

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบปลูกพืชอย่างแม่นยำในโรงเรือนเพื่อปลูกผักและพรรณไม้น้ำ ที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ

การดำเนินงานประกอบไปด้วยสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการพัฒนากระบวนการผลิตผักในโรงเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำซึ่งทำการศึกษาที่โรงเรือนทดลอง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา และส่วนที่สองคือ การพัฒนาระบบการผลิตพรรณไม้น้ำในโรงเรือนที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ซึ่งทำการศึกษาที่โรงเรือนทดลองคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ระบบที่ศึกษาทดลองเป็นระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยทั้งสองส่วนมีเป้าหมายที่จะนำปุ๋ยที่ใช้แล้วในรูปของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ไปในแต่ละขั้นตอนการผลิต กลับมาใช้ซ้ำอย่างต่อเนื่อง มีกระบวนการจัดการอย่างแม่นยำมีประสิทธิภาพ สามารถแปลงเป็นผลผลิตได้ทั้งหมดโดยไม่สูญเสียเปล่า หรือให้มีการปลดปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

ส่วนที่หนึ่ง การทดลองในส่วนนี้ประกอบไปด้วยสองขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษากระบวนการผลิตผักแบบแม่นยำที่มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลการใช้น้ำสารละลายธาตุอาหารและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช ส่วนในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการทดสอบระบบการผลิตผักแบบแม่นยำในระบบการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยนำข้อมูลจากขั้นตอนแรกมาพัฒนาการปลูกแบบและทดสอบระบบที่สามารถจะนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 พบว่าสามารถนำสารละลายธาตุอาหารจากการปลูกผักสลัดในระบบ nutrient film technique (NFT) ที่ต้องถ่ายออกเป็นประจำอยู่แล้ว มาใช้ต่อในการปลูกผักคะน้าในระบบ dynamics root floating technique (DRFT) ได้ทั้งหมด โดยการปรับปุ๋ยเพิ่มโดยใช้สูตรสารละลายที่ใช้ทั่วไปในการปลูกผักใบเพื่อปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แล้วซึ่งมีค่าความเข้มข้นต่ำ ($EC \sim 1.6-1.8 \text{ mS/cm}$) ให้เพิ่มขึ้นจนเหมาะสมกับการปลูกผักคะน้า ($EC \sim 3.0-3.5 \text{ mS/cm}$) พบว่าการนำสารละลายมาใช้ซ้ำสามารถประหยัดน้ำได้ 80-100% และประหยัดปุ๋ยได้มากกว่า 60% โดยยังมีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้สารละลายใหม่ทั้งหมด จากนั้นสารละลายที่ใช้แล้วจากการปลูกผักคะน้ายังถูกนำมาใช้ต่อในการปลูกเมล่อนในวัสดุปลูก (substrate culture) แต่เนื่องจากสารละลายในส่วนนี้จะมีค่า EC ค่อนข้างสูง ก่อนนำมาใช้ซ้ำในการปลูกเมล่อนจึงต้องทำการเจือจางกับน้ำก่อนในอัตราส่วน 1: 5 ซึ่งจะเหลือค่า $EC \sim 1.5 \text{ mS/cm}$ จึงค่อยปรับปุ๋ยเพิ่มให้ได้ค่าความเข้มข้นเหมาะสมกับเมล่อน ($EC \sim 2.5 \text{ mS/cm}$) โดยใช้สูตรสารละลายเมล่อนที่คำนวณปรับสูตรขึ้นใหม่ด้วยโปรแกรม NutriCal ที่ใส่ข้อมูลผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในสารละลายที่ใช้แล้ว การให้ปุ๋ยตามผลวิเคราะห์จึงมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยมีการเพิ่มเติมเฉพาะตัวที่ขาดลงในสูตรเท่านั้น ซึ่งพบว่าเมล่อนที่ปลูกโดยใช้สารละลายเก่าที่ปรับปุ๋ยอย่างแม่นยำ มีการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้สารละลายใหม่ทั้งหมด แต่ยังสามารถประหยัดน้ำได้ประมาณ 20% และประหยัดปุ๋ยได้ประมาณ

30% โดยน้ำหนัก ในส่วนนี้ยังมีสารละลายที่ระบายออกจากการปลูกเมล็ดอื่นอีกประมาณ 5-10% ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ทดลองปลูกข้าวโพดหวานสีแดงในแปลงดิน พบว่ามีการเจริญเติบโตและผลผลิตได้เทียบเท่ากับการปลูกโดยปกติ โดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่ม สรุปได้ว่าปุ๋ยที่ใช้ไปในระบบสามารถแปลงเป็นผลผลิตได้ทั้งหมดโดยไม่สูญเสียเปล่า

การทดสอบระบบในขั้นตอนที่ 2 ที่มีการใช้สารละลายอย่างต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ พบว่าระบบที่สามารถใช้ได้จริงในฟาร์มเกษตรกรจำเป็นต้องเริ่มจากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำในระบบแรก และเพิ่มความเข้มข้นสารละลายในระบบถัดไป จึงจะสามารถเพิ่มธาตุอาหารในส่วนที่ขาดจากระบบแรกได้ ดังนั้นจึงควรเริ่มจากระบบที่มีค่า EC ต่ำคือระบบ NFT ที่ใช้ค่า $EC = 1.8$ และสารละลายที่เปลี่ยนทุก 2 สัปดาห์จะนำไปใช้ต่อในระบบ DRFT ที่ปลูกผักไทยได้แก่คะน้าซึ่งต้องการ EC สูงกว่าที่ $EC = 3-5 \text{ mS/cm}$ และเมื่อสิ้นสุดการปลูกคะน้าในแต่ละรอบสารละลายที่เหลือจาก DRFT ก็จะใช้ปลูกข้าวโพดหวานต่อไป และในขณะเดียวกันสารละลายในถัง NFT จะนำไปใช้ปลูกเมล็ดอื่นที่ใช้ค่า EC อยู่ที่ 2.5-3.5 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในสารละลายที่ใช้ปลูกผักสลัดในระบบ NFT และคำนวณธาตุอาหารที่ขาดโดยใช้โปรแกรม NutriCal จะได้สารละลายเข้มข้นสูตรที่ใช้ผสมกับสารละลายที่มาจาก NFT ให้ได้สูตรสารละลายที่เหมาะสมกับวัสดุปลูก โดยมีเครื่อง Dosatron เพื่อเพิ่มปุ๋ยลงในสารละลาย NFT ให้เหมาะกับการปลูกเมล็ดอื่น สารละลายที่ระบายออกจากวัสดุปลูกก็จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยกับข้าวโพดหวานสีแดงในดิน ตามลำดับ

ส่วนที่สอง มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาระบบปลูกพรรณไม้น้ำให้มีการใช้ปุ๋ยในสารละลายธาตุอาหารได้อย่างหมดจดสมบูรณ์ โดยให้เหลือทิ้งออกสู่สภาพแวดล้อมน้อยที่สุด การทดลองในส่วนนี้จึงไม่มีการเติมปุ๋ยเพิ่ม แต่จะเป็นการทดสอบชนิดของพรรณไม้น้ำหรือระบบปลูกที่เหมาะสม ในการใช้ประโยชน์จากสารละลายธาตุอาหารจากความเข้มข้นสูงลงมาต่ำตามลำดับ การทดลองประกอบไปด้วย 4 การทดลองคือ 1) การศึกษาสมบัติขององค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารที่เหลืออยู่จากระบบการผลิตพรรณไม้น้ำ ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูง 2) การทดสอบระบบปลูกและชนิดพรรณไม้น้ำที่เหมาะสมต่อสารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการปลูกของพรรณไม้น้ำสกุลอะม็อน 3) การศึกษาระบบปลูกไม้ได้น้ำแบบไร้ดินที่เหมาะสมสำหรับสารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการปลูกพรรณไม้น้ำรอบที่สอง และ 4) การศึกษาการปรับสภาพพรรณไม้น้ำจากใบบกเป็นใบน้ำ เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยสารละลายธาตุอาหารที่เหลือจากการปลูกพรรณไม้น้ำรอบที่สาม

ผลการศึกษาพบว่าพรรณไม้น้ำสกุลอะม็อน (*Echinodorus* spp.) เป็นตัวแทนของกลุ่มไม้น้ำที่ใช้สารละลายความเข้มข้นสูง ($EC \sim 2.0 \text{ mS/cm}$) ซึ่งสารละลายที่ใช้แล้วจากระบบแรกจะมีค่า EC ลดลงเหลือประมาณ 1.6 mS/cm และถูกนำมาใช้ในระบบปลูกถัดไปในการทดลองที่ 2 โดยจะมีการเปลี่ยนถ่ายออกทุกๆ 2 สัปดาห์ พบว่าสามารถนำไปใช้กับไม้น้ำสกุล อนุเบียส (*Anubias* sp.) และสกุลใบพาย (*Cryptocoryne* sp.) ได้ ทั้งในระบบ DFT และ sand culture โดยที่มีการเจริญเติบโตที่ไม่ต่างกันทางสถิติ และไม่มีต้นทุนค่าปุ๋ยเพิ่ม หลังจากนั้นสารละลายที่ใช้แล้วจากการปลูก อนุเบียส และใบพาย ที่ได้เก็บไว้ จะถูกนำไปใช้ต่อในการทดลองที่ 3 โดยเปลี่ยนถ่ายจากการปลูกโดยใช้สารละลายตามปกติไปแล้ว 1 เดือน พบว่าสามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตไม้น้ำสกุลไส้ปลาไหล (*Barclaya longifolia*) และเทป (*Vallisneria*

spiralis) ได้ทั้งในระบบได้น้ำแบบดั้งเดิมและที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้สามารถปลูกได้ในจำนวนต้นที่มากกว่าระบบเก่าจึงสามารถคืนทุนได้เร็วกว่า ในส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลายในแต่ละการทดลองจะถูกดูดไปใช้จึงทำให้เหลือค่า EC ประมาณ 1.4 mS/cm และถูกรวบรวมไว้เพื่อนำไปใช้ในการปรับสภาพพรณไม้น้ำจากไบบิกเป็นไบน้ำในการทดลองที่ 4 ต่อไป โดยทดลองกับไม้น้ำ สกุลโรทาล่า (*Rotala rotundifolia*) ชาไก่ดำ (*Hygrophila polysperma*) และโลบีเลีย (*Lobelia cardinalis*) พบว่าสามารถบำบัดธาตุอาหารพืชที่ยังหลงเหลืออยู่ก่อนปล่อยสู่สภาพแวดล้อมลงได้ โดยมีค่า EC เหลือเพียง 0.4 mS/cm โดยมีปริมาณแร่ธาตุเหลืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้ง และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของไม้น้ำดังกล่าวอีกด้วย

Abstract

Development of precision agriculture for vegetable and aquatic plant production in greenhouse with increasing fertilizer use efficiency

The research project has two parts including, development of vegetable production system in greenhouse with increasing fertilizer use efficiency (part 1) and development of aquatic plant production system in greenhouse with increasing fertilizer use efficiency (part 2). The experiment in part 1 was conducted in greenhouse at farmer's farm in Nakorn Ratchasima province and part 2 was conducted in greenhouse at the faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. According to the research at Nakorn Ratchasima and Bangkok, both aim to utilize the fertilizer and water in term of nutrient solution that recycles in each hydroponic system by reuse for growing plants in the other system in sequential. Base on the appropriate and precision management, rarely nutrient solution is waste because it is utilized and making productivity without loss, moreover this research supports the environmental friendly agriculture by least waste drain out.

Part 1: This study consists of two procedures, the 1st procedure is studied on the production system that supports the efficiency use of water and fertilizer with precision management, growth parameters and nutrient utilization in each growing system will be considered and compared between using ordinary nutrient solution and used nutrient solution, then the data will be applied to the 2nd procedure for developing the growing system that utilized the used nutrient solution in sequential and testing the integrated system for practical management.

By the 1st procedure the results show that used nutrient solution of lettuce grown in nutrient film technique (NFT) that regularly drained out could be totally reused for growing Chinese Kale in dynamic root floating technique (DRFT). Because Chinese Kale needs the higher concentration of nutrient solution than lettuce (Chinese kale: EC~3.0-3.5 mS/cm, lettuce EC~1.6-1.8 mS/cm), the management of used nutrient solution (UNS) from lettuce for growing Chinese kale was basically done by refilled the UNS with fertilizer stock solution to increase the concentration of UNS suitable for Chinese kale. Using UNS for Chinese kale grown in NFT was not significantly in growth compared with using new nutrient solution (NNS) that newly prepared (control) and could save water

and fertilizer consumption up to 80-100% and 60%, respectively. The UNS of Chinese kale grown in DRFT was re-collected after harvesting the plant and tried to grow melon in substrate culture. Since, UNS continuously used twice for lettuce and Chinese kale production, the concentration of UNS rather high (EC~4-6 mS/cm), therefore this UNS needed to be diluted then recharged before using. Base on the analytical data of essential elements remaining in the UNS, the solution must be 5 folds diluted with tap water (1:5) and recharged by refilled with the modified- fertilizer stock solution, which calculated relied on the remaining of essential elements and compensate for melon requirement by NutriCal software, to EC 2.5 mS/cm. According to precision calculated and management, the growth and production of melon was not significantly difference compared with using NNS, beside around 20% of water and 30% of fertilizer by weight could be saved from this study. The last sequent using UNS, the nutrient solution around 5-10% that drained out from substrate grown melon was stored and applied to the field that grown sweet red-corn. It was found that the growth and yield similarly to that grown by conventional planting, which ordinary watering and fertilizing, but using UNS neither addition water nor fertilizer was needed. In this category, water and fertilizer absolutely used and returned benefit to plant productivity without loss.

Testing of the 2nd procedure on the integrated growing system for vegetable production using sequential nutrient solution in continuously confirmed that the feasible systems should begin from low concentration of nutrient solution, thus the UNS from the first system could be additional refilled with fertilizer stock solution to increase the concentration adequate for growing plant in the following system. In practicable the UNS from NFT grown lettuce that generally drained out every 2 weeks (EC=1.8 mS/cm) still useful and could be reused for growing Chinese kale that need high EC level (3-5 mS/cm) by manual refill of fertilizer stock solution. Consequently, the nutrient solution of lettuce in solution tank was continuously feed to substrate culture grown melon by either automatic watering time clock or moisture sensor. This UNS was also automatically mixed with modified-fertilizer stock solution by Dosatrons, the fertilizer injection device, before applied to melon. Although melons were grown by UNS, they received the water and fertilizer exactly to their requirement because the modified-fertilizer stock solution was already calculated base on the remaining minerals in the UNS and compensate to the normal level of requirement that mention earlier. Lastly UNS storage from DRFT grown Chinese kale and that drained out from substrate grown melon was final used for

field grown sweet red-corn. This category showed the precision management for increasing fertilizer use efficiency relied on plant yield and the practical application for farmer farm.

Part 2: This study proposes the idea for aquatic plant production in sequencing system with absolutely used of nutrient solution without additional fertilizing. Thus it aims to cultivate without waste nutrient and least drain out to the environment. Because of no additional fertilizing is a concept of this study, it should begin with high concentration of nutrient solution at first and find out the suitable plant and growing system that can used the rest of nutrient from the former system. There are 4 experiments in this study; 1) the study on mineral content of used nutrient solution grown high feeding aquatic plant 2) testing on the growing system and type of aquatic plants suitable for production using 1st round waste nutrient from Amazon type cultivation 3) study on submerge hydroponics growing system suitable for using 2nd round waste nutrient solution 4) study on using 3rd round waste nutrient solution to reform leaf of aquatic plant from terrestrial type to submerge type. According to these experiments, the nearly zero waste production system with increasing fertilizer use efficiency will be proposed.

In this study, high feeding aquatic plant such as Amazon type (*Echinodorus* spp.) was grown in deep flow technique (DFT), it utilized the nutrient solution from the beginning that EC level around 2.0 mS/cm to 1.6 mS/cm at the end of planting. Then UNS from the 1st experiment was collected to reuse for growing *Anubias* sp. and *Cryptocoryne* sp. in the 2nd experiment by DFT and sand culture. The results found that using the UNS by replacing every 2 weeks along the cultivation was not affected on the growth of both aquatic plants; in addition no more cost of fertilizer was needed for this production. The UNS from 2nd experiment was stored and used for growing *Barclaya longifolia* and *Vallisneria spiralis* in the 3rd experiment. In this experiment, the UNS that already used twice was replaced to the ordinary nutrient at 1 month after used. The system employed in this experiment were 2 types of submerge hydroponic systems, the conventional one and newly developed. The results showed that using 2nd round UNS for cultivated those aquatic plants could be possible and growing by newly developed system also returned income quickly due to much amount of plant production. At the end of experiment, the UNS from submerged growing system was stored, hence it was reused twice (used 3 times) without fertilizer refilled, the EC level reduced to 1.4 mS/cm.

Finally the UNS was lastly reused in the experiment 4 as a media conditioner to do nursery of *Rotala rotundifolia*, *Hygrophila polysperma* and *Lobelia cardinalis* for reforming leaf shape. The final using of UNS could make a value added of aquatic plant and also retreated the nutrient solution before drain out. From this study nutrient solution was repeated utilize resulted in decreasing EC level from 2.0 to 1.6, 1.4 and 0.4 mS/cm at the beginning to 1st round, 2nd round and 3rd round of reused, respectively. Not only benefit for aquatic plant production was found but be friendly to the environment as well.