 15 คลุมหลังคาด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันฝน

รูปที่ 16 

โรงเรือนแล้วเสร็จพร้อมสำหรับการทดลอง

2. การเตรียมการทดลองอื่นๆ

2.1 ได้ทำการเพาะต้นกล้าเพื่อใช้ในการทดลองแล้วในพื้นที่ของศูนย์นวัตกรรมและการวิจัยมิตรผล โดย ดร.เคนตะ วาตานาเบะ

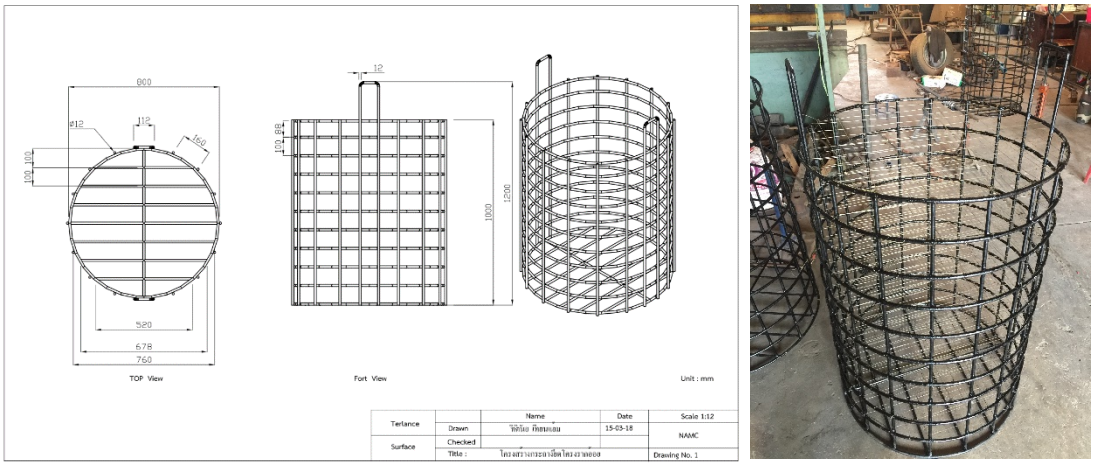
รูปที่ 17 ต้นกล้าอ้อยที่เพาะไว้สำหรับการทดลอง

2.2 ได้สั่งทำลองซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร จำนวน 100 อัน พร้อมฝารอง ซึ่งจะดำเนินการนำเข้าโรงเรือนเมื่อโรงเรือนแล้วเสร็จ

2.3 ได้ทำการสั่งซื้อดิน (หน้าดิน) ที่จะใช้ในการทดลองแล้วกับเจ้าหน้าที่ของศูนย์นวัตกรรมและการวิจัยมิตรผล

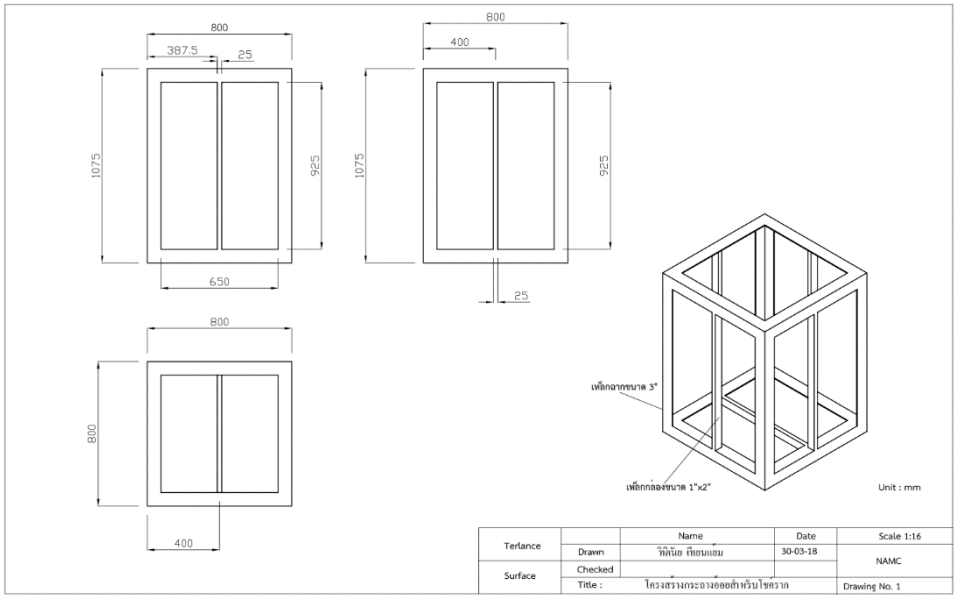
2.4 ได้ดำเนินการสร้างกระถางปลูกแบบพิเศษเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของรากแล้วโดยได้รับคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิ โดยประกอบด้วยกระถางปลูก 2 แบบ คือ

2.4.1 กระถางตระแกรง (net pot) ที่จะวางลงในรองซีเมนต์ เป็นโครงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 เซนติเมตร สูง 1 เมตร มีหูเหล็กไว้ดึงขึ้นจากรองซีเมนต์ ภายในโครงเหล็กจะมีระยะห่างกัน 10 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละชั้นจะถูกขึงด้วยเส้นเอ็นใสเป็นตารางเพื่อศึกษารากแต่ระละดับความลึกทุก ๆ 10 เซนติเมตร และเมื่อล้างดินออกจะเห็นโครงสร้างรากทั้งหมดในกระถางของแต่ละระดับความลึก ซึ่งได้ดำเนินการสร้างทั้งหมด 3 ชุด



รูปที่ 18 โครงสร้างภายในกระถางพิเศษเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของราก เพื่อศึกษาโครงสร้างรากในแต่ละระดับความลึก

2.4.2 กระถางแบบพิเศษเพื่อศึกษาการเจริญของราก กระถางนี้ออกแบบให้เป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาดกว้าง 80 ยาว 80 สูง 100 เซนติเมตร โดยมีสองด้านของกระถางนี้เป็นแผ่นอะคริลิคใสและอีกสองด้านเป็นไม้ สามารถมองวัดและเห็นการเจริญเติบโตของรากได้ มีการสร้างทั้งหมด 3 ชุด



รูปที่ 19 แบบของกระถางพิเศษที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาการเจริญของรากแต่ละช่วงอายุ ขณะนี้อยู่ระหว่างการสร้าง

2.5 ได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ (Weather station) ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลต่างต่างภายในโรงเรือนเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 20 การติดตั้ง Weather station และระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลต่างต่างภายในโรงเรือน

หลังจากการเตรียมพื้นที่โรงเรือนเพื่อทำการทดลองแล้วเสร็จจึงได้ดำเนินการเตรียมกระถางเพื่อปลูกพืชเพื่อการทดลองโดยมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

3. การเตรียมดินที่ใช้ในการทดลอง

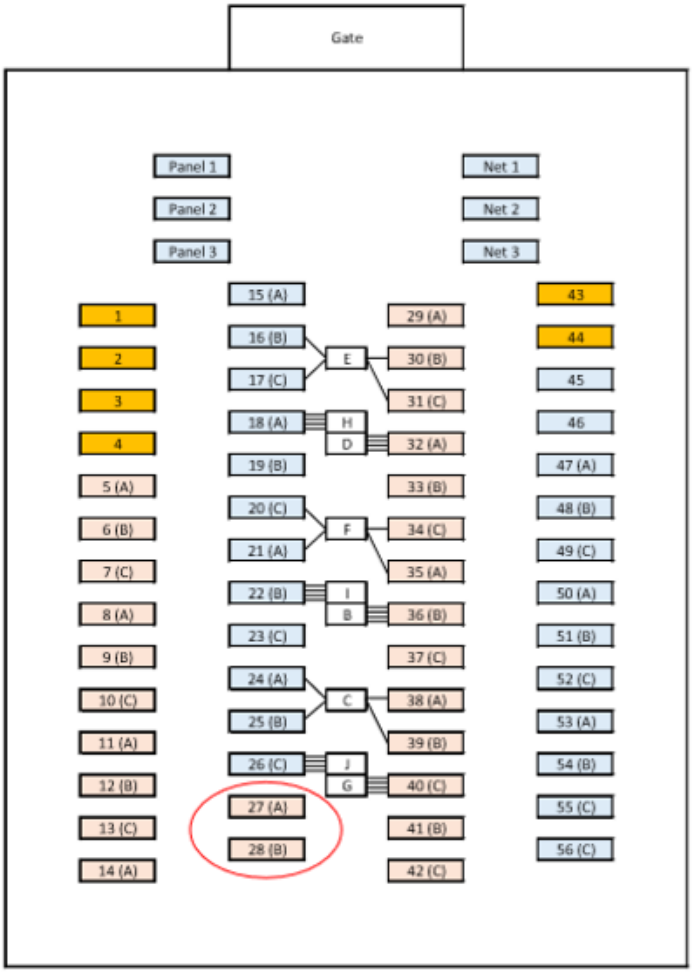
การเตรียมดินเพื่อใช้ในการทดลองเป็นอีกงานหนึ่งที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การวิจัยล่าช้าเนื่องมาจากไม่สามารถหาซื้อดินเพื่อนำมาทำการทดลองได้เพราะหน้าดินที่จะนำมาทดลองหายาก จึงได้ทำการสำรวจในพื้นที่และได้ดินมาเพื่อใช้ในการทดลอง ในวันที่ 5 พฤษภาคม 2561

รูปที่ 21 ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่ขอซื้อมาจากแปลงอ้อยในอำเภอภูเขียว โดยใช้หน้าดินที่ขุดจากแปลงอ้อยเพื่อใช้ในการทดลอง

3.1 การเตรียมกระถางปลูกเพื่อทำการทดลอง

การผังการทดลองและการเตรียมกระถางปลูกอ้อย โดยใช้รองซีเมนต์ 2 ชิ้นต่อกันและมีแผ่นรองซีเมนต์รองด้านล่างเป็นกระถางสำหรับการปลูกอ้อย 1 ชุด จากนั้นนำดินมาเติมจนเต็มกระถางโดยผสมและ

คลุกเคล้าดินให้เข้ากันก่อนใส่ลงกระถางในอัตราส่วนที่เท่ากันเนื่องจากดินที่ได้นำมาจากพื้นที่ 2 แห่ง ที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นจะมีการฉีดน้ำให้ดินยุบตัวและเติมดินเข้าไปอีกจนปริมาตรดินเต็มกระถางการย้ายต้นกล้าอ้อยลงปลูก



รูปที่ 22 แผนผังการวางกระถางตามแผนการทดลอง

รูปที่ 23 ขั้นตอนการนำดินเข้าไปเติมในกระถางในโรงเรือน โดย 1 กระถางใช้ดินปริมาตร 0.5 m^3

รูปที่ 24 กระถางพิเศษ Net pot เพื่อศึกษาการเจริญของรากในแต่ละระดับความลึก

รูปที่ 25 กระถาง Acrylic boxes เพื่อศึกษาการเจริญของราก

4. การเตรียมระบบน้ำในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้ระบบน้ำหยดในการทดลอง โดยได้ติดตั้งระบบน้ำหยดก่อนการย้ายปลูกอ้อย เนื่องจากก่อนปลูกจะมีการทดสอบระบบน้ำว่ามีความสม่ำเสมอกันในทุกจุดของพื้นที่ทดลอง และมีการเปิดน้ำลงไปในกระถางปลูก่อน 2-3 วันเพื่อให้ดินในกระถางเกิดการเซ็ตตัว ทำให้ดินยุบตัวลงและมีการเติมดินอีก 1-2 ครั้ง จนระดับของดินคงที่ก่อนย้ายกล้าลงปลูก การทดลองนี้ใช้ระบบน้ำหยดที่ใช้หัวหยดขนาด 8 ลิตร/ชั่วโมง โดยใน 1 กระถางจะกระยายหัวหยดออกเป็นสี่หัวเพื่อให้ความชื้นที่พืชได้รับสม่ำเสมอ ในช่วงแรกของการปลูกอ้อยอายุ 1-3 เดือน จะให้น้ำกับอ้อยวันละ 1 ลิตร/ต้น/วัน


รูปที่ 26 ทำการติดตั้งน้ำหยด

แต่ละกระถางประกอบด้วย 4 หัวหยดเพื่อการให้น้ำที่สม่ำเสมอทั่วทุกด้าน

5. ติดตั้งระบบ sensors

เพื่อเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ เช่น 10 20 30 และ 90 เซนติเมตร และติดตั้ง weather station ในโรงเรือนทดลองโดยใช้อุปกรณ์ของบริษัทมิตรผล



รูปที่ 27 ทำการติดตั้ง sensors วัดความชื้นและอุณหภูมิ ที่ระดับความลึก 10 20 30 และ 90 เซนติเมตร และติดตั้ง weather station ในโรงเรือนทดลอง

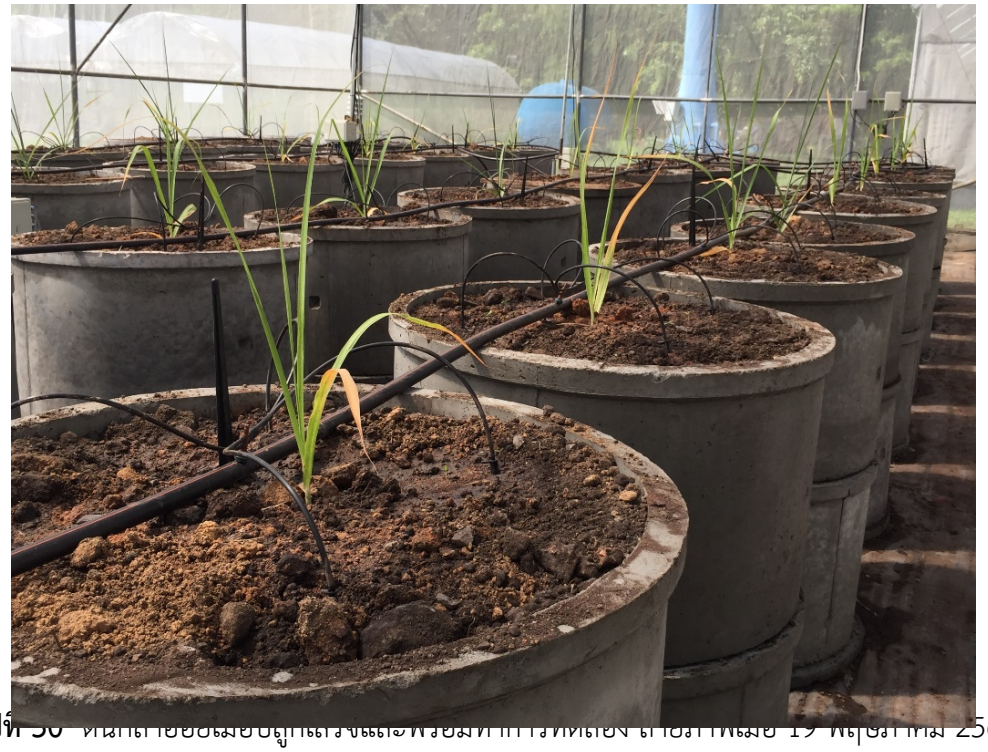
6. การย้ายปลูกต้นกล้าอ้อยลงกระถาง

หลังจาการเตรียมการด้านต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มการทดลองโดยทำการย้ายต้นกล้าอ้อยอายุ 1 เดือนลงปลูกในกระถาง พร้อมใส่ปุ๋ยรองพื้นและให้น้ำ โดยได้ทำการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร ใส่ปุ๋ยรองพื้น สูตร 21-

7-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 25 กรัม/กระถาง โดยใส่ลึก 10 เซนติเมตร 4 จุดรอบต้นอ้อย และให้น้ำกับอ้อยในปริมาตร 1 ลิตร/วัน จนอ้อยอายุ 3 เดือน

รูปที่ 28 ทำการปลูกอ้อยเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2561 ที่ใส่ปุ๋ยรองพื้นและให้น้ำจนชุ่มและให้น้ำต่อเนื่องด้วยระบบน้ำหยด

รูปที่ 29 ใส่ปุ๋ยรองพื้น สูตร 21-7-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 25 กรัม/กระถาง โดยใส่ลึก 10 เซนติเมตร 4 จุดรอบต้นอ้อย



รูปที่ 30 ต้นกล้าอ้อยอเมอบถูกแรงและพร้อมทำการทดลอง เกษตรกรเมื่อ 19 พฤษภาคม 2561

7. การเจริญเติบโตของอ้อย

ในช่วง 1-3 เดือนแรกของการเจริญเติบโต อ้อยสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีการแตกกอจึงต้องทำการถอนทิ้งเพื่อรักษาต้นแม่ไว้เพียงต้นเดียวเพื่อลดการแข่งขันและให้ต้นแม่แสดงออกในเรื่องการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ดีในช่วงอายุ 3-4 เดือน พบการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อน (ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Aphis craccivora*) อย่างรวดเร็วอย่างไรก็ตามสามารถควบคุมได้โดยการฉีดพ่นยาฆ่าแมลง อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) อัตรา 3 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร โดยฉีดพ่น 1 ครั้ง

รูปที่ 31 ต้นกล้าอ้อยเมื่อปลูกเสร็จและพร้อมทำการทดลอง ถ่ายภาพเมื่อ 19 พฤษภาคม 2561

8. เริ่มการทดลองตามกรรมวิธีที่กำหนด และเก็บข้อมูลต่าง ๆ

เมื่ออ้อยอายุครบ 3 เดือน (รวมอายุต้นกล้า) จะเริ่มทำการทดลองตามกรรมวิธีที่วางแผนไว้และเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน โดยทำการสุ่มตัวอย่างอ้อย 4 กระถาง หรือ 4 ซ้ำ เพื่อเก็บตัวอย่างการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน(ลำต้น)และส่วนใต้ดินในเรื่องของการกระจายตัวของราก

จากนั้นเริ่มการทดลองโดยใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่าง ๆ คือ 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับร่วมกับการจัดการน้ำ 2 รูปแบบคือให้น้ำปกติ โดยให้น้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ๆ 8 ลิตร และกรรมวิธี ที่ไม่มีการให้น้ำ (แล้ง) และดำเนินการให้น้ำตามกรรมวิธีจนอ้อยอายุได้ 6 เดือน รวมระยะเวลา 90 วันหรือ 3 เดือน จึงเปลี่ยนมาให้น้ำตามปกติ

8.1 ก่อนดำเนินการใส่ปุ๋ยได้ทำการเก็บข้อมูลความแข็งของดินในกระถางโดยใช้ soil penetrometer รุ่น SR-2 Type DIK-5500 โดยทำการวัดที่ความลึก 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยวัดห่างจากลำต้นประมาณ 30 เซนติเมตร

รูปที่ 32 ทำการสำรวจความแข็งของดินโดยใช้ Soil penetrometer ที่ระยะห่างจากต้น 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะเดียวกับการฝังปุ๋ย

8.2 การฝังปุ๋ย ทำการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกต่าง ๆ ตามกรรมวิธีที่กำหยด คือ 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นเหล็กแบนปลายคมสามารถเจาะลงไปในดินที่ความลึกตามกรรมวิธี ตามภาพด้านล่าง

รูปที่ 33 เครื่องมือที่ใช้ในการเจาะดิน (ซ้าย) และการเจาะดินเป็นแนวเส้นตรงขนานไปกับแถวโดยมีระยะห่างจากโคนอ้อยประมาณ 30 เซนติเมตร ทั้ง 2 ด้านของต้นอ้อย (ขวา)

รูปที่ 34 ร่องที่เกิดจากการเจาะ (ซ้าย) และการใสปุ๋ยโดยใช้ท่อพีวีซีนำที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อให้มั่นใจว่าปุ๋ยได้ลงไปที่ระดับความลึกนั้นๆ (ขวา) จากนั้นกลบหลุมให้ปิดสนิท

8.3 หลังจากใส่ปุ๋ยเสร็จแล้วเริ่มการทดลองโดยมีการให้น้ำโดยน้ำ 2 รูปแบบ การให้น้ำหยดปกติ (control) สัปหาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ครั้งละ 8 ลิตร ต่อต้น และ ไม่มีการให้น้ำ จนถึงอายุ 6 เดือน เพื่อจำลองการขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโต

8.4 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เมื่ออ้อยอายุได้ 3 เดือน จะมีการเก็บตัวอย่างรากและการเจริญเติบโต โดยทำการแยกส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเพื่อเก็บข้อมูล

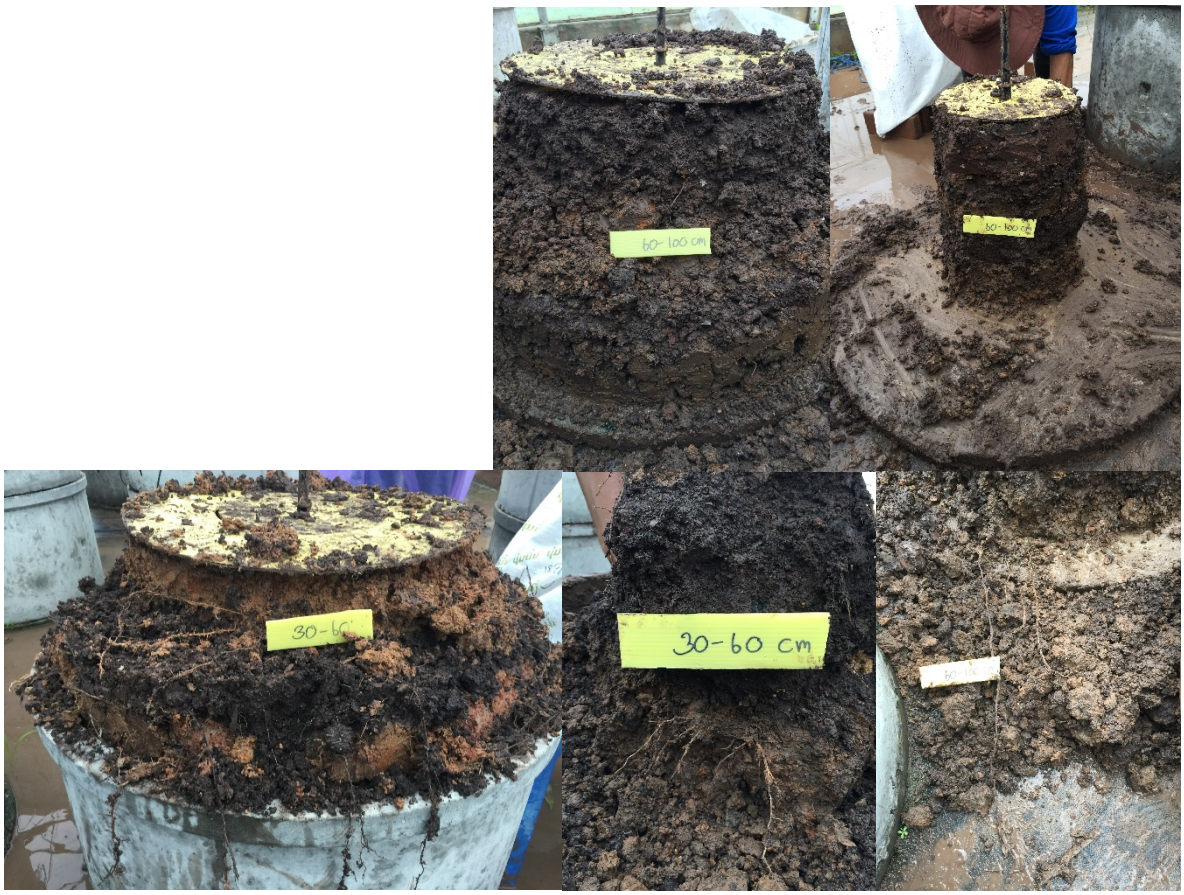
8.4.1 ส่วนเหนือดิน คือ ลำต้น จะทำการวัด ความสูงอ้อย เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวของลำต้น น้ำหนักลำต้น น้ำหนักสดและแห้ง จำนวนใบ พื้นที่ใบ

8.4.2 ส่วนใต้ดิน คือราก จะทำการวัด root biomass ของแต่ละระดับความลึกและการกระจายตัวตัวในแนวระนาบ โดยเก็บข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลการกระจายตัวของรากแนวตั้ง (vertical) และ root biomass ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 เซนติเมตร

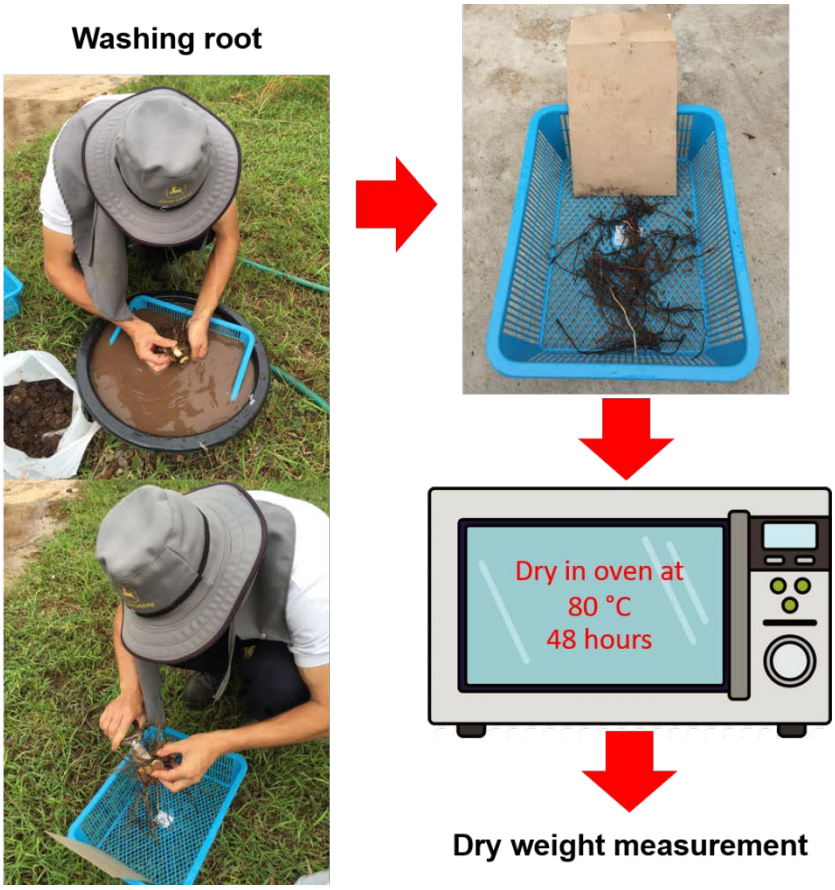
- ข้อมูลการกระจายตัวของรากแนวนอน (horizontal) และ root biomass ที่รัศมีแบ่งออกเป็น 3 ช่วงในแต่ละชั้นดินคือ 12.5 12.5-25 และ 25.37.5 ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 เซนติเมตร

รูปที่ 35 การเก็บข้อมูลการเจริญของรากที่ระดับความลึกและรัศมีต่างๆ



รูปที่ 36 การเจริญของรากที่ระดับความลึกและรัศมีต่างๆ

รูปที่ 37 ตัวอย่างดินและรากในแต่ละระดับความลึกและรัศมีต่างๆ จะถูกนำมารวมไว้เพื่อทำการล้างรากต่อไป



รูปที่ 38 ทำการล้างรากในแต่ละระดับความลึกและรัศมีต่างๆ และนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้งและดูการกระจายตัวของราก

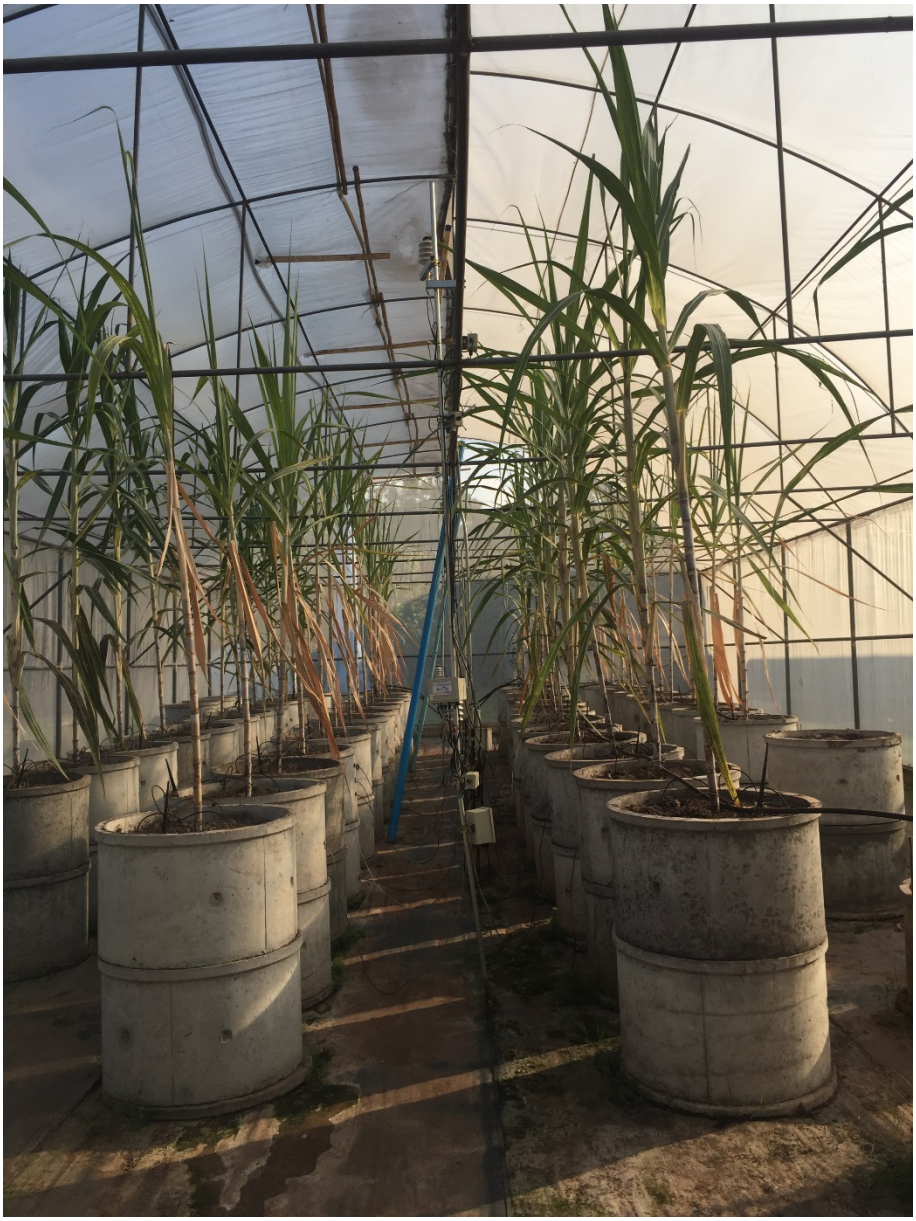
เมื่อเก็บข้อมูลอ้อยที่ 3 เดือนครบแล้วจะทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

9. การดำเนินการวิจัยเมื่ออ้อยอายุครบ 6 เดือน

เมื่ออ้อยอายุครบ 6 เดือน จะทำการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนดอีกครั้ง แต่จะมีการกลับมาให้น้ำแบบปกติกับกรรมวิธีที่งดน้ำ โดยจะทำการให้น้ำเพิ่มขึ้นตามลำดับอายุของอ้อย คือให้น้ำที่อัตรา 8 ลิตร ต่อต้น 3 ครั้ง ต่อสัปดาห์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยและการเจริญของรากอ้อยที่อายุ 6 เดือน โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลเมื่ออ้อยอายุได้ 3 เดือน

9.1 ก่อนดำเนินการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ได้ทำการเก็บข้อมูลความแข็งของดินในกระถางโดยใช้ soil penetrometer รุ่น SR-2 Type DIK-5500 โดยทำการวัดที่ความลึก 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยวัดห่างจากลำต้นประมาณ 30 เซนติเมตร

9.2 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน โดยทำการเก้บข้อมูลการเจริญเติบโตของส่วนเหนื่อดินหรือลำต้น และการเจริยของรากโดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลเดียวกับการเก็บข้อมมูลเมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน



รูปที่ 39 การเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน มีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนระหว่างกรรมวิธีที่งดน้ำ (ซ้าย) และกรรมวิธีที่มีการให้น้ำตามปกติ (ขวา)

รูปที่ 40 ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน

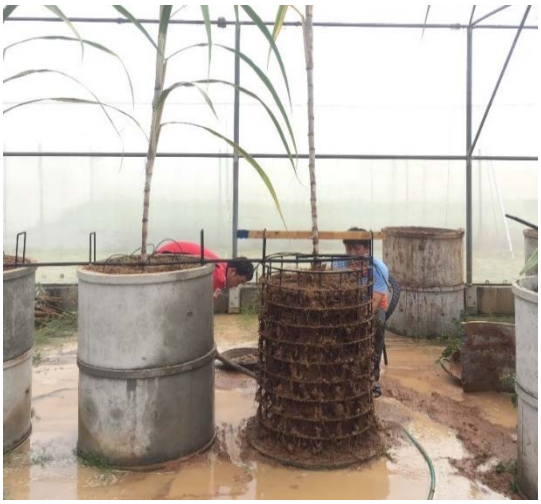
รูปที่ 41 ทำการเก็บข้อมูลความหวานอ้อยที่อายุ 6 เดือน โดยทำการหีบน้ำอ้อยเพื่อหาค่า BRIX Pol %Pol %Fiber %Purity และ CCS และเพื่อนำตัวอย่างน้ำอ้อยไปวิเคราะห์ sugar analysis

9.3 การเก็บข้อมูลรากที่อ้อย อายุ 6 เดือน ทำเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลรากเมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน

รูปที่ 42 ทำการเก็บข้อมูลการเจริญของรากที่ระดับความลึกและรัศมีต่างๆ ที่อ้อยอายุ 6 เดือน

9.4 การใส่ปุ๋ย ทำการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกต่าง ๆ คือ 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นเหล็กแบนปลายคมสามารถเจาะลงไปในดินที่ความลึกตามกรรมวิธี โดยใช้วิธีการเหมือนกันกับการฝังปุ๋ยเมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน แต่หลังจากการใส่ปุ๋ยแล้วจะมีการให้น้ำเหมือนกันทั้งสองกรรมวิธี คือให้น้ำในอัตรา 8 ลิตร/ครั้ง 3 ครั้ง/สัปดาห์

9.5 การศึกษาการเจริญของรากใน Net pot โดยทำการศึกาในกระถางที่มีโครงเหล็กสูง 1 เมตรและแบ่งออกเป็น 10 ชั้น ๆ ละ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นจะมีเส้นเอ็นสานกันอยู่เพื่อแยกให้รากอยู่แต่ละระดับความลึกเมื่อทำการล้างราก จากนั้นทำการล้างรากเพื่อศึกษาการเจริญของราก




รูปที่ 43 ทำการกระเทาะรองซีเมนต์ให้แตกออกดังภาพจากนั้นใช้น้ำฉีดเพื่อล้างดินออกจากราก

10. การดำเนินการวิจัยเมื่อหลังอ้อยอายุ 6-12 เดือน

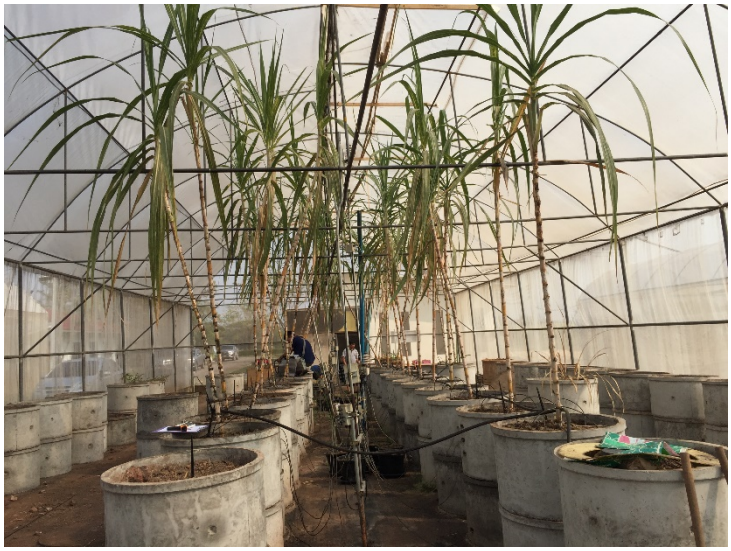
10.1 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

10.2 ตั้งแต่เดือนที่ 7-12 จะมีการวัดค่า Brix Pol fiber และ ccs ด้วยเครื่อง portable Measurement Device for Sugarcane (Non-destructive cane measurement)

10.3 เมื่ออ้อยอายุครบ 12 เดือน ทำการเก็บเกี่ยว เพื่อเก็บข้อมูลผลผลิต คุณภาพผลผลิต

10.4 และมีการเก็บตัวอย่างรากและการเจริญเติบโต โดยทำการแยกส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเพื่อเก็บข้อมูล เช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตที่ 3 และ 6 เดือน

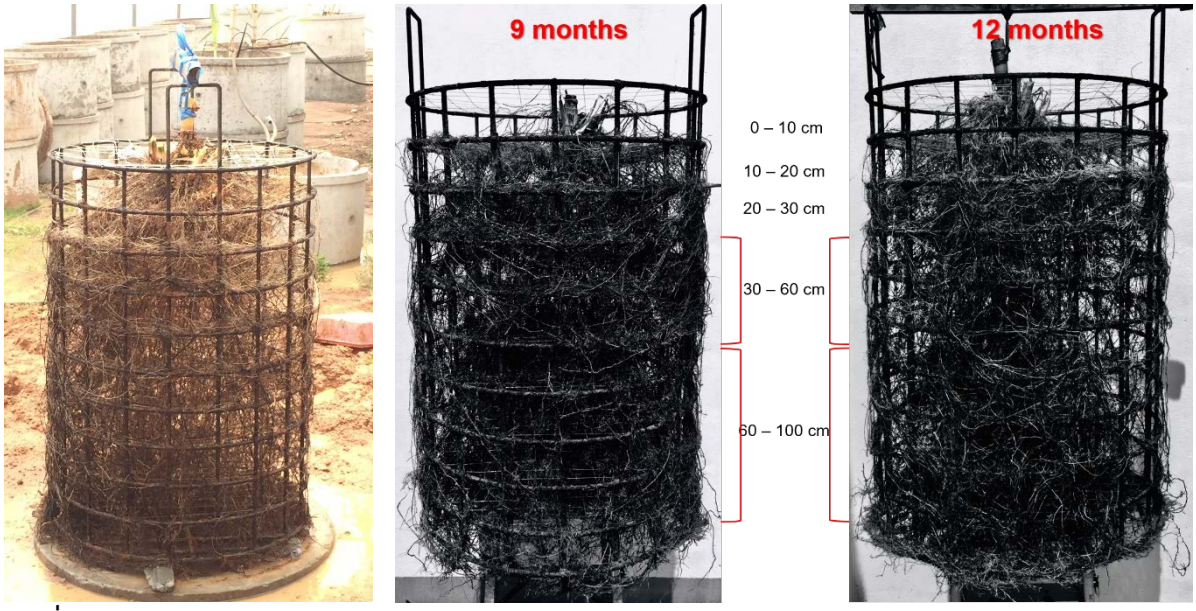
รูปที่ 44 การเจริญเติบโตของอ้อยอายุ 10 เดือน ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และวัดค่า Brix Pol fiber และ ccs ด้วยเครื่อง



portable Measurement Device for Sugarcane (Non-destructive cane measurement)

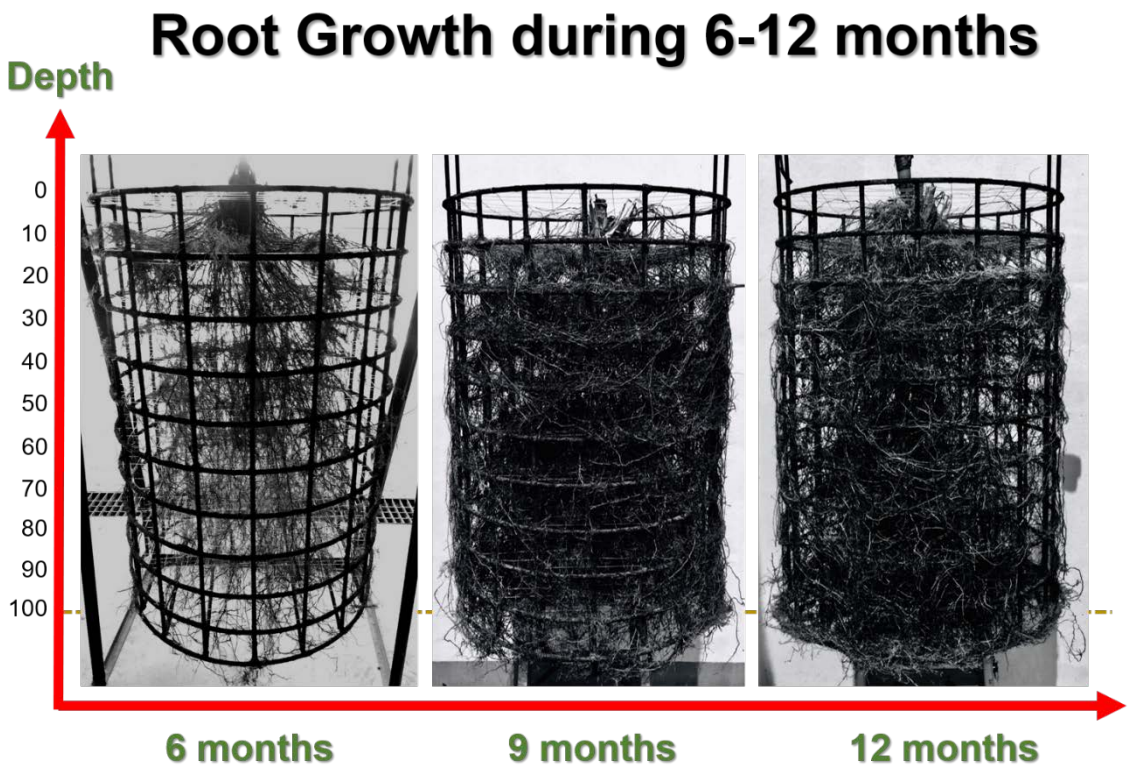
รูปที่ 45 การเก็บข้อมูลผลผลิตเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน แสดงขนาดของลำต้นอ้อย กองที่ 1-3 จากซ้าย มีการให้น้ำปกติ กอง 4-6 มีการงดน้ำในช่วงเดือนที่ 3-6

รูปที่ 46 เมื่อหีบน้ำอ้อยเพื่อไปวิเคราะห์น้ำตาล



รูปที่ 47 การกระจายตัวของราก

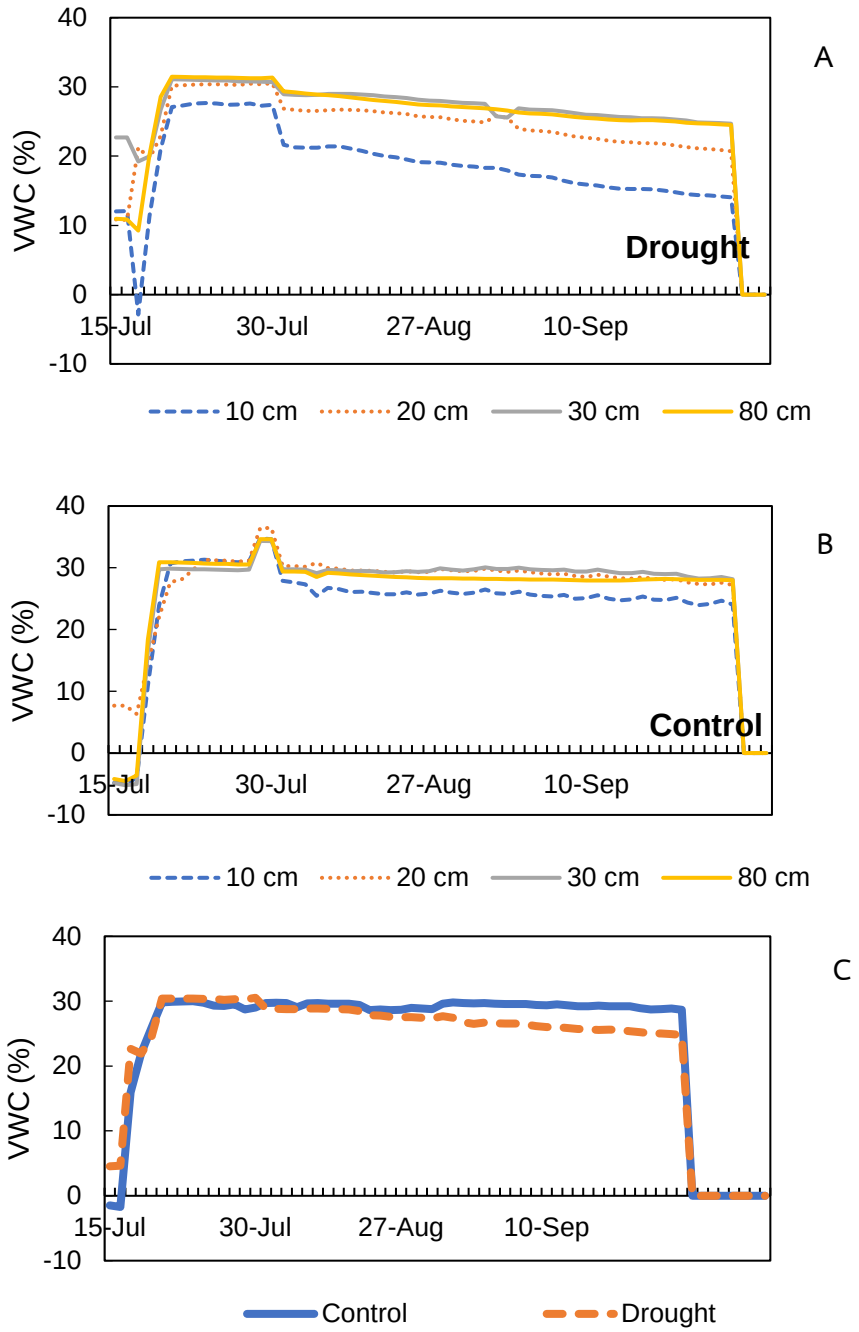
ของอ้อยที่อายุ 9 และ 12 เดือน ใน Net pot



รูปที่ 48 การกระจายตัวของรากของอ้อยที่อายุ 6 9 และ 12 เดือน ใน Net pot

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาความชื้นในดินระหว่างการทดลอง ช่วงอ้อยอายุ 3-6 เดือน



รูปที่ 49 แสดงความชื้นในดิน (Volumetric Water Content, VWC) ในกรรมวิธี การจำลองสภาพแล้ง (drought) (A) และการให้น้ำปกติ (control) (B) ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน และค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 ซม. (C) ระหว่าง 16 กรกฎาคม -16 ตุลาคม 2561

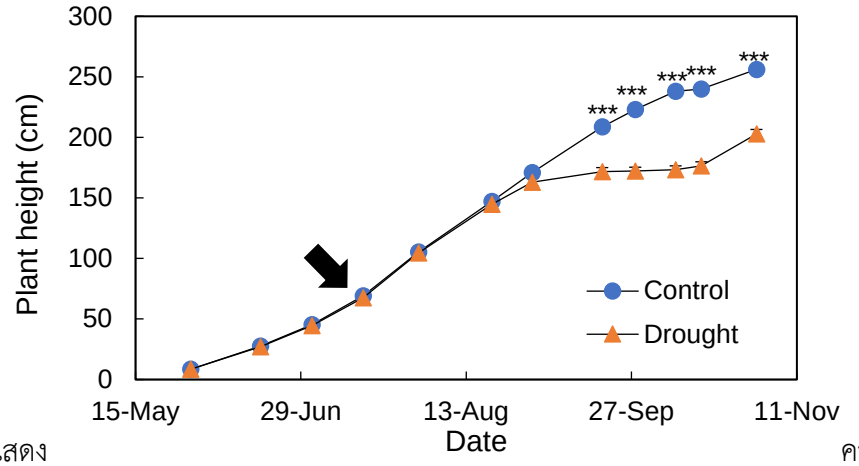
ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการเปรียบเทียบความชื้นในดินของกระถางที่มีการงดน้ำและมีการจัดการน้ำ ที่ระดับความลึกตามตำแหน่งของการใส่ปุ๋ย คือ 10 20 และ 30 ซม. และความลึกบริเวณก้นกระถางที่ 80 ซม. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่ออยู่ในสภาวะปกติและสภาวะแห้งแล้ง ที่อาจมีความสัมพันธ์กับการเจริญของรากอ้อยและการปรับตัวของรากต่อสภาพแวดล้อม

จากข้อมูลที่ได้เมื่อมีการหยุดให้น้ำเพื่อจำลองสภาพแล้งเมื่ออ้อยอายุได้ 3-6 เดือน พบว่า ความชื้นที่ความลึก 10 ซม. จากผิวดินลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความลึกต่าง ๆ ตามรูปที่ 49 (A) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ความลึกอื่น ๆ เช่น 20 30 และ 80 ซม. พบว่ามีความชื้นลดลงเช่นกันแต่ช้ากว่าที่ความลึก 10 ซม. ตามมาด้วยที่ความลึก 20 ซม. จะมีการลดลงเมื่อสภาวะแล้งมีความยาวนานมากขึ้น ความชื้นที่ 30 และ 80 ซม. ลดลงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันมากนัก ขณะที่ความชื้นในดินของกระถางที่มีการให้น้ำปกติ บริเวณความลึก 10 ซม. จากผิวดิน จะมีความชื้นน้อยกว่าที่ระดับความลึก 20 30 และ 80 ซม. ซึ่งในระดับความลึก 20 ซม. ลงไปจะไม่มีความแตกต่างในเรื่องของความชื้นในดินมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 49 (B)

จากค่าเฉลี่ยความชื้นในดินตลอดการทดลองของกรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติเปรียบเทียบกับสภาพแล้ง รูปที่ 49 (C) พบว่ามีความแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ย 4 % แต่พบว่าอ้อยที่มีการให้น้ำแตกต่างกัน อ้อยที่มีการให้น้ำปกติจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าอ้อยที่มีการงดให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย ในช่วง 3-6 เดือน

จากการศึกษาการเจริญเติบโตด้านต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีที่ให้น้ำปกติและการงดให้น้ำในช่วงการเจริญเติบโตเดือนที่ 3- 6 พบว่า ความสูงเฉลี่ยของอ้อยที่มีการให้น้ำปกติจะมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าอ้อยที่งดให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งหลังจากงดน้ำแล้วและต่อเนื่องจนอ้อยอายุครบ 6 เดือน (รูปที่ 50 และตารางที่ 3)

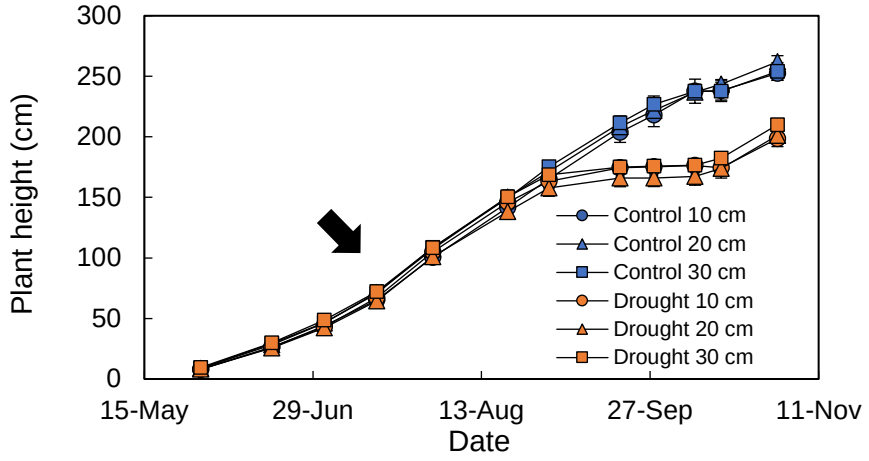


รูปที่ 50 แสดงความสูงของอ้อยเปรียบเทียบระหว่างอ้อยที่มีการให้น้ำปกติ (control) กับ สภาพแล้ง (drought) ลูกศรสีดำแสดงถึงเวลาเริ่มการทดลอง 16 กรกฎาคม 2561

*** indicated very highly significant (P<0.001)

สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนเมื่ออ้อยอยู่ในสภาพขาดน้ำก็คืออ้อยลดขนาดพื้นที่ใบและมีความยาวของใบลดลงซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกับการเจริญเติบโตของอ้อยที่มีการให้น้ปกติเมื่ออายุ 6 เดือน ขณะที่ความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างๆ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันต่อความสูงของอ้อย แต่สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการให้น้ำปกติและงดให้น้ำ พบว่าทุกระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยของกรรมวิธีที่มีการให้น้ำจะมีความสูงมากกว่ากลุ่มที่งดให้น้ำอย่างชัดเจนในช่วงการเจริญเติบโตที่ 3-6 เดือน ดังรูปที่ 50 ซึ่งความชัดเจนนี้จะเห็นหลังจากการหยุดการให้น้ำประมาณ 1 เดือน และพบว่า ในกรรมวิธีที่งดให้น้ำนั้น เมื่อความชื้นในกระถางลดลง อ้อยจะชลอการเจริญเติบโตในด้าน

ความสูง รวมไปถึงจำนวนและขนาดของใบ แต่กลับไม่พบว่าความลึกในการใส่ปุ๋ยแต่ละระดับมีผลต่อความสูงของอ้อย (ตารางที่ 3)



รูปที่ 51 แสดงความสูงของอ้อย เปรียบเทียบระหว่างอ้อยที่มีการให้น้ำปกติ (control) กับ สภาพแล้ง (drought) ที่มีการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน ลูกศรสีดำแสดงถึงเวลาที่เริ่มทำการทดลอง

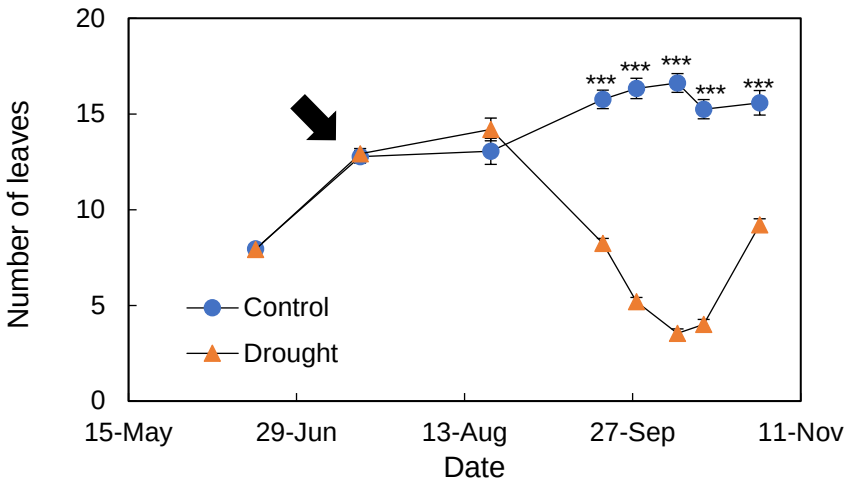
ตารางที่ 3 ความสูงของอ้อยหลังปลูกจนถึง 6 เดือนที่มีความแตกต่างกันในการจัดการน้ำ

	Water	Fertilizer	30/5/2018	18/6/2018	2/7/2018	16/7/2018	31/7/2018	20/8/2018	31/8/2018	19/9/2018	28/9/2018	9/10/2018	16/10/2018	31/10/2018
Mean	Control	10 cm	8	26	44	65	100	142	165	204	218	238	238	253
		20 cm	9	28	46	71	107	150	171	208	222	237	244	262
		30 cm	9	29	47	71	109	149	175	211	227	238	238	254
		Total	8	28	45	69	105	147	171	209	223	238	240	256
	Drought	10 cm	8	26	43	67	105	146	163	174	175	176	174	199
		20 cm	8	26	42	64	101	138	158	166	166	167	174	201
		30 cm	10	30	49	72	108	151	169	175	176	177	183	210
		Total	9	27	45	68	105	145	163	172	172	173	177	203
SE	Control	10 cm	1	2	2	3	4	7	8	8	10	10	9	6
		20 cm	1	2	3	5	5	5	5	6	6	5	3	5
		30 cm	1	1	2	3	2	5	5	6	7	6	7	7
		Total	1	1	1	2	2	3	3	4	4	4	4	3
	Drought	10 cm	1	1	2	3	5	5	4	4	4	4	4	5
		20 cm	1	1	3	4	6	6	7	7	7	7	8	9
		30 cm	1	2	3	6	6	6	5	6	5	5	5	5
		Total	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	4
Water										***	***	***	***	***
Fertilizer														
W x F														

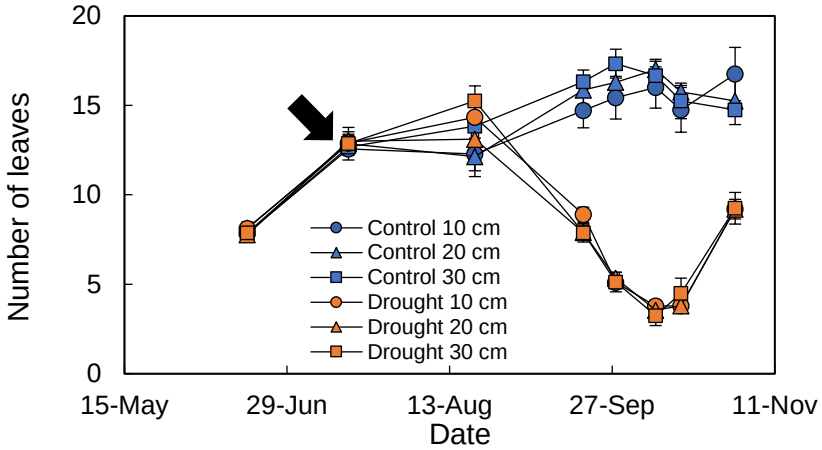
*** indicated very highly significant (P<0.001)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกในการใส่ปุ๋ยของแต่ละระดับความลึก (Fertilizer) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลึกในการใส่ปุ๋ยและการให้น้ำ (WxF) พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติเช่นกัน

ในส่วนของจำนวนใบ พบว่า จำนวนใบเฉลี่ยของกรรมวิธีที่มีการให้น้ำตามปกติมีจำนวนใบเฉลี่ยสูงกว่าอ้อยที่งดให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งหลังจากงดน้ำแล้ว 60 วันและต่อเนื่องไปจนอ้อยอายุครบ 6 เดือน เช่นเดียวกับความสูง (รูปที่ 52) ขณะที่กรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติก็จะมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความลึกของการใส่ปุ๋ย จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างของการเจริญเติบโต มากกว่าระดับความลึกของการฝังปุ๋ย



รูปที่ 52 เปรียบเทียบจำนวนใบในระหว่างการเจริญเติบโตและช่วงทำการทดลองที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกันระหว่างการให้น้ำปกติ (control) และสภาพแล้ง (drought) ลูกศรสีดำแสดงการเริ่มต้นการทดลอง วันที่ 15 กรกฎาคม – 16 ตุลาคม 2561 *** indicated very highly significant (P<0.001)



รูปที่ 53 เปรียบเทียบจำนวนใบในระหว่างการเจริญเติบโตและช่วงทำการทดลองที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกันระหว่างการให้น้ำปกติ (control) และสภาพแล้ง (drought) และการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน ลูกศรสีดำแสดงการเริ่มต้นการทดลอง วันที่ 15 กรกฎาคม – 16 ตุลาคม 2561

ตารางที่ 4 จำนวนใบของอ้อยตั้งแต่ปลูกจนถึงอายุ 6 เดือน เปรียบเทียบกรรมวิธีที่มีการให้น้ำและไม่มีการให้น้ำที่ระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยที่ 10 20 และ 30 ซม.

	Water	Fertilizer	18/6/2018	16/7/2018	20/8/2018	19/9/2018	28/9/2018	9/10/2018	16/10/2018	31/10/2018
Mean	Control	10 cm	8	13	12	15	15	16	15	17
		20 cm	8	13	12	16	16	17	16	15
		30 cm	8	13	14	16	17	17	15	15
		Total	8	13	13	16	16	17	15	16
	Drought	10 cm	8	13	14	9	5	4	4	9
		20 cm	8	13	13	8	5	4	4	9
		30 cm	8	13	15	8	5	3	5	9
		Total	8	13	14	8	5	4	4	9
SE	Control	10 cm	0	0	1	1	1	1	1	1
		20 cm	0	1	1	1	1	1	0	1
		30 cm	0	0	1	1	1	1	1	0
		Total	0	0	1	0	1	0	1	1
	Drought	10 cm	0	0	1	0	0	0	0	0
		20 cm	0	1	1	0	0	0	0	1
		30 cm	0	1	1	1	1	1	1	1
		Total	0	0	1	0	0	0	0	0
Water						(***)	(***)	(***)	***	(***)
Fertilizer										
W x F						(*)				

*** indicated very highly significant (P<0.001)

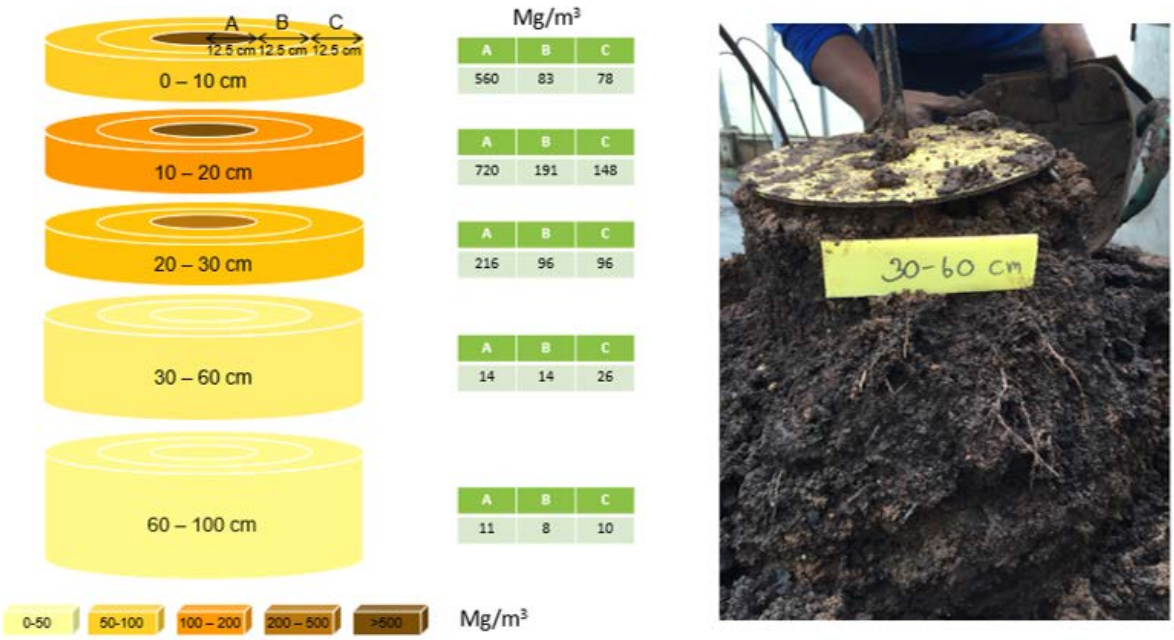
* indicated significant (P<0.05)

จากผลการทดลอง พบว่า การงดน้ำในช่วง 3-6 เดือน ส่งผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของอ้อยซึ่งข้อมูลความสูงของอ้อยและจำนวนใบของอ้อยสามารถบ่งบอกได้ถึงความแตกต่างของการเจริฐเติบโตได้อย่างชัดเจน ขณะระดับของความลึกในการใส่ปุ๋ย และความสัมพันธ์ระหว่างการให้น้ำกับระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ด้วยเหตุนี้ น้ำจึงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเจริฐเติบโตของอ้อย ขณะที่ระดับความลึกของการฝังปุ๋ยไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อมีการจัดการน้ำในรูปแบบเดียวกัน

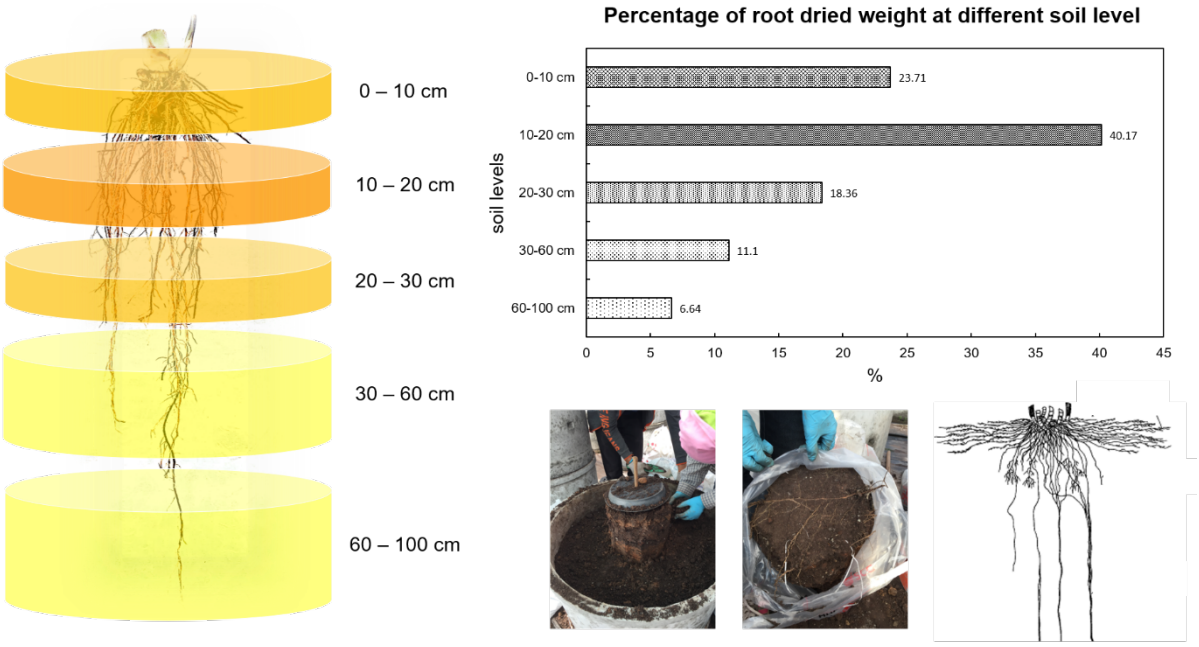
4.3 ผลการศึกษาการเจริญของราก เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน

จากการศึกษาการเจริญของรากที่อายุ 3 เดือน พบว่า รากเจริญได้ดีและมีความหนาแน่นมากที่ระดับความลึก 10-20 เซนติเมตร โดยพบว่ามีความหนาแน่นของราก 720 191 148 mg/m^3 (รูปที่ 55) จากตำแหน่งรัศมี 0-12.5 12.5-25 และ 25-37.5 เซนติเมตร ตามลำดับ หรือตำแหน่ง A B และ C (รูปที่ 54) หรือคิดเป็น 40.17% ของน้ำหนักแห้งของรากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรากที่ระดับความลึกอื่น ๆ รองลงมาคือระดับ 0-10 20-30 30-60 และ 60-100 เซนติเมตร ที่ 23.71 18.36 11.11 และ 6.64% ตามลำดับ (รูปที่ 56) คือจะลงลงเรื่อยๆ เมื่อมีความลึกของดินมากขึ้น

รูปที่ 54 แสดงการเก็บตัวอย่างรากที่ 5 ระดับความลึก คือ 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. ที่รัศมีแตกต่างกัน คือ 0-12.5 12.5-25 และ 25-37.5 ซึ่งแสดงด้วยตัวอักษร A B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 55 ความหนาแน่นของรากที่ 5 ระดับความลึก เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน คือ 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. ที่รัศมีแตกต่างกัน คือ 0-12.5 12.5-25 และ 25-37.5 ซึ่งแสดงด้วยตัวอักษร A B และ C ตามลำดับ

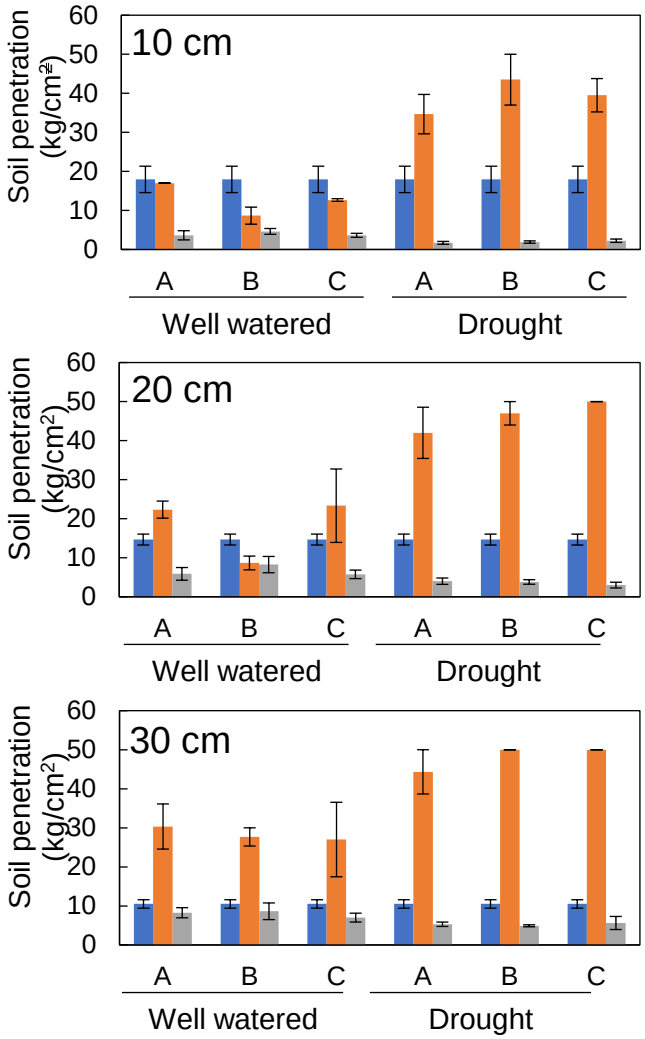


รูปที่ 56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของรากอ้อย ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม.

จากการวิจัยข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอ้อยที่มีอายุเพียง 3 เดือน รากของอ้อยก็สามารถหยั่งลึกลงไปในดินแล้วมากกว่า 1 เมตร แต่จะมีการกระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณผิวดินที่ความลึก 0-30 ซม. เป็นส่วนใหญ่ และพบมากบริเวณใต้ลำต้นของอ้อยแล้วแผ่กระจายออกด้านข้าง พบมีความหนาแน่นมากและแผ่กระจายได้ดีที่ระดับความลึก 10-20 ซม. ซึ่งเป็นที่ๆมีความชื้นค่อนข้างคงที่และมากกว่าที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ซึ่งเป็นบริเวณผิวดินอาจมีการสูญเสียน้ำจากสภาพแวดล้อมได้ง่าย อย่างไรก็ตามรากที่พบในช่วงอ้อยอายุ 3 เดือน รากที่พบส่วนใหญ่จะยังไม่หยั่งรากลึกลงไปมากนักและมีการแผ่ขยายในดินลดลงเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 55 และ 56

4.4 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน

ข้อมูลสภาพความแข็งของดินหลังการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน



รูปที่ 57 ค่าความแข็งของดินที่ 3 ระดับความลึก คือ 10 20 30 ซม. ที่อายุ 3 เดือน 6 เดือน (หลังการทดลอง) และหลังกลับมาให้น้ำปกติ แสดงด้วยสีน้ำเงิน ส้ม และเทา ตามลำดับ ตัวอักษร A B และ C แสดงระดับความลึกของการฝังปุ๋ยที่ 10 20 30 ซม.

จากการวัดความแข็งของดินหลังการจัดการน้ำ พบว่า กรรมวิธีที่งดให้น้ำ ดินจะมีความแข็งของดินสูงมากกว่าในกรรมวิธีที่มีการให้น้ำตามปกติซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นในดินที่ลดลงเมื่อหยุดให้น้ำ (รูปที่ 57) และแม้แต่กรรมวิธีที่ให้น้ำปกติก็มีค่าสูงขึ้นแต่น้อยกว่าการงดให้น้ำ ซึ่งเมื่อทดสอบที่ความลึกมากขึ้นแรงที่ใช้ก็มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ดีเมื่อมีการกลับมาให้น้ำอีกครั้ง ความแข็งของดินที่ระดับความลึกต่างๆ ก็จะกลับมามีสภาพนุ่มขึ้นทำให้แรงที่ใช้วัด soil penetration ลดลงอย่างชัดเจนในทุกกรรมวิธี

รูปที่ 58 การเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน หลังผ่านกรรมวิธีการให้น้ำตามปกติ (well-watered) และงดให้น้ำช่วง 3-6 เดือน (Drought)

หลังจากที่ได้งดการให้น้ำในกรรมวิธีที่ทำให้มีสภาพแล้ง (drought) พบว่า กรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากรรมวิธีที่งดการให้น้ำอย่างชัดเจน จากรูปที่ 58 จะเห็นว่าความยาวลำ ความสูง น้ำหนักลำ และจำนวนใบของอ้อยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความสูง (plant high) จำนวนใบ (leaf number) SPAD ความยาวลำ (stalk length) น้ำหนักลำ (stalk weight) ค่า Brix ค่า Pol ค่าความบริสุทธิ์ (juice purity) ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) ของอ้อยที่อายุ 6 เดือน

Water regime	Fertilizer application depth	Plant height (cm)	Leaf number	SPAD	Stalk length (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk weight (g)	Juice Brix (%)	Juice pol (%)	Juice purity (%)	CCS (%)	Sugar yield (g stalk^{-1})
Well-watered	10 cm	253	17.3	43.3	200	3.57	2175	14.5	9.8	67.5	6.1	132
	20 cm	237	16.0	42.6	181	3.43	1939	14.1	10.5	74.6	6.2	121
	30 cm	247	18.3	43.1	191	3.63	2119	15.1	10.7	70.5	6.8	144
Drought	10 cm	180	4.3	29.1	116	3.33	1120	16.9	10.2	60.5	5.6	63
	20 cm	162	4.3	30.1	105	3.55	1057	17.4	10.7	61.4	6.0	62
	30 cm	176	3.3	30.7	113	3.36	1114	16.9	10.0	59.1	5.3	58
Water regime		***	***	***	***		***	***		***		***
Fertilizer depth												
W x F			*									

* and *** denote significant main effect or interaction at the 5% and 0.1% levels, respectively.

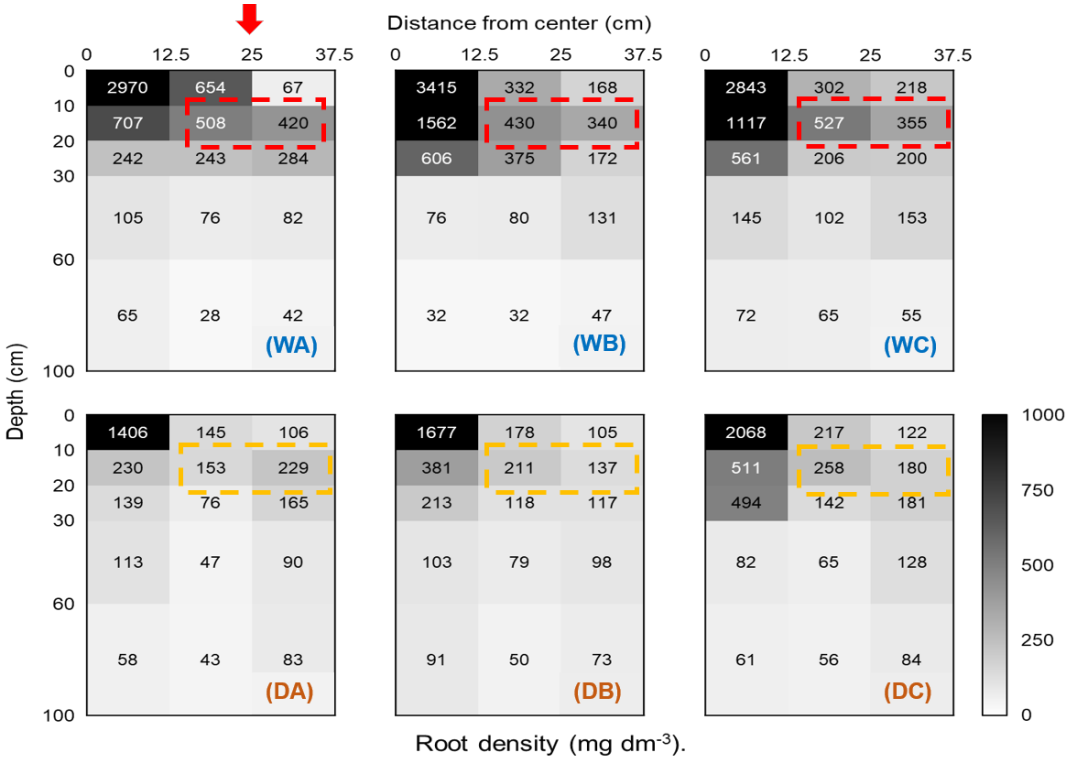
การเจริญเติบโตของอ้อยและคุณภาพผลผลิต เมื่ออายุ 6 เดือน พบว่า วิธีการให้น้ำแบบปกติมีผลให้ค่าเฉลี่ยของ ความสูง จำนวนใบ SPAD ความยาวลำ และน้ำหนักลำ ค่าความบริสุทธิ์ (juice purity) และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) สูงกว่าการงดให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ค่า Pol และค่า CCS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของค่า Brix พบว่ากรรมวิธีที่มีการงดน้ำมีค่าสูงกว่า

อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกในการใส่ปุ๋ย (Fertilizer) ต่อการเจริญเติบโตพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละกรรมวิธีการให้น้ำ ในส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลึกในการใส่ปุ๋ยและการให้น้ำ (WxF) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติยกเว้นจำนวนใบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในภาพรวมจะเห็นว่าระยะเวลา 3 เดือน ของการจำลองสภาพแล้งให้กับอ้อยทำให้การเจริฐเติบโตของอ้อยลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่มีการให้น้ำตามปกติ

4.5 ผลการศึกษาการเจริญของราก เมื่ออ้อยอายุ 6 เดือน

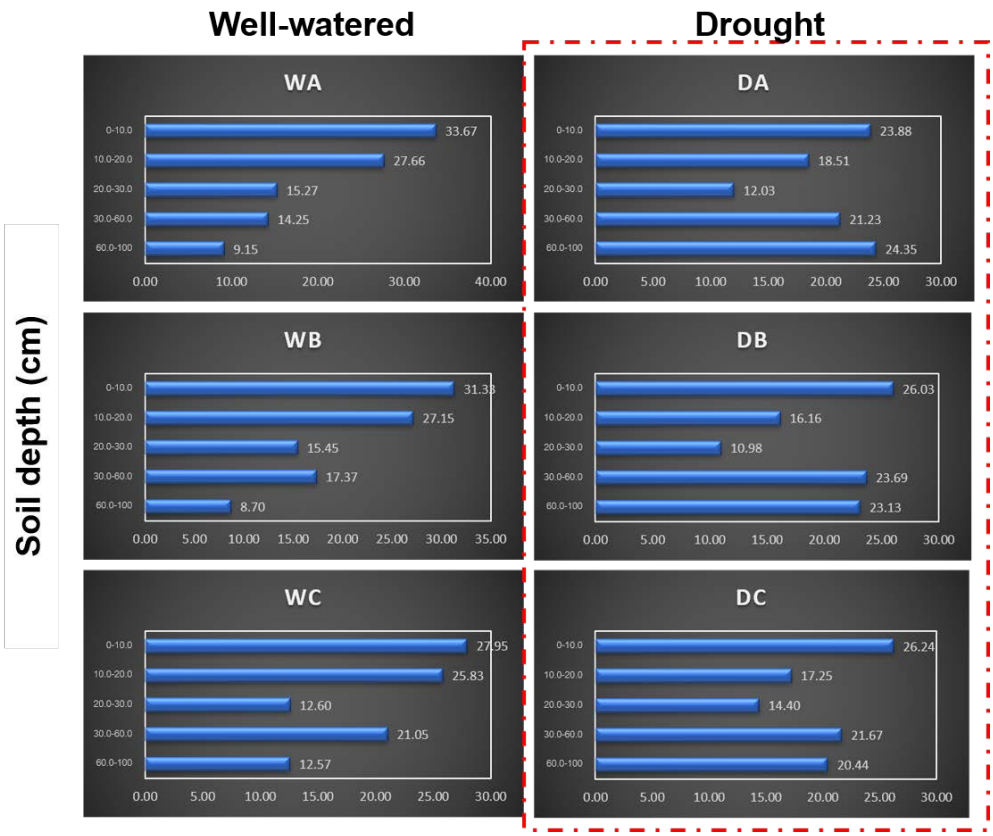
รูปที่ 59 การเก็บตัวอย่างรากที่อายุ 6 เดือน หลังจากการทดลองให้น้ำในสภาพการให้น้ำปกติ (Control) และสภาพแล้ง (Drought) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างกัน ในช่วงอายุ 3-6 เดือนหลังปลูก

จากการเก็บข้อมูลการเจริญของรากที่ อายุ 6 เดือน พบว่า น้ำหนักแห้ง การกระจายตัว และความหนาแน่นของรากอ้อยในกรรมวิธีที่มีการงดน้ำในช่วงอายุ 3-6 เดือน มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติ และยังคงมีลักษณะเดียวกับการกระจายตัวของรากอ้อยที่อายุ 3 เดือน คือพบการกระจายตัวมากที่บริเวณความลึก 10-20 ซม. โดยดูจากการกระจายตัวไปในแนวราบที่รัศมี 12.5-37.5 ซม. เหมือนกันในทุกระดับความลึกของการใส่ปุ๋ยที่ 10 20 และ 30 ซม. และเป็นไปในรูปแบบเดียวกันทั้งกรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติและการงดน้ำ ขณะที่ในกรรมวิธีที่มีการงดน้ำมีแนวโน้มในการกระจายตัวของรากหยั่งลึกลงไปในดินลึกมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 60



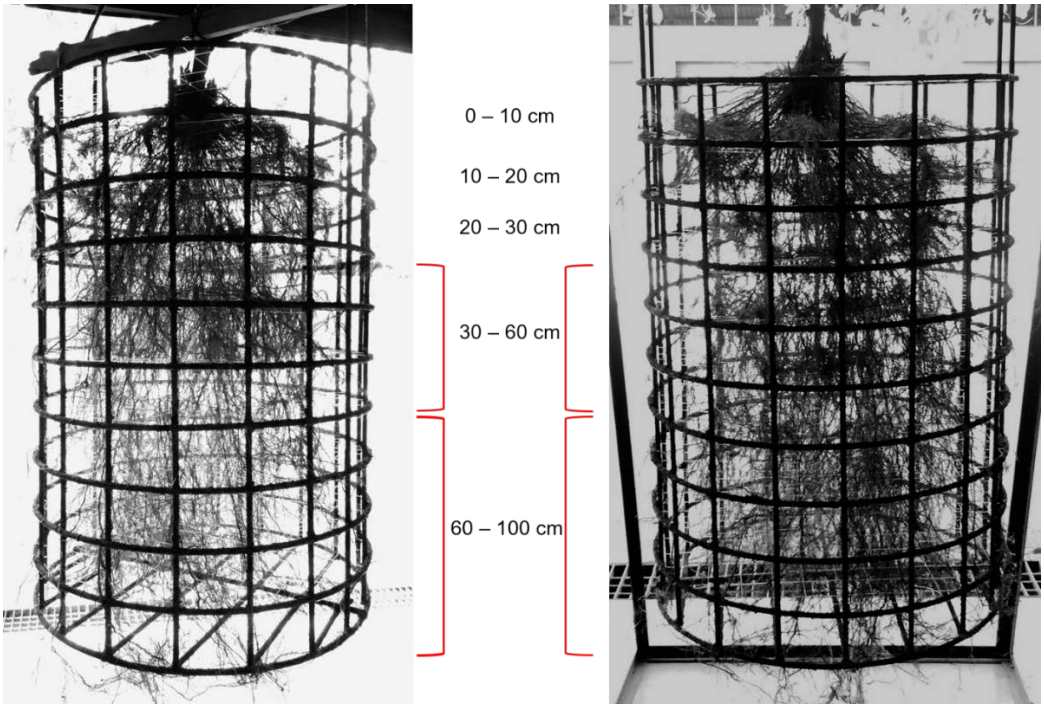
รูปที่ 60 น้ำหนักแห้งของราก ความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากอ้อยที่อายุ 6 เดือน ที่มีความแตกต่างกันในด้านการจัดการน้ำ คือ (WA) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 ซม. (WB) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 ซม. (WC) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 ซม. (DA) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก10 ซม. (DB) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 ซม. (DC) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 ซม. จากการเก็บตัวอย่างรากที่อายุ 6 เดือน

เมื่อนำน้ำหนักแห้งของรากมาคำนวนหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของราก ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. พบว่า ในทุกกรรมวิธีการให้น้ำและระดับความลึกต่าง ๆ ของการใส่ปุ๋ย ความลึกที่ระดับ 0-10 ซม. จะมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของรากสูงที่สุดและลดหลั่นลงมาเมื่อมีความลึกเพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 61 อย่างไรก็ตามหากย้อนกลับไปดูน้ำหนักแห้งของราก ความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากจะพบว่าที่ระดับความลึก 0-10 ซม. นั้น ความหนาแน่นและน้ำหนักแห้งของรากส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณโคนต้นที่รัศมี 0-12.5 ซม. แต่มีการแผ่กระจายออกไปในด้านข้างได้น้อยกว่าที่ระดับความลึก 10-20 ซม. ขณะที่ข้อมูลของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของราก ที่ความลึก 30-60 60-100 ซม. พบว่า ที่ระดับความลึกนี้ ในกรรมวิธีที่มีการงดน้ำรากจะมีการเจริญมากขึ้นในระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 60 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของรากไกล้เคียงกับรากที่ระดับความลึกที่ 0-10 ซม. ซึ่งเกิดจากการที่รากปรับตัวเข้ากับสภาพแล้งและหยั่งรากลงลึกมากกว่าสภาพที่มีน้ำปกติเพื่อหาแหล่งน้ำให้กับอ้อย ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการให้น้ำปกติเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของรากจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ยกเว้นในการทดลองที่ฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 ซม. ที่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของรากสูงกว่าระดับความลึก 20-30 ซม.



รูปที่ 61 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของราก ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 60-100 ซม. WA, WB และ WC คือกรรมวิธีที่มีการจัดการน้ำและใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 20 และ 30 ซม. ตามลำดับ DA DB และ DC คือกรรมวิธีที่ไม่มีการจัดการน้ำ (Drought, แล้ง) และใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 20 และ 30 ซม. ตามลำดับ ที่อ้อยอายุ 6 เดือน

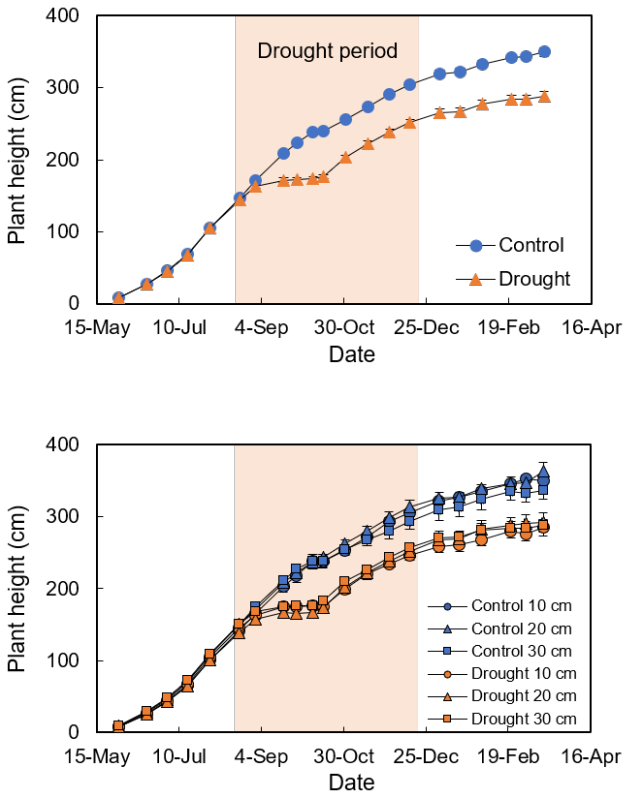
การเจริญของรากใน Net pot เพื่อดูการกระจายตัวของรากในอ้อยอายุ 6 เดือน ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. ในสภาพที่มีการจัดการน้ำปกติ แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากทั่วกระถางปลูก แต่พบมากในช่วงความลึก 0-30 ซม. และลดลงเมื่อมีความลึกของดินเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 62)



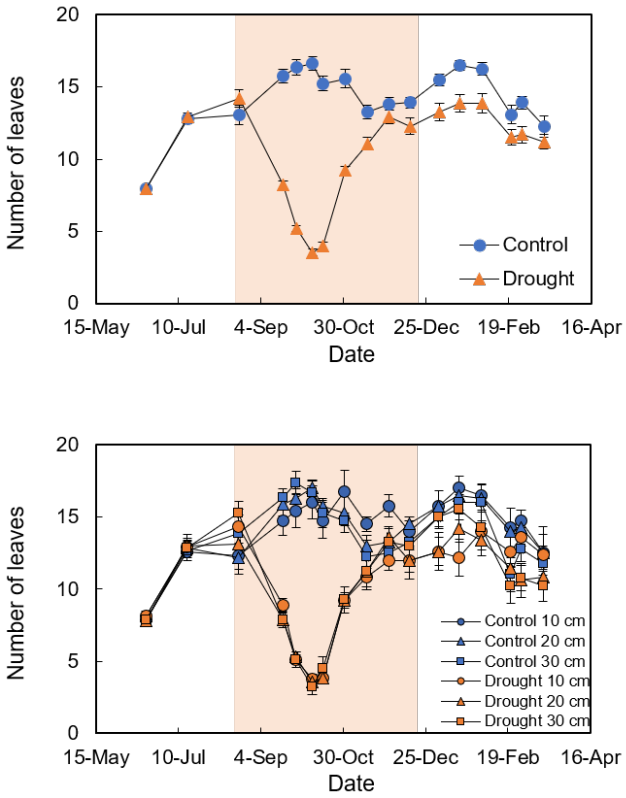
รูปที่ 62 การเจริญของรากใน Net pot ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. รากอ้อยใน Net pot เป็นเพียงการแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของรากอ้อยอายุ 6 เดือน ที่มีการให้น้ำปกติ ซึ่งพบว่ารากจำนวนมากจะอยู่ในระดับตื้น 0-30 ซม.

4.6 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน (เก็บเกี่ยว)

การเจริญเติบโตของอ้อยในด้านความสูงตลอดการทดลอง พบว่า อ้อยที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะแล้งจะชะลอการเจริญเติบโตด้านความสูงโดยที่ตั้งแต่ได้รับผลกระทบจนถึงสิ้นสุดสภาวะแล้ง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อกลับมามีการให้น้ำตามปกติอีกครั้งอ้อยที่ได้รับผลกระทบก็ไม่สามารถเจริญเติบโตด้านความสูงได้ทันกับอ้อยที่มีการให้น้ำปกติ ดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 63 (บน) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งของความสูงของอ้อยที่อายุ 12 เดือน (ตารางที่ 6) ในส่วนของความลึกของการใส่ปุ๋ยพบว่าไม่มีผลต่อความสูงของอ้อยและไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี ขณะที่วิธีการให้น้ำร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกแตกต่างกัน ก็จะเห็นได้ชัดเช่นเดียวกันว่าแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามกรรมวิธีการจัดการน้ำแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติตามแต่ละกรรมวิธีการจัดการน้ำ และไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างวิธีการให้น้ำต่อระดับความลึกของการฝังปุ๋ยต่อความสูงของอ้อย (WxF) ตามตารางที่ 6



รูปที่ 63 ความสูงของอ้อยตลอดการทดลอง และความสูงเฉลี่ยของอ้อยที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน (บน) และอ้อยที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (ล่าง)



รูปที่ 64 จำนวนใบเฉลี่ยของอ้อยที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน (บน) และจำนวนใบเฉลี่ยของอ้อยที่มีการจัดการน้ำที่แตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกแต่งต่างกัน (ล่าง)

การเจริญเติบโตของอ้อยในด้านจำนวนใบตลอดการทดลอง พบว่า อ้อยที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะแล้งจะลดจำนวนใบและขนาดใบลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ได้รับผลกระทบจนถึงสิ้นสุดสภาวะแล้ง ตามรูปที่ 64 และเมื่อมีการกลับมาให้น้ำแบบปกติอ้อยสามารถสร้างจำนวนใบเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วเช่นกันแม้จะน้อยกว่าในกรรมวิธีที่มีการให้น้ำแบบปกติ อย่างไรก็ดีเมื่อสิ้นสุดการทดลองจำนวนใบของอ้อยของอ้อยที่มีการจัดการน้ำแบบปกติและการงดน้ำช่วงอายุ 3-6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกันกับระดับความลึกในการใส่ปุ๋ยและความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำร่วมกับความลึกในการใส่ปุ๋ย (ตารางที่6)

ตารางที่ 6 ความสูง (plant high) จำนวนใบ (leaf number) ความยาวลำ (stalk length) ขนาดลำ (Stalk diameter) น้ำหนักลำ (stalk weight) ค่า CCS และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) ของอ้อยที่อายุ 12 เดือน

Sampling time	Water regime	Fertilizer application depth	Plant height (cm)	Leaf number	Stalk length (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk weight (g)	CCS (%)	Sugar yield (g stalk^{-1})
12 MAP	Well-watered	10 cm	356	14.3	320	3.79	3573	13.1	470
		20 cm	354	14.8	319	3.63	3498	13.0	457
		30 cm	336	12.8	304	3.29	3247	12.6	413
	Drought	10 cm	291	14.4	258	3.21	2398	11.6	287
		20 cm	295	14.2	266	3.23	2528	11.7	298
		30 cm	318	14.3	264	3.19	2698	12.3	334
Water regime			**		***	**	***		**
Fertilizer depth									
W x F									

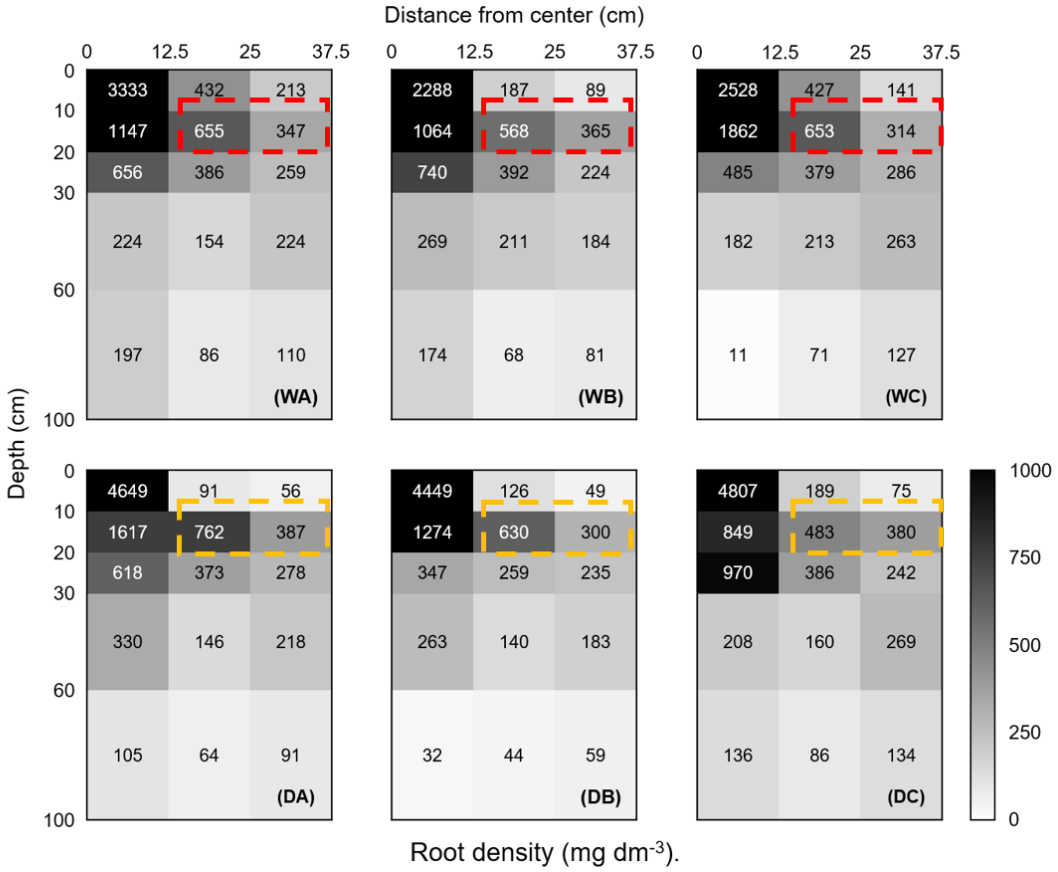
*, ** and *** denote significant main effect or interaction at the 5% and 0.1% levels, respectively.

จากการทดลอง การเจริญเติบโตของอ้อยและคุณภาพผลผลิต เมื่ออายุ 12 เดือน พบว่า วิธีการให้น้ำแบบปกติมีผลให้ค่าเฉลี่ยของ ความสูง ความยาวลำ ขนาดลำ น้ำหนักลำ และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) สูงกว่าการงดให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ขณะที่จำนวนใบ และค่า CCS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกในการใส่ปุ๋ย (Fertilizer) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละกรรมวิธีการให้น้ำ ในส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกรรมวิธีให้น้ำกับระดับความลึกในการใส่ปุ๋ย (WxF) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ

4.7 ผลการศึกษาการเจริญของราก เมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน (เก็บเกี่ยว)

จากการศึกษาพบว่าน้ำหนักแห้งของราก ความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากอ้อยที่อายุ 12 เดือน ยังคงเป็นเช่นเดียวกับกับรากที่อายุ 3 และ 6 เดือน คือ ที่ระดับความลึก 0-10 ซม. จะมีปริมาณของรากและหนาแน่นมากโดยเฉพาะบริเวณโคนต้นที่รัศมี 0-12.5 ซม. แต่มีการกระจายตัวของรากในแนวรัศมีน้อยลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น ขณะที่ระดับความลึก 10-20 ซม. ยังคงมีการกระจายตัวของรากมากที่สุดตามแนวรัศมี ซึ่งพบในลักษณะเดียวกันทั้งสองกรรมวิธีการให้น้ำ และเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งว่าหลังจากอ้อยที่ได้รับผลกระทบจากการงดการให้น้ำและเปลี่ยนมาให้น้ำปกติในเดือนที่ 6-12 พบว่ารากสามารถผลิตรากใหม่ออกมาได้มากขึ้นและไม่มีความแตกต่างกับการให้น้ำปกติ โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 10-20 ซม. (รูปที่ 65) ซึ่งจากข้อมูลนี้จะพบว่า

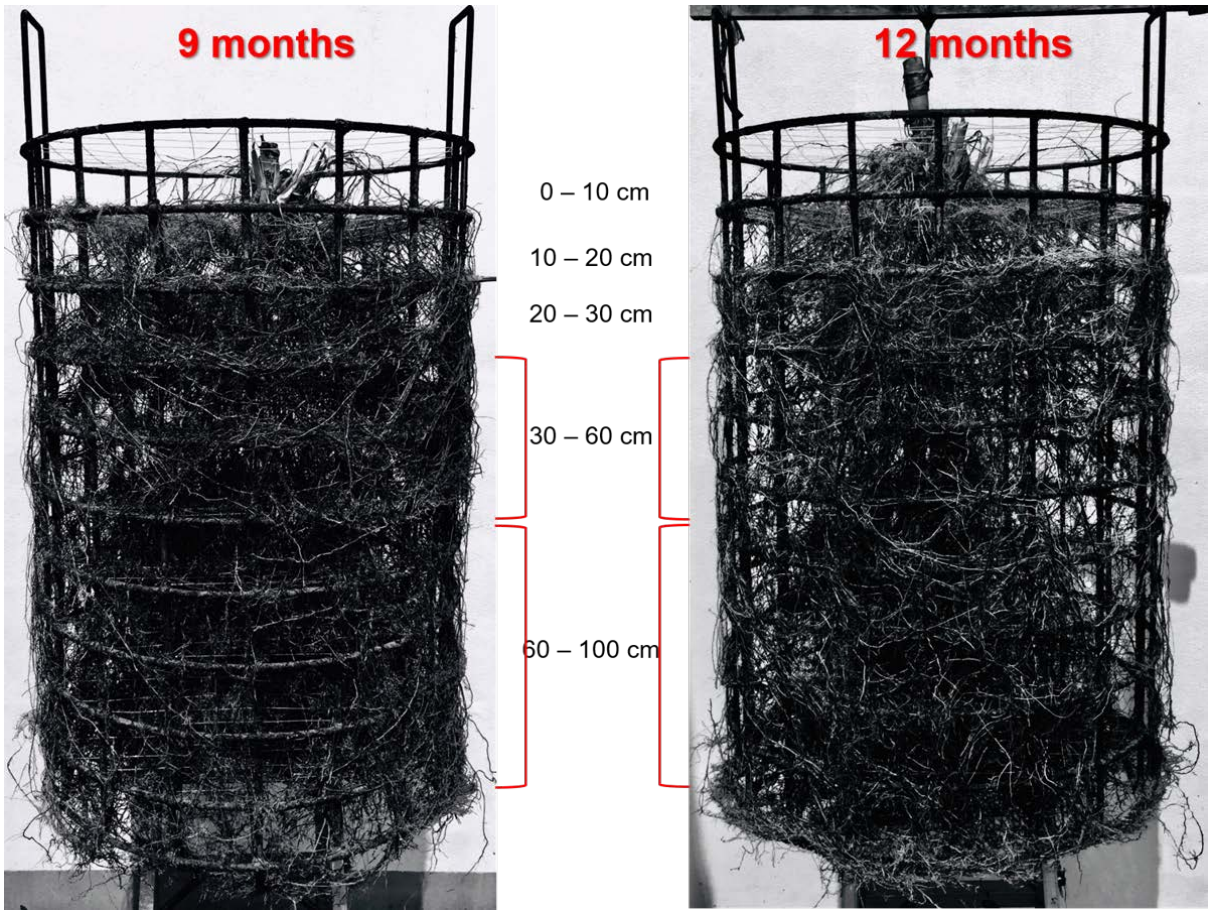
รากสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้เร็วกว่าการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและเมื่อรากเป็นปกติแล้วก็จะส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินต่อไป แต่ในการทดลองนี้หลังจากมีการให้น้ำอีกครั้งในเดือนที่ 6-12 แม้รากอ้อยจะกลับคืนสภาพได้หลังจากนั้นแต่ไม่สามารถทำให้ผลผลิตกลับมาเป็นปกติได้ ทำให้การเจริญเติบโตและผลผิตของอ้อยที่ผ่านสภาพแล้งจากการงดน้ำมีผลผลิตที่ต่ำกว่าอ้อยที่มีการจัดการน้ำอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 6



รูปที่ 65 น้ำหนักแห้งของราก ความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากอ้อยที่อายุ 12 เดือน ที่มีความแตกต่างกันในด้านการจัดการน้ำ คือ (WA) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 ซม. (WB) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 ซม. (WC) Well-watered ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 ซม. (DA) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก10 ซม. (DB) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 ซม. (DC) Drought ใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 ซม.

จากข้อมูลการทดลองยังพบว่าปริมาณของรากที่อ้อยอายุ 12 เดือน จะมีแนวโน้มการกระจายของรากมากขึ้นที่ระดับลึกมากขึ้น โดยการกระจายออกไปตามแนวรัศมีมากขึ้นเพื่อเข้าถึงแหล่งของน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้นซึ่งปัจจัยสำคัญคือความชื้นที่จะเป็นปัจจัยสำคัญในการดึงดูดให้รากเจริญไปในทิศทางนั้น

รากอ้อยที่อายุ 9 และ 12 เดือน ใน net pot ในกรรมวิธีที่มีการจัดการน้ำที่ดี ตามรูปที่ 66 พบว่าการเจริญของรากใน Net pot นั้นสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วและเต็มกระถางตามภาพแต่รากส่วนใหญ่ก็ยังมีมากที่ระดับความลึก 0-30 ซม. และมีการกระจายตัวได้ดีในแนวรัศมีที่ระดับความลึก 10-20 ซม เช่นเดียวกับที่อายุ 3 และ 6 เดือน สอดคล้องกับข้อมูลการเจริญและการกระจายตัวของรากในรูปที่ 65



รูปที่ 66 การเจริญของรากใน Net pot ที่ระดับความลึก 0-10 10-20 20-30 30-60 และ 60-100 ซม. รากอ้อยใน Net pot เป็นเพียงการแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของรากอ้อยอายุ 12 เดือน ที่มีการให้น้ำปกติ ซึ่งพบว่ารากจำนวนมากจะอยู่ในระดับตื้น 0-30 เซนติเมตร

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

จากการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ โดยได้ศึกษาการเจริญของรากอ้อยที่อายุต่างๆ และความสัมพันธ์ของรากกับความชื้น และวิธีการใส่ปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างๆ เช่นที่ระดับความลึก 10 20 และ 30 ซม. พบว่า

1. รากอ้อยที่อายุ 3 เดือน ที่มีการจัดการน้ำแบบปกติ รากของอ้อยสามารถหยั่งลึกลงไปในดินมากกว่า 1 เมตร แต่จะมีการกระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณผิวดินที่ความลึก 0-30 ซม. พบมากบริเวณใต้ลำต้นของอ้อยแล้วแผ่กระจายออกด้านข้าง จากการทดลองพบความหนาแน่นและแผ่กระจายของรากสูงที่ระดับความลึก

10-20 ซม. ซึ่งเป็นระดับความลึกที่ดินมีความชื้นคงที่และมากกว่าที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ซึ่งเป็นบริเวณใกล้ผิวดินที่อาจมีการสูญเสียน้ำจากสภาพแวดล้อมได้ง่าย

ข้อเสนอแนะ หากมีการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยในช่วงอ้อยอายุน้อยกว่า 3 เดือน ควรให้ปุ๋ยฝังลงไปในดินที่ระดับความลึกในช่วง 10-20 ซม. ห่างจากโคนต้นประมาณ 30 ซม. ซึ่งเป็นตำแหน่งที่รากของอ้อย มีความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากตามแนวรัศมีมากที่สุด อีกทั้งความลึกที่ระดับ 10-20 ซม. ในสภาวะปกติจะมีความชื้นเพียงพอและค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับที่ใกล้ผิวดินที่สามารสูญเสียความชื้นได้ง่าย และระดับความลึกนี้ยังเป็นระดับความลึกที่ไม่ลึกมาก รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการลากเครื่องฝังกลบปุ๋ยจึงไม่จำเป็นต้องใช้กำลังมาก มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ทำงานได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกมากขึ้น และหยัดพลังงานเชื้อเพลิง

2. น้ำ และความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของอ้อย จากการทดลอง พบว่า ความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำและการฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยมาก ขณะที่การจัดการน้ำ 2 รูปแบบ คือ การให้น้ำปกติกับการงดการให้น้ำช่วง 3-6 เดือน จากข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่อายุ 6 เดือน พบว่า มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อ้อยมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้การจัดการน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญในการปลูกอ้อยให้ได้ผลผลิตดี จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้มีการใส่ปุ๋ยแต่ถ้าอ้อยขาดน้ำก็จะส่งผลให้ผลผลิตไม่ดีตามไปด้วย การจะใส่ปุ๋ยให้ได้ประโยชน์นั้นดินต้องมีความชื้นเพียงพอหรือมีการให้น้ำ รากอ้อยก็จะนำทั้งความชื้นและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายและมีประสิทธิภาพส่งผลดีต่อการเจริญเติบโต คุณภาพและผลผลิตของอ้อย

3. รากอ้อยที่อายุ 6 เดือน มีการเจริญได้ดีในสภาพการจัดการน้ำปกติ แต่จะลดความหนาแน่นและการแผ่กระจายตามแนวรัศมีลงเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ จากการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นของราก รวมถึงน้ำหนักแห้งของรากจะลดลงน้อยเมื่อรากประสบกับภาวะแห้งแล้งเปรียบเทียบกับรากของอ้อยในสภาวะปกติ อย่างไรก็ดีแม้ปริมาณรากจะแตกต่างแต่ความหนาแน่นและการกระจายตัวตามแนวรัศมีจะมีลักษณะเหมือนกันคือจะมีกากรกระจายตัวมากที่ระดับความลึก 10-20 ซม. เช่นเดียวกับอ้อยที่อายุ 3 เดือน และลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แต่จะมีข้อแตกต่างตรงที่รากอ้อยที่ประสบกับสภาวะแห้งแล้งจะมีการพัฒนารากในระดับที่ลึกขึ้นให้มีปริมาณมากขึ้นเพื่อหยั่งลึกลงไปหาความชื้นในชั้นดินที่ลึกลงไป

ข้อเสนอแนะ หากมีการใส่ปุ๋ยโดยใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยในช่วงอ้อยอายุน้อยกว่า 6 เดือน ควรให้ปุ๋ยฝังลงไปในดินที่ระดับความลึกในช่วง 10-20 ซม. ห่างจากโคนต้นประมาณ 30 ซม. ซึ่งเป็นตำแหน่งที่รากมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของรากตามแนวรัศมีมากที่สุดตามข้อมูลการทดลอง เลือกช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยในช่วงที่ดินมีความชื้นเหาะสม หรือมีการให้น้ำตามหลังการใส่ปุ๋ยก็จะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยมีข้อเสนอแนะเช่นเดียวกับข้อเสนอแนะในข้อที่ 1

4. การเจริญเติบโตของอ้อยและการเจริญของรากหลังการกลับมาให้น้ำปกติ ช่วง 6 -12 เดือน พบว่า เมื่อมีการให้น้ำปกติ รากสามารถเจริญกลับมาเป็นปกติได้เร็วกว่าการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน จะเห็นได้จากข้อมูลความหนาแน่นของรากและการกระจายตัวของรากเมื่ออายุ 12 เดือน ที่สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างจากอ้อยที่มีการจัดการน้ำปกติ ขณะที่การเจริญเติบโตด้านความสูง ความยาวลำ ขนาดลำ

น้ำหนักลำ และผลผลิตน้ำตาล (sugar yield) ซึ่งเป็นส่วนเหนือดิน ยังคงต่ำกว่าอ้อยที่มีการจัดการน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในการเจริญเติบโตของอ้อยและการเจริญของราก น้ำและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตที่ชัดเจน จากการทดลอง พบว่า การฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งความลึกต่างๆ และความสัมพันธ์ของการจัดการน้ำร่วมกับการฝังกลบปุ๋ยที่ตำแหน่งต่างๆ ที่อ้อยอายุ 6 เดือน มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยมาก และแทบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติหรือความสัมพันธ์กันเลย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเมื่ออ้อยเมื่อมีการให้น้ำตามปกติอ้อยสามารรถเจริญเติบโตได้แต่จะช้ากว่าอ้อยที่มีการจัดการน้ำปกติตลอดการปลูก ส่งผลให้มีผลผลิตและคุณภาพของอ้อยน้อยกว่า

ข้อเสนอแนะ จากการทดลองจะพบว่าอ้อยที่ผ่านสภาพแห้งแล้งจะมีการปรับตัวต่างๆ ทางสรีระวิทยา ไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตทางลำต้น ลดพื้นที่ใบ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างรากเพื่อให้อ้อยสามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งได้นานที่สุด รากเป็นอวัยวะแรกของอ้อยที่รับรู้และได้รับผลกระทบโดยตรงจากสภาะนี้ และจะส่งสัญญาณไปยังส่วนเหนือดินเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม จากการทดลองจะเห็นว่าอ้อยที่ผ่านสภาวะแห้งแล้งจะกลับมามีสภาพเหมือนอ้อยที่ได้รับน้ำปกติเป็นไปได้ยากมาก แม้รากที่เป็นส่วนสนับสนุนน้ำและธาตุอาหารจะกลับมาเป็นปกติได้เร็วกว่าการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นแต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้ทันกับอ้อยปกติ ดังนั้นการจัดการน้ำที่เพียงพอให้กับอ้อยตลอดช่วงการเจริญเติบโต หรือโดยเฉพาะระยะย่างปล้อง (elongation phase) ก็จะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของอ้อย และที่สำคัญไม่ควรปล่อยให้อ้อยอยู่ในสภาวะแล้งที่ยาวนานเนื่องจากจะไม่สามารถเจริญเติบโตและผลผลิตได้ทันช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการย่อยที่ 2
การออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก
Design of fertilizer machine for small tractor

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจในด้านการบริโภคและด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยสูงถึง 105 ล้านตัน สามารถผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 11.2 ล้านตัน และเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลลำดับ 2 ของโลก (USDA Foreign Agriculture Service, 2017) พื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกอ้อยอยู่ประมาณ 11 ล้านไร่ แต่พบว่า ส่วนใหญ่เป็นแปลงอ้อยขนาดเล็กถึงร้อยละ 86 (พื้นที่<50 ไร่) แปลงขนาดกลาง 13 เปอร์เซ็นต์ (พื้นที่ระหว่าง 50-250 ไร่) และเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่เป็นแปลงขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) (Sriroth, Vanichsriratana and Sunthonvarabhas, 2016) ด้านผลผลิตต่อไร่ของไทยอยู่ที่ 11.75 ตันต่อไร่ ปีการผลิต 2554-2555 ซึ่งต่ำกว่าประเทศขู่แข่ง เช่น ออสเตรเลีย และบราซิล ซึ่งมีผลผลิต 13.07 และ 12.23 ตันต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2558) ด้านการขยายตัวของโรงงานน้ำตาล พบว่า จำนวนโรงงานน้ำตาลเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 50 โรงเป็น 62 โรง ทำให้ความต้องการอ้อยเข้าหีบมีมากขึ้น ส่งผลให้การขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นแต่ได้ไม่มากนักเพราะจะต้องแข่งขันกับพืชอื่น จำเป็นจะต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การยกระดับผลผลิตต่อไร่เพื่อเพิ่มรายได้ของเกษตรกรและลดต้นทุนการผลิต

การเพิ่มผลผลิตอ้อยให้สูงขึ้นนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ การจัดการดิน น้ำ ธาตุอาหาร ที่เหมาะสมจะช่วยให้อ้อยเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ใต้ดินนั้นก็คือราก ซึ่งจำเป็นอย่างมากในการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็น 1) การดูด น้ำและแร่ธาตุที่ละลายน้ำจากดินเข้าไปในลำต้น 2) การลำเลียง น้ำและแร่ธาตุรวมทั้งอาหารซึ่งพืชสะสมไว้ในรากขึ้นสู่ส่วนต่างๆของลำต้น 3) การแลกเปลี่ยนก๊าซ 4) เป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนเพื่อการเจริญพัฒนาส่วนของลำต้น ส่วนยอด และ 5) การยึดลำต้นไว้กับดิน (Smith, Inman-Bamber and Thorburn, 2005) มีการรายงานพบว่าลักษณะการเกิดของรากในอ้อยปลูกใหม่และอ้อยตอมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกที่เหมาะสมช่วยให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่

การฝังปุ๋ยในแปลงอ้อย โดยส่วนใหญ่จะใส่ปุ๋ยประมาณ2 - 3 ครั้ง ขึ้นกับการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ครั้งแรก คือ ปุ๋ยรองพื้นใส่ในขั้นตอนการปลูกโดยเครื่องปลูก และอ้อยตอใส่หลังการเก็บเกี่ยว เพื่อส่งเสริมการสร้างใหม่ ครั้งที่ 2 ขณะที่ต้นอ้อยมีอายุประมาณ 2 - 3 เดือน เพื่อส่งเสริมการแตกกอ โดยใช้เครื่องฝังปุ๋ยต่อพ่วงแทรกเตอร์ขนาดกลางวิ่งคล่อมร่องอ้อย เพื่อฝังปุ๋ยบริเวณข้างกออ้อย อาจเกิดปัญหาลำต้นอ้อยหักโค่นและระดับการฝังปุ๋ยที่เกินระดับความลึกที่ต้องการ ส่งผลให้อ้อยเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน และครั้งที่ 3ใส่ปุ๋ยในช่วง

อายุประมาณ 4 - 5 เดือน เพื่อส่งเสริมการย่างปล้องและสะสมน้ำตาล โดยใช้แรงงานในการเข้าไปหว่านปุ๋ย แต่ในปัจจุบันแรงงานส่วนใหญ่เข้าทำงานในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น

จากการผลิตอ้อยและในส่วนของขั้นตอนการฝังปุ๋ย ปัจจุบันพบว่า มีการนำเครื่องจักรกลเข้ามาใช้ในทุกขั้นตอนการผลิตมากขึ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิต และลดปัญหาด้านแรงงาน เนื่องจากแรงงานมีค่าจ้างที่สูงขึ้นและหายาก แต่ส่วนมากเครื่องจักรกลที่นำมาใช้จะมีขนาดใหญ่ อุปกรณ์ต่อพ่วงจึงมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ทำให้มีราคาแพงเกษตรกรรายย่อยจึงไม่มีกำลังในการซื้อ และดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากว่า 86 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เป็นแปลงอ้อยขนาดเล็ก ดังนั้นหากมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ ให้มีขนาดเล็กลงและสามารถต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ที่มีขนาดเล็กได้ (ขนาดเล็กกว่า 50 แรงม้า) ก็จะทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงการใช้เครื่องจักรได้มากขึ้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตในภาพรวม สามารถใช้งานในช่วงฝังปุ๋ยที่อ้อยมีความสูงเกินท้องรถแทรกเตอร์ โดยแทรกเตอร์ขนาดเล็กสามารถทำงานในร่องอ้อยที่มีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 1.50 เมตร ดังนั้นในการศึกษา จึงมุ่งออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยพัฒนาวิธีการฝังกลบให้สอดคล้องกับผลการศึกษาราก เพื่อให้พืชนำธาตุอาหารไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเครื่องฝังกลบปุ๋ยสามารถปรับตั้งเครื่องได้ง่ายตามความเหมาะสม และสามารถใช้ในพื้นที่แปลงขนาดเล็กได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1เพื่อศึกษาออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

1.2.2เพื่อทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1ทำการศึกษาและทดลองในพื้นที่แปลงทดลองของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำหรับอ้อยปลูก

1.3.2 พันธุ์อ้อยที่ใช้ในการทดลอง อ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3

1.3.3 รถแทรกเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังขนาดไม่เกิน 30 แรงม้า

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยรวมถึงวารสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และช่วยลดปัญหาแรงงานคน รวมถึงการฝังปุ๋ยในแต่ละช่วงอายุอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มผลผลิตอ้อยให้สูงขึ้นได้

บทที่ 2
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย

อ้อย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharumofficinarum Linn.*เป็นพืชชนิดไม้ล้มลุกมีความสูงประมาณ2-5 เมตร ไม่แตกกิ่งก้าน พืชใบเดี่ยว และมีดอกเป็นช่อออกที่ปลายยอด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ลำต้น (Stalk) มีลักษณะเป็นปล้องสั้นๆ สีของลำต้นมีหลายสี ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม

2.1.2 ใบอ้อย (Leaves) แบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ กาบใบ และแผ่นใบ ทั้งสองส่วนต่อเชื่อมกันโดยทั่วไปใบจะเกิดสลับกันที่ข้อและห่อหุ้มตาเอาไว้ตรงรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีคอลลาร์ (collar) ป้องกันไม่ให้ใบฉีกขาดได้ง่าย มีเขี้ยวใบ (auricle) ที่ขอบกาบใบตอนบนและลิ้นใบ (ligule) อยู่ด้านในของรอยต่อ

2.1.3 ระบบราก (Root System) การขยายพันธุ์อ้อยส่วนใหญ่จะใช้ท่อนพันธุ์ เมื่อนำไปปลูกจะแบ่งรากออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) รากของท่อนพันธุ์ (sett root หรือ cutting root) อาจเรียกว่า รากชั่วคราว เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากในบริเวณเกิดรากของท่อนพันธุ์ รากมีลักษณะผอมแตกแขนงมาก ขณะที่ตาของท่อนพันธุ์กำลังเจริญเป็นหน่อ (shoot) นั้นได้น้ำและธาตุอาหารจากดินทางรากเหล่านี้ รากของท่อนพันธุ์จะทำหน้าที่ต่อไปจนกระทั่งหน่อมีรากงอกออกมา ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารแทนหลังจากนั้นรากของท่อนพันธุ์รวมทั้งตัวท่อนพันธุ์เดิมก็จะหมดสภาพไป

2) รากของหน่อ (shoot root) อาจเรียกว่า รากถาวร เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากของหน่อที่เกิดจากท่อนพันธุ์นั้น รากนี้มีขนาดใหญ่กว่ารากชนิดแรกเมื่อเกิดใหม่ๆ มีลักษณะอวบไม่มีแขนง สีขาว และสีจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเข้มเมื่ออายุมากขึ้น แม้ว่าปุ่มรากที่ปรากฏในบริเวณเกิดรากของแต่ละข้อจะมีจำนวนจำกัด แต่เนื่องจากส่วนโคนของลำต้นที่อยู่ใต้ดินมีปล้องถี่มาก ทำให้มีรากจำนวนมากจะเจริญออกมาจากปุ่มรากเท่านั้น การเจริญของรากจะเกิดทยอยกันโดยต่อเนื่อง ในขณะที่รากเก่ากำลังเสื่อมสภาพลง

2.1.4 ดอกอ้อย (Inflorescence) ดอกอ้อยมีลักษณะเป็นพู่ แต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันไป ในทางพันธุ์ศาสตร์จำเป็นต้องบังคับให้อ้อยออกดอกเพื่อการผสมพันธุ์ ส่วนในทางเขตกรรมจะบังคับไม่ให้อ้อยออกดอกเพื่อการเพิ่มผลผลิต

2.2 การปลูกอ้อย

ระยะเวลาที่ทำการปลูกอ้อยนั้นมีหลายปัจจัยทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในดิน เป็นต้น การปลูกอ้อยโดยทั่วไปเป็นการปลูกอ้อยโดยอาศัยสภาพน้ำฝนตามธรรมชาติ ถ้าหากสามารถจัดการความชื้นในดินให้เหมาะสมเพียงพอที่อ้อยอาศัยความชื้นในการงอกได้และรอ

น้ำฝนในช่วงเดือน มีนาคม - พฤษภาคม จึงสามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ หากแบ่งประเภทอ้อยจากความชื้นในดินและเวลาในการปลูกอ้อยสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทด้วยกัน

2.2.1 อ้อยต้นฝน เริ่มในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตกของฝน (ยกเว้นเขตที่มีระบบชลประทาน) หากฤดูกาลใดฝนตกเร็วสามารถปลูกอ้อยได้เร็ว แต่ถ้าฤดูกาลปลูกใดฝนตกล่าช้าการปลูกอ้อยจำเป็นต้องเลื่อนออกไป การเตรียมดินจึงต้องทันกับการตกของฝน มักมีปัญหาเรื่องวัชพืชมาก การปลูกอ้อยหากทำล่าช้ามักมีปัญหาด้านความหวาน เนื่องจากอ้อยยังไม่ถึงช่วงสุกแก่

2.2.2 อ้อยปลายฝน เริ่มในช่วงเดือนตุลาคม - ธันวาคม ซึ่งการปลูกอ้อยในช่วงนี้อาศัยความชื้นที่เก็บไว้ในดินตลอดช่วงฤดูฝน เพื่อให้อ้อยงอกและเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในช่วงที่ไม่มีฝนตกจนกระทั่งต้นฤดูกาลถัดไปจะมีฝนตกบ้าง ดินที่เหมาะสมคือดินร่วนปนทรายหรือดินทราย

2.3 การเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อยมีระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ คือ

2.3.1 ระยะงอก (germination phase) เริ่มปลูก 1.5 เดือน (3-6 สัปดาห์) อ้อยใช้อาหารจากท่อนพันธุ์และความชื้นในดินรวมทั้งปุ๋ยที่ใส่รองพื้น ทั้งนี้ยังขึ้นกับพันธุ์ สภาพของท่อนพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์มีความสัมพันธ์กับความงอก การได้รับน้ำและไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์จะทำให้อ้อยงอกได้ดี ระยะนี้มีความสำคัญและเป็นตัวกำหนดจำนวนกอต่อไรซึ่งมีผลต่อผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว

2.3.2 ระยะแตกหน่อ (tiller phase) เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 2-4 เดือน การแตกตอเกิดจากตาอ้อยที่อยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน ทำให้ลำต้นหรือหน่อที่เกิดขึ้นภายหลังอยู่ใกล้ผิวดินหรือลอยขึ้น การเจริญเติบโตระยะนี้ต้องการแสงแดดจัด อุณหภูมิสูง และต้องการน้ำมากกว่าระยะงอก ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากขึ้น จึงควรใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในช่วงนี้ จำนวนหน่อยที่แตกในระยะนี้จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำต่อกอ

2.3.3 ระยะย่างปล้อง (grand growth phase หรือ elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องจากการแตกกอ เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 4-5 เดือน โดยที่อ้อยจะเจริญเติบโตได้เร็วสุดเมื่ออายุ 6-7 เดือน ต้องการแสงแดดจัดเพื่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น มีความต้องการน้ำ และปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด การขาดปุ๋ยจะทำให้ปล้องสั้น น้ำหนักต่อลำอ้อยลดลง ทำให้ผลผลิตอ้อยทั้งหมดลดลงด้วย ระยะนี้เป็นตัวกำหนดขนาดและน้ำหนักของลำอ้อยและเป็นช่วงที่อ้อยเจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงต้องการปัจจัยต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโต

2.3.4 ระยะสุกแก่ (ripening phase) เป็นระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตที่ช้ามาก สังเกตได้จากส่วนยอดจะอยู่ชิดกันมาก ปริมาณน้ำตาลที่สังเคราะห์แสงได้จะสะสมไว้ที่ลำต้นมากขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ระยะสุก เป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด ระยะนี้ต้องการแสงแดดจัดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงหรือสร้างน้ำตาลสะสมในลำต้นและต้องการอุณหภูมิต่ำหรืออากาศหนาวเย็นซึ่งจะช่วยให้นำตาลที่ใบส่งมาสะสมที่ลำต้น ถ้าอากาศหนาวติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานจะส่งเสริมให้อ้อยมีความหวานเพิ่มขึ้น ระยะนี้ต้องการน้ำน้อยกว่า 3 ระยะแรกและไม่ต้องการปุ๋ยในโตรเจนในระยะนี้หากมีปุ๋ยในโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากจะทำให้ความหวานน้อยลง (พืชเศรษฐกิจ, 2542)

2.4 เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อยที่ใช้ในปัจจุบัน

เครื่องจักรกลการเกษตรสำหรับใส่ปุ๋ยในระดับรากอ้อยใต้ดิน คือ เครื่องฝังปุ๋ย มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ถังใส่ปุ๋ย ท่อนำปุ๋ย ขาไถเปิดร่องดิน ใบมีดตัดใบอ้อย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย การใช้งานของเกษตรกร โดยใช้รถแทรกเตอร์เป็นต้นกำลังลากพ่วงเครื่องฝังปุ๋ยคร่อมระหว่างร่องปลูกอ้อย ในขณะเดียวกัน แขนข้างซ้าย แขนข้างขวา และแขนกลางของรถแทรกเตอร์ จะควบคุมกดขาไถเข้าไปในดินความลึก 10–30 เซนติเมตร ขณะเคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสดิน ทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงานส่งผลให้ปุ๋ยไหลมาตามท่อนำปุ๋ยเข้าสู่ร่องดินที่ขาไถเปิดไว้ (วิชัย และคณะ, 2556)

เครื่องฝังปุ๋ยที่เกษตรกรใช้สำหรับอ้อยตอ จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ปลูกในแต่ละภาค ซึ่งสามารถใช้ในร่องอ้อยขนาด 80-150 เซนติเมตร อัตราการทำงาน 6-10 ไร่/วัน อัตราการฝังปุ๋ย 30-75 กิโลกรัม/ไร่ ชนิดของเครื่องมีทั้งแบบ 2 หรือ 4 ขาไถ ความลึกการฝังปุ๋ย 10-30 เซนติเมตร ใช้ต้นกำลังรถแทรกเตอร์ขนาด 80 แรงม้าขึ้นไป โดยเกษตรกรจะฝังปุ๋ยทันทีหลังการเก็บเกี่ยวอ้อย ส่วนปริมาณปุ๋ยที่ใช้เกษตรกรจะพิจารณาจากสภาพดินและน้ำที่อ้อยได้รับ เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการวิเคราะห์ดินก่อนใส่ปุ๋ย เนื่องจากเห็นว่ามีความยุ่งยาก (วิชัย และคณะ, 2556)

ข้อดีและข้อข้อเสียของเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่เกษตรกรใช้งานในปัจจุบัน (รูปที่ 67)

- มีกลไกการทำงานที่ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนเกษตรกรสามารถซ่อมแซมได้ง่าย
- สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการตัดใบอ้อยสำหรับใส่ปุ๋ยอ้อยตอได้
- ถังใส่ปุ๋ยทำจากสแตนเลสมีความทนทานต่อการกัดกร่อน
- รอยขาไถทำให้ดินแตกตัวบริเวณหน้าดินค่อนข้างสูงอาจส่งผลให้รากบริเวณหน้าดินเสียหายได้และเกิดอ้อยล้มได้ง่ายขึ้น
- เครื่องฝังกลบปุ๋ยไม่สามารถปรับตั้งความลึกภายในตัวเครื่องเองได้ จำเป็นต้องใช้แขนยกจากแทรกเตอร์ในการควบคุมความลึก
- ความลึกของการใส่ปุ๋ยไม่สม่ำเสมอ

ก. เครื่องฝังกลบปุ๋ยของบริษัท ก.แสงยนต์

ข. เครื่องฝังกลบปุ๋ยของบริษัทศรีกำแพงแสน

ค. เครื่องฝังกลบปุ๋ยของบริษัทกลกิจ

รูปที่ 67 เครื่องใส่ปุ๋ยที่เกษตรกรใช้งานในปัจจุบัน

(ที่มา: พินิจ จิรัคคกุล และคณะ, 2558)

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สมชาย ชวนอุดม (2556) กล่าวว่า การวัดสมรรถนะของเครื่องจักรกลเกษตรนิยมใช้อัตราการทำงานและคุณภาพของผลงานเป็นตัวชี้วัด อัตราการทำงานเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของเครื่องจักรกลเกษตร ดังนั้นในการประเมินสมรรถนะต้องพิจารณาทั้งปริมาณงานและคุณภาพของผลงาน สมรรถนะด้านประสิทธิภาพในการทำงานแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ประสิทธิภาพทำงานเชิงเวลา และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ในส่วนของสมรรถนะด้านความสามารถในการทำงานแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่และความสามารถในการทำงานเชิงวัสดุ

การหาความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ คือ อัตราส่วนของปริมาณพื้นที่ที่เครื่องปลูกทำงานได้ต่อหน่วยเวลาที่ปฏิบัติงานทั้งหมด โดยรวมเวลาที่สูญเสียไประหว่างปฏิบัติงานสามารถคำนวณได้จากสามการที่ 2.1

$$Ca = \frac{A}{T} \qquad \text{-----} \qquad (2.1)$$

เมื่อ Ca คือ ความสามรถในการทำงานเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง)

A คือ พื้นที่การทำงาน (ไร่)

T คือ เวลาในการทำงานทั้งหมด (ชั่วโมง)

การหาประสิทธิภาพในการทำงาน คือ อัตราส่วนระหว่างเวลาที่เครื่องใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงาน (สมชาย ชวนอุดม, 2556) สามารถคำนวณได้จากสามการที่ 2.2

$$Ef = \frac{T_S}{T} \qquad \text{-----} \qquad (2.2)$$

เมื่อ Ef คือ ประสิทธิภาพการทำงานเชิงเวลา(เปอร์เซ็นต์)

Ts คือ เวลาปฏิบัติงานไม่รวมเวลาสูญเสีย (ชั่วโมง)

T คือ เวลาในการทำงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย (ชั่วโมง)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม และ วัฒนศักดิ์ ชมพูนิช (2551) ได้ทำการศึกษาวิธีการใส่ปุ๋ยอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการใส่ปุ๋ยอ้อย 5 วิธีการ ประกอบด้วย 1)ใส่ปุ๋ยอ้อยโดยการใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถไถเดินตาม 2)ใส่ปุ๋ยอ้อยโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 24 แรงม้า 3)ใส่ปุ๋ยอ้อยโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ 90 แรงม้า 4)ใส่ปุ๋ยอ้อยโดยใช้แรงงานคนหว่านและใช้จอบหมุนพรวนดินกลบปุ๋ย และ5)ใส่ปุ๋ยโดยแรงงานคนหว่านปุ๋ยโดยไม่มีการไถกลบปุ๋ย พบว่า อ้อยที่ใส่ปุ๋ยอ้อยโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กให้ผลผลิตดีกว่าการใส่ปุ๋ยอ้อยโดยใช้เครื่องใส่ปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ เพราะว่าอ้อยมีบางส่วนหักเสียหายจากการใส่ปุ๋ยและปุ๋ยที่ใส่มีการฝังกลบลึกเกินไป

พินิจ จิรัคคกุล และคณะ (2558) ได้พัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมในอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้าขึ้นไป พบว่า เครื่องต้นแบบมีความสามารถการทำงานเฉลี่ย 5.30 ไร่/ชั่วโมง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 1.23 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย 65.88 เปอร์เซ็นต์ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 1.70 ลิตร/ไร่ สามารถปรับอัตราหยอดได้ตั้งแต่ 7-87 กิโลกรัม/ไร่(รูปที่ 68)

รูปที่ 68 เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยผสมในอ้อยแบบ 2 แถว ติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 60 แรงม้า (ที่มา: พินิจ จิรัคคกุล และคณะ, 2558)

รัชดา ปรัชเจริญวนิชย์ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษา ผลของการจัดการแปลงอ้อยระยะยาวต่อการกระจายตัวของรากและการให้ผลผลิตอ้อย โดยทำการศึกษาการจัดการแปลงด้วยวิธีต่างๆ ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1)การไถกลบเศษซากอ้อยลงดิน 2)การปล่อยเศษซากอ้อยคลุมดิน 3)การปลูกปอเทืองแล้วไถกลบเมื่อปอเทืองออกดอก 4)การไถตัดรากอ้อย 5)

การเผาเศษซากอ้อย(วิธีเกษตรกร) โดยใช้พันธุ์อู่ทอง 3 ในการศึกษาวิจัย พบว่า รากอ้อยส่วนใหญ่กระจายตัวในรัศมีด้านข้างประมาณ 10-20 เซนติเมตร ส่วนปริมาณรากในระดับความลึกต่างๆนั้น มีปริมาณรากเจริญเติบโตอยู่มากที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร และการไถกลบเศษซากอ้อยคลุกลงดิน การปลูกปอเทืองแล้วไถกลบ และการไถตัดรากอ้อย มีรากในชั้นดินความลึก 0 - 30 เซนติเมตร มากกว่าการปล่อยเศษซากอ้อยคลุมดินและการเผาเศษซากอ้อย 9 – 11 เปอร์เซ็นต์

ปฐมพงษ์ คุมพล และคณะ (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั่นสะเทือนติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยรถแทรกเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังขนาดประมาณ 30 แรงม้า ซึ่งได้ออกแบบให้มีขาไถจำนวน 1 ขา มีขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 815, 620 และ 1,202 มิลลิเมตร ตามลำดับ และน้ำหนักเครื่องสุทธิ 170.6 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่า เครื่องสามารถทำงานเปิดร่องระเบิดดินดานได้ดีไม่กว้างเกินไปและไม่นำดินชั้นล่างขึ้นมาปนดินชั้นบน ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของไถระเบิดดินดาน สามารถไถได้ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยสามารถทำงานด้วยความเร็วการเคลื่อนที่ 3.0 เมตร/วินาที ที่อัตราการลื่นไถล 37.09 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ระบบสั่นสะเทือนสามารถลดการใช้แรงฉุดลากจากแทรกเตอร์ร้อยละ 13.51 โดยเพลา PTO ทีรอบการทำงาน 540 รอบต่อนาที (รูปที่ 69)

รูปที่ 69 การออกแบบและพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั่นสะเทือนติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (ที่มา: ปฐมพงษ์ คุมพล และคณะ, 2555)

อนุตร จำลองกุล (2547) ได้ทำการศึกษาลักษณะการแตกตัวของดินเนื่องจากไถดินดานชนิดสั่นที่ปลายหัวเจาะ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาหาแรงที่กระทำต่อขาไถและศึกษาลักษณะการแตกตัวของดิน โดยลักษณะแปลงทดสอบมีความชื้นดินมาตรฐานแห้ง 24 เปอร์เซ็นต์ ที่ความลึก 20 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.67 เมตร/วินาที ความต้านทานการแทงทะลุของดิน 1,854 นิวตัน/ตารางเมตร แรงเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน 76.48 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และมุมเสียดทานภายในของดิน 71.5 องศา ที่มุมคราดของขาไถ 90 องศา พบว่า การทดสอบไถดินดานชนิดสั่นที่ปลายหัวเจาะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อขาไถ 8,303 นิวตัน ดินมีพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวเฉลี่ย 1.099 ตารางเมตร ที่ปลายหัวเจาะสั่นด้วยความถี่ 3.05 H_z และการทดสอบไถดินดานชนิดธรรมดาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อขาไถ 9,581 นิวตัน ดินมีพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวเฉลี่ย 1.010 ตารางเมตร ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ไถดินดานชนิดสั่นที่ปลายหัวเจาะทำให้ดินมีพื้นที่หน้าตัดการ

แตกตัวได้มากกว่า 8.81 เปอร์เซ็นต์ และแรงลัพธ์ที่กระทำต่อขาไถน้อยกว่า 13.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีผลให้รถแทรกเตอร์ใช้แรงฉุดลากน้อยลง ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากยิ่งขึ้น

ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาไถระเบิดดินดานติดรถแทรกเตอร์ขนาดกลางสำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย ใช้รถแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาด 49-50 แรงม้า โดยออกแบบไถระเบิดดินดานเป็นแบบ 2 ขา มีปีกสองข้าง ขนาดความยาวขาไถ 1 เมตร ที่ปลายขาไถถูกออกแบบให้มีมุมจิกสำหรับระเบิดดินดาน 30 องศา มีความกว้างของหัวจิก 3.81 เซนติเมตร โดยทำการทดสอบไถระเบิดดินดานในแปลงเกษตรกร อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น มีความชื้นของดิน 14.53 เปอร์เซ็นต์ ที่ความลึก 35 เซนติเมตร พบว่า ไถระเบิดดินดานสามารถไถได้ความลึกเฉลี่ย 41 เซนติเมตร ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.41 ไร่/ชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 70.17เปอร์เซ็นต์ ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 3.52 ลิตร/ไร่ (รูปที่ 70)

รูปที่ 70 การศึกษาไถระเบิดดินดานติดรถแทรกเตอร์ขนาดกลางสำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย
(ที่มา: ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ และคณะ, 2560)

Cornelisonและ cooper ในปี ค.ศ.1998 ได้ทำการทดสอบเครื่องฝังปุ๋ยอ้อย 2 แบบ คือ แบบใช้คราดสปริงเปิดร่องและแบบใช้จานไถเป็นตัวเปิดร่อง ในพื้นที่มลรัฐอริโซนา สหรัฐอเมริกา พบว่า การใช้จานไถเปิดร่อง สามารถแก้ปัญหาใบอ้อยติดพันเครื่องมือได้ การทำงานมีความสะดวกและเหมาะสมกับพื้นที่มีใบอ้อย และผลการทดสอบพบว่า การใช้เครื่องฝังปุ๋ยอ้อยแบบจานไถ จะทำให้เกิด Slip 7.51 เปอร์เซ็นต์ ความต้องการแรงฉุดลาก 4.57 กิโลนิวตัน และกำลังที่ต้องการใช้ 5.5 กิโลวัตต์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยมีความต้องการให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฝังกลบปุ๋ยได้ความลึกที่สม่ำเสมอและมีความเหมาะสมกับการใช้งานในรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.1 การศึกษาออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

การศึกษาออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยนำข้อมูลของโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากำหนดเกณฑ์การออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ ซึ่งให้เหมาะสมกับการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึกต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกอ้อยโดยใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่เหมาะสม

2) นำข้อมูลจากงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ และข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากำหนดเกณฑ์การออกแบบ

3) หลังจากกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบแล้ว ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Auto cad และ solid work เพื่อออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้

4) ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของขาฝังกลบปุ๋ยซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของเครื่อง

5) ทำการสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ตามที่ได้ออกแบบไว้

3.1.2 ค่าชี้ผลการศึกษา

ได้เครื่องต้นแบบฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า สามารถฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึกสม่ำเสมอและมีความเหมาะสมกับการใช้งานในรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยสามารถทำงานได้สอดคล้องกับวิธีการฝังกลบปุ๋ยตามโครงการวิจัยย่อยที่ 1การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

3.2 การทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

การศึกษาในครั้งนี้ เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของการใช้งานเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายแทรกเตอร์ 24 แรงม้า และศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยหลังจากการใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องฝังกลบปุ๋ย โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่ศึกษา

การพิจารณาเลือกปัจจัยที่ศึกษา เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า และการเจริญเติบโตของอ้อยหลังจากการใส่ปุ๋ย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) พันธุ์อ้อย ประเทศไทยมีการเพาะปลูกอ้อยหลากหลายชนิดพันธุ์แต่ละพันธุ์มีคุณสมบัติ และลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น มีความทนทานต่อโรคและแมลง อายุการเก็บเกี่ยวอ้อยซึ่งต้องพิจารณาอายุการเก็บเกี่ยวให้เหมาะสมว่าเป็นพันธุ์เบา พันธุ์กลาง และพันธุ์หนัก และมีความเหมาะสมกับพื้นที่ในการปลูก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพันธุ์อ้อยที่ใช้จำนวนทั้งหมด 325 พันธุ์ (จิรวัฒน์ สนิทชน, 2541) ทำให้การกำหนดระดับปัจจัยทำได้ยาก ดังนั้นจึงเลือกเป็นปัจจัยควบคุม ซึ่งได้เลือกพันธุ์อ้อย ขอนแก่น 3 เป็นตัวอย่างทดสอบ เพราะมีการปลูกมากในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2) ระยะร่องปลูก การปลูกอ้อยด้วยวิธีปฏิบัติในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีหลักๆ คือ 1) การปลูกด้วยแรงงานเกษตรกร โดยใช้รถแทรกเตอร์ไถยกร่องกว้าง 1.4-1.5 เมตร วางพันธุ์อ้อยเป็นลำโดยใช้ลำเดี่ยวเกยกันครึ่งลำ หรือ 2 ลำวางขนาน ตามลักษณะการแตกกอของพันธุ์อ้อยที่ใช้ แล้วทำการกลบด้วยจอบ 2) การปลูกด้วยเครื่อง เมื่อทำการไถเตรียมดินด้วยแทรกเตอร์เรียบร้อยแล้วจะใช้เครื่องปลูกต่อพ่วงแทรกเตอร์ โดยเครื่องปลูกอ้อยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ชุดเปิดร่อง ชุดตัดท่อนพันธุ์ ล้อขับชุดตัดท่อนพันธุ์ และชุดกลบร่อง ปัจจุบันมีการใช้เครื่องปลูกทั้งแบบแถวเดี่ยวและแถวคู่ การปลูกแบบแถวเดี่ยวมีระยะแถว 1.4-1.5 เมตร ในกรณีนี้เหมาะกับพันธุ์อ้อยที่แตกกอมาก สำหรับการปลูกแถวคู่มีระยะแถว 1.4-1.5 เมตร ระยะระหว่างคู่แถว 30-40 เซนติเมตร ในกรณีใช้กับพันธุ์อ้อยที่แตกกอน้อย ปัจจุบันในประเทศออสเตรเลียมีการใช้เครื่องปลูกอ้อยแบบโรยท่อน (billet planter) โดยใช้รถตัดอ้อยตัดพันธุ์อ้อยเป็นท่อน แล้วนำมาใส่เครื่องปลูกที่สามารถเปิดร่องและโรยท่อนพันธุ์อ้อยแล้วกลบดิน เช่นเดียวกับการปลูกพืชที่ใช้เมล็ด ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกระยะร่องปลูกเป็นปัจจัยควบคุม โดยทำการปลูกอ้อยที่ระยะร่อง 1.5 เมตร เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรปฏิบัติในร่องปลูก ซึ่งรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมีมิติความกว้างของรถอยู่ในช่วง 1- 1.2 เมตร

3) ความลึกของการฝังกลบปุ๋ย รากอ้อยเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการดูดซับธาตุอาหาร โดยช่วงความลึกของดินจะมีประมาณรากอ้อยที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากอายุของอ้อยและชนิดของดินที่ใช้ปลูก วิธีการเพิ่มธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่จะใช้รถแทรกเตอร์ต่อพ่วงอุปกรณ์การให้ปุ๋ย โดยขาฝังกลบปุ๋ยมีลักษณะคล้ายริเปอร์ระเบิดดาน ดังรูปที่ 71 เมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งเข้าระหว่างร่องอ้อยขาฝังกลบปุ๋ยจะแทงลงในดิน โดยความลึกของการฝังกลบปุ๋ยจะควบคุมด้วยระบบควบคุมไฮโดรลิกจากรถแทรกเตอร์ ซึ่งบางครั้งอาจได้ความลึก

ที่ไม่สม่ำเสมอและอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยที่ไม่สม่ำเสมอเช่นเดียวกัน ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเป็นปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบเครื่องทดสอบให้สามารถควบคุมความลึกของการใส่ปุ๋ยให้มีความสม่ำเสมอ

รูปที่ 71 เครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กของเกษตรกร

4) การเจริญเติบโตของอ้อยและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย การเจริญเติบโตของอ้อยแบ่งได้ 4 ระยะ ได้แก่ ระยะงอก (germination phase) เริ่มปลูก 3-6 สัปดาห์ อ้อยใช้อาหารจากท่อนพันธุ์และความชื้นในดิน รวมทั้งปุ๋ยที่ใส่รองพื้น ทั้งนี้ยังขึ้นกับพันธุ์ สภาพของท่อนพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์มีความสัมพันธ์กับความงอก การได้รับน้ำและไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์จะทำให้อ้อยงอกได้ดี ระยะนี้มีความสำคัญและเป็นตัวกำหนดจำนวนกอต่อไรซึ่งมีผลต่อผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว

ระยะแตกหน่อ (tiller phase) เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 2-4 เดือน การแตกตอเกิดจากตาอ้อยที่อยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน ทำให้ลำต้นหรือหน่อที่เกิดขึ้นภายหลังอยู่ใกล้ผิวดินหรือลอยขึ้น การเจริญเติบโตระยะนี้ต้องการแสงแดดจัด อุณหภูมิสูง และต้องการน้ำมากกว่าระยะงอก ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากขึ้น จึงควรใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในช่วงนี้ จำนวนหน่อยที่แตกในระยะนี้จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำต่อกอ

ระยะย่างปล้อง (Grand growth phase หรือ elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องจากการแตกกอ เริ่มเมื่ออ้อยอายุ 4-5 เดือน โดยที่อ้อยจะเจริญเติบโตได้เร็วสุดเมื่ออายุ 6-7 เดือน ต้องการแสงแดดจัดเพื่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น มีความต้องการน้ำ และปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด การขาดปุ๋ยจะทำให้ปล้องสั้น น้ำหนักต่อลำอ้อยลดลง ทำให้ผลผลิตอ้อยทั้งหมดลดลงด้วย ระยะนี้เป็นตัวกำหนดขนาดและน้ำหนักของลำอ้อยและเป็นช่วงที่อ้อยเจริญเติบโตเร็วที่สุด จึงต้องการปัจจัยต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโต

ระยะสุกแก่ (ripening phase) เป็นระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตที่ช้ามาก สังเกตได้จากส่วนยอดจะอยู่ชิดกันมาก ปริมาณน้ำตาลที่สังเคราะห์แสงได้จะสะสมไว้ที่ลำต้นมากขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ระยะสุก เป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด ระยะนี้ต้องการแสงแดดจัดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงหรือสร้างน้ำตาล

สะสมในลำต้นและต้องการอุณหภูมิต่ำหรืออากาศหนาวเย็นซึ่งจะช่วยให้นำตาลที่ใบส่งมาสะสมที่ลำต้น ถ้าอากาศหนาวติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานจะส่งเสริมให้อ้อยมีความหวานเพิ่มขึ้น ระยะนี้ต้องการน้ำน้อยกว่า 3 ระยะแรกและไม่ต้องการปุ๋ยในโตรเจนในระยะนี้หากมีปุ๋ยในโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากจะทำให้ความหวานน้อยลง(พืชเศรษฐกิจ, 2542) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกช่วงในการใส่ปุ๋ย 3 เดือน และ 6 เดือน เป็นปัจจัยในการศึกษาพร้อมกับการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการทำวิจัย

5) ความชื้นของดินที่ระดับความลึกที่ใส่ปุ๋ยความชื้นของดินเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยความชื้นภายในดินจะเป็นตัวช่วยทำลายปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน พืชจึงสามารถนำธาตุอาหารในดินไปใช้ได้ ซึ่งแต่ละระดับความลึกของดินจะมีความชื้นในดินที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในแปลงปลูกอ้อยจริง ทำให้การควบคุมความชื้นเป็นไปได้ยาก จึงได้เก็บข้อมูลความชื้นของดินเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาครั้งนี้

6) ความแข็งของดินที่ระดับความลึกที่ใส่ปุ๋ยโดยปกติโครงสร้างดินในสภาวะที่ดีเมื่อดินอยู่ในสภาวะธรรมชาติ เมื่อพื้นที่ถูกใช้ในการเกษตรโครงสร้างดินจะเริ่มเสื่อมสภาพลงด้วยสาเหตุหลายประการ โดยมีลักษณะสำคัญ 2 ประการของดินที่มีโครงสร้างไม่ดี คือ การมีดานผิวดินและดานในดินชั้นล่าง ดานผิวดินมีลักษณะเป็นชั้นแน่นทึบบางๆบริเวณผิวดิน เกิดขึ้นเมื่อดินที่ถูกไถพรวนไว้อย่างดีถูกฝนหรือน้ำชลประทานเพียง 1-2 ครั้ง ดานในดินชั้นล่างคือ ชั้นดินแน่นทึบที่อยู่ใต้ชั้นไถพรวนเกิดจากการสะสมดินเหนียวและการอัดแน่นจากการเหยียบย้ำของการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ดานในดินชั้นล่างขัดขวางการแพร่กระจายของรากพืชและการซึมซับน้ำรวมถึงการฝังกลบปุ๋ยด้วยเครื่องจักรกลการเกษตรที่ระดับความลึกในระดับต่างๆ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเป็นปัจจัยที่ต้องเก็บข้อมูลเพื่อใช้ประกอบผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

3.2.2 การพิจารณาเลือกระดับปัจจัยการศึกษา

จากการพิจารณาปัจจัยการศึกษา ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อนำไปสู่การพิจาณาสรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลองได้แก่ ช่วงระยะเวลาการฝังกลบปุ๋ยและระดับความลึกของการฝังกลบปุ๋ย โดยพิจารณาเลือกระดับปัจจัยการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ช่วงระยะเวลาการฝังกลบปุ๋ยและระดับความลึกของการฝังกลบปุ๋ยอ้อย โดยทำการฝังกลบปุ๋ย 2 ช่วงเวลา ได้แก่ อ้อยอายุ 3 เดือน และ อ้อยอายุ 6 เดือน ซึ่งแต่ละช่วงเวลาการฝังกลบปุ๋ยจะทำการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึกของดิน 3 ระดับ ได้แก่ 10 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.2.3 แผนการทดสอบ

การทดสอบครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)(ยังไม่สามารถกำหนดสิ่งทดลองและซ้ำได้) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan’sMultiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

3.2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย

1) นาฬิกาจับเวลา
2) ตลับเมตรขนาด 5 เมตร
3) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลพิกัด 5 กิโลกรัม
4) เทปวัดระยะขนาด 50 เมตร
5) หลักเล็งแนวขนาด 2 เมตร
6) ชุดเครื่องมือวัดความแข็งของดิน
7) ชุดเครื่องมือเก็บตัวอย่างดิน และตู้อบลดความชื้นวัสดุเกษตร
8) บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.2.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2ขั้นตอน ได้แก่ การดำเนินการวิจัยก่อนการทดสอบและการดำเนินการวิจัยหลังการทดสอบซึ่งได้ทำการทดสอบที่อ้อยอายุ 3 เดือน โดยในแต่ละครั้งทำการฝังกลบปุ๋ย 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1) การดำเนินการวิจัยก่อนการทดสอบ

1.1) เตรียมพื้นที่ทดสอบให้เหมาะสมกับจำนวนตัวอย่างการทดลอง มีการระบายน้ำที่เหมาะสม โดยเริ่มขั้นตอนแรกจากการไถบุกเบิกด้วยผาน3 แล้วปล่อยให้วัชพืชที่ถูกกลบย่อยสลายประมาณ 3-4 วัน แล้วจึงทำการไถด้วยผานพรวนหรือผาน7 และโรตารี่ เพื่อย่อยก้อนดินให้มีขนาดเล็กลงและร่วนสม่ำเสมอ แล้วทำการยกร่องเตรียมปลูก โดยใช้แรงงงานคน

1.2) การเลือกพันธุ์อ้อยสำหรับทดลอง โดยเลือกใช้พันธุ์ขอนแก่น 3 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกและเป็นพันธุ์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การการศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ

1.3) ทำการปลูกอ้อยจากการใช้แรงงานเกษตรกรใส่ปุ๋ยรองพื้นแล้ววางท่อนพันธุ์ลงในร่อง ซึ่งมีลักษณะที่เกยกันแล้วทำการฝังกลบ

1.4) กำหนดพื้นที่ทดสอบโดยใช้หลักปักระบุตำแหน่งและวัดขนาดพื้นที่แปลงทดสอบ

1.5) ทำการสุ่มเก็บข้อมูลความชื้นของดินและความแข็งของดิน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างดินใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและนำไปชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบและใช้เครื่องวัดความแข็งของดิน วัดความแข็งของดินที่ระยะ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ

2) การดำเนินการวิจัยขณะทำการทดสอบ

2.1) ความเร็วในการเคลื่อนที่ในการฝังกลบปุ๋ย โดยการจับเวลาในช่วงระยะทาง 30 เมตร บริเวณที่ปักเสาแนวเขตที่กำหนด

2.2) ความลึกของการฝังปุ๋ย โดยการใช้ไม้บรรทัดสุ่มวัดความลึกของร่องที่โรยปุ๋ยบริเวณหัวแปลง, กลางแปลง และท้ายแปลง ที่ได้ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

2.3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการเติมน้ำมันให้เต็มถังน้ำมันเชื้อเพลิงของรถแทรกเตอร์ก่อนเริ่มปฏิบัติงานการทดสอบในแต่ละครั้ง และเมื่อเสร็จสิ้นการปฏิบัติงานทำการเติมน้ำมันให้อยู่ในตำแหน่งเดิมด้วยวิธีตวงน้ำมันใส่บีกเกอร์

2.4) เวลาในการปฏิบัติงานและเวลาสูญเสียต่างๆ ได้แก่ เวลาเลี้ยวหัวงาน เวลาตรวจซ่อมแซมระหว่างทำงาน และเวลาในการเติมปุ๋ยใส่เครื่อง

2.5) นับจำนวนต้นอ้อยที่เสียหายหลังการทดสอบในพื้นที่ 3x1 ตารางเมตร จำนวน 3 ซ้ำของแต่ละรูปแบบการทดสอบ เพื่อนำไปใช้คำนวณค่าความเสียของอ้อยที่เกิดจากการใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยเข้าปฏิบัติระหว่างร่องอ้อย

2.6) ปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อพื้นที่ โดยการนำปุ๋ยที่เหลือหลังจากการปฏิบัติงานมาชั่งด้วยตาชั่งขนาด 5 กิโลกรัม และเท่ากับพื้นที่ที่ปฏิบัติงาน

3.2.6 ค่าชี้ผลการศึกษา

ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้มาตรฐานการทดสอบจาก RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery (1983) จากสมการ

1) ความชื้นของดิน (%ฐานเปียก) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\text{น้ำหนักดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักดินหลังอบ}}{\text{น้ำหนักดินก่อนอบ}} \times 100\ \% \qquad (3.1)$$

2) ความลึกของการฝังกลบปุ๋ยเฉลี่ย (เซนติเมตร) โดยสุ่มวัดบริเวณ หัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง

3) ปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่)

4) ความเร็วในการทำงาน (เมตรต่อวินาที) คำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\text{ระยะทางเคลื่อนที่ที่กำหนด (เมตร)}}{\text{เวลาของระยะทางเคลื่อนที่ที่กำหนด (วินาที)}} \qquad (3.2)$$

5) ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง) สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{\text{พื้นที่ที่ทำงานทั้งหมด (ไร่)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานทั้งหมด (ชั่วโมง)}} \qquad (3.3)$$

6) ประสิทธิภาพการทำงาน (เปอร์เซ็นต์)

$$\frac{\text{เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน}}{\text{เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด}} \times 100\ \% \qquad (3.4)$$

หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด คือ รวมเวลาที่ใช้ในการเลี้ยว การปรับตั้ง ซ่อมแซม เวลาในการเติมปุ๋ย และเวลาที่สูญเสียอื่นๆ

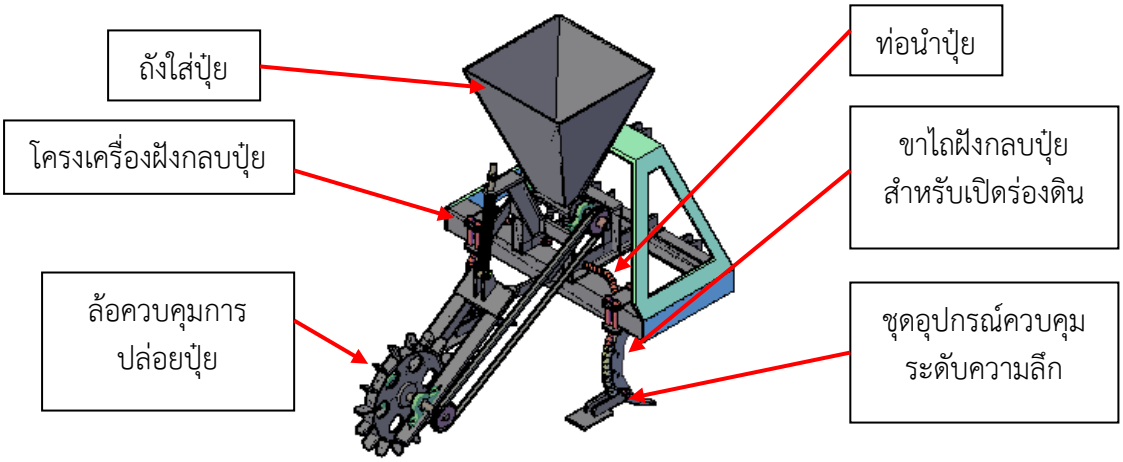
7) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตรต่อชั่วโมง)

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า สามารถแบ่งหัวข้อผลการศึกษาและอภิปรายผลออกเป็น 2 หัวข้อ คือ ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย และผลการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยนำข้อมูลจากงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ การรวบรวมข้อมูลที่มีผลต่อการออกแบบ และข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากำหนดเกณฑ์การออกแบบและข้อจำกัดในการออกแบบ โดยมีหลักการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ คือ เมื่อรถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องฝังกลบปุ๋ยวิ่งเข้าปฏิบัติงานระหว่างร่องปลูกอ้อย แขนข้างซ้าย แขนข้างขวา และแขนกลางของรถแทรกเตอร์ จะควบคุมขาไถฝังกลบปุ๋ยให้แทงลึกลงไปในดินที่ความลึก 10–30 เซนติเมตร ในขณะเดียวกัน ขาไถฝังกลบปุ๋ยจะถูกติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึกการฝังปุ๋ย ทำหน้าที่ รักษาความลึกของขาไถฝังกลบปุ๋ยให้มีระดับความลึกสม่ำเสมอ ซึ่งเลือกปรับความลึกได้ 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะเคลื่อนที่ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจะสัมผัสหน้าดิน ทำให้กลไกการปล่อยปุ๋ยทำงาน ส่งผลให้ปุ๋ยไหลมาตามท่อนำปุ๋ยเข้าสู่ร่องดินที่ขาไถเปิดไว้ โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ถังใส่ปุ๋ย ท่อนำปุ๋ย ขาไถฝังกลบปุ๋ยสำหรับเปิดร่องดิน ชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึก โครงเครื่องฝังกลบปุ๋ย และล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย ดังรูปที่ 72



รูปที่ 72 ส่วนประกอบของเครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า

ซึ่งผลการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยได้ 3 หัวข้อ ได้แก่ ผลการศึกษาข้อมูลสำหรับกำหนดเกณฑ์การออกแบบ, ผลออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ และผลการปรุงปรับแก้ไขเครื่องให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาข้อมูลสำหรับกำหนดเกณฑ์การออกแบบ

จากงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ โดยการทดลองได้ทำการฝังปุ๋ยในช่วงความลึก 10 – 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นการฝังปุ๋ยที่ใกล้เคียงกับการฝังปุ๋ยแบบใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ย และวัดความชื้นของดิน (รูปที่ 4.2) โดยทำการฝังปุ๋ยในช่วงที่อ้อยมีอายุ 3-6 เดือน ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า อ้อยอายุ 3 เดือน รากที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตร มีความหนาแน่นของรากสูง โดยช่วงความลึก 10 – 20 เซนติเมตร มีปริมาณรากที่สูงกว่าช่วงความลึกระดับ 0 - 10 เซนติเมตร และ 20- 30 เซนติเมตร (รูปที่ 73) เมื่อพิจารณาการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อให้สอดคล้องกับโครงการย่อยที่ 1 ขาไถฝังกลบปุ๋ยควรสามารถไถลงลึกไปในดินที่ระดับ 30 เซนติเมตร ได้

ก. การวัดความความชื้นดิน

ข. การฝังปุ๋ยในกระถางทดลอง

ค. เครื่องใส่ปุ๋ยในกระถางทดลอง

รูปที่ 73 การฝังปุ๋ยและวัดความชื้นของดิน

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงเพาะปลูกอ้อยของศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีอายุพันธุ์ 6 เดือน โดยได้ทำการใส่ปุ๋ยแบบใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เมื่ออ้อยมีอายุ 3 เดือน หลังจากนั้น 6 เดือน ได้ใช้รถแม็กโครขุดดินลึกลงไปประมาณ 1 เมตร แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ พบว่า พบว่า ปริมาณรากอ้อยส่วนมากอยู่ในช่วงระดับความลึกจากผิวดิน 0 – 30 เซนติเมตร และรากอ้อยสามารถแทงลึกในดินได้ถึง 1 เมตร ซึ่งมีผลสอดคล้องตามการศึกษาวิจัยในโครงการย่อยที่ 1 และระยะการฝังปุ๋ยห่างจากโคนต้น 30 เซนติเมตร โดยการใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอยู่ในแนวรัศมีรากอ้อย ไม่ทำให้รากอ้อยเสียหายมากนักและสามารถเจริญเติบโตต่อได้ ดังรูปที่ 74 และ รูปที่ 75

รูปที่ 74 วิธีการขุดเปิดร่องวัดความลึกของราก (ซ้าย) และวิธีล้างรากอ้อยในแปลงอ้อย (ขวา)

รูปที่ 75 การวัดพื้นที่ปริมาณรากอ้อยตามแนวดิ่ง (ซ้าย) และแนวระดับ (ขวา) จากการใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

หลังจากผลการพิจารณาข้อมูลจากลักษณะทางกายภาพของอ้อยแล้ว เมื่อทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรถแทรกเตอร์ที่ใช้ใส่ปุ๋ยอ้อยแบบขับวิ่งเข้าระหว่างร่องอ้อย ได้แก่ KUBOTA, KIOTI, John Deere และ Yanmar โดยขนาดร่องอ้อยที่ใช้เครื่องจักรกลปฏิบัติงานส่วนใหญ่จะมีขนาดเฉลี่ย 1.50 เมตร พบว่า รถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้าขนาดเล็กแบ่งออกได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ ขนาด 21 แรงม้า และขนาด 24 แรงม้า ซึ่งมีขนาดความกว้างตัวรถและน้ำหนักยกสูงสุดที่ปลายแขนยกเท่ากันแต่ความแตกต่างกันในส่วนของกำลังงาน

ของเครื่องยนต์ รถแทรกเตอร์ยี่ห้อไคโอติกเป็นรถแทรกเตอร์ขนาด 22 แรงม้า ซึ่งเป็นรถขนาดเล็กของยี่ห้อไคโอติกสามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนยก 800 กิโลกรัม รถแทรกเตอร์ยี่ห้อจอร์นเดียร์ขนาด 36 แรงม้า มีขนาดความกว้างตัวรถ 1.45 เมตร สามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนยก 910 กิโลกรัม และ รถแทรกเตอร์ยี่ห้อยันมาร์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ตามต้นกำลังเครื่องยนต์ ได้แก่ ขนาด 30 แรงม้า และ 20 แรงม้า โดยความกว้างของตัวรถเท่ากับ 1.32 และ 1.04 เมตร ตามลำดับ และสามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนยกได้เท่ากับ 1000 และ 520 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาจากขนาดความกว้างของรถแทรกเตอร์หลากหลายยี่ห้อ พบว่า ความกว้างตัวรถเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 เมตร และน้ำหนักยกสูงสุดที่ปลายแขนยกเฉลี่ยเท่ากับ 788 กิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมากำหนดเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่ใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กได้

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาขนาดมิติและความสามรถยกน้ำหนักที่ปลายแขนยกของรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ยี่ห้อรถ	รุ่น	แรงม้า	ความกว้างตัวรถ (m)	น้ำหนักยกสูงสุดที่ปลายแขนยก (kg)
คูโบต้า	B2140	21	1.10	750
คูโบต้า	B2420	24	1.10	750
ไคโอติก	CK22	22	-	800
จอร์นเดียร์	3036E	36	1.45	910
ยันมาร์	EF312Tex	30	1.32	1000
ยันมาร์	Ke20T	20	1.04	520
ค่าเฉลี่ย			**1.20**	**788**

จากข้อมูลที่สอดคล้องกับงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ รวมถึงการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรในร่องปลูกอ้อย จึงสามารถกำหนดข้อจำกัดและเกณฑ์ในการออกแบบได้ดังนี้

1) ความกว้างของโครงเครื่องฝังกลบปุ๋ยควรมีความกว้างประมาณ 1.2 เมตร เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดรถแทรกเตอร์ที่ปฏิบัติงานในร่องอ้อย
2) สามารถฝังกลบปุ๋ยที่ความลึก 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามความต้องการในงานวิจัยย่อยที่ 1 และอยู่ในช่วงรากอ้อยที่มีความหนาแน่นสูง
3) จากความสามารถที่รถแทรกเตอร์สามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนยกเฉลี่ย 788 กิโลกรัม ในการออกแบบน้ำหนัก 1/3 ของความสามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนของรถแทรกเตอร์ น้ำหนักเครื่องฝังกลบปุ๋ยไม่ควรเกิน 260 กิโลกรัม ซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

4) สามารถควบคุมความลึกของการฝังกลบปุ๋ยได้อย่างสม่ำเสมอตลอดการปฏิบัติงานในแปลงอ้อย

5) สามารถใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดประมาณ 20-30 แรงม้า ซึ่งเป็นขนาดรถแทรกเตอร์ที่ใช้งานในร่องอ้อย

4.1.2 ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า

จากผลการศึกษาข้อมูลสำหรับกำหนดเกณฑ์การออกแบบสามารถนำมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ตามภาคผนวก ก. โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) โครงเครื่อง

โครงเครื่อง คือ ส่วนที่ใช้รองรับน้ำหนักถังปุ๋ยและจับยึดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ขาไถฝังกลบปุ๋ย จุดต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ กลไกโรยปุ๋ย เป็นต้น รวมถึงการรับแรงฉุดลากจากรถแทรกเตอร์ จำเป็นต้องมีความแข็งแรง จากผลการออกแบบน้ำหนักเครื่องฝังกลบปุ๋ยอาจทีน้ำหนักประมาณ 260 กิโลกรัม โดยการสร้างโครงเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า จึงได้สร้างจากเหล็กตัวซีที่มีขนาดหน้าตัด 100x50 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร และเหล็กแผ่นหนา 9 มิลลิเมตร โดยขั้นตอนแรกขึ้นรูปคานด้วยเหล็กตัวซีตัดเหล็กยาว 1,100 มิลลิเมตร แล้วใช้เหล็กแผ่นเชื่อมต่อค้าน 2 ส่วนเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 76 ส่วนด้านบนที่ใช้เป็นโครงสำหรับเชื่อมต่อกับจุดต่อพ่วงแขนกลางรถแทรกเตอร์สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 9 มิลลิเมตร แล้วนำมาเชื่อมต่อกันตามแบบที่กำหนด ดังรูปที่ 77

รูปที่ 76 โครงเครื่องฝังกลบปุ๋ยส่วนล่าง

รูปที่ 77 การสร้างโครงเครื่องฝังกลบปุ๋ยส่วนด้านบน (ซ้าย) และการเชื่อมต่อจุดต่อพ่วง (ขวา)

2) ชุดถังปุ๋ย

ชุดถังปุ๋ยสร้างจากสแตนเลสมีคุณสมบัติสามารถทนต่อการกัดกร่อน โดยนำมาเชื่อมติดตั้งเข้าบริเวณส่วนกลางของโครงเครื่องฝังกลบปุ๋ยซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมกับโครงเครื่องที่สร้างขึ้น โดยถังปุ๋ยสามารถรองรับน้ำหนักปุ๋ยได้ประมาณ 50 กิโลกรัม ดังรูปที่ 78

รูปที่ 78 การติดตั้งชุดถังปุ๋ยและล้อควบคุมการปล่อย

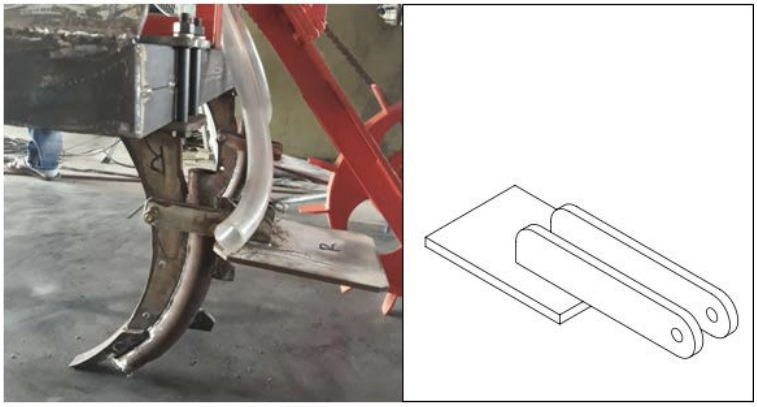
3) ขาไถฝังกลบปุ๋ย

ขาไถฝังกลบปุ๋ย คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเปิดร่องดินที่ระดับความลึกต่างๆสำหรับใส่ปุ๋ยลงในดิน ซึ่งขาไถฝังกลบปุ๋ยสร้างจากการเหล็กแผ่นหนา 12 มิลลิเมตร ตามการออกแบบและเสริมความแข็งจากการดัดแป็ปเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 3.2 มิลลิเมตร นำมาเชื่อมเสริมบริเวณด้านหลังขาไถฝังกลบปุ๋ย และในขณะเดียวกันใช้เป็นท่อนำปุ๋ยโดยขาไถฝังกลบปุ๋ยมีมิติความสูง 473 มิลลิเมตร ถูกเจาะรูขนาด 12 มิลลิเมตร 3 ระดับได้แก่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึกดังรูปที่ 79

รูปที่ 79 การสร้างขาไถฝังกลบปุ๋ย

4) ชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึก

ชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึกสร้างจากเหล็กแผ่นขนาด 9 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านท้ายของขาไถฝังกลบปุ๋ย ทำหน้าที่รักษาระดับความลึกของขาไถฝังกลบปุ๋ยและกลบร่องปุ๋ยที่เปิดไว้หลังจากใส่ปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นในดิน ดังรูปที่ 80



รูปที่ 80 ชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับความลึก

5) ชุดตัดใบอ้อย (อุปกรณ์เสริมสำหรับใช้ตัดใบอ้อย)

ชุดตัดใบอ้อยเป็นอุปกรณ์สำหรับติดตั้งเสริมเพื่อใช้ในอ้อยตอหรือแปลงที่มีหญ้ามาก โดยชุดจานใบตัดอ้อยจะถูกติดตั้งบนดุมรองรับจานตัดใบอ้อยจับยึดด้วยน็อตจำนวน 4 ตัว ขนาดจานตัดใบอ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 มิลลิเมตร จานตัดใบอ้อยถูกสร้างให้มีร่องเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถตัดใบอ้อยได้ดี ดังรูปที่ 81 ชุดขาจับยึดจานตัดใบอ้อยจะถูกติดตั้งไว้กับโครงเครื่องและขาจับยึดจานตัดใบอ้อยสามารถปรับระดับได้ 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 82

รูปที่ 81 ชุดจานใบตัดอ้อย

รูปที่ 82 การติดตั้งชุดตัดใบอ้อย

6) การตรวจสอบน้ำหนักเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

โดยการชั่งน้ำหนักเครื่องด้วยการใช้เครนยกให้เครื่องลอยขึ้นจากพื้น บริเวณกึ่งกลางระหว่างเครื่องฝังกลบปุ๋ยกับเครนจะถูกติดตั้งโหลดเซลล์ขนาด 500 กิโลกรัม ยี่ห้อ KYOWA และ จอแสดงผล Indicator ยี่ห้อ KYOWA รุ่น SLW-220PC สำหรับอ่านน้ำหนักที่วัดได้ จากการวัดพบว่า น้ำหนักเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า มีน้ำหนักไม่รวมปุ๋ยเท่ากับ 185 กิโลกรัม ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามข้อจัดและเกณฑ์การออกแบบที่ตั้งไว้และรถแทรกเตอร์ขนาด 20 - 30 แรงม้า โดยทั่วไปสามารถยกน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนยกได้ประมาณ 700 – 900 กิโลกรัม ดังรูปที่ 83

ก. การชั่งน้ำหนักเครื่อง

ข. โหลดเซลล์ขนาด 500 กิโลกรัม ยี่ห้อ KYOWA **ค.** Indicator ยี่ห้อ KYOWA รุ่น SLW-220PC

รูปที่ 83 การชั่งน้ำหนักเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า

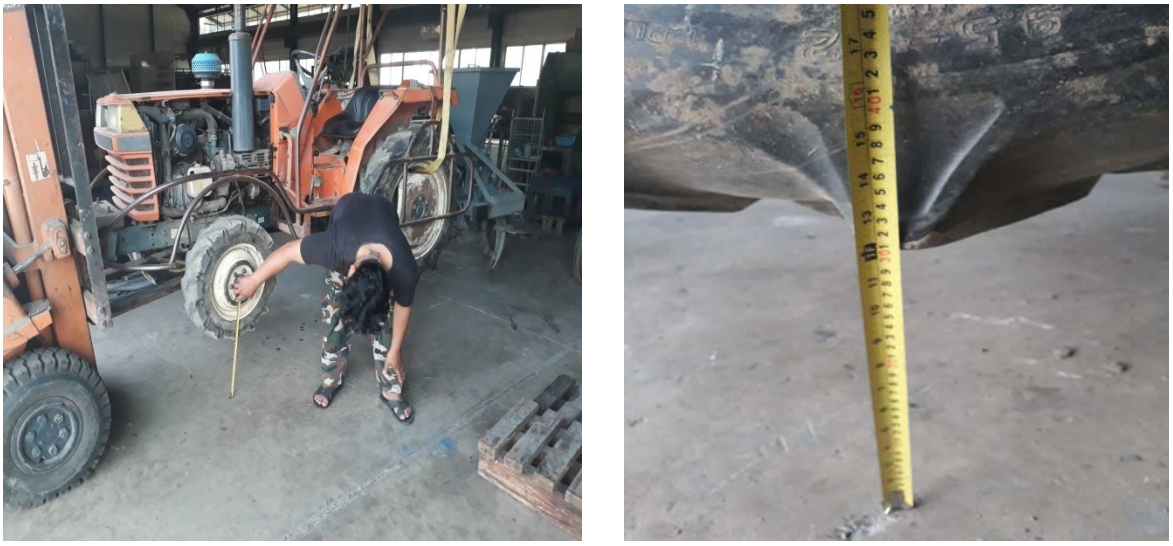
7) การปรับตั้งล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยควรมีการปรับตั้งเครื่องให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยตามความต้องการที่เหมาะสมกับพื้นที่ประมาณ 50 กิโลกรัมต่อไร่ การปรับตั้งครั้งนี้เลือกใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ตรามงกุฎ สำหรับการฝังกลบปุ๋ยอ้อย เมื่อเครื่องฝังกลบปุ๋ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย0.47 เมตร หน้ากว้างการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยเท่ากับ 1.50 เมตร ความต้องการของการฝังกลบปุ๋ยเมื่อล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยหมุน 1 รอบ เท่ากับ 68.75 กรัม ดังนั้น การปรับตั้งจึงเลือกวิธีปรับเปลี่ยนอัตราทดเฟืองสเตอร์ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยกับเฟืองสเตอร์เพลาขับเกลียวลำเลียงปุ๋ย โดยหมุนล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยจำนวน 10 รอบ และนำปุ๋ยที่ถูกปล่อยใส่ภาชนะรองรับบริเวณขาไถฝังกลบปุ๋ยมาชั่งกับตราชั่งขนาด 5 กิโลกรัม พบว่า เมื่อเลือกใช้เฟืองสเตอร์ล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ยเท่ากับ 18 ฟัน และเฟืองสเตอร์เพลาขับเกลียวลำเลียงปุ๋ยเท่ากับ 16 ฟัน อัตราการปล่อยปุ๋ยอยู่ในช่วง 68 -70 กรัมต่อรอบ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ต้องการ (รูปที่ 84)

รูปที่ 84 การปรับตั้งล้อควบคุมการปล่อยปุ๋ย

4.1.3 ผลการปรุงปรับแก้ไขเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า

หลังจากออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายแทรกเตอร์ขนาดเล็กต้นแบบเสร็จแล้ว ได้ทำการทดสอบหาข้อบกพร่องเพื่อแก้ไขให้เหมาะสมกับการใช้งานและทดสอบประเมินผลสมรรถนะการทำงานตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย โดยเริ่มต้นจากการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้าเข้ากับรถแทรกเตอร์แล้วทำการตรวจเช็คปรับตั้งเครื่องฝังกลบปุ๋ยกับรถแทรกเตอร์ โดยใช้เครนไฟฟ้าและรถโฟล์ลิฟท์ยกรถแทรกเตอร์ให้ลอยห่างจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร แล้วปรับขาไถฝังกลบปุ๋ยให้ปลายขาไถติดพื้น พบว่า ขาไถฝังกลบปุ๋ยสามารถแทงลึกลงในดินได้สูงสุดที่ระยะ 30 เซนติเมตร ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 85

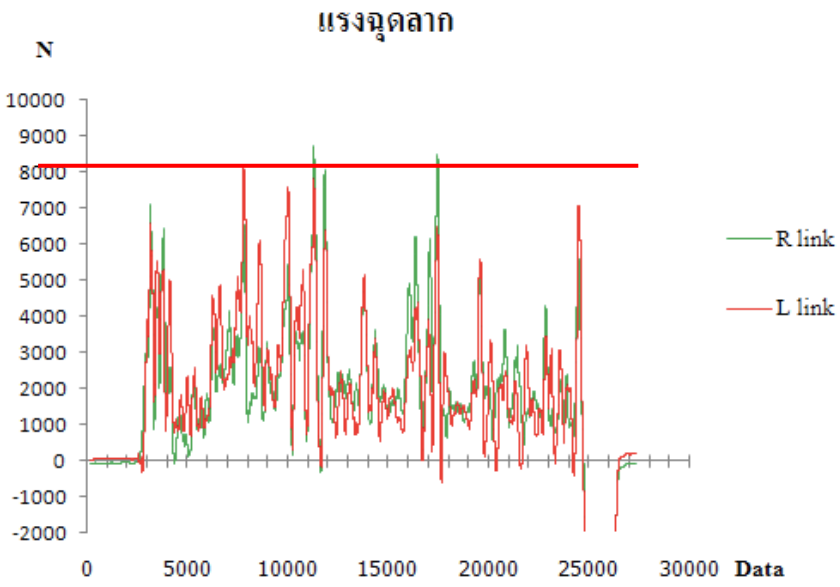


รูปที่ 85 การตรวจเช็คระดับความลึกที่สามารถวางอุปกรณ์ลงต่ำกว่าแนวระดับ

จากรูปที่ 85 หลังจากตรวจเช็คระดับความลึกที่สามารถวางอุปกรณ์ลงต่ำกว่าแนวระดับแล้วนั้น ได้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดแรงฉุดลากเข้ากับจุดต่อพ่วงของรถแทรกเตอร์ โดยติดตั้ง Data locker ยี่ห้อ

Kyowa รุ่น EDX100 เชื่อมต่อกับสลักต่อพ่วงที่ได้ติดตั้งสเตรนเกจที่ผ่านการสอบเทียบสมการจากเครื่อง UTM (รูปที่ 86) เพื่อใช้วัดแรงฉุกลากเครื่องฝังกลบปุ๋ยสำหรับนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงของขาไถฝังกลบปุ๋ย โดยปรับขาไถฝังกลบปุ๋ยที่ระยะความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ฝังปุ๋ยได้ลึกที่สุดและเกิดภาระโหลดกับรถแทรกเตอร์สูงสุด และทำการทดสอบการใช้งานเครื่องฝังกลบปุ๋ยเพื่อหาข้องบกพร่อง โดยแรงฉุดลากระหว่างการทำงานที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 87

รูปที่ 86 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับวัดแรงฉุดลาก



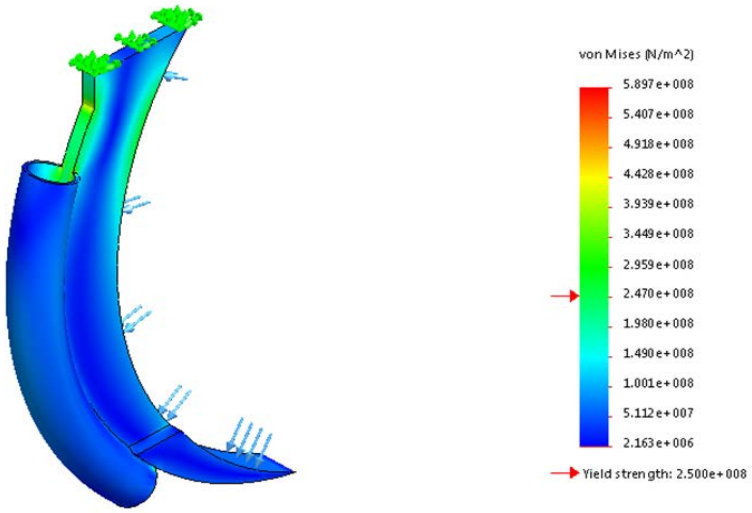
รูปที่ 87 กราฟแรงฉุดลากบริเวณจุดต่อพ่วงด้านข้างระหว่างการทำงาน

จากรูปที่ 87 กราฟแรงฉุดลากบริเวณจุดต่อพ่วงด้านข้างระหว่างการทำงาน ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่ทำการฝังกลบปุ๋ยที่ความลึก 30 เซนติเมตร โดยสภาพพื้นดินมีค่าการแทงทะลุของดินที่ระดับ 10 20และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 21.25, 30.50 และ 41.00 kg/cm^2 ตามลำดับ และความชื้นของดินเท่ากับ 6.09, 6.37

และ 6.36% ตามลำดับ (ตารางที่ 8) พบว่า เกิดแรงฉุดลากเฉลี่ยประมาณ 2,000 N ระหว่างการทำงาน ซึ่งบางช่วงแรงฉุดลากมีค่าที่สูงขึ้นเกิดจากสภาพของดินบริเวณนั้นมีค่าความแข็งของดินสูงหรือขาไถฝังกลบปุ๋ยมีความลึกเกินค่าที่ปรับตั้งไว้ โดยค่าแรงฉุดลากที่เกิดขึ้นอาจวัดได้สูงถึง 9,000 N แต่บางครั้งค่าแรงฉุดลากที่วัดได้มีค่าลดลงอาจมีผลจากค่าความแข็งของดินมีแนวโน้มลดลง จากค่าแรงฉุดลากที่เกิดสามารถนำมาวิเคราะห์ความเสียหายของขาไถฝังกลบปุ๋ยสำหรับติดตั้งในเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Solid Works ดังแสดงในรูป 88

ตารางที่ 8 สภาพแปลงทดสอบแรงฉุดลากสำหรับวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องต้นแบบ

	Soil moisture (%)			Soil tension (kg/cm²)		
sample	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
1	8.14	6.65	6.63	23	33	>50
2	5.20	6.97	7.11	20	24	>50
3	7.26	7.13	7.16	24	32	>50
4	3.51	4.49	4.38	>50	>50	>50
5	6.35	6.60	6.53	18	33	41
AVG	**6.09**	**6.37**	**6.36**	**21.25**	**30.50**	**41.00**

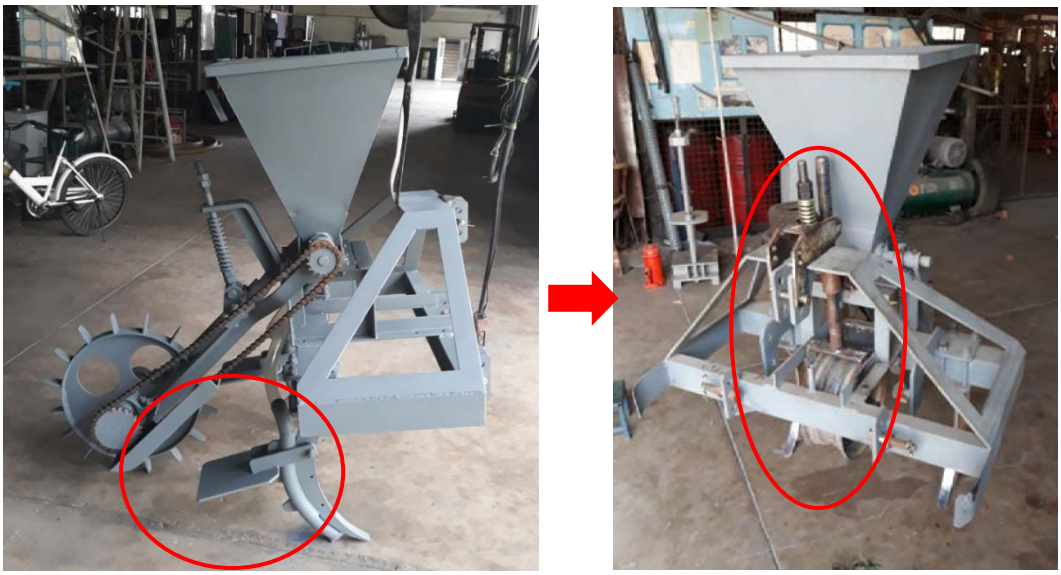


รูปที่ 88 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของขาไถฝังกลบปุ๋ยที่เกิดจากแรงฉุดลาก

จากรูปที่ 88 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของขาไถฝังกลบปุ๋ยที่เกิดจากแรงฉุดลาก จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Soild Works ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ความเสียหายที่ทำให้ชิ้นส่วนเสียรูปจนไม่สามารถคืนสภาพรูปร่างเดิมได้ พบว่า เมื่อกำหนดให้แรงฉุดลากเท่ากับ 10,000 N ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่วัดได้จริงจากการทดสอบแรงฉุดลาก แต่ชิ้นส่วนไม่เกิดความเสียหายจนเสียรูป เนื่องจากแรง

ที่มากระทำกับชิ้นส่วนมีค่าต่ำกว่าจุดคราก (Yield strength) ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ชิ้นส่วนเสียหายจนไม่สามารถคืนรูปร่างเดิมได้ ดังนั้นขาฝังกลบปุ๋ยที่ได้ออกแบบและสร้างมีความแข็งแรงมากพอและเหมาะสมกับการใช้งาน

ในขณะเดียวกันชุดรักษาระดับความลึกของขาไถฝังกลบปุ๋ยไม่สามารถรักษาความลึกได้ดี ส่งผลให้การควบคุมรถแทรกเตอร์ค่อนข้างลำบาก ซึ่งต้องโยกคันบังคับควบคุมความลึกของเครื่องฝังกลบปุ๋ยไว้ตลอดและส่งผลให้รถแทรกเตอร์เกิดการลื่นไถลเมื่อแรงฉุดลากสูงเกินไป เมื่อทำการแก้ไขข้อบกพร่องในส่วนนี้โดยการปรับจากระบบสกีกันจมมาเป็นแบบล้อกันจมร่วมกับระบบปรับเปลี่ยนองศาแขนกลางเพื่อให้มุมจิกของขาไถฝังกลบปุ๋ยมีมุมเอียงลดลง พบว่า การควบคุมรถแทรกเตอร์ทำได้ง่ายขึ้นสามารถปล่อยคันควบคุมความลึกของเครื่องฝังกลบปุ๋ยค้างไว้ และความลึกในการฝังกลบปุ๋ยมีความสม่ำเสมอ (รูปที่ 89)



รูปที่ 89 การแก้ไขระบบสกีกันจม (ซ้าย) เป็นแบบล้อกันจมร่วมกับระบบปรับเปลี่ยนองศาแขนกลาง (ขวา)

หลังจากการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องของเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบแล้ว เมื่อทดสอบเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบและเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบที่เกษตรกรใช้งาน โดยสภาพพื้นดินของแปลงทดสอบมีค่าการแทงทะลุของดินที่ระดับ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 28.00, 44.25 และ 38.6 kg/cm^2 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) รถแทรกเตอร์สำหรับทดสอบยี่ห้อคูโบต้า รุ่นSunshine ขนาด 26 แรงม้า พบว่า เครื่องต้นแบบหลังการแก้ไขข้อบกพร่องมีน้ำหนักเครื่องเท่ากับ 212 กิโลกรัม สามารถฝังปุ๋ยที่ระดับ 20 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ร่องไถการเปิดฝังกลบปุ๋ยมีขนาดเล็กอาจส่งผลต่อการรักษาความชื้นในดิน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานเครื่องฝังกลบปุ๋ยที่เกษตรกรใช้งาน มีน้ำหนักของเครื่อง 160 กิโลกรัม สามารถฝังปุ๋ยที่ระดับ 10 - 20 เซนติเมตร ร่องไถการเปิดฝังกลบปุ๋ยมีขนาดใหญ่ อาจส่งผลให้ความชื้นในดินลดลงได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 90 และ รูปที่ 91

ตารางที่ 9 ผลวัดค่าการแทงทะลุของดินของแปลงทดสอบเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องฝังกลบปุ๋ย

Soil tension (kg/cm²)

sample	10 cm	20 cm	30 cm
1	11	50	50
2	24	44	30
3	>50	>50	29
4	42	43	38
5	35	40	46
AVG	**28.00**	**44.25**	**38.60**

รูปที่ 90 การทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ (บน) และเครื่องฝังกลบปุ๋ยของเกษตรกร (ล่าง)

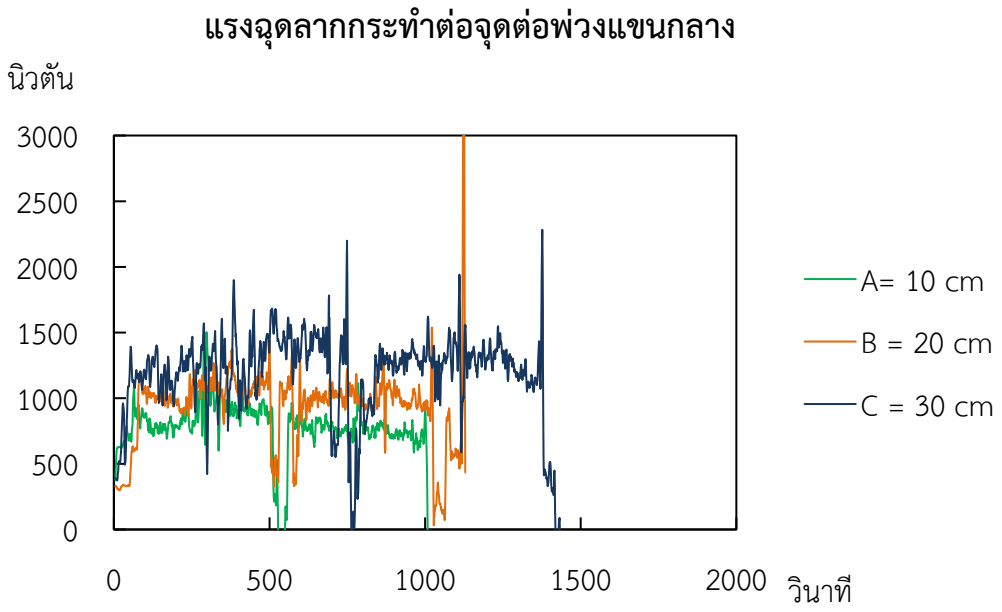
รูปที่ 91 ร่องไถระหว่างเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ (บน) และเครื่องฝังกลบปุ๋ยของเกษตรกร (ล่าง)

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

การทดสอบสมรรถนะเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยพื้นที่แปลงทดสอบมีขนาด 80.6x150 ตารางเมตร สภาพดินมีลักษณะดินร่วนปนเหนียวมีความชื้นของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 9.73, 10.38 และ 10.06% ตามลำดับ ค่าการแทงทะลุของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 23.20, 25.60 และ 34.93 kg/cm^2 ตามลำดับ รถแทรกเตอร์สำหรับทดสอบยี่ห้อคูโบต้า รุ่นSunshine ขนาด 26 แรงม้า รอบเครื่องยนต์ขณะปฏิบัติงาน 1750 รอบ/นาที พบว่า การฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.89 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.49 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.55 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 67.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปรับการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.91 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.19 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.33 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 67.00 เปอร์เซ็นต์ และการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.74 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 2.55 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 1.73 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 62.41 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 10

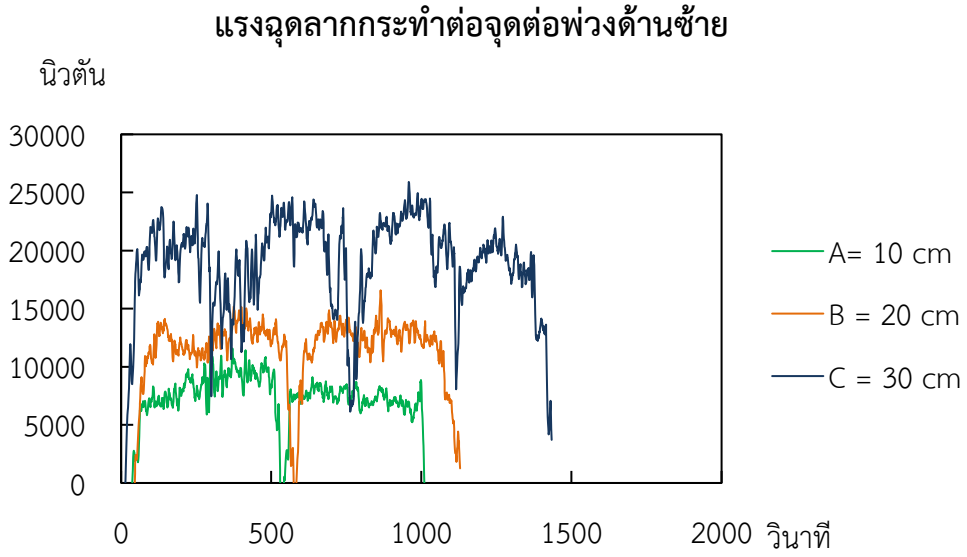
ตารางที่ 10 ผลสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

รายละเอียด	ระดับความลึกของการฝังกลบปุ๋ย		
	10 cm	20 cm	30 cm
ความสามารถการทำงานเฉลี่ย (ไร่/ชั่วโมง)	2.55	2.33	1.73
ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	67.58	67.00	62.41
ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	3.46	3.19	2.55
อัตราการลื่นไถลของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	8.81	14.11	23.73
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร/ไร่)	0.89	0.91	1.74

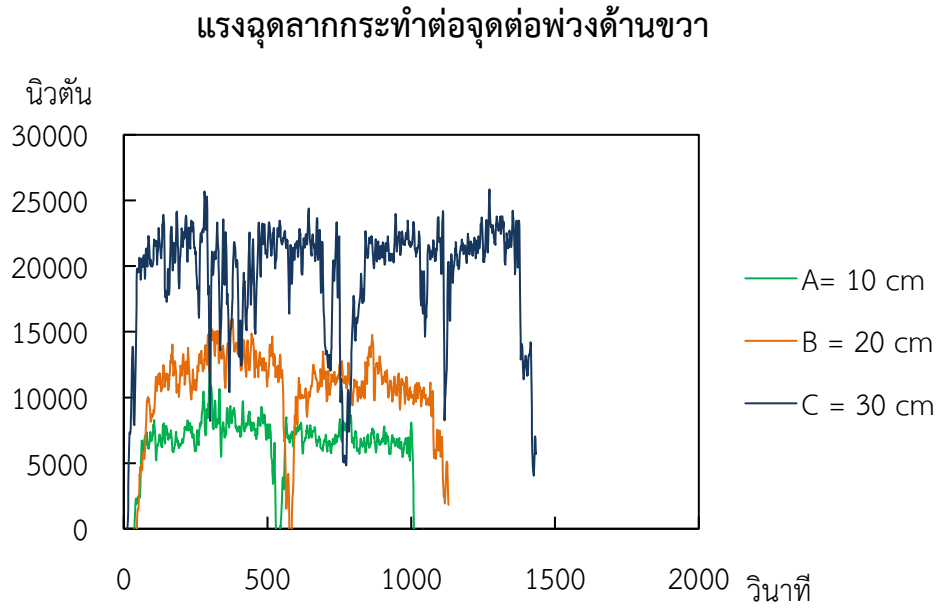


รูปที่ 92 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อแขนกลางรถแทรกเตอร์

จากรูปที่ 92 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อแขนกลางของรถแทรกเตอร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลแรงฉุดลากขณะทดสอบสมรรถนะเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก พบว่า เมื่อระดับความลึกของการฝังกลบปุ๋ยเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงฉุดลากมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาปฏิบัติงานก็เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการลื่นไถลของรถแทรกเตอร์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตาม ในขณะเดียวกันแรงฉุดลากมีแนวโน้มค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดการปฏิบัติงานถึงแม้จะมีการปรับเปลี่ยนระดับความลึกของการฝังปุ๋ย ซึ่งมีผลจากการติดตั้งล้อกันจมสำหรับควบคุมระดับความลึกของการฝังกลบปุ๋ยซึ่งช่วยรักษาระดับความลึกของการฝังปุ๋ยค่อนข้างคงที่ แต่ในบางครั้งแรงฉุดลากมีการลดลงอย่างรวดเร็วเกิดจากการกลับหัวงาน ซึ่งต้องยกอุปกรณ์ขึ้นจากพื้นดินและพื้นดินบริเวณนั้นมีค่าความแข็งของดินค่อนข้างต่ำ ในการทำงานจุดต่อพ่วงอุปกรณ์ 3 จุด ซึ่งจุดต่อพ่วงด้านข้างอาจรับแรงฉุดลากมากกว่าจุดต่อพ่วงแขนกลาง โดยจุดต่อพ่วงด้านข้าง 2 ข้าง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 93 และรูปที่ 94



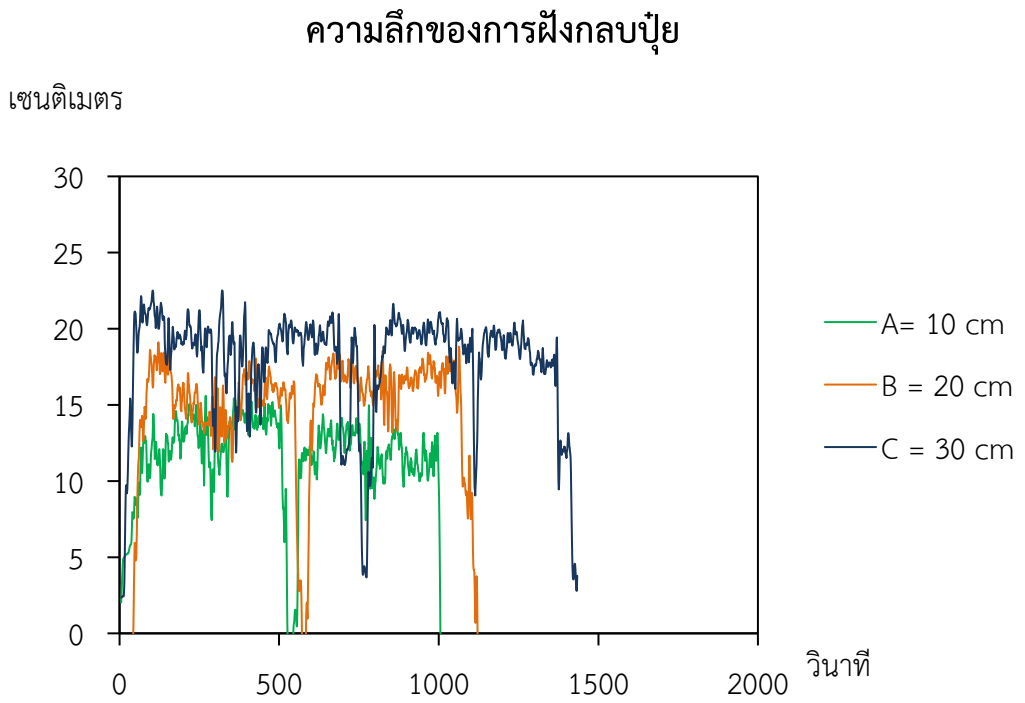
รูปที่ 93 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านซ้ายของรถแทรกเตอร์



รูปที่ 94 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านขวาของรถแทรกเตอร์

จากรูปที่ 93 และรูปที่ 94 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงทั้ง 2 ด้าน ของรถแทรกเตอร์ พบว่า เมื่อความลึกของการฝังกลบปุ๋ยเพิ่มขึ้นแรงฉุดลากก็เพิ่มสูงขึ้น โดยความลึกที่ 30 เซนติเมตร แรงฉุดลากมีค่าที่สูงกว่าความลึกระดับ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร และแรงฉุดลากบางจังหวะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสภาพความแข็งของดินและการยกอุปกรณ์ขึ้นในช่วงกลับหัวงานหรือการควบคุมอุปกรณ์ในขณะปฏิบัติงานเมื่อรถแทรกเตอร์เกิดการลื่นไถล และแรงฉุดลากที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานสูงขึ้นตามอีกด้วย เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของแรงฉุดลากเห็นได้ว่า ที่ระดับความลึก 10

เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร แรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างคงที่กว่าความลึกที่ระดับ 30 เซนติเมตร ซึ่งส่งผลถึงสรรถนะการทำงานของรถแทรกเตอร์ได้ ในขณะเดียวกันหากพิจารณาความสม่ำเสมอของความลึกการฝังกลบปุ๋ยของเครื่องฝังกลบปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 95



รูปที่ 95 พฤติกรรมของความลึกในการฝังกลบปุ๋ย

จากรูปที่ 95 พบว่า ความสม่ำเสมอของการฝังกลบปุ๋ยมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยการปรับตั้งระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความลึกประมาณ 13 เซนติเมตร การปรับตั้งความลึกที่ระดับ 20 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความลึกประมาณ 17 เซนติเมตร และการปรับตั้งความลึกที่ระดับ 30 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งมีผลจากการที่รถแทรกเตอร์ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงระดับเกิดการเอียงซึ่งทำให้แขนด้านข้างเอียงตามตัวรถหรือระดับที่เปลี่ยนแปลงไปขณะรถแทรกเตอร์ปฏิบัติงาน ทำให้ผลที่ได้รับไม่เป็นดังที่ตั้งไว้ แต่ในการมิเคราะห์ความสม่ำเสมอจะเห็นได้ว่า เมื่อติดตั้งล้อกันจมที่ใช้ในการรักษาระดับความลึกส่งผลให้ความลึกในการฝังกลบปุ๋ยมีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานและสามารถควบคุมรถแทรกเตอร์ได้ง่ายขึ้น เมื่อพิจารณาจากการสังเกตการณ์ปฏิบัติงานจริงความลึกได้ทำการปรับตั้ง 3 ระดับ สามารถปฏิบัติงานได้จริง แต่ขึ้นกับสภาพความแข็งของดินในพื้นที่ ซึ่งมีผลกระทบต่อการฝังกลบปุ๋ยค่อนข้างสูง (รูปที่ 96)

รูปที่ 96 การฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างเครื่องฝังปุ๋ยต้นแบบและเครื่องฝังกลบปุ๋ยของเกษตรกร

จากข้อมูลสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังปุ๋ยต้นแบบที่มีกลไกควบคุมระดับความลึกภายในตัวเครื่องและการลดมุมแขนกลางที่อาจช่วยลดแรงฉุดลาก (ตารางที่ 10) ทางคณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานกับเครื่องที่เกษตรกรนำมารับจ้างในแปลงของเกษตรกรในกลุ่ม โดยได้เก็บข้อมูลในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งแสดงในตารางที่ 11

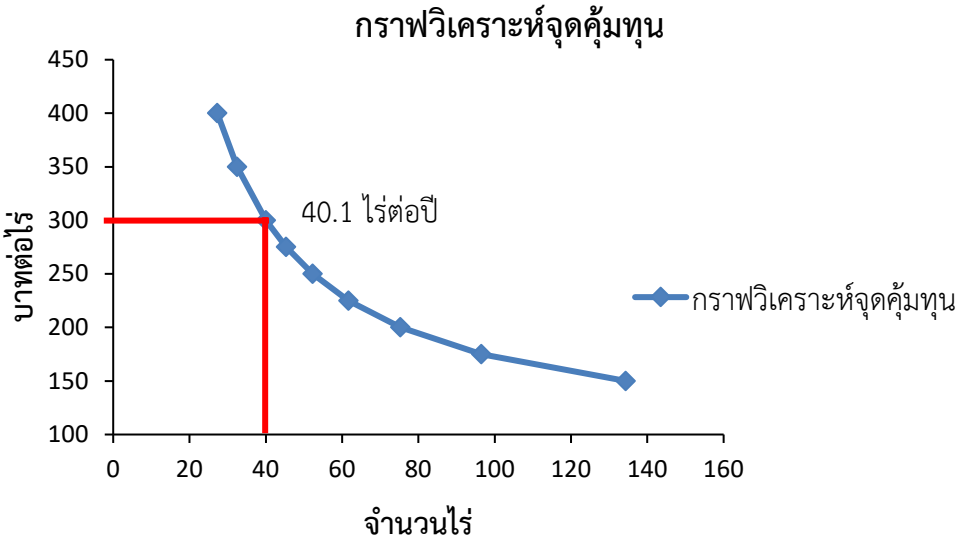
ตารางที่ 11 ผลสมรรถนะการทำงานของเครื่องฝังกลบปุ๋ยเกษตรกร

รายละเอียด	ผลการทดสอบ
ความสามารถการทำงานเฉลี่ย (ไร่/ชั่วโมง)	2.71
ประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)	79.55
ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	3.81
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร/ไร่)	1.13
ความลึกการฝังปุ๋ยเฉลี่ย (เซนติเมตร)	23.83

จากตารางที่ 10 และตารางที่ 11 เครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบที่ปรับระดับความลึก 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกใกล้เคียงกับเครื่องของเกษตร มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.91 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.19 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.33 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 67.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องฝังปุ๋ยของเกษตรกร พบว่า อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.13 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.81 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความลึกการฝังปุ๋ยเฉลี่ย 23.83 เซนติเมตร ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.71 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 79.55 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า เครื่องฝังปุ๋ยของเกษตรกรมีประสิทธิภาพการทำงานและความสามารถการทำงานสูงกว่าเครื่องต้นแบบ ซึ่งมีผลจากความเร็วการเคลื่อนที่ที่สูงกว่าอาจเกิดจากสภาพร่องปลูกที่การลื่นไถลน้อยและเวลาในการกลับหัวงานที่ลดลง ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องต้นแบบมีค่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าเครื่องฝังปุ๋ยของเกษตรกร อาจมาจากการควบคุมระดับความลึกการฝังปุ๋ยที่คงที่และสม่ำเสมอ ซึ่งในการทดลองจะเห็นได้ว่า ความลึกการฝังปุ๋ยที่ลึกมากขึ้นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็สูงขึ้นตามแต่ความสามารถการทำงานก็ลดลงตามไปด้วย

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

การวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องฝังกลบปุ๋ย เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการลงทุนเพื่อจ้างหรือซื้อเครื่องจักรในการลงทุนเพื่อเพิ่มผลผลิต โดยการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้วิเคราะห์จากการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ที่ราคารับจ้างใส่ปุ๋ย 300 บาทต่อไร่ จากการวิเคราะห์ พบว่า ต้องฝังกลบปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 40.1 ไร่ต่อปี ถึงจะคุ้มทุน ในระยะเวลา 10 ปี เมื่อราคารับจ้างลดลงจะทำให้จำนวนพื้นที่ต่อปีเพิ่มขึ้นตาม ดังแสดงในรูปที่ 97 (ภาคผนวก. ง)



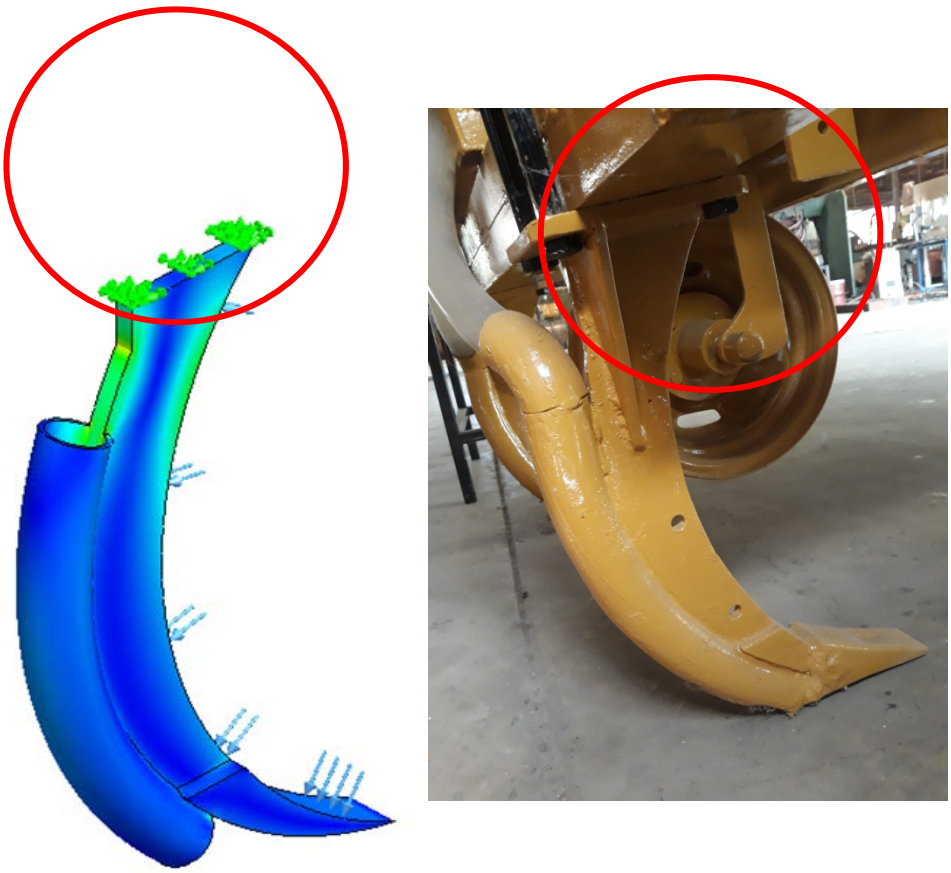
รูปที่ 97 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย การศึกษาออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย และการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ให้เหมาะสมกับความลึกของรากอ้อย

ผลการออกแบบสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า จากงานวิจัยโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาการเจริญของรากที่สัมพันธ์กับความชื้นในดินร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยแบบฝังกลบ โดยการทดลองได้ทำการฝังปุ๋ยในช่วงความลึก 10 – 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นการฝังปุ๋ยที่ใกล้เคียงกับการฝังปุ๋ยแบบใช้เครื่องฝังกลบปุ๋ย และวัดความชื้นของดิน การใช้รถแม็กโครขุดดินเพื่อศึกษาการกระจายตัวของรากในภาคสนาม และ การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะรถแทรกเตอร์ที่ใช้ใส่ปุ๋ยอ้อยแบบขับวิ่งเข้าระหว่างร่องอ้อย ได้แก่ KUBOTA, KIOTI, John Deere และ Yanmar โดยขนาดร่องอ้อยที่ใช้เครื่องจักรกลปฏิบัติงานส่วนใหญ่จะมีขนาดเฉลี่ย 1.50 เมตร พบว่า เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ต้นแบบ สามารถฝังปุ๋ยและปรับตั้งระดับความลึกได้ 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 เซนติเมตร โครงเครื่องมีขนาดความกว้าง 1,100 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกินขนาดความกว้างของร่องอ้อย น้ำหนักของเครื่องต้นแบบเท่ากับ 212 กิโลกรัม ซึ่งไม่เกินขนาดน้ำหนักที่รถแทรกเตอร์สามารถยกได้บริเวณปลายแขนยกที่มีค่าเฉลี่ย 788 กิโลกรัม ระบบรักษาระดับความลึกของดินใช้แบบล้อกันจมซึ่งใช้งานได้ดีกว่าแบบระบบสกีกันจม ในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของขาไถฝังกลบปุ๋ย โดยกำหนดให้แรงที่ได้จากการวัดเก็บข้อมูลเท่ากับ 10,000 นิวตัน พบว่า ไม่ส่งผลให้โครงสร้างของขาไถฝังกลบปุ๋ยเสียหายหรือหากได้รับแรงเกินที่กำหนดส่วนที่เสียหายบริเวณจุดแรกคือ บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างขาไถฝังกลบปุ๋ยกับแผ่นยึดฐานขาไถฝังกลบปุ๋ย หากมีการใช้งานในสภาพดินที่มีความแข็งของดินสูง อาจมีการเสริมความแข็งแรงบริเวณดังกล่าว (รูปที่ 98)



รูปที่ 98 การเสริมความแข็งแรงของขาไถฝังกลบปุ๋ย

5.2 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในแปลงอ้อยขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า โดยพื้นที่แปลงทดสอบมีสภาพดินมีลักษณะดินร่วนปนเหนียวมีความชื้นของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 9.73, 10.38 และ 10.06% ตามลำดับ ค่าการแทงทะลุของดินที่ระดับความลึกเฉลี่ย 10, 20 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 23.20, 25.60 และ 34.93 kg/cm^2 ตามลำดับ รถแทรกเตอร์สำหรับทดสอบยี่ห้อคูโบต้า รุ่นSunshine ขนาด 26 แรงม้า รอบเครื่องยนต์ขณะปฏิบัติงาน 1750 รอบ/นาที พบว่า การฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.91 ลิตร/ไร่ ความเร็วการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.19 กิโลเมตร/ชั่วโมง ความสามารถการทำงานเฉลี่ย 2.33 ไร่/ชั่วโมงและประสิทธิภาพการทำงาน 67.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการฝังปุ๋ยที่ระดับ 10 เซนติเมตร สมรรถนะการทำงานอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งจากการศึกษาการเจริญของรากอ้อยจะเห็นได้ว่า การฝังปุ๋ยที่เหมาะสมควรอยู่ที่ระดับความลึกที่ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีรากอ้อยหนาแน่นและมีความชื้นดินที่เหมาะสม ในขณะเดียวกัน การฝังปุ๋ยที่ระดับ 30 เซนติเมตร ส่งผลให้การใช้น้ำเชื้อเพลิงสูงขึ้นและมีความสามารถเชิงพื้นที่ต่ำ ทำให้ค่าใช้จ่ายใน

ปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของแรงฉุดลากจะพบว่า เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นแรงฉุดลากก็สูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานลดลงและการลื่นไถลของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น โดยจุดต่อพ่วงทั้ง 3 จุด มีทิศทางของแรงเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน และแรงฉุดลากมีผลต่อความสม่ำเสมอของความลึกการฝังกลบปุ๋ย โดยแรงที่เพิ่มส่งผลให้รถแทรกเตอร์เกิดการลื่นไถลทำให้ต่อยกอุปกรณ์ให้สูงขึ้นจากดิน เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องฝังกลบปุ๋ย ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ที่ราคารับจ้างใส่ปุ๋ย 300 บาทต่อไร่ จากการวิเคราะห์ พบว่า ต้องฝังกลบปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 40.1 ไร่ต่อปี

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กครั้งนี้ ได้ใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยทำการทดสอบที่ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และแปลงเกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งลักษณะของดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หากมีแนวทางในการทำวิจัยต่อไป ควรมีการทดสอบเครื่องฝังกลบปุ๋ยในสภาพดินที่หลากหลายชนิด ซึ่งพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่มีการปลูกอ้อยในสภาพดินร่วนปนทราย โดยลักษณะของดินมีผลต่อแรงฉุกลากรวมถึงความลึกที่สามารถฝังกลบปุ๋ยได้ และการพัฒนาต่อนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาเครื่องฝังกลบปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกอ้อยหลากหลายแบบอีกด้วย

บรรณนุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2558. การจัดการความรู้ .เทคโนโลยีการผลิตอ้อยในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดชัยนาท กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-4.

จิรวัฒน์ สนิทชน. 2541. การปรับปรุงพืชไร่อุตสาหกรรมสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น: ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2541.

ธวัช ตินนังวัฒนะ และ ทิพาวดี ตินนังวัฒนะ. 2543. การทำไร่อ้อยยุคใหม่. ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. [Online]. Retrieved from http://oldweb.ocsb.go.th/udon/All%20text/1.Article/01-Article%20Index.htm

ปฐมพงษ์ คุมพล บพิตร ตั้งวงศ์กิจ และ รัตนา ตั้งวงศ์กิจ 2555. การออกแบบและพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั่นสะเทือนติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 วันที่ 4 – 5 เมษายน 2555.

ประสิทธิ์ ขุนสนิท และ สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2555. ปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84. Agricultural Sci. 43 (2-3). 217-226.

พินิจ จิรัคคกุล. 2558. รายงานโครงการวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่อผสมปุ๋ยอัตโนมัติตามการวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย. กรมวิชาการเกษตร.

พืชเศรษฐกิจ. 2542. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 270-295.

ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์, พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง, อุษฎา สุขจันทร์ และ อัคคพล เสนาณรงค์. 2560. ไถระเบิดดินดานติดรถแทรกเตอร์ขนาดกลางสำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 35 ฉบับที่ 1; มกราคม – เมษายน 2560.

รัชดา ปรัชเจริญวนิชย์ ทักษิณา ศันสยะวิชัย กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และ สุรีย์พร ม้ากระโทก 2555. ผลของการจัดการแปลงอ้อยระยะยาวต่อการกระจายตัวของรากและการให้ผลผลิตอ้อย. วารสารแก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 3: 177 – 184.

วินิต ชินสุวรรณ, 2530. เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิชัย โอภานุกุล พินิจ จิรัคคกุล และ วีระ สุขประเสริฐ. 2556. รายงานวิจัยกิจกรรมสำรวจการใช้เครื่องฝังปุ๋ยอ้อยในประเทศ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี กอบเกียรติ ไพสาลเจริญ ชยันต์ ภักดีไทย ศรีสุดา ทิพยรักษ์ และ วัลลีย์ อมรพล. 2555. การจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมเพื่อการผลิตอ้อยในดินทรายภาคตะวันอกเฉียงเหนือ. วราสารแก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ. 149-158.

สมชาย ชวนอุดม. เครื่องเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2556.

สุดชล วุ้นประเสริฐ และ ธีรยุทธ เกิดไทย. 2558. รายงานการวิจัย การจัดการดินและน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยตอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อรรถสิทธิ์ บุญธรรม และ วัฒนศักดิ์ ชมพูนิช. 2551. ศึกษาวิธีการใส่ปุ๋ยอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ. รายงานผลงานวิจัยและพัฒนาด้านพืชและเทคโนโลยีการเกษตร ปีงบประมาณ 2551.

คลังผลงานวิจัย กรมวิชาการเกษตร.

อดิศักดิ์ คำนวณศิลป์. กรมวิชาการเกษตร. 2558. การจัดการความรู้ .เทคโนโลยีการผลิตอ้อยในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดชัยนาท กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1-4.

อนุตร จำลองกุล. 2547. การศึกษาลักษณะการแตกตัวของดินเนื่องจากไถดินดานชนิดสั่นที่ปลายหัวเจาะ. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2547.

Baran, R., Bassereau, D., Gillet, N. 1974. Measurement of available waterand root development on an irrigaged sugarcane crop in the Ivory Coast. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Thechnol. 15. 726-735.

Blackvurn, F. 1984. Sugar-cane. Longman. New York. ISBN: 0-582-46028-X. 144 p.

Carr, M.K.V., and Knox., J.W. 2011.The water relation and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): A review. *Expl Agric*. Vol.47, 1-25.

Cornelison and Cooper A.L. USA 1998. Farm Machinery in United states of America Fifth Edition, 362-371 pages.

Glover, J. 1967. The simultaneous growth of sugarcane root and tops in relation to soil and climate. Proc. S. Afr. Sugar Techno. Assoc. 41. 143-159.

Kiyomatsu M. 1986. Sugarcane and it’s cultivation.

Pipat, W. November 2015. Development on global sugarcane market “challenges for Thailand producer”. Paper at the meeting of Agritechnica, Hanover, German. [Online]. Retrieved from https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2015/Programm/Forum_3/F3-09-11-1300_Weerathaworn.pdf.

Regional Network for Agricultural Machinery (RNAM). Test Codes & Procedures for Farm Machinery, Technical Series No. 12. Pasay: Economic and Social Comission for Asia and Pacific (ESCAP); 1983.

Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G., and Thorburn, P.J. 2005. Growth and function of the sugarcane root system. Field Crop Research. 92. 169-183.

Sriroth, K. Vanichsriratana, W. Sunthornvarabhas, J. 2016. The Current Status of Sugar Industry and By-products in Thailand. Sugar Tech. 18(6):576–582.

Thanankorn, J., Jun, T., Kenta, W., Mai, N., Hiroo, T.,Ryuichi, S., Masami, U., and Yoshinobu, K. 2016. Effect of duration and combination of drought and flood condition on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. Plant Production Science. Vol.19, no.3, 427-437.

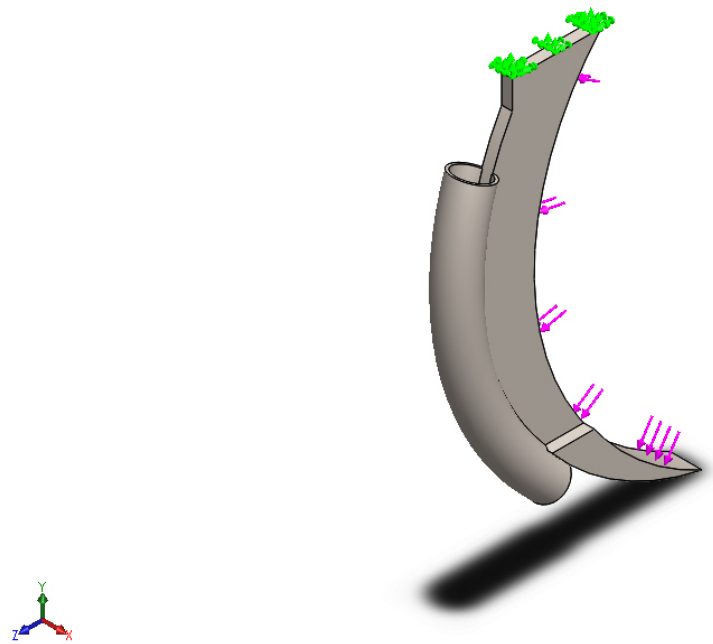
USDA Foreign Agriculture Service. 2017. Agricultural Information Network, Thailand Sugar annual 2017. [Online]. Retrieved from https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Sugar%20Annual_Bangkok_Thailand_4-12-2017.pdf

4-12-2017.pdf

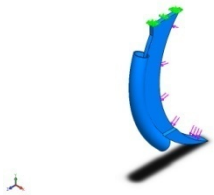
ข้อมูลที่อ้างอิงจากเวปไซต์

- การเจริญเติบโตของอ้อย: http://sugarcane2836.blogspot.com/p/blogpage_4715.html
- ประวัติอ้อย: https://th.wikipedia.org/wiki/อ้อย
- รูปที่ 6 ระยะการเจริญเติบโตของอ้อย หน้า 15 : http://www.siamprocane.com/kn13.html
- เอกสารการดูแลรักษาอ้อยของโรงงานน้ำตาลครบุรี http://www.kbs.co.th/uploads/sustain_sugarcane/article-004.pdf
- คำแนะนำการใส่ปุ๋ยในอ้อยของบริษัทประวิทย์กรุ๊ป http://www.pravitgroup.co.th/2016/fertilizer_cane/

Model Information



Model name: Part1 ขาฝังปุ๋ย
Current Configuration: Default

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Sweep1 	Solid Body	Mass:4.27691 kg Volume:0.000544829 m^3 Density:7850 kg/m^3 Weight:41.9137 N	D:\งาน ม.เกษตร\เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อย\แบบเครื่องใส่ปุ๋ย\Part1 ขาฝังปุ๋ย.SLDPRT

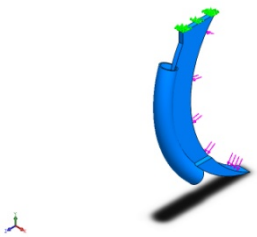
Study Properties

Study name	Static 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	On
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (D:\งาน ม.เกษตร\เครื่องใส่ปุ๋ยอ้อย\แบบเครื่องใส่ปุ๋ย)

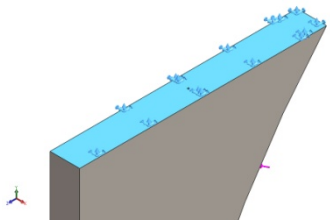
Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m^2

Material Properties

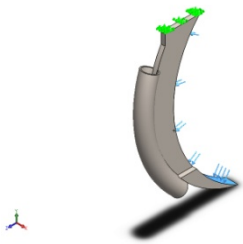
Model Reference	Properties		Components
	**Name:**	ASTM A36 Steel	SolidBody 1(Sweep1)(Part1 **ขาฝังปุ๋ย)**
	Model type:	Linear Elastic Isotropic	
	Default failure criterion:	Max von Mises Stress	
	Yield strength:	2.5e+008 N/m^2	
	Tensile strength:	4e+008 N/m^2	
	Elastic modulus:	2e+011 N/m^2	
	Poisson's ratio:	0.26	
	Mass density:	7850 kg/m^3	
	Shear modulus:	7.93e+010 N/m^2	
Curve Data:N/A			

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		**Entities:** 1 face(s) **Type:** Fixed Geometry

Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.0629272	3890.15	-7658.42	8589.8
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		**Entities:** 1 face(s) **Type:** Apply normal force **Value:** 10000 N

Mesh information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	0.00661074 m
Tolerance	0.000330537 m
Mesh Quality	High

Mesh information - Details

Total Nodes	29079
Total Elements	16177
Maximum Aspect Ratio	8.7103
% of elements with Aspect Ratio < 3	94.4
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh;mm;ss):	00:00:02
Computer name:	KU-PC

Resultant Forces

Reaction forces

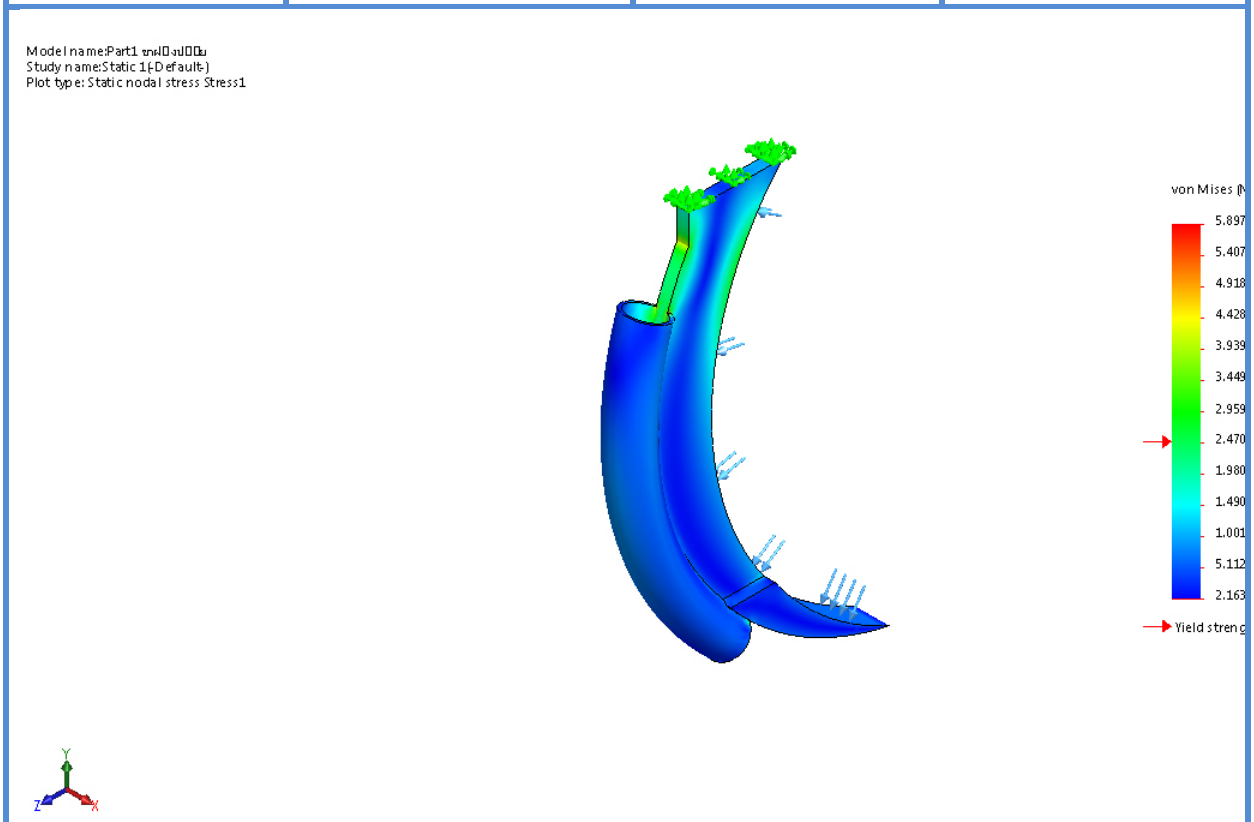
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-0.0629272	3890.15	-7658.42	8589.8

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	0	0	0	0

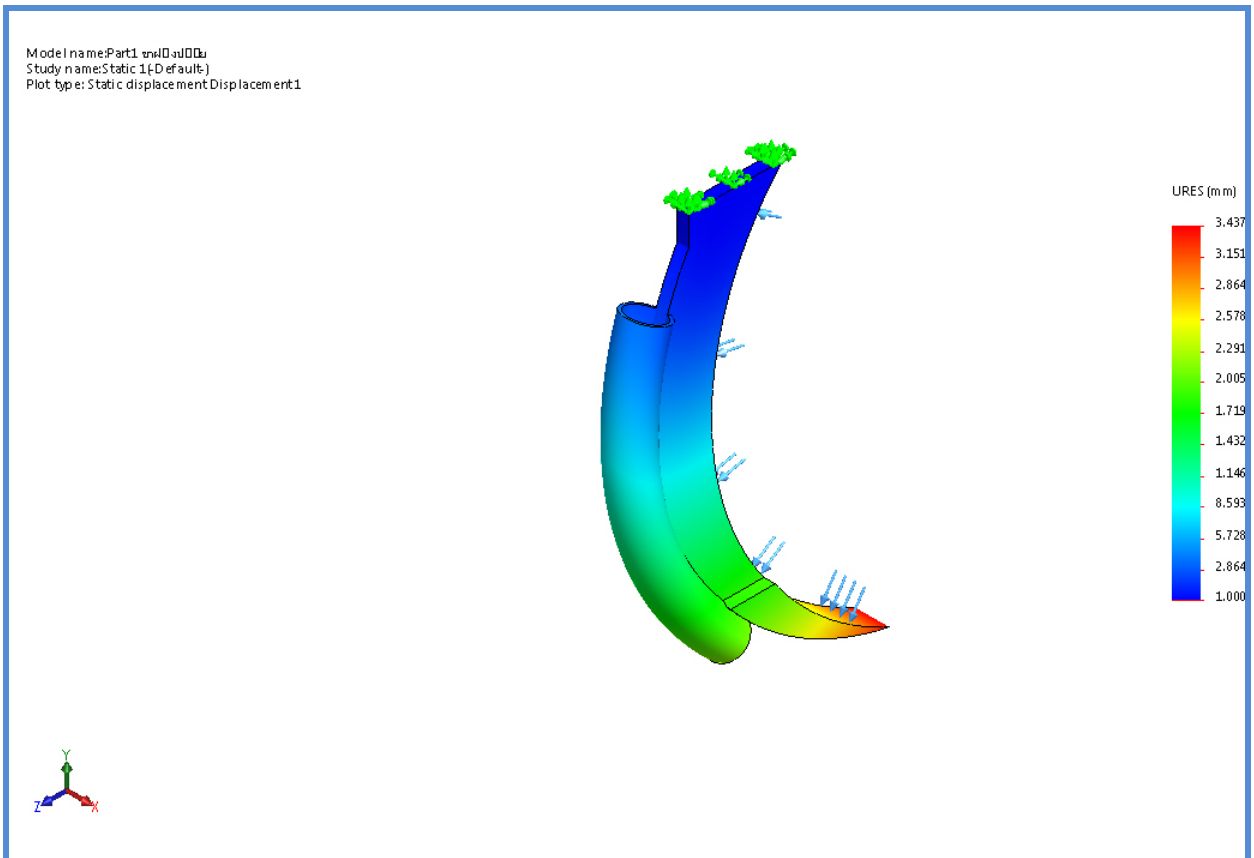
Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	2.16269e+006 N/m^2 Node: 6717	5.89696e+008 N/m^2 Node: 22493



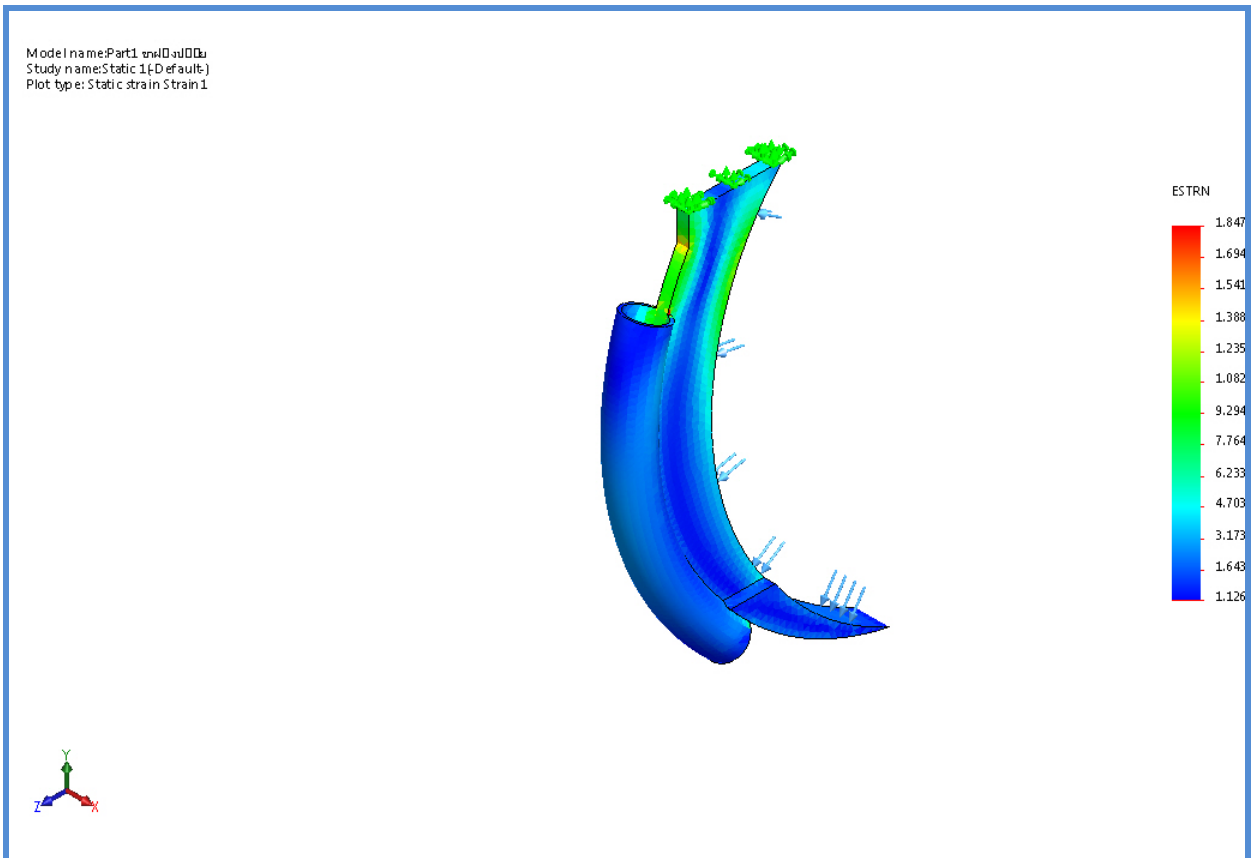
Part1 ขาฝังปุ๋ย-Static 1-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1451	3.43701 mm Node: 15620



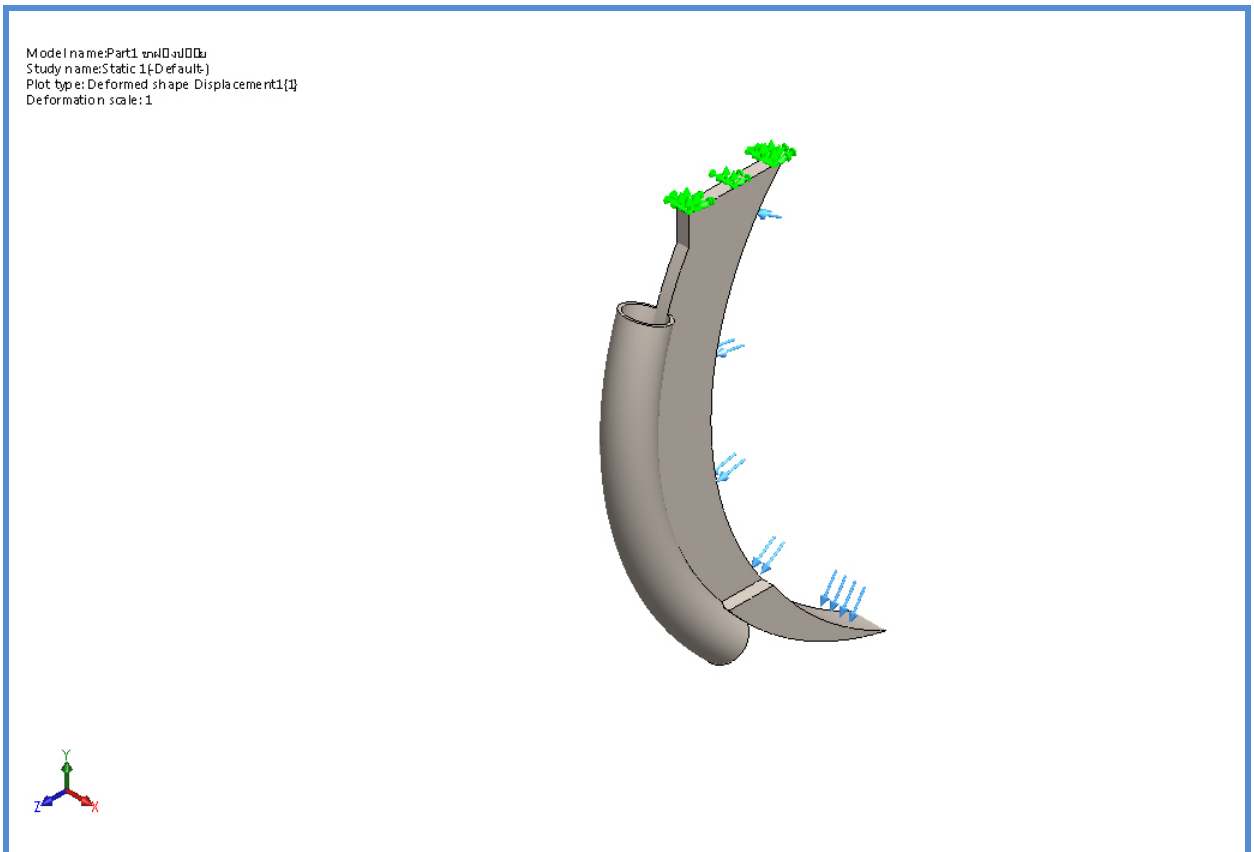
Part1 ขาฝั่งปุ๋ย-Static 1-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1.12622e-005 Element: 6139	0.0018475 Element: 5051



Part1 ขาฝังปุ๋ย-Static 1-Strain-Strain1

Name	Type
Displacement1{1}	Deformed shape



Part1 ขาฝั่งปุ๋ย-Static 1-Displacement-Displacement1{1}

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของขาไถฝังกลบปุ๋ยแบบติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลรถแทรกเตอร์สำหรับการทดสอบสมรรถนะการทำงาน

รายละเอียด	ผล
ยี่ห้อ/รุ่นรถแทรกเตอร์	kubota sunshine
ขนาดแรงม้าของรถแทรกเตอร์	26 Hp

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหลัง	0.885 m
ความกว้างหน้ายางหลัง	210 mm
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	1750 rpm
ระยะทางล้อหลังหมุน 1 รอบ	2.78 m

ตารางที่ ข.2 ผลการเก็บข้อมูลเมื่อล้อรถแทรกเตอร์หมุน 20 รอบ

ครั้งที่	ความลึกระดับ 10 cm		ความลึกระดับ 20 cm		ความลึกระดับ 30 cm	
	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ระยะทาง (m)	เวลา (s)	ระยะทาง (m)	เวลา (s)
1	53.30	53.00	51.30	54.00	37.62	57.00
2	52.00	50.00	44.00	51.00	40.17	55.00
3	54.00	53.00	51.60	55.00	46.00	66.00
4	52.30	51.00	48.50	51.00	37.94	53.00
5	46.50	55.00	42.50	59.00	45.90	67.80
6	46.00	55.00	48.50	54.00	46.70	60.60
ค่าเฉลี่ย	**50.68**	**52.83**	**47.73**	**54.00**	**42.39**	**59.90**

ตารางที่ ข.3 ผลความสามารถการทำงานและประสิทธิภาพการทำงาน

ครั้งที่	ความสามารถการทำงาน ไร่/ชั่วโมง			ประสิทธิภาพการทำงาน เปอร์เซ็นต์		
	ระดับความลึกของดิน			ระดับความลึกของดิน		
	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
1	2.59	2.32	1.75	68.75	66.89	63.07
2	2.60	2.36	1.71	69.03	67.94	61.58
3	2.45	2.30	1.74	64.97	66.18	62.57
ค่าเฉลี่ย	**2.55**	**2.33**	**1.73**	**67.58**	**67.00**	**62.41**

ตารางที่ ข.4 ผลการวัดความเร็วการทำงาน

ครั้งที่	ความเร็วการเคลื่อนที่					
	เมตร/วินาที			กิโลเมตร/ชั่วโมง		
	ระดับความลึกของดิน			ระดับความลึกของดิน		
	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
1	1.01	0.95	0.66	3.62	3.42	2.38
2	1.04	0.86	0.73	3.74	3.11	2.63
3	1.02	0.94	0.70	3.67	3.38	2.51
4	1.03	0.95	0.72	3.69	3.42	2.58

5	0.85	0.72	0.68	3.04	2.59	2.44
6	0.84	0.90	0.77	3.01	3.23	2.77
ค่าเฉลี่ย	**0.96**	**0.89**	**0.71**	**3.46**	**3.19**	**2.55**

ตารางที่ ข.5 ผลการวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ครั้งที่	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ไร่)		
	ระดับความลึกของดิน		
	10 cm	20 cm	30 cm
1	0.92	0.98	1.84
2	0.92	0.84	1.68
3	0.84	0.92	1.68
ค่าเฉลี่ย	**0.89**	**0.91**	**1.74**

ตารางที่ ข.6 ผลการวัดอัตราการลื่นไถลของรถแทรกเตอร์

ครั้งที่	อัตราการลื่นไถล (%)		
	ระดับความลึกของดิน		
	10 cm	20 cm	30 cm
1	4.10	7.70	32.31
2	6.44	20.83	27.72
3	2.84	7.16	17.23
4	5.90	12.74	31.74
5	16.33	23.53	17.41
6	17.23	12.74	15.97
ค่าเฉลี่ย	**8.81**	**14.11**	**23.73**

ตารางที่ ข.7 ผลแรงการแทงทะลุของดินแปลงทดสอบเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

ค่าแรงการแทงทะลุของดิน (kg/cm²)				
จุดสุ่มเก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ระดับความลึกของดิน		
		10cm	20cm	30cm
1	1	16	18	24
	2	27	27	27
	3	20	20	50
2	1	15	15	25
	2	27	27	27
	3	19	22	26
3	1	18	18	40
	2	20	20	20
	3	21	21	26

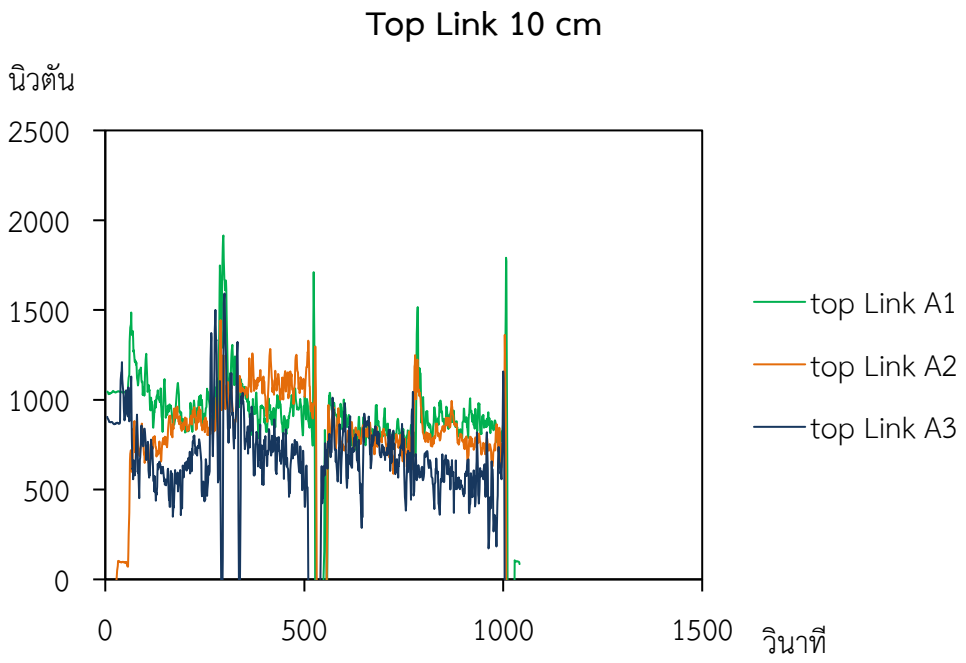
4	1	26	45	50
	2	30	30	50
	3	29	29	50
5	1	30	36	>50
	2	30	32	46
	3	20	24	28
ค่าเฉลี่ย		**23.20**	**25.60**	**34.93**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		5.40	7.96	11.87

ตารางที่ ข.8 ผลเก็บตัวอย่างข้อมูลความชื้นมาตรฐานแห้งของดินแปลงทดสอบเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

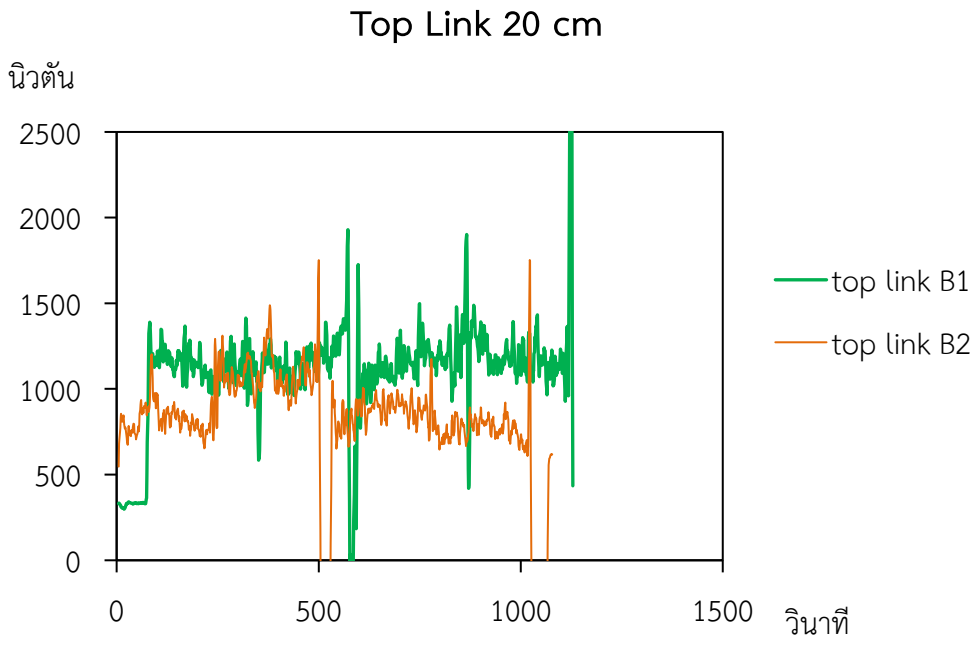
ครั้งที่	น้ำหนักของดิน (กรัม)					
	10cm		20cm		30cm	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1	257.5	223.9	260.2	224.1	282.3	251.4
2	275.7	249.4	271.4	245	288.4	259.6
3	282.2	254.8	271.9	244.6	269.6	243.7
4	258.4	237.8	276.1	251.9	288.2	261
5	258.5	236.8	286.3	259.1	295.8	265.2

ตารางที่ ข.9 ผลความชื้นมาตรฐานแห้งของดินแปลงทดสอบเครื่องฝังกลบปุ๋ยต้นแบบ

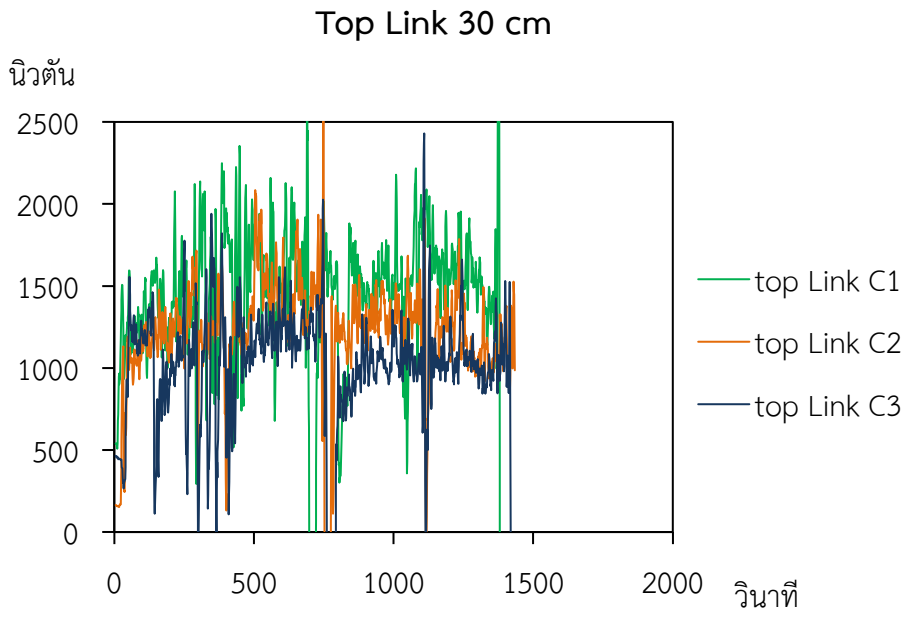
ครั้งที่	ความชื้นของดิน (%)		
	10cm	20cm	30cm
1	13.05	13.87	10.95
2	9.54	9.73	9.99
3	9.71	10.04	9.61
4	7.97	8.76	9.44
5	8.39	9.50	10.34
ค่าเฉลี่ย	**9.73**	**10.38**	**10.06**



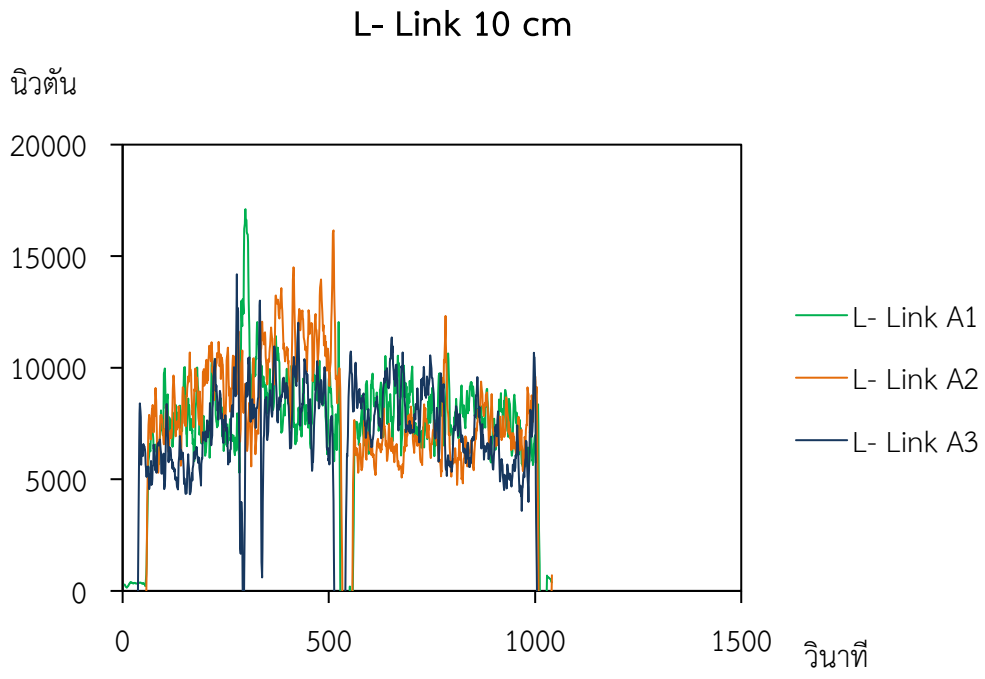
รูปที่ ข.1 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อแขนกลางรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 10 cm



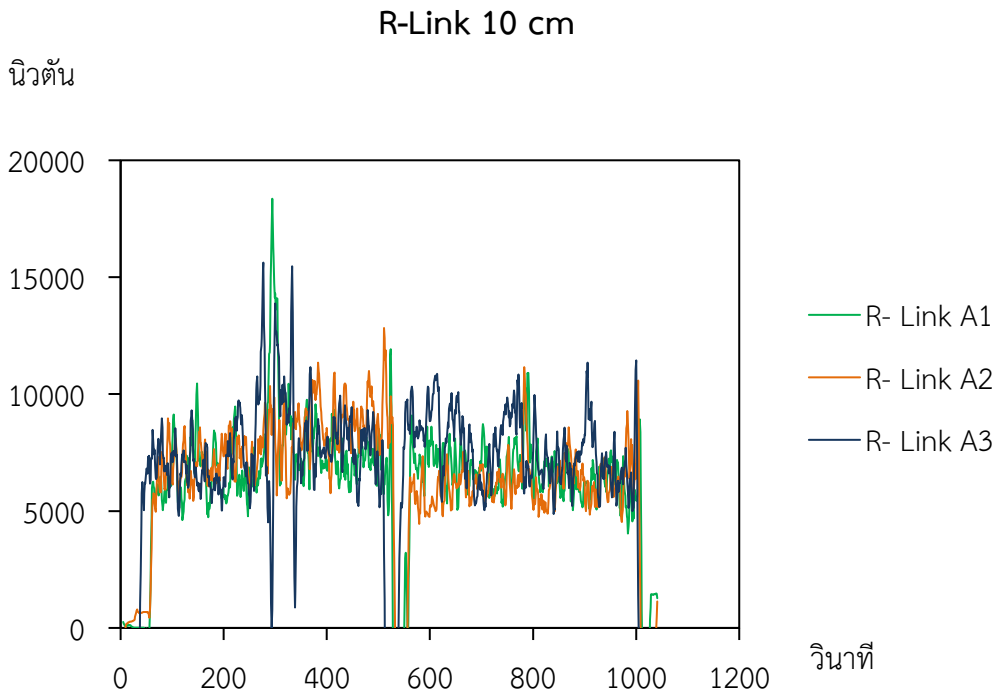
รูปที่ ข.2 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อแขนกลางรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 20 cm



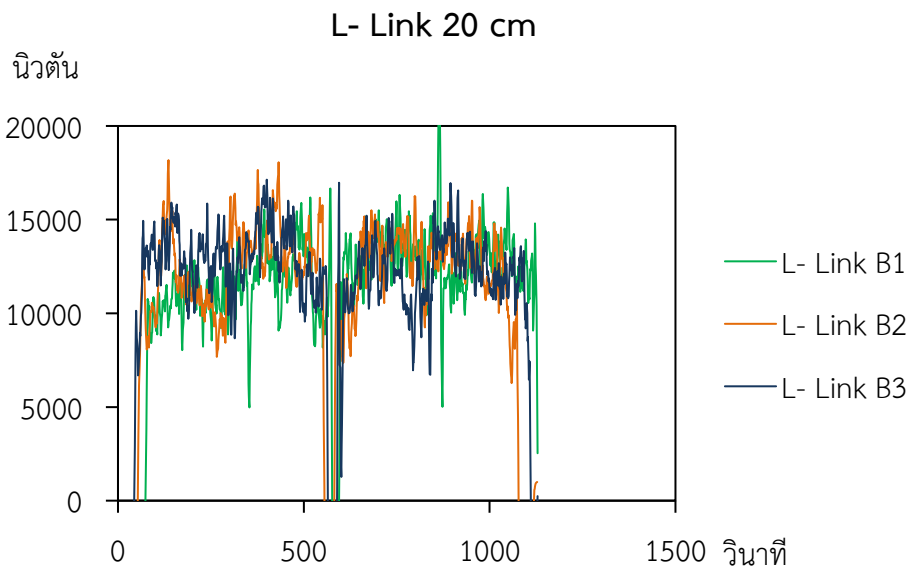
รูปที่ ข.3 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อแขนกลางรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 30 cm



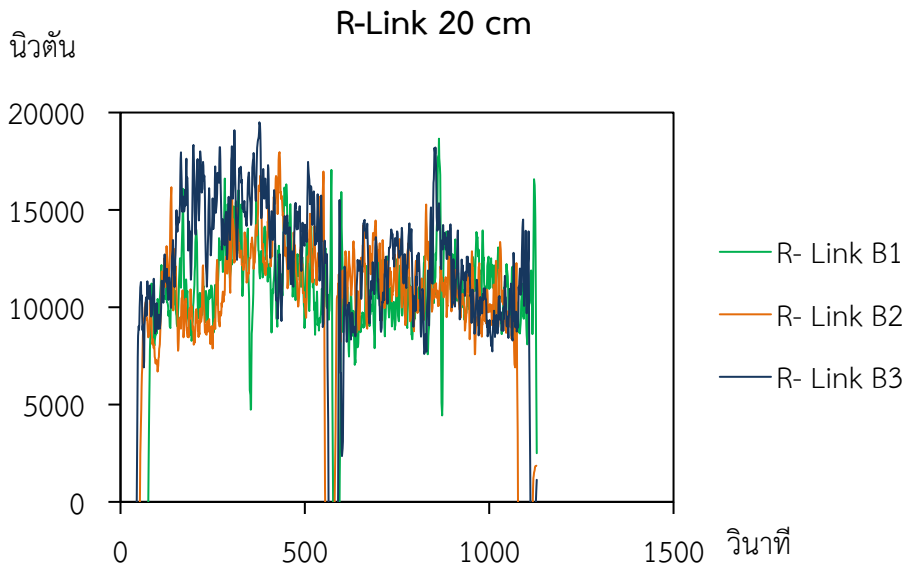
รูปที่ ข.4 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านซ้ายของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 10 cm



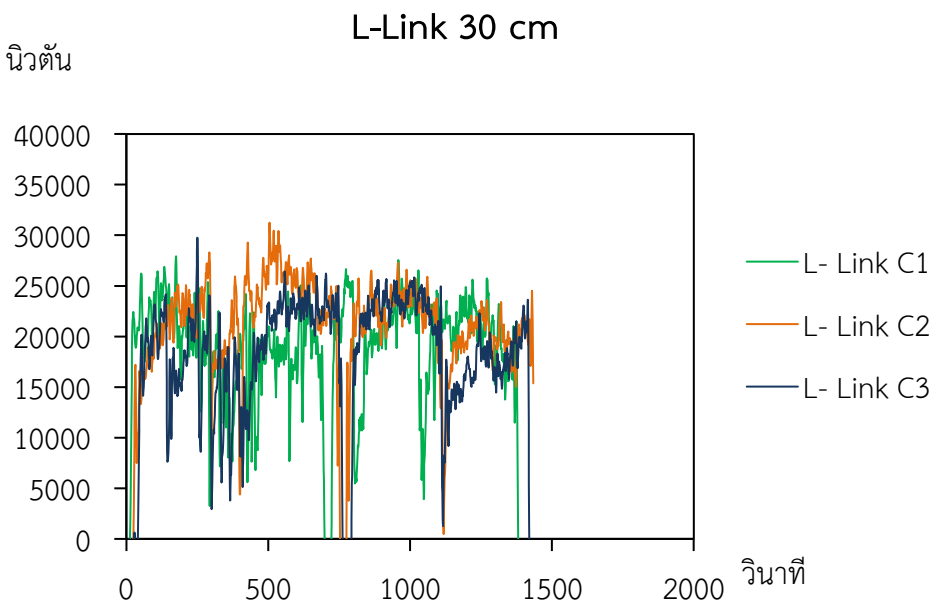
รูปที่ ข.5 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านขวาของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 10 cm



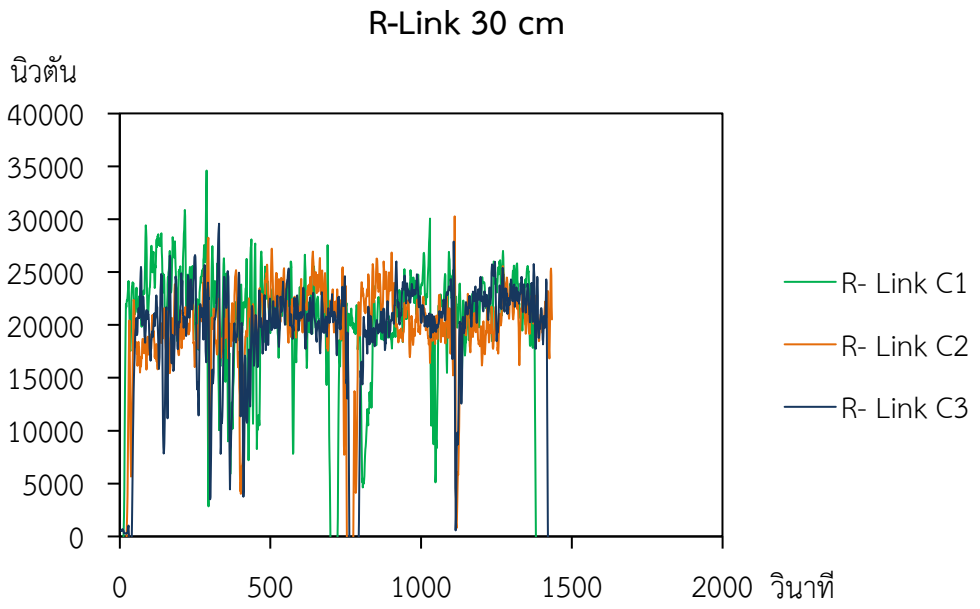
รูปที่ ข.6 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านซ้ายของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 20 cm



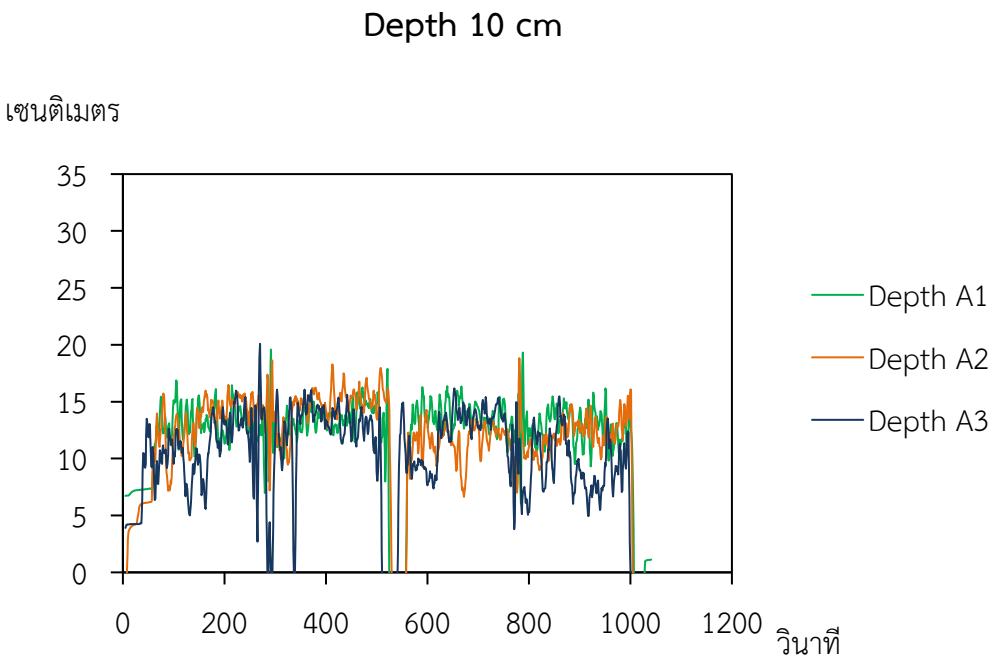
รูปที่ ข.7 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านขวาของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 20 cm



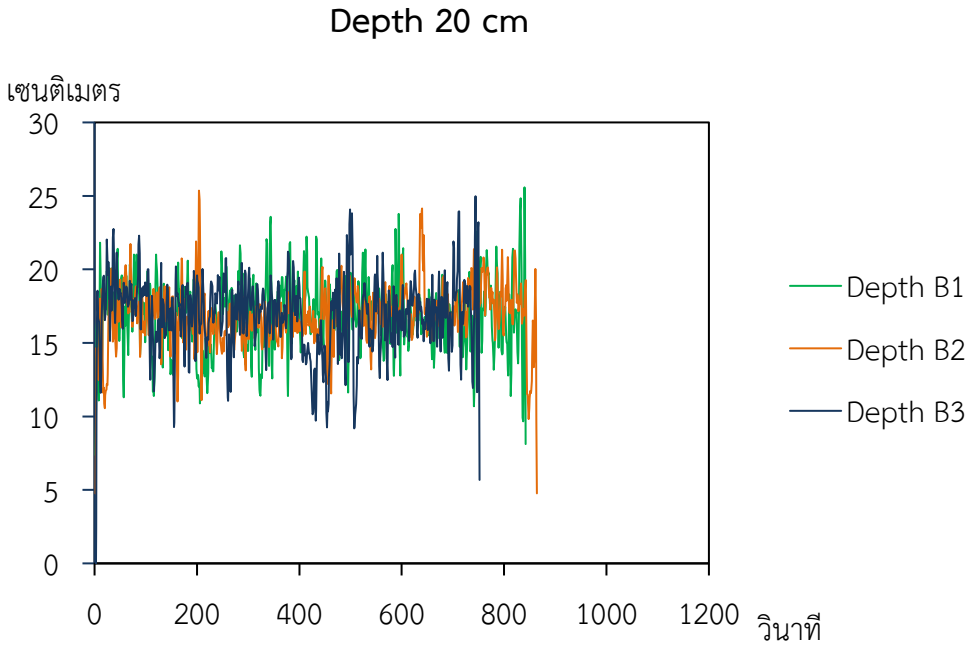
รูปที่ ข.8 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านซ้ายของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 30 cm



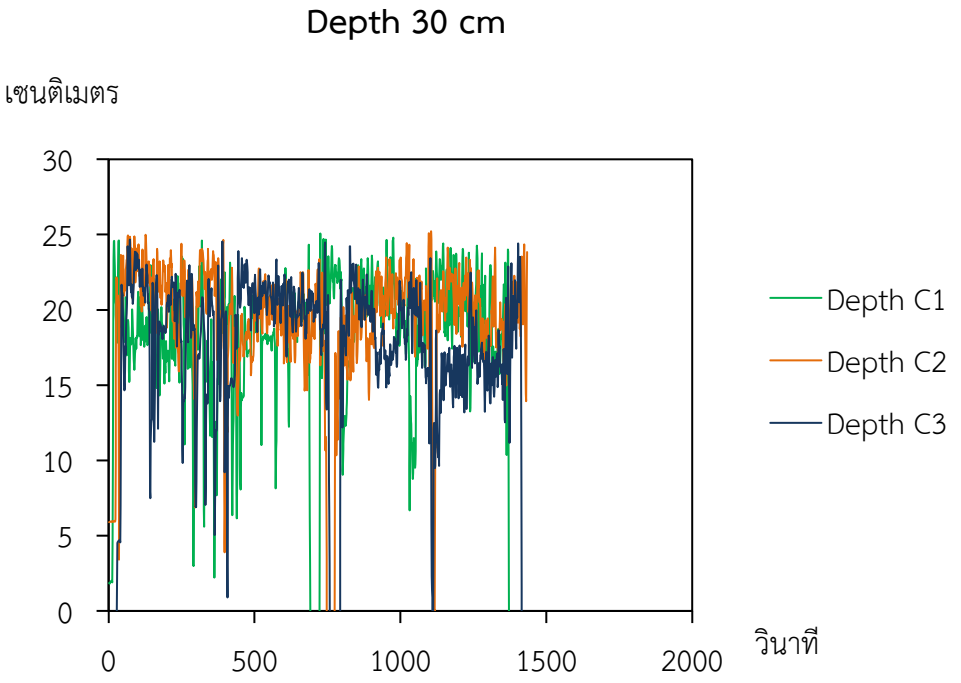
รูปที่ ข.9 พฤติกรรมของแรงฉุดลากที่กระทำต่อจุดต่อพ่วงด้านขวาของรถแทรกเตอร์ที่ระดับ 30 cm



รูปที่ ข.10 พฤติกรรมความลึกการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับ 10 cm



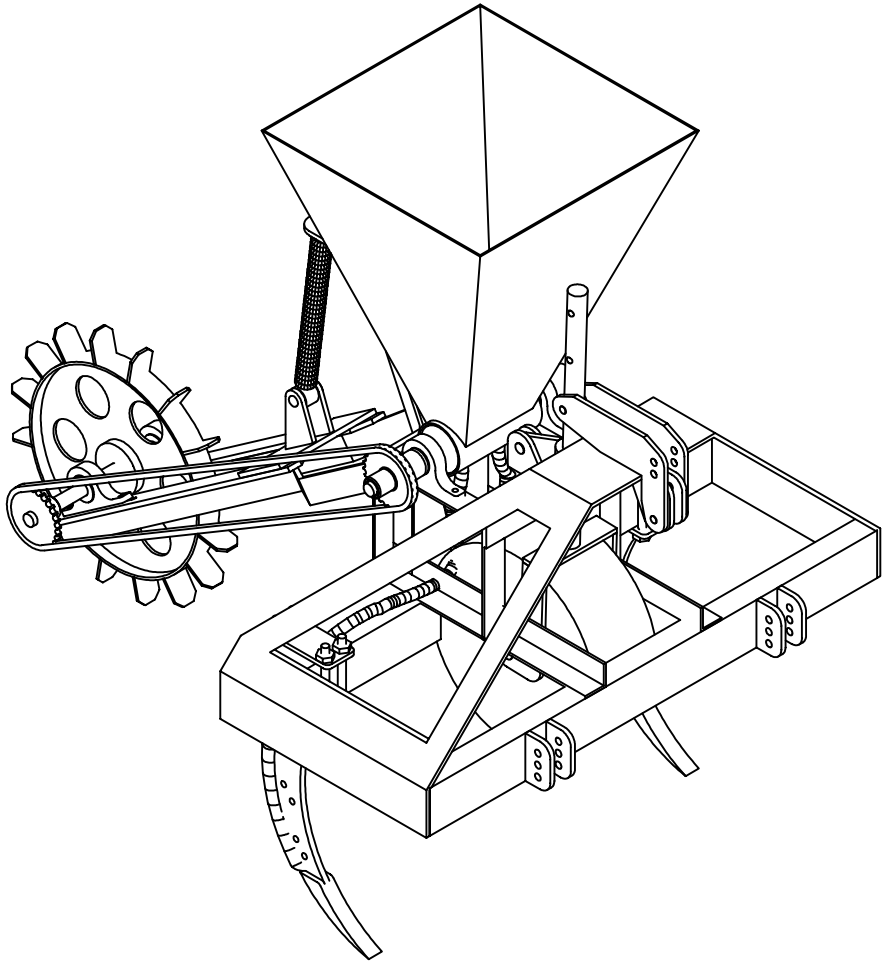
รูปที่ ข.11 พฤติกรรมความลึกการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับ 20 cm



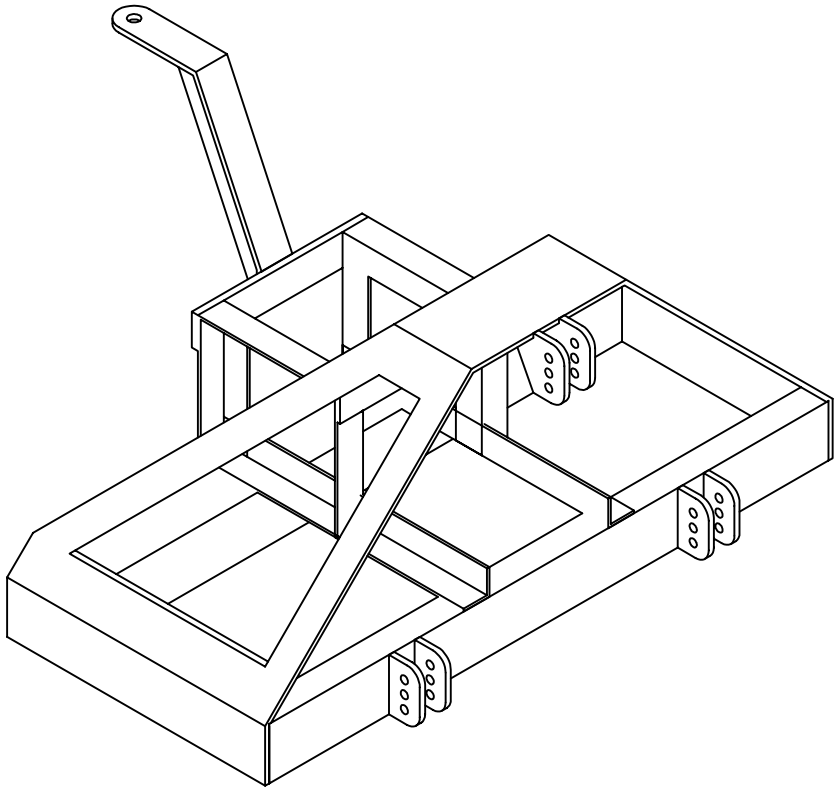
รูปที่ ข.12 พฤติกรรมความลึกการฝังกลบปุ๋ยที่ระดับ 30 cm

ภาคผนวก ค.

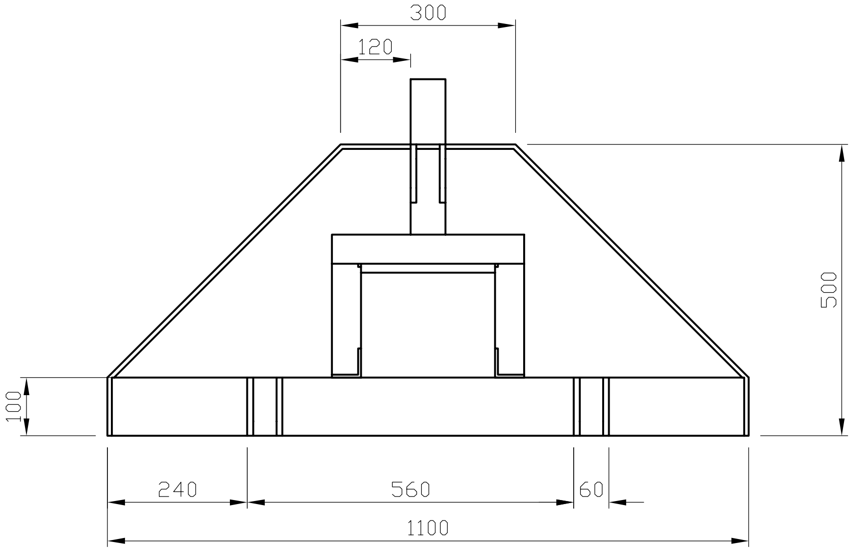
แบบเครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

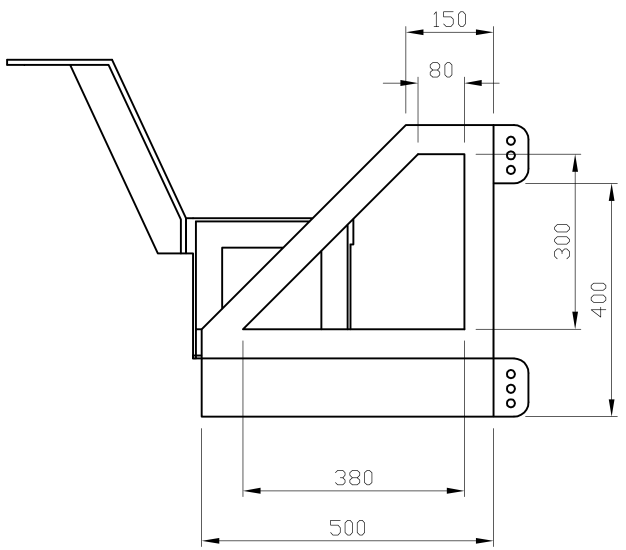


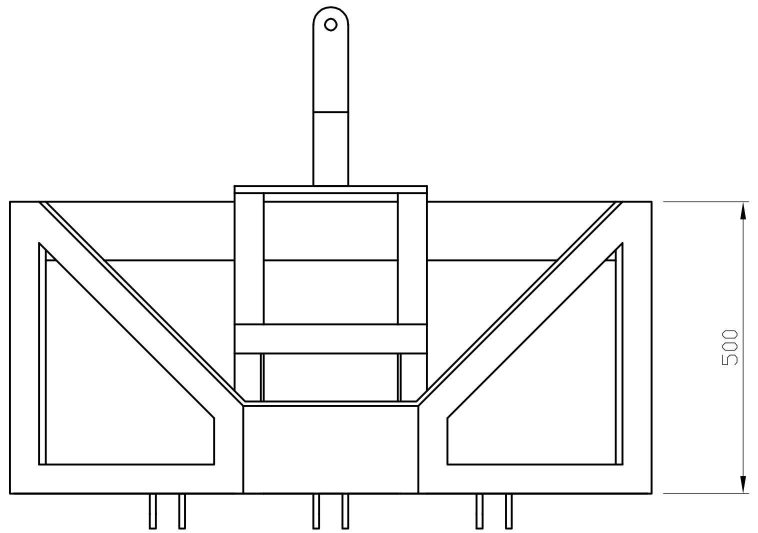
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:10	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 1



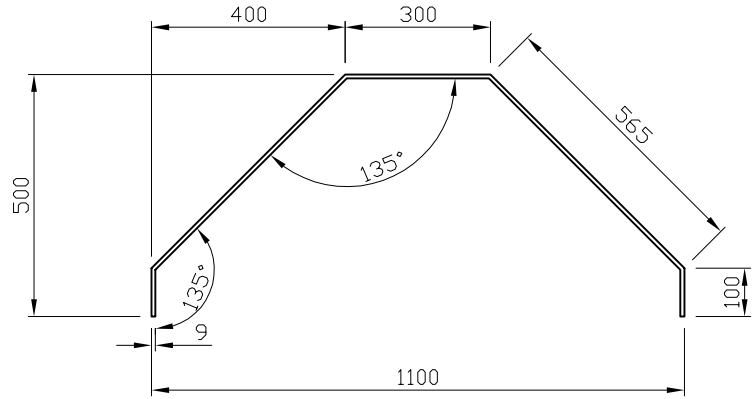
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:8	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 2

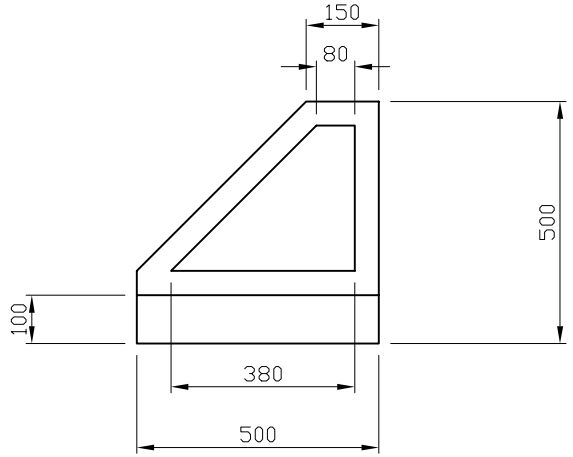


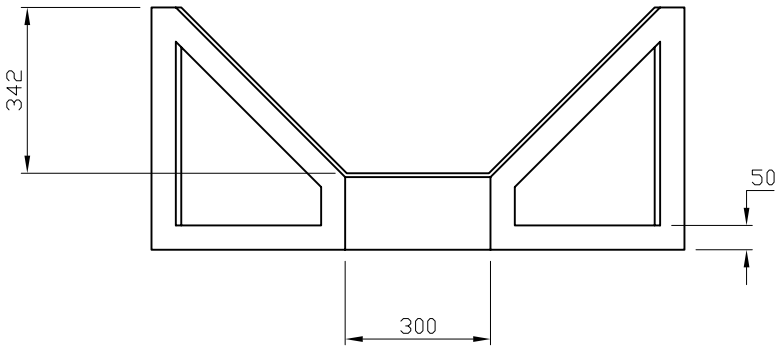


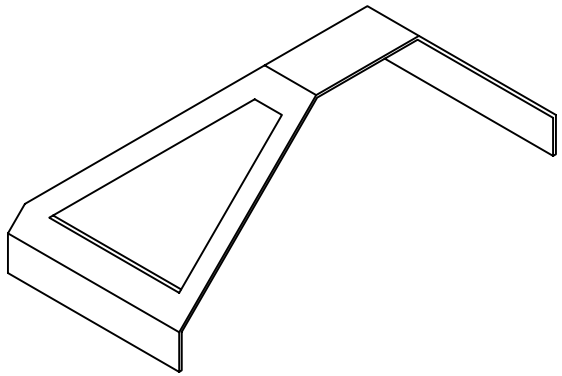


<table>
<tr><td rowspan="4">ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม</td><td>ผู้ออกแบบ</td><td colspan="3">ทิตินัย เทียนแย้ม</td></tr>
<tr><td>ผู้เขียนแบบ</td><td colspan="3">ทิตินัย เทียนแย้ม</td></tr>
<tr><td>ผู้ตรวจ</td><td colspan="3">ทิตินัย เทียนแย้ม</td></tr>
<tr><td>มาตราส่วน</td><td>1:10</td><td>หน่วย</td><td>มิลลิเมตร</td></tr>
<tr><td>ชื่อชิ้นงาน เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก</td><td>หมายเลขแบบ</td><td colspan="2"></td><td>No. 3</td></tr>
</table>

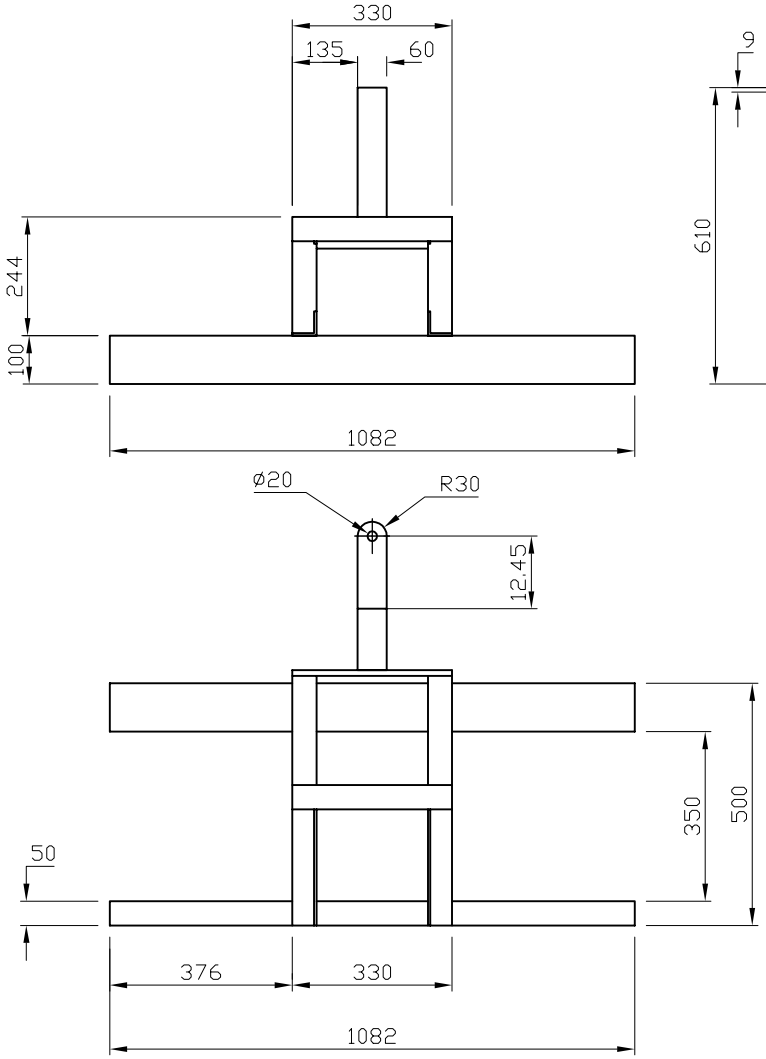


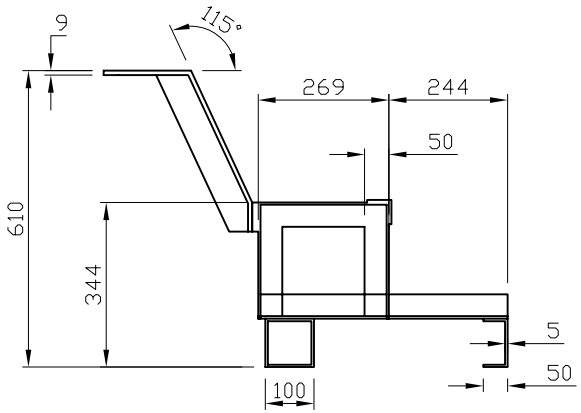


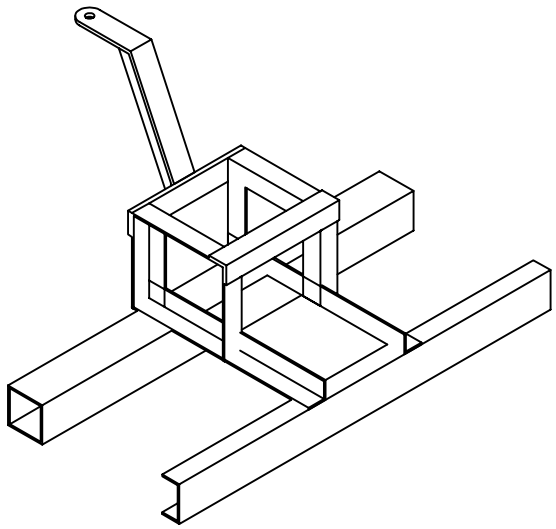




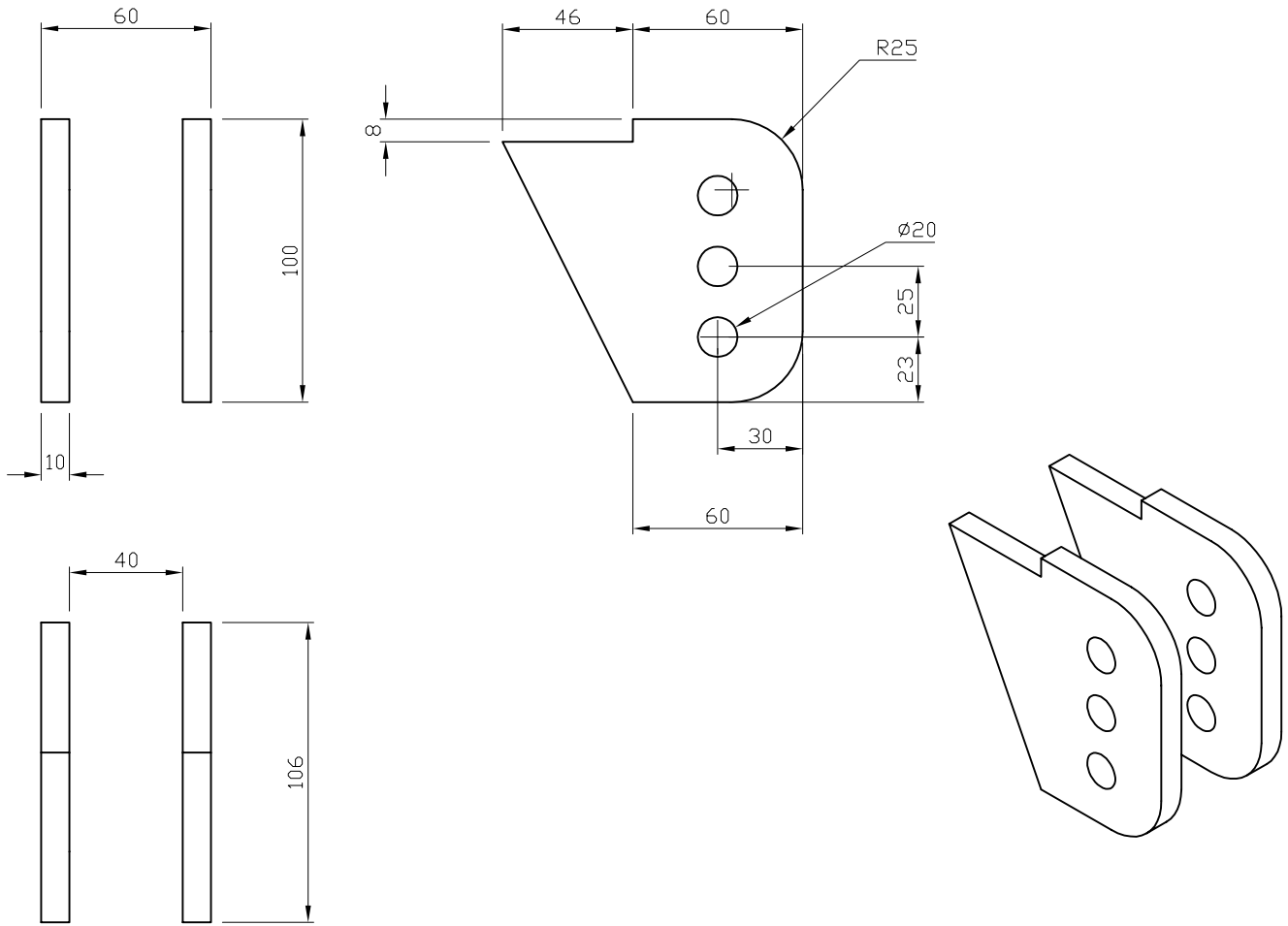
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:12	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 4





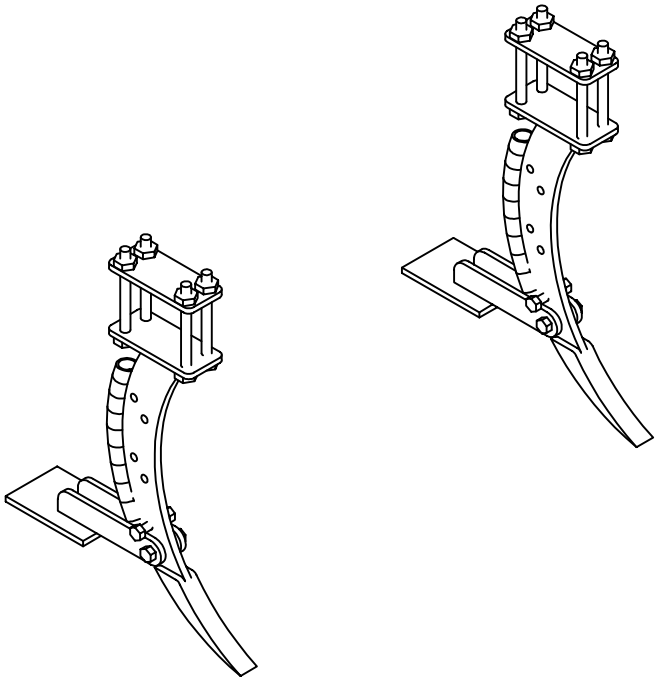


ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:12	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 5

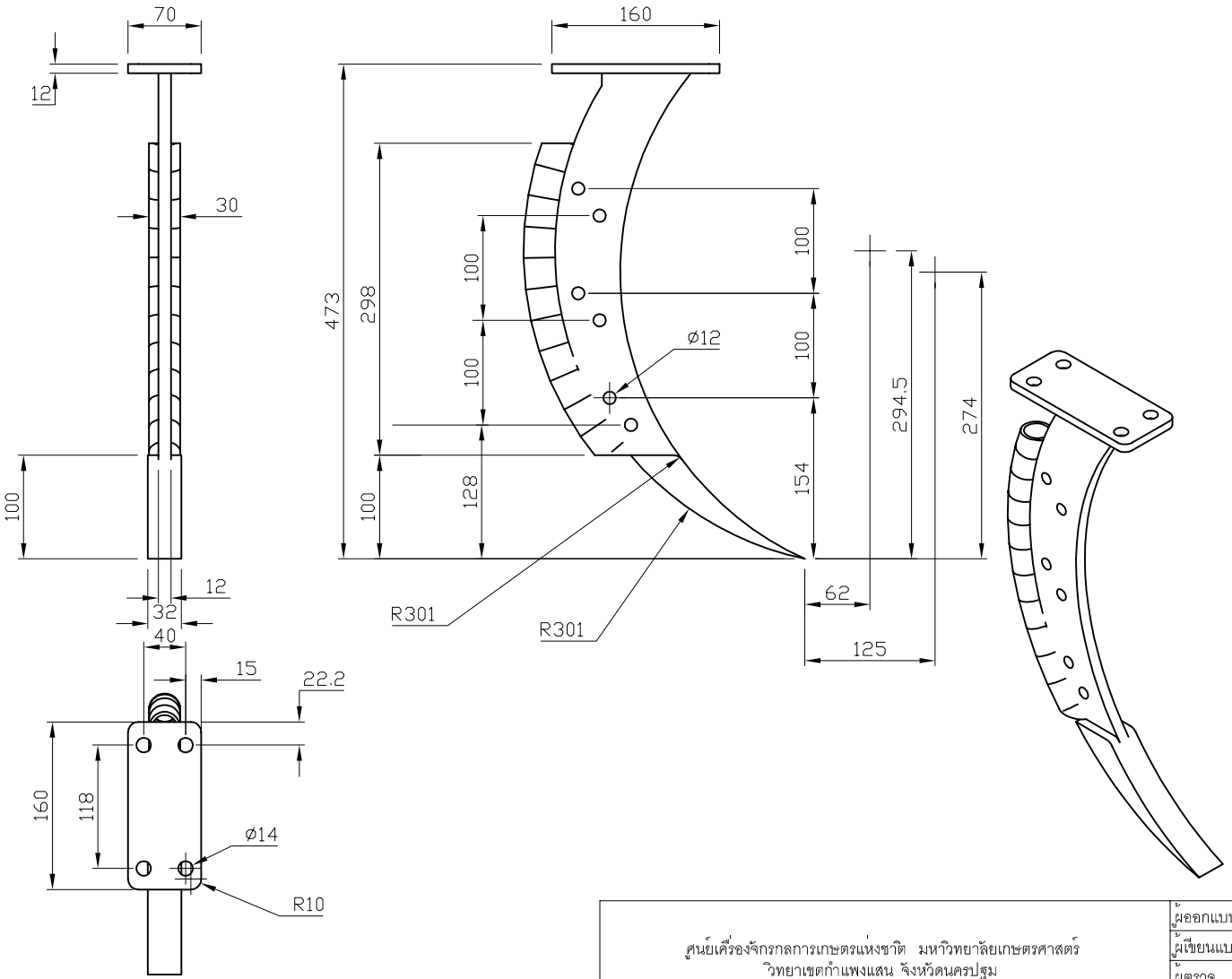


ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 6

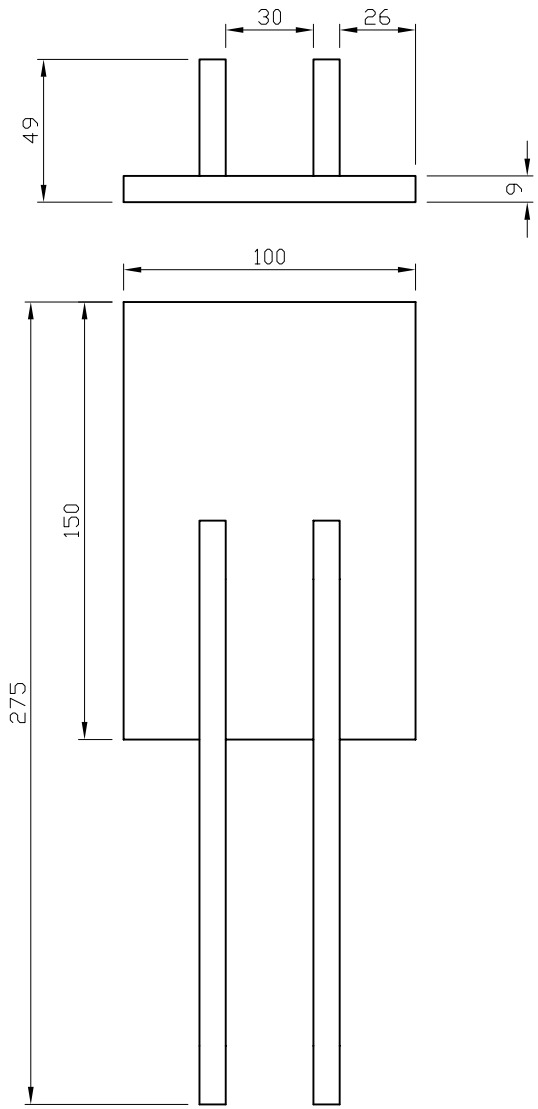
ชื่อชิ้นงาน	No. 7				
	ขนาด	1:2			

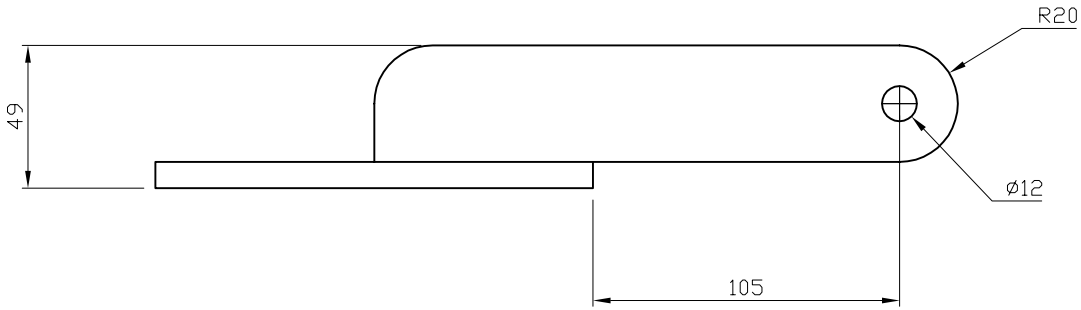


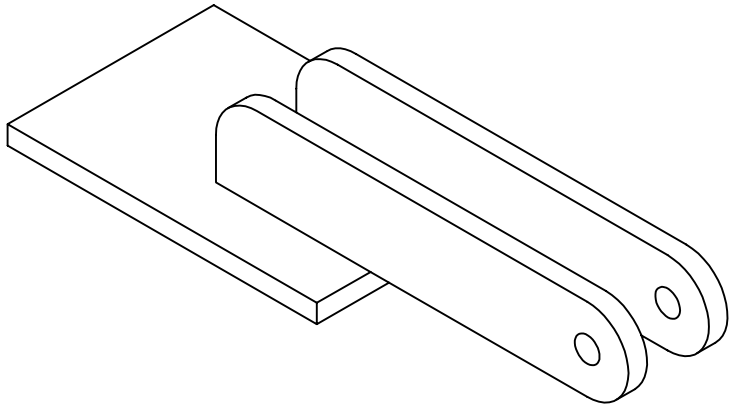
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:8	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 8



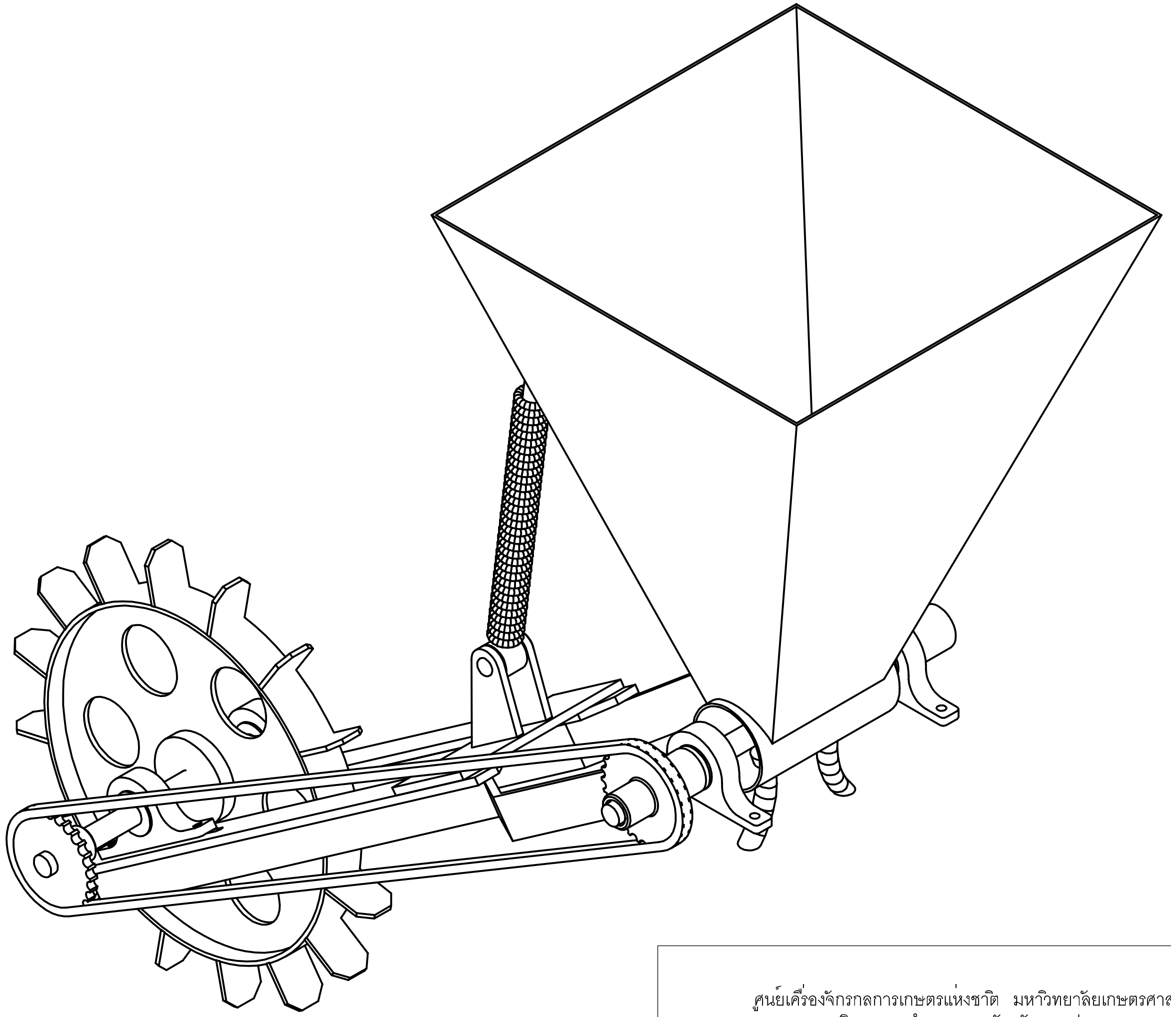
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:5	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 9



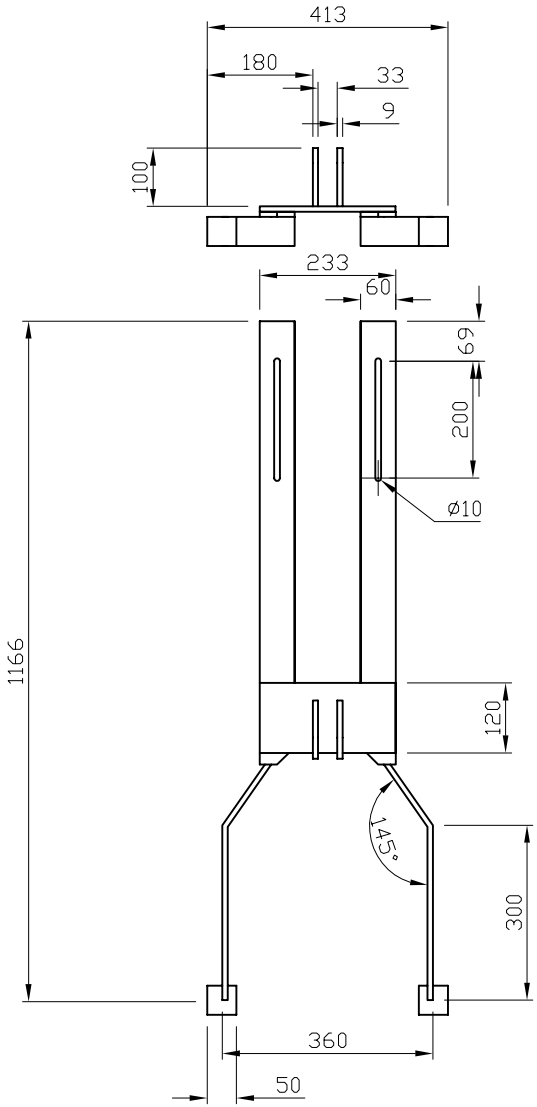


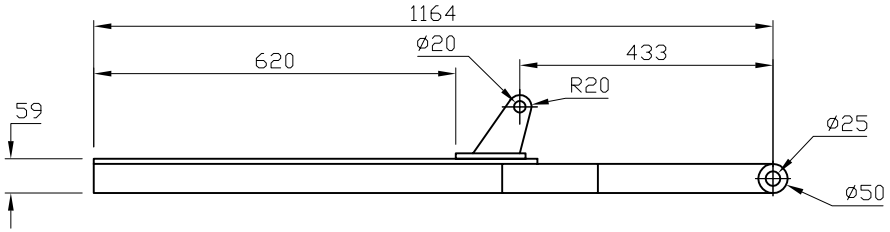


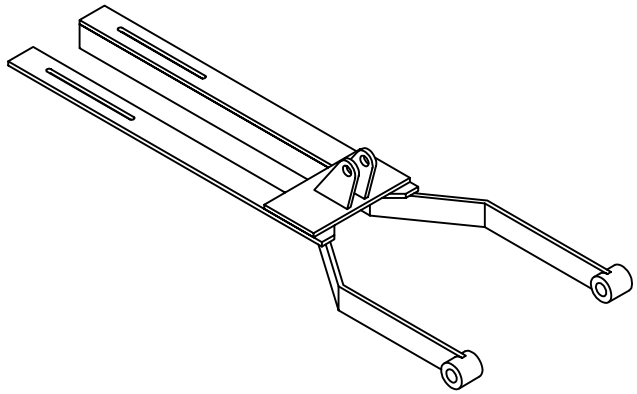
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 10



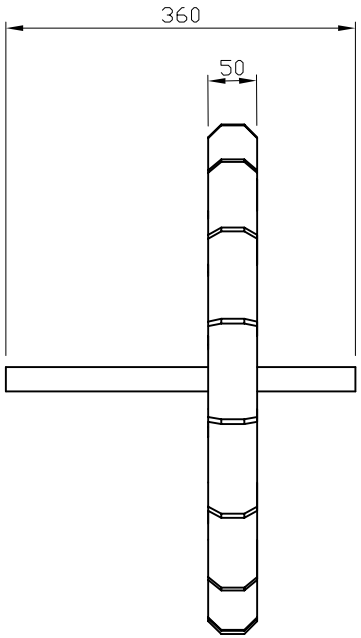
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม	ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	มาตราส่วน	1:6	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 11

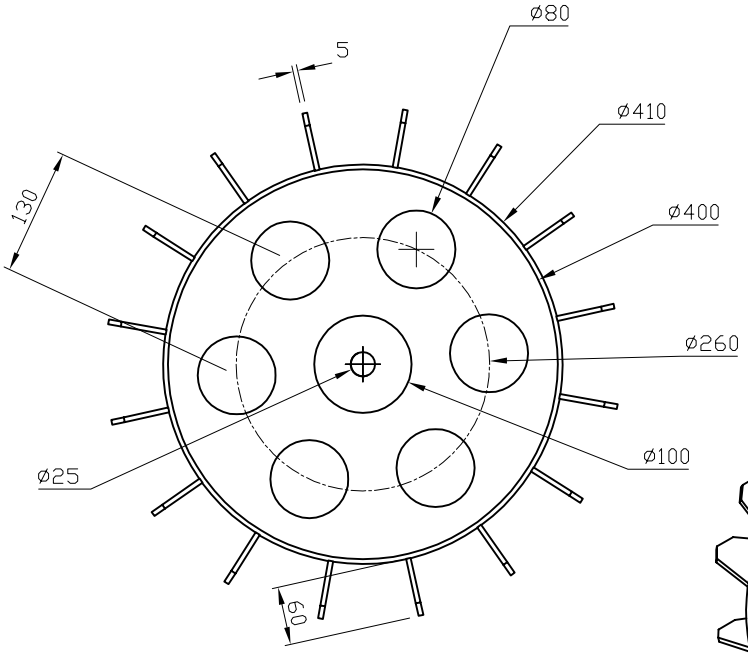


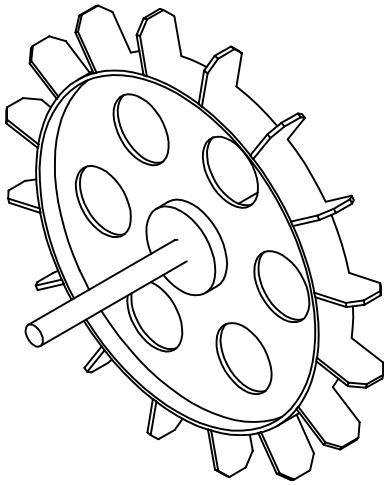




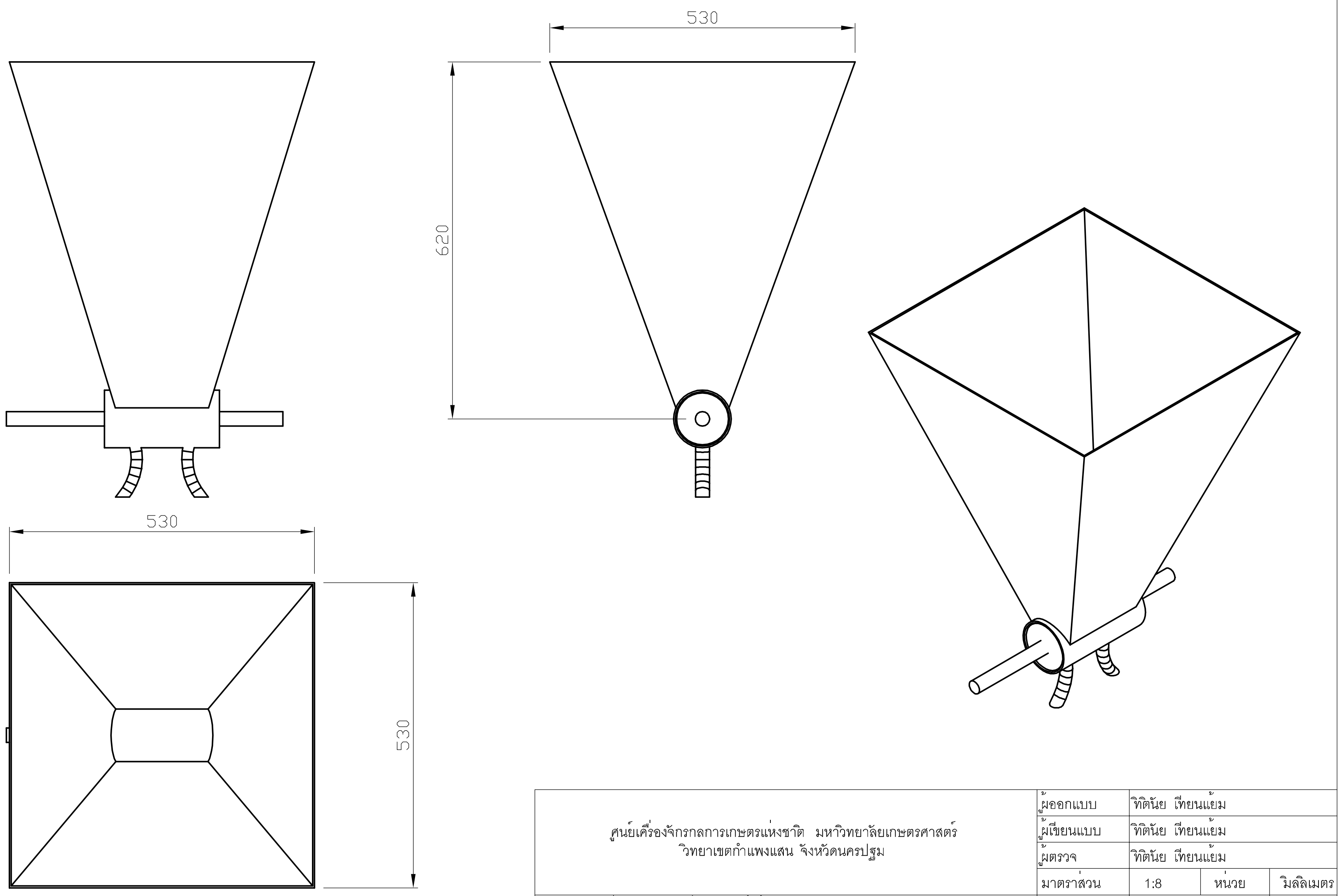
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:10	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 12



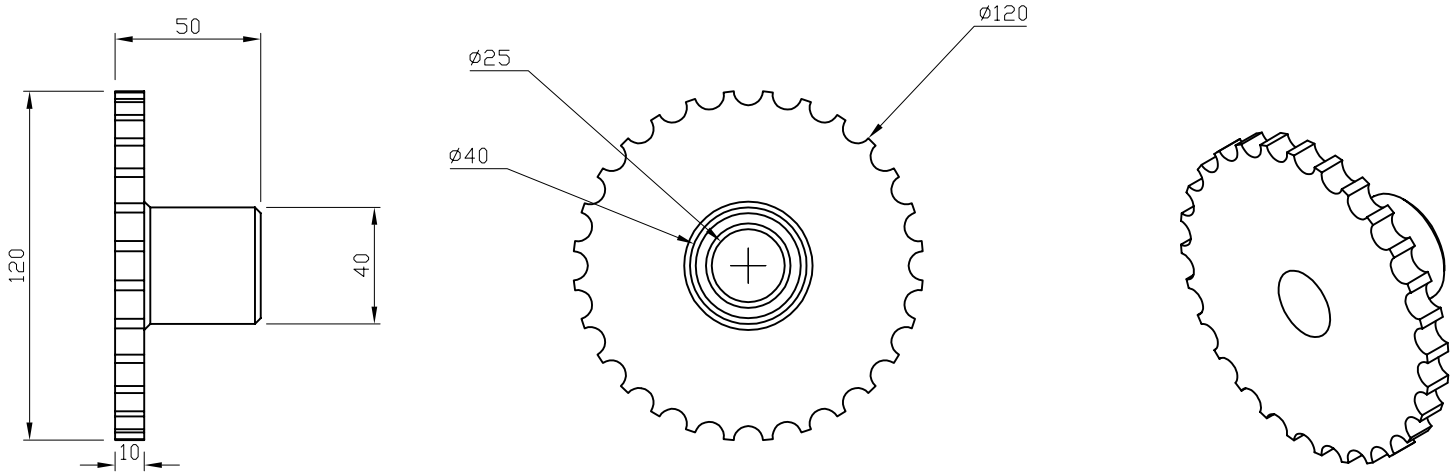




ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:6	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 13

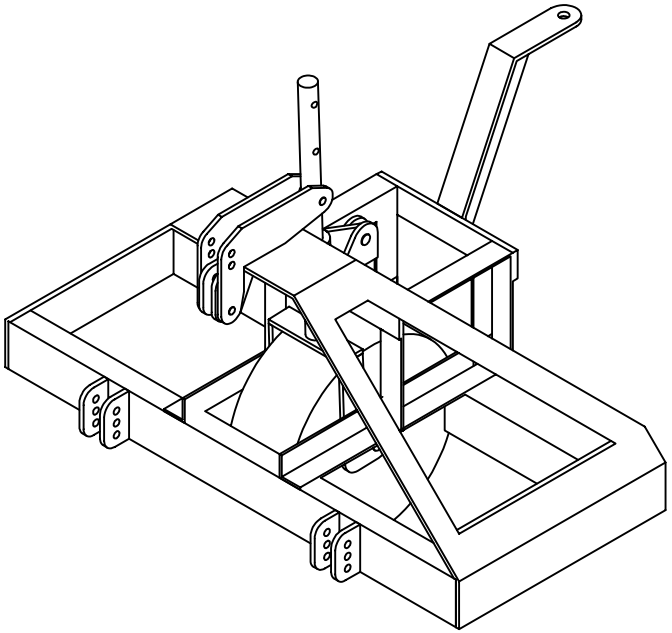


ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม	ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
	มาตราส่วน	1:8	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 14



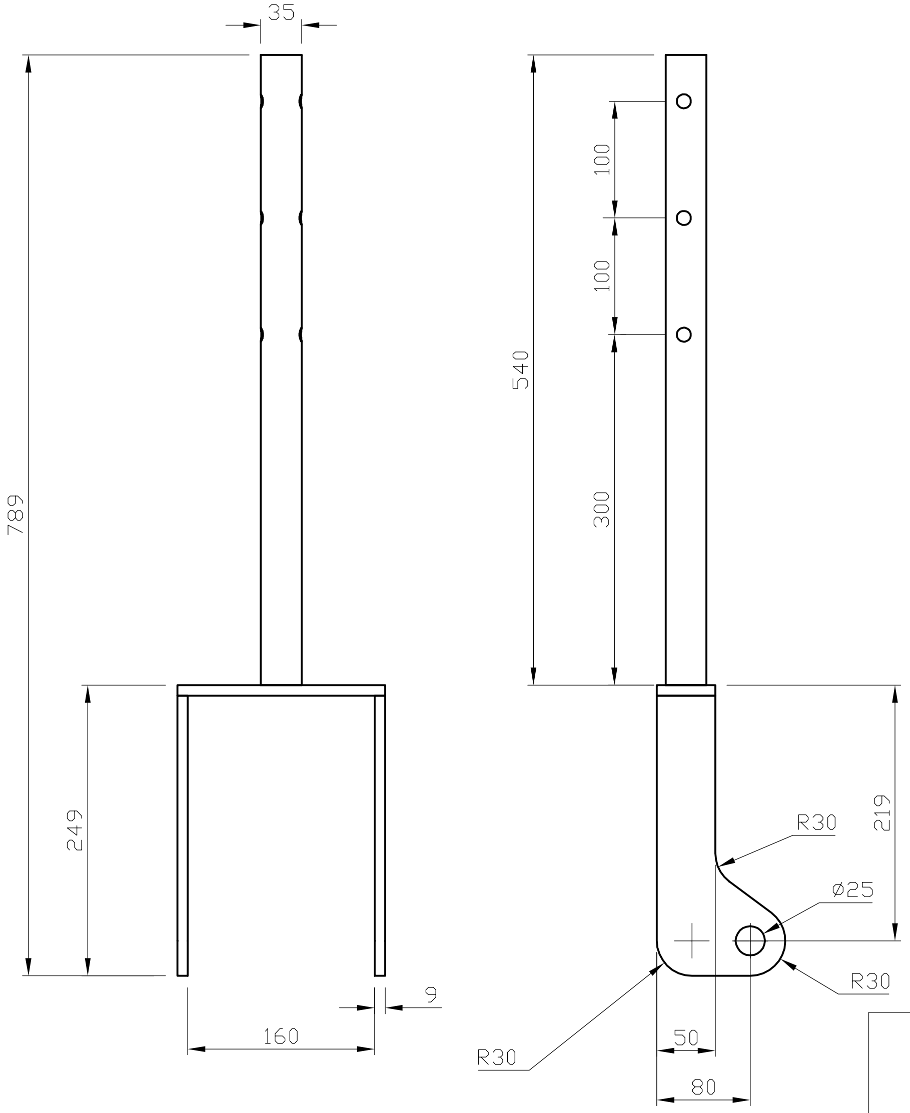
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 15

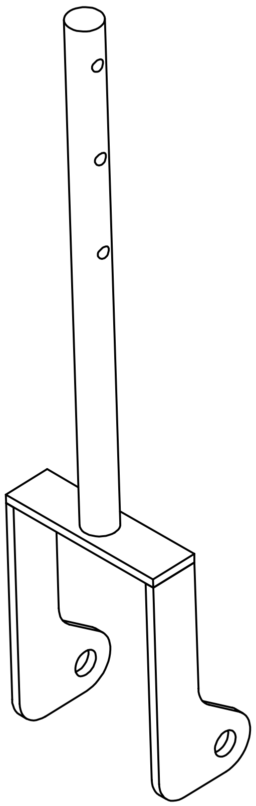
No. 16					



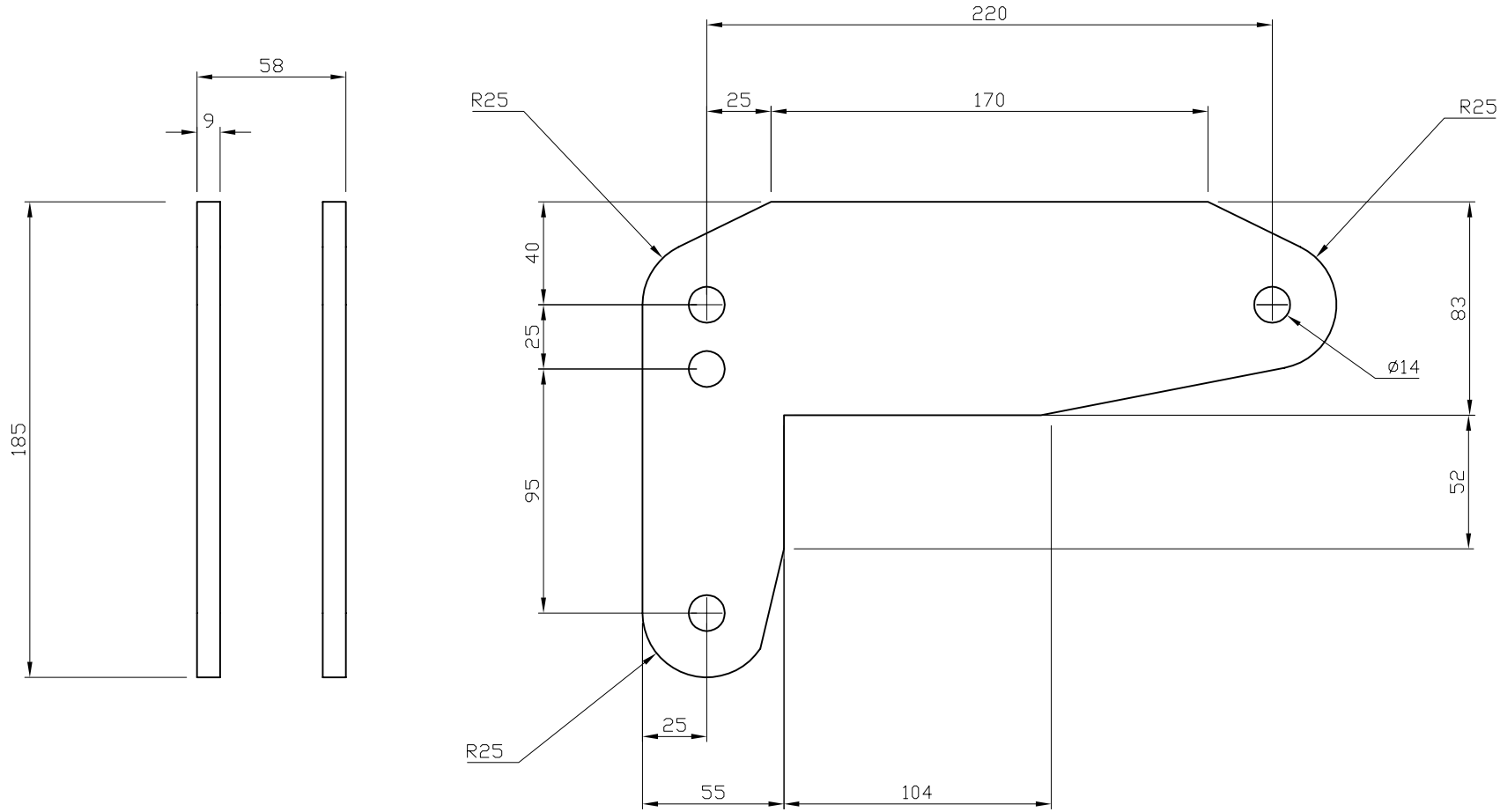
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:10	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 17

ชื่อนักศึกษา	นายพีรพัฒน์ ตรีสกุล	1:8	ชื่อนักศึกษา	นายพีรพัฒน์ ตรีสกุล	No. 18
	นายณัฐพล เกตุแก้ว			นายณัฐพล เกตุแก้ว	
	นายวิทวัส ตรีสกุล			นายวิทวัส ตรีสกุล	
	นายวิรัตน์ ตรีสกุล			นายวิรัตน์ ตรีสกุล	
	ชื่อโครงการ				
	ชื่อเรื่อง				

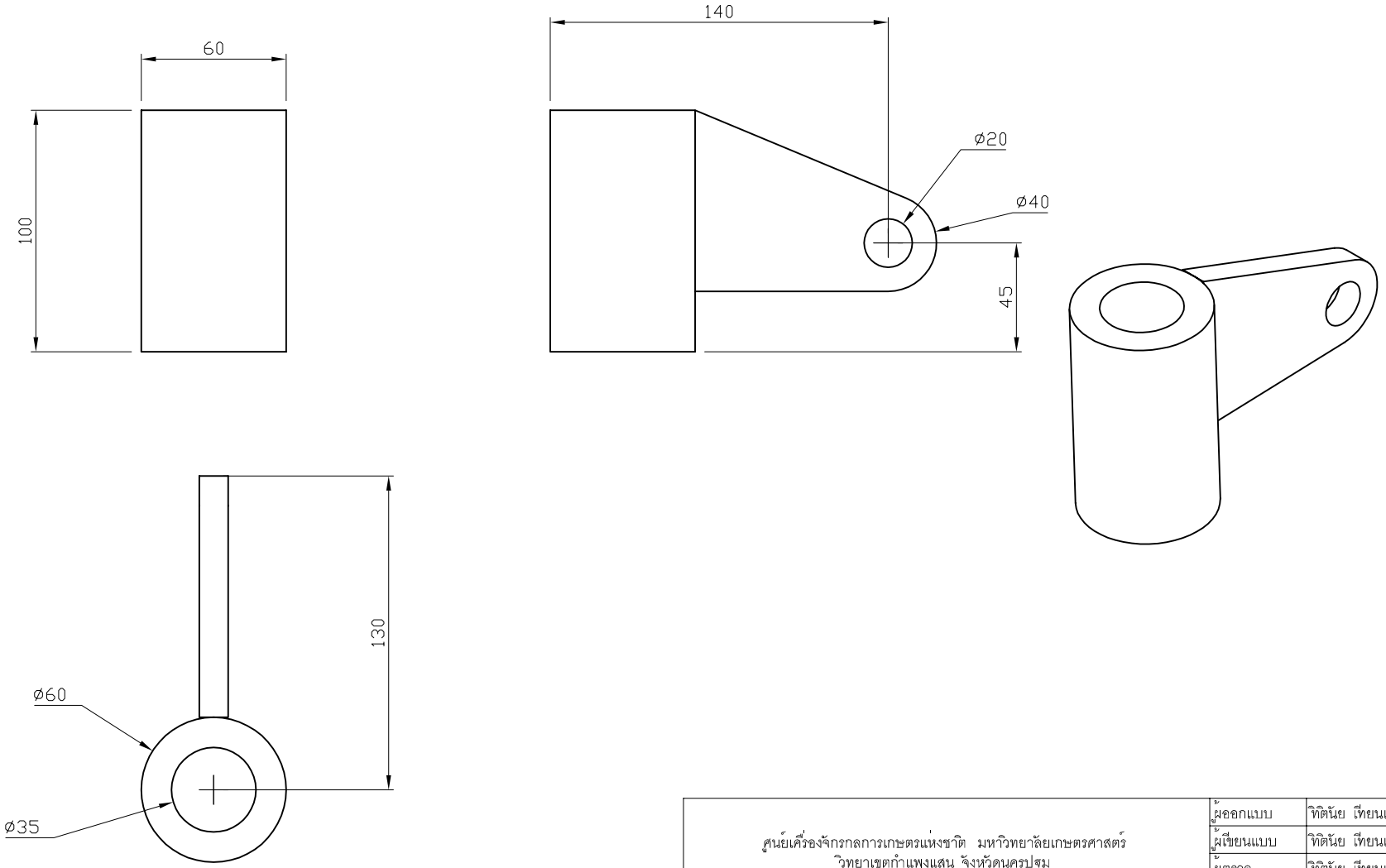




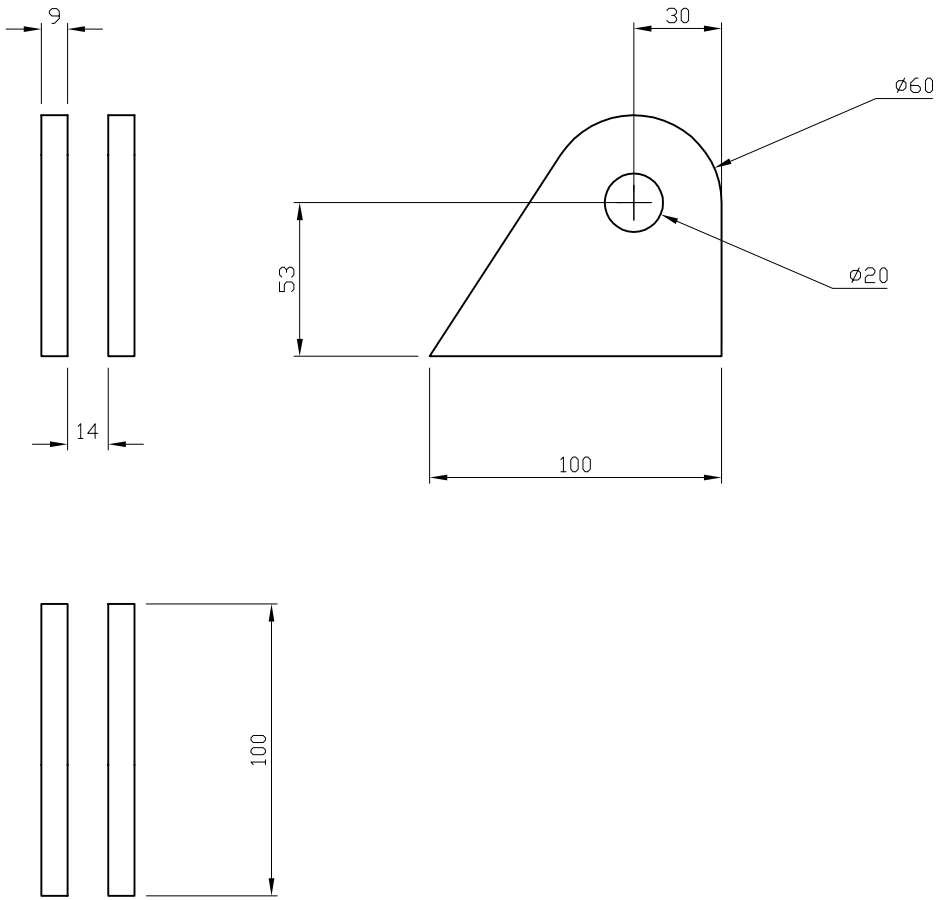
ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิตินัย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:5	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 19

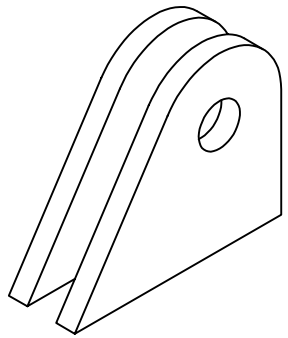


ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 20



ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 21





ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม		ผู้ออกแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้เขียนแบบ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		ผู้ตรวจ	ทิติน้ย เทียนแย้ม		
		มาตราส่วน	1:2	หน่วย	มิลลิเมตร
ชื่อชิ้นงาน	เครื่องฝังกลบปุ๋ยแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก	หมายเลขแบบ			No. 22