

การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในผักแขยง (*Limnophila aromatica*)  
จากสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกไร้ดินเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต  
และค่าโลหิตวิทยาในปลานิล

INCREASING ANTIOXIDANT ACTIVITY IN *Limnophila aromatica*  
FROM NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONICS FOR GROWTH  
AND HAEMATOLOGY IN NILE TILAPIA

ธัญญา โช๊ะลี  
THUNYA SHOLEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-081-326

การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในผักแขยง (*Limnophila aromatica*)  
จากสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกไร้ดินเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต  
และค่าโลหิตวิทยาในปลานิล

INCREASING ANTIOXIDANT ACTIVITY IN *Limnophila aromatica*  
FROM NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONICS FOR GROWTH  
AND HAEMATOLOGY IN NILE TILAPIA

ชญญา โชะลี

THUNYA SHOLEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-081-326

**INCREASING ANTIOXIDANT ACTIVITY IN *Limnophila aromatica*  
FROM NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONICS FOR GROWTH  
AND HAEMATOLOGY IN NILE TILAPIA**

**THUNYA SHOLEE**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE  
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2020**

**KMITL-2020-AG-M-081-326**

**COPYRIGHT 2020**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในผักแขยง ( <i>Limnophila aromatica</i> ) จากสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกไร้ดินเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล
นักศึกษา	นางสาวธัญญา ไซ้ะลี
รหัสประจำตัว	61604028
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การประมง
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อัจฉริ เรืองเดช

### บทคัดย่อ

การศึกษาองค์ประกอบสารพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 พบว่า ผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร ( $P < 0.05$ ) ขึ้นต่อมาทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่กำหนดค่าการนำไฟฟ้า (EC) 0.5, 1, 2 และ 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน พบว่า EC ที่ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ และในการศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพลีฟีนอลในเนื้อในสารละลายธาตุอาหารที่ 3.40, 3.90, 4.40, 4.90 และ 5.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเนื้อที่ 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงมากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เมื่อนำผักแขยงที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเนื้อที่ 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร มาเสริมในอาหารเพื่อเลี้ยงปลานิลที่ระดับ 0, 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า การเสริมผักแขยงในอาหารไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และค่าโลหิตวิทยาในปลานิล แต่สามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือยับยั้งการหืนของอาหารที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ได้ ( $P < 0.05$ ) โดยในการทดลองนี้แนะนำให้เสริมผักแขยงในอาหารที่ระดับ 25 กรัมต่อกิโลกรัม เพื่อผลิตปลาที่มีคุณภาพ สุขภาพดี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค

<b>Thesis</b>	Increasing Antioxidant Activity in <i>Limnophila aromatica</i> from Nutrient Solution in Hydroponics for Growth and Haematology in Nile Tilapia
<b>Student</b>	Miss Thunya Sholee
<b>Student ID.</b>	61604028
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Fisheries Science
<b>Year</b>	2020
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Uscharee Ruangdej

### ABSTRACT

The study of phytochemicals composition and antioxidant activity of *Limnophila aromatica* in hydroponics without nutrient solution and KMITL-2 nutrient solution found that *L. aromatica* grown with KMITL-2 nutrient solution has phytochemical substances and antioxidant activity more than without nutrient solution ( $P < 0.05$ ). The next step was to study the concentration of nutrient solutions that gave electrical conductivity (EC) at 0.5, 1, 2 and 3 mS/cm on the growth and antioxidant activity of *L. aromatica*, which found that EC value at 1 mS/cm is more suitable for the growth and antioxidant activity of *L. aromatica* than other treatment. The study of the potassium nitrate concentrations in nutrient solutions at 3.40, 3.90, 4.40, 4.90 and 5.40 meq/L for 4 weeks showed that *L. aromatica* grown with potassium nitrate concentrations in solution at 3.40 meq/L is the most suitable concentration for antioxidant activity ( $P < 0.05$ ). Finally, the *L. aromatica* was grown with potassium nitrate concentrations in solution at 3.40 meq/L in hydroponics was supplemented in diet at 0, 25, 50 and 75 g/kg for *Oreochromis niloticus*. It was found that supplementing the *L. aromatica* in diet not negatively affect growth, chemical composition of fish meat and haematology values in Nile tilapia but it can help to slow down the lipid oxidation reaction in diet after stored for 8 weeks. In this experiment, it is recommended to supplement *L. aromatica* in diet at 25 g/kg for production of quality fish, salubrity, free from chemicals or antibiotics, environmentally and consumer friendly.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ. ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ ที่คอยชี้แนะ แนะนำให้คำปรึกษาที่ดี พร้อมทั้งให้แนวทางแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้และอบรมสั่งสอนแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร. มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. สมชาย หวังวิบูลย์กิจ และ รศ. ดร. กนกรัตน์ ศรีกิจเกษมวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจและอบรมสั่งสอนข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงทุกคนที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจขณะทำการทดลอง

ธัญญา โഴ๊ะลี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ผักแขยง ( <i>Rice Paddy Herb, Limnophila aromatica</i> ).....	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีในพืชสมุนไพร.....	7
2.2.1 สารพฤกษเคมี (Phytochemicals).....	7
2.2.2 สารประกอบทางเคมีที่พบในพืชสมุนไพร.....	7
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีที่พบในผักแขยง.....	10
2.2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ในผักแขยง.....	12
2.3 การปลูกพืชไม่ใช้ดิน.....	14
2.4 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร.....	15
2.4.1 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	15
2.5 ธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช.....	17



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 ธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช.....	18
2.5.2 ธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช...	20
2.6 การใช้พืชสมุนไพรในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ.....	21
2.6.1 ระบบภูมิคุ้มกันของปลา.....	21
2.6.2 ส่วนประกอบของเลือดปลา.....	22
2.6.3 การใช้สมุนไพรในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลา.....	23
2.7 การใช้ประโยชน์จากผักแขยง.....	25
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>29</b>
3.1 พืชทดลอง.....	29
3.2 สัตว์ทดลอง.....	29
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	29
3.4 สารเคมีในการทดลอง.....	30
3.5 วิธีดำเนินการ.....	31
3.5.1 การศึกษาสารพิษจากเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	31
3.5.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	36
3.5.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	36
3.5.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิล ( <i>O. niloticus</i> ).....	38
3.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
3.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	41
3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	42
4.1 การศึกษาสารพิษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูก ไร้ดิน.....	42
4.1.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	42
4.1.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	42
4.1.3 องค์ประกอบทางโภชนะของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	43
4.1.4 สารพิษเคมีของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	43
4.1.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน...	44
4.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อ การเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	46
4.2.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุ อาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน.....	46
4.2.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุ อาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน.....	46
4.2.3 สารพิษเคมีของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุ อาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน.....	47
4.2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในความ เข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน.....	47
4.2.5 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน.....	48
4.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทในสารละลาย ธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผัก แขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	50
4.3.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความ เข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน.....	50
4.3.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความ เข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน.....	51

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 สารพิษเคมีของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน.....	51
4.3.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน.....	52
4.3.5 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน.....	53
4.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล ( <i>O. niloticus</i> ).....	54
4.4.1 องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง.....	54
4.4.2 ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ของอาหารทดลอง	55
4.4.3 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง.....	56
4.4.4 องค์ประกอบทางโภชนะของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง.....	57
4.4.5 ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง.....	57
บทที่ 5 วิจัยผลการศึกษา.....	59
5.1 การศึกษาสารพิษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	59
5.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	61
5.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน.....	63
5.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล ( <i>O. niloticus</i> ).....	65

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบในน้ำมันหอมระเหย (%) ของ <i>Limnophila aromatica</i> Lam. Merr.....	11
2.2	DPPH-scavenging activities, lipid peroxidation inhibition และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ของสารสกัดเอทานอลจากใบ <i>Limnophila aromatica</i> .....	13
2.3	ผลของอาหารที่เสริมสารสกัดผักแขยงต่อการเจริญเติบโตและน้ำหนักอวัยวะสัมพันธ์ของปลาคูกบักอูย.....	27
2.4	ความสามารถในการต้านจุลชีพ ต้านยุง และความเป็นพิษต่อเซลล์.....	28
3.1	สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่สารประกอบ $KNO_3$ แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง).....	37
4.1	การเจริญเติบโตของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	42
4.2	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	43
4.3	องค์ประกอบทางโภชนาของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ในระบบปลูกไร้ดินไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (dry weight basis, %).....	44
4.4	สารพฤกษเคมีของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	45
4.5	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC)ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	45

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	การเจริญเติบโตของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	46
4.7	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	47
4.8	สารพฤกษเคมีของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	48
4.9	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	49
4.10	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	49
4.11	การเจริญเติบโตของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	50
4.12	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	51
4.13	สารพฤกษเคมีของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	52
4.14	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง ( <i>L. aromatica</i> ) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	53

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.15	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	54
4.16	องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง ประกอบด้วย อาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 0 (กลุ่มควบคุม), 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม (dry weight basis, %).....	55
4.17	ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ของอาหารทดลองระหว่าง 0 และ 8 สัปดาห์.....	55
4.18	การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.....	56
4.19	องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (wet weight basis, %).....	57
4.20	ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.....	58

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ผักแขยง..... 6
2.2	สูตรโครงสร้างของ Caffeine..... 7
2.3	สูตรโครงสร้างของ Genistein..... 8
2.4	สูตรโครงสร้างของ Chrysophanol..... 8
2.5	สูตรโครงสร้างของ Umbelliferone..... 8
2.6	สูตรโครงสร้างของ Glycyrrhizin..... 9
2.7	สูตรโครงสร้างของ Gallotannin..... 9
2.8	สูตรโครงสร้างของ Squalene..... 10
2.9	สูตรโครงสร้างของ Testosterone..... 10
2.10	สูตรโครงสร้างของ Oleandrin..... 10
2.11	กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก..... 13
2.12	ผลของสารสกัดจากผักแขยงต่อ Whole Blood Reduced GSH (A), Plasma MDA (B) และ Plasma NOx Concentrations (C) ในสัตว์ทดลองทั้งหมด กำหนดให้ <i>C. formosum</i> (CF, ผักตั่ว), <i>S. gratum</i> (SG, ผักเม็ก), <i>L. aromatica</i> (LA, ผักแขยง), Phenylhydrazine (PHZ) และ N-acetylcysteine (NAC)..... 26



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) ประกอบกับอาหารที่มาจากสัตว์น้ำมีแนวโน้มความต้องการรับประทานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถรับประทานได้ง่ายและเหมาะสมสำหรับทุกเพศทุกวัย หนึ่งในสัตว์น้ำที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยมีการบริโภคภายในประเทศร้อยละ 90 ถึง 95 ได้แก่ ปลานิล (Nile tilapia) เป็นปลาเศรษฐกิจ แพร่ขยายพันธุ์ง่าย และมีรสชาติดี (เกวลิน, 2561) เกษตรกรจึงควรให้ความสำคัญในเรื่องความปลอดภัยทางด้านอาหารสัตว์น้ำ โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะในระบบการเลี้ยง หันมาเลือกสิ่งที่เป็นธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พืชหรือสมุนไพร เพื่อช่วยส่งเสริมภูมิคุ้มกันให้สัตว์น้ำมีสุขภาพที่ดี โดยพืชหรือสมุนไพรหลายชนิดได้รับการยืนยันทางวิชาการว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ซึ่งความสามารถดังกล่าวมีส่วนช่วยส่งเสริมสุขภาพของปลาได้ เช่น ผักแขยง (*Limnophila aromatica*) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเลือกพืชหรือสมุนไพรมาใช้ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อทำให้การเพาะเลี้ยงสามารถผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพ สุขภาพดีปลอดโรค ปราศจากสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค

ผักแขยงเป็นพืชล้มลุกสามารถอยู่ได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ พบมากในนาข้าว ลักษณะลำต้นอวบน้ำ ต้นและใบเมื่อหักดูจะมีกลิ่นหอมฉุน นิยมนำมารับประทานเป็นผักสด หรือปรุงอาหารประเภทต้มแกง มีสรรพคุณทางสมุนไพรช่วยลดไข้ แก้คัน หรือเป็นยาระบายอ่อน ๆ นอกจากนั้นยังจัดเป็นพรรณไม้น้ำสวยงามประดับตู้ปลา (อรนุช และคณะ, 2557) จากรายงานก่อนหน้านี้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง พบ limonene, (+)-trans-isolimonene,  $\alpha$ -humulene, nevadensin, gardenin B, nevadensin 7-O- $\beta$ -glucopyranoside และ isothymusin เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากผักแขยง (Sribusarakum et al., 2004; Bui et al., 2004) มีรายงานความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อาทิเช่นฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH ความสามารถในการรีดิวส์ (Reducing power) (Do et al., 2014) และ lipid peroxidation inhibition (Woraratphoka et al., 2012) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการปลูกผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน (Hydroponics) โดยข้อดีของการเลือกใช้ระบบนี้คือ สามารถควบคุมการใช้ธาตุอาหารของพืชได้ มีความสม่ำเสมอของการให้น้ำต่อพืช ประหยัดน้ำ ควบคุมโรคได้ง่าย สามารถปลูกได้ในทุกฤดูกาล และได้ผลผลิตที่สม่ำเสมอว่าการปลูกในดิน (ดิเรก, 2550) นอกจากนั้นการปลูกพืชในระบบปลูก

ไร่ดิน พืชได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ ผ่านสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำ เช่น สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ซึ่งเป็นสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมกับพรรณไม้ในในระบบปลูกไร่ดิน (นงนุช และคณะ, 2562) และวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารเป็นค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) (Brechtner, 1996) ทำให้สามารถตรวจสอบปริมาณสารและสามารถควบคุมระดับของปุ๋ยในสารละลายเพื่อให้พืชได้รับปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการได้ หากค่า EC ไม่เหมาะสมต่อพืชจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต โดยพืชแต่ละชนิดต้องการค่า EC ที่แตกต่างกัน

หนึ่งปัจจัยสำคัญในระบบปลูกไร่ดิน คือ น้ำและธาตุอาหารที่เตรียมเป็นสารละลายธาตุอาหารให้แก่พืชโดยตรง ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้สารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) เพราะเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรียสารหรือสารพฤษเคมีที่ประกอบกันเป็นกลุ่มอะตอม มีความสำคัญในกระบวนการที่ไซเอนไซม์และนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของอินทรียสาร พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรทไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออนเพราะถ้ามีแอมโมเนียมไอออนมากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้ ในขณะที่โพแทสเซียม (K) มีบทบาทสำคัญในด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น การทำงานของเอนไซม์ สมดุลออสโมติก การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปของโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) (ยงยุทธ, 2543) รวมถึงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยอาหารที่มีส่วนผสมของพืชหรือสมุนไพร เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผักแขยงจากระบบปลูกไร่ดินที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง นำมาเสริมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา ซึ่งทำให้การเพาะเลี้ยงสามารถผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพ สุขภาพดีปลอดโรค เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาสารพฤษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร่ดิน

1.2.2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร่ดิน

1.2.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) ในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร่ดิน

1.2.4 ศึกษาปริมาณของผักแขยงที่ใช้ผสมในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิล

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ผักแขยงที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ในระบบปลูกไร้ดินสามารถสร้างสารพฤษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักแขยงที่ไม่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร

1.3.2 ผักแขยงที่ปลูกในระบบปลูกไร้ดินมีการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) และความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ที่เหมาะสม

1.3.3 การเสริมผักแขยงในอาหารช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิล

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผักแขยงเป็นพืชล้มลุกสามารถอยู่ได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ นิยมนำมารับประทานเป็นผักสด หรือปรุงอาหารประเภทต้มแกง มีสรรพคุณทางสมุนไพร และจัดเป็นพรรณไม้น้ำสวยงามประดับตู้ปลา (อรนุช และคณะ, 2557) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการปลูกผักแขยงด้วยสารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ซึ่งเป็นสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมกับพรรณไม้น้ำในระบบปลูกไร้ดิน (นงนุช และคณะ, 2562) โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) และความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท ( $KNO_3$ ) ในสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน หลังจากนั้นนำผักแขยงที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดมาเสริมในอาหารสำหรับศึกษาปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิล

### 1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในระบบปลูกไร้ดิน (Hydroponics) โดยการเปรียบเทียบการเพิ่มสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกที่ละขั้นตอน ขั้นตอนแรก เปรียบเทียบชุดการทดลองที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารกับชุดที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ขั้นตอนที่สอง ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ขั้นตอนที่สาม ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) เพื่อให้ได้ผักแขยงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงและมีการเจริญเติบโตมาใช้ใน

ขั้นตอนที่สี่ คือ ศึกษาระดับการเสริมผักแขยงในอาหารต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาสารพิษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

วางแผนการทดลองแบบ T-test โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ผักแขยงที่ปลูกด้วยระบบ Deep flow techniques (DFT) ที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL 2 มีการเตรียมระบบปลูก เตรียมต้นไม้ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นไม้ ปลูกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากครบ 4 สัปดาห์ นำผักแขยงมาวิเคราะห์สารพิษเคมีเบื้องต้น 10 กลุ่ม ได้แก่ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คาร์ดิแอก์ไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ แอลคาลอยด์ คูมาริน และสเตอรอยด์ ตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Total Phenolic Compounds, Total Flavonoid Content ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay และ 2, 2'-azinobis-[3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid] (ABTS) radical scavenging assay

1.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยค่า EC ที่ 0.5, 1, 2, และ 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร นอกจากนี้มีการเตรียมต้นไม้ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของผักแขยงที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มาวิเคราะห์สารพิษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

1.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งการทดลอง ออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสารประกอบโพแทสเซียมในเตรท คือ 3.40, 3.90, 4.40, 4.90 และ 5.40 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อลิตร โดยมีการเตรียมระบบปลูกที่ปรับค่า EC ตามชุดการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 นอกจากนี้มีการเตรียมต้นไม้ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของผักแขยงที่เลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มาวิเคราะห์สารพิษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

1.5.4 ศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิล (*O. niloticus*)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยการเสริมผักแขยงในอาหารปลาจากชุดการทดลองที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 3 คือ 0, 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมีการเตรียมระบบเลี้ยง เตรียมสัตว์ทดลอง เตรียมอาหาร ทดลองให้อาหาร วิเคราะห์การเจริญเติบโต และเมื่อครบ 8 สัปดาห์ นำปลามาวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา และค่าโลหิตวิทยา

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ผักแขยง (Rice Paddy Herb, *Limnophila aromatica*)

ผักแขยง (Rice Paddy Herb, *Limnophila aromatica*) จัดอยู่ในวงศ์ Scrophulariaceae หรือรู้จักในชื่อท้องถิ่น ได้แก่ ผักแขยง (ภาคกลาง) ผักพา (ภาคเหนือ) ผักอ้อม (จังหวัดนครราชสีมา) และผักกะแยง (ภาคอีสาน) เป็นพืชล้มลุกอยู่ได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ ชอบขึ้นในน้ำหรือที่ชื้นแฉะ พบมากในนาข้าว ลำต้นอวบน้ำ ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยวรูปหอกไม่มีก้านใบ ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ใบออกตรงกันข้ามและตั้งฉากกับลำต้น ดอกออกเป็นช่อที่มุมโคนกิ่ง ก้านช่อดอกยาวมีขน กลีบดอกสีม่วงแดง โคนกลีบติดกันเป็นหลอดยาว (ภาพที่ 2.1) ต้นและใบเมื่อหักจะมีกลิ่นหอมฉุน นิยมนำมารับประทานเป็นผักสด หรือปรุงอาหารประเภทต้มแกง มีสรรพคุณทางสมุนไพร ช่วยลดไข้ แก้คัน หรือเป็นยาระบายอ่อน ๆ นอกจากนี้ยังจัดเป็นพรรณไม้น้ำสวยงามประดับตู้ปลา (อรนุช และคณะ, 2557)



ภาพที่ 2.1 ผักแขยง

#### 2.2 องค์ประกอบทางเคมีในพืชสมุนไพร

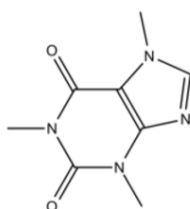
สารประกอบทางเคมีที่พบในพืชสมุนไพร สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) Primary metabolite พบในพืชทุกชนิดได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เม็ดสี และเกลืออนินทรีย์ เป็นต้น (2) Secondary metabolite เป็นสารประกอบที่มีลักษณะพิเศษ พบต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ (Biosynthesis) ที่มีเอนไซม์ (Enzyme) มาเกี่ยวข้อง (กฤษฎาภรณ์ และคณะ, 2547)

## 2.2.1 สารพฤกษเคมี (Phytochemicals)

สารพฤกษเคมี คือ สารเคมีตามธรรมชาติที่พบได้ในพืช จัดเป็น Secondary metabolite ปัจจุบันพบมากกว่า 15,000 ชนิด มีหน้าที่ให้สี สัน รสชาติ เป็นระบบภูมิคุ้มกันที่คอยปกป้องพืชจากผลไม้ เมล็ดธัญพืช และถั่วต่าง ๆ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ ในคน เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็ง โรคกระดูกพรุน โรคปอด ไปจนถึงโรคเมเร็ง สามารถสร้างประโยชน์ด้วยกลไกการออกฤทธิ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เมื่อเข้าสู่ร่างกายอาจช่วยให้เอนไซม์บางกลุ่มทำงานได้ดีขึ้น หรือช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่ทำลายสารก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกาย มีผลทำให้สารก่อมะเร็งหมดฤทธิ์ ช่วยลดความเครียดที่เกิดจากการออกซิเดชัน (Oxidative Stress) ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์ ควบคุมการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนต่อต้านการอักเสบ ช่วยกำจัดสารพิษ และช่วยให้ร่างกายทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (นันทวัน, 2557) อย่างเช่น สารประกอบฟีนอลิก มีบทบาทสำคัญในการต้านแบคทีเรียต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ เป็นต้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นกลุ่มสารที่พบทั่วไปในพืช ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบ คือ สารประกอบพอลิฟลาโวนอยด์ นอกจากนั้นสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งสารให้อิเล็กตรอน หรือเป็นตัวให้อิโคโนเจน ทำให้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญชนิดหนึ่ง (Halliwell et al., 1992; Vajraguta et al., 2007)

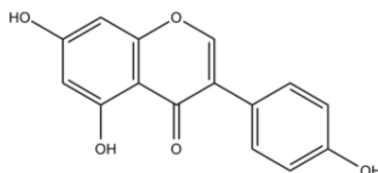
## 2.2.2 สารประกอบทางเคมีที่พบในพืชสมุนไพร

2.2.2.1 อัลคาลอยด์ (Alkaloids) เป็นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ในธรรมชาติพบอยู่ในรูปเกลือของกรดอินทรีย์ในรูปอิสระ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ คุณสมบัติทั่วไปของอัลคาลอยด์ คือ มีรสขม เป็นผลึกไม่มีสี สามารถรวมตัวกับกรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์ได้ ตัวอย่างเช่น Caffeine ที่พบในชาและกาแฟ (ภาพที่ 2.2)



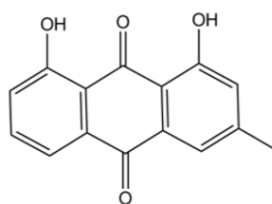
ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ Caffeine

2.2.2.2 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลิก พบมากในธรรมชาติ มีโครงสร้างพื้นฐานเป็น C6-C3-C6 ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย Pyran ring จับกับ 3 Carbon chain และ 1 Benzene ring (ภาพที่ 2.3) มีลักษณะเป็นเม็ดสี (Pigment) ตามส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยเฉพาะใน ส่วนดอก ตัวอย่างเช่น Genistein ที่พบมากในถั่วเหลือง



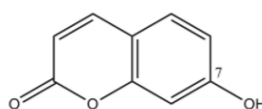
ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ Genistein

2.2.2.3 แอนทราควิโนน (Anthraquinones) เป็นสารควิโนนที่พบมากที่สุด พบได้ทั้งในรูปอิสระและไกลโคไซด์ มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย 3 วงแหวน แอนทราควิโนนส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวสูง สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย เช่น เบนซีน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม นำมาใช้ประโยชน์เป็นยาระบาย สีย้อม ยารักษาเชื้อราที่ผิวหนัง ตัวอย่างเช่น Chrysophanol (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของ Chrysophanol

2.2.2.4 คูมาริน (Coumarin) เป็นแลคโตนของ O-hydroxy cinnamic acid พบได้ทั้งในรูปอิสระและไกลโคไซด์ คูมารินส่วนใหญ่ในธรรมชาติจะมีออกซิเจนที่ตำแหน่ง C-7 (อาจพบในรูปของ Hydroxyl หรือ Alkoxy) และสารบางตัวระเหยได้ มีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น เป็นสารแต่งกลิ่น ยาบำรุงเลือด และรักษาโรคคางขาว ตัวอย่างเช่น Umbelliferone (ภาพที่ 2.5)

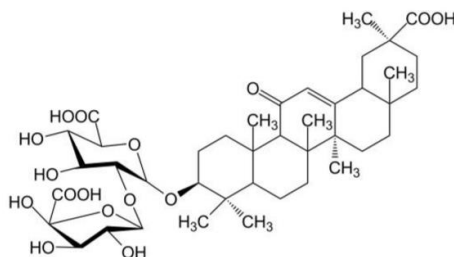


ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของ Umbelliferone

2.2.2.5 ซาโปนิน (Saponins) เป็นสารพวก Steroids หรือ Triterpenoids จับกับส่วนน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาลที่ตำแหน่ง C3 ได้เป็น O-glycoside มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ดี

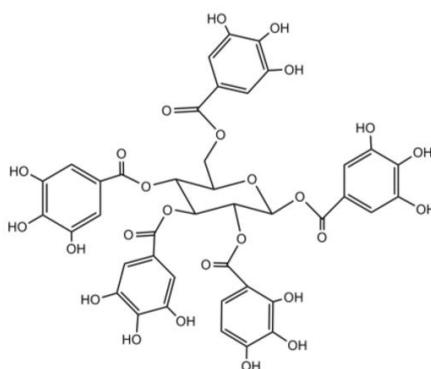


และสามารถทำให้เม็ดเลือดแดงแตกได้ ตัวอย่างเช่น Glycyrrhizin (ภาพที่ 2.6) โดยมีรายงาน ปลาหางเหลืองที่ได้รับอาหารผสมซาโปนินจากต้นสบู่ (soapbark, *Quillaja saponin*) มีภูมิคุ้มกันโรคที่ดีขึ้น (ชนกันต์, 2556)



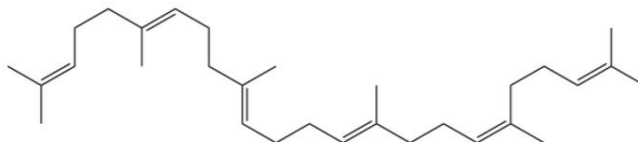
ภาพที่ 2.6 สูตร โครงสร้างของ Glycyrrhizin

2.2.2.6 แทนนิน (Tannins) เป็นสารโพลีฟีนอลิกที่มีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่และซับซ้อน พบได้ทั้งในรูปอิสระและรูปไกลโคไซด์ มีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เนื่องจากสามารถตกตะกอนโปรตีนที่หนังสัตว์ได้ ใช้เป็นยาฝาดสมาน เป็นส่วนผสมในตำรายาแก้ท้องเสีย และใช้กับบาดแผลที่ผิวหนัง เพื่อให้แผลหายเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น Gallotannin (ภาพที่ 2.7)



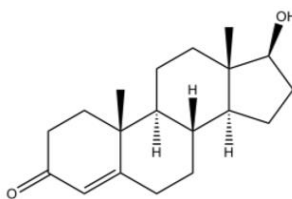
ภาพที่ 2.7 สูตร โครงสร้างของ Gallotannin

2.2.2.7 เทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) พบมากที่สุด ในธรรมชาติ ประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุด คือ Isoprene unit ซึ่งเป็นสายโซ่กิ่งของคาร์บอน 5 อะตอม มีโครงสร้างได้หลายแบบและมีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของคาร์บอนใน Isoprene unit ส่วนใหญ่จะละลายได้ดีในไขมัน ไม่มีสี พบได้ในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) ของเซลล์หรือเนื้อเยื่อพิเศษ ตัวอย่างเช่น Squalene (ภาพที่ 2.8)



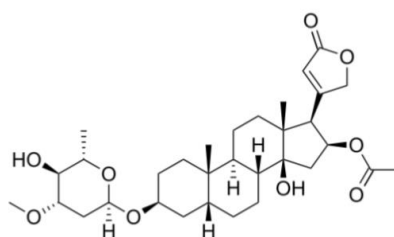
ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของ Squalene

2.2.2.8 สเตอรอยด์ (Steroids) มีโครงสร้างพื้นฐานเป็น Cyclopentanoperhydrophenanthrene คล้ายคลึงกับสารในกลุ่ม Tetracyclic Triterpenes มาก เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญ เนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ยา เช่น ยาลดการอักเสบ ยารักษาโรคหัวใจ ยาขับปัสสาวะ ตลอดจนสังเคราะห์เป็นฮอร์โมนเพศ และยากุมกำเนิด ตัวอย่างเช่น Testosterone (ภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของ Testosterone

2.2.2.9 คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) สามารถออกฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อหัวใจได้ โดยไปเพิ่มแรงบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ ใช้รักษาโรคหัวใจวาย ตัวอย่างเช่น Oleandrin พบในยี่โถ (ภาพที่ 2.10) (จันทร์เพ็ญ, 2559)



ภาพที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของ Oleandrin

### 2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีที่พบในผักแขยง

รายงานของ Sribusarakum et al. (2004) พบว่า การสกัดผักแขยงด้วยเมทานอลโดยวิธี Soxhlet extraction ให้ผลผลิต เท่ากับ 19.42 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาแยกน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี

Hydrodistillation ให้ผลผลิตเท่ากับ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมี limonene, (+)-trans-isolimonene และ  $\alpha$ -humulene เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

Vairappan and Nagappan (2014) รายงานพบว่า น้ำมันหอมระเหยของผักแขยงมีสารอินทรีย์ระเหยได้ทั้งหมด 36 ชนิด และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอย่างละเอียดด้วยวิธี Gas Chromatography Mass Spectroscopic (GC-MS) แสดงให้เห็นสารระเหยที่สำคัญ 7 ชนิด คือ amyl vinyl carbinol, terpinolene,  $\beta$ -linalool, sabinene, terpinen-4-ol,  $\alpha$ -humulene และ aromadendrene โดย sabinene,  $\alpha$ -terpineol, linalool และ terpinen-4-ol ที่พบมีความสามารถเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive potential) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและจุลินทรีย์ได้ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบในน้ำมันหอมระเหย (%) ของ *Limnophila aromatica* Lam. Merr.

RT (min)	RRI	Compounds	Concentration (%)	Identification mode
8.10	927	$\alpha$ -thujene	1.43 $\pm$ 0.04	MS, FFNSC
9.83	1042	8-nonen-2-one	0.20 $\pm$ 0.19	MS, NIST
10.30	969	Amyl vinyl carbinol	5.04 $\pm$ 0.26	MS, NIST
10.57	958	$\beta$ -myrcene	0.45 $\pm$ 0.03	MS, NIST
11.85	1018	$\alpha$ -terpinene	0.44 $\pm$ 0.17	MS, FFNSC
12.40	1030	Limonene	0.36 $\pm$ 0.20	MS, FFNSC
13.09	1046	$\beta$ -E-Ocimene	0.58 $\pm$ 0.74	MS, FFNSC
13.70	998	$\gamma$ -terpinene	1.04 $\pm$ 0.05	MS, NIST
14.35	1041	3-carene	2.29 $\pm$ 0.94	MS, NIST
14.93	1086	Terpinolene	6.01 $\pm$ 0.44	MS, FFNSC
15.73	1082	$\beta$ -Linalool	7.64 $\pm$ 0.89	MS, NIST
15.80	1014	Terpinene-4-acetate	1.99 $\pm$ 0.66	MS, NIST
16.55	1113	Phenethyl alcohol	0.43 $\pm$ 0.22	MS, FFNSC
16.90	972	Sabinene	30.06 $\pm$ 1.03	MS, FFNSC
17.62	1082	cis-sabinol	0.41 $\pm$ 0.07	MS, NIST
18.15	1121	Camphor	0.49 $\pm$ 0.16	MS, NIST
19.60	1137	Terpinen-4-ol	14.06 $\pm$ 0.08	MS, NIST
19.97	1189	$p$ -cymen-8-ol	0.59 $\pm$ 0.62	MS, FFNSC
20.31	1308	$\alpha$ -terpinyl formate	1.23 $\pm$ 0.12	MS, FFNSC
21.61	1136	Trans-3-carene-2-ol	0.23 $\pm$ 0.03	MS, NIST
22.65	1212	Linalyl formate	0.18 $\pm$ 0.05	MS, FFNSC
24.37	1314	2-pinen-10-ol	0.19 $\pm$ 0.77	MS, NIST
26.43	1072	Isomyrcenol	0.21 $\pm$ 0.94	MS, FFNSC
28.74	1356	$p$ -acetanisole	0.79 $\pm$ 0.26	MS, FFNSC
30.11	1494	Caryophyllene	3.82 $\pm$ 0.11	MS, FFNSC
31.33	1452	$\beta$ -farnescene	1.49 $\pm$ 0.82	MS, FFNSC
31.67	1454	$\alpha$ -humulene	12.05 $\pm$ 1.01	MS, FFNSC
35.83	1508	$\beta$ -bisabolene	0.42 $\pm$ 0.12	MS, FFNSC
36.92	1438	Aromadendrane	3.42 $\pm$ 0.04	MS, FFNSC
37.33	1673	$\alpha$ -trans-bergamol	0.21 $\pm$ 0.67	MS, NIST
38.06	1507	Caryophyllene oxide	0.17 $\pm$ 0.08	MS, NIST
40.43	1576	Spathulenol	0.28 $\pm$ 0.93	MS, FFNSC
40.56	2009	Eicosane	1.32 $\pm$ 0.41	MS, NIST
45.32	1834	Naphtalen-2-one	0.26 $\pm$ 0.39	MS, FFNSC
48.94	1925	Methyl palmitate	0.14 $\pm$ 0.15	MS, FFNSC
54.66	18.36	Neophytadiene	0.19 $\pm$ 0.31	MS, FFNSC

ที่มา : Vairappan and Nagappan (2014)

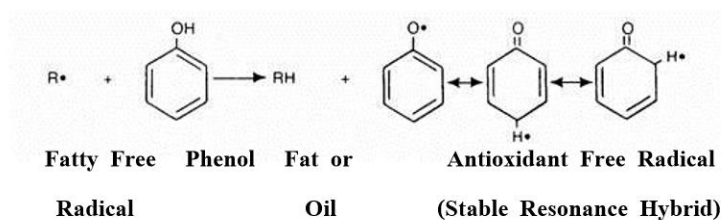
มีรายงานว่า ผักแขยงมีซาโปนินและแทนนิน เท่ากับ 1.3 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากน้ำหนักแห้ง 87.6 เปอร์เซ็นต์ (Ngamsaeng et al., 2006) และในรายงานของ Chowdhury et al. (2011) พบว่า ชั้นส่วนเหนือพื้นดินของผักแขยงที่สกัดน้ำมันโดยวิธี Hydro distillation ได้ผลิตของน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ และระบุองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี GC-MS ได้ทั้งหมด 29 ชนิด หรือคิดเป็น 99.3 เปอร์เซ็นต์ โดยมี Z-ocimene, terpinolene และ camphor เป็นองค์ประกอบหลัก

รายงานของ Bui et al. (2004) ได้นำชั้นส่วนเหนือพื้นดินของผักแขยง (1.5 กิโลกรัม) แห้งในเอทานอล 96 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องมาตรวจสอบโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ในผักแขยงด้วยวิธี NMR spectroscopy และ HPLC พบ โครงสร้างฟลาโวนอยด์ในผักแขยง 7 ชนิด ได้แก่ nevadensin, gardenin B, isothymusin, pilosin, 8-hydroxysalvigenin และ pectolinarigenin โดยมี nevadensin และ gardenin B ในสัดส่วนมากที่สุด รองลงมา คือ isothymusin

#### 2.2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ในผักแขยง

อนุมูลอิสระ (Free radical) คือ โมเลกุลที่ไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีผลทำลายโมเลกุลอื่น ๆ ต่อเนื่องกันไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย ถ้ามีมากจะเป็นอันตรายได้ โดยไปทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และอื่น ๆ ในระยะสั้นอนุมูลอิสระมีผลต่อการอักเสบและการทำลายเนื้อเยื่อ ส่วนในระยะยาวมีผลต่อความเสื่อมสภาพหรือการแก่ของเซลล์ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ ได้แก่ Superoxide anion ( $O_2^-$ ), Hydroxyl radical ( $OH^-$ ) และ Lipid peroxide radical ( $ROO^-$ ) เป็นต้น (จันทนาและอนงค์, 2555)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือ สารที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระก่อตัวขึ้น ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ หยุดการก่อตัวใหม่ของอนุมูลอิสระ ช่วยซ่อมแซมความเสียหายของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ รวมทั้งช่วยกำจัดและแทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลาย โดยสารพฤกษเคมีจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มหนึ่ง ส่วนใหญ่ได้มาจากพืชผัก ผลไม้ เมล็ด และธัญพืช เป็นสารเคมีที่ได้จากธรรมชาติ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ที่มีวงแหวนอะโรมาติก และมีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ รวมไปถึงอนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอล ที่มีการแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid), ลิกนิน (Lignin), กรดซินนามิก (Cinnamic acid) และโคเอนไซม์คิว (Coenzyme Q) (เนตรนภาและเฉลิม, 2557)



**ภาพที่ 2.11** กลไกการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก  
ที่มา : เนตรนภาและเฉลิม (2557)

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง อาทิเช่น รายงานของ Woraratphoka et al. (2012) พบว่า การสกัดใบของผักแขยงด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ  $152.41 \pm 14.20$  ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิกรัม และ  $112.35 \pm 0.50$  ไมโครกรัมคาเทชินต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งสารทั้ง 2 กลุ่มนี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ในการทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activities และ Lipid peroxidation inhibition พบว่า มีค่า  $EC_{50}$  เท่ากับ  $24.44 \pm 0.30$  และ  $17.58 \pm 1.04$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2.2)

รายงานของ Do et al. (2014) พบว่า สารสกัดผักแขยงที่สกัดจากเอทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการรีดิวส์ (Reducing power) และฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging activity มากที่สุด และค่าของ  $IC_{50}$  ( $70.06 \pm 1.0$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสารสกัดผักแขยงจากเอทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ จะสกัดให้สารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถรับได้สูงที่สุดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเมื่อเทียบกับการสกัดโดยใช้น้ำและความเข้มข้นของเมทานอล เอทานอล และอะซีโตนที่แตกต่างกัน (50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์)

**ตารางที่ 2.2** DPPH-scavenging activities, lipid peroxidation inhibition และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ของสารสกัดเอทานอลจากใบ *Limnophila aromatica*

Extract	Flavonoids	Phenolic	DPPH	LPO inhibition
	( $\mu\text{g CAE/mg}$ )	( $\mu\text{g GAE/mg}$ )	$EC_{50}$ ( $\mu\text{g/ml}$ )	$EC_{50}$ ( $\mu\text{g/ml}$ )
<i>Limnophila aromatica</i>	$112.35 \pm 0.50$	$152.41 \pm 14.20$	$24.44 \pm 0.30$	$17.58 \pm 1.04$
Catechin			$3.73 \pm 007$	$7.24 \pm 0.14$
Trolox			$6.66 \pm 0.02$	$2.33 \pm 0.17$
Ascorbic acid			$4.49 \pm 0.13$	Not performed

ที่มา : ดัดแปลงจาก Woraratphoka et al. (2012)

รายงานของ Kukongviriyapan et al. (2007) พบว่า ผักแขยงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบด้วยวิธี DPPH scavenging activity เท่ากับ  $10.78 \pm 0.31$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ Sribusarakum et al. (2004) รายงานไว้ที่ 133 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากรายงานดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นลักษณะภูมิประเทศ สภาพแวดล้อมที่ปลูก ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยว หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารที่พบหรือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง

### 2.3 การปลูกพืชไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชไม่ใช้ดินหรือการปลูกพืชในระบบปลูกไร้ดินนั้นมีหลายรูปแบบสามารถนำมาใช้ได้ในพื้นที่ที่มีปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ทางการเกษตรและพื้นที่ที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ การปลูกพืชไม่ใช้ดินอาจจำแนกออกได้หลายรูปแบบ เช่น การปลูกในสารละลาย (Water culture) หรือเรียกว่า Hydroponics เป็นการให้สารละลายของธาตุอาหารแบบน้ำไหลเวียน โดยอาจไหลผ่านรางปลูกแบบฟิล์มบางซึ่งเรียกว่า Nutrient Film Technique (NFT) และน้ำลึก (ประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร) ไหลผ่านรางปลูก เรียกว่า Deep Flow Technique (DFT) และแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) การปลูกแบบให้รากลอยในอากาศ เรียกว่า Aeroponics หรือปลูกในวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น แกลบ ทราาย เปลือกไม้ ขุยมะพร้าว หรือวัสดุที่เหลือใช้อื่น ๆ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นรูปแบบการค้ามากขึ้น เนื่องจากมีการจัดการที่ไม่ยุ่งยากและสามารถตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ค่อนข้างมาก อาทิเช่น แบบน้ำซึมเข้าสู่ระบบรากพืช (Passive system) แบบพ่นสารละลายในอากาศและการปลูกโดยใช้วัสดุปลูก (Substrate culture) สามารถปลูกได้หลายรูปแบบ พิจารณาจากวัสดุที่ใช้ปลูก ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นวัสดุปลูกอินทรีย์ (Organic substrate) คือวัสดุที่มาจากธรรมชาติ เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ถ่าน เปลือกไม้ อิฐบด ปุ๋ยหมักต่าง ๆ และวัสดุปลูกอนินทรีย์ (Inorganic substrates) เช่น ทราาย กรวด ฟองน้ำ ซึ่งมีหลักการในการปลูกเช่นเดียวกับการให้สารละลายปุ๋ย (มบุญ, 2560)

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน พืชได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ ผ่านสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำ ซึ่งสารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมกับพรรณไม้น้ำในระบบปลูกไร้ดิน และมีรายงานนำมาใช้สำหรับการปลูกพรรณไม้น้ำ เช่น กลุ่มอนูเบียส (*Anubias* sp.) กลุ่มเมซอน (*Echinodorus* sp.) กลุ่มไบพาย (*Cryptocoryne* sp.) และพรมมิ (*Bacopa monnieri*) เป็นต้น (นงนุช, 2557)

## 2.4 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร

ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารในระบบ Hydroponics โดยทั่วไปจะวัดเป็นค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) เป็นตัวบ่งบอกปริมาณของเกลือที่ละลายในสารละลาย มีหน่วยเป็นมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ปกติน้ำบริสุทธิ์มีค่าการนำกระแสไฟฟ้าที่ต่ำหรือมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีการเติมสารละลายต่าง ๆ ลงในน้ำจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำนั้น ๆ สูงขึ้นด้วย ทำให้สามารถตรวจสอบปริมาณสารในสารละลายได้ และสามารถควบคุมระดับของปุ๋ยในสารละลายเพื่อให้พืชได้รับปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการ หากค่า EC ไม่เหมาะสมต่อพืช จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ถ้าค่า EC ลดลงแสดงว่าพืชมีการนำสารอาหารในสารละลายไปใช้ เนื่องจากมีเกลือในสารละลายน้อยลง แต่ถ้าค่า EC เพิ่มขึ้นแสดงว่าเกิดกระบวนการระเหยและคายน้ำออกจากสารละลาย ในกรณีที่ค่า EC ของสารละลายเพิ่มขึ้นสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มน้ำบริสุทธิ์เข้าไปและกรณีที่ค่า EC ของสารละลายลดลงสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มสารละลายสารอาหารเข้มข้นในปริมาณเล็กน้อย (Brechtner et al., 1996) ซึ่งการเลือกใช้ค่า EC ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความเข้มของแสงและขนาดถังที่บรรจุสารอาหารพืช โดยเฉพาะอากาศร้อนจะทำให้ค่า EC เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการควบคุมค่า EC มีผลต่อการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุของพืช และพืชแต่ละชนิดต้องการค่า EC ที่แตกต่างกัน (ดิเรก, 2550)

### 2.4.1 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธิดารัตน์ (2554) ได้ศึกษาผลของการลดความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าในระบบไร้ดินแบบ DFT เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยไม่มีการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารจนเก็บเกี่ยว ในการทดลองมีค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1 (ควบคุม) ให้ EC 1.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร คงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่ 2 ให้ EC 2.4, 2.4, 2.4 และ 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ชุดการทดลองที่ 3 ให้ EC 2.4, 2.4, 1.8, และ 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ชุดการทดลองที่ 4 ให้ EC 2.4, 2.4, 1.2 และ 1.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 5 ให้ EC 2.4, 2.4, 1.2, และ 0.6 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบว่า ผักคะน้าที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีค่า EC ต่างกันในแต่ละสัปดาห์ มีน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก จำนวนใบ พื้นที่ใบ ความสูงต้น ปริมาณไฟเบอร์และปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 ให้น้ำหนักแห้งต้นสูงสุดและมีปริมาณไนเตรทสะสมในต้นคะน้าสูงสุดที่ 3,900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ถึง 5 ที่มีการลดค่า EC ระหว่างการปลูกส่งผลให้ปริมาณไนเตรทสะสมในต้นคะน้าลดต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของสหภาพยุโรปที่ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด แสดงว่าการลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร

ระหว่างการปลูกมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต แต่ไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารยังคงอยู่ในช่วงที่เรียกว่า พิสัยพอเพียง (Adequate range) ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้มีการเจริญเติบโตได้ถึงจุดสูงสุดและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารภายในช่วงพิสัยพอเพียงจึงไม่ทำให้การเจริญเติบโตมีความแตกต่างกัน

Hongthong and Thumdee (2010) ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของแตงกวาญี่ปุ่นในวัสดุปลูกไร้ดิน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารหรือค่า EC เมื่อเข้าสู่ระยะติดผลเป็น 4 ระดับ คือ 1.0, 2.0, 2.5 หรือ 3.0 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบว่า การเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของแตงกวาญี่ปุ่นที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ระดับ EC ต่าง ๆ ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ระดับ EC 2.5 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ทำให้ใบมีความยาวมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นในระดับที่ไม่สูงจนเกินไป สามารถทำให้แตงกวาญี่ปุ่นเจริญเติบโตได้ดีกว่าสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูงและให้ติดต่อกันนาน จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบแตงกวาญี่ปุ่นในช่วงต้นของการเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่า ธาตุต่าง ๆ ในพืชยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืช

Auerswald et al. (1999) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของค่า EC ที่ 1.0, 3.5 และ 6.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (dS/m) ต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส (Sensory properties) ของมะเขือเทศ โดยมีมะเขือเทศ 2 สายพันธุ์คิดเป็น 2 ประเภท ได้แก่ มะเขือเทศกลมแบบธรรมดา (พันธุ์แคนเตอร์) และมะเขือเทศทรงกลมขนาดยาว (พันธุ์วานเนสซ่า) ที่ได้จากระบบ Hydroponics แบบปิดด้วยสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน นำมาตรวจสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้บริโภคนอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และความเป็นกรดในมะเขือเทศเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจของผู้บริโภคในการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาเชิงปริมาณกับปริมาณน้ำตาลและกรดของมะเขือเทศ พบว่า จากค่า EC ที่เพิ่มขึ้นในสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสและความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้น โดยการสัมผัส รสชาติ รสที่ยังกรุ่นอยู่ในปากและความรู้สึกในปาก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันของทั้งสองสายพันธุ์ ทำให้มีความเข้มข้นของลักษณะรสชาติที่ไม่น่าพอใจ เช่น ปกคลุมด้วยรา หวานอมเปรี้ยวและขม ซึ่งเห็นได้ชัดในพันธุ์วานเนสซ่าที่เพาะเลี้ยงด้วยค่า EC ระดับสูง ดังนั้นค่า EC ที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และความเป็นกรดลดลง ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของกลิ่น รสชาติและรสที่ยังกรุ่นอยู่ในปาก



จิราพร (2555) ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อ อนุเบียสนานา (*Anubias nana*) ในระบบไร้ดินแบบ DFT ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 1, 2 และ 3 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่า EC ที่ 2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ทำให้อนุเบียสนานาเจริญเติบโตดีที่สุดที่สุด ( $P < 0.05$ ) และมีอัตราการรอด 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ

กาญจนรี และคณะ (มปป.) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นอเมซอน (*Echinodorus horemanii* Rataj) ที่ 1, 1.5 และ 2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ต้นอเมซอนในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสดท้าย จำนวนราก และขนาดของใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามต้นอเมซอนที่ได้รับค่า EC เท่ากับ 1 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร มีความสูงของต้นและจำนวนใบใกล้เคียงกับค่า EC 1.5 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ( $P > 0.05$ ) แต่สูงกว่าค่า EC ที่ 2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ดังนั้นการปลูกต้นอเมซอนโดยควบคุมค่า EC ที่ 1 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร จึงเป็นความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารน้อยที่สุดที่มีผลทำให้ต้นอเมซอนเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

## 2.5 ธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช

ธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารมหภาค (Macronutrient elements) และธาตุอาหารจุลภาค (Micronutrient elements) ธาตุอาหารมหภาค (Macronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ส่วนคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) แม้พืชจะใช้ในปริมาณมากแต่เนื่องจากพืชได้รับมาในรูปของน้ำและแก๊ส คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และออกซิเจน ( $O_2$ ) จึงไม่ได้รวมไว้ในกลุ่มนี้ ด้านธาตุอาหารจุลภาค (Micronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ โบรอน (B) คลอรีน (Cl) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) สังกะสี (Zn) และนิกเกิล (Ni) โดยในการปลูกพืชไร้ดิน ปัจจัยหลักที่ทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้นั้นคือ ธาตุอาหาร

สารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท ( $KNO_3$ ) ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพืชต้องการในกลุ่มปริมาณมาก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบหลักของอินทรียสารหรือสารพฤษเคมีที่ประกอบกันเป็นกลุ่มอะตอม มีความสำคัญในกระบวนการที่ใช้เอนไซม์ และนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของอินทรียสาร พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปแอมโมเนียมไอออน ( $NH_4^+$ ) และไนเตรทไอออน ( $NO_3^-$ ) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่

ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออน เนื่องจากพืชดูดไปใช้ได้มากและไม่เป็นพิษกับพืชหากเกิดการสะสม แต่พืชต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนรูปไนเตรทมากกว่าแอมโมเนียมก่อนนำไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ ในขณะที่พืชสามารถดูดแอมโมเนียไปใช้ได้ทันที แต่จะเป็นพิษกับพืชหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปพืชจะทนได้ โดยสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทให้ไนโตรเจนในรูปไนเตรทไอออนแก่พืช ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียม (K) มีบทบาทสำคัญในด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น การทำงานของเอนไซม์ สมดุลออสโมติก การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปของโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) (ยงยุทธ, 2543) ซึ่งพืชมีความต้องการโพแทสเซียมที่สูง เนื่องจากต้องรักษาปริมาณของโพแทสเซียมในไซโตพลาสซึม เพื่อให้กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ มีการทำงานได้ตามปกติ และจำเป็นต้องมีโพแทสเซียมใน Cytosol และ Chloroplast stroma ที่ความเข้มข้นสูง เพื่อรักษาประจุลบและระดับของ pH ให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของเซลล์ นอกจากนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมการเปิดและปิดปากใบที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง (Douglas et al., 2014)

### 2.5.1 ธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช

Lorenzo et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนเตรทที่เพิ่มขึ้นในสารละลายของพืชกุหลาบเรือนกระจก (*Greenhouse rose plants, Rosa hybrida* cv. 'Lambada') ภายใต้ระบบ Hydroponics โดยมีการตรวจสอบผลของการดูดซึม NPK ปริมาณแร่ธาตุในรากและใบ รวมถึง Nitrate reductase (NR) และ Glutamine synthetase (GS) ซึ่งการเติมแอมโมเนียมในสารละลายธาตุอาหารที่มีไนเตรทจะทำให้ปริมาณการดูดซึมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นระหว่างการขยายตัวของหน่อ ในขณะที่เดียวกันการดูดซึมแอมโมเนียมและไนเตรทจะไม่ลดลงระหว่างการขยายตัวของหน่อ และการเติมแอมโมเนียมในสารละลายทำให้การได้รับโพแทสเซียมขณะที่มีการดูดซึมแอมโมเนียมคงที่ ส่วนการได้รับฟอสเฟตจะสูงขึ้นในชุดการทดลองที่ไนเตรทรวมกับแอมโมเนียม อีกทั้งยังมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในรากอีกด้วย นอกจากนี้ทั้ง 2 ชุดการทดลองที่มีหรือไม่มี  $NH_4^+$  พบว่า มีไนเตรทอิสระในรากสูงกว่าในใบอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าการลดลงของไนเตรทในกุหลาบส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ใบ และกิจกรรม NR ในใบมีค่าสูงกว่าแอมโมเนียมที่มีอยู่ในขณะที่กิจกรรม GS ในราก มีความคล้ายคลึงกันทั้งสองชุดการทดลอง

Li et al. (2006) ได้ทำการศึกษาข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพดินที่มีน้ำขังแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้แอมโมเนียมเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจน (N) ซึ่งสภาพอากาศมีความสำคัญต่อปริมาณของไนเตรทที่ข้าวได้รับ โดยเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและโมเลกุลของข้าวที่ไม่เหลือไนโตรเจน (N-depleted rice, *Oryza sativa* L. japonica ssp. cv. Wuyunjing) เพื่อจัดหาแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันอีกครั้งในระบบ Hydroponics โดยการวิเคราะห์การแสดงออกของยีนด้วย

วิธี RT-PCR 6 ชนิด ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดูดซึมไนโตรเจนในราก พบว่า การไม่ได้รับไนโตรเจน ทำให้การเจริญเติบโตของรากเพิ่มขึ้น แต่ชีวมวลของหน่อและกิจกรรม Nitrate reductase (NR) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ไนเตรทกับแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่า แอมโมเนียมมีแนวโน้มยับยั้งการเจริญเติบโตของราก แต่ทำให้การเจริญเติบโตของหน่อดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การแทนที่แอมโมเนียมโดยไนเตรทครั้งหนึ่งในสารละลายทำให้กิจกรรม Glutamine synthetase (GS) และการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดแทนนี้ช่วยเพิ่มการแสดงออกของ *OsAMT1; 3* แต่ลดการแสดงออกของ *OsAMT1; 2* ในราก ในทำนองเดียวกันการแทนที่ไนเตรทโดยแอมโมเนียมครั้งหนึ่งในสารละลายไนเตรททำให้กิจกรรม NR และการแสดงออกของยีน NR (*OsNRI*) เพิ่มขึ้น แต่ระดับการแสดงออกของ *OsNRT2* ในราก การแสดงออกของ *OsAMT1; 1* และยีน GS (*OsGS1; 1*) ก่อนข้างคงที่และไม่ได้รับผลกระทบจากรูปแบบหรือการไม่ได้รับไนโตรเจนในรากของข้าว

Abd-Elmoniem et al. (1995) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ที่ปลูกในระบบ Hydroponics ภายใต้รูปของไนโตรเจนที่ต่างกัน ได้แก่ (a)  $KNO_3$  และ  $Ca(NO_3)_2$ , (b)  $NH_4NO_3$ , (c)  $(NH_4)_2SO_4$  หรือ (d)  $CO(NH_2)_2$  โดยตรวจสอบการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและไนเตรทในพืช พบว่า ผักกาดหอมที่เลี้ยงด้วย  $NO_3^-$  มีน้ำหนักสดและปริมาณไนเตรทสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ในทางตรงกันข้ามผักกาดหอมที่เลี้ยงด้วย  $NH_4^+$  มีปริมาณไนเตรทและน้ำหนักสดต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในพืชทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของไนโตรเจนที่ใช้ตามลำดับต่อไปนี้ : ยูเรีย > แอมโมเนียมซัลเฟต > แคลเซียมและโพแทสเซียมไนเตรต > แอมโมเนียมไนเตรต

Szalai et al. (2010) ได้ทดลองใช้สารละลาย Modified hoagland ที่มีอัตราส่วนไนเตรทและแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75 ต่อการเจริญเติบโตของผักเบี้ยทั้ง 3 สายพันธุ์ (*Portulaca nitida*, *P. papillato-stellulata* และ *P. sativa*) พบว่า น้ำหนักสดของใบผักเบี้ย 3 สายพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวหรือเมื่อลดไนเตรทลงเหลือ 25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าน้ำหนักแห้งของชูดควบคุม *P. nitida* มีค่าชีวมวลมากกว่า *P. sativa* 1.54 เท่า ซึ่งการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียมส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบลดลงในชูดการทดลองของ *P. sativa* และ *P. nitida* ที่มีอัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรทเท่ากับ 75:25

Nguyen and Niemeyer (2008) ได้ทดลองใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0.1, 0.5, 1.0 และ 5.0 มิลลิโมล ต่อองค์ประกอบฟีนอลของต้นโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) พบว่า โหระพาม่วงที่ได้รับไนโตรเจน 0.1 มิลลิโมล มีปริมาณฟีนอลรวมเฉลี่ย เท่ากับ 20.95 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม โหระพาสีเข้มมีปริมาณฟีนอลรวมเฉลี่ย เท่ากับ 16.60 มิลลิกรัมกรด

แคลลิกต่อกรัม และโหระพาไทยมีปริมาณฟีนอลรวมเฉลี่ยเท่ากับ 10.66 มิลลิกรัมกรดแคลลิกต่อกรัม ซึ่งปริมาณฟีนอลรวมเฉลี่ยในโหระพาไทยสามารถใช้เป็นตัวกำหนดระดับฟีนอลที่แน่นอนสำหรับสายพันธุ์โหระพาได้ โดยปริมาณฟีนอลเฉลี่ยทั้งหมดของโหระพาไทย โหระพาม่วงและโหระพาฝรั่ง มีความเข้มข้นฟีนอลรวมอยู่ที่ 7 มิลลิกรัมกรดแคลลิกต่อกรัม

Szalai et al. (2010) ได้ทดลองใช้สารละลาย Modified hoagland ที่มีอัตราส่วนไนเตรทและแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75 ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC ของผักเบียร์ทั้ง 3 สายพันธุ์ (*Portulaca nitida*, *P. papillato-stellulata* และ *P. sativa*) พบว่า ผักเบียร์ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย *P. sativa* มีค่าสูงกว่าอีกสองชนิด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *P. sativa* ในกลุ่มควบคุม (100% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) มีค่ามากกว่าใน *P. nitida* และ *P. papillato-stellulata* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 1.6 เท่า ในขณะที่เดียวกันชุดการทดลองที่ *P. sativa* ได้รับ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ในอัตราส่วน 50 : 50 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า *P. nitida* และ *P. papillato-stellulata* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 1.6 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ

### 2.5.2 ธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของพืช

Marques et al. (2014) ได้รายงาน แหล่งที่มาและระดับของโพแทสเซียมต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณโปรตีนในใบมะเขือยาว (*Solanum melongena* L.) โดยพิจารณาแหล่งของโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชชนิดนี้ ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 × 4 ประกอบด้วยแหล่งของโพแทสเซียม 2 แหล่ง (KCl และ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และระดับ (250, 500, 750 และ 1,000 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) เพื่อประเมินตัวแปร ได้แก่ ความสูงของพืช จำนวนใบต่อต้น, Superoxide dismutase (SOD), Catalase (CAT) และปริมาณโปรตีนในใบ พบว่ากิจกรรมของ CAT มีการเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับโพแทสเซียมจนถึง 30 วันหลังจากการย้ายปลูกเมื่อใช้ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และจนถึง 60 วันหลังจากการย้ายปลูกเมื่อใช้ KCl ซึ่งหลังจากช่วงนี้กิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวลดลงภายใต้การปลูกด้วยโพแทสเซียมจากทั้งสองแหล่ง และกิจกรรมของ SOD เพิ่มขึ้นเมื่อมี KCl อยู่ แต่ลดการใช้ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ลง สำหรับแหล่งโพแทสเซียมทั้ง 2 แหล่ง มีอัตราการเพิ่มลดลง โดยเฉพาะที่ปลูกด้วย KCl ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและจำนวนใบต่อต้นลดลงมากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า KCl มีแนวโน้มส่งผลให้ดินเค็มมากกว่า K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ซึ่งทั้ง KCl และ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ส่งผลในทางลบกับกิจกรรมของ CAT, SOD และระดับโปรตีนในใบมะเขือยาว โดย KCl สามารถลดกิจกรรมของ SOD, CAT ปริมาณโปรตีนในใบและการเจริญเติบโตของมะเขือยาวได้มีประสิทธิภาพกว่า K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Chrysargyris et al. (2017) รายงาน การทดลองเพื่อตรวจสอบผลของโพแทสเซียม (โพแทสเซียมที่ระดับ 275-300-325-350-375 mg L<sup>-1</sup>) ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีของ

ลาเวนเดอร์ (*Lavandula angustifolia*; Mill) ที่ปลูกใน Hydroponics ผลการศึกษาพบว่า ระดับโพแทสเซียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาของราก ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและการชักนำการเปิดปิดของปากใบ (Stomatal conductance) ไม่มีความแตกต่างกัน ด้านผลผลิตน้ำมันหอมระเหยมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ระดับ 300 mg L<sup>-1</sup> เมื่อเทียบกับการใช้โพแทสเซียมที่ 275 หรือ 325-375 mg L<sup>-1</sup> ซึ่งระดับของโพแทสเซียมที่อยู่ในช่วงกลาง (300-325-350 mg L<sup>-1</sup>) มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟีนอลทั้งหมด ฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP) ปริมาณ Lipid peroxidation (MDA) ที่ใช้เป็นดัชนีความเสียหายในใบ โดยพบค่าต่ำสุดในโพแทสเซียมระดับ 325 mg L<sup>-1</sup> นอกจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (SOD, CAT, APX) และปริมาณ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการใช้โพแทสเซียม ซึ่งองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยในใบ (1,8-cineole, Borneol, Camphor,  $\alpha$ -terpineol, myrtenal) และการสะสมแร่ธาตุได้รับผลกระทบจากชุดการทดลองที่มีโพแทสเซียม โดยการปลูกลาเวนเดอร์ที่ระดับโพแทสเซียม 300 mg L<sup>-1</sup> เหมาะสมสำหรับการใช้หรือการผลิตน้ำมันหอมระเหย ในขณะที่ระดับโพแทสเซียม 325 mg L<sup>-1</sup> มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกลาเวนเดอร์เพื่อการใช้เป็นวัตถุดิบและแห้ง

## 2.6 การใช้พืชสมุนไพรในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

การห้ามใช้ยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการค้าและการส่งออก จึงทำให้มีการค้นหาสิ่งที่สามารถนำมาใช้แทนยาปฏิชีวนะสำหรับป้องกันและรักษาโรคในสัตว์น้ำ สิ่งหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คือ พืชสมุนไพร เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น พืชสมุนไพรเกือบทุกชนิดสามารถหาได้ตามธรรมชาติหรือปลูกได้เอง ได้รับการยอมรับว่าปลอดภัย เนื่องจากมีการใช้รักษาโรคในคนหรือสัตว์ต่าง ๆ มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค นอกจากนั้นมีการนำมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อลดความเครียด ด้านอนุมูลอิสระ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ป้องกันและรักษาโรคสัตว์น้ำ (ชนกันต์, 2556)

### 2.6.1 ระบบภูมิคุ้มกันของปลา

ระบบภูมิคุ้มกันของปลาไม่ได้ซับซ้อนเหมือนสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง ซึ่งอวัยวะของปลาที่ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ต่อมทอนซิล ต่อมเหงือกและม้าม (Tort et al., 2003) โดยอวัยวะเหล่านี้ จะเริ่มพัฒนาหลังไข่ได้รับการปฏิสนธิ แต่ลำดับพัฒนาจะแตกต่างกันระหว่างปลาน้ำจืด ปลาน้ำกร่อยและปลาทะเล ระบบภูมิคุ้มกันของปลามีทั้งแบบไม่จำเพาะและจำเพาะ โดยแต่ละระบบประกอบด้วยระบบการทำงานโดยเซลล์และสารน้ำ ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะหรือภูมิคุ้มกันโดยกำเนิดมีความสำคัญมากในการป้องกันการเกิดโรคในปลามีกลไกช่วยไม่ให้เชื้อ

ลูกกลมหรือเพิ่มจำนวนก่อนที่ร่างกายจะสร้างภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะขึ้นมา กลไกการทำงานของภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ ได้แก่ ผิวหนัง เซลล์เนื้อเยื่อบริเวณผิว เหงือก ชั้นของเมือก เซลล์ที่มีลักษณะพิเศษ ด้านระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ เป็นระบบภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมโดยภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะได้ ซึ่งภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเกิดขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยจุลชีพหนึ่งและมีความจำเพาะต่อจุลชีพนั้นเท่านั้น กลไกการทำงานของภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะประกอบด้วยระบบเซลล์และสารน้ำที่ทำงานร่วมกัน ซึ่งพบได้ในระบบหมุนเวียนเลือดและลิมโฟออร์แกน (Lymphoid organ) ได้แก่ ไขมัส ไต ม้าม และเนื้อเยื่อของปลา (ชนกันต์, 2558)

## 2.6.2 ส่วนประกอบของเลือดปลา

เลือดปลามีส่วนประกอบเหมือนกับสัตว์มีกระดูกสันหลังทั่วไป ยกเว้นในปลาบางชนิด โดยทั่วไปเลือดปลาประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำเลือดหรือพลาสมา (Plasma) และส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) และเม็ดเลือดขาว (White blood cell)

### 2.6.2.1 น้ำเลือด (Plasma)

เป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วย เกลือแร่ สารอาหารที่ย่อยแล้ว ของเสีย เอนไซม์ แอนติบอดี แก๊ส น้ำเหลือง และฮอร์โมนละลายอยู่ มีหน้าที่ คือ ช่วยละลายเกลือแร่ คุณค่าอาหารที่ย่อยแล้ว รับของเสียจากเนื้อเยื่อ และขับถ่ายอื่น ๆ รวมทั้งเอนไซม์ (Enzyme) แอนติบอดี (Antibody) และก๊าซที่ละลายอยู่

### 2.6.2.2 เม็ดเลือดแดง (Red blood cell)

เม็ดเลือดแดงเป็นกลุ่มที่พบมากที่สุด มีสารที่เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) บรรจุอยู่ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เม็ดเลือดแดงมีความสามารถดูดซึมแก๊สออกซิเจนได้มากกว่าน้ำ ลักษณะรูปร่างกลมรี มีนิวเคลียสกลางเซลล์และมีสีแดง โดยจำนวนของเม็ดเลือดแดงขึ้นอยู่กับชนิดของปลา เช่น ปลาที่ว่ายน้ำเร็วจะมีเม็ดเลือดแดงมากกว่าปลาที่ว่ายน้ำช้า

### 2.6.2.3 เม็ดเลือดขาว (White blood cell)

เป็นเซลล์ไม่มีสี ส่วนใหญ่มีรูปร่างหรือทรงกลม เป็นตัวการสำคัญในการทำลายเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย (วาสนา, 2555) แบ่งได้หลายชนิด คือ ชนิดที่มีแกรนูล (Granulocyte) ได้แก่ Neutrophil Basophil และ Eosinophil ชนิดที่ไม่มีแกรนูล (Agranulocyte) ได้แก่ Lymphocyte Thrombocyte และ Monocyte (รัชดา, 2552)

### 2.6.3 การใช้สมุนไพรในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลา

พืชสมุนไพรหลายชนิดได้รับการยืนยันทางวิทยาศาสตร์ว่ามีความสามารถในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) ของปลาทำให้ปลามีความต้านทานต่อโรคสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น สาร Glycyrrhizin ที่พบในชะเอมเทศสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลา Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*; Walbaum) (Jang et al., 1995) ว่านหางจระเข้สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลา Rockfish (*Sebastes schlegeli*) (Kim et al., 1999) สาร Azadirachtin ที่พบในสะเดาสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลา *Oreochromis mossambicus* (Peters) (Logambal and Michael, 2001) หนุ่ยฟ้าพันธุ์ขาวสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลา Indian major carp (*Labeo rohita*) (Vasudeva et al., 2004) *Scutellaria radix* สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลานิล (Yin et al., 2006) อีกทั้งสะเดา กะเพราและขมิ้นสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในปลา *Crassius auratus* ได้ (Harikrishnan et al., 2009) เป็นต้น

Logambal et al. (2000) ได้ศึกษาสารสกัดจากใบกะเพรา (*Ocimum sanctum*) ต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันที่จำเพาะและไม่จำเพาะ หลังจากนั้นทดสอบความต้านทานต่อโรคโดยเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) โดยฉีดสารสกัดใบกะเพราเข้าช่องท้องและให้ทางปาก พบว่า สารสกัดจากใบกะเพราเมื่อให้ผ่านการฉีดเข้าช่องท้องสามารถกระตุ้นการตอบสนองของแอนติบอดีและกิจกรรมนิวโทรฟิลได้ นอกจากนี้การได้รับอาหารที่ผสมใบกะเพรา 20 ไมโครกรัมต่อวัน ยังช่วยเพิ่มการตอบสนองของแอนติบอดีและมีความต้านทานโรคต่อ *A. hydrophila* ได้ดีที่สุด

Divyagnaneswari et al. (2007) ได้ศึกษามะแว้ง (*Solanum trilobatum*) ที่สกัดด้วยน้ำและสกัดส่วนของเฮกเซนต่อกลไกภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะและการต้านทานโรคด้วยเชื้อ *A. hydrophila* ในปลาหมอเทศ โดยปลาถูกฉีดสารสกัดเข้าช่องท้องด้วยปริมาณที่แตกต่างกันคือ 0, 4, 40 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว พบว่า ปริมาณ โดสทั้งหมดของทั้งสองสารสกัดช่วยเพิ่มกิจกรรมไลโซไซม์ในซีรัม และปริมาณ โดสทั้งหมดของสารสกัดที่ละลายในน้ำช่วยเพิ่มการผลิต Reactive Oxygen Species (ROS) ในทุกวันที่มีการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านกลุ่มที่ได้รับสารสกัดที่ละลายในเฮกเซน พบว่า มีการผลิต ROS เพิ่มขึ้นได้น้อย 2 วัน และปริมาณ โดสทั้งหมดของสารสกัดที่ละลายในน้ำช่วยเพิ่มการผลิต Reactive Nitrogen Species (RNS) ได้เพียงหนึ่งวันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีการผลิต RNS ในกลุ่มที่ได้รับสารสกัดจากเฮกเซน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งสารสกัดจากมะแว้งยังสามารถต้านเชื้อ *A. hydrophila* ได้โดยทำให้เปอร์เซ็นต์การตายลดลงซึ่งพบได้ในกลุ่มทดลองที่มีค่า RPS เพิ่มขึ้น โดยการศึกษาเบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่ามะแว้งสามารถนำมาใช้เพื่อส่งเสริมสุขภาพของปลาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นได้

กจรัญศักดิ์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลของการใช้สารสกัดหยาบจากฟ้าทะลายโจรทดแทนสารปฏิชีวนะ Oxytetracycline ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ใช้วิธีการสกัดสารหยาบจากฟ้าทะลายโจรที่ต่างกัน และขั้นตอนที่ 2 ใช้ฟ้าทะลายโจรในปริมาณที่ต่างกัน ประกอบด้วย กลุ่มควบคุม (ไม่ใช้ฟ้าทะลายโจรและ Oxytetracycline) กลุ่มผสมฟ้าทะลายโจร 5, 10, 15, 20 กรัม และกลุ่มที่มี Oxytetracycline 0.05 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการฉีดพ่นสารปริมาณดังกล่าวในอาหารปลาชนิดเม็ดลอยน้ำที่ผลิตขายในท้องตลาดทั่วไป ผลการศึกษาพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยฟ้าทะลายโจร 10 กรัม ที่สกัดสารหยาบด้วยสุราขาว 40 ดีกรีต่ออาหารปลา 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวและความยาวเฉลี่ยต่อตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งฟ้าทะลายโจรมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ ได้แก่ andrographolide, deoxyandrographolide และ neo-andrographolide ที่ทำให้การย่อยอาหารดีขึ้น ช่วยให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนและพลังงานในอาหารสูงขึ้น โดยเพิ่มการหลั่งเอนไซม์ไลเปสในลำไส้เล็กส่วนคูโอตินัม ดังนั้นสารสกัดหยาบจากฟ้าทะลายโจรด้วยสุราขาว 40 ดีกรีสามารถนำมาใช้ทดแทนสารปฏิชีวนะ Oxytetracycline ในการเลี้ยงปลานิล ให้ได้ผลผลิตกัมภ์ปลานิลปลอดสารตกค้างและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้

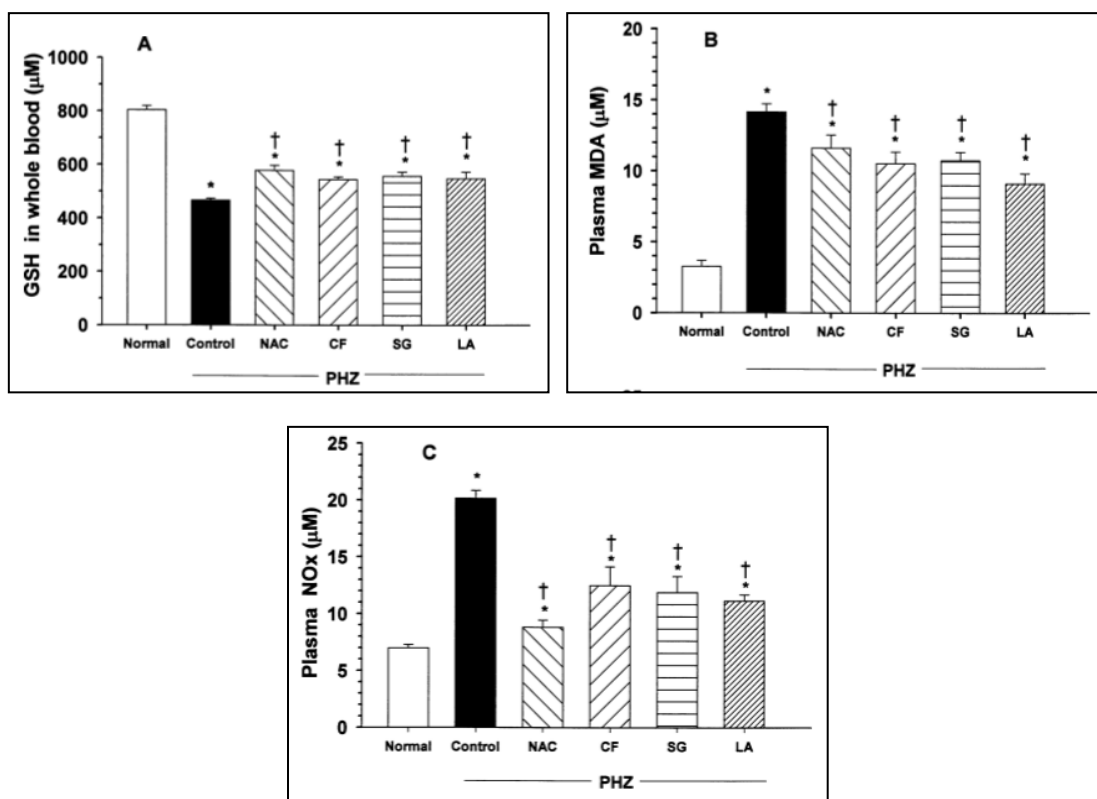
Yin et al. (2006) ได้ทำการทดลองใช้อั้งกี (*Astragalus radix*) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรจีนผสมในอาหารด้วยความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ทางภูมิคุ้มกันหลังจากให้อาหารทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ได้แก่ Respiratory burst activity (Extracellular superoxide anion production), Phagocytosis by isolated blood leukocytes (Neutrophils and monocytes) และ Lysozyme activity ในพลาสมาของปลานิล ผลการทดลองพบว่า สาร Astragalus polysaccharide ที่สกัดได้จากอั้งกีสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลานิลได้ โดยปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสารดังกล่าวในอัตราส่วน 1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จะมีภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะสูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของสารดังกล่าว

Rattanachaikunsopon and Phumkhachorn (2010) ได้ศึกษาสารสกัดของผักตบชวี (*Cratoxylum formosum*) ด้วยน้ำผสมในอาหาร 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน จากการทดลอง พบว่า สารสกัดด้วยน้ำของผักตบชวีสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลานิลได้ โดยปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสารสกัดของผักตบชวีในอัตราส่วน 1.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นเวลา 30 วัน จะมีภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะสูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารไม่มีส่วนผสมของสารสกัดของผักตบชวี นอกจากนี้ยังพบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมสารสกัดของผักตบชวีในอัตราส่วน 1.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เป็นเวลา 30 วัน มีความต้านทานต่อการติดเชื้อ *Streptococcus agalactiae* สูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดผักตบชวี



## 2.7 การใช้ประโยชน์จากผักแขยง

สารต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของผักแขยงดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้มีการศึกษาที่นำผักแขยงไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยมีรายงานความสามารถในการต้านจุลชีพของสารสกัดจากใบผักแขยง พบว่า สารสกัดที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถต้านจุลชีพได้ถึง 6 ชนิด ได้แก่ *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas fluorescens*, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* และ *Yersinia enterocolitica* โดย *B. cereus* และ *S. aureus* มีความไวต่อสารสกัดมากที่สุดด้วยค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) เท่ากับ 2.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Nanasombat and Teckchuen, 2009) เช่นเดียวกับรายงานของ Visutthi (2016) พบว่าสารสกัดจากผักแขยงทั้งต้น สามารถต้าน *S. aureus* และ Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) โดยมีขอบเขตการยับยั้ง เท่ากับ 13 มิลลิเมตร และมีค่า MIC เท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากผักแขยง สามารถเป็นทางเลือกในการใช้ยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคได้ และมีรายงานเกี่ยวกับการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของผักแขยงโดย Tuntipopipat et al. (2009) สกัดใบผักแขยงด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของ RAW 264.7 cell มีค่าเท่ากับ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดย RAW 264.7 cell เป็นเซลล์ Macrophages หรือเซลล์ภูมิคุ้มกันมีหน้าที่กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่บุกรุก ต่อมา มีรายงานของ Intirach et al. (2016) ได้นำผักแขยงมาใช้ในการกำจัดยุง โดยทดลองกลั่นผักแขยงทั้งต้นด้วยน้ำเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหย และนำมาตรวจสอบกิจกรรมการกำจัดลูกน้ำยุงลาย (*Aedes aegypti*) พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) สามารถกำจัดลูกน้ำยุงลายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีรายงานของ Kukongviriyapan et al. (2007) ได้ทำการทดลองนำใบผักแขยงต้มในน้ำกำจัดไอน้ำมาทดสอบกับหนู โดยการฉีดสารสกัดเข้าช่องท้อง แล้วเก็บตัวอย่างเลือดมาทดสอบทางชีวเคมีต่อการลดภาวะเครียดออกซิเดชัน ได้แก่ การผลิต Glutathione (GSH), Plasma malonaldehyde (MDA) และ Plasma nitric oxide (NOx) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับภาวะออกซิเดชันในร่างกาย พบว่า สารสกัดผักแขยงสามารถเพิ่มการผลิต GSH ลดการผลิต Plasma MDA และ Plasma NOx ได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม หรือกลุ่มที่หนูได้รับ PHZ เพียงอย่างเดียว ซึ่ง PHZ ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางอย่างรวดเร็วในสัตว์ทดลอง แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากผักแขยงสามารถลดการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชันในร่างกายได้ (ภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.12 ผลของสารสกัดจากผักแขยงต่อ Whole Blood Reduced GSH (A), Plasma MDA (B) และ Plasma NOx Concentrations (C) ในสัตว์ทดลองทั้งหมด กำหนดให้ *C. formosum* (CF, ผักตบชวา), *S. gratum* (SG, ผักเม็ก), *L. aromatica* (LA, ผักแขยง), Phenylhydrazine (PHZ) และ N-acetylcysteine (NAC)

ที่มา : Kukongviriyapan et al. (2007)

Munglue et al. (2019) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาอุกบึกอุย (Hybrid catfish; *Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) ด้วยอาหารที่เสริมสารสกัดผักแขยง 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาอุกบึกอุยที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดผักแขยง 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate) และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร (Feed utilization efficiency) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม อีกทั้งการเสริมสารสกัดผักแขยงในอาหารทดลองไม่ส่งผลให้อัตรารอด พฤติกรรมการกิน ความน่ากิน การยอมรับอาหาร และลักษณะภายนอกของปลาอุกบึกอุยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ด้านค่าคอนดิชันแฟกเตอร์ (Condition factor) ค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index) และค่าดัชนีลำไส้ (Intestinosomatic index) ของปลาที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดผักแขยงในทุกชุดการทดลองมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัด

ผักแขยงในอาหารอาจเป็นสารเสริมอาหารจากธรรมชาติที่ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากอาหารในปลาบางชนิดได้ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ผลของอาหารที่เสริมสารสกัดผักแขยงต่อการเจริญเติบโตและน้ำหนักอวัยวะสัมพันธ์ของปลาคูกบิกอูย

Variables	LAE levels in the experimental diets (%)			
	0	1	3	5
IW (g)	6.22±0.14	6.55±0.24	6.77±0.22	6.66±0.23
FW (g)	32.22±1.19 <sup>a</sup>	48.00±2.94 <sup>b</sup>	44.11±4.12 <sup>b</sup>	45.77±2.43 <sup>b</sup>
IL (cm)	8.55±0.24	8.88±0.26	9.11±0.26	9.22±0.32
FL (cm)	17.11±0.35	18.11±0.45	17.22±0.57	17.72±0.46
WG (g)	26.77±1.15 <sup>a</sup>	42.77±2.81 <sup>b</sup>	38.77±3.96 <sup>b</sup>	39.11±2.34 <sup>b</sup>
SGR (%/day)	3.08±0.06 <sup>a</sup>	3.55±0.10 <sup>b</sup>	3.34±0.15 <sup>b</sup>	3.44±0.07 <sup>b</sup>
ADG (g/day)	0.51±0.02 <sup>a</sup>	0.74±0.05 <sup>b</sup>	0.66±0.07 <sup>b</sup>	0.68±0.04 <sup>b</sup>
FCR	2.73±0.08 <sup>a</sup>	2.12±0.04 <sup>b</sup>	2.13±0.08 <sup>b</sup>	2.19±0.08 <sup>b</sup>
K-factor	0.70±0.03	0.84±0.09	0.88±0.10	0.87±0.11
SR (%)	97.77±2.22	97.77±2.22	97.77±2.22	100.00±0.00
HSI (%)	1.59±0.19 <sup>a</sup>	1.79±0.13 <sup>b</sup>	1.22±0.18 <sup>a</sup>	2.05±0.22 <sup>b</sup>
ISI (%)	1.07±0.17 <sup>a</sup>	2.47±0.16 <sup>c</sup>	1.75±0.14 <sup>b</sup>	1.95±0.19 <sup>b</sup>

**Remarks:** Data are expressed as mean±SEM ( $n = 9$ ); means followed by different letters (<sup>a-c</sup>) in each row are significantly different ( $P < 0.05$ ).

LAE, *L. aromatica* extract; IW, initial weight (g); FW, final weight (g); IL, initial length (cm); FL, final length (cm); WG, weight gain (g); SGR, specific growth rate (%/day); ADG, average daily gain (g/day); FCR, feed conversion ratio; K-factor, condition factor; SR, survival rate (%); HSI, hepatosomatic index (%); and ISI, intestinosomatic index (%).

ที่มา : Munglue et al. (2019)

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการต้านจุลชีพ ต้านยุง และความเป็นพิษต่อเซลล์

Application	Part used	Solvent / Processing	Compoud	Concentration	Details	References
Antimicrobial	Leaf	Methanol	Methanol extract	400 mg/ml (MIC)	Inhibition Zone (mm)/ Minimum inhibitory concentration (mg/ml) <i>Bacillus cereus</i> 21.0 ± 5.2 / 2.6 <i>Staphylococcus aureus</i> 12.5 ± 2.5 / 2.6	Nanasombat and Teckchuen (2009)
Antibacterial	Whole plant	Ethanol 95%	Ethanol extract	2.5 mg (Inhibition zone) 0.15 – 10 mg/ml (MIC/MBC)	Inhibition Zone (mm)/ Minimum inhibitory concentration (mg/ml) <i>Staphylococcus aureus</i> 13.0 ± 0.5 / 2.5 Methicillin – resistant <i>Staphylococcus aureus</i> 13.0 ± 0.6 / 2.5	Visutthi (2016)
Cell viability	Leaf	Ethanol	Ethanol extract	100 µg/ml	Cell viability > 20% - <40%	Tuntipopipat et al. (2009)
Antimosquito	Whole plant	Hydro - distillation	Essential oil	100 ppm	% mortality larvicidal activity 100.00 ± 0.00	Intirach et al. (2016)

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 พืชทดลอง

ผักแขยง (*Limnophila aromatica*) ที่ได้จากตลาดต้นไม้ (คลอง 16) จังหวัดนครนายก นำมาเพาะเลี้ยงในโรงเรือน หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการปลูกใน Hydroponics แบบ Sand culture

#### 3.2 สัตว์ทดลอง

ปลานิล (Nile tilapia) ที่ได้จากฟาร์มเลี้ยงของเกษตรกร นำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการก่อนการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม โดยให้อาหารสำเร็จรูป 2 เวลา เช้า-เย็น ทำความสะอาดบ่อคูดะก่อนทุกวันและถ่ายน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ ทุก 2 วัน

#### 3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์ในการปลูกสำหรับระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ประกอบด้วย ชุดรางปลูกแบบ DFT ยาว 1 เมตร จำนวน 10 ราง รางละ 12 หลุมปลูก ชุดปลูกในกระเบะพลาสติกที่บรรจุทราย จำนวน 20 กระเบะ ถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืชปริมาตร 10 ลิตร จำนวน 20 ถัง ปริมาณน้ำ 1,200 ลิตร ต่อชั่วโมง จำนวน 20 ตัว เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical conductivity meter) และเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter)

3.3.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารพิษตกค้างและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วย เครื่องระเหยสุญญากาศ (Evaporator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บีกเกอร์ ซ้อนตักสาร แท่งแก้ว ไมโครปิเปต และหลอดทดลอง

3.3.3 อุปกรณ์สำหรับเตรียมอาหารทดลอง ประกอบด้วย เครื่องปั่น ตะแกรงร่อน กะละมัง เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง เตาไฟฟ้า (Hot plate) เครื่องผสมอาหาร เครื่องทำเส้นขนมจีน และคูบ

3.3.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง ประกอบด้วย เครื่องกลั่นไนโตรเจน ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Vapodert 7620 เครื่องย่อย ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Turik ชุดวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Apparatus) ยี่ห้อ FAIC รุ่น BE 4250 เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น 301 คูบไอร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ KK รุ่น yco-NO1 ชุดวิเคราะห์เชื้อยีส อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

ตู้ดูดควัน (Fume hood) เตาไฟฟ้า (Hot plate) โหลดูดความชื้น (Desiccator) คีมคีบ (Crucible tong) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible) และ Soxhlet

3.3.5 อุปกรณ์สำหรับเลี้ยงปลา ประกอบด้วย ถังไฟเบอร์ขนาด 250 ลิตร ป้อนลม หัวทราย สายยาง สายออกซิเจน และสวิง

3.3.6 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชและปลา ประกอบด้วย ตลับเมตร ไม้บรรทัด และเครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง

3.3.7 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ประกอบด้วย ขวดรูปชมพู่ กรวยกรอง กระดาษกรองเบอร์ 1 หลอดทดลอง เครื่องเขย่า เครื่อง Water bath และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.3.8 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา ประกอบด้วย กระจกนิตยา เข็มนิตยา หลอดทดลอง Eppendorf กล้องจุลทรรศน์ เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Haemocytometer Microhematocrit tube Vortex ไมโครปิเปต ถาดดินน้ำมัน และเครื่อง Hematocrit centrifuge

### 3.4 สารเคมีในการทดลอง

3.4.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์สารพิษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วย น้ำกลั่น, Ethanol, Gelatin,  $\text{FeCl}_3$ , ผงแมกนีเซียม,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , Glacial acetic acid, Dragendorff's reagent, Chloroform, Folin-cicalteu,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ , NaOH, Quercetin, DPPH และ ABTS

3.4.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง (Proximate analysis; AOAC, 1990) ประกอบด้วย Mixed catalyst,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Boric acid, Indicator, NaOH และ Petroleum ether

3.4.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ประกอบด้วย Acetic acid และ TBA

3.4.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา ประกอบด้วย ยาสลบ (น้ำมันกานพลู) Dacie's solution และ Drabkin's solution

### 3.5 วิธีดำเนินการ

#### 3.5.1 การศึกษาสารพิษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

3.5.1.1 วางแผนการทดลองแบบ T-test ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 15 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ผักแขยงที่ปลูกด้วยระบบ DFT ที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร

ชุดการทดลองที่ 2 ผักแขยงที่ปลูกด้วยระบบ DFT ที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2

#### 3.5.1.2 การเตรียมระบบปลูก

วิธีการปลูกแบบ DFT โดยเตรียมราง PVC ความยาว 1 เมตร จำนวน 10 ราง ล้างทำความสะอาดนำไปจัดวางบนขาตั้งเหล็กและรัดด้วยสายเคเบิลไทล์ให้แน่น นำถังน้ำมาวางตามราง 1 ถังต่อ 1 ราง ต่อบัมพ์น้ำกับปลายท่อที่อยู่อันล่างเพื่อคูดน้ำขึ้นมาใช้ในระบอบ หลังจากนั้นต่อท่อจากถังน้ำขึ้นมาจากรางโดยใช้สายพลาสติกสีดำ ขนาด 16 มิลลิเมตร และใส่สายที่ปลายราง PVC เพื่อให้มีน้ำลงราง

#### 3.5.1.3 การเตรียมพืชทดลอง

ผักแขยงขนาด 6.33 ถึง 7.49 เซนติเมตร นำมาล้างทำความสะอาด พันรากด้วย Rock wool ที่ชุ่มน้ำแล้วใส่ลงในถังปลูก นำไปวางในรางปลูกที่มีสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ปรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้ได้ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และปรับค่าความเป็นกรดค่า (pH) ให้อยู่ในช่วง 6.5 ถึง 7.0

#### 3.5.1.4 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินโดยใช้ไม้บรรทัด ได้แก่ ความสูงต้น (วัดจากบริเวณโคนต้นถึงปลายใบที่ยาวที่สุด) จำนวนใบ (นับทุกใบที่อยู่บนต้น) ความยาวใบ (วัดจากบริเวณโคนใบจนถึงปลายใบ บริเวณข้อที่ 3) และความกว้างใบ (วัดบริเวณใบที่กว้างที่สุด ตรงข้อที่ 3) ระหว่างการทดลองทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง เมื่อครบ 4 สัปดาห์

#### 3.5.1.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของผักแขยง

ผักแขยงทั้งต้นที่ปลูกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ นำมาล้างทำความสะอาด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท และบดให้ละเอียดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาตามวิธีของ AOAC (1990) ดังนี้

1) วิเคราะห์ความชื้นหรือวัตถุแห้ง โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง (AOAC, 1990)

คำนวณจากสูตร เปอร์เซนต์ความชื้น =  $\frac{(a-b)}{W} \times 100$

W

a = น้ำหนักขวดชั่งและตัวอย่างก่อนอบ

b = น้ำหนักขวดชั่งและตัวอย่างหลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

$$\text{คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง} = \frac{[(b-c)] \times 100}{W}$$

b = น้ำหนักขวดชั่งและตัวอย่างหลังอบ

c = น้ำหนักขวดชั่ง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

2) วิเคราะห์โปรตีน ตามวิธีการ Kjeldahl method (AOAC, 1990)

$$\text{คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \frac{[1.4(V2-V1) N \times 6.25]}{W}$$

V1 = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท blank

V2 = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

3) วิเคราะห์ไขมัน ตามวิธีการ Soxhlet extraction method (AOAC, 1990)

$$\text{คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์ของไขมัน} = \frac{[(b-a)] \times 100}{W}$$

a = น้ำหนักของถ้วยสกัด

b = น้ำหนักของถ้วยสกัด และไขมันหลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

4) วิเคราะห์เถ้า โดยเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง (AOAC, 1990)

$$\text{คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์เถ้าทั้งหมด} = \frac{[(b-a)] \times 100}{W}$$

a = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง

b = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างหลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

5) วิเคราะห์เยื่อใย (AOAC, 1990)

$$\text{คำนวณจากสูตร เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{[(A+D-B)-E] \times 100}{C}$$



- A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง  
 B = น้ำหนัก fiber bag  
 C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์  
 D = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง  
 E = น้ำหนัก fiber bag

6) วิเคราะห์ Nitrogen-free extracts (NFE) (AOAC, 1990)

คำนวณจากสูตร  $NFE = 100 - (\% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เยื่อใย} + \% \text{เถ้า} + \% \text{ความชื้น})$

3.5.1.6 การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเบื้องต้น

นำผักแขยงทั้งต้นที่ปลูกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มาล้างให้สะอาด ตัดส่วนรากออก หั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ผึ่งให้แห้งในร่ม แล้วอบด้วยความร้อน 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท หลังจากนั้นทำให้เป็นผงและเตรียมสารสกัดโดยชั่งผักแขยงน้ำหนัก 25 กรัม ผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 160 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ (Beaker) แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No. 1) โดยทำการสกัด 3 ครั้งและนำสารสกัดที่ได้แต่ละครั้งมารวมกันจะได้สารสกัดเอทานอล แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวมาระเหยสูญญากาศ (Evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในขวดสีชาจนกว่าจะวิเคราะห์ หลังจากนั้นวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเอทานอลจากผักแขยง โดยแบ่งการทดสอบสารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ออกเป็น 10 กลุ่ม ได้แก่ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คาร์ดิแอก์ไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์ คูมาริน และสเตอรอยด์ (Prapasanol, 2018 และดัดแปลงจากจุฑารัตน์, 2559)

1) การทดสอบแทนนิน (Tannins) : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม มาทดสอบกับ 1 เปอร์เซ็นต์ gelatin ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผลบวกจะเกิดตะกอนสีขาว

2) การทดสอบซาโปนิน (Saponins) : ทดสอบการเกิดฟอง (Foam test) โดยนำสารสกัด 5 มิลลิกรัมเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ต้ม 5 นาที เขย่าแรงๆ 1 นาที ผลบวกเป็นฟองที่คงทนนานกว่า 30 นาที

3) การทดสอบฟีนอลิก (Phenolics) : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม มาเติม 10 เปอร์เซ็นต์  $FeCl_3$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผลบวกเกิดสีผสมของเขียวน้ำเงินหรือสีดำ

4) การทดสอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ด้วยวิธี Cyanidin test : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม ใส่ผงแมกนีเซียม 5 มิลลิกรัม เติมน้ำ  $H_2SO_4$  เข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผลบวกสังเกตสีของสารละลาย เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีแดง

5) การทดสอบสารแอนทราควิโนน (Antraquinones) : ชั่งสารสกัด 5 มิลลิกรัม เติมน้ำละลาย 10 เปอร์เซ็นต์  $H_2SO_4$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า นำไปอุ่นใน Water bath 5 นาที กรอง

ส่วนที่ไม่ละลายออกแล้วปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการกรองไปเติม 10 เปอร์เซ็นต์  $\text{NH}_3$  ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่า ผลบวกสังเกตสีของสารละลาย มีสีชมพูแดงเกิดขึ้น

6) การทดสอบคาร์ดิแอ็กไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรองมาเติม 1 เปอร์เซ็นต์  $\text{FeCl}_3$  จำนวน 5 หยด เขย่า และเติม Glacial acetic acid จำนวน 5 หยด เขย่า และค่อยๆ เติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงไป ผลบวกปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริก

7) การทดสอบเทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรองค่อยๆ เติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงไป ผลบวกปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริก

8) การทดสอบอัลคาลอยด์ (Alkaloids) : ชั่ง สารสกัด 5 มิลลิกรัม เติมสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า นำไปอุ่นใน Water bath 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการกรองไปหยด Dragendorff's reagent จำนวน 5 หยด เขย่า ผลบวกปรากฏตะกอนสีส้มแดง

9) การทดสอบคูมาริน (Coumarins) : นำสารสกัด 5 มิลลิกรัม ละลายด้วย 50 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติม 6M NaOH ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า ผลบวกสังเกตสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

10) การทดสอบสเตอรอยด์ (Steroids) : ชั่ง สารสกัด 5 มิลลิกรัม ละลายด้วย Chloroform ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติม Glacial acetic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่า แล้วเติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น จำนวน 3 หยด ผลบวกสังเกตสีของสารละลายเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียว

### 3.5.1.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ใช้ผักแขยงที่ปลูกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเก็บทั้งต้น ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง อบที่ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท บดให้ละเอียด หลังจากนั้นชั่งผักแขยง 0.20 กรัม ผสมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 20 มิลลิลิตร 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และเก็บรักษาสารสกัดในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1) การวิเคราะห์ Total Phenolic Compounds (TPC) โดยวิธี Folin ciocalteu reagent สารสกัดผักแขยงปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม Folin-cicalteu 100 ไมโครลิตร ผสมและวางไว้ที่มีด 6 นาที หลังจากนั้นเติม 7 เปอร์เซ็นต์

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  1 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร ผสมและวางไว้ในที่มีด 90 นาที วัดค่าดูดกลืนแสง 760 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (ตารางผนวกที่ 1) (ดัดแปลงจาก Lim and Mutijaya, 2007)

2) การวิเคราะห์ Total Flavonoid Content (TFC) โดยวิธี Aluminium chloride complex forming assay

สารสกัดผักแขยงปริมาณ 100 ไมโครลิตร เติม 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน เติม 5 เปอร์เซ็นต์  $\text{NaNO}_3$  ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติม 10 เปอร์เซ็นต์  $\text{AlCl}_3$  ปริมาตร 150 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติม 1 M NaOH ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน และวัดค่าดูดกลืนแสง 510 นาโนเมตรทันที นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบกับสารละลายมาตรฐานเคอควิน (ตารางผนวกที่ 2) (ดัดแปลงจาก Shirazi et al., 2014)

3) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay

สารสกัดผักแขยงปริมาณ 50 ไมโครลิตร เติม DPPH 3 มิลลิลิตร ผสมและวางไว้ในที่มีด 15 นาที วัดค่าดูดกลืนแสง 515 นาโนเมตร และบันทึกผลการวิเคราะห์นำมาคำนวณตามสูตร โดยกำหนดหลอดควบคุม คือ หลอดที่ไม่เติมสารสกัดผักแขยง (ดัดแปลงจาก Lim and Mutijaya, 2007)

$$\text{การกำจัดอนุมูล DPPH (\%)} = \frac{(\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม} - \text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดตัวอย่าง})}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}} \times 100$$

4) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี 2, 2'-azinobis-[3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid] (ABTS) radical scavenging assay

สารสกัดผักแขยงปริมาณ 50 ไมโครลิตร เติม ABTS 2.7 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มีด 20 นาที วัดค่าดูดกลืนแสง 734 นาโนเมตร บันทึกผลการวิเคราะห์และคำนวณตามสูตร โดยกำหนดหลอดควบคุม คือ หลอดที่ไม่เติมสารสกัดผักแขยง (ดัดแปลงจาก Nilsson et al., 2005)

$$\text{การกำจัดอนุมูล ABTS (\%)} = \frac{(\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม} - \text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดตัวอย่าง})}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}} \times 100$$

### 3.5.2. การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

3.5.2.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 25 ซ้ำ ประกอบด้วย ผักแขยงที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) แตกต่างกัน 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 0.5

มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 2 ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 1

มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 3 ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 2

มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 4 ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 3

มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

#### 3.5.2.2 การเตรียมระบบปลูก

เตรียมกระบะปลูกพลาสติก จำนวน 20 กระบะ ที่บรรจุทรายล้างทำความสะอาดนำไปจัดวางบนขาตั้งเหล็ก และวางถังน้ำ 1 ถังต่อ 1 ราง ต่อปั้มน้ำกับปลายท่อน้ำที่อยู่ในถังเพื่อคูดน้ำขึ้นมาใช้ในระบบ หลังจากนั้นต่อท่อน้ำขนาด 1 นิ้วกับกระบะโดยใช้สายพลาสติกสีดำ ขนาด 16 มิลลิเมตร ใส่สายที่ปลายกระบะ เพื่อให้ น้ำลงราง และเจาะรูของกระบะเพื่อให้ น้ำลงถังสารละลาย

#### 3.5.2.3 การเตรียมพืชทดลอง

เตรียมพืชทดลองตามวิธีการข้อ 3.5.1.3 แต่มีการปรับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้ได้ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามการทดลองนี้

#### 3.5.2.4 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตตามวิธีการข้อ 3.5.1.4 โดยเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากครบ 4 สัปดาห์ นำผักแขยงมาวิเคราะห์สารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการข้อ 3.5.1.6 และ 3.5.1.7 ตามลำดับ

### 3.5.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

3.5.3.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 20 ซ้ำ ประกอบด้วยผักแขยงที่ปลูกใน

สารละลายธาตุอาหารมีโพแทสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) แตกต่างกัน 5 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 3.1) ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  3.40 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  3.90 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  4.40 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  4.90 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 5 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่ความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  5.40 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร

ตารางที่ 3.1 สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ที่สารประกอบ  $\text{KNO}_3$  แตกต่างกัน (เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ในการทดลอง)

สารเคมี	$\text{KNO}_3$ (meq/L)				
	3.40 (-1.0)	3.90 (-0.5)	4.40 (0) *	4.90 (+0.5)	5.40 (+1.0)
สารละลาย A					
( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (kg)	3.767	3.767	3.767	3.767	3.767
Fe-EDDHA (kg)	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303
สารละลาย B					
$\text{KNO}_3$ (kg)	1.388	1.592	1.796	2.000	2.204
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ (kg)	0.653	0.653	0.653	0.653	0.653
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (kg)	1.037	1.037	1.037	1.037	1.037
$\text{ZnSO}_4$ (g)	4.756	4.756	4.756	4.756	4.756
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g)	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g)	14.194	14.194	14.194	14.194	14.194
$\text{H}_3\text{Bo}_3$ (g)	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ (g)	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343

หมายเหตุ : \* หมายถึง ชุดควบคุม โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2

### 3.5.3.2 การเตรียมระบบปลูก

ทำเช่นเดียวกับวิธีดำเนินการที่ 3.5.2.2

### 3.5.3.3 การเตรียมพืชทดลอง

เตรียมพืชทดลองตามวิธีการข้อ 3.5.1.3 แต่ใส่สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทแตกต่างกัน 5 ระดับ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

### 3.5.3.4 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตตามวิธีการข้อ 3.5.1.4 โดยเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากครบ 4 สัปดาห์ นำผักแขยงมาวิเคราะห์สารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระตามวิธีการข้อ 3.5.1.6 และ 3.5.1.7

## 3.5.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลา นิล (*O. niloticus*)

3.5.4.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยเลือกใช้ผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{KNO}_3$  3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร ประกอบด้วยอาหารที่เสริมผักแขยงแตกต่างกัน 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 0 กรัม/กิโลกรัม (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 25 กรัม/กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 3 ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 50 กรัม/กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 4 ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 75 กรัม/กิโลกรัม

### 3.5.4.2 การเตรียมระบบเลี้ยง

ใช้ถังไฟเบอร์ขนาด 250 ลิตร มีปริมาตรน้ำในถังทดลอง 100 ลิตร และเพิ่มอากาศในระบบเลี้ยงด้วยหัวทราย

### 3.5.4.3 การเตรียมสัตว์ทดลอง

ใช้ปลานิลน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 1 กรัม จากฟาร์มของเกษตรกร นำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการก่อนการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม โดยให้อาหารสำเร็จรูป 2 เวลา เช้าและเย็น ทำความสะอาดบ่อคัดตะกอนทุกวันและถ่ายน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ ทุก 2 วัน

#### 3.5.4.4 วิธีการเตรียมอาหารและการให้อาหาร

นำผงผักแห้งผสมกับอาหารมาตรฐานที่ระดับ 0, 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม อาหาร หลังจากนั้นคลุกเคล้าผงผักแห้งกับส่วนประกอบทั้งหมดให้ผสมกันอย่างทั่วถึงด้วยเครื่องผสม หลังจากนั้นนำมาอัดเม็ดด้วยเครื่องทำเส้น แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การให้อาหารทำโดยให้กินจนอิ่ม 2 ครั้งต่อวัน คือเวลา 9.00 และ 15.00 นาฬิกา เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ระหว่างการเลี้ยงปลามีการทำความสะอาดบ่อดูดตะกอนทุกวัน ถ่ายน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ ทุก 2 วัน และทำการวัดค่าคุณภาพน้ำ คือ ค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทุกวัน

#### 3.5.4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง

วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองตามวิธีการข้อ 3.5.1.5 โดยใช้ อาหารทั้ง 4 ชุดการทดลองเป็นตัวอย่างวิเคราะห์

#### 3.5.4.6 การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ของอาหารทดลอง

ชั่งตัวอย่างอาหารทดลอง 0.5 กรัม ผสมกับ 50 เปอร์เซ็นต์ Acetic acid 10 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ แล้วเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมากรองและปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นดูดส่วนใส 1 มิลลิลิตร ผสมกับ Acetic acid ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร และดูดออกมา 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร ผสมกับ TBA ปริมาตร 1 มิลลิลิตรก่อนนำเข้าเครื่อง Water bath ที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งให้เย็น แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร และคำนวณค่า TBARS ได้จากกราฟมาตรฐาน MDA (ตารางผนวกที่ 3) (Zeb and Ullah, 2016)

#### 3.5.4.7 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

ชั่งน้ำหนักปลาทุกตัวทั้ง 16 ซ้ำ และวัดความยาว ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลาโดยวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ (Munglue et al., 2019) ดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain; WG) (g) = น้ำหนักสุดท้าย (กรัม) – น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)

อัตราการผลิตอาหารเป็นน้ำหนัก =  $\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$   
(Feed conversion ratio; FCR)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ =  $\frac{[\text{Ln}(\text{น้ำหนักสุดท้าย(กรัม)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น(กรัม)})]}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}} \times 100$   
(Specific growth rate; SGR)

อัตราการรอดปลา (Survival rate) (%) =  $100 \times \frac{\text{จำนวนปลาสุดท้าย}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$

คอนดิชันแฟกเตอร์ (Condition factor) (%) =  $100 \times \frac{\text{น้ำหนักตัวปลา (กรัม)}}{\text{ความยาวตัวปลา}^3 \text{ (เซนติเมตร)}}$

ดัชนีตับ (Hepatosomatic index) (%) =  $100 \times \frac{\text{น้ำหนักตับ}}{\text{น้ำหนักตัวทั้งหมด}}$

ดัชนีอวัยวะภายใน (Viscerasomatic index) (%) =  $100 \times \frac{\text{น้ำหนักอวัยวะภายใน}}{\text{น้ำหนักตัวทั้งหมด}}$

#### 3.5.4.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิล

วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลตามวิธีการข้อ 3.5.1.5 โดยใช้ปลานิลที่ได้รับอาหารทั้ง 4 ชุดการทดลอง ระยะเวลา 8 สัปดาห์ เป็นตัวอย่างวิเคราะห์

#### 3.5.4.9 การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้อาหาร สุ่มปลามาชุดการทดลองละ 4 ตัว สลบลด้วยน้ำมันกานพลู โดยสังเกตลักษณะพฤติกรรมของปลาที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ปลาเริ่มว่ายน้ำช้าลง ไม่เคลื่อนไหว ว่ายอยู่กับที่เพื่อประคองตัว ไม่ตอบสนองกับสิ่งรอบข้าง เป็นต้น หลังจากนั้นทำการดูแลเลือดบริเวณหาง 1 มิลลิลิตร โดยใช้เข็มฉีดยาที่เคลือบด้วย heparin ในกระบอกฉีด เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (Anticoagulant) และนำเลือดที่ได้มาวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาดังนี้

1) การวิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell Count, RBC) และเม็ดเลือดขาว (White Blood Cell Count, WBC)

นำเลือด 10 ไมโครลิตรใส่ในหลอด Eppendorf ที่บรรจุสารละลาย Dacie's ปริมาตร 990 ไมโครลิตร จะได้เลือดที่มีความเจือจางเท่ากับ 1:100 พลิกหลอดไปมาเบาๆ จากนั้นนำ Microhematocrit tube จุ่มใน Eppendorf และนำส่วนปลายด้านต่างมาแต่ละระหว่าง Haemocytometer (counting chamber) และ Cover glass ของเหลวจะไหลไปในช่อง Capillary attraction ไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แล้วทำการนับจำนวนเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว นำค่าที่ได้คำนวณตามสูตรดังนี้ (นพดล และคณะ, 2552; วรพล., 2551)

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเม็ดเลือดแดง} &= \text{จำนวนที่นับได้ 5 ช่อง} \times 5 \times 10 \times 100 \\ &= \frac{\text{จำนวนที่นับได้ 5 ช่อง} \times 5000}{10^6/\text{mm}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเม็ดเลือดขาว} &= \text{จำนวนที่นับได้เฉลี่ยต่อช่อง} \times 10 \times 100 \\ &= \frac{\text{จำนวนที่นับได้เฉลี่ยต่อช่อง} \times 1000}{10^4/\text{mm}^3} \end{aligned}$$

#### 2) การวิเคราะห์ค่าฮีมาโตคริต (Haematocrit value)

นำเลือดที่ได้ใส่ลงใน Microhematocrit tube จำนวน 4 หลอด อุดปลายด้านใดด้านหนึ่งด้วยดินน้ำมันขาว นำ Microhematocrit tube ที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเม็ดเลือดแดง (Hematocrit Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการคำนวณค่าฮีมาโตคริตดังนี้ (จุไลวรรณและสมพร, 2551)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริต} = \frac{\text{ความยาวของชั้นเม็ดเลือด} \times 100}{\text{ความยาวของเลือดทั้งหมด}}$$



### 3) การวิเคราะห์ค่าฮีโมโกลบินในเลือด (Hemoglobin value)

นำ Drabkin's solution 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดเลือดมา 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vertex หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร คำนวณค่าฮีโมโกลบินได้จากกราฟมาตรฐาน (ตารางผนวกที่ 4) (จุไลวรรณและสมพร, 2551)

#### 3.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสารละลายธาตุอาหารกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

### 3.6 สถานที่ทำการวิจัย

โรงเรียนพรหมมนำ โรงเรียนปลาซวงงามและห้องปฏิบัติการ หลักสูตรวิทยาศาสตร์ การประมง อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือนมิถุนายน 2563

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

##### 4.1.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การเจริญเติบโตของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 พบว่า ความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในขณะที่ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยของผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารมีค่ามากกว่าผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 แยกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ  $3.43 \pm 0.13$  และ  $1.04 \pm 0.04$  เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การเจริญเติบโต	<i>Limnophila aromatica</i>	
	ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร	ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2
ความสูงต้น (ซม.)	$23.83 \pm 2.71^a$	$26.46 \pm 2.01^a$
จำนวนใบ (ใบต่อต้น)	$24.89 \pm 3.22^a$	$24.57 \pm 2.02^a$
ความยาวใบ (ซม.)	$3.43 \pm 0.13^a$	$2.98 \pm 0.12^b$
ความกว้างใบ (ซม.)	$1.04 \pm 0.04^a$	$0.91 \pm 0.04^b$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

##### 4.1.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 พบ น้ำหนักสดเริ่มต้น น้ำหนักแห้งเริ่มต้น น้ำหนักสดสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในขณะที่น้ำหนักแห้งสุดท้ายของผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีค่ามากกว่าผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ  $0.3474 \pm 0.0110$  กรัมต่อต้น (ตารางที่ 4.2)

**ตารางที่ 4.2** น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

<i>Limnophila</i> <i>aromatica</i>	น้ำหนักเริ่มต้น		น้ำหนักสุดท้าย	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
	(กรัมต่อต้น)	(กรัมต่อต้น)	(กรัมต่อต้น)	(กรัมต่อต้น)
ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร	$0.3730 \pm 0.0025$	$0.0698 \pm 0.0028$	$3.0104 \pm 0.0973$	$0.3133 \pm 0.0373^b$
ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2	$0.3721 \pm 0.0024$	$0.0707 \pm 0.0003$	$3.1822 \pm 0.0630$	$0.3474 \pm 0.0110^a$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.1.3 องค์ประกอบทางโภชนาของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า เถ้า (ash) ของผักแขยงในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารมีค่าเถ้ามากกว่าเท่ากับ  $14.18 \pm 0.00$  เปอร์เซ็นต์ ทางด้านความชื้น (moisture) โปรตีน (crude protein) ไขมัน (crude Lipid) เยื่อใย (fiber) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (nitrogen free extract; NFE) ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.3)

#### 4.1.4 สารพฤษเคมีของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การตรวจสอบสารพฤษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเอทานอลจากผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นการสังเกตโดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน โดยมีเกณฑ์การประเมินตาม Chattiranan et al. (2013) คือ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบสารกลุ่มที่ทดสอบ และ + หมายถึง ตรวจสอบพบสารกลุ่มที่ทดสอบ จากการทดลองพบ สารพฤษเคมีในทุกชุดการทดลอง ทั้งหมด 8 กลุ่ม คือ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เทอร์ปีนอยด์ อัลคาลอยด์ และคูมาริน โดยไม่พบแอนทราควิโนนในทุกชุดการทดลอง และมีเพียงสเตอรอยด์เท่านั้นที่พบในผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางโภชนาของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดินไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (dry weight basis, %)

องค์ประกอบทางโภชนา	<i>Limnophila aromatica</i>	
	ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร	ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2
Moisture (%)	3.31 ± 1.59 <sup>a</sup>	4.51 ± 0.19 <sup>a</sup>
Crude Protein (%)	21.25 ± 0.08 <sup>a</sup>	20.04 ± 0.20 <sup>a</sup>
Crude Lipid (%)	3.17 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.05 <sup>a</sup>
Ash (%)	14.18 ± 0.00 <sup>a</sup>	14.15 ± 0.00 <sup>b</sup>
Fiber (%)	17.40 ± 0.14 <sup>a</sup>	17.33 ± 0.47 <sup>a</sup>
NFE (%)	40.70 ± 1.33 <sup>a</sup>	40.73 ± 0.51 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ), NFE; Nitrogen free extract = 100 - (Crude protein + Crude lipid + Fiber + Ash + Moisture)

#### 4.1.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีค่าฟีนอลิกทั้งหมด  $19.51 \pm 0.11$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด  $11.13 \pm 0.12$  มิลลิกรัมเคอซิทินต่อกรัม ด้านผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารมีค่าฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดต่ำกว่า คือ  $18.56 \pm 0.07$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม และ  $6.02 \pm 0.30$  มิลลิกรัมเคอซิทินต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ  $86.83 \pm 0.50$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า ผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร (ตารางที่ 4.5) ในขณะที่การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ  $59.42 \pm 3.27$  เปอร์เซ็นต์ มากกว่าผักแขยงไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 สารพฤกษเคมีของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สารพฤกษเคมี	<i>Limnophila aromatica</i>	
	ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร	ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2
แทนนิน	+	+
ซาโปนิน	+	+
ฟีนอลิก	+	+
ฟลาโวนอยด์	+	+
แอนทราควิโนน	-	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	+	+
เทอร์พีนอยด์	+	+
อัลคาลอยด์	+	+
คูมาริน	+	+
สเตอรอยด์	-	+

หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบสารกลุ่มที่ทดสอบ; + หมายถึง ตรวจสอบพบสารกลุ่มที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Antioxidant activities	<i>Limnophila aromatica</i>	
	ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร	ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2
TPC (mgGAE/g)	18.56 ± 0.07 <sup>b</sup>	19.51 ± 0.11 <sup>a</sup>
TFC (mgQE/g)	6.02 ± 0.30 <sup>b</sup>	11.13 ± 0.12 <sup>a</sup>
DPPH (%)	83.26 ± 0.40 <sup>b</sup>	86.83 ± 0.50 <sup>a</sup>
ABTS (%)	45.38 ± 3.10 <sup>b</sup>	59.42 ± 3.27 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

## 4.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

### 4.2.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน

การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ EC 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีความสูงเฉลี่ย  $20.04 \pm 1.07$  เซนติเมตร รองลงมาคือ ผักแขยงที่ EC 1, 3 และ 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $17.56 \pm 0.75$ ,  $17.23 \pm 0.86$  และ  $15.46 \pm 0.96$  เซนติเมตร ตามลำดับ ด้านจำนวนใบเฉลี่ยพบในผักแขยงที่ EC 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $35.79 \pm 4.00$  ใบต่อต้น รองลงมาคือ ผักแขยงที่ EC 1, 3 และ 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เท่ากับ  $31.06 \pm 2.74$ ,  $23.73 \pm 1.24$  และ  $22.31 \pm 2.33$  ใบต่อต้น ตามลำดับ ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การเจริญเติบโต	EC (mS/cm)			
	0.5	1	2	3
ความสูงต้น (ซม.)	$15.46 \pm 0.96^b$	$17.56 \pm 0.75^{ab}$	$20.04 \pm 1.07^a$	$17.23 \pm 0.86^b$
จำนวนใบ (ใบต่อต้น)	$22.31 \pm 2.33^c$	$31.06 \pm 2.74^{ab}$	$35.79 \pm 4.00^a$	$23.73 \pm 1.24^{bc}$
ความยาวใบ (ซม.)	$2.05 \pm 0.18^a$	$2.17 \pm 0.14^a$	$2.11 \pm 0.11^a$	$1.89 \pm 0.07^a$
ความกว้างใบ (ซม.)	$0.80 \pm 0.05^a$	$0.89 \pm 0.05^a$	$0.81 \pm 0.04^a$	$0.78 \pm 0.03^a$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 4.2.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน พบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในขณะที่เมื่อปลูกไป 4 สัปดาห์ น้ำหนักสดของผักแขยงที่ EC 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

มีค่าสูงสุด คือ  $4.3943 \pm 0.0493$  กรัมต่อต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และ น้ำหนักแห้งของผักแขยงที่ปลูกใน EC 1 และ 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $0.3502 \pm 0.0084$  และ  $0.3380 \pm 0.0091$  กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

**ตารางที่ 4.7** น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

EC (mS/cm)	น้ำหนักเริ่มต้น		น้ำหนักสุดท้าย	
	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม ต่อต้น)	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)
0.5	$0.3674 \pm 0.0015$	$0.0806 \pm 0.0054$	$3.5344 \pm 0.0086^c$	$0.3138 \pm 0.0040^c$
1	$0.3653 \pm 0.0017$	$0.0811 \pm 0.0046$	$4.3943 \pm 0.0493^a$	$0.3502 \pm 0.0084^a$
2	$0.3706 \pm 0.0029$	$0.0794 \pm 0.0057$	$4.1263 \pm 0.0495^b$	$0.3380 \pm 0.0091^{ab}$
3	$0.3710 \pm 0.0020$	$0.0802 \pm 0.0050$	$4.0944 \pm 0.0426^b$	$0.3269 \pm 0.0028^{bc}$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.2.3 สารพฤษเคมีของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน

การตรวจสอบสารพฤษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเอทานอลจากผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบสารพฤษเคมี ทั้งหมด 9 กลุ่ม คือ เทนินิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์ คูมาริน และสเตอรอยด์ในทุกชุดการทดลอง มีเพียงแอนทราควิโนน เท่านั้นที่ไม่พบในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.8)

#### 4.2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้ในการศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ( $P < 0.05$ ) โดยผักแขยงที่ EC 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $25.29 \pm 0.68$  มิลลิกรัมแควอซิทินต่อกรัม รongลงมา คือ ผักแขยงที่ EC 3, 2 และ 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เท่ากับ  $24.10 \pm 0.48$ ,  $20.60 \pm 0.73$  และ

20.36 ± 0.55 มิลลิกรัมแควอซิทีนต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ EC 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เท่ากับ  $43.33 \pm 0.65$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ผักแขยงที่ EC 2, 3 และ 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $42.20 \pm 0.56$ ,  $40.89 \pm 0.91$  และ  $39.88 \pm 0.51$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) และในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ EC 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging เท่ากับ  $57.40 \pm 0.38$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ผักแขยงที่ EC 2, 0.5 และ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่า  $52.57 \pm 0.85$ ,  $51.30 \pm 0.40$  และ  $50.07 \pm 0.40$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9)

**ตารางที่ 4.8** สารพฤกษเคมีของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สารพฤกษเคมี	EC (mS/cm)			
	0.5	1	2	3
แทนนิน	+	+	+	+
ซาโปนิน	+	+	+	+
ฟีนอลิก	+	+	+	+
ฟลาโวนอยด์	+	+	+	+
แอนทราควิโนน	-	-	-	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	+	+	+	+
เทอร์พีนอยด์	+	+	+	+
อัลคาลอยด์	+	+	+	+
คูมาริน	+	+	+	+
สเตอรอยด์	+	+	+	+

หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบสารกลุ่มที่ทดสอบ; + หมายถึง ตรวจสอบพบสารกลุ่มที่ทดสอบ

#### 4.2.5 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงทั้ง 4 วิธี กับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน พบว่า ความสามารถใน



การต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงทั้ง 4 วิธี มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารทั้งหมดซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และความสัมพันธ์ระหว่าง TPC กับ TFC, TPC กับ DPPH, TPC กับ ABTS, TFC กับ DPPH และ TFC กับ ABTS มีความสัมพันธ์เชิงบวก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง DPPH กับ ABTS มีความสัมพันธ์เชิงลบ ซึ่งเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตารางที่ 4.10)

**ตารางที่ 4.9** ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Antioxidant activities	EC (mS/cm)			
	0.5	1	2	3
TPC (mgGAE/g)	8.31 ± 0.21 <sup>a</sup>	8.35 ± 0.12 <sup>a</sup>	8.60 ± 0.28 <sup>a</sup>	8.84 ± 0.14 <sup>a</sup>
TFC (mgQE/g)	20.36 ± 0.55 <sup>b</sup>	25.29 ± 0.68 <sup>a</sup>	20.60 ± 0.73 <sup>b</sup>	24.10 ± 0.48 <sup>a</sup>
DPPH (%)	39.88 ± 0.51 <sup>c</sup>	43.33 ± 0.65 <sup>a</sup>	42.20 ± 0.56 <sup>ab</sup>	40.89 ± 0.91 <sup>bc</sup>
ABTS (%)	51.30 ± 0.40 <sup>bc</sup>	50.07 ± 0.40 <sup>c</sup>	52.57 ± 0.85 <sup>b</sup>	57.40 ± 0.38 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

**ตารางที่ 4.10** ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Parameters	EC	TPC	TFC	DPPH	ABTS
EC (mS/cm)	1				
TPC (mgGAE/g)	0.460 <sup>*</sup>	1			
TFC (mgQE/g)	0.295	0.319	1		
DPPH (%)	0.113	0.001	0.384	1	
ABTS (%)	0.779 <sup>**</sup>	0.511 <sup>*</sup>	0.084	-0.346	1

หมายเหตุ : \* , Correlation is significant at P<0.05; \*\* , Correlation is significant at P<0.01

### 4.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

#### 4.3.1 การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน

การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยพบค่าความสูงเฉลี่ยในผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 5.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร เท่ากับ  $22.95 \pm 0.57$  เซนติเมตร รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 4.40, 4.90, 3.90 และ 3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีค่า  $22.08 \pm 0.63$ ,  $21.32 \pm 0.71$ ,  $21.25 \pm 1.05$  และ  $19.73 \pm 0.73$  เซนติเมตร ตามลำดับ ด้านจำนวนใบเฉลี่ยของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 5.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร เท่ากับ  $30.16 \pm 0.82$  ใบต่อต้น รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 4.90, 4.40, 3.40 และ 3.90 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีค่า  $27.05 \pm 1.14$ ,  $26.50 \pm 0.44$ ,  $25.45 \pm 1.14$  และ  $23.50 \pm 1.28$  ใบต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 การเจริญเติบโตของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การเจริญเติบโต	KNO <sub>3</sub> (meq/L)				
	3.40	3.90	4.40	4.90	5.40
ความสูงต้น (ซม.)	$19.73 \pm 0.73^b$	$21.25 \pm 1.05^{ab}$	$22.08 \pm 0.63^a$	$21.32 \pm 0.71^{ab}$	$22.95 \pm 0.57^a$
จำนวนใบ (ใบต่อต้น)	$25.45 \pm 1.14^{bc}$	$23.50 \pm 1.28^c$	$26.50 \pm 0.44^{bc}$	$27.05 \pm 1.14^b$	$30.16 \pm 0.82^a$
ความยาวใบ (ซม.)	$2.25 \pm 0.15^a$	$2.46 \pm 0.14^a$	$2.40 \pm 0.08^a$	$2.15 \pm 0.10^a$	$2.47 \pm 0.13^a$
ความกว้างใบ (ซม.)	$0.75 \pm 0.05^a$	$0.73 \pm 0.04^a$	$0.75 \pm 0.03$	$0.66 \pm 0.02^a$	$0.79 \pm 0.04^a$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.3.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน พบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในขณะที่น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสุดท้ายของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเตรท 5.40 มิลลิอิกวิวาเลนที่ต่อลิตร มีค่าสูงสุด คือ  $3.3088 \pm 0.0610$  และ  $0.3359 \pm 0.0061$  กรัมต่อต้น ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) กับชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

KNO <sub>3</sub> (meq/L)	น้ำหนักเริ่มต้น		น้ำหนักสุดท้าย	
	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม ต่อต้น)	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)
3.40	$0.3703 \pm 0.0027$	$0.0859 \pm 0.0051$	$2.7523 \pm 0.0668^b$	$0.2802 \pm 0.0067^b$
3.90	$0.3725 \pm 0.0031$	$0.0839 \pm 0.0012$	$2.8722 \pm 0.0405^b$	$0.2922 \pm 0.0041^b$
4.40	$0.3705 \pm 0.0040$	$0.0826 \pm 0.0008$	$2.9648 \pm 0.1643^b$	$0.3015 \pm 0.0164^b$
4.90	$0.3707 \pm 0.0023$	$0.0858 \pm 0.0008$	$3.0264 \pm 0.0417^b$	$0.3076 \pm 0.0042^b$
5.40	$0.3717 \pm 0.0021$	$0.0822 \pm 0.0045$	$3.3088 \pm 0.0610^a$	$0.3359 \pm 0.0061^a$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

#### 4.3.3 สารพิษเคมีของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน

การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดหยาบเอทานอลจากผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบสารพิษเคมีทั้งหมด 9 กลุ่ม คือ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์ คูมาริน และสเตอรอยด์ในทุกชุดการทดลอง มีเพียงแอนทราควิโนนเท่านั้นที่ไม่พบในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.13)

**ตารางที่ 4.13** สารพฤกษเคมีของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

สารพฤกษเคมี	KNO <sub>3</sub> (meq/L)				
	3.40	3.90	4.40	4.90	5.40
แทนนิน	+	+	+	+	+
ซาโปนิน	+	+	+	+	+
ฟีนอลิก	+	+	+	+	+
ฟลาโวนอยด์	+	+	+	+	+
แอนทราควิโนน	-	-	-	-	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	+	+	+	+	+
เทอร์ปีนอยด์	+	+	+	+	+
อัลคาลอยด์	+	+	+	+	+
คูมาริน	+	+	+	+	+
สเตอรอยด์	+	+	+	+	+

หมายเหตุ : - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบสารกลุ่มที่ทดสอบ; + หมายถึง ตรวจสอบพบสารกลุ่มที่ทดสอบ

#### 4.3.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมในเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเตรท 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $23.59 \pm 0.28$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเตรท 5.40, 4.90, 3.90 และ 4.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร มีค่า  $17.88 \pm 0.39$ ,  $14.50 \pm 0.03$ ,  $14.00 \pm 0.36$  และ  $12.58 \pm 0.08$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) นอกจากนี้ในการศึกษาปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเตรท 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร มีค่าเท่ากับ  $28.89 \pm 0.40$  มิลลิกรัมเคอซิทินต่อกรัม รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเตรท 3.90, 5.40, 4.90 และ 4.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร มีค่า  $26.78 \pm 0.54$ ,  $24.59 \pm 0.48$ ,  $19.45 \pm 0.16$  และ  $17.26 \pm 0.21$  มิลลิกรัมเคอซิทินต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ  $56.09 \pm 0.78$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 5.40, 3.90, 4.90 และ 4.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีค่า  $34.34 \pm 0.40$ ,  $27.68 \pm 0.00$ ,  $21.98 \pm 0.61$  และ  $15.76 \pm 0.50$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) และในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS radical scavenging พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ  $61.01 \pm 0.43$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 5.40, 4.90, 3.90 และ 4.400 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีค่า  $50.65 \pm 0.78$ ,  $45.47 \pm 0.74$ ,  $43.53 \pm 0.99$  และ  $43.41 \pm 0.63$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14)

**ตารางที่ 4.14** ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง (*L. aromatica*) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Antioxidant activities	KNO <sub>3</sub> (meq/L)				
	3.40	3.90	4.40	4.90	5.40
TPC (mgGAE/g)	$23.59 \pm 0.28^a$	$14.00 \pm 0.36^c$	$12.58 \pm 0.08^d$	$14.50 \pm 0.03^c$	$17.88 \pm 0.39^b$
TFC (mgQE/g)	$28.89 \pm 0.40^a$	$26.78 \pm 0.54^b$	$17.26 \pm 0.21^c$	$19.45 \pm 0.16^d$	$24.59 \pm 0.48^c$
DPPH (%)	$56.09 \pm 0.78^a$	$27.68 \pm 0.00^c$	$15.76 \pm 0.50^e$	$21.98 \pm 0.61^d$	$34.34 \pm 0.40^b$
ABTS (%)	$61.01 \pm 0.43^a$	$43.53 \pm 0.99^c$	$43.41 \pm 0.63^c$	$45.47 \pm 0.74^c$	$50.65 \pm 0.78^b$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงทั้ง 4 วิธีกับความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงทั้ง 4 วิธี มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหารทั้งหมดซึ่งเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง TPC กับ TFC, TPC กับ DPPH, TPC กับ ABTS, TFC

กับ DPPH, TFC กับ ABTS และ DPPH กับ ABTS มีความสัมพันธ์เชิงบวก ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 4.15)

**ตารางที่ 4.15** ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Parameters	KNO <sub>3</sub>	TPC	TFC	DPPH	ABTS
KNO <sub>3</sub> (meq/L)	1				
TPC (mgGAE/g)	-0.390	1			
TFC (mgQE/g)	-0.588*	0.691*	1		
DPPH (%)	-0.589*	0.985**	0.884**	1	
ABTS (%)	-0.165	0.953**	0.544	0.926**	1

หมายเหตุ : \* , Correlation is significant at P<0.05; \*\* , Correlation is significant at P<0.01

#### 4.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล (*O. niloticus*)

##### 4.4.1 องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง ประกอบด้วย อาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 0 (กลุ่มควบคุม), 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ความชื้น (moisture) โปรตีน (crude protein) ไขมัน (crude lipid) เถ้า (ash) และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (nitrogen free extract; NFE) ของอาหารในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยมีค่าองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกันคือ อาหารมีความชื้น 1.95 ถึง 2.65 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 38.08 ถึง 38.37 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5.05 ถึง 6.61 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 10.75 ถึง 10.93 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย 40.91 ถึง 42.96 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เยื่อใย (fiber) ในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยอาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 75 กรัมต่อกิโลกรัม มีเยื่อใย เท่ากับ  $1.30 \pm 0.07$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ อาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 50, 25 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า  $1.17 \pm 0.01$ ,  $0.91 \pm 0.08$  และ  $0.60 \pm 0.06$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

**ตารางที่ 4.16** องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง ประกอบด้วย อาหารที่เสริมผักแขยงใน ระดับ 0 (กลุ่มควบคุม), 25, 50 และ 75 กรัมต่อกิโลกรัม (dry weight basis, %)

Parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Moisture (%)	2.46 ± 0.26 <sup>a</sup>	2.55 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.65 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.95 ± 0.00 <sup>a</sup>
Crude Protein (%)	38.08 ± 0.77 <sup>a</sup>	38.33 ± 0.05 <sup>a</sup>	38.37 ± 0.28 <sup>a</sup>	38.30 ± 0.41 <sup>a</sup>
Crude Lipid (%)	5.05 ± 0.13 <sup>a</sup>	5.26 ± 0.48 <sup>a</sup>	6.13 ± 0.26 <sup>a</sup>	6.61 ± 0.16 <sup>a</sup>
Ash (%)	10.86 ± 0.04 <sup>a</sup>	10.84 ± 0.10 <sup>a</sup>	10.75 ± 0.07 <sup>a</sup>	10.93 ± 0.02 <sup>a</sup>
Fiber (%)	0.60 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.91 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.07 <sup>a</sup>
NFE (%)	42.96 ± 0.61 <sup>a</sup>	42.11 ± 0.43 <sup>a</sup>	40.93 ± 0.26 <sup>a</sup>	40.91 ± 0.66 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ), NFE; Nitrogen free extract =  $100 - (\text{crude protein} + \text{crude lipid} + \text{fiber} + \text{ash} + \text{moisture})$

#### 4.4.2 ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ของอาหารทดลอง

การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ในอาหารทดลองของ 0 และ 8 สัปดาห์ พบว่า ค่า TBARS ของอาหารทดลองเริ่มต้นที่ 0 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง ในขณะที่เดียวกันเมื่อเก็บอาหารทดลองไว้เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ระยะเวลาที่ทำการทดลอง) พบว่าค่า TBARS ในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยอาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 75 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า TBARS เท่ากับ  $1.70 \pm 0.06$  ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ส่วนอาหารที่เสริมผักแขยงในระดับ 50, 25 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า TBARS เท่ากับ  $1.91 \pm 0.05$ ,  $2.18 \pm 0.05$  และ  $2.49 \pm 0.05$  ไมโครโมลาร์ต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.17)

**ตารางที่ 4.17** ค่า Thiobarbituric acid reactive substance ของอาหารทดลองระหว่าง 0 และ 8 สัปดาห์

Times	TBARS ( $\mu\text{M/g}$ )			
	0 g/kgDiet	25 g/kgDiet	50 g/kgDiet	75 g/kgDiet
0 week	1.05 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.04 <sup>a</sup>
8 week	2.49 ± 0.05 <sup>d</sup>	2.18 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.91 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.70 ± 0.06 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

#### 4.4.3 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง

ปลานิลในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักและความยาวเริ่มต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) และจากการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain; WG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio; FCR) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) อัตรารอด (survival rate) คอนดิชันแฟกเตอร์ (condition factor, CF) และดัชนีตับ (hepatosomatic index, HSI) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง ในขณะที่ดัชนีอวัยวะภายใน (viscerasomatic index, VSI) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยในปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยงในระดับ 75 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $15.54 \pm 0.25$  เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

Growth parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Initial weight (g/fish)	$1.93 \pm 0.01^a$	$1.92 \pm 0.01^a$	$1.91 \pm 0.00^a$	$1.92 \pm 0.00^a$
Final Weight (g/fish)	$18.72 \pm 0.10^a$	$19.10 \pm 0.10^a$	$19.41 \pm 0.28^a$	$19.35 \pm 0.31^a$
Initial length (cm/fish)	$5.04 \pm 0.14^a$	$5.01 \pm 0.09^a$	$4.90 \pm 0.02^a$	$4.91 \pm 0.04^a$
Final length (cm/fish)	$11.00 \pm 0.08^a$	$10.84 \pm 0.12^a$	$10.62 \pm 0.11^a$	$10.97 \pm 0.08^a$
WG (g/fish)	$16.79 \pm 0.10^a$	$17.19 \pm 0.10^a$	$17.51 \pm 0.28^a$	$17.43 \pm 0.32^a$
FCR	$1.12 \pm 0.01^a$	$1.09 \pm 0.01^a$	$1.06 \pm 0.03^a$	$1.09 \pm 0.02^a$
SGR (%/day)	$4.74 \pm 0.01^a$	$4.79 \pm 0.01^a$	$4.84 \pm 0.03^a$	$4.82 \pm 0.04^a$
survival (%)	$100.00 \pm 0.00^a$	$100.00 \pm 0.00^a$	$98.75 \pm 1.25^a$	$100.00 \pm 0.00^a$
CF (%)	$1.58 \pm 0.05^a$	$1.56 \pm 0.04^a$	$1.52 \pm 0.05^a$	$1.60 \pm 0.06^a$
HSI (%)	$1.64 \pm 0.15^a$	$1.34 \pm 0.27^a$	$1.39 \pm 0.17^a$	$1.47 \pm 0.14^a$
VSI (%)	$13.53 \pm 0.25^c$	$14.34 \pm 0.01^b$	$14.54 \pm 0.04^b$	$15.54 \pm 0.25^a$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ), WG; weight gain, FCR; feed conversion ratio, SGR; specific growth rate, CF; condition factor, HSI; hepatosomatic index, VSI; viscerasomatic index



#### 4.4.4 องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง

ค่าองค์ประกอบทางโภชนา ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมันและเถ้าของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าองค์ประกอบทางโภชนาในเนื้อปลาใกล้เคียงกัน คือ มีความชื้น 79.66 ถึง 80.65 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17.39 ถึง 19.49 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.32 ถึง 2.30 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 0.91 ถึง 1.03 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เยื่อใยและคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในเนื้อปลานิลไม่สามารถตรวจสอบได้ (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (wet weight basis, %)

Parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Moisture (%)	80.29 ± 0.54 <sup>a</sup>	80.65 ± 0.11 <sup>a</sup>	79.66 ± 0.05 <sup>a</sup>	79.82 ± 0.08 <sup>a</sup>
Crude Protein (%)	17.50 ± 1.16 <sup>a</sup>	17.39 ± 0.61 <sup>a</sup>	17.75 ± 0.04 <sup>a</sup>	19.49 ± 0.06 <sup>a</sup>
Crude Lipid (%)	1.32 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.56 <sup>a</sup>	1.45 ± 1.05 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.01 <sup>a</sup>
Ash (%)	1.03 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.02 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.01 ± 0.07 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

#### 4.4.5 ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง

การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณเม็ดเลือดแดง (RBC) และค่าฮีมาโตคริต (Ht) ของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยพบค่าปริมาณเม็ดเลือดแดงในปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 25 กรัมต่อกิโลกรัม เท่ากับ  $2.68 \pm 0.34 \times 10^6$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร รองลงมาคือ ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 50, 75 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า  $2.62 \pm 0.28$ ,  $1.86 \pm 0.23$  และ  $1.63 \pm 0.29 \times 10^6$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ ด้านค่าฮีมาโตคริตพบในปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 50 กรัมต่อกิโลกรัม เท่ากับ  $29.70 \pm 0.38$  เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง 25, 75 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า  $29.57 \pm 1.16$ ,  $28.33 \pm 0.73$  และ  $26.38 \pm 0.58$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้านปริมาณเม็ดเลือดขาว (WBC) และค่าฮีโมโกลบิน (Hb) ของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยพบปริมาณเม็ดเลือดขาวมีค่าอยู่ระหว่าง  $6.73$  ถึง  $9.03 \times 10^4$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ใน

ขณะเดียวกันค่าฮีโมโกลบินของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 12.00 ถึง 14.50 กรัมต่อเดซิลิตร (ตารางที่ 4.20)

**ตารางที่ 4.20** ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

Parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
RBC ( $\times 10^6$ cell/mm <sup>3</sup> )	1.63 $\pm$ 0.29 <sup>b</sup>	2.68 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>	2.62 $\pm$ 0.28 <sup>ab</sup>	1.86 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>
WBC ( $\times 10^4$ cell/mm <sup>3</sup> )	8.66 $\pm$ 0.79 <sup>a</sup>	9.03 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	7.49 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	6.73 $\pm$ 0.72 <sup>a</sup>
Ht (%)	26.38 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>	29.57 $\pm$ 1.16 <sup>a</sup>	29.70 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	28.33 $\pm$ 0.73 <sup>ab</sup>
Hb (g/dl)	12.00 $\pm$ 1.15 <sup>a</sup>	12.30 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	14.50 $\pm$ 0.87 <sup>a</sup>	14.22 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย  $\pm$  SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ), Ht; Haematocrit values, Hb; Hemaglobin values, RBC; Red Blood Cell Count and WBC; White Blood Cell Count

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 การศึกษาสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การเจริญเติบโตของผักแขยงในระบบไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน จาก การทดลองนี้ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยของผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารมีค่ามากกว่าผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 อาจเนื่องมาจากการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่วัดเป็นค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) เริ่มต้นไว้ใกล้เคียงกับในน้ำปกติที่ 0.5 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่า EC ของน้ำปกติจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำหรือมีค่าเป็นศูนย์ จึงส่งผลให้ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยของผักแขยงที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารมีค่ามากกว่าผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 โดยค่า EC เป็นตัวชี้วัดเกลือที่ละลายในสารละลายและสามารถควบคุมระดับของปุ๋ยในสารละลายเพื่อให้พืชได้รับปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการ ซึ่งความแตกต่างของค่า EC ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความเข้มของแสงและขนาดถังที่บรรจุสารอาหารพืช ดังนั้นการควบคุมค่า EC มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชแต่ละชนิดต้องการค่า EC ที่แตกต่างกัน (Brechtner, 1996; ดิเรก, 2550) แสดงให้เห็นว่าผักแขยงมีความต้องการค่า EC ที่สูงกว่าในการทดลองนี้ เมื่อนำผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินที่ไม่ใส่สารละลายธาตุอาหารและใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา สารพฤกษเคมีเบื้องต้น และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา พบว่า เฟอร์เร็นต์เก่าของผักแขยงในทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางด้านเฟอร์เร็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลองแต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผักแขยงที่ซื้อในท้องตลาด (ปลูกในดิน) พบว่า เฟอร์เร็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมีค่ามากกว่าผักแขยงที่ปลูกในระบบไร้ดิน มีค่าเท่ากับ  $6.95 \pm 0.25$ ,  $22.59 \pm 0.18$ ,  $3.32 \pm 0.04$ ,  $15.60 \pm 0.06$  และ  $45.77 \pm 0.96$  เฟอร์เร็นต์ ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 5) ด้านการวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเบื้องต้น พบสารพฤกษเคมีทั้งหมด 8 กลุ่ม คือ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์และคูมารินในทุกชุดการทดลองและมีเพียงสเตอรอยด์เท่านั้นที่พบในผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 โดยสารพฤกษเคมี คือ สารเคมีตามธรรมชาติที่พบได้ในพืช มีหน้าที่ให้สี สันรสชาติ เป็นระบบภูมิคุ้มกันที่ช่วยปกป้องพืชและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่

ช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ ในคน เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคกระดูกพรุน โรคปอด ไปจนถึงโรคมะเร็ง โดยกลไกการทำงานของสารพฤกษเคมีเมื่อเข้าสู่ร่างกายอาจเกิดจากการช่วยให้เอ็นไซม์บางกลุ่มทำงานได้ดีขึ้นหรือช่วยให้เอ็นไซม์บางชนิดสามารถทำหน้าที่ทำลายสารก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกาย มีผลทำให้สารก่อมะเร็งหมดฤทธิ์ (นันทวัน, 2557) โดยมีงานวิจัยของ Sribusarakum et al. (2004) ได้ศึกษาส่วนประกอบที่สำคัญของผักแขยงด้วยวิธี GC-MS พบ limonene, (+)-trans-isolimonene และ  $\alpha$ -humulene เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหย และในรายงานของ Chowdhury et al. (2011) ได้ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผักแขยงด้วยวิธี GC-MS พบ Z-ocimene, terpinolene และ camphor เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารในกลุ่มเทอร์พีนอยด์ มีคุณสมบัติเกี่ยวข้องกับกลิ่นและรสของพืช แสดงว่าสารในกลุ่มนี้มีส่วนทำให้เกิดกลิ่นและรสที่เฉพาะในผักแขยง จึงปรากฏสารให้เห็นจากการวิเคราะห์เบื้องต้นนี้ และการพบ สเตอรอยด์ เฉพาะในผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 อาจเป็นเพราะผักแขยงได้รับสารอาหารที่เพียงพอ สำหรับนำไปสร้างสารดังกล่าวออกมาปรากฏให้เห็นจากการทดสอบเบื้องต้น ซึ่งพืชสร้างสารนี้มา เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและป้องกันตนเอง

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงในระบบปลูกไร่ดินที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีค่ามากกว่าการไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผักแขยงในท้องตลาด (ปลูกในดิน) พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีค่ามากกว่าผักแขยงที่ปลูกในระบบไร่ดิน เท่ากับ  $24.01 \pm 0.50$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม  $13.67 \pm 0.21$  มิลลิกรัมเคอเวซิทินต่อกรัม และ  $87.50 \pm 0.62$  เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 6) ซึ่งสารในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Woraratphoka et al., 2012) โดยมีรายงานการตรวจสอบโครงสร้างฟลาโวนอยด์ในผักแขยงด้วยวิธี NMR spectroscopy และ HPLC พบโครงสร้างฟลาโวนอยด์ 7 ชนิด ได้แก่ Nevadensin, Gardenin B, Nevadensin 7-O- $\beta$ -glucopyranoside, Isothymusin, Pilosin, 8-Hydroxysalvigenin และ Pectolarigenin โดยมี Nevadensin และ Gardenin B ในสัดส่วนมากที่สุด รองลงมา คือ Isothymusin (Bui et al., 2004) และจากการที่ผักแขยงในท้องตลาดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าในระบบปลูกไร่ดิน เนื่องจากผักแขยงดังกล่าวได้ทำการปลูกในดินและด้วยความหลากหลายของดิน อาทิเช่น เป็นแหล่งน้ำ แหล่งอาหารและแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นในปริมาณที่เพียงพอให้รากพืชดูดไปใช้ประโยชน์ เป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ส่งผลให้ผักแขยงในท้องตลาดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าในระบบปลูกไร่ดิน (อนนท์, ม.ป.ป.) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging ในผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีค่ามากกว่าการไม่ใส่

สารละลายธาตุอาหาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักแขยงในการทดลองนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหาร โดยกระบวนการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกและ ฟลาโวนอยด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลบริเวณวงแหวน Aromatic ring โดยเฉพาะฟลาโวนอยด์ที่พบจำนวนมากในหมู่ไฮดรอกซิลตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป โดยหลังจากให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระแล้วโครงสร้างยังคงความเสถียรและสามารถเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับอนุมูลอิสระขั้นที่ 2 ในรูป Alkoxy (RO<sup>•</sup>) ได้อีกครั้ง (Dugas et al., 2000) อีกทั้งผักแขยงที่ใช้สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Woraratphoka et al. (2012) ที่ทดสอบการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงด้วยวิธี DPPH scavenging activity พบว่า มีค่า EC<sub>50</sub> เท่ากับ 24.44 ± 0.30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และในรายงานของ Kukongviriyapan et al. (2007) มีค่า EC<sub>50</sub> เท่ากับ 10.78 ± 0.31 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ Sribusarakum et al. (2004) ได้รายงานไว้ที่ 133 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากรายงานดังกล่าวพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าลักษณะภูมิประเทศ สภาพแวดล้อมที่ปลูก ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวหรือตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารที่พบในผักแขยง

## 5.2 การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ในระดับแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสูงเฉลี่ยและจำนวนใบเฉลี่ยมีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ในขณะที่ความยาวใบเฉลี่ยสุดท้ายและความกว้างใบเฉลี่ยสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกัน ต่อมาได้นำผักแขยงมาวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเบื้องต้นและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากการทดลอง พบสารพฤกษเคมีทั้งหมด 9 กลุ่มในทุกชุดการทดลอง มีเพียงแอนทราควิโนนเท่านั้นที่ไม่พบในทุกชุดการทดลอง ซึ่งสารแอนทราควิโนนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีกลิ่นหอมจัดอยู่ในกลุ่มควิโนน (Quinone) เป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไปเป็นยาละลายและใช้ทาภายนอกแก้โรคผิวหนัง พบมากในพืชอื่น ๆ หลายชนิด เช่น ขี้เหล็ก มะขามแขก ขอบคุน ชุมเห็ดเทศและทรงบาดาล (สมศักดิ์, 2542) นอกจากนี้สารแอนทราควิโนนยังใช้เป็นสารเริ่มต้นของสารย้อมสีและใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเพิ่มผลผลิตของเยื่อกระดาษ อีกทั้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย (Greatvista, 2012) ซึ่งผักแขยงเป็นพืชขายน้ำที่ไม่จำเป็นต้องมีเส้นใยที่แข็งแรง จึงอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้การทดสอบเบื้องต้นนี้ไม่ปรากฏสารแอนทราควิโนนให้เห็น ด้านการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้

ในการศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging พบว่า มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง โดยพบผักแขยงที่ EC 1 และ 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีค่าดังกล่าวมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ

การทดลองที่ 2 ได้เปลี่ยนจากการปลูกผักแขยงในระบบ Hydroponics แบบ DFT ที่เลี้ยงในรางปลูกมาเป็นการปลูกโดยใช้วัสดุปลูก (Substrate culture) คือ เลี้ยงในกระบะที่บรรจุทราย (Organic substrate) เนื่องจากในการศึกษาสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดินขั้นต้นนั้น (การทดลองที่ 1) พบว่าเมื่อผักแขยงเจริญเติบโตได้ในระยะหนึ่งจะเกิดการเอนลำต้น บางต้นมีการเอนลำต้นลงจนหักและตาย ทำให้มีอัตราการตายระหว่างการทดลองมากขึ้น จึงเลือกการปลูกในกระบะที่บรรจุทราย เพื่อให้ลำต้นของผักแขยงได้มีพื้นที่ในการเจริญเติบโตได้เต็มที่และช่วยลดอัตราการตายได้อีกด้วย โดยมีหลักการปฏิบัติเช่นเดียวกับการให้สารละลายธาตุอาหาร นอกจากนั้นในการปลูกพืชไม่ใช้ดินหรือระบบปลูกไร้ดิน ธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้อู่ในรูปของสารละลาย เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความจำเพาะในการให้ธาตุอาหารแตกต่างกันไปและนิยมเตรียมสารละลายธาตุอาหารเป็นสารละลายเข้มข้นก่อน (Stock solution) นำมาละลายตามความเหมาะสมที่พืชแต่ละชนิดต้องการ มีปริมาณหรือความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสามารถตรวจในรูปของค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัด EC (Electrical conductivity meter) โดยพืชแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ต่างกัน ซึ่งค่า EC ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักแขยงในการทดลองนี้ อยู่ที่ 1 ถึง 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และมีรายงานค่า EC ที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชสมุนไพรอื่น ๆ อาทิเช่น โหระพา (Basil) อยู่ที่ 1.8 ถึง 2.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จิง (Ginger) อยู่ที่ 1.0 ถึง 1.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ผักน้ำ (Watercress) อยู่ที่ 0.4 ถึง 1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และพาสเลย์ (Pasley) อยู่ที่ 0.8 ถึง 1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็นต้น จากรายงานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พืชที่มีกลิ่นต้องการค่า EC อยู่ในช่วง 1 ถึง 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร สอดคล้องกับผักแขยงในการทดลองนี้ที่เป็นพืชมีกลิ่นและมีการเจริญเติบโตดีในช่วงค่า EC 1 ถึง 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ค่า EC ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ต้นพืชมีผลผลิตมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มไปเรื่อย ๆ ต้นพืชก็จะไม่ตอบสนองในการเพิ่มผลผลิตและอาจมีผลทำให้ผลผลิตลดลงได้ (มัญญ, 2560) อย่างเช่นในผักแขยงที่ EC 3 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับผักแขยงที่ EC 1 และ 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร นอกจากนั้นในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าผักแขยงที่ EC 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีการเจริญเติบโตโดยรวมที่ค่อนข้างดี และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมดี อาจเนื่องมาจากความเครียดของพืช (Plant stress) ซึ่งพืชจึงมีการแสดงออกเพื่อตอบสนองต่อภาวะเครียดต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบ ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ การเจริญเติบโต และมีผลกระทบต่อสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ในพืช นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ

ภายในเซลล์ ทำให้การเจริญเติบโตลดลง หรือหยุดชะงักลง จนอาจทำให้พืชตายได้ การตอบสนองภายใต้สภาวะเครียดสามารถจำแนกพืชออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพืชที่ไม่สามารถปรับตัวได้เมื่อได้รับความเครียด (Susceptibility) ซึ่งจะตายในที่สุด และกลุ่มพืชที่มีการปรับตัวเมื่อได้รับความเครียด (Adaptation) สามารถมีชีวิตรอดได้ เช่น พืชหลายชนิดเมื่อได้รับความเครียดจะมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Ascorbic acid, Glutathione เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความเครียดสามารถชักนำให้พืชมีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นได้ (อินทรา, 2560) อีกทั้งผักแขยงที่ EC 0.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ควรมีความเครียดจากการได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด แต่เมื่อมีเรื่องของปริมาณธาตุอาหารมาเกี่ยวข้องจึงทำให้ผักแขยงที่ EC 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวมากกว่า จึงกล่าวได้ว่า EC ที่ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็นค่า EC ที่เหมาะสมและมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง โดยรวมได้

### 5.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน

การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของสารประกอบโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสูงเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ยและความกว้างใบเฉลี่ยในผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลิน 5.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ หลังจากนั้นนำผักแขยงมาวิเคราะห์สารพฤกษเคมีเบื้องต้นและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยพบสารพฤกษเคมีทั้งหมด 9 กลุ่ม ในทุกชุดการทดลอง มีเพียงแอนทราควิโนนเท่านั้นที่ไม่พบในทุกชุดการทดลอง ด้านการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง โดยผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลิน 3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร มีปริมาณดังกล่าวมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ

การทดลองนี้การเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลิน 5.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตร ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินขึ้นจากสูตรปกติมีการเจริญเติบโตดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ดังนั้นการเจริญเติบโตของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินในสารละลายธาตุอาหาร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในเตตระไฮดรอลินช่วยทำให้ผักแขยงสามารถนำสารอาหารไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตได้ดี

ที่สุด ซึ่งสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และพืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์โดยอยู่เป็นส่วนประกอบโครงสร้างของพืช เช่น คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโนและองค์ประกอบของโปรตีน มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโตของพืช พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรทไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปไนเตรทไอออน เนื่องจากพืชดูดไปใช้ได้มากและไม่เป็นพิษกับพืชหากเกิดการสะสม แต่พืชต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนรูปไนเตรทมากกว่าแอมโมเนียมก่อนนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ในขณะที่พืชสามารถดูดแอมโมเนียไปใช้ได้ทันที แต่จะเป็นพิษกับพืชหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปที่พืชจะทนได้ ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียม (K) มีบทบาทสำคัญในด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น การทำงานของเอนไซม์ สมดุลออสโมติก การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในรูปของโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) (ยงยุทธ, 2543) โดยมีรายงานว่า ธาตุโพแทสเซียมอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์น้ำมันหอมระเหยในพืชที่มีกลิ่นหอม (Aromatic plant) สอดคล้องกับผักโขงในการทดลองนี้ที่เป็นพืชมีกลิ่นหอม อีกทั้งยังส่งผลต่อการทำงานและระดับของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ Terpenoides ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติทำให้เกิดกลิ่นรสในพืช นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในเมตาบอลิซึมของพืช มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน มีส่วนช่วยเพิ่มผลผลิตและพัฒนาคุณภาพผลิตผลสดใหม่ มีส่วนช่วยในการต้านทานศัตรูพืชและโรค อีกทั้งมีรายงานว่า การใช้โพแทสเซียมสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลิตน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (*Cymbopogon flexuosus*), ดิคทานี (*Origanum dictamnus*), โหระพา (*Ocimum basilicum*) และ โรสแมรี่ (*Rosmarinus officinalis*) (Chrysargyris et al., 2017) ซึ่งการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ปัจจัยหลักที่ทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้นั้นคือธาตุอาหารที่ถูกนำไปใช้สำหรับกระบวนการสร้างสารอาหาร ซึ่งหนึ่งในกระบวนการหลักสำหรับการสร้างสารอาหารของพืช คือ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ในกรณีที่มีการสะสมไนเตรทในพืชปริมาณที่มากเกินไป อาจเกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้เมื่อเข้าสู่ร่างกาย โดยไนเตรทจะถูกกรดิวส์เป็นไนไตรท์และไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับเอมีน (Amine) ในอาหารกลายเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงได้ (ชัยอาทิตย์, 2562) แต่จากการรายงานของธรรมศักดิ์ (2544) กล่าวว่า ไนเตรทเป็นอนุมูลไนโตรเจนที่พืชต้องการและดูดใช้มากในช่วงการพัฒนาต้นลำต้น กิ่งใบ ทั้งที่ปลูกไร้ดินหรือปลูกในดิน หากเก็บเกี่ยวพืชที่ยังอยู่ในช่วงกำลังพัฒนาดังกล่าว มักพบว่ามีไนเตรทไม่มากนักน้อยและมีรายงานพบการสะสมไนเตรทในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคทั้งการปลูกไร้ดินและที่ปลูกในดิน ถ้าปลูกไร้ดิน ปริมาณการสะสมไนเตรทในต้นพืชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรทที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารและอัตราการใช้ออนุมูลไนเตรทที่พืชนำไปเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนกลูตามีน ซึ่งต้องใช้โมเลกุลของน้ำตาลที่มาจากการสังเคราะห์แสงร่วมด้วย



โดยข้อดีประการหนึ่งของประเทศไทย คือมีแสงแดดจัด พืชจึงมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูง ทำให้มีอัตราการเปลี่ยนไนเตรทเป็นกรดอะมิโนกลูตามีนเกิดขึ้นเร็ว และในการปลูกไร้ดินที่ดีต้องมีการควบคุมระดับความเข้มข้นให้เหมาะสม ถ้าพืชมีการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงที่เป็นปกติ โอกาสเกิดการสะสมไนเตรทจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคจึงไม่เกิดขึ้นและยังสามารถลดไนเตรทก่อนเก็บเกี่ยวได้ง่าย ๆ โดยการงดให้ธาตุอาหาร 1 ถึง 2 วัน ทำให้การปลูกไร้ดินสามารถควบคุมได้ง่ายกว่าการปลูกในดิน

การทดลองนี้ พบว่าการเจริญเติบโตโดยรวมของผักแขยงที่ปลูกในความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 3.40 มิลลิกรัมวาลีนต่อลิตรมีค่าต่ำที่สุด และอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเครียดในผักแขยง เพราะได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต จึงส่งผลให้ผักแขยงมีการปรับตัวและแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมดีที่สุด ดังรายงานของ Guillén-Román et al. (2018) พบว่า การสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในพืชโดยใช้ไนโตรเจนเป็นตัวกระตุ้น ทำให้พืชที่สัมผัสไนโตรเจนเกิดความเครียดและส่งผลต่อ Phenylpropanoid pathway คือมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาได้

#### 5.4 การศึกษาปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล (*O. niloticus*)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง พบว่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ดและคาร์โบไฮเดรตที่น้อยได้ง่ายของอาหารในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าองค์ประกอบทางโภชนาใกล้เคียงกัน มีเพียงเยื่อใยเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง โดยการเสริมผักแขยงในอาหารทดลองมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเยื่อใยในอาหารทดลองเพิ่มขึ้น เยื่อใยหรือกากอาหาร (Fiber) เป็นคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่สัตว์ใช้ประโยชน์ไม่ได้หรือส่วนที่ย่อยไม่ได้ ส่วนใหญ่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แม้สัตว์น้ำไม่สามารถย่อยได้แต่เยื่อใยมีบทบาทช่วยควบคุมการเดินทางของอาหารในท่อทางเดินอาหารให้ช้าลง ทำให้อาหารมีเวลาสัมผัสกับเอนไซม์นานขึ้นและส่งผลให้อาหารถูกย่อยได้มากขึ้น นอกจากนั้นคุณสมบัติในการไม่ละลายน้ำ แต่ดูดน้ำได้ดีของเยื่อใยยังช่วยเพิ่มเนื้อที่ของอาหารให้เต็มทางเดินอาหาร กระตุ้นให้ลำไส้บีบตัวและมีการขับถ่ายมูลตามปกติ รวมทั้งช่วยดูดซับสารพิษและขับถ่ายออกจากร่างกายพร้อมมูลด้วย (วรรณชัย, 2546) โดยในการทดลองนี้ค่าองค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองอยู่ในช่วงปกติสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่า อาหารปลานิลควรมีระดับโปรตีน 25 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ไขมัน 5 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์และเยื่อใยไม่ควรเกิน 6 เปอร์เซ็นต์ (พิเชต, 2559)

การวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ซึ่งเป็นค่าที่วัดระดับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารทดลอง พบว่า อาหารทดลองที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีค่า TBARS แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการเสริมผักแขยงในอาหารทดลองมีแนวโน้มทำให้ค่า TBARS ในอาหารทดลองลดลง ดังนั้นการเสริมผักแขยงในอาหารทดลองสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือยับยั้งการหืนของอาหารที่เก็บรักษาไว้ระหว่างการทดลองได้ เพราะถ้าอาหารเกิดการหืนจะทำให้รสชาติอาหารเสียไป สัตว์ไม่ชอบกินและเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำอย่างมาก เช่น มีรายงานพบว่า สามารถทำให้อัตราการเจริญเติบโตในลูกปลาลดลง มีผลกระทบต่อค่าโลหิตวิทยา ทำให้ค่าฮีมาโตคริตลดต่ำลง อีกทั้งการได้รับอาหารที่มีความหืนมีผลกระทบต่อการทำงานของตับ เมื่อตับเกิดความผิดปกติส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีในเลือดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (นริศรา, 2557)

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราอดคอนดิชันแฟกเตอร์และดัชนีตับไม่มีความแตกต่างในทุกชุดการทดลอง ในขณะที่ดัชนีอวัยวะภายในมีความแตกต่างในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการเสริมผักแขยงในอาหารทดลองไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แตกต่างจากรายงานของ Munglue et al. (2019) ที่ทำการทดลองเลี้ยงปลาอุกบึกอูย (Hybrid catfish; *Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) ด้วยอาหารที่เสริมสารสกัดผักแขยง 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาอุกบึกอูยที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดผักแขยงมีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร (Feed utilization efficiency) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม และการเสริมสารสกัดผักแขยงในอาหารทดลองยังไม่ส่งผลให้อัตราอด พุติกรรมการกิน ความน่ากิน การยอมรับอาหาร ลักษณะภายนอกของปลาอุกบึกอูยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และคอนดิชันแฟกเตอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปลาที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดผักแขยง รวมทั้งค่าดัชนีตับและดัชนีลำไส้ของปลาที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัด ผักแขยงในทุกชุดการทดลองมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าคอนดิชันแฟกเตอร์ใช้บ่งชี้ความแตกต่างของน้ำหนัก ความอ้วน การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอาหาร ผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ความแตกต่างของเพศและลักษณะรูปร่างของลำตัว ปลาแต่ละชนิดจะมีช่วงของค่าคอนดิชันแฟกเตอร์ที่เหมาะสมและสามารถใช้บ่งบอกถึงรูปร่างของปลาได้ ปลาที่มีรูปร่างลำตัวเพรียวยาวมีค่าคอนดิชันแฟกเตอร์ต่ำ เช่น Rainbow trout มีค่าอยู่ที่ 1.3 ถึง 1.6 และ Atlantic salmon มีค่าอยู่ที่ 1.0 ถึง 1.2 เมื่อเปรียบเทียบกับปลา Common carp ที่มีค่าอยู่ที่ 2.0 ถึง 2.5 (Goddard, 1996) ด้านค่าดัชนีตับช่วยบ่งชี้ถึงสุขภาพปลาและการสะสมอาหารของปลา ซึ่งการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันมีผลทำให้การสะสมไขมันในระดับมีค่าใกล้เคียงกัน (รุ่งกานต์ และคณะ, 2546)

ด้านการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาที่มีการจัดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างน้อยทุก 2 วัน เพื่อป้องกันน้ำเน่าเสีย จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกลุ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และค่าอื่น ๆ โดยตลอดการเลี้ยงปลา พบว่า คุณภาพน้ำเลี้ยงปลาที่มีความเหมาะสม คือ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.69 ถึง 28.87 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.87 ถึง 7.89 และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 6.19 ถึง 6.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ 7) ซึ่งปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำมีผลกระทบต่อ การกินอาหาร ความต้านทานโรค อัตราเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ หากอุณหภูมิน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ คือ เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้นทำให้อัตราเมตาบอลิซึมของ สิ่งมีชีวิตสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นถ้าการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอาจทำให้เกิดปัญหา การขาดแคลนออกซิเจนในน้ำ เพราะสัตว์น้ำต้องการออกซิเจนในการหายใจ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าค่าคุณภาพน้ำทุกค่าตลอดการเลี้ยงปลาอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในแหล่งน้ำ คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างควรอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 9.0 ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลาย ในน้ำไม่ควรต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ในน้ำ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528; Boyd, 1990)

ด้านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง เป็น ระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ค่าองค์ประกอบทางโภชนาไม่มีความแตกต่างในทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งองค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลาเป็นดัชนีที่สำคัญอย่างยิ่งในการบ่งชี้ถึง ความครบถ้วนของสารอาหารในอาหารและค่าองค์ประกอบทางโภชนาในเนื้อปลานิลจากการ ทดลองนี้จัดอยู่ในช่วงปกติ สอดคล้องกับรายงานของนฤมล (2550) กล่าวว่า ความชื้นมีค่าอยู่ที่ 50 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนอยู่ที่ 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอยู่ที่ 0.5 ถึง 1.4 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็น ว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยงมีองค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลาไม่แตกต่างจากปลาที่ ได้รับอาหารควบคุม ดังนั้นอาหารเสริมผักแขยงไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบทาง โภชนาของเนื้อใน ปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง

การวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลอง เป็น ระยะเวลาเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณเม็ดเลือดแดงและค่าฮีมาโตคริตมีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณเม็ด เลือดขาวและค่าฮีโมโกลบินไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงปกติ สอดคล้องกับการ รายงานของ Bittencourt et al. (2003) กล่าวว่า ปลานิลโดยทั่วไปมีค่าฮีมาโตคริตอยู่ที่ 15 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และค่าฮีโมโกลบินอยู่ที่ 4.31 ถึง 15.1 กรัมต่อเดซิลิตร โดยในเม็ดเลือดแดงมีสารที่ เรียกว่า ฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) ที่ทำให้เม็ดเลือดแดงดูดซึมเอาแก๊สออกซิเจนได้มากกว่าน้ำ (รัชดา, 2552) ทางด้านเม็ดเลือดขาวมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ต่อต้านและทำลายสิ่ง

แปลกล้อมที่เข้าสู่กระแสเลือด (วาสนา, 2555) เกณฑ์ปกติของปริมาณเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวในปลาชนิด คือ  $1.91$  ถึง  $2.38 \times 10^6$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และ  $108.67$  ถึง  $238.00 \times 10^3$  เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ตามลำดับ (Kefas et al., 2015) โดยปริมาณเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อปลาเกิดการติดเชื้อจะสามารถทำลายเชื้อได้ดีกว่าปลาที่มีปริมาณเม็ดเลือดขาวน้อยกว่า และขบวนการจับกินสิ่งแปลกล้อมที่เกิดขึ้นจะอาศัยการทำงานของเซลล์เม็ดเลือด หากปริมาณเม็ดเลือดสูงขึ้นสามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของขบวนการจับกินสูงขึ้นตามไปด้วย (Ortuno et al., 2000) โดยการศึกษาค่าโลหิตวิทยาและองค์ประกอบของเลือดปลา (Haematological parameters) สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สุขภาพของปลาในภาวะเครียดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม ภาวะโภชนาการ การติดเชื้อ หรือใช้เป็นเครื่องมือประกอบการวินิจฉัยสาเหตุของโรคและความผิดปกติในปลาได้ (นพดล และคณะ, 2552) นอกจากนี้มีรายงานว่า การเสริมอาหารด้วยสารสกัดจากพืชหลายชนิดสามารถช่วยเพิ่มการย่อยอาหาร ประสิทธิภาพการกิน การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน และการต้านทานต่อโรคในปลาที่ทำการทดลองได้ (Citarasu, 2010; Chakraborty et al., 2014; Talpur, 2014; Brum et al., 2017; Mahmoud et al., 2017) และในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยงมีค่าโลหิตวิทยาที่ดีกว่าปลานิลในกลุ่มควบคุม กล่าวคืออาหารเสริมผักแขยงไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของปลานิลและส่งเสริมให้ค่าโลหิตวิทยามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

- 1) สารพิษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน ระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือ ผักแขยงที่ใส่สารละลายธาตุอาหาร KMITL-2 ในระบบปลูกไร้ดิน พบกลุ่มของสารพิษเคมีมากที่สุด ได้แก่ แทนนิน ซาโปนิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์ คูมาริน และสเตอรอยด์ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการไม่ใส่สารละลายธาตุอาหาร
- 2) ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน ระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือ EC ที่ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเป็นระดับที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยง
- 3) ความเข้มข้นของสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรทในสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงในระบบปลูกไร้ดิน ระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตรในสารละลายธาตุอาหารเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักแขยงมากที่สุด
- 4) ปริมาณของผักแขยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล (*O. niloticus*) คือ การเสริมผักแขยงในอาหารไม่ได้ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา แต่ส่งเสริมค่าโลหิตวิทยาที่บ่งบอกถึงสุขภาพในปลานิลให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้ และสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือยับยั้งการหืนของอาหารที่เก็บเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ได้ ซึ่งแนะนำให้เสริมที่ระดับ 25 กรัมต่อกิโลกรัม เพราะแค่ใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดจากการทดลองนี้สามารถส่งเสริมค่าโลหิตวิทยาหรือสุขภาพของปลาได้ โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต

ดังนั้นการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในผักแขยงจากสารละลายธาตุอาหารในระบบปลูกไร้ดินเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาในปลานิล คือ การเลี้ยงผักแขยงด้วยสารละลายธาตุอาหาร (KMITL-2) ที่มีสารประกอบโพแทสเซียมไนเตรท 3.40 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อลิตร โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่ 1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด และเมื่อนำไปเสริมในอาหารที่ปริมาณ 25 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับเลี้ยงปลานิลเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลา และค่าโลหิตวิทยาในปลานิล แต่สามารถช่วย

ชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือยับยั้งการหืนของอาหารที่ใช้ในการทดลองระหว่างการเก็บรักษาได้

### ข้อเสนอแนะ

การเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยงมีแนวโน้มดีขึ้น ซึ่งอาจมีการศึกษาโดยเพิ่มระยะเวลาในการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารเสริมผักแขยงเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา

องค์ประกอบทางโภชนาของเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยงไม่มีความแตกต่างกัน จึงควรมีการศึกษาร่วมกันในด้านอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโนและกรดไขมันในเนื้อปลานิล หรือวิเคราะห์ตัวบ่งชี้ทางภูมิคุ้มกันและทดสอบความต้านทานโรค (Challenge test) ของปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผักแขยง

## บรรณานุกรม

- กฤษฎาภรณ์ พรอินตา, ชีรยุทธ สัจจะบุตร, พันธิตา ยิ่งกระจ่าง, ศิริประภา ตราพันธ์, สิริพรรณ กันทะด้วง และนพพล เล็กสวัสดิ์. 2547. สารแอนทราควิโนนในพืชสมุนไพรไทย. สาขาวิชา วิศวกรรมกระบวนการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57> (15 กรกฎาคม 2563).
- กาญจนาธิ พงษ์ฉวี, รัฐภัทร์ ประดิษฐ์สรรพ และวรรณดา พิพัฒน์เจริญชัย. มปป. การศึกษาความต้องการธาตุอาหารของอเมซอน *Echinodorus horemanii* Rataj โดยการวิเคราะห์เนื้อเยื่อ. [https://www.fisheries.go.th/aquaorna/research52\\_7.html](https://www.fisheries.go.th/aquaorna/research52_7.html) (12 กรกฎาคม 2563).
- เกวลิน หนูฤทธิ. 2561. สถานการณ์การผลิตและการค้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ช่วง 9 เดือนแรก ปี พ.ศ. 2561. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง กรมประมง.
- จรัญศักดิ์ แสงรัตนกุล, สมพงษ์ คุณย์จินดาชบาพร, ชงโค แซ่ตั้ง และละอองทิพย์ มัทธูรศ. 2554. การศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากฟ้าทะลายโจรทดแทนสารปฏิชีวนะ Oxytetracycline ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล. *วารสารวิจัย* 4(1): 89-95.
- จันทนา ไพรบุรณ์ และอนงค์ จิรภัทร์. 2555. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเลบางชนิดในประเทศไทย. *ทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ 2555*.
- จันทร์เพ็ญ โคตรภูธร. 2559. การสกัดสารพฤษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบจากเพกา. *วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*. 75 หน้า.
- จิราพร กุลคำ. 2555. การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมในการผลิตอนุเบียสนานา (*Anubias nana*) แบบไร้ดิน. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง* 6(2): 78-86.
- จุฑารัตน์ ศรีประเสริฐ. 2559. การทดสอบสารพฤษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของแคนา. *วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*.
- จุไลวรรณ รุ่งกำเนิดวงศ์ และสมพร รุ่งกำเนิดวงศ์. 2551. การแปลงองค์ประกอบเลือดและความต้านทานโรคในปลากะพงขาว. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 26/2551 สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง*. 18 หน้า.
- ชนกันต์ จิตมนัส. 2556. โรคปลานิล. *เชียงใหม่สัตวแพทยสาร* 11(1): 75-86.
- ชนกันต์ จิตมนัส. 2558. ภูมิคุ้มกันจากแม่ปลา. *เชียงใหม่สัตวแพทยสาร* 13(2): 93 – 101.

- ชัย อาทิตย์ อื่น คำ. 2562. ใน เทรท สะสม ใน ผัก ไฮโดร โปนิคส์ .  
[https://stri.cmu.ac.th/article\\_detail.php?id=26](https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=26) (2 กรกฎาคม 2563).
- ดิเรก ทองอร่าม. 2550. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน : หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิง  
 ธุรกิจในประเทศไทย. เอกสารประกอบคำสอนสาขาวิชาการส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์  
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). เอกสารการเกษตรร่วมสมัย.  
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. หน้า 43-48.
- ธิดารัตน์ หนูเลขา. 2554. ผลของการลดความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกต่อการ  
 เจริญเติบโตและคุณภาพของผักคะน้าในระบบไฮโดรโปรอนิกส์. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร  
 กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ, มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และอัจฉรี เรืองเดช. 2562. ผลของความเข้มข้น  
 ฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL-2 ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูล  
 อิศระของต้นแ้วนแก้วในระบบปลูกแบบไร้ดิน. ใน การประชุมวิชาการ “นเรศวรวิจัยและ  
 นวัตกรรม” ครั้งที่ 15 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก. 583-591.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ. 2557. เอกสารคำสอนวิชาปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำ. สาขาวิทยาศาสตร์การ  
 ประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- นพดล สุกระกาญจน์, สุภฎา ศิริรัฐนิคม, กฤษณะ เรืองคล้าย และพันธสิทธิ์ โชคสวัสดิกร. 2552.  
 การศึกษาค่าไลทิดวิทยาของปลาอุกรำพัน (*Clarias nieuhofii*) ในระบบการเพาะเลี้ยง. คณะ  
 วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นริศรา สุรทิพย์, อรพินท์ จินตสถาพร และศรีน้อย ชุ่มคำ. 2557. ผลของน้ำมันหีนในอาหารปลานิล  
 ต่อระบบภูมิคุ้มกันและการหีนในเนื้อปลา. ใน การประชุมทางวิชาการของ  
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. กรุงเทพมหานคร. 343-350.
- นฤมล อัสวเกษตรนิ. 2550. การเก็บถนอมสัตว์น้ำ. โครงการตำราวิชาการราชภัฏเฉลิมพระเกียรติ  
 เนื่องในวโรกาสพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงครองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี. คณะ  
 เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 182 หน้า.
- นฤมล อัสวเกษตรนิ. 2550. การเลี้ยงปลาน้ำจืด. โครงการตำราวิชาการราชภัฏเฉลิมพระเกียรติเนื่องใน  
 วโรกาสพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรง ครองราชสิริราชสมบัติครบ 60 ปี. คณะ  
 เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- นันทวัน บุญยะประภัสร์. 2557. คุณค่าทางโภชนาการและสมบัติเชิงสุขภาพของผลไม้ไทย. ใน การ  
 ประชุมวิชาการแห่งชาติด้านอาหารและโภชนาการเพื่อสุขภาพ ครั้งที่ 1. 53 หน้า.
- เนตรนภา เมฆกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์  
 การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. วารสารวิจัย มข. (บศ.) 14(4).



- พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ และปาริชาติ พุ่มขจร. 2553. การใช้สมุนไพรในการป้องกันและรักษาโรคในปลา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี* 12(4): 63-71.
- พิเชต พลายเพชร. 2559. การจัดการทางโภชนาการสำหรับการเลี้ยงปลานิล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 12-39.
- มณูญ ศิริनुพงศ์. 2560. การถ่ายทอดเทคโนโลยีปลูกพืชไม่ใช้ดินเพื่อโครงการอาหารกลางวันในโรงเรียน. ภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 40 หน้า
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ : สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชดา ทศมากร. 2552. การศึกษาค่าโลหิตวิทยาในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) แบบรายตัวที่เลี้ยงในความหนาแน่นแตกต่างกัน. ปัญหาพิเศษสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รุ่งกานต์ กล้าหาญ, อรพินท์ จินตสถาพร, ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ, ส่งศรี มหาสวัสดิ์ และศรีน้อย ชุ่มคำ. 2546. ผลของใบกวาวเครือขาวต่อการเจริญเติบโต และระบบสืบพันธุ์ปลานิล. ใน *รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (สาขาประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. 103 – 110.
- วรพล เองวานิช. 2551. โลหิตวิทยาทางสัตว์. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์และสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 158-186.
- วรรณชัย พรหมเกิด. 2546. ผลของวัตถุดิบพืชต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศ. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.(วาริชศาสตร์)) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วาสนา คงวัน. 2555. ค่าโลหิตวิทยาของปลานิลลูกผสมในระดับความเค็มที่ต่างกัน. ปัญหาพิเศษสาขาวิชาการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สมศักดิ์ นวลแก้ว. 2542. การเปรียบเทียบปริมาณแอนทราควิโนนและรูปแบบไซโมแกรมของไอโซไซม์ในพืชสกุลแคสเซีย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อนนท์ สุขสวัสดิ์. มปป. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนา จากผลการวิเคราะห์ดินและพืช. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 110 หน้า.
- อรนุช นาคชาติ, วรรณมา เอกทอง และอรนุช คงลัก. 2557. สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผงผักแขยง Phenolic Contents and Antioxidant Activity in *Limnophila aromatiaca* Merr. Powder. *วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร* 36 (2): 55-64.

- อินทรีรา ชูดแก้ว. 2560. ความเครียดของพืช (plant stress). <http://biology.ipst.ac.th/?p=3361> (3 กรกฎาคม 2563).
- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- Abd-Elmoniem, E. M., Abou-Hadid, A. F., El-Shinawy, M. Z., El-Beltagy, A. S., and Eissa, A. M. 1995. Effect of nitrogen form on lettuce plant grown in hydroponic system. *Strategies for Market Oriented Greenhouse Production* 434: 47-52.
- Auerswald, H., Schwarz, D., Kornelson, C., Krumbein, A., and Brückner, B. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 82(3-4): 227-242.
- Bittencourt, N. D. L. R., Molinari, L. M., de Oliveira, D., de Abreu Filho, B. A., and Dias Filho, B. P. 2003. Haematological and biochemical values for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in semi-intensive system. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 10(3.09): 6-58.
- Boyd, C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- Brechner, M., Both, A. J., and Staff, C. E. A. 1996. Hydroponic lettuce handbook. *Cornell Controlled Environment Agriculture* 504-509.
- Brum, A., Pereira, S. A., Owatari, M. S., Chagas, E. C., Chaves, F. C. M., Mouriño, J. L. P., and Martins, M. L. 2017. Effect of dietary essential oils of clove basil and ginger on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) following challenge with *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture* 468: 235-243.
- Bui, M. L., Grayer, R. J., Veitch, N. C., Kite, G. C., Tran, H., and Nguyen, Q. C. K. 2004. Uncommon 8-oxygenated flavonoids from *Limnophila aromatica* (Scrophulariaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 32: 943-947.
- Chakraborty, S. B., Horn, P., and Hancz, C. 2014. Application of phytochemicals as growth-promoters and endocrine modulators in fish culture. *Reviews in Aquaculture* 6(1): 1-19.
- Chattiranan, S., Sabaijai, W., and Niyomthai, W. 2013. Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of *Clerodendrum disparifolium* Leaves. *KKU Sci J* 41(3): 723 - 730.
- Chowdhury, J. U., Bhuiyan, M. N. I., and Begum, J. 2011. Constituents of Volatile Oils from *Limnophila aromatica* and *Adenosma capitatum*. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 46(3): 385-388.

- Chrysargyris, A., Drouza, C., and Tzortzakis, N. 2017. Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of soil science and plant nutrition* 17(2): 291-306.
- Citarasu, T. 2010. Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International* 18(3): 403-414.
- Divyagnaneswari, M., Christyapita, D., and Michael, R. D. 2007. Enhancement of nonspecific immunity and disease resistance in *Oreochromis mossambicus* by *Solanum trilobatum* leaf fractions. *Fish & Shellfish Immunology* 23(2): 249-259.
- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., and Ju, Y. H. 2014. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatic*. *Journal of Food and Drug Analysis* 22(3): 296-302.
- Dugas Jr, A. J., Castañeda-Acosta, J., Bonin, G. C., Price, K. L., Fischer, N. H., and Winston, G. W. 2000. Evaluation of the total peroxy radical-scavenging capacity of flavonoids: structure-activity relationships. *Journal of Natural Products* 63(3): 327-331.
- Goddard, S. 1996. Feed management in intensive aquaculture. New York : Chapman & Hall. New York. 194 pp.
- Greatvista, C. 2012. Anthraquinone. [http://www.greatvistachemicals.com/industrial\\_and\\_specialty\\_chemicals/anthraquinone.html](http://www.greatvistachemicals.com/industrial_and_specialty_chemicals/anthraquinone.html) (15 July 2020).
- Guillén-Román, C. J., Guevara-González, R. G., Rocha-Guzmán, N. E., Mercado-Luna, A., and Perez-Perez, M. C. I. 2018. Effect of nitrogen privation on the phenolics contents, antioxidant and antibacterial activities in *Moringa oleifera* leaves. *Industrial Crops and Products* 114: 45-51.
- Halliwell, B. A. R. R. Y., Gutteridge, J. M., and Cross, C. E. 1992. Free radicals, antioxidants, and human disease: where are we now?. *The Journal of laboratory and clinical medicine* 119(6): 598-620.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., Kim, M. C., Kim, J. S., Han, Y. J., and Heo, M. S. 2009. Innate immune response and disease resistance in *Carassius auratus* by triherbal solvent extracts. *Fish and Shellfish Immunology* 27(3): 508-515.

- Hongthong, K., and Thumdee, S. 2010. Effects of nutrient concentration on growth and development and yield of Japanese cucumber in substrate culture. *Warasan Witthayasat Kaset*.
- Intirach, J., Junkum, A., Lumjuan, N., Chaithong, U., Jitpakdi, A., Riyong, D., Wannasan, A., Champakaew, D., Muangmoon, R., Chansang, A., and Pitasawat, B. 2016. Antimosquito property of *Petroselinum crispum* (Umbellifereae) against the pyrethroid resistant and susceptible strains of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Environmental Science and Pollution Research* 23(23): 23994-24008.
- Jang, S. I., Marsden, M. J., Kim, Y. G., Choi, M. S., and Secombes, C. J. 1995. The effect of glycyrrhizin on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), leucocyte responses. *Journal of Fish Diseases* 18(4): 307-315.
- Kefas, M., Abubakar, K. A., and Ja'afaru, A. 2015. Haematological indices of tilapia (*Oreochromis niloticus*) from Lake Geriyo, Yola, Adamawa State, Nigeria. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 3(1): 9-14.
- Kim, K. H., Hwang, Y. J., and Bai, S. C. 1999. Resistance to *Vibrio alginolyticus* in juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*) fed diets containing different doses of aloe. *Aquaculture* 180(1-2): 13-21.
- Kukongviriyapan, U., Luangaram, S., Leekhaosong, K., Kukongviriyapan, V., and Preeprame, S. 2007. Antioxidant and vascular protective activities of *Cratoxylum formosum*, *Syzygium gratum* and *Limnophila aromatic*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 30(4): 661-666.
- Li, B., Xin, W., Sun, S., Shen, Q., and Xu, G. 2006. Physiological and molecular responses of nitrogen-starved rice plants to re-supply of different nitrogen sources. *Plant and Soil* 287(1-2): 145-159.
- Lim, Y. Y. and Murtijaya, J. 2007. Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods. *LWT-Food Science and Technology*. 40(9): 1664-1669.
- Logambal, S. M., and Michael R.D. 2001. Azadirachtin-an immunostimulant for *Oreochromis mossambicus* (Peters). *J Aqua Trop* 16: 339-347.
- Logambal, S. M., Venkatalakshmi, S., and Michael, R. D. 2000. Immunostimulatory effect of leaf extract of *Ocimum sanctum* Linn. in *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Hydrobiologia* 430(1-3): 113-120.

- Lorenzo, H., Cid, M. C., Siverio, J. M., and Caballero, M. 2000. Influence of additional ammonium supply on some nutritional aspects in hydroponic rose plants. *The Journal of Agricultural Science* 134(4): 421-425.
- Mahmoud, H. K., Al-Sagheer, A. A., Reda, F. M., Mahgoub, S. A., and Ayyat, M. S. 2017. Dietary curcumin supplement influence on growth, immunity, antioxidant status, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 475: 16-23.
- Marques, D. J., Broetto, F., Ferreira, M. M., Lobato, A. K. D. S., Ávila, F. W. D., and Pereira, F. J. 2014. Effect of potassium sources on the antioxidant activity of eggplant. *Revista Brasileira de Ciência do solo* 38(6): 1836-1842.
- Munglue, P., Rattana, K., Sangchanjiradet, S., Jankam, A., and Dasri, K. 2019. Growth performance and intestinal morphology of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) fed diet supplemented with rice paddy herb (*Limnophila aromatica*) extract. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 24(2).
- Nanasombat, S., and Teckchuen, N. 2009. Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of Thai local vegetables. *Journal of Medicinal Plants Research* 3(5): 443-449.
- Ngamsaeng, A., Wanapat, M., and Khampa, S. 2006. Evaluation of local tropical plants by in vitro rumen fermentation and their effects on fermentation end-products. *Pakistan Journal of Nutrition* 5(5): 414-418.
- Nguyen, P. M., and Niemeyer, E. D. 2008. Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(18): 8685-8691.
- Nilsson, J., Pillai, D., Onning, G., Persson, C., Nilsson, A., and Akesson, B. 2005. Comparison of the 2, 2' -azinobis-3-ethylbenzotiazole-6-sulfonic acid (ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables. *Molecular Nutrition & Food Research* 49(3): 239-246.
- Ortuno, J., Esteban, M. A., and Meseguer, J. 2000. High dietary intake of  $\alpha$ -tocopherol acetate enhances the non-specific immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish and Shellfish Immunology* 10(4), 293-307.
- Prapasanobol, V. 2018. Biological activities and phytochemical screening of *Launaea sarmentosa* Root. *Science and Technology Nakhonsawan Rajabhat University Journal* 10(11): 89-100.

- Rattanachaikunsopon, P., and Phumkhachorn, P. 2010. Effect of *Cratoxylum formosum* on innate immune response and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fisheries Science* 76(4): 653-659.
- Shirazi, O. U., Khattak, M. A. K., Shukri, N. A. M., and Nasyriq, M. N. 2014. Determination of total phenolic, flavonoid content and free radical scavenging activities of common herbs and spices. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 3(3): 104-108.
- Sribusarakum, A., Bunyapraphatsara, N., Vajragupta, O., and Watanabe, H. 2004. Antioxidant activity of *Limnophila aromatica* Merr. *Thai Journal of Phytopharmacy* 11(2): 11-17.
- Szalai, G., Dai, N., Danin, A., Dudai, N., and Barazani, O. 2010. Effect of nitrogen source in the fertilizing solution on nutritional quality of three members of the *Portulaca oleracea* aggregate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90(12): 2039-2045.
- Talpur, A. D. 2014. *Mentha piperita* (Peppermint) as feed additive enhanced growth performance, survival, immune response and disease resistance of Asian seabass, *Lates calcarifer* (Bloch) against *Vibrio harveyi* infection. *Aquaculture* 420: 71-78.
- Tort, L., Balasch, J. C., and Mackenzie, S. 2003. Fish immune system. A crossroads between innate and adaptive responses. *Immunologia* 22(3): 277-286.
- Tuntipopipat, S., Muangnoi, C., and Failla, M. L. 2009. Anti-inflammatory activities of extracts of Thai spices and herbs with lipopolysaccharide-activated RAW 264.7 murine macrophages. *Journal of Medicinal Food* 12(6): 1213-1220.
- Vairappan, C. S., and Nagappan, T. 2014. Major volatile hydrocarbons of rice paddy herb, *Limnophila aromatica* Lam. Merr as possible chemotaxonomic marker. *Journal of Tropical Biology and Conservation (JTBC)* 11: 41-48.
- Vajraguta, O., Boonchoong, P., Boonyarut, J., and Utsintong, M. 2007. Radical scavenging agents. Bangkok : Newthaimit press. 280 pp.
- Vasudeva, Y. R., Romesh, M., Singh, A., and Chakrabarti, R. 2004. Potentiation of antibody production in Indian major carp *Labeo rohita*, rohu, by *Achyranthes aspera* as a herbal feed ingredient. *Aquaculture* 238(1-4): 67-73.
- Visutthi, M. 2016. Anti-Stephylococcal screening of selected thai medicinal plant from Nakhon Ratchasima province. *Suranaree Journal of Science and Technology* 23(2): 109-114.
- Woraratphoka, J., Intarapichet, K. O., and Indrapichate, K. 2012. Antioxidant activity and cytotoxicity of six selected, regional, Thai vegetables. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences* 4(2): 108-117.

- Yin, G., Jeney, G., Racz, T., Xu, P., Jun, X., and Jeney, Z. 2006. Effect of two Chinese herbs (*Astragalus radix* and *Scutellaria radix*) on non-specific immune response of tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 253(1-4): 39-47.
- Zeb, A., and Ullah, F. 2016. A simple spectrophotometric method for the determination of thiobarbituric acid reactive substances in fried fast foods. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*.

ภาคผนวก



### การเตรียม Dragendroff's reagent (ดัดแปลงจากจุฑารัตน์, 2559)

#### สารเคมี

1. Bismuth subnitrate	8	กรัม
2. Hydrochloric acid	20	มิลลิลิตร
3. Potassium iodide	27.2	กรัม
4. น้ำกลั่น	ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร	

#### วิธีการ

1. เตรียมสารละลายที่ 1 โดยละลาย Bismuth subnitrate ในน้ำกลั่น ผสม Hydrochloric acid จนเข้ากัน
2. เตรียมสารละลายที่ 2 โดยละลาย Potassium iodide ในน้ำกลั่น
3. เทสารละลายที่ 1 ลงสารละลายที่ 2 ปรากฏสารละลายเป็นสีส้ม
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

### การเตรียมกรดแกลลิกมาตรฐาน (Standard Gallic acid) (ดัดแปลงจาก Lim and Mutijaya, 2007)

#### วิธีการ

1. ชั่ง Gallic acid 0.1000 กรัม ละลายในเอทานอล
2. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 99 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมตามความเข้มข้น ดังนี้

### ตารางผนวกที่ 1 สารละลายมาตรฐาน Gallic acid สำหรับการวิเคราะห์ Total Phenolic Contents (TPC)

ความเข้มข้นกรด แกลลิกมาตรฐาน (mg/ml)	Stock Gallic acid ( $\mu$ l)	ปริมาตร เอทานอล ( $\mu$ l)	ปริมาตรรวม (ml)
0	0	1000	1000
0.5	50	950	1000
1.0	100	900	1000
1.5	150	850	1000
2.0	200	800	1000
2.5	250	750	1000
3.0	300	700	1000

4. ดูดกรดแก๊สลิควิดมาตรฐานความเข้มข้นละ 100 ไมโครลิตร ผสมน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร
5. เติม Folin 100 ไมโครลิตรในแต่ละความเข้มข้น ผสมและวางในที่มืด 6 นาที
6. เติม 7 เปอร์เซ็นต์  $\text{NaCO}_3$  1 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 500 ไมโครลิตร วางในที่มืด 90 นาที
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
8. เขียนกราฟมาตรฐาน

#### การเตรียมควอซิทินมาตรฐาน (Standard Quercetin) (ดัดแปลงจาก Shirazi et al., 2014)

##### วิธีการ

1. ชั่ง Quercetin 0.10 กรัม ละลายในเอทานอล
2. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 99 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมตามความเข้มข้น ดังนี้

#### ตารางผนวกที่ 2 สารละลายมาตรฐาน Quercetin สำหรับการวิเคราะห์ Total Flavonoid Contents (TFC)

ความเข้มข้นควอซิ ทินมาตรฐาน (mg/ml)	Stock Quercetin ( $\mu\text{l}$ )	ปริมาตร เอทานอล ( $\mu\text{l}$ )	ปริมาตรรวม (ml)
0	0	1000	1000
0.1	10	990	1000
0.5	50	950	1000
1.0	100	900	1000
2.5	250	750	1000
5.0	500	500	1000

4. ดูดควอซิทินมาตรฐานความเข้มข้นละ 100 ไมโครลิตร ผสมเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 500 ไมโครลิตร
5. เติม 5 เปอร์เซ็นต์  $\text{NaNO}_3$  100 ไมโครลิตรในแต่ละความเข้มข้น ผสมและวางในที่มืด 6 นาที
6. เติม 10 เปอร์เซ็นต์  $\text{AlCl}_3$  150 ไมโครลิตร ผสมและวางในที่มืด 5 นาที
7. เติม 1M NaOH 200 ไมโครลิตร
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
9. เขียนกราฟมาตรฐาน

**การเตรียม DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (ดัดแปลงจาก Lim and Mutijaya, 2007)**

วิธีการ

1. ชั่ง DPPH 0.0040 กรัม ละลายในน้ำกลั่น
2. ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ 200 มิลลิลิตร

**การเตรียมสารละลาย ABTS (ดัดแปลงจาก Nilsson et al., 2005)**

วิธีการ

1. ชั่ง ABTS 0.0192 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 5 มิลลิลิตร
2. ชั่ง Potassium persulfate 0.1892 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 5 มิลลิลิตร
3. ผสมสารละลายในข้อ 2 มา 88 ไมโครลิตร ผสมสารละลายในข้อ 1 และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง
4. เมื่อครบเวลา ผสมสารละลายจากข้อ 3 มา 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 150 มิลลิลิตร

**การเตรียมมาลอนไดอัลดีไฮด์มาตรฐาน (Standard malondialdehyde) (Zeb and Ullah, 2016)**

วิธีการ

1. ตวง MDA 98 ไมโครลิตร ผสม  $H_2SO_4$  5 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วย Acetic acid 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้ 500 มิลลิลิตร
3. เตรียมตามความเข้มข้น ดังนี้

**ตารางผนวกที่ 3 สารละลายมาตรฐาน Malondialdehyde (MDA) สำหรับการวิเคราะห์ TBARS**

ความเข้มข้นมาลอนไดอัลดีไฮด์มาตรฐาน ( $\mu M/g$ )	Stock MDA ( $\mu l$ )	ปริมาตร Acetic acid ( $\mu l$ )	ปริมาตรรวม (ml)
0	0	1000	1000
0.1	100	900	1000
0.2	200	800	1000
0.4	400	600	1000
0.6	600	400	1000
0.8	800	200	1000

4. ผสมมาลอนไดอัลดีไฮด์มาตรฐานความเข้มข้นละ 1 มิลลิลิตร ผสม TBA 1 มิลลิลิตร
5. นำเข้า Water bath ที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งให้เย็น

6. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร
7. เขียนกราฟมาตรฐาน

**การเตรียม Dacie's solution** (นพดล และคณะ, 2552)

วิธีการ

1. ชั่ง Trisodium citrate 31.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น
2. ชั่ง Brilliant cresol blue 1.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น
3. เติม Formaldehyde 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร
4. ก่อนนำมาใช้ต้องกรองด้วยกระดาษกรองก่อน

**การเตรียม Drabkin's solution** (ดัดแปลงจาก จุฬารัตนและสมพร, 2551)

วิธีการ

1. ชั่ง  $\text{NaHCO}_3$  1 กรัม
2. ชั่ง KCN 0.05 กรัม
3. ชั่ง  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  0.20 กรัม
4. ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร

**การเตรียมฮีโมโกลบินมาตรฐาน (Standard hemoglobin)** (ดัดแปลงจาก จุฬารัตนและสมพร, 2551)

วิธีการ

1. ชั่ง Hemoglobin 0.2 กรัม ละลายใน Drabkin's solution 1 มิลลิลิตร
2. เตรียมความเข้มข้นตารางผนวกที่ 8
3. ดูค่าฮีโมโกลบินมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 20 ไมโครลิตร
4. เติม Drabkin's solution 5 มิลลิลิตร ในแต่ละความเข้มข้น
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
6. เขียนกราฟมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 4 การเตรียมฮีโมโกลบินมาตรฐาน (Standard hemoglobin)

ความเข้มข้นฮีโมโกลบิน มาตรฐาน (mg/ml)	Stock Hemoglobin ( $\mu$ l)	Drabkin's solution ( $\mu$ l)	ปริมาตรรวม( $\mu$ l)
0	0	100	100
20	10	90	100
40	20	80	100
60	30	70	100
80	40	60	100
100	50	50	100
120	60	40	100
140	70	30	100
160	80	20	100
180	90	10	100
200	100	0	100

ตารางผนวกที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดิน เป็น  
ระยะเวลา 4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับผักแขยงที่ปลูกในดิน (dry weight basis, %)

Parameters	<i>Limnophila aromatica</i>		
	Soil	Water	KMITL-2 fertilizer
Moisture (%)	6.95 $\pm$ 0.25	3.31 $\pm$ 1.59	4.51 $\pm$ 0.19
Crude Protein (%)	22.59 $\pm$ 0.18	21.25 $\pm$ 0.08	20.04 $\pm$ 0.20
Crude Lipid (%)	3.32 $\pm$ 0.04	3.17 $\pm$ 0.21	3.25 $\pm$ 0.05
Ash (%)	15.60 $\pm$ 0.06	14.18 $\pm$ 0.00	14.15 $\pm$ 0.00
Fiber (%)	10.09 $\pm$ 0.49	17.40 $\pm$ 0.14	17.33 $\pm$ 0.47
NFE (%)	45.77 $\pm$ 0.96	40.70 $\pm$ 1.33	40.73 $\pm$ 0.51

หมายเหตุ : NFE; Nitrogen free extract = 100 - (Crude protein +Crude lipid +Fiber +Ash +Moisture)

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของผักแขยง (*L. aromatica*) ในระบบปลูกไร้ดิน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับผักแขยงที่ปลูกในดิน

Antioxidant activities	Extracts		
	Siol	Water	KMITL-2 fertilizer
Phenolic (mg/g)	24.01 ± 0.50	18.56 ± 0.07	19.51 ± 0.11
Flavonoid (mg/g)	13.67 ± 0.21	6.02 ± 0.30	11.13 ± 0.12
DPPH (%)	87.50 ± 0.62	83.26 ± 0.40	86.83 ± 0.50
ABTS (%)	55.54 ± 2.91	45.38 ± 3.10	59.42 ± 3.27

ตารางผนวกที่ 7 คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลานิล เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

Parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Water temp (°C)	28.71 ± 0.23 <sup>a</sup>	28.69 ± 0.19 <sup>a</sup>	28.82 ± 0.21 <sup>a</sup>	28.87 ± 0.20 <sup>a</sup>
pH	7.89 ± 0.04 <sup>a</sup>	7.88 ± 0.05 <sup>a</sup>	7.89 ± 0.04 <sup>a</sup>	7.87 ± 0.05 <sup>a</sup>
DO (mg/L)	6.24 ± 0.12 <sup>a</sup>	6.26 ± 0.10 <sup>a</sup>	6.20 ± 0.10 <sup>a</sup>	6.19 ± 0.10 <sup>a</sup>

ตารางผนวกที่ 8 การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

Growth parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Initial weight (g/fish)	1.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.00 <sup>a</sup>
Final Weight (g/fish)	4.85 ± 0.03 <sup>a</sup>	4.94 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.73 ± 0.07 <sup>a</sup>	4.90 ± 0.16 <sup>a</sup>
Initial length (cm/fish)	5.04 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.01 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.90 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.04 <sup>a</sup>
Final length (cm/fish)	6.66 ± 0.12 <sup>a</sup>	6.59 ± 0.07 <sup>a</sup>	6.54 ± 0.12 <sup>a</sup>	6.84 ± 0.08 <sup>a</sup>
WG (g/fish)	2.93 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.03 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.93 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.99 ± 0.14 <sup>a</sup>
FCR	1.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.01 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.05 <sup>a</sup>
SGR (%/day)	9.24 ± 0.07 <sup>a</sup>	9.48 ± 0.07 <sup>a</sup>	9.09 ± 0.16 <sup>a</sup>	9.39 ± 0.27 <sup>a</sup>
survival (%)	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

**ตารางผนวกที่ 9** การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Growth parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Initial weight (g/fish)	1.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.00 <sup>a</sup>
Final Weight (g/fish)	9.74 ± 0.13 <sup>a</sup>	9.77 ± 0.15 <sup>a</sup>	9.27 ± 0.09 <sup>a</sup>	9.55 ± 0.20 <sup>a</sup>
Initial length (cm/fish)	5.04 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.01 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.90 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.04 <sup>a</sup>
Final length (cm/fish)	7.96 ± 0.11 <sup>a</sup>	7.92 ± 0.11 <sup>a</sup>	7.74 ± 0.09 <sup>a</sup>	7.93 ± 0.10 <sup>a</sup>
WG (g/fish)	7.82 ± 0.13 <sup>a</sup>	7.85 ± 0.16 <sup>a</sup>	7.37 ± 0.09 <sup>a</sup>	7.64 ± 0.19 <sup>a</sup>
FCR	0.99 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.02 <sup>a</sup>
SGR (%/day)	8.11 ± 0.06 <sup>a</sup>	8.15 ± 0.09 <sup>a</sup>	7.91 ± 0.05 <sup>a</sup>	8.03 ± 0.09 <sup>a</sup>
survival (%)	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

**ตารางผนวกที่ 10** การเจริญเติบโตของปลานิลที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

Growth parameters	Diets (g/kg)			
	0	25	50	75
Initial weight (g/fish)	1.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.00 <sup>a</sup>
Final Weight (g/fish)	14.86 ± 0.21 <sup>a</sup>	14.57 ± 0.27 <sup>a</sup>	14.31 ± 0.24 <sup>a</sup>	14.22 ± 0.19 <sup>a</sup>
Initial length (cm/fish)	5.04 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.01 ± 0.09 <sup>a</sup>	4.90 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.04 <sup>a</sup>
Final length (cm/fish)	9.06 ± 0.07 <sup>a</sup>	9.37 ± 0.14 <sup>a</sup>	9.06 ± 0.18 <sup>a</sup>	9.28 ± 0.09 <sup>a</sup>
WG (g/fish)	12.94 ± 0.20 <sup>a</sup>	12.65 ± 0.27 <sup>a</sup>	12.41 ± 0.24 <sup>a</sup>	12.31 ± 0.18 <sup>a</sup>
FCR	1.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.01 ± 0.01 <sup>a</sup>
SGR (%/day)	6.59 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.55 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.50 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.47 ± 0.03 <sup>a</sup>
survival (%)	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	98.75 ± 1.25 <sup>a</sup>	100.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± SE ที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ), WG; weight gain, FCR; feed conversion ratio, SGR; specific growth rate

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธัญญา โഴ๊ะลี
วัน เดือน ปีเกิด	18 กันยายน 2538
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 35 ซอยราษฎร์พัฒนา 30 ถนนราษฎร์พัฒนา แขวงราษฎร์พัฒนา เขตสะพานสูง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10240
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า มัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง