การพัฒนาสารสกัดไมโครกรีนหัวไชเท้าเพื่อประยุกต์ทางเครื่องสำอาง

DEVELOPMENT OF WHITE RADISH MICROGREEN EXTRACTS FOR COSMETIC APPLICATIONS

จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2567

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การพัฒนาสารสกัดไมโครกรีนหัวไชเท้าเพื่อประยุกต์ทางเครื่องสำอาง

DEVELOPMENT OF WHITE RADISH MICROGREEN EXTRACTS FOR COSMETIC APPLICATIONS

จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
2567
©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

หน้าอนุมัติการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

การค้นคว้าอิสระเรื่อง การพัฒนาสารสกัดไมโครกรีนหัวไชเท้าเพื่อประยุกต์ทางเครื่องสำอาง
Development of White Radish Microgreen Extracts
for Cosmetic Applications

ผู้ประพันธ์ จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.อำภา จิมไธสง	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญวัฒณ์ ปินตาทอง	กรรมการ
อาจารย์ ดร.วิทยาพันธ์ นันติตานนท์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัทวัฒน์ สีขาว	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญวัฒณ์ ปินตาทอง)

คณบดี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันดี รังสีวิจิตรประภา)

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญวัฒณ์ ปินตาทอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ขอชี้แนะ และแนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ รวมทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะกรรมการสอบ และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ และความช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้านี้สำเร็จไปด้วยความราบรื่น

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้เป็นแรงใจและสนับสนุนให้ผู้วิจัยทำสำเร็จตามความมุ่งหวัง ไม่ว่าจะเป็นแรงกายและแรงใจที่ดีแก่ข้าพเจ้า ทำให้ข้าพเจ้าผ่านพ้นอุปสรรคและทำการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จ ขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่านที่ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและนำมาอ้างอิงในการทำวิจัย

จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์

ชื่อเรื่องการค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาสารสกัดไมโครกรีนหัวไชเท้าเพื่อประยุกต์ทางเครื่องสำอาง
ชื่อผู้ประพันธ์	จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง)
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ปัญญวัฒณ์ ปินตาทอง

บทคัดย่อ

การเพิ่มคุณค่าและฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยเทคโนโลยีไมโครกรีนหรือต้นอ่อนพืช กำลังได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง สุขภาพ และการเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้าต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอาง ทำการเพาะเมล็ดหัวไชเท้าในช่วงอายุ 0, 3, 5, 7 และ 9 วัน จากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน จากนั้นทำการประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมในการสกัดด้วยวิธี Folin Ciocalteu และ aluminum chloride ตามลำดับ วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีกวาดจับอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก จากการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้าส่งผลให้ความสูงและปริมาณน้ำในพืชเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งในพืชกลับมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สารสกัดที่สกัดจากอะซิโตน และเอทานอล มีกลิ่นฉุนและสีเข้มชัดเจนกว่าน้ำ โดยเฉพาะในต้นอ่อนที่มีอายุการงอกเพิ่มขึ้น ผลการเตรียมสารสกัดจากหัวไชเท้าพบว่า ระยะเวลาของต้นอ่อนและตัวทำละลายส่งผลต่อร้อยละผลได้ของสารสกัด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สารสกัดน้ำ และเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สามารถแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง ในขณะที่สารสกัดอะซิโตนมีปริมาณ และฤทธิ์ในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้สารสกัดน้ำและเอทานอล มีแนวโน้มให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด โดยเฉพาะในช่วงระยะต้นอ่อนอายุ 5 และ 7 วัน โดยพบว่าช่วงระยะต้นอ่อน 5 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.32 ± 4.13 มก.สมมูลกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม นอกจากนี้ตรวจพบปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุดในสารสกัดเอทานอล โดยเฉพาะในช่วงระยะต้นอ่อนอายุ 7 และ 9 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.01 ± 3.91 และ 95.60 ± 1.22 มก.สมมูลของเคอร์ซิทินต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นพบว่า

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงในสารสกัดน้ำและเอทานอล โดยค่าสูงสุดตรวจพบในระยะต้นอ่อนอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล รองลงมาคือระยะต้นอ่อนอายุ 7 วัน ที่สกัดจากน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.79 และ 26.44 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้สารสกัดน้ำแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP ที่สูงในช่วงระยะต้นอ่อนตั้งแต่อายุ 3-9 วัน โดยไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่สารสกัดเอทานอล ในระยะต้นอ่อนอายุ 5 วันแสดงฤทธิ์สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 102.72 ± 1.64 มก. สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม การทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง (r = 0.860 สำหรับ DPPH และ r = 0.856 สำหรับ FRAP) อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาสารองค์ประกอบอื่นที่สำคัญ และฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอางต่อไป

คำสำคัญ: ไมโครกรีน, การสกัด, หัวไชเท้า, ฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Independent Study Title	Development of White Radish Microgreen Extracts for Cosmetic Applications
Author	Jutatip Rongkadejpaiboon
Degree	Master of Science (Cosmetic Science)
Advisor	Assistant Professor Punyawatt Pintathong, Ph. D.

ABSTRACT

Enhancing nutritional value and bioactivity through microgreen technology and plant sprouting is receiving increasing attention in the food, cosmetic, health, and agricultural industries. This study aimed to evaluate the effects of the germination period of radish sprouts (Raphanus sativus L.) on changes in total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity for potential use in cosmetics. Radish seeds were germinated for 0, 3, 5, 7, and 9 days and then extracted using three solvents: water, ethanol, and acetone. The total phenolic and flavonoid contents were determined using the Folin-Ciocalteu and aluminum chloride colorimetric methods. Antioxidant activity was assessed through DPPH radical scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays. The results showed that increased sprout age significantly increased plant height and moisture content, while solid content decreased ($p < 0.05$). The acetonic and ethanolic extracts exhibited more intense odor and darker coloration than the aqueous extracts. The sprouting duration and extraction solvent significantly influenced extract yield, total phenolic content, and antioxidant activity ($p<0.05$). The aqueous and ethanolic extracts showed higher phenolic content and antioxidant activity than the acetic extract. The highest total phenolic content (50.32 ± 4.13 mg GAE/g extract) was observed in 5-day-old sprouts extracted with ethanol. The highest total flavonoid contents were found in the ethanolic extracts of 7- and 9-day-old sprouts (96.01 ± 3.91 and 95.60 ± 1.22 mg QE/g extract, respectively). For antioxidant activity, the highest DPPH scavenging capacity was observed in 5-day-old sprouts extracted with ethanol (31.79 mg TEAC/g extract), followed by 7-day-old

sprouts extracted with water (26.44 mg Trolox equivalent/g extract). The aqueous extracts demonstrated consistently high FRAP activity in sprouts aged 3–9 days, while the highest FRAP value was found in 5-day-old sprouts extracted with ethanol (102.72 ± 1.64 mg TEAC/g extract). A strong positive correlation was found between total phenolic content and antioxidant activity (r=0.860 for DPPH; r=0.856 for FRAP). Further studies of bioactive constituents and other biological activities are recommended to support the applications of radish microgreen extracts in cosmetics.

Keywords: Microgreen, Extraction, Radish, Phenolic Content, Antioxidant Activity

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทบทวนวรรณกรรม	**4**
2.1 ไมโครกรีน	4
2.2 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ	10
2.3 หัวไชเท้า	20
3 วิธีดำเนินการวิจัย	**27**
3.1 วัตถุดิบพืชตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	28
3.5 การทดสอบทางสถิติ	32
4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	**33**
4.1 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้า	33
4.2 การสกัดสารจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า	36
4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัด	43
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม	48
4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์	50
4.6 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนหัวไชเท้า	52
4.7 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	57

สารบัญ

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดลอง	**62**
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
รายการอ้างอิง	**64**
ภาคผนวก	**73**
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก เคอร์ซิทิน และโทรลอกซ์	73
ภาคผนวก ข การประเมินสายพันธุ์หัวไชเท้าเบื้องต้น	75
ประวัติผู้ประพันธ์	**77**

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
4.1	ร้อยละปริมาณน้ำ และ และร้อยละปริมาณของแข็งของเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า	37
4.2	ร้อยละผลผลิตของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	41
4.3	ค่าการละลาย ของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 5 7 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด โดยนำมาทดสอบการละลายในน้ำ, เอทานอล และโพรพิลีนไกลคอล	44
4.4	ค่าสีของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	46
4.5	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	49
4.6	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	51
4.7	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	53
4.8	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด	55

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 กระบวนการงอกของเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี (ก) อัลฟัลฟา (ข) และหัวไชเท้า (ค) ที่ระยะเวลาการงอก 1, 3 และ 5 วัน	7
2.2 ความยาวของต้นในวันที่ 5 ของข้าวสาลี (ก) ผักบุ้ง (ข) และทานตะวัน (ค)	7
2.3 โครงสร้างทางเคมีของ 1, 1 - diphenyl-2-picrylhydrazyl	14
2.4 โครงสร้างทางเคมีของ 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid)	15
2.5 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก	16
2.6 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟลาโวนอยด์	17
2.7 ชุดซอกห์เลต	18
2.8 ลักษณะภายนอกของหัวไชเท้า	20
2.9 ลักษณะต้นอ่อนหัวไชเท้า	24
2.10 เมแทบอลิซึมของกลูโคราฟาซาติน และกลูโคราฟีนิน ในต้นอ่อนหัวไชเท้า	25
4.1 ความสูงของต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 0-14 วัน	35
4.2 กราฟแสดงความสูงของต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 0-14 วัน	36
4.3 ลักษณะทางกายภาพของผงเมล็ดหัวไชเท้า (ก), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน (ข), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน (ค), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน (ง) และผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน (จ)	39
4.4 ลักษณะของสารสกัดเมล็ด (ก), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน (ข), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน (ค), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน (ง) และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน สกัดด้วยน้ำ (1), เอทานอล (2) และ อะซิโตน (3)	40
4.5 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (ก) และวิธี FRAP (ข)	59
4.6 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (ก) และวิธี FRAP (ข)	60
4.7 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม	61
4.8 สหสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไมโครกรีน หรือต้นอ่อนผักเป็นอาหารที่มีศักยภาพในการรักษาโรคสำหรับการดูแลสุขภาพ ไมโครกรีนมีรสชาติที่โดดเด่น และปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่มากมาย ซึ่งมีประโยชน์ทางโภชนาการมากกว่าพืชชนิดเดียวกันที่เติบโตเต็มที่ (Xiao et al., 2012) เป็นสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีแคลอรีต่ำ สารอาหารสูง มีสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง และสารอาหารสามารถปลูกได้ง่าย ไมโครกรีนได้จากการนำเมล็ดพืชมาทำให้เกิดการงอกและเติบโตขึ้น ใบเลี้ยงจะขยายตัวเต็มที่ และมีช่วงเวลาที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 7-14 วันหลังการเพาะเลี้ยง (Brebtlinger, 2005) ปัจจุบันความต้องการบริโภคต้นอ่อนผักมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากรับประทานง่าย ราคาถูก และสามารถปลูกรับประทานเอง ประกอบกับต้นอ่อนมีสารอาหารที่หลากหลาย เช่น วิตามิน และสารที่มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น กลูโคไซโนเลต สารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกรวม และกรดแอสคอร์บิค ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (ทศพล พิมพ์รัตน์ และคณะ, 2562)

การงอกของเมล็ดพันธุ์ สามารถลดระดับของสารต้านโภชนาการและต้านการย่อย เช่น สารยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอส และเลคติน นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นการสะสมของสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ ในบางชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Aguilera et al., 2013) โดยมีการรายงานว่าต้นอ่อนเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าเมล็ด มีกระบวนการผลิตที่ง่าย และราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับเมล็ด (Valente Pereira et al., 2010) นอกจากนี้ การงอกของเมล็ดพันธุ์ยังส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดพันธุ์พืชที่สามารถรับประทานได้ โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการงอก และชนิดของพืช มีรายงานวิจัยพบปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงในต้นอ่อนหัวไชเท้า บร็อคคอลลี่ อัลฟัลฟา และทานตะวัน (Tarasevičienė et al., 2019) การงอกของเมล็ดเพิ่มปริมาณฟีนอล และฟลาโวนอยด์รวม รวมถึงกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียว ต้นอ่อนหัวไชเท้า ต้นอ่อนบรอกโคลี และต้นอ่อนทานตะวัน (Pajak et al., 2014) ปัจจุบันพบว่ามีการนำเมล็ดผักพื้นบ้านหรือผักที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายมาทดลองผลิตเป็นไมโครกรีน เช่น เมล็ดผักกาดขาว เมล็ดทานตะวัน เมล็ดผักบุ้ง เมล็ดหัวไชเท้า เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วลันเตา เมล็ดงา เมล็ดข้าวสาลี และเมล็ดผักโขม มาเพาะเป็นต้นอ่อนบริโภคเพื่อสุขภาพ (อุดมลักษณ์ มัจฉาชีพ และคณะ, 2557)

หัวไชเท้า หรือ ผักกาดหัว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Raphanus sativus* L. จัดอยู่ในสายพันธุ์ *longipinnatus* และมีชื่อสามัญว่า Chinese radish, Oriental radish, Daikon จัดอยู่ในวงศ์ Cruciferae หัวไชเท้ามีสารโปรวิตามินเอปริมาณสูง ทุกส่วนของหัวไชเท้ามีประโยชน์ทั้งในทางยา สมุนไพร อาหาร และเครื่องสำอาง (พัชรี สำโรงเย็น และคณะ, 2558) ในปัจจุบัน หัวไชเท้าได้รับการสกัดเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถช่วยลด ฝ้า จุดด่างดำ และช่วยปรับผิวให้แลดูขาวขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากคุณสมบัติในการ ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเม็ดสีผิวหรือเมลานิน นอกจากนี้ หัวไชเท้ายังเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์มากมาย เช่น ใบของหัวไชเท้า มีสารสำคัญกลุ่ม ไกลโคไซด์ และฟลาโวนอยด์รวม ส่วนรากพบสารในกลุ่ม ไกลโคไซด์ อัลคาลอยด์ แทนนิน และฟีนอลิก และ เมล็ด อุดมไปด้วย แทนนิน เทอร์พีนอยด์ อัลคาลอยด์ และฟลาโวนอยด์รวม (Aruna et al., 2012) เมื่อนำหัวไชเท้ามาเพาะเป็นต้นอ่อนหัวไชเท้า หรือ ต้นไควาเระ ใช้ระยะเวลาการปลูกประมาณ 7 วัน มีกลิ่นฉุน รสเผ็ดร้อน ในประเทศญี่ปุ่นนิยมนำมารับประทานเป็นเครื่องเคียง เนื่องจากในไควาเระมีสารอาหารที่ให้ประโยชน์หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิกรวม วิตามินซี และยังตรวจพบกลูโคซิโนเลท ซึ่งเป็นสารประกอบของกำมะถัน และไนโตรเจนในปริมาณสูง โดยสามารถย่อยสลายภายในร่างกายให้สารที่มีประโยชน์ (Baenas et al., 2016) นอกจากนี้ต้นอ่อนหัวไชเท้ายังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกรวม และสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Bruce et al., 2007) มีการศึกษาสารประกอบทางเคมีของต้นอ่อนหัวไชเท้า พบว่ามีสารส่วนใหญ่เป็นสารกลูโคซิโนเลท ซึ่งเป็นสารที่มีขั้ว (Chen et al., 2023) ต้นอ่อนของหัวไชเท้ามีปริมาณของกลูโคซิโนเลตสูงกว่าหัวไชเท้าโดยเฉลี่ย 3.8 เท่า และมีปริมาณของไอโซไธโอไซยาเนตสูงกว่า 8.2 เท่า นอกจากนี้ต้นอ่อนยังมีปริมาณของฟีนอลิครวมสูงกว่าหัวไชเท้าโดยเฉลี่ย 6.9 เท่า (Hanlon & Barnes, 2011)

แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาต้นอ่อนหัวไชเท้าในทางเครื่องสำอางที่ชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าในระยะเวลาการงอกต่าง ๆ เพื่อประเมินสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของระยะต้นอ่อนหัวไชเท้าต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

1.2.2 ประเมินศักยภาพของสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าเพื่อประโยชน์ทางเครื่องสำอาง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

นำเมล็ดหัวไชเท้าซึ่งซื้อได้จากจังหวัดลพบุรี จากนั้นทำการเพาะเมล็ดหัวไชเท้า โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 0, 3, 5, 7, และ 9 วัน ทำให้แห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำมาสกัดด้วยน้ำ เอทานอลร้อยละ 95 และอะซิโตน ด้วยวิธีการเขย่า (conventional shaking method) ความเร็ว 125 rpm 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สารสกัดที่ได้นำมาวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP โดยวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประสิทธิภาพของสารสกัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

1.4.2 แนวทางการเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดต้นอ่อนหรือไมโครกรีนจากหัวไชเท้าเพื่อประโยชน์ทางเครื่องสำอาง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ไมโครกรีน

ไมโครกรีน คือ ต้นกล้าขนาดเล็กหรือต้นอ่อนที่เพาะจากเมล็ดผัก สมุนไพร และเมล็ดพืชอื่นๆ มีขนาดความสูงของลำต้นประมาณ 1-3 นิ้ว ประกอบด้วย ลำต้น ใบเลี้ยง และใบจริง 1-2 ใบ นิยมรับประทานส่วนที่อยู่เหนือดิน (กรรณิกา บุญพาธรรม และดนุพล เกษไธสง, 2560) นอกจากนี้ยังมีคำที่มีความหมายคลายคลึงกัน คือ “sprouts” ซึ่งจะเป็นพืชที่เก็บเกี่ยวในช่วงต้นอ่อนระยะเมล็ดเริ่มงอก จะมีอายุเก็บเกี่ยวสั้น และมีขนาดเล็กกว่าไมโครกรีน (Kentucky et al., 2012) ไมโครกรีน หรือต้นอ่อนผักสด เป็นผลผลิตที่เกิดจากการนำเมล็ดผัก หรือสมุนไพรมาเพาะให้งอก และเจริญเติบโต หลังจากงอกออกมาจากเมล็ดแล้วใบเลี้ยงคลี่เต็มที่ มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 7-14 วัน หลังเพาะ (ขึ้นอยู่กับชนิดของผัก) นิยมรับประทานส่วนที่อยู่เหนือดิน (Brentlinger et al., 2005)

2.1.1 ประโยชน์ของไมโครกรีน

ไมโครกรีนมีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ สารต้านอนุมูลอิสระสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดเดียวกันที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ อีกทั้งยังช่วยชะลอความแก่ชรา ป้องกันร่างกายจากโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ อัมพาต โรคข้อ ต้อกระจก และป้องกันโรคมะเร็ง (Boeing et al., 2012) ซึ่งไมโครกรีนมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีแคลอรีต่ำ ปริมาณสารอาหารที่สูงอุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสารอาหารโดยสามารถปลูกได้ง่าย (Sharma et al., 2022) ผักที่นิยมนำมาเพาะเป็นผักไมโครกรีน ได้แก่ มัสตาร์ด คะน้าฮ่องกง ผักโขม กะหล่ำปลี ผักกาดหอม เมล็ดหัวไชเท้า เมล็ดทานตะวัน เมล็ดผักบุ้ง เมล็ดงา และเมล็ดถั่วต่าง ๆ (Xiao et al., 2012) ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันและหัวไชเท้ามีสารประกอบฟีนอลิกรวม และฟลาโวนอยด์รวมปริมาณสูง และเป็นแหล่งต้านอนุมูลอิสระของมนุษย์ (Supapvanich et al., 2019) อีกทั้งต้นอ่อนหัวไชเท้ายังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สูงกว่าต้นถั่วงอก ต้นอ่อนบล็อคโคลี่ และต้นอ่อนทานตะวัน (Pajak et al., 2014) โดยจุดเด่นของผักกลุ่มไมโครกรีนคือสามารถผลิตได้ตลอดปี ใช้ระยะเวลาสั้น ปลอดภัยจากสารเคมีเป็นทางเลือกในการบริโภคผักของผู้ใส่ใจสุขภาพ จึงทำให้เกิดธุรกิจการผลิตต้นอ่อนของผักหลายชนิดจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย

2.1.2 การผลิตไมโครกรีน

ทำได้โดยการเพาะผักไมโครกรีนแบบทั่วไปจะต้องนำเมล็ดแช่น้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาโรยในถาดเพาะที่เตรียมไว้ กลบดินทับบาง ๆ เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะทำให้ต้นอ่อนโตเร็วขึ้น จากนั้นนำมาไว้ในพื้นที่ที่แสงแดดอ่อน อากาศถ่ายเทได้ดี เพื่อป้องกันไม่ให้มีความชื้นอับมากไป เนื่องจากอาจทำให้เกิดเชื้อราในดิน (Sahaponget al., 2019) หรือเตรียมโดยนำเมล็ดแช่น้ำ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำใยสังเคราะห์ สำลีก้อน กระดาษ หรือฟองน้ำวางที่ก้นภาชนะใส่น้ำให้ชุ่ม โรยเมล็ดที่แช่น้ำแล้วบนวัสดุปลูกอย่าให้น้ำบนฟองน้ำหรือสำลีหรือกระดาษสูงท่วมเมล็ด เพราะอาจทำให้เมล็ดเน่าได้ หากมีลมพัดผ่านแรงให้ปิดฝาแบบแง้มไว้เล็กน้อย เพื่อรักษาความชุ่มชื้นในช่วง 1-2 วันแรก เก็บต้นอ่อนเมื่อครบ 7 วัน (พัชรี สำโรงเย็น และอภิชาติ ศรีสอาด, 2558)

2.1.3 การงอกของเมล็ดไมโครกรีน

เริ่มต้นเมื่อเมล็ดเริ่มดูดน้ำหรือความชื้น และสิ้นสุดเมื่อเกิดการยืดตัวของแกนต้นอ่อนซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นการยืดตัวของรากแรกเกิด (radicle) (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544; พูนพิภพ เกษมทรัพย์, 2549; วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2553) ทั้งนี้ การงอกของเมล็ดพันธุ์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง เป็นต้น (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2553) การงอกของเมล็ดพืชเป็นวิธีการผลิตอาหารจากพืชที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เรียบง่าย ไม่แพง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Aguilera et al., 2013) ในระหว่างการงอก สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ เช่น วิตามิน แร่ธาตุ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก และโพลีฟีนอลมีการสะสมอยู่ในเมล็ด และต้นอ่อนผักสด (Pasko et al., 2009; Gan et al., 2017) การงอกของเมล็ดพันธุ์สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในเมล็ดพันธุ์พืชที่สามารถรับประทานได้ โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการงอก และชนิดของพืช (Taraseviciene et al., 2019)

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดไมโครกรีน

การที่เมล็ดจะงอกได้จำเป็นต้องได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด เพื่อให้ขบวนการต่าง ๆ ของการงอกเกิดขึ้น โดยปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด ได้แก่ น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิที่พอเหมาะ นอกจากนี้เมล็ดพืชบางชนิดยังต้องการแสงสำหรับการงอก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด เช่น (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529)

2.1.4.1 น้ำหรือความชื้น

น้ำเป็นปัจจัยแรกที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอกเพื่อละลายโปรโตพลาสซึม น้ำทำให้อาหารที่สะสมในเมล็ดรูปโมเลกุลใหญ่แตกย่อยออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น โปรตีนจะถูกย่อยเป็นโมเลกุลของกรดอะมิโน แป้งแตกออกเป็นกลูโคส และซูโครส เป็นต้น

2.1.4.2 ออกซิเจน

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องใช้พลังงาน จึงต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารให้ได้มาซึ่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการงอก โดยทั่วไปเมล็ดพืชงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 ถ้าบรรยากาศมีออกซิเจนมากขึ้น ทำให้อัตราการงอกเพิ่มขึ้น

2.1.4.3 อุณหภูมิ

เมล็ดพืชต่างชนิดกันสามารถงอกได้ในช่วงหรือระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้เมล็ดไม่งอก โดยปกติเมล็ดทั่วไปสามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 10-35 องศาเซลเซียส

2.1.4.4 แสง

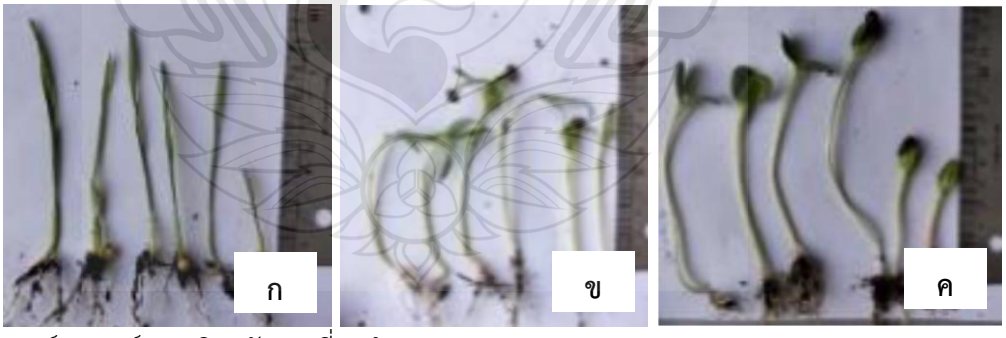
เมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ไม่ต้องการแสงในการงอก เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าว ผักกาดหัว และผักบุ้งจีน เป็นต้น ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการแสงในการงอก เช่น ผักกาดหอม ผักโขม และมะเขือเทศ เป็นต้น การกระตุ้นการงอกหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพันธุ์โดยแสงขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแสง โดยแสงที่กระตุ้นการงอกของเมล็ดจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 600 ถึง 700 นาโนเมตร

2.1.5 สัณฐานวิทยาทั่วไปของไมโครกรีน

ส่วนใหญ่ไมโครกรีนจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ เมื่อมีอายุ 1 วัน เมล็ดจะอยู่ในช่วงดูดน้ำเพื่อเตรียมการงอก โดยบางเมล็ดจะเริ่มมีรากแรกเกิด เมื่ออายุ 3 วัน ต้นอ่อนเริ่มเจริญเติบโตมีรากและใบเลี้ยง และเมื่ออายุ 5 วัน ต้นอ่อนจะเจริญเติบโตและมีใบเลี้ยงที่ชัดเจนขึ้น (Francis et al., 2022) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 กระบวนการงอกของเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี อัลฟัลฟา และหัวไชเท้า ที่ระยะเวลาการงอก 1, 3 และ 5 วัน การวิเคราะห์ลักษณะเชิงกายภาพของผักไมโคกรีนเพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูงของต้นในแต่ละวัน และวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของผัก 3 ชนิด คือ ข้าวสาลี ผักบุ้ง และทานตะวัน พบว่าผักแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตในแต่ละวันไม่เท่ากัน โดยความยาวเฉลี่ยของวันที่ 5 ข้าวสาลีมีความยาว 7.8 เซนติเมตร ผักบุ้งมีความยาว 7.6 เซนติเมตร และทานตะวันมีความยาว 9.5 เซนติเมตร โดยเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้นทำให้ความสูงของต้นเพิ่มขึ้น (สหพงศ์ สมวงค์ และมิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ, 2562) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ความยาวของต้นในวันที่ 5 ของข้าวสาลี ผักบุ้ง และทานตะวัน

ที่มา Francis et al. (2022)

ภาพที่ 2.1 กระบวนการงอกของเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี (ก) อัลฟัลฟา (ข) และหัวไชเท้า (ค) ที่ระยะเวลาการงอก 1, 3 และ 5 วัน



ที่มา สหพงศ์ สมวงค์ และมิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ (2562)

ภาพที่ 2.2 ความยาวของต้นในวันที่ 5 ของข้าวสาลี (ก) ผักบุ้ง (ข) และทานตะวัน (ค)

2.1.6 ไมโครกรีนจากพืช

2.1.6.1 ต้นอ่อนอัลฟัลฟา (Alfalfa Sprouts)

อัลฟัลฟาเป็นพืชตระกูลถั่วขนาดเล็กที่มีต้นกำเนิดจากเอเชียตะวันตก และแถบเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก โดดเด่นด้วยความสามารถในการเติบโตได้ในทุกสภาพอากาศทั่วโลก และมีระบบรากที่แข็งแรง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหารจากดินได้เป็นอย่างดี อัลฟัลฟาอุดมไปด้วยสารอาหารสำคัญหลายชนิด ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย และวิตามินหลากหลาย เช่น วิตามินเอ, บี1, บี6, บี8, บี12, ซี, ดี, อี และ เค นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่ที่สำคัญต่อสุขภาพ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี เซเลเนียม และแมกนีเซียม ต้นกล้าอัลฟัลฟา นิยมนำมารับประทานสด สามารถนำไปปรุงอาหารเป็นสลัดหรือใส่ในแซนด์วิช เป็นเมนูง่าย ๆ ที่ไม่เพียงอร่อย แต่ยังเต็มไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะสำหรับการดูแลสุขภาพในทุกมื้ออาหาร (อุดมลักษณ์ มัจฉาชีพ และคณะ, 2557)

2.1.6.2 ต้นอ่อนทานตะวัน (Sunflower Sprouts)

ต้นอ่อนทานตะวันเป็นพืชที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสารพฤกษเคมี (phytochemicals) หลากหลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารในกลุ่มฟีนอลิกรวม ได้แก่ กรดคาเฟอิก, กรดคลอโรจีนิก , กรดคาเฟอิลควินิก , ไซนาริน และ กรดแกลลิก รวมถึงฟลาโวนอยด์รวม เช่น เฮสเปอริดิน, เคอร์เซทิน, ลูทีโอลิน และ เคมพ์เฟอรอล อีกทั้งยังอุดมไปด้วยสารสีธรรมชาติ เช่น คลอโรฟิลล์, แคโรทีน และ แซนโทฟิลล์ นอกจากนี้ต้นอ่อนทานตะวันยังเป็นแหล่งของวิตามินสำคัญ ได้แก่ วิตามินเอ, บี, ซี, อี และ ไนอะซิน ตลอดจนแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส โดยสารสำคัญเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรค โดยมักนำมาใช้ในทางการแพทย์พื้นบ้าน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ การต้านจุลินทรีย์ การช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การลดความดันโลหิต การลดการอักเสบ และการส่งเสริมกระบวนการสมานแผล คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันเป็นทางเลือกที่ดีในการดูแลสุขภาพและสนับสนุนการรักษาโรคต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (Guo et al., 2017)

2.1.6.3 ต้นอ่อนผักบุ้ง (Water Spinach Sprouts)

ต้นอ่อนผักบุ้ง ถือว่าเป็นผักปลอดสารเคมีที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้ระยะเวลาไม่นาน และยังมีคุณประโยชน์ทางโภชนาการสูงกว่าผักบุ้งที่ปลูกแบบปกติ โดยปัจจุบันเริ่มมีการผลิตต้นอ่อนผักบุ้งเพื่อการค้ามากขึ้น ผักบุ้งมีสรรพคุณเป็นยาเย็นในแง่ของการเป็นพืชสมุนไพร แต่ในทางคุณภาพของพืชผัก ผักบุ้ง 100 กรัมจะให้พลังงาน 22 กิโล แคลอรี่ และประกอบด้วยเส้นใย วิตามินและแร่ธาตุอื่น ๆ อีกด้วย เช่น วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 ธาตุ แคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก เป็นต้น (จิตราภรณ์ เทวะนา, 2562)

2.1.6.4 ถั่วลันเตา (Pea Sprouts)

ต้นอ่อนถั่วลันเตาหรือโต้วเหมี่ยว มีรสหวานกรอบ อุดมด้วย สารอาหาร ช่วยบำรุงสายตา ตับ หัวใจ และจัดว่าเป็นแหล่ง โปรตีน ประกอบด้วยวิตามินบีและวิตามินซีในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส และสารเลซิติน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาทและสมอง อีกทั้งยังช่วยเสริมสุขภาพดวงตา ตับ และหัวใจ นอกจากนี้ยังมีใยอาหารที่ช่วยส่งเสริมระบบขับถ่ายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยเส้นใยอาหารในปริมาณมาก (จิตราภรณ์ เทวะนา, 2562)

2.1.7 สารสกัดไมโครกรีนจากพืช

2.1.7.1 สารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน (Sunflower Sprout Extract)

การศึกษาของ Barua และคณะ (2022) พบว่าสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันสามารถเพิ่มการผลิตอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ในเซลล์ผิวที่อ่อนล้า นอกจากนี้ สารสกัดยังช่วย ชะลอกระบวนการเสื่อมของเซลล์ผิว โดยลดการสะสมของความเครียดออกซิเดชัน อีกทั้งมีการศึกษาของรักชนก ภูวพัฒน์ และคณะ (2559) พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในต้นอ่อนทานตะวัน เช่น Acetol, Acetic acid และ DDMP ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างแรง โดยสามารถช่วยป้องกันผิวจากการถูกทำลายโดยรังสี UV ผลการศึกษาทางคลินิกโดย Barua และคณะ (2022) ทดสอบเซรั่มที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันในอาสาสมัครหญิงจำนวน 28 คน อายุระหว่าง 30–60 ปี พบว่า หลังจากใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 7 วัน ผิวมีความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในเชิงการตลาดสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันได้ถูกพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ภายใต้ชื่อ Sunflower Shoot Active โดยบริษัท Mibelle Biochemistry ซึ่งมีคุณสมบัติครบถ้วนทั้งในด้านการเพิ่มพลังงานเซลล์ ชะลอความชรา และส่งเสริมโครงสร้างผิว (Mibelle Biochemistry, n.d.)

2.1.7.2 สารสกัดจากต้นอ่อนถั่วลันเตา (Pea Sprout Extract)

สารสกัดต้นอ่อนถั่วลันเตามีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง การศึกษาของ Borges-Martínez และคณะ (2020) พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากต้นอ่อนถั่วลันเตาที่สกัดโดยเมทานอลร้อยละ80 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการงอก ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบฟีนอลิกรวมของต้นอ่อนถั่วในวันที่ 6 และ 7 คือ 685.21 และ 910.69 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ สารสกัดจากต้นอ่อนถั่วลันเตาที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีชื่อทางการค้าว่า AnaGain™ หรือ AnaGain™ Nu สารสกัดนี้ประกอบด้วย กลุ่มพอลิฟีนอล และไฟโตนิวเทรียนท์จากต้นอ่อนถั่วลันเตา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Mibelle Biochemistry (Mibelle Biochemistry, n.d.) มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเส้นผมและลดการหลุดร่วงของเส้นผม (Schmid et al., 2019)

2.1.7.3 สารสกัดจากต้นอ่อนการ์เดนเครส (Swiss Garden Cress Sprout Extract)

สารสกัดจากต้นอ่อนการ์เดนเครสมีสารซัลโฟราเฟนซึ่งช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ส่งผลให้ลดการสร้างเม็ดสีเมลานิน และช่วยให้ผิวดูกระจ่างใสขึ้น นอกจากนี้มีสารซินาโพล มาลาเต (Sinapoyl Malate) ซึ่งมีบทบาทในการดูดซับรังสี UV และปกป้องผิวจากความเสียหายที่เกิดจากรังสีดังกล่าว การศึกษาพบว่าสารซินาโพล มาลาเตในสารสกัดจากต้นอ่อนการ์เดนเครสมีคุณสมบัติในการปกป้องผิวจากรังสี UV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Agarwal et al., 2021) สารสกัดจากต้นอ่อนการ์เดนเครสที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีชื่อทางการค้าว่า SulforaWhite มีคุณสมบัติในการยับยั้งการสร้างเม็ดสีผิวและทำให้ผิวดูกระจ่างใส และ Detoxophane ใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวเพื่อปกป้องผิวจากมลภาวะและรังสี UV (Mibelle Biochemistry, n.d.)

2.2 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

2.2.1 อนุมูลอิสระ (Free Radical)

อนุมูลอิสระ เป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่มีสารอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในวงอิเล็กตรอนวงนอกสุด พบได้ทุกแห่งที่ในสิ่งแวดล้อมอิเล็กตรอนเป็นองค์ประกอบสำคัญในอะตอมและโมเลกุล ซึ่งโดยปกติวงโคจรของอิเล็กตรอนจะต้องมีการจับคู่กันเสมอ หากเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจน หรือมีอิเล็กตรอนขาดเกินไปเพียงหนึ่งตัว จะส่งผลให้โมเลกุลของออกซิเจนอยู่ในภาวะไม่สมดุล และมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ส่งผลให้อนุมูลอิสระกลายเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดริ้วรอยบนผิวหนัง (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

2.2.1.1 ประเภทอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (reactive oxygen species; ROS) ตัวอย่างเช่น superoxide anion radical ($O_2^{\bullet -}$), peroxyl radical ($ROO^{\bullet}$), hydroxyl radical ($^{\bullet}OH$) และ hydroperoxyl radical ($HOO_2^{\bullet}$) เป็นต้น

2. กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (reactive nitrogen species; RNS) ตัวอย่างเช่น nitric oxide radical ($NO^{\bullet}$) และ nitrogen dioxide radical ($NO_2^{\bullet}$, $NO^{\bullet -}$)

3. กลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (reactive chlorine species; RCS) ตัวอย่างเช่น chlorine radical ($Cl^{\bullet}$) และ hypochlorous acid (HOCl) (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2550)

2.2.1.2 การเกิดอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ 3 ระยะ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

1. Initiation เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการเกิดอนุมูลอิสระ โดยมีปัจจัยกระตุ้น ได้แก่ ความร้อน แสง และรังสีพลังงานสูง รวมถึงโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่ออะตอมไฮโดรเจนถูกปลดปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังสมการ

$$RH + O2 \longrightarrow R^* + HO2^*$$

2. Propagation เป็นระยะที่ปริมาณอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยอนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและเปลี่ยนรูปเป็นเปอร์ออกซี (Peroxy) ดังสมการ

$$14\ R^* + O_2 \longrightarrow ROO^*$$

3. Termination เป็นระยะสิ้นสุดของกระบวนการเกิดสารอนุมูลอิสระโดย peroxy จะไม่เกิดปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระแต่จะเข้าไปแย่งจับไฮโดรเจนทำให้โมเลกุลเสถียร ดังสมการ

$$ROO^* + RH \longrightarrow ROOH^* + R^*$$

2.2.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่สามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ในสิ่งมีชีวิต ระบบป้องกันเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระทำงานผ่านสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีบทบาทและกลไกที่แตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์ และกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ รวมถึงสารประกอบที่สามารถละลายในน้ำและในไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการทำงานที่หลากหลาย เช่น การดักจับอนุมูลอิสระ การยับยั้งปฏิกิริยาของออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนไม่ครบ การจับตัวกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การหยุดยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ การเสริมฤทธิ์ของสารอื่น และการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556) โดยสามารถแบ่งประเภทสารต้านอนุมูลอิสระ ได้ ดังนี้

2.2.2.1 แบ่งตามกลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. สารต้านอนุมูลอิสระขั้นปฐมภูมิ

1) Superoxidation dismutase (SOD) ทำหน้าที่เปลี่ยนอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ (O_2^{*-}) ไปเป็น hydrogen peroxide (H_2O_2)

(Cu/Zn, superoxide dismutase)

$$O2^{*-} + O2^{*-} + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2$$

2) Catalase มีบทบาทในการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นน้ำและออกซิเจน ซึ่งไม่มีอันตรายต่อเซลล์

$$H_2O_2 \xrightarrow{\text{(Fe, Catalase)}} H_2O + O_2$$

3) Glutathione peroxidase (GPx) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และลิปิดเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอันตรายโดยมีซิลิเนียม (Se) เป็นโคแฟคเตอร์

$$H_2O_2 + 2G\text{-}SH \xrightarrow{\text{(Se, Glutathione peroxidase)}} H_2O + GSSG$$

$$G\text{-}SH + ROO^* \longrightarrow GSSG + ROH$$

$$GSSG + NADPH + H^+ \longrightarrow 2G\text{-}SH + NADP^+$$

4) Chelating agent ทำหน้าที่จับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดซิตริค, Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), กรดอะมิโน และ โปรตีน

2. สารต้านอนุมูลอิสระขั้นทุติยภูมิ

ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันปฏิกิริยาลูกโซ่โดยการแย่งอิเล็คตรอน ของสารโมเลกุลอื่นถ่ายทอดกันเป็นลูกโซ่ ทำให้มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นไม่สิ้นสุด สารที่ทำหน้าที่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี เบต้าแคโรทีน กรดยูริค อัลบูมิน บิริรูบิน และสารที่ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร นอกจากนี้วิตามินซี เป็นสารที่มีคุณสมบัติ oxygen scavenger คือสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

3. สารต้านอนุมูลอิสระขั้นตติยภูมิ

ทำหน้าที่ซ่อมแซมสารชีวโมเลกุลที่ถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ เช่น DNA-repaired enzymes และ methioneine sulphoxide reductase เป็นต้น

2.2.2.2 แบ่งตามแหล่งที่มา แบ่งได้ 2 ประเภทหลัก คือ

1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

อนุมูลอิสระที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมีถูกสร้างขึ้นผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิกที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylated hydroxyanisole, Butylated hydroxytoluene (BHT) และ Tertiary butylhydroquinone สารสังเคราะห์เหล่านี้มักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่น สี และรสชาติ (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

2. สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (Nature antioxidant)

สามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยอาจอยู่ในรูปของเอนไซม์ วิตามิน หรือสารอื่น ๆ ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มวิตามิน ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี กลูตาไธโอน และสารประกอบฟีนอลิกรวม

2.2.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ร่างกายและเซลล์สามารถสร้างอนุมูลอิสระได้หลายรูปแบบ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายภายในเซลล์และนำไปสู่การเกิดโรคต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีวิธีการทดสอบหลายวิธี ได้แก่ (ขนิษฐา คงยอด, 2553)

2.2.3.1 การทดสอบความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation inhibition assay)

วิธีนี้อ้างอิงหลักการตรวจวัดปริมาณเปอร์ออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้นภายหลังปฏิกิริยา หากสารที่ทำการทดสอบมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน จะส่งผลให้ระดับเปอร์ออกซิไดซ์ของไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาลดลง

2.2.3.2 การทดสอบความสามารถในการมีชีวิตของเซลล์ (cell viability assay)

วิธีนี้ใช้ในการประเมินความสามารถของเซลล์ในการดำรงชีวิตหลังจากถูกกระตุ้นให้เกิด reactive oxygen species (ROS) ภายในเซลล์ สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอาจช่วยลดการตายของเซลล์ที่เกิดจากภาวะเครียดออกซิเดชัน โดยการนับจำนวนเซลล์ที่ยังมีชีวิตและเซลล์ที่เสียหาย นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบการทำงานของไมโทคอนเดรีย และคำนวณเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่ยังคงสามารถดำรงชีวิตได้

2.2.3.3 การทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenging assay)

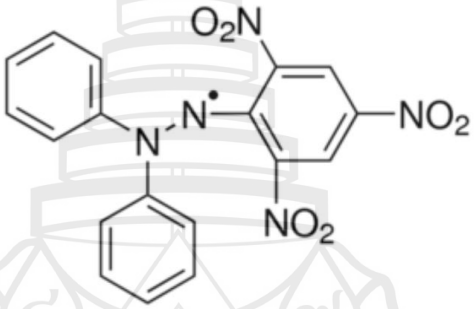
วิธีนี้ใช้ในการประเมินความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระต้นแบบที่นำมาใช้ ได้แก่ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) กระบวนการทดสอบอาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของอนุมูลอิสระผ่าน spectrophotometer หากสารที่ทำการทดสอบมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ค่าการดูดกลืนแสงของอนุมูลอิสระนั้นจะลดลง วิธีนี้เป็นเทคนิคที่มีความสะดวกและสามารถดำเนินการได้ง่าย

2.2.3.4 DPPH radical scavenging assay อนุมูล DPPH• มีสีม่วงและอยู่ในรูปของอนุมูลอิสระโดยไม่ต้องผ่านปฏิกิริยาเหมือน ABTS•+ การวิเคราะห์นี้วัดความสามารถในการรีดิวซ์โดยใช้ spectrophotometer ตรวจสอบการลดลงของสีเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวัดค่า

การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นจึงนำไปคำนวณเป็น scavenging effect (%) ได้ตามสมการดังนี้

$$\text{scavenging effect (\%)} = [(A_{517\ control} - A_{517\ test\ sample}) / A_{517\ control}] \times 100$$

ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถทำได้ง่าย ใช้เครื่องมือสามัญที่มีทั่วไป และนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ส่วนข้อเสียคือ DPPH เป็นสารที่ค่อนข้างเสถียร เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ซึ่งไม่เหมือนกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจริงในร่างกาย ส่งผลให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้อาจต่ำกว่าค่าจริง



ที่มา PubChem. (n.d.). Compound Summary: 2735032.

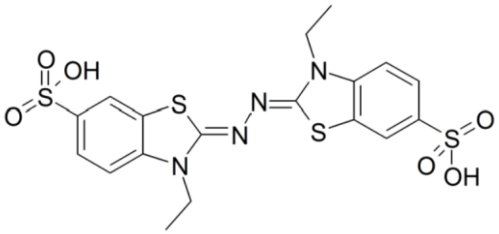
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ 1, 1 - diphenyl-2-picrylhydrazyl

2.2.3.5 ABTS radical cation decolorization assay

การทดสอบนี้เริ่มจากการเปลี่ยน ABTS ให้เป็นอนุมูลอิสระ ABTS•+ โดยใช้ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) เป็นตัวรีดิวซ์ อนุมูลอิสระที่ได้มีสีฟ้าอมเขียว และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 660, 734 และ 840 นาโนเมตร โดยทั่วไปนิยมวัดที่ 734 นาโนเมตร โดยต้องปรับค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของ ABTS•+ ให้อยู่ที่ 0.700 ± 0.020 เมื่อเติมสารทดสอบที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน อนุมูล ABTS•+ จะลดลง ทำให้สีจางลง และสามารถคำนวณ scavenging effect (%) ได้ตามสมการดังนี้

$$\text{scavenging effect (\%)} = [(A_{734\ control} - A_{734\ test\ sample}) / A_{734\ control}] \times 100$$

ข้อดีของวิธีนี้คือความง่ายในการดำเนินการ โดย ABTS•+ ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระภายใน 5 นาที และสามารถวิเคราะห์ได้ในช่วง pH ที่หลากหลาย นอกจากนี้ อนุมูล ABTS•+ สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและสารอินทรีย์ จึงใช้ประเมินศักยภาพการต้านออกซิเดชันของสารได้ทั้งที่ละลายในน้ำและในลิปิด



ที่มา PubChem. (n.d.). Compound Summary: 5815211.

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของ 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

2.2.3.6 FRAP ion reducing antioxidant power assay

วิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระคือการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารประกอบเชิงซ้อน $Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ ที่เตรียมได้จากการนำสารละลาย TPTZ(2,4,6-tri (2-pyridyl)-s-triazine) ที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย acetate buffer และสารละลาย ferric trichloride hexahydrate จากนั้นทำการเติมสารละลายมาตรฐาน หรือตัวอย่างที่ต้องการศึกษาลงไป และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด สารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยน $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{3+}$ เป็น $[Fe(II)(TPTZ)_2]^{2+}$ ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยปริมาณ $[Fe(III)(TPTZ)_2]^{2+}$ ที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูป FRAP value เทียบกับค่ามาตรฐานของฟอสฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$)

ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่าย ใช้เวลาน้อย สามารถทำซ้ำได้และให้ผลเช่นเดิม ส่วนข้อเสียคือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกาย (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

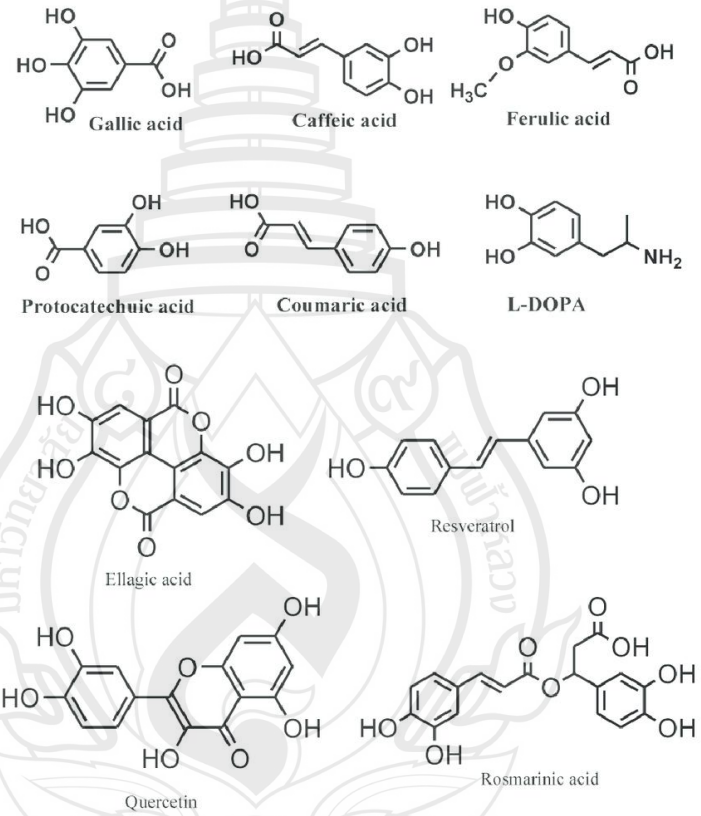
2.2.4 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบหลัก โดยอาจมีหมู่เคมีอื่นเข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่าง ๆ โครงสร้างพื้นฐานของสารกลุ่มนี้เป็นวงอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเป็นหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น การจำแนกสารประกอบฟีนอลิกสามารถทำได้ตามโครงสร้าง เช่น จำนวนอะตอมคาร์บอน และตำแหน่งของหมู่ที่เข้ามาแทนที่ ในปัจจุบันมีการค้นพบและจำแนกสารประกอบฟีนอลิกออกเป็นมากกว่า 8,000 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มหลัก ได้แก่ กรดฟีนอลิก ลิกนิน กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ ตลอดจนฟลาโวนอยด์รวม สารประกอบแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยสามารถพบได้ในผักและผลไม้หลากหลายชนิด สารประกอบฟีนอลิกในธรรมชาติมี 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และกรดไฮดรอกซีซินนามิก โดยเฉพาะในธัญพืชจะพบกลุ่ม กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธุ์ เป็นหลัก เช่น กรดคูเมอริก กรดคาเฟอิก กรดเฟอรูลิก และกรดไซแนปพิก ซึ่งสามารถพบได้ทั้งในรูป insoluble-bond form ที่จับ

อยู่กับองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส และลิกนิน และในรูปแบบ soluble form ซึ่งพบในไซโทพลาสซึมของเซลล์ (Robards et al., 1999)

2.2.4.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซินเป็นหลัก และมีอนุพันธ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อยหนึ่งหมู่เชื่อมต่ออยู่ โครงสร้างพื้นฐานของสารฟีนอลิกจึงเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญคือ สารฟีนอลในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซุน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)



ที่มา เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย (2557)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก

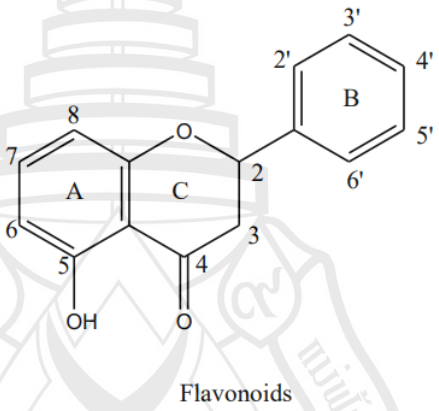
2.2.4.2 การแบ่งกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก

1. ฟีนอลอย่างง่าย และอนุพันธุ์ เช่น กรดแกลลิก, กรดเอลลาจิก, กรดแทนนิก, วานิลลิน, คาเทคอล, รีซอร์ซินอล และ กรดซาลิไซลิก เป็นต้น

2. ฟีนิลโพรพานอยด์ เช่น สารประกอบฟีนอลิกที่มีวงแหวนอะโรมาติกและสายโซ่ด้านข้างที่ประกอบด้วยคาร์บอนสามอะตอม สามารถจำแนกออกเป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ กรดไฮดรอก

ซีซินนามิก (เช่น กรดเฟอรูลิก, กรดคาเฟอิก และกรดคูมาริก), คูมาริน (เช่น อัมเบลลิเฟอโรน, สโคโพลิติน, เอสคูเลติน และพซอราเลน) และ ลิกแนน (เช่น ไพโนเรซินอล, ยูจีนอล และไมริสทิซิน

3. ฟลาโวนอยด์ จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกและทำหน้าที่เป็นรงควัตถุที่พบได้ในอวัยวะต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะในดอกไม้ ซึ่งมักให้สีแดง เหลือง ม่วง และน้ำเงิน ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของสารที่มีคาร์บอน 15 ตัว จัดเรียงตัวในระบบ 3-ring เรียก A-, B-, C-ring โดยมี A และ B เป็น phenyl ring และ C เป็น lactone ring การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ C-ring ทำให้แยกฟลาโวนอยด์ออกเป็นชนิดต่างๆ และ hydroxylation ที่ A-ring และ B-ring ตามตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เกิดอนุพันธ์ของฟลาโวนอยด์มากมาย



Flavonoids

ที่มา ฮาซัน สุหลง และคณะ (2560)

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟลาโวนอยด์

สามารถจำแนกเป็นกลุ่มย่อยตามโครงสร้างเคมีได้ 7 กลุ่ม ได้แก่ (วิภพ สุทธนะ, 2556)

1) ฟลาโวนอล เกิดจากการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เช่น เคอร์เซทิน

2) ฟลาโวน เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี เช่น อะจิพีนิน ลูเทโอลิน และไตรเซติน

3) ฟลาวาโนน มีโครงสร้างฟลาโวน เช่น เฮสเพอริดิน นารินจิน พบในผลไม้ตระกูลส้ม

4) ฟลาวานอล เช่น แคทิซิน, แกลโลแคทิซิน เป็นต้น

5) ฟลาวาโนนอล มีโครงสร้างคล้ายกับ ฟลาวาโนน

6) ไอโซฟลาโวน เช่น เดดซีน

7) แอนโธไซยานิดิน เช่น ไซยานิดิน

2.2.5 การสกัดสารสำคัญจากพืช

2.2.5.1 การสกัดแบบเขย่า (shaking extraction)

การสกัดโดยใช้เครื่องเขย่าเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่มีความสะดวก โดยอาศัยการลอยตัวของตัวอย่างพืชในตัวทำละลาย พร้อมทั้งใช้แรงเขย่าเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลาย วิธีนี้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสกัด ทำให้สามารถดึงสารออกมาได้มากขึ้นในระยะเวลาที่สั้นลง

2.2.5.2 การสกัดด้วยชุดซอกห์เลต (Soxhlet extraction)

โดยทั่วไปงานวิจัยทางด้านการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจะใช้วิธีนี้ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม โดยใช้ชุดเครื่องมือซอกห์เลตแสดงดังภาพที่ 2.7 หลักการ คือ สารเป้าหมายจะถูกละลายออกจากวัสดุด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นและควบแน่นกลับมาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการสกัดนี้มักใช้เวลานานกว่า 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าสารที่ต้องการจะถูกสกัดออกจนหมด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการที่สารละลายไม่มีสีของสารเป้าหมาย (จันทร์เพ็ญ โคตรภูธร, 2559)

ที่มา Soxhlet extraction apparatus (2015)

ภาพที่ 2.7 ชุดซอกห์เลต

หลักการทำงานของเครื่องซอกห์เลตใช้ปริมาณตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดจะถูกทำให้ระเหยและควบแน่นกลับเข้าสู่ระบบเมื่อผ่านกระบวนการหล่อเย็น ทำให้เกิดการสกัดแบบหมุนเวียน ตัวทำละลายที่ถูกเติมลงไปในระบบจะไหลผ่านสารเป้าหมายซ้ำหลายรอบ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด จนกระทั่งได้สารที่มีความเข้มข้นเหมาะสม

2.2.5.3 การสกัดด้วยวิธีการแช่ (Maceration)

การสกัดแบบแช่หมัก (maceration) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดโดยทำการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารในพืชสมุนไพร แล้วนำพืชสมุนไพรไปใส่ไว้ในภาชนะที่ปิด เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่หรือโถ ทำการเขย่าเป็นระยะและแช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 7 วัน จากนั้นนำมา

กรองและบีบอัดเพื่อดึงสารสกัดจากกากสมุนไพรให้ได้มากที่สุด นำสารละลายที่ได้ผ่านกระบวนการกรองเพื่อกำจัดเศษสมุนไพรที่เหลือ แล้วทำการระเหยตัวทำละลายจนได้สารสกัดหยาบ จากนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข้อดีคือ สารสกัดไม่สัมผัสกับความร้อนโดยตรง ทำให้ลดโอกาสที่สาระสำคัญจะเสื่อมสลาย

ข้อเสียคือ มีการใช้ตัวทำละลายในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลือง

2.2.5.4 การสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic)

การสกัดสารโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำ เป็นเทคนิคที่นำคลื่นอัลตราโซนิกมาใช้ในการดึงสารต้านอนุมูลอิสระจากวัตถุดิบ เครื่องมือจะส่งคลื่นเสียงความถี่สูงเข้าสู่ของเหลวพา เช่น น้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ กระบวนการนี้ทำให้เกิดฟองก๊าซที่ขยายและหดตัวเป็นวัฏจักร เมื่อฟองก๊าซขยายตัวจะช่วยดึงสารภายในวัสดุออกมาสู่ตัวทำละลาย และเมื่อฟองก๊าซแตกออกจะเกิดแรงดันและความร้อนสูง ส่งผลให้เนื้อเยื่อของวัสดุแตกออก ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระละลายได้ดีขึ้นประสิทธิภาพของการสกัดด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความถี่ของคลื่นเสียง ซึ่งเมื่อใช้ความถี่สูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการสกัดจะลดลง นอกจากนี้ สมบัติของตัวทำละลาย เช่น ความดันไอก็มีผลเช่นกัน โดยตัวทำละลายที่มีความดันไอสูงจะช่วยให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวทำละลายที่มีความดันไอต่ำ อีกทั้ง อุณหภูมิของกระบวนการสกัด ก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญ โดยการสกัดจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูง และ ความเข้มของคลื่นเสียง ที่ใช้ก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนี้

2.2.5.5 การสกัดด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave-Assisted Extraction)

การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลาย เป็นเทคนิคที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อช่วยดึงสารออกจากตัวอย่างพืช คลื่นไมโครเวฟจะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนผ่านกระบวนการต้านการเคลื่อนที่และแรงเสียดทานของโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งส่งผลให้เกิดความร้อนภายในเซลล์พืช ทำให้สารที่ต้องการถูกละลายออกมา วิธีการนี้ใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อยและสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้อาจไม่เหมาะสำหรับการสกัดสารกลุ่มแทนนิน (tannins) และ แอนโทไซยานิน (anthocyanins) เนื่องจากสารเหล่านี้อาจเกิดการสลายตัวจากความร้อนในระหว่างกระบวนการสกัด (Azwanida, 2015)

2.3 หัวไชเท้า

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของหัวไชเท้า

หัวไชเท้าหรือผักกาดหัว มีชื่อ วิทยาศาสตร์ว่า *Raphanus sativus* L. var longipinnatus เป็นพืชในตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae หรือ Brassicaceae) มีชื่อสามัญว่า Chinese radish, Oriental radish, Daikon ดังแสดงในภาพที่ 2.8 เป็นพืชล้มลุกลำต้นสูงประมาณ 20 – 100 เซนติเมตร ปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก รูปกรวยยาว รูปทรงกลม หรือรูปทรงอื่น ๆ แตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ มีสีขาวจนถึงสีแดง ส่วนที่ใช้บริโภคเป็นอาหาร คือ ราก ซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารโดยขยายตัวใหญ่ขึ้น และอาจมีรากฝอยบ้าง รากมีขนาดยาวถึง 15 เซนติเมตร

ที่มา Aruna et al. (2012)

ภาพที่ 2.8 ลักษณะภายนอกของหัวไชเท้า

ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของหัวไชเท้า ลำต้นอาจเป็นลำต้นตรงหรือแตกกิ่ง ใบฐานยาว มักมีลักษณะเป็นใบแฉกและมีฟันหยัก แต่บางครั้งอาจไม่มีฟัน โดยใบที่อยู่ตามลำต้นจะมีลักษณะเรียบและยาว ดอกจะออกเป็นช่อที่ยาว มักมีสีขาวหรือสีม่วงอ่อนที่มีเส้นสีม่วง ผลมีลักษณะแคบ ไม่แตก มีความยาวประมาณ 2.5-7.5 ซม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.25 ซม. มีปลายเรียวยาว เมล็ดมีลักษณะกลมจำนวน 6-12 เมล็ด มีสีตั้งแต่เหลืองถึงสีน้ำตาลช็อกโกแลต และรากของหัวไชเท้า จะมีลักษณะบวมและมีรูปร่างแตกต่างกันไป เช่น เกือบกลม, กระบอก หรือกรวย ในประเภทตะวันออก รากอาจมีน้ำหนักได้ถึง 15 กิโลกรัม (Aruna et al., 2012)

หัวไชเท้ามีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน และแพร่กระจายไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ตามการโยกย้ายถิ่นฐานของชาวจีน โดยทั่วไปสามารถพบได้ในหลายสี เช่น ขาว แดง ม่วง และชมพู อีกทั้งยังมีขนาดแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ย่อย ในอดีต หัวไชเท้าได้รับการนำมาใช้ทางยาในหลายรูปแบบ รากมีสรรพคุณช่วยกระตุ้นความอยากอาหาร ส่งเสริมการย่อยอาหาร และช่วยให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการไหลเวียนของน้ำดี เมื่อบดละเอียดสามารถใช้พอกบรรเทาอาการจากแผล

ไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวก ส่วนน้ำคั้นสดจากใบมีฤทธิ์ช่วยขับปัสสาวะและช่วยระบาย ส่วน เมล็ดมีคุณสมบัติช่วยขับลม ขับปัสสาวะ และช่วยลดเสมหะ (Gultierrez & Perez, 2004)

2.3.2 พันธุ์ของหัวไชเท้า (อรวรรณ เคนชาติ, 2556) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

2.3.2.1 กลุ่มยุโรป (Radish) ได้รับความนิยมในการเพาะปลูก และบริโภคในเขตอบอุ่น เช่น ยุโรปและอเมริกา โดยต้องการสภาพอากาศเย็นสำหรับการเจริญเติบโตของรากที่อุณหภูมิประมาณ 15°C มีระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสั้นอยู่ที่ 20-25 วัน รากของพืชชนิดนี้มักมีขนาดเล็ก สีแดงเข้ม และในบางสายพันธุ์อาจมีสีดำ อย่างไรก็ตาม เนื้อภายในส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวหรือสีแดง

2.3.2.2 กลุ่มเอเชีย (Chinese Radish หรือ Japanese Radish) ปลูกมากแถบเอเชีย ส่วนของรากมีขนาดใหญ่ รูปร่างแบบกลมและยาว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ปกติผิวของรากมีสีขาว แต่บางพันธุ์อาจมีสีแดงเนื้อภายในมีสีขาว อายุการเก็บเกี่ยวยาวกว่ากลุ่มแรกคือพันธุ์เบาประมาณ 40-50 วัน และพันธุ์หนักประมาณ 60-70 วัน สามารถแยกพันธุ์ผักกาดหัวได้ 2 ชนิด คือ

1. พันธุ์แบบญี่ปุ่น (Japanese Type) ลักษณะที่โดดเด่นคือ ขอบใบมีรอยหยักลึกโดยจำนวนใบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ หัวไชเท้ามีทั้งชนิดที่มีอายุหนึ่งปีและสองปี โดยทั่วไปมักเป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักมากหรืออยู่ในระดับปานกลาง

2. พันธุ์แบบจีน (Chinese Type) จุดเด่นของสายพันธุ์นี้คือ ขอบใบเรียบไม่มีรอยหยัก ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มพันธุ์เบา และมีอายุการเจริญเติบโตเพียงหนึ่งปี พันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์เบา เช่น

1) พันธุ์แม่โจ้ (OW-1) ลักษณะเด่นของสายพันธุ์นี้คือ หัวมีรูปทรงกรวยยาว ผิวเปลือกและเนื้อด้านในเป็นสีขาว โดยมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 20-22 เซนติเมตร รสชาติไม่เผ็ดจัด ใบและขอบใบเรียบ อาจไม่มีรอยหยักหรือมีเพียงเล็กน้อย ปราศจากขนและหนาม ดอกสีขาว จัดเป็นพันธุ์เบาที่มีระยะเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ 42 วัน นับจากวันที่หยอดเมล็ด

2) พันธุ์ เค.ย.- วัน หัวมีลักษณะเป็นทรงกรวยยาว ผิวเปลือกและเนื้อด้านในเป็นสีขาวเช่นเดียวกัน โดยมีความยาวประมาณ 20.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยราว 4.5 เซนติเมตร และน้ำหนักต่อหัวอยู่ที่ประมาณ 225 กรัม ใบเรียบ ไม่มีขนหรือหนาม ขอบใบค่อนข้างเรียบ แต่มีรอยหยักเล็กน้อยบริเวณโคนก้านใบ ดอกสีขาวเหมาะสำหรับรับประทานสดมากกว่าการนำไปดองเค็ม จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์เบา โดยมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ 45-48 วัน หลังจากทำการหยอดเมล็ด

3) พันธุ์เอฟเวอเรส ไฮบริด หัวมีขนาดโตอย่างสม่ำเสมอ ความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 30-35 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-7 เซนติเมตร ใบมีลักษณะเรียบ ไม่มีขน จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์ปานกลาง โดยมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ 50 วัน หลังจากหยอดเมล็ด เป็นพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศญี่ปุ่น

2.3.3 พฤกษเคมีของหัวไชเท้า

มีการศึกษาลักษณะทางโภชนาการและพฤกษเคมีของหัวไชเท้า สารพฤกษเคมีส่วนใหญ่พบในรากและใบ โดยพบฟลาโวนอยด์รวม (38.8%) โพลีฟีนอลที่ไม่ได้จัดอยู่ในฟลาโวนอยด์ (8.4%) เทอร์ปีน และอนุพันธ์ (8.2%) ไขมันและสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับไขมัน (6.4%) และกลูโคซิโนเลตและผลิตภัณฑ์ที่แตกตัว (5.6%) ใบมีธาตุอาหารหลัก เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม โซเดียม ไฟเบอร์ กรดไขมัน ฟลาโวนอยด์รวม และโพลีฟีนอล ในขณะที่ต้นอ่อนเป็นแหล่งสำคัญของฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน เบต้า-แคโรทีนและวิตามินซี รากอุดมไปด้วยโพลีฟีนอลที่ไม่ใช่ฟลาโวนอยด์ร่วมกับเทอร์พีน และอนุพันธ์ และกลูโคไซโนเลตซึ่งมีความเข้มข้นสูงในเมล็ด ดังนั้นหัวไชเท้าเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารอาหาร และพฤกษเคมี (Gamba et al., 2021)

2.3.4 ฤทธิ์ทางชีวภาพของหัวไชเท้า

ปัจจุบันมีงานวิจัยระบุว่า เมล็ดหัวไชเท้า มีสาร ซัลโฟราเฟน ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียบางชนิด เช่น Streptococcus และ Pneumococcus และมีสารราฟานิน ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวกและแกรมลบได้หลายชนิด (รัชฎาพร อุ่นวิไลย์ และอนามัย เทศกะทึก, 2555)

หัวไชเท้ามีสารฟีนอลิกรวม ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยลดความเสียหายจากอนุมูลอิสระในเซลล์ได้โดยสารฟีนอลิกรวมในหัวไชเท้ามีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระและการทำลายเซลล์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในงานวิจัยพบว่าหัวไชเท้ามีฟีนอลิกหลายชนิด เช่น คาเทชิน, กรดซินาเปติก, และกรดเฟอรูลิก ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและป้องกันการเกิดความเสียหายจากอนุมูลอิสระในเซลล์ (Beevi et al., 2010)

กลูโคไซโนเลต ในหัวไชเท้าถูกย่อยเป็นไอโซไทโอไซยาเนต ซึ่งช่วยยับยั้งเซลล์มะเร็งและส่งเสริมการตายของเซลล์มะเร็ง (Kim ei al., 2004) การวิจัยศึกษาฤทธิ์ต้านการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง โดยใช้สารสกัดที่ได้จากฝักและลำต้นของหัวไชเท้า สกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และเปรียบเทียบผลของสารสำคัญ เช่น ซัลโฟราเฟน และ ซัลโฟราเฟนี ต่อเซลล์มะเร็งปอด (SK-LU1) และมะเร็งเต้านม (MCF-7) พบว่า สารสกัดจากฝักหัวไชเท้าแสดงฤทธิ์ต้านการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง โดยเซลล์มะเร็งปอดตอบสนองได้ดีที่สุด (IC50 = 84.22 ± 2.39 μg/ml) (Sangthong et al., 2015)

นอกจากนี้รากหัวไชเท้ามีฤทธิ์ต้านเบาหวาน ลดไขมันในเลือด และต้านอนุมูลอิสระโดยการศึกษาผลของน้ำคั้นรากหัวไชเท้าต่อโรคเบาหวานในหนูทดลองที่เป็นเบาหวาน พบว่า น้ำคั้นรากหัวไชเท้าช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูทดลองที่เป็นเบาหวานได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ช่วยลดระดับไขมันที่ไม่ดี (LDL) ไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของหนูทดลอง และเพิ่มระดับไขมันชนิดดี (HDL) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งน้ำคั้นรากหัวไชเท้ามีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น วิตามินซี และสารฟลาโวนอยด์รวมซึ่งจะช่วยลด

ความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากอนุมูลอิสระ และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย (Ahmed et al., 2012)

2.3.5 การใช้ประโยชน์หัวไชเท้าทางเครื่องสำอาง

ธิดารัตน์ ไพโรจน์อมรชัย (2549) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาสารสกัดจากพืชผักเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวที่ช่วยให้ผิวแลดูกระจ่างใส พบว่า สูตร Tissue Face Mask ที่มี สารสกัดหัวไชเท้า 25% มีความคงตัวดีที่สุด นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพของครีมที่มีสารสกัดจากหัวไชเท้าเป็นส่วนประกอบ โดยนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบกับกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 24 คน และวัดระดับเม็ดสี เมลานิน ด้วยเครื่อง Mexameter MX 18 หลังใช้ผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าค่าความเข้มของเม็ดสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยครีมที่สามารถช่วยลดเม็ดสีเมลานินได้ดีที่สุด คือ สูตรที่มีสารสกัดหัวไชเท้า 9% (วรรษมน สุขโชคพานิช, 2557)

การศึกษาสารสกัดจากหัวไชเท้าต่อการเพิ่มความชุ่มชื้นของผิวหนัง โดยเน้นที่ปัจจัยให้ความชุ่มชื้นตามธรรมชาติ (Natural Moisturizing Factors หรือ NMFs) โดยมุ่งเน้นการศึกษาบทบาทของสารสกัดจากหัวไชเท้าในการเสริมความชุ่มชื้นและช่วยฟื้นบำรุงผิวแห้ โดยมีการวิเคราะห์สารประกอบสำคัญที่ช่วยเสริมความชุ่มชื้นในผิวหนัง เช่น กรดอะมิโนและวิตามินซี ทดสอบประสิทธิภาพการให้ความชุ่มชื้นในเซลล์ผิวจำลอง และใช้ครีมที่ผสมสารสกัดในอาสาสมัคร วัดความชุ่มชื้นในผิวหนังหลังการใช้สารสกัดในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น 1 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 7 วัน พบว่าสารสกัดหัวไชเท้าช่วยเพิ่มระดับความชุ่มชื้นในผิวได้อย่างมีนัยสำคัญ มีการเพิ่มสารสำคัญในชั้นผิว เช่น กรดอะมิโนและสารประกอบที่ช่วยดูดซับน้ำ และช่วยลดความหยาบกร้านของผิวหนังและปรับปรุงโครงสร้างผิวให้แข็งแรงขึ้น (Ahmed et al., 2012)

2.3.6 ต้นอ่อนหัวไชเท้า

2.3.6.1 ข้อมูลทั่วไปของต้นอ่อนหัวไชเท้า

ต้นอ่อนหัวไชเท้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus* วงศ์ Cruciferae หรือ Brassicaceae ชื่อสามัญว่า Kaiware-daikon, Chinese radish, Oriental ลักษณะของต้นอ่อนก่อนการงอกเป็นหัวไชเท้า มีขนาดเล็ก ประกอบด้วยก้านบาง สีขาวถึงสีเขียวอ่อน มีใบเล็กสีเขียวเข้มสองใบ ต้นอ่อนเจริญเติบโตเป็นกระจุกแน่น ความยาวขึ้นกับระยะเวลาการเจริญเติบโต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร ลำต้นสีขาวถึงสีเขียวอ่อนมีความยาว เรียว และยืดหยุ่นได้ ลำต้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบ ส่วนใบสีเขียวเข้มมีรูปร่างโค้งมน มีลักษณะแบน เรียบ ประมาณวันที่สามของการแตกหน่อ รากอาจมีขนเล็ก ๆ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหน่ออ่อน และจะยุบตัวไปกับหน่อเมื่อล้างแล้ว เมื่อสดต้นอ่อนหัวไชเท้าจะมีกลิ่นฉุนคล้ายหัวไชเท้ารสเผ็ดร้อนเล็กน้อย (Pajak et al., 2014) ดังแสดงในภาพที่ 2.9

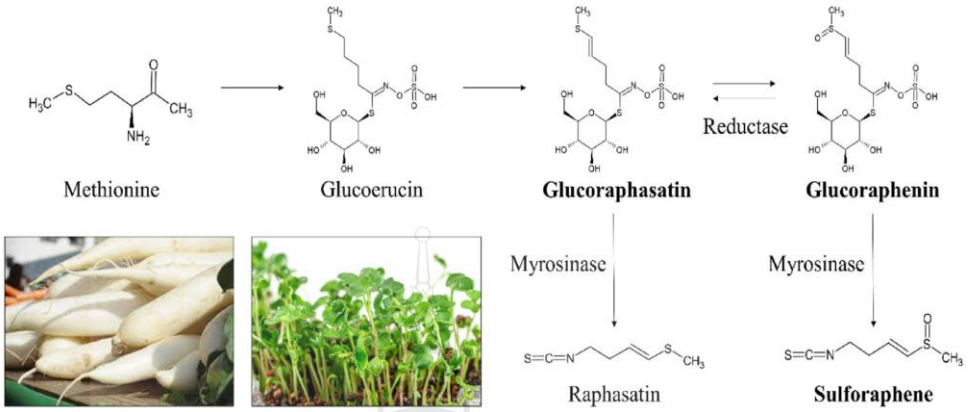
ที่มา Specialty Produce (2024)

ภาพที่ 2.9 ลักษณะต้นอ่อนหัวไชเท้า

2.3.6.2 พฤกษเคมีของต้นอ่อนหัวไชเท้า

ต้นอ่อนหัวไช้เท้ามีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี วิตามินอี วิตามินเค เป็นต้น และยังตรวจพบกลูโคซิโนเลท ซึ่งเป็นสารประกอบของกำมะถัน และไนโตรเจนในปริมาณสูง ซึ่งสามารถย่อยสลายภายในร่างกายให้สารที่มีประโยชน์ โดยพบว่ามีปริมาณกลูโคซิโนเลท เป็น 379.71 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งพบว่ามีค่าสูงกว่าต้นบล็อคโคลี่ (Baenas et al., 2016) ต้นอ่อนของหัวไชเท้ามีปริมาณของกลูโคซิโนเลตสูงกว่าหัวไชเท้าโดยเฉลี่ย 3.8 เท่า และมีปริมาณของไอโซไธโอไซยาเนตสูงกว่า 8.2 เท่า นอกจากนี้ต้นอ่อนยังมีปริมาณของฟีโนลิกสูงกว่าหัวไชเท้าโดยเฉลี่ย 6.9 เท่า (Hanlon & Barnes, 2011) และการงอกของเมล็ดเพิ่มปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวม รวมถึงกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียว ต้นอ่อนหัวไชเท้า ต้นอ่อนบรอกโคลี และต้นอ่อนทานตะวัน (pajak et al., 2014)

ต้นอ่อนหัวไชเท้าเป็นพืชตระกูลกะหล่ำซึ่งเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ของสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลายหลาย เช่น สารประกอบฟีนอลิก วิตามินซี และไอโซไทโอไซยาเนต โดยสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่สำคัญคือ สารประกอบฟีนอล เช่น ฟีนอลิกแอซิด, ฟลาโวนอยด์ (Li et al., 2018) โดยต้นอ่อนหัวไชเท้าเป็นหนึ่งในผักตระกูลกะหล่ำที่มีกลูโคซิโนเลต และสารประกอบฟีนอลิกรวมในปริมาณสูง กลูโคซิโนเลตที่สำคัญในต้นอ่อนหัวไชเท้า ได้แก่ กลูโคราฟาซาติน และกลูโคราเฟนิน โดยกลูโคราฟาซาติน สามารถเปลี่ยนเป็นกลูโครานีนิน และเมทาบอไลซ์เป็นซัลโฟราฟีน ซึ่งเป็นไอโซไทโอไซยาเนต โดยกลูโคซิโนเลตเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ ที่มีน้ำตาลกลูโคสจับกับสารประกอบที่มีกำมะถัน ภาพที่ 2.10 เมแทบอลิซึมของกลูโคราฟาซาติน และกลูโคราฟีนินในต้นอ่อนหัวไชเท้า



ที่มา Chen et al. (2023)

ภาพที่ 2.10 เมแทบอลิซึมของกลูโคราฟาซาติน และกลูโคราฟีนิน ในต้นอ่อนหัวไชเท้า

2.3.6.3 ฤทธิ์ทางชีวภาพของต้นอ่อนหัวไชเท้า

การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบต่าง ๆ ของต้นอ่อนผักตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae) ในระหว่างกระบวนการงอก โดยมีการวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ เช่น สารฟีนอล, กรดแอสคอร์บิก, โทโคฟีรอล, และกลูตาไธโอน รวมถึงการคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปแบบของ Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) พบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยมีสารฟีนอลและกรดแอสคอร์บิกเป็นสารสำคัญที่มีส่วนร่วมในการสร้างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งทำให้ต้นอ่อนหัวไชเท้าเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Zieliński et al., 2007)

สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าสามารถลดการแสดงออกของไซโตไคน์อักเสบ เช่น Interleukin-1β (IL-1β), Interleukin-6 (IL-6), และ Tumor Necrosis Factor-alpha (TNF-α) ยับยั้งการกระตุ้นเอนไซม์ COX-2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตพรอสตาแกลนดิน ที่ทำให้เกิดการอักเสบ และลดการเกิด ROS ในเซลล์ ซึ่งช่วยป้องกันความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากความเครียดออกซิเดชัน โดยเมื่อนำสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าไปใช้กับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบ พบว่าการอักเสบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยับยั้งไซโตไคน์ TNF-α มากกว่า 50% หลังการใช้สารสกัด (Kim & Ishii, 2006)

การศึกษาฤทธิ์ต้านมะเร็งของสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้า (Raphanus sativus) โดยเฉพาะในเซลล์มะเร็งปอดที่ขาดยีน p53 ซึ่งเป็นยีนสำคัญในการป้องกันการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง พบว่า สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าสามารถลดความมีชีวิตของเซลล์มะเร็งปอดที่ขาดยีน

p53 (เช่น Calu-6 และ H1299) โดยกระตุ้นกระบวนการตายของเซลล์แบบ Apoptosis ซึ่งสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าประกอบด้วยสาร β-sitosterol ซึ่งเป็นสาระสำคัญที่มีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง (Baek et al., 2017) ต้นอ่อนหัวไชเท้ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยมีการนำมาใช้ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ กระเพาะปัสสาวะ และปอด (Becker et al., 2016)

2.3.6.4 ต้นอ่อนหัวไชเท้าทางเครื่องสำอาง

การศึกษาเพื่อวัดสารประกอบทางเคมี สารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม กลูโคราฟาซาติน กลูโคราเฟนิน และซัลโฟราเฟน และฤทธิ์ทางชีวภาพ (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส) ของสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ถูกปลูกในสภาพแสง LED สีแดงและสีน้ำเงินในระหว่างการปลูก พบว่าการใช้แสง LED สีแดงช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์กลูโคราฟาซาตินระหว่างการปลูก และเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนหัวไชเท้า นอกจากนี้ การใช้แสง LED สีน้ำเงินส่งเสริมการสังเคราะห์สารที่มีคุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส in vitro ในต้นอ่อนหัวไชเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระหว่างการปลูก (Chen & Wei, 2023) ซึ่งสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าอาจเหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ลดเลือนจุดด่างดำ ต่อต้านริ้วรอยและใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อผิวขาว

การศึกษาคุณสมบัติการป้องกันรังสี UV ของสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้า โดยเน้นถึงบทบาทของสารประกอบทางชีวภาพ เช่น ฟลาโวนอยด์รวมและกลูโคซิโนเลต ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดความเสียหายที่เกิดจากรังสี UV ต่อผิวหนัง พบว่าการทดลองในหลอดทดลอง (in vitro) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าสามารถลดการเกิด ROS ได้ถึง 40% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในการทดลองใช้กับเซลล์ผิวหนัง พบว่าการทาสารสกัดช่วยลดการเกิดเซลล์อักเสบและริ้วรอยที่เกิดจากรังสี UV ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Takaya et al., 2003)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบพืชตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

เมล็ดหัวไชเท้ายี่ห้อ SUPER TOP พันธุ์แบบจีน สายพันธุ์แม่โจ้ ที่ซื้อจากไร่ลุงท้อป จังหวัดลพบุรี เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2566

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	บริษัท
2,2-Diphenyl-1-pykril-hydrazyl	$C_{18}H_{12}N_5O_6$	Sigma-Aldrich, USA
2,4,6-Tri(2-pyridyl)-s-triazine	$C_{18}H_{12}N_6$	Sigma-Aldrich, USA
Acetic acid	CH_3COOH	Carlo Erba, France
Acetone	C_3H_6O	J.T.Baker, USA
Aluminum Chloride hexahydrate	$AlCl_3{\cdot}6H_2O$	Sigma-Aldrich, USA
Ethanol (95%)	C_2H_6O	Union chemical Ind.Co Ltd, Thai
Ferrous sulfate	$FeSO_4$	Sigma, USA
Folin-Ciocalteu reagent	-	Merck, Germany
Gallic acid	$C_7H_6O_5$	Merck, Germany
Propylene glycol	$C_3H_8O_2$	Shell Chemicals, Thai
Quercetin	$C_{15}H_{10}O_7$	Sigma-Aldrich, USA
Sodium acetate	$C_2H_3NaO_2$	Carlo Erba, France
Sodium carbonate	Na_2CO_3	Merck, Germany
Sodium Hydroxide	NaOH	Merck, Germany
Sodium nitrite	$NaNO_2$	Merck, Germany
Trolox	$C_{14}H_{18}O_4$	Sigma-Aldrich, USA

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

อุปกรณ์/เครื่องมือ	รุ่น	บริษัท
กระดาษกรอง Whatman No.1	1001-110	Whatman, England
เครื่องเขย่าสารในรูปแบบเป็นวงกลม	Orbit 1000	Labnet, USA
เครื่องชั่งไฟฟ้า	ML104T	METTLER TOLEDO, Switzerland
เครื่องบด	HGR-2000	Hibell, Korea
เครื่องผสมสาร	VXMNAL	OHAUS, USA
เครื่องระเหยระบบสุญญากาศ	CTL รุ่น 901	Heidolph, Germany
เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	GENESYS 10S UV-VIS	Thermo Fishe Scientific, USA
เครื่องวัดสี (Colorimeter)	CM-700d	KONICA MINOLTA, Japan
ชุดทำน้ำบริสุทธิ์	08.2063	TKA, Germany
ตู้เย็น	TF100	Haier, China
ตู้อบลมร้อน	UF110	Memmert, Germany
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	WB 29	Memmert, Germany

3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเพาะต้นอ่อนหัวไชเท้า

นำเมล็ดหัวไชเท้า ไปแช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำกระดาษปูกระบะฉีดน้ำให้เปียกแล้วนำเมล็ดมาโรยในกระบะแล้วนำกระดาษมาปิดไว้อีกชั้น (วันที่ 0) จากนั้นรดน้ำวันละ 1 ครั้ง ในวันที่ 0-3 วัน นำกระดาษปลูก (paper plant) ปิดฝาแบบแง้มไว้เล็กน้อย เพื่อรักษาความชุ่มชื้น เก็บเกี่ยวต้นอ่อนหัวไชเท้าเมื่อต้นอ่อนมีอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ตามลำดับ (ดัดแปลงจาก พัชรี สำโรงเย็น และ อภิชาติ ศรีสอาด, 2558) โดยควบคุมสภาวะในการปลูกต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1.1 ควบคุมน้ำหรือความชื้น โดยรดน้ำวันละ 1 ครั้ง ในช่วงเช้า โดยหลีกเลี่ยงการรดน้ำช่วงเย็นเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดเชื้อรา

3.4.1.2 ควบคุมออกซิเจน โดยไม่แช่เมล็ดจนนานเกินไปโดยกำหนดระยะเวลา 8 ชั่วโมง และกระจายเมล็ดอย่างสม่ำเสมอในขณะหว่าน

3.4.1.3 ควบคุมอุณหภูมิ โดยปลูกในช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่กรุงเทพมหานครไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส

3.4.1.4 ควบคุมแสง โดยการวางภาชนะปลูกอยู่ในตำแหน่งที่มีแสงธรรมชาติเข้าถึงได้เพียงพอ โดยควบคุมให้วางในตำแหน่งเดิมตลอดระยะเวลาปลูก เพื่อให้ต้นอ่อนได้รับแสงในปริมาณที่สม่ำเสมอ

3.4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

นำต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เจริญเติบโตตั้งแต่ช่วงอายุ 1-14 วัน มาวัดความยาวของราก ลำต้น และใบ สังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่า รวมทั้งเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ของแต่ละช่วงอายุ

3.4.3 การเตรียมตัวอย่างต้นอ่อนหัวไชเท้า

นำเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า ที่เก็บเกี่ยววันที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน มาชั่งน้ำหนักสด จากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส ให้แห้งจนมีน้ำหนักที่คงที่ และบดตัวอย่างให้ละเอียด เก็บในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4.4 การเตรียมสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้า

นำตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 3.4.3 จำนวน 10 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอลร้อยละ 95 และอะซิโตน ที่อัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ทำการสกัดด้วยวิธีการเขย่า (conventional shaking method) ด้วยความเร็ว 125 rpm เวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บตัวอย่างส่วนใสบันทึกลักษณะที่ปรากฏ (ดัดแปลงจาก Tarasevičienė et al., 2006) จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องที่ระเหยสารแบบหมุน หรือทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryers) ชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้ บันทึกผลและสังเกตผล เก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.5 การวิเคราะห์

3.4.5.1 การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิต (%yield)

ร้อยละของผลผลิตเป็นผลลัพธ์ของกรรมวิธีการสกัด เป็นค่าที่บอกว่าในตัวอย่างมีปริมาณของสารที่สกัดแยกออกมาได้มากหรือน้อยเพียงใด (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2562) โดยเมื่อสกัดสารจนได้สารสกัดหยาบ (crude extract) นำไปชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้ แล้วนำไปคำนวณร้อยละของผลผลิต (%yield) ตามสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิตสารสกัด (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดเข้มข้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักต้นอ่อนหัวไชเท้าบดแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

3.4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Siddiqui et al, 2017) โดยนำสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ได้ผสมกับน้ำปราศจากไอออนในหลอดทดลอง เติม Folin-Ciocalteu reagent แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยสารละลายแกลลิกที่ใช้สำหรับกราฟมาตรฐาน เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยผสม ณ อุณหภูมิห้อง 30 นาที แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนของแสง

เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของแสงของสารละลายสารสกัดเมล็ดของหัวไชเท้า และต้นอ่อนหัวไชเท้ากับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิค และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยรายงานผลเป็นปริมาณมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก (mgGAE/g sample)

3.4.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

วิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่มฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric (ดัดแปลง Fattah et al., 2014) มีเคอร์เซทินเป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผสมแต่ละความเข้มข้นกับน้ำที่ปราศจากไอออน ตามด้วยโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 และสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ตั้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 ตั้งไว้ 8 นาที แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องที่วัดการดูดกลืนแสง

เตรียมความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เหมาะสม จากนั้นทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐานของเคอร์เซทิน เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้ากับกราฟมาตรฐาน quercetin และคำนวณหาปริมาณของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์รวม รายงานผลเป็นปริมาณมิลลิกรัมสมมูลเคอร์เซทิน (mg CE/extract)

3.4.5.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Radical scavenging assay

นำสารสกัดที่ได้ตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay (Baliyan et al., 1995) โดยนำสารละลายตัวอย่างผสมกับเอทานอลร้อยละ 95 เทียบกับสารละลายโทรลอกซ์ความเข้มข้น 0.125 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรซึ่งเป็นสารมาตรฐาน จากนั้นเติม DPPH 0.0395 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (0.1 มิลลิโมลาร์) ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่มืด 30 นาที ณ อุณหภูมิ จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องที่วัดการดูดกลืนแสง

จากนั้นวิเคราะห์เช่นเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้ากับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ และ คำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหน่วย ปริมาณมิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์

(mg TEAC/g extract) ดังสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{control}-As_{ample}) / A_{control}] \times 100$$

เมื่อ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงสารละลายควบคุมที่ไม่มี Trolox standard

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงสารตัวอย่าง

3.4.5.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing-antioxidant power (FRAP) assay

นำสารสกัดที่ได้ไปตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP (Fernandes et al., 2016) โดยใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐานความเข้มข้น 0.125 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ 300 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 3.6 และสารละลาย FRAP แล้ววางไว้ ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร

จากนั้นเตรียมความเข้มข้นของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้ากับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ และคำนวนฤทธิ์หาต้านอนุมูลอิสระในหน่วย ปริมาณมิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ (mg TEAC/g extract)

3.4.5.6 ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัด

1. การทดสอบความสามารถในการละลาย (Solubility test)

นำสารสกัดจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าละลายใน น้ำ, เอทานอลร้อยละ 95 และโพรพิลีนไกลคอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิเปตใส่หลอด Eppendorf แล้วชั่งสารสกัดตัวอย่างเริ่มจาก 0.1 มิลลิกรัม ทำให้ละลายโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) สังเกตด้วยตาเปล่า ถ้าเกิดการละลายได้หมดโดยไม่มีตะกอนให้ทำซ้ำวิธีเดิม โดยเพิ่มสารสกัดทีละน้อย จนกระทั่งไม่ละลาย

2. การทดสอบ pH

นำสารสกัดจากเมล็ดของต้นอ่อนหัวไชเท้าและต้นอ่อนของหัวไชเท้าที่ละลายในน้ำไปวัดค่า pH

3. การทดสอบสี

ตรวจวัดเฉดสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) ด้วยระบบสี International Commission on Illumination (CIE) วัดค่า L* a* b * โดยนำตัวอย่างสารสกัดมาวัดสีโดยตรง

3.5 การทดสอบทางสถิติ

ดำเนินการทดสอบในแต่ละกลุ่มตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ซ้ำ (n=3) แล้วนำค่าที่ได้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±S.D.) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างด้วย การวิเคราะห์ One-way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan' Multiple Range และเปรียบเทียบตัวอย่าง 2 กลุ่ม ด้วย Independent T-test ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ประเมินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้า

จากการทดลองเพาะต้นอ่อนหัวไชเท้าในช่วงฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมกราคม 2567) โดยควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการงอก ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง พบว่าต้นอ่อนสามารถงอกได้ดี และมีการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมสภาวะเหล่านี้มีผลต่อความสำเร็จของการเพาะปลูกต้นอ่อนอย่างชัดเจน การควบคุมความชื้นโดยการรดน้ำวันละ 1 ครั้งในช่วงเช้า ช่วยคงระดับความชื้นของกระดาษปลูกให้เหมาะสม และลดความเสี่ยงของการเกิดเชื้อรา สอดคล้องกับการศึกษาของจวงจันทร์ ดวงพัตรา (2529) ที่ระบุว่า ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกในการกระตุ้นให้เมล็ดเริ่มกระบวนการงอก โดยช่วยละลายสารอาหารภายในเมล็ดให้เอนไซม์ทำงานได้ ด้านออกซิเจนมีการควบคุมโดยแช่เมล็ดประมาณ 8 ชั่วโมง และโปรยเมล็ดให้กระจาย ไม่จับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งช่วยให้เมล็ดได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอสำหรับการหายใจแบบแอโรบิคอันเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการเจริญเติบโตของเซลล์เมล็ด ในส่วนของอุณหภูมิ การเลือกช่วงเวลาปลูกในช่วงฤดูหนาวทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยไม่เกิน 35 องศาเซียลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดตามการศึกษาของจวงจันทร์ ดวงพัตรา (2529) ที่ระบุว่า เมล็ดพืชส่วนใหญ่สามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 10–35 องศาเซลเซียส สุดท้ายการควบคุมแสงโดยการวางภาชนะปลูกในตำแหน่งเดิมที่มีแสงธรรมชาติเข้าถึงเพียงพอ มีส่วนช่วยกระตุ้นการงอก และการสังเคราะห์แสงในช่วงหลังการงอก โดยเฉพาะในเมล็ดพืชบางชนิดที่ตอบสนองต่อแสง จากผลการทดลองปลูกต้นอ่อนหัวไชเท้าในสภาวะแวดล้อมทั่วไป แสดงให้เห็นว่า การควบคุมปัจจัยหลักทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของสารสำคัญทางชีวภาพที่สะสมในต้นอ่อนการทดลองนี้ส่งเสริมให้สามารถเพาะปลูกต้นอ่อนหัวไชเท้าได้ด้วยตนเอง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ห้องเพาะปลูกระบบปิดหรืออุปกรณ์ที่มีต้นทุนสูง ซึ่งถือเป็นแนวทางในการผลิตสารสกัดจากต้นอ่อนพืชที่มีความเป็นไปได้ในระดับชุมชนเข้าถึงง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและเครื่องสำอางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

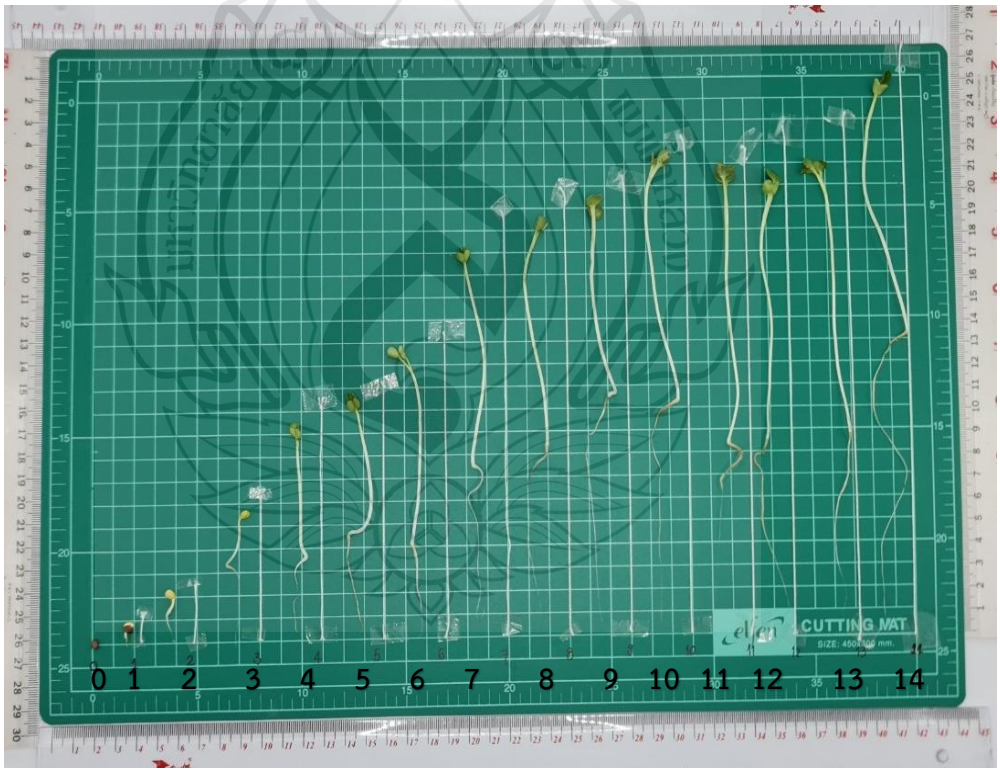
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้าตั้งแต่อายุ 0-14 วัน พบว่า ระยะเวลาการเจริญเติบโต 1 วันมีความสูงต่ำที่สุดประมาณ 1.03 ± 0.15 เซนติเมตร และระยะเวลาการเจริญเติบโต 14 วัน มีความสูงมากที่สุดประมาณ 25.83 ± 0.13 เซนติเมตร โดยความสูงของต้น

ขึ้นกับระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช เมื่ออายุ 1 วัน ต้นอ่อนเริ่มงอกออกจากเมล็ด โดยมีรากแรกเกิด (radical) แทงออกมา ซึ่งการงอกของเมล็ดนี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระ และรูปร่างภายในเมล็ด ต้นอ่อนเมื่ออายุ 2-3 วันความสูงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยอายุ 2 วัน มีความสูงประมาณ 2.27 ± 0.05 เซนติเมตร ช่วงนี้เน้นพัฒนารากเพื่อดูดซึมสารอาหาร และน้ำ ในช่วงอายุ 2-3 วัน ใบมีลักษณะเป็นใบกลมหยัก 2 ใบคู่กันบนลำต้นมีขนาดเล็ก โดยใบเลี้ยงมีสีเหลือง และลำต้นมีสีขาว เนื่องจากในช่วงนี้จะนำกระดาษปลูก ปิดฝาแบบแง้มไว้เล็กน้อย เพื่อรักษาความชุ่มชื้น ทำให้ต้นอ่อนไม่โดนแสงแดดเพียงพอ โดยในวันที่ 3 ต้นอ่อนมีความยาวเริ่มสูงขึ้นเป็น 6.20 ± 0.21 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pajak et al. (2014) พบว่าลักษณะของต้นอ่อนก่อนการงอกเป็นหัวไชเท้า จะมีลักษณะใบกลม 2 ใบคู่กันบนลำต้น ใบขนาดเล็กประมาณ 2 มิลลิเมตร จะเริ่มขึ้นเมื่ออายุ 1 วัน สีของใบจะเป็นสีเหลืองอ่อนและค่อย ๆเปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่ออายุมากขึ้น ลำต้นเมื่ออายุ 14 วัน มีสีขาวถึงเขียวอ่อนโดยลำต้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ เมื่ออายุประมาณ 3 วัน รากจะมีรากเล็ก ๆ ซึ่งเป็นส่วนของหน่ออ่อน

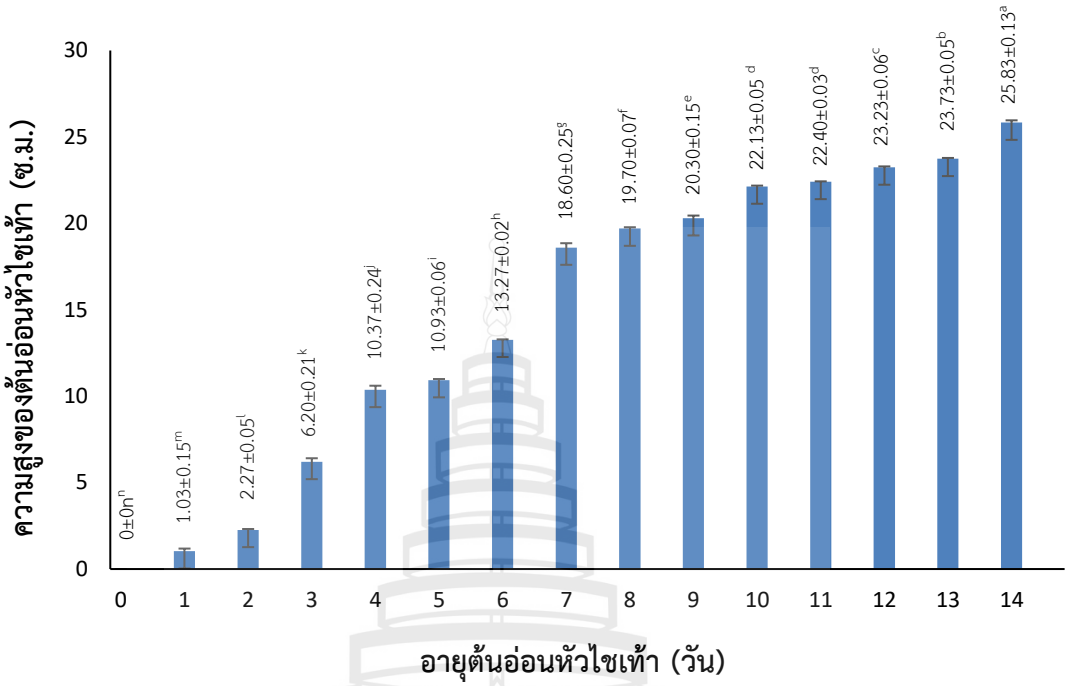
เมื่อต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 4 วัน จะนำกระดาษปลูกออกและให้ต้นอ่อนได้รับแสงแดด ทำให้ตั้งแต่อายุ 4 วัน เป็นต้นไปต้นอ่อนจะเริ่มมีสีเขียวอ่อนไปจนอายุมากขึ้นจะมีสีเขียวที่เข้มขึ้น ซึ่งการที่ใบเป็นสีเขียวเกิดจากการมีคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุ ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ของเซลล์พืช โดยคลอโรฟิลล์ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมีที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต อายุ 4 วัน มีความสูงประมาณ 10.37 ± 0.24 เซนติเมตร เมื่อต้นอ่อนอายุ 4-6 วัน เริ่มมีการยืดตัวของลำต้น (Hypocotyl elongation) อย่างชัดเจน ใบเลี้ยง (Cotyledons) เริ่มพัฒนา และแยกออกมา แต่ยังไม่มีใบจริง ในช่วงนี้ความสูงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอายุ 5 วัน มีความสูง 10.93 ± 0.06 เซนติเมตร และอายุ 6 วัน มีความสูง 13.27 ± 0.02 เซนติเมตร การศึกษาของ Francis และคณะ (2022) ที่ศึกษากระบวนการงอกของเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี (Wheat) อัลฟัลฟา (Alfalfa) และหัวไชเท้า (Radish) ที่ระยะเวลาการงอก 1, 3 และ 5 วัน พบว่า ไมโครกรีนส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการเจริญเติบโตประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ เมื่อมีอายุ 1 วัน เมล็ดจะอยู่ในช่วงดูดน้ำเพื่อเตรียมการงอก โดยบางเมล็ดจะเริ่มมีรากแรกเกิด เมื่ออายุ 3 วัน ต้นอ่อนเริ่มเจริญเติบโตมีราก ใบเลี้ยง และเมื่ออายุ 5 วัน ต้นอ่อนจะเจริญเติบโต และมีใบเลี้ยงที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สหพงศ์ สมวงค์ และมิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ (2562) ที่วิเคราะห์ลักษณะเชิงกายภาพของผักไมโครกรีน เพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูงของต้นในแต่ละวัน และวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของผัก 3 ชนิด คือ ข้าวสาลี ผักบุ้ง และทานตะวัน พบว่าผักแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตในแต่ละวันไม่เท่ากัน โดยความยาวเฉลี่ยของวันที่ 5 ข้าวสาลีมีความยาว 7.8 เซนติเมตร ผักบุ้งมีความยาว 7.6 เซนติเมตร และทานตะวันมีความยาว 9.5 เซนติเมตร โดยเมื่อระยะเวลาการเติบโตมากขึ้นทำให้ความสูงของต้นเพิ่มขึ้น

ต้นอ่อนเมื่ออายุ 7-14 วัน ใบเลี้ยงเจริญเติบโตเต็มที่และเริ่มมีใบจริงปรากฏ ใบมีสีเขียวเข้มขึ้นตามอายุที่เจริญเติบโต ความสูงของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงปลายประมาณ 12-14 วัน ความสูงจะเริ่มคงที่ เนื่องจากพืชเริ่มสะสมพลังงานในใบและรากมากขึ้น จนเมื่ออายุ 14 วัน จะมีความสูงที่สุดประมาณ 25.83 ± 0.13 เซนติเมตร ใบจะมีสีเขียวเข้ม รากแตกแขนงและยาวขึ้นลำต้นแข็งแรง ซึ่งจากการทดลองปลูกต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 0-14 วัน พบว่าต้นอ่อนจะมีความสูงเพิ่มขึ้นตามอายุที่มากขึ้น โดยแต่ละอายุต้นอ่อนมีความยาวที่แตกต่างกัน ยกเว้นต้นอ่อนอายุ 10 และ 11 วัน มีความสูงของต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีความสูงเท่ากับ 22.13 ± 0.05 เซนติเมตร และ 22.40 ± 0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ

การศึกษาของ Aguilera et al. (2013) พบว่าในระหว่างการเจริญเติบโตของพืชจะสามารถลดระดับสารต้านโภชนาการและสารต้านการย่อย เช่น สารยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอส และเลกติน ตลอดจนชักนำให้เกิดการสะสมของสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ ตามการศึกษาของ Gupta and Datta (2003) พบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารกลูตาไธโอน วิตามินอี และวิตามินซี ถูกยับยั้งในขณะที่เป็นเอ็มบริโอ แต่ได้รับการกระตุ้นมากขึ้นเมื่อมีการเจริญเติบโตของพืช



ภาพที่ 4.1 ความสูงของต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 0-14 วัน



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสูงของต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 0-14 วัน

4.2 การสกัดสารจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า

4.2.1 การเตรียมตัวอย่างพืชจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า

หลังจากนำเมล็ดหัวไชเท้า และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เก็บเกี่ยววันที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน มาชั่งน้ำหนักสด จากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส ให้แห้งจนน้ำหนักคงที่เปรียบเทียบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพื่อหาปริมาณน้ำ (water content) และปริมาณของแข็ง (solid content) ดังตารางที่ 4.1 พบว่า ปริมาณน้ำในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณน้ำในต้นอ่อนหัวไชเท้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เป็นเมล็ดซึ่งมีปริมาณน้ำร้อยละ 0.42 ± 0.15 จนมีอายุ 9 วัน มีปริมาณน้ำร้อยละ 95.01 ± 0.81 ซึ่งปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นอ่อนหัวไชเท้า และมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 เมื่อมีอายุตั้งแต่ 5 วันขึ้นไป ในขณะที่ปริมาณของแข็ง ลดลงอย่างชัดเจน เมื่ออายุเพิ่มขึ้น และปริมาณของแข็งในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากต้นอ่อนดูดน้ำเพื่อช่วยในการขยายตัว และเจริญเติบโต การศึกษาของ Kader et al. (2002) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ และปริมาณของแข็ง ในต้นอ่อนหัวไชเท้าเป็นตัวบ่งชี้สำคัญถึงการเจริญเติบโตของพืช เมื่ออายุมากขึ้น ต้นอ่อนจะมีปริมาณน้ำ

เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณของแข็งลดลง โดยต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน มีปริมาณของแข็งร้อยละ 6.42 และมีปริมาณน้ำร้อยละ 93.58 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hanlon and Barnes (2011) ที่พบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้าสายพันธุ์ Amethyst, Crunchy Royale, D'Avingnon, Miyashige, Nero Tondo, Ping Pong, Pink Beauty และ Red Meat ที่ปลูกเป็นระยะเวลา 7 วัน มีปริมาณของแข็ง ประมาณร้อยละ 5.64-6.82 และมีปริมาณน้ำ ประมาณร้อยละ 93.18-94.36

ตารางที่ 4.1 ร้อยละปริมาณน้ำ และ และร้อยละปริมาณของแข็งของเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)
0	0.42 ± 0.15^{e}	99.58 ± 0.28^{a}
3	87.22 ± 1.93^{d}	12.78 ± 0.63^{b}
5	91.16 ± 0.53^{c}	8.84 ± 0.36^{c}
7	93.58 ± 0.56^{b}	6.42 ± 0.47^{d}
9	95.01 ± 0.81^{a}	4.99 ± 0.32^{e}

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

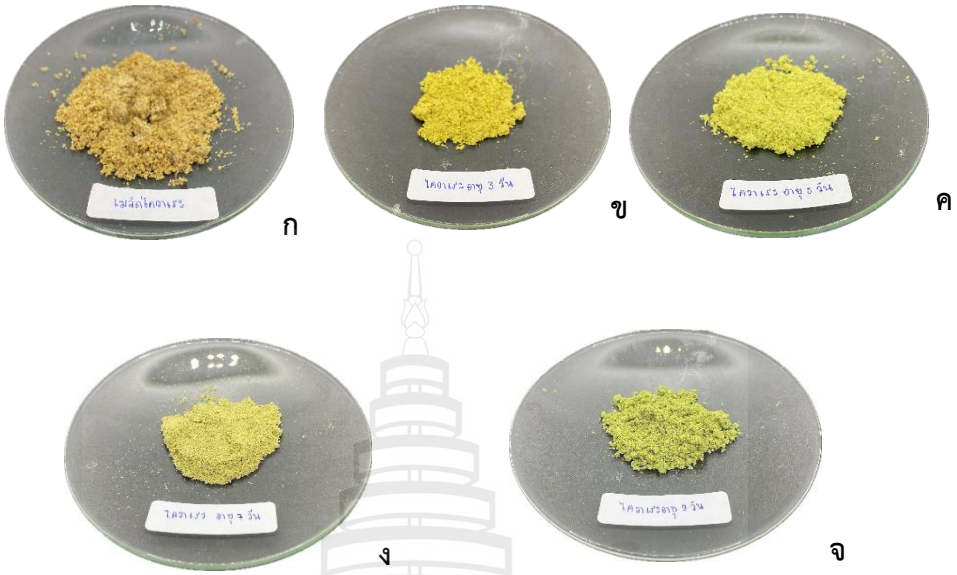
หลังจากเก็บเกี่ยวต้นอ่อนหัวไชเท้าในแต่ละระยะเวลาการงอกแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้แห้งจนน้ำหนักคงที่และบดให้ละเอียด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้า มีปริมาณของแข็งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุต่าง ๆ และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน มีปริมาณของแข็งน้อยที่สุด สอดคล้องกับบทความของ Mayer and Poljakoff (1989) ที่กล่าวว่า การงอกเริ่มต้นเมื่อเมล็ดดูดซับน้ำเข้าสู่เซลล์ (imbibition) ทำให้เซลล์ที่แห้งเกิดการขยายตัว น้ำมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารสะสมในเมล็ด (เช่น แป้ง และโปรตีน) เพื่อให้พลังงานสำหรับการเจริญเติบโต ระยะเริ่มต้นปริมาณของแข็งสูง แต่ปริมาณน้ำจะต่ำ เนื่องจากเมล็ดเริ่มต้นในสภาพแห้งและดูดซับน้ำเพียงเพื่อเริ่มกระบวนการงอก ระยะเติบโตปริมาณของแข็งจะเริ่มลดลง แต่ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชดูดน้ำเพื่อสร้างเซลล์และเพิ่มปริมาณของเหลวในเนื้อเยื่อ และระยะพัฒนาเต็มที่ปริมาณน้ำจะอยู่ในระดับสูง แต่ปริมาณของแข็งเริ่มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในพืชบางชนิด โดยการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณน้ำและร้อยละปริมาณของแข็งในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่อายุต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในแต่ละช่วงอายุ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการคาดคะเนปริมาณผลผลิตที่เหมาะสมในการเพาะปลูกเพื่อใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารสกัดทางชีวภาพสำหรับเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวางแผนปริมาณการเพาะปลูกให้

สอดคล้องกับการใช้งานหรือความต้องการทางอุตสาหกรรม รวมถึงช่วยคำนวณต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาปริมาณน้ำและปริมาณของแข็งจะช่วยให้การจัดการและการควบคุมคุณภาพของสารสกัดมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับการผลิตเชิงพาณิชย์และการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

จากการนำเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7, 9 วัน อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้แห้งจนน้ำหนักคงที่และบดให้ละเอียด พบว่า ผงเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้า มีสีน้ำตาลอ่อนหรือเหลืองเข้ม ตามภาพที่ 4.3 (ก) แสดงถึงสีของเนื้อเมล็ดที่ยังไม่ผ่านการงอกประกอบด้วยเปลือกเมล็ด (seed coat) และเนื้อเมล็ดที่เก็บสารอาหาร เช่น แป้ง โปรตีน และไขมัน ซึ่งมีสีธรรมชาติในโทนสีน้ำตาลอ่อนหรือเหลืองเข้ม เมล็ดในระยะนี้มีความชื้นต่ำมาก เนื่องจากเป็นระยะที่เมล็ดเตรียมพร้อมสำหรับการงอก แต่ยังไม่ได้รับน้ำเพียงพอที่จะกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึม

ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน มีสีเหลืองหรือเขียวอมเหลือง ตามภาพที่ 4.3 (ข) เนื่องจากในช่วงนี้จะนำกระดาษปลูกปิดฝาแบบแง้มไว้เล็กน้อย เพื่อรักษาความชุ่มชื้น ทำให้ต้นอ่อนไม่โดนแสงแดดเพียงพอส่งผลต่อกระบวนการผลิตเม็ดสีในพืช โดยเฉพาะการขาดการสร้างสารคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นเม็ดสีที่ทำให้ใบมีสีเขียว โดยสีเหลืองหรือเขียวอมเหลืองมาจากสารแคโรทีนอยด์ที่ยังคงอยู่ในเซลล์ของต้นอ่อน ซึ่งสอดคล้องกับการบทความของ Lichtenthaler (1987) ที่กล่าวว่า สารคลอโรฟิลล์ และสารแคโรทีนอยด์ เป็นเม็ดสี มีความเกี่ยวข้องกันในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และ คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีหลักในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนแคโรทีนอยด์เป็นเม็ดสีรองที่ช่วยปกป้องเซลล์จากแสงที่อาจทำลายโครงสร้างเซลล์ในระยะเริ่มต้น

ผงต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 5 วัน ผงมีสีเขียวเข้มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับต้นอายุ 3 วัน โดยเป็นสีเขียวอ่อนตามภาพที่ 4.3 (ค) ซึ่งบ่งบอกถึงการพัฒนาโครงสร้างและการสังเคราะห์แสงที่มากขึ้น เนื่องจากในช่วงนี้จะนำกระดาษปลูกออกที่ปิดคลุมออกและให้ต้นอ่อนได้รับแสงแดด ใบเลี้ยงในช่วงนี้จะเริ่มมีสีเขียว โดยใบเลี้ยงเริ่มพัฒนามากขึ้น และเปิดรับแสงโดยตรง ทำให้คลอโรพลาสต์ในเซลล์พืชเริ่มทำงานจึงทำให้ผงต้นอ่อนในระยะนี้มีสีเขียวแต่ยังไม่เข้มที่สุด โดยผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน มีสีเขียวเข้มมากขึ้น และอายุ 9 วัน สีของผงยังคงเป็นเขียวหรือเขียวเข้มที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ ใบเลี้ยงสีเขียวบ่งบอกว่าต้นอ่อนเติบโตในสภาวะแสงเพียงพอ ดังภาพที่ 4.3 (ง) และ (จ)

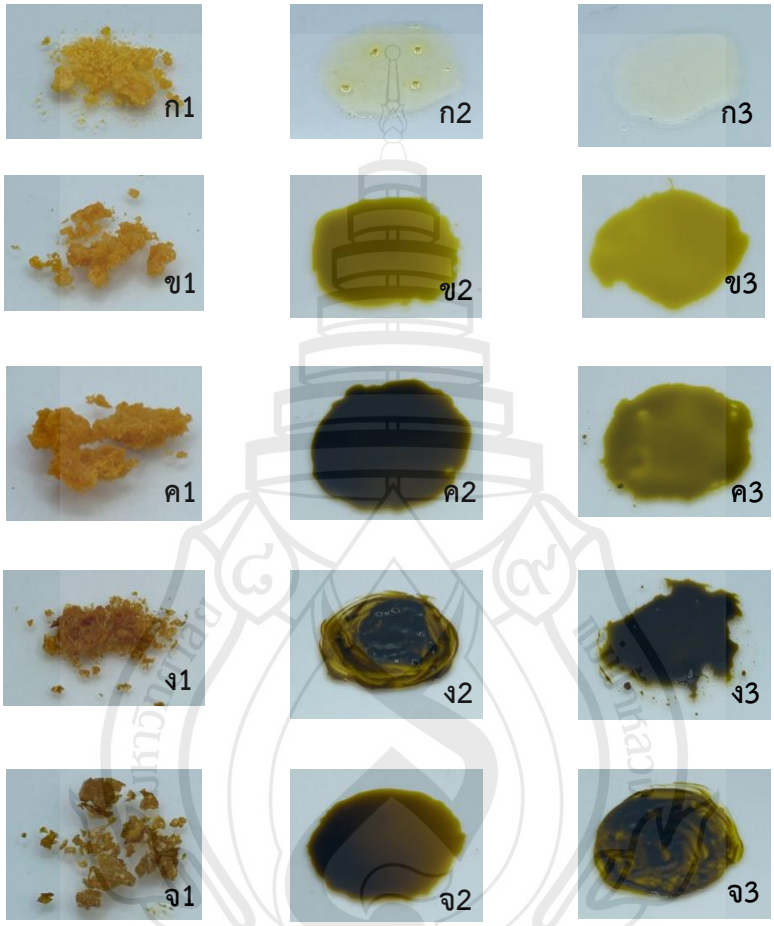


ภาพที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของผงเมล็ดหัวไชเท้า (ก), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน (ข), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน (ค), ผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน (ง) และผงต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน (จ)

4.2.2 การเตรียมสารสกัดจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า

จากการทดลองสกัดสารจากเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ด้วยน้ำ, เอทานอล และอะซิโตน พบว่า สารสกัดจากเมล็ดหัวไชเท้า และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยน้ำมีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อนไปจนสีเหลืองน้ำตาลเข้ม ตามลำดับ มีกลิ่นฉุนอ่อน ๆ ส่วนสารสกัดเมล็ดหัวไชเท้าที่สกัดด้วย เอทานอล มีลักษณะเป็นของเหลวปนของแข็งสีเหลืองอ่อนไปจนน้ำตาลเข้ม สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยอะซิโตน มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีขาวอมเหลืองไปจนสีน้ำตาลเข้ม ตามลำดับ โดยสี, ลักษะทางกายภาพ และกลิ่นฉุนของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 ที่สกัดด้วยอะซิโตนเหมือนกับที่สกัดด้วยเอทานอล ดังภาพที่ 4.4 ตามการศึกษาของ Li and Zhu (2018) พบว่า กลิ่นเหม็นหรือกลิ่นฉุนของต้นอ่อนหัวไชเท้าเกิดจากการสลายของกลูโคซิโนเลต โดยเอนไซม์ไมโรซิเนส ส่งผลให้เกิดสารไอโซไทโอไซยาเนต และสารประกอบกำมะถันระเหยง่าย เช่น ไดเมทิลไดซัลไฟด และไดเมทิลไตรซัลไฟด์ ซึ่งมีบทบาทในการสร้างกลิ่นเฉพาะตัวของต้นอ่อนหัวไชเท้า โดยโครงสร้างของไอโซไทโอไซยาเนต และสารประกอบกำมะถันระเหยง่ายเป็นโครงสร้างที่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายในตัวทำละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วถึงมีขั้วต่ำ ดังนั้น ตัวทำละลายที่สกัดไอโซไทโอไซยาเนต ไดเมทิลไดซัลไฟด และไดเมทิลไตรซัลไฟด์ ได้ดีคือตัวทำละลายอะซิโตน และเอทานอล จึงทำให้สารสกัดที่ได้จากตัวทำละลายดังกล่าวมีกลิ่นฉุนเด่นชัดมากกว่าสารสกัดด้วยน้ำ

หากต้องการลดกลิ่นโดยคงประสิทธิภาพของสารสำคัญไว้ ควรใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน โดยมีการศึกษาของ Liu et al. (2021) ทำการศึกษาแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทรินในการห่อหุ้มสารไอโซไทโอไซยาเนต เพื่อช่วยลดกลิ่นฉุน เพิ่มความคงตัว และเสริมฤทธิ์ต้านเชื้อโรค เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในเครื่องสำอาง, เวชสำอาง หรือผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อ ที่มีสารสกัดจากพืชตระกูลกะหล่



ภาพที่ 4.4 ลักษณะของสารสกัดเมล็ด (ก), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน (ข), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน (ค), ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน (ง) และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 9 วัน สกัดด้วยน้ำ (1), เอทานอล (2) และอะซิโตน (3)

เมื่อนำสารสกัดทั้ง 3 ซ้ำ ที่ได้มาคำนวณร้อยละผลผลิต (%yield) ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 0, 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่า เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน มีร้อยละผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เท่ากับร้อยละ 23.38±0.55 ซึ่งไม่แตกต่างจากสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 0, 3, 5, และ 7 วัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 18.33±3.33, 22.49±2.56, 21.73±4.52 และ 23.13±0.52 ตามลำดับ เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน มีร้อยละผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) เท่ากับร้อยละ 16.82±0.31 ซึ่งไม่แตกต่างจากสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5 และ 7 วัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 15.18±0.25, 15.28±0.20 และ 16.22±1.44 ตามลำดับ และสารสกัดเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้ามีร้อยละผลผลิตต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.62±1.86 เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน สารสกัดเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้า มีร้อยละผลผลิตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.47±2.51 ซึ่งแตกต่างอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.10±0.10, 14.90±0.69, 11.35±1.21 และ 5.76±0.38 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	ร้อยละผลผลิตของสารสกัด (น้ำหนักโดยน้ำหนัก)		
	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน
0	18.33 ± 3.33^{aB}	6.62 ± 1.86^{cC}	30.47 ± 2.51^{aA}
3	22.49 ± 2.56^{aA}	15.18 ± 0.25^{aB}	24.10 ± 0.10^{bA}
5	21.73 ± 4.52^{aA}	15.28 ± 0.20^{aA}	14.90 ± 0.69^{cA}
7	23.13 ± 0.52^{aA}	16.22 ± 1.44^{aB}	11.35 ± 1.21^{dC}
9	23.38 ± 0.55^{aA}	16.82 ± 0.31^{aB}	5.76 ± 0.38^{eC}

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

2. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 % ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

Han et al. (2013) พบว่า ช่วงระยะเวลาการงอกวันที่ 4 ร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากตัวทำละลายต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 27.0 – 34.0 โดยอะซิโตนร้อยละ 75 ให้ผลผลิตสูงสุด มีค่าร้อยละ 34.0 และเมทานอลร้อยละ 80 ให้ผลผลิตต่ำสุดมีค่าร้อยละ 27.0, วันที่ 8 ร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นในทุกตัวทำละลาย มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 35.8 - ร้อยละ 38.2 โดยเอทานอลร้อยละ 70 ให้ผลผลิตสูงสุดโดยมีค่าร้อยละ 38.2 และวันที่ 12 ร้อยละผลผลิตสูงสุดในทุกตัวทำละลาย มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 38.7 – 47.5 โดยเอทานอลร้อยละ 70 ยังคงให้ผลผลิตสูงสุดมีค่าร้อยละ 47.5 ระยะเวลาการงอกที่นานขึ้นให้ผลผลิตสูงสุดในทุกตัวทำละลาย เช่น น้ำ และเอทานอล ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ทำสำหรับตัวทำละลายอะซิโตนยิ่งระยะเวลาการงอกมากขึ้นจะให้ร้อยละผลผลิตที่

ลดลง โดยตัวทำละลายมีผลอย่างมากต่อปริมาณสารสกัดที่ได้ในแต่ละช่วงการงอก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kwon และ คณะ (2009) รายงานว่า จากการสกัดมาคา (Lepidium meyenii) ผลการสกัดพบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิตของน้ำ เมทานอล และเอทานอลอยู่ที่ร้อยละ 46.2, ร้อยละ 21.4 และร้อยละ 16.8 ตามลำดับ ในขณะที่อะซิโตน เอทิลอะซิเตต คลอโรฟอร์ม และเฮกเซนมีผลผลิตต่ำมากอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2 ถึงร้อยละ 1.0 โดยพบว่า ความเป็นขั้วของตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการละลายของสารฟีนอลที่ละลายน้ำและสารอะมีนในพืช

สารสกัดเมล็ดของต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.47±2.51 รองลงมาเป็นสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.10±0.10, 14.90±0.69, 11.35±1.21 และ 5.76±0.38 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Márton et al. (2010) ที่พบว่าเมื่อทำการสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการงอก 2 และ 6 วัน โดยใช้ตัวทำละลายไดเอทิลอีเทอร์พบว่า ปริมาณไขมันดิบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดเมล็ดหัวไชเท้ามีปริมาณไขมันดิบสูงมาก ซึ่งเท่ากับร้อยละ 39 สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 2 วัน มีปริมาณไขมันดิบคงที่ที่ประมาณร้อยละ 39 และสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 6 วัน มีปริมาณไขมันดิบลดลงเหลือร้อยละ 20 ซึ่งแสดงถึงการลดลงอย่างชัดเจนของไขมันดิบในช่วงการงอก เนื่องจากเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้ามีปริมาณไขมันดิบที่สูง ดังนั้นเมื่อทำการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่สามารถละลายสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วได้ดีว่าตัวทำละลายน้ำ และเอทานอล โดยการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Francis et al. (2022) พบว่า การงอกจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของโปรตีน และไขมัน ในการศึกษานี้ พบว่าไขมันดิบในเมล็ดหัวไชเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยในหัวไชเท้าตั้งแต่วันที่ 5 ซึ่งเมื่อตรวจวัดในวันที่ 7 พบว่ามีการลดลงร้อยละ 27.6 สำหรับหัวไชเท้าปริมาณไขมันดิบลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการงอกไปแล้ว 5 วันซึ่งเป็นการใช้ไขมันสำรองเป็นพลังงานในระหว่างการเจริญเติบโต

4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัด

4.3.1 การทดสอบความสามารถในการละลาย และ การทดสอบ pH

เมื่อนำสารสกัดจากเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยน้ำ, เอทานอล และอะซิโตน มาละลายด้วยน้ำ, เอทานอล และโพรพิลีนไกลคอล พบว่า ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถละลายน้ำได้ คือ สารสกัดจากเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยน้ำ โดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายได้คือ 5% (50 mg/ml) ซึ่งมีค่า pH 6.07, 5.48, 5.49, 5.47 และ 5.91 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายด้วยเอทานอล ได้บางส่วน คือ สารสกัดจากเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล โดยมีความเข้มข้น 2% (20 mg/ml) ซึ่งมีค่า pH 5.62 และ 5.69 ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นที่สามารถละลายด้วยเอทานอลได้บางส่วนรองลงมา คือ สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการงอก 5, 7 และ 9 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายได้คือ 1% (10 mg/ml) มีค่า pH 5.03, 4.18 และ 4.12 ตามลำดับ และสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยอะซิโตนที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล และโพรพิลีนไกลคอล พบว่าสามารถละลายได้บางส่วน

ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถละลายด้วยโพรพิลีนไกลคอลได้บางส่วน คือ สารสกัดจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล ซึ่งมีความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายได้คือ 1% (10 mg/ml) โดยมีค่า pH เท่ากับ 5.29, 5.24, 5.12, 5.05 และ 4.72 ตามลำดับ และสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน โดยสามารถละลายได้บางส่วนในเอทานอล และโพรพิลีนไกลคอน ซึ่งความเข้มข้นสูงสุดที่ละลายได้คือ 1% (10 mg/ml) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี like dissolves like ของ Stoker et al. (2015) โดยสารที่มีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันจะละลายซึ่งกันและกันได้ดี กล่าวคือ สารที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว และสารที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นเมล็ดและสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยน้ำจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายน้ำ ส่วนเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยเอทานอล จะละลายได้ในตัวทำละลายเอทานอล เมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยเอทานอลจะละลายได้บ้างในตัวทำละลายโพรพิลีนไกลคอน เช่นเดียวกับต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยอะซิโตน เนื่องจากอะซิโตนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขั้วปานกลาง ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ และยังสามารถละลายสารที่ไม่มีขั้วได้ดี เช่น น้ำมันและไขมัน

ตารางที่ 4.3 ค่าการละลาย ของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 5 7 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด โดยนำมาทดสอบการละลายในน้ำ, เอทานอล และโพรพิลีนไกลคอน

ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบการละลาย	อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)				
		0	3	5	7	9
น้ำ	น้ำ	+	+	+	+	+
	เอทานอล	-	-	-	-	-
	โพรพิลีนไกลคอล	-	-	-	-	-
เอทานอล	น้ำ	-	-	-	-	-
	เอทานอล	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
	โพรพิลีนไกลคอล	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
อะซิโตน	น้ำ	-	-	-	-	-
	เอทานอล	-	+/-	+/-	+/-	+/-
	โพรพิลีนไกลคอล	-	+/-	+/-	+/-	+/-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ละลาย + หมายถึง ละลาย +/- หมายถึง ละลายได้บางส่วน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่า pH จะลดลงตามอายุต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มากขึ้น ทั้งสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยน้ำ, เอทานอล และ อะซิโตน โดยค่า pH ในเมล็ดจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากเมล็ดยังไม่เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโนหรือกรดไขมัน และค่า pH ในต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วันจะมีค่า pH ต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากการสะสมของกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก หรือกรดอะซิติก ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมในระหว่างการเจริญเติบโต และการปลดปล่อยไอออนของไฮโดรเจน (H^+) จากกระบวนการย่อยสลายโปรตีนหรือแป้งในต้นอ่อน (Hayat et al., 2012)

จากการศึกษาของ Heaton and Marangoni (1996) ระบุว่า ผลของค่า pH มีผลต่อความคงตัวของรงควัตถุ และสารออกฤทธิ์หลายชนิด สารคลอโรฟิลล์ซึ่งจะเสถียรในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างอ่อน แต่หากอยู่ในสภาวะเป็นกรดจะสูญเสียอะตอมแมกนีเซียมในโครงสร้างกลายเป็นฟีโอไฟตินทำให้สีเขียวสดของคลอโรฟิลล์กลายเป็นสีเขียวน้ำตาล ดังนั้นหากผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีความเป็นกรดสูง สีของสารสกัดคลอโรฟิลล์อาจเสื่อมลงเมื่อเก็บไปนาน ๆ ในทางกลับกัน หากสภาวะเป็นด่างเกินไปสารบางชนิดก็อาจไม่เสถียรหรือเกิดการตกตะกอนได้ การศึกษาของ Friedman and Jürgens

(2000) กล่าวว่า สารฟีนอลิกส่วนใหญ่จะเสถียรดีในช่วง pH เป็นกลางถึงกรดอ่อน ดังนั้นหากผลิตเครื่องสำอางควรปรับสูตรผลิตภัณฑ์ให้มี pHประมาณ 5.0–6.5 ซึ่งจะสอดคล้องกับ pH ของผิว

4.3.2 การทดสอบสี

เมื่อนำตัวอย่างเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ, เอทานอล และอะซิโตน ในอัตราส่วน 1:10 จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน หรือทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าสีของเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าระยะเวลาการงอก 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด มีสีเหลืองอ่อนไปจนสีน้ำตาลเข้ม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะการปลูกมากขึ้น ทำให้สีของสารสกัดเข้มขึ้น โดยค่าสีสารสกัดที่เข้มที่สุด คือสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนที่ระยะเวลาการงอก 9 วัน โดยมีค่า L* เท่ากับ 24.87 ± 0.14, a* เท่ากับ -1.82 ± 0.03, b* เท่ากับ -3.99 ± 0.10 และค่าสีของสารสกัดที่อ่อนที่สุด คือ สารสกัดเมล็ดหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน โดยมีค่า L* เท่ากับ 89.25 ± 0.02, a* เท่ากับ 4.99 ± 0.06 , b* เท่ากับ 42.30 ± 4.76 โดยค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ในตัวอย่างสารสกัดหัวไชเท้าเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานในเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้า พบว่า ทุกตัวทำละลายมีค่า ΔE ที่เพิ่มขึ้นตามอายุของต้นอ่อนหัวไชเท้า และมีค่ามากกว่า 10 แสดงถึงสีเปลี่ยนแปลงอย่างมากจนเด่นชัดด้วยตาเปล่า แนวโน้มตัวทำละลายที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดคือ ต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน ซึ่งมีค่า ΔE เท่ากับ 79.54 การเปลี่ยนแปลงสีสามารถมองเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่าในทุกตัวทำละลายตั้งแต่ช่วงอายุ 3-5 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lichtenthaler et al. (1987) พบว่า ระยะการเติบโตที่นานขึ้นทำให้พืชปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้สีของพืชเข้มขึ้น โดยเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การสร้างเม็ดสีคลอโรฟิลล์ เมื่อพืชเติบโตจะมีการสร้างคลอโรฟิลล์มากขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งทำให้สีของต้นอ่อนเปลี่ยนไปทางเขียวเข้ม การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเซลล์ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต โครงสร้างเซลล์ของต้นอ่อนมีความโปร่งใสและบาง ซึ่งส่งผลให้สีของต้นอ่อนดูอ่อนกว่า โดยเมื่อเวลาผ่านไป โครงสร้างเซลล์หนาแน่นขึ้นและมีการสะสมเม็ดสีในคลอโรพลาสต์มากขึ้น ทำให้สีของต้นอ่อนดูเข้มขึ้น และ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น แสง และสารอาหาร เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

ตัวทำละลาย	อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	L*	a*	b*
น้ำ	0	67.53 ± 0.13	20.92 ± 0.01	39.22 ± 0.01
	3	46.23 ± 0.46	20.47 ± 0.03	26.83 ± 0.13
	5	45.66 ± 0.26	12.10 ± 0.01	23.11 ± 0.23
	7	43.58 ± 0.47	11.58 ± 0.02	16.61 ± 0.08
	9	34.17 ± 0.14	5.34 ± 0.02	9.53 ± 0.27
เอทานอล	0	87.58 ± 0.10	3.95 ± 0.77	38.96 ± 0.83
	3	59.62 ± 3.55	3.37 ± 1.32	8.48 ± 1.62
	5	27.35 ± 0.62	0.38 ± 0.04	3.32 ± 1.14
	7	26.63 ± 0.60	-0.18 ± 0.06	-0.57 ± 0.04
	9	25.57 ± 0.03	-4.36 ± 0.33	-0.99 ± 0.09
อะซิโตน	0	89.25 ± 0.02	4.99 ± 0.06	42.30 ± 4.76
	3	66.16 ± 2.95	2.24 ± 1.28	19.05 ± 1.09
	5	52.40 ± 0.62	0.42 ± 0.12	0.85 ± 0.66
	7	25.85 ± 1.68	0.84 ± 0.66	0.29 ± 1.87
	9	24.93 ± 0.15	-1.82 ± 0.03	-3.99 ± 0.10

หมายเหตุ L* คือค่าความมืดความสว่าง; L* = 0 สีมืดเป็นสีดำ L* = 100 สีสว่างเป็นสีขาว
a* คือค่าสีแดงหรือสีเขียว; a* เป็น + วัตถุมีสีออกแดง a* เป็น – วัตถุมีสีออกเขียว
b* คือค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน; b* เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง b* เป็น วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

จากการทดสอบสีของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เพิ่มขึ้นทำให้สีของสารสกัดมีความเข้มขึ้นตามระยะเวลาการงอกที่มากขึ้น โดยสารที่ส่งผลให้สารสกัดมีสีที่แตกต่างกันคือคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญของพืช ตามการศึกษาของ Britannica (2025) ระบุว่าคลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิดหลัก คือ คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll A) และ คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll B) ในอัตราส่วน 3:1 โดยคลอโรฟิลล์ เอ เป็นชนิดหลักที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสง เนื่องจาก

ดูดซับแสงในช่วงสีน้ำเงิน-ม่วงและสีแดง-ส้ม และสะท้อนแสงสีเขียว-น้ำเงิน ทำให้พืชมีสีเขียว คลอโรฟิลล์มีโครงสร้างพื้นฐานที่เรียกว่า พอร์ไฟรินริง โครงสร้างเช่นนี้ทำให้มีขั้วต่ำจึงไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นจากการทดลองสกัดต้นอ่อนด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ตัวทำละลายที่สกัดคลอโรฟิลล์ได้ดีคือตัวทำละลายอะซิโตน และเอทานอล ทำให้สีของสารสกัดในตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด มีสีเขียวเข้มหรือน้ำตาลเข้ม ในด้านความคงตัวคลอโรฟิลล์มีความเสถียรต่ำ โดยเฉพาะเมื่อได้รับความร้อนสูงหรือแสงแดดหรือรังสีอัลตราไวโอเลต จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำตาล นอกจากนี้มีการศึกษาของ Friedman and Jürgens (2000) กล่าวว่า การเกิดออกซิเดชันของสารฟีนอลิกและวิตามินต่าง ๆ ในสารสกัดเมื่อสัมผัสกับแสงและออกซิเจน อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีหรือกลิ่น ดังนั้น การนำสารสกัดไปใช้ในทางเครื่องสำอางจึงควรเก็บในบรรจุภัณฑ์ทึบแสงหรือสีชา และเก็บไว้ให้พ้นแสง ควบคุมอุณหภูมิหรือเติมสารสกัดในขั้นตอนสุดท้ายที่อุณหภูมิต่ำลง เพื่อรักษาปริมาณและฤทธิ์ของสาระสำคัญให้มากที่สุด รวมถึงการปรับสูตรผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในช่วง pH 5.0–6.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับผิวและช่วยรักษาความคงตัวของสารสำคัญ

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัด 3 ชนิด คือ น้ำ, เอทานอล และอะซิโตน โดยตัวทำละลายน้ำ พบว่า สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด คือ 45.28 ± 2.21 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างจากสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด คือ 44.29 ± 2.66 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาเป็นสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3 วัน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากอายุ 9 วัน โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 40.75 ± 1.23 และ 39.99 ± 1.49 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ สารสกัดเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมต่ำที่สุด คือ 32.28 ± 0.72 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม

สารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยเอทานอ พบว่า สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด คือ 50.32 ± 4.13 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม รองลงมาเป็นสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 45.63 ± 2.27 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม และ สารสกัดเมล็ดหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวเอทานอล ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมต่ำที่สุด คือ 25.42 ± 0.87 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม สารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วย แต่พบเพียงเล็กน้อยที่ 1.06 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม ในอายุ 7 วัน และสูงขึ้นเป็น 3.09 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัมในอายุ 9 วัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เอทานอล เป็นตัวทำละลายที่ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด รองลงมาเป็นตัวทำละลายน้ำ โดยเฉพาะในสารสกัดต้นอ่อนหัวไช้เท้าอายุ 5 วัน เนื่องจากสารฟีนอลิกเป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นเมื่อใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วแตกต่างกันจึงได้ปริมาณสารฟีนอลิกที่แตกต่างกัน ซึ่งน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง เช่นเดียวกับเอทานอล แต่เอทานอลมีความเป็นขั้วต่ำกว่าน้ำ ส่วนอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วแต่ไม่มีไฮโดรเจนที่แตกตัวได้ ทำให้ความสามารถในการสกัดฟีนอลิกรวมต่ำกว่าตัวทำละลายที่กล่าวในข้างต้น (Loudon et al., 2002)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มก.สมมูลแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม)		
	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน
0	32.28 ± 0.72^{cA}	25.42 ± 0.87^{cB}	ตรวจสอบไม่พบ
3	40.75 ± 1.23^{bA}	29.59 ± 0.60^{cB}	ตรวจสอบไม่พบ
5	45.28 ± 2.21^{aA}	50.32 ± 4.13^{aA}	ตรวจสอบไม่พบ
7	44.29 ± 2.66^{aA}	45.63 ± 2.27^{bA}	1.06 ± 0.01^{bB}
9	39.99 ± 1.49^{bA}	33.27 ± 8.58^{cA}	3.09 ± 0.10^{aB}

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

2. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 % ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

การศึกษาของ Wojdylo et al. (2020) พบว่า ตัวทำละลายที่ให้ผลดีที่สุดในการสกัดสารจากต้นอ่อนหัวไชเท้าคือ เมทานอลหรือเอทานอล ซึ่งสามารถสกัดสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากตัวทำละลายเหล่านี้สามารถละลายสารที่มีคุณสมบัติเป็นขั้วได้ดี เช่น โพลีฟีนอล และวิตามิน เป็นต้น และจากการศึกษาของ Francis et al. (2022) พบว่า เมล็ดที่งอกแล้วมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีปริมาณฟีนอลสูงกว่าที่พบในเมล็ดในต้นอ่อนหัวไชเท้า มีปริมาณฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้นจากในเมล็ด 2.56 เป็น 9.75 mg GAE/g DM ในวันที่ 6 และลดลงเหลือ 8.20 mg GAE/g DM ในวันที่ 7 ผลการศึกษายืนยันว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการงอกของต้นอ่อนหัวไชเท้าคือเมื่ออายุ 6 วัน หลังจากระยะเวลาที่แนะนำแล้วคุณภาพทางโภชนาการของต้นอ่อนจะเริ่มลดลง โดยหากปล่อยให้ต้นอ่อนงอกนานเกินไปอาจทำให้สูญเสียสารอาหารที่มีประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pajak et al. (2014) ที่พบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้ามีปริมาณกลูโคซิโนเลต และฟีโนลิกสูงสุดในวันที่ 6 ของการงอก ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในเมล็ด การงอกช่วยเพิ่มปริมาณฟีนอลโดยรวมในต้นอ่อนหัวไชเท้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการรายงานว่าปริมาณฟีนอลโดยรวมในต้นอ่อนหัวไชเท้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 206 เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ด

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัด 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ผลแสดงดังตารางที่ 4.6 ตัวทำละลายน้ำ พบว่า สารสกัดจากเมล็ดมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด คือ 31.77 ± 0.62 มก.สมมูลเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งแตกต่างจากสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน โดยที่อายุ 5, 7 และ 9 มีค่าเท่ากับ 21.17 ± 0.52 , 20.78 ± 0.37 และ 21.28 ± 0.32 มก.สมมูลเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่อายุ 3 วัน มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมน้อยที่สุด คือ 18.53 ± 0.15 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม สารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยเอทานอล พบว่า สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างจากสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน โดยมีปริมาณ 96.01 ± 3.91 และ 95.60 ± 1.22 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ รองลงมาเป็นสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน โดยมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม 77.36 ± 1.30 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม และสารสกัดเมล็ดหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมต่ำที่สุด คือ 15.71 ± 0.79 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม

สารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยอะซิโตน พบว่า ให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมต่ำที่สุด โดยไม่พบสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมในอายุ 0, 3 และ 5 วัน แต่เริ่มพบในวันที่ 7 และมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 9 โดยมีค่าเท่ากับ 20.79 มก.สมมูลของเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม โดยจากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า เอทานอล เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากต้นอ่อนหัวไชเท้า โดยเฉพาะในอายุ 7 และ 9 วัน ส่วนอะซิโตน ถึงจะสามารถสกัดฟลาโวนอยด์ได้บ้างในวันที่ 7 และ 9 แต่ประสิทธิภาพยังต่ำกว่า เอทานอล เนื่องจากฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีโครงสร้างขั้วอ่อนถึงปานกลาง มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ และเอทานอล ซึ่งทำให้ตัวทำละลายทั้งสองสามารถดึงฟลาโวนอยด์ออกจากเนื้อเยื่อพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีความสามารถในการละลายสารที่มีขั้ว และไม่มีขั้วได้ดี ดังนั้นเอทานอลจึงสามารถสกัดสารฟลาโวนอยด์ออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่น้ำมีความสามารถในการละลายสารที่มีขั้วได้ดีเช่นกัน ดังนั้นน้ำจึงช่วยสกัดฟลาโวนอยด์ที่มีขั้วมากกว่าออกมาได้ โดยน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง ส่วนอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ แต่ไม่มีไฮโดรเจนที่แตกตัวได้ทำให้ความสามารถในการสกัดสารประกอบฟลาโวนอยด์ต่ำกว่าน้ำ และเอทานอล (Loudon et al., 2002) โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ

สารประกอบฟลาโวนอยด์ของเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน คือ 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะการเก็บเกี่ยวนานขึ้นจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Li et al. (2022) พบว่า ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์รวม งานวิจัยได้วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ในต้นอ่อนหัวไชเท้าที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 วัน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์รวมเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นอ่อน โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 การเพิ่มขึ้นของฟลาโวนอยด์นี้สัมพันธ์กับการพัฒนาของต้นอ่อนและการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นตามเวลา โดยสรุปการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด พบว่า ตัวทำละลาย เอทานอล เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเฉพาะในอายุ 7 และ 9 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stalikas et al. (2007) กล่าวว่า ฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกสองวง (Benzene rings) ซึ่งมีส่วนช่วยให้สารละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลางถึงสูง เช่น เอทานอล เอทานอลสามารถละลายฟลาโวนอยด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล ที่อยู่ในโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ ทำให้เหมาะสำหรับการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากพืช ซึ่งการใช้เอทานอลจะให้ปริมาณของฟลาโวนอยด์รวมสูงกว่าการใช้ตัวทำละลายน้ำ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	สารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (มก.สมมูลเคอร์เซทินต่อสารสกัด 1 กรัม)		
	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน
0	31.77 ± 0.62^{aA}	15.71 ± 0.79^{dB}	ตรวจสอบไม่พบ
3	18.53 ± 0.15^{cB}	22.63 ± 1.23^{cA}	ตรวจสอบไม่พบ
5	21.17 ± 0.52^{bB}	77.36 ± 1.30^{bA}	ตรวจสอบไม่พบ
7	20.78 ± 0.37^{bB}	96.01 ± 3.91^{aA}	9.42 ± 0.53^{bC}
9	21.28 ± 0.32^{bB}	95.60 ± 1.22^{aA}	20.79 ± 0.24^{aB}

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

2. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 % ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.6 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนหัวไชเท้า

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน และใช้ตัวทำละลายในการสกัดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน ซึ่งการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วย 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP โดยผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งพบว่าสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่อายุ 5 วัน ที่ใช้ เอทานอล เป็นตัวทำละลายในการสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธีข้างต้นมีค่าสูงที่สุด

4.6.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน คือ 3, 5, 7 และ 9 วัน ใช้สารละลายโทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ, เอทานอล และ อะซิโตน แสดงดังตารางที่ 4.7 ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้ามีค่าอยู่ในช่วง 0.38 ± 0.13 ถึง 31.79 ± 0.08 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม พบว่าสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยวมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูล DPPH

สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยน้ำ เอทานอล และ อะซิโตน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เท่ากับ 31.79 ± 0.08 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์รวมที่พบว่าสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายในการสกัดมีปริมาณสูงที่สุด โดยสอดคล้องกับ Stalikas et al. (2007) ที่กล่าวว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง ซึ่งหมายความว่ามันมีคุณสมบัติทั้งแบบมีขั้ว และไม่มีขั้วในระดับที่พอเหมาะ ทำให้เอทานอลสามารถละลายสารประกอบที่มีขั้ว เช่น ฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกได้ดี โดยสารทั้ง 2 ชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ และเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกันพบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เอทานอล มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ซึ่งมีผลในทำนองเดียวกับปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Martinez et al. (2010) ที่พบว่า การงอกทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น โดยทำการศึกษาต้นอ่อนหัวไชเท้าสายพันธุ์ cv. Rebel และ cv. Bolide เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 0, 3, 4 และ 5 วัน โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลา

การงอกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 4 วัน มีปริมาณกลูโคโรฟานิน, กลูโคโรเฟนิน, วิตามินซีสูง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tarasevičienė et al. (2019) ทำการศึกษาระยะเวลาการงอกของเมล็ดต้นอ่อนพืชที่สามารถกินได้ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทำการศึกษต้นอ่อนพืชต่าง ๆ เช่น ผักโขม ถั่วลันเตา ถั่วเลนทิล ทานตะวัน บรอกโคลี อัลฟัลฟา หัวไชเท้า และข้าวสาลี ที่ระยะเวลาการงอก 0, 1, 3 และ 5 วัน พบว่าการงอกสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณวิตามินอี ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของพืช โดยพบว่าต้นอ่อนหัวไชเท้าระยะเวลาการงอกมากขึ้นทำให้ปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH และ ABTS) เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มสูงสุดในระยะเวลาการงอก 5 วัน ซึ่งปริมาณฟีนอลิกรวมสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ($r = 0.815$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดต้นอ่อนหัวไชเท้า และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ 3, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เอทานอล แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยตัวทำละลายอะซิโตนทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยวมีปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.7 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	**ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม)**		
	น้ำ	**เอทานอล**	**อะซิโตน**
0	16.82 ± 0.22^{cA}	7.69 ± 0.14^{dB}	0.38 ± 0.13^{cC}
3	11.50 ± 0.22^{dA}	3.08 ± 0.50^{eB}	0.82 ± 0.12^{cC}
5	16.73 ± 0.13^{cB}	31.79 ± 0.08^{aA}	0.78 ± 0.01^{cC}
7	26.44 ± 0.76^{aA}	20.30 ± 0.96^{bB}	4.41 ± 0.91^{bC}
9	20.21 ± 0.67^{bA}	16.26 ± 1.45^{cB}	5.88 ± 0.33^{aC}

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

2. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 % ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

4.6.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน คือ 3, 5, 7 และ 9 วัน ใช้สารละลายโทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำ เอทานอล และ อะซิโตน แสดงดังตารางที่ 4.8 ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้ามีค่าอยู่ในช่วง 5.66 ± 0.08 ถึง 102.72 ± 1.64 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม พบว่าสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าทั้ง 4 ระยะการเก็บเกี่ยวมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูล FRAP ได้ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยน้ำ เอทานอล และ อะซิโตน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า สารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เท่ากับ 102.72 ± 1.64 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมที่พบว่าสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายในการสกัดมีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยน้ำ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 67.53 ± 3.45 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม ขณะที่เมล็ดและสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดทั้งในเมล็ด และทุกช่วงของการงอก และเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้าในระยะเวลาการงอก 3, 5,7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิด พบว่า ต้นอ่อนหัวไชเท้าระยะเวลาการงอก 5 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย เอทานอล และน้ำ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ต้นอ่อนหัวไชเท้าระยะเวลาการงอก 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลการวิจัยนี้เป็นไปในทางเดียวกับงานวิจัยของ Liu et al. (2022) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity), โปรไฟล์ฟีโตเคมี (phytochemical profiles) และเมตาบอลอิมิกส์ฟีนอล (phenolic metabolomics) ของเมล็ดและต้นอ่อนที่เลือกจากพืชที่สามารถรับประทานได้ โดยเฉพาะหัวไชเท้าสีขาว การศึกษาพบว่าต้นอ่อนของหัวไชเท้ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดของพืชอื่น ๆ ที่ศึกษา โดยใช้วิธีหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ เช่น FRAP, DPPH และ ABTS ซึ่งใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 พบว่า ปริมาณฟีนอลิกรวมของต้นอ่อนหัวไชเท้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการงอก แต่หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก และคงที่ในวันถัดไป, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการงอกในช่วง 5 วันแรก แต่ลดลงเล็กน้อยในวันที่ 6 และ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรก ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของ TPC

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการงอก 5 วัน โดยใช้ตัวทำละลาย เอทานอล ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ วิธี FRAP มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP ของสารสกัดเมล็ด และต้นอ่อนหัวไชเท้า อายุ 3, 5, 7 และ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด

อายุต้นอ่อนหัวไชเท้า (วัน)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP (มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม)		
	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน
0	52.10 ± 1.34^{bC}	24.87 ± 1.84^{dB}	7.27 ± 1.67^{cC}
3	64.57 ± 4.98^{aA}	22.21 ± 0.53^{dB}	6.46 ± 0.56^{cC}
5	67.53 ± 3.45^{aB}	102.72 ± 1.64^{aA}	5.66 ± 0.08^{cC}
7	63.28 ± 3.53^{aB}	76.21 ± 3.06^{bA}	15.26 ± 0.36^{bC}
9	61.19 ± 2.93^{aA}	61.87 ± 4.57^{cA}	49.05 ± 5.22^{aB}

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ที่เปรียบเทียบในสดมภ์เดียวกัน

2. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 % ($p<0.05$) ในแถวเดียวกัน

การศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพของสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้ากับสารสกัดต้นอ่อนพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้ามีศักยภาพสูงในการต้านอนุมูลอิสระจากสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม โดยเฉพาะในต้นอ่อนอายุ 5 วันที่สกัดด้วยเอทานอล ซึ่งให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP โดยการศึกษาของ Chen et al. (2023) พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญหลายชนิด เช่น ซัลโฟราเฟน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และต้านมะเร็ง, กลูโคซิโนเลต มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านเชื้อแบคทีเรีย, ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์รวม ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ

โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในชื่อ Sunflower Shoot Active พบว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพในการเพิ่มพลังงาน (ATP) ในเซลล์ผิวหนัง และลดกระบวนการสร้าง AGEs ที่เกิดจากรังสี UVA อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่

เกี่ยวข้องกับการสร้างเคราตินและลดการอักเสบ (Barua et al., 2022) พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในต้นอ่อนทานตะวัน เช่น Acetol, Acetic acid และ DDMP (รักชนก ภูวพัฒน์ และคณะ, 2559) ในขณะที่สารสกัดจากต้นอ่อนถั่วลันเตา (Pea sprout extract) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า AnaGain™ สารสกัดนี้ประกอบด้วย กลุ่มพอลิฟีนอล และไฟโตนิวเทรียนท์จากต้นอ่อนถั่วลันเตา ซึ่งจะช่วยลดการหลุดร่วงของเส้นผมโดยการกระตุ้นยีน FGF7 (Fibroblast Growth Factor 7) และ Noggin (Schmid et al., 2013)

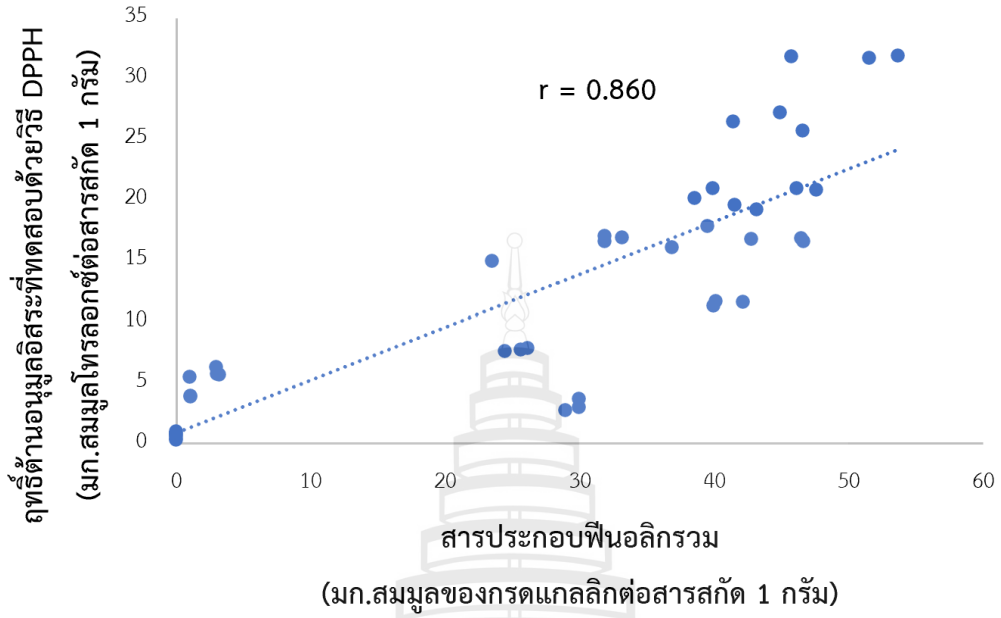
นอกจากนี้สารสกัดจากต้นอ่อนการ์เดนเครส จัดจำหน่ายภายใต้ชื่อ Detoxophane มีสารออกฤทธิ์หลักคือ Sinapoyl Malate ซึ่งสามารถดูดซับรังสี UV และทำหน้าที่เป็น UV-booster ที่ช่วยเสริมฤทธิ์ให้กับสารกรองรังสีอื่น ๆ ในสูตรเครื่องสำอาง โดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพในระหว่างการผสมสูตร (Agarwal et al., 2021) จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่า แม้สารสกัดจากพืชแต่ละชนิดจะมีฤทธิ์ทางชีวภาพเฉพาะที่โดดเด่นแตกต่างกันตามกลุ่มเป้าหมายในการใช้ผลิตภัณฑ์ แต่สารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าก็แสดงศักยภาพในเชิงการต้านอนุมูลอิสระได้อย่างโดดเด่น และมีแนวโน้มสูงที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ช่วยลดเลือนริ้วรอย ลดความหมองคล้ำ หรือผลิตภัณฑ์เพื่อผิวที่เผชิญมลภาวะ เป็นต้น

4.7 การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

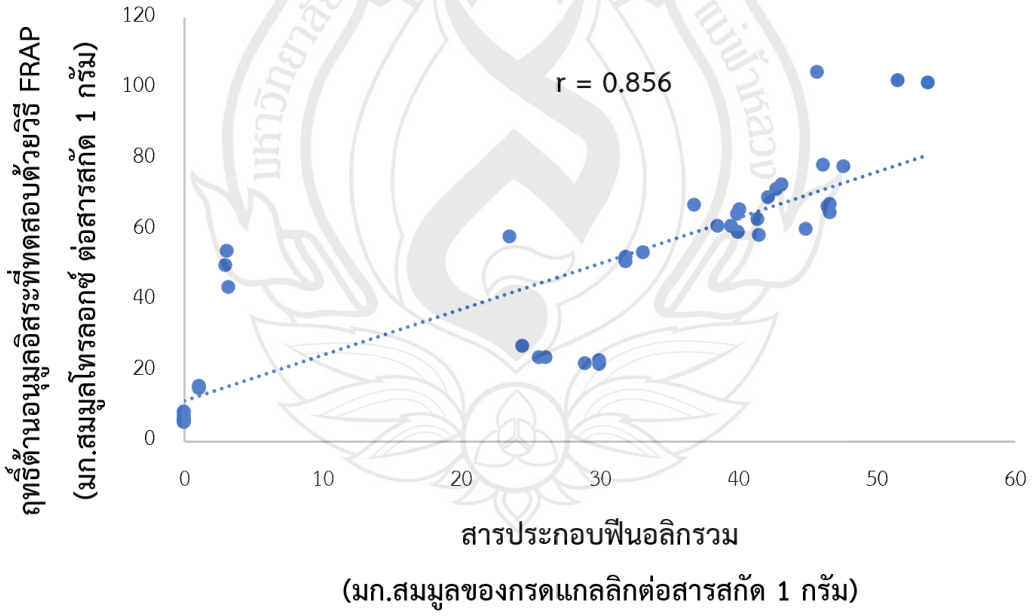
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (สารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวม) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธีการจับกับอนุมูลอิสระ (DPPH) และวิธีรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก (FRAP) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (pearson correlation coefficient, r) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการจับกับอนุมูลอิสระ (DPPH) มีค่าความสัมพันธ์ r เท่ากับ 0.860 ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก (FRAP) มีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.856 ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าที่ระยะเวลาการงอก 3, 5, 7 และ 9 วัน เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกรวมในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า ดังภาพที่ 4.5 (ก) และ (ข) ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการจับอนุมูลอิสระ (DPPH) และ วิธีรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก (FRAP) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางและในระดับสูง อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.641 และ 0.856 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.6 (ก) และ (ข) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์เพียรสันน้อยกว่าของสารประกอบฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธีการจับอนุมูลอิสระ (DPPH) ทำให้ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกัน ซึ่งเกิดจากฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่ไม่ใช่สารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีองค์ประกอบหลายกลุ่ม ดังนั้นสารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าเป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มอื่นที่สามารถแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับวิธี FRAP โดยมีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.8382 ดังภาพที่ 4.8 จึงกล่าวได้ว่าเมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าด้วยวิธี DPPH สามารถคาดการณ์ได้ว่าผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าด้วยวิธี FRAP จะเป็นอย่างไร

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม พบว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ โดยมีค่าความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.3577 แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกเพียงบางส่วนเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ดังภาพที่ 4.7 โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมกับปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมีความสัมพันธ์กันน้อยที่สุด

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกรวม และฟลาโวนอยด์รวมมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ในสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu et al. (2022) ที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation analysis) ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) และโปรไฟล์ฟีนอลิกหลัก (main phenolic profiles) โดยใช้การวิเคราะห์ Pearson correlation เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากการทดสอบ FRAP, DPPH, ABTS, ปริมาณฟีนอลิกรวม (TPC) และแต่ละประเภทของฟีนอลิกในเมล็ดและต้นอ่อนของหัวไชเท้าขาว ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกที่มีนัยสำคัญระหว่าง FRAP, DPPH, ABTS, TPC, ฟีนอลิกกรด, ฟลาโวนอยด์, ลิกแนน, คูมาริน, และแทนนิน โดยมีค่า Pearson correlation coefficients อยู่ในช่วง 0.84 ถึง 0.99 ซึ่งบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งมากระหว่างพารามิเตอร์เหล่านี้ ($P < 0.05$) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สำคัญระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยการทดสอบ FRAP, DPPH และ ABTS กับ TPC โดยมีค่าความสัมพันธ์ (r) ที่สูงมาก คือ 0.90, 0.98, และ 0.99 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มขึ้นของ TPC สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแสดงให้เห็นว่าฟีนอลิกที่อยู่ในเมล็ดและต้นอ่อนของหัวไชเท้าสีขาวมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

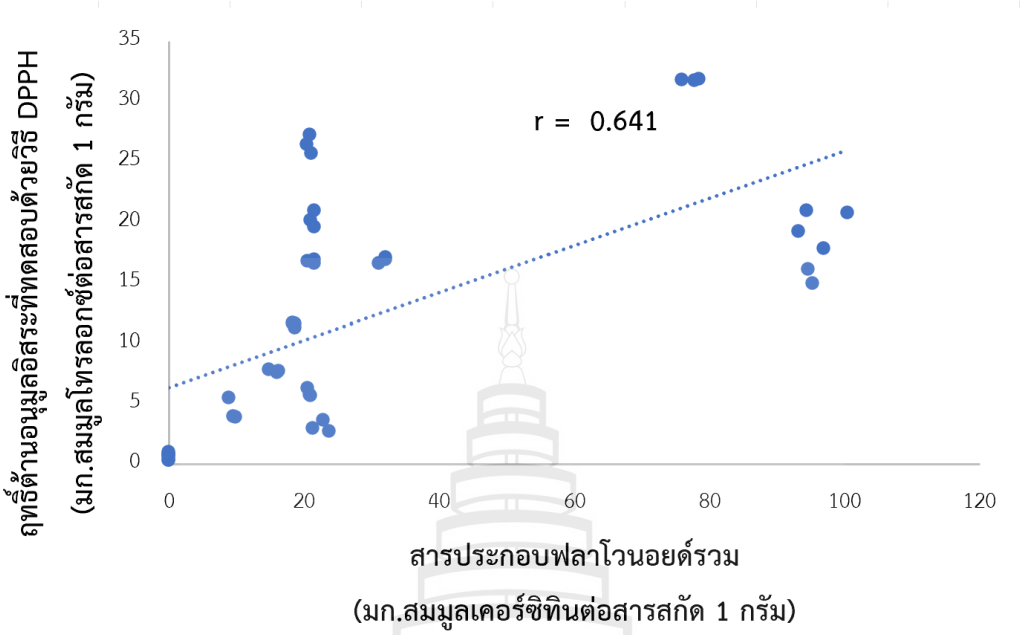


ก

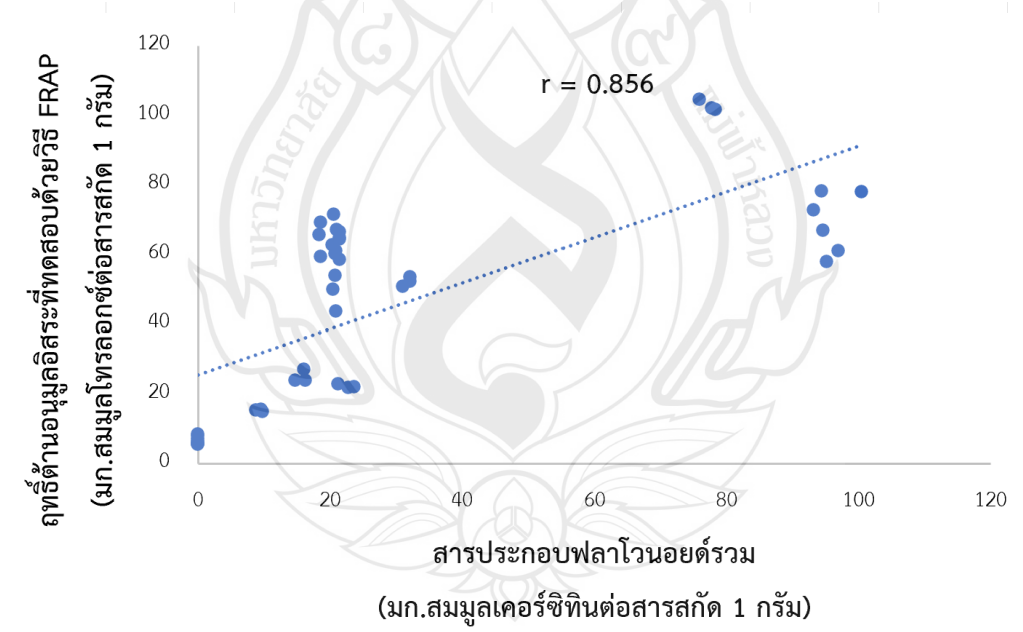


ข

ภาพที่ 4.5 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (ก) และวิธี FRAP (ข)

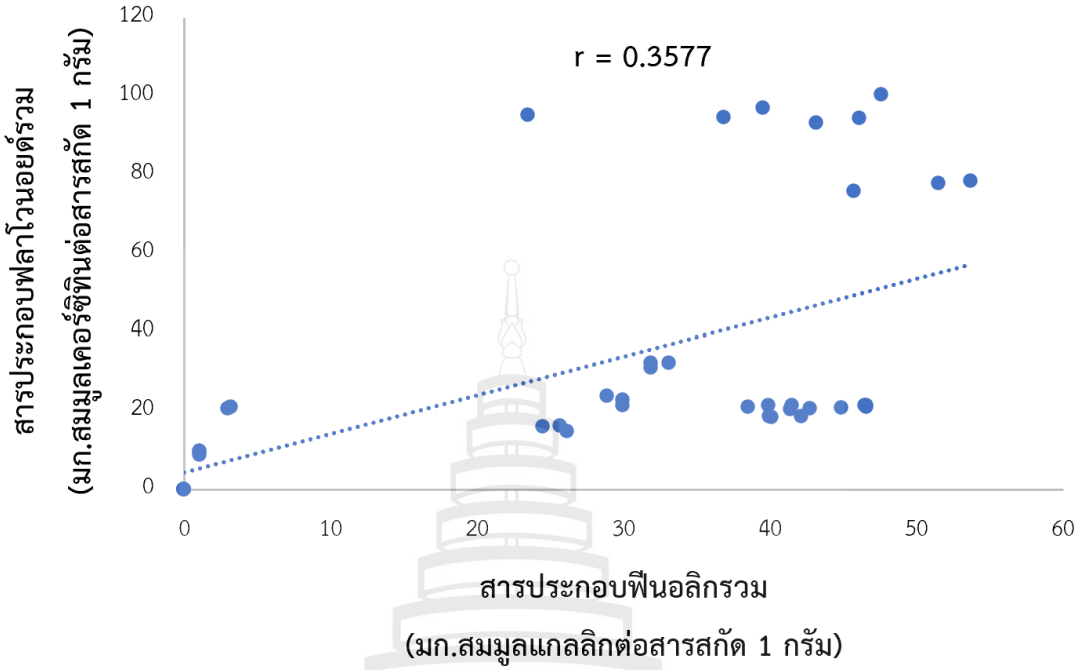


ก

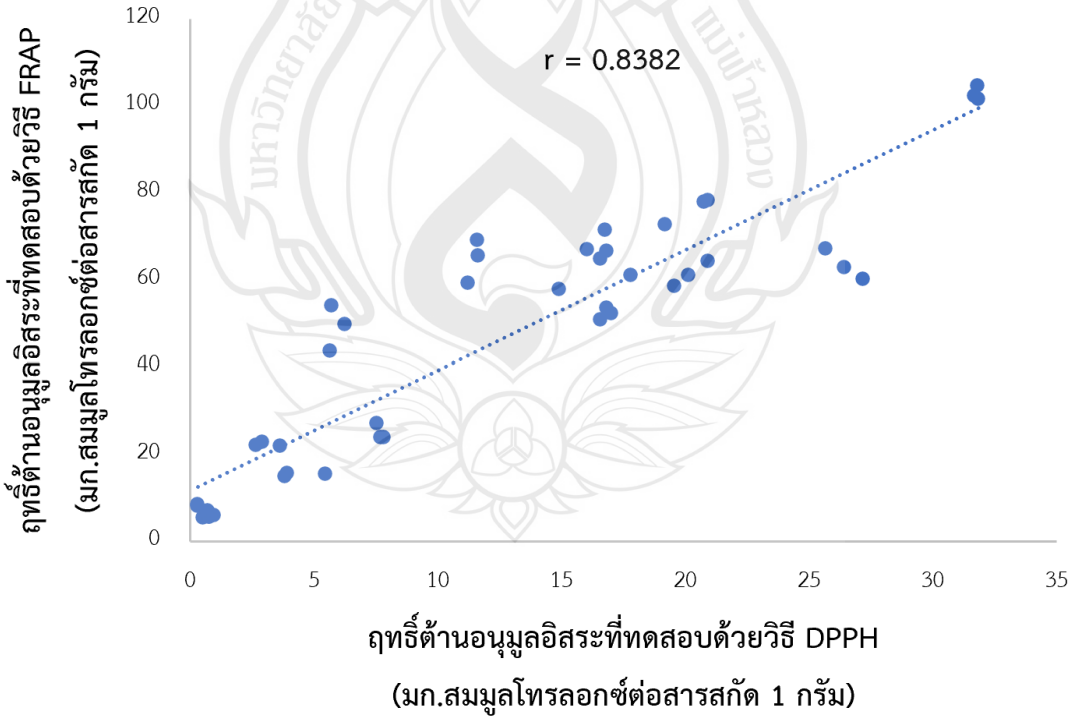


ข

ภาพที่ 4.6 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH (ก) และวิธี FRAP (ข)



ภาพที่ 4.7 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม



ภาพที่ 4.8 สหสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองปลูกต้นอ่อนหัวไชเท้า 1-14 วัน พบว่า ระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหัวไชเท้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสูงและปริมาณน้ำในพืชเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยการเจริญเติบโตสูงสุดพบในช่วงอายุ 14 วัน ซึ่งมีความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 25.83 ± 0.15 เซนติเมตร นอกจากนี้ ปริมาณน้ำในต้นอ่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอายุ โดยอายุ 9 วัน มีปริมาณน้ำสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 95.01 ± 0.81 ในขณะที่ปริมาณของแข็งในพืชมีแนวโน้มลดลงในทิศทางตรงกันข้าม การวิเคราะห์ปริมาณน้ำ และของแข็งในเมล็ดรวมถึงต้นอ่อนหัวไชเท้าแต่ละช่วงอายุจะช่วยประเมินผลผลิตที่เหมาะสมในการผลิตสารสกัดเครื่องสำอาง และวางแผนการผลิตเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาสารสกัดเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 3, 5, 7 และ 9 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลายที่ต่างกัน พบว่าตัวทำละลายและระยะการเจริญเติบโตมีผลต่อร้อยละผลผลิตของสารสกัด ซึ่งตัวทำละลายอะซิโตนระยะเวลาการเติบโตที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลผลิตลดลง โดยสารสกัดเมล็ดให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดสูงสุด คือ ร้อยละ 30.47±2.51 ส่วนสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วันที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดต่ำสุด คือ ร้อยละ 5.76±0.38 ในขณะที่ตัวทำละลายน้ำให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดแต่ละช่วงอายุไม่แตกต่างกัน ส่วนตัวทำละลายเอทานอล มีร้อยละผลผลิตสูงในช่วงอายุ 3, 5 และ 7 วัน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งกลิ่นฉุนของต้นอ่อนหัวไชเท้าเกิดจากไอโซไทโอไซยาเนต และสารประกอบกำมะถันระเหยง่าย ละลายได้ดีในอะซิโตน และเอทานอล ส่งผลให้สารสกัดจากตัวทำละลายดังกล่าวมีกลิ่นฉุนชัดเจนกว่าสารสกัดด้วยน้ำ และสีของสารสกัดเข้มขึ้นตามอายุการงอกที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อสกัดด้วยอะซิโตนและเอทานอล ซึ่งสามารถละลายคลอโรฟิลล์ได้ดี โดยระยะเวลาการเจริญเติบโตที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ FRAP สูงขึ้น ซึ่งจะมากที่สุดเมื่อต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 5 วัน ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล โดยมีปริมาณฟีนอลิกรวม เท่ากับ 50.32 ± 4.13 มก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 1 กรัม ปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ วิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 31.79 ± 0.08 มก.สมมูลของโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม และ 102.72 ± 1.64 มก.สมมูลโทรลอกซ์ต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ จากนั้นเมื่ออายุ 7 และ 9 วัน จะค่อยๆลดลงตามลำดับ โดยอายุต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณ

ฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนหัวไชเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นเมื่ออายุ 7 และ 9 วัน ปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะค่อย ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงสุดของสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 7 วัน ที่สกัดด้วยเอทานอล (96.01 ± 3.91 มก.สมมูลของเคอร์ซิทินต่อสารสกัด 1 กรัม) ไม่แตกต่างกับสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าอายุ 9 วัน (95.60 ± 1.22 มก.สมมูลของเคอร์ซิทินต่อสารสกัด 1 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อีกทั้งพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP มีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.860 และ 0.856 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่เพิ่มขึ้น ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดและต้นอ่อนหัวไชเท้าสูงขึ้น

ดังนั้น การสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าที่มีอายุ 5 วัน ด้วยตัวทำละลายเอทานอล ให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด การพัฒนาสารสกัดจากต้นอ่อนหัวไชเท้าในช่วงอายุดังกล่าวจึงมีศักยภาพสูงในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น เซรั่ม ครีมบำรุง และโลชั่น ที่เน้นคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเพื่อช่วยลดริ้วรอย และปกป้องผิวจากความเสียหายที่เกิดจากมลภาวะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ ของสารสกัดต้นอ่อนหัวไชเท้าเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการผลิตเครื่องสำอางต่อไป เช่น ประสิทธิภาพในการบำรุงผิวขาว เป็นต้น

5.2.2 ควรมีการนำไปวิเคราะห์สารองค์ประกอบในสารสกัดด้วยวิธี HPLC

รายการอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). *ผักกาดหัว.* สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2567, จาก https://doaplant.doa.go.th/RecFront/PlantDetail/29

กรรณิกา บุญพาธรรม และดนุพล เกษไธสง. (2560). การประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด. *แก่นเกษตร*, *45*(ฉบับพิเศษ), 368–373.

กิตติมาภรณ์ ชุมพงศ์. (2557). *การพัฒนาสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายวากาเมะเพื่อเป็นสารให้ความชุ่มชื้นผิว* (การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

ขนิษฐา คงยอด. (2553). *ผลการต้านแบคทีเรียและอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายเกลียวทอง* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทร์เพ็ญ โคตรภูธร. (2559). *การสกัดสารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดหยาบจากเพกา* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา.

จิตราภรณ์ เทวะนา. (2562). *การเพาะต้นอ่อนพืชออร์แกนิค*. โครงการศูนย์ความรู้กินได้ @ สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้. http://www.okmd.or.th

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. (2529). *เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). ม.ป.ท..

เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2557). *การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มผลไม้.* คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสำหรับครู. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทศพล พิมพ์รัตน์. (2562). *การเพิ่มความปลอดภัยและรักษาคุณภาพของไควาเระ (Raphanus sativus L.) โดยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตร่วมกับโอโซน (UV-ozone).* มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธิดารัตน์ ไพโรจน์อมรชัย. (2549). *การวิจัยและพัฒนาสารสกัดจากผักเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ช่วยให้ผิวขาวขึ้น* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารมหาวิทยาลัยพะเยา*, *1*(1), 277–278.

พัชรี สำโรงเย็น และอภิชาติ ศรีสอาด. (2558). *เมล็ดงอกเพื่อสุขภาพทำเงิน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). นาคา อินเตอร์มีเดีย.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. (2549). *ชีววิทยา 2* (พิมพ์ครั้งที่ 1). โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา.

มหาวิทยาลัยมหิดล. (2562, ตุลาคม). *สำนักงานข้อมูลสมุนไพร* https://medplant.mahidol.ac.th/user/reply.asp?id=7395

รักชนก ภูวพัฒน์, มูฮัมมัดบาคอรี ยูโซ๊ะ และโซเฟีย เมฆารัฐ. (2559). การศึกษาอายุที่เหมาะสมของต้นอ่อนทานตะวันต่อความสามารถในการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 8*(1), 15–25.

รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์ และอนามัย เทศกะทึก. (2565). *รายงานการวิจัย: การสกัดฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดจากหัวไชเท้า*. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

วรรษมน สุขโชคพานิช. (2557). *ประสิทธิภาพครีมทำให้ผิวขาวที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากหัวไชเท้า* (การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. (2553). *สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์* (พิมพ์ครั้งพิเศษ). สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม.

วิภพ สุทธนะ. (2556). ฤทธิ์ต้านมะเร็งของฟลาโวนอยด์: กลไกการออกฤทธิ์. *ศรีนครินทร์เวชสาร, 28*(4), 567–582.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2544). *สรีรวิทยาของพืช* (พิมพ์ครั้งที่ 4). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สหพงศ์ สมวงค์ และมิตรชัย จงเชี่ยวชำนาญ. (2562). การพัฒนาระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับการเพาะผักไมโครกรีน. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, *5*(2), 15–25.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). นิวไทยมิตรการพิมพ์.

อุดมลักษณ์ มัจฉาชีพ, สิริวรรณ สุขนิคม, จันทร์เพ็ญ บุตรใส, พาขวัญ ทองรักษ์, อรุณี ชัยศรี, อัจฉรียา มณีน้อย, สุรชัย มัจฉาชีพ และสมเจตน์ เจริญศรีสัมพันธ์. (2557). *การศึกษาการผลิตไมโครกรีนพืชพื้นบ้านเพื่อการค้าในสภาพโรงเรือน* (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

อรวรรณ เคนชาติ. (2556). *ผลของการผลิตผักกาดหัวแบบประณีตของเกษตรกรต่อการตรึงแรงงานในพื้นที่บ้านหนองโง้ง อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น* (การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฮาซัน สุหลง, อิสมะแอ เจ๊ะมามะ และอัซมาน หะยีอาแว. (2560). *การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์จากพรอพอลิสของชันโรง*. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

Agarwal, T., Al Kobaisi, M., Giles, G. I., & Stavros, V. G. (2021). Unravelling the photoprotection properties of garden cress sprout extract in a skincare formulation. *Molecules*, *26*(24), 7631.

Aguilera, Y., Diaz, M. F., Jimenez, T., Benitez, V., Herrera, T., Cuadrado, C., & Martin-Cabrejas, M. A. (2013). Changes in nonnutritional factors and antioxidant activity during germination of nonconventional legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61*, 8120–8125.

Ahmed, D., Verma, A., & Kumar, M. (2012). Anti-diabetic, anti-hyperlipidemic and antioxidant activity of *Raphanus sativus* root juice in diabetic rats. *The Egyptian Journal of Biology, 14*, 11–17.

Ahmed, D., Verma, A., & Kumar, M. (2012). Hydrating effects of *Raphanus sativus* extract on the skin: A focus on natural moisturizing factors. *The Egyptian Journal of Biology, 14*, 11–17.

Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food Chemistry, 115*(3), 785–788.

Aruna, G., Yerragunt, V. G., & Raju, A. B. (2012). Photochemistry and pharmacology of *Raphanus sativus*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 3*(5), 210–216.

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, *4*(3), 196.

Baek, J., Roh, H. S., Choi, C. I., Baek, K. H., & Kim, K. H. (2017). *Raphanus sativus* sprout causes selective cytotoxic effect on p53-deficient human lung cancer cells in vitro. *Natural Product Communications, 12*(2), 237–240.

Baenas, N., Villaño, D., Garcia-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2016). Optimizing elicitation and seed priming to enrich broccoli and radish sprouts in glucosinolates. *Food Chemistry, 204*, 314–319.

Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C. M. (2022). Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of *Ficus religiosa*. *Molecules, 27*(4), 1326.

Barua, S., Jiang, L. I., Kononov, T., & Zahr, A. S. (2022). A case study investigating the short-term efficacy and tolerability of a daily serum composed from a unique sunflower sprout extract. *Journal of Cosmetic Dermatology, 21*(10), 4410–4421.

Becker, T. M., & Juvik, J. A. (2016). The role of glucosinolate hydrolysis products from Brassica vegetable consumption in inducing antioxidant activity and reducing cancer incidence. *Diseases, 4*(2), 22.

Beevi, S. S., Narasu, M. L., & Gowda, B. B. (2010). Polyphenolics profile, antioxidant and radical scavenging activity of leaves and stem of *Raphanus sativus* L. *Plant Foods for Human Nutrition, 65*(1), 8–17.

Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A., . . . Watzl, B. (2012). Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition, 51*(6), 637–663.

Borges-Martínez, E., Gallardo-Velázquez, T., Cardador-Martínez, A., Moguel-Concha, D., Osorio-Revilla, G., Ruiz-Ruiz, J. C., & Martínez, C. J. (2020). Phenolic compounds profile and antioxidant activity of pea (*Pisum sativum* L.) sprouts during germination. *Food Science and Technology, 40*(2), 497–506.

Brentlinger, D. (2005). New trends in hydroponic crop production in the US. *International Conference and Exhibition on Soilless Culture: ICESC, 742*, 31-33.

Britannica. (n.d.). *Chlorophyll*. Encyclopedia Britannica. Retrieved April 6, 2025, from https://www.britannica.com/science/chlorophyll

Bruce, T. J., & Pickett, J. A. (2007). Plant defence signalling induced by biotic attacks. *Current Opinion in Plant Biology, 10*(4), 387–392.

Chen, C., & Wei, X. (2023). Chemical compounds and bioactivities of the extracts from radish (*Raphanus sativus*) sprouts exposed to red and blue light-emitting diodes during cultivation. *European Food Research and Technology, 249*(4), 1023–1034.

Fattahi, S., Zabihi, E., Abedian, Z., Pourbagher, R., Ardekani, A. M., Mostafazadeh, A., & Akhavan-Niaki, H. (2014). Total phenolic and flavonoid contents of aqueous extract of stinging nettle and in vitro antiproliferative effect on hela and BT-474 Cell lines. *International Journal of Molecular and Cellular Medicine, 3*(2), 102.

Fernandes, R. D. P. P., Trindade, M. A., Tonin, F. G., Lima, C. G. D., Pugine, S. M. P., Munekata, P. E. S., & De Melo, M. P. (2016). Evaluation of antioxidant capacity of 13 plant extracts by three different methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts with higher antioxidant capacity to replace synthetic antioxidant in lamb burgers. *Journal of Food Science and Technology, 53*, 451-460.

Francis, H., Debs, E., Koubaa, M., Alrayess, Z., Maroun, R. G., & Louka, N. (2022). Sprouts use as functional foods. Optimization of germination of wheat (*Triticum aestivum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), and radish (*Raphanus sativus* L.) seeds based on their nutritional content evolution. *Foods, 11*, 1460.

Gutierrez, R. M. P., & Perez, R. L. (2004). *Raphanus sativus* (Radish): Their chemistry and biology. *The Scientific World Journal, 4*, 111–121.

Guo, S., Ge, Y., & Jom, K. M. (2017). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal, 11*, Article 95.

Gupta, S. D., & Datta, S. (2003). Antioxidant enzyme activities during in vitro morphogenesis of gladiolus and the effect of application of antioxidants on plant regeneration. *Biologia Plantarum*, *47*(2), 179-183.

Han, J. H., Moon, H. K., Chung, S. K., & Kang, W. W. (2013). Comparison of antioxidant activities of radish bud (*Raphanus sativus* L.) according to extraction solvents and sprouting period. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 42*(11), 1767–1775.

Hanlon, P. R., & Barnes, D. M. (2011). Phytochemical composition and biological activity of 8 varieties of radish (*Raphanus sativus* L.) sprouts and mature taproots. *Journal of Food Science, 76*(1), C185–C192.

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling & Behavior, 7*(11), 1456–1466.

Heaton, J. W., & Marangoni, A. G. (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science & Technology, 7*(1), 8–15.

Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources.

Kim, S. J., & Ishii, G. (2006). Glucosinolate profiles in the seeds, sprouts, and roots of white radish (*Raphanus sativus* L.). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 70*(8), 1821–1824.

Kim, S. J., Jin, S., & Ishii, G. (2004). Glucosinolate profiles in the seeds, leaves, and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52*(8), 2492–2497.

Kwon, Y.-S., Jeon, I.-S., Hwang, J.-H., Lim, D.-M., Kang, Y.-S., & Chung, H.-J. (2009). Biological activities of maca (*Lepidium meyenii*) extracts. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 38*(7), 817–823.

Li, R., & Zhu, Y. (2018). The primary active components, antioxidant properties, and differential metabolite profiles of radish sprouts (*Raphanus sativus* L.) upon domestic storage: Analysis of nutritional quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 98*(15), 5853–5860.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350–382.

Liu, H.-Y., Liu, Y., Li, M.-Y., Ge, Y.-Y., Geng, F., He, X.-Q., . . . Gan, R.-Y. (2022). Antioxidant capacity, phytochemical profiles, and phenolic metabolomics of selected edible seeds and their sprouts. *Frontiers in Nutrition, 9,* 1067597.

Liu, J., Wu, H., Ao, X., Hao, H., Bi, J., Hou, H., & Zhang, G. (2021). Characterization of the inclusion complexes of isothiocyanates with γ-cyclodextrin for improvement of antibacterial activities against *Staphylococcus aureus*. *Foods, 11*(1), 60.

Loudon, G. M. (2002). *Organic chemistry* (4th ed.). Oxford University Press.

Martinez-Villaluenga, C., Peñas, E., Ciska, E., Piskula, M. K., Kozlowska, H., Vidal-Valverde, C., & Frias, J. (2010). Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seeds. *Food Chemistry, 120*(3), 710–716.

Márton, M., Mándoki, Z., & Csapó, J. (2010). Evaluation of biological value of sprouts I. Fat content, fatty acid composition. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria, 3*, 53–65.

Mayer, A. M., & Poljakoff-Mayber, A. (1989). *The germination of seeds* (4th ed.). Pergamon Press.

Mibelle Biochemistry. (n.d.). *AnaGain™ – A natural solution against hair loss*. Retrieved April 7, 2025, from https://mibellebiochemistry.com/anagain

Mibelle Biochemistry. (n.d.). *SulforaWhite: Garden cress sprout fraction with strong whitening activity.* Retrieved April 7, 2025, from https://mibellebiochemistry.com/media/40/download

Mibelle Biochemistry. (n.d.). *Sunflower Shoot Active*. Retrieved April 7, 2025, from https://mibellebiochemistry.com/sunflower-shoot-active

Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Ro**Ż**nowski, J., & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry, 143*, 300–306.

PubChem. (n.d.). *Compound Summary: CID 2735032*. National Center for Biotechnology Information. Retrieved December 8, 2024, from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2735032

PubChem. (n.d.). *Compound summary: CID 5815211*. National Center for Biotechnology Information. Retrieved December 8, 2024, from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5815211#section=Structures

Robards, K., Prenzler, P., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry, 66*(4), 401–436.

Sahapong, S., & Mitchai, C. (2019). Development of an environmental control system for growing microgreens. *FEAT Journal, 5*(2), 15-25.

Sangthong, S., Weerapreeyakul, N., & Barusrux, S. (2015). Antiproliferative effect of *Raphanus sativus* L. var. *caudatus* Alef in human breast MCF-7 and human lung SK-LU1 adenocarcinoma cell lines. In *Proceedings of the International*

Conference on Herbal and Traditional Medicine (HTM 2015) (pp. 75–81). Thailand.

Schmid, D., Belser, E., & Zülli, F. (2013). The FGF7 and Noggin genes are key targets to treat hair loss. *SOFW Journal, 139*(9), 40–44.

Senevirathne, G. I., Gama-Arachchige, N. S., & Karunaratne, A. M. (2019). Germination, harvesting stage, antioxidant activity and consumer acceptance of ten microgreens. *Ceylon Journal of Science, 48*(1), 91-96.

Sharma, S., Shree, B., Sharma, D., Kumar, S., & Kumar, V. (2022). Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International, 155*, Article 111038.

Siddiqui, N., Rauf, A., Latif, A., & Mahmood, Z. (2017). Spectrophotometric determination of the total phenolic content, spectral and fluorescence study of the herbal Unani drug Gul-e-Zoofa (*Nepeta bracteata* Benth). *Journal of Taibah University Medical Sciences, 12*(4), 360–363.

Soxhlet extraction apparatus. (2015). Retrieved May 22, 2018, from https://www.researchgate.net/figure/283005167_fig1_Figure-1-Soxhlet-extraction-apparatus

Specialty Produce. (n.d.). *Kaiware sprouts*. Retrieved December 8, 2024, from https://specialtyproduce.com/produce/Kaiware_Sprouts_622.php

Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of Separation Science, 30*(18), 3268–3295.

Stoker, H. S. (2015). *General, Organic, and Biological Chemistry* (7th ed.). Cengage Learning.

Supapvanich, S., Anan, W., & Chimsonthorn, V. (2019). Efficiency of combinative salicylic acid and chitosan preharvest-treatment on antioxidant and phytochemicals of ready to eat daikon sprouts during storage. *Food Chemistry, 284,* 8-15.

Takaya, Y., Kondo, Y., & Niwa, M. (2003). UV-protective effects of radish sprout (*Raphanus sativus* L.) extracts. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 70*(1), 54–59.

Tarasevičienė , Ž., Viršilė , A., Danilčenko, H., Duchovskis, P., Paulauskienė , A., & Gajewski, M. (2019). Effects of germination time on the antioxidant properties of edible seeds. *CyTA-Journal of Food, 17*(1), 447-454.

Tim Coolong (Kentucky). (2012). *Microgreens.* http://www.uky.edu/Ag CCD/introsheets/microgreens.pdf

Tournas, V. H. (2005). Moulds and yeasts in fresh and minimally processed vegetables and sprouts. *International Journal of Food Microbiology, 99*(1), 71–77.

Villaluenga, C. M., Peñas, E., Ciska, E., Piskula, M. K., Kozlowska, H., & Vidal-Valverde, C. (2010). Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seeds. *Food Chemistry, 120*(3), 710–716.

Weber, S. U., Lodge, J. K., Saliou, C., & Packer, L. (2001). Antioxidants. In A. O. Barel, M. Paye, & H. I. Maibach (Eds.), *Handbook of cosmetic science and technology* (pp. 315–326). CRC Press.

Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K., Turkiewicz, I. P. (2020). Sprouts vs. Microgreens as Novel Functional Foods: Variation of Nutritional and Phytochemical Profiles and Their In Vitro Bioactive Properties. *Molecules, 25,* 4648.

Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(31), 7644–7651.

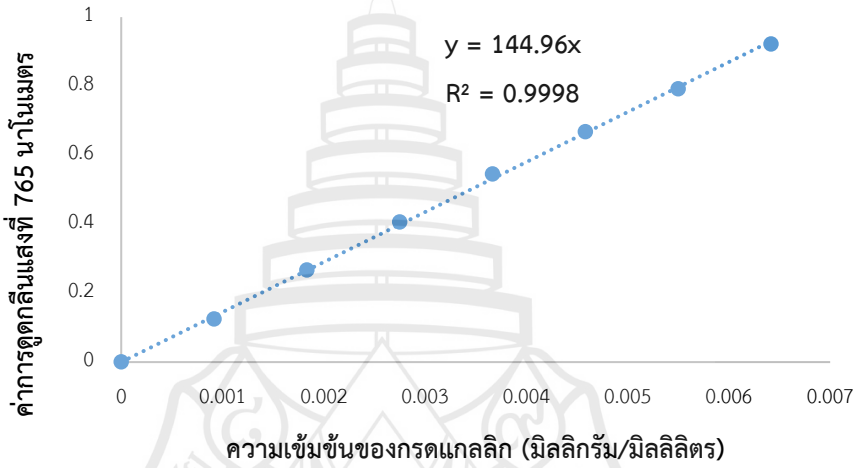
Ye, F., Liang, Q., Li, H., & Zhao, G. (2015). Solvent effects on phenolic content composition and antioxidant activity of extracts from florets of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Industrial Crops and Products, 76*, 574–581.

Zieliński, H., Piskuła, M. K., Michalska, A., & Kozłowska, H. (2007). Antioxidant capacity and its components of cruciferous sprouts. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 57*(3), 315–322.

ภาคผนวก ก

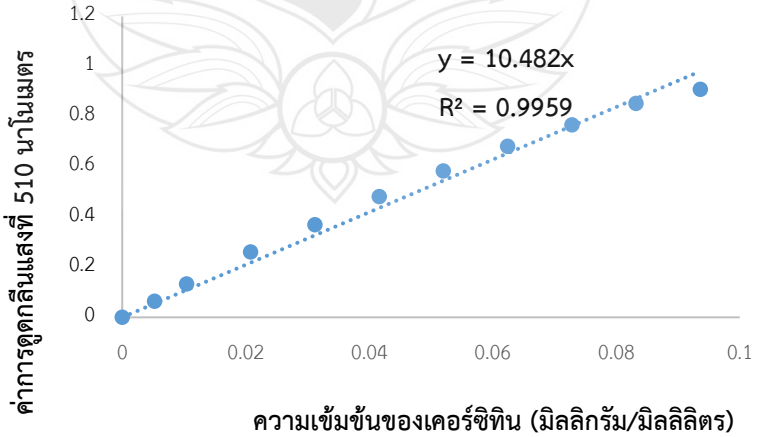
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric

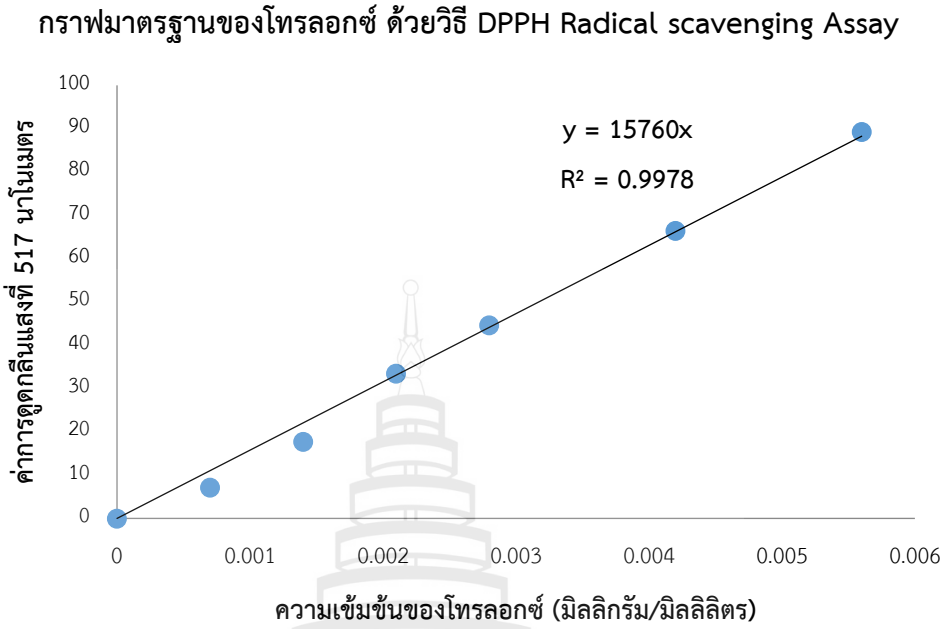


ภาพที่ ก1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ค่าการดูดกลืนแสง 765 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

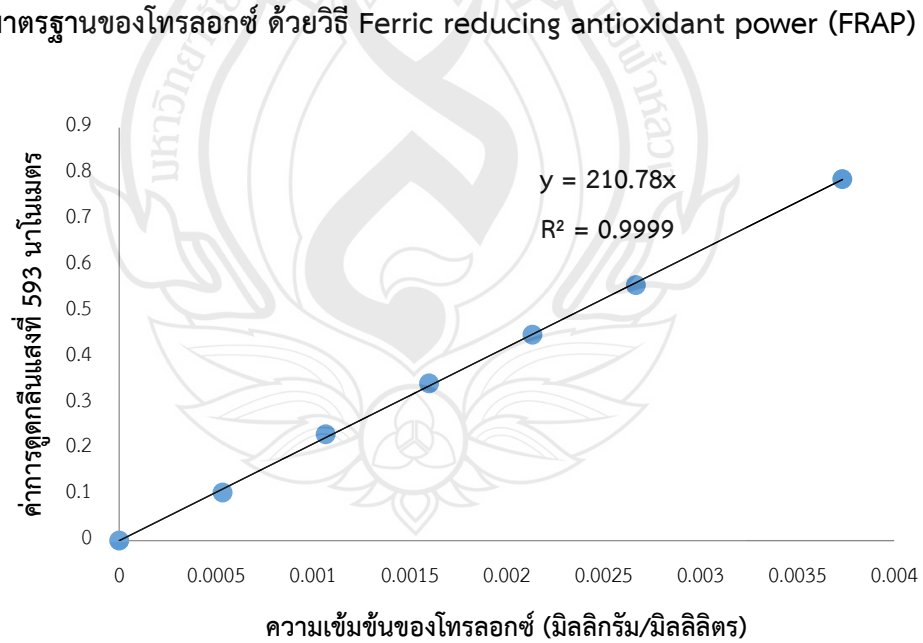
กราฟมาตรฐานของเคอร์ซิทินด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric



ภาพที่ ก2 กราฟมาตรฐานของเคอร์ซิทินที่ค่าการดูดกลืนแสง 510 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม



ภาพที่ ก3 กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ที่ค่าการดูดกลืนแสดง 517 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ



ภาพที่ ก4 กราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ที่ค่าการดูดกลืนแสดง 593 นาโนเมตรเพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ภาคผนวก ข

การประเมินสายพันธุ์หัวไชเท้าเบื้องต้น

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Raphanus sativus Linn., Cv group Chinese radish

ชื่อสามัญ : Chinese radish, Oriental radish, Daikon

วงศ์ : Cruciferae หรือ Brassicaceae

ชื่ออื่น : ไช่เท้า,หัวผักกาดขาว (ทั่วไป) ; ผักกาดจีน(ภาคกลาง) ; ผักขี้หูด, ผักเป็กหัว(ภาคเหนือ) ; ไหล่ฮก, จี๋ซ้ง (จีน)

กลุ่มเอเชีย พันธุ์แบบจีน เนื่องจากมีลักษณะขอบใบเรียบ ไม่มีรอยหยักหรือมีน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เบาพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย โดยเป็นพันธุ์แม่โจ้ 1 (OW-1) เนื่องจากมีลักษณะรูปทรงของหัวแบบทรงกรวยยาว ผิวเปลือกและเนื้อในสีขาว ยาวประมาณ 20-22 ซม. รสชาติไม่เผ็ดนัก ใบและขอบใบเรียบ ไม่มีหยัก หรือมีน้อย ไม่มีขนหรือหนามดอกสีขาว เป็นพันธุ์เบามีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 42 วัน หลังจากหยอดเมล็ด ตามภาพที่ ข1 ซึ่งสอดคล้องกับต้นหัวไชเท้าที่ทดลองปลูกตามภาพที่ ข2

ที่มา กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ ข1 ลักษณะทางกายภาพของหัวไชเท้าสายพันธุ์แม่โจ้ 1

ภาพที่ ข2 ลักษณะทางกายภาพของหัวไชเท้าที่ทดลองปลูก

ประวัติผู้ประพันธ์

ชื่อ	จุฑาทิพย์ รงคะเดชไพบูลย์
ประวัติการศึกษา	
2559	ปริญญาตรี เภสัชศาสตรบัณฑิต บริบาลเภสัชกรรม มหาวิทยาลัยรังสิต
ประวัติการทำงาน	
2562-ปัจจุบัน	เภสัชกรชำนาญการ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา นนทบุรี
2560-2562	ผู้จัดการร้าน บริษัท บู๊ทส์ รีเทล (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพฯ