SUT3–302–50–12–89

รายงานการวิจัย

การศึกษาสัดส่วนและความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในการผลิตผักคะน้าและผักชี ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด

Plant Nutrient Composition and Concentration for Chinese Kale (*Brassica alboqlabra*) and Coriander (*Coriandrum sativum*) Production in Closed Soilless Culture System

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

SUT3–302–50–12–89

รายงานการวิจัย

การศึกษาสัดส่วนและความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในการผลิตผักคะน้าและผักชี ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด

Plant Nutrient Composition and Concentration for Chinese Kale (*Brassica alboqlabra*) and Coriander (*Coriandrum sativum*) Production in Closed Soilless Culture System

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดชล วุ้นประเสริฐ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤศจิกายน 2555

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัย ขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสวนเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ และขอขอบคุณบุคลากรที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และให้ความช่วยเหลือจนทำให้คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินโครงการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัย

พฤศจิกายน 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน เมื่อนำมาปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินต้องใช้สูตรสารละลายที่มีธาตุอาหารแตกต่างกันด้วย ผักคะน้า และผักชี จัดเป็นพืชผักที่มีความต้องการของตลาดสูงนิยมนำมาปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แต่ยังไม่มีสูตรสารละลายที่เฉพาะในการปลูกผักทั้ง2ชนิด การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรสารละลายและความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูก ผักชี และคะน้า ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบปิด โดยในแต่ละพืชแบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ 1) หาความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในผักทั้ง 2 ชนิดเพื่อนำมาใช้ในการปรับสูตรธาตุอาหาร 2) หาความเข้มข้นของธาตุ Fe ที่เหมาะสม และ 3) เปรียบเทียบสูตรสารละลายที่มีการปรับสูตรธาตุอาหารกับสูตรที่นิยมใช้ปลูกผักทั่วๆไป การทดลองที่ 1 ปลูกทดสอบพืชในวัสดุปลูกแล้วรดด้วยสารละลายที่นิยมปลูกผักทั่วๆไป โดยให้ที่ความถี่ต่างๆกัน ทำการวัดการเจริญเติบโตและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในต้นและใบ พบว่าธาตุอาหารที่พบในพืชที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีความเข้มข้นของธาตุอาหารไม่สอดคล้องกับธาตุอาหารในสารละลายที่นำมารดซึ่งมี K มากกว่า N แต่พืชทั้งสองชนิดมีการดูดใช้ N มากกว่า K แสดงว่าสูตรธาตุอาหารที่นิยมปลูกผักทั่วๆไปอาจไม่เหมาะสมกับการปลูกผักคะน้า และผักชี การทดลองที่ 2 หาความเข้มข้นที่เหมาะสมของธาตุ Fe โดยปลูกผักทั้งสองชนิดในระบบ NFT แล้วให้ธาตุ Fe ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 5.6, 7.6 และ 9.6 ppm พบว่าคะน้ามีความต้องการธาตุ Fe สูง (9.6 ppm) หากได้รับปริมาณน้อยจะมีอาการเหลือง (chlorosis) ที่ใบอ่อน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลต่อผลผลิตคะน้า ในขณะที่ผักชีได้รับธาตุ Fe 5.6 ppm ก็พอเพียงโดยไม่มีอาการ chlorosis การทดลองที่ 3 ปลูกทดสอบพืชทั้งสองชนิดในระบบ NFT มีการทดสอบ 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 2 สูตร สูตรที่ 1 เป็นสูตรธาตุอาหารที่นิยมปลูกผักทั่วๆไป ส่วนสูตรที่ 2 มีการปรับสัดส่วนธาตุอาหารให้สอดคล้องกับความต้องการของพืชทั้งสองชนิดที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 โดยสูตรสารละลายที่ปลูกผักคะน้า มีการเพิ่มสัดส่วนของธาตุ N, Ca และ Fe แต่ปรับลด P, K, Mg และ S ส่วนในสารละลายที่ใช้ปลูกผักชีเพิ่มธาตุ N, Ca และ S แต่ปรับลด P, K และ Mg ปัจจัยที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายซึ่งวัดจากค่า EC ได้แก่ ที่ EC = 1.5, 2.0, 2.5 mS/cm ปัจจัยที่ 3 การเปลี่ยนและไม่เปลี่ยนสารละลายทั้งสองในระหว่างการปลูกพืช จากผลการทดลองพบว่าพืชทั้งสองชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนสารละลายทุกสัปดาห์จะให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่เปลี่ยนสารละลาย สำหรับการปลูกคะน้าในสภาพที่มีการเปลี่ยนสารละลาย การใช้สารละลายสูตรที่ 1 และ 2 ไม่ทำให้ผลผลิตแตกต่างกัน แต่ในสภาพการปลูกที่ไม่เปลี่ยนสารละลาย พบว่าสูตรที่ 2 จะให้ผลผลิตสูงกว่าสูตรที่ 1 และความเข้มข้นสารละลายที่ EC 2.0 mS/cm ให้ผลผลิตคะน้าสูงสุด สำหรับการปลูกผักชีที่ความเข้มข้นของสารละลายแตกต่างกันไม่ทำให้ผลผลิตแตกต่างกัน ทั้งในสภาพที่เปลี่ยนและไม่เปลี่ยนสารละลาย อย่างไรก็ตามการไม่เปลี่ยนสารละลายพบว่าสารละลายสูตรที่ 2 ให้ผลผลิตสูงกว่าสูตรที่ 1

Abstract

Different plant species require different nutrients in terms of composition and concentration. Under soilless growing conditions, each plant species would need specific nutrient formula for optimum growth and yield. Growing Chinese kale and coriander under soilless production are becoming popular because both vegetables have high market demand and have several problems growing under field conditions. However, there is no specific nutrient formula for both vegetables. The objective of this study is to find the nutrient formulas and concentrations for Chinese kale and coriander production under closed system soilless condition. There was a series of 3 experiments for each vegetable. The first experiment was conducted under substrate system in order to find the suitable nutrient composition and concentration in the plant tissue. Both vegetables were grown under different nutrient levels with general nutrient formula for soilless vegetable production. Plant growth, yield and nutrient concentration in plant tissue were determined. The result showed that nutrient composition in plant with the maximum growth and yield was not related to the nutrient composition in the applied nutrient solution. Applied nutrient solution had higher concentration of K than N but N was higher than K in the plant tissue of both vegetables. In the second experiment, suitable Fe concentrations in nutrient solution were evaluated. Three concentration of Fe (5.6, 7.6 and 9.6 ppm) were applied for both vegetable in the nutrient solution under NFT system. It was fond that Chinese kale required high concentration of Fe (9.6 ppm). Low concentration of Fe (5.6 ppm) caused leaf chlorosis but did not affect Chinese kale yield, while coriander did not respond to different concentration of Fe. In the third experiment, two nutrient formulas, 3 concentrations (EC = 1.5, 2.0 and 2.5 mS/cm) and two nutrient recycling system (full recycling and partly recycling) were tested for both vegetables. The results showed that, in general, partly nutrient recycling system (nutrient was empty every weeks) gave higher yield than the fully recycling system for both vegetables. Nutrient formula 2 which had been adjusted according to the plant nutrient uptake produced higher yields than nutrient formula1 (not adjusted) only under fully nutrient recycling system. Chinese kale prefered high nutrient concentration (2.0 and 2.5 mS/cm) while coriander did not respond to nutrient concentration.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญภาพ ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย 9
บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 17
บทที่ 4 บทสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 26
บรรณานุกรม 27
ภาคผนวก 29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชโดยทั่วไปและพืชตระกูล *Brassica* 2

ตารางที่ 2 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย.....4

ตารางที่ 3 ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืชต่างชนิดกัน.....5

ตารางที่ 4 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับมะเขือเทศและผักกาดหอม.....5

ตารางที่ 5 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย.....10

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ทดสอบปลูกคะน้าในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลอง 1.3..... 12

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลองที่ 2.3..... 15

ตารางที่ 8 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารในคะน้า..... 17

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลายที่ใช้รดคะน้าและในต้นคะน้าที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์)..... 19

ตารางที่ 10 ผลของความเข้มข้นของธาตุ Fe ต่อผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักคะน้าและอาการ Chlorosis บนใบอ่อน..... 20

ตารางที่ 11 ผลของสัดส่วนธาตุอาหาร และความเข้มข้นต่อ ผลผลิตผักคะน้า..... 21

ตารางที่ 12 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักชี..... 22

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารในสารละลาย และในผักชีที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (รดปุ๋ย 2ครั้ง/สัปดาห์)..... 23

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในผักชีเมื่อใช้ความเข้มข้นของธาตุ Fe แตกต่างกัน..... 24

ตารางที่ 15 ผลของสัดส่วนสูตรสารละลาย และความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อผลผลิตผักชี..... 25

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 อาการใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe.……7

ภาพที่ 2 อาการปลายใบไหม้ของผักสลัดที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca…..……..…….…….…7

ภาพที่ 3 อาการก้นผลมะเขือเทศเน่าที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca...……..……8

ภาพที่ 4 แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าเมื่อให้ปุ๋ยด้วยความถี่แตกต่างกัน……...……18

ภาพที่ 5 (a) ใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักคะน้าที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe (b) ต้นปกติ……20

ภาพที่ 6 แสดงการเจริญเติบโตของผักชีในแต่ละทรีตเมนต์เรียงจากซ้ายไปขวา 23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญภาพ ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย 9
บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 17
บทที่ 4 บทสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 26
บรรณานุกรม 27
ภาคผนวก 29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชโดยทั่วไปและพืชตระกูล *Brassica* 2

ตารางที่ 2 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย.....4

ตารางที่ 3 ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืชต่างชนิดกัน.....5

ตารางที่ 4 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับมะเขือเทศและผักกาดหอม.....5

ตารางที่ 5 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย.....10

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ทดสอบปลูกคะน้าในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลอง 1.3..... 12

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลองที่ 2.3..... 15

ตารางที่ 8 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารในคะน้า..... 17

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลายที่ใช้รดคะน้าและในต้นคะน้าที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์)..... 19

ตารางที่ 10 ผลของความเข้มข้นของธาตุ Fe ต่อผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักคะน้าและอาการ Chlorosis บนใบอ่อน..... 20

ตารางที่ 11 ผลของสัดส่วนธาตุอาหาร และความเข้มข้นต่อ ผลผลิตผักคะน้า..... 21

ตารางที่ 12 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักชี..... 22

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารในสารละลาย และในผักชีที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (รดปุ๋ย 2ครั้ง/สัปดาห์)..... 23

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในผักชีเมื่อใช้ความเข้มข้นของธาตุ Fe แตกต่างกัน..... 24

ตารางที่ 15 ผลของสัดส่วนสูตรสารละลาย และความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อผลผลิตผักชี..... 25

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 อาการใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe.……7

ภาพที่ 2 อาการปลายใบไหม้ของผักสลัดที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca…..……..…….…….…7

ภาพที่ 3 อาการก้นผลมะเขือเทศเน่าที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca...……..……8

ภาพที่ 4 แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าเมื่อให้ปุ๋ยด้วยความถี่แตกต่างกัน……...……18

ภาพที่ 5 (a) ใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักคะน้าที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe (b) ต้นปกติ……20

ภาพที่ 6 แสดงการเจริญเติบโตของผักชีในแต่ละทรีตเมนต์เรียงจากซ้ายไปขวา 23

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน ได้รับความนิยม และมีผู้นำมาผลิตเป็นการค้าเพิ่มมากขึ้นทุกวัน เพราะสามารถปลูกผักได้ในทุกพื้นที่และฤดูกาล เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อม และปัญหาของโรคแมลง ทำให้ผักที่ผลิตได้มีคุณภาพ และปลอดภัยจากสารเคมี การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินในระบบปิด ซึ่งเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชกลับมาใช้ใหม่ เป็นระบบที่มีข้อดีหลายประการคือ ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของธาตุอาหารลงในดินหรือแหล่งน้ำ จากการระบายจากโรงปลูก และช่วยประหยัดค่าปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืชมากกว่าในระบบเปิด (Raviv et al., 1998) แต่ข้อเสียของระบบปิดคือ อาจมีการสะสมของเชื้อโรค และสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกมาจากรากพืชซึ่งอาจเป็นสารที่มีผลเสียต่อการดูดธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช (Yu and Matsui, 1993) และข้อเสียอีกประการหนึ่งเกิดจากการดูดธาตุอาหารแต่ละชนิด และการดูดน้ำของพืชในสัดส่วนที่ไม่สมดุล ทำให้ความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารพืชที่นำกลับมาใช้ใหม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Graves, 1983; Lopez et al., 1996; Zekki et al., 1996) การแก้ปัญหาความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปทำได้โดย เติมน้ำหรือธาตุอาหารพืชสูตรเดิมลงไปในสารละลายเพื่อรักษาค่า Electrical Conductivity (EC) ให้คงที่ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงไปแต่สัดส่วนในธาตุอาหารแต่ละธาตุอาจเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนธาตุอาหารใหม่ทั้งหมดในระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้สามารถควบคุมสูตรหรือสัดส่วนของธาตุอาหารได้ใหม่ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองสารละลายที่ต้องทิ้งไป

สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น มีผู้คิดค้นมากมายเพื่อหาสูตรสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ออกดอก ติดผลของพืชแต่ละชนิด ทั้งนี้เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน นอกจากนี้ระยะการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไปด้วย (โสระยา ร่วมรังษี, 2544) สูตรหรือสัดส่วนของธาตุอาหารพืช ถูกพัฒนามาให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ซึ่งใช้หลักการของความสมดุลของอัตราการดูดใช้ธาตุอาหารพืช หรือความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด (Bugbee, 2003) ซึ่งถ้ามีความสอดคล้องกันแล้ว จะทำให้ความสมดุลของธาตุอาหารอยู่ได้นาน ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนธาตุอาหารใหม่บ่อยครั้ง และถ้ารักษาความเข้มข้นที่พอเหมาะกับความต้องการของพืชแล้วจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี และมีคุณภาพสูง

คะน้า (*Brassica oleracea*) และผักชี (*Coriandrum sativum* L.) เป็นพืชผักที่นิยมรับประทานทั่วไปโดยบริโภคส่วนของใบและต้น มีความต้องการของตลาดที่สูงกว่าผักกินใบชนิดอื่นๆ ผักทั้งสองชนิดมักมีปัญหาการปลูกบนดินจากโรค และแมลงศัตรูพืชโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน จึงมีผู้นิยมนำผักทั้งสองชนิดมาปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แต่ปัจจุบันยังไม่มีสูตรธาตุอาหารที่เฉพาะในการปลูกผักชี และคะน้า ผู้ปลูกจึงใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกพืชทั่วๆไปมาใช้ ซึ่งทำให้การผลิตไม่มีประสิทธิภาพที่ดี และมีอาการขาดธาตุอาหารบางตัวที่พบบ่อยที่สุด คือธาตุเหล็ก (Fe) ดังนั้นจึงสมควรมีการศึกษาเพื่อหาสัดส่วน และความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อผักชี และผักคะน้า เพื่อพัฒนาสูตรธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในการผลิตในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิด

การตรวจเอกสาร

คะน้า (*Brassica oleracea*) เป็นพืชผักใบเขียวที่รับประทานทั่วไปโดยบริโภคส่วนของใบและลำต้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและปลูกกันมากในประเทศจีน ฮ่องกง ไต้หวัน มาเลเซีย และประเทศไทย ผักคะน้าเป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักฤดูเดียว อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม-เมษายน แต่หากปลูกในฤดูอื่นมักมีปัญหาการปลูกบนดินจากโรคและแมลง การปลูกในสารละลายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดปัญหาดังกล่าว

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชโดยทั่วไปและพืชตระกูล *Brassica*

ธาตุอาหาร	ธาตุอาหารในใบพืชโดยทั่วไป	ธาตุอาหารในใบพืชตระกูล *Brassica*
N	2.5-4.5 %	4.5-4.8 %
P	0.3-0.5 %	0.8-0.9 %
K	1.5-3.5 %	3.5-4.2 %
Ca	0.3-2.5 %	2.9-3.1 %
Mg	0.2-0.6 %	0.4-0.5%
S	0.2-0.3 %	-
Fe	50-250 mg kg^{-1}	-
Mn	25-150 mg kg^{-1}	25-150 mg kg^{-1}
Cu	5-20 mg kg^{-1}	1-5 mg kg^{-1}
Zn	20-50 mg kg^{-1}	45-95 mg kg^{-1}
B	20-200 mg kg^{-1}	30-200 mg kg^{-1}
Mo	0.5 mg kg^{-1}	-

ที่มา : สมศักดิ์ มณีพงษ์ (2537)

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังไม่มีสูตรอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ซึ่งการวิเคราะห์ความต้องการธาตุอาหารของคะน้า ที่จะนำไปสู่การหาสูตรสารละลายที่เหมาะสมสามารถวิเคราะห์ได้จากพืชในตระกูลเดียวกัน เนื่องจากคะน้าเป็นพืชตระกูล *Brassica* ที่มีการสะสมอาหารที่ใบและลำต้น ดังนั้นจึงเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารสูงกว่าพืชโดยทั่วไป (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะธาตุ N

ผักชี (*Coriandrum sativum* L.) เป็นพืชที่กินใบและลำต้น เป็นพืชล้มลุกอายุ 1 ปี ทุกส่วนมีกลิ่นหอม ใบตอนล่างเป็นทรงกลม ขอบหยักเป็นฟันเลื่อยลึก ก้านใบยาว ใบตอนบนเป็นใบประกอบขนาด 2-3 ชั้น ช่อดอกแบบช่อซี่ร่ม มี 2-5 ช่อย่อย มักไม่มีวงใบประดับ ดอกสีขาวหรือม่วงแดงอ่อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในยุโรปตอนใต้ อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 40-50 วัน สามารถปลูกได้ดีในฤดูหนาว แต่เวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม (อภิชัย อารยะเจริญชัย, 2552) แต่การปลูกในฤดูอื่น โดยเฉพาะในฤดูฝนผลผลิตผักชีมักได้รับความเสียหายจากฝน และการเข้าทำลายของโรคและแมลง ดังนั้นการปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ความต้องการธาตุอาหาร รวมถึงสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักชีในระบบไฮโดรโปนิกส์ ยังไม่มีการศึกษาอย่างแน่ชัด

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือไฮโดรโปนิกส์ เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในประเทศพัฒนาซึ่งมีปัญหาพื้นที่ทำการเกษตรลดลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของชุมชน หรือพื้นที่ที่มีอยู่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร เป็นวิธีปลูกพืชที่ไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูก แต่พืชจะได้รับธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต การปลูกพืชโดยวิธีนี้จึงสามารถทำได้ในทุกพื้นที่แม้จะไม่มีที่ดินสำหรับปลูกพืช หรือพื้นที่ดินที่มีอยู่นั้นไม่สามารถใช้ปลูกพืชได้ ปัจจุบันไฮโดรโปนิกส์เป็นวิธีการปลูกพืชที่ใช้แพร่หลายในประเทศต่างๆ เช่น ไต้หวัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ อิสราเอล และประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรปรวมถึงประเทศไทยทั้งในเชิงธุรกิจการค้า และด้านงานวิจัย ทั้งนี้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินให้ประสบความสำเร็จนั้นต้องมีสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมกับความต้องการของพืช รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโต

สารละลายธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโต มีทั้งหมด 16 ธาตุ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ประกอบด้วย C, H, O, N, P, K, Ca, Mg และ S ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ประกอบด้วย B, Zn, Cu, Fe, Mn, Mo และ Cl ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินต้องมีการใส่ธาตุอาหาร 12 ชนิดคือ N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe, Mn และ Mo ส่วน Cl ไม่จำเป็นต้องใส่เพราะมีอยู่พอเพียงในน้ำหรือปะปนในวัสดุปลูก (ตารางที่ 2)

สูตรสารละลายธาตุอาหารในผักไทยชนิดต่างๆ สูตรสารละลายธาตุอาหาร สำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในผักไทยชนิดต่างๆ ได้มีผู้คิดค้นมากมายเพื่อหาสูตรสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทั้งนี้เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการในเรื่องของปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน นอกจากนี้ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความต้องการปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไปด้วย (ตารางที่ 3 และ 4)

ตารางที่ 2 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย (ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น (ppm)
N	208
P	62
K	332
Ca	68
Mg	49
S	65
Fe	5.6
Mn	2.2
Cu	0.06
Zn	0.06
B	0.30
Mo	0.07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3 ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืชต่างชนิดกัน

ชนิดพืช	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg
แตงกวา	230	40	315	175	42
มะเขือ	175	39	235	150	28
พืชสมุนไพร	210	80	275	180	67
ผักกาดหอม	200	50	300	200	65
พริกไทย	175	39	235	150	28
มะเขือเทศ	200	50	360	185	45

ที่มา : Jones (1997)

ตารางที่ 4 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับมะเขือเทศและผักกาดหอม

แม่ปุ๋ย	ปริมาณ (ppm)	
	มะเขือเทศ	ผักกาดหอม
ธาตุอาหารหลัก		
แคลเซียมไนเตรต (15.5-0-0)	680	407
แมกนีเซียมซัลเฟต	250	185
โพแทสเซียมไนเตรต (13-0-44)	350	404
โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)	170	-
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (0-53-34)	200	136
แอมโมเนียมไนเตรต (33.5-0-0)	-	60
ธาตุอาหารรอง		
เหล็กคีเลต (10% Fe)	15.0	19.6
แมงกานีสซัลเฟต (28% Mn)	1.78	0.96
โบรอน (20.5% B)	2.43	0.97
ซิงค์ซัลเฟต (36% Zn)	0.28	0.55
คอปเปอร์ซัลเฟต (25% Cu)	0.12	0.12
โซเดียมโมลิปเดต (39% Mo)	0.12	0.12

ที่มา : Jones (1997)

การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินระบบปิด

การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินระบบปิด เป็นการหมุนเวียนสารละลายกลับมาใช้ใหม่ ทำให้คุณสมบัติสารละลายเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการสารละลาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยดังนี้

1. อากาศ การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์โดยเฉพาะระบบ Water Culture และ Liquid Culture รากพืชมักจะขาดออกซิเจน จึงจำเป็นต้องให้ออกซิเจนในจำนวนที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชด้วยการให้ในภาพของฟองอากาศที่แทรกอยู่ในสารละลายด้วยการใช้ปั๊มลม หรือการใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ถ้าในดินหรือในวัสดุปลูกมีออกซิเจนไม่เพียงพอ พืชจะมีรากยาว สีขาว และมีรากฝอยมาก

2. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในสารละลายธาตุอาหารพืช pH มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในการละลาย และดูดกินสารละลายธาตุอาหาร โดยช่วง pH ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 เนื่องจากพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารพืชตลอดเวลา จำเป็นต้องรักษาระดับ pH ให้เหมาะสม การลดระดับ pH นิยมใช้กรดไนตริก (HNO_3) มากกว่ากรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) การเพิ่มระดับ pH นิยมใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3. ค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity: EC) เป็นค่าที่ใช้วัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชโดยรวม ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชปกติควรอยู่ระหว่าง 1,000-1,500 ppm เพื่อให้แรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของกระบวนการดูดซึมของรากเกิดได้สะดวก ดังนั้นค่า EC ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 1-4 mS/cm ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช โดยหากค่า EC สูงจะเป็นอันตรายต่อพืช ต้องเจือจางด้วยน้ำ ถ้าค่า EC ต่ำ ต้องเพิ่มความเข้มข้นให้เพียงพอ เนื่องจากพืชใช้สารละลายตลอดเวลา ทำให้ค่า EC เปลี่ยนแปลงเสมอ ดังนั้นจำเป็นต้องตรวจวัดทุกวันและปรับค่าตามความจำเป็น

ปัญหาการขาดธาตุอาหารพืชในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ปัญหาการขาดธาตุอาหาพืชในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอาจเกิดได้ทุกธาตุ แต่ที่พบมากที่สุดคือการขาดธาตุ Fe และ Ca

1. การขาดธาตุ Fe ธาตุนี้เป็นธาตุอาหารที่ไม่ค่อยมีการเคลื่อนย้ายในพืช และเป็นธาตุที่ตกตะกอนได้ง่าย เหล็กเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน (ferridoxin) และเป็นสารสำคัญในขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืช นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ดังนั้นเมื่อพืชขาด Fe จึงทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้อย่างเพียงพอ และแสดงอาการใบเหลืองแบบ interveinal chlorosis ที่ใบอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 1 (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552) สารเคมีที่ให้ธาตุ Fe และมีราคาถูกคือ เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย แต่จะตกตะกอนเร็ว และต้องระวัง pH ของสารละลาย ดังนั้นจึงนิยมใช้ Fe ในรูปคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติสามารถคงตัวอยู่ในรูป

สารละลายธาตุอาหารพืช ทำให้พืชก็สามารถนำไปใช้ได้ดี ซึ่งการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเพื่อไม่ให้พืชเกิดการขาดธาตุ Fe ทำได้โดยเติมสารละลาย Fe ในรูปคีเลตเข้มข้นลงในสารละลายที่ใช้ปลูกพืช หรือการพ่นปุ๋ยทางใบ หรือเปลี่ยนสารละลายใหม่

ภาพที่ 1 อาการใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe

2. การขาดธาตุ Ca ปัญหาการขาดธาตุนี้ในระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นปัญหาที่พบบ่อยมาก โดยเฉพาะในผักสลัดจะเกิดอาการปลายใบไหม้ (ภาพที่ 2) และในมะเขือเทศเกิดอาการ Blossom-end rot (ภาพที่ 3) อาการขาด Ca มักเกิดจากมีปริมาณ Ca ไม่เพียงพอในพืช แต่ไม่ได้หมายความว่ามีในสารละลายไม่เพียงพอ แต่เป็นปัญหาอัตราการดูดใช้ของพืช กล่าวคือในสารละลายถึงแม้จะมีปริมาณ Ca ในปริมาณมาก แต่มีปัญหาอัตราการดูดใช้ไม่เพียงพอ ซึ่งอาจเป็นปัญหาเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรือความไม่สมดุลของธาตุอาหารในสารละลายไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอัตราส่วนของ Ca กับ Cation ตัวอื่น เช่น NH_4^+, K^+, Mg^{++} จนทำให้พืชเกิดความผิดปกติเนื่องจากการขาด Ca

ภาพที่ 2 อาการปลายใบไหม้ของผักสลัดที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca

ภาพที่ 3 อาการก้นผลมะเขือเทศเน่าที่เกิดจากการขาดธาตุ Ca

การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินแบบระบบปิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย แต่ที่สำคัญคือต้องจัดการสมดุลของธาตุอาหารแต่ละชนิด เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้สารละลายธาตุอาหาร สำหรับการเจริญเติบโตของพืช

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อหาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในการผลิตผักชี และผักคะน้าในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินระบบปิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรธาตุอาหารพืชของที่มีประสิทธิภาพในการผลิตผักชี และผักคะน้าให้ผู้ผลิตผักนำไปใช้ในการค้า
2. เป็นข้อมูลใช้ในการสอนนักศึกษาทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการหาข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ ไม่พบค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในผักคะน้าและผักชี พบเฉพาะผักในตระกูล *Brassica* ทั่วๆ ไป (ตารางที่ 1) ซึ่งในผักคะน้าอาจมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมแตกต่างไปจากนี้ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยทำการปลูกผักทั้ง 2 ชนิดในสภาพที่ให้ธาตุอาหารแตกต่างกัน เพื่อสังเกตการเจริญเติบโต ผลผลิต และวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช จากนั้นเมื่อทราบปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากตัวอย่างพืช ในทรีตเมนต์ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดจะถูกนำมาใช้ในการปรับสูตรธาตุอาหาร และนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับสูตรธาตุอาหารที่ใช้อยู่ทั่วไป

นอกจากนี้จากปัญหาการขาดธาตุ Fe ในการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะผักกินใบที่ต้องการ Fe สูง เนื่องจาก Fe ตกตะกอนได้ง่ายจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยเติม Fe ลงไปในสารละลายให้มากกว่าความต้องการของพืช อย่างไรก็ตามหากใส่ Fe มากเกินไป นอกจากเป็นการสิ้นเปลืองแล้วยังอาจมีผลต่อการดูดธาตุอาหารอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการทดสอบเบื้องต้น เพื่อหาความเข้มข้นของธาตุ Fe ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักชี และคะน้า ก่อนนำไปทดสอบกับร่วมธาตุอาหารอื่นๆ

ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการในผัก 2 ชนิด ได้แก่ ผักชี และคะน้า เนื่องจากเป็นผักที่มีความต้องการของตลาดสูง มีราคาแพง โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน เนื่องจากผักทั้งสองชนิดนี้มักได้รับผลความเสียหายจากโรคและแมลงเมื่อปลูกในฤดูฝน จึงมีผู้นิยมนำผักทั้งสองชนิดมาปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีสูตรธาตุอาหารที่เฉพาะในการปลูกผักชีและคะน้า แต่ผักทั้งสองอยู่คนละตระกูลกันอาจมีความต้องการธาตุอาหารที่ต่างกัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ทำการแยกทดลองระหว่างผัก 2 ชนิด ดังนี้

1. ผักคะน้า

1.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ในคะน้าที่ปลูกโดยให้ธาตุอาหารระดับต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์ การทดลองครั้งนี้ใช้คะน้ากวางตุ้งพันธุ์ที่นิยมปลูกทั่วไป และใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่นิยมใช้สำหรับการปลูกผักทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ โดยเตรียมสารละลายให้ได้ความเข้มข้นของธาตุอาหารดังแสดงในตารางที่ 5

1) ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ได้แก่ Potassium nitrate (KNO_3), Potassium sulphate (K_2SO_4), Ammonium nitrate (NH_4NO_3), Potassium phosphate (mono) (KH_2PO_4), Calcium nitrate $Ca(NO_3)_2$, Magnesium sulphate ($MgSO_4$), Nitric acid (HNO_3)
2) ปุ๋ยที่ให้จุลธาตุ ได้แก่ Iron chelate (FeEDTA), Boric acid (H_3BO_3), Manganese sulphate ($MnSO_4$), Zinc sulphate ($ZnSO_4$), Sodium molydate (Na_2MoO_2), Copper sulphate ($CuSO_4$)

ตารางที่ 5 สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (NFT) ของบริษัท Accent Hydroponic ออสเตรเลีย (ดิเรก ทองอร่าม, 2546)

ธาตุอาหารพืชหรือไอออน	ความเข้มข้น (ppm)
N	208
P	62
K	332
Ca	68
Mg	49
S	65
Fe	5.6
Mn	2.2
Cu	0.06
Zn	0.06
B	0.30
Mo	0.07

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง ทำการเพาะเมล็ดผักคะน้าลงในกระถางที่มีทรายผสมกับขุยมะพร้าวบรรจุอยู่ในกระถางๆ ละ 3 เมล็ด จำนวน 15 กระถาง เมื่อผักคะน้างอกทำการถอนแยกให้เหลือกระถางละ 1 ต้น และเมื่อคะน้ามีอายุ 1 สัปดาห์ ให้ปุ๋ยด้วยความถี่แตกต่างกัน 5 ทรีตเมนต์ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองทรีตเมนต์ละ 3 กระถาง (3 ซ้ำ) จากนั้นรดด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ทรีตเมนต์ ได้แก่

ทรีตเมนต์ 1 ไม่ให้ปุ๋ย
ทรีตเมนต์ 2 ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ 2 สัปดาห์
ทรีตเมนต์ 3 ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ สัปดาห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทรีตเมนต์ 4 ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/ สัปดาห์

ทรีตเมนต์ 5 ให้ปุ๋ย 3 ครั้ง/ สัปดาห์

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักคะน้าอายุครบ 5 สัปดาห์ ทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) น้ำหนักสด โดยนำต้นคะน้าที่ปลูกไว้ในกระถางมาล้างทรายออกให้หมด ผึ่งไว้ให้น้ำที่ล้างแห้งจนหมด จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักสด
2) น้ำหนักแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักสดแล้วนำต้นคะน้าไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้ง
3) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในต้นคะน้า หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้ว นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ N, P, K, Ca, Mg และ S ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชดังกล่าวนี้แสดงในภาคผนวก

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V.13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

1.2 การหาความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการปลูกผักคะน้า

วัสดุและอุปกรณ์ การทดลองครั้งนี้ใช้คะน้ากวางตุ้งพันธุ์ที่นิยมปลูกทั่วไป และใช้สารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และปุ๋ยที่ให้จุลธาตุ (ตารางที่ 5) เช่นเดียวกับการทดลอง 1.1

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง ทำการปลูกทดสอบคะน้าในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ Nutrient film technique (NFT) วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีการทดสอบผลของความเข้มข้นของธาตุ Fe 3 ระดับ คือ

ทรีตเมนต์ 1 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 5.6 ppm

ทรีตเมนต์ 2 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 7.6 ppm

ทรีตเมนต์ 3 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 9.6 ppm

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักคะน้าครบ 5 สัปดาห์ แล้วทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) น้ำหนักสด โดยนำต้นคะน้า 10 ต้นไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักสด
2) น้ำหนักแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักสดแล้วนำคะน้าไปอบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง
3) ปริมาณธาตุอาหารพืชในต้นคะน้า หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ N, P, K, Ca, Mg, S และ Fe (ภาคผนวก)

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V.13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

1.3 การเปรียบเทียบสูตรและความเข้มข้นของธาตุอาหารในการปลูกผักคะน้า

วัสดุและอุปกรณ์ การทดลองครั้งนี้ใช้คะน้ากวางตุ้งปลูกทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสารละลายธาตุอาหารพืช 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ใช้ธาตุอาหารเช่นเดียวกันกับการทดลอง 1.1 (ตารางที่ 5) ซึ่งเป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักหลายชนิดด้วยระบบรากแช่ (ดิเรก ทองอร่าม, 2546) ส่วนสูตรที่ 2 ใช้สูตรที่ปรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและรอง ให้มีความสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้จากการทดลองที่ 1.1 และมีธาตุ Fe ตามความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลอง 1.2 โดยให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารรวมทั้งหมดใกล้เคียงกันทั้ง 2 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ทดสอบปลูกคะน้าในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลอง 1.3

ธาตุอาหารพืช	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
	ความเข้มข้น (ppm)	
N	208	276
P	62	48
K	332	219
Ca	68	171
Mg	49	29
S	65	38
Fe	5.6	9.6
Mn	2.2	2.2
Cu	0.06	0.06
Zn	0.06	0.06
B	0.30	0.30
Mo	0.07	0.07
รวม	792	793

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ CRD และจัดทรีตเมนต์แบบ 2x3 factorial จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ 1 คือ สูตรสารละลายธาตุอาหาร 2 สูตร ปัจจัยที่ 2 คือความเข้มข้นของสารละลาย 3 ระดับ โดยใช้ค่า EC เป็นตัวกำหนด (EC = 1.5 mS/cm, 2.0 mS/cm และ 2.5 mS/cm) นอกจากนี้ยังแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย คือ การเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกสัปดาห์ และไม่มีการเปลี่ยนสารละลายตลอดระยะเวลาที่ปลูก โดยทั้งสองสภาพปลูกทำการควบคุม pH และ EC ให้คงที่ตลอดระยะเวลาการปลูกคะน้า

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักคะน้าจนอายุครบ 5 สัปดาห์แล้ว ทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) ความสูงต้นและความยาวราก โดยสุ่มวัดซ้ำละ 5 ต้น
2) น้ำหนักสด โดยนำต้นคะน้าที่ปลูกไว้ไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักสด
3) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในต้นคะน้า หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ N, P, K, Ca, Mg และ S (ภาคผนวก)
4) คะแนน chlorosis เมื่อคะน้ามีอายุประมาณ 4 สัปดาห์ ทำการนับจำนวนต้นที่มีอาการใบอ่อนเป็นสีเหลืองซีด แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นที่มีอาการ chlorosis

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V.13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

2. ผักชี

2.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในผักชีที่ปลูกโดยให้ธาตุอาหารระดับต่างๆ

วัสดุและอุปกรณ์ การทดลองครั้งนี้ใช้พันธุ์ผักชีทางการค้า และใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ปลูกผักทั่วๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ซึ่งต้องเตรียมสารละลายให้ได้ความเข้มข้นของธาตุอาหารดังแสดงในตารางที่ 5 และใช้ปุ๋ยเหมือนการทดลองในคะน้า (การทดลอง 1.1)

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง เพาะเมล็ดผักชีลงในกระถางๆ ละ 3 เมล็ด จำนวน 15 กระถาง เมื่อผักชีงอกทำการถอนแยกให้เหลือกระถางละ 1 ต้น และเมื่อผักชีมีอายุ 1 สัปดาห์ ให้ปุ๋ยด้วยความถี่แตกต่างกัน 5 ทรีตเมนต์ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองทรีตเมนต์ละ 3 กระถาง (3 ซ้ำ) จากนั้นรดด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ทรีตเมนต์ ได้แก่

ทรีตเมนต์ 1 ไม่ให้ปุ๋ย
ทรีตเมนต์ 2 ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ 2 สัปดาห์
ทรีตเมนต์ 3 ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ สัปดาห์
ทรีตเมนต์ 4 ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/ สัปดาห์

ทรีตเมนต์ 5 ให้ปุ๋ย 3 ครั้ง/ สัปดาห์

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักชีอายุครบ 5 สัปดาห์ ทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) น้ำหนักสด โดยนำต้นผักชีที่ปลูกไว้ในกระถางมาล้างทรายออกให้หมด ผึ่งไว้ให้น้ำที่ล้างแห้งจนหมด จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักสด
2) น้ำหนักแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักสดแล้วนำต้นผักชีไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้ง
3) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในต้นผักชี โดยหลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้ว นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ N, P, K, Ca, Mg และ S (ภาคผนวก)

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V.13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

2.2 การหาความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการปลูกผักชี

วัสดุและอุปกรณ์ การทดลองครั้งนี้ใช้พันธุ์ผักชีทางการค้า และใช้สารละลายธาตุอาหารพืชเช่นเดียวกับการทดลอง 1.1 ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (ตารางที่ 5)

วิธีการทดลอง ทดสอบปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยทดสอบผลของความเข้มข้นของธาตุ Fe 3 ระดับ ได้แก่

ทรีตเมนต์ 1 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 5.6 ppm

ทรีตเมนต์ 2 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 7.6 ppm

ทรีตเมนต์ 3 ความเข้มข้นของธาตุ Fe 9.6 ppm

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักชีจนอายุ 5 สัปดาห์ ทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) ความสูงต้นและความยาวราก ทำการวัดความสูงต้นและความยาวราก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยสุ่มวัดซ้ำละ 3 ต้น ส่วนสัปดาห์ที่ 4 สุ่มเก็บซ้ำละ 5 ต้น
2) น้ำหนักสด โดยนำต้นผักชีไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักสด
3) น้ำหนักแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักสดแล้วนำต้นผักชีไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแห้ง จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้ง
4) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในต้นผักชี หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ Fe, N, P, K, Ca, Mg และ S (ภาคผนวก)
5) คะแนน chlorosis เมื่อผักชีมีอายุ 4 สัปดาห์ ทำการนับจำนวนต้นที่มีอาการใบอ่อนเป็นสีเหลืองซีด แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นที่มีอาการ chlorosis

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V. 13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

2.3 การเปรียบเทียบสูตร และความเข้มข้นของธาตุอาหารในการปลูกผักชี

วัสดุและอุปกรณ์ ทำการเปรียบเทียบสารละลายธาตุอาหารพืช 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ใช้ธาตุอาหารเช่นเดียวกับการทดลอง 1.1 (ตารางที่ 5) ส่วนสูตรที่ 2 ปรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ให้มีความสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้จากการทดลองที่ 2.1 และให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารรวมทั้งหมดใกล้เคียงกันทั้ง 2 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ใช้ปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT ในการทดลองที่ 2.3

ธาตุอาหารพืชหรือไอออน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
N	208	270
P	62	50
K	332	190
Ca	68	140
Mg	49	40
S	65	95
Fe	5.6	5.6
Mn	2.2	2.2
Cu	0.06	0.06
Zn	0.06	0.06
B	0.30	0.30
Mo	0.07	0.07
รวม	792	793

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง ปลูกผักชีในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบ NFT โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และมีการจัดทรีตเมนต์แบบ 2x3 factorial จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ 1 คือสารละลายธาตุอาหาร 2 สูตร และปัจจัยที่ 2 คือความเข้มข้นของสารละลาย 3 ระดับ โดยใช้ค่า EC เป็นตัวกำหนด (ได้แก่ EC = 1.5 mS/cm, 2.0 mS/cm และ 2.5 mS/cm) นอกจากนี้ยังแบ่งทำการทดลอง 2 การทดลองย่อย คือ 1) ไม่มีการเปลี่ยนสารละลายตลอดการปลูก และ 2) มีการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกสัปดาห์ โดยทั้ง 2 การทดลองทำการควบคุม pH และ EC ให้คงที่ตลอดระยะเวลา

การเก็บข้อมูล เมื่อปลูกผักชีจนอายุ 5 สัปดาห์แล้ว ทำการวัดลักษณะต่างๆ ได้แก่

1) ความสูงต้นและความยาวราก ทำการวัดความสูงต้นและความยาวราก สุ่มวัดซ้ำละ 5 ต้น
2) น้ำหนักสด โดยนำต้นผักชีไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักสด
3) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในต้นผักชี หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งแล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุ N, P, K, Ca, Mg และ S (ภาคผนวก)

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรมสถิติ SPSS for Windows V.13.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

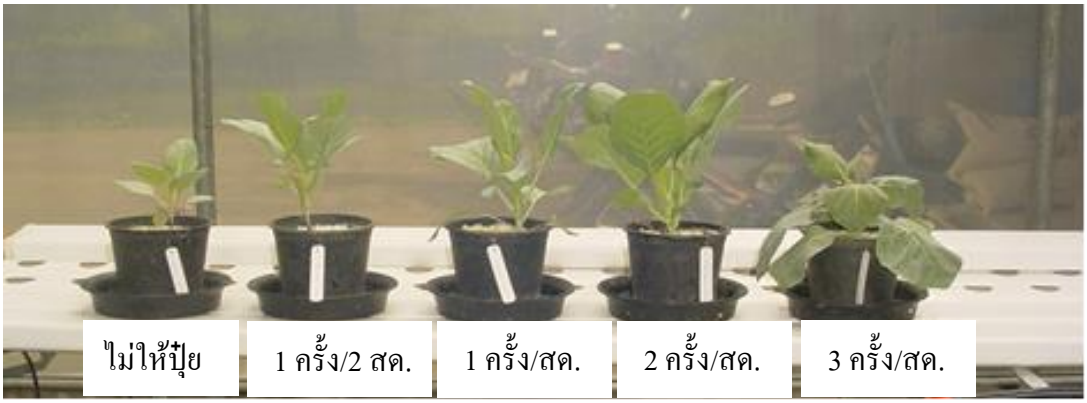
1. ผักคะน้า

1.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ในผักคะน้าที่ปลูกโดยให้ธาตุอาหารระดับต่าง ๆ

จากผลการทดลองหาความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ที่เหมาะสมกับการปลูกคะน้า แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 1 พบว่าการให้ปุ๋ยแก่ผักคะน้า 2 ครั้ง/สัปดาห์ ทำให้คะน้ามีผลผลิตของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ การให้ปุ๋ย 3 ครั้ง/ สัปดาห์ และการให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/สัปดาห์ ส่วนการให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/2 สัปดาห์ และไม่ให้ปุ๋ย (รดด้วยน้ำกลั่น) พบว่ามีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและรองจากตารางที่ 8 พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารเกือบทุกธาตุเพิ่มขึ้นตามความถี่ในการให้ปุ๋ย โดยธาตุ N, P, Mg และ S มีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/ สัปดาห์ ในขณะที่ธาตุ K และ Ca มีความเข้มข้นสูงสุด เมื่อมีการให้ปุ๋ย 3 ครั้ง/สัปดาห์ ซึ่งความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่การให้ 2-3 ครั้ง/สัปดาห์ อยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืช (แสดงในตารางที่ 1) (สมศักดิ์ มณีพงศ์, 2537)

ตารางที่ 8 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักคะน้า

ทรีตเมนต์	น้ำหนักสด ก/ต้น	น้ำหนักแห้ง ก/ต้น	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
ไม่ให้ปุ๋ย	17.4d	1.56d	1.91d	0.55b	0.95c	0.93c	0.21c	0.15d
ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ 2 สัปดาห์	30.0d	3.27d	3.31b	0.51b	2.45b	1.89b	0.34b	0.27c
ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/ สัปดาห์	72.4c	7.31c	3.93b	0.69ab	3.18ab	1.88b	0.35b	0.45a
ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/ สัปดาห์	122.0a	12.23a	4.67a	0.81a	3.63a	2.91a	0.49a	0.47a
ให้ปุ๋ย 3 ครั้ง/ สัปดาห์	96.0b	9.70b	4.47ab	0.80a	3.95a	2.97a	0.43a	0.39b



ภาพที่ 4 แสดงการเจริญเติบโตของผักคะน้าเมื่อให้ปุ๋ยด้วยความถี่แตกต่างกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลายที่ใช้รดต้นพืช และธาตุอาหารที่พบในต้นคะน้าของทรีตเมนต์ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือเมื่อให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์ พบว่าธาตุอาหารที่พบในต้นพืชมีสัดส่วนของธาตุอาหารไม่สอดคล้องกับสูตรของธาตุอาหารที่นำมารด (ตารางที่ 9) โดยในสารละลายมีความเข้มข้นและสัดส่วนของ K มากที่สุด (42%) แต่พบว่าคะน้ามีการดูดใช้ K เพียง 28 % ในขณะที่ธาตุ N พบว่ามีการดูดใช้และสะสมมากที่สุด (36 %) แต่มีสัดส่วนของในสารละลายเพียง 27 % และยังพบว่าสัดส่วนการให้ Ca ในสารละลายมีเพียง 9% แต่พืชมีการดูดใช้มากถึง 22% แสดงให้เห็นว่าพืชมีการเลือกดูดใช้ธาตุอาหารตามความต้องการ ถึงแม้ในสารละลายที่ให้มีสัดส่วนของธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นหลังการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชแล้วอาจมีธาตุอาหารบางธาตุเหลืออยู่มากเกินไป เช่น ธาตุ K จนเกิดการสะสมในวัสดุปลูกมากกว่าธาตุอื่นๆ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้การสะสมของ K ไม่พบว่าเป็นพิษต่อพืช ซึ่งอาจเนื่องจากวัสดุปลูกมีการดูดซับธาตุเอาไว้ นอกจากนี้มีการให้น้ำทุกวันทำให้มีการชะล้างธาตุอาหารส่วนเกินออกไป อย่างไรก็ตามหากปลูกพืชในสารละลายโดยตรง เช่น ในระบบ NFT หรือ DFT ที่ไม่มีวัสดุปลูกดูดซับ และไม่มีการเปลี่ยนสารละลายใหม่เป็นระยะ อาจจะมีการสะสมของ K ที่มากจนเป็นโทษกับพืชได้ เช่นการไปยับยั้งการดูด Ca หรือ Mg (Parves et al., 2006; Ranade-Malvi, 2011; Asri and Sonmes, 2012) และทำให้พืชขาดธาตุอาหาร จนทำให้การเจริญเติบโตลดลงได้

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลายที่ใช้รดคะน้า และในต้นคะน้าที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์)

ธาตุอาหาร	สูตรของธาตุอาหารที่ใช้รด		ธาตุอาหารในพืช	
	ความเข้มข้น (ppm)	สัดส่วน (%)	ความเข้มข้น (ppm)	สัดส่วน (%)
N	208	27	4.67	36
P	62	8	0.81	6
K	332	42	3.63	28
Ca	68	9	2.91	22
Mg	49	6	0.49	4
S	65	8	0.47	4
รวม	**784**	**100**	**13**	**100**

1.2 การหาความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เหมาะสมในการปลูกผักคะน้า

จากผลการศึกษาเมื่อให้ธาตุ Fe ในสารละลายที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 5.6, 7.6 และ 9.6 ppm พบว่าผลผลิตมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณธาตุ Fe ที่สูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) เมื่อทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารพบว่าธาตุอื่นๆ และ K ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ N, P และ Fe มีการตอบสนองต่อปริมาณธาตุ Fe ในสารละลาย โดยการให้ธาตุ Fe ที่ความเข้มข้นที่ 9.6 ละ 7.6 ppm ทำให้มีปริมาณ N, P และ Fe ในเนื้อเยื่อพืชสูงกว่าการให้ธาตุ Fe ที่ 5.6 ppm นอกจากนี้ยังพบว่าต้นคะน้ามีอาการใบเหลืองซีดในใบอ่อน (Chlorosis) (ภาพที่ 5a) ลดจำนวนลง เมื่อให้ธาตุ Fe ปริมาณสูงขึ้น (ภาพที่ 5b) ดังนั้นการให้ธาตุ Fe ที่เพียงพอกับความต้องการของพืชถึงแม้จะไม่มีผลทำให้ผลผลิตแตกต่างกัน แต่มีผลทำให้ผักมีคุณภาพสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มนูญ ศิรินุพงศ์ และคณะ (2551) ที่พบว่าการปลูกคะน้าในระบบ NFT ซึ่งใช้สารละลายที่มีธาตุ Fe ในรูปที่คะน้าดูดใช้ได้ยาก จะทำให้ปริมาณธาตุ Fe ไม่เพียงพอกับความต้องการ ส่งผลให้ใบคะน้ามีอาการใบเหลืองซีด แต่หากให้ธาตุ Fe เพียงพอกับความต้องการ ใบคะน้าจะไม่ปรากฏอาการดังกล่าว

ตารางที่ 10 ผลของความเข้มข้นของธาตุ Fe ต่อผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักคะน้า และอาการ Chlorosis บนใบอ่อน

Fe (ppm)	น้ำหนักสด (ก/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (ก/ต้น)	N (%)	P (%)	K (%)	Fe (ppm)	Chlorosis (%)
5.6	95	9.1	3.81b	0.52b	3.78	161b	35.3 a
7.6	118	10.8	4.42a	0.88a	3.82	209a	5.1 b
9.6	106	10.4	4.50a	0.95a	3.73	235a	3.2 c
F-test	ns	ns	**	**	ns	**	**

ns, *, ** = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

[1]ตัวเลขในคอลัมน์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 5 (a) ใบอ่อนมีอาการเหลืองซีดของผักคะน้าที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe (b) ต้นปกติ

1.3 การเปรียบเทียบสูตรสารละลายและความเข้มข้นของธาตุอาหารในการปลูกผักคะน้า

จากผลการทดลองที่ 1.2 พบว่าความเข้มข้นของธาตุ Fe ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคะน้า คือที่ระดับความเข้มข้น 9.6 ppm ดังนั้นจึงมีการปรับสูตรสารละลายที่มีการปรับธาตุอาหารให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของคะน้า โดยมีการปรับธาตุอาหารให้มีปริมาณ N, P, Ca และ Fe สูงขึ้น แต่มีธาตุ P, K, Mg และ S ต่ำลง (สูตรที่ 1 คือสูตรมาตรฐาน และสูตรที่ 2 มีการปรับธาตุอาหาร) โดยเมื่อเปรียบเทียบปลูกคะน้าในสารละลายสูตรที่ 1 และ 2 โดยไม่มีการเปลี่ยนสารละลาย พบว่าการปลูกคะน้าในสารละลายสูตรที่ 2 ได้ผลผลิตมากกว่าเมื่อปลูกในสารละลายสูตรที่ 1 แต่หากมีการเปลี่ยนสารละลายทุกสัปดาห์ในช่วงระยะการปลูก พบว่าสารละลายทั้งสองสูตรไม่ทำให้ผลผลิตคะน้าแตกต่างกัน อย่างไร

ก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนและไม่เปลี่ยนสารละลาย พบว่าการเปลี่ยนสารละลายทุกสัปดาห์มีผลให้คะน้าได้ผลผลิตสูงกว่าการไม่เปลี่ยนสารละลายอย่างชัดเจน

สำหรับการให้สารละลายที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ พบว่าในสภาพการปลูกคะน้าที่มีการเปลี่ยนสารละลาย การให้สารละลายที่ความเข้มข้นสูงสุด (EC = 2.5 mS/cm) จะทำให้คะน้ามีผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่การให้สารละลายที่ความเข้มข้นต่ำจะให้ผลผลิตต่ำที่สุด สำหรับการปลูกในสภาพที่ไม่มีการเปลี่ยนสารละลาย การให้สารละลายที่ความเข้มข้นสูงและปานกลาง ทำให้คะน้ามีผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่ให้ผลผลิตมากกว่าการให้สารละลายที่ความเข้มข้นต่ำ การที่ผักคะน้าให้ผลผลิตสูง ที่ความเข้มข้นของสารละลายสูง (EC = 2.5) แสดงว่าผักคะน้าเป็นพืชที่ทนต่อสภาพความเค็มได้ดี และมีอัตราการดูดธาตุอาหารสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผักสลัดซึ่งมีระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1-2 mS/cm

ตารางที่ 11 ผลของสัดส่วนธาตุอาหาร และความเข้มข้นต่อ ผลผลิตผักคะน้า

	ผลผลิตผักคะน้า (กรัม/ต้น)	
	เปลี่ยนสารละลาย	ไม่เปลี่ยนสารละลาย
สูตรสารละลาย		
สูตรที่ 1	131	98 b[1]
สูตรที่ 2	137	126 a
ความเข้มข้น		
EC = 1.5 mS/cm	114 c	103 b
EC = 2.0 mS/cm	139 b	118 a
EC = 2.5 mS/cm	149 a	115 a
เฉลี่ย	134	112

[1]ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุกสัปดาห์ ทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่เปลี่ยนสารละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น การไม่เปลี่ยนสารละลายอาจมีการสะสมของสารอินทรีย์บางชนิด ซึ่งอาจไปเกาะที่รากของพืชทำให้ผักคะน้าดูดธาตุอาหารได้ลดลง (Çelik et al., 2010) หรืออาจเกิดการสะสมของ Na หรือ Cl ซึ่งมาจากน้ำที่ใช้ หรืออาจเกิดจากการสะสมของธาตุอาหารบางตัวที่พืชดูดใช้น้อยจนทำให้มีความเข้มข้นสูงมาก และอาจไปขัดขวางการดูดธาตุอาหารอื่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าผักคะน้าที่ปลูกในสารละลายสูตรที่ 1 ให้ผลผลิตน้อยกว่าสูตรที่ 2 เมื่อไม่มีการเปลี่ยนสารละลาย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสูตรที่ 1 มีความเข้มข้นของธาตุอาหารไม่เหมาะสมไม่สอดคล้องกับความต้องการ และการดูดใช้ของพืช (จากการทดลอง 1.1) จึง

ทำให้หลังการดูดธาตุอาหารไปแล้วมีธาตุบางตัวเฟ้อโดยเฉพาะ K และสะสมอยู่ในสารละลายสูง จนมีผลในการลดอัตราการดูดใช้ธาตุอาหารอื่นๆ เช่น ธาตุ Mg และ Ca ในขณะที่สารละลายสูตรที่ 2 เมื่อมีการปรับลดสัดส่วนธาตุอาหารให้เหมาะสมกับการดูดใช้แล้ว การไม่สมดุลของธาตุอาหารจึงไม่ใช่ปัญหาในการทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง

2. ผักชี

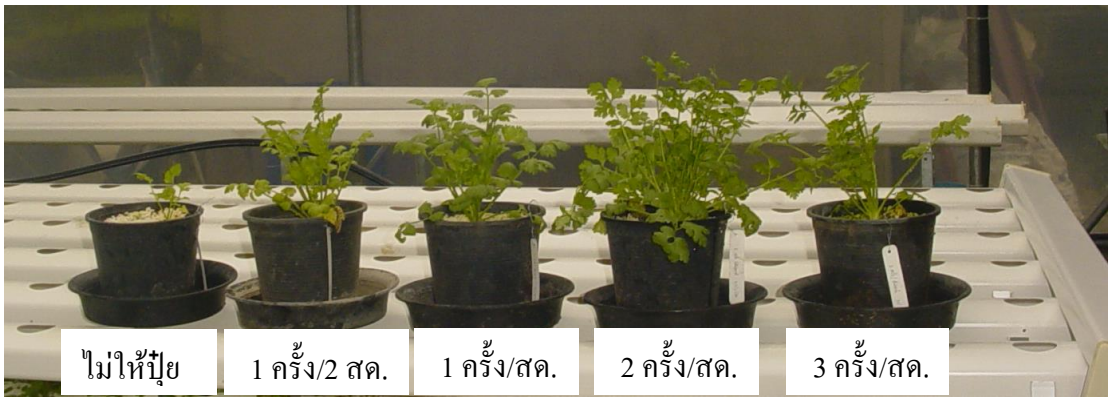
2.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักชีที่ให้ธาตุอาหารแตกต่างกัน

จากผลการทดลองการปลูกผักชีโดยมีการรดปุ๋ยที่ความถี่แตกต่างกัน พบว่าการรดปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์ ทำให้ผักชีมีผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (ภาพที่ 6 และตารางที่ 12) และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในต้นผักชี พบว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืชทั่วๆ ไป (แสดงในตารางที่ 1) (สมศักดิ์ มณีพงศ์, 2537) และพบว่าธาตุ N, P, K, S และ Ca มีความเข้มข้นของธาตุอาหารในต้นผักชีสูงสุด เมื่อรดปุ๋ย 3 ครั้ง/สัปดาห์ ส่วนธาตุ Mg มีความเข้มข้นของธาตุอาหารในต้นผักชีสูงสุดเมื่อรดปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์

ตารางที่ 12 ผลของการให้ธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักชี

ทรีตเมนต์	น้ำหนักสด (ก/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (ก/ต้น)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
ไม่ให้ปุ๋ย	5.40d[1]	0.51d	1.92c	0.57a	0.53b	0.50c	0.11c	0.27c
ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/2 สัปดาห์	19.80c	1.81c	2.20b	0.39b	0.60b	1.16b	0.07c	0.75b
ให้ปุ๋ย 1 ครั้ง/1 สัปดาห์	47.00ab	3.98ab	2.88a	0.50a	2.08a	1.18b	0.29b	1.01a
ให้ปุ๋ย 2 ครั้ง/1 สัปดาห์	58.80a	4.18a	2.88a	0.51a	2.05a	1.63a	0.41a	1.04a
รดปุ๋ย 3 ครั้ง/ 1 สัปดาห์	41.60b	3.91b	2.93a	0.55a	2.10a	1.69a	0.36a	1.10a

[1]ตัวเลขในคอลัมน์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05



ภาพที่ 6 แสดงการเจริญเติบโตของผักชีในแต่ละทรีตเมนต์เรียงจากซ้ายไปขวา

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารที่อยู่ในสารละลาย และในต้นผักชีของทรีตเมนต์ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (รดปุ๋ย 2 ครั้ง/สัปดาห์) พบว่ามีสัดส่วนของธาตุอาหารในต้นผักชีไม่สอดคล้องกับสูตรของสารละลายที่นำมารด (ตารางที่ 13) โดยในสารละลายที่ใช้รดมีความเข้มข้นและสัดส่วนของ K มากที่สุด (42%) รองลงมาคือธาตุ N (27%) แต่ผักชีมีการดูดใช้และสะสม N มากที่สุด (34%) แต่ดูดใช้ธาตุ K เพียง 24% นอกจากนั้นยังพบว่าสัดส่วนของ S และ Ca ที่พบในต้นผักชีสูงถึง 12% และ 19% ในขณะที่ในสารละลายที่ใช้รดมีสัดส่วนเพียง 8 และ 9% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผักชีมีการเลือกดูดใช้ธาตุอาหารตามความต้องการเช่นเดียวกับผักคะน้า ถึงแม้ในสารละลายที่ให้มีสัดส่วนของธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม และการสะสมของธาตุอาหารบางตัวมากเกินไป เช่น K ไม่พบว่าเป็นพิษต่อผักชีในการทดลองนี้เช่นกัน

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบความเข้มข้น และสัดส่วนของธาตุอาหารในสารละลาย และในผักชีที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด (รดปุ๋ย 2ครั้ง/สัปดาห์)

ธาตุอาหาร	สูตรของธาตุอาหารที่ใช้รด		ธาตุอาหารในพืช	
	ความเข้มข้น (ppm)	สัดส่วน (%)	ความเข้มข้น (%)	สัดส่วน (%)
N	208	27	2.88	34
P	62	8	0.51	6
K	332	42	2.05	24
Ca	68	9	1.63	19
Mg	49	6	0.41	5
S	65	8	1.04	12
รวม	784	100	8.50	100

2.2 การหาความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เหมาะสมในการปลูกผักชี

จากผลการทดลองจะพบว่าการให้ธาตุ Fe ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ไม่ทำให้ผักชีมีผลผลิตแตกต่างกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารในผักชี พบว่าธาตุ N, P และ K ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณธาตุ Fe มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14) โดยการให้ธาตุ Fe ที่ความเข้มข้น 9.6 ppm พบว่ามีปริมาณธาตุ Fe ในต้นผักชีสูงที่สุด (203 ppm) รองลงมาคือการให้ธาตุ Fe ที่ความเข้มข้น 7.6 และ 5.6 ppm ตามลำดับ (190 และ 171 ppm ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามผักชีที่ได้รับธาตุ Fe ในระดับต่ำสุด (5.6 ppm) ไม่มีอาการ chlorosis ในใบอ่อน ที่เกิดจากการขาดธาตุ Fe แสดงว่าผักชีมีความต้องการธาตุ Fe ในปริมาณน้อยกว่าคะน้าจึงไม่พบอาการใบเหลืองในใบอ่อน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณ Fe ในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกผักชี

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในผักชีเมื่อใช้ความเข้มข้นของธาตุ Fe แตกต่างกัน

Fe (ppm)	น้ำหนักสด ก/ต้น	น้ำหนักแห้ง ก/ต้น	N (%)	P (%)	K (%)	Fe (ppm)	Chlorosis (%)
5.6	56.4	4.26	2.99	0.56	2.96	171b[1]	-
7.6	55.6	4.92	3.17	0.55	3.12	190ab	-
9.6	59.6	5.03	3.34	0.52	3.10	203a	-
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	-

ns, * = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

[1]ตัวเลขในคอลัมน์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.3 การเปรียบเทียบสูตรและความเข้มข้นของธาตุอาหารในการปลูกผักชี

จากการทดลองที่ 2.2 พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตผักชีคือการให้ธาตุ Fe ที่ความเข้มข้น 5.6 ppm ดังนั้นในการเปรียบเทียบสารละลายสูตรที่ 1 (control) และ 2 ที่มีการปรับธาตุอาหารให้มีปริมาณ N, Ca และ S สูงขึ้น แต่มีธาตุ P, K และ Mg ต่ำ (เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายสูตรที่ 1) พบว่าในการปลูกผักชีในสารละลายสูตรที่ 2 หากไม่มีการเปลี่ยนสารละลายตลอดระยะการปลูกทำให้ผลผลิตผักชีมากกว่าเมื่อปลูกในสารละลายสูตรที่ 1 (ตารางที่ 15) แต่หากมีการเปลี่ยนสารละลายทุกสัปดาห์ พบว่าสารละลายทั้งสองสูตรไม่ทำให้ผลผลิตของผักชีแตกต่างกัน ในการเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนและไม่เปลี่ยนสารละลาย พบว่าในสภาพที่มีการเปลี่ยนสารละลายทำให้ผักชีมีผลผลิตมากกว่า

ตารางที่ 15 ผลของสัดส่วนสูตรสารละลาย และความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อผลผลิตผักชี

	ผลผลิตผักชี (กรัม/ต้น)	
	เปลี่ยนสารละลาย	ไม่เปลี่ยนสารละลาย
สูตรสารละลาย		
สูตรที่ 1	54.3	43.1 b[1]
สูตรที่ 2	57.3	49.2 a
ความเข้มข้น		
EC = 1.5 mS/cm	52.6	45.2
EC = 2.0 mS/cm	57.7	47.3
EC = 2.5 mS/cm	55.9	46.2
เฉลี่ย	55.7	46.2

[1]ตัวเลขในคอลัมน์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตผักชีแตกต่างกันทั้งในสภาพที่มีการเปลี่ยนและไม่เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร สาเหตุที่สารละลายสูตรที่ 2 ให้ผลผลิตผักชีที่สูงกว่าสูตรที่ 1 ในสภาพที่ไม่มีการเปลี่ยนสารละลาย ก็เพราะได้มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของธาตุอาหารพืชให้ใกล้เคียงกับความต้องการของพืช จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมของธาตุตัวใดตัวหนึ่งมากจนเกินไป อย่างไรก็ตามในสภาพที่มีการเปลี่ยนสารละลายสูตรอาหารทั้ง 2 สูตร ผักชีให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน เพราะการเปลี่ยนสารละลายเป็นการทำให้ธาตุอาหารไม่เกิดการสะสมจนขาดความสมดุลไปมากกว่าเดิม

ส่วนสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักชีแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าผักชีสามารถทนต่อความเค็มได้สูง แต่มีการดูดธาตุอาหารช้ากว่า หรือมีความต้องการธาตุอาหารปริมาณน้อยกว่าผักคะน้า จึงไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงขึ้น

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองหาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักคะน้า และผักชี ในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิด ซึ่งใช้ระบบ NFT ทำการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

1) สูตรสารละลายธาตุอาหารที่แนะนำให้ใช้กับผักทั่วๆ ไปของบริษัท Accent Hydroponic ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ปลูกผักคะน้า และผักชี เพราะมีสัดส่วนของธาตุอาหารที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของผักทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากมีความเข้มข้นของธาตุ K สูงเกินไป ในขณะที่มี N และ Ca ต่ำเกินไป
2) ผักคะน้ามีความต้องการธาตุ Fe ปริมาณสูง ซึ่งถ้าในสารละลายมีความเข้มข้นของธาตุ Fe 5.6 ppm จะไม่เพียงพอกับความต้องการของผักคะน้า แต่สำหรับผักชีมีความต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า การให้ธาตุ Fe ที่ 5.6 ppm ก็เพียงพอกับความต้องการ จึงไม่ตอบสนองต่อ Fe ที่ให้สูงกว่า 5.6 ppm
3) เมื่อมีการปรับสูตรของธาตุอาหารในสารละลายสำหรับการปลูกผักทั้ง 2 ชนิด โดยเพิ่มสัดส่วนของธาตุ N, Ca และ Fe แต่ปรับลดธาตุ P, K, Mg และ S ในการปลูกผักคะน้า ส่วนในสารละลายที่ใช้ปลูกผักชีเมื่อเพิ่มธาตุ N, Ca และ S และปรับลด P, K และ Mg พบว่าผักทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยเฉพาะในสภาพการปลูกที่ไม่ต้องมีการเปลี่ยนสารละลาย ซึ่งเป็นการปลูกที่ประหยัดสารละลาย และผู้ผลิตทั่วไปนิยมปฏิบัติมากกว่า ดังนั้นสูตรสารที่ควรแนะนำในการปลูกผักชี และผักคะน้าในระบบ NFT จึงควรมีการปรับสูตรให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารเหมือนกับในสูตรที่ 2 ตามการทดลองที่ 1.3 และ 2.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. 2546. คู่มือวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืช. กรุงเทพฯ. 117 หน้า.

ดิเรก ทองอร่าม. 2546. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ธรรมรักษ์การพิมพ์. ราชบุรี. 640 หน้า.

ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 529 หน้า.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2538. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์. 238 หน้า.

มนูญ ศิรินุพงศ์, อมรรัตน์ หาญสุราษฎร์ และ สุจริต ส่วนไพโรจน์. 2551. เหล็กคีเลตสังเคราะห์ต่อการเจริญเติบโตของต้นคะน้าที่ปลูกในสารละลาย. ว. วิทย์. กษ. 39(3): 404-407.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2537. การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 200 หน้า.

โสระยา ร่วมรังษี. 2544. การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 80 หน้า.

อภิชัย อารยะเจริญชัย. 2552. สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืช. [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.sc.mahidol.ac.th

Asri, F. O. 2012. Effects of different potassium and iron levels on seasonal changes of nutrient concentrations of tomato plant grown in soilless culture. Afr. J. Res. 7(1):28-33.

Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders in plants. Annual Review of Phytopathology 17: 79-112.

Bugbee, B. 2003. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. In South Pacific Soilless

ÇELÍK, H., AŞIK, B., GÜRE, S. and KATKAT, A. V. 2010. Effects of potassium and iron on macro element uptake of maize. Zemdirbyste-Agriculture. 97(1):11-22.

Culture Conference. Feb 11, 2003. Palmerton North, New Zealand.

Graves, C.I. 1983. The Nutrient Film Technique. Hort. Rev. 5: 1-44.

Jones, J. B. 1997. Hydroponic: A Practical Guide for the Soilless Grower. Florida. St. Lucie Press. 230.

Lopez, I., Tremblay, N., Voogt, W., Dube, S. and Oosselin, A. 1996. Effect of varying sulphate concentration on growth physiology and yield of the greenhouse tomato. Sci. Hort. 67: 207-217.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Pervez. H., Makhdum. M. I. and Ashraf. M. 2006. The interactive effects of potassium nutrition on the uptake of other nutrients in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under an arid environment. Jour. Chem. Soc. Pak. 28(3):256-264.

Pilbeam, D.J. and P.S. Morley. 2007. Calcium. In Handbook of Plant Nutrition. (A.V. Barker and D.J. Pilbeam eds.), CRC Press, Tayor and Francis Group, New York.

Raviv. M., Krasnorski, A., Medina, S. and Reuveni, R. 1998. Assessment of various control strategies for recirculation of greenhouse effluents under semiarid condition. J.Hort.73:485-491.

Romheld, V. and Nikolic, M. 2007. Iron. In Handbook of Plant Nutrition. (A.V. Barker and D.J. Pilbeam eds.), CRC Press, Tayor and Francis Group, New York.

Ujwalaranade-Malvi. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karnataka J. Agric. Sci. 24(1):106-109.

Yu, I.Q. and Matsui. I. 1993. Extraction and identification of phytotoxic substances of accumulate in nutrient solution for the hydroponics culture of tomato. Soil Sci. Plant Nitr. 39: 691-700.

Zekki, H., Ganthier, L., and Gosselin, A. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. J. Am. Soc Hort. Sci. 121: 1082-1088.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์พืช

การย่อยสลายตัวอย่างพืช

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Analytical balance
2. Digestion block
3. Hot plate
4. Digestion tube
5. Volumetric flask 50, 100, 1000, 2000 ml
6. Pipette 5, 10 ml
7. Filter paper No. 42
8. H_2SO_4 98%
9. Mixed acid: HNO_3 (conc.) + $HClO_4$ (conc.) = 5 : 3
10. Mixed catalyst

ชั่ง Na_2SO_4 500 g + $CuSO_4$ 5 g. + Se 2.5 g บดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนการย่อยสลายตัวอย่างพืช

1. Wet digestion สามารถทำได้หลายวิธีการดังนี้

วิธีที่ 1

1. ชั่งตัวอย่างพืช 0.2000 – 0.3000 g ใส่ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง
2. ใส่ mixed catalyst 0.2-1 g แล้วเติม conc.H_2SO_4 5 ml ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนใน Digestion block
3. เปิดอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 400 องศาเซลเซียส
4. เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้สารละลายสีเขียวใส นำหลอดย่อยออกจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้จนเย็น
5. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยช้าๆ เขย่า และปรับปริมาตรเป็น 50 ml เก็บสารละลายไว้ในขวดพลาสติก เพื่อนำไปกลั่นหาปริมาณธาตุ N ต่อไป

วิธีที่ 2

1. ชั่งตัวอย่างพืช 0.2000-0.3000 g ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง
2. เติม mixed acid 5 ml ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน digestion block
3. เปิดอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสแล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิ ไปจนถึง 200 องศาเซลเซียส
4. เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้สารละลายใส นำหลอดย่อยออกจาก digestion block ตั้งไว้จนเย็น
5. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อยช้าๆ เขย่า กรอง และปรับปริมาตรเป็น 50 ml เก็บสารละลายไว้ในขวดพลาสติก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ P, K, Ca และ S

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Distillation apparatus
2. Magnetic stirror
3. Buret
4. เครื่องแก้วต่างๆที่จำเป็น
5. 32% NaOH โดยละลาย 320 g.NaOH ในน้ำกลั่น 600 ml ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 ml
6. Boric acid indicator
   6.1 ละลาย 40 g H_3BO_3 ในน้ำร้อน 700 ml ทิ้งไว้ให้เย็น
   6.2 mixed indicator solution ละลาย 0.33 g bromocresol green และ 0.165 g methyl red ใน ethanol 500 ml นำสารละลายจาก 6.1 รวมกับ 20 ml ของสารละลายของ 6.2 ใน volumetric flask ขนาด 1000 ml ที่มี ethanol อยู่ 200 ml ผสมให้เข้ากัน แล้วค่อยๆ เติม 0.05 N NaOH เมื่อนำสารละลายนี้ 1 ml มาผสมกับน้ำ 1 ml สารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูปนม่วงเป็นสีเขียว จากนั้นจึงปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น
7. 0.1 N H_2SO_4 โดยละลาย standard H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.1 N ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 ml ใน volumetric flask

วิธีการ

การกลั่น (Distillation)

1. pipette สารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่าง 20 ml ใส่ลงไปในหลอดกลั่น (distillation tube)
2. เติมน้ำกลั่น 75 ml ลงในหลอดกลั่น (distillation tube)
3. เติม 50 ml 40% NaOH ทำการกลั่น N ซึ่งอยู่ในรูปของ $(NH_4)_2SO_4$ จะถูกเปลี่ยนเป็น NH_3

4. เก็บ NH_3 ที่กลั่นได้ ซึ่งจะออกมาในรูปของ NH_4OH ด้วย Boric acid indicator solution 20 ml ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml กลั่นจนกระทั่งได้สารละลายปริมาตร 150 ml
5. นำไปไทเทรตด้วย 0.1 N H_2SO_4 จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณ N ในพืช

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในพืช

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Spectrophotometer
2. Erlenmeyer flask
3. Volumetric flask
4. Pipette
5. เครื่องแก้วต่างๆ ที่จำเป็น
6. น้ำยาที่ทำให้เกิดสี ammonium vanadomolybdate หรือ Barton' reagent ประกอบด้วย
   6.1 น้ำยา A เตรียมจากสารละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4\ H_2O$ (ammonium molybdate: 25 g ในน้ำกลั่น 400 ml
   6.2 น้ำยา B เตรียมจากแอมโมเนียเมตาวานาเดท (ammonium meta vanadate-NH_4VO_3) 1.25 g ในน้ำกลั่นที่อุ่นให้ร้อน 300 ml ทิ้งให้เย็นแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 300 ml
   6.3 นำ A และ B มาผสมกัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

1. การเตรียม working standard เพื่อทำ standard curve โดยดูดสารละลายจากสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 ppm ใส่ใน volumetick flask ขนาด 50 ml เพื่อเตรียม standard 0, 2, 4, 6, 8 ppm

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเป็น ppm	*จำนวน ml ที่ pipette จาก standard P 50 ppm*
0	0
2	1
4	2
6	3
8	4

ก่อนจะปรับปริมาตร working standard เติม blank ของตัวอย่างพืช (เตรียมพร้อมกับการย่อยสลายตัวอย่าง) ลงไป 5 ml เติมน้ำยา Barton ลงไป 5 ml เขย่าให้เข้ากันปรับปริมาตรเป็น 25 ml สำหรับ flask

ของ standard ที่เป็น 0 ไม่ใส่ standard P 50 ppm แต่ใส่ Blank 5 ml เหมือน flask อื่นๆ พร้อมทั้งน้ำยา Barton ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีประมาณ 30 นาที

2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง เตรียมโดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5 ml ลงใน Volumetric flask ขนาด 25 ml เติมน้ำยา Barton 5 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ด้วยน้ำกลั่นและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีสมบูรณ์ประมาณ 30 นาที วัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer
3. ก่อนการวัดตัวอย่างอุ่นเครื่อง UV Spectrophotometer ไว้ประมาณ 30 นาที set ความยาวของช่วงคลื่นไว้ที่ 420 nmโดยทำ standard curve จาก working standard 0, 2, 4, 6, 8 ก่อนแล้วจึงวัดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบสีที่เกิดจากตัวอย่างพืชและ standard ซึ่งจะบอกความเข้มข้นเป็น ppm
4. การคำนวณหาปริมาณ P ในตัวอย่าง (หน่วยเป็น ppm)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นโลหะในพืช

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Atomic absorbtion spectrophotometer
2. Flame photometer
3. สารละลายมาตรฐาน

3.1 stock standard 1000 mg/L K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu

ละลาย KCl A.R. grade ที่อบให้แห้ง จำนวน 1.907 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตร เป็น 1 ลิตร Stock standard Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ใช้ Standard สำเร็จรูปสำหรับ Atomic absorbtion spectrophotometer ในรูปสารละลายเข้มข้น 1000 ppm ที่บรรจุขวด หรือ ampule

3.2 intermediate standard 100 g/L

pipet stock standard solution 10 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml ปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีการ

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม

1.ทำ working standard set จาก intermediate standard ความเข้มข้น 100 g/L.K ให้มีความเข้มข้น 5,10,15,20, g/L.K ในน้ำกลั่น
2. วัดปริมาณโพแทสเซียม ด้วยเครื่อง Flame photometer โดยทำการวัด working standard เพื่อทำ standard curve แล้ววัดตัวอย่าง
3.เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ของตัวอย่างกับ standard curve แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณ K ในพืช

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม

1. ทำ Working standard solution จาก intermediate standard ให้มีความเข้มข้นดังนี้

Ca	5, 10, 15, 25, 30 g/L
Mg	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 g/L

2. นำตัวอย่างสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายโดยวิธี Wet digestion มาวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม และ แมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ wave length, slit width เฉพาะของแต่ละธาตุ

	Wavelength (nm)	Slit width (mm)
Ca	422.7	0.7
Mg	285.2	0.7

3. นำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AAS มาคำนวณหาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม

วิธีวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง

1. ทำ Working standard solution จาก intermediate standard ให้มีความเข้มข้นดังนี้

Fe	2, 4, 6, 8, 10 g/L
Mn	2, 4, 6, 8, 10 g/L
Zn	1, 2, 3, 4, 5 g/L
Cu	1, 2, 3, 4, 5 g/L

2. นำสารละลายที่ย่อยสลายโดยวิธี Dry ashing มาวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometerที่ wave length, slit width เฉพาะของแต่ละธาตุดังนี้

	Wavelength (nm)	Slit width (mm)
Fe	372.0	0.2
Mn	279.8	0.2
Zn	213.9	0.7
Cu	324.7	0.7

3. นำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง AAS มาคำนวณหาปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี