การสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช เพื่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

The optimization of the composition of the nutrient solution for hydroponics cropping.

ดิเรก ทองอร่าม [1]

บทคัดย่อ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture) ทั้งระบบปลูกแบบที่หนึ่งคือระบบปลูกใช้วัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินหรือ ซับสเตรท คัลเจอร์ (Substrate Culture) และระบบปลูกแบบไม่ใช้วัสดุปลูกหรือ ไฮโดรโพนิกส์" (Hydroponics) เป็นวิธีการปลูกที่ได้รับความนิยมทั่วโลก เพราะเป็นวิธีการปลูกที่ได้ผลผลิตมีคุณภาพสูง ปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง เอกสารฉบับนี้จะนำเสนอเรื่องเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อการสร้างสูตรสารอาหาร ตั้งแต่ความหมาย ภาพรวมของแนวคิดในการสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช หลักการสร้างสูตรสารอาหารพืช แนวคิดในการเริ่มต้นหาสัดส่วนธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม ตัวอย่างการหาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม สัดส่วนสารอาหารพืชที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการจัดการการผลิตในเชิงการค้าต่อไป

1. บทนำ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นที่ยอมรับในนานาอารยประเทศว่าเป็นวิธีการผลิตพืชที่ปลอดภัยจากสารพิษ (Food Safety) ดังนั้นจึงเป็นวิธีการผลิตที่จะช่วยให้ประเทศไทยได้มีโอกาส เป็นครัวของโลกที่อาหารสะอาดและรสชาติดี (Clean Food Good Taste) ได้อย่างแท้จริง ผลผลิตที่ได้สามารถส่งออกได้ทันทีที่มีตลาดรองรับ เพราะเป็นระบบการผลิตที่ปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง จึงเป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อสุขอนามัยและการส่งออก ดังนั้นเทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะช่วยยืนยันให้ชาวโลกได้ ทราบว่า “สินค้าเกษตรของไทยสามารถช่วยสร้างชาติได้”

สูตรสารอาหารที่ดีจะทำให้ผู้ปลูกสามารถทำการผลิตประสบผลสำเร็จ ดังนั้นความรู้ความเข้าใจในการสร้างสูตรสารอาหารถือว่าเป็น “หัวใจสำคัญ” สำหรับทั้ง “การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน” และ “การให้ปุ๋ย พร้อมระบบให้น้ำ”

การสร้างสูตรสารอาหารที่กล่าวมานี้เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่มีการกล่าวถึงหรือเขียนในตำราเล่มใด ทั้งในและต่างประเทศ และเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ผู้สนใจสามารถยึดถือเป็นแนวทางในการเรียนรู้ เพื่อสร้างหรือพัฒนาสูตรสารอาหารของตนเองต่อไปได้ เพราะหลักการและแนวคิดในการสร้างสูตรและตัวอย่างที่จะกล่าวมานี้ เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่มีการกล่าวถึง หรือเขียนในตำราเล่มใดทั้งในและต่างประเทศ

[1] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
และนักศึกษาดุษฎีบัณฑิต หลักสูตรการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

และเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถยึดถือ เป็นแนวทางในการเรียนรู้เพื่อสร้าง หรือพัฒนาสูตรสารอาหารของตนต่อไป

เรื่องที่จะนำเสนอต่อไปนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อการสร้างสูตรสารอาหารเพื่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture) และ การให้ปุ๋ยพร้อมระบบให้น้ำ (Fertigation) ที่ใช้ได้ดีทั้งทางการค้าและการศึกษา อันจะช่วยให้ประเทศไทยเป็น “ศูนย์กลางอาหารที่ยิ่งใหญ่” หรือเป็น “ครัวของโลก” ตามนโยบายของรัฐบาลมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยเรื่องที่จะนำเสนอต่อไปนี้คือ ความหมาย ภาพรวมของแนวคิดในการสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช หลักการสร้างสูตรสารอาหารพืช แนวคิดในการเริ่มต้นหาสัดส่วนธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม ตัวอย่างการหาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม สัดส่วนสารอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และ สรุป

2. ความหมาย

นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาวิธีการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารและวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดินมานานกว่า 140 ปีจนสามารถทราบได้ว่าธาตุใดบ้างที่เป็นอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช ในขณะเดียวกันวิวัฒนาการเกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วจนทำให้สามารถผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการปลูกบนดินทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพราะถ้าพืชได้รับแสง น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและธาตุอาหารในรูปอนินทรียสารครบถ้วนแล้ว ก็จะสามารถเจริญเติบโตจนครบวัฏจักรชีวิตได้ เนื่องจากพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองได้และเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิในโซ่อาหารของระบบนิเวศน์ เพราะพืชมีสีเขียวทำให้สามารถสังเคราะห์แสงเปลี่ยนพลังงานแสงแดดให้เป็นพลังงานเคมี ในรูปของคาร์โบไฮเดรตและสังเคราะห์อินทรียสารต่างๆ ที่ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ออกซิเจนจากอากาศและธาตุอาหารที่เป็นอนินทรียสารจากสารละลายธาตุอาหารพืชหรือจากดิน ด้วยเหตุผลดังกล่าวพืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เนื่องจากมนุษย์สามารถจัดสิ่งแวดล้อมแบบธรรมชาติให้พืชเพื่อทดแทนดินได้อย่างสมบูรณ์และพัฒนามาเป็นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเชิงพาณิชย์ในนานาอารยประเทศในปัจจุบัน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นวิทยาการผลิตพืชอีกทางเลือกหนึ่งที่ยังเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทยเราขณะที่ในต่างประเทศวิทยาการด้านนี้ได้เป็นที่รู้จักและยอมรับกันมานานแล้ว

คำว่า “การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน” มาจากภาษาอังกฤษว่า "ซอยเลส คัลเจอร์" (Soilless Culture) มีชื่อ เรียกในภาษาไทยหลายอย่าง เช่น การปลูกพืชไร้ดิน การปลูกพืชในน้ำที่มีธาตุอาหารพืช การปลูกพืชในสาร อาหารพืช การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดินที่มีธาตุอาหารพืช การปลูกพืชโดยให้รากพืชสัมผัสสารอาหาร โดยตรงที่ไม่มีดินเป็นเครื่องปลูก เป็นต้น การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอาจจำแนก อธิบายได้ตามลักษณะของระบบหรือวิธีการปลูก และตามความหมายของคำที่แปลมาจากภาษาอังกฤษสองคำ คือคำว่า "ซับสเตรท คัลเจอร์ (Substrate Culture)” และคำว่า "ไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics)”

1.1. ความหมายของ "การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน" จากคำว่า "ซับสเตรท คัลเจอร์" มาจากภาษา อังกฤษ คือ “Substrate Culture” เป็นวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยไม่ใช้ดินเป็นวัสดุในการปลูก แต่เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกชนิดต่างๆ ซึ่งวัสดุปลูกแทนดินนี้มีหลายชนิด คือ วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียสารและวัสดุปลูกที่เป็นอินทรียสารโดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารละลายธาตุอาหารพืช (หรือสารอาหารพืช) ที่มีน้ำผสมกับปุ๋ยหรือสารเคมีที่มีธาตุที่พืชต้องการ (Nutrient solution) จากทางรากพืช เราเรียกวัสดุที่ใช้ปลูกพืชที่ไม่ใช้ดินนี้ด้วยคำรวมๆ ว่า “ซับสเตรท (Substrate)”

การปลูกพืชในลักษณะนี้เป็นที่นิยมในต่างประเทศ โดยเฉพาะในยุโรป

ผู้ที่จะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในลักษณะ"ซับสเตรท คัลเจอร์"จะต้อง“เลือกวัสดุปลูก” ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

1.2 ความหมายของ "การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน" จากคำว่า "ไฮโดรโพนิกส์" หรือ “ไฮโดรพอนิกส์” มาจากภาษา

อังกฤษคือ "Hydroponics" เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก (Nonsubstrate หรือ Water Culture) กล่าวคือจะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุ อาหารโดยตรงนั่นเอง คำว่า Hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือคำว่า "Hydro" หมายถึง "น้ำ" และ "Ponos" หมายถึง "งาน" เมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกันแล้วความหมายก็คือ "Water Working" หรือ หมายถึงการทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช

การปลูกพืชในลักษณะนี้เป็นที่นิยมในบ้านเรา

ผู้ที่จะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในลักษณะที่เรียกว่า "ไฮโดรโพนิกส์" จะต้อง“ควบคุมอุณหภูมิ” ของสารละลายธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชให้ดี

วัตถุประสงค์สำคัญในการนำเสนอเรื่องในบทนี้ เนื้อหาในบทจะกล่าวถึงภาพรวมของแนวคิดในการสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช ลักษณะความต้องการธาตุอาหารของพืช การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารและการวิเคราะห์พืช หลักการสร้างสูตรสารอาหารพืช ตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารที่ใช้ในสูตรสารอาหารกับส่วนประกอบของธาตุอาหารที่พบในพืช แนวคิดในการเริ่มต้นหาสัดส่วนธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ตัวอย่างการหาสูตร สารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม สัดส่วนสารอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สูตรสารอาหารพืชที่ขอเสนอแนะให้นำไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งหลักการและตัวอย่างวิธีการคำนวณหาชนิด และปริมาณปุ๋ยเพื่อเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

3. ภาพรวมของแนวคิดในการสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช

ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ได้มีแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องของสูตรสารอาหารพืช และมีงานวิจัยออกมามากมาย ผู้ผลิตส่วนหนึ่งมีความเห็นว่าสูตรสารอาหารน่าจะปรับใช้ได้ตามชนิดของพืช สภาพภูมิอากาศและ ภูมิประเทศที่ทำการผลิต

แนวคิดแรก เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาสูตรสารอาหารพืช เพราะเชื่อว่าพืชมีกลไก พิเศษในการเลือกดูดกินธาตุอาหาร หรือสามารถปรับตัวเองได้ถ้าสูตรสารอาหารนั้นเป็นสูตรกลางๆ มีการควบคุม EC และ pH ที่เหมาะสม เรียกว่ามีสูตรสารอาหารสูตรเดียวก็พอแล้ว โดยอ้างว่าสูตรสารอาหารที่มีมากมายนั้นถ้าพิจารณาแล้วปริมาณธาตุที่ใช้จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไม่มากนัก

แนวคิดที่สอง มีการจำแนกพืชตามลักษณะการดูดกินอาหารออกเป็นสองประเภท คือ “พืชที่ไม่เจาะจงในการดูดกินธาตุอาหาร (Nonselective plant)” สามารถปรับตัวเองได้ถ้าสูตรสารอาหารนั้นเป็นสูตรกลางๆ ที่มีการควบคุม EC และ pH ที่เหมาะสม เช่น พืชจำพวกผักสลัด ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ “พืชที่เจาะจงในการดูดกินธาตุอาหาร (Selective plant)” พืชประเภทนี้ต้องมีสารอาหารที่เตรียมไว้ให้ในอัตราส่วนเหมาะสมตามที่พืชต้องการ เช่น แตงแคนตาลูป เป็นต้น รวมทั้งต้องมีการเปลี่ยนชนิดและปริมาณของปุ๋ยในแต่ละฤดูปลูก ซึ่งการที่จะทราบว่าพืชชนิดใดจัดอยู่ในประเภทใดนั้นก็ต้องอาศัยงานวิจัยรองรับ

แนวคิดที่สาม คือแนวคิดที่ว่าจะปรับใช้สูตรจากสูตรกลางๆ หรือสูตรที่ปลูกพืชชนิดเดียวกันมาปรับกับสภาพของพันธุ์ ชนิดของพืช สภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่ทำการผลิต โดยเฉพาะฤดูกาลและระยะการเจริญเติบโต โดยปรับทั้งสูตรและปรับค่าของ EC และ pH ตามไปด้วย เพราะถือว่าเป็นเทคนิคในการจัดการเฉพาะตัว ซึ่งงานวิจัยส่วนมากจะออกมาในรูปของการหาพื้นที่หรือจุดที่เหมาะสมจากการให้สารอาหารที่มีธาตุอาหารที่มีประจุไฟฟ้าบวกและธาตุอาหารที่มีประจุไฟฟ้าลบ เพราะสูตรสารอาหารที่แม้ปริมาณธาตุที่ใช้มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนั้นอาจจะก่อให้เกิดปฏิกริยาที่สนับสนุนหรือขัดแย้งกันเอง ทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารได้อย่างเต็มที่

นอกจากนี้แนวคิดที่สามนี้ยังให้ความสำคัญกับเรื่องต่างๆ เช่น 1) “ภาวะปฏิปักษ์” 2) “ภาวะส่ง เสริม” ในการดูดกินธาตุอาหารพืช 3) “อัตราการดูดธาตุอาหาร” รวมทั้ง 4) “ลักษณะความต้องการธาตุอาหารของ พืช” อีกด้วย

ภาวะปฏิปักษ์ธาตุอาหารพืช (Nutrient antagonism) คือการยับยั้งการดูดใช้หรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งโดยธาตุอื่น ดังนั้นการมีธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งมากกว่า ธาตุอาหารอื่นๆ จะมีผลทำให้พืชดูดธาตุอาหาร

ชนิดอื่นน้อยลงเนื่องจากมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นปฏิปักษ์ต่อกันหรือมีความไม่สัมพันธ์กันในการแก่งแย่งการดูดธาตุอาหาร (Antagonistic effect) ทำให้พืชขาดธาตุอาหาร ตัวอย่างความสัมพันธ์ดังกล่าว เช่น ความสัมพันธ์ของปริมาณไอออนบวกหรือแคตไอออน เช่น โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ถ้ามี K มากกว่า Ca และ Mg พืชจะขาด Mg และ ถ้าความสัมพันธ์ของทั้งสามธาตุไม่ดีพอพืชจะขาด Ca ความไม่สัมพันธ์ของธาตุทั้งสามนี้ มีสาเหตุมาจากการใช้ปุ๋ย K มากเกินไปเนื่องจากพืชสามารถดูด K ไปใช้ได้ง่ายกว่า Ca และ Mg

ความเป็นปรปักษ์ต่อกันในการแก่งแย่งในการดูดธาตุอาหาร (Antagonism) อย่างรุนแรงที่เห็นได้ชัด คือระหว่าง K กับ Mg ซึ่งมีมากกว่าระหว่าง K กับ Ca เพราะถ้าในสารละลายธาตุอาหารมี Mg มากจะมีผลทำให้พืชขาด K หรือถ้าในสารละลายธาตุอาหารมี K มากพืชจะดูด Mg ได้น้อยลงทำให้ขาด Mg ได้ ดังนั้นจึงควรให้ธาตุในอัตราส่วนของ K, Ca และ Mg อย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันการขาดธาตุอาหาร คำแนะนำสำหรับอัตราส่วนเพื่อการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตที่ดีของมะเขือเทศคือปริมาณของ K และ Ca ควรเท่ากัน

ภาวะส่งเสริมธาตุอาหารพืช (Nutrient synergism) คือ การส่งเสริมการดูดใช้หรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งโดยธาตุอื่น อันเป็นผลในทางบวกของการใช้ธาตุอาหารพืชร่วมกันแล้วทำให้พืชได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยา (interaction) ของธาตุอาหารที่ใช้ร่วมกัน เช่นการให้คลอไรด์ร่วมกับไนเตรตและแอมโมเนียมแก่พืช พบว่าพืชสามารถใช้ไนเตรตและแอมโมเนียมได้อย่างรวดเร็ว

อัตราการดูดธาตุอาหารของพืช จะแตกต่างกันตามประจุของไอออน กล่าวคือพืชจะดูดธาตุที่มีไอออนประจุ 1 (เช่น K+, Cl-, NO3-) ได้เร็วกว่าธาตุที่มีไอออนประจุ 2 (เช่น Ca2+, Mg2+, SO42-)

แนวคิดหรือความเห็นต่างๆ ข้างต้นยังไม่เป็นที่ยุติ ในที่นี้จะพยายามอธิบายให้ครอบคลุมแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว

อนึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้องการธาตุอาหารของพืช ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ 1) ชนิดของพืชและพันธุ์พืช 2) ระยะการเจริญเติบโตของพืช 3) ส่วนของพืชที่นำไปใช้ประโยชน์ 4) ฤดูกาลปลูกพืช 5) อัตราส่วนของธาตุอาหาร 6) สภาพอากาศ 7) ผลผลิตที่ต้องการ

นอกจากนี้ในการผลิตยังมีการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารพืชและการวิเคราะห์พืช ข้อดีของการวิเคราะห์ทั้งสารละลายธาตุอาหารพืชและการวิเคราะห์พืชในเวลาเดียวกันก็คือจะทำให้ผู้ปลูกทราบผลเกี่ยวการใช้ธาตุอาหารพืชได้เป็นอย่างดี เพราะจะทำให้ทราบว่าพืชขาดธาตุอาหารใดแล้ว ผู้ปลูกก็สามารถเพิ่มเติมธาตุที่ต้องการให้โดยไม่ต้องรอให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารออกมาให้เห็น เพราะถ้าหากพืชขาดธาตุอาหารจนแสดงอาการให้เห็นแล้วจะมีผลกระทบทำให้ผลผลิตลดลง ข้อดีของการวิเคราะห์พืชและสารละลายธาตุอาหารพืชคือจะช่วยในจัดการธาตุอาหารได้อย่างถูกต้อง

4. หลักการสร้างสูตรสารอาหารพืช

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีผู้คิดสร้างสูตรหรือพิจารณาหาสูตรที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด จากโครงสร้างของสูตรสารอาหารที่กล่าวมามีข้อควรพิจารณาดังนี้ (Tongaram et. al., 1993d, ดิเรก ทองอร่าม, 2550) [1]

4.1 สูตรสารอาหารพืชควรมีปริมาณของไอออนบวกและไอออนลบในสารละลายเท่ากัน ดัง สมการ

$$\text{ปริมาณของไอออนบวก} = \text{ปริมาณของไอออนลบ}$$

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของสารอาหารพืช}}{2}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{sum of cations} = \text{sum of anions}$$

$$= \frac{\text{nutrient solution concentration}}{2}$$

นั่นคือ ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ถ้าคิดปริมาณสารเคมีที่ผสมในน้ำ ทั้งหมดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ จะต้องมีปริมาณประจุของธาตุอาหารที่มีไอออนบวก (แคตไอออน) และปริมาณของไอออนลบ (แอนไอออน) อย่างละเท่าๆ กันคือ 50 เปอร์เซ็นต์

หลักการดังกล่าวนี้เป็นที่ยอมรับกันในการสร้างสูตรสารอาหารเช่นสูตรสารอาหารของเอนชิ (Enshi formula) ในประเทศญี่ปุ่นและสูตรสารอาหารทั้งในยุโรปและสหรัฐอเมริกา

4.2 แม้สูตรสารอาหารพืชที่เหมาะสมที่มีปริมาณของประจุไฟฟ้าบวกและลบในสารละลายเท่ากัน สูตรดังกล่าวนี้ ไม่ว่าจะใช้ได้เหมาะสมกับพืชชนิดใดก็ตาม ควรเป็นสูตรที่ทำให้พืชได้รับประโยชน์ทั้งในเรื่องของการเจริญเติบโต คุณภาพและรสชาติของผลผลิต ตลอดจนคุณสมบัติในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เรียกว่าเป็น "สูตรที่ใช้ธาตุอาหารน้อยแต่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่พืช (Optimization of the nutrient solution)" หรือสูตรที่ทรงประสิทธิภาพทั้งปริมาณของไอออนบวกและลบในสารละลาย

สูตรสารอาหารดังกล่าวนี้จะใช้ประกอบในการตัดสินว่าพืชชนิดใดเป็นพืชประเภทเจาะจงหรือ ไม่เจาะจงในการกินอาหาร โดยอาศัยงานวิจัยรองรับก่อนเผยแพร่ให้ผู้ผลิตเชิงธุรกิจนำไปดำเนินการ

5. แนวคิดในการเริ่มต้นหาสัดส่วนธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม

ถึงแม้ว่าจะมีสูตรสารอาหารมากมายเพียงใดก็ตาม การที่จะนำสูตรแต่ละสูตรไปใช้นั้น ผู้ใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ผลิตเชิงการค้าควรทดลองเพื่อหาความเหมาะสมกับชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโต สภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของท้องที่นั้นๆ เสียก่อน รวมทั้งพิจารณาถึงปัจจัยที่เป็นตัวแปรอื่นๆ ประกอบ เช่น คุณภาพของน้ำ วัสดุปลูก ระบบปลูก ชนิดของปุ๋ย เป็นต้น เพื่อปรับใช้ให้เหมาะกับพืชที่จะปลูกในพื้นที่นั้นๆ

สำหรับการเตรียมสูตรสารอาหารนั้น นอกจากจะพิจารณาปริมาณความต้องการธาตุอาหารของพืช แล้ยังจะต้องพิจารณาถึงปริมาณของไอออนบวกและไอออนลบในสารละลาย สัดส่วนขของธาตุอาหารและ pH ของสารละลายธาตุอาหารด้วย

แนวคิดทั่วไปในการเริ่มต้นทดลองสำหรับผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ ก็คือควรพิจารณาจากสูตรสารอาหารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่มีผู้พัฒนาขึ้นมาและพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารที่ให้แก่พืชกับปริมาณธาตุอาหารที่พืชใช้เป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นจึงทดสอบเพื่อปรับเพิ่มหรือลดปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ตามหลักการสร้างสูตรสารอาหารที่กล่าวมาแล้ว เพื่อพัฒนาหาสูตรที่เหมาะสมของตนเองต่อไป

6. ตัวอย่างการหาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม

ปกติแล้วแนวคิดในการสร้างสูตรอาจมีหลายแนวทาง ทั้งนี้ขึ้นกับผู้ค้นคิดจะสร้างทฤษฎีใดขึ้นมาเป็นหลัก ซึ่งปกติมักจะไม่ยอมบอกที่ไปที่มาของการได้มาของสูตรนั้นๆ และเมื่อมีการนำสูตรใดไปใช้ ผู้ใช้ก็จะเรียกชื่อสูตรตามชื่อของที่ผู้ค้นคิด เช่น สูตรสารอาหารของเอนชิ (Enshi formula) สำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศญี่ปุ่น สูตรของนอลวิค (Naaldwijk) และสูตรของสไตเนอร์ (Steiner) สำหรับประเทศเนเธอร์แลนด์ สูตรของแฮร์ริส (Harris) สำหรับประเทศแอฟริกาใต้ และสูตรของคูเปอร์ (Cooper) ที่พัฒนาในประเทศอังกฤษ รวมทั้งสูตรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตามในที่นี้จะยกตัวอย่างแบบครบวงจรของการจัดการธาตุอาหารคือวิธีการหาสูตรสารอาหารไปจนถึงชนิดและปริมาณของปุ๋ยที่จะใช้ วิธีการผสมและค่าใช้จ่ายเพื่อสามารถนำไปใช้ ประโยชน์ได้ในชีวิตจริงได้ทันที

เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการทดลองหาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชโดยใช้แนวคิดในการหาจุด หรือบริเวณพื้นที่ที่เหมาะสมของสูตรว่าพืชชนิดใดจะต้องการส่วนประกอบสารอาหารจากธาตุใดมากน้อย เพียงใดนั้นโดยจะขอยกตัวอย่างของจริงจากผลการทดลองหาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระเทียมต้น (Leek) อันเป็นพืชที่ประเทศญี่ปุ่นมีความต้องการนำเข้าจากยุโรปโดยการปลูกโดยไม่ใช้ดินเพื่อป้องกันปัญหาโรคพืชที่อาจติดไปกับดินที่ติดไปกับต้นหรือส่วนต่างๆ ของพืช ตัวอย่างนี้เป็นผลการทดลองที่ผู้เขียนได้ศึกษาทดลองทำขึ้นในฤดูร้อนปี พ.ศ. 2534 โดยทดลองแบบต่อเนื่องตลอดปีเป็นเวลา 3 ปีโดย มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

6.1 กำหนดให้มีอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกและธาตุอาหารไอออนลบแตกต่างกันไป เพื่อหาว่าพื้นที่ธาตุอาหาร (ไอออนบวกและไอออนลบ) ใดเหมาะสม

6.2 กำหนดอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนที่เหมาะสมให้เป็นปริมาณธาตุอาหารที่คงที่ (Fixed nutrient elements) แล้วทดลองหาอัตราส่วนต่าง ๆ ของธาตุอาหารที่ผันแปร (Varied nutrient elements)

ตัวอย่างเช่น เมื่อทราบอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบที่เหมาะสมแล้วก็กำหนดปริมาณ ธาตุอาหารนั้นให้เป็นค่า

หรือปริมาณที่คงที่แล้วทดลองหาอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสม และเมื่อทราบอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสมแล้วก็กำหนดปริมาณธาตุอาหารนั้นให้เป็น ค่าคงที่ แล้วทดลองหาอัตราส่วนต่างๆ ของธาตุอาหารไอออนลบที่เหมาะสม

เมื่อทราบอัตราส่วนของธาตุอาหารทั้งไอออนบวกและไอออนลบที่เหมาะสมแล้วก็ให้ทดลองต่อไปว่าปริมาณธาตุอาหารที่เป็นค่าคงที่ทั้งธาตุอาหารไอออนบวกและลบนั้นมีความถูกต้องเหมาะสมร่วมกันมากน้อยเพียงใด ผลจากการทดลองนี้จะทำให้ทราบว่าพืชที่ปลูกมีนิสัยในการดูดกินธาตุอาหารแบบเจาะจงหรือไม่ด้วย ซึ่งในที่สุดก็จะได้ส่วนผสมของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ปลูกกระเทียมต้นที่มีอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกและไอออนลบดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของสารละลายธาตุอาหารเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบคงที่เพื่อทดลองหาอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสมเพื่อการปลูกกระเทียมต้น

1. มหธาตุเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบคงที่เพื่อทดลองหาอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสม (meg./L)

สารอาหาร	ธาตุอาหารไอออนบวกผันแปร *(varied)*			ธาตุอาหารไอออนลบคงที่ (fixed)		
เลขที่	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}
1	8.8 (22)	26.4 (66)	4.8 (12)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)
2	26.4 (66)	8.8 (22)	4 .8 (12)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)
3	8.8 (22)	8.8 (22)	22.4 (56)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)
4	17.6 (44)	17.6 (44)	4 .8 (12)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)
5	17.6 (44)	8.8 (22)	13.6 (34)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)
6	8.8 (22)	17.6 (44)	13.6 (34)	27.6 (69)	3.6 (9)	8.8 (22)

2. มหธาตุเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกคงที่เพื่อทดลองหาอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบที่เหมาะสม (meg/L)

สารอาหาร	ธาตุอาหารไอออนบวกคงที่ (fixed)			ธาตุอาหารไอออนลบผันแปร *(varied)*		
เลขที่	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}
1	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	27.6 (69)	3.6 (9)	6.8 (22)
2	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	32.8 (82)	3.6 (9)	3.6 (9)
3	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	27.6 (69)	8.8 (22)	3.6 (9)
4	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	22.4 (56)	3.6 (9)	14.0 (35)
5	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	22.4 (56)	14.0 (35)	3.6 (9)
6	17.6 (44)	17.6 (44)	4.8 (12)	22.4 (56)	8.8 (22)	8.8 (22)

3. ธาตุอาหารรอง

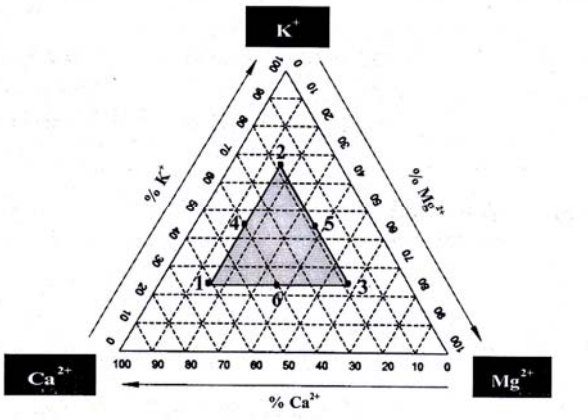
สูตรทางเคมีของธาตุอาหารพืช	ปริมาณ ไมโครโมลต่อลิตร (μmol/L)
$ZnSO_4.7H_2O$	3.00
$CuSO_4.5H_2O$	1.00
$MnSO_4.H_2O$	70.00
H_3BO_3	50.00
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	1.00
FeDTPA 4.5 %	200.00

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tongaram, et al., 1993d.

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของธาตุอาหารพืช เมื่อรวมกันแล้วจะเท่ากับ 100

อนึ่ง เป็นที่น่าสังเกตว่าส่วนผสมของสารละลายธาตุอาหารที่เป็นไอออนลบที่แสดงในภาพที่ 2 ชี้ให้เห็นว่ามีการใช้ธาตุไนโตรเจน (จาก NO3-) ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นลักษณะการกำหนดส่วนผสมของปุ๋ยให้สอดคล้องกับความต้องการของพืชผักส่วนใหญ่ที่ต้องการใช้ธาตุไนโตรเจนในปริมาณมาก

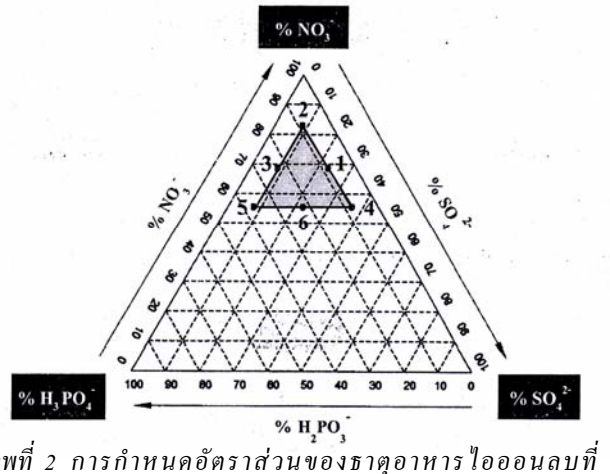
การที่จะทราบว่าอัตราส่วนของธาตุอาหารทั้งไอออนบวกและไอออนลบอัตราส่วนใดมีความเหมาะสมนั้นจะพิจารณาได้จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและคุณลักษณะของผลผลิตที่ได้รับกับปริมาณธาตุอาหารที่ให้และพืชนำไปใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์การเจริญเติบโตและคุณลักษณะของผลผลิตจะพิจารณาจากน้ำหนัก ขนาด สี และ รสชาติของผลผลิต



ภาพที่ 1 การกำหนดอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสมเพื่อการปลูกกระเทียมต้น

ปริมาณของธาตุอาหารที่พืชได้รับจะทราบได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีโดยการนำตัวอย่างของสารละลายธาตุอาหารที่ส่งให้แก่พืชและที่เหลือจากพืชใช้ไปวิเคราะห์ ส่วนปริมาณของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์จะทราบได้จากการนำส่วนของพืชที่ต้องการทราบไปวิเคราะห์

ตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ เช่นผลการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาสูตรสารอาหารที่เหมาะสมของกระเทียมต้น ทั้งส่วนที่เป็นสีขาว (ส่วนที่เป็นลำต้น) และส่วนที่เป็นสีเขียว (ส่วนที่เป็นใบ) ที่ได้จากการทดลองที่มีการกำหนดให้อัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบคงที่ เพื่อหาอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนบวกที่เหมาะสม นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากส่วนของลำต้นที่เป็นสีขาว (ภาพที่ 8.3) มาเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารไอออนบวกทั้ง 3 ธาตุ คือ K+, Ca 2 + และ Mg2 + จะได้



ภาพที่ 2 การกำหนดอัตราส่วนของธาตุอาหารไอออนลบที่เหมาะสมเพื่อการปลูกกระเทียมต้น

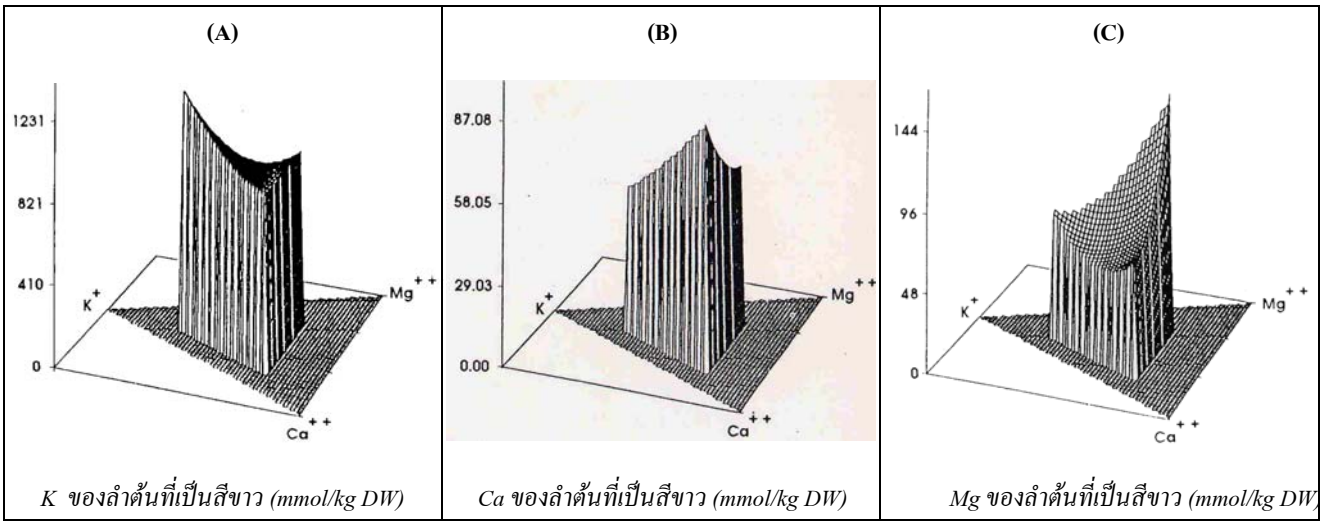
K^+ ของลำต้นที่เป็นสีขาว = $2{,}261*K^+ + 922*Ca^{++} + 1521*Mg^{++}$
$- 1892*K^+*Ca^{++} - 206*Ca^{++}*Mg^{++} - 4258*K^+*Mg^{++}$ ($R^2 = 0.99$)

Ca^{++} ของลำต้นที่เป็นสีขาว = $38*K^+ + 137*Ca^{++} + 76*Mg^{++}$
$- 46*K^+*Ca^{++} - 133Ca^{++}*Mg^{++} - 37*K^+*Mg^{++}$ ($R^2 = 0.99$)

Mg^{++} ของลำต้นที่เป็นสีขาว = $165*K^+ + 140*Ca^{++} + 429*Mg^{++}$
$- 1892*K^+*Ca^{++} - 206*Ca^{++}*Mg^{++} - 4258*K^+*Mg^{++}$ ($R^2 = 0.99$)

ผลการทดสอบแต่ละสมการให้ความเชื่อมั่นทางสถิติ (R2) ร้อยละ 99 นอกจากนี้ยังสามารถทราบ ลักษณะการดูดกินธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เพื่อนำไปใช้ในการสร้างส่วนต้นที่เป็นสีขาวของกระเทียมต้นกับความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารที่ให้อีกด้วย ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพืชจะดูดกินธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพื่อนำไปใช้ในการสร้างส่วนต้นที่เป็นสีขาวมากตามความสัมพันธ์กับปริมาณของสารอาหารที่ให้มากในสารละลายธาตุอาหารพืช แต่การดูดกินธาตุอาหารดังกล่าวไม่ มีผลแตกต่างทางสถิติ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากระเทียมต้นเป็นพืชที่มีนิสัยในการดูดกินธาตุอาหารแบบไม่เจาะจงและจะได้สูตรสารอาหารที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 2

อนึ่ง เราจะสามารถทราบได้ว่าสูตรสารอาหารที่ได้นั้นจะดีหรือไม่ และพืชมีการเจาะจงในการดูดใช้ธาตุอาหารหรือไม่ก็โดยการนำเอาสูตรดังกล่าวไปผสมเป็นสารละลายธาตุอาหารแล้วนำไปทดลองปลูกพืช โดยการควบคุมสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งปรับระดับ EC และ pH ให้เหมาะสมที่สุดตามระยะ การเจริญเติบโตของพืช จากนั้นนำตัวอย่างของพืชสารละลายธาตุอาหารที่ส่งให้และที่เหลือจากพืชใช้มาวิเคราะห์ผลทางเคมี ถ้าผลปรากฏออกมาว่ามีธาตุอาหารบางตัวที่ให้แล้วพืชไม่ดูดไปใช้ก็แสดงว่ายังไม่ใช่สูตรที่ดี ต้องพิจารณาปรับเปลี่ยนสูตรใหม่



K ของลำต้นที่เป็นสีขาว (mmol/kg DW) *Ca ของลำต้นที่เป็นสีขาว (mmol/kg DW)* *Mg ของลำต้นที่เป็นสีขาว (mmol/kg DW)*

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุโพแทสเซียม (ภาพ A) แคลเซียม (ภาพ B) และแมกนีเซียม (ภาพ C) ในส่วนลำต้นที่เป็นสีขาวของกระเทียมต้น กับปริมาณสารอาหารที่ให้ในสารละลายธาตุอาหารพืช

ที่มา : Tongaram, et. al., 1993d.

หมายเหตุ : DW หมายถึง น้ำหนักแห้ง (Dry Weight)

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อใช้ปลูกกระเทียมต้น

1. มหธาตุ (meq./L)						
สารอาหาร	ธาตุอาหารไอออนบวก			**ธาตุอาหารไอออนลบ**		
เลขที่	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}
4	17.6 (44)	17.6 (44)	4 .8 (12)	27.6 (69)	3.6 (9)	**8.8 (22)**
2. จุลธาตุ						
สูตรทางเคมีของธาตุอาหารพืช				**ไมโครโมลต่อลิตร (μmol/L)**		
$ZnSO_4.7H_2O$				**3.00**		
$CuSO_4.5H_2O$				**1.00**		
$MnSO_4.H_2O$				**70.00**		
H_3BO_3				**50.00**		
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$				**1.00**		
FeDTPA 4.5 %				**200.00**		

( ) เปอร์เซนต์ของธาตุอาหารพืช

ที่มา : Tongaram, et. al., 1993d.

ภาพที่ 4 ผู้เขียนกับงานวิจัยกับผลงานวิจัยหาสูตรสารละลายธาตุอาหารของกระเทียมต้น (Leek)

8. สรุป

1. โดยปกติแล้วผู้ผลิตเชิงธุรกิจ (ในต่างประเทศ) จะมีสูตรสารอาหารที่เหมาะสม และมีการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ฤดูกาลปลูกและสภาพแวดล้อมของตนเองเป็นหลัก โดยพยายามปรับเปลี่ยนสูตรสารอาหารที่มีอยู่เป็นจุดเริ่มต้นพร้อมทั้งดูผลการวิเคราะห์พืชและสารอาหารประกอบในระยะเริ่มต้นปลูกหรือในระยะ 1-2 ปีแรกก็จะเริ่มเห็นแนวทางว่าสูตรที่เหมาะสมควรเป็นอย่างไร ซึ่งวิธีการดังกล่าว ต้องใช้เวลาและประสบการณ์เป็นหลักวิธีการสร้างสูตรสารอาหารที่นำเสนอ งานวิจัยนี้จะเป็นเส้นทางลัดที่จะช่วยประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างถูกต้อง

2. การที่ผลผลิตจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะมีรสชาติดี สีสรรสวยงามถูกใจผู้บริโภคนั้นจะมาจากการจัดการธาตุอาหารและสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืช การให้ธาตุอาหารจากสูตร สารอาหารสูตรใดก็ได้นั้นจะเปรียบเสมือนการผลิตพืชให้สวยงามแบบใส่เสื้อผ้าสำเร็จรูป แต่ถ้าหากต้องการให้ผลผลิตมีรสชาติและสีสรรสวยงามเป็นที่ถูกใจของตลาดแล้วก็ควรมีสูตรสารอาหารสำหรับพืชที่ปลูกเป็นการเฉพาะ เปรียบเสมือนเป็นการเสริมแต่งโดยใช้เสื้อผ้าที่ตัดเย็บโดยมีช่างวัดขนาดแล้วผลิตออกมาให้สวยงามตามรูปร่างโดยเฉพาะ

3. หลักการและแนวคิดในการสร้างสูตรและตัวอย่างที่กล่าวมานี้นอกจากจะเป็นประโยชน์เพื่อใช้ ประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการศึกษาทดลองหาสูตรสารอาหารที่

เหมาะสมกับพืชที่จะปลูกและสภาพ พื้นที่ของผู้ปลูกเองแล้วยังจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยของหน่วยงานทั้งภาครัฐบาลและเอกชน นิสิตและ นักศึกษา รวมทั้งบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายปุ๋ยอันเป็นการวางรากฐานที่มั่นคงทางวิชาการทั้งเพื่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินและการให้ปุ๋ยพร้อมระบบให้น้ำสำหรับการปลูกพืชโดยทั่วไป นอกจากนี้หลักการ แนวคิดและทฤษฎีที่นำเสนอมาอย่างเป็นขั้นตอนนี้จะช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้และสามารถก้าวทันวงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกับประเทศชั้นนำของโลก

เอกสารอ้างอิง

[1] ดิเรก ทองอร่าม 2550. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน: หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ พิมพ์ดีการพิมพ์.

[2] Cooper, A. J. (1976). Nutrient Film Technique of Growing Plant. London, UK.: Grower Books.

[3] Jones, J. B. Jr. (1983). A Guide for the Hydroponics & Soilless Culture Grower. USA. Timber press.

[4] Harris, Dudley. (1991). Hydroponics : The South African Guide to the Gardening without soil. Singapore: Kyodo Printing Co.

[5] Resh, H. M. (1991). Hydroponics Food Production California: Woodbridge Press Publishing Company.

[6] Tongaram, D., E. Schrevens, G. De Rijck and M. De Proft. (1993a). “A comparative study between hydroponics and field cropping of leek.” Proceeding of The 8 th International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. pp. 417-436.

[7] Tongaram, D., E. Schrevens, G. De Rijck and M. De Proft. (1993b). “Year round cultivation of leek in hydroponics.” Proceeding of The 8th International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. pp. 437-451.

[8] Tongaram, D., E. Schrevens, G. De Rijck and M. De Proft. (1993c). “A comparative study on the appropriate plant supporting system and suitable varieties cultivation in hydroponics of leek.” Acta Horticulturae 358: 401-405.

[9] Tongaram, D., E. Schrevens, G. De Rijck and M. De Proft. (1993d). “The optimization of the composition of the nutrient solution for hydroponics leek cropping.” Acta Horticulturae 358: 406-414.