บทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการและต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ROLES OF SOLUBLE SILICON ON IN VITRO GROWTH OF PYTHIACEAE FUNGI AND HYDROPONICALLY-GROWN VEGETABLES

วรางคณา นกอยู่
WARANGKANA NOKYOO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-82-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการและต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ROLES OF SOLUBLE SILICON ON *IN VITRO* GROWTH OF PYTHIACEAE FUNGI AND HYDROPONICALLY-GROWN VEGETABLES

วรางคณา นกอยู่

WARANGKANA NOKYOO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-82-2

ROLES OF SOLUBLE SILICON ON *IN VITRO* GROWTH OF PYTHIACEAE FUNGI AND HYDROPONICALLY-GROWN VEGETABLES

WARANGKANA NOKYOO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN PLANT PEST MANAGEMENT TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-9546-82-2

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการและต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
นักศึกษา	นางสาววรางคณา นกอยู่
รหัสประจำตัว	40066301
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ถนิมนันต์ เจนอักษร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร. ศุภชัย รตโนภาส
	รศ.ดร. มยุรา สุนย์วีระ

บทคัดย่อ

จากรายงานผลสำเร็จในต่างประเทศของการนำสารละลายซิลิคอนมาใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช และส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น พอจะประเมินได้ว่าสารละลายซิลิคอนน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทนการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา และยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่พืชปลูกได้อีกด้วย อันจะเป็นการลดผลตกค้างของสารเคมีในพืชและสิ่งแวดล้อม ที่สอดคล้องกับกระแสโลกด้านการเกษตรแบบยั่งยืน (sustainable agriculture) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้ดำเนินการขึ้นเพื่อศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ และต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่1 การศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum*) ในสภาพห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่า สารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250, 500, 750 และ 1,000 ppm) มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทุกชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งทางด้านการเจริญเติบโตทางเส้นใย (ขนาดโคโลนี และน้ำหนักเส้นใย) และการสร้าง sporangium ของเชื้อรา โดยการยับยั้งดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของซิลิคอนที่สูงขึ้น ส่วนที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) วางแผนการทดลองแบบ 3x5x2 Factorials in Completely Randomized Design จำนวน 9 ซ้ำ โดยปัจจัย A และ B คือ ชนิดของสารละลายซิลิคอน (โซเดียมซิลิเกต : $Na_2Si_3O_7$, โพแทสเซียมซิลิเกต : $K_2Si_3O_7$, และซีโอไลท์) และระดับความเข้มข้น (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) ซึ่งให้ทางราก (โดยผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) และปัจจัย C คือ การพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ (โซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm) ทดลองกับพืชผัก 5 ชนิด คือ ผักกาดขาวกวางตุ้ง (Chinese cabbage; *Brassica campestris* L. var. *chinensis* : Cruciferae)

ผักกาดหอม (Lettuce; *Lactuca sativa* L. : Compositae) ผักกาดกุง (Phakkat kung; *Brassica* sp. : Cruciferae) ขึ้นฉ่าย (Celery; *Apium graveolens* L. : Umbelliferae) และวอเตอร์เครส (Watercress; *Nasturtium officinale* R. Br. : Brassicaceae) ผลปรากฏว่า สารละลายซิลิคอนที่ให้ทางรากทุกชนิดและทุกระดับความเข้มข้น ทำให้ผลผลิตของพืชผักทุกชนิดเพิ่มขึ้น ยกเว้นขึ้นฉ่าย ส่วนการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบนั้นมีผลเสริมให้ผลผลิตของผักกาดหอม และวอเตอร์เครส เพิ่มขึ้นไปอีก แต่ไม่มีผลต่อผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดกุง และปัจจัยทั้งสามนั้นมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน และส่วนที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT) วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorials in Completely Randomized Design จำนวน 8 ซ้ำ โดยปัจจัย A และ B คือ 5 ระดับความเข้มข้นของซิลิคอนที่ให้ทางราก (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) และ 2 ระดับความเข้มข้นที่พ่นทางใบ (500 และ 0 ppm) พืชผักทดลองเป็นกลุ่มเดียวกันกับที่ใช้ทดลองในระบบ DFT พบว่า สารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากซีโอไลท์จะช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชผักทดลองทุกชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งช่วงระดับความเข้มข้นที่ช่วยเพิ่มผลผลิตจะแตกต่างกันไปในแต่ละพืชผัก ดังนี้ ผักกาดหอม และวอเตอร์เครส 100-200 ppm ผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดกุง 150-200 ppm และขึ้นฉ่าย 200 ppm ส่วนการพ่นสารซิลิคอนทางใบร่วมด้วยนั้นไม่มีผลเสริมต่อการเพิ่มผลผลิตของผักทดลองแต่อย่างใด นอกจากนี้ตลอดการทดลองของทั้งสองระบบปลูก (ระบบ DFT และ NFT) ไม่พบการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp.)ในสารละลายธาตุอาหารพืช สำหรับการทดสอบด้านรสชาติของผักทดลองที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเปรียบเทียบกับผักในสิ่งทดลองควบคุม โดยใช้ผักกาดขาวกวางตุ้งเป็นตัวแทนของผักทดลองทั้งหมด พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อสีของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน ส่วนความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ไม่ได้แตกต่างไปจากผักในสิ่งทดลองควบคุม

Thesis Title	Roles of Soluble Silicon on *In Vitro* Growth of Pythiaceae Fungi and Hydroponically-Grown Vegetables
Student	Miss Warangkana Nokyoo
Student ID.	40066301
Degree	Master of Science
Programme	Plant Pest Management Technology
Year	2002
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Tanimnun Jaenaksorn
Thesis Co-adviser	Assoc. Prof. Dr. Supachai Ratanopas
	Assoc. Prof. Dr. Mayura Soonweera

ABSTRACT

Reviewing the reports concerning the current status of soluble silicon (Si) in horticulture primarily in relative to plant protection against fungal diseases and promote the growth of plant in hydroponics, it is evidently that soluble Si would be an alternative measure for controlling the fungal diseases from which can reduce the residue in crop and ecosystem. This research was conducted in order to study the roles of soluble Si on *in vitro* growth of Pythiaceae fungi and hydroponically grown vegetables. The research was divided into 3 parts. Part I was a study on the effect of soluble Si on *in vitro* growth of Pythiaceae fungi (*Phytophthora palmivora, P. parasitica* and *Pythium aphanidermatum*). The results showed that all tested concentrations of soluble Si (250, 500, 750 and 1,000 ppm) significantly inhibited vegetative growth (colonial diameter and mycelial weight) as well as reproductive growth (sporangium production) of all tested fungi. Besides, the inhibition effect was increased according to the increase of Si concentrations. Part II was the study on the effect of soluble Si on growth of vegetables in Deep Flow Technique (DFT). Three x five x two factorials with 9 replications in Completely Randomized Design was employed. Factor A and B were sources (sodium silicate: $Na_2Si_3O_7$, potassium silicate: $K_2Si_3O_7$ and zeolite) and concentrations (0, 50, 100, 150 and 200 ppm) of Si applied as root application meanwhile factor C was two concentrations (0 and 500 ppm) of sodium silicate used as foliar application. The tested vegetables were Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. var. *chinensis* : Cruciferae), lettuce (*Lactuca sativa* L. : Compositae), phakkat kung (*Brassica* sp. : Cruciferae), celery (*Apium graveolens* L. : Umbelliferae) and watercress (*Nasturtium officinale* R. Br. : Brassicaceae). The results showed that overall Si application significantly

improved the growth of all tested vegetables (except celery) compared to its corresponding control. Besides, an additive effect of foliar application on root application was found on two vegetables (lettuce and watercress). No additive effect of foliar application was observed on Chinese cabbage and Chinese tempala. Part III was the study on the effect of zeolite on vegetables grown in Nutrient Film Technique (NFT). Five x two factorials in Completely Randomized Design was employed. Factor A and B were 5 concentrations (0, 50, 100, 150 and 200 ppm) and 2 concentrations (0 and 500 ppm) of zeolite applied as root and foliar application, respectively. The tested vegetables were the same as those in part II. The result showed that zeolite significantly promoted the growth of all tested vegetables. However, its promotion effect still differed among the vegetables according to its concentration, that is lettuce and watercress was best promoted by 100-200 ppm of zeolite, Chinese cabbage and Chinese tempala: 150-200 ppm, celery: 200 ppm. No additive effect of foliar application on root application was found on any tested vegetables. Besides, natural contamination of Pythiaceae was not found throughout the both experiments.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยคำแนะนำและปรึกษาจาก ผศ.ดร. ถนิมนันต์ เจนอักษร อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. ศุภชัย รตโนภาส และรศ.ดร.มยุรา สุนย์วีระ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณวีระฉีย์ ทองศรี นักวิชาการ และคุณรัตนา คงบุญ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ และคุณพรประพา คงตระกูล รุ่นน้องปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมถึงให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลอง ตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยทำการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณสุรีรัตน์ อิทธโยภาสกุล และเพื่อนๆ ทุกคน ที่กรุณาจัดหาตัวอย่างโรคพืช เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง และเป็นกำลังใจให้ต่อสู้กับอุปสรรคต่างๆ มากมายที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษา

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ผู้ซึ่งเป็นแรงสำคัญที่ผลักดันให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรางคณา นกอยู่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....XIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....3

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....5

สถานการณ์การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....6

โรคที่ตรวจพบในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....6

การเข้าทำลายพืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยเชื้อรา

กลุ่ม Pythiaceae.....7

บทบาทของสารละลายซิลิคอน.....9

สารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืช.....9

การใช้สารละลายซิลิคอนป้องกันและกำจัดโรคพืชในต่างประเทศ.....11

การใช้สารละลายซิลิคอนป้องกันและกำจัดโรคพืชในประเทศไทย.....13

สารซีโอไลท์.....14

การใช้สารซีโอไลท์ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....16

สถานที่ดำเนินการทดลอง.....26

ระยะเวลาดำเนินการทดลอง.....26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....27

4.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ.....27

4.1.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae.....27

4.1.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae.....36

4.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT).....60

4.2.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT.....60

4.2.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อความอยู่รอดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนในในระบบ DFT.....98

4.2.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT.....98

4.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT).....102

4.3.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT.....102

4.3.2 อิทธิพลของสารละลายซีโอไลท์ที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อความอยู่รอดของเชื้อราที่ปนเปื้อนในระบบ NFT.....129

4.3.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT.....129

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการวิจัย.....133

บทที่ 6 สรุปผลการวิจารณ์และข้อเสนอแนะ.....136

บรรณานุกรม.....138

ภาคผนวก.....142

ภาคผนวก ก รายละเอียดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่นำมาทดลอง.....143

ภาคผนวก ข รายละเอียดสารละลายธาตุอาหารพืชในการทดลอง.....149

ประวัติผู้เขียน.....151

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ขนาดโคโลนีเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....29

4.2 ขนาดโคโลนีเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....30

4.3 ขนาดโคโลนีเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....31

4.4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthoara palmivora* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....33

4.5 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthoara parasitica* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....34

4.6 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....35

4.7 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช.....37

4.8 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช.....41

4.9 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช.....45

4.10 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำและผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....49

4.11 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำ และผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....53

4.12 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatium* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำ และผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....62

4.14 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....63

4.15 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....64

4.16 น้ำหนักสด และแห้ง ของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....65

4.17 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....71

4.18 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....72

4.19 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดหอมกันที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....73

4.20 น้ำหนักสดและแห้ง ของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืช 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....74

4.21 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.22 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ กัน ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....80

4.23 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ กัน ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....81

4.24 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....82

4.25 จำนวนก้านเฉลี่ย (ก้าน/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ กัน ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....87

4.26 ความสูงต้นเฉลี่ย (ซม./ก้าน) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ กัน ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....88

4.27 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....89

4.28 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ราก) ของต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....94

4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผู้ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารละลายซิลิคอน) กับตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน) ที่ปลูกในระบบ DFT.....100

4.30 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกพึงพอใจในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ปลูกในระบบ DFT (ผู้ทดสอบจะตอบว่าพึงพอใจในผักตัวอย่างทดสอบ หรือ ผักตัวอย่างมาตรฐาน เมื่อรู้สึกว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกัน).....101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.31 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน 104

4.32 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน 105

4.33 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน 106

4.34 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน 107

4.35 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....110

4.36 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....111

4.37 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....112

4.38 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....113

4.39 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....116

4.40 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม/ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....117

4.41 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.42 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....119

4.43 จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ก้าน/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายอายุที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆกัน.....122

4.44 ความสูงก้านใบ (ซม./ก้าน) ของต้นขึ้นฉ่ายอายุที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆกัน.....123

4.45 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....124

4.46 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....127

4.47 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผู้ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารซีโอไลท์) กับตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารซีโอไลท์) ที่ปลูกในระบบ NFT.....131

4.48 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกพึงพอใจในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารซีโอไลท์ และปลูกในระบบ NFT (ผู้ทดสอบจะตอบว่าพึงพอใจในผักตัวอย่างทดสอบ หรือ ผักตัวอย่างมาตรฐาน เมื่อรู้สึกว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกัน).....132

1 ข ค่าความเข้มข้น (mS/cm.) ของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ผสมสารละลายซิลิคอนชนิดต่างๆ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างแล้ว).....150

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	ระบบการปลูกพืชผักโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT).....	21
3.2	การเตรียมต้นกล้าเพื่อปลูกในระบบ Deep Flow Technique (DFT).....	21
3.3	ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT).....	24
3.4	การเพาะต้นกล้าเพื่อปลูกในระบบ DFT.....	24
4.1	โคโลนีเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	29
4.2	โคโลนีของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	30
4.3	โคโลนีของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	31
4.4	เชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	33
4.5	เชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	34
4.6	เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงในในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	35
4.7	การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า).....	38
4.8	การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า).....	39
4.9	การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า).....	42
4.10	การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า).....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.11 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า).....46

4.12 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ และกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า).....47

4.13 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า).....50

4.14 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) (กำลังขยาย 100 เท่า).....51

4.15 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) (กำลังขยาย 100 เท่า).....54

4.16 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) (กำลังขยาย 100 เท่า).....55

4.17 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) (กำลังขยาย 100 เท่า).....58

4.18 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) (กำลังขยาย 100 เท่า).....59

4.19 ต้นผักกาดกวางตุ้งฮ้องเต้ที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....66

4.20 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโพแทสเซียมซิลิเกตระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....67

4.21 ต้นผักกาดกวางตุ้งฮ้องเต้ที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.22 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....75

4.23 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโพแทสเซียมซิลิเกตระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....76

4.24 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....77

4.25 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....83

4.26 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโพแทสเซียมซิลิเกตระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....84

4.27 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....85

4.28 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....90

4.29 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโพแทสเซียมซิลิเกตระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....91

4.30 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.31 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....95

4.32 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งโพแทสเซียมซิลิเกตระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....96

4.33 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนจากแหล่งซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ.....97

4.34 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....108

4.35 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....114

4.36 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....120

4.37 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....125

4.38 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน.....128

1 ก ใบกล้วยไม้ที่แสดงอาการใบเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction).....144

2 ก ผลมะเขือยาวที่แสดงอาการผลเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction).....146

3 ก ต้นกล้าผักคะน้าที่แสดงอาการโคนเน่ารากเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction).....148

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ศักยภาพของเทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics) นั้น เป็นที่ยอมรับและนิยมกันอย่างแพร่หลายในการนำมาผลิตพืชผักและไม้ดอกเป็นการค้า ทั่วทั้งประเทศแถบทวีปยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศที่มีความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบผลิตพืชที่ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของตลาด ใช้พื้นที่และแรงงานการผลิตต่ำ และการผลิตพืชในระบบดังกล่าวนิยมกระทำในโรงเรือนที่มิดชิด ทำให้สามารถป้องกันการเข้าทำลายของแมลงศัตรูต่างๆ ได้ อีกทั้งยังหลีกเลี่ยงปัญหาด้านโรคพืชที่มีสาเหตุมาจากดิน (soil-borne diseases) ส่งผลให้ความจำเป็นในการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดโรคและแมลงลดลง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่าระบบผลิตพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น สอดคล้องกับกระแสโลกเรื่องการเกษตรยั่งยืน (sustainable agriculture) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Benoit. 1992; Ikeda. 1989; Resh. 1981) แต่อย่างไรก็ตามหากในระหว่างการปฏิบัติจริงไม่ทำการรักษาความสะอาดให้ระบบอย่างเคร่งครัดแล้ว ก็จะสามารถตรวจพบเชื้อสาเหตุโรคพืชปนเปื้อนเข้ามาในระบบ และลุกลามไปจนก่อความเสียหายให้แก่พืชปลูกได้เช่นกัน โดยเฉพาะเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ซึ่งเป็นราน้ำกลุ่ม Pythiaceae เชื้อสาเหตุโรคโคนเน่ารากเน่าที่สำคัญของการผลิตพืชในระบบ Hydroponics ที่พบรายงานถึงอยู่เสมอทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเชื้อราดังกล่าวจะผลิต zoospore (ผลิตใน sporangium) เข้าทำลายพืชอาศัย ซึ่งส่วนของ zoospore นี้เองที่ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวงจรการเข้าทำลายพืชของเชื้อราดังกล่าว จากนั้น zoospore จะแพร่กระจายผ่านทางสารละลายไปทั่วทั้งระบบอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบที่ให้สารละลายแบบหมุนเวียน (recirculating system) นั้น จะมีส่วนส่งเสริมการแพร่ระบาดของเชื้อโรคให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น (พรหมมาศและคณะ. 2539; Rumine and Infantino. 1994; Stanghellini *et al.*; 1996b) และเมื่อการระบาดรุนแรงขึ้น ทำให้จำเป็นต้องนำสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicide) เข้ามาใช้ควบคุม เป็นผลให้ข้อดีในด้านการไม่ส่งผลตกค้างต่อสภาพแวดล้อมจากสารเคมีของการผลิตพืชในระบบนี้สูญเสียไป

แต่อย่างไรก็ดี จากการศึกษาผ่านผลงานวิชาการต่างประเทศ จะเห็นได้ถึงความพยายามอย่างต่อเนื่องเพื่อหาหนทางแก้ไขปัญหา ที่จะลดการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคพืชในระบบการผลิตพืชแบบไม่ใช้ดิน เพื่อคงไว้ซึ่งการรักษาระบบนิเวศน์วิทยาให้ได้สูงสุด และพบว่าสารซิลิคอนถูกนำมาเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อควบคุมโรคในระบบ Hydroponics แต่ยังไม่มีรายงานถึงกลไกการทำงานของสารซิลิคอนในพืชอย่างชัดเจนว่า สารซิลิคอนทำหน้าที่ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ

มีบทบาทในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยตรง หรือ ทั้งสองด้าน ซึ่งไม่ว่าจะเป็นในแง่ใดก็ตาม ล้วนแต่มีผลทำให้สามารถลดการใช้สารเคมีควบคุมโรคพืชลงได้ ที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นคือยังไม่พบรายงานถึงการเป็นพิษหรือการทำลายสภาพแวดล้อมของสารละลายซิลิคอนเลย (Belanger *et al.* 1995)

ในต่างประเทศมีรายงานการนำสารซิลิคอนมาควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่า โรคราแป้งขาว ในพืชตระกูลแตง มะเขือเทศ ผักกาดขาว กุหลาบ และองุ่น เป็นต้น และยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชเหล่านั้นอีกด้วย โดยในพืชตระกูลแตงจะมีการติดผลดีขึ้น มีการพัฒนาของดอกเป็นไปอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Belanger *et al.* 1995; Menzies *et al.* 1992) ส่วนในประเทศไทยเองก็ได้มีการทดลองนำสารละลายซิลิคอนมาใช้ในเขตพื้นที่ลาดกระบังเช่นกัน โดยผลการทดลองพบว่า สารละลายซิลิคอนมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตทั้งทางด้าน vegetative growth และ reproductive growth ของเชื้อรา *Pythium sp.* และ *Fusarium sp.* ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสามารถลดการเกิดโรคพร้อมทั้งช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตแก่แตงกวาพันธุ์ยุโรปที่ปลูกในสภาพเรือนทดลองได้ (ถนิมนันต์ เจนอักษร และวรางคณา นกอยู่. 2541) ทำให้ประเมินได้ว่า สารละลายซิลิคอนน่าจะสามารถนำมาใช้ควบคุมโรคแก่พืชที่ปลูกในระบบ Hydroponics ในสภาพประเทศไทยได้ แต่จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมถึงด้านชนิดพืช ชนิดเชื้อโรค ความเข้มข้นหรืออัตราที่เหมาะสม และกลไกการทำงานของซิลิคอน เพื่อคุณประโยชน์สูงสุดต่อการนำมาใช้ในประเทศไทย

แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการนำสารละลายซิลิคอนมาใช้ในประเทศไทย กล่าวคือ สารละลายซิลิคอน (โซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกต) ที่นำมาใช้ทดลองนั้นยังต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง จึงอาจเป็นปัญหาเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญต่อการนำผลการทดลองไปเผยแพร่เพื่อใช้จริงในสภาพประเทศไทยได้ ซึ่งในต่างประเทศเองก็มีรายงานถึงปัญหาด้านราคาของซิลิคอนด้วยเช่นกัน (Alvarez and Datnoff. 1999) ดังนั้นจึงเริ่มมีการนำสารปลดปล่อยซิลิคอนชนิดอื่นๆ มาทดลองใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านต้นทุน เช่น ในประเทศนิวซีแลนด์ได้ทดลองนำ pyrophyllitic clay (เป็นดินชนิดหนึ่งที่มีซิลิคอนเป็นองค์ประกอบ ราคาถูก) มาใช้เป็นแหล่งซิลิคอนให้แก่พืชที่ปลูกในระบบ Hydroponics ซึ่งผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า pyrophyllitic clay สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชทดลองได้เป็นอย่างดี (ผักสลัด สตรอเบอร์รี่ และถั่วแคระ) และเมื่อใส่ลงไปในสารละลายแล้วไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เหมือนโพแทสเซียมซิลิเกต และโซเดียมซิลิเกต (Morgan. 1999) และจากรายงานของ นิคม จึงอยู่สุข (2538) และ สิโรฒม์ ศัลย์พงษ์ (2542) ถึงการผลิตซีโอไลท์ (zeolite) จากบริเวณแหล่งภูเขาไฟในประเทศไทย โดยซีโอไลท์ที่ผลิตได้อยู่ในรูปของสารเชิงประกอบซิลิเกตของอะลูมินัม (aluminosilicate) ที่มีสัดส่วนของธาตุซิลิคอน 75.96 เปอร์เซ็นต์ และจะปลดปล่อยธาตุซิลิคอนออกมาในรูปของกรดโมโนซิลิซิค (H_4SiO_4) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ ดังนั้นซีโอไลท์จึงน่าที่จะใช้เป็นแหล่งซิลิคอนได้อีกชนิดหนึ่งซึ่งจะช่วยให้ลดปัญหาด้านราคาลงได้ อีกทั้งสะดวกในการจัดหามาใช้ และในต่างประเทศ

เองก็เริ่มมีการทดลองนำซีโอไลท์มาใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินบ้างแล้วเช่นกัน (Fukuyama *et al.* 1995; Postnikov *et al.* 1996)

จากความสำคัญของซิลิคอนดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ดำเนินการทดลองศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ และต่อการเจริญเติบโตของพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสารละลายดังกล่าวให้แน่ชัดมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณานำสารละลายดังกล่าวมาใช้ควบคุมโรคพืชทดแทนการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา (fungicide) และเพิ่มศักยภาพการผลิตพืชในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ทั้งทางด้านการเจริญทางเส้นใย และการสร้าง sporangium ในสภาพห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และความอยู่รอดของเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในระบบปลูก
3. เพื่อศึกษาการนำสารละลายซิลิคอนมาใช้ควบคุมโรคในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อทดแทนการใช้สารเคมี (fungicide)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ ได้ทำการศึกษาถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน 5 ระดับ (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) ต่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum*) ต่อด้านการเจริญเติบโตทางเส้นใย (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี และน้ำหนักเส้นใย) และทำการศึกษาถึงระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอน 5 ระดับ (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) และชนิดสารละลาย (น้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช) ต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อราที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปกระตุ้นให้สร้าง sporangium และปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อราที่เจริญบนอาหาร PDA แล้วนำไปแช่ในสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

การศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) และ Nutrient Film Technique (NFT) ทำการทดลองกับพืชผัก 5 ชนิด

คือ ผักกาดขาวกวางตุ้ง (Chinese cabbage; *Brassica campestris* L. var. *chinensis* : Cruciferae) ผักกาดหอม (Lettuce; *Lactuca sativa* L. : Compositae) ผักกาดกุง (Phakkat kung; *Brassica* sp. : Cruciferae) ขึ้นฉ่าย (Celery; *Apium graveolens* L. : Umbelliferae) และวอเตอร์เครส (Watercress; *Nasturtium officinale* R. Br. : Brassicaceae) โดยในระบบ DFT ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของ 3 ปัจจัยร่วมกัน คือ ชนิดสารละลายซิลิคอน (โซเดียมซิลิเกต โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์) ระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) ที่ให้ทางรากโดยผสมลงในสารละลายธาตุอาหารพืช และการพ่นทางใบ (โซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm) สำหรับในระบบ NFT ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของ 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ที่ให้ทางราก (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) และการพ่นทางใบ (500 และ 0 ppm) ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต รสชาติของพืชผัก และตรวจหาเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนในระบบปลูกตามธรรมชาติ (ทั้งสองระบบปลูก)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

1.4.2 ทราบระดับความความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน และชนิดสารละลาย (ที่ใช้ระหว่างการกระตุ้นการสร้าง sporangium) และปฏิกิริยาสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสอง ที่มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

1.4.3 ทราบชนิดสารละลายซิลิคอน และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ให้ทางราก และการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ รวมถึงปฏิกิริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต รสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) และการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในระบบปลูก

1.4.4 ทราบระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ที่ให้ทางราก และการพ่นทางใบ รวมถึงปฏิกิริยาสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสอง ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต รสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT) และการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในระบบปลูก

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponics หรือ soilless culture) หมายถึง วิธีการใดก็ตามที่ทำให้สามารถปลูกพืชได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอาศัยดิน เช่น การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ การปลูกในสารละลาย หรือการปลูกในวัสดุปลูกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดิน โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตแก่รากโดยตรง ในปริมาณที่เหมาะสมแทนอาหารพืชที่มีอยู่ภายในดิน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่น ดินมีคุณภาพต่ำ มีความเค็มสูง หรือมีโรคระบาดอยู่ ซึ่งการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะสามารถควบคุมคุณภาพ และปริมาณของผลผลิตให้ได้ตรงตามต้องการ (Douglas. 1978; Resh. 1981)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบ่งได้เป็น 3 ระบบ ตามลักษณะวิธีการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืช ดังนี้คือ ระบบปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ระบบปลูกพืชโดยให้รากลอยอยู่กลางอากาศ และระบบปลูกพืชในวัสดุปลูก

ระบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร เป็นระบบปลูกพืชที่ปล่อยให้รากพืชเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง เรียกระบบปลูกพืชแบบนี้ว่า solution culture ต่อมามีการดัดแปลงโดยปล่อยให้สารละลายไหลผ่านรากพืช โดยมีระดับความลึกของสารละลายประมาณ 10-12 นิ้ว (Deep Flow Technique : DFT) หรือไหลผ่านรากพืชเป็นฟิล์มบาง ๆ (Nutrient Film Technique : NFT) ระบบปลูกแบบนี้เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (Benoit. 1992)

ระบบปลูกพืชโดยให้รากลอยอยู่กลางอากาศ ระบบปลูกแบบนี้เป็นระบบที่ส่วนรากของพืชจะลอยอยู่อย่างอิสระกลางอากาศ ภายในภาชนะที่ทึบแสง และให้สารละลายธาตุอาหารพืชผ่านระบบการพ่นฝอย อย่างต่อเนื่องเป็นระยะ ๆ เพื่อให้รากพืชมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา (Douglas. 1978)

ระบบปลูกพืชในวัสดุปลูก เป็นระบบปลูกพืชโดยอาศัยวัสดุปลูกต่างๆ เป็นที่สำหรับให้รากพืชยึด และค้ำยันต้นพืชไว้ วัสดุปลูกที่นิยมนำมาใช้มีทั้งที่เป็นอินทรีย์วัตถุ และ อนินทรียวัตถุ เช่น rockwool กรวด ดินเหนียวเผา ฟองน้ำอัด ทรายหยาบ ขุยมะพร้าว ถ่านแกลบ และขี้เลื่อย เป็นต้น การให้สารละลายธาตุอาหารจะปล่อยผ่านวัสดุปลูกให้พอดีกับความต้องการของพืช อาจให้สารละลายแบบนำกลับมาใช้อีกหรือปล่อยทิ้งก็ได้ (Douglas. 1988.)

สถานการณ์การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในปัจจุบันกล่าวได้ว่า ระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ถูกนำมาใช้เพื่อการผลิตพืชผักและไม้ดอกเป็นการค้าอย่างแพร่หลาย ทั่วทั้งประเทศในแถบทวีปยุโรป (เนเธอร์แลนด์ เบลเยี่ยม อังกฤษ ฝรั่งเศส อิตาลี สวิตเซอร์แลนด์ เป็นต้น) อเมริกาเหนือ (แคนาดา และอเมริกา) ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ รวมถึงบางประเทศในแถบเอเชีย (อิสราเอล ญี่ปุ่น และไต้หวัน) และเป็นระบบการผลิตที่มีขนาดใหญ่พอจะกล่าวได้ว่าเป็นการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากการผลิตพืชในระบบดังกล่าวให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกในดินประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เก็บผลผลิตได้เร็วกว่าเดิมประมาณ 7-10 วัน ควบคุมปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้อย่างแน่นอน ผลิตได้ตลอดทั้งปี และเป็นระบบการผลิตที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด (Benoit and Ceusterman. 1987; Os and Benoit. 1997; Ikeda. 2001)

ชนิดพืชที่เหมาะสมและนิยมนำมาปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น ได้แก่ กลุ่มพืชผัก เช่น ผักสลัด ผักกาด ผักโขม วอเตอร์เครส ขึ้นฉ่าย มะเขือเทศ แคนตาลูป แตงกวา แตงโม พริกหวาน มะเขือ ถั่ว เป็นต้น กลุ่มไม้ดอก เช่น กุหลาบ เยอร์บีร่า เบญจมาศ กล้วยไม้ คาร์เนชั่น เป็นต้น และกลุ่มพืชเครื่องเทศต่างๆ โดยในปี 1996 พื้นที่การผลิตพืชในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในแต่ละประเทศมีดังนี้ ประเทศเนเธอร์แลนด์มีพื้นที่การผลิต 3,700 เฮคเตอร์ เบลเยี่ยม 4,000 เฮคเตอร์ ฝรั่งเศส 620 เฮคเตอร์ สเปน 510 เฮคเตอร์ แคนาดา 220 เฮคเตอร์ อเมริกา 65 เฮคเตอร์ ออสเตรเลีย 260 เฮคเตอร์ อิสราเอล 650 เฮคเตอร์ ญี่ปุ่น 800 เฮคเตอร์ และไต้หวัน 50 เฮคเตอร์ เป็นต้น และการผลิตของประเทศในแถบเอเชียนั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตขึ้นอีกเป็นจำนวนมาก (Benoit and Ceusterman. 1987; Os and Benoit. 1997; Chen. 1998; Shinohara. 1999; Ikeda. 2001)

นอกจากนี้ยังมีการจัดตั้งหน่วยงานขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนข่าวสารเกี่ยวกับการผลิตพืชในระบบไม่ใช้ดิน เช่น The International Soceity on Soilless Culture (ISOSC), Plant Physiology Research, The International Hydroponics for Horticulture Science ในประเทศเนเธอร์แลนด์ International Hydroponics Institute ในประเทศสเปน และ European Vegetable R&D Center ในประเทศเบลเยี่ยม (Resh. 1981; Douglas. 1988.)

โรคที่ตรวจพบในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

โดยหลักการแล้วระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจัดเป็นระบบที่สามารถหลีกเลี่ยงการเข้าทำลายของโรคและแมลงได้ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยเฉพาะกลุ่มโรคที่มีเชื้อสาเหตุมาจากดิน (soil-borne disease) แต่ในสภาพความเป็นจริงกลับตรวจพบการเข้าทำลายของโรคแก่พืชที่ปลูกในระบบ

ดังกล่าวอยู่สม่ำเสมอ โดยเชื้อโรคอาจเข้ามาในระบบโดยการปนเปื้อนมากับน้ำ สารละลายธาตุอาหาร ส่วนขยายพันธุ์ต่างๆ (เมล็ดพันธุ์ หัวพันธุ์ กิ่งพันธุ์ เป็นต้น) วัสดุเพาะและวัสดุปลูก (พีทเวอร์มิคิวไลท์ ทราย ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น) แมลง อากาศ และอื่นๆ ซึ่งหากมีการระบาดของโรคเกิดขึ้นในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นไปอย่างรวดเร็วและรุนแรงกว่าการปลูกในดิน โดยเฉพาะการปลูกในโรงเรือนที่มิดชิด และให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบหมุนเวียน (recirculating system) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ช่วยเร่งการแพร่กระจายของเชื้อโรคในระบบปลูก (Zinnen. 1988; Ikeda. 2001)

เชื้อโรคที่พบรายงานการเข้าทำลายและก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอย่างสม่ำเสมอ คือ เชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุโรคโคนเน่ารากเน่าที่สำคัญของพืชผักและไม้ดอกหลายชนิด ได้แก่ ผักสลัด ผักโขม พืชตระกูลแตง มะเขือเทศ ขึ้นฉ่าย วอเตอร์เครส เยอร์บีร่า เบญจมาศ คาร์เนชั่น กุหลาบ เป็นต้น เชื้อราในกลุ่มนี้ที่มีรายงานการเข้าทำลายพืชปลูก ได้แก่ *Phytophthora parasitica, P. nicotianae, P. erythroseptica, P. cryptogea, Pythium aphanidermatum, P. coloratum, P. intermedium, P. irregulare, P. debaryanum, P. myriotylum, P. ultimum* และ *P. sylvaticum* เนื่องจากเชื้อรากลุ่มนี้เป็นเชื้อราน้ำ จึงเจริญเติบโตได้ดีในที่มีความชื้นสูง ซึ่งเมื่อเชื้อราเข้าสู่ระบบแล้วจะเพิ่มปริมาณและสร้าง zoospore (สามารถว่ายน้ำได้) เป็นจำนวนมาก แล้วแพร่กระจายผ่านทางสารละลายเข้าสู่พืชปลูกทั่วทั้งระบบได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ส่วนเชื้ออื่นๆ ที่พบเข้าทำลายพืชปลูกได้เช่นกัน คือ เชื้อรา *Colletotrichum atramentarium, Fusarium avenaceum, F. culmorum, F. oxysporum, Verticillium dahliae* แต่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายมากเท่ากับเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae และเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas solanacearum* เป็นเชื้อสาเหตุโรคเหี่ยวที่สำคัญแก่พืชในตระกูล Solanaceae (พริก และมะเขือ) (Zinnen. 1988; Jarris. 1992; Stanghellini and Rasmussen. 1994)

การเข้าทำลายพืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

เมื่อเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae แพร่ระบาดเข้าสู่ระบบปลูกแล้ว เชื้อราจะสร้าง zoospore ภายใน sporangium (ส่วนสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ) แล้วปล่อยออกมาทางรูเปิด (บริเวณด้านปลายของ sporangium) เมื่อ zoospore ถูกปล่อยออกมาแล้วจะว่ายอยู่ในน้ำ จากนั้น encyst ที่บริเวณส่วนรากของพืชอาศัยแล้วเข้าทำลายพืชต่อไป (เริ่มวงจรการเกิดโรคของเชื้อรา) และหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการสร้าง zoospore แล้ว sporangium สามารถงอก germ tube เพื่อแทงผ่านเข้าทำลายพืชอาศัยได้โดยตรง (direct germination) แต่ความสามารถในการเข้าทำลายพืชอาศัยของ sporangium จะน้อยกว่า zoospore ซึ่งตัวอย่างรายงานการเข้าทำลายพืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae มีดังต่อไปนี้

Jenkins and Averre (1983) รายงานว่าเชื้อรา *Pythium aphanidermatum, P. myriotylum, P. debaryanum* และ *P. ultimum* เป็นเชื้อสาเหตุหลักที่พบเข้าทำลายมะเขือเทศ แตงกวา และผักสลัด ที่ปลูกในระบบ NFT ให้ได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมากอยู่สม่ำเสมอ ที่รัฐแคโรไลนาเหนือ ประเทศสหรัฐอเมริกา

Stanghellini and Kronland (1986) รายงานการพบเชื้อ *Pythium dissotocum* เข้าทำลายรากของต้นผักสลัดเป็นครั้งแรก โดยเชื้อราดังกล่าวทำให้รากของต้นผักสลัดเน่า มีผลให้ความสามารถในการดูดสารอาหารของพืชลดลงประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้รับก็ลดลงตามไปด้วย

Hutton and Forsberg (1991) รายงานว่าเชื้อรา *Phytophthora sp.* ทำให้ผักสลัดที่ปลูกในระบบ NFT ทั้งหมด 11 สายพันธุ์ แสดงอาการโคนเน่าและรากเน่าอย่างรุนแรง

Carrai (1993) พบว่าต้นขึ้นฉ่ายในระบบ NFT ที่แสดงอาการชะงักการเจริญเติบโต และตาย จากอาการรากเน่านั้น มีสาเหตุมาจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* และมีผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้รับลดลงตามไปด้วย

Moulin *et al.* (1994) รายงานว่าเชื้อรา *Pythium aphanidermatum, P. irregulare, P. sylvaticum, P. ultimum* เป็นเชื้อสาเหตุหลักที่ทำให้ต้นแตงกวา และมะเขือเทศ เป็นโรครากเน่าโคนเน่าตายในระยะต้นกล้า (เพาะกล้าในพีทผสมทราย) ส่วนต้นที่แสดงอาการโรคในระยะต้นโต (ปลูกใน rockwool) นั้น เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *P. aphanidermatum* เพียง species เดียว ซึ่งทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง และถึงตายได้หากการระบาดเป็นไปอย่างรุนแรง

Rumine and Infantino (1994) รายงานว่าหากมีการปนเปื้อนของเชื้อรา *Phytophthora cryptogea* ในการปลูกต้นเยอร์บีราที่ให้สารละลายแบบหมุนเวียนแล้ว การแพร่ระบาดของโรคจะเป็นไปอย่างรุนแรงและรวดเร็วกว่าการปลูกในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Rafin and Tirilly (1995) รายงานว่าต้นมะเขือเทศที่ปลูกในวัสดุปลูกแล้วแสดงอาการโคนเน่ารากเน่า ในรัฐ Brittany ประเทศฝรั่งเศส นั้น เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium ultimum* var. *ultimum*

Rumine (1996) พบว่าสาเหตุที่ทำให้ต้นเยอร์บีราที่ปลูกในเพอร์ไลท์ และ rockwool (ให้สารละลายธาตุอาหารแบบหมุนเวียน) ในประเทศอิตาลี ล้มตายลงเป็นจำนวนมากนั้น เกิดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora cryptogea*

Rijbroek *et al.* (1997) รายงานว่าต้นสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่แสดงอาการโรคยอดเน่าอย่างรุนแรง นั้นเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora cactorum*

Huang and Lin (1998) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อราบริเวณรากต้นถั่วที่แสดงอาการโรคโคนเน่าต้นเน่า (ปลูกในวัสดุปลูกแบบเป็นการค้า ในประเทศไต้หวัน) พบว่า ที่บริเวณรอบรากต้นถั่วดังกล่าว จะมีเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* และ *P. ultimum* ปะปนอยู่ด้วยกันในปริมาณสูง และเมื่อศึกษาลึกลงไปปรากฏว่า เชื้อราทั้งสองจะดำรงชีวิตอยู่คู่กัน โดยเชื้อรา *P. aphanidermatum* จะเป็นเชื้อสาเหตุหลักเข้าทำลายต้นถั่ว เมื่ออุณหภูมิในวัสดุปลูกสูงกว่า 24 °ซ และเชื้อรา *P. ultimum* จะเป็นเชื้อสาเหตุหลักเข้าทำลายต้นถั่ว เมื่ออุณหภูมิในวัสดุปลูกต่ำกว่า 20 °ซ

Stanghellini (1998) รายงานการพบเชื้อรา *Pythium myriotylum* เข้าทำลายต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT เป็นครั้งแรก โดยต้นขึ้นฉ่ายที่ถูกเชื้อราดังกล่าวเข้าทำลายจะแสดงอาการรากเน่าเหี่ยว และตาย เช่นเดียวกันกับอาการโรคโคนเน่ารากเน่าทั่วไป

บทบาทของสารละลายซิลิคอน

สารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืช

Matoh *et al.*. (1986) ได้ทดลองเพิ่มสารละลายซิลิคอนในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุแมงกานีส 300-400 ppm ในการปลูกข้าวบาร์เลย์แบบไม่ใช้ดิน ผลปรากฏว่า ต้นข้าวบาร์เลย์ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจะไม่แสดงอาการใบจุดที่เกิดจากการเป็นพิษของธาตุแมงกานีส โดยสารละลายซิลิคอนไม่ได้มีผลให้ข้าวบาร์เลย์ดูดซึมธาตุแมงกานีสน้อยลง แต่ซิลิคอนไปช่วยเพิ่มการแพร่กระจายของธาตุแมงกานีสบนบริเวณผิวใบพืชให้แผ่ไปทั่วใบมากที่สุด ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในใบพืชแต่ละบริเวณไม่สูงพอที่พืชจะแสดงอาการใบจุดออกมา และได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ซ้ำกับต้นข้าวและต้นถั่ว ผลปรากฏว่า ต้นข้าวและต้นถั่วที่ได้รับสารละลายซิลิคอนร่วมด้วยนั้นไม่แสดงอาการใบจุดที่เกิดจากการเป็นพิษของธาตุแมงกานีส โดยสารละลายซิลิคอนไม่ได้ไปช่วยลดปริมาณการดูดซึมธาตุแมงกานีสของต้นข้าวและต้นถั่ว เช่นเดียวกับการทดลองในต้นข้าวบาร์เลย์ แต่สารละลายซิลิคอนไปช่วยให้ต้นข้าวและต้นถั่วมีความทนทานต่อพิษของแมงกานีสเพิ่มขึ้น

Miyake and Takahashi (1983a) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของต้นแตงกวายุโรป (*Cucumis sativa* L.) ในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยผสมสารละลายซิลิคอนลงในสารละลายธาตุอาหารพืช ผลปรากฏว่า ต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100 ppm มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน (มีน้ำหนักต้นสด รากสด ต้นแห้ง รากแห้ง และจำนวนใบ มากกว่าต้นที่ไม่ได้รับซิลิคอน) และมีผลให้ความสมบูรณ์ของละอองเกสรตัวผู้ของต้นที่ได้รับซิลิคอนมีความแข็งแรงกว่าในกรรมวิธีเปรียบเทียบ ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้รับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (น้ำหนักสดของผลเพิ่มขึ้นจาก 370 กรัม เป็น 466 กรัมต่อผล) และได้ทำ

การทดลองในลักษณะเดียวกันนี้กับต้นสตรอเบอร์รี่อีกครั้ง แต่ลดความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ใช้ลงมาเป็น 50 ppm ผลปรากฏว่า สารละลายซิลิคอนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นสตรอเบอร์รี่ให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองในต้นแตงกวา โดยต้นสตรอเบอร์รี่มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นดังนี้ ผลชั้นหนึ่ง 12.3 กรัม ชั้นสอง 56.3 กรัม และชั้นสาม 38.3 กรัม ต่อต้น (Miyake and Takahashi. 1986)

Samuels *et al.*. (1991b) ได้ทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 1.84 กับ 0.17 mM พบว่า ต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 1.84 mM จะมีจำนวนใบ ความหนาของใบ มากกว่า ส่งผลให้น้ำหนักต้นแห้งมากตามไปด้วย และนอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพของใบพืช โดยใบแตงกวาจะมีสีเขียวเข้ม แข็ง และตั้งมากขึ้น ซึ่งมีผลให้การตกกระทบของแสงบนใบพืชเป็นไปได้ดีขึ้น และการสังเคราะห์แสงของพืชมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าใบล่างของต้นแตงจะเหี่ยวช้าลงกว่าปกติ ซึ่งเมื่อนำใบพืชไปวิเคราะห์พบว่า ใบต้นแตงที่ได้รับซิลิคอนความเข้มข้นสูงกว่าจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวมมากกว่า

Chen *et al.* (1999) ได้นำโพแทสเซียมซิลิเกตมาทดลองใช้กับไม้ดอกที่ปลูกในวัสดุปลูก โดยทำการทดลองกับไม้ดอกที่นิยมปลูกเป็นการค้า 35 ชนิด ผลการทดลองพบว่า สารโพแทสเซียมซิลิเกตช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชทดลอง โดยพืชทดลองจะมีน้ำหนักต้นแห้งเพิ่มขึ้น และสามารถช่วยลดความรุนแรงของอาการโรคใบจุดที่เกิดจากการเป็นพิษของธาตุแมงกานีสลงได้

Morgan (1999) ได้ทดลองอิทธิพลของซิลิคอนที่ปลดปล่อยจาก pyrophyllitic clay ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด (lettuce) สตรอเบอร์รี่ (strawberry) และถั่วแคระ (dwarf french bean) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยในผักสลัดและถั่วแคระนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 140 ppm กับ 0 ppm ผลปรากฏว่า สารซิลิคอนที่ปลดปล่อยจาก pyrophyllitic clay ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักสลัดจะมีน้ำหนักต้นสดเพิ่มจาก 165 กรัม เป็น 195 กรัมต่อต้น และถั่วแคระนั้นมีจำนวนฝักเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ (ขนาดฝักของสองสิ่งทดลองไม่แตกต่างกัน) และระบบรากของถั่วแคระที่ได้รับสารละลายซิลิคอนนั้นจะมีปริมาณมากเป็นสองเท่า และมีขนาดของรากใหญ่กว่าการได้รับสารละลายปกติ ส่วนการทดลองในต้นสตรอเบอร์รี่นั้น จะทำการเพิ่มโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 285 ppm ลงไปในสารละลายธาตุอาหาร หลังจากให้ต้นสตรอเบอร์รี่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้น 140 และ 0 ppm นาน 3 สัปดาห์ แล้วทำการปลูกต่อไปจนกระทั่งถึงอายุเก็บเกี่ยว ผลปรากฏว่า ต้นสตรอเบอร์รี่ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนมีจำนวนต้นรอดตาย 79 เปอร์เซ็นต์ ระบบรากมีการเจริญดี และสามารถให้ผลผลิตได้ตรงตามกำหนด แต่ผลผลิตที่ได้มีขนาดเล็กกว่าที่ตลาดต้องการ ในขณะที่ต้นที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอนมีจำนวนต้นรอดตาย 33 เปอร์เซ็นต์ การเจริญของระบบรากไม่ดี และต้นที่รอดตายก็ไม่ให้ผลผลิตแต่อย่างใด

Voogt and Sonneveld (1999) ได้ทดลองให้ซิลิคอนแก่ต้นแตงกวา สตรอเบอร์รี่ และกุหลาบ ที่ปลูกในเนเธอร์แลนด์ ผลปรากฏว่า นอกจากสารซิลิคอนจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตแล้ว ยังช่วยลดการเกิดโรค powdery mildew ลงได้อีกด้วย

การใช้สารละลายซิลิคอนป้องกันและกำจัดโรคพืชในต่างประเทศ

Miyake and Takahashi (1983a) ได้ทดลองผสมสารละลายซิลิคอน 100 ppm ลงในสารละลายธาตุอาหารพืช ของการปลูกต้นแตงกวายุโรป (*Cucumis sativa* L.) ในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน เปรียบเทียบกับการปลูกในสารละลายปกติ ผลปรากฏว่า นอกจากต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจะมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นแล้ว สารละลายซิลิคอนยังมีผลช่วยลดความรุนแรงของ powdery mildew โดยต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100 ppm จะแสดงอาการโรค powdery mildew น้อยมาก และเมื่อมีการทดลองนำสารซิลิคอนมาให้แตงกวาที่ปลูกในดิน โดยให้ในรูปของปุ๋ย calcium silicate และ potassium silicate พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับผลข้างต้น กล่าวคือ ต้นแตงกวาที่ได้รับปุ๋ยที่มีส่วนประกอบของซิลิคอนจะมีการเจริญเติบโตที่ดี และมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นกว่าการได้รับปุ๋ยปกติ และยังพบว่าต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจะมีจำนวนต้นที่แสดงอาการเป็นโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* ลดน้อยลง (Miyake and Takahashi. 1983b)

Cherif *et al.*. (1992a) รายงานผลการทดสอบประสิทธิภาพของ potassium silicate ต่อแตงกวายุโรปที่ปลูกในระบบ Hydroponics โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างต้นแตงกวาที่ได้รับและไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน และได้รับและไม่ได้รับการปลูกเชื้อ *Pythium ultimum* (เชื้อราสาเหตุโรคโคนเน่ารากเน่า) พบว่า ต้นแตงกวาที่ได้รับการปลูกเชื้อ เมื่อได้รับสารละลายซิลิคอนแล้วจะมีน้ำหนักต้นและรากแห้ง และจำนวนผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับซิลิคอน และจำนวนผลผลิตก็ไม่แตกต่างไปจากต้นแตงกวาปกติ และต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100 ppm มีจำนวนผลผลิตรวมสูงกว่าต้นแตงกวาที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน แต่จำนวนผลผลิตที่ได้เกณฑ์มาตรฐานนั้นไม่แตกต่างกัน และต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100 และ 200 ppm มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ในด้านการทดสอบผลของสารละลายซิลิคอนต่อการเกิดโรคโคนเน่ารากเน่าจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 1.7 mM (100 ppm) สามารถลดการเกิดโรคโคนเน่ารากเน่าของต้นแตงกวาได้ โดยช่วยลดความรุนแรงของการเกิดโรค จำนวนต้นที่ตาย และมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักต้น ราก และจำนวนผลผลิตที่ได้รับ (Cherif *et al.* 1994b)

นอกจากนั้น Cherif *et al.*. (1992b) ได้ศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อการป้องกันการเข้าทำลายต้นแตงของเชื้อ *Pythium ultimum* ผ่านเครื่อง scanning electron microscopy ร่วมกับ energy dispersive X-ray analysis พบว่า ในพืชที่ไม่ถูกเชื้อเข้าทำลายแต่ได้รับซิลิคอน จะตรวจพบ

ซิลิคอนสะสมอยู่ในบริเวณเซลฐานของ trichomes บน hypocotyl หรือบนเนื้อเยื่อใบ แต่ไม่พบการสะสมซิลิคอนในเนื้อเยื่อบริเวณ epidermal, cortical และ stele tissue ของรากพืช สำหรับความแตกต่างของพืชที่ได้รับและไม่ได้รับซิลิคอนต่อการเข้าทำลายของเชื้อ *P. ultimum* จะอยู่ตรงช่วงเวลาและขอบเขตของการเกิดการอุดตันของ stele cell ด้วยสารที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous material) โดยพืชที่ได้รับซิลิคอนจะเกิดการอุดตันของ amorphous material อย่างรวดเร็ว และมีขอบเขตกว้าง ทำให้มีประสิทธิภาพในการจำกัดการเจริญของเชื้อโรค (amorphous material ทำหน้าที่กีดขวางการเข้าทำลายของเชื้อ และสร้างความเสียหายให้แก่เส้นใยของเชื้อรา หากเส้นใยพยายามเจริญผ่าน amorphous material) ซึ่งต่อมามีการตั้งข้อสงสัยว่า amorphous material อาจจะประกอบไปด้วย polyphenolics โดยเฉพาะพวกที่เป็นพิษต่อเชื้อรา (fungitoxic phenolic compounds)

ส่วนบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อการควบคุมโรค powdery mildew นั้น มีในรายงานต่อไปนี้ Menzies *et al.* (1990) ทดลองนำสารละลายซิลิคอนมาควบคุมเชื้อรา *Sphaerotheca fuliginea* ในต้นแตงกวายุโรป (*Cucumis sativus* L.) ที่ปลูกในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยผสมสารละลายซิลิคอนในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วให้ผ่านทางราก และทำการปลูก conidia ของเชื้อราดังกล่าวลงบนบริเวณส่วนใบของต้นแตงกวา พบว่า ต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้น 0.95-2.3 mM มีจำนวน colony ของเชื้อปกคลุมใบ ขนาด colony และพื้นที่การปกคลุมใบของเชื้อรา น้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเมื่อนำ conidia ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์ความงอก ปรากฏว่า conidia จากใบแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอนช่วงความเข้มข้นดังกล่าว มีเปอร์เซ็นต์การงอกน้อยกว่ากรรมวิธีเปรียบเทียบ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ต้นแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 2.3 mM มีขนาดใบเล็กกว่าสิ่งทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัด และพบว่าเชื้อดังกล่าวมีจำนวน colony และพื้นที่ colony ต่อใบ รวมทั้งการงอกของ conidia ลดลง เมื่อได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 0.05-4.10 mM (Menzies *et al.* 1992) และมีการนำ potassium silicate มาใช้กับต้นแตงกวา (*Cucumis sativus* L.), muskmelon (*C. melo* L.) และ zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) เพื่อควบคุมเชื้อรา *Sphaerotheca fulginea* (เชื้อสาเหตุโรคในแตงกวา และ muskmelon) และ *Erysiphe cichoracearum* (เชื้อสาเหตุโรคใน zucchini squash) โดยให้สารละลายซิลิคอนเข้มข้น 1.7 mM ผ่านทางรากพืช หรือ พ่นสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 1.7, 8.5, 17 และ 34 mM บนใบพืช เปรียบเทียบกับการพ่นน้ำเปล่า พบว่า การให้สารละลายซิลิคอนผ่านทางรากพืชจะมีจำนวน colony ของเชื้อบนใบพืชน้อยกว่าการฉีดพ่นที่ใบ และจำนวน colony ลดลงเมื่อพ่นด้วยสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 17 และ 34 mM และการพ่นสารละลายซิลิคอนเป็นเวลา 7 วัน ก่อนปลูกเชื้อ ก็มีผลให้จำนวน colony ลดลงได้เช่นกัน แต่เมื่อนำสารละลาย potassium silicate มาใช้ควบคุมเชื้อรา *Uncinula necator* เชื้อสาเหตุโรค powdery mildew ในองุ่น (*Vitis vinifera* L.) กลับพบว่าการให้สารละลายซิลิคอนเข้มข้น 1.7 mM ทางราก ไม่มีผลยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราดังกล่าวแก่ต้นองุ่น แต่มีผลควบคุมเชื้อราดังกล่าวได้เมื่อใช้วิธีการพ่นให้ทางใบ ซึ่งจะสามารถลด

จำนวน colony ของเชื้อบริเวณใบอ่อนได้ เมื่อทำการศึกษาผ่าน scanning electron micrograph จะพบสารละลายซิลิคอนกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณเซลผิวใบพืช และเกาะอยู่บริเวณ appressorium ของเชื้อราดังกล่าวด้วย และพบว่าเส้นใยของเชื้อราไม่สามารถเจริญผ่านเซลพืชที่มีซิลิคอนจับตัวอยู่ (Bowen *et al.* 1992)

Samuels *et al.* (1991a) รายงานกลไกการทำงานของซิลิคอนในการลดความรุนแรงของโรคราแป้งขาว (*Sphaerotheca fuliginea*) โดยใช้ scanning electron microscopy ร่วมกับ X-ray analysis พบว่า ใบแตงกวาที่ได้รับสารละลายซิลิคอน จะมีซิลิคอนสะสมอยู่ใน trichome base ในระหว่างที่มีการติดเชื้อของเชื้อรา *S. fuliginea* โดยเฉพาะในบริเวณที่เชื้อราจะแทงผ่านในปริมาณสูง ส่วนในบริเวณ epidermal cell และ trichome hair พบในปริมาณต่ำ และยังพบซิลิคอนสะสมอยู่ใน conidia ของเชื้อราที่กำลังจะงอก และ conidia ดังกล่าวจะมี germ tube สั้น แต่ไม่มีผลต่อการยับยั้งการงอกของ conidia แต่อย่างใด และ conidia ที่งอกเป็นเส้นใยเชื้อราในบริเวณบนผิวใบพืชอาศัย ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน จะมีความกว้างเส้นใยน้อยกว่า (เล็กกว่า) เส้นใยที่งอกบนผิวใบพืชที่ไม่ได้รับสารซิลิคอน

จากการศึกษาบทบาทของซิลิคอน พบว่าซิลิคอนสามารถควบคุมการเกิดโรค และเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชปลูกได้ จึงมีการตั้งสมมติฐานในด้านกลไกการทำงานของซิลิคอนออกเป็น 2 ข้อใหญ่ๆ คือ ซิลิคอนเข้าไปสะสมที่ผนังเซลพืช (cell wall) ซึ่งน่าจะสามารถกีดขวางการเจริญของเชื้อรา และการแทงผ่านของเชื้อราสู่เซลพืชได้ (Carver *et al.* 1987) แต่จากรายงานของ Cherif and Belanger (1992) สามารถแยกเชื้อรา *Pythium ultimum* ได้จากต้นแตงกวายุโรปที่ได้รับสารละลายซิลิคอน ขณะที่ต้นแตงกวาดังกล่าวไม่แสดงอาการเกิดโรค และสามารถเจริญเติบโต ให้ผลผลิตได้ตามปกติ ซึ่งสันนิษฐานว่าซิลิคอนน่าจะควบคุมการชักนำให้พืชสร้างกลไกการป้องกันตัวเองต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา ซึ่งเป็นผลให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการทางเคมีต่างๆ ให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ซึ่งจัดได้ว่าซิลิคอนก็เป็น fungistasis ที่ต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ และสามารถนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดโรคพืชในแง่ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ (Cherif *et al.* 1994a)

การใช้สารละลายซิลิคอนป้องกันและกำจัดโรคพืชในประเทศไทย

ฉนิมนันต์ เจนอักษร และวรางคณา นกอยู่ (2541) ได้ศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนเพื่อป้องกันกำจัดโรคของแตงกวาพันธุ์ยุโรปที่ปลูกในระบบ Hydroponics พบว่า ในสภาพห้องปฏิบัติการ สารละลายซิลิคอนมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตทางด้าน vegetative growth และ reproductive growth ของเชื้อรา *Pythium* sp. และ *Fusarium* sp. โดยที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm สามารถยับยั้งการปลดปล่อย zoospore ของเชื้อรา *Pythium* sp. ได้อย่างสมบูรณ์ และที่ระดับ 3,000

ppm สามารถชะลอการสร้างและการงอกของ macroconidia และ microconidia ของเชื้อรา *Fusarium* ได้ดีที่สุด ส่วนในด้านสภาพเรือนทดลอง พบว่า สารละลายซิลิคอน (100 และ 200 ppm) มีผลในการป้องกันกำจัดโรคเหี่ยว และโรคไวรัสของแตงได้ โดยพบต้นแตงเป็นโรคเฉพาะในกรรมวิธีเปรียบเทียบเท่านั้น และนอกจากนี้สารละลายซิลิคอนยังมีส่วนช่วยเพิ่มจำนวนผลผลิตต่อต้นได้อีกด้วย กล่าวคือ ต้นแตงที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกต้นสามารถไว้ผลผลิตได้ตรงตามเป้าหมายที่กำหนด คือ 2 ผลต่อต้น ซึ่งแตกต่างจากในกรรมวิธีเปรียบเทียบที่มีเพียงบางต้นเท่านั้นที่สามารถไว้ผลผลิตได้ตามจำนวนดังกล่าว

สารซีโอไลท์

ซีโอไลท์เป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) ชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขี้เถ้าภูเขาไฟชนิดซิลิเกตซึ่งมีอะลูมิเนียม (Al) หรือ ซิลิกา (Si) จับรวมตัวกับออกซิเจน 4 อะตอม ในแบบเท็ดตระฮีดรอน (tetrahedron) เป็นหน่วยพื้นฐาน เท็ดตระฮีดรอนดังกล่าวเมื่อเชื่อมต่อกันในลักษณะวงแหวนสามมิติแล้ว ทำให้ลักษณะโครงสร้างของผลึกภายในเป็นรูปรังผึ้งเชื่อมติดกันตลอดด้วยระยะที่เท่ากัน แร่ซีโอไลท์ยังสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีกตามจำนวนของเท็ดตระฮีดรอนในแต่ละวง (ring) เป็นตัวจำแนก ซึ่งมีอยู่ตั้งแต่ 4, 5, 6, 8, และ 12 หน่วย ซึ่งการเรียงต่อกันของจำนวนวงนี้เองที่ใช้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหาร โดยยิ่งมีจำนวนวงต่อกันมากเท่าใด ความสามารถในการดูดซับก็เพิ่มมากตามไปด้วย (นิคม จึงอยู่สุข. 2538 และสิโรฒม์ ศัลยพงษ์. 2542)

จากการสำรวจในสภาพธรรมชาติพบแร่ซีโอไลท์ประมาณ 50 ชนิด แต่ที่พบบ่อยและมีปริมาณค่อนข้างสูงในดินมีเพียง 9 ชนิด เท่านั้น ได้แก่ clinoptiolite, analcime, chabazite, heulandite, mordenite, phillipsite, natrolite, stilpite และ gismondine และในแร่ทั้ง 9 ชนิดนี้ มีเพียง clinoptiolite และ mordenite ที่พบได้มากในดินบริเวณที่มีการทับถมของเถ้าถ่าภูเขาไฟทั่วๆ ไป ซึ่งสามารถพบแหล่งแร่ซีโอไลท์กระจายอยู่ทั่วๆ ไปตามภูมิภาคต่างๆ ของโลก (ทวีปเอเชีย ยุโรป อเมริกาเหนือ และแอฟริกา) ซีโอไลท์ตามสภาพธรรมชาติจะเป็นแร่ที่มีความนุ่ม มีน้ำหนักเบา มีสีน้ำตาลเหลืองถึงน้ำตาล หรือสีเขียวจาง มีลักษณะคล้ายผงชอล์ค (Mumpton and Ormaby. 1976)

การใช้สารซีโอไลท์ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Fukuyama *et al.*. (1995) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมซีโอไลท์ต่อการเกิดโรคก้นผลเน่า (blossom-end rot) ของมะเขือเทศ โดยใส่แคลเซียมซีโอไลท์ในสารละลายธาตุอาหารพืชปริมาณ 0.3, 3, 10, 20 และ 40 กรัมต่อลิตร ผลปรากฏว่า การเติมแคลเซียมซีโอไลท์ในปริมาณ 20 หรือ 40 กรัม

ต่อลิตร สามารถลดการเกิดโรคก้นผลเน่าของมะเขือเทศได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเติมแคลเซียมซีโอไลท์ลงในสารละลาย ยังสามารถช่วยลดปัญหาผลมะเขือเทศที่มีรูปร่างผิดปกติ ที่เกิดจากการเป็นพิษของธาตุอาหารที่สะสมในสารละลายเมื่อระยะเวลาการปลูกนานขึ้น

Bazzocchi *et al.* (1996) ได้ทำการปลูกขึ้นฉ่ายในทรายซึ่งผสมสารซีโอไลท์จากประเทศอิตาลี (chabasite และ phillipsite) ในปริมาณ 0, 12.5, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการปลูกในซีโอไลท์ 100 เปอร์เซ็นต์ ผลปรากฏว่า ขึ้นฉ่ายมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุดเมื่อปลูกในทรายผสมซีโอไลท์ชนิด chabasite 12.5 เปอร์เซ็นต์ และมีการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำที่สุดเมื่อใช้ซีโอไล์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัสดุปลูก นอกจากนี้การผสมซีโอไลท์มีผลให้ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนในวัสดุปลูกจากการชะล้างลดน้อยลงตามปริมาณซีโอไลท์ที่เพิ่มขึ้น

Postnikov *et al.* (1996) ได้นำซีโอไลท์มาเป็นวัสดุปลูกพืชผักเปรียบเทียบกับการปลูกในดินอินทรีย์ (ขึ้นฉ่าย ผักกาดหอม ผักกาดขาว ผักชี ผักชีลาว และผักชีฝรั่ง) พบว่า ผักกาดหอม และผักชีลาว ที่ปลูกในซีโอไลท์ มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 10-30 เปอร์เซ็นต์ ผักกาดขาว ผักชี และผักชีฝรั่ง มีปริมาณผลผลิตไม่เพิ่มขึ้น ส่วนขึ้นฉ่ายมีผลผลิตลดลง 10-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการปลูกในดินอินทรีย์ และพบความแตกต่างในด้านคุณภาพของผลผลิต เมื่อปลูกพืชซ้ำในวัสดุเดิมติดต่อกันนาน 2 ปี โดยผักที่ปลูกในซีโอไลท์ จะมีปริมาณวิตามินซี เบต้าแคโรทีน และเหล็ก มากกว่าผักที่ปลูกในดินอินทรีย์ และนอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุปลูกซีโอไลท์มีปริมาณการสูญเสียของธาตุอาหารและปุ๋ยที่ให้แก่พืชผักน้อยกว่าการใช้ดินอินทรีย์เป็นวัสดุปลูกอีกด้วย

Lakhidov *et al.* (1997) ได้ทดลองนำซีโอไลท์มาเป็นวัสดุปลูกมะเขือเทศ เปรียบเทียบกับการใช้วัสดุปลูกแบบเดิม (ส่วนผสมของพีท 60%, ปุ๋ย 20% และดิน 20%) โดยปลูกแบบไม่เปลี่ยนวัสดุปลูกเป็นระยะเวลานาน และมีการใช้สารเคมีควบคุมโรคและแมลงตามปกติ พบว่า ต้นมะเขือเทศที่ปลูกในซีโอไลท์มีการเจริญเติบโตที่ดี และตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดในซีโอไลท์เมื่อทำการปลูกนานเกิน 2 ปี นอกจากนี้การสลายตัวของสารเคมีควบคุมโรคและแมลงยังเป็นไปอย่างช้ากว่าการปลูกในวัสดุปลูกอินทรีย์ สรุปได้ว่า ซีโอไลท์เป็นวัสดุปลูกที่ดีสำหรับการปลูกมะเขือเทศ

Bakhnova *et al.* (1999) ทดลองนำสารซีโอไลท์ "Biona 211" มาใช้เป็นวัสดุปลูกผักกวางตุ้ง ผักโขมจีน และแรดิช เปรียบเทียบกับการปลูกแบบในดิน ผลการทดลองพบว่า พืชทั้งสามชนิดที่ปลูกใน "Biona 211" มีน้ำหนักต้นสดและแห้ง ปริมาณวิตามิน กรดอะมิโน และโปรตีน สูงกว่าการปลูกในดิน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ๆ ซึ่งรายละเอียดการดำเนินงานของแต่ละหัวข้อมีดังต่อไปนี้

3.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT)

3.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT)

เชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่นำมาทดสอบ

เชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่นำมาทดสอบ คือ เชื้อรา *Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum* (ซึ่งมีรายงานการเข้าทำลายพืชที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของเชื้อราเหล่านี้อยู่เสมอทั้งในประเทศและต่างประเทศ (พรหมมาศ คูหากาญจน์ และคณะ. 2539; Stanghellini and Rasmussen. 1994)) โดยเชื้อราแต่ละ species ที่นำมาทดสอบนั้นจะทดลองในลักษณะที่เป็นอิสระต่อกัน แต่เป็นไปในทำนองเดียวกัน

การแยกเชื้อรา ทำการแยกเชื้อราจากเนื้อเยื่อพืชที่เป็นโรคที่ปลูกในดิน (เนื่องจากระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืชนั้น เป็นระบบที่ใช้เพื่อการทดลองเป็นหลัก จึงมีการดูแลรักษาทำความสะอาดระบบเป็นอย่างดี ทำให้ไม่สามารถตรวจพบเชื้อราดังกล่าวในระบบได้) ได้แก่ ใบกล้วยไม้ที่แสดงอาการใบเน่า (เชื้อรา *Phytophthora palmivora* เป็นเชื้อสาเหตุ) ผลมะเขือยาวที่แสดงอาการผลเน่า (เชื้อรา *Phytophthora parasitica* เป็นเชื้อสาเหตุ) และต้นกล้าผักคะน้าที่แสดงอาการเน่าคอดิน (เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* เป็นเชื้อสาเหตุ) ด้วยวิธี tissue transplanting บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) ผสม selective media สูตร BNPRAH สำหรับแยกเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ BNPRA+ rb สำหรับแยกเชื้อรา *Pythium* spp. ประกอบด้วยสารเคมีดังต่อไปนี้ benomyl l0 ppm, nystatin 25 ppm, PCNB 25 ppm, rifampicin 10 ppm, ampicillin 500 ppm, hymexazol 25-50 ppm และ rose bengal 5 ppm ต่อ 1 ลิตร (Masago *et al.* 1977)

การทดสอบความอยู่รอดของเชื้อราในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อควบคุมโรคแก่พืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน ดังนั้นจึงนำเชื้อรา

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Phytophthora spp. และ *Pythium* sp. ที่แยกได้ มาทดสอบยืนยันความอยู่รอดได้ของเชื้อราในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ก่อนนำเชื้อดังกล่าวมาทำการทดลองด้านอื่นๆ ต่อไป โดยนำเชื้อรามาเลี้ยงในอาหาร potato dextrose broth (PDB) ที่บรรจุใน flask ขนาด 125 มล. เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปปลูกเชื้อในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) โดยใส่ลงในสารละลายธาตุอาหารพืช ระบบละ 3 flask จากนั้นนำต้นกล้าผักกาดขาวกวางตุ้งที่เตรียมไว้มาปลูกในระบบ ซึ่งแต่ละเชื้อทำแยกเป็นอิสระจากกัน หลังจากนั้นทำการตรวจหาปริมาณเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ในสารละลายธาตุอาหารพืช ด้วยวิธี pour plate technique ร่วมกับ selective media (นำตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารพืช 2 มล. ใส่ลงในจานทดสอบแล้วเททับด้วยอาหาร PDA ผสม selective media) แล้วทำการตรวจนับปริมาณโคโลนีเชื้อราที่ตรวจพบ

3.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.1.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

3.1.1.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อขนาดโคโลนีของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

- ทำการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ 5 สิ่งทดลอง คือ อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนแตกต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm

- เลี้ยงเชื้อราในจานทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. โดยแต่ละจานทดสอบบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 15 มล. และบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง

- บันทึกผลการทดลองโดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราทุกวันจนกระทั่งโคโลนีของเชื้อราในสิ่งทดลองควบคุม (0 ppm) เจริญเต็มจานทดสอบ

3.1.1.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อน้ำหนักเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

- ทำการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 18 ซ้ำ 5 สิ่งทดลอง คือ อาหารเลี้ยงเชื้อ PDB ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm

- เลี้ยงเชื้อราใน flask ขนาด 125 มล. โดยแต่ละ flask บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 50 มล. จากนั้นนำ flask ทดสอบไปเข้าเครื่องเขย่า (shaker) เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบ

49650

กำหนดนำเส้นใยเชื้อราใน flask ทดสอบ ไปกรอง แล้วชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเชื้อแห้งสนิทจึงนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

- บันทึกผลการทดลอง โดยบันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเชื้อรา

3.1.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

3.1.2.1 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

- วางแผนการทดลองแบบ 2x5 Factorials in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

ปัจจัย A คือ ชนิดสารละลายที่แช่ชิ้นวุ้นเชื้อรา (ระหว่างการกระตุ้นให้สร้าง sporangium) 2 ชนิด คือ น้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช

ปัจจัย B คือ ระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนที่ผสมในอาหาร PDA 5 ระดับ คือ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm

- ทำการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 3.1.1.1 โดยนำชิ้นวุ้นเชื้อรา (เจาะชิ้นวุ้นด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร) จากจานอาหารทดสอบทุกสิ่งทดลอง (สุ่มมาสิ่งทดลองละ 4 จานทดสอบ) จากนั้นใส่ชิ้นวุ้นทดสอบในจานทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ที่บรรจุน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ หรือ สารละลายธาตุอาหารพืช 3.5 มล. จานทดสอบละ 2 ชิ้นวุ้น เพื่อกระตุ้นการสร้าง sporangium ตรวจนับปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อราทุก 12 ชั่วโมง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า โดยสังเกตบริเวณรอบๆ ชิ้นวุ้น กำหนดให้การมองเห็น 1 จุดของกล้องจุลทรรศน์เป็น 1 field สุ่มทำ 5 fields แล้วนั้นนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นค่าตัวแทนของแต่ละซ้ำ

- บันทึกผลการทดลองโดย นับปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา ทุก 12 ชั่วโมง และเมื่อพบการสร้าง sporangium ในสิ่งทดลองควบคุม (0 ppm) แล้วทำการตรวจนับต่อไปทุก 12 ชั่วโมง จนครบ 5 วัน

3.1.2.2 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่เจริญบนอาหาร PDA ก่อนได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

- วางแผนการทดลองแบบ 2x5 Factorials in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

ปัจจัย A คือ ชนิดสารละลายที่แช่ชิ้นวุ้นเชื้อรา (ผสมกับสารละลายซิลิคอน) 2 ชนิด คือ น้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช

ปัจจัย B คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน 5 ระดับ คือ 0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm

- นำชิ้นวุ้นเชื้อราที่เลี้ยงบนอาหาร PDA (เจาะชิ้นวุ้นด้วย cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 ซม.) ใส่ในจานทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. จานทดสอบละ 2 ชิ้นวุ้น โดยในแต่ละจานทดสอบบรรจุสารละลายซิลิคอน 3.5 มล. (ซึ่งประกอบด้วยซิลิคอนผสมในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ หรือ ซิลิคอนผสมสารละลายธาตุอาหารพืช) จากนั้นตรวจนับปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อราทุก 8 ชั่วโมง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า โดยสังเกตบริเวณรอบๆ ชิ้นวุ้น กำหนดให้การมองเห็น 1 จุดของกล้องจุลทรรศน์เป็น 1 field สุ่มทำ 5 fields จากนั้นนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นค่าตัวแทนของแต่ละซ้ำ

- บันทึกผลการทดลองโดยบันทึกปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา ทุก 12 ชั่วโมง และเมื่อพบการสร้าง sporangium ในสิ่งทดลองควบคุม (0 ppm) แล้ว ทำการตรวจนับต่อไปทุก 12 ชั่วโมง จนครบ 5 วัน

3.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการปลูกพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT)

3.2.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT

โดยทดสอบกับพืชผักรวม 5 ชนิด คือ ผักกาดขาวกวางตุ้ง (Chinese cabbage; *Brassica campestris* L. var. *chinensis* : Cruciferae) ผักกาดหอม (Lettuce; *Lactuca sativa* L. : Compositae) ผักกาดกุง (Phakkat kung; *Brassica* sp. : Cruciferae) ขึ้นฉ่าย (Celery; *Apium graveolens* L. : Umbelliferae) และวอเตอร์เครส (Watercress; *Nasturtium officinale* R. Br. : Brassicaceae) ซึ่งผักทุกชนิดมีแผนการทดลอง และวิธีการดำเนินการทดลองเดียวกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- วางแผนการทดลองแบบ 3x5x2 Factorials in CRD จำนวน 9 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ต้น) ดังนี้

ปัจจัย A คือ ชนิดของสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ได้แก่

โซเดียมซิลิเกต [sodium silicate ($Na_2Si_3O_7$) a.i. ~27%)

โพแทสเซียมซิลิเกต [potassium silicate ($K_2Si_3O_7$) a.i. ~26%)

ซีโอไลท์ [zeolite a.i. ~75.96%]

ปัจจัย B คือ ความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนในสารละลายธาตุอาหารพืช 5 ระดับ ได้แก่ 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm

ปัจจัย C คือ ความเข้มข้นโซเดียมซิลิเกตที่พ่นทางใบ 2 ระดับ ได้แก่ 500 และ 0 ppm

- การปลูกพืชในระบบ Deep Flow Technique (DFT)

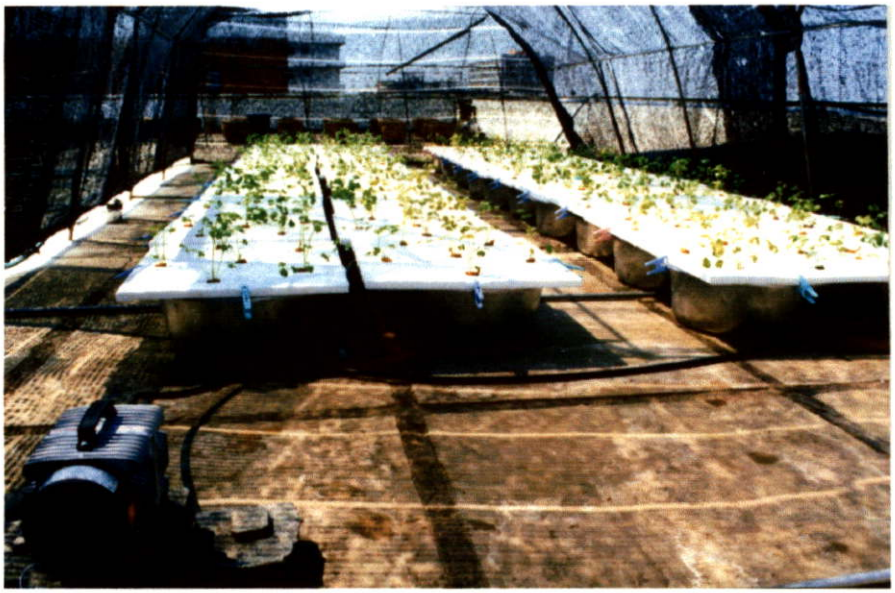
ระบบปลูกพืชแบบ DFT แต่ละ unit ประกอบด้วยกะละมังสีดำ สำหรับบรรจุสารละลายธาตุอาหารพืช (เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. สูง 35 ซม. ความจุ 35 ลิตร) และปิดปากกะละมังด้วยแผ่นโฟม (ขนาด 60x60x2.5 ซม.) ที่เจาะช่องขนาด 3x3 ซม. ไว้ 6 รู สำหรับใส่ต้นพืชทดลอง ช่องละ 1 ต้น (ใช้แผ่นฟองน้ำหุ้มส่วนของลำต้นเพื่อช่วยพยุงในขณะปลูก) ขณะทดลองเพิ่มอากาศให้สารละลายโดยจ่ายอากาศผ่านหัวทราย ด้วยปั๊มอากาศขนาด 380 วัตต์ (ปั๊มอากาศ 1 ตัว ต่อ 60 กะละมังปลูก) (ภาพที่ 3.1)

การเตรียมต้นกล้า ทำการเพาะเมล็ดผักในกระบะทราย จนกระทั่งเติบโตเป็นต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 2 ใบ จึงย้ายไปอนุบาลในระบบ DFT เล็ก เพื่อปรับสภาพให้ต้นพืชก่อนนำลงระบบจริง ผักทุกชนิดใช้ระยะเวลาในการเตรียมต้นกล้า 21 วัน และทำการดูแลรักษาในลักษณะเดียวกัน (ภาพที่ 3.2)

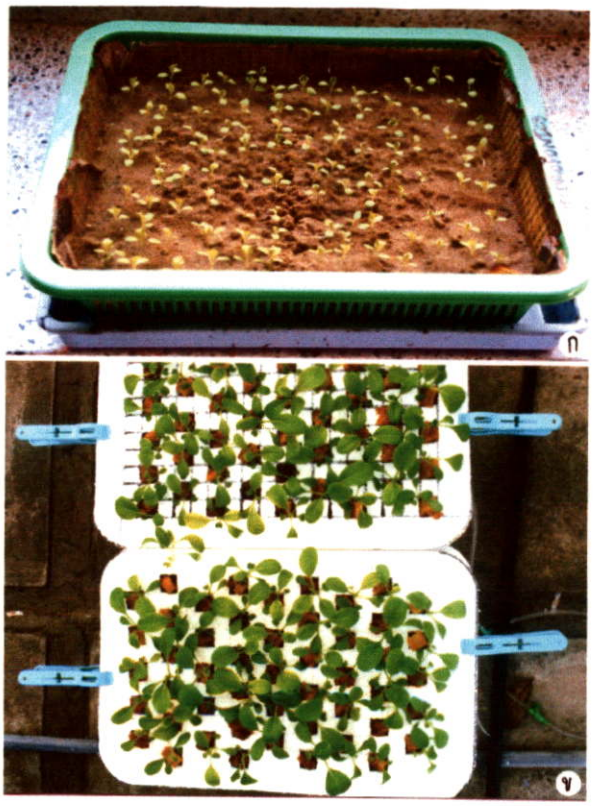
การปลูกพืช นำต้นกล้าที่เตรียมไว้มาปลูกในระบบปลูกพืชแบบ DFT โดยเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช สูตรสำหรับปลูกพืชผักกินใบของ Benoit (1992) ที่ระดับความเข้มข้น 1.5 mS./cm. จากนั้นจึงค่อยเติมโซเดียมซิลิเกต โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์ ตามปริมาณความเข้มข้นของแต่ละสิ่งทดลอง (ความเข้มข้นละ 3 กะละมัง) แล้วปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายแต่ละสิ่งทดลองให้อยู่ในช่วง 5.6-6.2 และพ่นสารละลายโซเดียมซิลิเกตความเข้มข้น 500 และ 0 ppm ที่ส่วนใบของพืชทดลอง ทุก 7 วัน โดยพ่นในตอนเช้า เวลาประมาณ 5.30 น. (รวม 3 ครั้ง ตลอดการทดลอง) และเก็บผลผลิตเมื่อต้นพืชทดลองอายุ 21 วันหลังลงระบบ

การดูแลรักษาต้นพืชทดลอง ทำการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายทุกวันในตอนเช้า แล้วปรับค่าให้อยู่ในช่วง 5.6-6.2 ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ส่วนค่าความเข้มข้นนั้นใช้เป็นค่าสังเกตเพื่อประเมินสภาวะการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นพืช ไม่ต้องทำการปรับค่าแต่อย่างใด และสังเกตการเข้าทำลายของแมลงต่อพืชผักทดลองทุกวัน เมื่อพบการเข้าทำลายของแมลงใช้น้ำแช่ใบยาสูบ (ใบยาสูบแห้ง 100 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) พ่นผักทดลองเพื่อควบคุมการระบาดของแมลง

- การบันทึกผลการทดลอง ด้านการเจริญเติบโต ทำการนับจำนวนใบ วัดความสูง ขนาดความกว้าง และความยาวใบ ทุก 7 วัน (รวม 4 ครั้ง ตลอดการทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน) และด้านผลผลิต ทำการบันทึกน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและรากผักทดลองในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต (21 วัน นับจากวันลงระบบ)



ภาพที่ 3.1 ระบบปลูกพืชผักโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT)



ภาพที่ 3.2 การเตรียมต้นกล้าเพื่อปลูกในระบบ Deep Flow Technique (DFT)
(ก. การเพาะต้นกล้าในทราย ข. การอนุบาลต้นกล้าในระบบ DFT เล็ก)

3.2.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อความอยู่รอดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในระบบ DFT

- ทำการตรวจหาปริมาณเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในสารละลายธาตุอาหารพืช โดยเก็บตัวอย่างสารละลายจากการทดลองที่ 3.2.1 ทุกสิ่งทดลอง ทุก 7 วัน (รวม 3 ครั้ง ตลอดการทดลอง) มาตรวจหาปริมาณเชื้อราดังกล่าว ด้วยวิธี pour plate technique ร่วมกับการใช้ selective media

- บันทึกผลการทดลองโดยนับปริมาณโคโลนีเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ตรวจสอบได้

3.2.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT

- การทดสอบรสชาติของผักทดลองที่ได้รับสารละลายซิลิคอนนั้น ใช้วิธีการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) แบบเปรียบเทียบหลายตัวอย่าง (multiple comparison test) ซึ่งเป็นการทดสอบที่ให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่าง และความชอบระหว่างตัวอย่างทดสอบกับตัวอย่างมาตรฐาน (control) (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และวรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2540; Meilgaard. 1999) โดยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่นำมาใช้ประเมินคุณภาพของผักทดลองมี 6 ด้าน คือ สี ความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ซึ่งใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 16 คน

- การทดลองนี้ทำต่อเนื่องจากการทดลองที่ 3.2.1 โดยเลือกผักกาดขาวกวางตุ้งเป็นผักทดสอบ เพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มผักทดลองทั้งหมด และผักที่นำมาทดสอบรสชาตินั้นจะเป็นผักจากสิ่งทดลองที่ได้ผลผลิตสูงสุดใน 6 สิ่งทดลองแรก

- การทดสอบ ผักทดสอบที่นำมาประเมินรสชาตินั้นจัดเตรียมโดย แบ่งผักออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนก้านและส่วนใบ จากนั้นนำทั้ง 2 ส่วน ไปลวกในน้ำเดือดนาน 1 นาที แช่ในน้ำเย็นนาน 3 นาที แล้วสะเด็ดน้ำให้แห้ง แล้วจึงนำไปให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบ โดยให้รหัสตัวเลข 3 หน่วย แก่ผักทดสอบในแต่ละสิ่งทดลองแทนการบอกชื่อสิ่งทดลอง เพื่อป้องกันการรู้สึกลำเอียงต่อผักตัวอย่าง

-การประเมิน ผู้ทดสอบจะทำการประเมินคุณภาพโดยการเปรียบเทียบลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของผักตัวอย่างทดสอบ (ส่วนก้าน และส่วนใบ) จากการสังเกตด้วยสายตาและการชิม ว่ามีความแตกต่างจากผักตัวอย่างมาตรฐาน (control) หรือไม่ และหากมีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานแล้ว ผู้ทดสอบชอบผักตัวอย่างทดสอบหรือผักตัวอย่างมาตรฐาน

3.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT)

3.3.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT

เนื่องจากสารซีโอไลท์เป็นสารที่มีราคาต่ำมากเมื่อเทียบกับสารให้ซิลิคอนชนิดอื่น (โซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกต) และสามารถผลิตได้เองในประเทศไทย ซึ่งเหมาะแก่การนำไปเผยแพร่เพื่อใช้ในประเทศ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการทดลองนี้ขึ้นเพื่อทดสอบยืนยันถึงประสิทธิภาพของสารซีโอไลท์ต่อพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT อีกหนึ่งระบบ เนื่องจากระบบ NFT ก็เป็นระบบผลิตพืชแบบไม่ใช้ดินที่นิยมเพื่อการผลิตพืชผักเช่นกัน โดยทดสอบกับพืชผักรวมทั้งหมด 5 ชนิด คือ ผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกาดหอม ผักกาดกุง ขึ้นฉ่าย และวอเตอร์เครส เช่นเดียวกับการทดลองในระบบ DFT

- วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorials in CRD จำนวน 8 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ต้น) ดังนี้

ปัจจัย A คือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ที่ให้ทางราก 5 ระดับ ได้แก่ 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm

ปัจจัย B คือ ความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ที่พ่นทางใบ 2 ระดับ ได้แก่ 500 และ 0 ppm

- การปลูกพืชในระบบ NFT

ระบบปลูกพืชแบบ NFT แต่ละ unit ประกอบด้วย รางปลูก 2 ราง ห่างกัน 20 ซม. (รางพลาสติกสำเร็จรูป 5 เหลี่ยม แบบปิด สีขาว ยาว 2 เมตร ปลูกพืชได้รางละ 8 ต้น ระยะห่างต้นละ 20 ซม.) วางบนโต๊ะสูง 90 ซม. (โต๊ะปลูกพืชมีความลาดเอียง 5%) และจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชด้วยปั๊มน้ำชนิดแช่น้ำได้ (ปั๊มขนาด 90 วัตต์ อัตรา 3,500 ลิตรต่อชั่วโมง) โดยบรรจุสารละลายธาตุอาหารพืช ในถังพลาสติกทึบแสงขนาดความจุ 25 ลิตร โดยระบบจ่ายสารละลายแต่ละ unit เป็นอิสระต่อกัน (ภาพที่ 3.3)

การเตรียมต้นกล้า ทำการเพาะต้นกล้าโดยตรงในถ้วยปลูกพลาสติก โดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุเพาะ ใช้เวลาในการเตรียมกล้า 21 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด เช่นเดียวกับการผลิตกล้าเพื่อปลูกในระบบ DFT (ภาพที่ 3.4)

การปลูกพืช นำต้นกล้าพืชที่เตรียมไว้ลงปลูกในรางปลูก รางละ 8 ต้น แล้วจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชผ่านรากพืชในรางปลูก โดยสารละลายใช้สูตรและความเข้มข้นเดียวกับการปลูกในระบบ DFT (การทดลองที่ 3.2.1) แล้วเติมสารซีโอไลท์ (zeolite, a.i. ~75.96%) ตามปริมาณ

ภาพที่ 3.3 ระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT)

ภาพที่ 3.4 การเตรียมต้นกล้าเพื่อปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT)

ความเข้มข้นของซิลิคอนที่กำหนด แล้วพ่นสารละลายซิลิกอน (500 และ 0 ppm) บริเวณใบพืชทดลอง ในตอนเช้า พ่นทุก 7 วัน (รวม 3 ครั้ง ตลอดการทดลอง) และเก็บผลผลิตเมื่อต้นพืชทดลองอายุได้ 21 วันหลังลงระบบ

การดูแลรักษาต้นพืชทดลอง ทำการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายทุกวันในตอนเช้า แล้วปรับค่าให้อยู่ในช่วง 5.6-6.2 ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ส่วนค่าความเข้มข้นนั้นใช้เป็นค่าสังเกตเพื่อประเมินสภาวะการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นพืช ไม่ต้องทำการปรับค่าแต่อย่างใด และสังเกตการเข้าทำลายของแมลงต่อพืชผักทดลองทุกวัน เมื่อพบการเข้าทำลายของแมลงใช้น้ำแช่ใบยาสูบ (ใบยาสูบแห้ง 100 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) พ่นผักทดลองเพื่อควบคุมการระบาดของแมลง

- การบันทึกผลการทดลอง ด้านการเจริญเติบโต ทำการวัด ความสูง จำนวนใบ ขนาดความกว้าง และความยาวใบ ทุก 7 วัน ตลอดการทดลอง (รวม 4 ครั้ง ตลอดการทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน) และด้านผลผลิต ทำการบันทึกน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ของต้นและรากพืชทดลองในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

3.3.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อความอยู่รอดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในระบบ NFT

- ทำการตรวจหาปริมาณเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในสารละลายธาตุอาหารพืช โดยเก็บตัวอย่างสารละลายจากการทดลองที่ 3.3.1 ทุกสิ่งทดลอง (ทุก 7 วัน รวม 3 ครั้ง ตลอดการทดลอง) มาตรวจหาปริมาณเชื้อราดังกล่าว ด้วยวิธี pour plate technique ร่วมกับการใช้ selective media

- บันทึกผลการทดลองโดยนับปริมาณเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ตรวจสอบได้

3.3.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT

- การทดสอบรสชาติของผักทดลองที่ได้รับสารละลายซิลิคอนนั้น ใช้วิธีการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) แบบเปรียบเทียบหลายตัวอย่าง (multiple comparison test) ซึ่งเป็นการทดสอบที่ให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างและความชอบระหว่างตัวอย่างทดสอบกับตัวอย่างมาตรฐาน (control) (สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และวรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2540;

Meilgaard. 1999) โดยลักษณะทางประสาทสัมผัสที่นำมาใช้ประเมินคุณภาพของผักทดลองมี 6 ด้าน คือ สี ความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ซึ่งใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 16 คน

- การทดลองนี้ทำต่อเนื่องจากการทดลองที่ 3.3.1 โดยเลือกผักกาดขาวกวางตุ้งเป็นผักทดสอบ เพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มผักทดลองทั้งหมด โดยผักที่นำมาทดสอบรสชาตินั้นจะเป็นผักจากสิ่งทดลองที่ได้ผลผลิตสูงสุดใน 4 สิ่งทดลองแรก

- การทดสอบ ผักทดสอบที่นำมาประเมินรสชาตินั้นจัดเตรียมโดย แบ่งผักออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนก้านและส่วนใบ จากนั้นนำทั้ง 2 ส่วน ไปลวกในน้ำเดือดนาน 1 นาที แช่ในน้ำเย็นนาน 3 นาที แล้วสะเด็ดน้ำให้แห้ง แล้วจึงนำไปให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบ โดยให้รหัสตัวเลข 3 หน่วย แก่ผักทดสอบในแต่ละสิ่งทดลองแทนการบอกชื่อสิ่งทดลอง เพื่อป้องกันการรู้สึกลำเอียงต่อผักตัวอย่าง

-การประเมิน ผู้ทดสอบจะทำการประเมินคุณภาพโดยการเปรียบเทียบลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของผักตัวอย่างทดสอบ (ส่วนก้าน และส่วนใบ) จากการสังเกตด้วยสายตาและการชิม ว่ามีความแตกต่างจากผักตัวอย่างมาตรฐาน (control) หรือไม่ และหากมีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานแล้ว ผู้ทดสอบชอบผักตัวอย่างทดสอบหรือผักตัวอย่างมาตรฐาน

สถานที่ดำเนินการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ และโรงเรือนทดลองการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาดำเนินการทดลอง

เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2542 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2544

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ

4.1.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตทางเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

4.1.1.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อขนาดโคโลนีเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

จากการศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอน 5 ระดับความเข้มข้น (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) ต่อขนาดโคโลนีเส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum* โดยการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี ผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เชื้อรา *Phytophthora palmivora*

สารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น มีผลยับยั้งขนาดโคโลนีของเชื้อรา *P. palmivora* อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีผลยับยั้งตั้งแต่วันแรกที่เชื้อราได้รับสารละลายซิลิคอน (เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 500-1,000 ppm มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีน้อยกว่าเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-250 ppm) และในวันที่ 2 เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีขนาดโคโลนีเล็กกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน ซึ่งความสามารถในการยับยั้งจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นซิลิคอนสูงขึ้น และเมื่อเชื้อราอายุ 8 วัน เชื้อรามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี เท่ากับ 9.0, 8.36, 7.89, 6.18 และ 4.59 เซนติเมตร เรียงตามลำดับสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.1, ภาพที่ 4.1)

เชื้อรา *Phytophthora parasitica*

สารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น มีผลยับยั้งขนาดโคโลนีของเชื้อรา *P. parasitica* อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีขนาดโคโลนีเล็กกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน นับตั้งแต่วันแรกที่ได้รับสารละลายซิลิคอน ซึ่งความสามารถในการยับยั้งของสารละลายซิลิคอนจะเพิ่มมากขึ้น ในระดับ

ความเข้มข้นซิลิคอนที่สูงขึ้น และสารละลายซิลิคอนแต่ละระดับความเข้มข้นมีความสามารถในการยับยั้งขนาดโคโลนีของเชื้อราที่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเชื้อราอายุ 8 วัน (เชื้อราสิ่งทดลองควบคุมเจริญเต็มจานทดสอบ) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีเส้นใย เท่ากับ 9.0, 8.36, 7.89, 6.18 และ 4.59 เซนติเมตร เรียงตามลำดับสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.2, ภาพที่ 4.2)

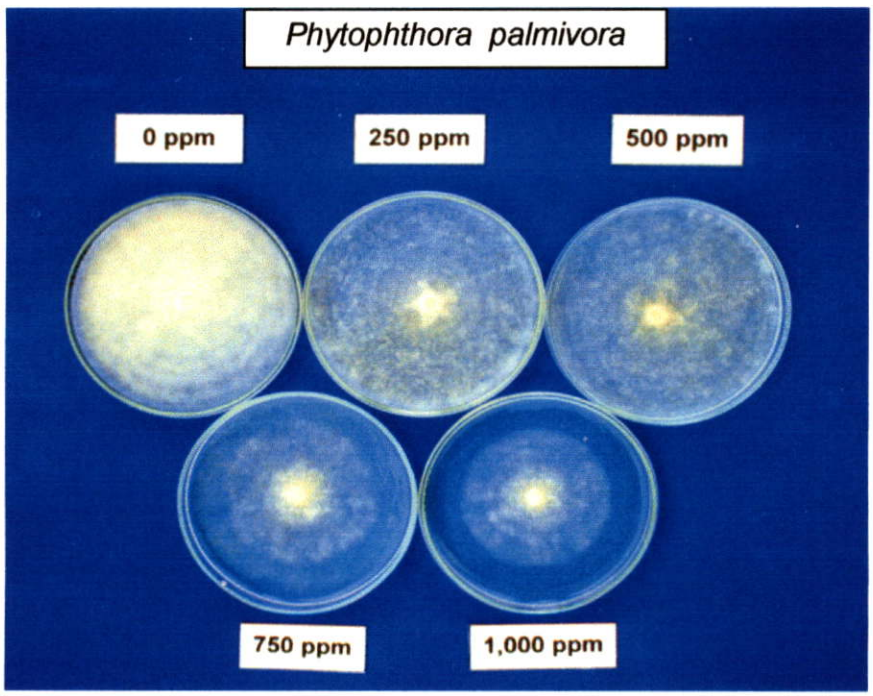
เชื้อรา *Pythium aphanidermatum*

สารละลายซิลิคอน มีผลยับยั้งขนาดโคโลนีของเชื้อรา *P. aphanidermatum* อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยใน 32 ชั่วโมงแรก เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีเล็กกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน แต่เมื่อเชื้อราอายุ 40 ชั่วโมง (เชื้อราที่ได้รับซิลิคอน 0 ppm เจริญเต็มจานทดสอบ) มีเพียงเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้น 750-1,000 ppm เท่านั้น ที่มีขนาดโคโลนีเล็กกว่าเชื้อราในสิ่งทดลองควบคุม (0 ppm) ซึ่งแต่ละสิ่งทดลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี เท่ากับ 9.0, 9.00, 8.73, 7.35 และ 6.17 เซนติเมตร เรียงตามลำดับ (ตารางที่ 4.3, ภาพที่ 4.3)

ตารางที่ 4.1 ขนาดของโคโลนีเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *P. palmivora* (ซม.) ที่อายุต่างๆ กัน							
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน	8 วัน
0	1.69 a[1/]	2.22 a[1/]	3.49 a[1/]	5.00 a[1/]	6.09 a[1/]	7.16 a[1/]	8.15 a[1/]	9.00 a[1/]
250	1.40 a	1.89 b	3.02 b	4.69 b	5.53 b	6.55 b	7.56 b	8.36 b
500	1.27 b	1.66 b	2.93 b	3.93 c	5.13 b	6.05 c	6.83 c	7.89 c
750	1.17 b	1.57 bc	2.29 c	3.16 d	4.05 c	4.63 d	5.55 d	6.18 d
1,000	0.74 c	1.09 c	1.65 d	2.11 e	2.63 d	2.99 e	3.80 e	4.59 e

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

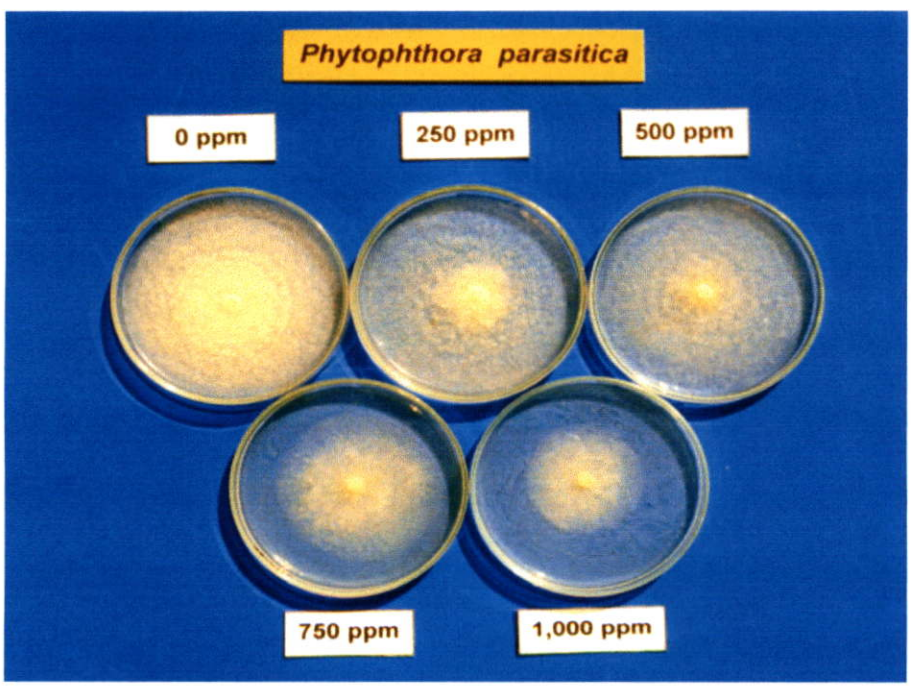


ภาพที่ 4.1 โคโลนีของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ขนาดของโคโลนีเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *P. parasitica* (ซม.) ที่อายุต่างๆ กัน							
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน	8 วัน
0	1.09 a[1/]	2.31 a[1/]	3.35 a[1/]	4.99 a[1/]	5.86 a[1/]	7.00 a[1/]	8.32 a[1/]	9.00 a[1/]
250	1.55 b	1.86 b	2.52 b	3.59 b	4.66 b	5.88 b	6.92 b	8.19 b
500	1.29 c	1.62 b	2.21 b	3.07 c	4.11 b	4.59 c	5.52 c	6.50 c
750	1.27 c	1.52 bc	1.89 c	2.53 d	3.58 c	4.01 d	4.56 d	5.14 d
1,000	1.01 d	1.22 c	1.45 d	2.09 e	2.43 d	2.95 e	3.10 e	3.53 e

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

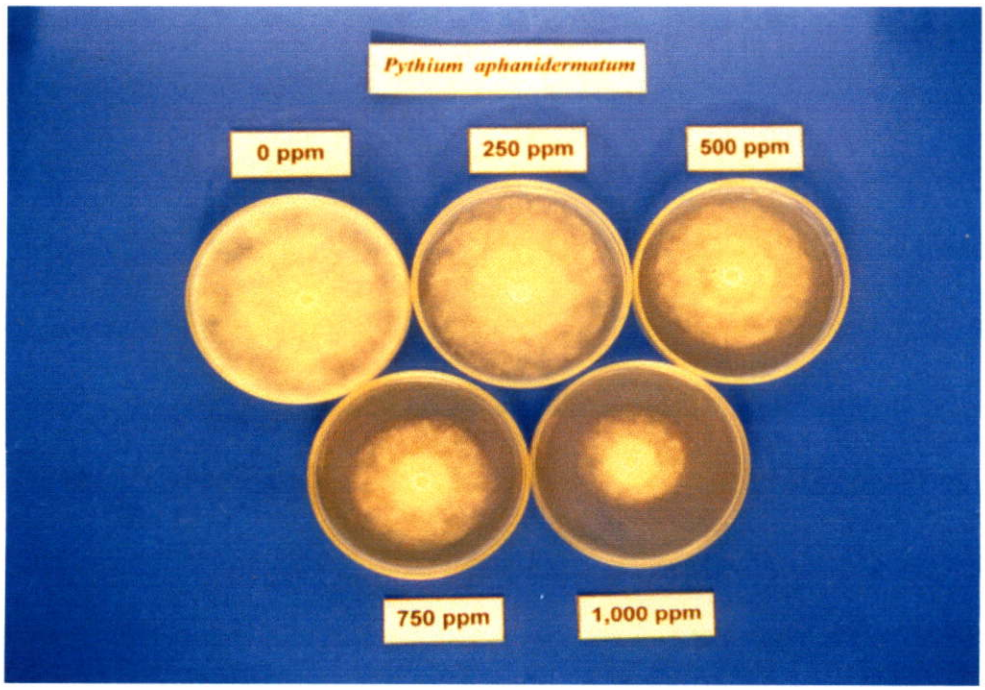


ภาพที่ 4.2 โคโลนีของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ขนาดของโคโลนีเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อรา *P. aphanidermatum* (ซม.) ที่อายุต่างๆ กัน				
	8 ซม.	16 ซม.	24 ซม.	32 ซม.	40 ซม.
0	1.63 a[1/]	3.68 a[1/]	6.51 a[1/]	8.73 a[1/]	9.00 a[1/]
250	1.15 b	3.09 b	5.51 b	7.81 b	9.00 a
500	0.78 c	2.73 c	4.80 c	6.52 c	8.73 a
750	0.71 c	2.31 c	3.91 d	5.41 d	7.35 b
1,000	0.29 d	2.07 c	3.37 d	4.61 e	6.17 c

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.3 โคโลนีของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

4.1.1.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อน้ำหนักเส้นใยของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

จากการศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอน 5 ระดับความเข้มข้น (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) ต่อน้ำหนักเส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora palmivora, P. parasitica และ Pythium aphanidermatum* มีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

เชื้อรา *Phytophthora palmivora*

เชื้อรา *P. palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีน้ำหนักเส้นใยน้อยกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นสูงกว่าจะมีน้ำหนักสดและแห้ง น้อยกว่าเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่ำกว่า และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนแต่ละความเข้มข้นมีน้ำหนักสดและแห้งที่แตกต่างกันทางสถิติ เชื้อราแต่ละสิ่งทดลองมีน้ำหนักสดเท่ากับ 2.3468, 1.9876, 1.1738, 0.8968 และ 0.6119 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.6988, 0.5858, 0.4951, 0.3115 และ 0.2405 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4, ภาพที่ 4.4)

เชื้อรา *Phytophthora parasitica*

เชื้อรา *P. parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีน้ำหนักเส้นใยน้อยกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักเส้นใยเชื้อราทั้งสดและแห้งจะน้อยลงเมื่อเชื้อราได้รับสารละลายซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 500 และ 750 ppm มีน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ เชื้อราแต่ละสิ่งทดลองมีน้ำหนักสดเท่ากับ 1.9951, 1.7238, 1.4487, 1.3488 และ 1.1171 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.5746, 0.5531, 0.5426, 0.5381 และ 0.5196 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.5)

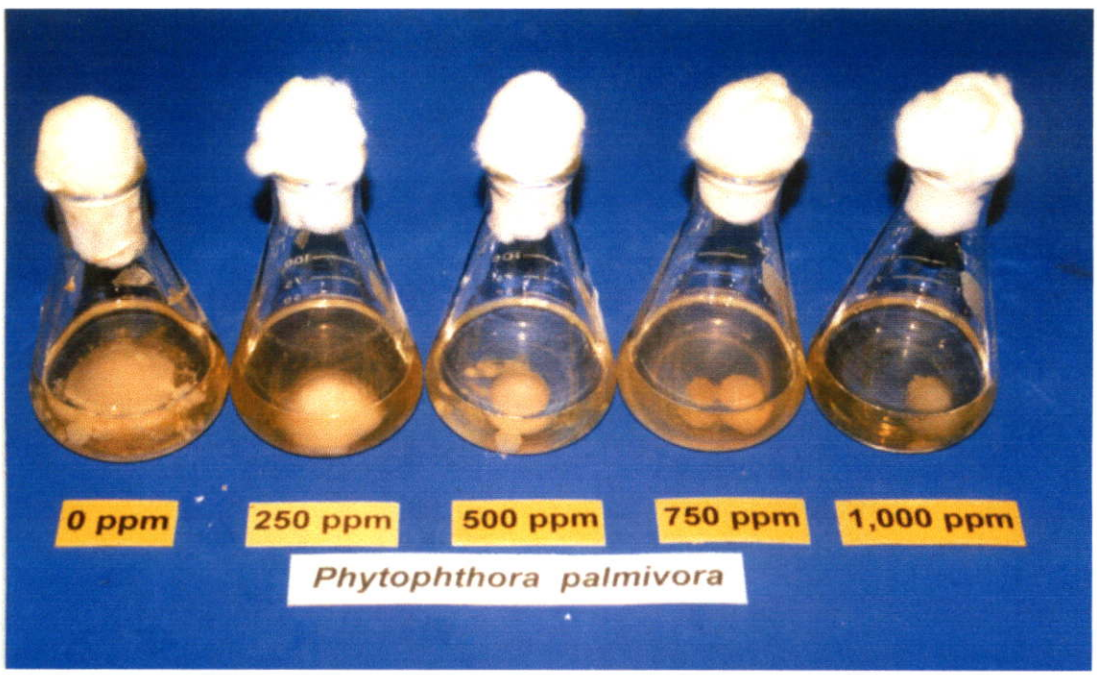
เชื้อรา *Pythium aphanidermatum*

เชื้อรา *P. aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้น 500-1,000 ppm มีน้ำหนักเส้นใยน้อยกว่าเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0 และ 250 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยน้ำหนักเส้นใยเชื้อราทั้งสดและแห้งจะน้อยลงเมื่อเชื้อราได้รับสารละลายซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น โดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 2.8285, 2.8003, 2.3514, 2.0082 และ 1.8867 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.7352, 0.7441, 0.6902, 0.6468 และ 0.6169 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6, ภาพที่ 4.6)

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	น้ำหนักเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* (กรัม)	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
0	2.3468 a[1/]	0.6988 a[1/]
250	1.9876 b	0.5858 b
500	1.1738 c	0.4951 c
750	0.8968 d	0.3115 c
1,000	0.6119 e	0.2405 d

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

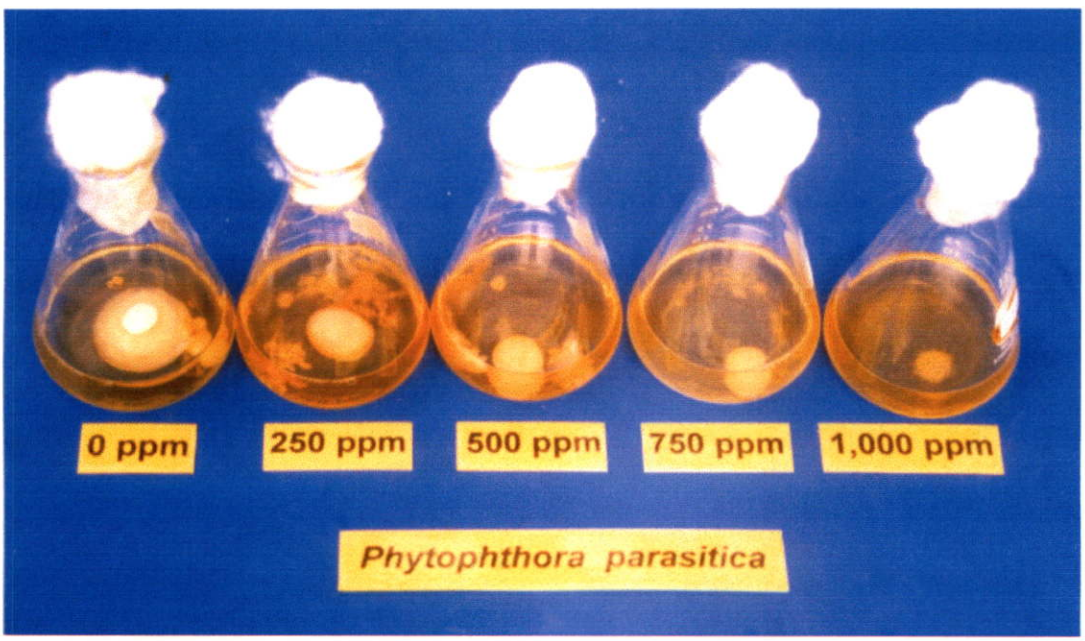


ภาพที่ 4.4 เชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	น้ำหนักเส้นใยของเชื้อรา *P. prasitica* (กรัม)	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
0	1.9551 a[1/]	0.5746 a[1/]
250	1.7238 b	0.5531 b
500	1.4487 c	0.5426 c
750	1.3488 c	0.5381 c
1,000	1.1171 d	0.5196 d

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

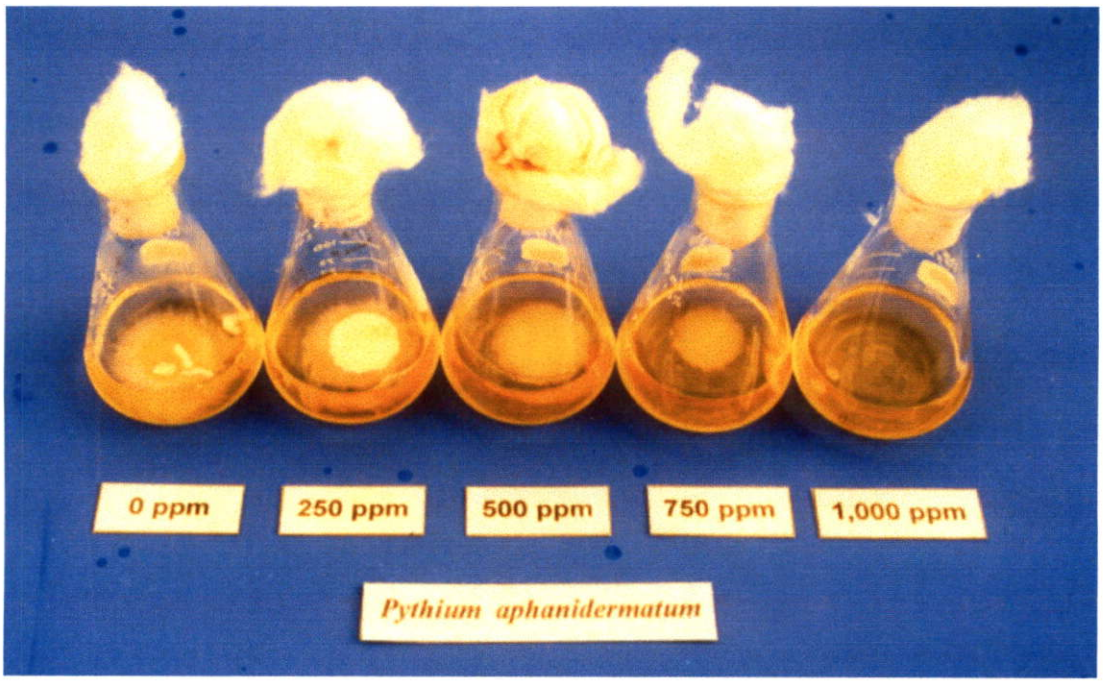


ภาพที่ 4.5 เชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเส้นใยเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายซิลิคอน (ppm)	น้ำหนักเส้นใยของเชื้อรา *P. aphanidermatum* (กรัม)	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
0	2.8285 a[1/]	0.7352 a[1/]
250	2.8003 a	0.7441 a
500	2.3514 b	0.6902 b
750	2.0082 c	0.6468 c
1,000	1.8867 d	0.6169 d

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.6 เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เลี้ยงในอาหาร PDB ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

4.1.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae

4.1.2.1 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

จากการศึกษาถึงปัจจัยของชนิดสารละลายที่ใช้ระหว่างการกระตุ้นการสร้าง sporangium (น้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช) และระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนในอาหาร PDA 5 ระดับ (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) กับเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae 3 ชนิด คือ *Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum* ผลปรากฏว่า

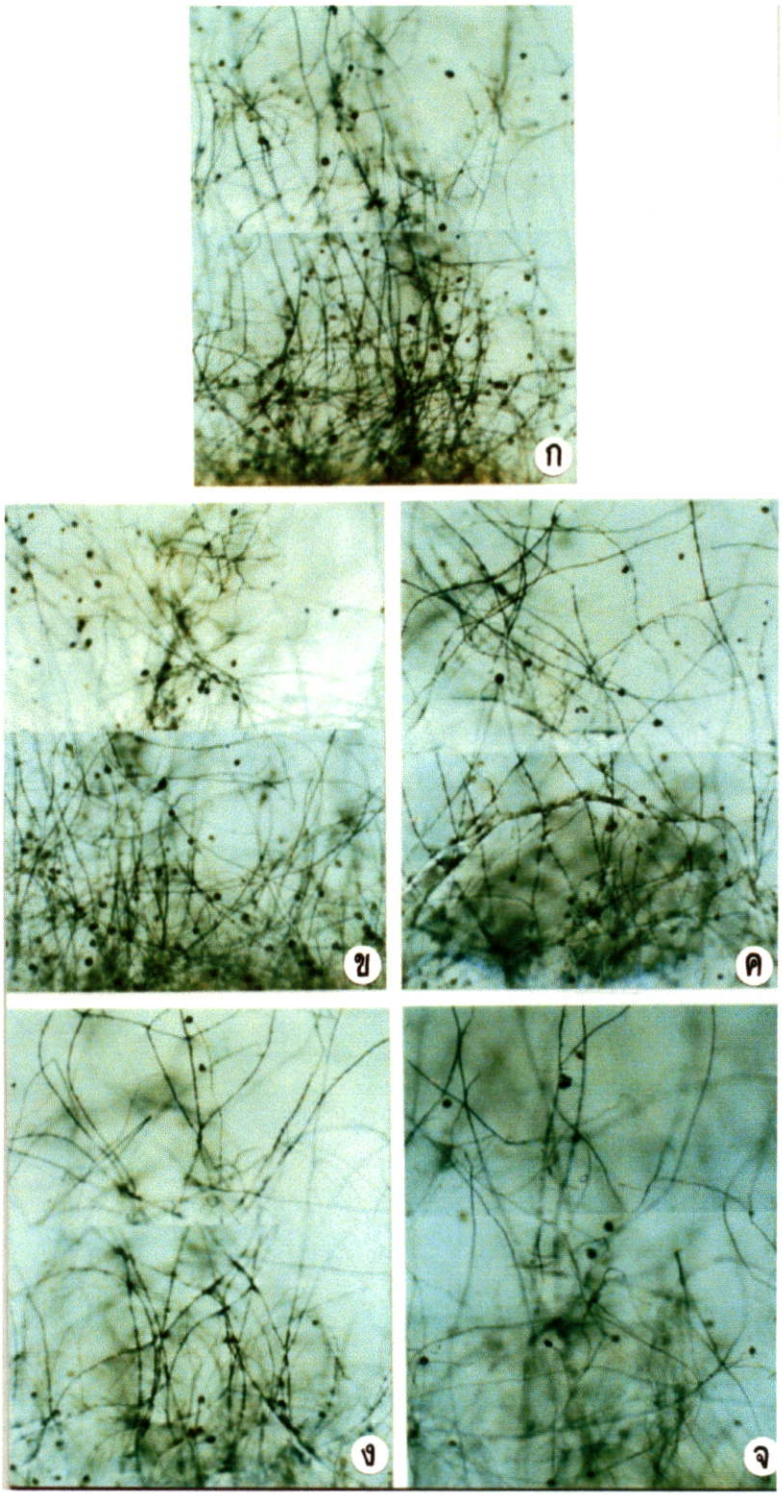
เชื้อรา *Phytophthora palmivora*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยเชื้อราที่ได้รับการกระตุ้นให้สร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้างมากกว่าที่กระตุ้นด้วยน้ำ และเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอน (250-1,000 ppm) เมื่อกระตุ้นให้สร้าง sporangium จะมีปริมาณการสร้าง sporangium น้อยกว่าเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอน 0 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณการสร้าง sporangium จะน้อยลง เมื่อเชื้อราได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) ที่กระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช มีปริมาณการสร้าง sporangium ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งปริมาณการสร้าง sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการกระตุ้นการสร้างนานขึ้น จนกระทั่งเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง เชื้อราทุกสิ่งทดลองเริ่มมีปริมาณ sporangium คงที่ โดยที่ช่วงเวลาดังกล่าวเชื้อรามีปริมาณ sporangium เฉลี่ยต่อการมองเห็น 1 field (ผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า) เท่ากับ 34, 22, 16 และ 14 sporangia (กระตุ้นการสร้างด้วยน้ำ) และ 71, 27, 17, 15 และ 10 sporangia (กระตุ้นการสร้างด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช) เรียงตามลำดับความเข้มข้น (ตารางที่ 4.7, ภาพที่ 4.7 และ 4.8)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช

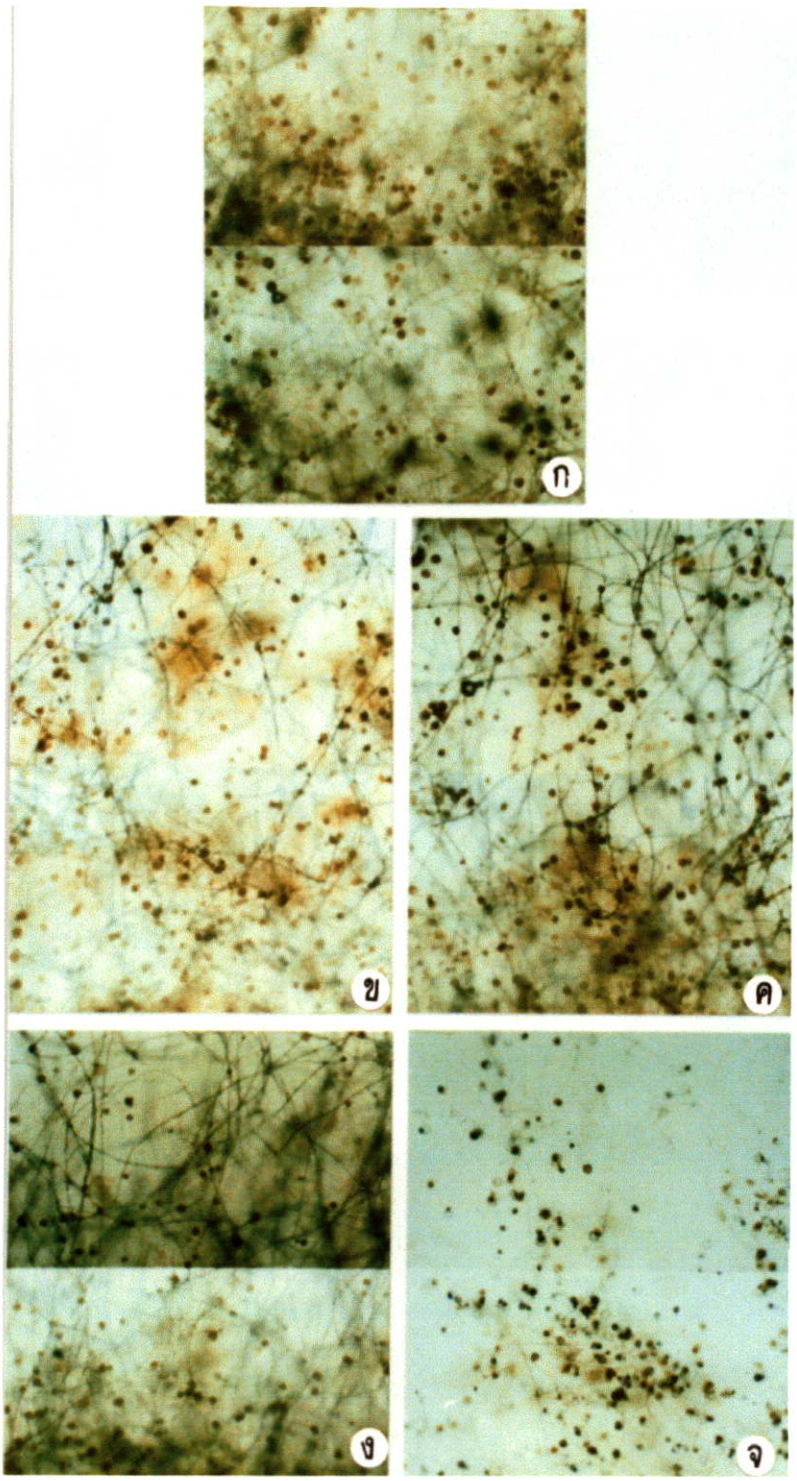
ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. palmivora* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	60 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
น้ำ	0	17 b[1/]	22 b[1/]	27 b[1/]	31 b[1/]	34 b[1/]
	250	14 b	18 b	19 c	21 c	22 c
	500	10 bc	12 c	14 c	14 d	16 d
	750	6 c	10 c	12 c	13 d	14 de
	1,000	1 d	3 d	6 d	8 e	9 e
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	32 a	47 a	51 a	69 a	71 a
	250	14 b	18 b	24 b	25 c	27 c
	500	10 bc	12 c	15 c	16 d	17 d
	750	7 c	11 c	12 c	15 d	15 d
	1,000	4 c	6 d	7 d	8 e	10 e
C.V. =		9.56%	8.63%	10.51%	9.31%	6.52%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		**	**	**	**	*
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		**	**	**	*	*
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.7 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.8 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

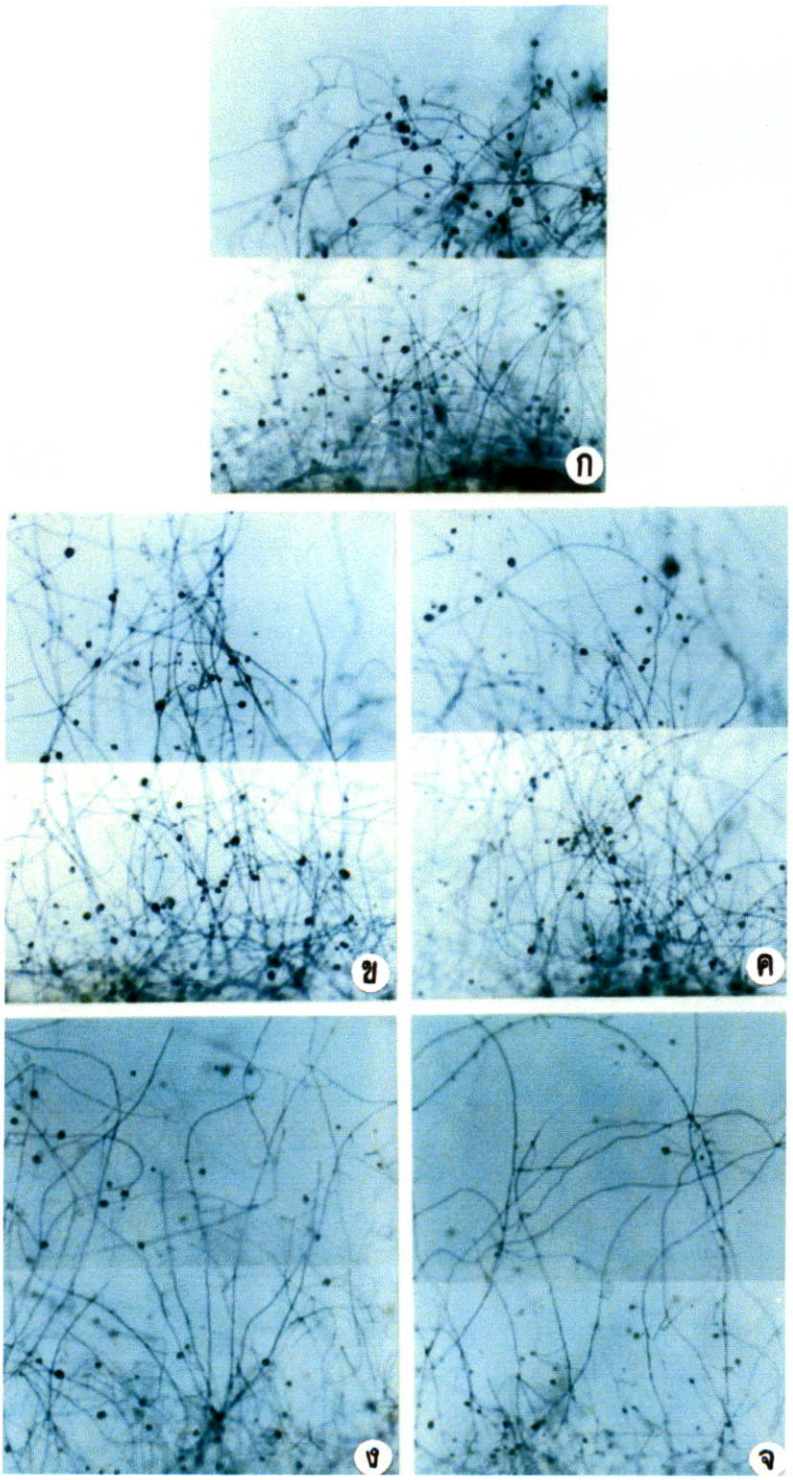
เชื้อรา *Phytophthora parasitica*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น เมื่อได้รับการกระตุ้นให้สร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้างมากกว่าที่กระตุ้นด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณการสร้าง sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการกระตุ้นการสร้างนานขึ้น โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นสูง จะมีปริมาณการสร้าง sporangium มากกว่า เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นต่ำ จนกระทั่งเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง เชื้อราทุกสิ่งทดลองเริ่มมีปริมาณ sporangium คงที่ โดยในช่วงเวลาดังกล่าวเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้น 500-1,000 ppm เมื่อกระตุ้นให้สร้าง sporangium ด้วยน้ำแล้ว มีปริมาณการสร้าง sporangium ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ซึ่งมากกว่าเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 0-250 ppm) และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 250-1,000 ppm มีปริมาณการสร้าง sporangia ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อกระตุ้นการสร้างด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (27, 21, 16, 13 และ 10 sporangium และ 57, 38, 29, 29 และ 19 sporangia เรียงตามลำดับความเข้มข้น และการกระตุ้นการสร้างด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช) (ตารางที่ 4.8, ภาพที่ 4.9 และ 4.10)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช

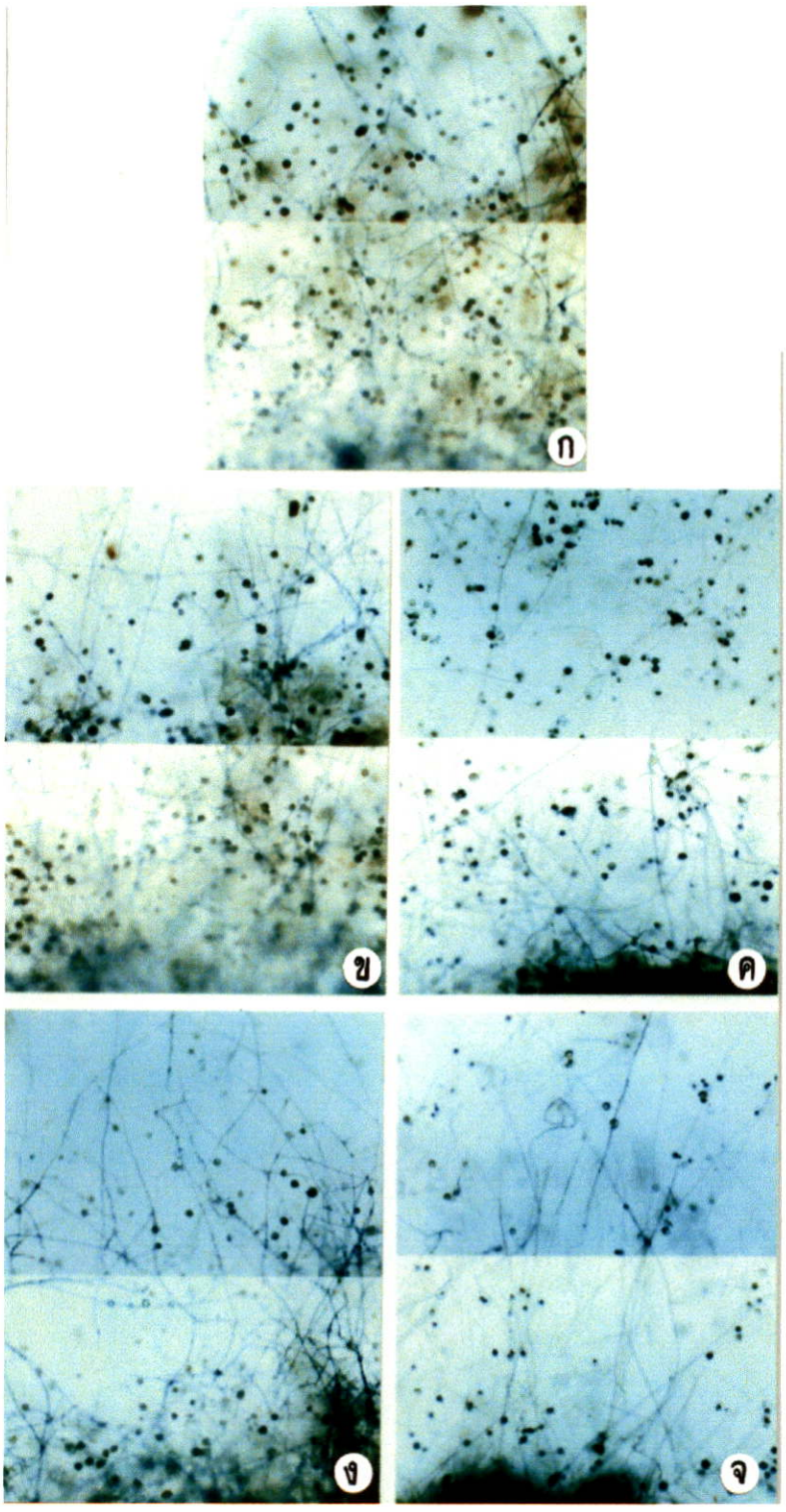
ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. parasitica* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	60 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
น้ำ	0	9 b[1/]	14 b[1/]	21 b[1/]	23 b[1/]	27 b[1/]
	250	4 bc	8 c	14 bc	19 c	21 c
	500	4 bc	5 c	10 c	12 c	16 d
	750	0 c	2 d	6 d	10 cd	13 d
	1,000	0 c	1 d	5 d	7 d	10 d
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	12 a	20 a	23 a	43 a	57 a
	250	10 a	14 b	19 b	25 b	38 b
	500	7 b	10 c	18 b	26 b	29 bc
	750	0 c	7 c	12 c	21 b	29 bc
	1,000	0 c	5 c	10 c	14 c	19 c
C.V. =		5.84%	7.10%	9.36%	8.29%	7.35%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		*	*	*	**	*
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		**	*	**	*	**
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.9 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.10 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

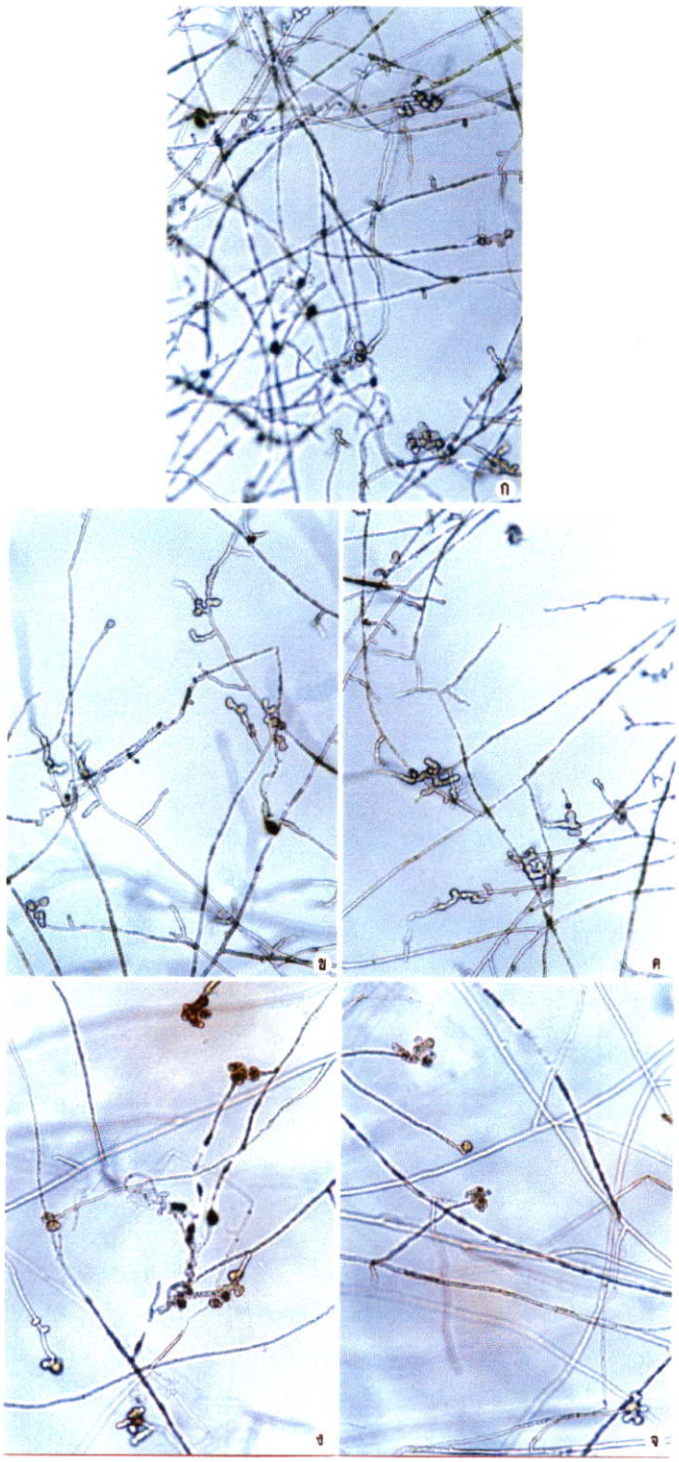
เชื้อรา *Pythium aphanidermatum*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น เมื่อได้รับการกระตุ้นให้สร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้างมากกว่าที่กระตุ้นด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณการสร้าง sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการกระตุ้นการสร้างนานขึ้น โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นสูง จะมีปริมาณการสร้าง sporangium มากกว่า เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นต่ำ จนกระทั่งเชื้อราได้รับการกระตุ้นนาน 56 ชั่วโมงพบว่า การกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำนั้น ส่งผลให้เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-500 ppm มีปริมาณการสร้าง sporangium ไม่แตกต่างกัน แต่น้อยกว่าเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 750-1,000 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชนั้น เชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีปริมาณการสร้าง sporangium น้อยกว่าเชื้อราสิ่งทดลองควบคุม (0 ppm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (30, 26, 22, 19 และ 12 sporangia และ 55, 47, 39, 33 และ 29 sporangia เรียงตามลำดับความเข้มข้น และการกระตุ้นการสร้างด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช) (ตารางที่ 4.9, ภาพที่ 4.11 และ 4.12)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช

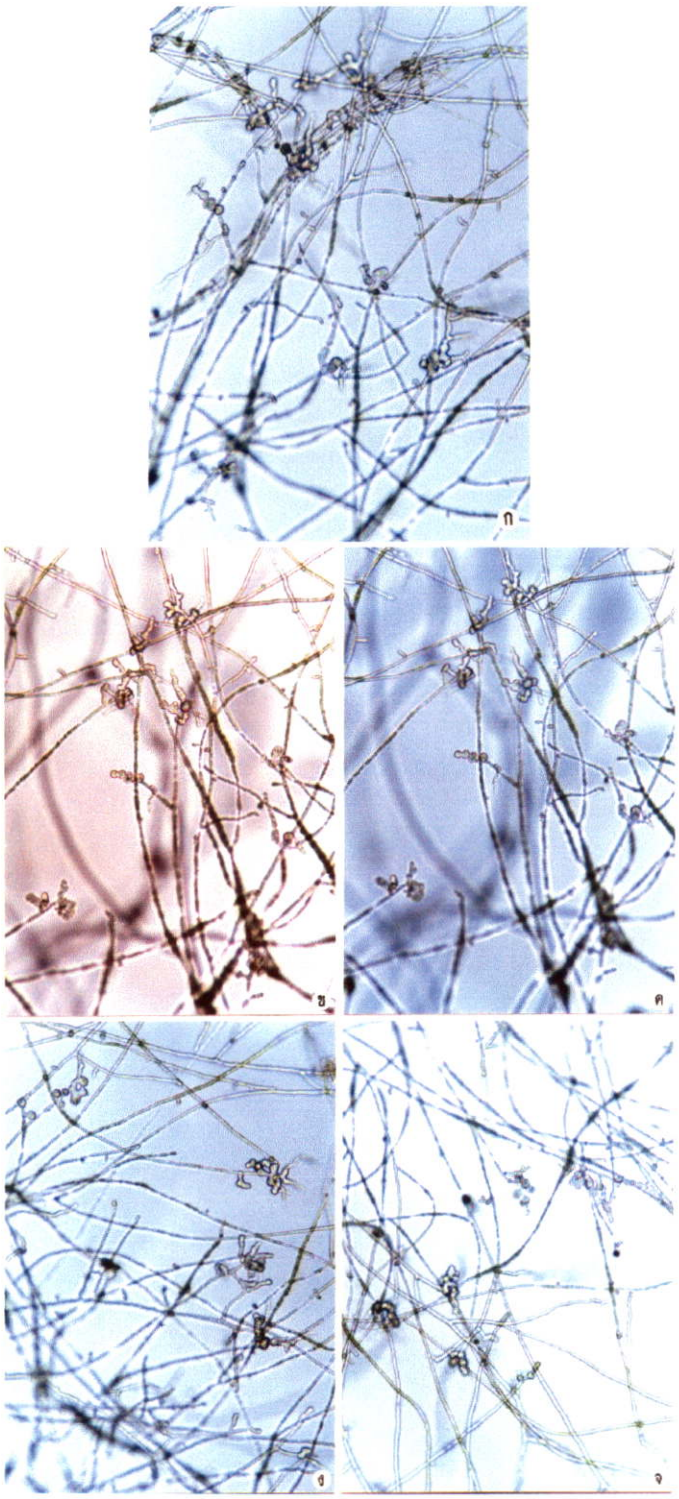
ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. aphanidermatum* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	30 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	42 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
น้ำ	0	10 c[1/]	20 c[1/]	24 b[1/]	29 d[1/]	30 d[1/]
	250	6 cd	14 d	18 c	22 d	26 d
	500	4 d	10 de	13 c	18 e	22 de
	750	2 d	6 e	11 c	14 e	19 e
	1,000	0 d	2 e	4 d	8 f	12 e
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	20 a	35 a	40 a	56 a	55 a
	250	18 b	27 b	31 b	44 b	47 b
	500	16 b	24 c	29 b	35 c	39 c
	750	9 c	17 d	20 bc	29 d	33 cd
	1,000	5 d	13 d	17 c	24 d	29 d
C.V. =		4.68%	6.21%	7.04%	5.68%	8.42%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		**	**	**	**	*
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		**	**	**	**	*
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.11 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยน้ำ (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.12 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่เจริญบนอาหาร PDA ผสมสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ แล้วกระตุ้นการสร้าง sporangium ด้วยสารละลายธาตุอาหารพืช (กำลังขยาย 100 เท่า)

(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

4.1.2.2 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่เจริญบนอาหาร PDA ก่อนได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้นต่างๆ

จากการศึกษาถึงปัจจัยของชนิดสารละลายที่ใช้แช่ชิ้นวุ้นเชื้อรา (น้ำ และสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งจะผสมกับซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ) และระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอน 5 ระดับ (0, 250, 500, 750 และ 1,000 ppm) กับเชื้อราในกลุ่ม Pythiaceae 3 ชนิด คือ *Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum* ผลปรากฏว่า

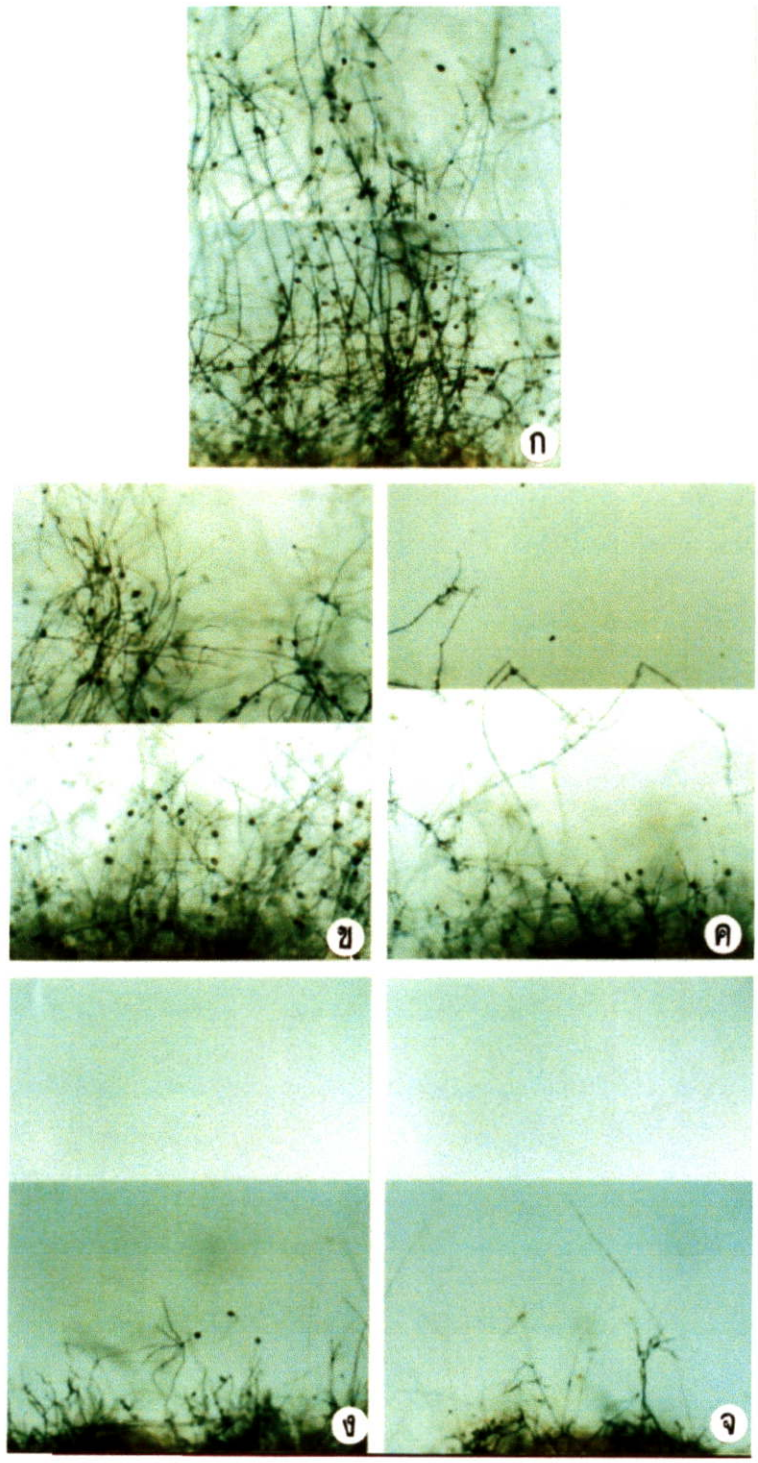
เชื้อรา *Phytophthora palmivora*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยเชื้อราที่ได้รับซิลิคอนผสมสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้าง sporangium มากกว่าการได้รับซิลิคอนผสมน้ำ และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีปริมาณการสร้าง sporangium น้อยกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน (0 ppm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นสูงขึ้น จะมีปริมาณการสร้าง sporangium ลดต่ำลง โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ppm ที่ผสมกับน้ำ ไม่พบการสร้าง sporangium ของเชื้อราเลย แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสร้าง sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนกระทั่ง 72 ชั่วโมง เชื้อราทุกสิ่งทดลองเริ่มมีปริมาณ sporangium คงที่ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเชื้อรามีปริมาณ sporangium เฉลี่ยต่อการมองเห็น 1 field (ผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า) เท่ากับ 33, 28, 10, 6 และ 0 sporangia และ 74, 54, 39, 34 และ 22 sporangia เรียงตามลำดับความเข้มข้น และชนิดสารละลาย (ตารางที่ 4.10, ภาพที่ 4.13 และ 4.14)

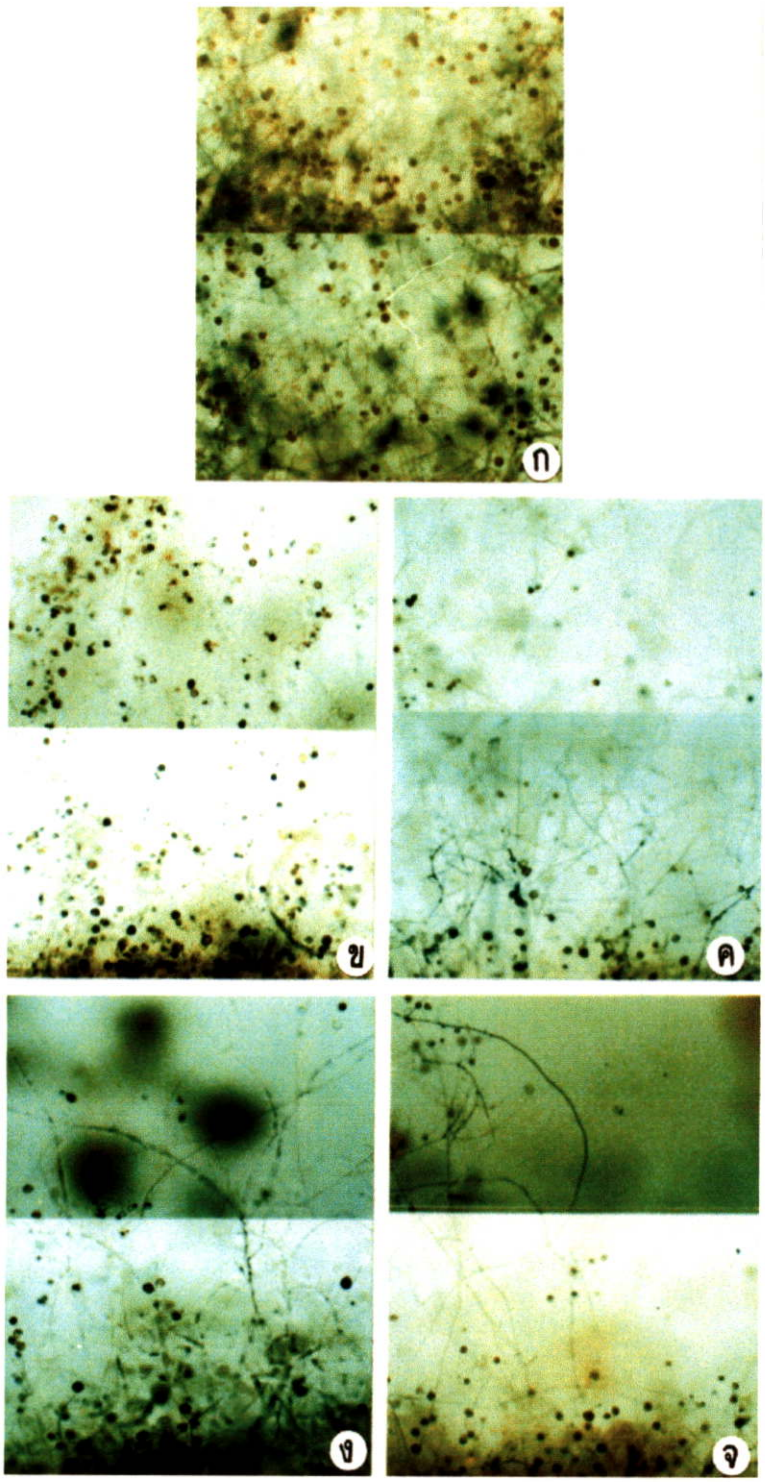
ตารางที่ 4.10 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำ และผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. palmivora* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	60 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
น้ำ	0	17 b[1/]	23 b[1/]	26 c[1/]	30 c[1/]	33 c[1/]
	250	11 b	21 b	24 c	26 c	28 cd
	500	1 bc	4 d	6 e	7 e	10 e
	750	0 c	1 d	3 e	4 e	6 e
	1,000	0 d	0 d	0 e	0 e	0 f
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	30 a	45 a	52 a	70 a	74 a
	250	19 b	24 b	32 b	46 b	54 b
	500	12 bc	19 bc	23 c	28 c	39 c
	750	9 c	13 c	19 cd	26 c	34 c
	1,000	5 c	11 c	17 d	19 d	22 d
C.V. =		3.65%	4.91%	5.27%	5.91%	6.41%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		*	*	*	**	**
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		**	**	*	*	*
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.13 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า)
(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.14 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า) (ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

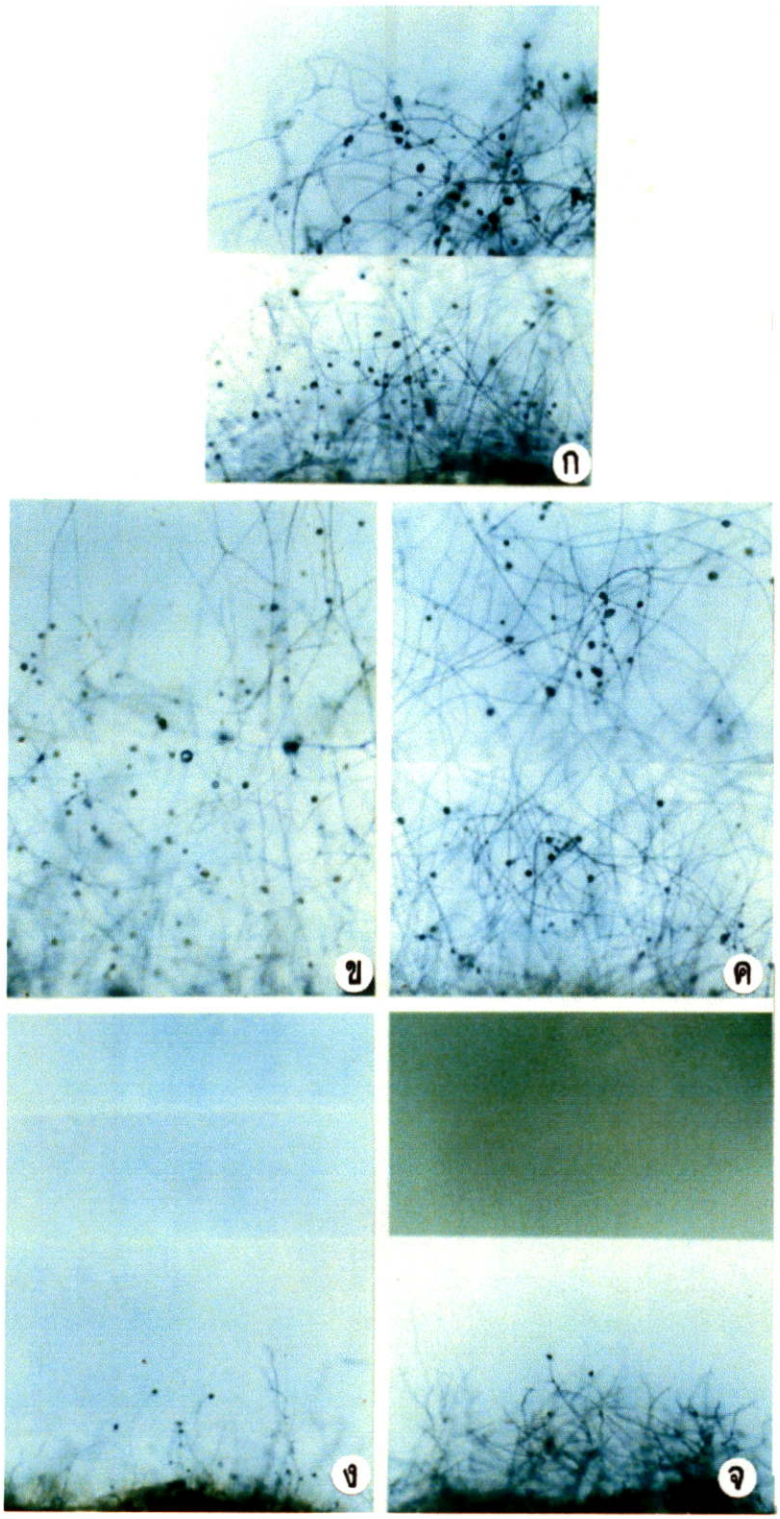
เชื้อรา *Phytophthora parasitica*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm เชื้อราที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้าง sporangium มากกว่าที่ได้รับน้ำ แต่เมื่อมีการเพิ่มซิลิคอนลงไปในน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช กลับพบว่านอกจากปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อราจะลดลง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติแล้ว ปริมาณ sporangium ของเชื้อราที่ได้รับซิลิคอนผสมกับน้ำ และซิลิคอนผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช (ในระดับความเข้มข้นเดียวกัน) ยังมีปริมาณไม่ต่างกัน และปริมาณ sporangium ของเชื้อราจะน้อยลง เมื่อได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนกระทั่งเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง เชื้อราทุกสิ่งทดลองเริ่มมีปริมาณ sporangium คงที่ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเชื้อราจะมีปริมาณ sporangium เฉลี่ยต่อการมองเห็น 1 field (ผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า) เท่ากับ 29, 24, 18, 12 และ 4 sporangia และ 55, 26, 17, 10 และ 7 sporangia เรียงตามลำดับความเข้มข้น และชนิดสารละลาย (ตารางที่ 4.11, ภาพที่ 4.15 และ 4.16)

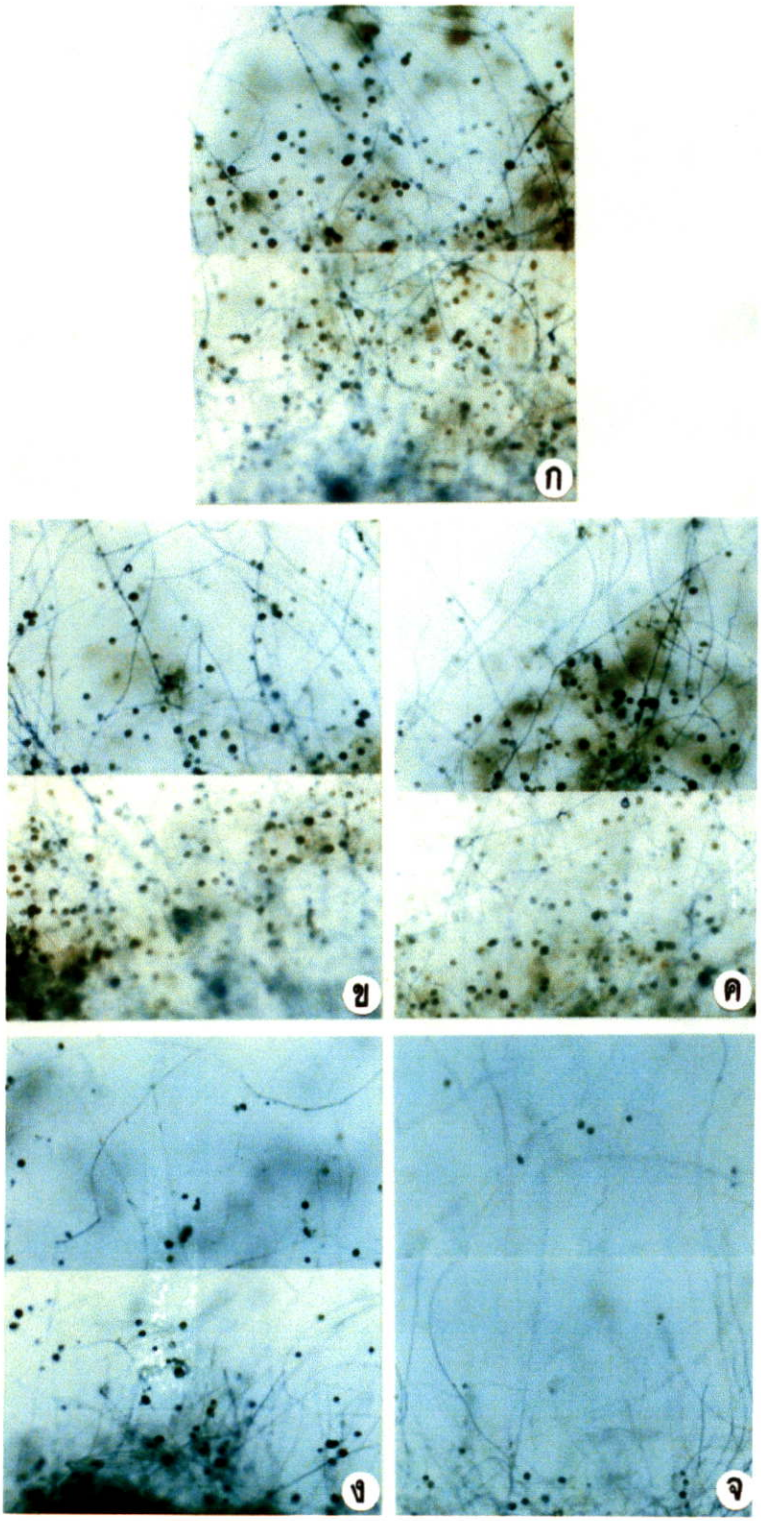
ตารางที่ 4.11 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำ และผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. parasitica* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	60 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
น้ำ	0	8 b[1/]	12 b[1/]	16 b[1/]	21 b[1/]	29 b[1/]
	250	3 c	11 b	18 b	22 b	24 b
	500	1 d	7 c	9 c	12 c	18 c
	750	0 d	2 d	5 c	8 c	12 c
	1,000	0 d	1 d	1 d	2 d	4 d
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	14 a	19 a	25 a	40 a	55 a
	250	10 b	12 b	16 b	21 b	26 b
	500	4 c	7 c	9 c	13 c	17 c
	750	0 d	3 d	5 c	8 c	10 cd
	1,000	0 d	2 d	4 cd	6 cd	7 d
C.V. =		3.69%	5.04%	7.11%	6.95%	8.71%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		*	*	*	**	**
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		**	**	*	**	**
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.15 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า)
(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.16 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) ระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า) (ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

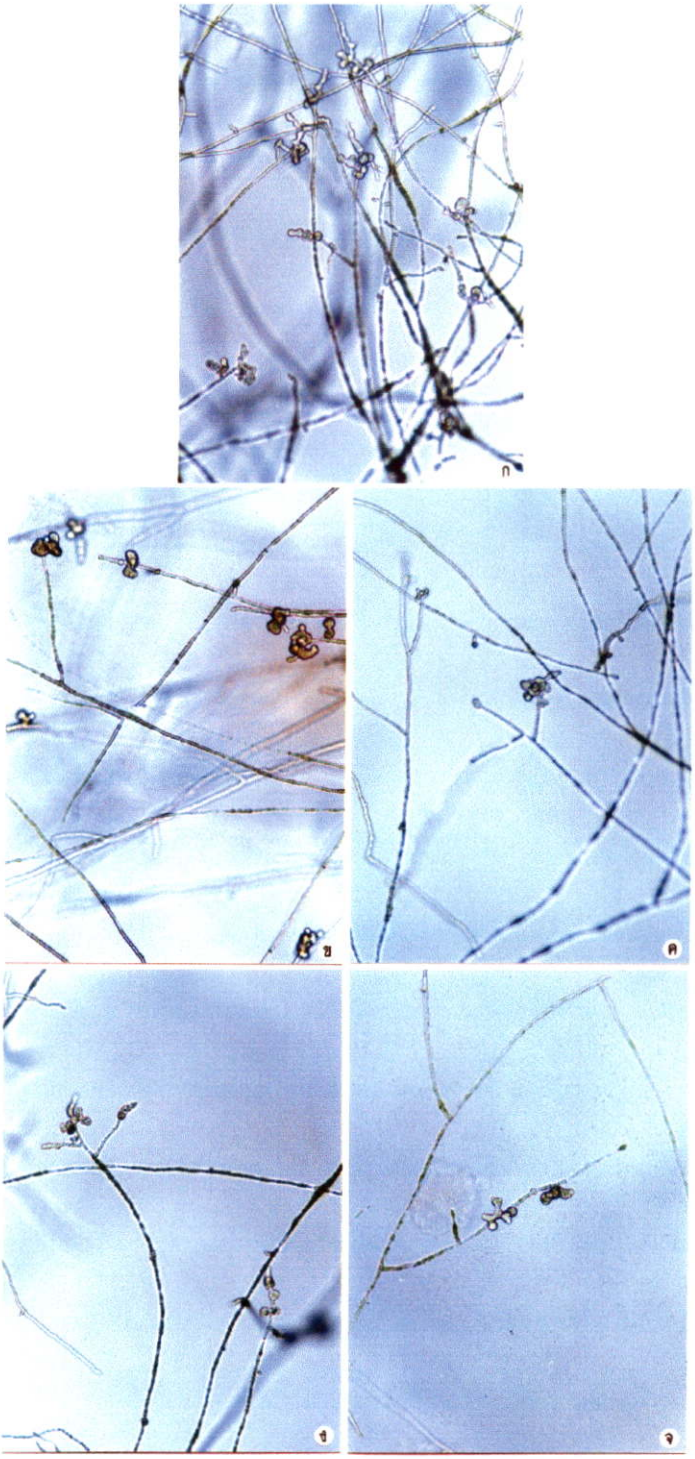
เชื้อรา *Pythium aphanidermatum*

ชนิดสารละลาย และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน มีผลต่อปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน โดยเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช จะมีปริมาณการสร้าง sporangium มากกว่าที่ผสมในน้ำ และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250-1,000 ppm) มีปริมาณการสร้าง sporangium น้อยกว่าเชื้อราที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน (0 ppm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้นสูงขึ้น จะมีปริมาณการสร้าง sporangium ลดต่ำลง โดยเฉพาะเชื้อราที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 750 และ 1,000 ppm ที่ละลายในน้ำ จะมีปริมาณการสร้าง sporangium น้อยมาก คือ 2 และ 3 sporangia แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการสร้าง sporangium ของทุกสิ่งทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนกระทั่ง 72 ชั่วโมง เชื้อราทุกสิ่งทดลองเริ่มมีปริมาณ sporangium คงที่ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเชื้อรามีปริมาณ sporangium เฉลี่ยต่อการมองเห็น 1 field (ผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า) เท่ากับ 29, 15, 8, 3 และ 2 sporangia และ 53, 34, 32, 20 และ 14 sporangia เรียงตามลำดับความเข้มข้น และชนิดสารละลาย (ตารางที่ 4.12, ภาพที่ 4.17 และ 4.18)

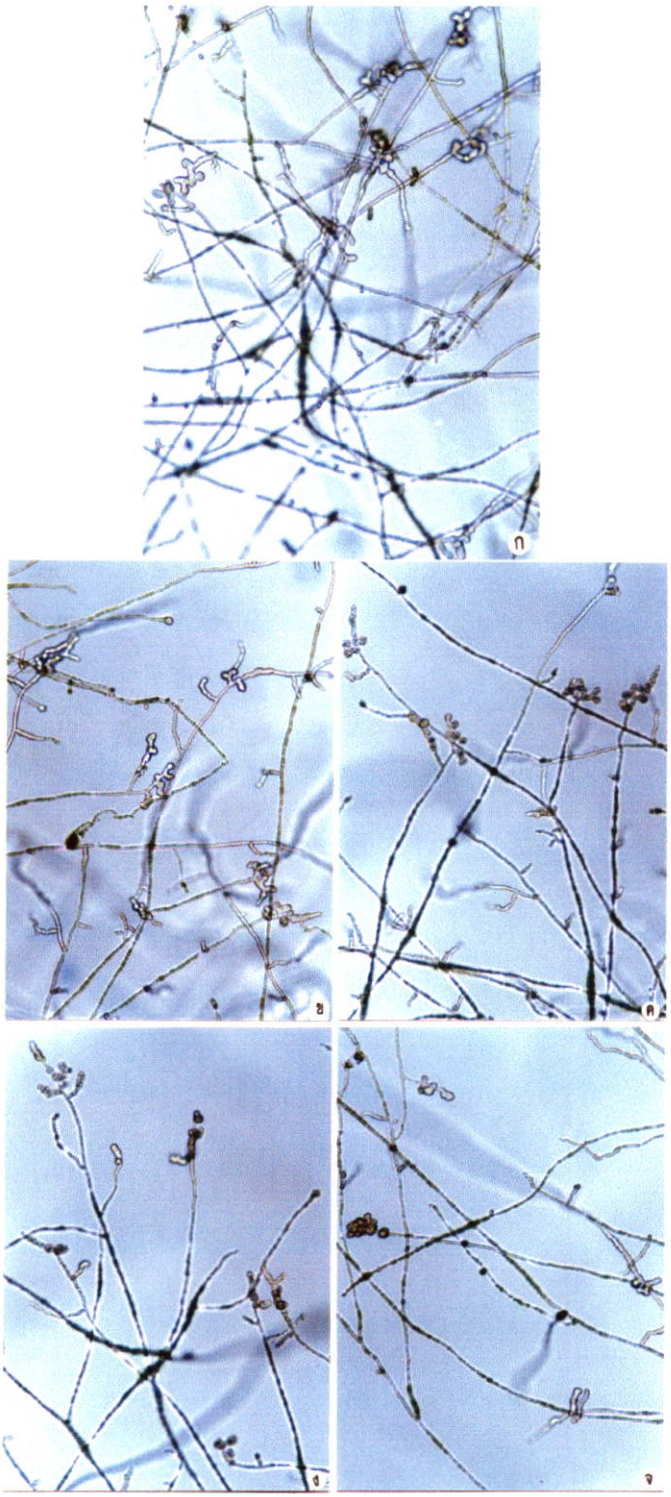
ตารางที่ 4.12 ปริมาณการสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนผสมกับน้ำ และผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้นซิลิคอน (ppm)	จำนวน sporangium ของเชื้อรา *P. aphanidermatum* ต่อการมองเห็น 1 field				
		24 ชั่วโมง	30 ชั่วโมง	36 ชั่วโมง	42 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
น้ำ	0	9 b[1/]	21 b[1/]	23 b[1/]	28 b[1/]	29 b[1/]
	250	3 c	7 c	14 c	13 cd	15 c
	500	1 c	3 cd	7 d	7 d	8 d
	750	0 c	1 d	2 d	3 d	3 d
	1,000	0 c	0 d	1 d	2 d	2 d
สารละลายธาตุอาหารพืช	0	21 a	33 a	42 a	52 a	53 a
	250	2 c	9 c	20 b	34 b	34 b
	500	0 c	4 cd	15 c	33 b	32 b
	750	0 c	3 cd	12 c	21 c	20 c
	1,000	0 c	2 d	5 d	14 cd	14 cd
C.V. =		3.17%	5.06%	5.81%	7.33%	9.25%
ชนิดสารละลาย (ปัจจัย A)		**	*	*	**	**
ความเข้มข้นซิลิคอน (ปัจจัย B)		*	**	**	**	*
AB		*	*	*	*	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.17 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในน้ำ) ระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า)
(ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)



ภาพที่ 4.18 การสร้าง sporangium ของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (ซิลิคอนผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) ในระดับความเข้มข้นต่างๆ (กำลังขยาย 100 เท่า) (ก. 0 ppm ข. 250 ppm ค. 500 ppm ง. 750 pppm จ. 1,000 ppm)

4.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT)

4.2.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT

จากการศึกษาอิทธิพลของ 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัย A และ B คือ ชนิดของสารละลายซิลิคอน (โซเดียมซิลิเกต, โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์) และระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอน (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) ที่ให้ทางราก และ ปัจจัย C คือ การพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ (โซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm) ผลการทดลองพบว่า สารละลายซิลิคอนมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผักทดลองทุกชนิด (ผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกาดหอม ผักกาดกุง ขึ้นฉ่าย และวอเตอร์เครส) โดยปัจจัยทุกตัวมีผลต่อการเจริญเติบโต และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ซึ่งความแตกต่างที่พบในแต่ละพืชผักมีรายละเอียดแตกต่างต่างกันไป ดังนี้

ผักกาดขาวกวางตุ้ง (Chinese cabbage; *Brassica campestris* var. *chinensis*; Cruciferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ความแตกต่างด้านจำนวนใบของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งนั้นพบในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต (อายุ 21 วัน) โดยต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอนทั้งทางรากและทางใบ มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ 8 ใบต่อต้น ส่วนต้นที่ได้รับสารซีโอไลท์ 50 ppm ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบนั้น มีจำนวนใบมากที่สุดคือ 13 ใบต่อต้น และต้นผักกาดขาวกวางตุ้งในสิ่งทดลองอื่นๆ มีจำนวนใบ 9-11 ใบต่อต้น ซึ่งเป็นอิทธิพลของระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนเพียงปัจจัยเดียว (ตารางที่ 4.13)

ความกว้างและความยาวใบ ความแตกต่างทางด้านความกว้างและความยาวใบนั้น เริ่มแสดงเมื่อผักทดลองอายุ 14 วัน ดังนี้ ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 50 ppm โพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm และซีโอไลท์ 50 และ 150 ppm ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกตทางใบทั้งสองความเข้มข้น มีความกว้างใบเฉลี่ยมากกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (8.12-8.73 และ 7.17-8.03 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) ส่วนด้านความยาวใบนั้นพบว่า ต้นผักกาดที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm พ่นทางใบเพียงอย่างเดียว มีความยาวใบเฉลี่ยน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (14.94-14.98 และ 15.53-17.42 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) และเมื่ออายุ 21 วัน พบว่า ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบเพียงอย่างเดียว มีความกว้างใบน้อยที่สุด (8.44 เซนติเมตรต่อใบ) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆ มีความกว้างใบไม่แตกต่างกัน (8.78-10.94 เซนติเมตรต่อต้น) ส่วนความยาวใบนั้น ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารซีโอไลท์ 150 ppm ร่วมกับการพ่น

โซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ มีความยาวใบมากที่สุด (22.75 เซนติเมตรต่อใบ) และต้นที่ได้รับสารซีโอไลท์ 100 ppm ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบนั้นมีความยาวใบน้อยที่สุด (18.78 เซนติเมตรต่อใบ) ส่วนสิ่งทดลองอื่นๆ มีความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (18.94-22.75 เซนติเมตรต่อใบ) โดยความแตกต่างทางความกว้างใบนั้นเป็นผลมาจากอิทธิพลของชนิดซิลิคอนและระดับความเข้มข้นที่ให้ทางราก ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ส่วนความแตกต่างทางความยาวใบนั้นในช่วงแรกเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยด้านชนิดซิลิคอน และระดับความเข้มข้น (มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยต่างๆ) แต่ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตมีเพียงระดับความเข้มข้นของซิลิคอนที่ให้ทางรากเท่านั้นที่มีผลต่อความต่างของความยาวใบ แต่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างชนิดและความเข้มข้นซิลิคอน (ตารางที่ 4.18 และ 4.19)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสด รากสด ต้นแห้ง และรากแห้ง พบว่าต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทั้ง 3 ชนิด (โซเดียมซิลิเกต, โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์) ทุกระดับความเข้มข้น (50-200 ppm) และการได้รับโซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm พ่นทางใบ มีน้ำหนักต้นสดมากกว่า ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0 ppm (ที่ได้รับโซเดียม ซิลิเกตพ่นทางใบทั้งสองความเข้มข้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (41.43-41.66 และ 46.86-95.43 กรัมต่อต้น) ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นสารละลายซิลิคอนในสารละลายธาตุอาหารพืชเพียงด้านเดียวเท่านั้น ส่วนน้ำหนักรากสดนั้นพบว่าน้ำหนักรากสดแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักต้นสด คือ ต้นที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็จะมีน้ำหนักรากสดมาก และน้ำหนักต้นและรากแห้งก็แปรผันไปในทำนองเดียวกันนี้เช่นกัน ซึ่งความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.16 (ภาพที่ 4.19-4.21)

ตารางที่ 4.13 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	10 b-d[1/]
	50	500 ppm	3	5	7	10 b-d
	100		3	5	7	10 b-d
	150		3	5	7	11 ab
	200		3	5	7	9 b-d
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	8 d
	50	0 ppm	3	5	7	10 b-d
	100		3	4	7	10 b-d
	150		3	5	7	11 bc
	200		3	4	7	10 b-d
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	10 b-d
	50	500 ppm	3	4	7	9 cd
	100		3	5	7	10 b-d
	150		3	4	7	10 b-d
	200		3	5	7	10 bc
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	8 d
	50	0 ppm	3	4	7	10 b-d
	100		3	5	7	10 b-d
	150		3	5	7	11 a-c
	200		3	5	7	10 b-d
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	10 b-d
	50	0 ppm	3	5	7	13 a
	100		3	5	7	10 b-d
	150		3	5	7	11 bc
	200		3	4	7	9 cd
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	7	8 d
	50	500 ppm	3	5	7	10 bc
	100		3	4	7	9 cd
	150		3	5	7	10 b-d
	200		3	5	7	10 b-d
C.V. =			-	24.49%	15.63%	14.19%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)				ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)				ns	ns	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)				ns	ns	ns
AB				ns	ns	*
AC				ns	ns	ns
BC				ns	ns	**
ABC				ns	ns	**

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.14 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0 ppm	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.17 i[1/]	8.44 b[1/]
	50	0 ppm	3.38	6.4	8.47 a-c	10.31 ab
	100		3.40	5.6	7.43 f-i	8.78 ab
	150		3.41	5.8	7.74 c-i	9.50 ab
	200		3.39	5.6	7.34 hi	8.92 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.20 i	8.58 ab
	50	500 ppm	3.38	6.1	8.73 a	10.94 a
	100		3.38	5.9	8.03 a-h	10.00 ab
	150		3.37	6.5	7.73 c-i	9.53 ab
	200		3.40	5.5	7.67 e-i	9.25 ab
โพแทสเซียมซิลิเกต	0 ppm	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.17 i	8.44 b
	50	0 ppm	3.41	5.8	7.40 g-i	9.36 ab
	100		3.40	6.2	7.19 i	9.00 ab
	150		3.40	5.9	7.72 c-i	9.83 ab
	200		3.39	6.6	8.44 a-d	10.89 a
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.20 i	8.58 ab
	50	500 ppm	3.39	5.5	7.17 i	8.94 ab
	100		3.42	6.8	7.28 hi	10.06 ab
	150		3.39	6.2	7.79 c-i	9.92 ab
	200		3.39	6.1	8.18 a-f	10.19 ab
ซีโอไลท์	0 ppm	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.17 i	8.44 b
	50	0 ppm	3.38	6.8	8.56 ab	10.81 ab
	100		3.42	6.2	7.69 d-i	9.17 ab
	150		3.39	6.5	8.31 a-e	10.22 ab
	200		3.39	6.7	8.14 a-g	10.11 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.39	5.6	7.20 i	8.58 ab
	50	500 ppm	3.42	5.9	8.12 a-g	9.39 ab
	100		3.38	6.0	7.78 c-i	9.50 ab
	150		3.41	6.1	8.34 a-e	10.44 ab
	200		3.40	6.0	7.84 b-i	9.78 ab
C.V. =			5.00%	37.16%	16.86%	17.08%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	**	**
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	ns
AB			ns	ns	**	**
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.15 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	4.94	12.42	14.98 h[1/]	18.94 ab[1/]
	50	500 ppm	4.96	13.18	15.64 f-h	21.50 ab
	100		4.92	12.47	15.59 gh	20.42 ab
	150		4.91	13.15	15.81 e-h	20.56 ab
	200		4.97	12.90	15.53 gh	19.06 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	4.93	12.32	14.94 h	19.06 ab
	50	0 ppm	4.92	12.85	17.42 a	22.61 ab
	100		4.96	13.64	15.99 d-g	20.42 ab
	150		4.98	13.71	15.92 d-g	21.06 ab
	200		4.94	12.34	15.74 e-h	20.89 ab
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	4.94	12.42	14.98 h	18.94 ab
	50	500 ppm	4.96	12.13	16.14 d-g	19.94 ab
	100		4.93	13.18	16.37 c-g	20.25 ab
	150		4.95	13.49	16.80 a-d	20.86 ab
	200		4.91	13.85	17.11 d-g	21.67 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	4.93	12.32	14.94 h	19.06 ab
	50	0 ppm	4.95	12.73	15.78 e-h	19.08 ab
	100		4.93	13.74	16.51 b-f	20.78 ab
	150		4.92	13.55	16.00 d-g	20.11 ab
	200		4.96	13.42	16.18 a-c	20.94 ab
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	4.94	12.32	14.98 h	18.94 ab
	50	500 ppm	4.95	14.03	17.04 a-c	21.50 ab
	100		4.96	13.18	16.29 c-g	18.78 b
	150		4.93	13.37	17.13 a-c	21.89 ab
	200		4.94	13.86	16.60 a-e	20.78 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	4.93	12.32	14.94 h	19.06 ab
	50	0 ppm	4.91	12.48	15.73 e-h	19.44 ab
	100		4.94	12.55	15.61 gh	19.61 ab
	150		4.95	13.81	17.31 ab	22.75 a
	200		4.92	13.82	16.34 c-g	20.36 ab
C.V. =			10.38%	13.26%	13.84%	12.86%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	**	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	ns
AB			ns	ns	**	*
AC			ns	ns	**	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต

ตารางที่ 4.16 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบDFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง	
			ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	41.43 d[1/]	3.13 b[1/]	1.606 de[1/]	0.329 a-c[1/]
	50	500 ppm	76.64 a-c	2.62 ab	3.269 a-c	0.458 a
	100		65.30 a-d	4.69 ab	1.846 de	0.246 bc
	150		70.70 a-d	4.48 ab	1.752 de	0.297 a-c
	200		62.21 a-d	3.10 b	2.095 c-e	0.275 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	41.66 d	3.04 ab	1.444 e	0.222 c
	50	0 ppm	67.19 a-d	4.68 ab	3.373 ab	0.366 a-c
	100		46.86 cd	3.92 ab	1.884 de	0.334 a-c
	150		70.33 a-d	5.30 ab	2.256 ce	0.425 ab
	200		65.41 a-d	4.98 ab	2.012 be	0.275 a-c
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	41.43 d	3.13 b	1.606 b-e	0.329 a-c
	50	500 ppm	59.09 b-d	6.40 a	1.949 de	0.291 a-c
	100		62.59 a-d	3.37 ab	1.974 de	0.271 a-c
	150		75.39 a-c	3.51 ab	2.131 c-e	0.279 a-c
	200		84.73 ab	5.46 ab	2.521 b-e	0.391 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	41.66 d	3.04 ab	1.444 e	0.220 c
	50	0 ppm	62.33 a-d	5.58 ab	1.698 de	0.227 c
	100		54.89 b-d	4.06 ab	1.897 de	0.306 a-c
	150		78.13 a-c	4.43 ab	2.238 b-e	0.342 a-c
	200		68.87 a-d	6.21 a	2.222 b-e	0.364 a-c
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	41.43 d	3.13 b	1.606 de	0.329 a-c
	50	500 ppm	95.43 a	3.68 ab	3.735 a	0.447 a
	100		70.33 a-d	4.00 ab	2.044 c-e	0.279 a-c
	150		78.56 a-c	5.43 ab	2.553 de	0.329 a-c
	200		67.97 a-d	5.09 ab	1.595 de	0.212 c
	0	โซเดียมซิลิเกต	41.66 d	3.04 ab	1.444 e	0.220 c
	50	0 ppm	66.21 a-d	4.39 ab	2.389 b-e	0.278 a-c
	100		65.47 a-d	3.84 ab	1.883 de	0.268 a-c
	150		85.51 ab	4.33 ab	2.799 a-d	0.330 a-c
	200		69.83 a-d	5.59 ab	2.402 b-e	0.382 a-c
C.V. =			30.70%	48.00%	29.70%	31.51%
ชนิดซิลิเกต (ปัจจัย A)			ns	ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			**	**	**	*
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	ns
AB			ns	*	**	*
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	**
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4.19 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ภาพที่ 4.20 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ภาพที่ 4.21 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ผักกาดหอม (Lettuce; *Lactuca sativa*; Compositae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ในช่วง 14 วันแรกของการทดลอง ต้นผักกาดหอมทุกสิ่งทดลองมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ (2, 4 และ 5-6 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับอายุ เริ่มทดลอง, 7 และ 14 วัน) จนกระทั่งต้นผักกาดหอมอายุ 21 วัน พบว่า ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตเข้มข้น 150 ppm ร่วมกับการได้รับโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบ มีจำนวนใบต่อต้นน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 6 ใบต่อต้น ขณะที่ต้นผักกาดหอมในสิ่งทดลองอื่นๆ ที่มีจำนวนใบ 7-8 ใบต่อต้น โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากปัจจัยด้านชนิดและระดับความเข้มข้นที่ให้ทางรากของสารละลายซิลิคอน ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 4.17)

ความกว้างและความยาวใบ ช่วง 7 วันแรกของการทดลอง ต้นผักกาดหอมทุกสิ่งทดลองมีความกว้างและความยาวใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่ออายุ 14 วัน พบว่า ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบแต่เพียงอย่างเดียวนั้น มีความกว้างและความยาวใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (8.92x12.00 กับ 9.38-11.14 x 12.39-14.12 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) เมื่ออายุ 21 วัน พบว่า ความแตกต่างทางความกว้างใบนั้นยังคงเป็นไปในลักษณะเดิม คือ ต้นที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบเพียงอย่างเดียวนั้น มีความกว้างใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (12.67 กับ 13.00-15.61 เซนติเมตรต่อใบ ตามลำดับ) แต่ทางด้านความยาวใบนั้นกลับพบว่า ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบ มีความยาวใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ (18.33-18.44 และ 18.83-22.00 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) โดยความแตกต่างทางด้านความกว้างใบเกิดจากอิทธิพลของทุกปัจจัยร่วมกัน และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ส่วนด้านความยาวใบนั้น เมื่อผักกาดหอมอายุ 14 วัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นมาจากทุกปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน เช่นเดียวกันกับความกว้างใบ แต่เมื่ออายุ 21 วัน ความแตกต่างที่พบเกิดจากระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก กับการพ่นทางใบ เท่านั้น และไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 4.18 และ 4.19)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสด รากสด ต้นแห้ง และรากแห้ง พบว่าด้านน้ำหนักต้นสดนั้น ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 500 ppm ทางใบเพียงอย่างเดียว จะมีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (35.91 กรัมต่อต้น) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีน้ำหนักต้นสด 45.22-66.73 กรัมต่อต้น ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากอิทธิพลของชนิดซิลิคอน ระดับความเข้ม

ข้น และการพ่นทางใบ แต่ทุกปัจจัยไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมกัน ส่วนด้านน้ำหนักรากสดนั้นพบว่า น้ำหนักรากสดแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักต้นสด คือ ต้นที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็จะมีน้ำหนักรากสดมากตามไปด้วย และน้ำหนักต้นและรากแห้งก็แปรผันไปในทำนองเดียวกันนี้เช่นกัน ซึ่งความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.20 (ภาพที่ 4.22-4.24)

ตารางที่ 4.17 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	4	5	7 ab[1/]
	50		2	4	6	8 a
	100		2	4	6	8 a
	150		2	4	6	8 a
	200		2	4	5	7 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	4	5	7 ab
	50		2	4	6	8 a
	100		2	4	6	7 ab
	150		2	4	6	7 ab
	200		2	4	6	7 ab
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	4	5	7 ab
	50		2	4	5	7 ab
	100		2	4	5	7 ab
	150		2	4	5	6 b
	200		2	4	5	7 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	4	5	7 ab
	50		2	4	5	7 ab
	100		2	4	6	7 ab
	150		2	4	6	7 ab
	200		2	4	5	7 ab
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	4	5	7 ab
	50		2	4	5	7 ab
	100		2	4	5	7 ab
	150		2	4	6	7 ab
	200		2	4	6	7 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	4	5	7 ab
	50		2	4	6	8 a
	100		2	4	5	7 ab
	150		2	4	5	8 a
	200		2	4	5	7 ab
C.V. =				13.06%	9.99%	14.01%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)				ns	ns	*
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)				ns	ns	*
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)				ns	ns	ns
AB				ns	ns	ns
AC				ns	ns	ns
BC				ns	ns	ns
ABC				ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.18 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	3.30	5.56	8.92 h[1/]	12.67 d[1/]
	50		3.28	5.56	11.14 a	15.61 a
	100		3.31	5.53	10.71 a-c	15.22 a-c
	150		3.29	5.53	10.07 ef	14.50 a-d
	200		3.31	5.56	9.37 g	12.78 cd
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	3.28	5.50	9.38 g	14.11 a-d
	50		3.29	5.53	10.86 ab	15.39 ab
	100		3.29	5.51	10.07 ef	14.50 a-d
	150		3.29	5.53	10.32 c-f	14.28 a-d
	200		3.31	5.53	10.19 b-f	14.17 a-d
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	3.30	5.56	8.92 h	12.67 d
	50		3.30	5.49	9.99 ef	13.56 a-d
	100		3.31	5.51	9.84 fg	13.61 a-d
	150		3.30	5.53	9.48 g	12.89 b-d
	200		3.30	5.52	9.47 g	12.78 cd
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	3.28	5.50	9.38 g	14.11 a-d
	50		3.29	5.54	10.28 c-f	14.50 a-d
	100		3.29	5.52	10.04 ef	13.67 a-d
	150		3.29	5.52	10.12 d-f	13.94 a-d
	200		3.30	5.51	10.19 d-f	13.17 a-d
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	3.30	5.56	8.92 h	12.67 d
	50		3.31	5.53	10.29 c-f	13.78 a-d
	100		3.29	5.52	10.18 d-f	13.00 b-d
	150		3.29	5.52	10.09 ef	13.56 a-d
	200		3.28	5.54	10.39 b-e	14.44 a-d
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	3.28	5.50	9.38 g	14.11 a-d
	50		3.31	5.49	10.33 c-f	14.67 a-d
	100		3.28	5.52	10.42 b-e	14.00 a-d
	150		3.29	5.53	10.62 b-d	15.28 a-c
	200		3.30	5.52	10.50 b-e	14.72 a-d
C.V. =			4.28%	4.38%	14.68%	12.09%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	**	**
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	**	**
AB			ns	ns	**	*
AC			ns	ns	*	ns
BC			ns	ns	**	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.19 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

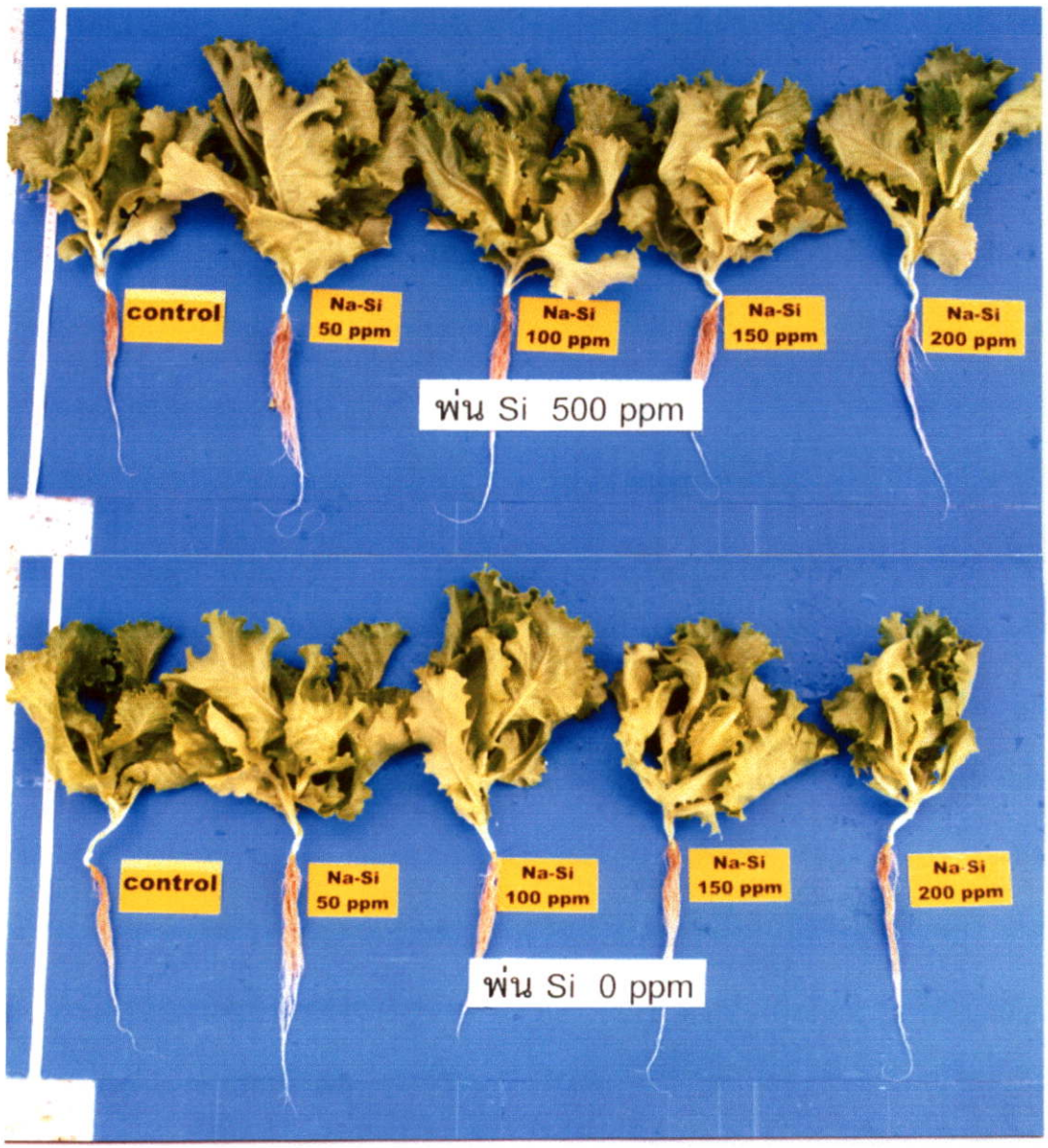
ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	5.02	8.46	12.00 f[1/]	18.83 bc[1/]
	50		5.01	8.53	14.12 a	22.00 a
	100		5.04	8.50	13.61 ab	20.72 a-c
	150		5.08	8.58	13.40 a-d	19.94 a-c
	200		5.06	8.51	13.03 b-f	18.33 c
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	5.02	8.46	12.39 d-f	20.00 a-c
	50		5.05	8.61	13.52 a-c	21.00 ab
	100		5.00	8.54	13.41 a-e	20.39 a-c
	150		5.07	8.52	13.13 a-e	19.78 a-c
	200		5.09	8.56	13.11 a-e	19.83 a-c
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	5.02	8.46	12.00 f	18.83 bc
	50		5.04	8.54	13.14 a-e	19.22 bc
	100		5.06	8.51	13.22 a-e	19.56 a-c
	150		5.01	8.53	12.34 ef	18.89 bc
	200		5.03	8.50	12.43 d-f	18.44 c
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	5.02	8.46	12.39 df	20.00 a-c
	50		5.08	8.57	13.62 ab	20.61 a-c
	100		5.05	8.52	13.10 a-d	19.50 a-c
	150		5.07	8.51	13.41 a-d	20.44 a-c
	200		5.03	8.52	12.51 c-f	19.39 bc
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	5.02	8.46	12.00 f	18.83 bc
	50		5.05	8.53	12.70 b-f	19.56 a-c
	100		5.09	8.52	12.81 b-f	19.67 bc
	150		5.04	8.57	12.73 b-f	19.67 bc
	200		5.02	8.52	13.11 a-e	20.11 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	5.02	8.46	12.39 d-f	20.00 a-c
	50		5.08	8.56	13.12 a-e	21.06 ab
	100		5.06	8.58	13.31 a-e	20.11 a-c
	150		5.05	8.58	13.23 a-e	20.61 a-c
	200		5.03	8.58	13.31 a-e	20.33 a-c
C.V. =			8.54%	9.53 %	15.55 %	8.54 %
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	**	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	**	**
AB			ns	ns	*	ns
AC			ns	ns	*	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต

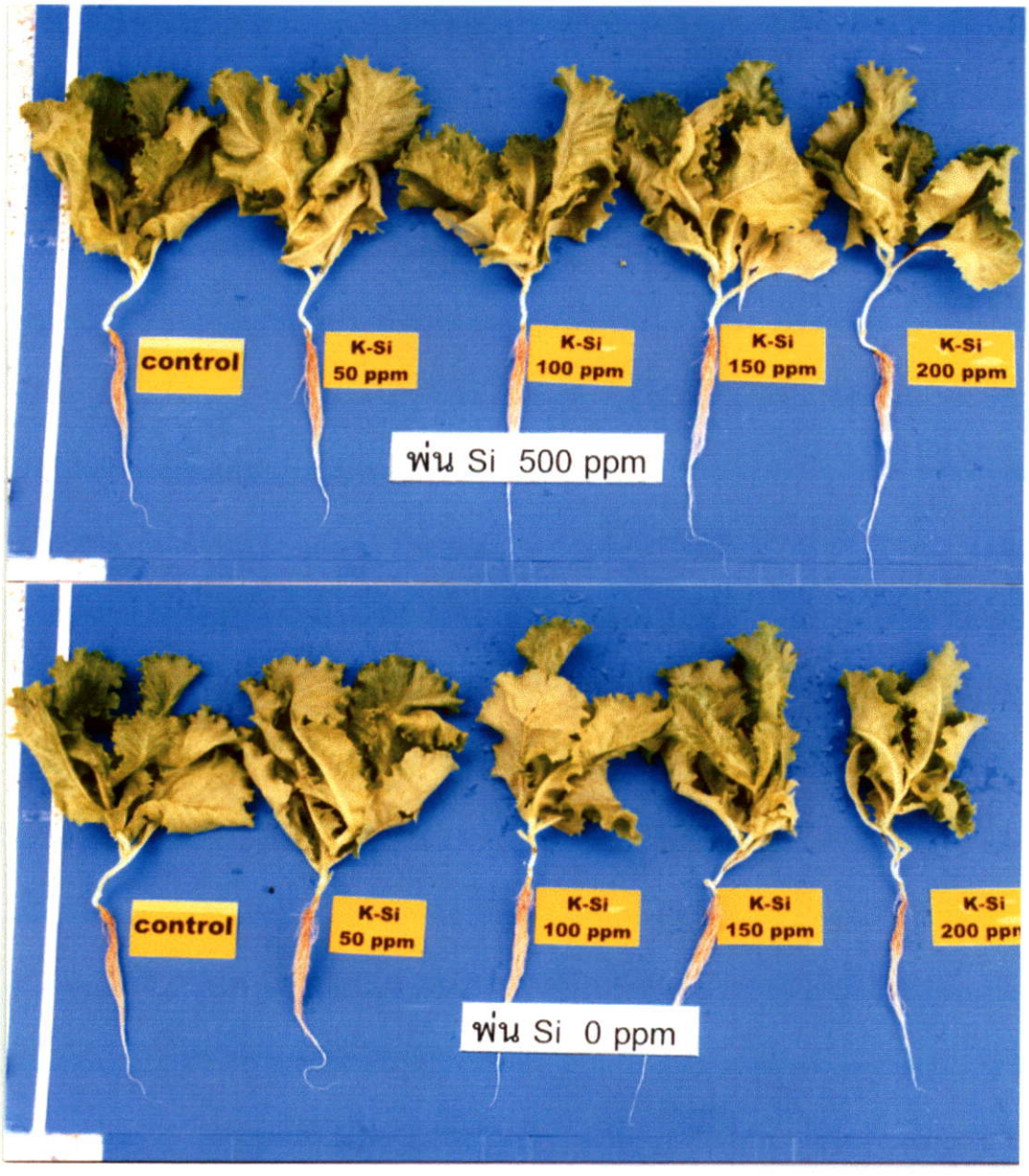
ตารางที่ 4.20 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น	การพ่นทางใบ	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง	
	(ppm)	(ppm)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)
โซเดียม	0	โซเดียมซิลิเกต	35.91 e[1/]	2.26 f[1/]	1.536 d[1/]	0.085 c[1/]
ซิลิเกต	50	500 ppm	66.73 a	4.28 a	2.511 ab	0.175 ab
	100		60.81 a-d	4.32 a	2.566 a	0.187 a
	150		51.57 a-e	3.96 a-c	2.008 a-d	0.160 ab
	200		44.56 de	2.72 d-f	1.573 cd	0.125 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	45.22 a-e	2.94 c-f	1.715 a-d	0.108 bc
	50	0 ppm	65.77 ab	4.09 ab	2.482 a-d	0.176 ab
	100		58.01 a-d	3.70 a-e	2.421 a-d	0.153 a-c
	150		49.01 a-e	3.76 a-e	1.818 a-d	0.140 a-c
	200		52.22 a-e	3.14 b-f	1.908 a-d	0.137 a-c
โพแทสเซียม	0	โซเดียมซิลิเกต	35.91 e	2.26 f	1.536 d	0.085 c
ซิลิเกต	50	500 ppm	47.77 a-e	3.10 b-f	1.830 a-d	0.129 a-c
	100		53.44 a-e	3.80 a-d	2.139 a-d	0.161 ab
	150		40.73 de	2.81 d-f	1.633 b-d	0.124 a-c
	200		43.20 c-e	2.65 ef	1.699 a-d	0.134 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	45.22 a-e	2.94 c-f	1.715 a-d	0.108 bc
	50	0 ppm	57.68 a-e	3.64 a-f	2.169 a-d	0.151 a-c
	100		47.96 a-e	3.01 b-f	1.799 a-d	0.129 a-c
	150		48.43 a-e	3.27 b-g	1.837 a-d	0.129 a-c
	200		45.97 a-e	3.17 b-f	1.845 a-d	0.189 a-c
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	35.91 e	2.26 f	1.536 d	0.085 c
	50	500 ppm	51.94 a-e	3.12 b-f	1.967 a-d	0.114 bc
	100		45.26 a-e	3.16 b-f	1.737 a-d	0.143 a-c
	150		50.42 a-e	2.97 a-e	1.812 a-d	0.123 a-c
	200		54.26 a-e	3.59 a-e	2.059 a-d	0.131 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	45.22 a-e	2.94 c-f	1.715 a-d	0.108 bc
	50	0 ppm	60.94 a-d	3.69 a-e	2.318 a-d	0.137 a-c
	100		55.53 a-e	3.06 b-f	1.992 a-d	0.142 a-c
	150		64.48 ab	3.88 c-f	2.287 a-d	0.150 a-c
	200		56.73 a-e	3.52 a-f	2.099 a-d	0.131 a-c
C.V. =			28.86%	23.06%	31.74%	36.41%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			**	**	ns	*
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			**	**	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			**	**	ns	ns
AB			ns	**	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	**	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

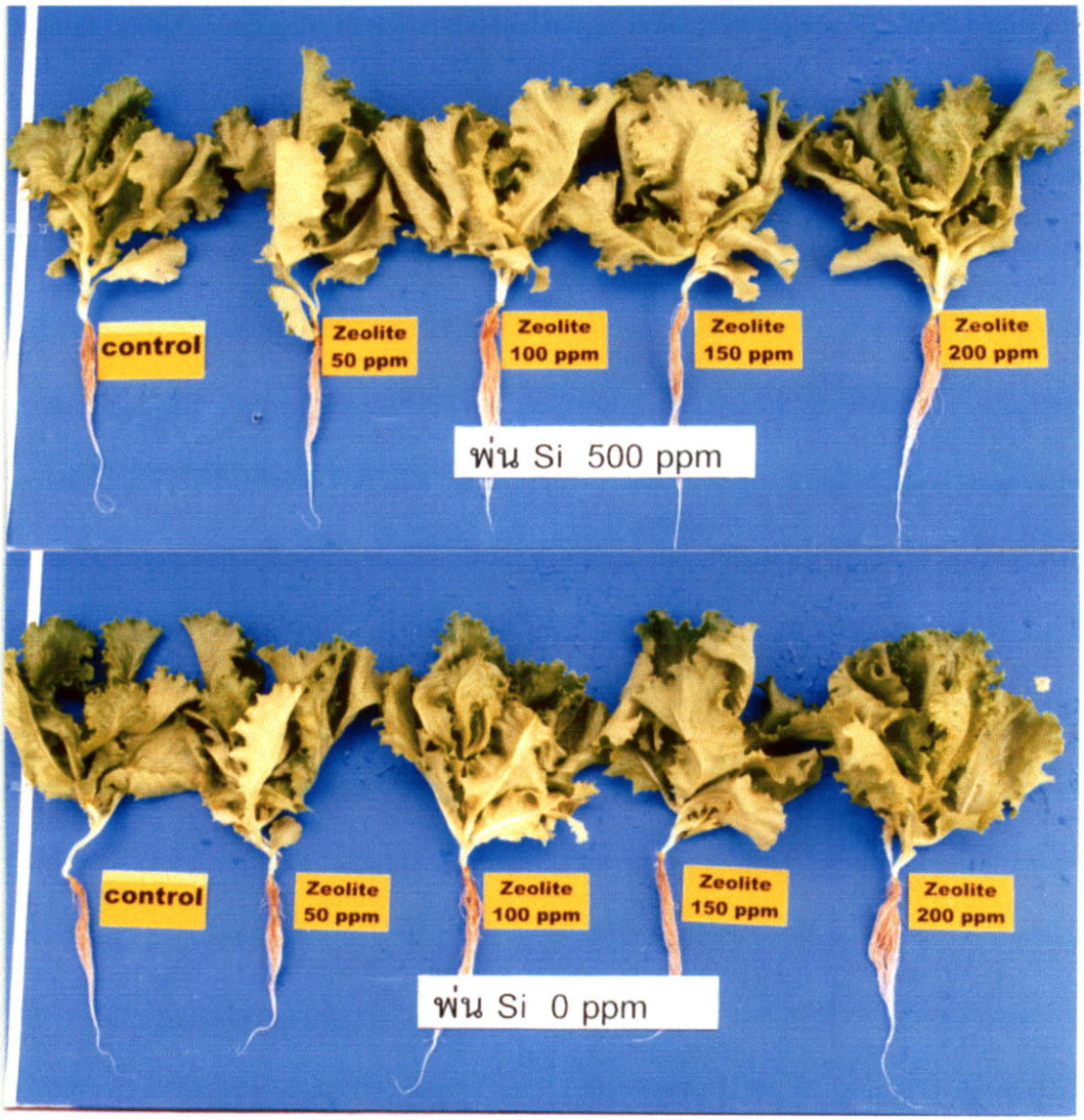
1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.22 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.23 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.24 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ผักกาดกุง (phakkat Kung; *Amaranthus dubius*; Cruciferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ต้นผักกาดกุงทุกสิ่งทดลองมีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตลอดการทดลอง โดยมีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 2, 2-3, 3-4 และ 4 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับอายุผักทดลองเริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน (ตารางที่ 4.21)

ความกว้างและความยาวใบ ความแตกต่างทางด้านความกว้างและความยาวใบนั้นเริ่มปรากฏเมื่อต้นผักกาดกุงอายุ 14 วัน โดยต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 50-200 ppm ทางราก ร่วมกับ 500 ppm ทางใบ มีความกว้างและความยาวใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (8.58-9.23 x 21.11-21.92 และ 9.32-10.11 x 22.36-23.95 เซนติเมตรต่อใบ ตามลำดับ) และเมื่ออายุ 21 วัน ต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 200 ppm ทางราก และ 500 ppm ทางใบ มีความกว้างใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (11.61 และ 12.00-14.94 เซนติเมตรต่อใบ ตามลำดับ) ส่วนต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm พ่นทางใบเพียงอย่างเดียว มีความยาวใบน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความแตกต่างทางความกว้างใบนั้นเป็นผลมาจากชนิดและระดับความเข้มข้นของซิลิคอนที่ให้ทางราก และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ส่วนความแตกต่างทางความยาวใบ ในช่วงแรกเป็นผลมาจากชนิดและระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก แต่ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตความแตกต่างที่ได้รับเป็นผลมาจากระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก และการพ่นทางใบ ซึ่งทุกปัจจัยไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน(ตารางที่ 4.22 และ 4.23)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสด รากสด ต้นแห้ง และรากแห้ง พบว่าต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0 ppm ทางราก และพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm ทางใบ และโซเดียมซิลิเกต 50 และ 200 ppm ทางราก และ 500 ppm ทางใบ มีน้ำหนักต้นสดน้อยที่สุด (37.40-38.94 กรัมต่อต้น) โดยน้อยกว่าต้นผักโขมที่ได้รับสารละลายซิลิคอนอื่นๆ (43.03-61.24 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของชนิดและระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก และการพ่นทางใบ แต่ในระหว่างปัจจัยไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ส่วนด้านน้ำหนักรากสดนั้นพบว่าน้ำหนักรากสดแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักต้นสด คือ ต้นที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็จะมีน้ำหนักรากสดมาก และน้ำหนักต้นและรากแห้งก็แปรผันไปในทำนองเดียวกันนี้เช่นกัน ซึ่งความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.24 (ภาพที่ 4.25-4.27)

ตารางที่ 4.21 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบต่อต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) 0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	2	3	4
	50		2	2	3	4
	100		2	3	4	4
	150		2	3	4	4
	200		2	2	4	4
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	2	3	4
	50		2	3	4	4
	100		2	3	3	4
	150		2	3	3	4
	200		2	2	4	4
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	2	3	4
	50		2	3	4	4
	100		2	3	3	4
	150		2	3	3	4
	200		2	2	4	4
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	2	3	4
	50		2	2	3	4
	100		2	2	3	4
	150		2	3	3	4
	200		2	3	4	4
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต 500 ppm	2	2	3	4
	50		2	3	4	4
	100		2	2	3	4
	150		2	2	3	4
	200		2	3	4	4
	0	โซเดียมซิลิเกต 0 ppm	2	2	3	4
	50		2	2	3	4
	100		2	3	4	4
	150		2	3	4	4
	200		2	2	4	4
C.V. =			-	19.28%	20.06%	13.85%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)				ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)				ns	ns	ns
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)				ns	ns	ns
AB				ns	ns	ns
AC				ns	ns	ns
BC				ns	ns	ns
ABC				ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.22 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3.76	6.15	8.61 b[1/]	12.00 ab[1/]
	50	500 ppm	3.78	6.36	8.84 b	12.22 ab
	100		3.71	6.45	8.87 b	12.50 ab
	150		3.77	6.27	9.23 ab	13.61 ab
	200		3.82	6.40	8.78 b	11.61 b
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.72	6.24	8.58 b	12.28 ab
	50	0 ppm	3.69	6.31	9.51 ab	13.72 ab
	100		3.76	6.43	9.32 ab	13.56 ab
	150		3.77	6.50	9.61 ab	14.22 ab
	200		3.73	6.47	9.45 ab	14.00 ab
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3.76	6.15	8.61 b	12.00 ab
	50	500 ppm	3.71	6.39	10.03 a	14.94 a
	100		3.78	6.61	9.02 ab	12.56 ab
	150		3.68	6.73	9.31 ab	13.61 ab
	200		3.73	6.54	9.25 ab	13.61 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.72	6.24	8.58 b	12.28 ab
	50	0 ppm	3.75	6.36	9.84 a	14.67 ab
	100		3.71	6.39	9.47 ab	13.94 ab
	150		3.77	6.42	8.93 b	13.22 ab
	200		3.79	6.68	9.71 ab	14.44 ab
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	3.76	6.15	8.61 b	12.00 ab
	50	500 ppm	3.79	6.71	10.11 a	14.72 ab
	100		3.82	6.79	9.07 ab	13.33 ab
	150		3.76	6.64	9.44 ab	14.06 ab
	200		3.72	6.59	9.49 ab	14.06 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	3.74	6.24	8.58 b	12.28 ab
	50	0 ppm	3.77	6.31	9.58 ab	14.22 ab
	100		3.71	6.80	9.39 ab	14.11 ab
	150		3.79	6.73	9.66 ab	14.56 ab
	200		3.70	6.51	9.71 ab	14.61 ab
C.V. =			15.43%	19.85%	17.52%	15.82%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	*	*
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	*
AB			ns	ns	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.23 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

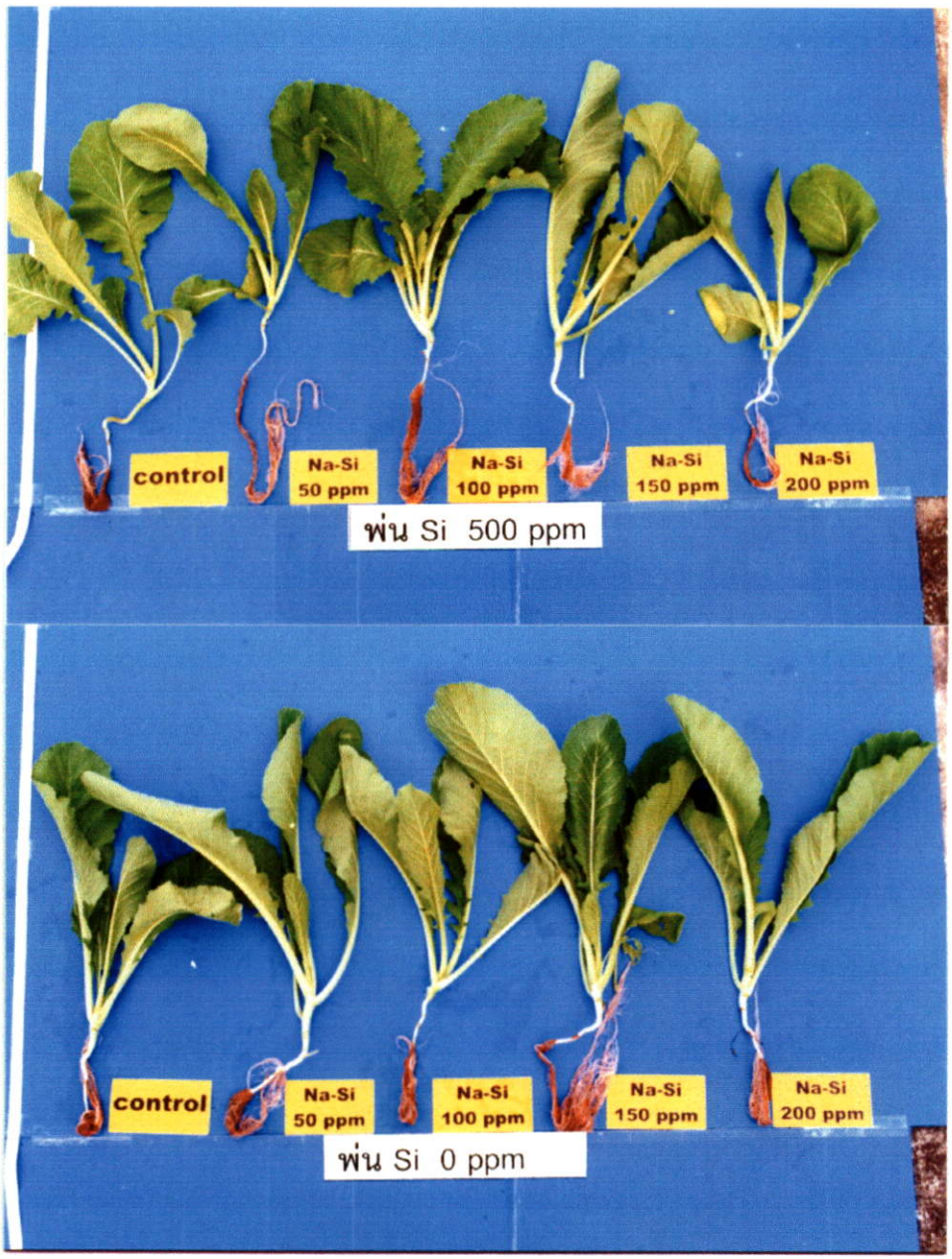
ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น	การพ่นทางใบ	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
	(ppm)	(ppm)	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	5.73	13.16	21.11 b[1/]	28.56 c[1/]
	50	500 ppm	5.77	14.21	21.51 b	30.39 a-c
	100		5.80	14.75	21.92 b	31.39 a-c
	150		5.76	15.11	21.64 b	31.78 a-c
	200		5.79	13.89	21.35 b	28.83 bc
	0	โซเดียมซิลิเกต	5.74	13.19	21.23 b	30.94 a-c
	50	0 ppm	5.70	13.75	21.91 b	33.50 a-c
	100		5.65	13.37	23.12 a	34.33 ab
	150		5.77	14.95	23.26 a	35.67 a
	200		5.74	13.76	22.56 ab	33.83 a-c
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	5.73	13.16	21.11 b	28.56 c
	50	500 ppm	5.80	14.11	23.95 a	36.11 a
	100		5.69	13.64	22.74 ab	31.00 a-c
	150		5.73	14.28	22.36 ab	32.83 a-c
	200		5.67	14.45	22.45 ab	32.89 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	5.74	13.19	21.23 b	30.94 a-c
	50	0 ppm	5.76	14.59	23.41 a	34.78 a
	100		5.72	14.31	23.26 ab	34.72 a
	150		5.74	14.29	23.09 ab	31.44 a-c
	200		5.81	14.03	23.48 a	33.89 a-c
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	5.73	13.16	21.11 b	28.56 c
	50	500 ppm	5.77	13.89	23.87 a	35.00 a
	100		5.75	14.21	22.83 ab	31.06 a
	150		5.79	13.96	23.49 a	33.50 a-c
	200		5.72	14.33	23.30 ab	33.39 a-c
	0	โซเดียมซิลิเกต	5.74	13.19	21.23 b	30.94 a-c
	50	0 ppm	5.80	14.16	23.86 a	35.28 a
	100		5.70	14.43	23.34 a	34.61 a-c
	150		5.79	14.38	23.45 a	35.61 a
	200		5.72	14.27	23.51 a	34.61 a
C.V. =			10.14%	22.66%	19.13%	11.79%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	*	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	**
AB			ns	ns	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

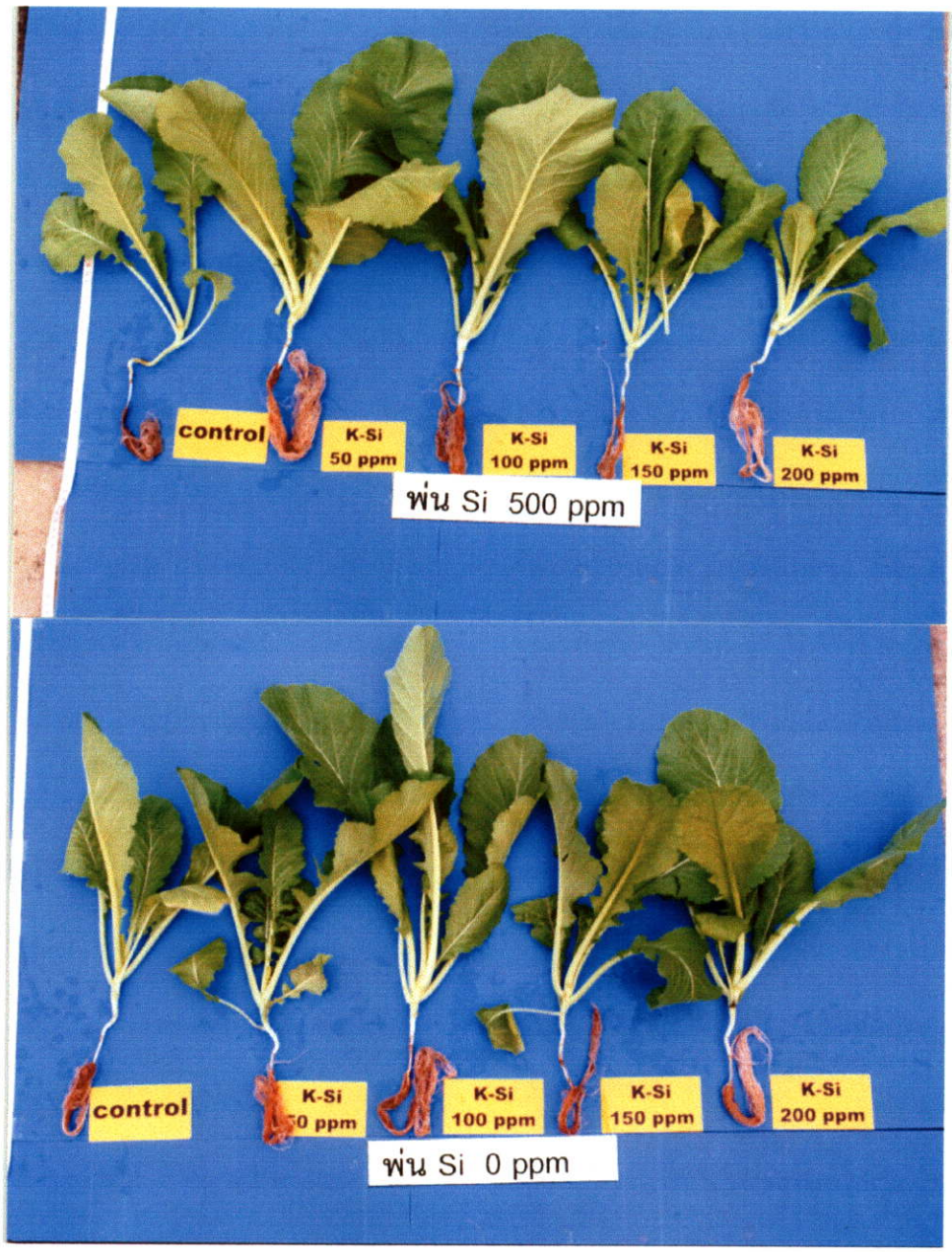
ตารางที่ 4.24 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น	การพ่นทางใบ	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง	
	(ppm)	(ppm)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	38.40 b-d[1/]	3.04 b[1/]	1.986 cd[1/]	0.219
	50	500 ppm	37.40 cd	2.62 b	2.120 a-d	0.313
	100		43.03 a-d	4.69 ab	2.549 a-d	0.264
	150		50.38 a-d	4.48 ab	2.831 a-d	0.300
	200		31.49 d	3.10 b	1.835 a-d	0.197
	0	โซเดียมซิลิเกต	38.94 b-d	3.13 b	2.203 b-d	0.197
	50	0 ppm	51.92 a-c	4.68 ab	2.816 a-d	0.289
	100		49.39 a-d	3.92 ab	3.000 a-c	0.237
	150		58.64 a	5.30 ab	3.238 ab	0.300
	200		49.69 a-d	4.98 ab	2.822 a-d	0.301
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	38.40 b-d	3.04 b	1.986 cd	0.219
	50	500 ppm	61.24 a	6.40 a	3.506 a	0.332
	100		45.59 a-d	3.37 ab	2.523 a-d	0.240
	150		42.72 a-d	3.51 ab	2.421 a-d	0.257
	200		48.51 a-d	5.47 ab	2.853 a-d	0.316
	0	โซเดียมซิลิเกต	38.94 b-d	3.13 b	2.203 b-d	0.197
	50	0 ppm	59.58 a	5.58 ab	3.111 a-c	0.304
	100		49.18 a-d	4.06 ab	2.756 a-d	0.253
	150		45.10 a-d	4.43 ab	2.516 a-d	0.287
	200		54.94 a-c	6.21 a	3.517 a	0.347
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	38.40 b-d	3.04 b	1.986 cd	0.219
	50	500 ppm	51.43 a-c	3.68 ab	2.957 a-d	0.270
	100		51.61 a-c	4.00 ab	2.476 a-d	0.302
	150		57.00 ab	5.43 ab	3.113 a-c	0.312
	200		53.10 a-c	5.09 ab	2.902 a-d	0.313
	0	โซเดียมซิลิเกต	38.94 b-d	3.13 b	2.203 b-d	0.197
	50	0 ppm	56.24 a-c	4.39 ab	3.142 ab	0.287
	100		54.13 a-c	3.84 ab	2.918 a-d	0.277
	150		55.39 a-c	4.33 ab	2.947 a-d	0.247
	200		50.93 a-c	5.59 ab	2.647 a-d	0.315
C.V. =			34.67%	47.99%	36.92%	48.26%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			**	ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			*	**	**	ns
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			*	ns	*	ns
AB			ns	*	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

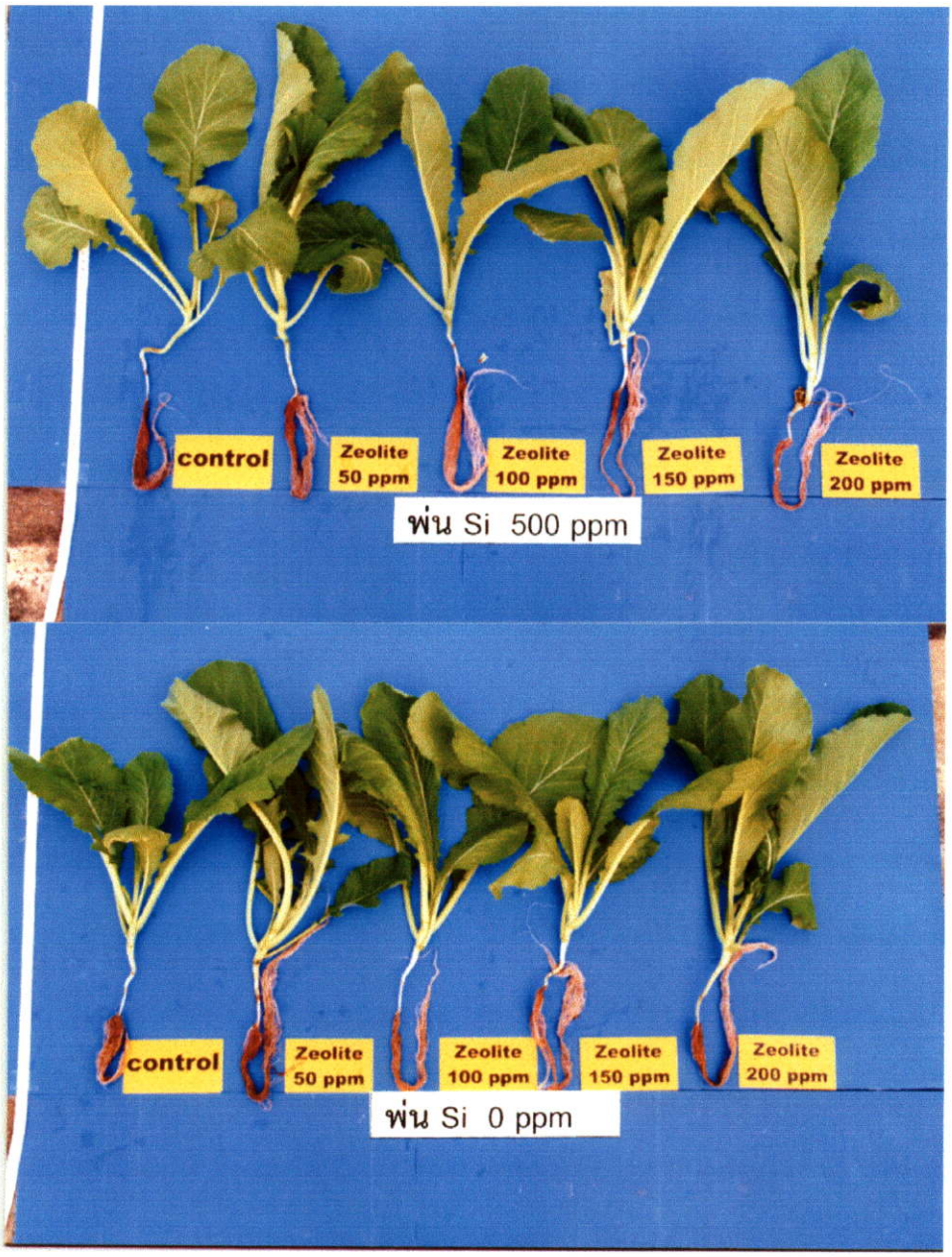
1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.25 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.26 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.27 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ขึ้นฉ่าย (Celery; *Apium graveolens*; Umbelliferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนก้านใบ ต้นขึ้นฉ่ายทุกสิ่งทดลองมีจำนวนก้านใบไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดการทดลอง โดยมีจำนวนก้านใบเฉลี่ยเท่ากับ 3, 4, 4-5 และ 6 ก้านต่อต้น เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน (ตารางที่ 4.25)

ความสูง ในช่วง 14 วัน แรกของการทดลองนั้น ต้นขึ้นฉ่ายมีความสูงไม่แตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลอง จนกระทั่งในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตจึงพบว่า ต้นขึ้นฉ่ายที่ได้รับสารซีโอไลท์ 50 ppm ทางราก ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบ มีความสูงมากที่สุด (41.87 เซนติเมตรต่อต้น) โดยมากกว่าสิ่งทดลองอื่น (34.23-39.40 เซนติเมตรต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเป็นผลมาจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางรากเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น (ตารางที่ 4.26)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสด รากสด ต้นแห้ง และรากแห้ง พบว่า ต้นขึ้นฉ่ายทุกสิ่งทดลองมีน้ำหนักต้นสด (16.02-20.50 กรัมต่อต้น) รากสด (3.10-4.77 กรัมต่อราก) ต้นแห้ง (1.636-2.235 กรัมต่อต้น) และรากแห้ง (0.166-0.251 กรัมต่อราก) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.27, ภาพที่ 4.28-4.30)

ตารางที่ 4.25 จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ก้าน/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ก้าน/ต้น)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	500 ppm	3	4	5	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	5	6
	200		3	4	5	6
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	0 ppm	3	4	5	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	4	6
	200		3	4	5	6
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	500 ppm	3	4	5	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	5	6
	200		3	4	5	6
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	0 ppm	3	4	5	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	5	6
	200		3	4	5	6
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	500 ppm	3	4	5	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	5	6
	200		3	4	5	6
	0	โซเดียมซิลิเกต	3	4	5	6
	50	0 ppm	3	4	4	6
	100		3	4	5	6
	150		3	4	5	6
	200		3	4	4	6
C.V. =			-	11.35%	10.86%	12.46%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)				ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)				ns	ns	ns
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)				ns	ns	ns
AB				ns	ns	ns
AC				ns	ns	ns
BC				ns	ns	ns
ABC				ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.26 ความสูงต้นเฉลี่ย (ซม./ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT อายุต่าง ๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

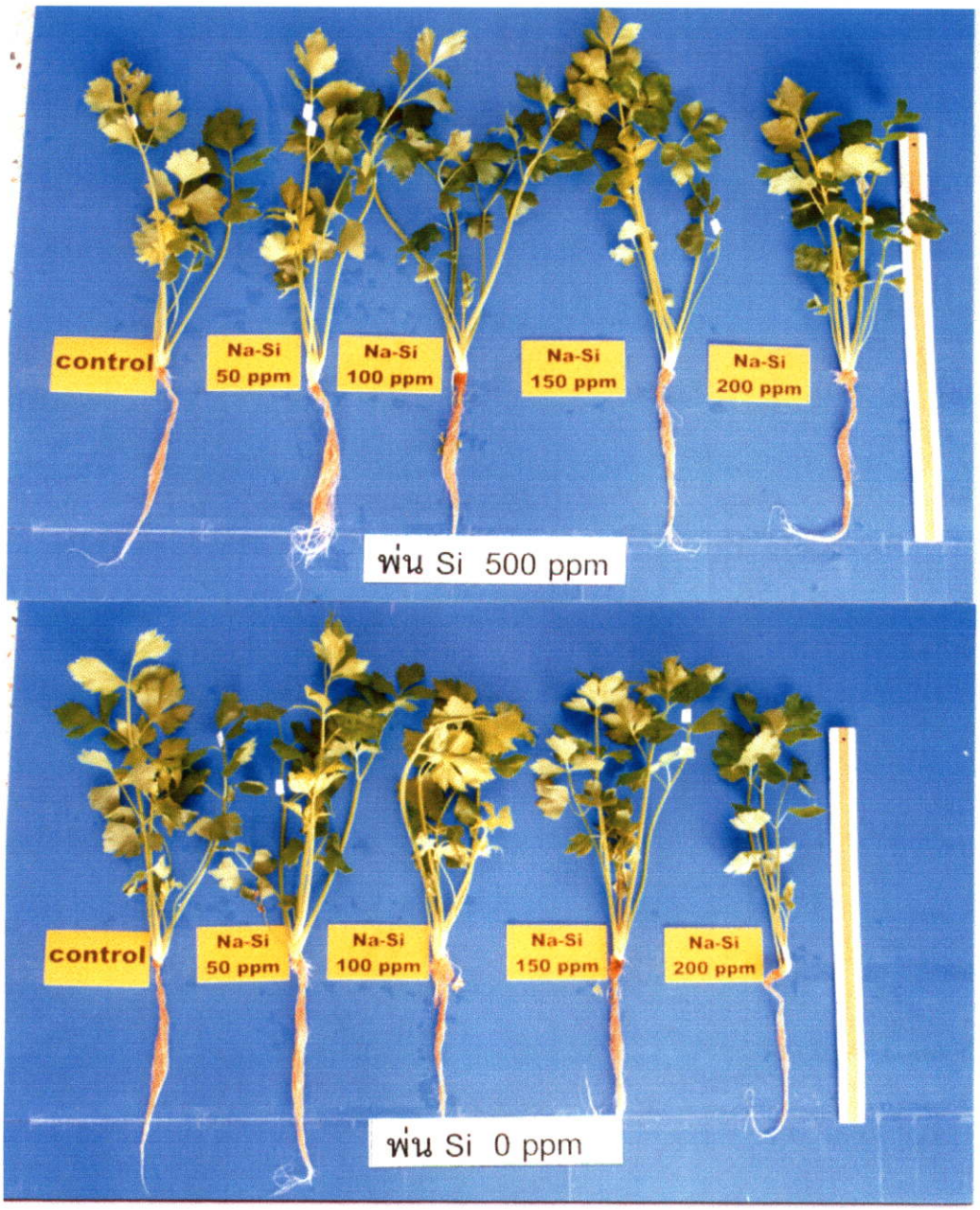
ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น (ppm)	การพ่นทางใบ (ppm)	ความสูงต้นเฉลี่ย (ซม./ต้น)			
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
โซเดียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	20.89	29.22	35.27 b[1/]
	50	500 ppm	7.87	22.89	31.89	39.00 ab
	100		7.77	21.22	31.89	37.31 ab
	150		7.74	20.78	30.44	36.62 ab
	200		7.72	21.11	29.11	36.14 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	21.44	30.44	37.44 ab
	50	0 ppm	7.81	23.11	32.89	38.78 ab
	100		7.79	22.56	31.33	37.46 ab
	150		7.86	21.11	31.33	38.38 ab
	200		7.80	21.11	29.89	38.07 ab
โพแทสเซียมซิลิเกต	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	20.89	29.22	35.27 b
	50	500 ppm	7.83	21.44	30.11	38.01 ab
	100		7.76	22.11	30.89	35.10 b
	150		7.75	22.00	31.00	36.89 ab
	200		7.70	21.78	33.22	39.02 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	21.44	30.44	37.44 ab
	50	0 ppm	7.78	21.22	30.78	36.52 ab
	100		7.81	21.56	28.22	34.23 b
	150		7.76	22.44	31.00	38.76 ab
	200		7.73	21.33	32.44	39.40 ab
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	20.89	29.22	35.27 b
	50	500 ppm	7.78	21.56	33.11	41.87 a
	100		7.85	22.56	29.22	37.39 ab
	150		7.69	22.44	32.00	37.89 ab
	200		7.73	22.89	31.22	38.68 ab
	0	โซเดียมซิลิเกต	7.89	21.44	30.44	37.44 ab
	50	0 ppm	7.86	22.11	30.33	38.24 ab
	100		7.72	22.11	29.33	35.32 b
	150		7.78	22.00	31.44	38.20 ab
	200		7.84	22.11	31.00	38.77 ab
C.V. =			10.76%	9.86%	12.92%	11.42%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	ns	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	ns
AB			ns	ns	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

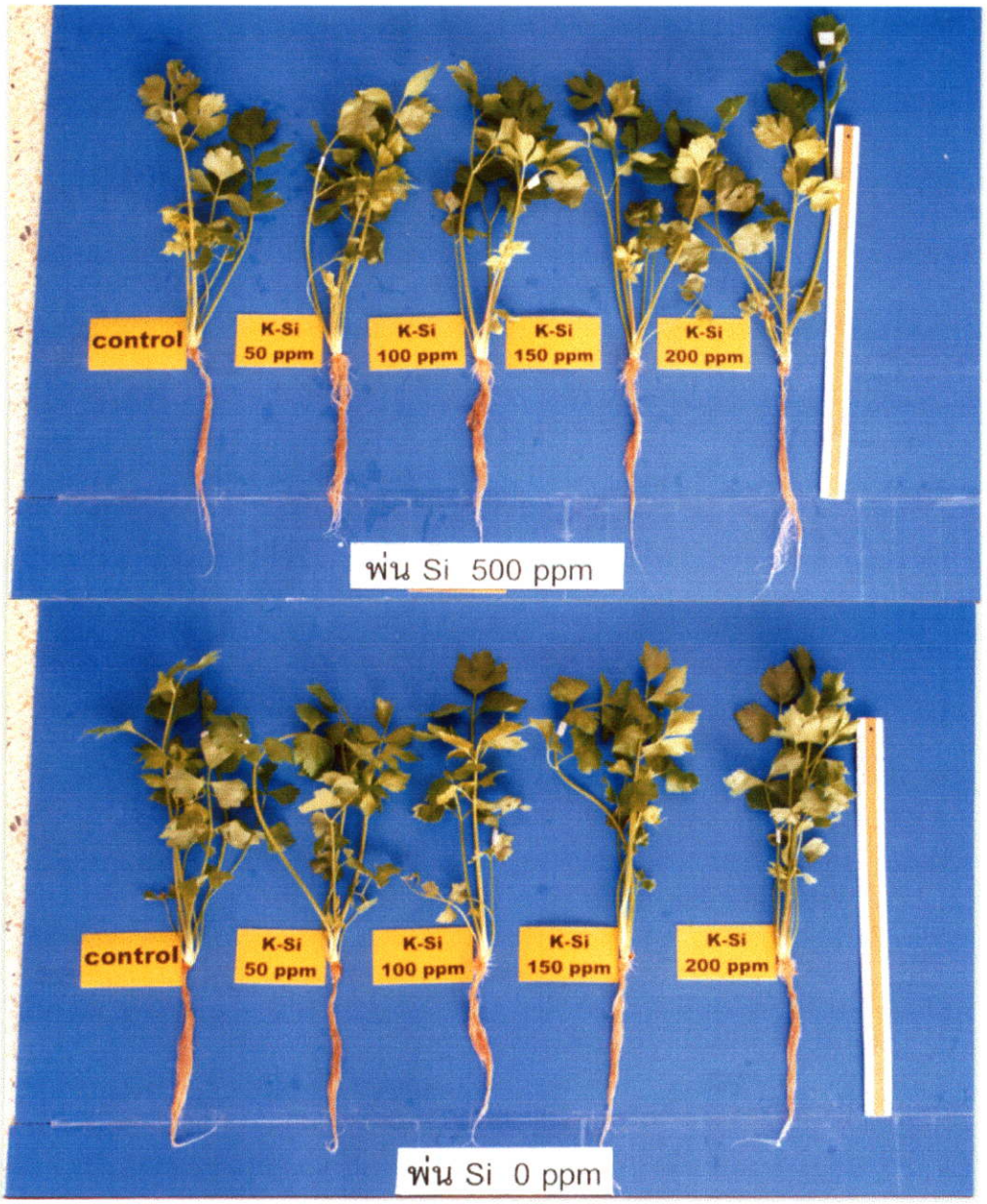
ตารางที่ 4.27 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น	การพ่นทางใบ	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง	
	(ppm)	(ppm)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)
โซเดียม	0	โซเดียมซิลิเกต	16.89	3.44	1.839	0.179
ซิลิเกต	50	500 ppm	20.50	4.56	2.235	0.225
	100		18.06	3.81	1.915	0.204
	150		18.06	4.00	1.915	0.204
	200		17.68	4.00	1.936	0.221
	0	โซเดียมซิลิเกต	17.57	3.72	1.936	0.206
	50	0 ppm	20.12	4.09	2.070	0.186
	100		17.49	3.93	1.929	0.189
	150		18.06	3.56	1.940	0.179
	200		18.74	4.77	2.140	0.252
โพแทสเซียม	0	โซเดียมซิลิเกต	16.89	3.44	1.839	0.179
ซิลิเกต	50	500 ppm	18.23	4.03	1.971	0.209
	100		17.86	3.47	1.829	0.211
	150		16.16	3.23	1.642	0.166
	200		17.17	3.86	2.157	0.215
	0	โซเดียมซิลิเกต	17.57	3.72	1.936	0.206
	50	0 ppm	18.83	4.13	2.008	0.211
	100		16.02	3.10	1.636	0.178
	150		16.93	3.18	1.777	0.170
	200		17.80	3.90	2.153	0.251
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	16.89	3.44	1.839	0.179
	50	500 ppm	20.49	4.07	2.200	0.221
	100		19.63	3.88	2.115	0.217
	150		19.09	3.83	2.125	0.216
	200		17.88	3.46	1.869	0.180
	0	โซเดียมซิลิเกต	17.57	3.72	1.936	0.206
	50	0 ppm	19.18	3.81	2.065	0.217
	100		19.38	3.94	2.063	0.215
	150		17.82	3.38	1.923	0.194
	200		18.39	3.43	1.995	0.184
C.V. =			29.07%	29.33%	35.46%	36.46%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			ns	ns	ns	ns
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			ns	ns	ns	ns
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			ns	ns	ns	ns
AB			ns	ns	ns	ns
AC			ns	ns	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.28 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.29 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ภาพที่ 4.30 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

วอเตอร์เครส (Watercress; *Nasturtium officinale*; Brassicaceae)

เนื่องจากวอเตอร์เครสเป็นผักที่มีลำต้นเปราะหักง่าย และมีจำนวนใบมาก จึงไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลาต่างๆได้ นอกจากข้อมูลทางด้านผลผลิตเพียงด้านเดียวในวันเก็บเกี่ยว

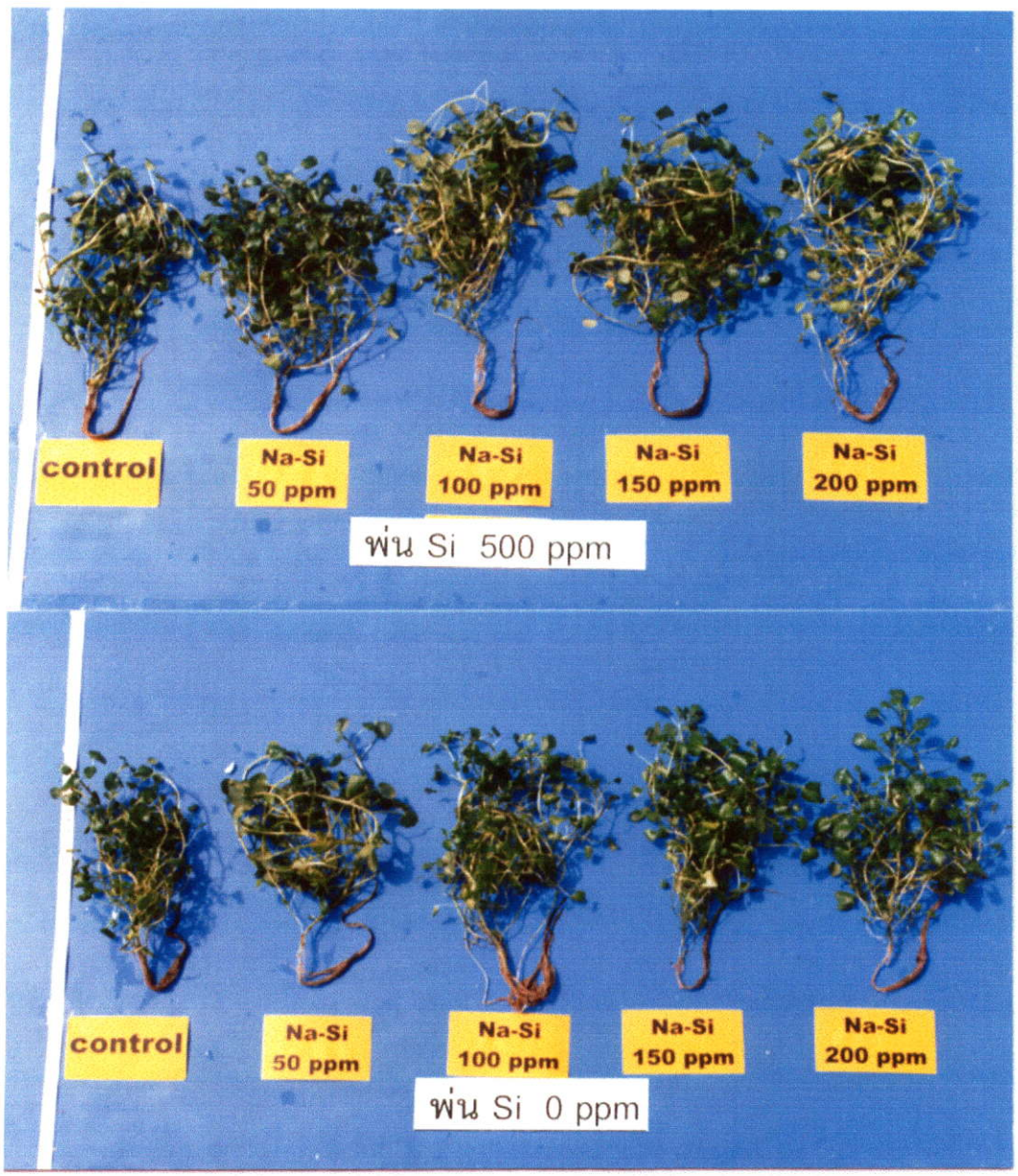
ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่าต้นวอเตอร์เครสที่ได้รับสารละลายซิลิคอนทั้ง 3 ชนิด (โซเดียมซิลิเกต โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์) ทุกระดับความเข้มข้น (0-200 ppm) และการพ่นทางใบด้วยโซเดียมซิลิเกต (500 และ 0 ppm) จะมีน้ำหนักต้นสดมากกว่าต้นผักที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (14.10-24.74 และ 13.56 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) ยกเว้นแต่เพียงต้นวอเตอร์เครสที่ได้รับสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต 50 ppm ทางราก ร่วมกับการพ่นโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ เพียงสิ่งทดลองเดียวเท่านั้น ที่มีน้ำหนักต้นสดน้อยกว่าต้นผักที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน (9.07 กรัมต่อต้น) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากอิทธิพลของชนิดซิลิคอน ระดับความเข้มข้น และการพ่นทางใบ ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัย ส่วนด้านน้ำหนักรากสดนั้นพบว่าน้ำหนักรากสดแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักต้นสด คือ ต้นที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็จะมีน้ำหนักรากสดมาก และน้ำหนักต้นและรากแห้งก็แปรผันไปในทำนองเดียวกันนี้เช่นกัน ซึ่งความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.28 (ภาพที่ 4.31-4.33)

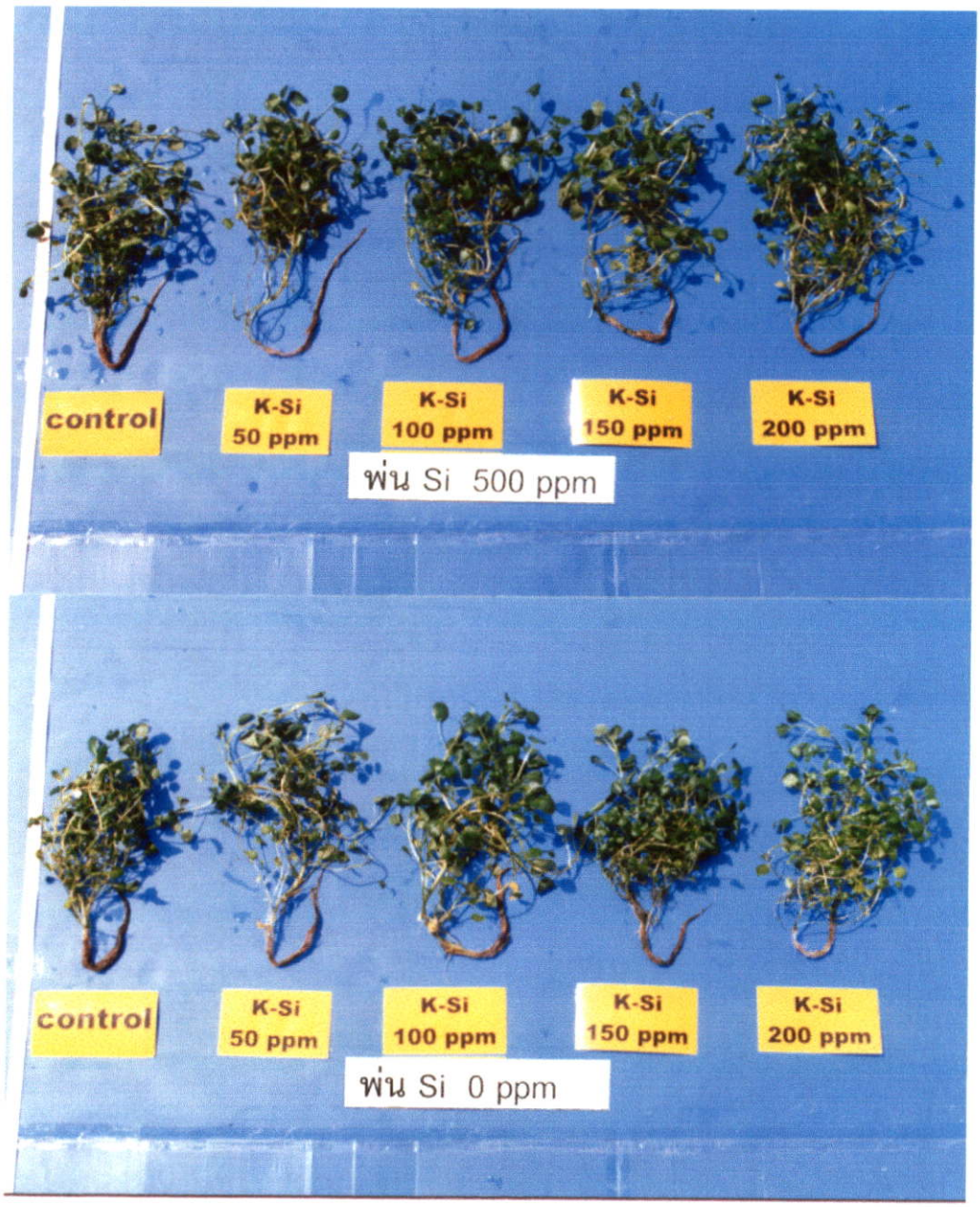
ตารางที่ 4.28 น้ำหนักสดและแห้งของต้นและราก (กรัม/ต้น) ของต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบDFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอน 3 ชนิด ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

ชนิดซิลิคอน	ความเข้มข้น	การพ่นทางใบ	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง	
	(ppm)	(ppm)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)	ต้น (กรัม)	ราก (กรัม)
โซเดียม	0	โซเดียมซิลิเกต	14.10 a-c[1/]	0.262 e-h[1/]	0.752 a-c[1/]	0.065 a-e[1/]
ซิลิเกต	50	500 ppm	24.74 a	0.267 e-h	1.305 a	0.067 a-e
	100		23.53 ab	0.387 a-c	1.222 ab	0.097 a-c
	150		24.48 a	0.401 ab	1.237 ab	0.100 ab
	200		24.03 ab	0.433 a	1.205 ab	0.108 a
	0	โซเดียมซิลิเกต	13.56 bc	0.201 f-i	0.717 a-c	0.050 c-e
	50	0 ppm	13.44 bc	0.195 g-i	0.689 bc	0.049 de
	100		17.08 a-c	0.279 e-g	0.923 a-c	0.070 a-e
	150		16.56 a-c	0.252 e-i	0.878 a-c	0.063 a-e
	200		16.48 a-c	0.229 e-i	0.757 a-c	0.057 b-e
โพแทสเซียม	0	โซเดียมซิลิเกต	14.10 a-c	0.262 e-h	0.752 a-c	0.065 a-e
ซิลิเกต	50	500 ppm	17.30 a-c	0.253 i	0.891 a-c	0.063 a-e
	100		23.21 ab	0.409 ab	1.216 ab	0.102 ab
	150		18.66 a-c	0.376 a-d	0.952 a-c	0.094 a-d
	200		15.79 a-c	0.280 e-g	0.853 a-c	0.070 a-e
	0	โซเดียมซิลิเกต	13.56 bc	0.201 f-i	0.717 a-c	0.050 c-e
	50	0 ppm	9.07 c	0.157 e-i	0.470 c	0.039 e
	100		19.60 a-c	0.318 b-e	1.209 a-c	0.079 a-e
	150		14.64 a-c	0.265 e-h	0.782 a-c	0.066 a-e
	200		14.14 a-c	0.297 c-f	0.748 a-c	0.102 a-e
ซีโอไลท์	0	โซเดียมซิลิเกต	14.10 a-c	0.262 e-h	0.752 a-c	0.065 a-e
	50	500 ppm	22.86 ab	0.261 e-h	1.255 ab	0.065 a-e
	100		19.72 ab	0.211 f-i	1.045 a-c	0.053 a-e
	150		23.63 ab	0.289 d-g	1.210 ab	0.072 a-e
	200		20.50 ab	0.317 b-e	1.107 ab	0.079 a-e
	0	โซเดียมซิลิเกต	13.56 bc	0.201 f-i	0.717 a-c	0.050 c-e
	50	0 ppm	18.63 a-c	0.229 e-i	0.999 a-c	0.057 b-e
	100		16.31 a-c	0.179 h-i	0.850 a-c	0.045 e
	150		16.81 a-c	0.209 f-i	0.885 a-c	0.052 c-e
	200		16.31 a-c	0.242 e-i	0.851 a-c	0.062 b-e
C.V. =			40.32%	25.40%	43.90%	46.11%
ชนิดซิลิคอน (ปัจจัย A)			*	**	ns	*
ระดับความเข้มข้น (ปัจจัย B)			**	**	**	**
การพ่นทางใบ (ปัจจัย C)			**	**	**	**
AB			ns	**	ns	*
AC			ns	**	ns	ns
BC			ns	ns	ns	ns
ABC			ns	*	ns	ns

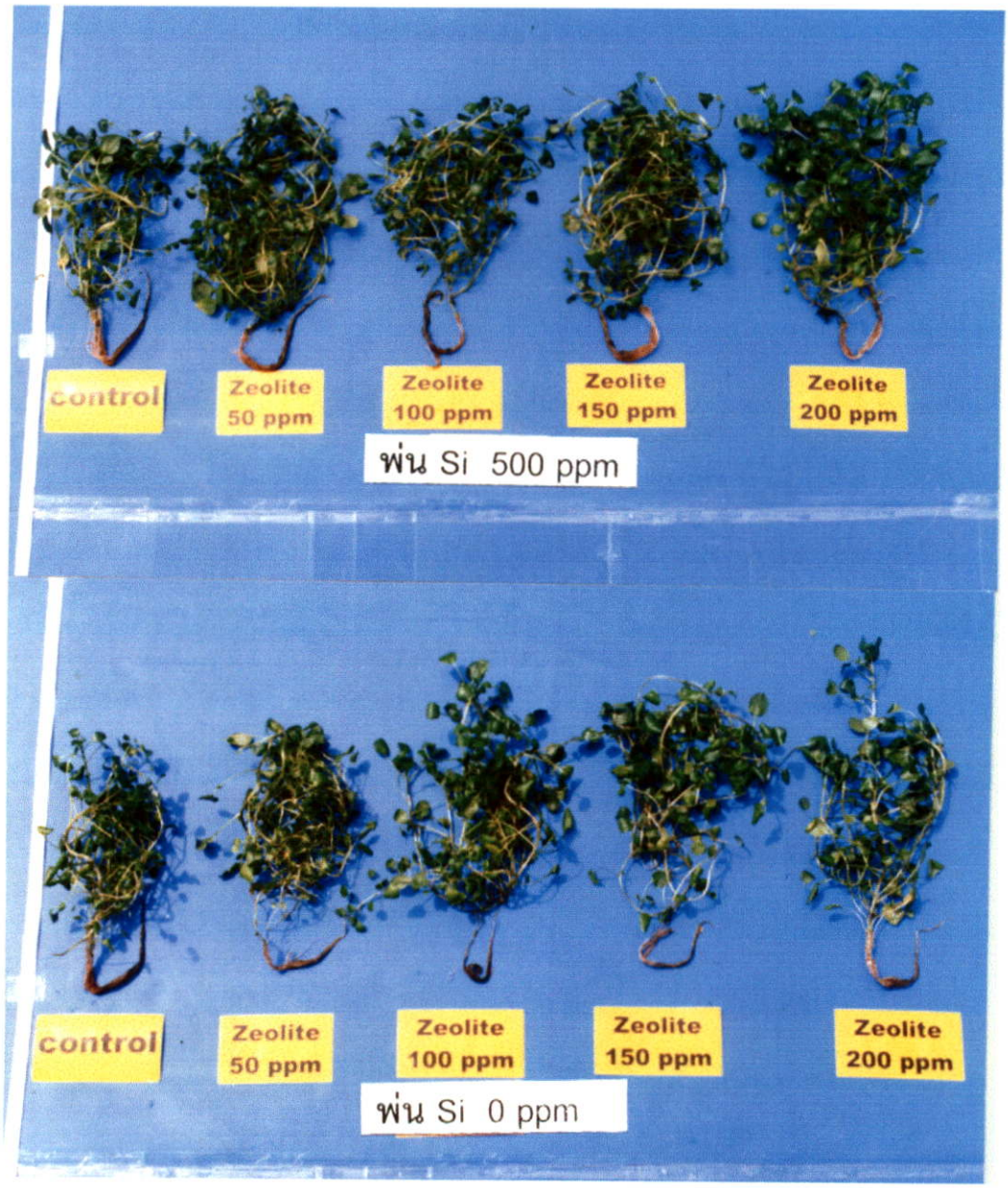
1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.31 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.32 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกตในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ



ภาพที่ 4.33 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ DFT ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซีโอไลท์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ร่วมกับการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบ

4.2.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อความอยู่รอดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในระบบ DFT

จากการตรวจหาเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในสารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ตลอดการทดลอง (ในทุกพืชทดสอบ) ไม่พบการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ในสารละลายธาตุอาหารพืชแต่อย่างใด

4.2.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบ DFT

จากการทดสอบรสชาติของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน (เลือกผักที่มีน้ำหนักต้นสดมากที่สุด 6 อันดับแรก มาเป็นผักตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 50 ppm, โพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm และซีโอไลท์ 50 ppm ที่พ่นสารละลายโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบ และสารละลายโซเดียมซิลิเกต 150 ppm, โพแทสเซียมซิลิเกต 150 ppm และซีโอไลท์ 150 ppm ที่พ่นสารละลายโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกับผักตัวอย่างมาตรฐาน (ต้นผักที่ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน) ในด้านสี ความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส (ความรู้สึกสากลิ้น) และปริมาณกาก ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ด้านสี ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าสีของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านที่ได้รับโซเดียมซิลิเกต 50 ppm ทางราก กับ 500 ppm ทางใบ, โซเดียมซิลิเกต 150 ppm ทางราก กับ 0 ppm ทางใบ, โพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm ทางราก กับโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบ และซีโอไลท์ 150 ppm ทางราก กับโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และส่วนใหญ่ชอบรสขมตัวอย่างทดสอบ (เขียวกว่า) มากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างด้านสีจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านความขม ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าความขมของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านที่ได้รับโซเดียมซิลิเกต 150 ppm ทางราก กับ 0 ppm ทางใบ และได้รับโพแทสเซียมซิลิเกต 150 ppm กับโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางราก มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และส่วนใหญ่ชอบรสขมตัวอย่างทดสอบ (ขมน้อยกว่า) มากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างด้านสีจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านความกรอบ ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าความกรอบของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านที่ได้รับโพแทสเซียมซิลิเกต 150 ppm กับโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และส่วนใหญ่ชอบความกรอบตัวอย่างทดสอบ (กรอบกว่า) มากกว่า

ตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างด้านสีจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านความเหนียว ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าความเหนียวของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านที่ได้รับซีโอไลท์ 150 ppm ทางราก กับโซเดียมซิลิเกต 0 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และครึ่งหนึ่งชอบความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ มากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างด้านสีจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านเนื้อสัมผัสและปริมาณกาก ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าเนื้อสัมผัสและปริมาณกากของผักตัวอย่างทดสอบทั้งส่วนก้านและส่วนใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน (ตารางที่ 4.29 และ 4.30)

ตารางที่ 4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผู้ทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารละลายซิลิคอน) กับ ตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน) ที่ปลูกในระบบ DFT

สารละลายซิลิคอน (ชนิดและความเข้มข้น)	การพ่นซิลิคอนทางใบ (ppm)	ส่วนของผักทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกแตกต่างของผู้ทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารละลายซิลิคอน) กับ ตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน) 1/					
			สี	ความขม	ความกรอบ	ความเหนียว	เนื้อสัมผัส	ปริมาณกาก
โซเดียมซิลิเกต 50 ppm	500	ใบ	56.25	50.00	43.75	62.50	37.50	50.00
		ก้าน	87.50	56.25	62.50	68.75	31.25	50.00
โซเดียมซิลิเกต 150 ppm	0	ใบ	68.25	68.75	62.50	56.25	56.25	43.75
		ก้าน	81.25	81.25	56.25	62.50	56.25	56.25
โพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm	500	ใบ	75.00	68.75	50.00	43.75	56.25	50.00
		ก้าน	81.25	75.00	81.25	62.50	50.00	62.50
โพแทสเซียมซิลิเกต 150 ppm	0	ใบ	62.50	37.50	68.75	68.75	56.25	50.00
		ก้าน	75.00	81.25	75.00	68.75	68.75	81.25
ซีโอไลท์ 50 ppm	500	ใบ	56.25	31.25	31.25	43.75	43.75	50.00
		ก้าน	68.75	62.50	43.75	50.00	37.50	56.25
ซีโอไลท์ 150 ppm	0	ใบ	68.75	43.25	62.50	56.25	43.25	50.00
		ก้าน	93.75	68.75	68.75	81.25	56.25	62.50

1/ คำนวณจากผู้ทดสอบทั้งหมด 16 คน

ตารางที่ 4.30 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกพึงพอใจในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนที่ปลูกในระบบ DFT (ผู้ทดสอบจะตอบว่าพึงพอใจในผักตัวอย่างทดสอบ หรือ ผักตัวอย่างมาตรฐาน เมื่อรู้สึกว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกัน)

สารละลายซิลิคอน (ชนิดและความเข้มข้น)	การพ่นซิลิคอนทางใบ (ppm)	ส่วนของผักทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ (%) ความพึงพอใจของผู้ทดสอบในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 1/					
			สี	ความขม	ความกรอบ	ความเหนียว	เนื้อสัมผัส	ปริมาณกาก
โซเดียมซิลิเกต 50 ppm	500	ใบ	77.78	62.50	71.43	40.00	50.00	50.00
		ก้าน	78.57	55.56	50.00	36.36	20.00	37.50
โซเดียมซิลิเกต 150 ppm	0	ใบ	54.55	72.73	70.00	55.56	66.67	71.43
		ก้าน	84.62	76.92	66.67	80.00	66.67	55.56
โพแทสเซียมซิลิเกต 200 ppm	500	ใบ	75.60	36.36	62.50	85.71	88.89	37.50
		ก้าน	84.62	66.67	84.62	70.00	75.00	40.00
โพแทสเซียมซิลิเกต 150 ppm	0	ใบ	80.00	50.00	36.36	54.55	66.67	37.50
		ก้าน	83.33	61.54	50.00	54.55	54.55	61.54
ซีโอไลท์ 50 ppm	500	ใบ	77.78	40.00	60.00	57.14	85.71	50.00
		ก้าน	81.82	60.00	85.71	87.50	66.67	55.56
ซีโอไลท์ 150 ppm	0	ใบ	72.73	42.86	60.00	55.56	42.86	37.50
		ก้าน	73.33	72.73	72.73	61.54	55.56	30.00

1/ คำนวณจากจำนวนผู้ทดสอบที่เห็นว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และมีความพึงพอใจในตัวอย่างทดสอบ

4.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อพืชผักในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT)

4.3.1 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT

จากการศึกษาอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ 5 ระดับความเข้มข้นที่ให้ทางราก (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) และ 2 ระดับความเข้มข้นที่พ่นทางใบ (500 และ 0 ppm) โดยทำการทดสอบกับพืชผัก 5 ชนิด คือ ผักกาดขาวกวางตุ้ง, ผักกาดหอม, ผักกาดกุง, ขึ้นฉ่าย และวอเตอร์เครส ผลปรากฏว่า

ผักกาดขาวกวางตุ้ง (Chinese cabbage; *Brassica campestris* var. *chinensis*; Cruciferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ในช่วง 14 วันแรกของการทดลองต้นผักกาดขาวกวางตุ้งทุกสิ่งทดลองมีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (3, 5-6 และ 11 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับอายุผักทดลองเริ่มทดลอง, 7 และ 14 วัน) จนกระทั่งอายุ 21 วัน จึงพบว่า ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 0 ppm มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น น้อยกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 50-200 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (13 และ 14-17 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับ) โดยเป็นผลมาจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางรากพืชเพียงปัจจัยเดียว ส่วนการพ่นทางใบ ไม่มีผลต่อความแตกต่างทางด้านจำนวนใบแต่อย่างใด (ตารางที่ 4.31)

ความกว้างและความยาวใบ ในช่วง 7 วันแรกของการทดลอง ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งในทุกสิ่งทดลองมีขนาดใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ จนกระทั่ง 14 วัน จึงเริ่มพบความแตกต่างของความกว้างใบ คือ ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 100-200 ppm มีความกว้างใบเฉลี่ยมากกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 0-50 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (7.96-8.79 กับ 7.02-7.25 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) แต่เมื่ออายุ 21 วัน กลับพบว่าต้นผักกาดขาวกวางตุ้งส่วนใหญ่มีความกว้างและความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (7.99-8.79 x 18.65-21.10 เซนติเมตรต่อใบ) ยกเว้นต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 150 ppm ทางราก ร่วมกับ 0 ppm ทางใบ เพียงสิ่งทดลองเดียวที่มีความกว้างและความยาวใบมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (9.24 x 21.26 เซนติเมตรต่อใบ) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางรากเพียงปัจจัยเดียว (ตารางที่ 4.32 และ 4.33)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่า ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 150 ppm มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ 200 และ 100 ppm (79.56 และ 85.05, 72.54 และ 70.93, 60.49 และ 60.78 กรัมต่อต้น เรียงตามลำดับน้ำหนัก และการได้รับสารละลายซิลิคอน 500 และ 0 ppm ทางใบ) ส่วนต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 0-50 ppm มีน้ำหนักต้นสดน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (45.18-50.63 กรัมต่อต้น เรียงตามลำดับ) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ให้ทางรากเพียงปัจจัยเดียว ส่วนการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบร่วมด้วยนั้นไม่มีผลต่อความแตกต่างด้านน้ำหนักต้นสดของผักกาดขาวกวางตุ้งแต่อย่างใด ส่วนด้านหนักต้นแห้งนั้นสอดคล้องกันกับน้ำหนักต้นสด กล่าวคือ ต้นที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็มีน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าต้นที่มีน้ำหนักต้นสดน้อย (ตารางที่ 4.34, ภาพที่ 4.34)

ตารางที่ 4.31 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	3	5	11	13 c[1/]
	0	3	6	11	13 c
50	500	3	5	11	14 bc
	0	3	5	11	14 bc
100	500	3	6	11	15 a-c
	0	3	6	11	15 a-c
150	500	3	5	11	17 a
	0	3	6	11	15 a-c
200	500	3	6	11	15 a-c
	0	3	6	11	16 a-c
C.V. =		-	9.68%	8.95%	15.22%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)			ns	ns	*
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)			ns	ns	ns
AxB			ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.32 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	4.00	6.05	7.25 b[1/]	8.06 b[1/]
	0	4.09	6.00	7.23 b	8.20 b
50	500	4.07	6.12	7.23 b	8.79 b
	0	4.10	6.17	7.02 b	7.99 b
100	500	4.06	6.09	8.13 ab	8.67 b
	0	4.12	6.13	7.96 ab	8.20 b
150	500	4.14	6.07	8.21 ab	8.68 b
	0	4.05	6.03	8.79 a	9.24 a
200	500	4.13	6.14	8.33 ab	8.64 b
	0	3.95	6.10	7.96 ab	8.53 b
C.V. =		10.36%	11.73%	12.22%	13.49%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	**	*
AxB		ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.33 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

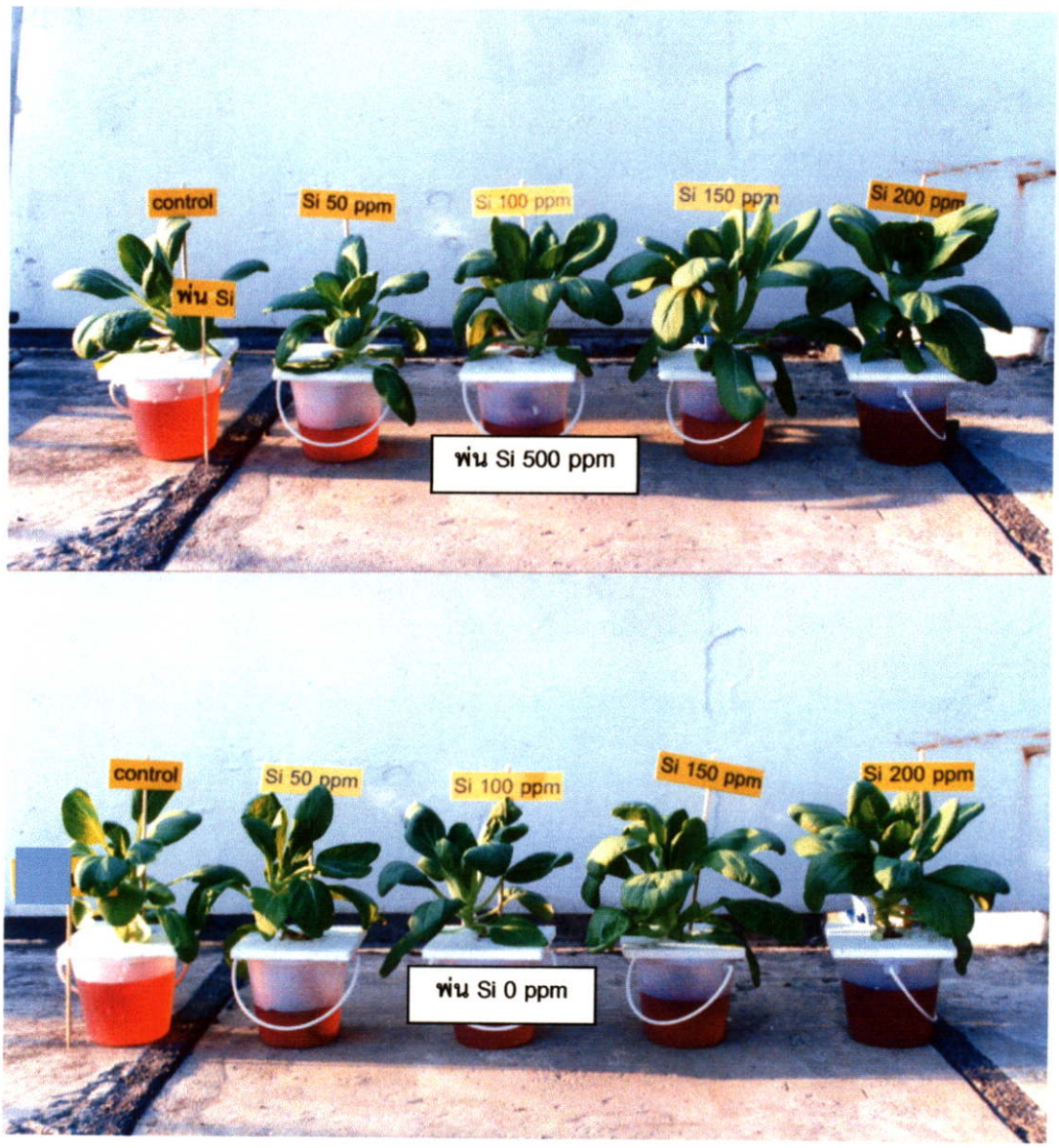
ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	5.78	8.45	16.42	18.88 ab[1/]
	0	5.83	8.31	15.75	18.65 b
50	500	5.85	8.58	16.60	18.95 ab
	0	5.72	8.46	16.67	19.51 ab
100	500	5.78	8.59	17.96	19.68 ab
	0	5.80	8.50	17.46	19.80 ab
150	500	5.76	8.43	18.85	21.10 ab
	0	5.85	8.41	17.71	21.26 a
200	500	5.71	8.53	17.60	19.63 ab
	0	5.84	8.59	16.42	18.75 ab
C.V. =		8.79%	10.52%	11.03%	10.97%
สารละลายซิลิคอน (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	ns
การพ่นทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	ns	*
AxB		ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.34 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางราก และทางใบในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)
0	500	50.63 c[1/]	2.44 bc[1/]
	0	45.18 c	2.24 c
50	500	49.09 c	2.56 bc
	0	47.64 c	2.54 bc
100	500	60.49 bc	3.23 a-c
	0	60.78 bc	3.49 ab
150	500	79.56 a	3.85 a
	0	85.05 a	3.97 a
200	500	72.54 ab	3.43 ab
	0	70.93 ab	3.62 ab
C.V. =		24.31%	25.97%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		**	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	**
AxB		ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.34 ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ผักกาดหอม (Lettuce; *Lactuca sativa*; Compositae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ต้นผักกาดหอมทุกสิ่งทดลองมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตลอดการทดลอง โดยมีจำนวนใบเท่ากับ 2, 4, 7 และ 9-10 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน (ตารางที่ 4.35)

ความกว้างและความยาวใบ ในช่วง 14 วันแรกของการทดลอง ต้นผักกาดหอมทุกสิ่งทดลองมีความกว้างใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (4.16-4.21, 7.85-8.09, 11.34-12.11 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง เริ่มทดลอง, 7 และ 14 วัน) จนกระทั่งอายุ 21 วัน พบว่า ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 100-200 ppm มีความกว้างใบเฉลี่ยมากกว่าต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-50 ppm (15.31-16.44 และ 14.00-14.63 เซนติเมตรต่อใบ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยเป็นอิทธิพลจากระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ให้ทางราก และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างการให้ทางรากและการพ่นทางใบ ส่วนด้านความยาวใบนั้นพบว่า ต้นผักกาดหอมทุกสิ่งทดลองมีความยาวใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทุกช่วงระยะการเจริญเติบโต โดยมีความยาวใบเฉลี่ยเท่ากับ 6.58-6.68, 9.84-9.94, 14.18-14.94 และ 18.69-20.69 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน (ตารางที่ 4.36 และ 4.37)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่าต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 100-200 ppm มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากกว่า ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 0-50 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (78.50-86.03 และ 64.10-67.88 กรัมต่อต้น เรียงตามลำดับ) ส่วนน้ำหนักต้นแห้งของต้นผักกาดหอมนั้นเป็นไปในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักต้นสด คือ ต้นผักกาดหอมที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100-200 ppm มีน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0 และ 50 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก ส่วนการพ่นทางใบนั้นไม่มีผลต่อความแตกต่างด้านน้ำหนักต้นแต่อย่างใด และไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง (ตารางที่ 4.38, ภาพที่ 4.35)

ตารางที่ 4.35 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	2	4	7	9
	0	2	4	7	9
50	500	2	4	7	9
	0	2	4	7	9
100	500	2	4	7	9
	0	2	4	7	9
150	500	2	4	7	10
	0	2	4	7	9
200	500	2	4	7	10
	0	2	4	7	9
C.V. =		-	15.10%	12.81%	13.05%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)			ns	ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)			ns	ns	ns
AxB			ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.36 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	4.21	7.89	11.56	14.38 cd[1/]
	0	4.15	7.92	11.55	14.31 cd
50	500	4.19	7.93	11.34	14.42 cd
	0	4.23	7.99	11.49	14.00 d
100	500	4.13	8.01	11.79	14.63 b-d
	0	4.20	7.94	12.11	16.44 a
150	500	4.17	8.06	12.06	15.88 ab
	0	4.25	8.03	11.94	15.63 a-c
200	500	4.18	7.99	12.00	15.31 a-c
	0	4.17	8.05	12.01	16.19 a
C.V. =		7.02%	8.69%	17.59%	10.97%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	ns	ns
AxB		ns	ns	ns	*

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.37 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

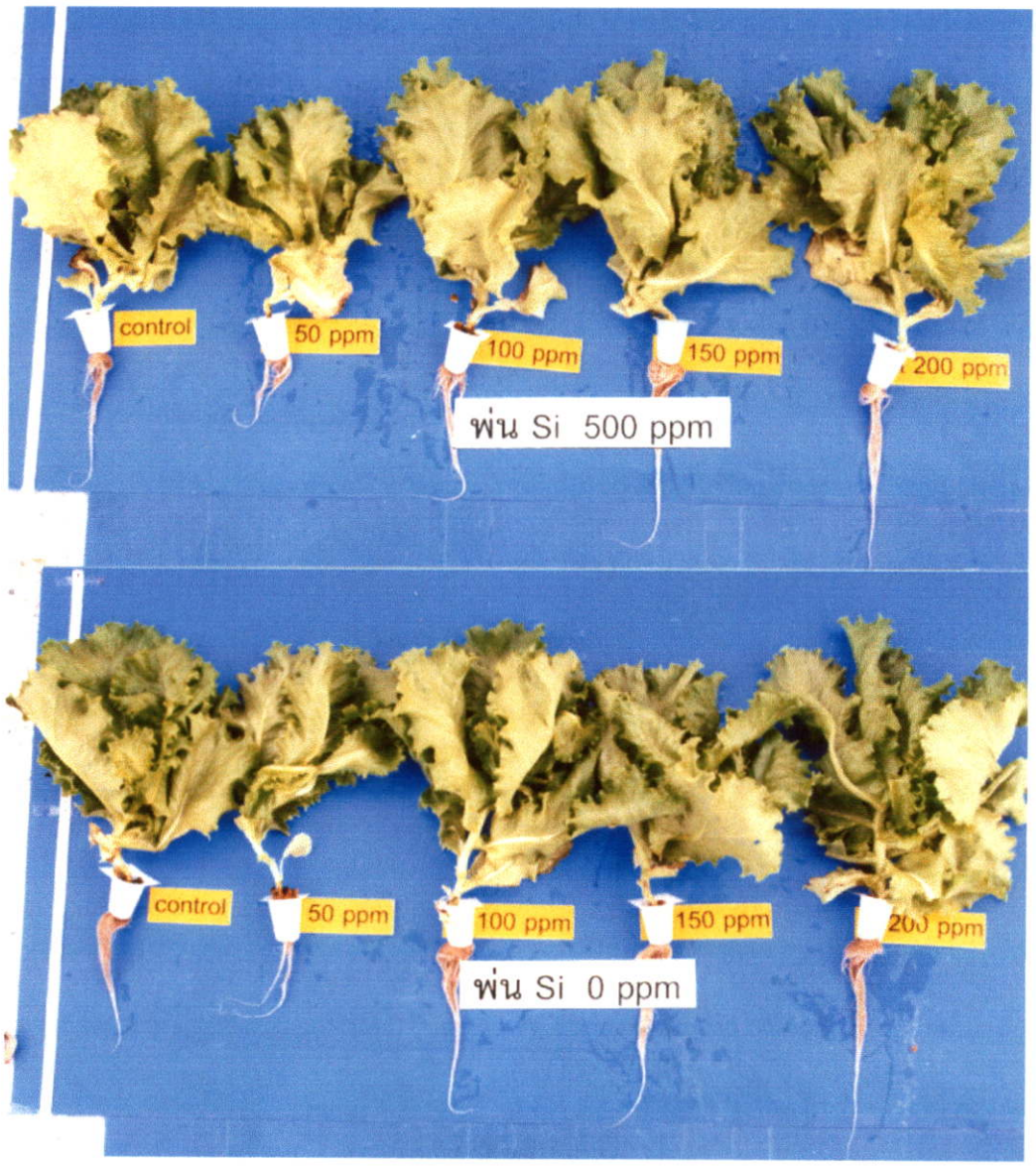
ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	6.68	9.96	14.94	19.50
	0	6.60	9.84	14.18	19.31
50	500	6.59	9.89	14.48	19.44
	0	6.64	9.86	14.29	18.69
100	500	6.70	9.95	14.56	19.25
	0	6.63	9.91	14.48	20.69
150	500	6.61	9.87	14.58	19.56
	0	6.57	9.92	14.39	19.06
200	500	6.62	9.86	14.60	19.81
	0	6.68	9.90	14.45	19.88
C.V. =		5.68%	7.51%	14.87%	20.09%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	ns	ns
AxB		ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.38 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)
0	500	66.81 b[1/]	2.93 bc[1/]
	0	64.10 b	2.76 bc
50	500	67.88 b	2.70 bc
	0	64.95 b	2.67 c
100	500	78.69 ab	3.15 a-c
	0	79.60 ab	3.27 a-c
150	500	86.03 a	3.58 a
	0	78.50 ab	3.16 a-c
200	500	78.59 ab	3.37 a-c
	0	83.70 a	3.41 ab
C.V. =		18.04%	20.13%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		**	*
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns
AxB		ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.35 ต้นผักกาดหอมที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ผักกาดกุง (phakkat Kung; *Amaranthus dubius*; Cruciferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนใบ ต้นผักกาดกุงทุกสิ่งทดลองมีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดการทดลอง โดยมีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 3, 4, 4-5 และ 6 ใบต่อต้น เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง เริ่มทดลอง, 7, 14 และ 21 วัน (ตารางที่ 4.39)

ความกว้างและความยาวใบ ในช่วง 7 วันแรกของการทดลองนั้นต้นผักกาดกุงทุกสิ่งทดลองมีความกว้างและความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ จนกระทั่งอายุ 14 วัน จึงเริ่มพบความแตกต่างทางด้านความยาวใบ โดยต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 50-200 ppm มีความยาวใบมากกว่าต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความแตกต่างดังกล่าวก็ต่อเนื่องไปในลักษณะเดียวกันนี้จนถึงอายุ 21 วัน (23.21-25.88 และ 22.69-22.77 กับ 31.43-34.57 และ 29.37-30.15 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับอายุผักทดลอง 14 และ 21 วัน) ส่วนความกว้างใบนั้นพบความแตกต่างเมื่อต้นผักอายุ 21 วัน โดยต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 150-200 ppm มีความกว้างใบมากกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-100 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (13.64-15.44 และ 12.48-12.88 เซนติเมตรต่อใบ เรียงตามลำดับ) โดยความแตกต่างทางด้านความกว้างและความยาวใบนั้นเป็นผลมาจากอิทธิพลของการพ่นซิลิคอนทางใบเพียงปัจจัยเดียว (ตารางที่ 4.40 และ 4.41)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่าต้นผักกาดกุงที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 150-200 ppm มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 0-100 ppm (63.86-75.39 และ 49.74-55.19 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และต้นผักกาดกุงที่ได้รับซิลิคอน 500 ppm ทางใบ ร่วมกับการได้รับทางราก จะมีน้ำหนักต้นสดมากกว่าการได้รับซิลิคอนทางใบ 0 ppm ซึ่งความแตกต่างทางด้านน้ำหนักนั้นเป็นผลมาจากทั้งอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก และการพ่นทางใบ แต่ปัจจัยทั้งสองไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ส่วนน้ำหนักต้นแห้งของต้นผักกาดนั้นก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักต้นสดคือ ต้นผักกาดกุงที่มีน้ำหนักต้นสดมากก็มีน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าต้นที่มีน้ำหนักต้นสดน้อย (ตารางที่ 4.42, ภาพที่ 4.36)

ตารางที่ 4.39 จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้ รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ/ต้น)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	3	4	5	6
	0	3	4	4	6
50	500	3	4	5	6
	0	3	4	4	6
100	500	3	4	4	6
	0	3	4	5	6
150	500	3	4	4	6
	0	3	4	4	6
200	500	3	4	4	6
	0	3	4	4	6
C.V. =		-	-	11.52%	12.32%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)				ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)				ns	ns
AxB				ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.40 ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่าง ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความกว้างใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	4.75	6.43	10.13	12.88 b[1/]
	0	4.60	6.34	10.35	12.83 b
50	500	4.67	6.41	10.38	12.60 b
	0	4.72	6.29	9.88	12.48 b
100	500	4.80	6.37	10.00	12.68 b
	0	4.73	6.25	9.94	12.86 b
150	500	4.77	6.54	10.90	13.64 ab
	0	4.69	6.38	10.71	14.27 ab
200	500	4.70	6.58	10.46	15.44 a
	0	4.76	6.26	10.33	13.81 ab
C.V. =		10.98%	11.78%	13.71%	10.34%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	ns	**
AxB		ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.41 ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความยาวใบเฉลี่ย (ซม./ใบ)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	7.50	13.50	22.69 b[1/]	30.15 b[1/]
	0	7.63	13.20	22.77 b	29.37 b
50	500	7.53	13.25	24.13 ab	32.69 ab
	0	7.61	13.41	24.63 ab	32.69 ab
100	500	7.46	13.61	24.00 ab	31.43 ab
	0	7.57	13.39	24.54 ab	31.71 ab
150	500	7.50	13.45	25.88 a	34.57 a
	0	7.66	13.25	25.42 a	34.30 a
200	500	7.48	13.75	23.65 ab	34.37 a
	0	7.70	13.50	23.21 ab	34.04 a
C.V. =		9.57%	10.64%	13.39%	12.55%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	ns
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	*	**
AxB		ns	ns	*	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.42 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)
0	500	54.11 bc[1/]	3.79 bc[1/]
	0	51.16 bc	3.89 a-c
50	500	55.19 bc	3.66 bc
	0	49.74 c	3.32 bc
100	500	52.21 bc	3.18 c
	0	50.34 c	3.20 c
150	500	67.40 ab	4.44 ab
	0	66.60 a-c	4.33 a-c
200	500	75.39 a	5.01 a
	0	63.86 a-c	4.09 a-c
C.V. =		19.15%	19.93%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		**	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		*	ns
AxB		ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4.36 ต้นผักกาดกุงที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ขึ้นฉ่าย (Celery; *Apium graveolens*; Umbelliferae)

ด้านการเจริญเติบโต

จำนวนก้านใบ ความแตกต่างทางด้านจำนวนก้านใบนั้นเริ่มพบตั้งแต่ทำการทดลองได้ 7 วัน โดยต้นขึ้นฉ่ายที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 200 ppm จะมีจำนวนก้านใบเฉลี่ยมากกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนความเข้มข้น 0-150 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และความแตกต่างเป็นไปในลักษณะนี้จนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต (7 และ 5-6 ก้านต่อต้น, 10-11 และ 5-7 ก้านต่อต้น, 15-16 และ 8-10 ก้านต่อต้น ตามลำดับ 7, 14 และ 21 วัน) โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลจากอิทธิพลจากระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางรากเพียงปัจจัยเดียว (ตารางที่ 4.43)

ความสูง ในช่วง 14 วันแรกของการทดลอง ต้นขึ้นฉ่ายทุกสิ่งทดลองมีความสูงต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ (11.75-12.63, 18.00-20.38 และ 29.24-31.78 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับอายุผัก เริ่มทดลอง, 7 วัน และ 14 วัน) จนกระทั่งอายุ 21 วัน จึงพบว่า ต้นขึ้นฉ่ายที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 150-200 ppm มีความสูงต้นเฉลี่ยมากกว่า ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-100 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (43.53-44.73 กับ 38.21-41.25 เซนติเมตรต่อต้น เรียงตามลำดับ) โดยเป็นผลจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นที่ให้ทางรากเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.44)

ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่าต้นขึ้นฉ่ายที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 200 ppm มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด (51.18-51.83 กรัมต่อต้น) โดยมากกว่าต้นผักที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-150 ppm (40.11-43.88 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของระดับความเข้มข้นที่ให้ทางรากเพียงปัจจัยเดียว ส่วนการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบร่วมด้วยนั้น ไม่มีผลต่อความแตกต่างทางด้านน้ำหนักของต้นขึ้นฉ่ายแต่อย่างใด ในด้านน้ำหนักต้นแห้งนั้นก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักต้นสดคือ ต้นขึ้นฉ่ายที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 200 ppm มีน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าต้นคื่นฉ่ายสิ่งทดลองอื่น (ตารางที่ 4.45, ภาพที่ 4.37)

ตารางที่ 4.43 จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ก้าน/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ก้านต่อต้น)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	2	5	7	10
	0	4	5	7	10
50	500	4	5	7	10
	0	4	5	5	8
100	500	4	5	5	8
	0	4	4	5	9
150	500	4	5	7	10
	0	4	6	7	9
200	500	4	7	10	15
	0	4	7	11	16
C.V. =		-	14.57%	25.99%	23.25%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)			**	**	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)			ns	ns	ns
AxB			ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.44 ความสูงก้านใบเฉลี่ย (ซม./ก้าน) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT อายุต่างๆ ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	ความสูงก้านใบเฉลี่ย (ซม./ก้าน)			
		0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
0	500	12.38	18.25	29.35	38.21 b[1/]
	0	12.63	18.18	29.88	40.68 ab
50	500	12.13	18.38	30.99	40.81 ab
	0	12.00	19.00	29.47	39.04 ab
100	500	11.75	18.00	29.24	39.78 ab
	0	12.13	18.25	31.13	41.25 ab
150	500	12.13	19.50	31.73	43.53 a
	0	12.50	19.50	31.56	44.69 a
200	500	12.13	20.38	31.78	44.03 a
	0	12.63	19.63	31.06	44.73 a
C.V. =		11.25%	9.23%	11.74%	11.71%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		ns	ns	ns	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns	ns	ns
AxB		ns	ns	ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.45 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอน ที่พ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)
0	500	40.11 c[1/]	4.39 c[1/]
	0	42.90 c	4.51 c
50	500	43.88 bc	4.62 c
	0	41.34 c	4.32 c
100	500	41.08 c	4.40 c
	0	41.41 c	4.40 c
150	500	41.14 c	4.52 c
	0	41.21 c	4.57 c
200	500	51.18 a	6.95 a
	0	51.83 a	5.94 b
C.V. =		14.64%	14.24%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		**	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns
AxB		ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4.37 ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

วอเตอร์เครส (Watercress; *Nasturtium officinale*; Brassicaceae)

เนื่องจากวอเตอร์เครสเป็นผักที่มีลำต้นเปราะหักง่าย และมีจำนวนใบมาก จึงไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลาต่างๆได้ นอกจากข้อมูลทางด้านผลผลิตในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

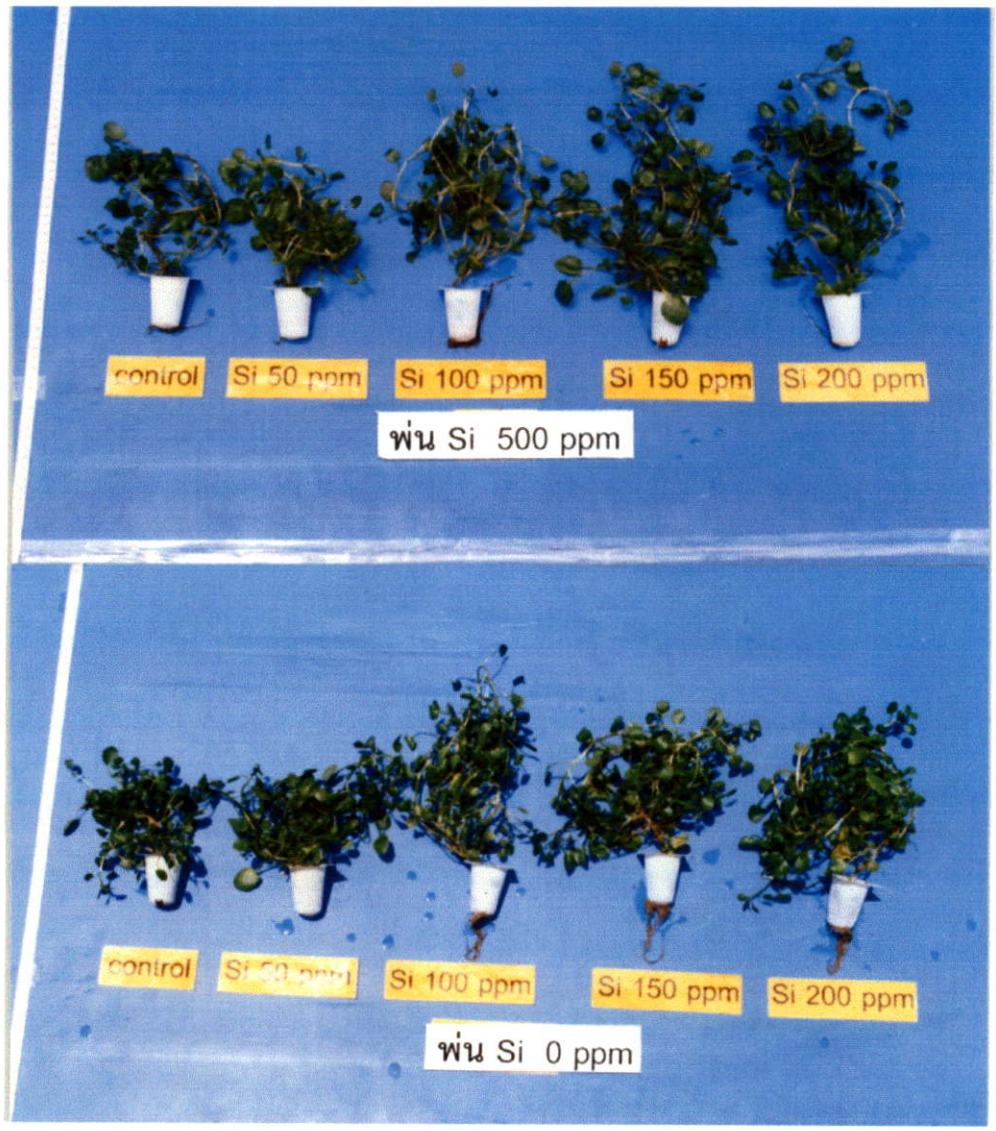
ด้านผลผลิต

น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง พบว่าต้นวอเตอร์เครสที่ได้รับสารละลายซิลิคอนระดับความเข้มข้น 100-200 ppm มีน้ำหนักต้นสดเฉลี่ยมากที่สุด (16.48-20.80 กรัมต่อต้น) โดยมากกว่าต้นวอเตอร์เครสที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 0-50 ppm (9.23-11.45 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากระดับความเข้มข้นซิลิคอนที่ต่างกันของการให้ทางราก ส่วนการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบร่วมด้วยนั้นไม่มีผลต่อความแตกต่างด้านน้ำหนักของวอเตอร์เครสแต่อย่างใด ส่วนน้ำหนักต้นแห้งก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักต้นสดคือ ต้นวอเตอร์เครสที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 100-200 ppm มีน้ำหนักต้นแห้งมากกว่าสิ่งทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4.46, ภาพที่ 4.38)

ตารางที่ 4.46 น้ำหนักต้นสดและต้นแห้ง (กรัม/ต้น) ของต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ความเข้มข้นซิลิคอนที่ให้ทางราก (ppm)	ความเข้มข้นซิลิคอนที่พ่นทางใบ (ppm)	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)
0	500	9.23 c[1/]	0.53 c[1/]
	0	9.46 c	0.55 c
50	500	10.15 c	0.58 c
	0	11.45 c	0.62 c
100	500	19.49 ab	1.08 ab
	0	16.48 b	0.89 b
150	500	20.80 a	1.15 ab
	0	20.04 ab	1.17 a
200	500	18.78 ab	1.09 ab
	0	18.66 ab	1.07 ab
C.V. =		24.22%	27.10%
การให้ซิลิคอนทางราก (ปัจจัย A)		**	**
การพ่นซิลิคอนทางใบ (ปัจจัย B)		ns	ns
AxB		ns	ns

1/ = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.38 ต้นวอเตอร์เครสที่ปลูกในระบบ NFT ที่ได้รับสารละลายซิลิคอนจากสารซีโอไลท์ทางรากและทางใบ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

4.3.2 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อความอยู่รอดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในระบบ NFT

จากการตรวจหาเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในสารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละสิ่งทดลอง พบว่า ตลอดการทดลอง (ในทุกพืชผักทดสอบ) ไม่พบการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ในสารละลายธาตุอาหารพืชแต่อย่างใด

4.3.3 อิทธิพลของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ต่อรสชาติของพืชผักที่ปลูกในระบบ NFT

จากการทดสอบรสชาติของผักกาดขาวกวางตุ้ง ที่ได้รับสารซิลิคอนที่ปลดปล่อยจาก ซีโอไลท์ (เลือกผักที่มีน้ำหนักต้นสดมากที่สุด 4 อันดับแรก มาเป็นตัวอย่างผักทดสอบ ได้แก่ ต้นผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเข้มข้น 150 และ 200 ppm ทางราก ร่วมกับการได้รับสารละลายซิลิคอน 500 และ 0 ppm ทางใบ เป็นผักตัวอย่างทดสอบ) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกับผักตัวอย่างมาตรฐาน (ต้นผักที่ได้ไม่ได้รับสารละลายซิลิคอน) ในด้าน สี ความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส (ความรู้สึกสากลิ้น) และปริมาณกาก โดยผลการทดสอบมีดังนี้

ด้านสี ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าสีของผักตัวอย่างทดสอบส่วนใบ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 150 ppm ทางราก กับ 500 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และส่วนใหญ่ชอบสีของตัวอย่างทดสอบ (เขียวกว่า) มากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน และสีของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านของผักทดสอบที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 150 ทางราก กับ 500 และ 0 ppm ทางใบ และ 200 ppm ทางราก กับ 500 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และส่วนใหญ่ชอบสีของตัวอย่างทดสอบ (เขียวกว่า) มากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบกับตัวอย่างมาตรฐานมีความแตกต่างกัน

ด้านความขม ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ที่รู้สึกว่าความขมของผักตัวอย่างทดสอบทั้งส่วนก้านและส่วนใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านความกรอบ ผู้ทดสอบเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ มีความรู้สึกว่าความกรอบของผักตัวอย่างทดสอบส่วนก้านที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 150 ppm ทางราก กับ 0 ppm ทางใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และครึ่งหนึ่งชอบความกรอบของตัวอย่างทดสอบมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างอื่นๆ นั้น ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่รู้สึกว่าตัวอย่างทดสอบมีความกรอบแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

ด้านความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ผู้ทดสอบไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ที่รู้สึกว่าความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ของผักตัวอย่างทดสอบทั้งส่วนก้านและใบ มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน (ตารางที่ 4.47 และ 4.48)

ตารางที่ 4.47 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผู้ทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารซีโอไลท์) กับ ตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารซีโอไลท์) ที่ปลูกในระบบ NFT

ความเข้มข้นซิลิคอนจากซีโอไลท์ (ppm)	การพ่นซิลิคอนจากซีโอไลท์ทางใบ (500 และ 0 ppm)	ส่วนของผักทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกแตกต่างของผู้ทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักกาดขาวกวางตุ้งตัวอย่างทดสอบ (ได้รับสารซีโอไลท์) กับ ตัวอย่างมาตรฐาน (ไม่ได้รับสารซีโอไลท์) 1/					
			สี	ความขม	ความกรอบ	ความเหนียว	เนื้อสัมผัส	ปริมาณกาก
150	500	ใบ	87.50	50.00	68.75	50.00	62.50	37.50
		ก้าน	87.50	62.50	75.00	62.50	68.75	62.50
	0	ใบ	62.50	31.25	50.00	50.00	31.25	25.00
		ก้าน	93.75	68.75	87.50	56.25	50.00	31.25
200	500	ใบ	62.50	37.50	56.25	37.50	25.00	31.25
		ก้าน	87.50	50.00	62.50	62.50	37.50	43.75
	0	ใบ	68.75	50.00	50.00	56.25	37.50	37.50
		ก้าน	75.00	56.25	50.00	50.00	43.75	37.50

1/ จากผู้ทดสอบทั้งหมด 16 คน

ตารางที่ 4.48 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ความรู้สึกพึงพอใจในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารซีโอไลท์ และปลูกในระบบ NFT (ผู้ทดสอบจะตอบว่าพึงพอใจในผักตัวอย่างทดสอบ หรือ ผักตัวอย่างมาตรฐาน เมื่อรู้สึกว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกัน)

ความเข้มข้นซิลิคอนจากซีโอไลท์ (ppm)	การพ่นทางใบ (500 และ 0 ppm)	ส่วนของผักทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ (%) ความพึงพอใจของผู้ทดสอบในลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน 1/					
			สี	ความขม	ความกรอบ	ความเหนียว	เนื้อสัมผัส	ปริมาณกาก
150	500	ใบ	71.43	62.50	54.55	62.50	50.00	66.67
		ก้าน	72.73	80.00	91.67	60.00	72.73	70.00
	0	ใบ	100.00	40.00	50.00	50.00	80.00	50.00
		ก้าน	80.00	45.45	64.29	77.78	62.50	60.00
200	500	ใบ	100.00	83.33	44.44	66.67	75.00	40.00
		ก้าน	85.71	50.00	50.00	80.00	66.67	71.43
	0	ใบ	72.73	87.50	75.00	55.56	66.67	66.67
		ก้าน	91.67	55.56	62.50	62.50	57.14	50.00

1/ คำนวณจากจำนวนผู้ทดสอบที่เห็นว่าตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน และมีความพึงพอใจในตัวอย่างทดสอบ

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองด้านความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตทางด้านเส้นใย และการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora* spp. และ *Pythium* sp.) ของสารละลายซิลิคอนนั้น น่าจะใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การศึกษาถึงทางเลือกหนึ่งของสารละลายซิลิคอนที่นำมาใช้ควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรากลุ่มดังกล่าวในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน อันจะส่งผลให้ช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา (fungicide) ลงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกพืชกลับมีผลกระตุ้นการสร้าง sporangium ของเชื้อราให้เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก นั่นหมายความว่าหากมีการปนเปื้อนของเชื้อรากลุ่มนี้ในระบบปลูกแล้ว สารละลายธาตุอาหารพืชจะเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยส่งเสริมการระบาดของเชื้อดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานต่างๆ ที่กล่าวไว้ว่าหากเชื้อรา *Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp. ปนเปื้อนเข้าสู่ระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแล้ว การแพร่ระบาดของเชื้อราดังกล่าวจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว และรุนแรงกว่าการปลูกในดินเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีการให้สารละลายแบบหมุนเวียน (Jenkins and Avereve. 1983; Jarris. 1992; Stanghellini and Rasmussen. 1994; Rumine. 1996) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มสารละลายซิลิคอนลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้ว จะทำให้เชื้อราทุกชนิดสร้าง sporangium ลดน้อยลงเป็นอย่างมาก จนกระทั่งถึงไม่สร้าง sporangium เลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนในการยับยั้งการสร้าง sporangium ของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae นั้น ค่อนข้างเด่นชัดจนกระทั่งสามารถควบคุมอิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการส่งเสริมการสร้าง sporangium ของเชื้อราลงได้

จากผลการทดลองด้านพืชผักทำให้ทราบว่าสารซิลิคอนมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชผัก ซึ่งหากพืชปลูกมีความแข็งแรง เจริญเติบโตได้ดีแล้ว ความสามารถในการทนทานต่อการเข้าทำลายของศัตรูอื่นๆ ก็ย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และนับว่าเป็นเรื่องดีอย่างมากที่สารละลายซิลิคอนสามารถแสดงผลเชิงบวกได้ถึงสองทาง (ควบคุมเชื้อรา และส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืช) และนอกจากนี้จากการสังเกตยังพบว่าหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จ พืชที่ได้รับซิลิคอนจะเหี่ยวช้ากว่าพืชที่ไม่ได้รับซิลิคอนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากการทดลองในระบบ DFT ทำให้ทราบว่าสารซีโอไลท์สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผักทดลองได้ดีพอๆ กับ โซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกต นอกจากนี้ข้อดีอีกประการหนึ่งของซีโอไลท์คือ เมื่อเติมซีโอไลท์ลงในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วไม่ทำให้ค่าความเข้มข้น (E.C.) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด ส่วนการเติมโซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกตลงในสารละลายนั้น มีผลทำให้สารละลายมีค่า E.C. และ pH เพิ่มขึ้นมาก (ตารางภาคผนวกที่ ข) และเมื่อนำ

สารซีโอไลท์ไปทดลองกับการปลูกพืชในระบบ NFT ผลการทดลองก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ สารซีโอไลท์มีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชปลูกทุกชนิด

ส่วนการพ่นสารละลายซิลิคอนทางใบเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลเสริมที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักทดลองนั้น พบว่าผลที่ได้จากการปลูกในระบบ DFT และ NFT ไม่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ในระบบ DFT การพ่นทางใบร่วมด้วยนั้นมีผลเสริมให้ผักกาดหอม และวอเตอร์เครส มีผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ผลเสริมดังกล่าวไม่พบในระบบ NFT ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากชนิดของสารละลายซิลิคอนที่ใช้พ่นนั้นต่างชนิดกัน ในระบบ DFT นั้นใช้โซเดียมซิลิเกต ส่วนระบบ NFT ใช้สารซีโอไลท์ ซึ่งสารซิลิคอนที่ได้จากโซเดียมซิลิเกตนั้นอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ง่ายกว่าสารซิลิคอนที่ได้จากการปลดปล่อยของซีโอไลท์ นอกจากนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดถึงปริมาณซิลิคอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณสารซิลิคอนที่พืชได้รับจากการปลดปล่อยนั้นอาจจะต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในการทดลอง และประกอบกับลักษณะการปลูกที่แตกต่างกันของทั้งสองระบบ กล่าวคือ ความโปร่งของพืชที่ปลูกในระบบ NFT (ระดับของรางปลูกสูง และระยะห่างระหว่างรางปลูกที่กว้าง) จะทำให้สารละลายซิลิคอนที่พ่นทางใบระเหยไปได้รวดเร็วกว่า ทำให้ช่วงระยะเวลาการดูดซึมซิลิคอนของพืชสั้นลง

นอกจากนี้จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระบบปลูกก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองต่อสารละลายซิลิคอนเช่นกัน โดยพืชที่ปลูกในระบบ NFT มีการเจริญเติบโตดีกว่าและตอบสนองต่อสารละลายซิลิคอน (สารซีโอไลท์) มากกว่าพืชที่ปลูกในระบบ DFT อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ DFT นั้น ต้นที่ได้รับสารละลายซิลิคอนมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกรรมวิธีเปรียบเทียบแต่อย่างใด แต่ต้นขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบ NFT และได้รับสารละลายซิลิคอนจากซีโอไลท์ 200 ppm มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งโดยพื้นฐานของระบบปลูกนั้น ระบบ NFT จะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนละลายอยู่ในสารละลายธาตุอาหารมากกว่าระบบ DFT (จากการไหลเวียนตลอดเวลาของสารละลาย) ซึ่งออกซิเจนอาจมีผลโดยตรงต่อการละลายของซิลิคอนในสารละลาย และการนำซิลิคอนไปใช้ของต้นพืช โดยเฉพาะต่อความสามารถของการปลดปล่อยสารละลายซิลิคอนของสารซีโอไลท์ แต่อย่างไรก็ตามระบบ NFT นั้นมีต้นทุนการผลิตทั้งในด้านอุปกรณ์ และการใช้พลังงานที่สูงกว่าการผลิตในระบบ DFT ค่อนข้างมาก

แต่อย่างไรก็ตามพอจะสรุปเบื้องต้นได้ว่า สารซีโอไลท์สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งซิลิคอนทดแทนการใช้โซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกตได้ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอีกหลายด้านด้วยกัน เช่น ปริมาณการปลดปล่อยสารซิลิคอนและสารอื่นๆ ของซีโอไลท์ ปริมาณซิลิคอนที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ กลุ่มพืชที่ตอบสนองต่อสารซีโอไลท์ วิธีการใช้สารซีโอไลท์ที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และอาจศึกษาเพิ่มเติมไปถึงความสามารถในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชของสาร

ซีโอไลท์ จึงจะสามารถสรุปบทบาทของสารซีโอไลท์ในแง่การนำมาใช้เป็นแหล่งซิลิคอนได้อย่างชัดเจน

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาบทบาทของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ในสภาพห้องปฏิบัติการ สรุปได้ว่า สารละลายซิลิคอนทุกระดับความเข้มข้น (250, 500, 750 และ 1,000 ppm) มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ เชื้อรากลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora palmivora, P. parasitica* และ *Pythium aphanidermatum*) ทั้งด้านการเจริญเติบโตทางเส้นใย (ขนาดโคโลนี และน้ำหนักเส้นใย) และการสร้าง sporangium ของเชื้อรา โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของซิลิคอนที่สูงขึ้น

สำหรับอิทธิพลของสารละลายซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก (ผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกาดหอม ผักกาดกุง ขึ้นฉ่าย และวอเตอร์เครส) ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน พบว่า ในระบบปลูกพืชแบบ DFT ซึ่งศึกษาถึงชนิดสารละลายซิลิคอน (โซเดียมซิลิเกต โพแทสเซียมซิลิเกต และซีโอไลท์) และระดับความเข้มข้น (0, 50, 100, 150 และ 200 ppm) ที่ให้ทางราก (ผสมในสารละลาย) และการพ่นทางใบ (โซเดียมซิลิเกต 500 และ 0 ppm) นั้น สารละลายซิลิคอนที่ให้ทางรากทุกชนิด และทุกระดับความเข้มข้น มีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชทดลองทุกชนิด ยกเว้นขึ้นฉ่าย และการพ่นโซเดียมซิลิเกต 500 ppm ทางใบนั้น ช่วยเสริมให้ผักกาดหอม และวอเตอร์เครส มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดกุง แต่อย่างใด สำหรับในระบบปลูกพืชแบบ NFT ซึ่งศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ที่ให้ทางราก (ผสมในสารละลายธาตุอาหารพืช) 5 ระดับ คือ 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm และการพ่นทางใบ (500 และ 0 ppm) สรุปได้ว่า สารละลายซิลิคอนที่ปลดปล่อยจากสารซีโอไลท์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชทดลองทุกชนิด ซึ่งช่วงระดับความเข้มข้นที่ช่วยเพิ่มผลผลิตจะแตกต่างกันไปในแต่ละพืชผัก ดังนี้ ผักกาดหอม และวอเตอร์เครส 100-200 ppm ผักกาดขาวกวางตุ้ง และผักกาดกุง 150-200 ppm และขึ้นฉ่าย 200 ppm ส่วนการพ่นซิลิคอนทางใบนั้นไม่มีผลเสริมต่อการเจริญเติบโตของพืชทดลองแต่อย่างใด นอกจากนี้ตลอดการทดลองยังไม่พบการปนเปื้อนตามธรรมชาติของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae (*Phytophthora* spp. และ *Pythium* spp.) ในระบบปลูกทั้งสองระบบ (ระบบ DFT และ NFT) สำหรับการทดสอบด้านรสชาติของผักทดลองที่ได้รับสารละลายซิลิคอนเปรียบเทียบกับผักในสิ่งทดลองควบคุม โดยใช้ผักกาดขาวกวางตุ้งเป็นตัวแทนของผักทดลองทั้งหมด พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อสีของผักกาดขาวกวางตุ้งที่ได้รับสารละลายซิลิคอน ส่วนความขม ความกรอบ ความเหนียว เนื้อสัมผัส และปริมาณกาก ไม่ได้แตกต่างไปจากผักในสิ่งทดลองควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. ในด้านเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae นั้น ควรจะทำการศึกษาต่อถึงกลไกการทำงานของซิลิคอนต่อการเข้าทำลายเชื้อราดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดในการนำซิลิคอนไปประยุกต์ใช้ในสภาพความเป็นจริง

2. ควรทำการศึกษาถึงผลของสารละลายซิลิคอนต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชชนิดอื่นๆ ต่อไป เพื่อให้การนำซิลิคอนไปใช้เป็นไปอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

3. น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ทางสรีระวิทยาของพืชหลังได้รับสารละลายซิลิคอน เช่น การสะสมของสารซิลิคอนในเซลพืช อัตราการสังเคราะห์แสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช เป็นต้น

4. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารซีโอไลท์มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผัก ได้เทียบเท่ากับโซเดียมซิลิเกต และโพแทสเซียมซิลิเกต แต่อย่างไรก็ตามการนำสารซีโอไลท์มาใช้เพิ่งเป็นการเริ่มต้นเท่านั้น มีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาในด้านอื่นๆ อีกมาก เพื่อให้ข้อมูลของซีโอไลท์ชัดเจนขึ้น ได้แก่ ปริมาณการปลดปล่อยสารซิลิคอน และสารอื่นๆ ของซีโอไลท์ ปริมาณซิลิคอนที่พืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ กลุ่มพืชที่ตอบสนองต่อสารซีโอไลท์ วิธีการนำสารซีโอไลท์มาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และความสามารถของซีโอไลท์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช

5. ควรทำการทดลองถึงประสิทธิภาพของซิลิคอนต่อพืชชนิดอื่นๆ ที่นิยมปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอื่นๆ นอกเหนือจากผักกินใบ เช่น มะเขือเทศ สตรอเบอร์รี่ ถั่ว แตงเทศ และพืชไม้ดอก เป็นต้น

บรรณานุกรม

ถนิมนันต์ เจนอักษร และวรางคณา นกอยู่. 2541. "บทบาทของสารละลายซิลิคอนในการพัฒนาศักยภาพการปลูกแตงกวายุโรปในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน." หน้า 694-695. *ใน* **การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24.** กรุงเทพฯ.

นิคม จึงอยู่สุข. 2538. "หินภูเขาไฟกับแร่อุตสาหกรรมบริเวณลำนารายณ์ จังหวัดลพบุรี." หน้า 101-108. *ใน* **เอกสารการประชุมวิชาการ กทธ. ปี 2538 : เรื่องความก้าวหน้าและวิสัยทัศน์ของการพัฒนาทรัพยากรธรณี.** กรุงเทพฯ.

พรหมมาศ คูหากาญจน์ และคณะ. 2539. "การแพร่กระจายของเชื้อราบางชนิดในสารละลายหมุนเวียนของระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน." *ว.เกษตรพระจอมเกล้า.* 14(2) : 26-37.

สิโรฒม์ ศัลย์พงษ์. 2542. "สารปรับปรุงดินจากหินภูเขาไฟประเภทพัมมิช (Pumice) พัมมิไซท์ (Pumicite) และพัมมิเซียสสทัฟฟ์ (Pumicieustuff) จากลพบุรี." หน้า 197-206. *ใน* **เอกสารประชุมเชิงปฏิบัติการและสัมมนาวิชาการ กองธรณีวิทยา ประจำปี 2542.** กรุงเทพฯ.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม และวรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร. 2540. "คุณภาพอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหารโดยการตรวจสอบ." หน้า 46-72. *ใน* **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alvarez, J. and Datnoff, L. 1999. "Economics of Silicon". P. 9. *in* **Silicon in Agriculture**. Florida : Lago Mar Resort Fort Lauderale.

Bakhnova, K.V. *et al.* 1999. "Description of Salad Plants Green on Zeolite-Containing Substrate "Biona 211" and Soil." [CAB Abstracts : CD-ROM] : CABI International.

Bazzocchi, R. *et al.* 1996. "Effects of Italian Zeolites on Growth of Celery." *Colture Protette.* 25 (11) :91-97.

Belanger, R. R. *et al.* 1995. "Soluble Silicon : Its Role in Crop and Disease Management of Greenhouse Crops." *Plant Disease.* 79 (4) : 329-336.

Benoit, F. and Ceusterman N. 1987. **Situation of the Soilless Culture in the Benelux**. Sint-Katelijne-Waver : European Vegetable R&D Centre.

Benoit, F. 1992. **Practical Guide for Simple Soilless Culture Techniques**. Sint-Katelijne-Waver : European Vegetable R&D Center.

Bowen, J. *et al.* 1992. "Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 177 : 906-912.

Carrai, C. 1993. "Root Rot of Lettuce Grown in NFT Cultivation". *Colture Protette.* 22(6) : 77-81.

Carver, T. L. W. *et al.* 1987. "The Relation Between in Soluble Silicon and Success of Failure of Tempted Penetration by Powdery Mildew (*Erysiphe graminis*) on Barley." *Physiol. Plant Pathol.* 31 : 133-148.

Chen, J. *et al.* 1999. "Beneficial Effect of Silicon on Container Grown Ornamental Plants." P. 38 *in* **Silicon in Agriculture**. Florida : Lago Mar Resort Fort Lauderale.

Chen, T.K. 1998. **The World of Hydroponics : A Technical Overview**. Taipei : Changhua. Agricultural Extension Center.

Cherif, M. and Belanger, R. R. 1992. "Use of Potassium Silicate Amendments in Recirculating Nutrient Solution to Suppress *Pythium ultimum. Phytopathology."* 76(10) : 1008-1011.

Cherif, M. *et al.* 1992a. "Silicon Induced Resistance in Cucumber Plants Against *Pythium ultimum*." *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 41(3) : 411-425.

Cherif, M. *et al.* 1992b. "Studies of Silicon Distribution in Wounded and *Pythium ultimum* Infected Cucumber Plants." *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 41(3) : 371-385.

Cherif, M. *et al.* 1994a. "Defense Responses Induced by Soluble Silicon in Cucumber Roots Infected by *Pythium* spp." *Phytopathology.* 84(2) : 236-242.

Cherif, M. *et al.* 1994b. "Yields of Cucumber Infected by *Pythium aphanidermatum* when Grown with Soluble Silicon". *HortScience.* 91(1) : 11-17.

Douglas, J.S. 1978. **Hydroponics**. London : Oxford University Press.

Douglas, J.S. 1988. **Beginner's Guide to Hydroponics**. London : Durlet & Tuner Ltd.

Fukuyama, T. *et al.* 1995. "Improvement of Hydroponics Culture Medium by Adding Calcium-Zeolite." *Acta Horticulturae.* 396 : 115-122.

Huang, J.H. and Lin Y.S. 1998. "Root Rot of Vegetable Pea Seedling in Soilless Cultural System Caused by *Pythium aphanidermatum* and *P. ultimum*". *Plant Protection Bulletin Taipei.* 40(4) : 397-408.

Hutton, D.G. and Forsberg, L.I. 1991. "Phytophthora Root Rot in Hydroponically Grown Lettuce". *Australian Plant Pathology.* 20 (22) : 76-79.

Ikeda, H. 1989. "Hydroponics or Soilless Culture." *Kenshu-In.* 64 : 2-4.

Ikeda, H. 2001. **Hydroponics and/or Soilless Culture**. Osaka : Graduate school of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Pref. Univ.

Jarris, R.W. 1992. **Managing Diseases in Greenhouse Crops**. Minnesota : The American Phytopathological Society.

Jenkins, S.F. and Averre, C.W. 1983. "Root Diseases of Vegetables in Hydroponic Culture System in North Carolina Greenhouse." *Plant Disease* 67(9) : 968-970.

Lakhidov, L.I. *et al.* 1997. "Zeolite, a Healthy Substrate for Tomatoes". [CAB Abstracts : CD-ROM). CABI International.

Masago, H. *et al.* 1977. "Selective Inhibition of *Pythium* spp. on a Medium for Direct Isolation of *Phytophthora* spp. from Soils and Plants." *Phytopathology.* 67 : 425-428.

Matoh, T. *et al.* 1986. "Salt Induced Damage to Rice Plants and Alleviation Effect of Silicate." *Soil Sci. Plant Ntur.* 32 (2) : 295-304.

Meilgaard, M. *et al.* 1999. **Sensory Evaluaion Techniques**. New York : CRC Press.

Menzies, D.L. *et al.* 1990. "The Influence of Silicon on Cytological Interactions Between *Sphaerotheca fulginea* and *Cucumis sativus*." *Physiol. Mol. Plant. Pathol.* 39(2) : 403-414.

Menzies, D.L. *et al.* 1992. "Foliar Application of Potassium Silicate Reduce Severity of Powdery Mildew on Cucumber, Muskmelon, and Zucchini Squash." *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 : 902-905.

Miyake, Y. and Takahashi E. 1983a. "Effect of Silicon on the Growth of Cucumber Plant in Soil Culture." *Soil. Sci. Plant Nutr.* 29 : 463-471.

Miyake, Y. and Takahashi E. 1983b. "Effect of Silicon on the Growth of Solution Cultured Cucumber Plant." *Soil. Sci. Plant Nutr.* 29 : 71-83.

Miyake, Y. and Takahashi E. 1986. "Effect of Silicon on the Growth and Fruit Production of Strawberry Plants in Solution Culture." *Soil. Sci. Plant Nutr.* 32(2) : 321-326.

Morgan, L. 1999. "Silica in Hydroponics." *Practical Hydroponics.* 47 (3): 110-126.

Moulin, F. *et al.* 1994. "Pathogenicity of *Pythium* Species on Cucumber in Peat-Sand, Rockwool and Hydroponics." *European Journal of Plant Pathology.* 100(1) : 3-17.

Mumpton, F.A. and Ormaby, W.C. 1976. "Morphology of Zeolite in Sedimentary Rocks by Scanning Electron Microscopy." *Claus Clay Minor.* 24: 1-23.

Postnikov, A.V. *et al.* 1996. "A Good Substrate for Green Crops." Kartfel'-I-Ovoshchi. 5:21-22.

Rafin, C. and Tirilly, Y. 1995. "Characteristics and Pathogenicity of *Pythium* spp. Associated with Root Rot of Tomatoes in Soilless Culture in Brittany, France." *Plant Pathology.* 44(5) : 779-785.

Resh, H.M. 1981. **Hydroponics Food Production**. Santa Barbara, California : Woodbridge Press Publishing Company.

Rijbroek, P.C.L. *et al.* 1997. "Development of a Screening Method for Resistance to *Phytophthora cactorum*". *Acta Horticulturae.* 439 : 181-183.

Rumine, P. 1996. "Infection of *Phytophthora* on Gerbera in Hydroponic Solution". *Colture-Protette.* 25 (9) : 121-124.

Rumine, P. and Infantino, A. 1994. "*Phytophthora cryptogea* on Gerbera : Influence of Recirculating Soilless Cultivation System." *Colture Protette.* 23(10) : 99-102.

Samuels, A. L. *et al.* 1991a. "Distribution of Silicon in Cucumber Leaves During Infection by Powdery Mildew Fungus (*Sphaerotheca fuliginea*)." *Can. J. Bot.* 69:140-146.

Samuels, A. L. *et al.* 1991b. "Mobility and Deposition of Silicon in Cucumber Plants." *Plant Disease.* 75(11):1053-1056.

Shinohara, Y. 1999. **The Hydroponics Techniques**. Chiba. Faculty of Horticulture, Chiba Univ.

Stanghellini, M.E. and Kronland, W.C. 1986. Yield Loss in Hydroponically Grown Lettuce Attributed to Subclinical Infection of Feeder Rootlets by *Pythium dissotocum*". *Plant Disease.* 70(11) : 1053-1056.

Stanghellini, M.E. and Rasmussen, S.L. 1994. "Hydroponics a Solution for Zoosporic Pathogens." *Plant Disease.* 78(12) : 1129-1138.

Stanghellini, M.E. *et al.* 1996a. "Control of Root Rot of Peppers Caused by *Phytophthora capsici* with a Nonionics Surfactant". *Plant Disease.* 80 : 1113-1116.

Stanghellini, M.E. *et al.* 1996b. "Efficacy of Nonionics Surfactants in the Control of Zoospore Spread of *Pythium aphanidermatum* in a Recirculating Hydroponic System." *Plant Disease.* 80(12) : 422-428.

Stanghellini, M.E. *et al.* 1998. "First Report of Root Rot of Hydroponically Grown Lettuce Caused by *Pythium myriotylum* in a Commercial Production Facility." *Plant Disease.* 82(7) : 831.

Van, O. S. and Benoit, F. 1997. "State of the Art of Dutch and Belgian Green House Horticulture and Hydroponics." Wageningen : DLO-Institute of Agricultural and Environmental Engineering.

Voogt, w. and Sonneveld, C. 1999. "Silicon in the Nutrient Solution for Soilless Grown Horticultural Crops". P. 5 *in* **Silicon in Agriculture**. Florida : Lago Mar Resort Fort Lauderale.

Zinnen, T.M. 1988. "Assessment of Plant Diseases in Hydroponic Culture." *Plant Disease.* 72 (2) : 96-99.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของเชื้อรากลุ่ม Pythiaceae ที่นำมาทดลอง

เชื้อรา *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler

Kingdom Myceteae

Division Eumycota

Subdivision Mastigomycotina

Class Oomycetes

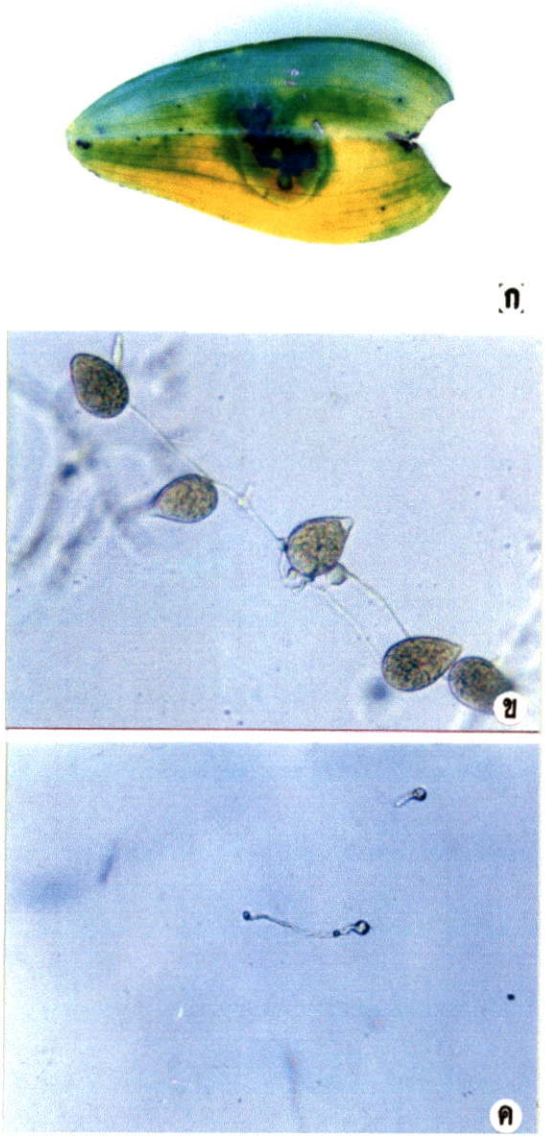
Order Peronosporales

Family Pythiaceae

Genus *Phytophthora*

species *palmivora*

ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA มีสีขาวฟูละเอียด เจริญลึกลงในอาหาร เมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า เส้นใยเชื้อรามีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีผนังกั้น สามารถสังเกตเห็นเม็ด protoplast อยู่ภายใน เส้นใยเรียบ บางครั้งพบการโป่งพองของเส้นใย (hyphal swellen) ความกว้างของเส้นใยโดยเฉลี่ย 5.5 ไมครอน เมื่อได้รับความชื้น เชื้อราจะสร้าง sporangium ที่ส่วนปลายของ sporangiophore sporangium มีรูปร่างไข่ค่อนไปทางยาวรี มีขนาดเฉลี่ย 49x32 ไมครอน อัตราส่วนความยาว : ความกว้าง ประมาณ 1.7 pedicle สั้น papillae เห็นได้ชัดเจน ภายใน sporangium เป็นที่อยู่ของ zoospore โดย zoospore จะถูกปลดปล่อยออกจาก sporangium ผ่านทาง papillae หลังจากนั้น zoospore จะ encyst เข้าสู่พืชอาศัยเพื่อทำลายต่อไป (indirect germination) แต่ในบางครั้งพบว่า sporangium จะงอก germtube ออกมาโดยตรง (direct germination) (ภาพที่ 1ก)



ภาพที่ 1 ก ใบกล้วยไม้ที่แสดงอาการใบเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction) (ก.ใบกล้วยไม้ที่แสดงอาการใบเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ข. sporangium (x 100 เท่า) ค. zoospore ที่ encyst แล้ว และกำลังจะงอกเป็นเส้นใยใหม่ (x 100 เท่า))

เชื้อรา *Phytophthora parasitica* Dastur

Kingdom Myceteae

Division Eumycota

Subdivision Mastigomycotina

Class Oomycetes

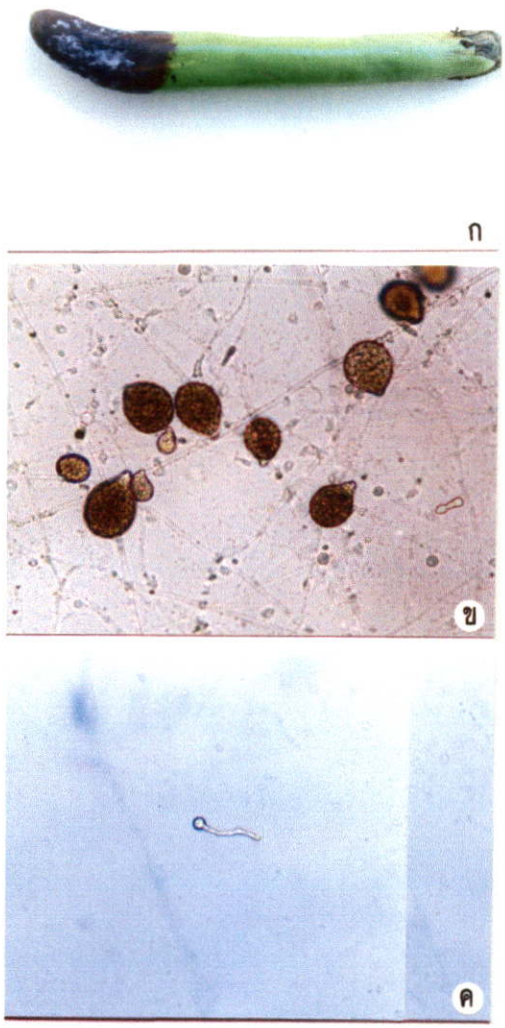
Order Peronosporales

Family Pythiaceae

Genus *Phytophthora*

species *parasitica*

ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA มีสีขาวฟูละเอียด เจริญลึกลงในอาหาร เมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า เส้นใยเชื้อรามีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีผนังกั้น สามารถสังเกตเห็นเม็ด protoplast อยู่ภายใน เส้นใยเรียบ ไม่มีการโป่งพองของเส้นใย (hyphal swellen) ความกว้างของเส้นใยโดยเฉลี่ย 5.5 ไมครอน เมื่อได้รับความชื้น เชื้อราจะสร้าง sporangium ที่ส่วนปลายของ sporangiophore sporangium มีรูปร่างไข่ถึงกลม มีขนาดเฉลี่ย 36x28 ไมครอน อัตราส่วนความยาว : ความกว้าง ไม่เกิน 1.4 pedicle และ papillae สั้น ภายใน sporangium เป็นที่อยู่ของ zoospore โดย zoospore จะถูกปลดปล่อยออกจาก sporangium ผ่านทาง papillae หลังจากนั้น zoospore จะ encyst เข้าสู่พืชอาศัยเพื่อทำลายต่อไป (indirect germination) แต่ในบางครั้งพบว่า sporangium จะงอก germtube ออกมาโดยตรง (direct germination) (ภาพที่ 2ก)



ภาพที่ 2 ก ผลมะเขือยาวที่แสดงอาการผลเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction) (ก.ผลมะเขือยาวที่แสดงอาการผลเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ข. sporangium (x 100 เท่า) ค. zoospore ที่ encyst แล้ว และกำลังจะงอกเป็นเส้นใยใหม่ (x 100 เท่า))

เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp.

Kingdom Myceteae

Division Eumycota

Subdivision Mastigomycotina

Class Oomycetes

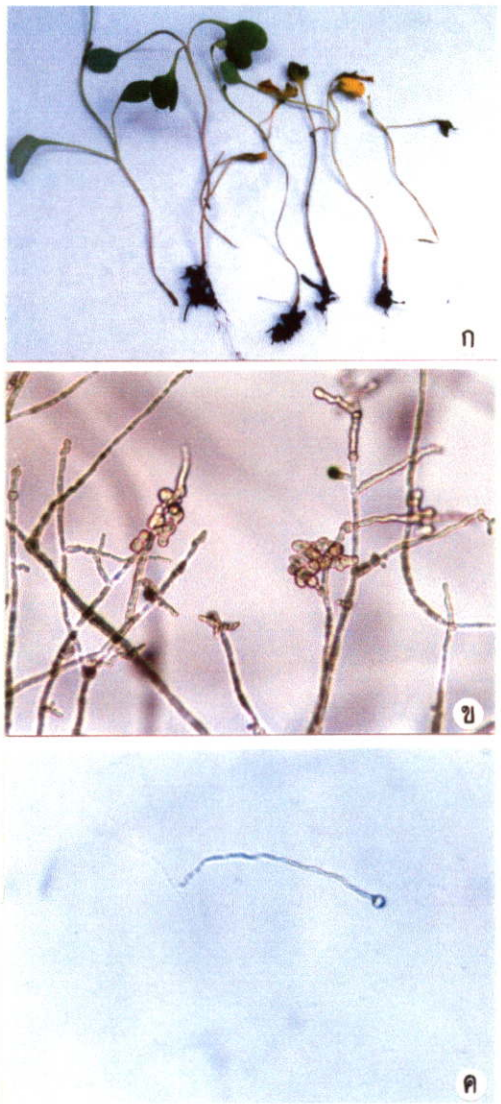
Order Peronosporales

Family Pythiaceae

Genus *Pythium*

species *aphanidermatum*

ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA มีสีขาวฟูละเอียดขึ้นหนาแน่นเต็มจานทดสอบ เมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า เส้นใยเชื้อรามีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีผนังกั้น สามารถสังเกตเห็นเม็ด protoplast อยู่ภายใน เส้นใยเรียบ ไม่มีการโป่งพองของเส้นใย (hyphal swellen) ความกว้างของเส้นใยโดยเฉลี่ย 7 ไมครอน เมื่อได้รับความชื้น เชื้อราจะสร้าง sporangium มีลักษณะเป็น lobe (lobe filamentous sporangium) มีขนาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปริมาณ lobe ที่มาขดรวมกัน เกิดบริเวณปลายเส้นใย และระหว่างเส้นใย sporangia จะสร้าง vesicle ลักษณะกลมใส ซึ่งภายในเป็นที่อยู่ของ zoospore โดย zoospore จะถูกปลดปล่อยออกจาก vesicle โดยการแตกออกของ vesicle หลังจากนั้น zoospore จะ encyst เข้าสู่พืชอาศัยเพื่อทำลายต่อไป (ภาพที่ 3ก)



ภาพที่ 3ก ต้นกล้าผักคะน้าที่แสดงอาการโคนเน่ารากเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* และส่วนขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของเชื้อราดังกล่าว (asexual reproduction (ก.ต้นกล้าผักคะน้าที่แสดงอาการโคนเน่ารากเน่าจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ข. sporangium (x 100 เท่า) ค. zoospore ที่ encyst แล้วและกำลังจะงอกเป็นเส้นใยใหม่ (x 100 เท่า))

ภาคผนวก ข

รายละเอียดสารละลายธาตุอาหารพืชในการทดลอง

สูตรสารละลายธาตุอาหาร

สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นสารละลายสูตรสำหรับการปลูกพืชผักกินใบของ Benoit. (1992) ซึ่งมีส่วนผสมดังต่อไปนี้

สารละลาย A (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 100 เท่า

Potassium nitrate (14 % N , 46% K_2O)	0.592 kg.
Calcium nitrate (15.5 % N , 20 % Ca)	1.340 kg.
Fe-Chelate (6% Fe)	0.100 kg.

สารละลาย B (ต่อน้ำ 20 ลิตร) : ความเข้มข้น 100 เท่า

Potassium nitrate (14 % N , 46% K_2O)	0.592 kg.
Magnesium sulphate (16.7 % MgO; 13% S)	0.320 kg.
Mono-potassium phosphate (35 % K_2O , 53% P_2O_5)	0.354 kg.
Manganese sulphate (32 % Mn)	3.40 g.
Copper sulphate (25 % Cu)	0.38 g.
Zinc sulphate (23 % Zn)	2.30 g.
Borax (11.3% B)	5.70 g.
Sodium molybdate (40 % Mo)	0.24 g.

ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ผสมสารละลายซิลิคอนชนิดต่างๆ

ในการทดลองครั้งนี้ได้เตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชให้มีค่าความเข้มข้น (EC.) เริ่มต้นเท่ากับ 1.50 mS/cm. แล้วจึงค่อยเติมสารละลายซิลิคอนชนิดต่างๆ ลงไปในสารละลาย ในแต่ละระดับความเข้มข้น แล้วค่อยปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ในช่วง 5.6-6.2 ซึ่งหลังปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเสร็จแล้ว สารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละสิ่งทดลองจะมีค่าความเข้มข้นดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1 ค

ตารางที่ 1 ข ค่าความเข้มข้น (mS/cm.) ของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ผสมสารละลายซิลิคอนชนิดต่างๆ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างแล้ว)

ระดับความเข้มข้น (ppm)	ค่า EC. (mS/cm.) ของสารละลายธาตุอาหารพืชผสมสารละลายซิลิคอนชนิดต่างๆ		
	โซเดียมซิลิเกต	โพแทสเซียมซิลิเกต	ซีโอไลท์
0	1.50	1.50	1.50
50	1.56	1.59	1.50
100	1.65	1.70	1.50
150	1.72	1.76	1.50
200	1.80	1.85	1.50

ประวัติผู้เขียน

นางสาววรางคณา นกอยู่ เกิดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2516 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วทบ. (เกษตรศาสตร์)) จากวิทยาลัยครูฉะเชิงเทรา ปีการศึกษา 2536 และในช่วงปีพ.ศ. 2536-2540 เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์อัตราจ้าง ประจำภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏฉะเชิงเทรา