

การนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ปริญญานิพนธ์

ของ

รตน หิรัญ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

เมษายน 2550

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ของ

รตน หิรัญ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

วันที่ เมษายน พ.ศ. 2550

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน

(อาจารย์ ดร. สมอง ทองปาน)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุนันทา มั่นสมงคล)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รองศาสตราจารย์ ดร. กฤตกรณ์ ประทุมวงศ์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ชายชาติ ธรรมครองอาตม์)

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.สนอง ทองปาน และอาจารย์ ดร.สุนันทา มั่นสมงคล ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษามาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สุรจิตร วรรณจันทร์ ที่ให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์วางปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครู อาจารย์ ทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้ผู้วิจัยได้ซึมซับเอาทักษะความรู้มาประยุกต์ใช้ในการทำให้งานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ทั้งกำลังใจ และกำลังกายที่ดีตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และทำงานวิจัย

รตน หิรัญ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	6
สมมุติฐานในการวิจัย.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
น้ำทิ้ง	8
น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร.....	11
การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	14
สารละลายธาตุอาหารพืช.....	33
การเลือกชนิดพืชที่ปลูก.....	41
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	48
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	51
การวางแผนการทดลอง.....	51
เตรียมการทดลอง.....	53
การดำเนินการทดลอง.....	56
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	57
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง.....	60
การเปรียบเทียบการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช.....	60
การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในพืช.....	94
การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช.....	99
ประมวลผลการทดลอง.....	100
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	104
สรุปผลการทดลอง.....	104
ข้อเสนอแนะ.....	107
บรรณานุกรม.....	109
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน และสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์.....	115
ภาคผนวก ข ข้อมูลการบันทึกผลการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช.....	120
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์สภาพน้ำ ธาตุอาหารในน้ำ และธาตุอาหารในพืช หลังเก็บเกี่ยว.....	148
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม SPSS.....	155
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	180

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานฆ่าสัตว์ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ.....	13
2 ลักษณะน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละ กรุงเทพมหานคร เฉลี่ย 3 เดือน (ตุลาคม 2546 ถึง ธันวาคม 2546).....	14
3 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตระหว่างการปลูกพืชโดยใช้ดินกับการปลูกพืชโดย ไม่ใช้ดินใน 1 ช่วงอายุปลูก.....	18
4 ช่วงความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย.....	35
5 ส่วนประกอบของสูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland' Solution).....	36
6 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช.....	38
7 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมปริมาณ 100 กรัม.....	43
8 การวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพน้ำ และธาตุอาหาร.....	54
9 ขั้นตอนการเพาะปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดิน.....	57
10 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหารในน้ำประปาและน้ำทิ้งจาก โรงงานฆ่าสุกรเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์.....	61
11 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารให้น้ำประปาและน้ำทิ้งมีปริมาณ ธาตุอาหารตรงตามสูตรของโฮกแลนด์.....	62
12 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	65
13 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลอง ที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	66
14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของ ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	67
15 จำนวนใบที่สมบูรณ์ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	68
16 การเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนใบของผักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	69
17 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละคู่ ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	70
18 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	71

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
19 การเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ทรงพุ่มของฝักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	73
20 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของฝักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	74
21 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของฝักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	75
22 การเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของฝักกาดหอม ระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	75
23 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ฝักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	76
24 ความสูงของฝักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	77
25 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของฝักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	79
26 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของฝักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบระบบ DFT.....	80
27 จำนวนใบของฝักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	81
28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนใบของฝักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	82
29 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของฝักกาดหอมในแต่ละคู่ ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	83
30 พื้นที่ทรงพุ่มของฝักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	84
31 การเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ทรงพุ่มของฝักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	86
32 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของฝักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	87
33 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของฝักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	88
34 การเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของฝักกาดหอม ระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	88

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
35 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของ ผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	89
36 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของพืชที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	90
37 การเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของ ผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	90
38 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิต ของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	91
39 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	92
40 การเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตของ ผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	93
41 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	93
42 ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	94
43 การเปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	95
44 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	96
45 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	97
46 การเปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมระหว่าง ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	98
47 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอม ในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	98
48 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ในสารละลายธาตุ อาหารหลังการปลูกผักกาดหอม.....	100
49 ประมวลผลการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในพืช และฟอสฟอรัสใน สารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช.....	101
50 ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้ง.....	117

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
51 ร้อยละของธาตุอาหารทั้งหมดในสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	118
52 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT	121
53 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT	124
54 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT	127
55 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	130
56 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	133
57 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	136
58 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	139
59 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	142
60 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT.....	145
61 ผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT.....	146
62 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT.....	147

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ผังการทดลอง.....	52
2 แปลงการทดลอง และการเจริญเติบโตของผักกาดหอม.....	64
3 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	65
4 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	68
5 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT.....	72
6 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	78
7 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	81
8 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT.....	85
9 รายงานการตรวจวิเคราะห์ทดสอบของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) และ สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร.....	149
10 รายงานผลการวิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) ซัลเฟต (SO ₄) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร.....	150
11 รายงานการตรวจวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total N) และฟอสฟอรัส (Available P) ในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร.....	151
12 รายงานการตรวจวิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) ในพืช แผ่นที่ 1.....	152
13 รายงานการตรวจวิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) ในพืช แผ่นที่ 2.....	153
14 รายงานการตรวจวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Total P) ในสารละลายธาตุอาหารหลัง ปลูกพืช.....	154

การนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

บทคัดย่อ
ของ
รตน หิรัญ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
เมษายน 2550
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

REUSE OF EFFLUENT FROM PIG SLAUGHTERHOUSE
FOR HYDROPONIC CULTURE

Abstracts
BY
RATANA HIRUN

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Science Degree in Environmental Science
at Srinakharinwirot University
April 2007

รตน หิรัญ. (2550). การนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.

ปริญญาานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.สนอง ทองปาน, ดร.สุนันทา มั่นสมงคล.

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืช (ผักกาดหอม) โดยไม่ใช้ดิน (Hydroponic Culture) 2 ระบบ คือ การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) แต่ละระบบแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ (น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรเติมธาตุอาหาร) และชุดการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในพืชแต่ละชุดการทดลองของระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบ NFT และ DFT นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารที่เหลือหลังจากการปลูกพืชโดยศึกษาเป็นกรณีตัวอย่าง เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (one-way ANOVA) และวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ผู้วิจัยได้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2547 ถึงเดือน มกราคม 2548 จากการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายสูตรมาตรฐานทั้งระบบ NFT และ DFT มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมสูงที่สุด แตกต่างจากผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT พบว่าปริมาณฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในผักกาดหอมที่ปลูกโดยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณมากที่สุด แตกต่างจากผักกาดหอมที่ปลูกโดยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและที่ปลูกโดยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในสารละลายธาตุอาหารหลังใช้ปลูกผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า สารละลายธาตุอาหารที่เหลือมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอที่จะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสได้ 3 ครั้ง จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบทางสถิติได้

Ratana Hirun. (2007). *Reuse Effluent from Pig Slaughterhouse for Hydroponic Culture*.

Master Thesis, M.S. (Environmental Science). Bangkok: Graduate School,

Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr.Sanong Thongpan,

Dr.Sununta Manusmongkol.

The objective of the study was to investigate the using of the effluent from the pig slaughterhouse for the lettuce planting by the hydroponic culture 2 systems such as the nutrient film technique (NFT) and the deep flow technique (DFT). Each system was divided into 3 experiments such as 1st experiment was the standard nutrient solution (Hoagland's solution), 2nd experiment was the synthetic nutrient solution (the effluent from the pig slaughterhouse with the nutrient) and the 3rd experiment was the effluent from the pig slaughterhouse. The comparative study of growth, products and plant nutrient in each experiment was conducted by NFT and DFT hydroponic culture. And comparative study of phosphorus in plant nutrient solution after the planting for instance. The comparison was used by one-way ANOVA and Duncan's New Multiple Range Test (DMRT). The research was conducted from August, 2004 up to January 2005.

The result of the study found that the lettuce planting by NFT and DFT hydroponic culture was the maximum growth and products which differ from the lettuce planting by the synthetic nutrient solution and the effluent from the pig slaughterhouse with the statistical significance at .05. The comparison of the quantity of plant nutrient of the lettuce planting by NFT and DFT hydroponic culture found that the quantity of phosphorus and ferric has no statistic significance differences at .05. But the quantity of calcium in lettuce planting by the effluent from the pig slaughterhouse has most quantity and differ from the lettuce planting by the standard nutrient solution and the lettuce planting by the synthetic nutrient solution with the statistical significance at .05. The comparison of quantity of phosphorus in plant nutrient solution after the lettuce planting in 3 experiments found that the residual plant nutrient solution has no quantity enough for the 3 times of phosphorus analysis, then there was no value in statistics analysis.

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงเวลาที่ผ่านมา ผลที่ตามมาคือมีมลพิษที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้คุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติลดลงและทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำตามมา (มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542: 1/1)

โรงงานฆ่าสุกรเป็นโรงงานที่รองรับผลผลิตทางด้านเกษตรกรรมและแปรรูปเพื่อจำหน่ายหรือส่งเป็นวัตถุดิบให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ ปัจจุบันพบว่า โรงงานฆ่าสุกรส่วนใหญ่ไม่ได้ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 2-1) จากการที่รัฐบาลไทยส่งเสริมการผลิตเพื่อส่งออกสินค้าการเกษตร เพื่อจะผลักดันให้ประเทศไทยเป็นครัวของโลก (Kitchen of World) ดังนั้นการผลิตสินค้าส่งออกจะต้องมีคุณภาพ ถูกสุขอนามัย และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม จึงจะเป็นที่ยอมรับว่าประเทศไทยเป็นครัวของโลกที่สะอาดและผลิตอาหารรสชาติดี (Clean Food Good Taste) ได้ (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 33) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาโรงงานฆ่าสุกรให้ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในต่างประเทศ ซึ่งคาดว่าจะในอนาคตจะมีโรงงานฆ่าสุกรที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้น

เนื่องจากโรงงานฆ่าสุกรเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตจำนวนมาก ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานฆ่าสุกรมากขึ้นตามไปด้วย โดยองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสุกรคือสารอินทรีย์ พบว่า ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสุกรก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าสูงถึง 1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้น้ำเสียจากโรงงานฆ่าสุกรมีความสกปรกมาก ยากที่จะบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานทั่วไป มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรจึงสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานทั่วไป โดยเฉพาะค่าทีเคเอ็น (TKN) ซึ่งบอกถึงปริมาณไนโตรเจนในน้ำ โดยที่มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 7-2) น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรจึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรนั้นๆ จึงควรนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรซึ่งประกอบด้วย

สารอินทรีย์ซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชในปริมาณที่สูงกว่าน้ำทิ้งจากโรงงานประเภทอื่นมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จากอดีตจนถึงปัจจุบัน มีการดัดแปลงแก้ไขข้อบกพร่องจนสามารถใช้ปลูกพืชในระดับการค้าได้ สามารถช่วยแก้ไขปัญหาด้านเกษตรกรรมในปัจจุบัน เช่น ปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ในการเกษตรในฤดูแล้ง ปัญหาดินขาดคุณภาพ ปัญหาการรบกวนจากแมลงศัตรูพืช ปัญหาเหล่านี้ทำให้ผลผลิตทางเกษตรกรรมลดลง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจึงเป็นทางเลือกใหม่ในอนาคตของการเกษตรไทย เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถลดการใช้สารเคมีรักษาโรคพืชและกำจัดแมลง ใช้น้ำในการเพาะปลูกอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่สิ้นเปลืองแรงงาน ให้ผลผลิตสูง และสามารถเพาะปลูกได้ทุกแห่งแม้สภาพดินไม่เหมาะสมหรือมีพื้นที่จำกัด (โสระยา ร่วมรังษี. 2544: 1) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจึงสามารถแก้ไขปัญหาด้านการเกษตรที่กล่าวมาข้างต้นได้ อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีนี้ไปปฏิบัติต้องอาศัยความรู้ในด้านสรีรวิทยาของพืช ธาตุอาหารพืช และระบบการให้น้ำจึงจะประสบผลสำเร็จ (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534: 8)

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสุกรกลับมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำน้ำมาหมุนเวียนกลับมาใช้อย่างคุ้มค่า สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านเกษตรกรรม และรองรับน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรที่เพิ่มขึ้นในอนาคต เนื่องจากโรงงานฆ่าสุกรเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่มีการใช้สารพิษหรือโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ในกระบวนการผลิต (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 1-2) น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรจึงน่าจะใช้ปลูกพืชได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืชและมนุษย์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรยังมีธาตุอาหารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจนในปริมาณสูง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 7-2) จึงเป็นการช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สำคัญของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินลดลง และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินยังอาจช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงงานฆ่าสุกรก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรโดยใช้วิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรโดยใช้วิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรหลังนำไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยศึกษาเป็นกรณีตัวอย่าง

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาผลของธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และธาตุอาหารในพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของพืชที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานกับพืชที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และพืชที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร ด้วยระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายไปทั่วโลกและเป็นระบบที่ใช้ได้เป็นผลสำเร็จในเชิงการค้า และเป็นที่ยอมรับในประเทศไทยมากที่สุด ผู้วิจัยเลือกผักกาดหอมเป็นพืชที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เพราะผักกาดหอมเป็นพืชที่เจริญเติบโตเร็ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น และเป็นที่ยอมรับนำมาปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืชสูง จึงสมควรที่จะใช้แทนสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้ ซึ่งช่วยลดการใช้สารเคมีในการเพาะปลูกพืช ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตที่สำคัญของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่ใช้ในการเกษตร และเมื่อใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรซึ่งมีน้ำไหลออกจากระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จึงสามารถนำน้ำทิ้ง

นั้นมาใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ตลอดปี สามารถลดปัญหาไม่มีพื้นที่ที่เหมาะสมในการเพาะปลูก ลดปัญหาการรบกวนจากแมลงศัตรูพืช และลดปัญหาดินเสื่อมสภาพได้ กล่าวได้ว่าการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะช่วยแก้ปัญหาด้านการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

ขอบเขตของการวิจัย

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ทำการทดลองในครั้งนี้เป็นการปลูกผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) พันธุ์กรีนโอ๊ค (Green Oak) ด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานกับผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร และเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรหลังนำไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ทำการทดลอง ณ ดาดฟ้าชั้น 8 อาคารวิทยวิโรฒของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ใช้ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย 6 เดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2547 ถึง มกราคม 2548

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ การเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอม และปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช
3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ วิธีการปลูก ชุดอุปกรณ์การปลูก ชนิดพืช คุณภูมิของสารละลาย ระยะเวลาในการปลูก และความเข้มแสง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน** หมายถึง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เป็นการเลียนแบบการปลูกพืชบนดินแต่ไม่นำดินมาใช้เป็นวัสดุปลูก โดยปลูกพืชในน้ำที่มีการเติมธาตุอาหารทั้งธาตุหลักและธาตุอาหารรองทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT)

2. **พืช** หมายถึง พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ผักกาดหอม (*Lettuce*, *Lactuca sativa*) พันธุ์กรีนโอ๊ค (Green Oak)

3. **สารละลายธาตุอาหาร** หมายถึง สารละลายที่มีการผสมธาตุอาหารให้มีความเข้มข้นที่แน่นอนตามสูตร โดยสูตรของธาตุอาหารต้องประกอบด้วยมหธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S) จุลธาตุ ได้แก่ แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โมลิบดีนัม (Mo) และโบรอน (B)

4. **สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน** หมายถึง สารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นโดยใช้น้ำประปาเติมธาตุอาหารให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารตรงตามสูตรที่ต้องการ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์

5. **สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์** หมายถึง สารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรเติมธาตุอาหารให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารถูกต้องตามสูตรที่ต้องการ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์

6. **สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's Solution)** หมายถึง สูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่โฮกแลนด์และอาร์นอน (Hoagland and Arnon) นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐอเมริกาคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาซึ่งเป็นสูตรพื้นฐาน

7. **น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร** หมายถึง น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฆ่าสุกรก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้น้ำทิ้งจากสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร

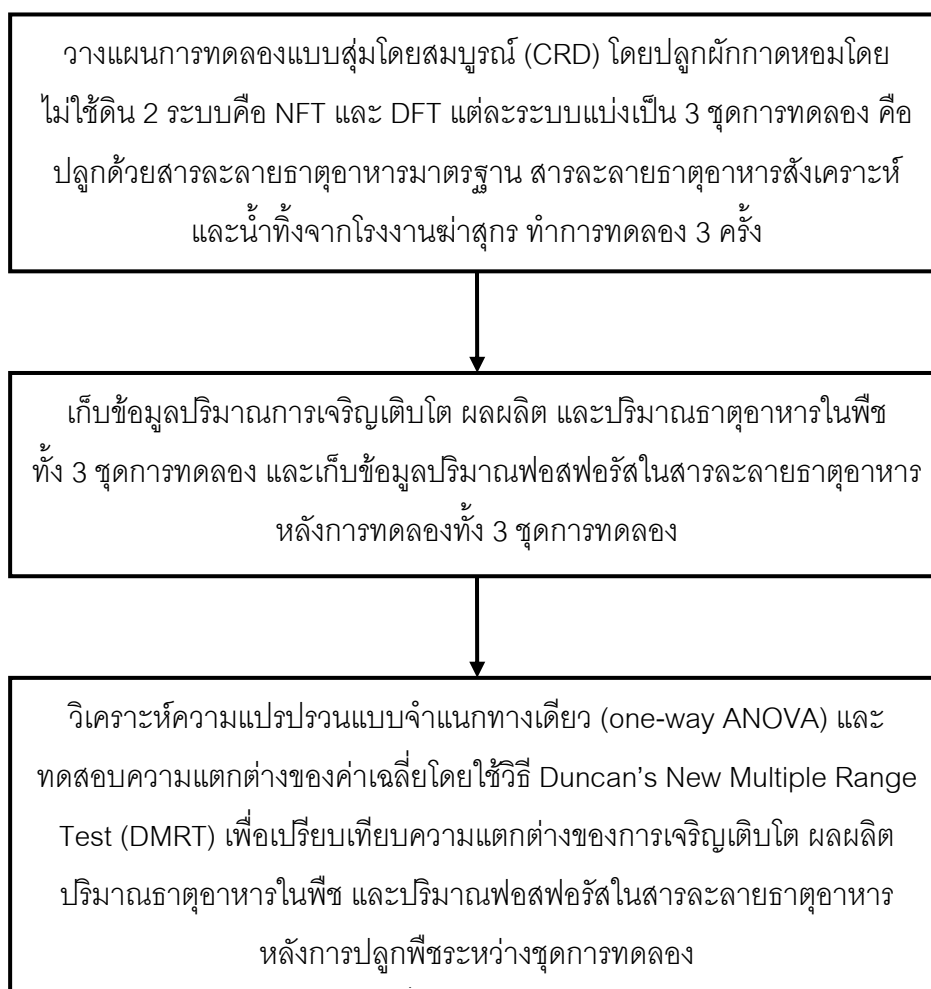
8. **การเจริญเติบโต** หมายถึง การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ทำการทดลอง ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาความสูง จำนวนใบ พื้นที่ทรงพุ่ม น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลอง

9. **ผลผลิต** หมายถึง ผลผลิตของผักกาดหอมที่ทำการทดลอง ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาผลผลิต คือ น้ำหนักสดของพืชทุกต้นที่เก็บเกี่ยวหารด้วยพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด และร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ คือ นับจำนวนต้นที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ หารด้วยจำนวนต้นที่ปลูกทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ

10. **ปริมาณธาตุอาหารในพืช** หมายถึง ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอม โดยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาปริมาณแคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) ในผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลอง

11. **ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช** หมายถึง ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในสารละลายธาตุอาหารหลังจากสารละลายธาตุอาหารนั้นถูกใช้ในการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดิน

กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมุติฐานในการวิจัย

1. การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน
2. ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน
3. ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรหลังการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินไม่แตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

น้ำทิ้ง

น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

สารละลายธาตุอาหารพืช

การเลือกชนิดพืชที่ปลูก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำทิ้ง

1. ความหมาย

คำว่า “น้ำทิ้ง” มีคำจำกัดความดังนี้

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานได้ให้คำจำกัดความคำว่าน้ำทิ้งไว้ว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547: ออนไลน์)

ตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้ให้ความหมายคำว่าน้ำทิ้งไว้ว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำจากอาคารที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนมีคุณภาพตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดสำหรับการที่จะระบายลงแหล่งรองรับน้ำทิ้งได้ (กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2547: ออนไลน์)

ตามความในพระราชบัญญัติสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ได้ให้นิยามคำว่าน้ำทิ้งไว้ว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประเทศต่างๆ (ทวิวงศ์ ศรีบุรี. 2541: 184)

องค์การจัดการน้ำเสีย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547: ออนไลน์) ได้ให้คำจำกัดความค่าน้ำทิ้งไว้ว่า น้ำทิ้งหมายถึง น้ำที่ใช้แล้วและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งอาจได้รับการบำบัดหรือไม่ต้องอาศัยกรรมวิธีการบำบัดก็ได้หากน้ำทิ้งนั้นมีคุณภาพตามมาตรฐาน

จากคำจำกัดความที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปว่า น้ำทิ้งในการในการศึกษาวิจัยครั้งนี้หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดจนมีคุณภาพตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งต่างๆ ที่กำหนด และจะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม หรืออาจให้คำจำกัดความสั้นๆ ว่า “น้ำทิ้งหมายถึง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว”

2. การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์

2.1 การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ

ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ริเริ่มนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ในกิจการต่างๆ อย่างจริงจังเป็นระยะเวลานานกว่า 50 ปี จากการศึกษา พบว่า แต่ละปีปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและนำกลับมาใช้ใหม่มากกว่า 1,500 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ดังนี้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547: ออนไลน์)

2.1.1 ใช้ในการเกษตรกรรม เช่น ใช้ในการเพาะเลี้ยงต้นกล้า และใช้ในการปลูกพืชต่างๆ

2.1.2 ใช้ในการรักษาภูมิประเทศ เช่น ใช้ในการรดน้ำรักษาสนามหญ้า สนามกอล์ฟ และต้นไม้บริเวณข้างถนนสายต่างๆ

2.1.3 ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น น้ำหล่อเย็น น้ำที่ใช้ในการทำความสะดวก และใช้ในการก่อสร้างต่างๆ

2.1.4 ใช้ในการเพิ่มระดับน้ำใต้ดิน เช่น การฉีดอัดน้ำที่ผ่านการบำบัดลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินเพื่อทดแทนน้ำใต้ดินที่สูญเสียไป และหน่วงป้องกันการซึมของน้ำทะเล

2.1.5 ใช้ในการรักษาระดับน้ำในแหล่งน้ำ เช่น บึงธรรมชาติต่างๆ และการเติมลงในแหล่งน้ำดิบซึ่งใช้ผลิตน้ำประปา

2.1.6 ใช้ในกิจวัตรประจำวัน เช่น น้ำสำหรับล้างรถ ชักโครก และรดน้ำต้นไม้

ปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของกิจกรรมต่างๆ ภายในนิคมอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นน้ำรดน้ำต้นไม้ สนามหญ้า ล้างถนน เป็นต้น การอัดน้ำกลับใต้ดิน ก็เป็นกิจกรรมอีกรูปแบบหนึ่งที่นำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อช่วยรักษาระดับน้ำใต้ดินไว้ เป็นการป้องกันและแก้ปัญหาการทรุดตัวของพื้นดิน อาทิบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งนำน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณนั้น ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากพื้นที่ของประเทศมีน้อย ในขณะที่มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นจะต้องประหยัดน้ำและจัดการทรัพยากรน้ำให้เหมาะสม การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียเคลื่อนที่ (On Site Treatment) เพื่อนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับกิจกรรมต่างๆ โดยติดตั้งในที่ที่มีความต้องการ เช่น โรงเรียน อาคารสำนักงาน หอประชุม โรงแรม และศูนย์การค้า เป็นต้น ในประเทศสิงคโปร์น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วจะถูกทิ้งลงสู่ทะเล และมีการนำน้ำทิ้งบางส่วนกลับมาใช้ โดยมีท่อส่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงบำบัดน้ำเสียนำน้ำเข้าสู่ขั้นตอนการกรองและเติมคลอรีน แล้วส่งน้ำดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรม และใช้เป็นน้ำซักโครกให้กับอาคารที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547: ออนไลน์)

2.2 การวางแผนการนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์จะต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์เรื่องต่างๆ ได้แก่ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547: ออนไลน์)

2.2.1 ประเมินความจำเป็นของการบำบัดน้ำเสีย

2.2.2 ประเมินความต้องการในการใช้น้ำประปา

2.2.3 ประเมินประโยชน์ที่ได้รับจากศักยภาพของการนำน้ำเสียกลับมาใช้

ประโยชน์ใหม่

2.2.4 วิเคราะห์ด้านการตลาด

2.2.5 วิเคราะห์ทางเลือกทางเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม

2.2.6 แผนการปฏิบัติการ

3. การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม

การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมมีการใช้งานมากกว่าพันปีมาแล้วในอดีต แต่เป็นลักษณะน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัดมาก่อน ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2393-2493 (ค.ศ. 1850-1950) ได้มีการสร้างระบบสาธารณสุขโรค ระบบรวบรวมน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสียขึ้น จึงเริ่มมีการนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ทั้งด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมซึ่งต้องการน้ำคุณภาพต่ำ การใช้น้ำทิ้งใน

การเกษตรในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกได้ปฏิบัติต่อเนื่องมากกว่า 50 ปีแล้ว กลุ่มประเทศที่ใช้น้ำทั้งในการเกษตรนี้จะอยู่บริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำและขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร โครงการใช้น้ำทั้งในการเกษตรที่สำคัญได้แก่ (เสนีย์ กาญจนวงศ์; และ คนอื่นๆ. 2546: 5-2)

3.1 ประเทศออสเตรเลีย โครงการเวอร์รีบี ฟาร์ม (Werribee Farm) อยู่ห่างจากเมืองเมลเบิร์น (Melbourne) 35 กิโลเมตร ได้รวมน้ำทิ้งและน้ำเสียจากเทศบาลต่างๆ 50 แห่ง ปริมาณ 440,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน บำบัดด้วยระบบบ่อฝัง น้ำทิ้งจะนำไปใช้ปลูกหญ้าเพื่อเลี้ยงวัว

3.2 ประเทศซาอุดีอาระเบีย ต่อท่อส่งน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเมืองรียาร์ด ปริมาณ 340,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ไปยังอ่างเก็บน้ำก่อนนำไปใช้ในการเกษตร

3.3 ประเทศสหรัฐอเมริกาหับเอมิเรต เมืองดานูดาบินาน้ำทิ้งร้อยละ 85 ของระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้รดสนามหญ้า และพื้นที่สีเขียวในเมือง และอีกร้อยละ 15 ใช้รดเส้นทางสัญจรของชุมชน

3.4 ประเทศเม็กซิโก ใช้น้ำทิ้งจากเมืองเม็กซิโกซิตี ปริมาณ 3,800,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในการปลูกข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และถั่ว เป็นต้น

3.5 ประเทศไทย โรงงานผลิตน้ำตาลจะนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไปปลูกอ้อยเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานต่อไป

น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

1. โรงงานฆ่าสุกร

จากข้อมูลของกรมปศุสัตว์ในปี พ.ศ. 2539 ประเทศไทยมีโรงฆ่าสัตว์ประเภทสุกรประมาณ 667 แห่ง ในขณะที่มีโรงงานสุกรที่ขึ้นทะเบียนกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพียง 9 แห่ง ซึ่งในจำนวนโรงงานฆ่าสุกรที่ขึ้นทะเบียนกรมโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดนั้นเป็นโรงงานของเอกชน 3 แห่ง ส่วนอีก 6 แห่งเป็นโรงงานฆ่าสัตว์ของหน่วยราชการส่วนท้องถิ่นซึ่งจะฆ่าทั้งสุกร โค รวมถึงกระบือด้วยในบางครั้ง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 2-9)

2. มลพิษจากโรงงานฆ่าสุกร

โดยทั่วไปมลพิษจากโรงงานฆ่าสุกรที่สำคัญก็คือ น้ำเสีย น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์จะมีความสกปรกทั้งในรูปของไขมัน น้ำมัน และสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ปริมาณสูง ถ้าหากมีการระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยตรงโดยที่ยังมิได้ทำการบำบัดความสกปรกเหล่านี้ ก็จะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและประชาชนที่เฝ้าประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นๆ อย่างมาก หรือหากโรงงานมีการบำบัดน้ำ

เสียที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศขึ้นก็คือ กลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะส่งผลกระทบต่อชุมชนข้างเคียง ในขณะเดียวกันปัญหากลิ่นเหม็นอีกส่วนหนึ่งมักเกิดจากการตกค้างของของเสียที่เป็นของแข็ง เช่น ขน เศษหนัง และเศษกระดูก เป็นต้น หรือมีการกำจัดอย่างไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 2-9)

3. น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

จำนวนโรงฆ่าสุกรทั่วประเทศประมาณ 667 แห่งนั้น มากกว่าร้อยละ 95 เป็นโรงงานที่มีขนาดเล็กที่ยังขาดการจัดการด้านของเสียและน้ำเสียอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล โรงฆ่าสัตว์เหล่านี้จึงมักก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้กล่าวมาแล้ว ผลการสำรวจโรงงานฆ่าสุกรที่ขึ้นทะเบียนกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า โรงงานทั้งหมดดำเนินกิจการฆ่าสุกร มีกำลังการผลิตระหว่าง 300–400 ตัวต่อวัน ของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานมีทั้งของเสียที่เป็นของแข็งและของเสียที่เป็นของเหลว ของเสียที่เป็นของแข็ง เช่น มูลสุกร เศษเล็บ เศษอาหารในกระเพาะ ขน และเศษหนัง ของเสียที่เป็นของเหลว คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตทั้งหมดตั้งแต่ขั้นตอนการรับ การฆ่า การลอก การถอนขน การแยกเครื่องใน และการตัดแต่ง รวมทั้งน้ำทิ้งจากการล้างพื้นโรงงานอันเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดน้ำเสียมากที่สุด โดยสุกรมีชีวิตหนัก 1 ตัน จะก่อให้เกิดน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ประมาณ 4.52 ลูกบาศก์เมตร ได้แก่ การทำความสะอาดเกิดน้ำเสียประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร การลอกเกิดน้ำเสียประมาณ 0.02 ลูกบาศก์เมตร การทำความสะอาดเครื่องในเกิดน้ำเสียประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร การทำความสะอาดก่อนการชำแหละเกิดน้ำเสียประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร และการล้างพื้นโรงงานเกิดน้ำเสียประมาณ 2 ลูกบาศก์เมตร โดยเฉลี่ยแล้วการฆ่าสุกร 1 ตัวทำให้เกิดน้ำเสียระหว่าง 0.3–0.5 ลูกบาศก์เมตร น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตนี้จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2541: 2-9-5-16)

3.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Pre-Treatment) ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฆ่าสุกรโดยทั่วไป ได้แก่ การกำจัดของแข็งด้วยการกรองหรือการทำให้ตกตะกอน และการกำจัดน้ำมันและไขมัน

3.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment) ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิที่ใช้ในโรงงานฆ่าสุกรโดยทั่วไปใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic System) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic System)

น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแล้วต้องผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานฆ่าสัตว์ดังตาราง 1

ตาราง 1 มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานฆ่าสัตว์ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานฆ่าสัตว์ (mg/l)
บีโอดี (BOD)	ไม่เกิน 60
ซีโอดี (COD)	ไม่เกิน 120
ของแข็งแขวนลอย (SS)	ไม่เกิน 50
ทีเคเอ็น (TKN)	ไม่เกิน 100
ไขมันและน้ำมัน (Grease and Oil)	ไม่เกิน 5

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2541). คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฆ่าสัตว์. หน้า 7-2.

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงงานฆ่าและชำแหละสุกรขนาดใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้มาตรฐาน และขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม

4. สหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร

4.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

ชื่อ สหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร
ที่ตั้ง 742 ซอยกล้วยน้ำไท ถนนพระราม 4 แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร

กำลังการผลิตประมาณ 800 ตัวต่อวัน

ปริมาณของเสียประมาณ 1,800 กิโลกรัมต่อวัน

ใช้น้ำในการผลิตประมาณ 1,600 ลิตรต่อวัน

4.2 ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานครเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา มีทั้งระบบที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน โดยประกอบด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) 2 บ่อ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Channel Flow Aeration) 1 บ่อ ต่อกันแบบอนุกรม

4.3 ข้อมูลลักษณะน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละ กรุงเทพมหานครมีค่าดังตาราง 2

ตาราง 2 ลักษณะน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานครเฉลี่ย 3 เดือน (ตุลาคม 2546 ถึง ธันวาคม 2546)

พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบบำบัด (mg/l)	น้ำออกจากระบบบำบัด (mg/l)
บีโอดี (BOD)	1,814	17
ซีโอดี (COD)	2,306	57
ของแข็งแขวนลอย (SS)	1,208	23
ทีเคเอ็น (TKN)	1,312	11
ไขมันและน้ำมัน (Grease and Oil)	48	2

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2546). ผลวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษในตัวอย่างน้ำ

โรงงานสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร. ไม่ปรากฏเลขหน้า.

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics หรือ Soilless Culture) หมายถึง วิธีการปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน พืชอาจเจริญเติบโตในอากาศที่มีการควบคุมความชื้นให้เหมาะสมกับการเจริญของราก หรืออาจนำมาปลูกในน้ำที่มีสารละลายอาหารผสมอยู่ ซึ่งมีการไหลเวียนของอากาศอย่างเหมาะสม หรือปลูกในวัสดุผสมอื่นๆ ที่ไม่มีการปนเปื้อนของดิน เช่น ทราย (Sand) กรวด (Gravel) ขี้เลื่อย (Sawdust) ขุยมะพร้าว (Coconut Coir) และขี้เถ้าแกลบ (Charcoal Husk) เป็นต้น ปัจจุบันประชาชนหลายประเทศต่างหันมาปลูกพืชด้วยวิธีนี้กันมาก เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดปัญหาการใช้ยาฆ่าแมลง สามารถปลูกได้ตั้งแต่เป็นงานอดิเรกในพื้นที่น้อยๆ ในที่พักอาศัยจนถึงอุตสาหกรรมเกษตร จนเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก (โสระยา ร่วมรังษี 2544: 1)

1. ความเป็นมาของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

คำว่า ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า Hudor หมายถึง น้ำ และ Ponos หมายถึง แรงงาน หรือการทำงาน นอกจากคำว่า Hydroponics แล้วยังมีคำอื่นที่ถูกนำมาใช้เรียกการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอีก ได้แก่ Water Culture, True Hydroponics และ Hydro Culture เป็นต้น คำว่าไฮโดรโปนิคส์ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2472 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อโปรเฟสเซอร์ด็อกเตอร์ วิลเลียม เอฟ เกริก (Prof.Dr. William F. Gericke) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (University of California at Berkley) ซึ่งเป็นผู้ที่พัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินซึ่งเดิมทำเฉพาะในห้องทดลองมาผลิตเป็นการค้า โดยก่อนหน้านี้มีนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันหลายท่าน เช่น แซชส์ และนอป (Sachs; & Knop) เป็นผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชคิดสูตรสารละลายเคมีขึ้นเพื่อใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน อย่างไรก็ตามเทคนิคต่างๆ ที่คิดค้นขึ้นมานี้ถูกนำมาใช้ในห้องทดลองเท่านั้น จนกระทั่งโปรเฟสเซอร์ด็อกเตอร์ วิลเลียม เอฟ เกริก นำมาพัฒนาให้ใช้ได้ในการผลิตเชิงการค้า (โสระยา ร่วมรังษี. 2544: 1) นับเป็นจุดเริ่มต้นของการนำเทคนิคการปลูกพืชโดยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อปลูกพืชเป็นการค้า และได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการและส่วนประกอบในสารละลายเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

ปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศพัฒนาแล้วโดยทั่วไปมักทำการปลูกภายใต้เรือนกระจก มีการควบคุมสภาพแวดล้อม การผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบต่างๆ ระบบที่นิยมใช้จะแตกต่างกัน เช่น ประเทศในแถบยุโรปจะนิยมใช้ระบบให้น้ำไหลผ่านรากพืชเป็นชั้นบางๆ (Nutrient Film Technique, NFT) ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ระบบน้ำไม่ไหลเวียน (Non-Circulating System) ส่วนในประเทศออสเตรเลียจะใช้ทั้ง 2 ระบบ สำหรับประเทศในเอเชีย ญี่ปุ่นเป็นชาติแรกที่น่าการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยเริ่มจากที่กองทัพสหรัฐอเมริกาซึ่งเข้ายึดครองประเทศญี่ปุ่นช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้นำเทคนิคนี้มาใช้ปลูกพืชผักเพื่อเป็นอาหาร หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิคการปลูกพืชในกรวด (Gravel Culture) ขึ้น นับเป็นเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแรก que พัฒนาขึ้นโดยชาวญี่ปุ่น หลังจากนั้นก็มีการพัฒนาเรื่อยมาจนปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นมีเทคนิคต่างๆ กว่า 30 แบบ ถือเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าที่สุดในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเอเชีย ในไต้หวันนั้นได้มีการพัฒนาระบบของไต้หวันขึ้นเอง คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่อง (Dynamic Root Floating, DRF) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถลดความร้อนที่สะสมในเรือนกระจกได้ และมีระบบจัดหาอากาศให้รากอย่างพอเพียง ซึ่งปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในไต้หวัน (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

ในอนาคตการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องมีการพัฒนาไปอีก เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อการค้าเกิดขึ้นได้เพียง 58 ปีเท่านั้น การพัฒนาระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินให้มีประสิทธิภาพต้องทำในรูปแบบกลางแจ้ง (Out Door) และในร่ม (In Door) นอกจากนี้ยังต้องพัฒนาอีกหลายรูปแบบ เช่นที่กำลังทำอยู่ก็คือการทดลองปลูกในเรือดำน้ำปรมาณูเพื่อให้ลูกเรือได้รับประทานผักสด และเพิ่มออกซิเจนภายในเรือขณะดำน้ำอยู่ หรือการทดลองปลูกในสถานีอวกาศ เพื่อให้นักบินอวกาศที่ทำงานในสถานีอวกาศอยู่นอกโลกได้มีผักสดรับประทาน และยังใช้ผักสร้างออกซิเจนในสถานีอวกาศอีกด้วย ในพื้นที่ที่เป็นดินทราย พื้นที่บนเกาะที่เป็นดินเกิดใหม่จำพวกดินภูเขาไฟ และพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อย ประชาชนในพื้นที่เหล่านั้นก็ได้อาศัยเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินทำการเพาะปลูกผักไว้รับประทาน พื้นที่บนเกาะบางแห่งที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวจะมีนักท่องเที่ยวไปพักผ่อนจำนวนมากต่อปี เช่น เกาะฮาวาย ทำให้มีการสร้างที่พักอาศัยจำนวนมากเพื่อรองรับนักท่องเที่ยว พื้นที่เพาะปลูกเหลือน้อยลง จึงจำเป็นต้องอาศัยการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจึงจะมีผักเพียงพอต่อการบริโภค (นพดล เรียบเลิศ หิรัญ. 2550: 30-31)

สำหรับประเทศไทยเพิ่งมีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์มาไม่นานและยังไม่แพร่หลายมาก แต่ในระดับงานวิจัยได้มีการศึกษาค้นคว้ากันมากกว่า 40 ปีแล้ว โดยการวิจัยเริ่มแรกทำการทดลองกับพืชผักหลายชนิดที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการสอนและทดลองในมหาวิทยาลัยต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเปิดสอนวิชาการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอย่างจริงจัง โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญจากยุโรปมาเป็นผู้สอนและวางรากฐาน นอกจากนี้ยังมีการสอนการทดลองในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รวมทั้งการสอนทางไกลชุดวิชาการจัดการการผลิตพืชของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 14) วิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ การปลูกพืชในสารละลายแบบน้ำลึก (Liquid Culture, Deep Water) การปลูกพืชระบบให้น้ำไหลผ่านรากพืชเป็นชั้นบางๆ (Nutrient Film Technique, NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

2. ข้อดีและข้อเสียของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้ (อารักษ์ ธีรอำพน. 2544: 6-7)

2.1 ข้อดีของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.1.1 สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปี เมื่อเก็บผลผลิตแล้วสามารถปลูกพืชรุ่นต่อไปได้ทันที เนื่องจากไม่ได้ปลูกพืชลงดินจึงไม่ต้องทิ้งระยะเวลาเพื่อทำการพักดิน ตากดิน กำจัดวัชพืช และเตรียมแปลงปลูกใหม่ การปลูกพืชในดินต่อเนื่องเป็นเวลานานยังทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมสภาพ แต่การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถปลูกพืชต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องกลัวปัญหานี้ เนื่องจากแหล่งอาหารของพืชไม่ได้มาจากดิน แต่มาจากธาตุอาหารต่างๆ ที่ให้ทางสารละลายธาตุอาหาร นอกจากนั้นการปลูกพืชด้วยเทคนิคนี้ไม่ขึ้นกับฤดูกาล เพราะมีการควบคุมสภาพแวดล้อม จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลูกได้ต่อเนื่องตลอดปี

2.1.2 สามารถปลูกพืชได้แม้สถานที่ไม่เอื้ออำนวยสำหรับปลูกพืช หรือมีพื้นที่จำกัด เช่น ตึกแถว ทาวน์เฮาส์ อาคารชุด และหอพัก ไม่มีพื้นที่สำหรับปลูกพืช ก็สามารถปลูกพืชผักสวนครัว สมุนไพร หรือไม้ดอกไม้ประดับ ได้โดยใช้วิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กวางบริเวณพื้นที่ว่างที่มีอยู่เล็กน้อยได้ เช่น ริมหน้าต่าง ทางเดิน คาดฟ้า และพื้นที่เล็กๆ หลังบ้าน

2.1.3 สามารถปลูกพืชในบริเวณที่มีดินไม่เหมาะสม ในบางพื้นที่มีพื้นที่อยู่มากมายแต่ใช้ทำการเพาะปลูกพืชไม่ได้ เนื่องจากดินขาดความอุดมสมบูรณ์ เช่น ดินทะเลทราย พื้นที่ที่เป็นหิน พื้นที่ภูเขา ดินเค็ม ดินกรด ดินด่าง พื้นที่อยู่ในเขตแห้งแล้ง หรือขาดแคลนน้ำชลประทาน การแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้ยากต้องใช้เวลาและใช้งบประมาณมาก สามารถใช้พื้นที่ที่มีอยู่ปลูกพืชได้ด้วยวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะนอกจากไม่ต้องใช้ดินเป็นแหล่งอาหารสำหรับพืชแล้วยังเป็นวิธีที่ใช้ใช้น้ำน้อยและใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ พืชไม่มีปัญหาขาดน้ำ ไม่มีการสูญเสียน้ำจากการซึมลึก การไหลทิ้ง การให้น้ำมากเกินไป หรือการแย่งน้ำจากวัชพืช

2.1.4 พืชเจริญเติบโตได้เร็วและให้ผลผลิตสูง การปลูกพืชด้วยวิธีดั้งเดิมไม่สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้พอดีกับความต้องการของพืชได้ นอกจากนั้นยังมีการสูญเสียธาตุอาหารจากกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดินและในอากาศตลอดจนการแย่งธาตุอาหารจากวัชพืช แต่การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถควบคุมปริมาณสารอาหารได้ดีกว่าการปลูกบนดิน สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้ตรงกับความต้องการของพืช พืชได้รับสารอาหารในรูปอนินทรีย์โดยตรง ทำให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาการแย่งธาตุอาหารโดยวัชพืช จึงทำให้พืชเจริญเติบโตเร็วและได้ผลผลิตสูง ถ้าคำนึงถึงผลผลิตต่อปีผลผลิตจากการผลิตด้วยวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินก็จะ

สูงกว่าการปลูกด้วยวิธีดั้งเดิม เนื่องจากการเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้นและปลูกต่อเนื่องได้ตลอดปีไม่ขึ้นกับฤดูกาล ทำให้สามารถปลูกพืชได้มากกว่าในเวลาที่เท่ากันและสามารถปลูกพืชได้หนาแน่นใช้ระยะปลูกดีกว่าปลูกบนดิน ทำให้จำนวนต้นที่ปลูกมากกว่าในพื้นที่เท่ากัน ผลผลิตที่สูงของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถเปรียบเทียบกับผลผลิตจากการปลูกพืชโดยใช้ดินได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตระหว่างการปลูกพืชโดยใช้ดินกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินใน 1 ช่วงอายุปลูก

พืช	ผลผลิตใน 1 ช่วงอายุปลูก (กิโลกรัมต่อไร่)	
	การปลูกพืชโดยใช้ดิน	การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ผักกาดหอม	4,040	10,000
ผักกาดขาว	5,900	8,500
แตงกวา	3,200	12,500
ถั่วเหลือง	270	700
ข้าว	460	2,300
มันฝรั่ง	8,000	70,000
มะเขือเทศ	5,000-10,000	60,000-300,000

ที่มา: นพดล เรียบเลิศหิรัญ. (2550). *การปลูกพืชไร้ดิน*. หน้า 34.

2.1.5 ผลผลิตมีความสม่ำเสมอ สะอาด และคุณภาพดี เนื่องจากการควบคุมปริมาณธาตุอาหารตามที่พืชต้องการตลอดจนควบคุมปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมได้ทั่วถึง ทำให้ได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ มีรูปร่าง สี ขนาด ใกล้เคียงกัน ผลผลิตไม่ได้สัมผัสกับดิน จึงสะอาด และดูน่ารับประทาน การปลูกพืชวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะผลิตพืชผักที่ต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพและความสม่ำเสมอ เช่น ผักส่งออก ผักทดแทนการนำเข้า และผักส่งขายในซูเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น

2.1.6 ใช้แรงงานน้อยลง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะใช้แรงงานน้อยกว่าการปลูกพืชด้วยวิธีดั้งเดิม เนื่องจากไม่ต้องเตรียมดิน ให้น้ำ ใส่ปุ๋ย กำจัดวัชพืช มีศัตรูพืชน้อยกว่า และการเพาะเมล็ด การย้ายปลูก การเตรียมแปลงปลูก และการเก็บเกี่ยวทำได้ง่ายกว่า จึงใช้แรงงานน้อยกว่า

2.1.7 ลดการใช้สารเคมี เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีการควบคุมสภาพแวดล้อมและศัตรูพืชได้ง่าย เพราะการไม่ใช้ดินในการปลูกพืช ทำให้ไม่มีปัญหาโรคและแมลงที่อยู่ในดินตลอดจนไม่มีปัญหาเกี่ยวกับวัชพืช ส่วนโรคแมลงที่ระบาดทางอากาศก็สามารถลดการใช้สารเคมีได้โดยการใช้โรงเรือนที่มีตาข่ายคลุม

2.1.8 ปลูกพืชได้ทุกฤดูกาลและทุกสภาพอากาศ เพราะสามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารให้พอดีกับความต้องการของพืชและควบคุมสภาพแวดล้อมอื่นๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปีไม่ขึ้นกับฤดูกาล ทำให้สามารถควบคุมราคาผลผลิตได้โดยไม่ขึ้นลงตามฤดูกาล

2.2 ข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.2.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ทำให้ผลผลิตมีราคาแพง จึงต้องเลือกปลูกพืชที่มีราคาสูง ค่าใช้จ่ายที่ทำให้ต้นทุนสูงจะเป็นค่าก่อสร้างโรงเรือน ค่าสารเคมี ค่าอุปกรณ์และค่าดูแลรักษา การลงทุนระยะแรกอาจไม่คุ้มทุนแต่จะให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว และการดำเนินการในพื้นที่มากจะคุ้มค่าน้อยกว่าพื้นที่น้อย

2.2.2 ต้องใช้เทคนิคขั้นสูง ผู้ปลูกต้องมีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคที่เลือกใช้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังต้องมีความรู้เรื่องธาตุอาหารพืช น้ำ สรีรวิทยาของพืช สารละลายธาตุอาหาร และเครื่องมือควบคุมระบบต่างๆ อีกด้วย

2.2.3 พืชมีโอกาสเกิดโรคที่มาจากน้ำได้ง่ายและยากต่อการควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกในสารละลายธาตุอาหารไม่ว่าจะเป็นระบบหมุนเวียนหรือไม่หมุนเวียน ถ้ามีการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบรากจะแพร่กระจายอย่างรวดเร็วยากต่อการป้องกันและกำจัด เพราะพืชแต่ละต้นใช้สารละลายจากแหล่งเดียวกัน เชื้อจึงระบาดไปทั่วระบบในเวลาอันสั้น โดยติดต่อทางสารละลายธาตุอาหาร

2.2.4 ชนิดพืชที่เหมาะสมกับการปลูกโดยไม่ใช้ดินมีไม่มาก ส่วนใหญ่เป็นผักและไม้ดอกไม้ประดับ ส่วนไม้ผลมักนิยมปลูกไม้ผลขนาดเล็ก เช่น สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น

3. ประเภทของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรือ “ไฮโดรโปนิคส์” มีอยู่มากมายหลายระบบ เนื่องจากการพัฒนากันมาเป็นเวลานาน ให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของประเทศต่างๆ อย่างไรก็ตามระบบต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมีพื้นฐานมาจากระบบหลักๆ ตามลักษณะการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชบริเวณรอบๆ รากพืช 3 ระบบ คือ การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ (Aeroponics) การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture) และการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืช (Water Culture หรือ Hydroponics) (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 35-49)

3.1 การปลูกพืชโดยให้รากลอยอยู่ในอากาศ (Aeroponics)

การปลูกพืชโดยให้รากลอยอยู่ในอากาศ หรือ “แอโรโพนิคส์” เป็นการปลูกในภาชนะที่มีการยึดต้นพืช โดยให้ส่วนรากแขวนลอยในอากาศ เพื่อรับสารอาหารที่พ่นให้เป็นระยะๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด การปลูกแบบนี้มีข้อเสียคือ นอกจากต้องลงทุนค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูงแล้วยังต้องเสียค่าไฟฟ้าจากเครื่องสูบน้ำเพื่อพ่นสูงกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากต้องพ่นสารอาหารพืชไปที่รากพืชเป็นระยะๆ ที่สำคัญคือ ถ้าระบบการพ่นอุดตันหรือบ่บและระบบไฟฟ้ามีปัญหาจะทำให้พืชเสียหาย ดังนั้นการปลูกโดยวิธีนี้ในอดีตจึงไม่เหมาะสำหรับทำการในเชิงธุรกิจ ส่วนใหญ่มักจะใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อการศึกษาวิจัยสรีระวิทยาของพืช เช่น การวิจัยเพื่อดูการพัฒนารากพืช อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดีขึ้น บางประเทศได้ใช้เป็นระบบผลิตเชิงธุรกิจ เช่น ประเทศมาเลเซีย และประเทศไทยได้รับเอารูปแบบนี้มาปลูกพืช เช่น บริษัท ซีพีเคเพลนเทชน จำกัด ตั้งอยู่ที่ไร่โนทยาน อำเภอกงเรือ จังหวัดเลย

3.2 การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture)

การปลูกพืชในวัสดุปลูก เป็นการปลูกพืชในลักษณะที่คล้ายกับการปลูกพืชบนดินมากที่สุด การดูแลรักษาจึงคล้ายกับการปลูกพืชในกระถางแต่ใช้วัสดุปลูกอื่นแทนดินเพื่อให้รากพยุงบำรุงอยู่ได้ การปลูกในวัสดุปลูกปริมาณของวัสดุปลูกจะน้อยกว่าดินมาก คือ รากพืชจะมีพื้นที่ในการรับน้ำและอาหารไม่เกิน 5 ลิตรต่อต้น ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับน้ำและธาตุอาหารจะต้องดูแลเป็นพิเศษ ต้องควบคุมปริมาณน้ำในวัสดุปลูกให้เหมาะสม นอกจากใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี อุ่มน้ำได้น้อย มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและอากาศที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องควบคุมการให้สารละลาย ต้องระวังไม่ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้งจนไม่มีความชื้นเหลืออยู่ เพราะถ้าแห้งถึงระดับหนึ่งรากอาจไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมทำให้เกิดความเสียหายได้ วิธีที่เหมาะสม คือ ให้น้ำครั้งละน้อยๆ แต่ให้บ่อยๆ ด้วยการใช้ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ สูตรและความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะต้องเหมาะสมกับชนิดพืช ช่วงการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ ก่อนปลูกควรปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุ

ปลูกให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 โดยใช้สารละลายกรดไนตริกเจือจาง ข้อควรระวังอีกอย่างหนึ่ง คือ ต้องเก็บเศษรากพืชที่เหลือออกจากวัสดุปลูกให้หมดเมื่อต้องเริ่มปลูกพืชครั้งใหม่ การปลูกด้วยระบบนี้อาจจำแนกย่อยได้ 2 ลักษณะ คือ

3.2.1 การให้สารละลายท่อมภาชนะปลูก เริ่มหลังจากการย้ายกล้าลงปลูกใหม่ในภาชนะปลูกถาวรที่มีวัสดุปลูกตามที่จัดเตรียมไว้ โดยภาชนะนี้มีท่อสำหรับให้สารละลายไหลเข้าไปในภาชนะให้ท่อมวัสดุปลูกไม่น้อยกว่าวันละ 2 ครั้ง คือ เช้าและเย็น ในฤดูร้อนอาจต้องเพิ่มเป็นวันละ 3-4 ครั้ง ในครั้งหนึ่งๆ จะปล่อยสารละลายแช่ซึ่งรากพืชไว้นานประมาณ 0.5-1 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยสารละลายให้ไหลกลับออกมาเก็บไว้ในถังเพื่อใช้ต่อไป เทคนิคการปล่อยสารละลายไหลเข้าท่อมวัสดุปลูก และระบายกลับออกมานั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

3.2.1.1 ใช้แรงโน้มถ่วง วิธีการก็คือ นำสารละลายใส่ลงในถังพลาสติกที่มีท่อต่อเชื่อมกับภาชนะปลูก เมื่อจะให้สารละลายท่อมภาชนะปลูกก็ยกถังขึ้นมาแขวนให้สูงกว่าระดับภาชนะปลูก แรงดึงดูดของโลกจะพาให้สารละลายไหลมาท่อมภาชนะและเมื่อต้องการระบายกลับออกมาก็ยกถังให้ต่ำกว่าระดับภาชนะปลูก

3.2.1.2 ใช้ระบบควบคุมเวลา วางตำแหน่งถังสารละลายให้อยู่ต่ำกว่าระดับภาชนะปลูก ภายในถังมีปั้มน้ำเล็กๆ สำหรับการส่งจ่ายสารละลายไปแช่ซึ่งในภาชนะปลูก และมีนาฬิกาตั้งเวลาคอยควบคุมระบบการทำงานให้ไหลเข้าและไหลกลับตามเวลาเป็นช่วง

3.2.2 การให้สารละลายโดยการหยด จะต้องมียางสำหรับผสมธาตุอาหาร ดังนั้นจะต้องอยู่สูงกว่าภาชนะปลูกเล็กน้อย ท่อทอลงมาระดับต่ำโดยวางท่อเป็นแนวยาว เจาะรูเป็นระยะๆ สำหรับให้สารละลายไหลลงตามธรรมชาติ เพื่อจ่ายหรือหยดสารละลายลงรากพืชแต่ละต้นได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้นสารละลายจะซึมผ่านวัสดุปลูกลงมาถึงถ้อยสุรางปลูกและไหลลงมารวมกันในถังเก็บ การทำงานจะต่อเนื่องในลักษณะนี้ โดยเมื่อสารละลายจากถังบนลดลงจนถึงระดับหนึ่งเพียงพอให้ถูกลอยไปควบคุมให้ปั้มน้ำในถังเก็บสะสมสารละลายที่อยู่ด้านล่างทำงาน และจะผลักดันให้สารละลายผ่านท่อส่งกลับคืนไปยังถังบน ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

3.3 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Liquid Culture)

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่นๆ และใช้ได้ดีในที่ที่มีแดดจัด วิธีการหลักคือการนำรากพืชจุ่มลงในสารละลายโดยตรง รากพืชไม่มีการเกาะยึดกับวัสดุใดๆ ยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ดังนั้นจึงมักใช้การยึดเหนี่ยวส่วนของลำต้นไว้แทนการรองรับรากของต้นพืชเพื่อการทรงตัว ข้อสังเกตในการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร คือ ถ้านำต้นพืชที่ขึ้นอยู่บนดินมาวางแช่น้ำ ในระยะแรกต้นพืชจะยังสามารถเจริญงอกงามต่อไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งกลับพบว่า ต้นพืชที่เจริญนั้นแสดงอาการเหี่ยวเฉา เพราะเมื่อราก

พืชที่อยู่ในน้ำนานๆ จะเกิดการขาดออกซิเจนจึงทำให้พืชเนตาย ดังนั้นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารจึงต้องใช้เทคนิคและวิธีการที่แตกต่างจากวิธีอื่น คือ ต้องพัฒนารากพืชในต้นเดียวกันนั้นให้สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่พร้อมๆ กัน คือ รากดูดออกซิเจน (Oxygen Roots) และรากดูดน้ำและธาตุอาหาร (Water Nutrient Roots) การจะทำให้รากพืชทำงานได้ทั้ง 2 หน้าที่นั้น ต้องพยายามให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสกับอากาศได้โดยตรงบริเวณโคนราก (ส่วนนี้ต้องมีช่องว่างของอากาศไว้สำหรับให้รากหายใจเอาออกซิเจนเข้าไปและอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลาย) ซึ่งหลักการคือรากส่วนที่มีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารสามารถพัฒนาเป็นรากดูดอากาศได้ แต่รากดูดอากาศจะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นรากดูดน้ำและแร่ธาตุได้ ดังนั้นจึงต้องไม่เติมสารละลายท่วมรากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดอากาศเพราะพืชจะไม่สามารถดูดออกซิเจนและตายได้ในที่สุด ด้วยหลักการดังกล่าวต้นพืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เนตายและไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืชบางชนิด ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงระดับของสารละลายให้มีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

3.3.1 แบบสารละลายไม่หมุนเวียนหรือระบบเปิด (Non-Circulating System หรือ Open System) เป็นระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร จะเติมสารละลายธาตุอาหารให้ซึ่งอยู่ในภาชนะปลูก สามารถทำได้โดยเตรียมภาชนะปลูกที่ไม่มีรอยรั่วซึม นำสารละลายที่เตรียมไว้เติมลงในระดับที่พอเหมาะแล้วนำตะแกรงหรือแผ่นโฟมเจาะรูวางทาบที่ปากภาชนะเพื่อช่วยพยุงต้นให้ทรงตัวอยู่ได้ หลังจากนั้นนำต้นกล้าที่เพาะบนฟองน้ำมาสอดเข้าในรูโฟม วิธีนี้ยังเป็นการช่วยปกป้องมิให้แสงสว่างส่องลงมาในสารละลายได้ นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกอย่างที่ต้องคำนึงถึงคือ การเว้นช่องว่างระหว่างพื้นผิวสารละลายกับแผ่นโฟมเพื่อเป็นพื้นที่ให้ออกซิเจนแก่รากพืช โดยเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับผู้เริ่มทดลองหรือปลูกเป็นงานอดิเรก เพราะใช้ต้นทุนต่ำ ติดตั้งง่าย สามารถใช้งานได้เร็ว และสามารถควบคุมโรคที่มากจากการไหลเวียนของน้ำได้ง่าย การปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียนนี้ยังจำแนกย่อยได้เป็น 2 วิธี คือ

3.3.1.1 แบบไม่เติมอากาศ จะไม่มีการใช้ปั๊มลมเติมออกซิเจนให้กับสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใส่ปลูก

3.3.1.2 แบบเติมอากาศ โดยใช้ปั๊มลมให้ออกซิเจนให้กับสารละลายธาตุอาหารให้พืชนำไปใช้ต่อไป

3.3.2 แบบสารละลายหมุนเวียนหรือระบบปิด (Circulating System หรือ Close System) จุดสำคัญของระบบนี้คือ การใช้ปั๊มในการผลักดันให้สารละลายมีการไหลเวียนในระบบ ข้อดีของระบบนี้คือ นอกจากจะมีการเพิ่มออกซิเจนให้รากพืชโดยตรงแล้ว ยังเป็นการช่วยให้สารละลายเกิด

การเคลื่อนไหวช่วยไม่ให้ธาตุอาหารตกตะกอน ทำให้ต้นพืชได้รับอาหารเต็มที่ เป็นระบบที่ใช้แพร่หลายในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธี คือ

3.3.2.1 การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในรางปลูกพืช โดยรางปลูกกว้างตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร ขึ้นกับชนิดของพืชที่ปลูก สูงประมาณ 5 เซนติเมตร ความยาวของรางตั้งแต่ 5-20 เมตร แต่โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 10 เมตร เพราะจะทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวและท้ายรางได้ รางอาจทำจากแผ่นพลาสติก หรือจากพีวีซี (PVC) ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป ด้านบนของรางปลูกจะมีช่องสำหรับปลูกพืช โดยระยะห่างจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช รางปลูกจะมีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 สารละลายธาตุอาหารพืชจะถูกปั๊มสูบน้ำจากถังเก็บสารละลาย แล้วปล่อยเป็นฟิล์มบางๆ ผ่านรากพืชด้วยความเร็วประมาณ 2 ลิตรต่อนาที เพื่อให้รากพืชได้รับออกซิเจนเพียงพอ สารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้วจะไหลไปรวมที่ถังเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

3.3.2.2 การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Deep Flow Technique, DFT) วิธีนี้จะนำต้นกล้ามาปลูกบนวัสดุปลูกที่เป็นถาดปลูก หรือ รางปลูก แล้วให้สารละลายธาตุอาหารในระดับที่ลึกกว่าแบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ การปลูกวิธีนี้มีข้อดีคือเมื่อเกิดไฟฟ้าดับหรือปั๊มน้ำเสีย รางหรือถาดปลูกก็ยังมีน้ำขังอยู่ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อพืชมากนัก ซึ่งแตกต่างจากระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ ถ้าปั๊มน้ำมีปัญหาจะไม่มีน้ำในรางปลูกเลยทำให้ส่งผลกระทบถึงพืชอย่างรุนแรง และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของระบบนี้จะต่ำกว่าระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึกสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ

1) การปลูกบนถาดปลูก ปกติแล้วถาดปลูกมักทำด้วยโฟมขึ้นรูปเป็นถ้วย (U) คล้ายกล่อง เพื่อใส่สารละลายธาตุอาหารพืชมีฝาปิดเรียกว่าแผ่นปลูก เจาะรูปลูกที่แผ่นปลูกรองรับต้นกล้าที่เพาะในฟองน้ำหรือใช้ถ้วยเพาะกล้าปลูก ถาดปลูกก็จะมีลักษณะคล้ายอ่างสามารถใส่สารละลายธาตุอาหารได้ลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบหมุนเวียน

2) การปลูกบนรางปลูก รางปลูกทั่วไปจะทำจากท่อพีวีซี และต้นกล้าที่ใช้จะมีทั้งเพาะในถ้วยเพาะและเพาะในฟองน้ำ ให้สารละลายทั้งแบบหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง หรือให้สารละลายเป็นระยะๆ ให้ท่วมขังในท่อลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร โดยน้ำจะท่วมรากพืชในถ้วยบางส่วน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน 2 ระบบ ได้แก่ การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) เนื่องจากทั้ง 2 ระบบเป็นระบบที่เป็นที่ยอมรับและนิยมกันมากที่สุดในประเทศไทย และใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 574-590) โดยทั้ง 2 ระบบมีลักษณะคล้ายกัน แต่มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ใช้ น้ำและธาตุอาหารน้อยกว่า แต่อาจมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิของน้ำสูงเนื่องจากระดับน้ำในรางต่ำ (2-3 มิลลิเมตร) ส่วนระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) นั้นใช้น้ำและธาตุอาหารมากกว่า แต่ไม่มีปัญหาเรื่องอุณหภูมิของน้ำเนื่องจากระดับน้ำในรางสูง (3-5 เซนติเมตร) (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 40-46)

4. ตัวอย่างการปลูกพืชไม่ใช้ดินเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยมีฟาร์มปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมากมายหลายแห่ง ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ตัวอย่างที่จะนำเสนอต่อไปนี้นี้เป็นฟาร์มที่มีชื่อเสียง ได้แก่ (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 574-590)

4.1 บริษัทแอคเซนท์ไฮโดรโพนิคส์ 1997 (ประเทศไทย) จำกัด (Accent Hydroponics 1997 (Thailand) Co.,Ltd.) เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ

4.2 บริษัทเอซีเคไฮโดรฟาร์ม จำกัด (ACK Hydro Farm Co.,Ltd) เขตสวนหลวง จังหวัดกรุงเทพฯ ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ผลิตผักสลัดภายใต้เครื่องหมายการค้า “ซูเปอร์เฟรช” (Super Fresh) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ ผักกวางตุ้ง และผักบุ้ง

4.3 ธาราไฮโดรการ์เดน (Tara Hydro. Garden) อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบใช้วัสดุปลูก (Substrate Culture) พืชที่ปลูก ได้แก่ พืชสวนประดับชนิดต่างๆ สมุนไพร และพืชผักสวนครัว

4.4 ประเสริฐชัยฟาร์ม (P.C. Farm) เขตลาดพร้าว จังหวัดกรุงเทพฯ ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ ผักคะน้า ผักบุ้ง เป็นต้น

4.0 เฟรชไฮโดรฟาร์ม 2000 (Fresh Hydrofarm 2000) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ

4.0 บริษัทเฟรชการ์เดนไฮโดรโปนิคส์เซ็นเตอร์ (Fresh Garden Hydroponics Center) เขตคลองเตย จังหวัดกรุงเทพฯ จำหน่ายอุปกรณ์การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

4.0 บริษัทแม่กลองพืชผัก จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ

4.0 บริษัทหนองแคพัฒนาไฮโดรฟาร์ม จำกัด อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ ผักกวางตุ้งแคะ ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และผักคื่นหำ

4.0 ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร เขตบางกะปิ จังหวัดกรุงเทพฯ ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักฮ่องเต้ ผักกาดขาว และผักกาดหอมชนิดต่างๆ และยังจำหน่ายอุปกรณ์การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินด้วย

4.0 สยามกรีนฟาร์ม (Siam Green Farm) อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ปลูกพืชด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พืชที่ปลูก ได้แก่ ผักกาดหอมต่างๆ ผักคะน้า ผักบุ้ง ผักกวางตุ้ง ผักปวยเล้ง ทาห์-ไซ ผักกาดขาวโกลน ผักโขม และผักฮ่องเต้

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้อุปกรณ์การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจากบริษัทเฟรชการ์เดนไฮโดรโปนิคส์เซ็นเตอร์ (Fresh Garden Hydroponics Center) ได้แก่ ถ้วยเพาะ วัสดุเพาะ (เพอร์ไลต์) และเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ก (Green Oak)

5. องค์ประกอบของระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) มีองค์ประกอบของระบบดังต่อไปนี้ (ดิเรก ทองอร่าม, 2546: 58-77)

5.1 โรงเรือน

โรงเรือนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อที่จะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติให้เป็นไปในระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช โดยเฉพาะลมฝน และการรบกวนจากแมลงศัตรูพืช รูปแบบของโรงเรือนต้องเหมาะสมและมีความแข็งแรงเพียงพอ บริเวณที่ตั้งของโรงเรือนควรอยู่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิต การสร้างโรงเรือนต้องตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงแดดให้โรงเรือนได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ ลักษณะของโรงเรือนต้องสะดวกในการเข้าปฏิบัติงาน มีหลังคาสามารถกันแดดและฝนได้ มีความลาดเอียงของหลังคาไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 และมีชายคาป้องกันไม่ให้ฝนสาดเข้ามาในโรงเรือน ผนังด้านข้างโรงเรือนอาจเลือกใช้มุ้งตาข่ายคลุมโดยรอบ ขนาดของจำนวนช่องต่อนิ้วของมุ้งตาข่ายจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงขนาดของแมลงที่สามารถเข้ารบกวนพืชปลูกและบ่งชี้ถึงอุณหภูมิภายในโรงเรือน กล่าวคือ จำนวนช่องต่อนิ้วของมุ้งตาข่ายยิ่งมากยิ่งสามารถป้องกันแมลงที่มีขนาดเล็กได้มาก แต่มีผลทำให้การระบายอากาศในโรงเรือนเป็นไปได้น้อย อุณหภูมิในโรงเรือนจึงสูง

5.2 ภาชนะที่ใช้ในการปลูก

ภาชนะที่ใช้ในการปลูกมีหลายชนิด ผู้ปลูกสามารถเลือกใช้ภาชนะในการปลูกได้ เช่น รางปลูก (Gully) ท่อปลูก (Tube) และถาดปลูก โดยอาจจะทำด้วยโพลีเอทิลีน (Polythene) พีวีซี (PVC) ไฟเบอร์กลาส (Fiber Glass) โฟม โลหะ หรือคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำภาชนะปลูกบางชนิดอาจเป็นพิษกับพืชทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการทำภาชนะปลูก การใช้โลหะทำภาชนะปลูกจะทำให้เกิดสนิมซึ่งจะไปทำให้สารละลายธาตุอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไปซึ่งอาจเป็นพิษกับพืชได้ และยังทำให้เกิดการอุดตันในท่อต่างๆ ถ้าจะใช้โลหะหรือคอนกรีตเป็นภาชนะปลูกควรมีแผ่นพลาสติกบางๆ ปูในบริเวณที่สัมผัสกับน้ำ การวางภาชนะปลูกนิยมวางเป็นแนวยาวทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ คือ หันด้านแนวยาวของรางปลูกไปทางทิศเหนือและใต้

5.3 วัสดุที่ใช้ในการปลูก

วัสดุที่ใช้ในการปลูกเป็นวัสดุที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตที่เกี่ยวข้องกับการให้ออกซิเจน และธาตุอาหาร รวมทั้งช่วยในการส่งเสริมให้รากพืชเจริญเติบโต วัสดุปลูกที่ดีจะต้องอุ้มน้ำไว้ได้ในช่องอากาศระหว่างก้อนวัสดุ วัสดุที่ผิวเรียบหรือผิวมันจะยึดโมเลกุลน้ำไว้ได้น้อยกว่าวัสดุผิวขรุขระหรือมีรูพรุน วัสดุปลูกอาจเป็นอินทรีย์สาร อินทรีย์สาร หรือวัสดุสังเคราะห์ หลักในการเลือกวัสดุที่ใช้ในการปลูกควรคำนึงถึง ความสะอาด ความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยต่อต้นพืช และสิ่งแวดล้อม ควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี มีราคาเหมาะสม และหาง่ายในท้องถิ่น วัสดุที่นิยมใช้ ได้แก่ ฟองน้ำ ร็อควูล (Rock Wool) และเพอร์ไลต์ (Perlite) เป็นต้น

5.4 ธาตุอาหารของพืช

ธาตุอาหารของพืชนับเป็นหัวใจในการปลูกพืช เพราะธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าพืชไม่ได้รับธาตุอาหารตามความต้องการพืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติจนครบวงจรชีวิตได้ ปัจจุบันมีการคิดค้นสูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมากมายหลายร้อยสูตร แต่การเลือกใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารใดขึ้นกับ ชนิดพืชปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิในช่วงปลูก สถานที่ปลูก ตลอดจนวัตถุประสงค์ในการปลูก

5.5 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญ เพราะน้ำเป็นทั้งตัวทำละลาย ตัวนำธาตุอาหารไปให้พืชใช้ประโยชน์ และเป็นส่วนประกอบในส่วนต่างๆ ของพืช ทำให้น้ำที่จะนำมาใช้ในการปลูกพืชต้องมีทั้งปริมาณและคุณภาพที่ดี คุณภาพน้ำที่ดีจะต้องมีความเหมาะสมทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพของน้ำทางเคมีเพราะเกี่ยวข้องกับการจัดเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชโดยตรง น้ำที่มีคุณภาพต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องปราศจากสารพิษและไม่เป็นน้ำกระด้าง

5.6 ถังเก็บสารละลาย

ถังเก็บสารละลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านรางหรือถาดปลูกและเก็บไว้เพื่อปั๊มขึ้นไปบนรางอีกครั้ง เพื่อให้สารละลายธาตุอาหารได้หมุนเวียน

5.7 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญในทำให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารและให้ออกซิเจนแก่รากพืช ปั๊มที่ดีต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของเกลือหรือกรด แข็งแรง สะดวกในการติดตั้งและใช้งาน ราคาเหมาะสม และหาง่ายในท้องถิ่น

5.8 ไฟฟ้า

ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังของพลังงานที่ปั๊มน้ำใช้ในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ถ้าต้องการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเชิงการค้าจำเป็นต้องจัดหาต้นกำลังสำรองไว้

5.9 เมล็ดพันธุ์พืชหรือต้นกล้าพืชที่จะใช้ปลูก

เมล็ดพันธุ์พืชควรเป็นพันธุ์ที่เป็นความต้องการของตลาด ต้นกล้ามีความสำคัญต่อความสำเร็จในการผลิตมากเพราะจะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็ว

5.10 วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องชั่ง ภาชนะใส่สารละลายเข้มข้น ปุ๋ยหรือธาตุอาหาร เครื่องมือตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity Meter) ถังใส่สารละลาย ถังมือ อุปกรณ์ชั่ง ตวง วัดปริมาณสารอาหาร เป็นต้น

6. ปัจจัยที่พืชต้องการ

ปัจจัยที่พืชที่ปลูกในดินต้องการเพื่อสร้างการเจริญเติบโตประกอบด้วย แสงแดด น้ำ อากาศ ธาตุอาหาร และระบบการรองรับต้นพืช โดยสิ่งเหล่านี้ ผู้ปลูกต้องให้พืชได้รับในปริมาณที่พอเหมาะ แต่ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้สามารถแปรเปลี่ยนได้ขึ้นกับแหล่งปลูกของแต่ละท้องถิ่น ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันออกไปด้วย ทำให้ผู้ปลูกต้องปรับสภาพปัจจัยต่างๆ ให้สอดคล้องกับท้องถิ่นนั้นๆ ด้วย

ปัจจัยที่พืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินต้องการก็ไม่แตกต่างจากพืชที่ปลูกในดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความต้องการจะเป็นลักษณะเดียวกันกับพืชที่ขึ้นบนดิน ฉะนั้นหลักปฏิบัติที่ผู้ปลูกจะต้องยึดถือเป็นพื้นฐานเพื่อปลูกพืชชนิดนั้นๆ คือ ควรต้องดำเนินการให้คล้ายคลึงหรือสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของพืชที่ปลูกบนดินตามในท้องถิ่นนั้น (ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, 2534: 33)

6.1 แสงแดด

แสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสังเคราะห์แสง พืชจะมีระดับขีดความสามารถของการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งการปลูกพืชเพื่อให้ได้พืชที่มีคุณภาพจำเป็นต้องควบคุมปริมาณแสงให้พอเหมาะ ถ้าพืชได้รับแสงน้อยเกินไปจะทำให้ไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ขณะเดียวกันถ้าความเข้มแสงมีมากเกินไปจะมีผลในทางตรงกันข้าม กลับไปลดอัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งหมายถึงการลดลงของผลผลิตของพืชบางชนิดด้วย สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงค่อนข้างได้เปรียบมีความเข้มของแดดจัด แม้วันที่มีเมฆหมอกปกคลุมและมีฝนตกความเข้มของแสงในระดับนี้ก็เพียงพอใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างอาหารให้กับความต้องการของพืชส่วนใหญ่ได้ ด้วยเหตุนี้พืชที่ปลูกในที่โล่งแจ้งส่วนมากจึงต้องให้ร่มเงาบ้างเล็กน้อย อาจนำใบมะพร้าวหรือไม้ไผ่มาใช้มุงหลังคาเพื่อลดปริมาณแสง

ให้น้อยลง นอกจากความเข้มของแสงแล้วช่วงระยะเวลาของแสงก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง พืชวันสั้นต้องการแสง 10-13 ชั่วโมงในหนึ่งวัน พืชวันยาวต้องการแสง 14-18 ชั่วโมงต่อวัน ปกติถ้าหากพืชไม่ได้รับแสงสว่างของวันหนึ่งๆ คิดเฉลี่ยเป็นจำนวนชั่วโมงอย่างต่ำสุดตามที่ต้องการแล้ว พืชก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามที่ควรจะเป็น

6.2 น้ำ

น้ำบริสุทธิ์ประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 ส่วน และออกซิเจน 1 ส่วน แต่สำหรับในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบว่า มีแร่ธาตุชนิดต่างๆ เจือปนอยู่ด้วย น้ำมีความสำคัญคือ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายธาตุอาหารให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ และเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืชทำให้เซลล์พืชเต่งตึง เช่น ในผลไม้หลายๆ ชนิดมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 90 ของน้ำหนัก ในใบพืชสดมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 80 และในเมล็ดพืชอบแห้งก็พบว่ามีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 10-12 น้ำนอกจากมีความสำคัญในด้านการเจริญเติบโตแล้วยังมีความสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เมล็ดพืชจะไม่สามารถงอกขึ้นได้ถ้าหากความชื้นมีไม่เพียงพอ นอกจากนี้แล้วพืชยังต้องการน้ำในการหายใจและใช้ในกระบวนการออสโมซิส

6.3 อากาศ

พืชใช้คาร์บอนในอากาศที่ถูกดูดเข้าไปทางปากใบในการสร้างน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตสำหรับเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และใช้ออกซิเจนในการหายใจ ส่วนรากพืชก็ยังต้องการออกซิเจนเช่นเดียวกัน ซึ่งสังเกตได้จากการปลูกพืชต่างๆ ไปยังต้องพรวนดินให้โปร่งเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนถ่ายเทของอากาศภายในดิน ปกติอากาศที่ทั้งพืชและสัตว์ไว้ใช้หายใจร่วมกันอยู่นี้มีออกซิเจนอยู่ร้อยละ 20.95 ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 79.01 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 ที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ

6.4 ธาตุอาหาร

จากการนำพืชมาวิเคราะห์ทางเคมีหาแร่ธาตุต่างๆ พบว่า มีแร่ธาตุต่างๆ อยู่ประมาณ 40 ชนิดที่เป็นอาหารและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ในธาตุเหล่านั้นมีเพียง 16 ชนิดที่มีบทบาทหน้าที่ที่สำคัญอันได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก โบรอน แมงกานีส สังกะสี ทองแดง คลอรีน และโมลิบดีนัม ซึ่งการจัดกลุ่มหน้าที่นั้น ออกซิเจน ไฮโดรเจน และคาร์บอน เป็นองค์ประกอบของแป้งและน้ำตาล พืชได้จากดิน น้ำ และอากาศ ส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน และกรดที่จำเป็นต่างๆ ในต้นพืช สำหรับจุลธาตุนั้น เหล็ก โบรอน แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโมลิบดีนัม มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายทั้งทางตรงและทางอ้อม

7. บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารต่างๆ

ปัจจัยสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน คือ ธาตุอาหาร โดยทั่วไปธาตุอาหารที่พืชต้องการจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

7.1 ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือมหธาตุ (Macronutrient Elements)

ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมากหรือมหธาตุ คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพืชมีความต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่

7.1.1 ไนโตรเจน (N) พืชสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้โดยตรงในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) ร้อยละ 80-85 ของไนโตรเจนทั้งหมดของพืชจะเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ส่วนอีกประมาณร้อยละ 10 จะอยู่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีกร้อยละ 5 จะเป็นองค์ประกอบของสารละลายกรดอะมิโน เมื่อรากดูดไนโตรเจนขึ้นมาไนโตรเจนจะถูกส่งผ่านไปตามท่อลำเลียงน้ำไปสู่ส่วนบนของพืช พืชชั้นสูงส่วนใหญ่จะเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในรูปของไนเตรต กรดอะมิโนพวกกลูตามีน และแอสพาราจีน พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะเจริญเติบโตดี มีใบสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนนั้นเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มคุณภาพพืชผัก เพราะทำให้ผักมีลักษณะอวบ น้ำพืชรับประทานต้นหรือใบจึงต้องการไนโตรเจนสูง เพื่อให้ต้นและใบมีความกรอบ มีกากหรือเส้นใยน้อย ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ

7.1.2 กำมะถัน (S) พืชชั้นสูงได้รับกำมะถันจากอากาศในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และเปลี่ยนเป็นซัลเฟต แต่ส่วนใหญ่แล้วพืชจะดูดซับกำมะถันจากดินในรูปของซัลเฟต ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชมีประมาณร้อยละ 0.2–0.5 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับซัลเฟตแล้วจะเปลี่ยนให้เป็นซัลไฟด์ก่อนที่จะเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบของสารสำคัญหลายชนิด เช่น โคเอนไซม์เอ วิตามิน กรดอะมิโน และโปรตีน เป็นต้น

7.1.3 ฟอสฟอรัส (P) ฟอสฟอรัสที่พืชได้รับส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์ฟอสเฟต เช่น โมโนเบสิกออร์โทฟอสเฟต (H_2PO_4) การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในดินนั้นจะใช้ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดิน เช่น เมื่อดินเป็นกรดจะส่งเสริมการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอลูมิเนียมฟอสเฟต ซึ่งพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากนี้ยังพบอินทรีย์ฟอสเฟตในพืช ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น ไฟติน (Phytin) ซึ่งเป็นอินทรีย์ฟอสเฟตชนิดหนึ่งที่พบในเมล็ดและผล พืชจะเก็บรักษาฟอสฟอรัสไว้ในรูปของไฟตินเพื่อใช้ในการกระบวนการงอกของเมล็ด จากการศึกษาพบว่า หลังจากที่ได้รับฟอสเฟตขึ้นมาเพียง 10 นาที มากกว่าร้อยละ 80 ของฟอสเฟตที่ดูดขึ้นมาจะนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์ทันที

ฟอสเฟตสามารถเคลื่อนย้ายในพืชในทิศทางขึ้นและลงได้ มักจะพบอนินทรีย์ฟอสเฟตในท่อลำเลียงอาหาร แสดงให้เห็นว่าสารอนินทรีย์ฟอสเฟตมีบทบาทในการเคลื่อนย้ายอาหารในท่อลำเลียง

7.1.0 แมกนีเซียม (Mg) หน้าที่สำคัญของแมกนีเซียมในพืช คือ เป็นอะตอมแกนกลางของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เป็นตัวเชื่อมระหว่างไรโบไซมในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างแป้ง ถ้ามีแมกนีเซียมมากเกินไปแล้วแมกนีเซียมจะไปยับยั้งการดูดแคลเซียมตัวอื่นทำให้เกิดอาการขาดธาตุอื่น แมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูปแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) สารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียม คือ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

7.1.0 โพแทสเซียม (K) โพแทสเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในรูปของสารละลายโพแทสเซียมไอออน (K^+) จากสารเคมีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) และโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ซึ่งมีหน้าที่สำคัญทั้งในเชิงสรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น การเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญ กระบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายอาหารต่างๆ เป็นต้น ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีมากเกินไปจะไปมีผลต่อการดูดธาตุอาหารตัวอื่น เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ทำให้เกิดอาการขาดธาตุเหล่านี้ได้

7.1.0 แคลเซียม (Ca) การดูดแคลเซียมขึ้นไปสู่ส่วนบนของพืชอาศัยแรงดึงน้ำจากการคายน้ำ แต่ในเวลากลางคืนเมื่อการคายน้ำเกิดขึ้นน้อย พบว่า แคลเซียมถูกลำเลียงขึ้นโดยแรงดันราก แต่การลำเลียงในท่ออาหารเกิดขึ้นน้อย และมีการสะสมแคลเซียมในเซลล์บริเวณรอบๆ ท่ออาหาร แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการแบ่งเซลล์และการขยายตัวยืดยาวของเซลล์ แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์และมีบทบาทสำคัญในการสร้างโปรตีน ถ้าปริมาณของแคลเซียมมากเกินไปจะมีผลต่อธาตุอาหารตัวอื่น เช่น โพแทสเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม แคลเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แหล่งแคลเซียมที่ดีที่สุด คือ แคลเซียมไนเตรท ($Ca(NO_3)_2$) เนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพง อีกทั้งยังให้ธาตุไนโตรเจนได้ด้วย

7.2 ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (Micronutrient Elements)

ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ คือ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่พืชต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่นๆ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องระมัดระวังการควบคุมปริมาณธาตุกลุ่มนี้เป็นพิเศษกว่าธาตุในกลุ่มมหธาตุ เพราะความเข้มข้นระหว่างความเป็นพิษและการขาดมีระยะค่อนข้างแคบ นอกจากนั้นการประเมินอาการขาดทำได้ค่อนข้างยาก การแก้ปัญหการขาดจุลธาตุทำได้ง่ายกว่าการแก้ปัญหความเป็นพิษ เมื่อเกิดอาการเป็นพิษขึ้นมักจะต้องปลูกพืชใหม่ ประโยชน์ของธาตุอาหารกลุ่มนี้ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักบางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส ดังนั้นการ

ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายและความเข้มข้นของธาตุอาหารจึงเป็นเรื่องสำคัญ ธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยนี้มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่

7.2.1 เหล็ก (Fe) เหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในเซลล์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสร้างโปรตีนและคลอโรฟิลล์ด้วย เหล็กที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กและมีราคาถูก คือ เฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย แต่จะตกตะกอนเร็วต้องระวังในเรื่องค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย จึงนิยมใช้เหล็กในรูปคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชสามารถนำไปใช้ได้ดี

7.2.2 แมงกานีส (Mn) แมงกานีสจะถูกดูดในรูปของแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) และถูกลำเลียงไปยังส่วนของลำต้นในรูปของไอออนอิสระ แมงกานีสส่วนใหญ่จะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนของเนื้อเยื่อเจริญ ดังนั้นจึงมักพบแมงกานีสมากในบริเวณส่วนของเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่ หน้าที่ของแมงกานีส คือ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด ใบพืชที่ขาดแมงกานีสจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไอเอเอออกซิเดส (Indoleacetic Acid Oxidase; IAA Oxidase) เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของไอเอเอ (Indoleacetic Acid; IAA) ในเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ยังมีผลต่อระดับคาร์โบไฮเดรตในรากด้วย

7.2.3 ทองแดง (Cu) ทองแดงที่พบในสารละลายดินจะอยู่รูปของสารประกอบอินทรีย์ และจะมีปริมาณลดลงเมื่อดินมีความเป็นกรดมากขึ้น หน้าที่ของทองแดงจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ มีผลต่อการสร้างผนังเซลล์และเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทองแดงมีผลต่อพืชในระยะการติดผลและเมล็ดมากกว่าระยะการเจริญเติบโตของใบและลำต้น ทองแดงที่พืชนำไปใช้ได้ คือ คอปเปอร์ไอออน (Cu^{2+}) ได้จากคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) หรือคอปเปอร์คลอไรด์ (CuCl_2)

7.2.4 สังกะสี (Zn) สังกะสีเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์สำคัญหลายชนิด จากการศึกษาพบว่าพืชขาดสังกะสีจะมีปริมาณของออกซิเจนต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์ทริปโตเฟน (Tryptophan) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญในกระบวนการสร้างโปรตีน นอกจากนี้สังกะสียังมีปริมาณสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในพืชด้วย หากฟอสฟอรัสมากเกินไปอาจจะไปชักนำให้พืชขาดสังกะสีได้ พืชสามารถนำสังกะสีไปมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ที่อาจได้จากซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) หรือซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)

7.2.5 โมลิบดีนัม (Mo) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์บางชนิด เช่น ไนโตรจีเนส (Nitrogenase) ซึ่งสำคัญต่อการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และไนโตรรีดักเตส (Nitroreductase) ซึ่ง

เกี่ยวข้องกับการรีดิวส์ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ พืชสามารถนำโมลิบดีนัมมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปโมลิบเดตอิออน (MoO_4^{2-}) ซึ่งอาจได้จากสารแอมโมเนียมโมลิบเดต หรือโซเดียมโมลิบเดต

7.2.0 โบรอน (B) โบรอนมีบทบาทต่อการสร้างผนังเซลล์ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการแบ่งและการเจริญเติบโตของเซลล์ทำให้ได้ผลผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นโบรอนยังมีอิทธิพลต่อสัดส่วนการดูดใช้ธาตุที่มีประจุบวก (Anions) และธาตุที่มีประจุลบ (Cations) ของพืชโดยจะส่งเสริมให้มีการดูดใช้ธาตุที่มีประจุบวกได้ดีขึ้นและธาตุที่มีประจุลบลดลง ที่เด่นชัดคือการดูดใช้แคลเซียมจะดีขึ้น ถ้ามีโบรอนเพียงพอ พืชสามารถนำโบรอนไปมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปโบเรตอิออน (BO_3^{3-}) ซึ่งมีในน้ำธรรมชาติ หรือได้จากการเติมกรดบอริก (H_3BO_3)

7.2.0 คลอรีน (Cl) คลอรีนของสารละลายจะอยู่ในรูปของคลอรีนอิออน (Cl^-) ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที พืชต้องการคลอรีนเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าขาดคลอรีนพืชจะเหี่ยวง่าย แต่ถ้าหากพืชได้รับคลอรีนความเข้มข้นสูงเกินกว่าร้อยละ 1 ส่วนใหญ่จะเป็นพิษต่อพืช คลอรีนจะไปยับยั้งการนำธาตุที่อยู่ในรูปประจุลบตัวอื่นๆ มาใช้ประโยชน์ทำให้การเจริญเติบโตช้า ขนาดใบลดลง

นอกจากธาตุต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีธาตุอีกหลายชนิดที่คาดว่าเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่ยังไม่ทราบบทบาทแน่ชัด เช่น โซเดียม (Na) ซิลิกอน (Si) นิกเกิล (Ni) และแวนเดียม (V) เป็นต้น

สารละลายธาตุอาหารพืช

สารละลายธาตุอาหารพืชนับเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะพืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ จากสารละลายธาตุอาหารซึ่งผู้ปลูกเตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำ จึงสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ (อารักษ์ ธีรอำพน. 2544: 29) อย่างไรก็ตามการเตรียมสารละลายธาตุอาหารก็มีรายละเอียดที่ผู้ปลูกจำเป็นต้องรู้ดังต่อไปนี้

1. คุณภาพของน้ำที่ใช้เตรียมสารละลาย

น้ำที่ใช้เตรียมสารละลายเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน มีผลต่อการเลือกพืชปลูก ระบบปลูก และวิธีการจัดการธาตุอาหารพืช คุณภาพของน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยทั่วไปถ้าน้ำสะอาดพอที่มนุษย์หรือสัตว์สามารถดื่มได้ก็ถือว่าเป็นน้ำที่สามารถนำมาใช้เตรียมสารละลายสำหรับปลูกพืชได้ นอกจากความสะอาดควรต้องทราบคุณสมบัติทางเคมีว่ามีธาตุต่างๆ อยู่ในปริมาณเท่าใด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในระดับไหน การปลูก

พืชผักเป็นการค้าจึงควรนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ค่าวิเคราะห์จะบอกให้ทราบว่าน้ำที่จะใช้ประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง มีปริมาณอยู่ในระดับไหน เป็นพืชต่อพืชหรือไม่ ธาตุที่มักพบในน้ำและเป็นปัญหา คือ โซเดียม และคลอรีน ซึ่งเป็นธาตุที่พืชดูดไปใช้น้อยมาก ถ้าพบโซเดียม และคลอรีนในน้ำในปริมาณมากก็จะเกิดการสะสมและเป็นพืชต่อพืชโดยเฉพาะในระบบปิด (Closed System) ที่มีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณโซเดียมในสารละลายจะมีความเป็นพืชต่อพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น โซเดียมอิออนที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม (ppm) ในสารละลายจะเป็นพืชต่อผักกาดหอม สตรอว์เบอร์รี่ และกุหลาบ แต่สำหรับมะเขือเทศสามารถทนความเข้มข้นของโซเดียมอิออนได้ถึง 200 ppm หรือมากกว่า ส่วนน้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน คือ น้ำฝน เพราะเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงและไม่เสียค่าใช้จ่ายในการซื้อใช้ แต่จะต้องมีภาชนะเก็บขนาดใหญ่พอที่จะเก็บน้ำได้เพียงพอที่จะนำมาใช้เตรียมสารละลายโดยตรงหรือมาผสมกับน้ำแหล่งอื่นในกรณีที่มีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

2. ชนิดของปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้ในสารละลาย

ปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะต้องเป็นสารที่ละลายน้ำได้หมดซึ่งปกติจะมีราคาแพง ดังนั้นต้องหาแหล่งธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยซึ่งจะมีราคาถูกกว่าสารเคมีทั่วไป แต่บางธาตุก็ต้องใช้สารเคมีซึ่งมีราคาแพง อย่างไรก็ตามธาตุเหล่านี้ใช้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากธาตุหลักซึ่งต้องใช้ในรูปคีเลตที่มีราคาแพงและต้องใช้ในปริมาณมาก นอกจากนั้นในปุ๋ยบางชนิดที่ให้ธาตุอาหารหลักยังมีจุลธาตุบางตัวปนอยู่ด้วยจึงไม่จำเป็นต้องเติมจุลธาตุเหล่านั้นอีก การผสมสารละลายธาตุอาหารพืชไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยตัวหนึ่งตัวใดโดยเฉพาะ เมื่อหาซื้อตัวที่ต้องการไม่ได้ก็สามารถใช้ตัวอื่นที่ให้ธาตุเดียวกันแทนได้ เช่น ถ้าหาแอมโมเนียมไนเตรทไม่ได้ก็สามารถใช้แอมโมเนียมซัลเฟตแทนได้แต่จะต้องปรับปริมาณที่ใช้ เนื่องจากแอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าแอมโมเนียมไนเตรท นอกจากนี้จากแอมโมเนียมซัลเฟตยังให้อนุมูลซัลเฟต ซึ่งให้กำมะถันและมีส่วนทำให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายลดลงด้วย จึงต้องพิจารณาปรับลดปริมาณกำมะถันและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

3. สูตรสารละลายธาตุอาหารพืช

สารละลายธาตุอาหารมีอยู่หลายสูตรขึ้นกับชนิดพืชที่ปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิขณะที่ปลูก สถานที่ปลูก ตลอดจนวัตถุประสงค์ของการปลูก การปลูกพืชเป็นการค้าจะต้องปลูกในปริมาณมากเพื่อให้มีผลกำไร จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้สูตรที่เหมาะสมและมีความเข้มข้นของธาตุอาหารน้อยที่สุดเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร เพราะต้นทุนค่าสารละลายเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ของการดำเนินการ เนื่องจากต้องใช้จ่ายอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาปลูก ซึ่งต่างจากค่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นการลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่ใช้ได้เป็นเวลานาน สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่เป็นสูตรมาตรฐานและมักถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับพืชต่างๆ มีอยู่หลายสูตร เช่น Knop's 1865, Sach's 1860, Shive's และ Hoagland's (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 127)

อย่างไรก็ดีไม่มีสูตรใดสมบูรณ์แบบ จึงจำเป็นต้องปรับสูตรที่เลือกใช้ให้เหมาะสมหรือแม้แต่ปรุงสูตรธาตุอาหารพืชขึ้นเอง นอกจากการกำหนดปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานแล้ว ยังสามารถเตรียมสารละลายโดยยึดหลักช่วงความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยของธาตุอาหารตามความต้องการของพืช ดังตาราง 4 (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

ตาราง 4 ช่วงความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย (ppm)	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
ไนโตรเจน (N)	150-1000	300
แคลเซียม (Ca)	300-500	400
แมกนีเซียม (Mg)	50-100	75
ฟอสฟอรัส (P)	50-100	75
โพแทสเซียม (K)	100-400	250
กำมะถัน (S)	200-1000	400
ทองแดง (Cu)	0.1-0.5	0.5
โบรอน (B)	0.5-5.0	1
เหล็ก (Fe)	2.0-10.0	5
แมงกานีส (Mn)	0.5-5.0	2
โมลิบดีนัม (Mo)	0.001-0.002	0.001
สังกะสี (Zn)	0.5-1.0	0.5
คลอรีน (Cl)	0.1-1.0	0.5

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร. (2547). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. (ออนไลน์)

4. สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's Solution)

สูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์เป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่โฮกแลนด์และอาร์นอน (Hoagland and Arnon) นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐอเมริกา คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาในช่วงปี พ.ศ. 2482-2488 ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานที่นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังใช้ในการศึกษาและพัฒนา โดยมีความเข้มข้นของธาตุอาหารดังตาราง 5 (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 8)

ตาราง 5 ส่วนประกอบของสูตรสารละลายธาตุอาหารของโฮกแลนด์ (Hoagland's Solution)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (ppm)
ไนโตรเจน (N)	210
ฟอสฟอรัส (P)	31
โพแทสเซียม (K)	231
แคลเซียม (Ca)	200
แมกนีเซียม (Mg)	48
กำมะถัน (S)	-
เหล็ก (Fe)	5
แมงกานีส (Mn)	2
โบรอน (B)	1.5
ทองแดง (Cu)	0.06
สังกะสี (Zn)	0.06
โมลิบดีนัม (Mo)	0.007

ที่มา: ดิเรก ทองอร่าม. (2546). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. หน้า 142.

5. การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

เมื่อเลือกและปรับสูตรสารละลายหรือกำหนดสัดส่วนของธาตุอาหารและสารเคมีที่ต้องใช้ได้แล้ว ต้องคำนวณปริมาณของปุ๋ยหรือสารที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ในสูตรหรือตามที่ปรับไว้แล้ว การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจะมี 2 แบบ คือ การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางและการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแบบเข้มข้น (Stock Solution) (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 209-210)

5.0 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจาง

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางเป็นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในถังที่ใช้ปลูกโดยตรง การเตรียมแบบนี้มีความสะดวกแต่ต้องเตรียมบ่อยๆ เหมาะสำหรับการปลูกพืชปริมาณน้อย ใช้สารละลายธาตุอาหารพืชไม่มากนัก ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชนั้นเมื่อทราบปริมาณสารเคมีธาตุอาหารที่ได้จากการคำนวณแล้ว ผสมสารเคมีทั้งหมดลงในน้ำแล้วเติมน้ำให้ครบปริมาตรที่ต้องการก็จะได้สารละลายธาตุอาหารแบบเจือจางสามารถนำไปใช้ได้ทันที

5.0 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้น

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นเป็นการเตรียมสารละลายที่เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและเมื่อต้องการใช้ก็จะนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ โดยจะเตรียมสารละลายแยกเป็น 2 ถัง เนื่องจากปุ๋ยบางชนิดไม่สามารถผสมกันโดยตรงที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ซึ่งการเตรียมสารละลายเช่นนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องเตรียมภาชนะขนาดใหญ่เพื่อบรรจุสารละลายปริมาณมากๆ ไม่ต้องชั่งหรือตวงปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้หลายครั้ง การเตรียมสารละลายครั้งเดียวสามารถใช้ได้ตลอดฤดูปลูกตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยวผลผลิต นอกจากนี้ปุ๋ยบางชนิด เช่น สารประกอบแคลเซียมและโซเดียมไนเตรทไม่ควรเก็บในรูปผงแห้งเพราะจะดูดความชื้น จึงต้องเก็บในรูปสารละลาย โดยปุ๋ยหรือสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชอาจเตรียมได้จากสารเคมีดังที่แสดงในตาราง 6

ตาราง 6 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

สารเคมี	ธาตุอาหารที่ได้รับ
โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)	K, N
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4)	K, P
คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Cu, S
แมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Mn, S
แคลเซียมไนเตรต ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	Ca, N
แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	N, S
แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3)	N
แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	N, Mo
แมงกานีสซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Mg, S
เหล็กอีดีทีเอ (Fe-EDTA)	Fe
กรดบอริก (H_3BO_3)	B
ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Zn, S

ที่มา: ไสระยา ร่วมรังษี. (2544). การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. หน้า 24.

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางเนื่องจากในการทดลองใช้สารละลายธาตุอาหารพืชปริมาณน้อย คือ 1 ชุดการทดลองใช้สารละลายธาตุอาหารพืช 50 ลิตร ทำการทดลอง 3 ครั้งใช้สารละลายธาตุอาหารพืชทั้งหมด 150 ลิตร โดยเปลี่ยนถ่ายทุก 2 สัปดาห์

6. การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบปิด (Closed System)

การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิคส์ที่มีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ เช่น ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ (NFT) ปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) และการปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ (Aeroponics) เป็นการให้สารละลายอย่างมีประสิทธิภาพและมีการขยายตัวอย่างมากเนื่องจากประหยัดสารละลาย แต่เนื่องจากเป็นระบบที่สารละลายหมุนเวียนอยู่ในระบบ การจัดการธาตุอาหารให้อยู่ในสภาพสมดุลและเหมาะสมกับความต้องการของพืชตลอดการปลูกจึงมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและต่อความสำเร็จหรือล้มเหลวในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งการจัดการนี้เป็นสิ่งที่ยุ่งยากที่สุดและทำได้ยากกว่าในระบบไม่มีการหมุนเวียนสารละลาย ในทางปฏิบัติในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นเชิงพาณิชย์จะ

เน้นที่การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร โดยมีรายละเอียดดังนี้ (อิทธิสุนทร นันทิกจ. 2547: ออนไลน์)

6.0 การจัดการค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายต่อรากพืช ในทางตรงข้ามถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 ติดต่อกันนาน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ผิดปกติ เมื่อเตรียมสารละลายใหม่ค่าความเป็นกรด-ด่างจะเท่ากับ 6 แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้น เนื่องจากในการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative Growth) พืชจะมีการดูดใช้ ไนเตรทอิออน (NO_3^-) เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ประจุลบมากกว่าบวก) จึงมีการปล่อยอนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ออกมาในปริมาณเท่ากัน ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเพิ่มขึ้น ในการปลูกพืชในระบบปิดจึงต้องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างสม่ำเสมอและปรับค่าให้อยู่ที่ 6 ตลอดเวลาโดยใช้กรดไนตริก หรือกรดฟอสฟอริก ซึ่งจะเป็นการเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสให้สารละลายด้วยแต่การใช้กรดฟอสฟอริกต้องระวังไม่ให้เป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้สารละลายมากเกินไป การลดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอาจทำได้โดยการเพิ่มแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) เมื่อมีอนุมูลแอมโมเนียมอิออนในสารละลายการดูดใช้อนุมูลนี้ของพืชจะเกิดการปลดปล่อยอนุมูลไฮโดรเจนออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่ให้อนุมูลแอมโมเนียมอิออนเพิ่มเกินร้อยละ 10 ของความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรทอิออนในสารละลาย เนื่องจากแอมโมเนียมอิออนที่ความเข้มข้นสูงๆ เป็นอันตรายต่อพืชได้ ในทางกลับกันการเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายทำได้โดยเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนตและลดปริมาณแอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) ลง หรือเปลี่ยนการใช้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตมาใช้ไดแอมโมเนียมฟอสเฟตแทนก็ได้ (อิทธิสุนทร นันทิกจ. 2547: ออนไลน์)

6.0 การจัดการค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลาย

ค่าอีซี (Electrical Conductivity, EC) หรือค่าสภาพนำไฟฟ้า เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ถ้าค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง คือ มีธาตุอาหารละลายอยู่มาก ค่าสภาพนำไฟฟ้าในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และชนิดพืชที่ปลูก เช่น ผักกาดหอมต้องมีค่าสภาพนำไฟฟ้าตั้งแต่ 0.8-2.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนมะเขือเทศควรมีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูงถึง 5-8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เพื่อเพิ่มความหวาน

ปัญหาในการจัดการค่าสภาพนำไฟฟ้า คือ ค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายโดยรวม แต่ไม่สามารถบอกความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละตัวได้ จึงไม่มี

โอกาสรู้ว่าธาตุใดมีปริมาณมากเกินไปหรือน้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการถ่ายสารละลายทิ้งเป็นช่วงๆ เพื่อกำจัดธาตุที่พืชไม่ต้องการและมีการสะสมอยู่ในสารละลาย ธาตุที่มักมีปัญหาการสะสมในการปลูกพืชด้วยระบบปิดคือ โซเดียม ซึ่งพืชไม่ดูดไปใช้และมักมีอยู่ในน้ำหรือปุ๋ยที่ใช้เตรียมสารละลาย เมื่อสารละลายไหลผ่านรากพืชจะมีการดูดธาตุที่ต้องการไปใช้และเหลือโซเดียมสะสมอยู่ในสารละลาย เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณธาตุอาหารพืชจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากพืชดูดไปใช้ ขณะเดียวกันปริมาณโซเดียมก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นกัน การสะสมของโซเดียมอาจถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืชได้ วิธีที่กำจัดโซเดียมออกจากระบบก็คือ การถ่ายสารละลายทิ้ง นอกจากโซเดียมแล้ว ก็อาจเกิดการสะสมของธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อยตัวอื่นๆ ขึ้นได้ เป็นสาเหตุของความไม่สมดุลของธาตุอาหารในสารละลาย เช่น ความไม่สมดุลของ แอมโมเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นประจุบวก และถูกดูดใช้ในกระบวนการที่คล้ายกัน ถ้าธาตุเหล่านี้อยู่ในสภาพไม่สมดุล เช่น มีแมกนีเซียมหรือโพแทสเซียมมากเกินไปจะทำให้พืชดูดใช้แคลเซียมได้น้อยลง การจะทราบว่าจะเกิดความไม่สมดุลของสารละลายธาตุอาหารก็ต้องทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของสารละลาย ซึ่งเป็นการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก นอกจากวิธีดังกล่าวแล้วอาจสังเกตได้จากอาการของพืช แต่วิธีนี้ก็อาจจะสายเกินกว่าจะแก้ไข วิธีที่ดีที่สุดจึงควรเป็นการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารทิ้งก่อนที่จะความไม่สมดุลจะรุนแรงแล้วเติมสารละลายที่เตรียมใหม่แทน การเปลี่ยนถ่ายสารละลายโดยทั่วไปมักกำหนดเป็นช่วงแน่นอน เช่น อาจเปลี่ยนถ่ายสารละลายใหม่ทุก 2 สัปดาห์ 3 สัปดาห์ หรือ 4 สัปดาห์ (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2547: ออนไลน์)

6.0 การจัดการอุณหภูมิของสารละลาย

อุณหภูมิของสารละลายที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้คือ 15-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมของสารละลายที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีคือ 20-25 องศาเซลเซียส ปัญหาของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศเขตร้อนดังเช่นประเทศไทยก็คือ อุณหภูมิของอากาศในบางช่วงเวลาสูงถึง 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้พืชเหี่ยวเฉาแม้รากพืชจะแช่อยู่ในน้ำก็ตาม และอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ลดลง ทำให้รากพืชขาดอากาศในการหายใจ การเจริญเติบโตหยุดชะงัก อ่อนแอ และตายได้ การลดอุณหภูมิของสารละลายสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การเพิ่มอัตราการไหลเวียนของสารละลาย การเพิ่มปริมาณสารละลาย การทำฉนวนกันความร้อนให้แก่ถังเก็บสารละลายหรือนำถังเก็บสารละลายฝังไว้ใต้ดิน และการสร้างโรงเรือนเพื่อลดความร้อนจากแสงแดด เป็นต้น (อานัฐ ตันโช, 2542: 120-122)

การเลือกชนิดพืชที่ปลูก

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนิยมปลูกพืชที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก ปลูกได้ทั้งพืชผัก ไม้ผล และไม้ประดับ พืชที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย คือ พืชผักและไม้ผลบางชนิด เช่น ผักตระกูลผักสลัด (ผักกาดหอม) ผักกวางตุ้ง ผักคะน้า คื่นช่าย ผักโขม ผักชี แตงกวา และแคนตาลูป เป็นต้น (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 14-16)

1. ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกพืชเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถปลูกพืชได้แทบทุกชนิด แต่ถ้าจะผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547: ออนไลน์)

1.1 อายุเก็บเกี่ยว

พืชที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ต้องลงทุนสูงสำหรับค่าสารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหาร ดังนั้นหากเลือกพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นจะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ อายุของพืชที่ปลูกควรอยู่ระหว่าง 45-60 วัน

1.2 ราคาผลผลิต

จะต้องเลือกพืชที่มีราคาสูง เช่น ผักกาดหอมพันธุ์ต่างประเทศ เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูง หากเลือกผักที่มีขายทั่วไปในตลาดและราคาต่ำ จะไม่สามารถแข่งขันกับผักที่ปลูกในดินซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่าและมีปริมาณมากกว่าได้ ทำให้รายได้จากการขายผลผลิตไม่คุ้มกับการลงทุน

1.3 ฤดูปลูก

การปลูกผักด้วยวิธีดั้งเดิมต้องอาศัยปัจจัยทางสภาพแวดล้อมเพื่อช่วยให้ผักเจริญเติบโต เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ แสง ทำให้ในบางฤดูซึ่งสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมมีผลผลิตเข้าสู่ตลาดน้อย ต่างจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้โดยใช้โรงเรือนปลูกตลอดจนควบคุมปัจจัยอื่นๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชตลอดปี ดังนั้นการเลือกชนิดพืชที่จะปลูกจึงต้องคำนึงถึงฤดูกาลด้วย เช่น ในช่วงฤดูฝนจะมีผักที่ปลูกด้วยวิธีดั้งเดิมออกสู่ตลาดน้อยกว่าในช่วงฤดูหนาว จึงเป็นช่วงที่ควรผลิตพืชด้วยวิธีปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกผักกาดหอมเป็นพืชทดลอง เพราะเป็นพืชที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในการผลิตเชิงพาณิชย์ทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ มีราคาสูง อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเป็นการช่วยลดต้นทุนการใช้สารเคมี เป็นผักที่มีความต้องการตลอดทั้งปี และมีความต้องการในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เมฆ จันทร์ประยูร. 2541: 128)

2. ผักกาดหอม

ผักกาดหอม (Lettuce) เป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนใบ เป็นผักจำพวกผักสลัด นิยมบริโภคกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาผักสลัดด้วยกัน โดยส่วนใหญ่นิยมรับประทานสดและนำมาประกอบอาหารหลายชนิด ที่นิยมมากก็คือนำมารับประทานกับน้ำสลัดจึงมีอีกชื่อว่าผักสลัด คนไทยนิยมใช้ผักกาดหอมกินกับอาหารพวกยำต่างๆ สาหร่ายห่อ หรือข้าวเกรียบปากหม้อ ประโยชน์ของผักกาดหอม นอกจากจะใช้รับประทานเป็นผักสดที่มีคุณค่าทางอาหารสูงแล้ว ยังสามารถนำมาตกแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงามน่ารับประทานมากขึ้น ความต้องการผักกาดหอมมีอยู่ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่างๆ จึงนับได้ว่าผักกาดหอมเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เมฆ จันทร์ประยูร. 2541: 128-129)

ผักกาดหอมมีชื่อเรียกอื่นๆ ได้หลายชื่อ เช่น ภาคเหนือเรียกว่า ผักกาดยี่ ภาคกลางเรียกว่า ผักสลัด เป็นต้น ผักกาดหอมเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Compositae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป และได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยมานานแล้ว (เมฆ จันทร์ประยูร. 2541: 129)

2.1 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม

ผักกาดหอมเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยผักกาดหอม 100 กรัม ให้วิตามินเอ 286 ไมโครกรัม เบต้าแคโรทีน 1,719 ไมโครกรัม แคลเซียม 16 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 39 มิลลิกรัม และธาตุเหล็ก 4.9 มิลลิกรัม คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมปริมาณ 100 กรัมแสดงได้ดังตาราง 7

ตาราง 7 คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมปริมาณ 100 กรัม

Nutrient Composition Per 100 g Edible Portion		Lettuce
Proximate Composition	Energy (Kcal)	24
	Moisture (%)	92.7
	Protein (g)	7
	Fat (g)	0.4
	Carbohydrate (g)	3
	Crud Fiber (g)	0.8
	Ash (g)	1.1
Minerals	Ca (mg)	16
	P (mg)	39
	Fe (mg)	4.9
Vitamins	β-carotene (μg)	1,719
	A (μg)	286
	Thiamin (mg)	0.06
	Riboflavin (mg)	0.18
	Niacin (mg)	0.6
	C (mg))	24

ที่มา : ดิเรก ทองอร่าม. (2546). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. หน้า 18.

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดหอม (เมฆ จันทร์ประยูร. 2541: 130-131)

2.2.10 ราก ผักกาดหอมมีรากระบบรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไป ในดินได้ถึง 1.5 เมตร หรือมากกว่าแต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก ดังนั้นรากที่เหลือจะเป็น รากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 0.3-0.6 เมตร โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแพร่กว้างออกไปมากนัก อย่างไรก็ตามการย้ายปลูกนั้นก็มีผลดีในการช่วยให้ ผักกาดหอมประเภทหัวห่อหัวได้ดีขึ้น

2.2.3 ลำต้น ในระยะแรกลำต้นของผักกาดหอมจะมองไม่ค่อยเห็น เพราะใบจะปกคลุมไว้ จะเห็นลำต้นชัดเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมจะตั้งตรง สูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 5 เซนติเมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

2.2.4 ใบ ผักกาดหอมจะมีใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนาเนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหุ้มอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม่วงงอเพราะมีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบผักกาดหอมจะแตกต่างกันตามชนิด

2.2.5 ดอกและช่อดอก ดอกผักกาดหอมมีลักษณะเป็นช่อเรียกว่า พานิคเล (Panicle) ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ช่อดอกอันแรกจะเกิดที่ยอดอ่อนจากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลัง ช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่นๆ จะมีอายุรองลงมา ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลืองตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก และมีเกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นยอดยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

2.2.6 เมล็ด ผักกาดหอมมีเมล็ดเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (Achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของผักกาดหอมมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็กๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีมความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

2.3 ประเภทของผักกาดหอม

ผักกาดหอมที่ปลูกและใช้บริโภคกันในปัจจุบันสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะ คือ

2.3.2 ผักกาดหอมห่อหัว (Head Lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ใบห่อเป็นหัวซึ่งเกิดจากใบเรียงซ้อนกันหนา ผักกาดหอมชนิดนี้แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดห่อหัวแน่น (Crisp Head) ได้แก่ พันธุ์เกรทเลค (Great Lake) นิวยอร์ก (New York) อิมพีเรียล (Imperial) และโปรเกรสส์ (Progress) เป็นต้น ชนิดห่อหัวไม่แน่น (Better Head) ได้แก่ พันธุ์บิกบอสตัน (Big Boston) และไวท์บอสตัน (White Boston) เป็นต้น และชนิดห่อหัวหลวมค่อนข้างยาว ได้แก่ พันธุ์ปารีสไวท์ (Paris White) ไวท์ฮีท (White Heart) และลิทเติลเจม (Little Gem) เป็นต้น (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 131-132) ผักกาดหอม

ห่อหัวต้องการอุณหภูมิต่ำในการเจริญเติบโต (ประมาณ 15-21 องศาเซลเซียส) จึงปลูกได้บ้างทางภาคเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม (กรมวิชาการเกษตร. 2539: 55)

2.3.3 ผักกาดหอมใบ (Leaf Lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ใบไม่ห่อเป็นหัว นิยมปลูกกันทั่วไปในประเทศไทย ผักกาดหอมประเภทนี้ใบจะกว้างใหญ่และหยิก ใบเจริญเติบโตออกทางด้านบนและด้านข้าง ไม่ห่อเป็นหัว ต้นเป็นพุ่มเตี้ย ผักกาดหอมใบจะทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าประเภทอื่นๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตประมาณ 21-26.6 องศาเซลเซียส ปลูกได้ทั้งปี พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์แกรนด์แรปิดส์ (Grand Rapids) มีลักษณะใบสีเขียวอ่อน ใบม้วนและหยักอัดกันแน่น ต้นใหญ่ และพันธุ์แบล็กซีดเดดซิมป์สัน (Black Seeded Simpson) มีลักษณะเมล็ดสีดำ ต้นใหญ่ ใบหยักผอมอยู่อัดกันแน่นมาก การเก็บเกี่ยวผักกาดหอมใบประมาณ 40-50 วันหลังจากหว่านเมล็ดลงแปลง การเก็บควรเลือกเก็บขณะที่ใบยังอ่อน กรอบ และไม่เหนียวกระด้าง ไม่ควรเก็บขณะต้นแก่เพราะจะมีรสขม วิธีการตัดโดยใช้มีดตัดตรงโคนต้น แล้วตัดแต่งใบเสียทิ้งไป ชูบน้ำเพื่อล้างยางสีขาวออกและสลัดน้ำออกให้หมด เพราะถ้ามีน้ำขังอยู่จะเน่าเสียได้ง่าย หลังจากนั้นนำไปจัดเรียงใส่ช่องที่รองกันด้วยใบตองหรือใบไม้อื่นๆ (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 132)

2.3.4 ผักกาดหอมต้น (Stem Lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ปลูกเพื่อใช้ลำต้นรับประทาน มีลักษณะลำต้นอวบและสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อๆ กันไปจนถึงยอดหรือช่อดอก ใบมีลักษณะคล้ายผักกาดหอมใบ แต่ใบจะเล็กหนาและมีสีเข้มกว่า พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์เซลต์ค (Celtnice) (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 133)

สำหรับในประเทศไทยนั้น ผักกาดหอมใบเป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่า ผักกาดหอมชนิดอื่นๆ เนื่องจากสามารถทนอากาศร้อนได้ดีกว่าผักกาดหอมชนิดอื่น (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 132)

2.4 พันธุ์ผักกาดหอมที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

ในประเทศไทยการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกำลังเป็นที่นิยมและได้รับความสนใจอย่างมาก ได้มีการลงทุนในเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น มีฟาร์มปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเกิดขึ้นหลายแห่ง และนิยมปลูกผักกาดหอมพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ คอส (Cos or Romain) บัตเตอร์เฮด (Butter Head) บัตตาเวีย (Batavia) ฟิลเลซไอซ์เบิร์ก (Frisette Iceberg) มิสซึน่า (Mizuna) กรีนโอ๊ก (Green Oak) เรดโอ๊ก (Red Oak) และเรดคอรัล (Red Coral) ตัวอย่างพันธุ์ผักกาดหอมที่ปลูกโดยบริษัทต่างๆ ได้แก่

2.4.2 บริษัทเอซีเคไฮโดรฟาร์ม จำกัด (ACK Hydro Farm Co.,Ltd) ปลูกผักกาดหอมพันธุ์คอส (Cos) บัตเตอร์เฮด (Butter Head) ฟิลเลซไอซ์เบิร์ก (Frisette Iceberg) กรีนโอ๊ก (Green Oak) เรดโอ๊ก (Red Oak) และเรดคอรัล (Red Coral)

2.4.3 บริษัทหนองแคพัฒนาไฮโดรฟาร์ม ปลุกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ก (Green Oak) เรดโอ๊ก (Red Oak) เรดคอรัล (Red Coral) เบบี้คอส (Baby Cos) บัตเตอร์เฮด (Butter Head) บัตตาเวีย (Batavia) และฟิเลซซ์ไอซ์เบิร์ก (Frillice Iceberg)

2.4.7 สยามกรีนฟาร์ม (Siam Green Farm) ปลุกผักกาดหอมพันธุ์ต่างๆ เช่น กรีนโอ๊ก (Green Oak) บัตตาเวีย (Batavia) กรีนคอส (Green Cos) บัตเตอร์เฮด (Butter Head) มิสซุน่า (Mizuna) และเรดคอรัล (Red Coral)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ก (Green Oak) ซึ่งเป็นผักกาดหอมใบที่ทนต่ออากาศร้อนได้ดี นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

2.5 ความต้องการแสงของผักกาดหอม

ในประเทศเขตร้อนแสงธรรมชาตินับว่าเพียงพอแล้วสำหรับการปลูกผักกาดหอม แต่สำหรับในประเทศเขตหนาวมีสภาพแสงไม่ดีจะมีการให้แสงเทียมจากหลอดไฟหรือหลอดนีออนสำหรับผลิตผักกาดหอมในเรือนกระจก ในกรณีเปรียบเทียบกับแสงชนิดอื่นพบว่า แสงนีออนทำให้ผักกาดหอมสร้างคลอโรฟิลล์และกรดแอสคอร์บิกได้สูงที่สุด และช่วงเวลากการให้แสงก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตอีกด้วย โดยในช่วงเวลากการให้แสงที่ยาวนานการเจริญเติบโตของผักกาดหอมจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและจะเร่งอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบอีกด้วย (สัมฤทธิ์ เพ็ญจันทร์. 2538: 479)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้แสงธรรมชาติในการปลูกผักกาดหอม เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อน แสงธรรมชาติจึงนับว่าเพียงพอแล้วในการผลิตผักกาดหอม (สัมฤทธิ์ เพ็ญจันทร์. 2538: 479)

2.6 ลักษณะการขาดธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน

ผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินเมื่อขาดธาตุอาหารชนิดต่างๆ จะแสดงอาการออกมาดังนี้ (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 292)

2.6.1 ไนโตรเจน (N) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ ต้นผอมบางและแคระแกร็น การเข้าหัวไม่ดี ใบมีสีเขียวจาง ใบแก่มีสีเหลือง และตายก่อนกำหนด

2.6.1 ฟอสฟอรัส (P) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ การเจริญเติบโตไม่ดี ต้นผอมบางและแคระแกร็น การเข้าหัวไม่ดี ใบมีสีเขียวเข้มผิดปกติ บางครั้งมีสีแดง สีน้ำตาลแดง หรือสีม่วงเคลือบอยู่ มักพบอาการนี้ในใบแก่ที่ร่วงหรือตายก่อนกำหนด

2.6.1 แคลเซียม (Ca) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ แต่ใบอ่อนถูกจำกัดการเจริญเติบโต มีอาการขอบใบไหม้และการฉีกขาดของขอบใบ ใบอ่อนจะมีการอ่อนแอต่อโรคราสีเทา (Gray Mould, *Botrytis cinerea*) ใบจะมีลักษณะเป็นราเมือกและมีสีดำ

2.6.1 แมกนีเซียม (Mg) การเจริญเติบโตเป็นปกติ แต่ใบมีสีจาง ใบแก่มีรอยด่างสีเหลืองเกิดขึ้น

2.6.1 โพแทสเซียม (K) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ ใบมีสีเขียวเข้มกว่าปกติ ใบแก่มีขอบใบไหม้เกิดขึ้นก่อน ต่อมาจะลุกลามไปทั่ว

2.6.1 แมงกานีส (Mn) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ ใบมีสีจาง ต่อมาเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในที่สุดท้ายเป็นสีขาว

2.6.1 โมลิบดีนัม (Mo) ลักษณะอาการที่พืชแสดงออก คือ การเจริญเติบโตหยุดชะงัก แคระแกร็น ใบมีขนาดเล็กพร้อมมีจุดประสีเหลืองเกิดขึ้น ขอบใบจะมีสีน้ำตาล ทำให้ไม่เกิดการเข้าหัวของผักสลัด

2.7 โรคพืชที่สำคัญของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน

ในกลุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินมีโรคพืชที่สำคัญดังนี้ (อารักษ์ ธีรอำพน. 2544: 70)

2.7.0 โรครากเน่า-โคนเน่าที่เกิดจากเชื้อรา (*Pytium spp.*) เป็นโรคที่อันตรายมากและแพร่ระบาดอย่างรวดเร็วโดยมีสารละลายเป็นตัวแพร่เชื้อ เมื่อเกิดแล้วยากที่จะควบคุม วิธีการป้องกันกำจัด คือ หมั่นตรวจสอบต้นพืชในรางปลูกอย่างสม่ำเสมอ ถ้าต้นพืชมีอาการให้ถอนทิ้ง หากระบาดมากให้ล้างระบบทั้งหมด

2.7.0 อาการยอดไหม้ (Tip Burn) เป็นลักษณะที่พืชไม่สามารถนำธาตุแคลเซียมไปใช้ได้ จึงแสดงอาการขอบใบเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ มักจะพบเมื่อไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในช่วงที่พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ผักกาดหอม (Lettuce) พันธุ์กรีนโอ๊ก (Green Oak) ซึ่งเป็นผักกาดหอมใบ (Leaf Lettuce) เพราะผักกาดหอมเป็นพืชที่ให้วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็กสูง (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 18) นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในการผลิตเชิงพาณิชย์ทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ อายุการเก็บเกี่ยวสั้นช่วยลดต้นทุนการใช้สารเคมี เป็นผักที่มีความต้องการตลอดทั้งปี และมีความต้องการในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 128) และผักกาดหอมใบสามารถทนอากาศร้อนได้ดี เป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่าผักกาดหอมชนิดอื่นๆ (เมฆ จันทรประยูร. 2541: 132) และผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊กเป็นผักกาดหอมใบที่นิยมปลูกโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย ฝ่ายวิจัยและเทคโนโลยี องค์การจัดการน้ำเสีย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2547: ออนไลน์) ได้ทำการศึกษาการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี พบว่า ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ณ โรงบำบัดน้ำเสียแสนสุขได้ (หาดวอนนภา) เปรียบเทียบกับน้ำจากแหล่งน้ำวัดเก่าโบราณซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำหรับเทศบาลเมืองแสนสุขมีคุณลักษณะของน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้ทดแทนกันได้ และน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง ได้มาตรฐานน้ำผิวดินประเภท 3 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ.2537 ซึ่งสามารถใช้เป็นน้ำในภาคการเกษตรได้ และสามารถนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมเหล่านี้ ได้แก่ การใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับเทศบาลฯ ในการรดน้ำต้นไม้ ล้างถนน และล้างตลาด ตลอดจนเป็นแหล่งน้ำสำรองสำหรับดับเพลิงทดแทนการใช้น้ำจากบ่อน้ำบริเวณวัดเก่าโบราณที่ใช้อยู่เดิม

ด้านการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในเกษตรกรรมได้มีการทำการศึกษาวิจัยไว้ดังนี้

เสนีย์ กาญจนวงศ์ และคนอื่นๆ (2546: ง-ฐ) ได้ทำการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ในการเกษตรกรรม พบว่า การใช้น้ำทิ้งรดพืชได้ผลผลิตไม่แตกต่างจากน้ำจากคลองชลประทานสามารถนำมาใช้ในการเกษตรได้ และพบการปนเปื้อนของพยาธิและโลหะหนักในพืชทุกชนิดต่ำกว่าค่าความปลอดภัยสูงสุดหลายเท่า และยังพบว่าน้ำทิ้งชุมชนจากระบบเร่งตะกอน (Activated Sludge, AS) มีปริมาณโลหะหนักต่ำ ปริมาณพยาธิต่ำกว่ากับในน้ำธรรมชาติ และไม่มีเชื้อโรคด้วย

ธีระศักดิ์ พงพนาไกร (2520: 75-77) ได้ทำการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในการปลูกอ้อย พบว่า การใช้น้ำทิ้งจากบ่อหมักที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้อ้อยมีอัตราการเติบโตและน้ำหนักของอ้อยต่อไร่สูงที่สุด

พิทยากร ลิ้มทอง และคนอื่นๆ (2534: 200-209) ได้ทำการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานสุรามาใช้ในการปลูกข้าว พบว่า น้ำทิ้งทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 นอกจากนี้ยังช่วยปรับโครงสร้างดินให้ร่วนซุยมากขึ้น

จรงค์ จันทรเจริญสุข และคนอื่นๆ (2542: 62-70) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษต่อการปลูกข้าว พบว่า ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มไนโตรเจนให้กับดิน และเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างให้กับดินเปรี้ยวได้

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา (2538: 445-453) ได้ทำการศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรเป็นแหล่งไนโตรเจนในการปลูกผักกวางตุ้งในชุดดินกำแพงแสน พบว่า เมื่อใช้น้ำทิ้ง

จากการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรในการปลูกผักกวางตุ้งให้ผลผลิตร้อยละ 85 เมื่อเทียบกับผลผลิตผักกวางตุ้งที่ใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

จากการศึกษาวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า น้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ สามารถนำมาใช้ในการเกษตรกรรมได้และยังช่วยเพิ่มผลผลิต จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแหล่งอื่นๆ มาใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้

ในการศึกษาวิจัยการนำน้ำทิ้งมาใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น บี. อี. ลีดล์ และคนอื่นๆ (B. E. Liedl; et al. 2007: Online) ได้ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากฟาร์มสัตว์ปีกมาใช้เป็นสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้ในการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดิน โดยเจือจางน้ำทิ้งเป็น 3 ระดับความเข้มข้น พบว่าความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมเพิ่มขึ้นด้วย

อาร์. เคลเลอร์ และคณะ (R. Keller; et al. 2005: Online) ได้ทำการศึกษานำน้ำทิ้งชุมชนมาใช้ปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำทิ้งชุมชนไปใช้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียชั้นทุติยภูมิเจือจางร้อยละ 50 มีน้ำหนักไม่แตกต่างจากผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และในใบพืชพบอีโคไล (*E. coli*) และโคลิฟอร์ม (Coliform) จำนวนน้อย โดยไม่พบซาลโมเนลลา (*Salmonella spp.*) และไซแพยา

อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลาหลุยจิตต์ (2545: 25-26) ได้ทำการศึกษการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาล พบว่า การใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะผักกาดหอมที่ปลูกในน้ำทิ้งผสมกับน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 มีการเจริญเติบโต (การเจริญเติบโตส่วนยอด อัตราการเจริญเติบโต ความกว้างของใบ พื้นที่ทรงพุ่ม ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง) ดีที่สุด และอัตราส่วนของน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการสะสมของปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอมเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนของน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้มีการสะสมของโลหะหนักในผักกาดหอมเพิ่มขึ้นด้วย โลหะหนักได้แก่ แคดเมียม และตะกั่ว เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลมาจากน้ำหล่อเย็นต่างๆ และน้ำที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องจักรและหม้อต้มต่างๆ จึงทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากับน้ำทิ้งได้ ดังนั้นการใช้น้ำทิ้งในการปลูกพืชแบบไร้ดินจึงควรใช้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารอื่นที่ไม่ได้ใช้น้ำในกระบวนการหล่อเย็นและไม่ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เพื่อลดปริมาณโลหะหนัก

จากการศึกษาวิจัยที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงเลือกใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมาใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีผู้ศึกษา และโรงงานฆ่าสุกรเป็นโรงงานที่ไม่ได้ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในกระบวนการผลิต จึงไม่น่าจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากับน้ำทิ้ง

ในการศึกษาวิจัยการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินนั้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อารักษ์ ชีรอำพน. 2544: 99) ได้ทำการศึกษาถึงระบบปลูกพืชและพันธุ์ผักกาดหอมที่เหมาะสมในการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดิน พบว่า ผักกาดหอมทั้ง 10 พันธุ์ ได้แก่ Grand Rapids, Frill All Year Round, Green Mignonette, Mixed Salad Leaves, Asconia, Balisto, Red Oak Leaves, Butter Crunch และ Red Rapids ที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) มีการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกัน

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) และใช้ผักกาดหอมพันธุ์ กรีนโอ๊ค (Green Oak)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- การวางแผนการทดลอง
- การเตรียมการทดลอง
- การดำเนินการทดลอง
- การเก็บรวบรวมข้อมูล
- การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และธาตุอาหารในพืช (ผักกาดหอม) ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน 2 ระบบ คือ การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) โดยแต่ละระบบวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ซึ่งมี 3 ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ครั้ง ปลูกผักกาดหอมครั้งละ 8 ต้น ดังภาพประกอบ 1 โดยชุดการทดลอง 3 ชุดแบ่งตามชนิดของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืช ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1 : ใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน (น้ำประปาเติมธาตุอาหารตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮโดรแลนด์)

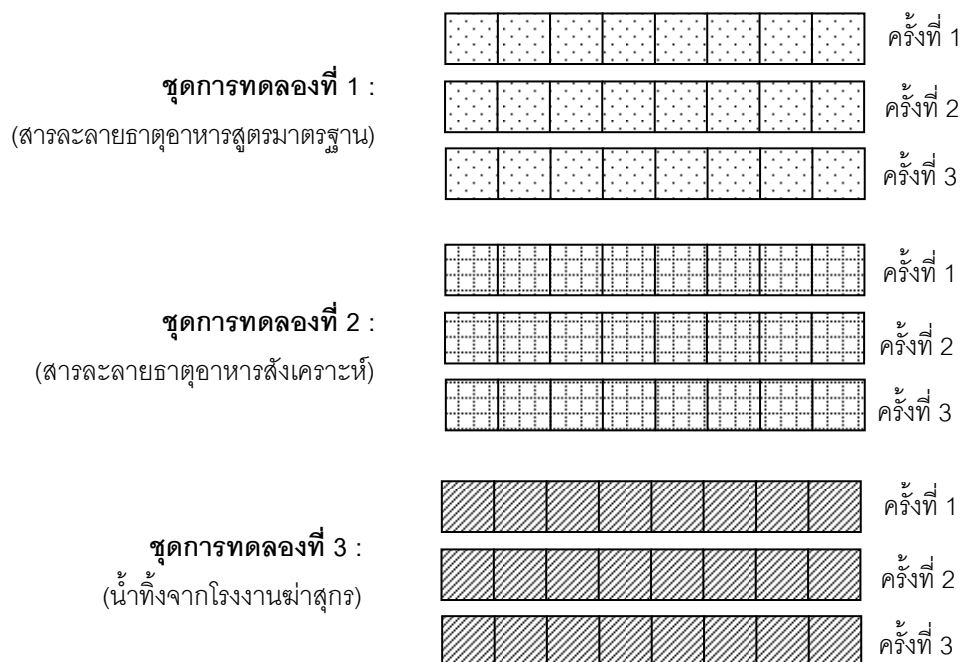
ชุดการทดลองที่ 2 : ใช้สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ (น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรเติมธาตุอาหารให้มีปริมาณตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮโดรแลนด์)

ชุดการทดลองที่ 3 : ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร (น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่เติมธาตุอาหาร)

นอกจากนี้สารละลายธาตุอาหารที่เหลือหลังจากการปลูกจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสเพื่อเปรียบเทียบแต่ละชุดการทดลอง

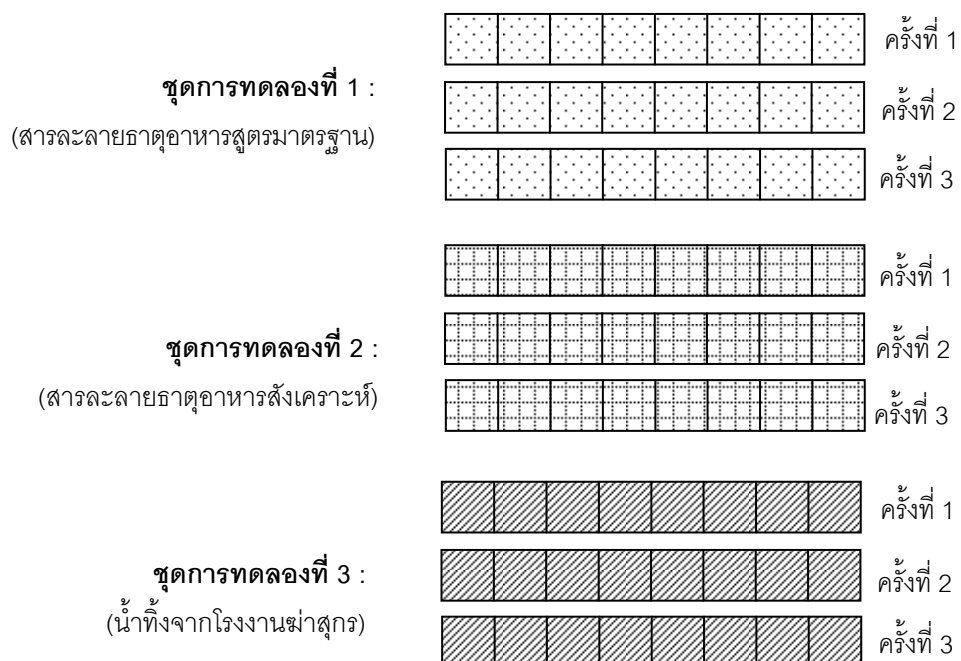
NFT :

การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง



DFT :

การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก



ภาพประกอบ 1 ผังการทดลอง

การเตรียมการทดลอง

1. การเตรียมน้ำทิ้งและน้ำประปาที่ใช้ในการเพาะปลูก

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งแบบจ้วง (Grab Sampling) ปริมาณ 150 ลิตร โดยใช้ถังตักจากจุดน้ำล้นออกของบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสียสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานครมาใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และใช้ปลูกพืชโดยตรง ส่วนน้ำประปาจะใช้น้ำจากก๊อกน้ำบริเวณโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) โดยจะนำน้ำประปาใส่ภาชนะตั้งทิ้งไว้ 1 วัน เพื่อให้คลอรีนในน้ำระเหยออกก่อนนำมาใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ดิเรกทองอร่าม. 2546: 67) และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและน้ำประปาอย่างละประมาณ 10 ลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหาร

นำตัวอย่างน้ำประปาและตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหารดังตาราง 8

ตาราง 8 การวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพน้ำ และธาตุอาหาร

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	Electrometic
สภาพนำไฟฟ้า (EC)	Meter *
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	Dried at 103 -105 °C
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	Kjeldahl Method Colorimetry **
ฟอสฟอรัส (Available P)	Colormetry **
โพแทสเซียม (K)	Flame Emission Spectrophotometry***
ซัลเฟต (SO ₄)	Turbidimetry***
แคลเซียม (Ca)	Atomic Absorption Spectrophotometry ***
แมกนีเซียม (Mg)	Atomic Absorption Spectrophotometry ***
เหล็ก (Fe)	Atomic Absorption Spectrophotometry ***
แมงกานีส (Mn)	Atomic Absorption Spectrophotometry Colormetry***
สังกะสี (Zn)	Atomic Absorption Spectrophotometry ***
ทองแดง (Cu)	Atomic Absorption Spectrophotometry ***

หมายเหตุ

- * หมายถึง ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- ** หมายถึง ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- *** หมายถึง ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี

สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

2. การเตรียมพืช

พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ ผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) พันธุ์กรีนโอ๊ค (Green Oak)

2.1 การเพาะเมล็ด ใส่วัสดุเพาะคือเพอร์ไลต์ (Perlite) ลงในถ้วยเพาะจนเกือบเต็มถ้วย เพาะ ใส่เมล็ดลงในถ้วยเพาะถ้วยละ 1 เมล็ด ลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร วางลงในกระบะเพาะกล้าที่ใส่น้ำเปล่าสูงประมาณ 2 เซนติเมตร วางกระบะไว้ในที่ที่มีแสงแดดส่องถึง รดน้ำให้ชุ่มวันละหนึ่งครั้งเป็นเวลา 7 วัน เมล็ดจะเริ่มงอกขึ้นมาในวันที่ 2

2.2 การเตรียมต้นกล้า เมื่อผ่าน 7 วันแล้วเมล็ดจะงอกกลายเป็นต้นกล้า ให้เปลี่ยนไปให้สารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นกึ่งหนึ่งแทนน้ำเปล่าเป็นเวลา 14 วัน โดยเลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์ที่สุดถ้วยเพาะละ 1 ต้น เพื่อนำไปปลูกในรางปลูกต่อไป

3. การเตรียมระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

นำรางปลูกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร มีช่องช่องสำหรับปลูกต้นกล้าจำนวน 10 ช่อง วางบนโครงเหล็กให้มีความลาดชันหัวถึงท้ายประมาณ ร้อยละ 2 โดย 1 ชุดการทดลองมี 1 ราง เชื่อมต่อรางกับถังเก็บสารละลายพลาสติกขนาด 50 ลิตร โดยมีปั้มน้ำทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำในระบบ และใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลเวียนของสารละลายในในรางปลูกให้ได้ประมาณ 2 ลิตรต่อนาที่ และสร้างหลังคาตาข่ายคลุมชุดปลูกไว้เพื่อป้องกันความร้อนและลม

4. การเตรียมระบบการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

นำท่อพีวีซี (PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 2 เมตร ฝาครึ่งตามยาว ปิดด้านบนด้วยแผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว เจาะช่องสำหรับปลูกต้นกล้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร กลางแผ่นโฟมโดยห่างกันตามแนวยาวประมาณ 20 เซนติเมตร จำนวน 8 ช่อง โดยนำมาใช้เป็นรางปลูก 1 ชุดการทดลองมี 1 ราง เชื่อมต่อรางกับถังเก็บสารละลายพลาสติกขนาด 50 ลิตร โดยมีปั้มน้ำทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำในระบบ และใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลเวียนของสารละลายในในรางปลูกให้ได้ประมาณ 2 ลิตรต่อนาที่ ให้ระดับสารละลายในรางให้สูง 4 เซนติเมตร และสร้างหลังคาตาข่ายคลุมชุดปลูกไว้เพื่อป้องกันความร้อนและลม

5. การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร เพื่อใช้ในการทดลองปลูกพืชในทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

5.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำประปามาคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำประปา 50 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮกแลนด์ เติมธาตุอาหารตามปริมาณที่คำนวณได้ละลายลงในน้ำประปา 50 ลิตร จะได้สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานใช้ปลูกผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1

5.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์

นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมาคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำทิ้ง 50 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮกแลนด์ เติมธาตุอาหารตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในน้ำทิ้ง 50 ลิตร จะได้สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ใช้ปลูกผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2

5.3 การเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

นำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร 50 ลิตร ไม่เติมธาตุอาหารเพิ่ม ใช้ปลูกผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3

การดำเนินการทดลอง

นำต้นกล้าผักกาดหอมที่มีอายุครบ 21 วัน ปลูกลงในรางปลูกระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) โดยแต่ละระบบแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองตามสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกได้ดังนี้

1. ชุดการทดลองที่ 1

ปลูกผักกาดหอมในสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นจากน้ำประปาเติมธาตุอาหารตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮกแลนด์

2. ชุดการทดลองที่ 2

ปลูกผักกาดหอมในสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากน้ำทิ้งจากโรงงาน
ฆ่าสุกรเติมธาตุอาหารเพิ่มให้ได้ความเข้มข้นตามสูตรสารละลายธาตุอาหารของไฮกแลนด์

3. ชุดการทดลองที่ 3

ปลูกผักกาดหอมในสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นจากน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่
เติมธาตุอาหาร

เดินระบบการปลูกพืช เปิดปั๊มน้ำ ให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหาร และอุณหภูมิของ
สารละลายไม่ควรเกิน 25 องศาเซลเซียส ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งพร้อมกัน การดูแลจัดการพืชจะ
กระทำตามขั้นตอนดังที่แสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ขั้นตอนการเพาะปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดิน

อายุ (วัน)	การจัดการ
0	เพาะเมล็ด เตรียมรางปลูก
7	เริ่มให้สารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นกึ่งหนึ่ง
21	ย้ายลงรางปลูก
35	เปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหาร
42	เก็บเกี่ยวผลผลิต

การเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากย้ายผักกาดหอมลงรางปลูกจะเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตพืชทุกๆ 3 วัน เมื่อ
ผักกาดหอมอายุครบ 42 วัน จะทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตและนำไปวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียด
ดังนี้

1. การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช

ทำการเก็บข้อมูลเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 3 วันหลังจากย้ายผักกาดหอมลงรางปลูก ข้อมูลชุดที่ 2 ทำการเก็บบันทึกข้อมูลหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (นันทนา อังกินันท์; และ ศุภจิตรา ชัชวาล. 2543: 101-104)

1.1 ข้อมูลชุดที่ 1 เก็บข้อมูลทุกๆ 3 วัน

- 1.1.1 ความสูง โดยวัดความสูงของผักกาดหอมที่เก็บเกี่ยวจากโคนลำต้นถึงยอด
- 1.1.2 จำนวนใบ โดยนับจำนวนใบที่สมบูรณ์ มีสีเขียว ไม่เป็นโรค
- 1.1.3 พื้นที่ทรงพุ่ม โดยการวัดขนาดของทรงพุ่มเทียบกับพื้นที่ในกระดาดขาว

1.2 ข้อมูลชุดที่ 2 เก็บข้อมูลหลังจากเก็บเกี่ยว

- 1.2.1 น้ำหนักสด โดยการชั่งน้ำหนักผักกาดหอมด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง โดยชั่งเฉพาะส่วนที่เป็นลำต้นและใบที่อยู่เหนือวัสดุปลูก 0.5 เซนติเมตร
- 1.2.2 น้ำหนักแห้ง โดยนำผักกาดหอมที่ผ่านการหาล้างน้ำหนักสดมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- 1.2.3 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ โดยนับจำนวนต้นที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ หารด้วยจำนวนต้นที่ปลูกทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ
- 1.2.4 ผลผลิต โดยนำน้ำหนักสดที่ได้มาคำนวณหาผลผลิต โดยใน 1 ชุดปลูกใช้พื้นที่ 2×0.5 ตารางเมตร ดังนั้นผลผลิตที่ได้ก็คือ น้ำหนักสดของทุกต้นที่เก็บเกี่ยวได้หารด้วยพื้นที่เพาะปลูก 1 ตารางเมตร คิดเป็นกรัมต่อตารางเมตร

2. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช

สุ่มตัวอย่างพืชแต่ละชุดการทดลองส่งไปวิเคราะห์ธาตุอาหารที่กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร โดยวิเคราะห์ธาตุอาหารดังนี้

- 2.1 ฟอสฟอรัส (P) วิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetry
- 2.2 แคลเซียม (Ca) วิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry
- 2.3 เหล็ก (Fe) วิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

3. วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช

เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลองส่งไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยเปรียบเทียบความแตกต่างด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองทั้ง 3 ชุด ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และชุดการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชระหว่างชุดการทดลองทั้ง 3 ชุด ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และชุดการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการทดลองทั้ง 3 ชุด โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (one-way ANOVA) และถ้าข้อมูลมีความแตกต่างทางสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

ผู้วิจัยศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้ทำการทดลองระหว่างวันที่ 26 ตุลาคม 2547 ถึง 11 มกราคม 2548 ได้ผลดังนี้

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชในการทดลองนี้ เริ่มจากวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหาร และคำนวณหาปริมาณสารเคมีธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่มเพื่อให้เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์เพื่อใช้ในการปลูกพืช เมื่อนำพืชลงปลูกในรางปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวได้ทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหาร และผลการคำนวณปริมาณสารเคมีธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

1.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหาร ในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร ได้ข้อมูลดังตาราง 10

ตาราง 10 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหารในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
เปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารของไฮกแลนด์

พารามิเตอร์	น้ำประปา	น้ำทิ้งจาก โรงงานฆ่าสุกร	สารละลายธาตุอาหาร สูตรของไฮกแลนด์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.85	8.02	-
สภาพนำไฟฟ้า (EC) (μ mhos/cm)*	-	175	-
ของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) (mg/l)*	-	848	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) (%)**	0.001 (10 ppm)	0.01 (100 ppm)	210 ppm
ฟอสฟอรัส (Available P) (ppm)**	1.00	11.00	31
โพแทสเซียม (K) (ppm)***	4.68	27.3	231
ซัลเฟต (SO_4) (ppm)***	11.52	35.52	-
แคลเซียม (Ca) (ppm)***	27.2	31.2	200
แมกนีเซียม (Mg) (ppm)***	5.4	13.44	48
เหล็ก (Fe) (ppm)***	0.02	0.12	5
แมงกานีส (Mn) (ppm)***	0.03	0.20	2
โบรอน (B) (ppm)***	-	-	1.5
สังกะสี (Zn) (ppm)***	0.23	0.02	0.06
ทองแดง (Cu) (ppm)***	<0.01	0.01	0.06
โมลิบดีนัม (Mo) (ppm)***	-	-	0.007

หมายเหตุ

* หมายถึง วิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ

** หมายถึง วิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*** หมายถึง วิเคราะห์ที่กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัย

การผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

จากตาราง 10 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และปริมาณธาตุอาหารในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร พบว่า น้ำประปาและน้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง คือ น้ำประปามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.85 และน้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.02 น้ำทิ้งมีค่าสภาพนำไฟฟ้า 175 μ mhos/cm และมีของแข็งละลายทั้งหมด 848 mg/l

สำหรับปริมาณธาตุอาหาร พบว่า ทั้งในน้ำประปาและน้ำทิ้งมีปริมาณธาตุอาหารเกือบทุกชนิดมีน้อยกว่าธาตุอาหารจากสูตรของไฮกแลนด์จึงจำเป็นต้องเติมธาตุอาหารเพิ่ม ยกเว้นปริมาณสังกะสีในน้ำประปาที่มีค่า 0.23 ppm ซึ่งมากกว่าปริมาณสังกะสีในสูตรของไฮกแลนด์ (0.06

ppm) แต่ยังคงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของความต้องการสังกะสีของพืชคือ 0.5 ppm (ตาราง 4) ดังนั้นจึงไม่ต้องเติมเพิ่มหรือเจือจางสังกะสีในชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์

1.2 ผลการคำนวณปริมาณสารเคมีธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

จากตาราง 10 พบว่า น้ำประปาและน้ำทิ้งมีปริมาณธาตุอาหารหลายชนิดน้อยกว่าสารละลายมาตรฐานตามสูตรของโฮกแลนด์ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการคำนวณเพื่อเติมสารละลายธาตุอาหารเพิ่มลงในน้ำประปาและน้ำทิ้งให้มีปริมาณตรงตามสูตรสารละลายมาตรฐานของโฮกแลนด์ ได้ข้อมูลดังตาราง 11

ตาราง 11 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารให้น้ำประปาและน้ำทิ้งที่มีปริมาณธาตุอาหารตรงตามสูตรของโฮกแลนด์

สารเคมีที่ใช้เติม	ธาตุอาหารที่ได้รับ	ปริมาณสารเคมีที่เติม (กรัม / น้ำ 50 ลิตร)	
		น้ำประปา	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
โพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3)	K, N	24.369	23.076
โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4)	K, P	6.589	4.393
คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Cu, S	0.012	0.009
แมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	Mn, S	0.303	0.304
แคลเซียมไนเตรด ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	Ca, N	5.892	5.892
โซเดียมโมลิบเดต ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Na, Mo	0.0009	0.0009
แมงกานีสซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Mg, S	24.310	24.274
เหล็กอีดีทีเอ (Fe-EDTA)	Fe	1.992	1.952
กรดบอริก (H_3BO_3)	B	0.429	0.429
ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Zn, S	-	0.009

จากตาราง 11 ผู้วิจัยได้เติมสารเคมีเพิ่ม 9 ชนิดในน้ำประปาเพื่อเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานของชุดการทดลองที่ 1 และเติมสารเคมีเพิ่ม 10 ชนิดในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรเพื่อเตรียมสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ของชุดการทดลองที่ 2 แต่ชุดการทดลองที่ 3 ไม่เติมสารเคมีเพิ่มในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

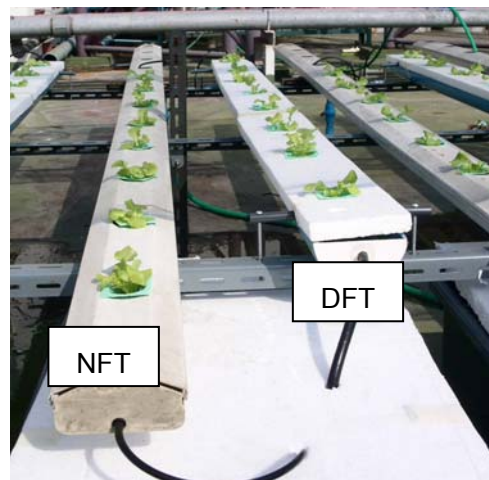
2. การเจริญเติบโตของพืช

ผู้วิจัยศึกษาการเจริญเติบโตตามวิธีปลูก 2 ระบบ คือ การปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และ การปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) (ภาพประกอบ 2) โดยแต่ละระบบจะศึกษาดัชนีการเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ทรงพุ่ม น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

ผู้วิจัยรายงานการเจริญเติบโตของพืชตามวิธีการปลูก 2 ระบบได้ผลดังนี้



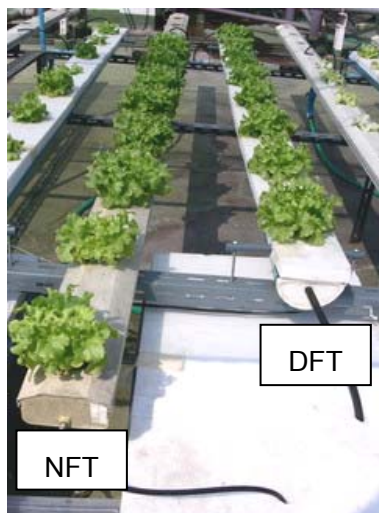
แปลงการทดลอง



ระบบการปลูกพืช 2 ระบบ

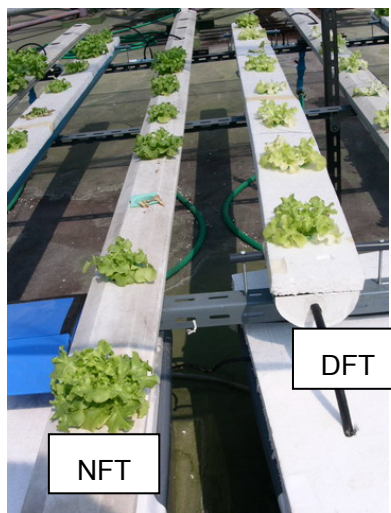


ผักกาดหอมก่อนเริ่มทำการทดลอง (อายุ 21 วัน)



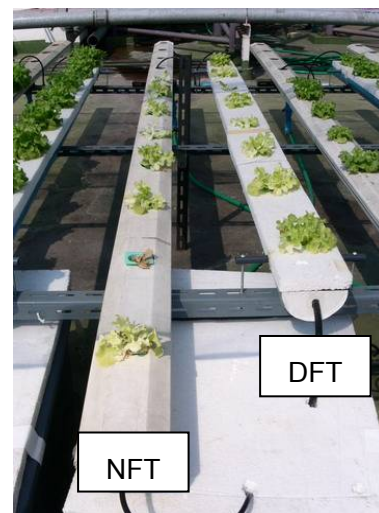
ชุดการทดลองที่ 1

สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน



ชุดการทดลองที่ 2

สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์



ชุดการทดลองที่ 3

น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

ผักกาดหอมวันสิ้นสุดการทดลอง (อายุ 42 วัน)

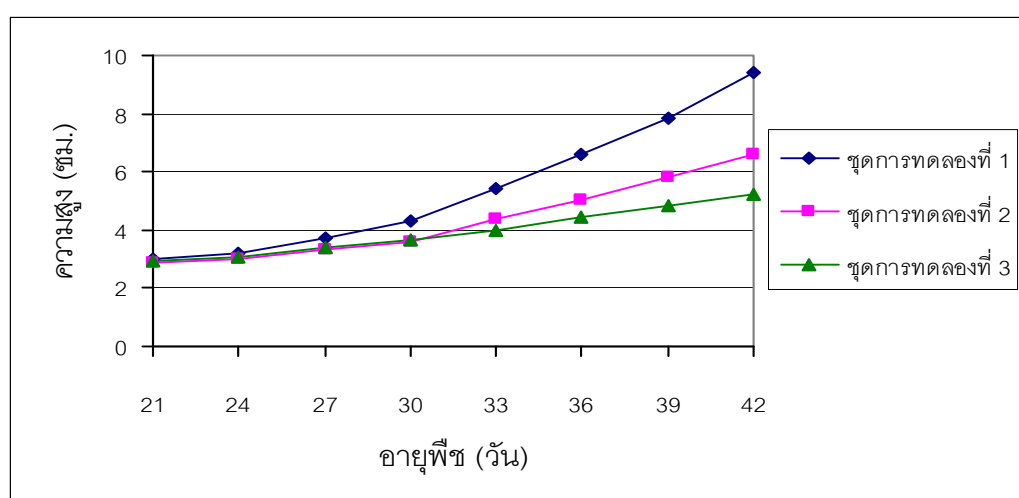
ภาพประกอบ 2 แปลงการทดลอง และการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

2.1 การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

2.1.1 ความสูงของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 12 และภาพประกอบ 3

ตาราง 12 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร	สารละลายธาตุอาหาร	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
	สูตรมาตรฐาน	สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
21	3.00	2.91	2.94
24	3.23	3.03	3.06
27	3.75	3.38	3.35
30	4.33	3.65	3.62
33	5.44	4.38	3.97
36	6.63	5.06	4.44
39	7.81	5.79	4.82
42	9.40	6.56	5.21



ภาพประกอบ 3 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

จากตาราง 12 และ ภาพประกอบ 3 พบว่า ความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลองแล้ว พบว่า ความสูงเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 9.40 เซนติเมตร รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีความสูงเฉลี่ย 6.56 เซนติเมตร และ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 5.21 เซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 13

ตาราง 13 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	0.083	2	0.042	0.253	0.777
24	0.489	2	0.245	1.205	0.308
27	2.064	2	1.032	2.965	0.060
30	6.920	2	3.460	5.146	0.009*
33	23.814	2	11.907	20.687	0.000*
36	52.704	2	26.352	40.818	0.000*
39	96.197	2	48.099	43.794	0.000*
42	189.234	2	94.617	39.287	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 13 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 30 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 14

ตาราง 14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
30	4.33 ^a	3.65 ^b	3.62 ^b
33	5.44 ^a	4.38 ^b	3.97 ^b
36	6.63 ^a	5.06 ^b	4.44 ^c
39	7.81 ^a	5.79 ^b	4.82 ^c
42	9.40 ^a	6.56 ^b	5.21 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

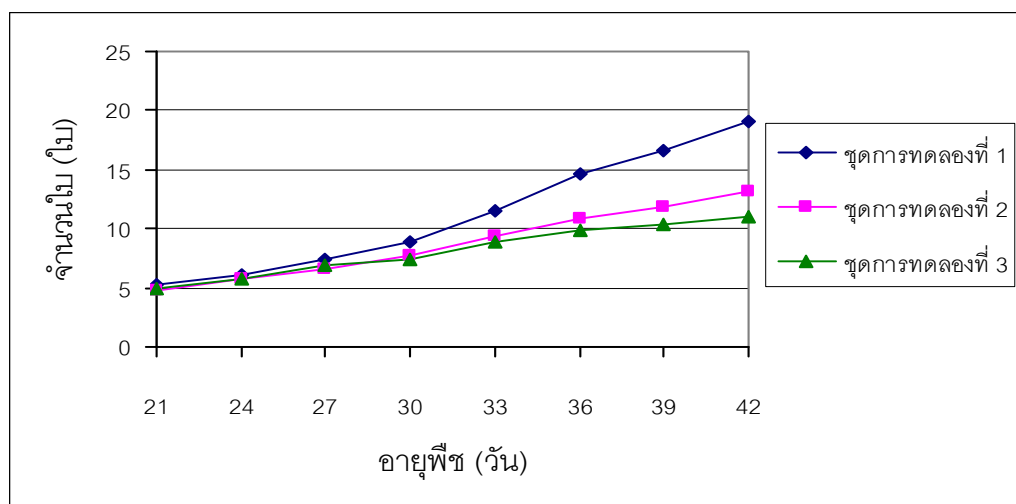
จากตาราง 14 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 30-33 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 36-42 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาความสูงของผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยความสูงของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.1.2 จำนวนใบของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 15 และภาพประกอบ 4

ตาราง 15 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	จำนวนใบเฉลี่ยทุกต้น (ช.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร	สารละลายธาตุอาหาร	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
	สูตรมาตรฐาน	สังเคราะห์	
21	5.33	4.82	4.88
24	6.17	5.76	5.76
27	7.38	6.65	6.88
30	8.83	7.76	7.47
33	11.50	9.35	8.88
36	14.58	10.88	9.88
39	16.63	11.88	10.47
42	19.13	13.12	11.06



ภาพประกอบ 4 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

จากตาราง 15 และภาพประกอบ 4 พบว่า จำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลอง พบว่า จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 19.13 ใบ รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ มีจำนวนใบเฉลี่ย 13.12 ใบ และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสุกรมีจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 11.06 ใบ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 16

ตาราง 16 การเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนใบของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	3.276	2	1.638	1.463	0.240
24	2.273	2	1.137	1.170	0.318
27	5.711	2	2.855	3.322	0.043*
30	21.528	2	10.764	7.933	0.001*
33	81.732	2	40.866	24.001	0.000*
36	256.792	2	128.396	48.580	0.000*
39	434.599	2	217.300	47.123	0.000*
42	732.669	2	366.335	46.071	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 16 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 27 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 17

ตาราง 17 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	จำนวนใบเฉลี่ยทุกต้น (ช.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
27	7.38 ^a	6.65 ^{ab}	6.88 ^b
30	8.83 ^a	7.76 ^b	7.47 ^b
33	11.50 ^a	9.35 ^b	8.88 ^b
36	14.58 ^a	10.88 ^b	9.88 ^b
39	16.63 ^a	11.88 ^b	10.47 ^c
42	19.13 ^a	13.12 ^b	11.06 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 17 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 27 วัน ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 30-36 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่

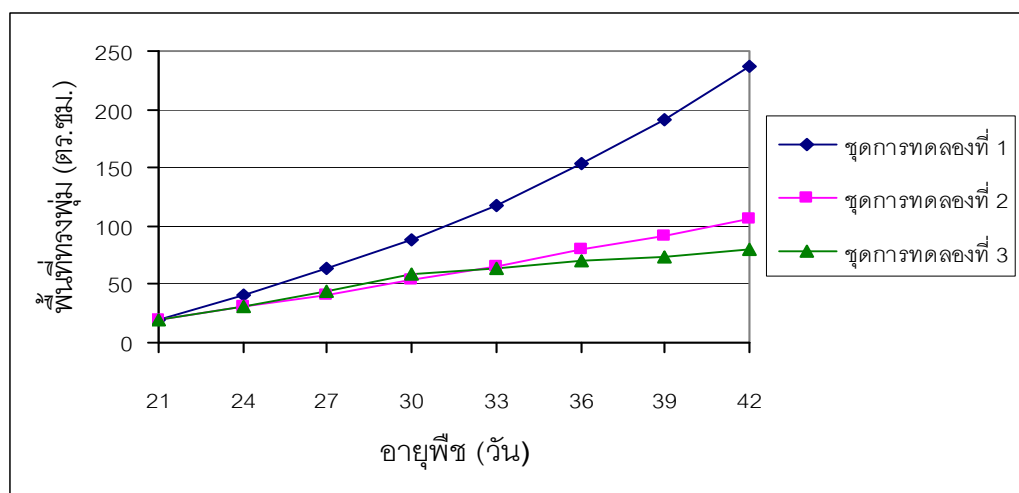
ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 39-42 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาจำนวนใบของผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยจำนวนใบของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.1.3 พื้นที่ทรงพุ่มของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 18 และภาพประกอบ 5

ตาราง 18 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยทุกต้น (ตร.ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
21	19.83	19.47	19.18
24	40.83	31.24	31.88
27	64.04	41.41	45.06
30	88.92	54.35	58.76
33	117.21	65.88	64.53
36	153.17	79.53	71.24
39	191.00	91.94	74.47
42	237.71	104.94	79.88



ภาพประกอบ 5 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

จากตาราง 18 และภาพประกอบ 5 พบว่า พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลอง พบว่า พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 237.71 ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ มีพื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ย 1054.96 ตารางเซนติเมตร และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสุกรมีพื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 79.88 ตารางเซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 19

ตาราง 19 การเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	4.392	2	2.196	1.312	0.278
24	1213.722	2	606.861	13.712	0.000*
27	6203.586	2	3101.793	16.569	0.000*
30	14896.070	2	7448.035	21.573	0.000*
33	38061.628	2	19030.814	80.035	0.000*
36	85707.597	2	42853.798	86.258	0.000*
39	166069.737	2	83034.869	52.882	0.000*
42	302348.767	2	151174.383	40.637	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 19 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 24 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 20

ตาราง 20 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

อายุพืช (วัน)	พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยทุกต้น (ตร.ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
24	40.83 ^a	31.24 ^b	31.88 ^b
27	64.04 ^a	41.41 ^b	45.06 ^b
30	88.92 ^a	54.35 ^b	58.76 ^b
33	117.21 ^a	65.88 ^b	64.53 ^b
36	153.17 ^a	79.53 ^b	71.24 ^b
39	191.00 ^a	91.94 ^b	74.47 ^b
42	237.71 ^a	104.94 ^b	79.88 ^b

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 20 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 24-42 วัน ค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกันไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

แต่พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน

2.1.4 น้ำหนักของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 21

ตาราง 21 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
น้ำหนักสด (กรัม)	28.08	7.53	2.87
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	1.68	0.57	0.22

จากตาราง 21 พบว่า น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 28.08 กรัม รองลงมาคือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีน้ำหนักสดเฉลี่ย 7.53 กรัม และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.87 กรัม และน้ำหนักแห้งก็มีค่าสอดคล้องกันกับน้ำหนักสด คือ ชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุด คือ 1.68 กรัม รองลงมาคือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 0.57 กรัม และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 0.22 กรัม และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 22

ตาราง 22 การเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Fresh Weight	7544.631	2	3772.316	51.355	0.000*
Dry Weight	24.334	2	12.167	68.411	0.000*

หมายเหตุ

หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 19 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 23

ตาราง 23 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
น้ำหนักราก (กรัม)	28.08 ^a	7.53 ^b	2.87 ^b
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	1.68 ^a	0.57 ^b	0.22 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 23 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า น้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และน้ำหนักรากของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูก

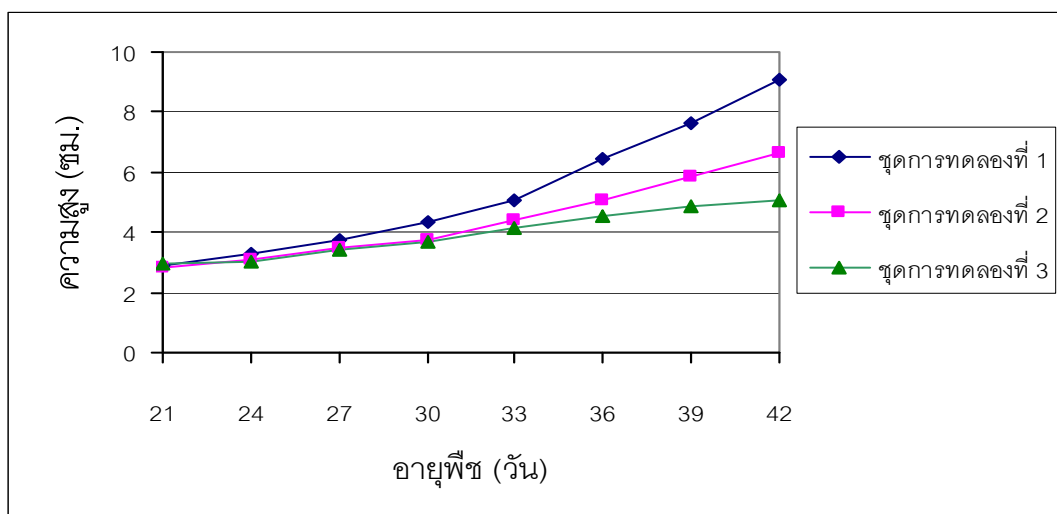
ด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร แต่น้ำหนักสดของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และน้ำหนักสดของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.2 การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยระบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

2.2.1 ความสูงของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 24 และภาพประกอบ 6

ตาราง 24 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
21	2.90	2.83	2.94
24	3.27	3.05	3.03
27	3.73	3.50	3.42
30	4.33	3.74	3.72
33	5.04	4.38	4.14
36	6.42	5.07	4.50
39	7.65	5.86	4.78
42	9.08	6.64	5.00



ภาพประกอบ 6 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

จากตาราง 24 และ ภาพประกอบ 6 พบว่า ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลองแล้ว พบว่า ความสูงเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 9.08 เซนติเมตร รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีความสูงเฉลี่ย 6.64 เซนติเมตร และ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 5.00 เซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 25

ตาราง 25 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	0.122	2	0.061	0.344	0.710
24	0.806	2	0.403	1.986	0.146
27	1.131	2	0.566	1.776	0.178
30	1.849	2	0.925	1.668	0.197
33	9.433	2	4.716	11.179	0.000*
36	41.627	2	20.813	40.977	0.000*
39	88.991	2	44.495	74.320	0.000*
42	178.175	2	89.087	84.303	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 25 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 33 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 26

ตาราง 26 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
33	5.04 ^a	4.38 ^b	4.14 ^b
36	6.42 ^a	5.07 ^b	4.50 ^c
39	7.65 ^a	5.86 ^b	4.78 ^c
42	9.08 ^a	6.64 ^b	5.00 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

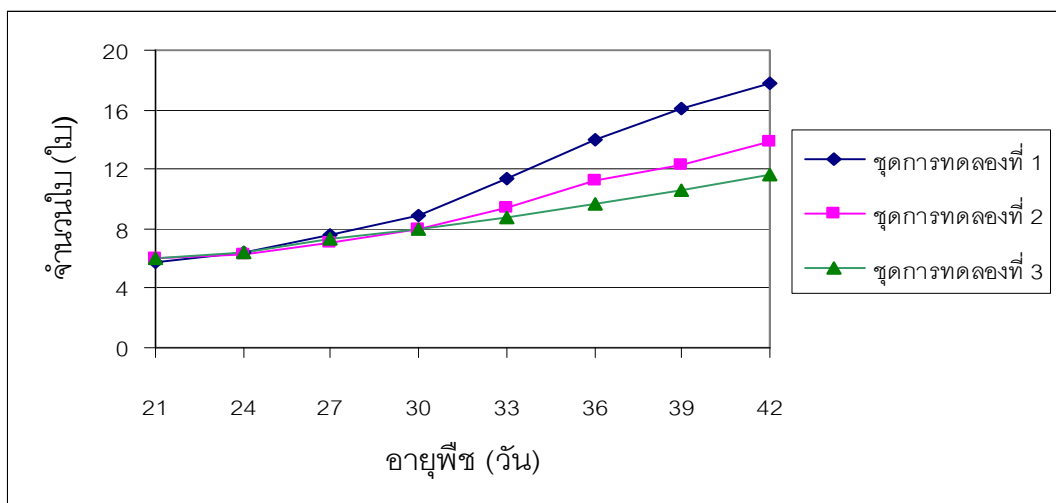
จากตาราง 26 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 33 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 36-42 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาความสูงของผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยความสูงของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.2.2 จำนวนใบของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 27 และภาพประกอบ 7

ตาราง 27 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	จำนวนใบเฉลี่ยทุกต้น (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
21	5.79	6.00	5.94
24	6.46	6.24	6.44
27	7.58	7.00	7.39
30	8.92	7.90	8.28
33	11.38	9.38	8.89
36	13.96	11.19	9.78
39	16.04	12.29	10.44
42	17.83	13.76	11.44



ภาพประกอบ 7 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

จากตาราง 27 และภาพประกอบ 7 พบว่า จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลอง พบว่า จำนวนใบเฉลี่ยของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 17.83 ใบ รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ มีจำนวนใบเฉลี่ย 13.76 ใบ และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสุกรมีจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 11.44 ใบ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 28

ตาราง 28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนใบของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	0.526	2	0.263	0.251	0.779
24	0.645	2	0.322	0.332	0.719
27	3.889	2	1.944	1.533	0.224
30	11.825	2	5.913	3.132	0.051
33	75.645	2	37.822	19.174	0.000*
36	193.105	2	96.553	35.045	0.000*
39	348.026	2	174.013	47.097	0.000*
42	444.730	2	222.365	39.059	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 28 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 33 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 29

ตาราง 29 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	จำนวนใบเฉลี่ยทุกต้น (ช.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
33	11.38 ^a	9.38 ^b	8.89 ^{ab}
36	13.96 ^a	11.19 ^b	9.78 ^b
39	16.04 ^a	12.29 ^b	10.44 ^c
42	17.83 ^a	13.76 ^b	11.44 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 29 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 33 วัน ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 36 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 39-42 วัน

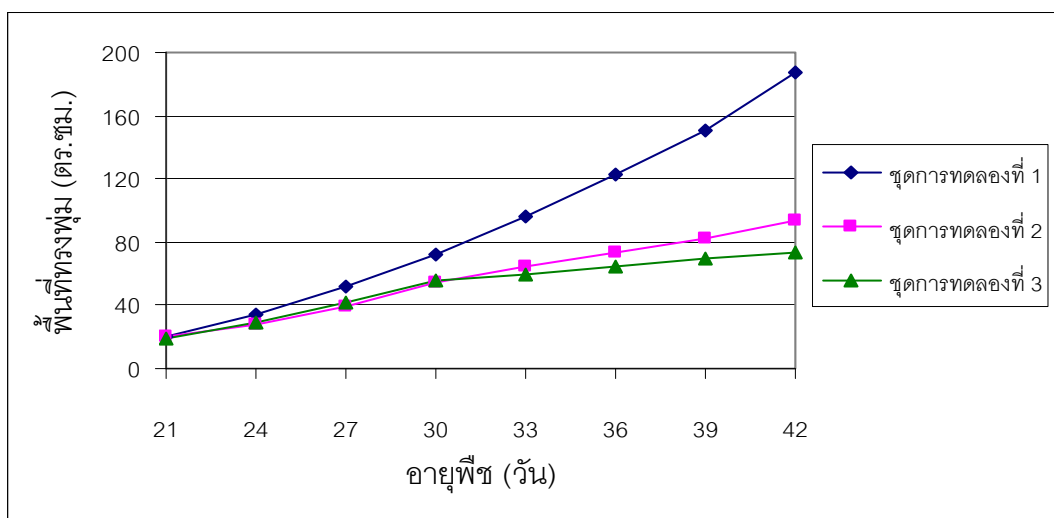
พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาจำนวนใบของผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยจำนวนใบของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.2.3 พื้นที่ทรงพุ่มของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 30 และภาพประกอบ 8

ตาราง 30 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยทุกต้น (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
21	19.88	19.80	19.44
24	34.50	28.00	29.22
27	51.58	39.05	40.50
30	72.04	53.86	54.67
33	96.04	64.14	58.44
36	122.88	73.10	63.33
39	151.21	83.05	68.22
42	187.08	94.10	73.06



ภาพประกอบ 8 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

จากตาราง 30 และภาพประกอบ 8 พบว่า ค่าพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองในวันสิ้นสุดการทดลองพบว่า พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ 187.08 ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ มีพื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ย 94.10 ตารางเซนติเมตร และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสุกรมีพื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 73.06 ตารางเซนติเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 31

ตาราง 31 การเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

Day	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
21	2.550	2	1.275	0.414	0.663
24	537.968	2	268.984	11.405	0.000*
27	2112.143	2	1056.071	10.922	0.000*
30	4719.454	2	2359.727	8.035	0.001*
33	18028.026	2	9014.013	36.186	0.000*
36	44705.978	2	22352.989	73.431	0.000*
39	85708.867	2	42854.434	74.378	0.000*
42	160989.159	2	80494.579	77.296	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 31 พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ผักกาดหอมอายุได้ 24 วัน ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตทางด้านพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 32

ตาราง 32 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

อายุพืช (วัน)	พื้นที่ทรงพุ่มเฉลี่ยทุกต้น (ซ.ม.)		
	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
24	34.50 ^a	28.00 ^b	29.22 ^b
27	51.58 ^a	39.05 ^b	40.50 ^b
30	72.04 ^a	53.86 ^b	54.67 ^b
33	96.04 ^a	64.14 ^b	58.44 ^b
36	122.88 ^a	73.10 ^b	63.33 ^b
39	151.21 ^a	83.05 ^b	68.22 ^b
42	187.08 ^a	94.10 ^b	73.06 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 32 พบว่า ผักกาดหอมที่มีอายุ 24-39 วัน ค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผักกาดหอมที่มีอายุ 42 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยพื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

2.2.4 น้ำหนักของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 33

ตาราง 33 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
น้ำหนักสด (กรัม)	22.62	7.91	3.32
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	1.42	0.61	0.31

จากตาราง 33 พบว่า น้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่าที่สุด คือ 22.62 กรัม รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีน้ำหนักสดเฉลี่ย 7.91 กรัม และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 3.32 กรัม และน้ำหนักแห้งก็มีค่าสอดคล้องกันกับน้ำหนักสด คือ ชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุด คือ 1.42 กรัม รองลงมาคือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.61 กรัม และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีน้ำหนักสดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 0.31 กรัม และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 34

ตาราง 34 การเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Fresh Weight	4411.013	2	2205.507	88.433	0.000*
Dry Weight	14.392	2	7.196	67.231	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 34 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 35

ตาราง 35 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
น้ำหนักสด (กรัม)	22.62 ^a	7.91 ^b	3.32 ^c
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	1.42 ^a	0.61 ^b	0.31 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 35 พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

3. ผลผลิตของพืช

ผู้วิจัยศึกษาผลผลิตตามวิธีปลูก 2 ระบบ คือ การปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) โดยแต่ละระบบจะศึกษาผลผลิตของพืชได้แก่ ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ และผลผลิต

ผู้วิจัยรายงานผลผลิตของพืชตามวิธีการปลูก 2 ระบบได้ผลดังนี้

3.1 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 36

ตาราง 36 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้	100.00	70.83	70.83
ผลผลิต (กรัม/ตร.ม.)	224.61	42.68	16.29

จากตาราง 36 พบว่า ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด ร้อยละ 100 รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าเท่ากัน คือ เก็บเกี่ยวได้ร้อยละ 70.83 ส่วนผลผลิตของผักกาดหอมพบว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีผลผลิตสูงสุด คือ 224.61 กรัมต่อตารางเมตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ คือ 42.68 กรัมต่อตารางเมตร และชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าน้อยที่สุด คือ 16.29 กรัมต่อตารางเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 37

ตาราง 37 การเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Percent	1701.389	2	850.694	24.500	0.001*
Product	77189.759	2	38594.880	77.798	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 37 พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 38

ตาราง 38 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละชุดของการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้	100.00 ^a	70.83 ^b	70.83 ^b
ผลผลิต (กรัม/ตร.ม.)	224.61 ^a	42.68 ^b	16.29 ^b

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 38 พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานแตกต่างจากร้อยละ

ของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร แต่ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน

3.2 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 39

ตาราง 39 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 :	ชุดการทดลองที่ 2 :	ชุดการทดลองที่ 3 :
	สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้	100.00	87.50	75.00
ผลผลิต (กรัม/ตร.ม.)	180.95	55.37	19.92

จากตาราง 39 พบว่า ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่ามากที่สุด คือ เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด ร้อยละ 100 รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์เก็บเกี่ยวได้ร้อยละ 87.50 และชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าน้อยที่สุด คือ เก็บเกี่ยวได้ร้อยละ 75.00 ส่วนผลผลิตของผักกาดหอมพบว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีผลผลิตสูงสุด คือ 180.95 กรัมต่อตารางเมตร รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีผลผลิต 55.37 กรัมต่อตารางเมตร และชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าน้อยที่สุด คือ มีผลผลิต 19.92 กรัมต่อตารางเมตร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 40

ตาราง 40 การเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Percent	937.500	2	468.750	1.125	0.385
Product	42957.436	2	21478.718	138.145	0.000*

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 40 พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่ผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่ต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 41

ตาราง 41 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ผลผลิต (กรัม/ตร.ม.)	180.95 ^a	55.37 ^b	19.92 ^c

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 41 พบว่า ค่าเฉลี่ยผลผลิตของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตของผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามสมมติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ แต่ผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยผลผลิตของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในพืช

1. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 42

ตาราง 42 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ธาตุอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ฟอสฟอรัส (P)	0.84	0.77	0.70
แคลเซียม (Ca)	0.44	0.40	0.75
เหล็ก (Fe)	122.33	124.00	129.67

จากตาราง 42 พบว่า ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 0.84 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.77 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.70 ในขณะที่แคลเซียมจะพบการสะสมในผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.75 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.44 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.40 และพบว่า เหล็กมีการสะสมในผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงาน

ค่าสูงกรรมมากที่สุด คือ ร้อยละ 129.67 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ปลุกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณเหล็กร้อยละ 124.00 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลุกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 122.33 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 43

ตาราง 43 การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลุกด้วยระบบ NFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
P	0.032	2	0.016	2.036	0.211
Ca	0.225	2	0.112	15.623	0.004*
Fe	88.667	2	44.333	1.830	0.240

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 43 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่แตกต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 44

ตาราง 44 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ธาตุอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
แคลเซียม (Ca)	0.44 ^a	0.40 ^a	0.75 ^b

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 44 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมในระบบ NFT พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างจากปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ไม่แตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหาร พืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ได้ข้อมูลดังตาราง 45

ตาราง 45 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ธาตุอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ฟอสฟอรัส (P)	0.75	0.81	0.68
แคลเซียม (Ca)	0.48	0.30	0.73
เหล็ก (Fe)	123.00	126.67	129.00

จากตาราง 45 พบว่าผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 0.81 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.75 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.68 ในขณะที่แคลเซียมจะพบการสะสมในผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.73 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.48 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.30 และพบว่าเหล็กมีการสะสมในผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมากที่สุด คือ ร้อยละ 129.00 รองลงมา คือ ผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณเหล็กร้อยละ 126.67 และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 123.00 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ one-way ANOVA ได้ผลดังตาราง 46

ตาราง 46 การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
P	0.027	2	0.013	1.435	0.310
Ca	0.275	2	0.138	15.256	0.004*
Fe	54.889	2	27.444	0.932	0.444

หมายเหตุ

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 46 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมในแต่ละชุดการทดลองที่ต่างกันได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ได้ผลดังตาราง 47

ตาราง 47 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมในแต่ละคู่ของชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ธาตุอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
แคลเซียม (Ca)	0.48 ^a	0.30 ^a	0.73 ^b

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษมุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 47 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วย

สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยปริมาณแคลเซียมของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมในระบบ DFT พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างจากปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมจากชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ไม่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) ในสารละลายธาตุอาหารได้เก็บตัวอย่างสารละลายธาตุอาหารในถังเก็บสารละลายธาตุอาหารของการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) ซึ่งทั้ง 2 ระบบใช้สารละลายร่วมกัน แต่เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารในชุดการทดลองที่ 1 (สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน) ในแต่ละครั้งของการทดลองมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการเก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส จึงได้นำสารละลายธาตุอาหารชุดการทดลองที่ 1 ทั้ง 3 ครั้งที่ทำทดลองรวมกันจึงพอที่จะเก็บตัวอย่างน้ำได้ 1 ตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสได้ผลดังตาราง 48

ตาราง 48 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช

ธาตุอาหาร	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ppm)	200.0	219.3	236.7

จากตาราง 48 พบว่า สารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 1 (สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน) มีปริมาณฟอสฟอรัส 200 ppm สารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 2 (สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์) มีปริมาณฟอสฟอรัส 219.3 ppm และสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 3 (น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร) มีปริมาณฟอสฟอรัส 236.7 ppm และเนื่องจากแต่ละชุดการทดลองวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสเพียง 1 ตัวอย่าง จึงไม่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติได้

ประมวลผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาผู้วิจัยได้ประมวลสรุปผลการทดลองเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้อย่างชัดเจนดังแสดงในตาราง 49

ตาราง 49 ประมวลผลการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในพืช และฟอสฟอรัสในสารละลาย
ธาตุอาหารหลังการปลูกพืช

สิ่งที่ศึกษา	อายุพืช	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน		ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์		ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	
		NFT	DFT	NFT	DFT	NFT	DFT
ความสูง (cm)	21	3.00 ^A	2.90 ^a	2.91 ^A	2.83 ^a	2.94 ^A	2.94 ^a
	24	3.23 ^A	3.27 ^a	3.03 ^A	3.05 ^a	3.06 ^A	3.03 ^a
	27	3.75 ^A	3.73 ^a	3.38 ^A	3.50 ^a	3.35 ^A	3.42 ^a
	30	4.33 ^A	4.33 ^a	3.65 ^B	3.74 ^a	3.62 ^B	3.72 ^a
	33	5.44 ^A	5.04 ^a	4.38 ^B	4.38 ^b	3.97 ^B	4.14 ^b
	36	6.63 ^A	6.42 ^a	5.06 ^B	5.07 ^b	4.44 ^C	4.50 ^c
	39	7.81 ^A	7.65 ^a	5.79 ^B	5.86 ^b	4.82 ^C	4.78 ^c
	42	9.40 ^A	9.08 ^a	6.56 ^B	6.64 ^b	5.21 ^C	5.00 ^c
จำนวนใบ (ใบ)	21	5.33 ^A	5.79 ^a	4.82 ^A	6.00 ^a	4.88 ^A	5.94 ^a
	24	6.17 ^A	6.46 ^a	5.76 ^A	6.24 ^a	5.76 ^A	6.44 ^a
	27	7.38 ^A	7.58 ^a	6.65 ^{AB}	7.00 ^a	6.88 ^B	7.39 ^a
	30	8.83 ^A	8.92 ^a	7.76 ^B	7.90 ^a	7.47 ^B	8.28 ^a
	33	11.50 ^A	11.38 ^a	9.35 ^B	9.38 ^b	8.88 ^B	8.89 ^{ab}
	36	14.58 ^A	13.96 ^a	10.88 ^B	11.19 ^b	9.88 ^B	9.78 ^b
	39	16.63 ^A	16.04 ^a	11.88 ^B	12.29 ^b	10.47 ^C	10.44 ^c
	42	19.13 ^A	17.83 ^a	13.12 ^B	13.76 ^b	11.06 ^C	11.44 ^c
พื้นที่ทรงพุ่ม (cm ²)	21	19.83 ^A	19.88 ^a	19.47 ^A	19.90 ^a	19.18 ^A	19.44 ^a
	24	40.83 ^A	34.50 ^a	31.24 ^B	28.00 ^b	31.88 ^B	29.22 ^b
	27	64.04 ^A	51.58 ^a	41.41 ^B	39.05 ^b	45.06 ^B	40.50 ^b
	30	88.92 ^A	72.04 ^a	54.35 ^B	53.86 ^b	58.76 ^B	54.67 ^b
	33	117.21 ^A	96.04 ^a	65.88 ^B	64.14 ^b	64.53 ^B	58.44 ^b
	36	153.17 ^A	122.88 ^a	79.53 ^B	73.10 ^b	71.24 ^B	63.33 ^b
	39	191.00 ^A	151.21 ^a	91.94 ^B	83.05 ^b	74.47 ^B	68.22 ^b
	42	237.71 ^A	187.08 ^a	104.94 ^B	94.10 ^b	79.88 ^B	73.06 ^c
น้ำหนักสด (g)	42	28.08 ^A	22.62 ^a	7.53 ^B	7.91 ^b	2.87 ^B	3.32 ^c
น้ำหนักแห้ง (g)	42	1.68 ^A	1.42 ^a	0.57 ^B	0.61 ^b	0.22 ^C	0.31 ^c

ตาราง 49 (ต่อ)

สิ่งที่ศึกษา	ชุดการทดลองที่ 1 : สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน		ชุดการทดลองที่ 2 : สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์		ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	
	NFT	DFT	NFT	DFT	NFT	DFT
ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้	100.00 ^A	100.00 ^a	70.83 ^B	87.50 ^a	70.83 ^B	75.00 ^a
ผลผลิต (g/m ²)	224.61 ^A	180.95 ^a	42.68 ^B	55.37 ^b	16.29 ^B	19.92 ^c
P ในพืช (ppm)	0.84 ^A	0.75 ^a	0.77 ^A	0.81 ^a	0.70 ^A	0.68 ^a
Ca ในพืช (ppm)	0.44 ^A	0.48 ^a	0.40 ^A	0.30 ^a	0.75 ^B	0.73 ^b
Fe ในพืช (ppm)	122.33 ^A	123.00 ^a	124.00 ^A	126.67 ^a	129.67 ^A	129.00 ^a
P ในสารละลายธาตุอาหาร (ppm)	200.00		219.30		236.70	

หมายเหตุ

1) ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ มุมบนขวาเป็นการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ NFT

- ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ มุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

- ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ มุมบนขวาที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

2) ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก มุมบนขวาเป็นการเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ปลูกด้วยระบบ DFT

- ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก มุมบนขวาที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

- ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก มุมบนขวาที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยวิธี DMRT

จากตาราง 49 พบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดหอมทั้งในระบบ NFT และ DFT จะเริ่มแตกต่างกันเมื่อผักกาดหอมมีอายุมากขึ้น และเมื่อผักกาดหอมอายุครบ 42 วัน ทั้งในระบบ NFT และ DFT ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตและผลผลิต (ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ทรงพุ่ม น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ และผลผลิต) ของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ยกเว้นร้อยละที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมในระบบ DFT ทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ในส่วนของปริมาณธาตุอาหารในพืช พบว่า ทั้งในระบบ NFT และ DFT ปริมาณแคลเซียมใน

ผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองแตกต่างกัน ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ แต่พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ และปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกผักกาดหอม พบว่า มีปริมาณสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกผักกาดหอมเหลือน้อย ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืช (ผักกาดหอม) โดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics Culture) 2 ระบบ คือ การปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) แต่ละระบบแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกผักกาดหอมด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกผักกาดหอมด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และชุดการทดลองที่ 3 ปลูกผักกาดหอมด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณธาตุอาหารในพืช และปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชระหว่างชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ครั้ง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเจริญเติบโตและผลผลิต

ผลการทดลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) มีค่าสอดคล้องกัน โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ทรงพุ่ม น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ และผลผลิต พบว่า ค่าการเจริญเติบโตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของผักกาดหอม เมื่อผักกาดหอมอายุได้ 42 วันค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตทั้งหมดของผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าแตกต่างกัน โดยการเจริญเติบโตและผลผลิตของชุดการทดลองที่ 1 ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่าสูงสุด รองลงมาคือผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร มีค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมต่ำสุด ยกเว้นค่าพื้นที่ทรงพุ่ม น้ำหนักสด ร้อยละที่เก็บเกี่ยวได้ และผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT โดยพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่าสูงสุด แต่ชุดการทดลองที่ 2 ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าไม่

แตกต่างกัน และจากการทดลองมีเพียงค่าร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT ที่มีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ชุดการทดลอง

จากการที่การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานมีค่าสูงสุด อาจเป็นเพราะผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์และในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรขาดธาตุอาหาร เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีธาตุอาหารต่างๆ น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในสารละลายมาตรฐานของไฮโดรโปนิกส์ หรือในน้ำทิ้งอาจจะมีคาร์บอนเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอนเนต (HCO_3) หรือโซเดียม (Na) ปริมาณมาก ทำให้พืชดูดซึมธาตุอาหารไม่ดีเท่าที่ควร (ดิเรกทองอร่าม. 2546: 66-70)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ NFT และ DFT ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ กล่าวคือ ทั้งในระบบ NFT และ DFT การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน ยกเว้นร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT ที่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 1 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ กล่าวคือ ในระบบ DFT ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน

2. ปริมาณธาตุอาหารในพืช

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT) และการปลูกพืชระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT) มีค่าสอดคล้องกัน คือ ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน (ตาราง 43 หน้า 91 และตาราง 46 หน้า 93) ส่วนปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกัน โดยผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.76 ในระบบ NFT และ ร้อยละ 0.73 ในระบบ DTF ส่วนปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมชุดการทดลองที่ 1 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐานและชุดการทดลองที่ 2 ที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์มีปริมาณไม่แตกต่างกัน (ตาราง 44 หน้า 91 และตาราง 47 หน้า 93) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดี. โอ. ฮิวท์ (D. O. Huett. 2005: Online) ที่พบว่าอัตราส่วนของ

โพแทสเซียมต่อแคลเซียมในสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอ่อนของผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน โดยอัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียมในสารละลายธาตุอาหารที่ลดลงส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอ่อนของผักกาดหอมเพิ่มขึ้น ในศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียมใกล้เคียงกัน คือ 231:200 (ตาราง 10 หน้า 60) หรือ 1.2:1 ส่วนชุดการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีอัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียมคือ 27.3:31.2 (ตาราง 10 หน้า 60) หรือ 1:1.2 อัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียมที่น้อยกว่าในชุดการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบอ่อนของผักกาดหอมในชุดการทดลองที่ 3 ที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีค่าสูง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในผักกาดหอมที่ปลูกทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ NFT และ DFT เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ กล่าวคือ ทั้งในระบบ NFT และ DFT ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมที่ปลูกทั้งระบบ NFT และระบบ DFT ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการวิจัยข้อที่ 2 ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ กล่าวคือ ทั้งในระบบ NFT และ DFT ปริมาณแคลเซียมในพืชที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์ และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรแตกต่างกัน

3. ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืช

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเป็นกรณีตัวอย่าง และจากการทดลองพบว่า ไม่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชระหว่างชุดการทดลองได้ เพราะสารละลายธาตุอาหารในถังเก็บสารละลายในชุดการทดลองที่ 1 ในแต่ละครั้งของการทดลองมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส ผู้วิจัยจึงนำสารละลายธาตุอาหาร ทั้ง 3 ครั้งรวมกันจึงพอที่จะเก็บตัวอย่างน้ำได้ 1 ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส ผลการวิเคราะห์พบว่า สารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 1 (สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน) มีปริมาณฟอสฟอรัส 200 ppm สารละลายธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 2 (สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์) มีปริมาณฟอสฟอรัส 219.3 ppm และสารละลาย

ธาตุอาหารหลังการปลูกพืชในชุดการทดลองที่ 3 (น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร) มีปริมาณฟอสฟอรัส 236.7 ppm

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในครั้งนี้เป็นการศึกษาในขั้นต้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นแนวทางในการนำน้ำทิ้งกลับมาหมุนเวียนใช้อย่างคุ้มค่า ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า การนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน น้ำทิ้งที่เติมธาตุอาหารให้ตรงตามสูตรของไฮโกลแลนด์ (สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์) และน้ำทิ้งที่ไม่เติมธาตุอาหาร ให้ผลผลิตพืชน้อยกว่าการปลูกด้วยน้ำประปาเติมธาตุอาหารตามสูตรของไฮโกลแลนด์ (สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตก็เช่นเดียว คือ พืชที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน ดังนั้นจึงควรนำข้อดีที่พบจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้มาปรับปรุงแก้ไขและศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ควรศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชมากกว่านี้ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพราะพืชจะดูดซึมธาตุอาหารเข้าไปโดยตรงจากน้ำ หากน้ำมีองค์ประกอบไม่เหมาะสมก็จะส่งผลต่อพืชอย่างชัดเจน ลักษณะคุณภาพน้ำที่ควรวิเคราะห์เพิ่มได้แก่ คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โซเดียม (Na) และ คลอรีน (Cl) เพราะ คาร์บอเนต และ ไบคาร์บอเนตส่งผลทำให้พืชไม่สามารถนำธาตุเหล็กไปใช้ได้ โซเดียมที่มากเกินไปจะมีผลต่อความเค็มซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนคลอรีนถ้ามีปริมาณน้อยจะเป็นธาตุอาหาร แต่มีปริมาณมากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืชได้ (ดิเรก ทองอร่าม. 2546: 66-70)

2. ในการศึกษาขั้นต่อไปควรนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปเจือจางก่อนนำมาใช้ทดลองปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยจากการศึกษาของอรพิน เกตุชูชื่น และณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ (2545: 25-26) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายผสมกับน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ให้ผลผลิต และการเจริญเติบโตของผักกาดหอมสูงกว่าผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายไม่เจือจาง และผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำประปาไม่ผสมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทราย

3. ควรพิจารณาศึกษาเปรียบเทียบการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินด้วยระบบปลูกที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่เหมาะสมกับการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

4. ควรศึกษาทดลองในสถานที่ที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์และเพิ่มจำนวนผักกาดหอมที่ปลูกในแต่ละชุดการทดลองให้มากกว่านี้ เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในเชิงพาณิชย์มากที่สุด

5. ควรศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชบนดินด้วย เพราะน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรมีปริมาณไนโตรเจนสูง และการปลูกพืชบนดินอาจจะให้ผลผลิตมากกว่าหรือไม่แตกต่างจากการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติปลูกก็ได้

6. ควรศึกษาโลหะหนัก สารพิษ และเชื้อโรคในน้ำทิ้งที่ใช้ปลูกพืชด้วย เพราะโลหะหนัก สารพิษ และเชื้อโรค นอกจากจะส่งผลต่อพืชแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ ในขั้นต้นจึงควรเลือกน้ำทิ้งจากโรงงานที่ไม่ใช้โลหะหนัก หรือสารพิษในกระบวนการผลิต หรือถ้านำน้ำทิ้งไปใช้ปลูกพืช จำพวกไม้ประดับอาจจะไม่ต้องวิเคราะห์โลหะหนัก สารพิษ และเชื้อโรค

7. ควรพิจารณานำน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกรไปใช้ในการปลูกพืชชนิดอื่นๆ โดยไม่ใช้ดิน โดยอาจจะทดลองปลูกผักชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ผักกาดหอม เช่น คะน้า ผักบุ้ง ผักกวางตุ้ง ผักโขม และ ผักฮ่องเต้ เป็นต้น หรือปลูกพืชจำพวกไม้ผล ไม้ดอก และไม้ประดับ เป็นต้น

8. ควรพิจารณานำน้ำทิ้งจากแหล่งอื่นๆ มาทดลองใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยควรเป็นน้ำทิ้งที่ไม่มีสารพิษและมีธาตุอาหารสูง เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และ อุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น

9. ในการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารหลังจากนำไปใช้ในการปลูกพืช โดยไม่ใช้ดินควรพิจารณาศึกษาตัวแปรให้มากกว่านี้ และควรเตรียมสารละลายธาตุอาหารเพิ่มจากปริมาณที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีสารละลายธาตุอาหารเหลือพอที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารได้

10. จากการที่พบแคลเซียมปริมาณมากในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร อาจเป็นแนวทางในการศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแคลเซียมในผักกาดหอมได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). หลักการจัดการน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2547, จาก <http://www.wma.or.th/Research/Research4/Research4.html>.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). รายงานการศึกษาแนวทางการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เทศบาลเมืองแสนสุข. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2547, จาก <http://www.wma.or.th/Research/Research1/Research1.html>.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2547, จาก <http://www.environnet.in.th/evdb/law/national/managment/2707.html>.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2547). กฎกระทรวงฉบับที่ 44 (พ.ศ. 2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2547, จาก http://www.dtcp.go.th/Pwdsite/building/law_44.html.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2541). คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฆ่าสุกร. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2546). ผลวิเคราะห์ปริมาณสารมลพิษในตัวอย่างน้ำโรงงานสหกรณ์ผู้ค้าสุกรชำแหละกรุงเทพมหานคร. (เอกสารบันทึกข้อมูล). กรุงเทพฯ: ฝ่ายมลพิษน้ำ กรมฯ. อัดสำเนา
- กรมวิชาการเกษตร. (2539). การผลิตผักอนามัย. กรุงเทพฯ: ฝ่ายพัฒนาการผลิตพืช สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2547). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สืบค้นเมื่อ 4 มีนาคม 2547, จาก http://doae.co.th/library/html/veget_all.html.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2542). คู่มือกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับประชาชน มลพิษทางน้ำ. กรุงเทพฯ: ฝ่ายพัฒนาและผลิตสื่อ กองส่งเสริมและเผยแพร่ กรมฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538). การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรงค์ จันทน์เจริญสุข; และคนอื่นๆ. (2542). อิทธิพลของน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษต่อ pH ของดิน ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิต. วารสารดินและปุ๋ย. 21(2): 62-70.

- ณรงค์ ณ เชียงใหม่. (2525). *มลพิษสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: อินเดียนสโตร์.
- ดิเรก ทองอร่าม. (2546). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ธรรมการพิมพ์.
- ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. (2534). *ปลูกพืชไม่ใช้ดิน*. กรุงเทพฯ: พรวนการพิมพ์.
- ทวิวงศ์ ศรีบุรี. (2541). *EIA การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มูลนิธิโลกสีเขียว.
- ธีระศักดิ์ พงพานไกร. (2520). *การนำน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในการเกษตร*. วิทยานิพนธ์ วท.ม.(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- นันทนา อังกนันท์; และ ศุภจิตรา ชัชวาล. (2543). *ปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพดล เรียบเลิศหิรัญ. (2550). *การปลูกพืชไร้ดิน*. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- พิทยากร ลิ้มทอง; และคนอื่นๆ. (2534). ผลของน้ำทิ้งจากโรงงานสุราต่อสมบัติของดินและผลผลิตของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด. ใน *รายงานผลการวิจัยประจำปี 2526-2532 กรมพัฒนาที่ดิน*. หน้า 200-209. กรุงเทพฯ: กรมฯ.
- มันลิน ตันกุลเวศม์. (2542). *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันกุลเวศม์; และ มันรักษ์ ตันกุลเวศม์. (2545). *เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมฆ จันทรประยูร. (2541). *ผักสวนครัวก้ำวสำคัญแห่งการพึ่งตนเอง*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทวรรณ.
- ศรีสม สุวรรณวงศ์. (2544). *การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริอร แก้วโบราณ. (2544). *การตอบสนองทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไร้ดินโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลทราย*. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุภามาส พนิชศักดิ์พัฒนา. (2538). การศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรเป็นแหล่งไนโตรเจนในการปลูกผักกวางตุ้งในชุดดินกำแพงแสน. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์*. 29(5): 445-453.
- สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2542). *รวมกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

- สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. (2538). *แร่ธาตุอาหารพืชสวน*. ขอนแก่น: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เสนีย์ กาญจนวงศ์; และคนอื่นๆ. (2546). *การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เพื่อ การเกษตรกรรม*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- โสระยา ร่วมรังษี. (2544). *การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน*. กรุงเทพฯ: อินเดียนสตรี.
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. (2541). *คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฆ่าสุกร*. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงแรงงานอุตสาหกรรม.
- อรพิน เกิดชูชื่น; และ ญัฐา เลหากุลจิตต์. (2545). *การศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน*. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อานัฐ ตันโช. (2542, มิถุนายน-กรกฎาคม). ไฮโดรโปนิคส์ เทคนิคการปลูกพืชโดยไร้ดิน. *แม่โจ้ ปริทัศน์*. 1(1) : 120-122.
- อารักษ์ ธีรอำพน. (2544). *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครราชสีมา: สำนัก เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2547). *การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบมีการนำสารละลาย กลับมาใช้ใหม่*. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2547, จาก <http://www.kmitl.ac.th/soilkmitl/hyframe/hyhead1.html>.
- B.E. Liedl; et al. (2007): *Hydroponic Lettuce Production Using Liquid Effluent from Poultry Waste Bioremediation as a Nutrient Source*. Retrieved March 10, 2007, from http://www.actahort.org/members/showpdf?booknr=659_93
- D.O. Huett. (1994). Growth, Nutrient Uptake and Tipburn Severity of Hydroponic Lettuce in Response to Electrical Conductivity and K:Ca Ratio in Solution. *Australian Journal of Agricultural Research*. 45(1): 251 – 267. Retrieved March 10, 2007, from <http://www.publish.csiro.au/paper/AR9940251.htm>.
- R. Keller; et al. (2005). Hydroponic Cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa*) Using Effluents from Primary, Secondary and Tertiary + UV Treatments. *Water Science and Technology: Water Supply*. 5(1): 95-100. Retrieved March 10, 2007, from <http://www.environmental-expert.com/resulteacharticle4.asp?cid=5302&codi=9790&idproducttype=6&level=0.html>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน
และสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน และสารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์

วิธีการคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้งให้มีปริมาณธาตุอาหารตรงตามสูตรของไฮกแลนด์มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้ง

1.1 นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำประปาและน้ำทิ้งมาแปลงหน่วยให้เป็น พีพีเอ็ม (ppm) ดังนี้

1.1.1 การแปลง meq/l เป็น ppm

$$\text{meq/l} = \text{mmol/l} \times \text{ประจุ}$$

$$\text{mmol/l} = \frac{\text{mg/l}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}$$

$$\text{mg/l} = \text{mmol/l} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล}$$

$$\text{mg/l} = \frac{\text{meq/l} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{ประจุ}}$$

$$\text{ppm} = \text{mg/l}$$

ตัวอย่าง Ca 1.36 meq/l แปลงหน่วยเป็น ppm ได้ดังนี้

$$\text{จาก ppm} = \frac{\text{meq/l} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{ประจุ}}$$

$$\text{Ca มี น้ำหนักโมเลกุล} = 40$$

$$\text{ประจุ} = 2$$

$$\text{ppm} = \frac{1.36 \times 40}{2}$$

$$= 27.2$$

$$\text{ดังนั้น Ca 1.36 meq/l} = 27.2 \text{ ppm}$$

1.1.2 การแปลง ร้อยละ(%) เป็น ppm

$$\text{ppm} = \text{ร้อยละ} \times 10^4$$

ตัวอย่าง N 0.01% แปลงหน่วยเป็น ppm ได้ดังนี้

$$\text{ppm} = 0.01 \times 10^4$$

$$= 100$$

ดังนั้น N 0.01% = 100 ppm

1.2 เมื่อหน่วยเป็น ppm แล้ว นำค่าที่ธาตุอาหารวิเคราะห์ได้ไปลบกับค่าธาตุอาหารในสูตรของไฮกแลนด์จะได้ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการเพิ่มดังตาราง 50

ตาราง 50 ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้ง

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้ (ppm)		ธาตุอาหารในสูตร ของไฮกแลนด์ (ppm)	ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการเพิ่ม (ppm)	
	น้ำประปา	น้ำทิ้ง		น้ำประปา	น้ำทิ้ง
N	10	100	210	200	110
P	1	11	31	30	20
K	4.68	27.3	231	226.32	203.7
Ca	27.2	31.2	200	172.8	168.8
Mg	5.4	13.44	48	42.6	34.56
Fe	0.02	0.12	5	4.98	4.88
Mn	0.03	0.2	2	1.97	1.8
B	-	-	1.5	1.5	1.5
Zn	0.23	0.02	0.06	-	0.04
Cu	<0.01	0.01	0.06	0.06	0.05
Mo	-	-	0.007	0.007	0.007

2. การคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารพืชที่สารเคมีแต่ละชนิดให้

ร้อยละของธาตุอาหารแต่ละชนิดที่อยู่ในสารเคมีคำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละของธาตุอาหาร} = \frac{\text{น้ำหนักอะตอม} \times \text{จำนวนอะตอม} \times 100}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}$$

ร้อยละของธาตุอาหารทั้งหมดที่ใช้แสดงไว้ในตาราง 51

ตัวอย่าง H_3BO_3 มีร้อยละของ B = $\frac{\text{น้ำหนักอะตอม (B)} \times \text{จำนวนอะตอม(B)} \times 100}{\text{น้ำหนักโมเลกุล (H}_3\text{BO}_3\text{)}}$

$$\text{H}_3\text{BO}_3 \text{ มีน้ำหนักโมเลกุล} = 62$$

$$\text{B มีน้ำหนักอะตอม} = 11$$

$$\text{จำนวนอะตอม B} = 1$$

$$\text{ร้อยละของ B ใน H}_3\text{BO}_3 = \frac{11 \times 1 \times 100}{62}$$

$$= 17.7419$$

ดังนั้น H_3BO_3 มี B เป็นส่วนประกอบอยู่ร้อยละ 17.7419

ตาราง 51 ร้อยละของธาตุอาหารทั้งหมดในสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	ธาตุอาหารที่ได้รับ	ร้อยละของธาตุอาหารที่ 1	ร้อยละของธาตุอาหารที่ 2
KNO_3	K, N	K = 38.6685	N = 13.8490
KH_2PO_4	K, P	P = 22.7650	K = 28.7245
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Ca, N	Ca = 16.9727	N = 11.8572
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu	Cu = 25.4575	-
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mn	Mn = 32.5058	-
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Na, Mo	Mo = 39.6550	-
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg	Mg = 9.8664	-
Fe-EDTA	Fe	Fe = 12.5	-
H_3BO_3	B	B = 17.7419	-
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn	Zn = 22.73675	-

3. การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้ง

เมื่อเราได้ค่าปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่ม (ตาราง 50) และร้อยละของธาตุอาหาร (ตาราง 51) จะสามารถคำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมเพิ่มได้จาก

$$\text{ปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมเพิ่ม} = \frac{\text{ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติมเพิ่ม} \times 100}{\text{ร้อยละของธาตุอาหาร}}$$

ปริมาณสารเคมีที่เติมเพิ่มในน้ำประปาและน้ำทิ้งที่ได้จากการคำนวณแสดงไว้ในตาราง 11

ตัวอย่าง น้ำทิ้ง 50 ลิตร ต้องการ Mn = 1.8 ppm จะต้องเติม $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เท่าไร

$$\text{ปริมาณ } \text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \text{ ที่ต้องเติมเพิ่มในน้ำ 1 ลิตร (mg)} = \frac{1.8 \times 100}{32.5058}$$

$$= 6.0912$$

$$\text{น้ำ 50 ลิตร ต้องเติม } \text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O (g)} = 6.0912 \times 50 \times 10^{-4}$$

$$= 0.304$$

ดังนั้น น้ำทิ้ง 50 ลิตร ต้องการ Mn = 1.8 ppm จะต้องเติม $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 0.304$ กรัม

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการบันทึกผลการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในพืช

1. ข้อมูลการบันทึกผลการเจริญเติบโต น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกด้วยระบบ NFT แสดงได้ดัง ตาราง 52 ตาราง 53 ตาราง 54 และตาราง 55

ตาราง 52 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ปลูก	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	1	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	9.0
		2	3.5	3.5	4.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
		3	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.5	8.0	8.5
		4	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	6.5	8.0	10.0
		5	2.5	2.5	3.0	3.0	5.0	6.0	7.5	10.0
		6	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	6.5	8.0	10.0
		7	2.5	2.5	3.0	3.0	5.0	7.5	8.5	14.0
		8	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	7.0	8.5	11.0
	2	1	3.5	3.5	4.0	4.5	6.0	7.5	8.0	9.0
		2	3.5	3.5	4.0	4.5	6.0	7.0	8.0	9.0
		3	2.5	3.0	3.5	3.5	4.5	6.0	7.0	9.0
		4	3.0	4.0	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
		5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.5	6.5	8.5	11.5
		6	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.5	8.5
		7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	6.5	7.5	9.0
		8	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	6.5	8.5	11.0
	3	1	2.5	3.0	3.5	4.0	5.5	6.5	7.5	8.0
		2	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.5	7.0	7.0
		3	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5
		4	3.5	3.5	4.5	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0
		5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	7.0	8.0
		6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.5	9.5
		7	2.5	3.5	3.5	4.5	6.5	7.0	8.5	10.0
		8	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	8.5	12.0	13.5
	เฉลี่ย		3.00	3.23	3.75	4.33	5.44	6.63	7.81	9.40

ตาราง 52 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	1	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.5
		2	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0
		3	3.0	3.0	3.5	4.0	3.0	-	-	-
		4	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	5.5	6.0
		5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
		6	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.5	5.5	6.0
		7	3.0	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.0	9.0
		8	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.0	-	-
	2	1	3.0	3.5	3.5	4.0	3.5	3.0	-	-
		2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.0
		3	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	8.0
		4	3.0	3.0	3.5	3.5	4.5	5.0	6.5	7.0
		5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.0	-	-
		6	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0	5.5	7.5	9.0
		7	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	5.5	6.5	8.0
		8	3.0	3.5	3.5	4.0	3.0	2.0	-	-
	3	1	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.0	-	-
		2	3.5	3.5	3.5	4.0	5.5	6.0	6.5	7.5
		3	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0
		4	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	2.0	2.0	-
		5	3.5	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5
		6	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5
		7	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5	7.5
		8	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0
	เฉลี่ย		2.91	3.03	3.38	3.65	4.38	5.06	5.79	6.56

ตาราง 52 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	4.5	5.0	5.5
		2	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	-	-
		3	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	6.0	6.5
		4	3.0	3.0	3.0	3.0	4.5	5.5	6.5	7.0
		5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5
		6	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		7	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	5.5	6.5	7.0
		8	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.0	-	-
	2	1	3.5	3.5	4.0	5.0	5.0	5.0	-	-
		2	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0
		3	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	-	-	-
		4	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	4.5	4.5	5.0
		5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
		6	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
		7	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5
		8	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.5	5.5
	3	1	2.5	3.0	3.5	4.0	3.5	3.5	-	-
		2	3.5	3.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
		3	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5
		4	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	3.0	-	-
		5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
		6	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5
		7	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	-	-
		8	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5
เฉลี่ย			2.94	3.06	3.35	3.62	3.97	4.44	4.82	5.21

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 12 หน้า 65

- หมายถึง ตาย

ตาราง 53 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	1	4	5	7	10	12	15	17	20
		2	5	6	8	10	12	15	16	17
		3	4	5	7	9	11	13	15	18
		4	6	6	7	8	12	15	18	20
		5	5	6	6	7	9	15	19	21
		6	4	5	7	9	12	17	19	23
		7	6	6	7	8	13	15	18	22
		8	7	8	8	9	12	14	17	22
	2	1	5	6	7	8	11	15	16	17
		2	4	5	8	9	12	14	16	17
		3	6	7	7	8	11	13	17	20
		4	5	5	7	8	10	14	18	20
		5	4	6	7	8	10	14	17	20
		6	6	7	7	9	13	15	17	21
		7	6	6	6	7	11	16	18	22
		8	6	7	8	8	12	15	16	19
	3	1	6	7	7	9	12	14	16	18
		2	5	6	8	10	11	13	15	16
		3	4	5	8	10	12	13	13	14
		4	6	7	8	10	12	13	13	13
		5	6	7	9	11	12	15	16	17
		6	4	5	6	8	9	15	17	22
		7	7	7	8	9	12	16	18	20
		8	7	8	9	10	13	16	17	20
เฉลี่ย			5.33	6.17	7.38	8.83	11.50	14.58	16.63	19.13

ตาราง 53 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	1	5	6	6	8	10	12	12	13
		2	4	5	8	9	9	9	10	10
		3	6	6	7	7	5	-	-	-
		4	6	6	6	7	8	12	12	13
		5	5	5	6	7	8	10	12	14
		6	3	4	4	4	6	8	10	12
		7	4	5	6	7	9	13	15	17
		8	4	5	7	8	6	2	-	-
	2	1	4	6	7	8	5	2	-	-
		2	5	6	7	8	8	6	5	4
		3	4	5	6	7	8	10	12	14
		4	5	6	7	8	10	12	13	15
		5	7	8	8	8	6	3	-	-
		6	4	5	6	7	10	12	14	16
		7	4	6	6	6	8	12	13	14
		8	4	5	7	8	6	3	-	-
	3	1	4	5	7	8	7	3	-	-
		2	5	6	7	8	12	14	15	17
		3	6	7	8	10	12	12	13	14
		4	6	7	8	9	8	5	2	-
		5	6	7	8	9	10	10	10	11
		6	7	8	8	9	10	8	8	8
		7	4	5	7	8	10	13	15	17
		8	5	6	7	10	11	12	13	14
เฉลี่ย			4.82	5.76	6.65	7.76	9.35	10.88	11.88	13.12

ตาราง 53 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. นำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	5	6	8	8	9	11	11	12
		2	5	6	7	8	7	2	-	-
		3	4	5	8	7	9	10	10	11
		4	6	7	7	8	8	10	10	11
		5	6	7	7	7	9	10	11	11
		6	4	5	6	8	10	11	11	12
		7	7	7	7	8	10	12	15	15
		8	6	7	8	8	7	3	-	-
	2	1	4	5	6	8	5	2	-	-
		2	5	6	6	7	8	9	9	10
		3	7	7	8	8	3	-	-	-
		4	3	4	5	6	7	7	7	7
		5	4	5	8	9	9	9	9	9
		6	5	6	7	8	10	11	11	11
		7	7	8	8	9	10	12	13	13
		8	5	6	6	6	7	9	12	13
	3	1	6	7	8	10	6	2	-	-
		2	4	5	6	7	8	9	9	10
		3	5	6	7	8	9	12	13	14
		4	5	6	6	8	5	3	-	-
		5	4	5	7	7	8	6	5	5
		6	5	5	8	8	12	10	11	11
		7	5	6	7	9	10	3	-	-
		8	4	5	6	6	8	10	11	13
เฉลี่ย			4.88	5.76	6.88	7.47	8.88	9.88	10.47	11.06

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 15 หน้า 68

- หมายถึง ตาย

ตาราง 54 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	1	18	42	74	98	137	174	201	241
		2	22	58	90	142	148	147	150	150
		3	17	51	66	82	107	125	146	174
		4	20	48	67	85	112	148	180	226
		5	21	39	53	68	103	151	194	245
		6	19	28	37	52	118	178	253	352
		7	19	31	68	90	126	188	251	334
		8	19	41	78	113	130	195	262	340
	2	1	21	51	87	105	114	128	136	151
		2	22	55	92	121	129	137	141	143
		3	20	37	56	78	102	148	198	249
		4	19	40	82	116	134	161	187	219
		5	18	38	57	82	112	151	199	258
		6	20	32	45	76	110	162	214	274
		7	22	31	40	67	114	175	246	335
		8	21	30	41	62	120	181	258	343
	3	1	19	45	76	107	118	124	132	147
		2	20	48	80	101	115	121	128	132
		3	18	46	84	110	118	125	127	127
		4	21	51	85	114	120	124	128	130
		5	20	31	38	41	62	98	131	176
		6	19	30	37	65	109	157	194	257
		7	20	38	53	81	129	191	268	354
		8	21	39	51	78	126	187	260	348
เฉลี่ย			19.83	40.83	64.04	88.92	117.21	153.17	191.00	237.71

ตาราง 54 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	1	18	28	37	57	74	98	115	146
		2	20	30	38	63	65	62	43	38
		3	21	29	41	52	51	-	-	-
		4	19	25	28	31	42	58	70	88
		5	21	28	36	43	49	59	67	71
		6	18	30	41	50	58	64	68	69
		7	20	37	51	64	94	128	158	193
		8	20	28	35	42	48	48	-	-
	2	1	21	28	32	44	51	41	-	-
		2	19	22	24	25	31	39	50	59
		3	21	35	48	61	78	98	116	141
		4	20	33	41	56	71	92	109	134
		5	18	27	34	46	54	56	-	-
		6	19	28	33	47	58	75	98	120
		7	20	33	42	54	71	93	110	138
		8	21	29	38	49	57	55	-	-
	3	1	19	31	40	51	53	51	-	-
		2	18	30	43	58	79	108	155	173
		3	22	38	49	65	69	76	77	71
		4	21	27	29	32	38	42	37	-
		5	19	35	51	68	75	70	69	67
		6	20	32	45	56	56	58	57	57
		7	18	31	44	56	75	99	139	166
		8	19	36	53	70	75	75	62	53
เฉลี่ย			19.47	31.24	41.41	54.35	65.88	79.53	91.94	104.94

ตาราง 54 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. นำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	19	29	41	55	58	59	56	55
		2	22	33	46	67	72	75	-	-
		3	21	30	43	58	62	75	79	82
		4	18	28	39	47	52	75	81	91
		5	19	32	48	58	60	67	60	56
		6	19	32	49	65	68	69	72	68
		7	20	29	40	49	64	82	99	114
		8	22	34	46	61	65	60	-	-
	2	1	21	38	52	70	65	55	-	-
		2	18	39	48	61	69	72	80	87
		3	19	31	41	57	45	-	-	-
		4	17	29	44	55	62	75	86	95
		5	19	37	58	81	88	65	58	53
		6	20	37	57	78	85	92	98	108
		7	20	39	60	85	89	85	80	83
		8	21	32	42	52	65	70	82	101
	3	1	19	38	55	75	62	56	-	-
		2	17	37	49	65	72	82	86	90
		3	21	33	45	58	64	83	91	106
		4	22	33	42	51	62	60	-	-
		5	20	26	31	37	42	35	24	22
		6	19	32	46	62	62	60	62	63
		7	20	28	40	53	54	48	-	-
		8	18	21	26	33	35	65	72	84
เฉลี่ย			19.18	31.88	45.06	58.76	64.53	71.24	74.47	79.88

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 18 หน้า 71

- หมายถึง ตาย

ตาราง 55 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
1. สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน	1	1	38.8228	2.4389
		2	19.3928	1.0517
		3	17.3181	0.9865
		4	24.6742	1.3678
		5	32.4750	1.9091
		6	36.4530	1.8746
		7	59.4140	2.3532
		8	33.7788	1.7125
	2	1	18.7610	1.3218
		2	13.4876	0.9401
		3	29.1898	1.8365
		4	27.1110	1.6573
		5	37.0953	2.2771
		6	27.1383	1.7534
		7	37.0889	2.6062
		8	35.6215	2.1727
	3	1	17.3417	1.1953
		2	10.5330	1.0351
		3	9.3648	0.8331
		4	11.0227	0.7620
		5	15.6264	1.3120
		6	34.8900	2.0780
		7	41.8817	2.4801
		8	45.3390	2.4801
	เฉลี่ย		28.0759	1.6848

ตาราง 55 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
2. สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์	1	1	9.3417	0.7830
		2	2.9386	0.3674
		3	-	-
		4	5.7306	0.7612
		5	4.3056	0.4105
		6	5.8498	0.4869
		7	15.1120	1.0034
		8	-	-
	2	1	-	-
		2	2.0671	0.2013
		3	9.1028	0.6266
		4	9.6143	0.0909
		5	-	-
		6	11.3751	0.8366
		7	8.1980	0.6108
		8	-	-
	3	1	-	-
		2	13.5253	1.0248
		3	6.6596	0.5530
		4	-	-
		5	3.2707	0.2723
		6	1.5603	0.1539
		7	14.3767	1.0864
		8	5.0202	0.4296
	เฉลี่ย		7.5323	0.5705

ตาราง 55 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	วันที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
3. น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	2.3305	0.1776
		2	-	-
		3	2.7493	0.2109
		4	3.2088	0.2208
		5	1.9258	0.1701
		6	3.0309	0.2125
		7	8.8810	0.5911
		8	-	-
	2	1	-	-
		2	2.7350	0.2548
		3	-	-
		4	1.9890	0.1658
		5	1.1081	0.1081
		6	2.5212	0.2049
		7	3.0602	0.2308
		8	3.0540	0.2205
	3	1	-	-
		2	2.3088	0.2094
		3	4.1388	0.3358
		4	-	-
		5	0.9750	0.0701
		6	2.0404	0.1614
		7	-	-
		8	2.8088	0.2700
	เฉลี่ย		2.8744	0.2244

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 21 หน้า 75

- หมายถึง ตาย

2. ข้อมูลการบันทึกผลการเจริญเติบโต น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของพืชที่ปลูกในระบบ DFT แสดงได้ดัง ตาราง 56 ตาราง 57 ตาราง 58 และตาราง 59

ตาราง 56 ความสูงของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน	1	1	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	7.5	8.0
		2	3.0	4.0	4.5	4.5	5.5	7.5	9.5	11.0
		3	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	8.0	9.0	9.0
		4	3.5	3.5	4.0	4.0	5.0	6.5	7.5	9.0
		5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5	7.5	8.0
		6	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	5.0	7.5	8.0
		7	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	6.0	7.5	10.0
		8	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	6.5	8.5	11.0
	2	1	3.5	3.5	3.5	4.0	5.0	6.5	8.0	9.5
		2	3.0	3.5	3.5	4.0	5.5	6.0	7.5	8.0
		3	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	6.5	7.5	9.0
		4	3.5	3.5	4.0	5.0	5.5	6.5	7.5	10.0
		5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	6.5	7.0	10.0
		6	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	4.5	7.5	9.0
		7	2.5	2.5	3.0	3.0	4.5	5.5	6.5	8.0
		8	2.5	2.5	3.0	3.0	4.5	6.5	7.5	10.5
	3	1	2.0	2.5	3.0	3.0	5.0	7.5	8.0	8.0
		2	3.0	3.0	3.5	4.0	6.0	6.5	7.0	8.5
		3	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.5	6.0	7.5
		4	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	7.0	8.5
		5	2.5	3.5	4.0	4.5	5.0	7.5	8.5	10.5
		6	2.0	3.5	4.0	4.5	5.0	7.0	8.5	9.0
		7	3.0	3.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
		8	3.0	4.0	4.5	4.5	5.5	6.5	8.0	10.0
เฉลี่ย			2.90	3.27	3.73	4.33	5.04	6.42	7.65	9.08

ตาราง 56 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์	1	1	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	6.5
		2	2.5	2.5	3.0	3.0	4.5	5.0	6.0	7.0
		3	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	5.5	6.5	8.0
		4	3.0	3.0	4.0	5.0	5.5	3.0	-	-
		5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	5.0
		6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		7	2.5	2.5	3.0	3.0	4.5	5.0	7.0	8.0
		8	2.5	2.5	2.5	3.0	4.0	5.5	6.5	8.5
	2	1	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		2	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	6.0
		3	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.5	6.5
		4	3.5	3.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.5
		5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5
		6	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	5.5	7.0	8.0
		7	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0
		8	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	5.5	6.0	7.5
	3	1	2.5	3.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0
		2	2.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	-	-
		3	3.0	3.5	4.0	4.5	4.0	-	-	-
		4	2.5	3.0	4.0	4.5	5.5	5.5	6.0	6.0
		5	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.5	6.5
		6	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0
		7	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	5.0	6.5	7.0
		8	3.5	4.0	4.0	4.5	5.0	6.5	7.0	8.0
เฉลี่ย			2.83	3.05	3.50	3.74	4.38	5.07	5.86	6.64

ตาราง 56 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. นำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5
		2	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5
		3	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		4	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
		5	2.5	3.0	3.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5
		6	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	3.0	-	-
		7	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.5	5.5
		8	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0	5.5	6.5	7.0
	2	1	3.5	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
		2	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0
		3	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5
		4	2.5	3.0	4.0	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0
		5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	4.5	5.0
		6	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
		7	2.5	2.5	2.0	2.0	3.0	3.5	4.0	4.5
		8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0
	3	1	2.5	2.5	3.0	2.5	2.0	-	-	-
		2	3.0	3.0	3.5	3.5	2.0	2.0	-	-
		3	2.5	3.0	3.5	4.0	3.0	3.0	-	-
		4	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	-	-	-
		5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0
		6	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	6.0
		7	2.5	3.0	3.5	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0
		8	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	-	-	-
เฉลี่ย			2.94	3.03	3.42	3.72	4.14	4.50	4.78	5.00

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 24 หน้า 77

- หมายถึง ตาย

ตาราง 57 จำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	1	6	7	8	10	12	14	15	17
		2	6	7	9	10	13	15	16	17
		3	7	7	9	12	14	16	17	18
		4	7	7	7	8	10	13	16	17
		5	7	7	8	9	13	15	17	19
		6	6	7	8	9	11	13	15	17
		7	7	7	8	8	10	14	17	19
		8	8	8	8	8	12	16	20	22
	2	1	6	8	10	11	13	15	16	17
		2	6	6	7	9	12	15	16	18
		3	6	7	7	8	11	14	17	19
		4	4	5	6	7	11	14	16	18
		5	6	6	7	8	12	15	17	19
		6	5	5	6	8	8	9	10	12
		7	5	5	6	7	9	12	15	17
		8	4	6	7	8	11	14	18	21
	3	1	4	4	5	6	8	12	16	20
		2	4	5	6	8	12	14	18	21
		3	5	6	8	9	10	13	15	16
		4	7	7	8	9	12	15	18	20
		5	6	7	8	11	13	15	16	17
		6	6	7	9	11	12	15	16	17
		7	6	8	9	10	12	14	15	16
		8	5	6	8	10	12	13	13	14
เฉลี่ย			5.79	6.46	7.58	8.92	11.38	13.96	16.04	17.83

ตาราง 57 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์	1	1	6	6	8	9	11	12	13	14
		2	6	6	7	8	10	11	12	14
		3	7	7	7	8	10	12	14	15
		4	6	6	7	7	8	4	-	-
		5	5	6	8	9	9	10	9	9
		6	6	6	6	7	8	10	11	12
		7	5	5	6	7	9	12	15	18
		8	6	6	6	7	8	10	12	14
	2	1	6	6	6	7	8	9	10	13
		2	3	3	4	4	6	8	10	12
		3	8	8	8	8	10	15	16	17
		4	7	7	7	8	12	14	15	16
		5	5	6	7	8	9	9	9	9
		6	6	6	7	8	9	13	15	18
		7	6	6	7	8	9	9	10	10
		8	5	5	6	7	8	9	11	13
	3	1	6	7	7	8	8	9	10	12
		2	7	8	8	8	6	2	-	-
		3	6	7	8	10	4	-	-	-
		4	7	7	8	9	10	12	14	15
		5	7	7	8	9	10	12	12	13
		6	6	7	8	9	10	12	13	15
		7	7	7	7	8	12	14	14	16
		8	6	7	9	10	11	13	13	14
เฉลี่ย			6.00	6.24	7.00	7.90	9.38	11.19	12.29	13.76

ตาราง 57 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	1	7	7	9	10	10	10	11
		2	2	7	7	8	9	10	11	11
		3	3	6	6	7	8	9	10	10
		4	4	6	6	7	8	9	10	10
		5	5	5	6	6	7	8	9	10
		6	6	6	6	7	8	8	2	-
		7	7	5	6	7	8	9	11	12
		8	8	4	5	7	7	10	13	15
	2	1	1	6	7	9	10	7	7	7
		2	2	5	6	6	8	8	8	9
		3	3	6	7	8	10	10	10	10
		4	4	7	8	9	11	9	9	10
		5	5	6	6	7	8	10	10	10
		6	6	7	8	9	10	11	12	12
		7	7	5	6	7	8	8	9	9
		8	8	6	6	6	6	8	9	10
	3	1	1	6	6	6	6	4	-	-
		2	2	7	7	8	9	5	2	-
		3	3	6	6	7	7	7	3	-
		4	4	7	7	8	8	5	-	-
		5	5	6	6	7	7	8	10	12
		6	6	7	7	7	7	8	9	10
		7	7	6	6	7	7	8	9	10
		8	8	7	7	5	4	3	-	-
เฉลี่ย			5.94	6.44	7.39	8.28	8.89	9.78	10.44	11.44

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 27 หน้า 81

- หมายถึง ตาย

ตาราง 58 พื้นที่ทรงพุ่มของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	1	24	35	73	114	134	149	181	219
		2	21	28	41	51	86	118	140	175
		3	19	30	47	65	90	124	142	171
		4	21	25	33	42	70	101	132	167
		5	18	31	46	64	72	90	108	132
		6	18	29	37	50	82	116	144	194
		7	20	35	50	63	95	128	172	214
		8	18	27	39	51	91	142	189	257
	2	1	23	39	78	121	134	152	175	196
		2	19	37	61	96	111	129	148	170
		3	19	30	44	68	80	124	153	198
		4	18	34	55	70	104	141	183	213
		5	20	35	54	74	85	98	110	145
		6	21	35	55	79	92	109	117	132
		7	17	27	40	54	84	110	145	184
		8	20	31	47	69	107	149	192	254
	3	1	21	35	48	61	89	112	141	177
		2	18	31	43	57	78	123	145	180
		3	19	40	59	80	108	116	135	151
		4	21	41	55	76	100	122	154	175
		5	20	41	51	68	96	117	179	216
		6	20	46	57	78	104	135	168	236
		7	24	49	73	109	125	137	149	161
		8	18	37	52	69	88	107	127	173
เฉลี่ย		19.88	34.5	51.58	72.04	96.04	122.88	151.21	187.08	

ตาราง 58 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	1	19	25	36	55	62	68	76	88
		2	18	28	42	61	75	86	94	109
		3	18	27	29	58	75	92	117	143
		4	20	24	26	26	27	22	-	-
		5	22	25	28	32	35	39	36	34
		6	19	26	39	51	56	60	64	61
		7	23	29	43	60	71	86	104	128
		8	20	25	31	37	47	65	81	103
	2	1	20	26	35	42	48	58	64	62
		2	18	19	19	20	47	57	71	89
		3	21	30	45	68	77	86	102	120
		4	23	35	51	76	98	123	158	189
		5	18	27	37	54	57	60	60	61
		6	20	25	27	32	57	69	86	107
		7	21	29	41	51	58	61	64	65
		8	20	28	40	53	65	76	91	111
	3	1	18	34	49	68	71	75	78	79
		2	22	30	41	51	51	41	-	-
		3	19	28	37	58	42	-	-	-
		4	21	30	45	63	68	75	77	78
		5	21	28	39	50	60	61	60	59
		6	18	34	54	75	81	87	95	105
		7	21	31	42	54	58	65	75	87
		8	19	27	48	71	81	86	91	98
เฉลี่ย			19.80	28.00	39.05	53.86	64.14	73.10	83.05	94.10

ตาราง 58 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ ที่	ต้น ที่	อายุพืช (วัน)							
			21	24	27	30	33	36	39	42
3. นำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	17	27	39	57	67	78	91	103
		2	19	29	47	71	76	85	91	99
		3	19	28	41	61	67	73	74	71
		4	22	24	27	29	34	41	47	52
		5	20	32	41	68	73	79	85	94
		6	22	25	27	32	34	30	-	-
		7	18	30	49	68	71	83	95	103
		8	19	38	52	73	86	100	109	122
	2	1	21	34	50	64	57	44	39	36
		2	19	24	28	32	37	45	51	55
		3	18	29	43	60	54	48	41	39
		4	22	34	52	67	59	49	42	40
		5	20	24	29	35	42	48	58	67
		6	23	30	41	58	64	77	87	98
		7	18	24	28	33	35	37	40	38
		8	19	25	31	35	45	58	69	81
	3	1	22	28	33	38	34	-	-	-
		2	22	30	42	56	45	40	-	-
		3	19	31	49	59	47	39	-	-
		4	20	27	35	48	42	-	-	-
		5	19	35	49	62	68	74	86	90
		6	17	31	42	59	62	64	65	69
		7	20	28	40	52	55	57	58	58
		8	21	22	23	24	21	-	-	-
เฉลี่ย			19.44	29.22	40.50	54.67	58.44	63.33	68.22	73.06

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 30 หน้า 84

- หมายถึง ตาย

ตาราง 59 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ DFT

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
1. สารละลายธาตุอาหารสูตรมาตรฐาน	1	1	22.4520	1.1461
		2	22.3966	1.4966
		3	19.5957	1.0898
		4	23.0090	1.5293
		5	16.2258	0.9011
		6	23.1130	1.1945
		7	28.6748	1.4962
		8	41.3055	2.1712
	2	1	24.1100	1.6666
		2	18.0873	1.1995
		3	20.8896	1.3575
		4	19.5974	1.4430
		5	21.3139	1.2483
		6	12.7690	1.0018
		7	21.0646	1.6407
		8	41.5057	2.7919
	3	1	25.1317	1.4253
		2	27.0667	1.6206
		3	15.5189	1.0056
		4	24.7105	1.5158
		5	22.7859	1.5057
		6	21.3603	1.5766
		7	16.3140	1.1428
		8	13.8572	0.9713
	เฉลี่ย		22.6190	1.4224

ตาราง 59 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
2. สารละลายธาตุอาหารสังเคราะห์	1	1	7.0308	0.4918
		2	8.8419	0.6828
		3	10.1011	0.7213
		4	-	-
		5	2.5593	0.2385
		6	4.1189	0.4060
		7	17.7967	1.0849
		8	9.5434	0.7744
	2	1	4.3722	0.3428
		2	6.0147	0.6586
		3	9.6611	0.6276
		4	16.0350	1.0963
		5	2.2612	0.1641
		6	11.8865	0.8282
		7	4.7437	0.4511
		8	7.1619	0.5130
	3	1	6.1209	0.5126
		2	-	-
		3	-	-
		4	7.0555	0.5544
		5	5.5623	0.4503
		6	8.1086	0.7965
		7	7.6880	0.5820
		8	9.4425	0.8021
	เฉลี่ย		7.9098	0.6085

ตาราง 59 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่	ต้นที่	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
3. น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร	1	1	4.5135	0.3499
		2	4.6426	0.3128
		3	3.2404	0.2240
		4	2.1778	0.1388
		5	4.2972	0.2974
		6	-	-
		7	4.2340	1.3198
		8	9.4850	0.6682
	2	1	1.4382	0.1323
		2	1.5750	0.0986
		3	1.6745	0.1669
		4	1.6040	0.1104
		5	2.6830	0.2736
		6	4.4167	0.3375
		7	1.7722	0.1441
		8	2.9297	0.2415
	3	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
		4	-	-
		5	4.2144	0.3044
		6	2.5650	0.2081
		7	2.3080	0.1824
		8	-	-
	เฉลี่ย		3.3206	0.3062

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 33 หน้า 88

- หมายถึง ตาย

3. ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของพืชที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT แสดงได้ดังตาราง 60 ตาราง 61 และตาราง 62

ตาราง 60 ร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้ของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT

ระบบปลูกพืช	ชุดการทดลอง	ครั้งที่	จำนวนต้นที่ปลูก	เก็บเกี่ยวได้	ร้อยละที่เก็บเกี่ยวได้
NFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	8	8	100.00
		2	8	8	100.00
		3	8	8	100.00
		เฉลี่ย	8	8.00	100.00
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	8	6	75.00
		2	8	5	62.50
		3	8	6	75.00
		เฉลี่ย	8	5.66	70.83
	3. น้ำทิ้งจากโรงงาน ฆ่าสุกร	1	8	6	75.00
		2	8	6	75.00
		3	8	5	62.50
		เฉลี่ย	8	5.66	70.83
DFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	8	8	100.00
		2	8	8	100.00
		3	8	8	100.00
		เฉลี่ย	8	8.00	100.00
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	8	7	87.50
		2	8	8	100.00
		3	8	6	75.00
		เฉลี่ย	8	7.00	87.50
	3. น้ำทิ้งจาก โรงงานฆ่าสุกร	1	8	7	87.50
		2	8	8	100.00
		3	8	3	37.50
		เฉลี่ย	8	6.00	75.00

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 36 หน้า 90 และตาราง 39 หน้า 92

ตาราง 61 ผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT

ระบบปลูกพืช	ชุดการทดลอง	ครั้งที่	น้ำหนักสดทุกต้น (g)	พื้นที่เพาะปลูก (m ²)	ผลผลิต (g/m ²)
NFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	262.3287	1	262.3287
		2	225.4934	1	225.4934
		3	185.9993	1	185.9993
		เฉลี่ย	224.6071	1	224.6071
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	43.2783	1	43.2783
		2	40.3573	1	40.3573
		3	44.4128	1	44.4128
		เฉลี่ย	42.6828	1	42.6828
	3. น้ำทิ้งจากโรงงาน ฆ่าสุกร	1	22.1263	1	22.1263
		2	14.4675	1	14.4675
		3	12.2718	1	12.2718
		เฉลี่ย	16.2885	1	16.2885
DFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	196.7724	1	196.7724
		2	179.3375	1	179.3375
		3	166.7452	1	166.7452
		เฉลี่ย	180.9517	1	180.9517
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	59.9921	1	59.9921
		2	62.1363	1	62.1363
		3	43.9778	1	43.9778
		เฉลี่ย	55.3687	1	55.3687
	3. น้ำทิ้งจาก โรงงานฆ่าสุกร	1	32.5905	1	32.5905
		2	18.0933	1	18.0933
		3	9.0874	1	9.0874
		เฉลี่ย	59.7712	1	19.9237

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 36 หน้า 90 และตาราง 39 หน้า 92

ตาราง 62 ปริมาณธาตุอาหารในผักกาดหอมที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT

ระบบปลูกพืช	ชุดการทดลอง	ครั้งที่	P (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)
NFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	0.80	0.56	118.00
		2	0.88	0.35	119.00
		3	0.85	0.40	130.00
		เฉลี่ย	0.84	0.44	122.33
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	0.63	0.47	120.00
		2	0.80	0.42	122.00
		3	0.88	0.30	130.00
		เฉลี่ย	0.77	0.40	124.00
	3. น้ำทิ้งจากโรงงาน ฆ่าสุกร	1	0.68	0.80	130.00
		2	0.78	0.72	129.00
		3	0.63	0.73	130.00
		เฉลี่ย	0.70	0.75	129.67
DFT	1. สารละลายธาตุอาหาร สูตรมาตรฐาน	1	0.80	0.62	119.00
		2	0.75	0.36	118.00
		3	0.71	0.47	132.00
		เฉลี่ย	0.75	0.48	123.00
	2. สารละลายธาตุอาหาร สังเคราะห์	1	0.70	0.30	122.00
		2	0.99	0.30	127.00
		3	0.75	0.31	131.00
		เฉลี่ย	0.81	0.30	126.67
	3. น้ำทิ้งจาก โรงงานฆ่าสุกร	1	0.71	0.83	126.00
		2	0.70	0.63	131.00
		3	0.63	0.73	130.00
		เฉลี่ย	0.68	0.73	129.00

หมายเหตุ

ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวหนาหมายถึงนำไปแสดงในตาราง 42 หน้า 94 และตาราง 45 หน้า 97

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์สภาพน้ำ ธาตุอาหารในน้ำ และธาตุอาหารในพืชหลังเก็บเกี่ยว

ผลการวิเคราะห์สภาพน้ำ และธาตุอาหารในน้ำ และในพืชหลังเก็บเกี่ยวแสดงได้ดัง
ภาพประกอบ 9 ภาพประกอบ 10 ภาพประกอบ 11 ภาพประกอบ 12 ภาพประกอบ 13
และภาพประกอบ 14

แบบ วศ. 1



ที่ วท 0307/ 1375

ถึง นายรตน หิรัญ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ วัดตัวอย่าง ตาม คำร้อง
ลงวันที่ 11 มกราคม 2548 เลขรับ 218 วันที่ 11 มกราคม 2548
ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2548
กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โครงการพัฒนาระบบและวิศวกรรม
โทร 0 2201 7129


 TESTING
No. 0131



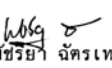
รายงานการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข
ตามผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ
น้ำเสีย		
โรงงานฆ่าสุกรคลองเตย		
หลังผ่านระบบบำบัด	- XS.806	

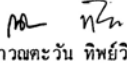
	TDS	Conductivity
	mg/l	μ mhos/cm
	848	175

ลักษณะตัวอย่าง : สีเหลืองอ่อน มีตะกอนเล็กน้อย
วันที่ทดสอบ : 17-22 มกราคม 2548
วิธีทดสอบ : TDS : In-house Method : TP.WW.EN.08 Based on Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, AWWA, APHA, 19th Ed.1995

ผู้รับรอง


(นางพิชยา จิตร์เท)
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

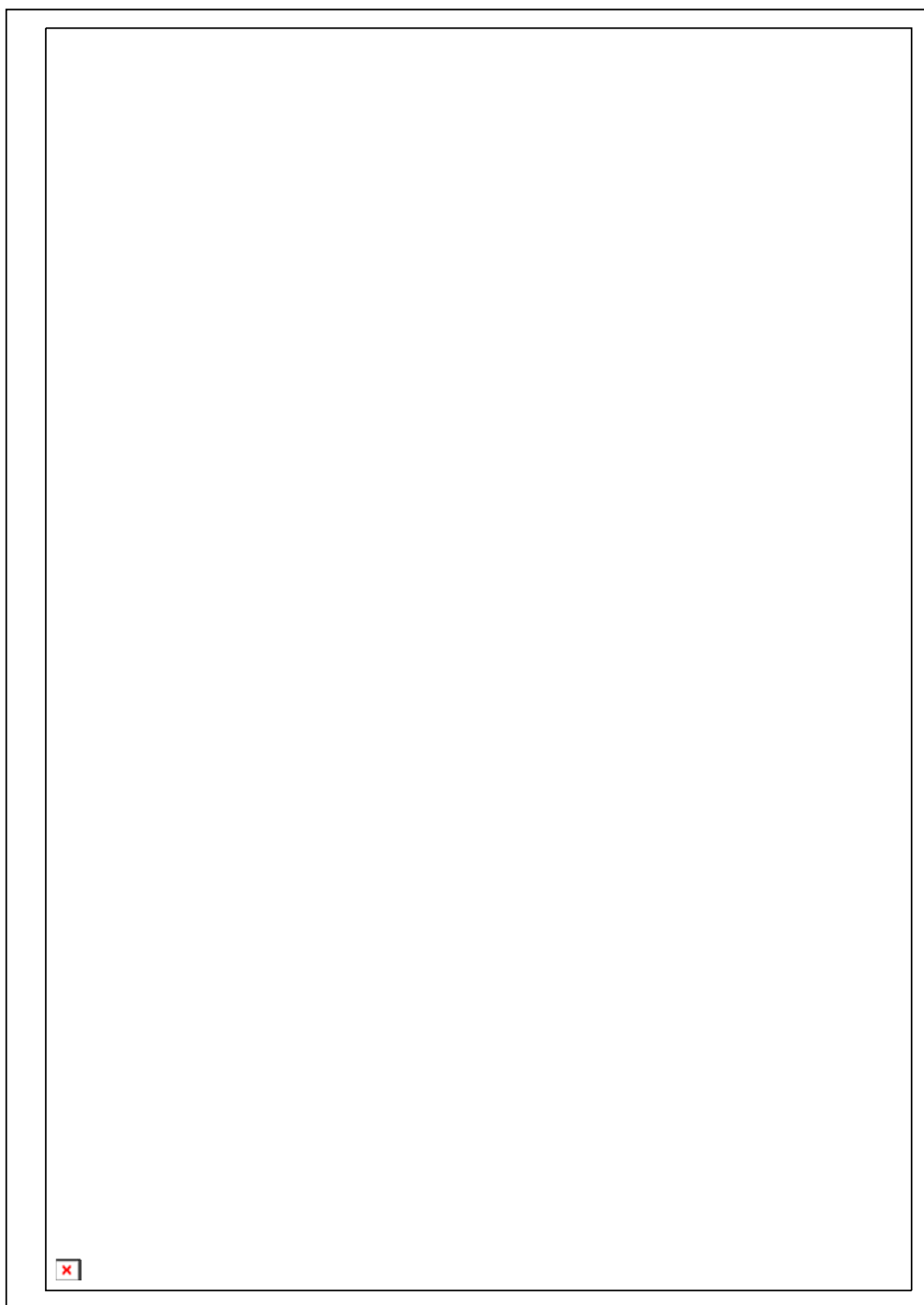
ผู้รายงาน


(นางสาวดวงวัน ทิพย์วิเศษ)
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

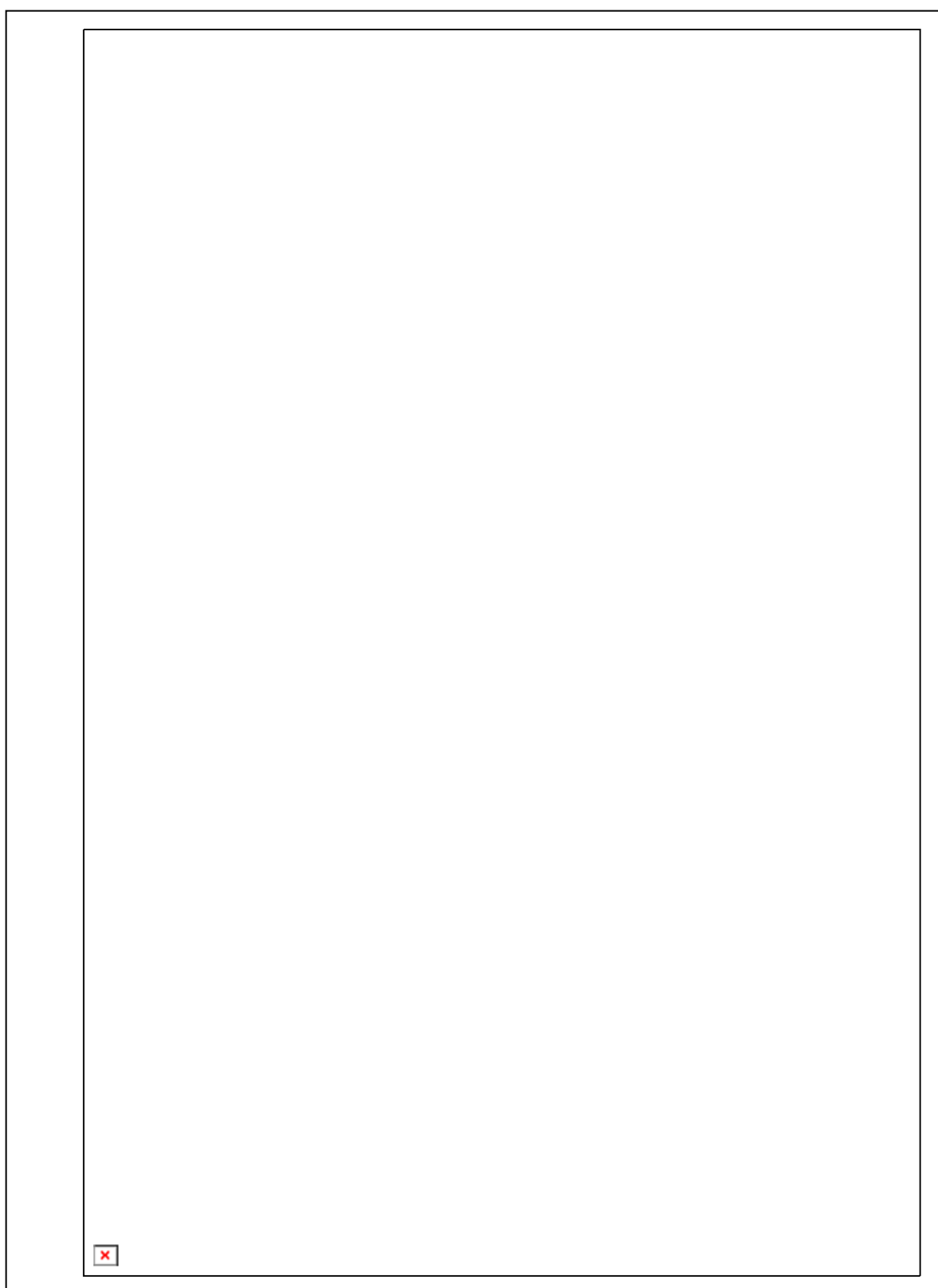
หมายเหตุ น้ำส่งตัวอย่างโดย นายรตน หิรัญ ระบุวันที่เก็บตัวอย่าง 11 มกราคม 2548 เวลา 9.00 น.

ห้ามคัดลอกในรับรองหรือรายงาน কোনแห่งใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากห้องปฏิบัติการเป็นลายลักษณ์อักษร
 รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
 - ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

ภาพประกอบ 9 รายงานการตรวจวิเคราะห์ทดสอบของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) และสภาพน้ำไฟฟ้า
(Conductivity) ในน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร



ภาพประกอบ 10 รายงานผลการวิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) ซัลเฟต (SO_4) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในน้ำประปา และน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร



ภาพประกอบ 11 รายงานการตรวจวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total N) และฟอสฟอรัส (Available P)
ในน้ำประปาและน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าสุกร

แผ่นที่ 1
Sheet No.

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY Tel. 9423104-5, 5614670 Fax: 9423106



รายงานเลขที่ P2

Report No.

วันที่เสนอรายงาน 19/1/48

Date of report:

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 11/1/48

Date of sample submitted:

ตัวอย่างของ คุณวราชน นีริญ

Sample submitted by:

ตัวอย่างจาก ตำบล

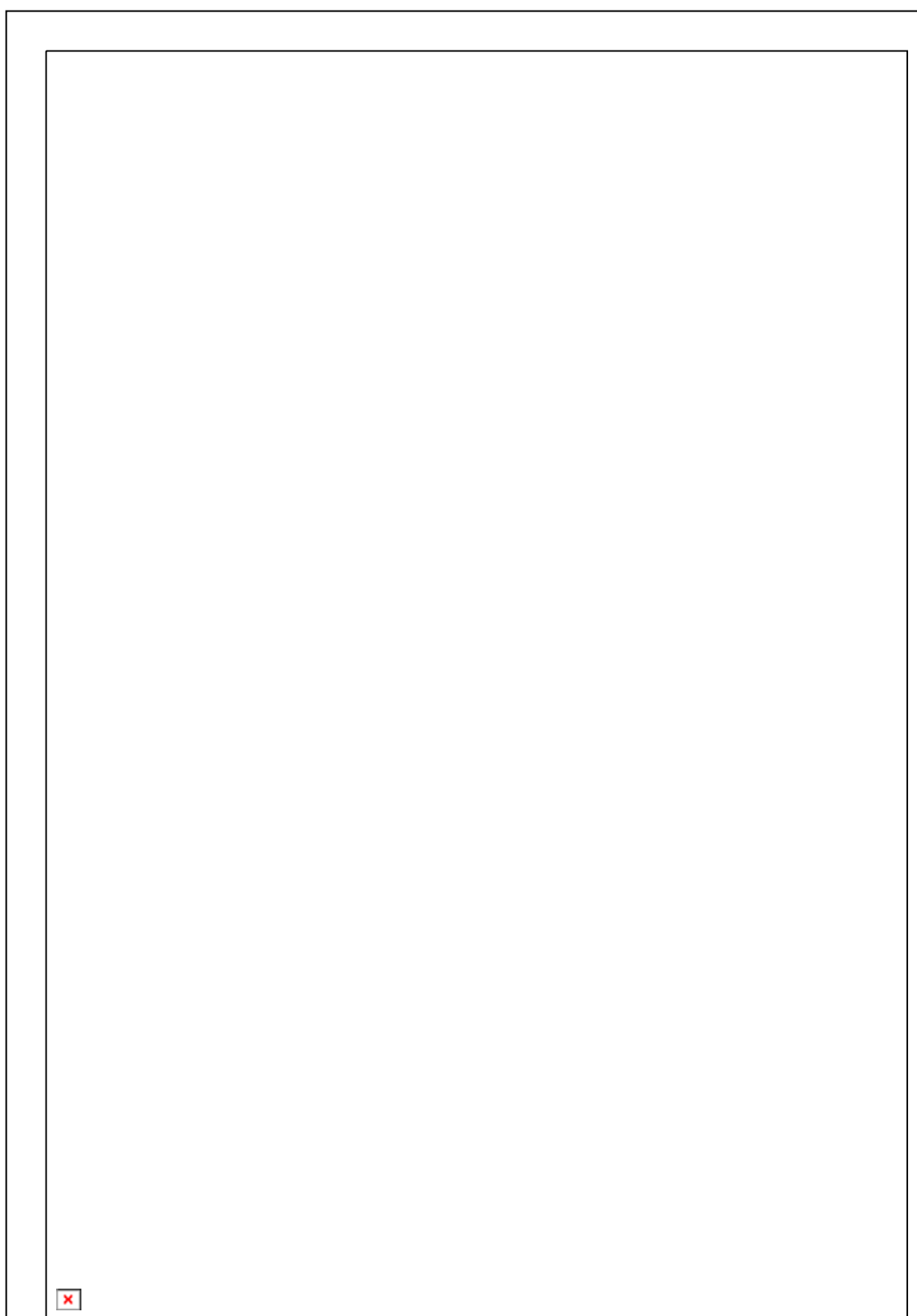
อำเภอ
จังหวัด

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กริทธิกรมย์ และคณะ
ผู้ทำการตรวจสอบ ดร.สุเทพ ทองแนพ

Sample No.	Laboratory No.	% in dry matter % โดย น.ม.แห้ง					% in dry matter % โดย น.ม.แห้ง				
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	
1/1	P2-1	-	0.80	-	0.56	-	-	-	118	-	
1/2	-2	-	0.80	-	0.62	-	-	-	119	-	
2/1	-3	-	0.63	-	0.47	-	-	-	120	-	
2/2	-4	-	0.70	-	0.30	-	-	-	122	-	
3/1	-5	-	0.68	-	0.80	-	-	-	130	-	
3/2	-6	-	0.71	-	0.83	-	-	-	126	-	
4/1	-7	-	0.88	-	0.35	-	-	-	119	-	
4/2	-8	-	0.75	-	0.36	-	-	-	118	-	
5/1	-9	-	0.80	-	0.42	-	-	-	122	-	
5/2	-10	-	0.99	-	0.30	-	-	-	127	-	
6/1	-11	-	0.78	-	0.72	-	-	-	129	-	
6/2	-12	-	0.70	-	0.63	-	-	-	131	-	

ภาพประกอบ 12 รายงานการตรวจวิเคราะห์ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe)

ในพืช แผ่นที่ 1



ภาพประกอบ 14 รายงานการตรวจวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Total P) ในสารละลายธาตุอาหาร
หลังปลูกพืช

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม SPSS แสดงได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	.083	2	.042	.253	.777
	Within Groups	9.059	55	.165		
	Total	9.142	57			
Day24	Between Groups	.489	2	.245	1.205	.308
	Within Groups	11.166	55	.203		
	Total	11.655	57			
Day27	Between Groups	2.064	2	1.032	2.965	.060
	Within Groups	19.147	55	.348		
	Total	21.211	57			
Day30	Between Groups	6.920	2	3.460	5.146	.009
	Within Groups	36.980	55	.672		
	Total	43.901	57			
Day33	Between Groups	23.814	2	11.907	20.687	.000
	Within Groups	31.656	55	.576		
	Total	55.470	57			
Day36	Between Groups	52.704	2	26.352	40.818	.000
	Within Groups	35.507	55	.646		
	Total	88.211	57			
Day39	Between Groups	96.197	2	48.099	43.794	.000
	Within Groups	60.406	55	1.098		
	Total	156.603	57			
Day42	Between Groups	189.234	2	94.617	39.287	.000
	Within Groups	132.460	55	2.408		
	Total	321.694	57			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	17	2.9118
3.00	17	2.9412
1.00	24	3.0000
Sig.		.535

Day24

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	17	3.0294
3.00	17	3.0588
1.00	24	3.2292
Sig.		.205

Day27

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	17	3.3529
2.00	17	3.3824
1.00	24	3.7500
Sig.		.055

Day30

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	3.6176	
2.00	17	3.6471	
1.00	24		4.3333
Sig.		.913	1.000

Day33

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	17	3.9706	
2.00	17	4.3824	
1.00	24		5.4375
Sig.		.102	1.000

Day36

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	4.4412		
2.00	17		5.0588	
1.00	24			6.6250
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day39

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	4.8235		
2.00	17		5.7941	
1.00	24			7.8125
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day42

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	5.2059		
2.00	17		6.5588	
1.00	24			9.3958
Sig.		1.000	1.000	1.000

2. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	3.276	2	1.638	1.463	.240
	Within Groups	61.569	55	1.119		
	Total	64.845	57			
Day24	Between Groups	2.273	2	1.137	1.170	.318
	Within Groups	53.451	55	.972		
	Total	55.724	57			
Day27	Between Groups	5.711	2	2.855	3.322	.043
	Within Groups	47.272	55	.859		
	Total	52.983	57			
Day30	Between Groups	21.528	2	10.764	7.933	.001
	Within Groups	74.627	55	1.357		
	Total	96.155	57			
Day33	Between Groups	81.732	2	40.866	24.001	.000
	Within Groups	93.647	55	1.703		
	Total	175.379	57			
Day36	Between Groups	256.792	2	128.396	48.580	.000
	Within Groups	145.363	55	2.643		
	Total	402.155	57			
Day39	Between Groups	434.599	2	217.300	47.123	.000
	Within Groups	253.625	55	4.611		
	Total	688.224	57			
Day42	Between Groups	732.669	2	366.335	46.071	.000
	Within Groups	437.331	55	7.951		
	Total	1170.000	57			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	17	4.8235
3.00	17	4.8824
1.00	24	5.3333
Sig.		.169

Day24

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	17	5.7647
3.00	17	5.7647
1.00	24	6.1667
Sig.		.244

Day27

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
2.00	17	6.6471	
3.00	17	6.8824	6.8824
1.00	24		7.3750
Sig.		.439	.109

Day30

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	7.4706	
2.00	17	7.7647	
1.00	24		8.8333
Sig.		.442	1.000

Day33

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	8.8824	
2.00	17	9.3529	
1.00	24		11.5000
Sig.		.273	1.000

Day36

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	9.8824	
2.00	17	10.8824	
1.00	24		14.5833
Sig.		.064	1.000

Day39

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	10.4706		
2.00	17		11.8824	
1.00	24			16.6250
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day42

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	11.0588		
2.00	17		13.1176	
1.00	24			19.1250
Sig.		1.000	1.000	1.000

3. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	4.392	2	2.196	1.312	.278
	Within Groups	92.039	55	1.673		
	Total	96.431	57			
Day24	Between Groups	1213.722	2	606.861	13.712	.000
	Within Groups	2434.157	55	44.257		
	Total	3647.879	57			
Day27	Between Groups	6203.586	2	3101.793	16.569	.000
	Within Groups	10296.017	55	187.200		
	Total	16499.603	57			
Day30	Between Groups	14896.070	2	7448.035	21.573	.000
	Within Groups	18988.775	55	345.250		
	Total	33884.845	57			
Day33	Between Groups	38061.628	2	19030.814	80.035	.000
	Within Groups	13077.958	55	237.781		
	Total	51139.586	57			
Day36	Between Groups	85707.597	2	42853.798	86.258	.000
	Within Groups	27324.627	55	496.811		
	Total	113032.224	57			
Day39	Between Groups	166069.737	2	83034.869	52.882	.000
	Within Groups	86361.176	55	1570.203		
	Total	252430.914	57			
Day42	Between Groups	302348.767	2	151174.383	40.637	.000
	Within Groups	204607.664	55	3720.139		
	Total	506956.431	57			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	17	19.1765
2.00	17	19.4706
1.00	24	19.8333
Sig.		.147

Day24

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
2.00	17	31.2353	
3.00	17	31.8824	
1.00	24		40.8333
Sig.		.766	1.000

Day27

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
2.00	17	41.4118	
3.00	17	45.0588	
1.00	24		64.0417
Sig.		.417	1.000

Day30

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
2.00	17	54.3529	
3.00	17	58.7647	
1.00	24		88.9167
Sig.		.469	1.000

Day33

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	64.5294	
2.00	17	65.8824	
1.00	24		117.2083
Sig.		.789	1.000

Day36

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	71.2353	153.1667
2.00	17	79.5294	
1.00	24		
Sig.		.258	1.000

Day39

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	74.4706	191.0000
2.00	17	91.9412	
1.00	24		
Sig.		.182	1.000

Day42

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	17	79.8824	237.7083
2.00	17	104.9412	
1.00	24		
Sig.		.213	1.000

4. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Weight	Between Groups	7544.631	2	3772.316	51.355	.000
	Within Groups	4040.032	55	73.455		
	Total	11584.663	57			
Mass	Between Groups	24.334	2	12.167	68.411	.000
	Within Groups	9.782	55	.178		
	Total	34.116	57			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Weight

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	17	2.8744	28.0759
2.00	17	7.5323	
1.00	24		
Sig.		.101	

Mass

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	17	.2244	.5705	1.6848
2.00	17			
1.00	24			
Sig.		1.000	1.000	1.000

5. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	.122	2	.061	.344	.710
	Within Groups	10.601	60	.177		
	Total	10.722	62			
Day24	Between Groups	.806	2	.403	1.986	.146
	Within Groups	12.178	60	.203		
	Total	12.984	62			
Day27	Between Groups	1.131	2	.566	1.776	.178
	Within Groups	19.115	60	.319		
	Total	20.246	62			
Day30	Between Groups	1.849	2	.925	1.668	.197
	Within Groups	33.254	60	.554		
	Total	35.103	62			
Day33	Between Groups	9.433	2	4.716	11.179	.000
	Within Groups	25.313	60	.422		
	Total	34.746	62			
Day36	Between Groups	41.627	2	20.813	40.977	.000
	Within Groups	30.476	60	.508		
	Total	72.103	62			
Day39	Between Groups	88.991	2	44.495	74.320	.000
	Within Groups	35.922	60	.599		
	Total	124.913	62			
Day42	Between Groups	178.175	2	89.087	84.303	.000
	Within Groups	63.405	60	1.057		
	Total	241.579	62			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	21	2.8333
1.00	24	2.8958
3.00	18	2.9444
Sig.		.428

Day24

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	18	3.0278
2.00	21	3.0476
1.00	24	3.2708
Sig.		.106

Day27

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	18	3.4167
2.00	21	3.5000
1.00	24	3.7292
Sig.		.097

Day30

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	18	3.7222
2.00	21	3.7381
1.00	24	4.0833
Sig.		.146

Day33

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	18	4.1389	
2.00	21	4.3810	
1.00	24		5.0417
Sig.		.235	1.000

Day36

Duncan

	N	Subset for alpha = .05		
Treatment	1	2	3	1
3.00	18	4.5000		
2.00	21		5.0714	
1.00	24			6.4167
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day39

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	4.7778		
2.00	21		5.8571	
1.00	24			7.6458
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day42

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	5.0000		
2.00	21		6.6429	
1.00	24			9.0833
Sig.		1.000	1.000	1.000

6. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนใบของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	.526	2	.263	.251	.779
	Within Groups	62.903	60	1.048		
	Total	63.429	62			
Day24	Between Groups	.645	2	.322	.332	.719
	Within Groups	58.212	60	.970		
	Total	58.857	62			
Day27	Between Groups	3.889	2	1.944	1.533	.224
	Within Groups	76.111	60	1.269		
	Total	80.000	62			
Day30	Between Groups	11.825	2	5.913	3.132	.051
	Within Groups	113.254	60	1.888		
	Total	125.079	62			
Day33	Between Groups	75.645	2	37.822	19.174	.000
	Within Groups	118.355	60	1.973		
	Total	194.000	62			
Day36	Between Groups	193.105	2	96.553	35.045	.000
	Within Groups	165.308	60	2.755		
	Total	358.413	62			
Day39	Between Groups	348.026	2	174.013	47.097	.000
	Within Groups	221.688	60	3.695		
	Total	569.714	62			
Day42	Between Groups	444.730	2	222.365	39.059	.000
	Within Groups	341.587	60	5.693		
	Total	786.317	62			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
1.00	24	5.7917
3.00	18	5.9444
2.00	21	6.0000
Sig.		.542

Day24

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	21	6.2381
3.00	18	6.4444
1.00	24	6.4583
Sig.		.503

Day27

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
2.00	21	7.0000
3.00	18	7.3889
1.00	24	7.5833
Sig.		.120

Day30

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
2.00	21	7.9048	
3.00	18	8.2778	8.2778
1.00	24		8.9167
Sig.		.386	.140

Day33

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
Treatment	1	2	1
3.00	18	8.8889	
2.00	21	9.3810	
1.00	24		11.3750
Sig.		.264	1.000

Day36

Duncan

	N	Subset for alpha = .05		
Treatment	1	2	3	1
3.00	18	9.7778		
2.00	21		11.1905	
1.00	24			13.9583
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day39

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	10.4444		
2.00	21		12.2857	
1.00	24			16.0417
Sig.		1.000	1.000	1.000

Day42

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	11.4444		
2.00	21		13.7619	
1.00	24			17.8333
Sig.		1.000	1.000	1.000

7. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ทรงพุ่มของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Day21	Between Groups	2.550	2	1.275	.414	.663
	Within Groups	184.879	60	3.081		
	Total	187.429	62			
Day24	Between Groups	537.968	2	268.984	11.405	.000
	Within Groups	1415.111	60	23.585		
	Total	1953.079	62			
Day27	Between Groups	2112.143	2	1056.071	10.922	.000
	Within Groups	5801.286	60	96.688		
	Total	7913.429	62			
Day30	Between Groups	4719.454	2	2359.727	8.035	.001
	Within Groups	17621.530	60	293.692		
	Total	22340.984	62			
Day33	Between Groups	18028.026	2	9014.013	36.186	.000
	Within Groups	14945.974	60	249.100		
	Total	32974.000	62			
Day36	Between Groups	44705.978	2	22352.989	73.431	.000
	Within Groups	18264.435	60	304.407		
	Total	62970.413	62			
Day39	Between Groups	85708.867	2	42854.434	74.378	.000
	Within Groups	34570.022	60	576.167		
	Total	120278.889	62			
Day42	Between Groups	160989.159	2	80494.579	77.296	.000
	Within Groups	62482.587	60	1041.376		
	Total	223471.746	62			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Day21

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	18	19.4444
1.00	24	19.8750
2.00	21	19.9048
Sig.		.432

Day24

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2.00	21	28.0000	34.5000
3.00	18	29.2222	
1.00	24		
Sig.		.421	1.000

Day27

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2.00	21	39.0476	51.5833
3.00	18	40.5000	
1.00	24		
Sig.		.636	1.000

Day30

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2.00	21	53.8571	72.0417
3.00	18	54.6667	
1.00	24		
Sig.		.880	1.000

Day33

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	18	58.4444	96.0417
2.00	21	64.1429	
1.00	24		
Sig.		.250	1.000

Day36

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	18	63.3333	122.8750
2.00	21	73.0952	
1.00	24		
Sig.		.077	1.000

Day39

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	18	68.2222	
2.00	21	83.0476	
1.00	24		151.2083
Sig.		.051	1.000

Day42

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	73.0556		
2.00	21		94.0952	
1.00	24			187.0833
Sig.		1.000	1.000	1.000

8. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Weght	Between Groups	4411.013	2	2205.507	88.433	.000
	Within Groups	1496.398	60	24.940		
	Total	5907.412	62			
Mass	Between Groups	14.392	2	7.196	67.231	.000
	Within Groups	6.422	60	.107		
	Total	20.814	62			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets****Weght**

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	3.3206		
2.00	21		7.9098	
1.00	24			22.6190
Sig.		1.000	1.000	1.000

Mass

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05		
	1	2	3	1
3.00	18	.3062		
2.00	21		.6085	
1.00	24			1.4224
Sig.		1.000	1.000	1.000

9. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Percent	Between Groups	1701.389	2	850.694	24.500	.001
	Within Groups	208.333	6	34.722		
	Total	1909.722	8			
Product	Between Groups	77189.759	2	38594.880	77.798	.000
	Within Groups	2976.552	6	496.092		
	Total	80166.312	8			

Post Hoc Tests**Homogeneous Subsets****Percent**

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2.00	3	70.8333	
3.00	3	70.8333	
1.00	3		100.0000
Sig.		1.000	1.000

Product

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
3.00	3	16.2885	
2.00	3	42.6828	
1.00	3		224.6071
Sig.		.197	1.000

10. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของพืชที่เก็บเกี่ยวได้และผลผลิตแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Percent	Between Groups	937.500	2	468.750	1.125	.385
	Within Groups	2500.000	6	416.667		
	Total	3437.500	8			
Product	Between Groups	42957.436	2	21478.718	138.145	.000
	Within Groups	932.877	6	155.480		
	Total	43890.313	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Percent

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
Treatment	1	1
3.00	3	75.0000
2.00	3	87.5000
1.00	3	100.0000
Sig.		.197

Product

Duncan

	N	Subset for alpha = .05			
Treatment	1	2	3	4	
3.00	3	19.9237			
2.00	3		55.3687		
1.00	3			180.9517	
Sig.		1.000	1.000	1.000	

11. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (NFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
P	Between Groups	.032	2	.016	2.036	.211
	Within Groups	.048	6	.008		
	Total	.080	8			
Ca	Between Groups	.225	2	.112	15.623	.004
	Within Groups	.043	6	.007		
	Total	.268	8			
Fe	Between Groups	88.667	2	44.333	1.830	.240
	Within Groups	145.333	6	24.222		
	Total	234.000	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

P

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
treatment	1	1
3.00	3	.6967
2.00	3	.7700
1.00	3	.8433
Sig.		.099

Ca

Duncan

	N	Subset for alpha = .05	
treatment	1	2	1
2.00	3	.3967	
1.00	3	.4367	
3.00	3		.7500
Sig.		.584	1.000

Fe

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
treatment	1	1
1.00	3	122.33
2.00	3	124.00
3.00	3	129.67
Sig.		.128

12. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ของพืชแต่ละชุดปลูกที่ปลูกด้วยระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชรากพืชในระดับลึก (DFT)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
P	Between Groups	.027	2	.013	1.435	.310
	Within Groups	.056	6	.009		
	Total	.083	8			
Ca	Between Groups	.275	2	.138	15.256	.004
	Within Groups	.054	6	.009		
	Total	.329	8			
Fe	Between Groups	54.889	2	27.444	.932	.444
	Within Groups	176.667	6	29.444		
	Total	231.556	8			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

P

Duncan

	N	Subset for alpha = .05
treatment	1	1
3.00	3	.6800
1.00	3	.7533
2.00	3	.8133
Sig.		.153

Ca

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = .05	
	1	2	1
2.00	3	.3033	
1.00	3	.4833	
3.00	3		.7300
Sig.		.059	1.000

Fe

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = .05
	1	1
1.00	3	123.0000
2.00	3	126.6667
3.00	3	129.0000
Sig.		.238

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายรตน หิรัญ
วันเดือนปีเกิด	9 กรกฎาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	ภูเก็ต
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	229/51 หมู่ 6 ถนนประชาสโมสร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จาก โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย ขอนแก่น
พ.ศ. 2544	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น
พ.ศ. 2550	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ