

การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105
ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิงหาคม 2559

การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105
ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิงหาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105
ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิงหาคม 2559

จักรกริสน์ คัญทัพ. (2559). การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน. ปรินูญานพนธ์ วท.ม. (เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาปรินูญานพนธ์: อาจารย์ ดร. สุจิตรา ศรีสังข์

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อการสะสมและการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดในพืช 3 ชนิด คือ ข้าวหอมมะลิ (*Oryza sativa* L.cv. KDML105) ข้าวเหนียว กข 6 (*Oryza sativa* var. *glutinosa* cv. RD 6) และผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk. Var. *reptan*) โดยในขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ AgNPs โดยการใช้น้ำผึ้งธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์ และวิเคราะห์โดย UV-Vis spectrophotometry ที่มีความยาวคลื่น 423 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังศึกษาสัณฐานวิทยาและอนุภาคขนาดของ AgNPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน AgNPs เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 20 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร ขั้นตอนที่สองนักวิจัยเปรียบเทียบกระบวนการย่อยแบบเปียกคือวิธี D1 D2 และ D3 โดยวิธีย่อย D1 และ D2 เป็นกระบวนการย่อยแบบเปียกโดยใช้กรดไนตริก ซึ่งวิธี D2 ความแตกต่างของเวลาและอุณหภูมิ ส่วนวิธีย่อย D3 คือกระบวนการย่อยแบบเปียกโดยใช้ส่วนผสมของกรดไนตริกและกรดไฮโดรเจนเปอร์คลอริกผสมกับรากและยอดของพืชทั้ง 3 ชนิด และวิเคราะห์ปริมาณ AgNPs โดยเทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้ วิธีย่อย D1 มีร้อยละการคืนกลับคือ 73-93 วิธีย่อย D2 มีร้อยละการคืนกลับคือ 82-97 และวิธีย่อย D3 มีร้อยละการคืนกลับคือ 33-48 ดังนั้นวิธีย่อย D2 เป็นกระบวนการย่อยแบบเปียกที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคเงินนาโนในพืชทั้ง 3 ชนิดข้างต้น และเมื่อพืชได้สัมผัสกับ AgNPs ที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัม / ลิตร เป็นเวลา 7 วัน การสะสมของ AgNPs ในรากของข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละ 13-41 และยอดของข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละ 4-22 การสะสมของ AgNPs ในรากของข้าวเหนียว กข6 มีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละร้อยละ 8-21 และยอดของข้าวเหนียว กข6 มีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละ 2-11 การสะสมของ AgNPs ในรากของผักบุ้งจีนมีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละ 7-27 และยอดของผักบุ้งจีนมีปริมาณการสะสมคิดเป็นร้อยละ 3-7 และจากการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากข้าวเหนียว กข6 โดยเทคนิค Transmission Electron Microscopy (TEM) ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ AgNPs พบว่า AgNPs มีการสะสมอยู่บริเวณ ท่อน้ำเลี้ยงอาหารเนื้อเยื่อ ผนังเซลล์ และภายในเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 ซึ่งส่งผลกระทบต่อรูปร่างและการพัฒนาการของเซลล์และการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6

ACCUMULATION TRANSLOCATION AND IMPACT OF SILVER NANOPARTICLES ON RICE
(*Oryza sativa* L.cv. KDML105), STICKY RICE (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD 6) AND
CHINESE WATER CONVULVULUS (*Ipomoea aquatica* Forsk. Var. reptan)



Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Master of Science Degree in Chemistry
at Srinakharinwirot University

August 2016

Jakkrisn Kunthup. (2016). *Accumulation translocation and impact of silver nanoparticles on rice (Oryza sativa L.cv. KDML105), sticky rice (Oryza sativa var. glutinosa cv. RD 6) and Chinese water convolvulus (Ipomoea aquatica Forsk. Var. reptan)*. Master's thesis. M.Sc. (Chemistry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee. Dr. Sujittra Srisung

In this study, the researchers were interested in studying the effects of nanoparticles on root accumulation and root-to-shoot translocation in three plants including rice (*Oryza sativa* L.cv. KDML105), sticky rice (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD 6) and Chinese water convolvulus (*Ipomoea aquatica* Forsk. Var. reptan). In the first step, the AgNPs were prepared by pure natural honey as a reducing agent and analyzed by UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 423 nm. In addition, the morphology and particle size of the AgNPs were evaluated with transmission electron microscope (TEM). The diameters of the synthesized AgNPs were range from 20 nm to 50 nm. In the second step, the researchers compared the wet digestion of D1, D2 and D3 methods. The methods of D1 and D2 used nitric acid, while the D2 method differed in terms of time and temperature for digestion on the roots and the shoots of the plants being studied. In addition, a D3 method was performed by mixing nitric acid and hydrogen perchloric acid. Then, the AgNPs were determined by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy (GFAAS). The D1 wet digestion methods provided a 79-96 percent recovery, while the D2 methods had a 81-96 percent recovery and D3 had a 32-53 percent recovery. Therefore, the D2 method was the optimum wet digestion method for the determination of silver nanoparticles in plants. The plants were exposed to AgNPs solution at a concentration of 0.02, 0.05, 0.1 and 1 mg/L for seven days of treatment. The accumulation of AgNPs within the roots of rice had a volume of 13-41 percent and the shoots of rice had a volume of 4-22 percent. The accumulation of AgNPs within the roots of sticky rice had a volume of 8-21 percent and the shoots of sticky rice had volume of 2-11 percent. The accumulation AgNPs of within the roots of chinese water convolvulus had of 7-27 percent and the shoots of Chinese water convolvulus was 3-7 percent. The results obtained from transmission electron microscopy (TEM) elucidated that those particles penetrated to the cell wall, xylem, tissue and cell in roots of sticky rice. They could also damage the cell morphology and its structural features in the roots of sticky rice.



งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จาก บัณฑิตวิทยาลัยประจำปีงบประมาณ 2559

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105

ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน

ของ

จักรกริสน์ คัญทัพ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ.ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

วันที่..... เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษา

.....ประธาน

(อาจารย์ ดร. สุจิตรา ศรีสังข์)

(อาจารย์ ดร.สุวิมล บุญรังสิมันต์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุจิตรา ศรีสังข์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุจิตรา ศรีสังข์ ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการแก้ไขปัญหายุ่งยากขึ้นตอนอันเกิดจากการวิจัยและการเขียนปริญญานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สุวิมล บุญรังสิมันต์ ที่ให้ความกรุณาในการเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ ที่ให้ความกรุณาในการเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำและชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ ประธานกรรมการบริหารหลักสูตร และคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความเมตตาและเอาใจใส่แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณคุณจันทนีย์ บุญมามีพลู และคุณกรุณชัย ตริวิเชียร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของเครื่องมือการวิเคราะห์ เพื่อให้การวิจัยและปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคุณนุจรินทร์ วัสุกัน คุณสุจิตรา ศรีสุวรรณ และน้องๆทุกคนในห้องปฏิบัติการเคมี อนินทรีย์ทุกคน ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษา

ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมเลี้ยงดู ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้สนับสนุนทุนในการศึกษาแก่ผู้วิจัย

จักรกริสน์ คัญทัพ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ.....	4
กระบวนการย่อยตัวอย่าง.....	7
เงิน.....	10
ข้าว.....	12
ผักบุ้งจีน.....	18
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	25
อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	25
การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน.....	26
การเพาะปลูกพืช.....	27
การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีต่อต้นพืช.....	28
การหาปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินนาโนในต้นพืช.....	32
ภาพรวมขั้นตอนการทดลอง.....	33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	34
ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน.....	34
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion) ของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่าง.....	36
ผลการศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงิน นาโนในตัวอย่างพืช.....	44
ผลการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy.....	59
5 สรุปผล อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	67
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	78

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 สภาวะของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี.....	30
2 ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช.....	43
3 ปริมาณอนุภาคเงินนาโนที่สะสมในตัวอย่างพืช.....	57



บัญชีภาพประกอบ

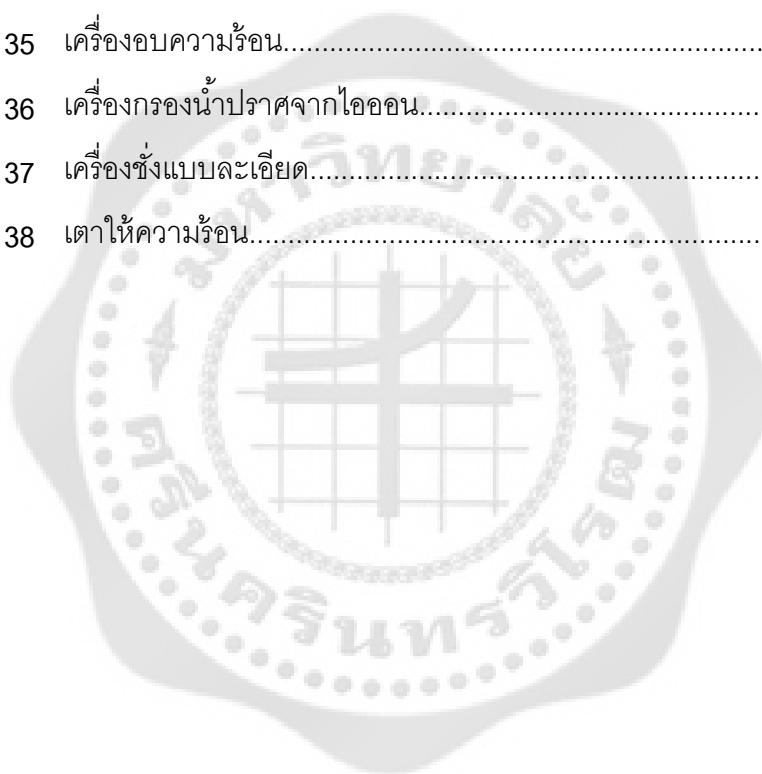
ภาพประกอบ	หน้า
1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน Transmission Electron Microscope(TEM).....	6
2 แผนผังกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน Transmission Electron Microscope(TEM).....	7
3 โลหะเงิน.....	10
4 อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์.....	11
5 รากข้าว.....	13
6 ต้นอ่อนข้าว.....	13
7 ใบข้าว.....	14
8 ดอกและช่อดอก.....	15
9 เมล็ดข้าว.....	16
10 ผักบุ้ง.....	18
11 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของเงินในเตรตกับค่าการดูดกลืนแสง	31
12 UV-Visible spectra ของน้ำผึ้งและอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์.....	35
13 ภาพ Transmission electron microcopy ของอนุภาคนาโนที่ สังเคราะห์.....	35
14 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคนาโนใน กระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวหอมมะลิ 105.....	37
15 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคนาโนใน กระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดของข้าวหอมมะลิ 105.....	38
16 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคนาโนใน กระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวเหนียว กข 6.....	39
17 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคนาโนใน กระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดข้าวเหนียว กข 6.....	40

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
18 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของผักบุ้งจีน.....	41
19 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของผักบุ้งจีน.....	42
20 กราฟมาตรฐานของสารละลายเงินในเตรท.....	45
21 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105.....	47
22 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน.....	48
23 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของข้าวเหนียว กข 6.....	51
24 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข 6 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน.....	52
25 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของผักบุ้งจีน.....	55
26 แสดงการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน.....	56
27 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเนื้อเยื่อและผนังเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข 6	60
28 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำผึ้ง.....	69
29 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 6.5.....	69

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
30 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 7.....	70
31 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 7.5.....	70
32 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 8.....	71
33 อะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโตรสโกปี.....	75
34 เครื่องยู่วี – วิส สเปคโตรโฟโตมิเตอร์.....	75
35 เครื่องอบความร้อน.....	76
36 เครื่องกรองน้ำปราศจากไอออน.....	76
37 เครื่องชั่งแบบละเอียด.....	77
38 เตาให้ความร้อน.....	77



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวกับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในระดับอะตอม โมเลกุล หรือโมเลกุลมหภาค (Macromolecule) ที่มีขนาดเล็กในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีคุณสมบัติพิเศษทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ทำให้มีประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องด้วยในปัจจุบันมีความก้าวหน้าและมีความตื่นตัวทางด้านนาโนศาสตร์เป็นอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการพัฒนาวัสดุและผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมา (สุรัตน์ ปรายญากุล; 2559) ทั้งนี้การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนในปัจจุบันสามารถทำได้โดยง่ายและมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น ทำให้นาโนเทคโนโลยีมีการพัฒนาในด้านต่างๆ (Corbett; et al. 2000: 523-545) ได้แก่ นาโนอิเล็กทรอนิกส์ นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ นาโนเซนเซอร์ นาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์ ท่อนาโน นาโนมอเตอร์ และอุตสาหกรรมนาโน

ประโยชน์ของนาโนเทคโนโลยี อาทิเช่น การใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อสุขภาพ เช่น การสร้างเส้นใยที่ปรับปรุงและทอด้วยเทคนิคทางนาโน ทำให้ได้เนื้อผ้าที่มีสัมผัสนุ่ม สามารถดูดซับน้ำและความชื้นได้ดีขึ้น และการใช้นาโนเทคโนโลยีในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพและทางการแพทย์ เช่น การสกัดสารอาหารและสารสำคัญในระดับโมเลกุล เป็นอาหารเสริมสุขภาพ และยา ที่สามารถดูดซึมในร่างกายได้ดีขึ้น และใช้นาโนเทคโนโลยีสร้างอวัยวะเทียม กระดูกเทียม ตลอดจนผลิตอุปกรณ์ในระดับนาโนเพื่อการตรวจสอบและรักษาโรคในร่างกายมนุษย์ได้ ตลอดจนการสร้างคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋ว นอกจากนี้ก็อาจมีการใช้ประโยชน์อื่น ๆ ทั้งในทางเทคโนโลยีชีวภาพ ฟิสิกส์ เคมี สิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรม และอื่นๆ อีกมากมาย

ปัจจุบันอนุภาคเงินนาโนเป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติของอนุภาคเงินนาโนนั้นสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ทำความสะอาดตัวเอง มีความไวต่อแสง และมีคุณสมบัติใช้ในการวินิจฉัย จากที่กล่าวมาอุตสาหกรรมจึงได้นิยมนำมาเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อีกด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามอนุภาคเงินนาโนนั้นสามารถถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (Ralf, K.; et al. 2010: 2900-2905.) และเพิ่มโอกาสในการที่สิ่งมีชีวิตจะสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนเหล่านี้

จากการที่อนุภาคเงินนาโนถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมนั้น ทำให้สิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารมีโอกาสส่งผ่านอนุภาคเงินนาโนเหล่านี้ได้ เมื่อพืชได้ดูดซับอนุภาคเงินนาโนที่ถูกปลดปล่อยจากดินและน้ำขึ้นไปยังส่วนต่างๆ (Krishnaraj, C.; et al. 2012: 651-658.) ต่อจากนั้นถ้ามีการบริโภคพืชของสัตว์

ชนิดต่างๆ อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เช่น การเจริญเติบโต และ การพัฒนาการของส่วนต่างๆของสิ่งมีชีวิต

ประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมกันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้พืชในเกษตรกรรมมีความเสี่ยงในการที่จะได้รับและได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโน ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นในการสะสม เคลื่อนย้าย และผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต ของพืชชนิดนั้น ๆ ได้ อาทิ ข้าว ซึ่งเป็นพืชที่มีการปลูกให้สัมผัสกับน้ำ จึงมีโอกาสสูงที่จะได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโน และได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของอนุภาคเงินที่สามารถจะสะสมและเคลื่อนย้ายในต้นข้าวในสายพันธุ์หอมมะลิ 105 และ ข้าวเหนียว กข6 ซึ่งข้าวทั้งสองชนิดนี้เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และนอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้คัดเลือกพืชที่มีสภาวะแวดล้อมและเป็นพืชที่สัมผัสน้ำโดยตรงอีกหนึ่งชนิด คือ ผักบุ้งจีน โดยผักบุ้งจีนมีความนิยมเพาะปลูกและบริโภคอย่างแพร่หลาย จึงอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้มีการส่งผ่านอนุภาคเงินนาโนเหล่านี้สู่สิ่งมีชีวิตชนิดอื่น โดยศึกษากระบวนการย่อยตัวอย่างพืชที่เหมาะสม และนำไปวิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคเงินนาโนที่จะส่งผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าว และนอกจากนี้ยังศึกษาลักษณะการกระจายตัวที่บริเวณต่างๆของพืช และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105, ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการย่อยอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืชด้วยกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion)
2. เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมที่รากและยอดของต้นอ่อนข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน อีกทั้งผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสามชนิด
3. เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่บริเวณต่างๆของตัวอย่างพืช

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของการย่อยอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืชด้วยกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion)
2. ได้ทราบถึงปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย ของอนุภาคเงินนาโนที่ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 ผักบุ้งจีน ได้สัมผัส อีกทั้งผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสามชนิด

3. ได้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวและการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่บริเวณต่างๆ ของตัวอย่างพืช

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนโดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการย่อยอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช
3. ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนโดยเทคนิค Transmission electron microscopy

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อนุภาคเงินนาโน (AgNPs) หมายถึง อนุภาคของเงินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1-100nm
2. ข้าว (Rice) หมายถึง ข้าวเป็นพืชในวงศ์เดียวกับไม้ หญ้าและธัญพืช มีชื่อสามัญคือ Rice ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* L.
3. ผักบุ้งจีน (Chinese Water Convolvulus) เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ ผักบุ้ง (Convolvulaceae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk. Var. *reptan* เป็นพืชที่พบทั่วไปในเขตร้อน
4. การสะสม (Accumulation) หมายถึง การเก็บรวบรวมสิ่งของชนิดใดชนิดหนึ่งไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งการเก็บรวบรวมสิ่งของนั้นจะเป็นการเก็บตั้งแต่จำนวนหนึ่งขึ้นและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ
5. การเคลื่อนย้าย (Translocation) หมายถึง การเคลื่อนย้ายอาหาร น้ำ หรือ สารละลายต่าง ๆ จากส่วนหนึ่งไปยังส่วนต่าง ๆ ภายในพืช
6. กระบวนการย่อย (Digestion) หมายถึง การละลายตัวอย่างโดยใช้ความร้อนและกรด
7. น้ำผึ้งแท้ธรรมชาติ (Pure natural honey) หมายถึง น้ำผึ้งที่ผลิตจากน้ำหวานจากดอกไม้และแหล่งน้ำหวานอื่นๆที่ผึ้งนำมาเก็บสะสมไว้ และผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งน้ำผึ้งเป็นสารผสมของน้ำตาลกับสารประกอบอื่น น้ำผึ้งส่วนใหญ่เป็นฟรุกโทส (38.5%) และกลูโคส (31.0%) และต้องไม่ผ่านการปรุงแต่ง กลิ่น รส จากอุตสาหกรรม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ
2. กระบวนการย่อยตัวอย่าง
3. เงิน
4. ข้าว
5. ผักบุ้งจีน
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ

1.1 เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) (แมน อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. 2534: 322-351)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ ใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ เป็นเทคนิคที่ให้ความแม่นยำ ความเที่ยง มีสภาพไวสูง มีความเฉพาะดีมาก และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงนัก

อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปีเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน

ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี อาศัยหลักการที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. อะตอมของธาตุทุกชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้
2. ธาตุแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น (wavelength) เฉพาะ เช่น สารละลายตัวอย่างมีนิกเกิลละลายอยู่กับตะกั่วและทองแดง เมื่อนำไปผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของนิกเกิล อะตอมของนิกเกิลเท่านั้นที่จะดูดกลืนแสงได้ ส่วนอะตอมของตะกั่วและทองแดงจะไม่ดูดกลืนแสงนั้น

3. ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมของธาตุนั้นที่แสงผ่านเพิ่มขึ้นและเป็นปริมาณโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่ดูดกลืนแสงนั้น

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี จะต้องทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระ ในการทำให้สารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระนั้นต้องใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะกับอะตอมอิสระนั้นๆ อะตอมอิสระนั้นจะเกิดการดูดกลืนแสงแล้วทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นซึ่งปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี

1. Flame Atomization Technique เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame)

2. Flameless Technique หรือ Non-Flame Atomization Technique เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆ กัน และใช้เวลาต่างๆ กัน

3. Hydride Generation Technique เป็นเทคนิคที่ทำให้ธาตุแตกตัวในบรรยากาศโดยปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวของธาตุเหล่านั้นกับออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านั้นกลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์แล้วให้ไฮไดรด์ผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจนหรืออาจใช้วิธีไฮไดรด์ผ่านเข้าไปในหลอดที่ทำด้วย quartz แล้วเผาหลอดด้วยเปลวไฟ จะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

4. Cold Vapor Generation Technique เป็นเทคนิคที่เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ เช่น การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อย

ในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับความต้องการและวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยคำนึงถึงองค์ประกอบหลายๆ อย่าง เช่น ความรวดเร็วของการวิเคราะห์ ความง่าย ความเข้มข้น สมบัติทางเคมีและกายภาพของสารที่จะวิเคราะห์ ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

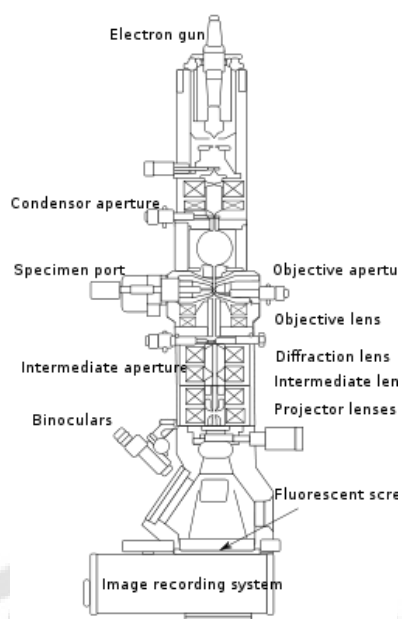
ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Flameless Technique เพราะปริมาณของอนุภาคเงินนาโนนั้นมีปริมาณที่น้อย จึงเหมาะกับการใช้ในเทคนิคนี้

1.2 เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope) (ชัยชนา ธนชยานนท์; และคนอื่นๆ. 2546)

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านนั้น ภาพประกอบ 1-2 จะอาศัยลำแสงอิเล็กตรอนวิ่งไปชนกับวัตถุที่ต้องการจะส่อง โดยอาศัยการป้อนพลังงานไฟฟ้าไปยังขดลวดที่เป็นขั้วแคโทด เมื่อพลังงานมากพอ อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมา แต่เนื่องจากตัวอิเล็กตรอนเป็นขั้วประจุไฟฟ้า มันก็จะวิ่งเข้าไปหาอนุภาคที่มีขั้วประจุต่างกันเช่นในอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถวิ่งเข้าไปชนเป้าหมายตัวอย่างหรือ sample ได้ ดังนั้นภายในกล้องจุลทรรศน์จะต้องทำให้เป็นระบบสุญญากาศ และจะมี Condenser เป็นตัวเพิ่มความเข้มแสง ซึ่งจะใช้เป็นขดลวดพันรอบแท่งเหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางของลำอิเล็กตรอนอยู่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะให้เกิดความเข้มของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน Transmission Electron Microscope(TEM)



ภาพประกอบ 2 แผนผังกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน Transmission Electron Microscope(TEM)

เมื่ออนุภาคหรือลำแสงอิเล็กตรอนสามารถวิ่งไปชนวัตถุหรือชิ้นงาน แสงก็จะถูกดูดกลืนและลำแสงส่วนที่เหลือก็จะสามารถทะลุผ่านชิ้นวัตถุไปยังเลนส์วัตถุ (Objective Len) หลังจากนั้นทางด้านล่างของเลนส์วัตถุจะมีระบบเลนส์ต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดภาพสามมิติ โดย Fluorescence screen จะเป็นฉากรับภาพ

2. กระบวนการย่อยตัวอย่าง (วนิดา ชูลีกาวิทย์; และคนอื่นๆ. 2545 : 14-16)

เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาเข้าสู่กระบวนการย่อยนั้นมีอยู่หลายประเภท เช่น ของแข็ง ของเหลว ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต กระบวนการย่อยจึงมีความจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของตัวอย่าง โดยกระบวนการย่อยตัวอย่างที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 วิธี คือ กระบวนการย่อยแบบเปียก (Wet digestion) กระบวนการย่อยโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion) และ กระบวนการย่อยแบบเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing digestion) โดยกระบวนการย่อยดังกล่าวมีหลักการดังนี้

1. กระบวนการย่อยแบบเปียก (Wet digestion)

สำหรับกระบวนการย่อยสารอนินทรีย์มักใช้กรดอนินทรีย์ หรือกรดแอมโมเนียในการย่อยสลายหลังจากการให้ความร้อนถึงจุดเดือดของรีเอเจนต์นั้นๆ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าการย่อยแบบเปียก (wet

digestion) รีเอเจนต์ที่ใช้จะเปลี่ยนตัวอย่างอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ตัวอย่างกรดที่ใช้ได้แก่

1.1) กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เป็นกรดที่ใช้ย่อยสลายตัวอย่างอนินทรีย์ได้ดีมาก

1.2) กรดไนตริก (HNO₃)

กรดไนตริกเข้มข้น เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ซึ่งใช้ละลายโลหะได้เกือบทุกชนิด ยกเว้น อะลูมิเนียมและโครเมียม เนื่องจากพื้นผิวมักเปลี่ยนเป็นออกไซด์ ถ้าโลหะผสมมีดีบุก ทั้งสแตน หรือ พลวง ถูกนำมาละลายในกรดไนตริกที่ร้อน มักจะเปลี่ยนเป็นไฮดรอกไซด์ (hydrated oxide) ที่ละลายได้น้อย

1.3) กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄)

สารหรือวัตถุหลายชนิดจะถูกย่อยสลายในกรดซัลฟิวริกที่ร้อน เนื่องจากเป็นกรดที่มีจุดเดือดสูง (340°C) สารประกอบอินทรีย์สารใหญ่จะเกิดการเสียน้ำ (dehydrated) และถูกออกซิไดซ์กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่อุณหภูมินี้

1.4) กรดเปอร์คลอริก (HClO₄)

กรดเปอร์คลอริกเข้มข้นที่ร้อนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีศักยภาพสูง สามารถย่อยสลายโลหะผสมของเหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิมได้ ซึ่งกรดชนิดอื่นสามารถย่อยสลายได้

1.5) ตัวออกซิไดซ์ผสม

การใช้กรดผสมเช่นกรดกัดทอง (HCl : HNO₃ อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร) หรือการเติมตัวออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ โบรมีน ลงในกรดอนินทรีย์หรือกรดแร่จะช่วยให้การย่อยทำได้เร็วขึ้น กรดผสมระหว่างกรดไนตริกและเปอร์คลอริก ช่วยในการย่อยสลายได้เร็วขึ้นเช่นกัน แต่ต้องระวังมิให้กรดไนตริกกระเหຍไปหมดก่อนการออกซิไดซ์ตัวอย่างจะสมบูรณ์ เนื่องจากถ้าเหลือเฉพาะเปอร์คลอริกอย่างเดียวอาจทำให้เกิดการระเบิดได้

1.6) กรดไฮโดรฟลูออริกหรือกรดกัดแก้ว

โดยทั่วไปมักใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในการย่อยสลายหินซิลิเกตและแร่ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอื่น นอกจากซิลิคอน ซึ่งจะถูกละลายเป็นซิลิเกตและบางครั้งอาจจะใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ร่วมกับกรดชนิดอื่น เพื่อย่อยสลายเหล็กที่ละลายได้ยาก กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดที่มีความเป็นพิษสูง การใช้กรดชนิดนี้ต้องทำในตู้ดูดควันที่มีประสิทธิภาพดีเป็นพิเศษ ถ้ากรดชนิดนี้สัมผัสกับผิวหนังจะกัดผิวและทำให้มีอาการปวดมาก

2. กระบวนการย่อยโดยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion)

การทำงานของเครื่องไมโครเวฟระบบการย่อยสลาย อาศัยหลักการให้พลังงานแก่ตัวอย่าง ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ความยาวคลื่น 10^{-2} – 10^{-4} เมตร) ซึ่งเป็นพลังงานที่ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่น และทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างฉับพลัน และในการย่อยสลายตัวอย่างนิยมใช้กรดอินทรีย์ ชนิดต่างๆ เช่น กรดไนตริกเข้มข้น กรดไฮโดรเจนคลอไรด์เข้มข้น หรือใช้กรดมากกว่า 1 ชนิดผสมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย ทำให้เกิดการย่อยสลายพันธะและโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ให้หมดสิ้นไป โดยส่วนใหญ่เครื่องไมโครเวฟจะมีระบบการย่อยแบบปิด (Close system) ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันตามที่กำหนด และใช้ระยะเวลาในการย่อยได้พร้อมๆ กันอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง ทำให้สามารถย่อยตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาประมาณ 30 นาที รวมทั้งมีวิธีมาตรฐาน (Standard method) รับรองเทคนิคการย่อยสลายตัวอย่างโดยใช้เครื่องไมโครเวฟ

ข้อจำกัดของการใช้เครื่องไมโครเวฟ คือ ไม่เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณความเข้มข้นสารที่ต้องการวิเคราะห์ต่ำ เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณตัวอย่างให้มากเกินไปเกินความจุของภาชนะใส่ตัวอย่างได้ และมีค่าใช้จ่ายในส่วนของผู้กรณ์ของเครื่องมือค่อนข้างสูง

3. กระบวนการย่อยแบบเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing digestion)

การเผาให้เป็นเถ้า (dry ashing) เป็นการย่อยแบบแห้งเหมาะสำหรับตัวอย่างอินทรีย์ ทำได้โดยเผาสารอินทรีย์ด้วยความร้อนที่สูงมากๆ สารประกอบอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยแก๊สออกซิเจน และแปรสภาพเป็นออกไซด์ของธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน (C) จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนไฮโดรเจน (H) จะเปลี่ยนเป็นน้ำ แบ่งเป็น

3.1 การเผาด้วยเปลวไฟหรือเตาเผาที่อุณหภูมิ 500°C หรืออาจจะสูงกว่าโดยใช้ครุชีเบลหรือขามระเหยบรรจุตัวอย่าง และควรทำตัวอย่างให้แห้งเสียก่อนแล้วจึงค่อนนำไปเผาคาร์บอนจะถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการย่อยสลายตัวอย่างอินทรีย์ ในกรณีเผาด้วยเปลวไฟ เพื่อการเกิดการออกซิไดซ์ที่สมบูรณ์มักใช้เปลวไฟสีแดงนำส่วนที่เหลือจากการเผาไปละลาย เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ไม่ระเหย

3.2 การเผาโดยใช้หลอดเผา (combustion tube) ซึ่งวิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนมาก เหมาะสำหรับย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เพื่อหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก สารตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สเมื่อถูกเผาในบรรยากาศของออกซิเจน

3. เงิน (ชัยวัฒน์ เจนวานิช ; หนังสือสารานุกรมธาตุ)

เงินเป็นธาตุที่มักพบอยู่ในสถานะเป็นของแข็ง ที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 47 มีมวลเท่ากับ 107.8682 มีจุดหลอมเหลวคือ 960.8 องศาเซลเซียส จุดเดือดคือ 2210 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 3 โลหะเงิน

ที่มา: <http://www.webelements.com>

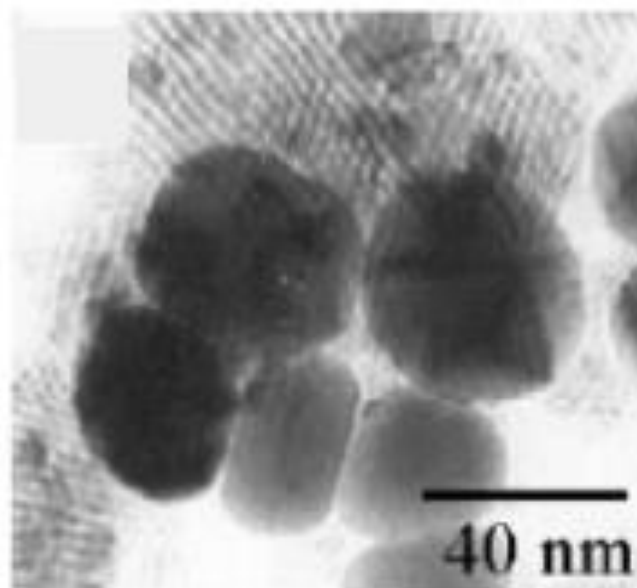
ธาตุเงินพบอยู่ในแร่หลายชนิดเช่น อาร์เจนไทต์ (argentite; Ag_2S) , คลอราไกวไรต์ (chlorargyrite; AgCl) นอกจากนี้ยังพบปะปนอยู่ในรูปของโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง ทอง ตะกั่ว และ สังกะสี ดังนั้นโลหะเงินที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จึงเป็นผลพลอยได้จากการแยกโลหะดังกล่าวให้บริสุทธิ์

เงินบริสุทธิ์นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะอื่นทุกชนิดนอกจากนี้ยังเป็นโลหะที่ตัดได้ง่าย จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นอย่างหลากหลาย

การสังเคราะห์

อนุภาคนาโนเงินสามารถสังเคราะห์ได้โดยวิธีโซลโวเทอร์มอล(solvothermal method) ทำโดยใช้ octadecane หรือ octane thiol ที่ละลายในโทลูอีน เติมนลงในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ได้อนุภาคนาโนเงิน ดังภาพประกอบ 4

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินยังมีหลายวิธี อาทิ วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนเงินได้ ตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ไตรโซเดียมซีเตรต กลูโคส เป็นต้น



ภาพประกอบ 4 อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์

ที่มา: Journal of Colloid and Interface Science. (2003). 268: 83

สมบัติและการใช้ประโยชน์

- วัสดุ ธาตุเงินและสารประกอบของเงินมีสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคได้หลายชนิดแต่เมื่อนำมาทำให้มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโนเมตรจะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น จึงมีโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรคมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคเพิ่มขึ้นด้วย กลไกการฆ่าเชื้อโรคของอนุภาคนาโนเงินเริ่มจากการแตกตัวเป็นไอออน (Ag^+) จากนั้นจะไปเกาะที่ผนังของเชื้อโรคและแทรกเข้าไปภายในโดยไปเกาะกับหมู่ไทออล (-SH) ของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เผาผลาญออกซิเจนและพลังงาน ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ จึงทำให้เชื้อโรคขาดอาหารและตายในที่สุด มีรายงานว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ถึง 650 ชนิด เช่น *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *E. Coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis* เป็นต้น จากสมบัติที่ดีดังกล่าว จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์มากมายดังต่อไปนี้

- สิ่งทอ ได้มีการทำอนุภาคนาโนเงินให้แทรกเข้าไปในเส้นใยของสิ่งทอ เช่น พอลิโพรพิลีน ไนลอน เป็นต้น เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เกิดจากการหมักหมมของเหงื่อบนผิวหนัง ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ผลิตเป็นเสื้อผ้าสำหรับนักกีฬา เครื่องแบบสำหรับทหาร ตำรวจ เป็นต้น

- เครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการเพิ่มมูลค่าของสินค้า โดยนำอนุภาคนาโนเงินมาใช้ในการด้านการฆ่าเชื้อโรคในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า

เครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น เนื่องจากอนุภาคนาโนเงินเมื่อแตกตัวเป็นประจุแล้วสามารถ ฆ่าเชื้อโรคได้ ทั้งในอากาศและในน้ำ

- สุขภัณฑ์ มีการนำอนุภาคนาโนเงินมาใช้ฆ่าเชื้อโรคในเครื่องสุขภัณฑ์โดยใช้เป็นสารเคลือบผิว สุขภัณฑ์ ซึ่งทำได้โดยการฉีดพ่นสารละลายของอนุภาคนาโนเงินร่วมกับสารละลายของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวของสุขภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำไปเผาจะทำให้สารยับยั้ง เชื้อโรคและสุขภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันและสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคจะติดทนตลอดอายุการใช้งาน

- อุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้มีการพัฒนาสารเคลือบที่เป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุบวกตรึงด้วยอนุภาคนาโนของ ซิลเวอร์โบรไมด์ (AgBr) ซึ่งจะให้ Ag^+ ที่สามารถทำลายแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบทั้งที่อยู่บนพื้นผิวและในสารละลายจึงสามารถใช้ป้องกันการติดเชื้อจากอุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์ เช่น สายยางหรือท่อโลหะที่ใช้สอดเข้าไปในร่างกาย วัสดุเทียมที่ใช้แทนอวัยวะ หรือเนื้อเยื่อปลูกถ่าย เป็นต้น

4. ข้าว (วัชรินทร์ บุญวัฒน์; และคนอื่นๆ. 2527: 26-34)

4.1 ข้าวและส่วนประกอบต่างๆของต้นข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า จัดอยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในสกุล *Oryza* มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

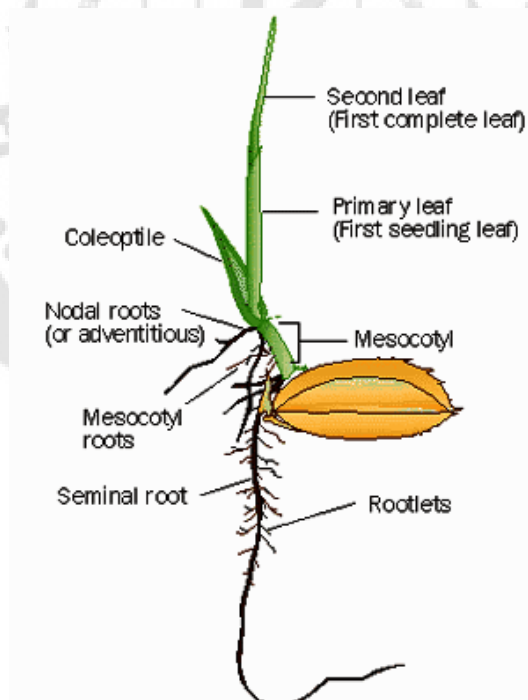
ราก

ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) (ภาพที่ 5-6) ประกอบด้วยรากที่พัฒนามาจากส่วนแรดิเคิล (radicle) เรียกว่า รากแก้ว หรือ first seedling root และรากที่แตกแขนงออกมาเรียกว่า รากแขนง หรือ lateral root รากที่เกิดจาก scutellar node เรียกว่า seminal root ส่วนรากที่เกิดจากข้อใต้ดินตั้งแต่ coleoptilar node ขึ้นไป เรียกว่า adventitious root



ภาพประกอบ 5 รากข้าว

ที่มา: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron>



ภาพประกอบ 6 ต้นอ่อนข้าว

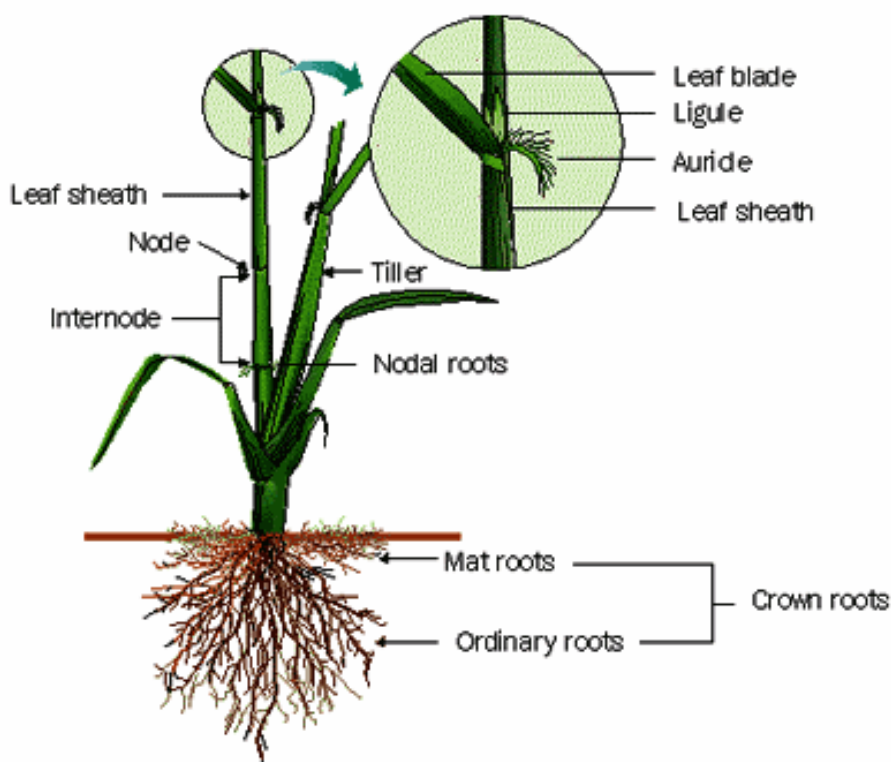
ที่มา: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron>

ลำต้น

ลำต้น (haulm หรือ culm) ประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ข้อประกอบด้วยวงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิดราก (root primordia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ขั้วมีการแตกหน่อ (tillering) ลำต้นหลัก เรียกว่า main culm หน่อที่เจริญจาก main culm เรียกว่า primary tiller หน่อที่เจริญจาก primary tiller เรียกว่า secondary tiller และหน่อที่เจริญจาก secondary tiller เรียกว่า tertiary tiller ตามลำดับ

ใบ

ใบเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) บริเวณรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบ (leaf collar) มีเยื่อกันน้ำหรือลิ้นใบ (ligule) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) ส่วนที่มีลักษณะคล้ายใบแต่ไม่มีเส้นกลางใบ เป็นสัน 2 สัน พบระหว่างหน่อหรือแขนงที่แตกจากลำต้นเรียกว่า prophyllum (ภาพที่ 7)



ภาพประกอบ 7 ใบข้าว

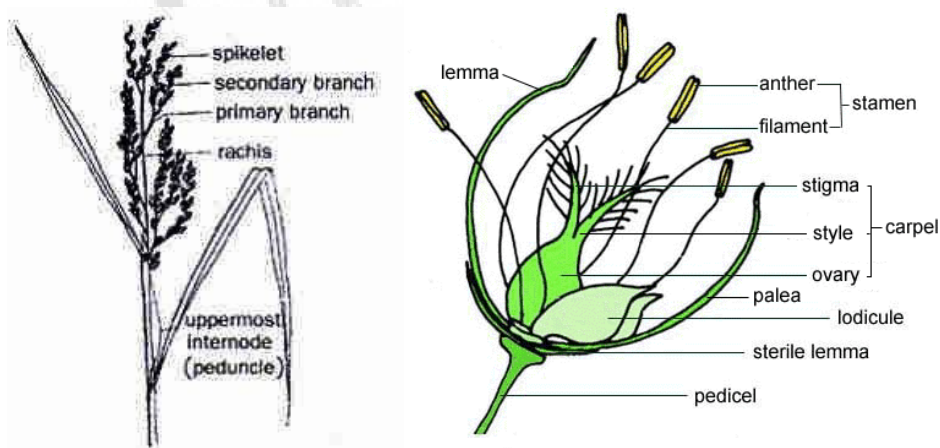
ที่มา: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron>

ช่อดอกและดอก

ช่อดอกเป็นแบบ panicle ปล้องสุดท้ายของลำต้น (uppermost internode) เป็นก้านช่อดอก (peduncle) แกนกลางช่อดอกเรียกว่า rachis หรือ panicle axis กิ่งที่แตกจาก rachis เรียกว่า primary branch และกิ่งที่แตกจาก primary branch เรียกว่า secondary branch

ดอกข้าวเกิดเป็นกลุ่มเรียกว่า spikelet ประกอบด้วย กลีบดอกที่หุ้ม spikelet 2 กลีบ ได้แก่ กลีบด้านนอก (outer glume) และกลีบด้านใน (inner glume) แต่มองเห็นไม่ชัด (rudimentary glume) ดอกประกอบด้วยดอกย่อย (floret) 3 ดอก มีดอกย่อยเพียงดอกเดียวที่มีการเจริญ เรียกว่า flowering glume ส่วนดอกย่อยที่ไม่เจริญเหลือเฉพาะส่วน lemma เรียกว่า sterile lemma หรือ non-flowering glume หรือ empty glume

ดอกย่อยที่มีการเจริญประกอบด้วยกลีบดอกย่อยด้านนอก (lemma) ที่มีเส้นตามความยาว 5 เส้น และกลีบดอกย่อยด้านใน (palea) ที่มีเส้นตามความยาว 3 เส้น ดอกย่อยประกอบด้วย เกสรตัวผู้ (stamen) ที่มีก้านชูละอองเกสรตัวผู้ (filament) และอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) สั้น ปลายเกสรตัวเมีย (stigma) แยกเป็น 2 แฉก มีลักษณะคล้ายขนนกเรียกว่า plumose stigma และเยื่อรองรับรังไข่ (lodicule) อยู่ที่ยอดของรังไข่ (ภาพที่ 8)

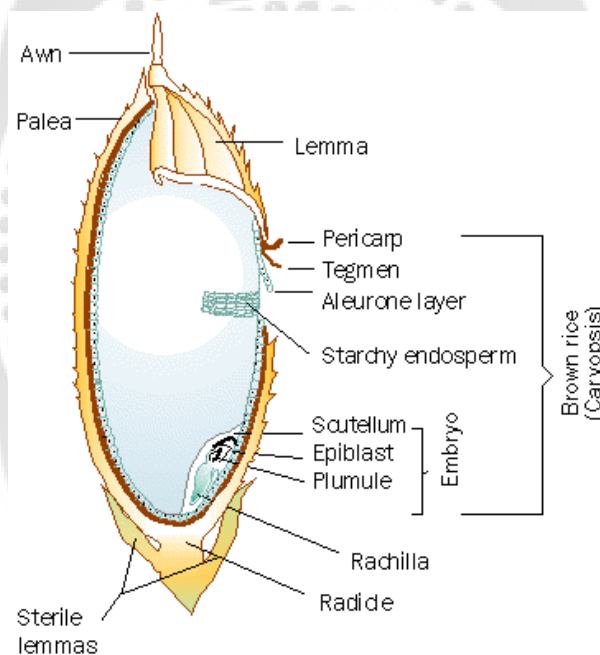


ภาพประกอบ 8 ดอกและช่อดอก

ที่มา: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron>

ผลและเมล็ด

ผลหรือเมล็ดเป็นแบบ caryopsis ประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล (pericarp) ติดอยู่กับส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) มีเปลือกหุ้มซึ่งเป็นส่วนของ lemma และ palea เรียกว่า hull ผลของข้าวที่เก็บเกี่ยวมาเรียกว่า ข้าวเปลือก (hulled grain) เมื่อแกะส่วนของเปลือกหุ้มออก เห็นเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีน้ำตาล เรียกว่า ข้าวกล้อง (brown rice grain) เมื่อขัดส่วนของเยื่อหุ้มสีน้ำตาลออกจะเป็น ข้าวสาร (kernel) ส่วนหัวของข้าวสารมีสีเขียวชุน เรียกว่า จมูกข้าวหรือคัพพะ (embryo) ที่เหลือเป็นเอนโดสเปิร์ม (endosperm) คัพพะประกอบด้วยแรดิเคิล (radicle) พลูมูล (plumule) ใบเลี้ยงที่ไม่มีการพัฒนา (epiblast) และเนื้อเยื่อที่กั้นระหว่างคัพพะกับเอนโดสเปิร์ม (scutellum) บริเวณรอบนอกของเอนโดสเปิร์มมีชั้น aleurone layer และส่วนสีเขียวชุนที่ด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับคัพพะ เรียกว่า ท้องปลาหรือท้องไข (abdominal white) (ภาพที่ 9)



ภาพประกอบ 9 เมล็ดข้าว

ที่มา: <http://agri.kps.ku.ac.th/agron>

4.2 สายพันธุ์ข้าวไทยที่นำมาทดลอง (นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ; และคนอื่นๆ. 2550)

1. ชื่อพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105)

ประวัติพันธุ์ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน เจ้าพนักงานข้าว รวบรวมจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อ พ.ศ.2493-2494 จำนวน 199 รวง แล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure Line Selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ท้องถิ่นในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คืออำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึงพันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ข้าวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง

ลักษณะประจำพันธุ์

เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 140 เซนติเมตรไวต่อช่วงแสงลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาวข้าวเปลือกสีฟางอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 25 พฤศจิกายนเมล็ดข้าวกลี้ยง กว้าง x ยาว x หนา = $2.1 \times 7.5 \times 1.8$ มิลลิเมตร ปริมาณมิโลส 12-17%คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม

2. ชื่อพันธุ์ กข6 (RD6)

ประวัติพันธุ์ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ โดยการใช้รังสีชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยใช้รังสีแกมมาปริมาณ 20 กิโลแตร อบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้วนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานีทดลองข้าวบางเขนและสถานีทดลองข้าวพิมาย จากการคัดเลือกได้ข้าวเหนียวหลายสายพันธุ์ในข้าวชู้ที่ 2 นำไปปลูกคัดเลือกจนอยู่ตัวได้สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ สายพันธุ์ KDML105'65-G2U-68-254 นับว่าเป็นข้าวพันธุ์ดีพันธุ์แรกของประเทศไทย ที่ค้นคว้าได้โดยใช้วิธีชักนำพันธุ์พืชให้เปลี่ยนกรรมพันธุ์โดยใช้รังสี

ลักษณะประจำพันธุ์

เป็นข้าวเหนียว สูงประมาณ 154 เซนติเมตรไวต่อช่วงแสงทรงกอกระจ่ายเล็กน้อย ใบยาวสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง เมล็ดยาวเรียวยาวเมล็ดข้าวเปลือกสีน้ำตาลอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 21 พฤศจิกายน ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์

5. ผักบุ้งจีน (ไทยเกษตรศาสตร์, 2015)



ภาพประกอบ 10 ผักบุ้ง

ที่มา: <http://www.thaikasetsart.com/ผักบุ้งจีน>

ผักบุ้งเป็นพืชผักเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภคกันมาก ผักบุ้งที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทคือ ผักบุ้งไทย ซึ่งมีดอกสีม่วงอ่อน ลำต้นสีเขียวหรือม่วงอ่อน ใบสีเขียวเข้ม ก้านใบมีสีม่วง และผักบุ้งจีน ลักษณะใบมีสีเขียว ก้านสีเหลืองหรือขาว ก้านดอกและดอกมีสีขาว

ผักบุ้งจีนเป็นผักที่อยู่ในตระกูล Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk เป็นผักพื้นเมืองของทวีปเอเชียเขตร้อน แอฟริกา และออสเตรเลีย แล้วแพร่กระจายไปยังเขตร้อนต่าง ๆ ของโลก ผักบุ้งจีนเป็นผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น โดยนำมาใช้ประกอบอาหารได้หลายอย่าง กว้างขวาง เช่น ผัดผักบุ้งไฟแดง รับประทานสด แกง ก๋วยเตี๋ยว หรือใช้เป็นผักจิ้มน้ำพริกก็ได้ จึงนิยมปลูกผักบุ้งจีนเป็นการค้าอย่างแพร่หลาย ทั้งการปลูกเพื่อบริโภคสด และการผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งปัจจุบันผักบุ้งจีนได้พัฒนา เป็นพืชส่งออกที่มีความสำคัญ โดยการส่งออกทั้งในรูปผักสดและเมล็ดพันธุ์ ผักบุ้งจีนเป็นพืชผักที่นิยมรับประทานกันมาก เนื่องจากผักบุ้งจีนมีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะวิตามินเอซึ่งช่วยบำรุงสายตาได้เป็นอย่างดี มีปริมาณสูงถึง 9,550 หน่วยสากล ในส่วนที่รับประทานสดได้ 100 กรัม หรือมีวิตามินเอสูงถึง 6,750 หน่วยสากล ในส่วนที่รับประทานได้เมื่อสุกแล้ว 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และ

วิตามินซีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกด้วย ประกอบกับผักบุ้งจีนเป็นผักที่ปลูกง่าย โตเร็ว สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทุกฤดูกาล และอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย

แหล่งปลูกผักบุ้งจีนเพื่อบริโภคที่สำคัญได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี นครปฐม ปทุมธานี ราชบุรี นครนายก พิจิตร นครสวรรค์ นครราชสีมา อุบลราชธานี ขอนแก่น และสงขลา สำหรับแหล่งปลูกเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนเป็นการค้าที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ลพบุรี สิงห์บุรี และเชียงใหม่

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก รากของผักบุ้งจีนเป็นระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกทางด้านข้างของรากแก้วและยังสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้นได้ด้วย โดยมักจะเกิดตามข้อที่อยู่บริเวณโคนเถา

ลำต้น ผักบุ้งจีนเป็นไม้ล้มลุก ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ในระยะต่อไปลำต้นจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ ลำต้นมีสีเขียวและปล้องข้างในกลวง รากจะเกิดที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อมักมีตาแตกออกมา ทั้งตาใบและตาดอก โดยตาใบจะอยู่ด้านบนนอก ส่วนตาดอกจะอยู่ด้านใน

ใบ ใบผักบุ้งจีนเป็นใบเดี่ยว รูปร่างคล้ายหอก โคนใบกว้างแล้วค่อยๆ เรียวเล็กไปตอนปลาย ปลายใบแหลมที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ใบมีความยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 3-8 เซนติเมตร สำหรับการจัดเรียงของใบเป็นแบบเรียงสลับ ข้อหนึ่งจะมีใบเพียงใบเดียว

ดอกและช่อดอก ดอกผักบุ้งจีนเป็นดอกสมบูรณ์ คือมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 อัน กลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย ด้านนอกมีสีขาวด้านในมีสีม่วง การจัดเรียงของกลีบดอกขณะที่ดอกยังตูมอยู่จะซ้อนกันเป็นใบจักร เมื่อบานจะมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ 5 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน รังไข่ตั้งอยู่เหนือบริเวณที่เกิดของกลีบดอกและเกสรตัวผู้ รังไข่มี 4 ห้อง ไข่ติดอยู่กับแกนกลางของรังไข่ ใน 1 ห้องของรังไข่อาจมี 1 เมล็ดหรือมากกว่าก็ได้ ในฤดูวันสั้นจะออกดอกมีฝักและเมล็ด ในฤดูวันยาวจะเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ

การผสมเกสรของผักบุ้งจีนเป็นแบบผสมตัวเอง และมีการผสมข้ามดอกบ้างเนื่องจากลมและแมลง ดอกผักบุ้งจีนจะเริ่มบานในเวลาเช้า ละอองเกสรตัวผู้และยอดเกสรตัวเมียพร้อมที่จะผสมในเวลา 10.00-15.00 น. ระยะเวลาหลังผสมจนผสมติดประมาณ 3-4 วัน และจากผสมติดจนเมล็ดแก่ประมาณ 40-50 วัน

ผล เป็นผลเดี่ยว รูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่ออายุ ประมาณ 30 วันหลังดอกบาน มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.42 เซนติเมตร หลังจากนั้นจะมีขนาดเล็กลง ลักษณะผิวภายนอกจะเหี่ยวย่น ขรุขระ ไม่แตก เมื่อแห้งสีของผลเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ใน 1 ผลมีเมล็ด 4-5 เมล็ด

เมล็ด เมล็ดผักบุ้งจีนมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมฐานมน มีสีน้ำตาล เปลือกหุ้มเมล็ดมีสี 3 ระดับ คือ สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และสีน้ำตาลดำ มีขนาดเล็ก ความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 0.4 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร ไม่มีอาหารสะสมในเอนโดสเปิร์ม แต่มีอาหารสะสมในใบเลี้ยงซึ่งติดอยู่กับ เอมบริโอเพื่อคอยทำหน้าที่ให้อาหาร ผักบุ้งจีนเป็นพืชที่มีอัตราการพักตัวสูง โดยจะพักตัวในลักษณะของเมล็ดแข็งหรือที่เรียกว่าเมล็ดหิน เมล็ดที่มีสีเข้มกว่า จะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแข็งสูงกว่า

ลักษณะการเจริญเติบโต

ผักบุ้งจีนนิยมขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเมล็ด หลังจากเพาะเมล็ด ประมาณ 48 ชั่วโมง ก็จะเริ่มงอก ระยะแรกของการเจริญเติบโตจะให้ลำต้น ที่ตั้งตรง หลังจากงอกประมาณ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบ ซึ่งมีลักษณะปลายใบเป็นแฉกไม่เหมือนกับใบจริงเมื่อต้นโต ในระยะ 2 สัปดาห์แรก จะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอายุประมาณ 30-45 วันการเจริญเติบโตก็จะเปลี่ยนไปในทางทอดยอดและแตกกอ สำหรับผักบุ้งจีน ที่หว่านด้วยเมล็ดการแตกกอจะมีน้อยมาก การแตกกอเป็นการแตกหน่อออกมาจากตาที่อยู่บริเวณโคนต้นที่ติดกับราก มีตาอยู่รอบต้น 3-5 ตา เมื่อแตกกอออกมาแล้วจะเจริญทอดยอดยาวออกไปเป็นลำต้น มีข้อมีปล้องและทุกข้อจะให้ดอกและใบ อายุประมาณ 120-130 วันหลังจากหยอดเมล็ด หรือ 90 วัน หลังจากดำลงในแปลงเมล็ดก็จะแก่พอที่จะเก็บเกี่ยวได้

พันธุ์ผักบุ้งจีน

พันธุ์ผักบุ้งจีนที่ปลูกในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์การค้า ทั้งที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศ ไทยและนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ไต้หวัน ซึ่งมีการตั้งชื่อพันธุ์ตามบริษัทต่าง ๆ กันไป เมล็ดพันธุ์ ผักบุ้งจีนในประเทศที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยพืชสวน พิจิตร คือ พันธุ์พิจิตร 1 ซึ่งมีลักษณะดีเด่น คือ ผลผลิตโดยเฉลี่ย 3,415 กิโลกรัมต่อไร่ มีใบแคบเรียวยาว ตรงกับความต้องการของตลาดและมีลักษณะใบชูตั้ง ลำต้นสีเขียวอ่อน ไม่มีการทอดยอดก่อนการเก็บเกี่ยว ไม่มีการแตกแขนงที่โคนต้น ลักษณะลำต้นสม่ำเสมอ ทำให้สะดวกและประหยัดแรงงาน ในการตัดแต่งใบและแขนงที่โคนต้นก่อนนำส่งตลาด

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยอนุภาคเงินสู่สิ่งแวดล้อม มีดังนี้

ในปี ค.ศ.2010 Ralf และคณะ (Ralf, K.; et al. 2010: 2900-2905) ได้ศึกษาการปลดปล่อยของอนุภาคเงินนาโน (Ag-NP) จากสีทาอาคารสู่สิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยได้ทำการทาสีที่มีส่วนผสมของอนุภาคเงินนาโนบนแผ่นไม้ที่ติดตั้งอยู่บนบ้านตัวอย่าง และให้ได้สัมผัสกับสภาพอากาศโดยรอบ โดยมีการเก็บตัวอย่างคือน้ำชะล้างของน้ำฝนที่มีต่อสี นำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อวิเคราะห์ความทนทานของอนุภาคเงินนาโนต่อการชะของน้ำฝน พบว่าในช่วงเริ่มต้นการชะล้างที่มีความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนสูงสุดอยู่ที่ 145 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากระยะเวลาหนึ่งปีอนุภาคเงินนาโนได้รับการปลดปล่อยต่อสิ่งแวดล้อม 30% ของ AgNPs อนุภาคส่วนใหญ่ <15 นาโนเมตร และมีการปลดปล่อยออกมาเป็นคอลลอยด์คอมโพสิตที่ติดมากับสารอินทรีย์ในสี ผลกล้องจุลทรรศน์ระบุว่า Ag-NP จะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนรูปให้มีพิษน้อยเช่น Ag_2S

ต่อมาในปี ค.ศ.2012 Danielle และคณะ (Danielle, C.; et al. 2012: 267-272) ได้ศึกษาการปลดปล่อยของอนุภาคเงินนาโนจากผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่างๆ โดยศึกษาเงินทั้ง 3 ชนิด คือ อนุภาคเงินนาโนที่เป็นคอลลอยด์ อนุภาคเงินนาโนมาตรฐาน และไอออนเงิน โดยผลจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยจากผลิตภัณฑ์ถึง 82-99% ของเงินทั้งหมด โดยใช้เทคนิค inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) ในการวัดปริมาณของเงินทั้งหมด การคำนวณของการสะสมทางชีวภาพและปัจจัยการถ่ายโอนทางโภชนาการชี้ให้เห็นเงินสะสมในสิ่งมีชีวิตโดยโอนผ่านทางโภชนาการ เงินถูกดูดซับจากน้ำทะเลเข้าไปในแผ่นชีวะตะกอนและทราย จากนั้นจะผ่านโอนจากทรายลงไปในหอย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินที่มีต่อพืชและสิ่งมีชีวิต มีดังนี้

ในปี ค.ศ. 2011 Julia และคณะ (Julia, F.; et al. 2011: 961-966) ได้ศึกษาอนุภาคเงินนาโนที่มีผลต่อแบคทีเรียธรรมชาติ โดยศึกษาจากไบโอฟิล์ม ผู้วิจัยได้นำไบโอฟิล์มมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จากนั้นนำมาสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0-2000 ไมโครกรัมต่อลิตร และเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง ไบโอฟิล์มจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แล้วปริมาณที่ลดลงนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโน

ในปี ค.ศ. 2012 Woo-Mi Lee และคณะ (Woo-Mi Lee; et al. 2012: 491-499) ได้ศึกษาพิษของ AgNPs ในพืชสำคัญ *Phaseolus radiatus* และ *Sorghum bicolor* โดยผลกระทบของความเข้มข้นที่แตกต่างกันของอนุภาคเงินกับความเป็นพิษและการดูดซึมนั้นจะพิจารณาทั้งในอาหาร

เพาะเลี้ยงแบบวุ้นและดิน ลักษณะของ AgNPs ถูกศึกษาโดยใช้ TEM-energy-dispersive spectroscopy ผลที่ได้พบว่าอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดตั้งแต่ 5-25 นาโนเมตรในคอลลอยด์ จากนั้นเตรียมความเข้มข้นของ AgNPs ในช่วง 0-40 มิลลิกรัม / ลิตรในอาหารเลี้ยงเชื้อ และ 0-2000 มิลลิกรัม / กิโลกรัมในดิน ผลแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนจะส่งผลกระทบต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตและค่า EC50s ของพืชทั้งสองชนิด โดยคำนวณได้เป็น 13 และ 26 มิลลิกรัม / ลิตร ตามลำดับ การสะสมของ AgNPs ถูกวิเคราะห์โดยใช้ inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) การดูดซึมของ AgNPs ในดินและผลไอออนเงินที่ละลายในน้ำยังแตกต่างกันเมื่อเทียบกับวุ้น ดังนั้นผลนี้ได้รับแสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษที่ลดลงของ AgNPs กับพืชในดิน

ในปี ค.ศ.2013 Haifeng และคณะ (Haifeng, Q.; et al. 2013: 1947-1955) ได้ศึกษาเปรียบเทียบพิษของ AgNPs และ Ag^+ ที่ส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของ *Arabidopsis thaliana* จากผลการศึกษา AgNPs ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออาการของเมล็ด แต่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบในการยับยั้งความยาวของรากมากกว่า Ag^+ ผลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ AgNPs แสดงให้เห็นว่ามีการสะสมในใบกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างเซลล์ และทำให้คลอโรพิลล์ลดลงซึ่งเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และเมื่อการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่น้อยของ Ag^+ ที่ถูกดูดกลืนโดยต้นกล้าแสดงให้เห็นว่าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ การเปลี่ยนแปลงความสมดุลระหว่างอนุมูลอิสระและระบบของสารต้านอนุมูลอิสระยังได้รับผลกระทบสภาวะสมดุลของน้ำและอื่น ๆ ข้อมูลทั้งหมดจากทางสรีรวิทยา โครงสร้างขนาดเล็ก และ ระดับโมเลกุลชี้ให้เห็นว่า AgNPs เป็นพิษมากกว่า Ag^+

ในปี ค.ศ.2013 Fateme และคณะ (Fateme, M.; et al. 2013: 48-54) ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อต้นข้าว โดยได้ศึกษาจากการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นข้าว ผู้วิจัยได้ใช้ความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนที่ 30 และ 60 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำต้นข้าวไปสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนเป็นเวลา 0,7,14 และ 21 วัน ผลแสดงให้เห็นว่า AgNPs ที่ความเข้มข้น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรจะส่งผลกระทบต่ออาการเร่งการเจริญเติบโตของราก และ 60 ไมโครกรัม / มิลลิลิตร จะสามารถจำกัดความยาวของรากได้ และที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในแขนงรากและน้ำหนักของรากข้าว

ในปี ค.ศ.2013 Candida และคณะ (Candida, V.; et al. 2013) ได้ศึกษาการตอบสนองของพืชต่อ AgNPs และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอนุภาคเงินนาโนและไอออนเงินที่มีต่อ *Eruca sativa* ในการตอบสนองของพืชนั้นแสดงให้เห็นจากการเพิ่มขึ้นของความยาวของรากเมื่อต้นกล้าได้

สัมผัสอนุภาคเงินนาโนและไอออนเงินที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และนอกจากนี้ AgNPs ยังส่งผลต่อปริมาณโปรตีนและระบบดูดซึมอาหารของต้นพืชอีกด้วย

ในปี ค.ศ.2014 Pakvirun และคณะ (Pakvirun, Th.; et al. 2014: 302-309) ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าว โดยผู้วิจัยได้ศึกษาขนาดความแตกต่างของความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนขนาดต่างๆต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว ผลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเข้มข้นส่งผลต่อการลดลงของการเจริญเติบโตของข้าว และอนุภาคเงินนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นาโนเมตรนั้น สามารถถูกเคลื่อนย้ายไปยังลำต้นของต้นข้าวได้ ผลกระทบของ AgNPs เห็นได้จากความผิดปกติของเซลล์ใบ เมื่อเมล็ดข้าวได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 10 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในระหว่างการออกของเมล็ด ผลลัพธ์เหล่านี้เสริมสร้างความเข้าใจของความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อมในรูปแบบที่เกี่ยวกับวัสดุนาโน

ในปี ค.ศ.2014 Tania และคณะ (Tania, G.; et al. 2014: 208-214) ได้ศึกษาผลของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อ mussel *Mytilus galloprovincialis* โดยให้ mussel *Mytilus galloprovincialis* ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนและไอออนเงินที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 วันและแสดงการบ่งชี้ทางชีวภาพของความเครียดออกซิเดชันและการสะสมโลหะ โดยการพิจารณาจากผลสะสมแสดงให้เห็นว่าเงินทั้งสองชนิดสะสมทั้งในเหงือกและต่อมย่อยอาหาร เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase) ถูกแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาที่แตกต่างกันในการต้านอนุมูลอิสระทั้งเหงือกและต่อมย่อยอาหาร

ในปี ค.ศ. 2014 Prakash และคณะ (Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและระดับโมเลกุลของอนุภาคเงินนาโน (AgNPs) ที่ส่งผลในข้าว (*Oryza sativa* L.) โดยให้ต้นกล้าข้าวที่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (0, 0.2, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ ผลแสดงให้เห็นว่าการยืดตัวรากและน้ำหนักสดของราก รวมถึงคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและแคโรทีนอยด์จะลดลง การสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเกิดการสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

และในปี ค.ศ. 2015 Jyothsna และคณะ (Jyothsna, Y.; et al. 2015: 92-102) ได้ศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคเงินนาโนเปรียบเทียบกับเงินไนเตรท (AgNO_3) ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองในการให้อาหารของแมลงทั้งสองกลุ่ม โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาจากสรีรวิทยา โครงสร้างขนาดเล็ก และระดับเอนไซม์ของแมลง การให้อาหารแมลงด้วยใบที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินนาโนและเงินไนเตรทที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ระดับของการสะสมมีความสอดคล้องกับความเข้มข้นที่สูงขึ้น การก่อดวงของไอออนเงินและอนุภาคเงินในลำไ้น้อยกว่าในหนังกำพร้าว ปริมาณของส่วนที่เกิน

จะถูกขับออกทางอุจจาระ ลักษณะเฉพาะของเซลล์ลำไส้แมลงถูกศึกษาโดยใช้เทคนิคการส่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (TEM) พบอนุภาคเงินนาโนและเงินไนเตรทในเซลล์ของลำไส้และกระเพาะอาหาร กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ล้างพิษที่มีการเปลี่ยนแปลงในแมลงที่กินใบพืชที่เคลือบด้วยเงินทั้งสองชนิดนั้น แสดงให้เห็นความแตกต่างในแต่ละกิจกรรมของเอนไซม์ล้างพิษ



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
2. การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน
3. การเพาะปลูกพืช
 - 3.1 การเตรียมอาหารสำหรับเพาะปลูกพืช
 - 3.2 การเพาะปลูกพืช
 - 3.3 การให้ต้นอ่อนพืชสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโน
4. การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีต่อต้นพืช
5. การหาปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินนาโนในต้นพืช

1. เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Perkin Elmer
- เครื่อง UV – VIS spectrophotometer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV – 2401PC
- เครื่อง *Transmission electron microscopy (TEM)* ยี่ห้อ Philips รุ่น TECNAI 20
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 827 pH Lab จากบริษัท Metrohm Autolab
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร จากบริษัท Cowie
- เตาไฟฟ้า (Hot plate) จากบริษัท Fisher scientific
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AB104-S จากบริษัท Mettler toledo

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- กรดไนตริก (Nitric acid; HNO_3) จากบริษัท QReC
- เงินไนเตรต (Silver nitrate ; AgNO_3) จากบริษัท Fisher Scientific
- โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride ; KCl) จากบริษัท Fisher Scientific
- แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate ; CaCO_3) จากบริษัท Carlo erba

- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate ; KH_2PO_4) จาก

บริษัท Carlo erba

- แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulphate hydrated ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท

UNIVAR

- เหล็กไนเตรต (Ferric Nitrate; $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) จากบริษัท LOBA Chemie
- กรดบอริก (Boric acid; H_3BO_3)
- แมงกานีสคลอไรด์ (Manganous chloride ; MnCl_2) จากบริษัท Carlo erba
- ซิงค์ซัลเฟต (Zinc sulfate ; ZnSO_4) จากบริษัท Fluka
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate ; CuSO_4) จากบริษัท Carlo erba
- โซเดียมโมลิบเดต (Sodium Molybdate ; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Carlo erba
- น้ำผึ้งแท้ธรรมชาติ จากบริษัท THAI HONEY
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide ; NaOH) จากบริษัท Carlo erba
- สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรต (Silver Standard for atomic absorption) จากบริษัท

Carlo erba

- เมล็ดข้าวหอมมะลิ (KDML105)
- เมล็ดข้าวเหนียว กข 6 (RD6)
- เมล็ดผักบุ้งจีน

2. การสังเคราะห์อนุภาคเงิน

วิธีการสังเคราะห์ (ดัดแปลงมาจาก : Philip, D.; 2010 :1078-1081.)

1. นำน้ำผึ้งแท้ธรรมชาติ 20 กรัมมาผสมกับน้ำปราศจากไอออน 80 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายเงินไนเตรดความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์
3. จากนั้นนำน้ำผึ้งแท้ธรรมชาติที่เตรียมในขั้นตอนที่ 1 มา 15 มิลลิลิตร และ สารละลายเงินไนเตรดความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
4. ปรับ pH ที่ 8.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

5. ศึกษาสเปกตรัมของอนุภาคเงินนาโนเบื้องต้นโดยใช้เทคนิค UV – VIS spectrophotometry ที่ความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร

6. วิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคเงินนาโนโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

3. การเพาะปลูกพืช

3.1 การเตรียมอาหารเพาะปลูกพืช (ดัดแปลงมาจาก: Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950:1-32. และ Camille, L.; et al. 2012: 197-208.)

อาหารสำหรับข้าวสาลี Hoagland solution มีวิธีเตรียมดังนี้

3.1.1. ผสมส่วนผสมของอาหารสำหรับเพาะปลูกพืช

- สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- สารละลายแคลเซียมไนเตรตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- สารละลายโพแทสเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
- สารละลายเฟอริกไนเตรตความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- สารละลาย Micronutrient stock ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

โดยสารละลาย Micronutrient stock ปริมาตร 1 ลิตร มีส่วนผสมดังนี้

- กรดบอริก 2.86 กรัม
- แมงกานีสคลอไรด์ 1.81 กรัม
- ซิงค์ซัลเฟต 0.22 กรัม
- คอปเปอร์ซัลเฟต 0.08 กรัม
- โซเดียมโมลิบเดต 0.02 กรัม

3.1.2. ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับ pH ที่ 5.5

3.2 การเพาะปลูกพืช

3.2.1 วิธีการปลูกข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข 6 มีขั้นตอนดังนี้ (ดัดแปลง

มาจาก: Camille, L.; et al. 2012: 197-208.)

คัดเลือกเมล็ดข้าวจำนวน 30 เมล็ด นำไปทำความสะอาดใน 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นำเมล็ดที่ทำความสะอาดแล้วไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดข้าวไปปลูกในอาหารเพาะปลูก (Hoagland solution) เป็นเวลา 15 วัน เมล็ดจะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน จึงนำไปสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนต่อไป

3.2.2 วิธีการปลูกผักบุ้งจีนมีขั้นตอนดังนี้ (ดัดแปลงมาจาก: Kai-Sung Wang; et al.

2008: 666-672.)

คัดเลือกเมล็ดผักบุ้งจีนจำนวน 10 เมล็ด นำไปทำความสะอาดใน 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นำเมล็ดที่ทำความสะอาดแล้วไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดผักบุ้งไปปลูกในอาหารเพาะปลูก (Hoagland solution) เป็นเวลา 15 วัน เมล็ดจะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน จึงนำไปสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนต่อไป

3.3 การให้ต้นอ่อนข้าวสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโน

นำต้นอ่อนพืชมาทำการแช่ด้วยสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในภาชนะพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 7.36 เซนติเมตร สูง 7.95 เซนติเมตร เป็นเวลา 7 วัน

4. การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีต่อต้นพืช

4.1 กระบวนการย่อยตัวอย่างแบบเปียก (Wet digestion) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็น 3 กระบวนการคือ

4.1.1 กระบวนการย่อยที่ 1 (D1) (ดัดแปลงมาจาก: Julia, F.; et al. 2011: 961-966) ซึ่งใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลาย โดยมีขั้นตอนคือ นำรากและยอดของพืชไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยจะนำส่วนของรากทั้งหมด และส่วนของยอดที่ห่างจากรากขึ้นไป 2 เซนติเมตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ โดยมีตัวควบคุม คือ สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300

ไม่โครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ โดยการศึกษา 3 ซ้ำ

4.1.2 กระบวนการย่อยที่ 2 (D2) (ดัดแปลงมาจาก: Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) ซึ่งใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลาย โดยมีขั้นตอนคือ นำรากและยอดของพืชไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยจะนำส่วนของรากทั้งหมด และส่วนของยอดที่ห่างจากรากขึ้นไป 2 เซนติเมตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ โดยมีตัวควบคุมคือ สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ โดยการศึกษา 3 ซ้ำ

4.1.3 กระบวนการย่อยที่ 3 (D3) (ดัดแปลงมาจาก: Krishnaraj, C.; et al. 2012: 651-658) ซึ่งใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริกเป็นตัวละลาย โดยมีขั้นตอนคือ นำรากและยอดของพืชไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยจะนำส่วนของรากทั้งหมด และส่วนของยอดที่ห่างจากรากขึ้นไป 2 เซนติเมตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดผสมคือกรดไนตริกผสมกับกรดเปอร์คลอริกอัตราส่วนที่ 25:10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์ โดยมีตัวควบคุมคือ สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นใส่กรดไนตริกผสมกับกรดเปอร์คลอริกอัตราส่วนที่ 25:10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและใส่ 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร จึงนำไปวิเคราะห์โดยการศึกษา 3 ซ้ำ

ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ได้มีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเงินที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายเงินในเตาด้วยเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) และนำมาคำนวณหาร้อยละการคืนกลับ

4.2 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

4.2.1 สภาพที่ใช้ในการทดลอง

(PERKIN ELMER AA WinLab Analyst V.3.0 Instrument control software)

ตาราง 1 สภาพของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

ธาตุที่วิเคราะห์	Ag
Lamp setting wavelength	328.1 nm
Slit width	0.7 nm
Lamp current	15
Air : Argon	
Reading time	0.5 sec
Energy	60

4.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใน 5% HNO_3
- สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 12.5 ไมโครลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3
- สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 32 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 32 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3
- สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 16 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 32 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3
- สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 8 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายมาตรฐานเงินในเตรตความเข้มข้น 16 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3

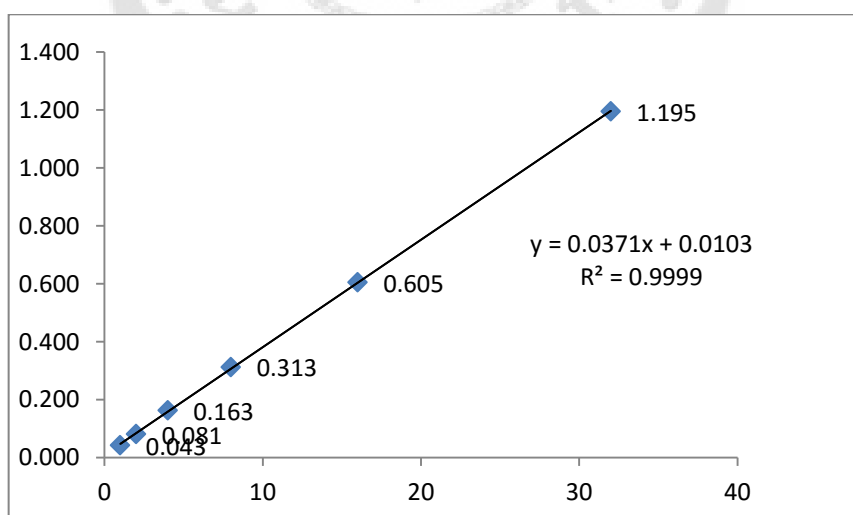
- สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 4 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 8 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 4 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3

- สารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานเงินไนเตรตความเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 5% HNO_3

4.2.3 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

การหาความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของเงินไนเตรต (แกน X) กับ ค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) ดังภาพประกอบ โดยมีตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 0.0371X + 0.0103$ และมีค่า Coefficient of determination เท่ากับ $R^2 = 0.9999$ (Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง, X คือ ความเข้มข้น) จากนั้นแทนค่าการดูดกลืนแสง เพื่อหาความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโน (ppb)



ภาพประกอบ 11 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของเงินไนเตรตกับค่าการดูดกลืนแสง

5. การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้ายและผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

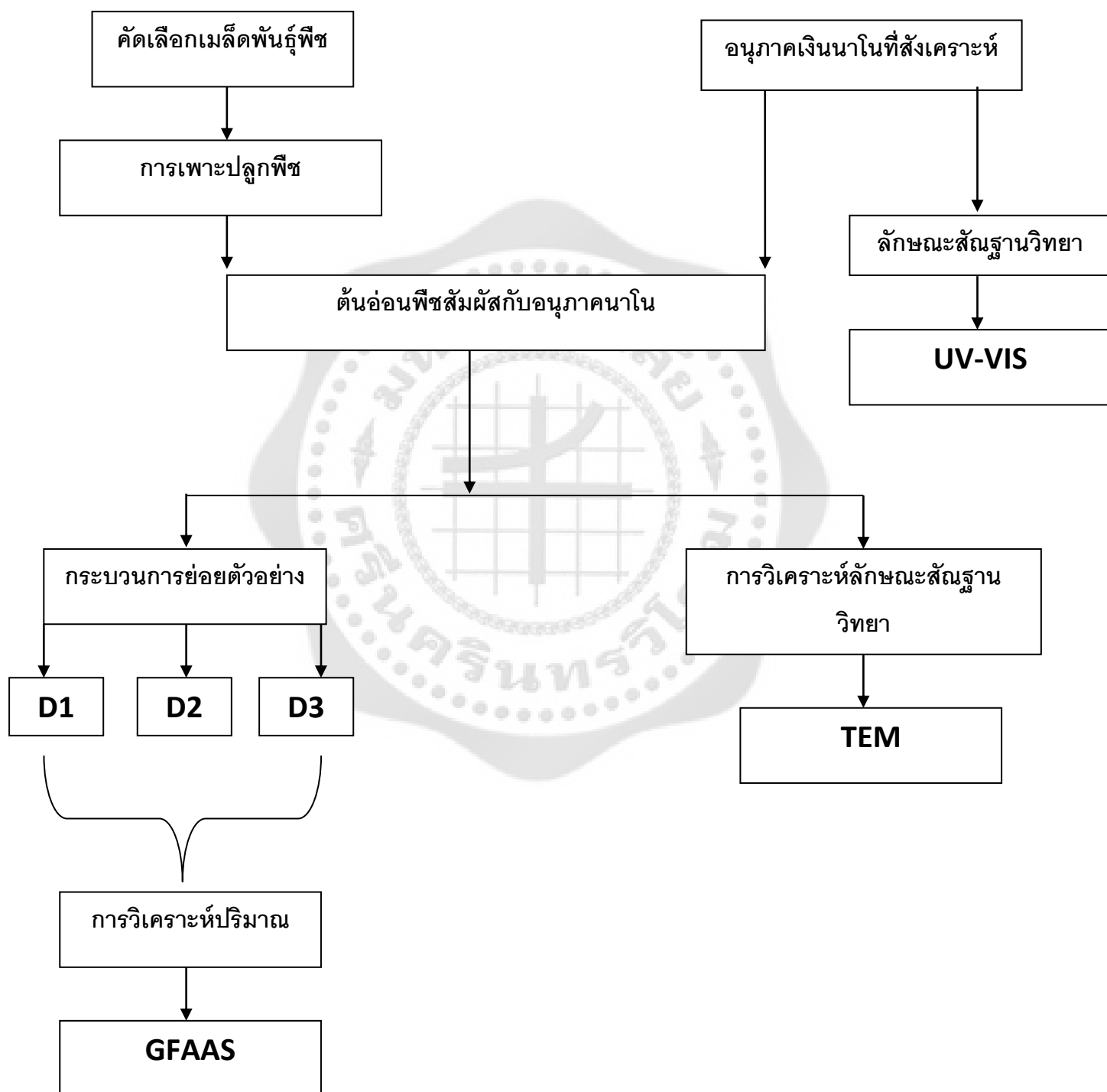
5.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ

ในการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคเงินนาโนต้องมีกระบวนการย่อยตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ มีขั้นตอนคือ นำรากและยอดไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำส่วนราก และยอดของพืชที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนักใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร โดยจะใช้ส่วนของรากทั้งหมด และส่วนของยอดที่ห่างจากรากขึ้นไป 2 เซนติเมตร บันทึกรับน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการย่อยด้วยวิธีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกในข้อ 4 และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

5.2 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Transmission electron microscopy (TEM)

ส่วนของรากของต้นอ่อนพืชถูกนำมาหั่นเป็นชิ้นบาง และนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยใช้เทคนิค Transmission electron microscopy (TEM) ยี่ห้อ Philips รุ่น TECNAI 20 ที่ ศูนย์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาพรวมขั้นตอนการทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอลำดับของผลการทดลองดังนี้

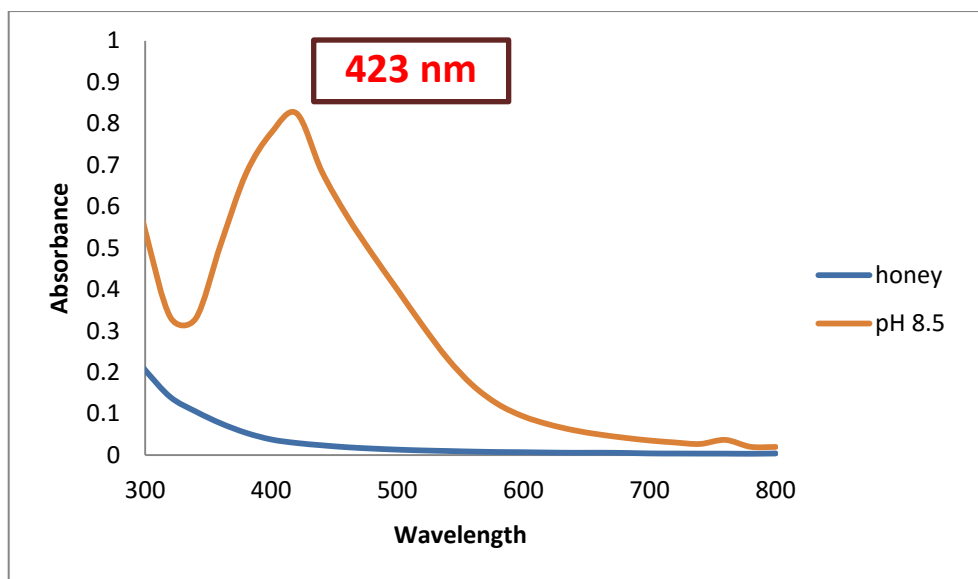
1. ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน
2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion) ของอนุภาคเงินนาโนที่มีตัวอย่าง
3. ผลการศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช
4. ผลการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

จากการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากน้ำผึ้ง (Philip, D.; 2010 :1078-1081.) โดยการใช้น้ำตาลจากน้ำผึ้งเป็นตัวรีดิวซ์เปลี่ยนจาก Ag^+ เป็น Ag^0 นอกจากนี้โปรตีน และเอนไซม์ ในน้ำผึ้งยังมีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน โดยมีสมการดังนี้

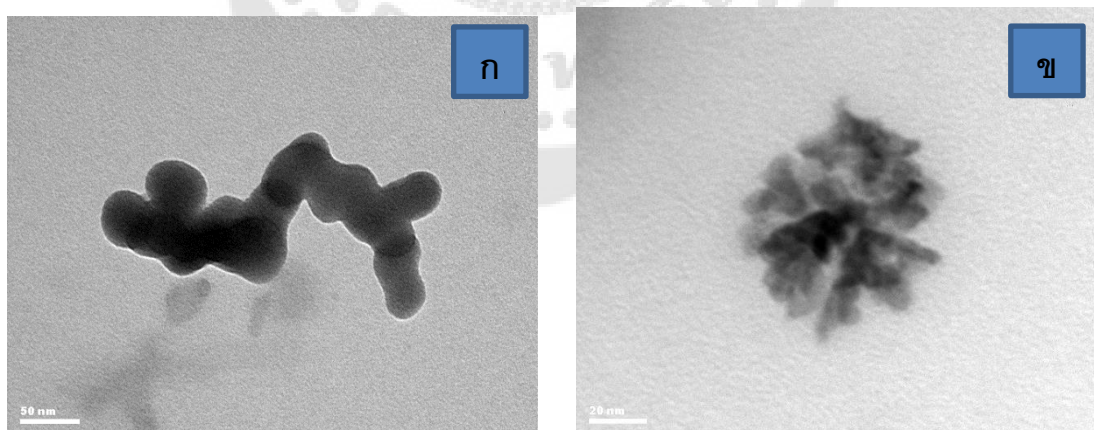


จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาดั่งนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากน้ำผึ้ง ซึ่งจากผลการสังเคราะห์ได้ทำศึกษาขนาดของอนุภาคเบื้องต้นโดยใช้เทคนิค UV-Vis spectrophotometry ซึ่งอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้น มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 423 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 50 นาโนเมตร (Paramelle, R.; et al. 2014: 1-24) ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 UV-Visible spectra ของน้ำผึ้งและอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์

จากนั้นได้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวและขนาดโดยใช้เทคนิค Transmission electron microscopy ยี่ห้อ Philips รุ่น TECNAI 20 ที่ห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 20-50 นาโนเมตร ซึ่งเห็นได้ว่าอนุภาคเงินนาโนเกิดการรวมตัวกัน ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13ก-ข ภาพ Transmission electron microscopy ของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์, ภาพประกอบ 13ก แสดงขนาดของอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่า 50 นาโนเมตร, ภาพประกอบ 13ข แสดงขนาดของอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่า 20 นาโนเมตร

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion) ของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่าง

จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในพืช เช่น การศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 (Pakvirun, Th.; et al. 2014: 302-309) ได้มีการเตรียมตัวอย่างในการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในต้นข้าวหอมมะลิ 105 โดยกระบวนการย่อยแบบไมโครเวฟ (Microwave digestion) แต่เนื่องจากการใช้ไมโครเวฟเป็นกระบวนการย่อยที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง

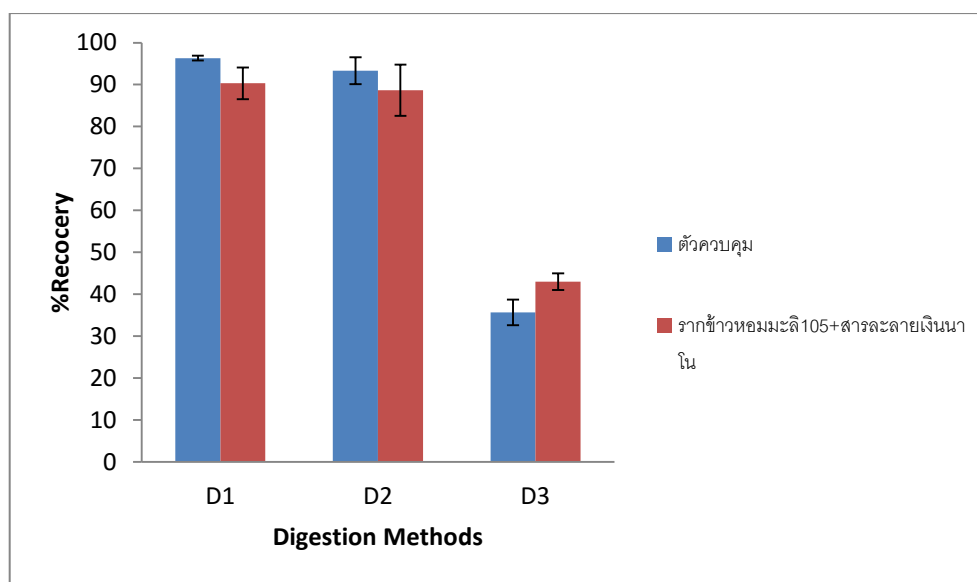
ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษากระบวนการย่อยแบบเปียก (Wet digestion) ในการเตรียมตัวอย่างโดยกระบวนการย่อยแบบเปียกมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ซึ่งแตกต่างกันในการใช้กรดในการละลาย แตกต่างที่เวลา และแตกต่างที่อุณหภูมิ เช่น การใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลาย (D1) (Julia, F.; et al. 2011: 961-966) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นผู้วิจัยได้สนใจที่จะศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิในกระบวนการย่อย โดยกำหนดให้กรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย ผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นที่ 115 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมงเท่านั้น (D2) (Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) และผู้วิจัยยังมีการศึกษาความแตกต่างของการใช้กรดไตริก และกรดผสม ซึ่งในการใช้กรดผสมนี้ ผู้วิจัยได้สนใจที่จะใช้ซึ่งใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริก อัตราส่วน 25:10 เป็นตัวทำละลาย (D3) (Krishnaraj, C.; et al. 2012: 651-658) โดยกำหนดอุณหภูมิและเวลาไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาดั่งนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อยแบบเปียก (Wet digestion) ที่มีต่อรากและยอดของพืชทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน โดยตัวควบคุมคือสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยได้ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยจากจากร้อยละการคืนกลับของสารละลายอนุภาคเงินนาโน ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการคืนกลับ} = \frac{\text{ความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนหลังผ่านกระบวนการย่อย} \times 100\%}{\text{ความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนผ่านกระบวนการย่อย}}$$

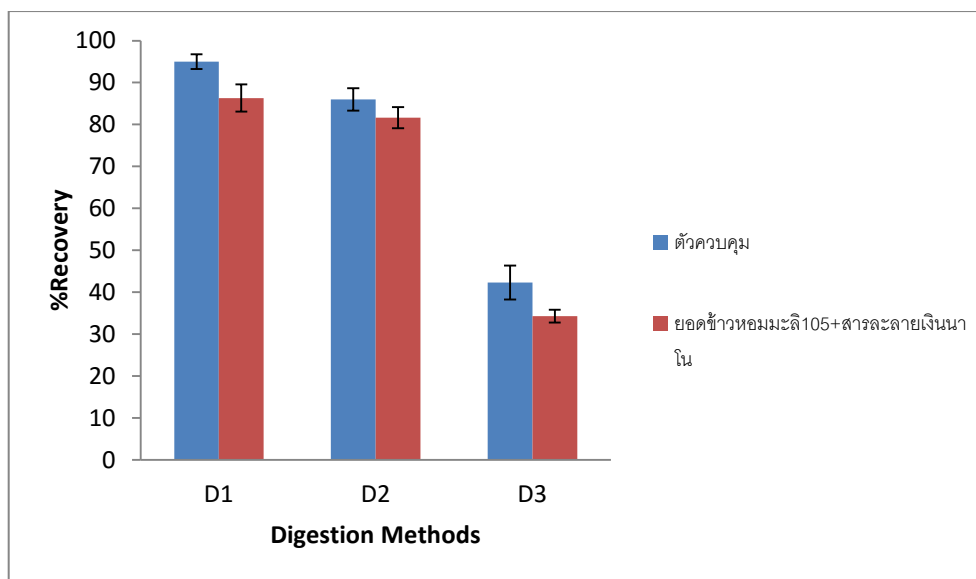
2.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 โดยเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) โดยผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวหอมมะลิ 105 ภาพประกอบ 14 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 96.333 ± 0.577 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างรากข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละ

การคืนกลับคือ 90.333 ± 3.785 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 93.333 ± 3.215 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างรากข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละการคืนกลับคือ 88.667 ± 6.110 และกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 35.667 ± 3.055 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างรากข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละการคืนกลับคือ 43.000 ± 2.000



ภาพประกอบ 14 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวหอมมะลิ 105

ผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดของข้าวหอมมะลิ 105 ภาพประกอบ 15 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 95.000 ± 1.732 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างยอดข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละการคืนกลับคือ 86.333 ± 3.214 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 86.000 ± 2.645 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างยอดข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละการคืนกลับคือ 81.667 ± 2.517 และกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 42.333 ± 4.014 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างยอดข้าวหอมมะลิ 105 มีร้อยละการคืนกลับคือ 34.333 ± 1.527

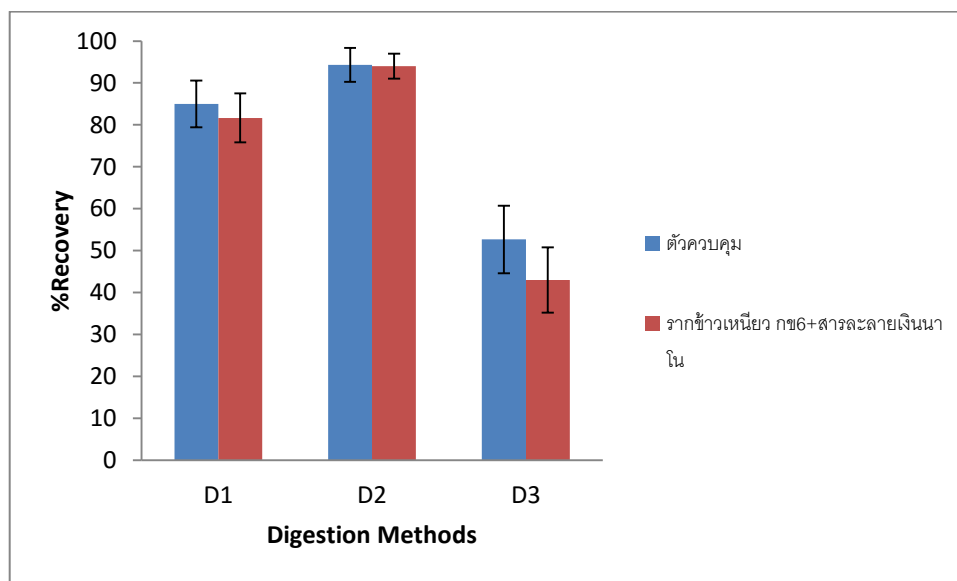


ภาพประกอบ 15 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดของข้าวหอมมะลิ 105

จะเห็นได้ว่าการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายในกระบวนการย่อยวิธี D1 และ D2 กับรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105 นั้นทำให้ได้ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนสูงกว่าการใช้กรดผสมของกระบวนการย่อยวิธี D3 ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการย่อยที่ดีกว่าการใช้กรดผสม เนื่องจากกรดไนตริกเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง และในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในกระบวนการย่อยวิธี D2 ซึ่งเปรียบเทียบกับกระบวนการย่อยวิธี D1 จะทำให้ใช้เวลาในการย่อยน้อยลงและได้ค่าร้อยละการคืนกลับที่สูง ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อยทั้ง 3 วิธี โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เลือกกระบวนการย่อยวิธี D2 เนื่องจากกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย และปลอดภัย

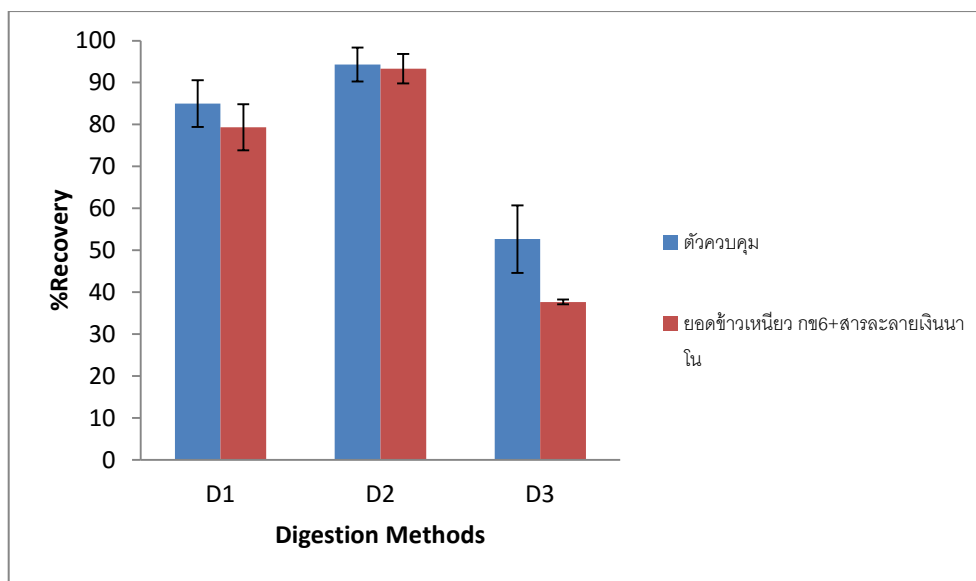
2.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6 โดยเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) โดยผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวเหนียว กข6 ภาพประกอบ 16 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 85.000 ± 5.568 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างรากข้าวเหนียว กข6 มีร้อยละการคืนกลับคือ 81.667 ± 5.859 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 94.333 ± 4.041 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างรากข้าวเหนียว กข6 มีร้อยละการคืนกลับคือ 94.000 ± 3.000 และกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ

52.667±8.083 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างรากข้าวเหนียว กข6 มีร้อยละการคืนกลับ คือ 43.000±7.810



ภาพประกอบ 16 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของข้าวเหนียว กข 6

ผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดของข้าวเหนียว กข 6 ภาพประกอบ 17 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 85.000±5.567 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างยอดข้าวเหนียว กข 6 มีร้อยละการคืนกลับคือ 81.667±5.859 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 94.333±4.041 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างยอดข้าวเหนียว กข 6 มีร้อยละการคืนกลับคือ 93.333±3.511 และกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 52.667±8.082 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างยอดข้าวเหนียว กข6 มีร้อยละการคืนกลับคือ 37.667±0.577

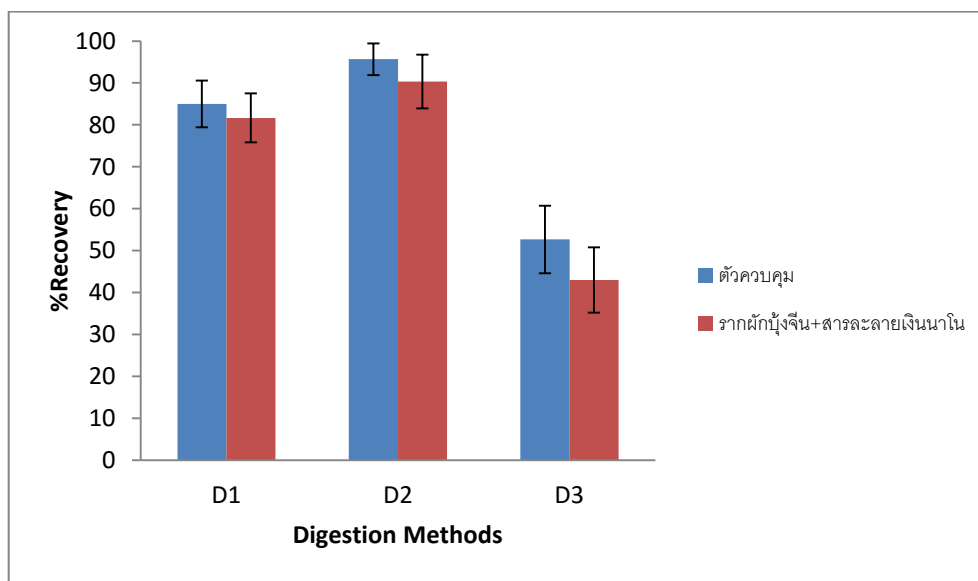


ภาพประกอบ 17 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดข้าวเหนียว กข 6

จะเห็นได้ว่าการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายในกระบวนการย่อยวิธี D1 และ D2 กับรากและยอดของข้าวเหนียว กข 6 นั้นทำให้ได้ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนสูงกว่าการใช้กรดผสมของกระบวนการย่อยวิธี D3 ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการย่อยที่ดีกว่าการใช้กรดผสม เนื่องจากกรดไนตริกเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง และในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในกระบวนการย่อยวิธี D2 ซึ่งเปรียบเทียบกับกระบวนการย่อยวิธี D1 จะทำให้ใช้เวลาในการย่อยน้อยลงและได้ค่าร้อยละการคืนกลับที่สูง ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อยทั้ง 3 วิธี โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เลือกกระบวนการย่อยวิธี D2 เนื่องจากกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย และปลอดภัย

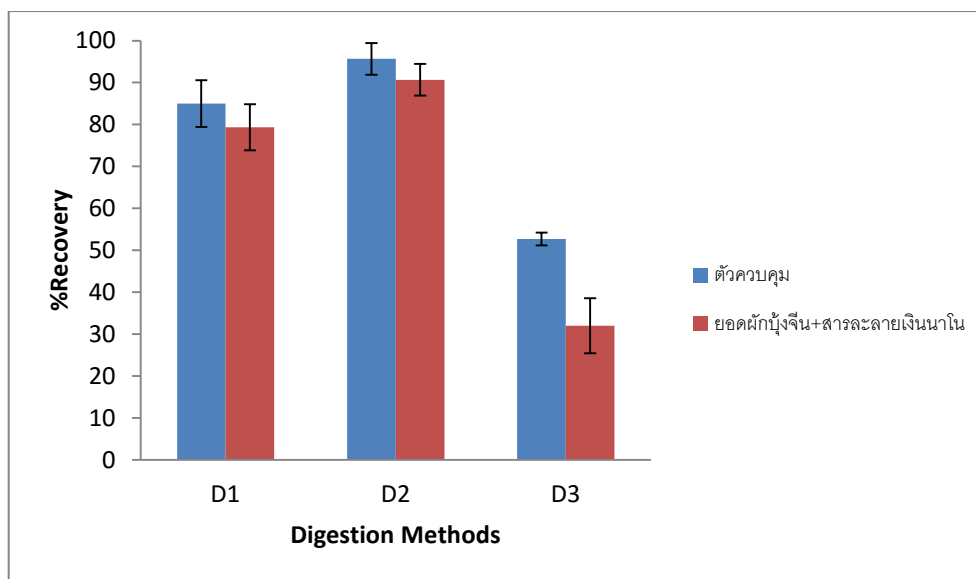
2.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน โดยเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) โดยผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของผักบุ้งจีน ภาพประกอบ 18 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 85.000 ± 5.567 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างรากผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 81.667 ± 5.859 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 96.000 ± 3.464 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างรากผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 90.333 ± 6.429 และ

กระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 53.333 ± 7.637 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างรากผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 43.000 ± 7.810



ภาพประกอบ 18 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของผักบุ้งจีน

ผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างยอดของผักบุ้งจีน ภาพประกอบ 19 คือ ในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 85.000 ± 5.567 และในกระบวนการย่อยวิธี D1 ของตัวอย่างยอดผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 79.333 ± 5.507 กระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 96.000 ± 3.464 และในกระบวนการย่อยวิธี D2 ของตัวอย่างยอดผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 90.667 ± 3.785 และกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวควบคุมมีร้อยละการคืนกลับคือ 53.000 ± 2.000 และในกระบวนการย่อยวิธี D3 ของตัวอย่างยอดผักบุ้งจีนมีร้อยละการคืนกลับคือ 32.000 ± 6.557



ภาพประกอบ 19 แผนภูมิแสดงผลของร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในกระบวนการย่อยแบบเปียกกับตัวอย่างรากของผักบั้งจีน

จะเห็นได้ว่าการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายในกระบวนการย่อยวิธี D1 และ D2 กับรากและยอดของผักบั้งจีนนั้น ทำให้ได้ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนสูงกว่าการใช้กรดผสมของกระบวนการย่อยวิธี D3 ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้กรดไนตริกเป็นตัวละลายจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการย่อยที่ดีกว่าการใช้กรดผสม เนื่องจากกรดไนตริกเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง และในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในกระบวนการย่อยวิธี D2 ซึ่งเปรียบเทียบกับกระบวนการย่อยวิธี D1 จะทำให้ใช้เวลาในการย่อยน้อยลงและได้ค่าร้อยละการคืนกลับที่สูง ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการย่อยทั้ง 3 วิธี โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้เลือกกระบวนการย่อยวิธี D2 เนื่องจากกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย และปลอดภัย

ตาราง 2 ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

ตัวอย่างพืช	กระบวนการย่อย	ร้อยละการคืนกลับตัว	ร้อยละการคืนกลับใน
	แบบเปียก	ควบคุม % ± SD	ตัวอย่าง % ± SD
ข้าวหอมมะลิ 105			
ราก	D1	96.333±0.577	90.333±3.785
	D2	93.333±3.215	88.667±6.110
	D3	35.667±3.055	43.000±2.000
ยอด	D1	95.000±1.732	86.333±3.214
	D2	86.000±2.645	81.667±2.517
	D3	42.333±4.014	34.333±1.527
ข้าวเหนียว กข 6			
ราก	D1	85.000±5.568	81.667±5.859
	D2	94.333±4.041	94.000±3.000
	D3	52.667±8.083	43.000±7.810
ยอด	D1	85.000±5.567	81.667±5.859
	D2	94.333±4.041	93.333±3.511
	D3	52.667±8.082	37.667±0.577
ผักบุ้งจีน			
ราก	D1	85.000±5.567	81.667±5.859
	D2	96.000±3.464	90.333±6.429
	D3	53.333±7.637	43.000±7.810

ตาราง 2 ต่อ

ตัวอย่างพืช	กระบวนการย่อย แบบเปียก	ร้อยละการคืนกลับตัว	ร้อยละการคืนกลับใน
		ควบคุม	ตัวอย่าง
		% ± SD	% ± SD
ยอด			
	D1	85.000±5.567	79.333±5.507
	D2	96.000±3.464	90.667±3.785
	D3	53.000±2.000	32.000±6.557

* ตัวควบคุม คือ สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

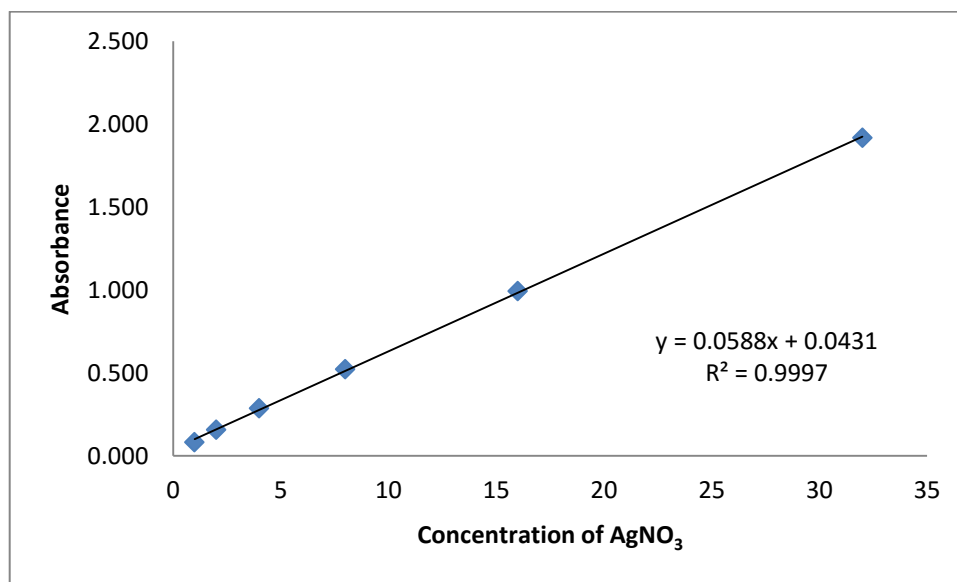
จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในพืช เช่น การศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 (Pakvirun, Th.; et al. 2014: 302-309) โดยได้ศึกษาความแตกต่างของความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนขนาดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว ผลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความเข้มข้นส่งผลต่อการลดลงของการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งสังเกตได้ว่าพืชที่มีการปลูกในน้ำจะมีโอกาสที่จะสัมผัสกับการสะสมของอนุภาคเงินนาโน และในสิ่งแวดล้อมนั้นความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนที่มีอาจจะอยู่ในช่วงของความเข้มข้นที่น้อย

จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในสายพันธุ์พืชที่ใกล้เคียงและพืชที่มีสภาวะแวดล้อมการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบพืชทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน

3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนโดยใช้เทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) และสามารถคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายเงินในเตรต ดังภาพประกอบ 20 มีสมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 0.0588x + 0.0431$ และมี

ค่า Coefficient of determination เท่ากับ $R^2 = 0.9997$ ($R^2 \geq 0.9990$) โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ในค่า Y จากการเจือจางสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ 1,000 เท่า จากการหาความเข้มข้นของสารละลายเงินนาโนที่สังเคราะห์ได้ มีความเข้มข้นที่ได้อยู่ในช่วง $9,834.333 \pm 68.369$ ไมโครกรัมต่อลิตร โดยทำทั้งหมด 3 ซ้ำ



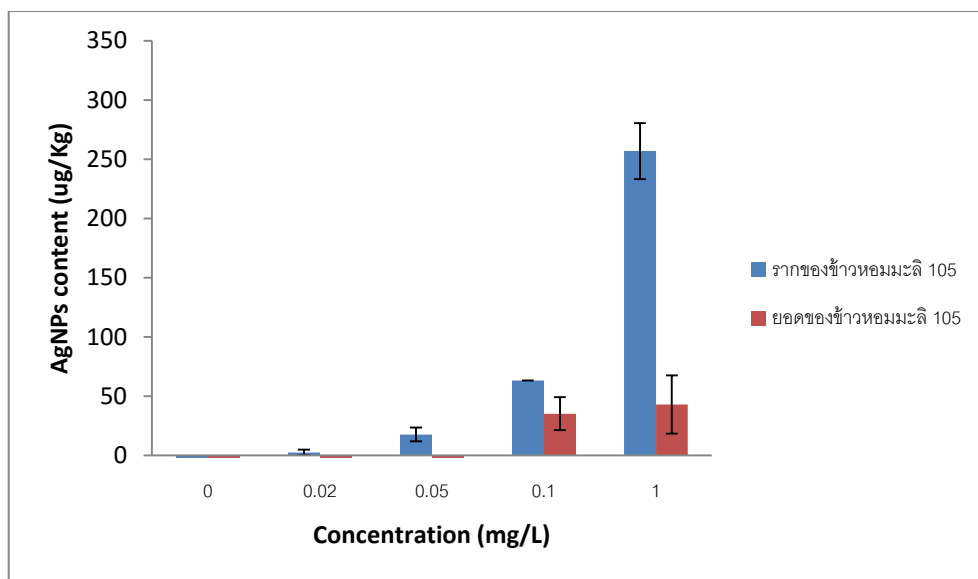
ภาพประกอบ 20 กราฟมาตรฐานของสารละลายเงินนาโน

3.2 ผลการศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโน

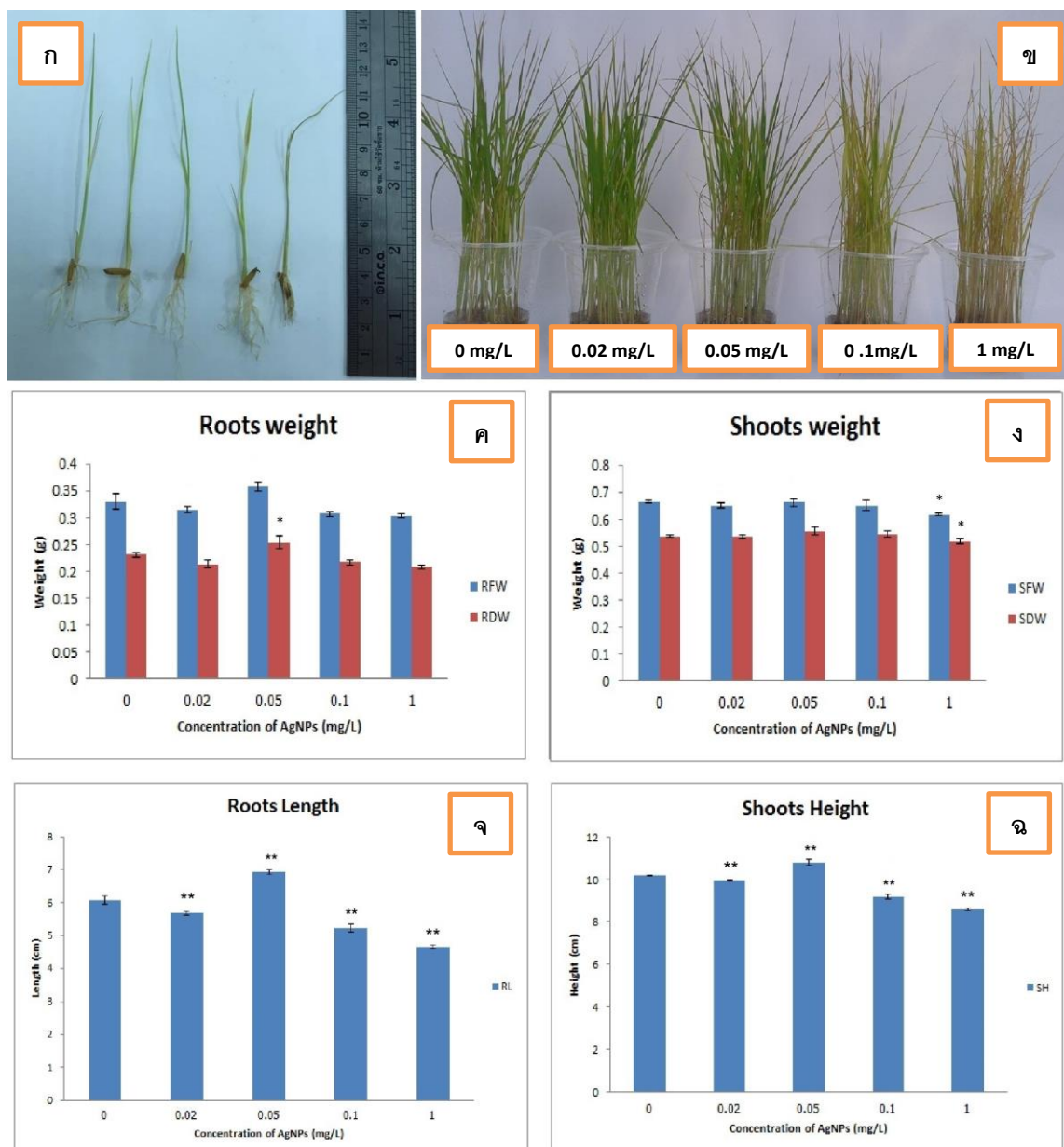
3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้กระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีกรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย (ดัดแปลงมาจาก: Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) พบว่าการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1, 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีตัวควบคุมคือข้าวหอมมะลิที่ไม่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนนั้น การสะสมมีความแตกต่างกัน โดยในความเข้มข้นที่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.023 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวหอมมะลิ 105 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 2.588 ± 2.241 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 10.869 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดไม่สามารถตรวจพบอนุภาคเงินนาโนได้ เนื่องจากเมื่อทำการเจือจางความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนจึงทำให้สถานะ pH เปลี่ยนแปลง และอาจเกิดการรวมตัวกัน อีกทั้งในการสะสมภายในรากของข้าวหอมมะลิ

105 อาจมีการสะสมและรวมตัวกันจึงทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนไปยังยอดของข้าวหอมมะลิ 105 (Fateme, M.; et al. 2013: 48-54) และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 17.889 ± 2.981 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 88.695 ในความเข้มข้นที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.052 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวหอมมะลิ 105 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 17.679 ± 5.828 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 33.798 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดไม่สามารถตรวจพบอนุภาคเงินนาโนได้ เนื่องจากเมื่อทำการเจาะความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนจึงทำให้สภาวะ pH เปลี่ยนแปลง และอาจเกิดการรวมตัวกันอีกทั้งในการสะสมภายในรากของข้าวหอมมะลิ 105 อาจมีการสะสมและรวมตัวกันจึงทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนไปยังยอดของข้าวหอมมะลิ 105 (Fateme, M.; et al. 2013: 48-54) และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 34.784 ± 4.554 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 100.576 ในความเข้มข้นที่ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.155 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวหอมมะลิ 105 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 63.212 ± 0.036 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 40.904 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 35.269 ± 13.924 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 22.824 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 35.813 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 83.451 ± 8.349 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 117.290 ในความเข้มข้นที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 1.024 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวหอมมะลิ 105 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 256.889 ± 23.646 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 25.093 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 43.061 ± 24.651 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 4.206 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 14.356 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 702.779 ± 21.700 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 97.92 ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105



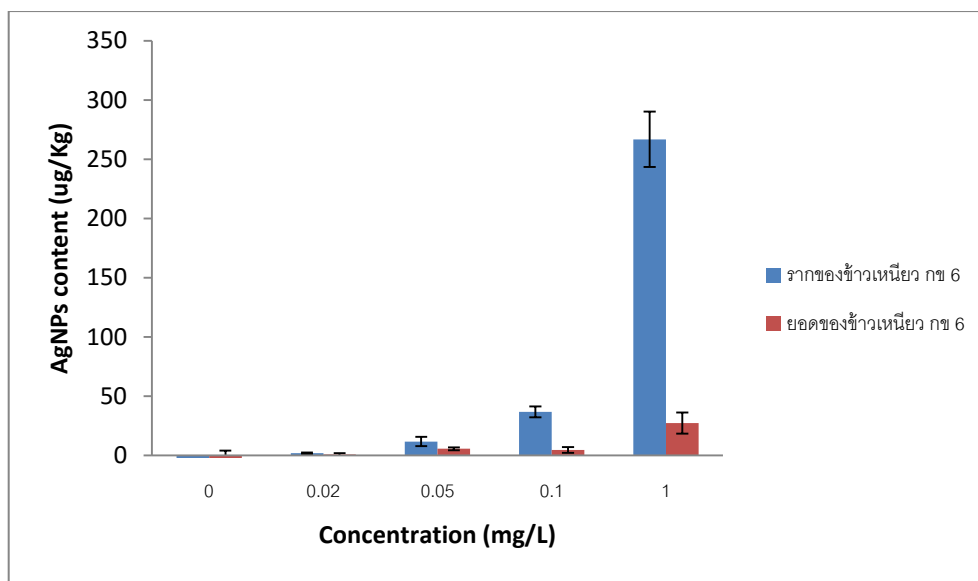
ภาพประกอบ 22 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน (ก-ข), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ค), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ง), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของข้าวหอมมะลิ 105 (จ), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ฉ) โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และ $p < 0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ในการศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 จากผลของการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในข้าวหอมมะลิ 105 เมื่อข้าวหอมมะลิ 105 สัมผัสกับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อผลการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 โดยผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวหอมมะลิ 105 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อข้าวหอมมะลิได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุกๆความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลง เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นดังภาพประกอบ 22ค-ง โดยเมื่อสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.02 จะส่งผลเชิงลบต่อข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้มีการเจริญเติบโตช้าลงและเกิดการเหี่ยวของยอด โดยรากจะมีความยาวที่ลดลง 0.3-0.4 เซนติเมตร ยอดจะมีความยาวลดลง 0.1-0.2 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ แต่มีข้อสังเกตที่อนุภาคเงินนาโนมีความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อต้นข้าวหอมมะลิ 105 โดยรากจะมีความยาวที่เพิ่มขึ้น 0.8-0.9 เซนติเมตร และยอดจะมีความเพิ่มขึ้น 0.5-0.6 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ ดังภาพประกอบ 22จ-ฉ ซึ่งเผยให้เห็นถึงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) กล่าวถึงการที่รากและลำต้นของข้าวหอมมะลิ 105 ยาวกว่าตัวควบคุมเป็นเพราะเมื่ออนุภาคเงินนาโนมีความเหมาะสมกับการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบริเวณรากของข้าวจะส่งผลให้รากและยอดยาวมากกว่าปกติ นอกจากนี้การที่ข้าวหอมมะลิ 105 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้ความยาวของรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105 ลดลง 1.2-1.5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ อีกทั้งการสะสมปริมาณมากและการรวมตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105 อาจเป็นปัจจัยในการขัดขวางการส่งอาหารและน้ำไปเลี้ยงในส่วนต่างๆของข้าวหอมมะลิ 105

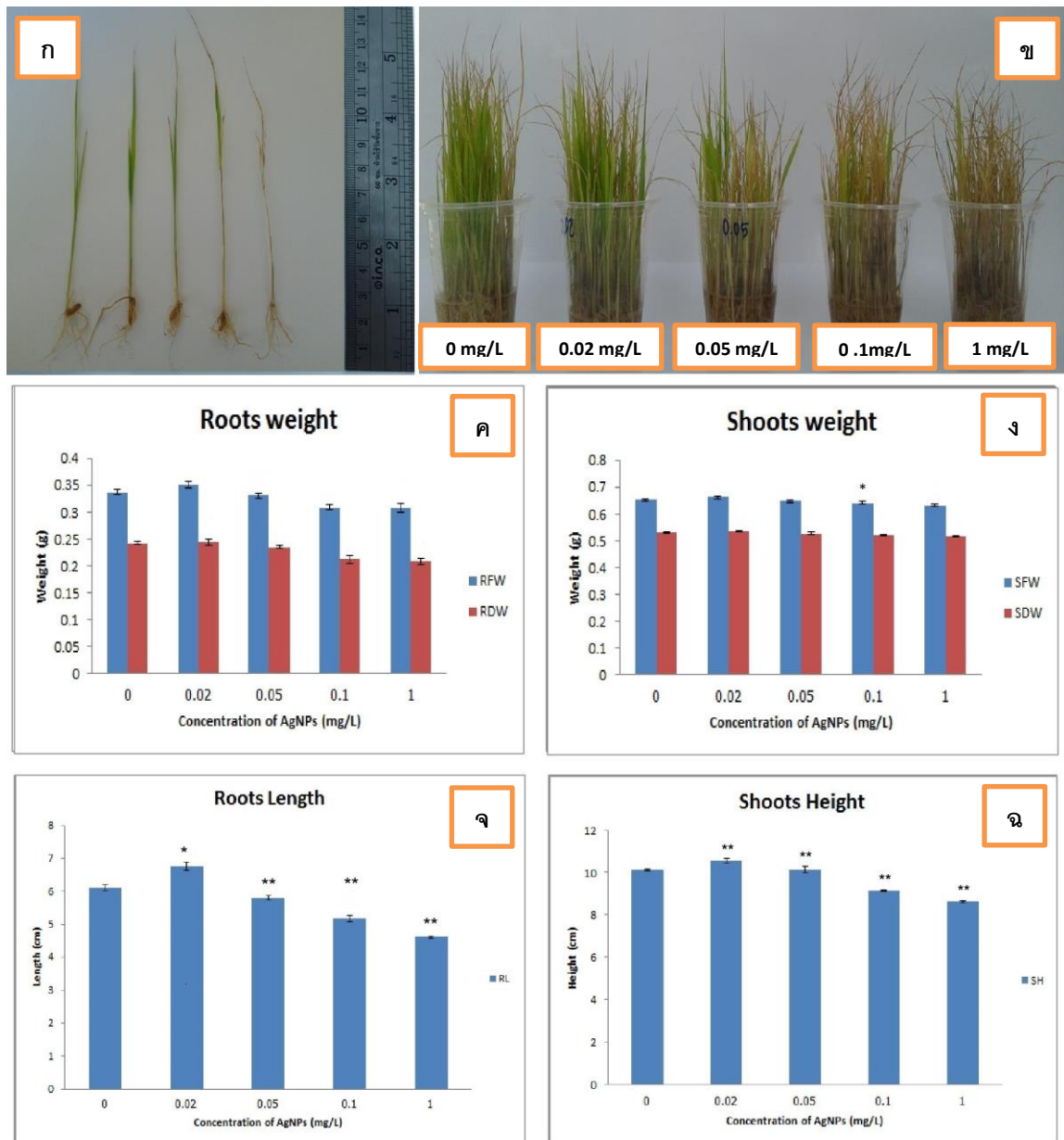
3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6 โดยใช้กระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีกรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย (ดัดแปลงมาจาก: Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) พบว่าการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1, 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีตัวควบคุมคือข้าวเหนียว กข 6 ที่ไม่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนนั้น การสะสมมีความแตกต่าง

กัน โดยในความเข้มข้นที่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.022 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวเหนียว กข 6 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 1.904 ± 0.610 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 8.381 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 0.814 ± 1.251 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 3.583 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 29.948 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 16.403 ± 2.240 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 86.818 ในความเข้มข้นที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.051 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวเหนียว กข6 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 11.780 ± 3.929 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 23.201 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 5.704 ± 1.220 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 11.234 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 32.624 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 38.873 ± 1.524 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 110.196 ในความเข้มข้นที่ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.134 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวเหนียว กข6 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 36.783 ± 4.672 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 27.528 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 4.755 ± 2.381 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมในยอดคิดเป็นร้อยละ 3.559 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 11.447 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 72.106 ± 6.005 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 84.776 ในความเข้มข้นที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 1.029 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวเหนียว กข 6 มีความเข้มข้นอยู่ที่ 266.740 ± 23.321 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 25.930 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 27.454 ± 8.955 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 2.669 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 9.332 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 721.461 ± 52.630 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 98.698 ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของข้าวเหนียว กข 6



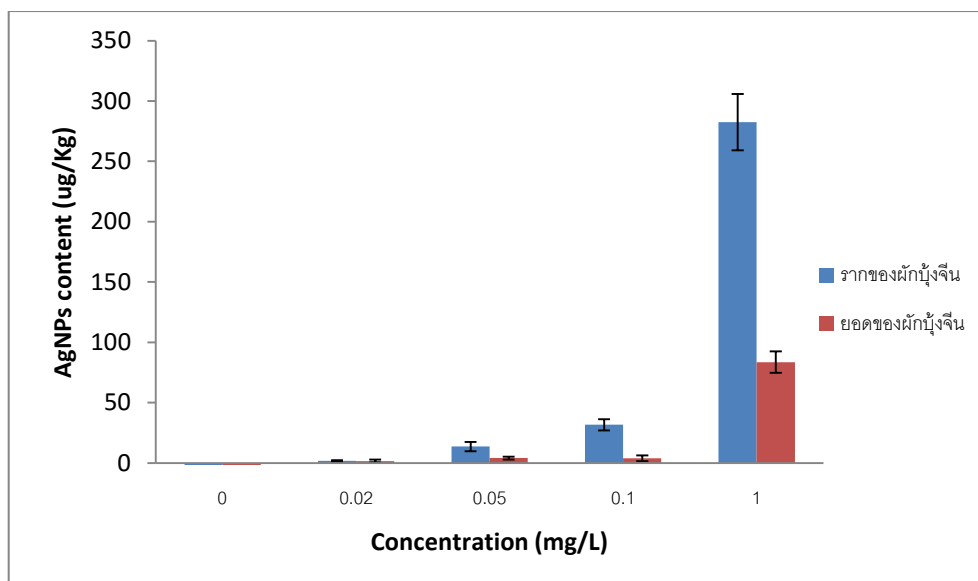
ภาพประกอบ 24 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน (ก-ข), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของข้าวเหนียว กข6 (ค), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของข้าวเหนียว กข6 (ง), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของข้าวเหนียว กข6 (จ), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของข้าวเหนียว กข6 (ฉ) โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และ $p < 0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ในการศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6 จากผลของการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในข้าวเหนียว กข6 เมื่อข้าวเหนียว กข6 สัมผัสกับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้าย จากรากไปสู่ยอดสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อผลการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6 โดยผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวเหนียว กข6 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อข้าวหอมมะลิได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุกๆความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลง เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นดังภาพประกอบ 24ค-ง แต่มีข้อสังเกตที่อนุภาคเงินนาโนมีความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อข้าวเหนียว กข6 โดยรากจะมีความยาวที่เพิ่มขึ้น 0.5-0.6 เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และยอดจะมีความเพิ่มขึ้น 0.4-0.5 เซนติเมตรโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ เมื่อเทียบกับตัวควบคุม ดังภาพประกอบ 24จ-ฉ นอกจากนี้การที่ข้าวเหนียว กข6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบ ทำให้ความยาวของรากและยอดของข้าวเหนียว กข6 ลดลง 1.0-1.2 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ อีกทั้งการสะสมปริมาณมากและการรวมตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของข้าวเหนียว กข6 อาจเป็นปัจจัยในการขัดขวางการส่งอาหารและน้ำไปเลี้ยงในส่วนต่างๆของข้าวเหนียว กข6 จากข้อมูลข้างต้นเผยให้เห็นถึงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโน

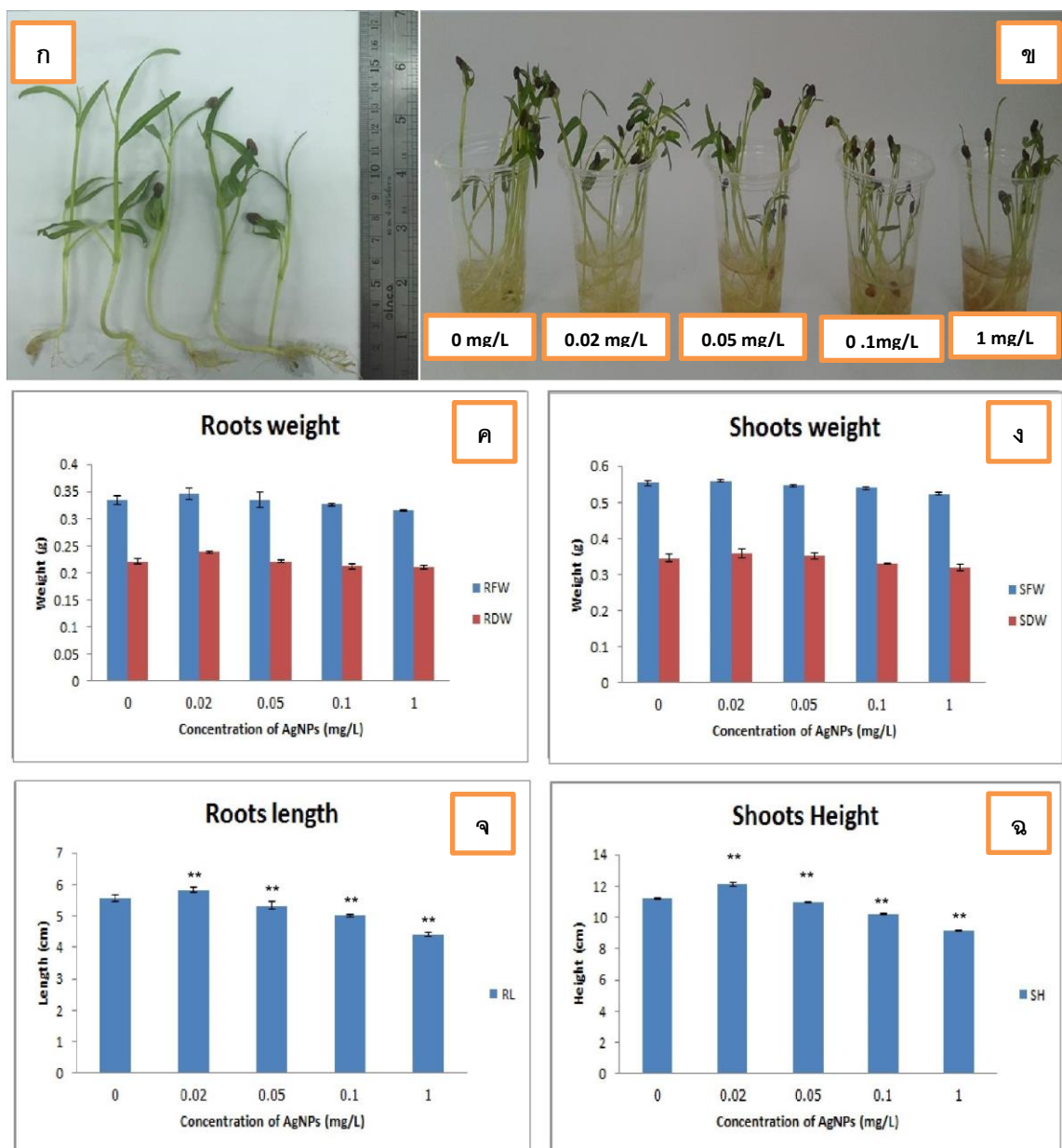
3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน โดยใช้กระบวนการย่อยแบบเปียกที่มีกรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย (ดัดแปลงมาจาก: Prakash, M.G.N.; et al. 2014: 105-113) พบว่าการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1, 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีตัวควบคุมคือผักบุ้งที่ไม่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนนั้น การสะสมมีความแตกต่างกัน โดยในความเข้มข้นที่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.023 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของผักบุ้งจีน มีความเข้มข้นอยู่ที่ 1.686 ± 0.324 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 7.252 และการเคลื่อนย้ายไปสู่สมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 1.595 ± 0.289 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 6.861 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 48.613 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 18.368 ± 3.354 ไมโครกรัมต่อ

ลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 94.348 ในความเข้มข้นที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโน ก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.052 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของผักบุ้งจีนมีความเข้มข้นอยู่ที่ 13.599 ± 5.060 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 25.998 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 4.054 ± 4.070 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 7.750 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 22.965 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 40.078 ± 4.953 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 110.768 ในความเข้มข้นที่ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 0.117 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของผักบุ้งจีนมีความเข้มข้นอยู่ที่ 31.681 ± 10.177 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 27.103 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 3.973 ± 1.780 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 3.399 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 11.143 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 72.372 ± 13.681 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 92.308 ในความเข้มข้นที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินนาโนก่อนให้พืชสัมผัสมีความเข้มข้นที่ 1.098 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของผักบุ้งจีนมีความเข้มข้นอยู่ที่ 282.452 ± 59.126 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 25.726 และการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดมีความเข้มข้นอยู่ที่ 83.594 ± 23.621 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณการสะสมของยอดคิดเป็นร้อยละ 7.614 และปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 22.837 และสามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ เท่ากับ 694.343 ± 31.545 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้มีผลรวมการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ ร้อยละ 96.566 ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แสดงปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในส่วนรากและยอดของผักบุ้งจีน



ภาพประกอบ 26 แสดงการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 7 วัน (ก-ข), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของผักบุ้งจีน (ค), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของผักบุ้งจีน (ง), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของผักบุ้งจีน (จ), แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของผักบุ้งจีน (ฉ) โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และ $p < 0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ในการศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน จากผลของการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในผักบุ้งจีน เมื่อผักบุ้งจีนสัมผัสกับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน โดยผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ผักบุ้งจีนมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อข้าวหอมมะลิได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุกๆความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลง เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นดังภาพประกอบ 26ค-ง แต่มีข้อสังเกตที่อนุภาคเงินนาโนมีความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อข้าวผักบุ้งจีน โดยรากจะมีความยาวที่เพิ่มขึ้น 0.3-0.4 เซนติเมตร และยอดจะมีความเพิ่มขึ้น 0.8-0.9 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ ดังภาพประกอบ 26จ-ฉ นอกจากนี้การที่ผักบุ้งจีนได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบ ทำให้ความยาวของรากและยอดของผักบุ้งจีนลดลง 0.7-1.0 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.0$ อีกทั้งการสะสมปริมาณมากและการรวมตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของผักบุ้งจีน อาจเป็นปัจจัยในการขัดขวางการส่งอาหารและน้ำไปเลี้ยงในส่วนต่างๆของผักบุ้งจีน จากข้อมูลข้างต้นเผยให้เห็นถึงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโน

ตาราง 3 ปริมาณอนุภาคเงินนาโนที่สะสมในตัวอย่างพืช

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโน มิลลิกรัม/ลิตร	ปริมาณการสะสม ไมโครกรัม/ กิโลกรัม±SD	ร้อยละการสะสม %	ร้อยละการเคลื่อนย้ายจากรากไปยอด %
ข้าวหอมมะลิ				
- ราก	0	ND	-	
	0.02	2.588±2.241	10.869	
	0.05	17.679±5.828	33.798	
	0.1	63.212±0.036	40.907	

ตาราง 3 ต่อ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของอนุภาค เงินนาโน มิลลิกรัม/ลิตร	ปริมาณการ สะสม ไมโครกรัม/ กิโลกรัม±SD	ร้อยละการ สะสม %	ร้อยละการ เคลื่อนย้ายจากราก ไปยอด %
ข้าวเหนียว กข 6	1	256.889±23.646	25.093	
	- ยอด			
	0	ND	-	-
	0.02	ND	-	-
	0.05	ND	-	-
	0.1	35.269±13.924	22.824	35.813
	1	43.061±24.651	4.206	14.356
	- ราก			
	0	ND	-	-
	0.02	1.904±0.610	8.381	
ผักบุ้งจีน	0.05	11.780±3.929	23.201	
	0.1	36.783±4.672	27.528	
	1	266.740±23.321	25.93	
	- ยอด			
	0	ND	-	-
	0.02	0.814±1.251	3.583	29.948
	0.05	5.704±1.220	11.234	32.624
	0.1	4.755±2.381	3.559	11.447
	1	27.454±8.955	2.669	9.332
	- ราก			
	0	ND	-	-

ตาราง 3 ต่อ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของอนุภาค เงินนาโน	ปริมาณการ สะสม	ร้อยละการ สะสม	ร้อยละการ เคลื่อนย้ายจากราก ไปยอด
	มิลลิกรัม/ลิตร	ไมโครกรัม/ กิโลกรัม±SD	%	%
	0.02	1.686±0.324	7.252	
	0.05	13.599±5.060	25.998	
	0.1	31.681±10.177	27.103	
	1	282.452±59.126	25.726	
- ยอด	0	ND	-	-
	0.02	1.595±0.289	6.861	48.613
	0.05	4.054±4.070	7.750	22.965
	0.1	3.973±1.780	3.399	11.143
	1	83.594±23.621	7.614	22.837

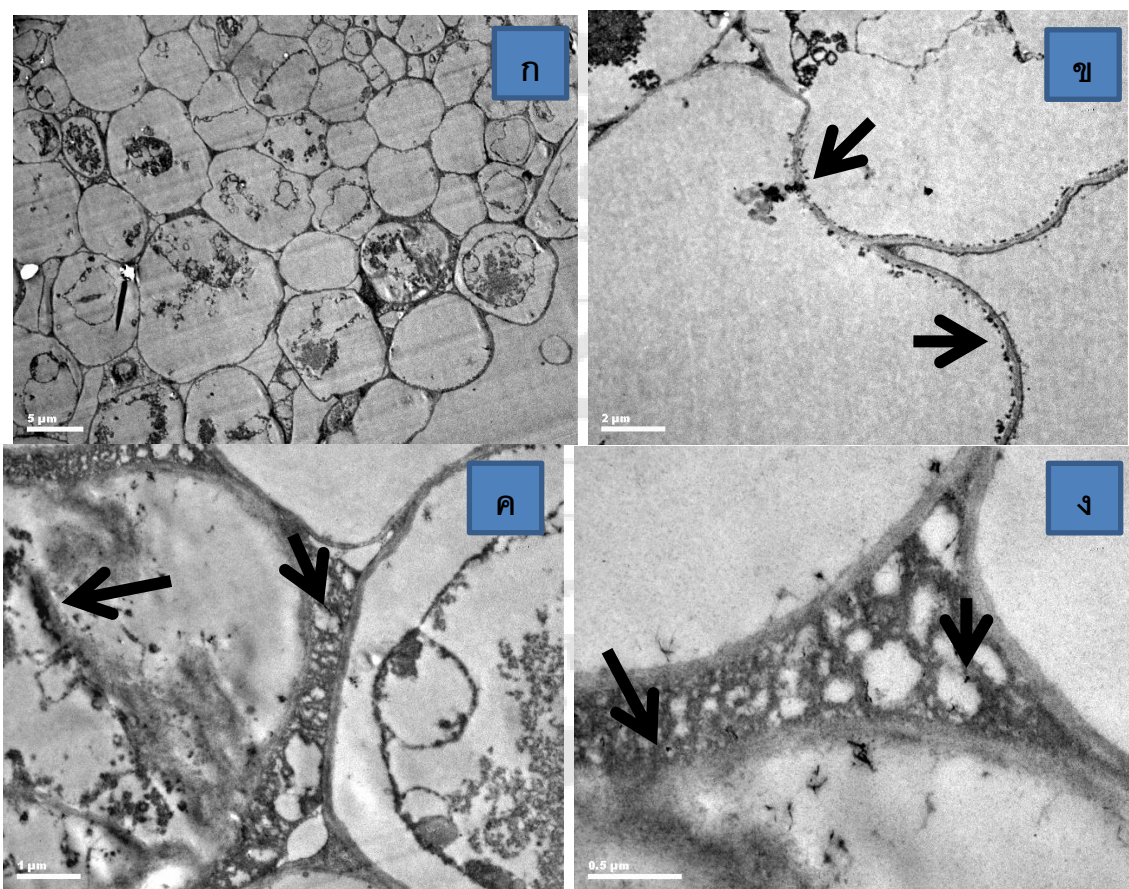
* ND คือ Not Detected

ตอนที่ 4 ผลการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนด้วยเทคนิค

Transmission electron microscopy

ในการศึกษาโดยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน หรือ Transmission electron microscopy (TEM) ซึ่งเป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวและการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในส่วนต่างๆของราก และเป็นการศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในระดับเซลล์ของข้าวเหนียว กข6 ที่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.051 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยภายในรากของข้าวเหนียว กข6 มีการสะสมสูงถึงร้อยละ 23-27 ของปริมาณทั้งหมดของอนุภาคเงินในสารละลาย และมีการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอด จากการศึกษาพบว่าอนุภาคเงินนาโนได้มีการกระจายตัวการ

สะสมอยู่ทุกบริเวณของรากพืช ภาพประกอบ 27ก โดยพบมากบริเวณส่วนของท่อลำเลียงอาหารของราก ภาพประกอบ 27ข และยังพบว่ามีการรวมตัวกันของอนุภาคเงินนาโนทำให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งการรวมตัวนี้อาจทำให้เกิดการขัดขวางการขนส่งอาหารจากรากไปสู่ยอด และเป็นสาเหตุให้ข้าวเหนียว กข 6 มีการเจริญเติบโตช้าลง จึงอาจสรุปได้ว่าถ้าข้าวเหนียว กข 6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นที่ 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของรากที่สูงขึ้น จะทำให้การขัดขวางการส่งอาหารไปยังยอดมีความสามารถน้อยลง และนอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวภายในเนื้อเยื่อของรากบริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ ภาพประกอบ 37ค-ง ซึ่งการสะสมนี้จะส่งผลต่อรูปร่างของเซลล์และการพัฒนาการของข้าวเหนียว กข 6



ภาพประกอบ 27 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเนื้อเยื่อและผนังเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข 6 (ก), การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในท่อขนส่งอาหารของรากของข้าวเหนียว กข 6 (ข), การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในเนื้อเยื่อและผนังเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข 6 (ค), การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในผนังเซลล์ชั้นนอกของรากของข้าวเหนียว กข 6 (ง)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี โดยทำการศึกษาการเตรียมตัวอย่างพืชทั้ง 3 ชนิด หลังจากนั้นเป็นการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนที่ใช้สำหรับการสัมผัสกับพืช และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion) ที่เหมาะสมกับตัวอย่างพืชทั้งสามชนิด เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณอนุภาคเงินนาโน และเพื่อทราบถึงปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืชทั้งสามชนิด

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาและการทดลองในงานวิจัยนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียก (wet digestion) ของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่างพืช

1.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 105

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105 คือ กระบวนการย่อยวิธี D2 โดยใช้กรดไนตริก และให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 115 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยกระบวนการย่อยวิธี D2 เมื่อเตรียมใช้เป็นสภาวะในการตัวอย่างของรากจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 88.667 ± 6.110 และในตัวอย่างยอดจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 81.667 ± 2.517 และนอกจากนี้ข้อดีของกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นกระบวนการย่อยที่ง่ายและใช้เวลาน้อย

1.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของข้าวเหนียว กข 6 คือ กระบวนการย่อยวิธี D2 โดยใช้กรดไนตริก และให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 115 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยกระบวนการย่อยวิธี D2 เมื่อใช้เป็นสภาวะในกระบวนการย่อยตัวอย่างของรากจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 94.000 ± 3.000 และในตัวอย่างยอดจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 93.333 ± 3.511 และนอกจากนี้ข้อดีของกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นกระบวนการย่อยที่ง่ายและใช้เวลาน้อย

1.3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยตัวอย่างผักนึ่งจีน

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของผักนึ่งจีน คือ กระบวนการย่อยวิธี D2 โดยใช้กรดไนตริก และให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 115 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยกระบวนการย่อยวิธี D2 เมื่อใช้เป็นสภาวะในกระบวนการย่อยตัวอย่างของรากจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 90.333 ± 6.429 และในตัวอย่างยอดจะให้ร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 90.667 ± 3.785 และนอกจากนี้ข้อดีของกระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นกระบวนการย่อยที่ง่ายและใช้เวลาน้อย

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า กระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นกระบวนการย่อยที่เหมาะสมสำหรับพืชทั้ง 3 ชนิด โดยมีร้อยละการคืนกลับอยู่ที่ 81.667-94.000 อีกทั้งเป็นวิธีที่ง่ายและเร็ว

2. ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

กระบวนการย่อยวิธี D2 ถูกเลือกใช้สำหรับการศึกษาปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

2.1 ปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 105

ข้าวหอมมะลิ 105 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปทำให้มีปริมาณการสะสมที่สูงขึ้นและส่งผลทำให้ข้าวหอมมะลิ 105 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง โดยในสารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 0.02 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่พบการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินนาโนไปสู่ยอด แต่อนุภาคเงินที่ความเข้มข้นที่ 0.05 จะส่งผลเชิงบวกต่อการเจริญเติบโต โดยจะทำให้รากของข้าวหอมมะลิ 105 มีความยาวเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวควบคุม และส่วนในสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 โดยจะทำให้ความยาวของรากและยอดลดลง และน้ำหนักของรากและยอดลดลง นอกจากนี้อนุภาคเงินนาโนมีการสะสมที่รากเป็นส่วนมาก และยังพบว่าการเคลื่อนย้ายไปที่ยอดถึงร้อยละ 14 และ 36 ของปริมาณการสะสมทั้งหมดตามลำดับ

2.2 ปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างข้าวเหนียว กข 6

ข้าวเหนียว กข 6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปทำให้มีปริมาณการสะสมที่สูงขึ้นและส่งผลทำให้ข้าวเหนียว กข 6 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง ในการสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสะสมถึงร้อยละ 23-27 ของปริมาณทั้งหมดของอนุภาคเงินในสารละลาย และมีการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอด จึงส่งผลให้ข้าว

เหนียว กข 6 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการลดลงของความยาว น้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดของข้าวเหนียว กข6 เมื่อเทียบกับตัวควบคุม แต่เมื่อข้าวเหนียว กข6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกซึ่งทำให้ความยาวและน้ำหนักสดและแห้งของรากเพิ่มขึ้น ส่วนรากของข้าวเหนียว กข6 ที่สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และมีการพัฒนาการของรากของข้าวเหนียว กข6 ที่ช้ากว่าปกติ โดยสังเกตได้จากความยาว และน้ำหนักสดและแห้งของรากที่ลดลง

2.3 ปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างผักบุ้งจีน

ผักบุ้งจีนได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณการสะสมที่สูงขึ้น และส่งผลทำให้ผักบุ้งจีนมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง และการสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงคือ 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสะสมสูงถึงร้อยละ 25-27 ของปริมาณทั้งหมดของอนุภาคเงินนาโนในสารละลาย อีกทั้งมีการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอด จึงส่งผลให้ผักบุ้งจีนมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง แต่มีข้อสังเกตที่อนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อผักบุ้งจีนโดยจะทำให้มีความยาว และน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดของผักบุ้งจีนเพิ่มขึ้น ส่วนต้นผักบุ้งที่ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบโดยจะทำให้ความยาวของราก และน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดของผักบุ้งจีนลดลง

3. การกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในส่วนต่างๆของพืช

การกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากของข้าวเหนียว กข 6 ที่สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสะสมบริเวณท่อขนส่งอาหาร เนื้อเยื่อ ผนังเซลล์ และภายในเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข 6 นอกจากนี้อนุภาคเงินนาโนเมื่อสะสมอยู่ในรากจะมีการรวมตัวกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงเป็นเหตุผลการเกิดการขัดขวางการขนส่งอาหารจากรากไปส่วนต่างๆของข้าวเหนียว กข6 และการสะสมยังส่งผลต่อรูปร่างและการพัฒนาการของเซลล์ของข้าวเหนียว กข6

ข้อเสนอแนะ

1. จากสภาวะที่ใช้ในการหาปริมาณอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน สามารถนำไปประยุกต์ในกระบวนการย่อยพืชสายพันธุ์ใกล้เคียงกันได้



บรรณานุกรม

- ชัยชนา ธนชยานนท์; และคนอื่นๆ. (2546). *การประยุกต์ TEM ในงานด้านวัสดุศาสตร์และวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2525). *สารานุกรมธาตุ*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ; และคนอื่นๆ. (2550). *พันธุ์ข้าวเฉลิมพระเกียรติ80พรรษา*. กรุงเทพฯ: กรมการข้าว.
- แม่น อมรสิทธิ์; และคนอื่นๆ. (2535). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์.
- วนิดา ชูลิกาวิทย์; และคนอื่นๆ. (2545). *การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้วิเคราะห์ทางเคมี*. วารสาร50. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 14-16.
- วัชรินทร์ บุญวัฒน์. (2527). *ข้าว, พืชศาสตร์พืชเศรษฐกิจ เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 26-34.
- สุรัตน์ ปราชญากุล. (2559). *หลักเมือง*. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร. กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม.
- Candida, V.; et al. (2013). *Morphological and Proteomic Responses of Eruca sativa Exposed to Silver Nanoparticles or Silver Nitrate*. PLOS ONE. 8(7): e68752.
- Camille, L.; et al. (2012). *Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (Triticum aestivum spp.): Influence of diameter and crystal phase*. Science of the Total Environment. 431: 197-208.
- Corbett, J.; et al. (2000). *Nanotechnology: international developments and emerging products*, Ann. CIRP 49 (2) 523–545.
- Danielle, C.; et al. (2012). *Pilot estuarine mesocosm study on the environmental fate of Silver nanomaterials leached from consumer products*. Science of total Environment. 421-422: 267-272.
- Fateme, M.; et al. (2013). *Effect of silver nanoparticles on Oryza sativa L. and its rhizosphere bacteria*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 88: 48-54.
- Haifeng, Q.; et al. (2013). *Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model Arabidopsis thaliana*. Environmental Science. 25(9): 1947-1955.

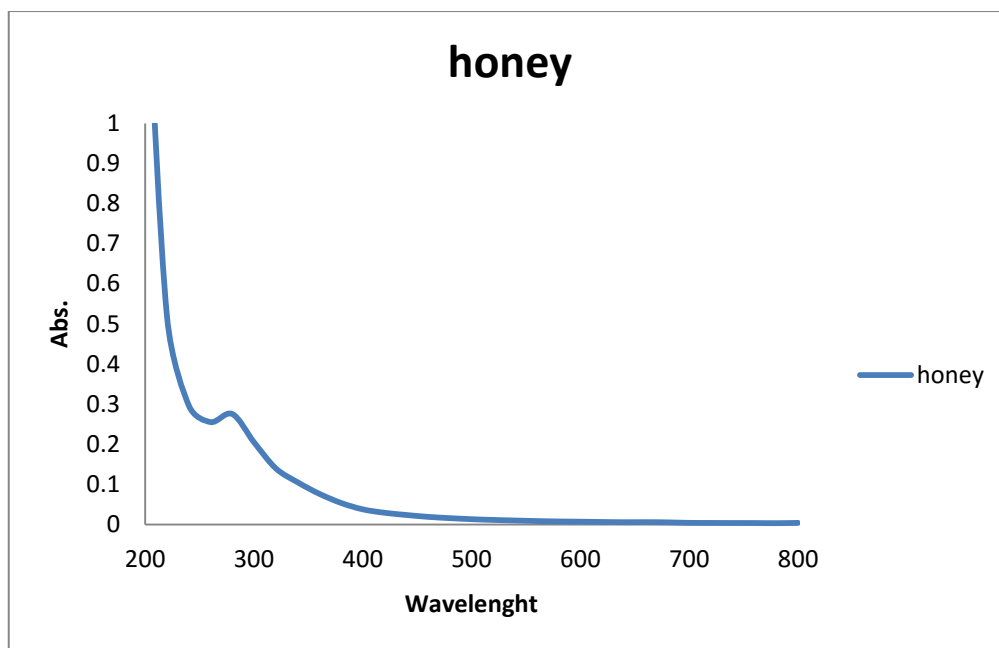
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil*. California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.
- Julia, F.; et al. (2011). *Impact of silver nanoparticles on natural marine biofilm bacteria*. Chemosphere. 85: 961-966.
- Jyothsna, Y.; et al. (2015). *Lepidopteran insect susceptibility to silver nanoparticles and measurement of changes in their growth, development and physiology*. Chemosphere. 124: 92-102.
- Kai-Sung Wang; et al. (2008). *Phytoextraction of cadmium by Ipomoea aquatica (water spinach) in hydroponic solution: Effects of cadmium speciation*. Chemosphere. 72: 666-672.
- Krishnaraj, C.; et al. (2012). *Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on Bacopa monnieri (Linn.) Wettst. plant growth metabolism*. Process Biochemistry. 47: 651-568.
- Pakvirun, Th.; et al. (2014). *Effect of silver nanoparticles on rice (Oryza sativa L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 104: 302-309.
- Paramelle, D.; et al. (2014). *Rapid method to estimate the concentration of citrate capped silver nanoparticles from UV-visible light spectra*. The royal society of Chemistry. 1-24.
- Philip, D.; (2010). *Honey mediated green synthesis of silver nanoparticles*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 75: 1078-1081.
- Prakash, M.G.N.; et al. (2014). *Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (Oryza sativa L.) seedlings*. Chemosphere. 112: 105-113.
- Ralf, K.; et al. (2010). *Release of silver nanoparticles from outdoor facades*. Environmental Pollution. 158: 2900-2905.
- Tania, G.; et al. (2014). *Effects of silver nanoparticles exposure in the mussel Mytilus galloprovincialis*. Marine Environmental Research. 101: 208-214.
- Woo-Mi Lee; et al. (2012). *Effect of silver nanoparticles in crop plants Phaseolus radiatus and Sorghum bicolor: Media effect on phytotoxicity*. Chemosphere. 86: 491-499.



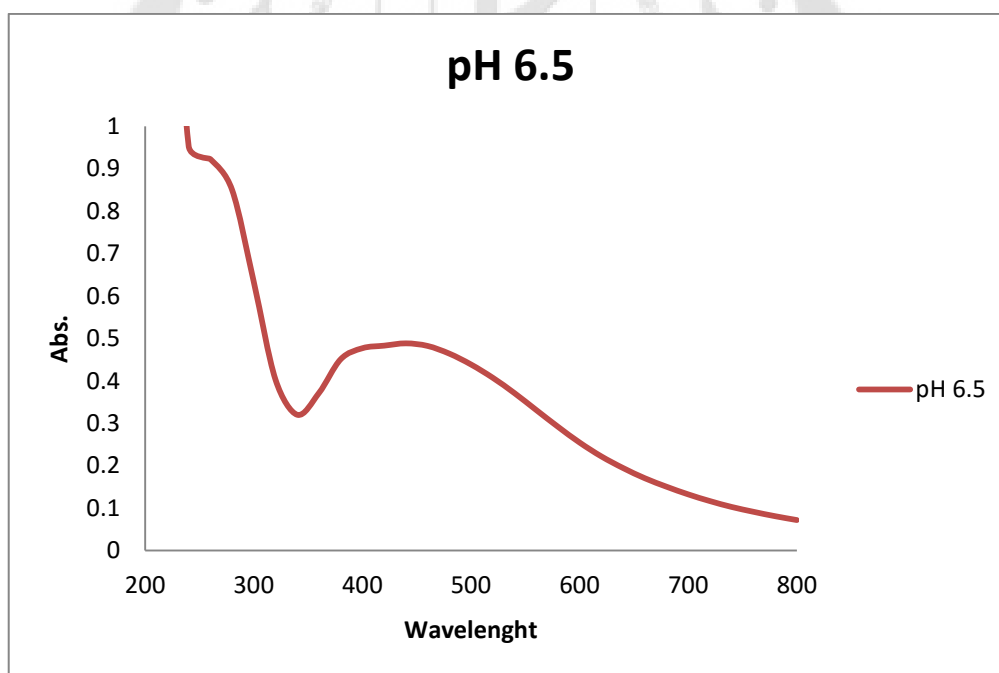


ภาคผนวก ก

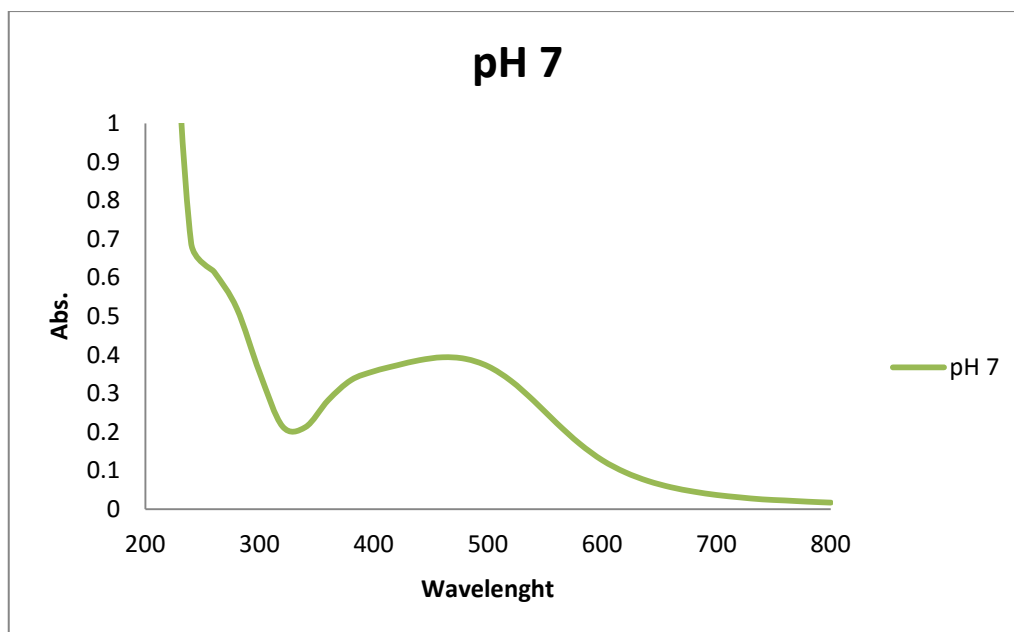
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์



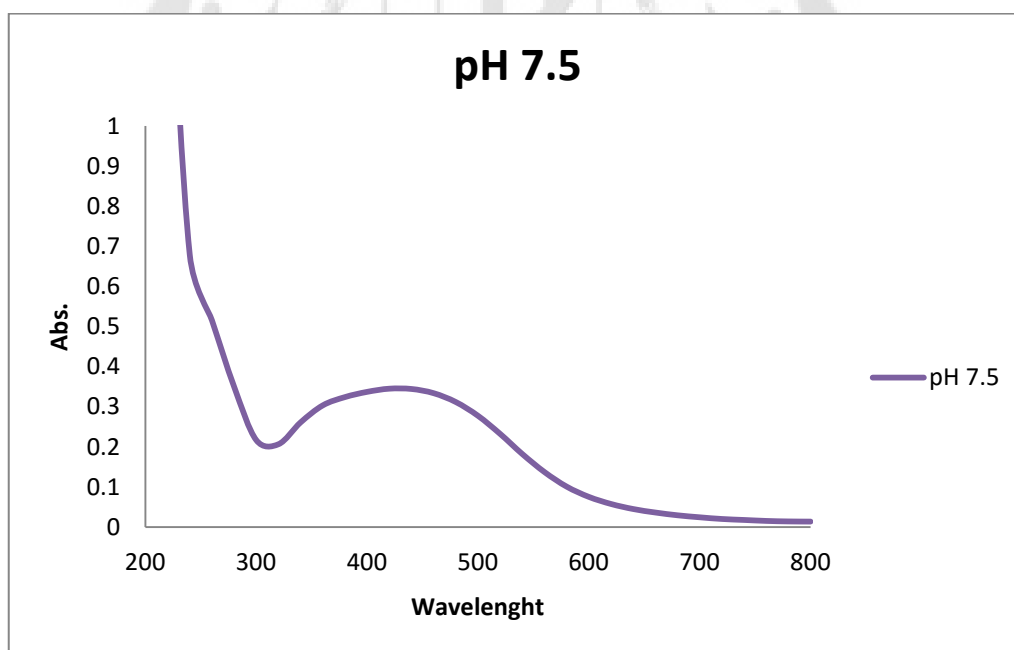
ภาพประกอบ 28 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำผึ้ง



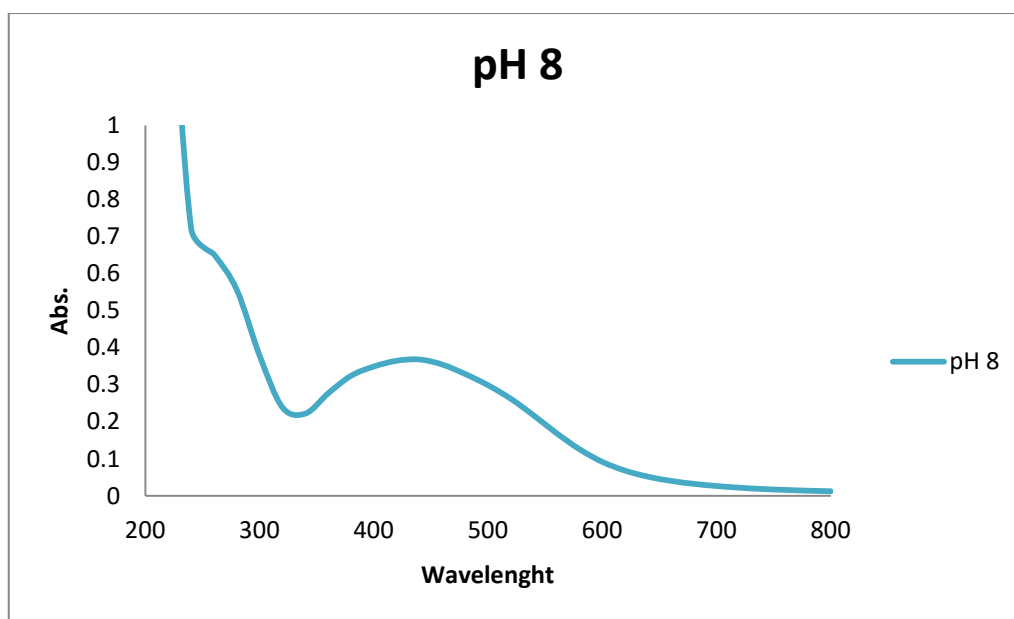
ภาพประกอบ 29 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 6.5



ภาพประกอบ 30 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 7



ภาพประกอบ 31 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 7.5



ภาพประกอบ 32 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ที่ pH 8



ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายอนุภาคเงินนาโน

สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 9,817-9,910 $\approx$ 10,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ในน้ำ DI โดยใช้เตรียมสารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 20, 50, 100 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

- สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 10,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI

- สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI

- สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI

- สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ปิเปต สารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวด ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI



ภาคผนวก ค
รูปเครื่องมือและอุปกรณ์



ภาพประกอบ 33 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี



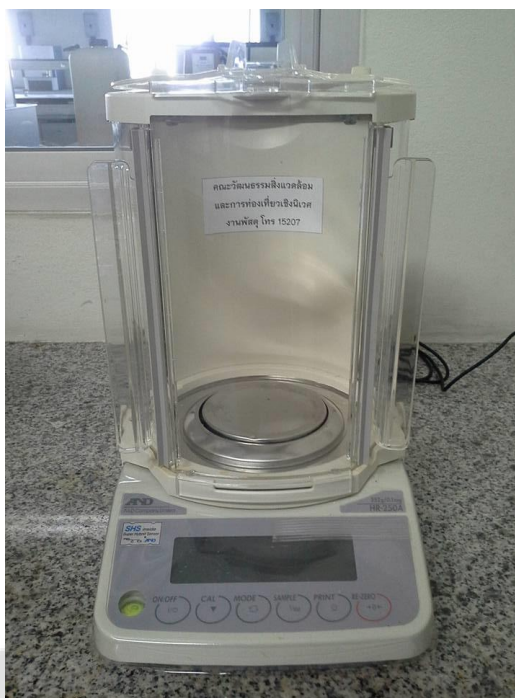
ภาพประกอบ 34 เครื่องยู่วี – วิส สเปคโตรโฟโตมิเตอร์



ภาพประกอบ 35 เครื่องอบความร้อน



ภาพประกอบ 36 เครื่องกรองน้ำปราศจากไอออน



ภาพประกอบ 37 เครื่องชั่งแบบละเอียด



ภาพประกอบ 38 เตาให้ความร้อน



ประวัติย่อของผู้วิจัย

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นายจักรกริสน์ คัญทัพ
 วันเดือนปีเกิด 8 พฤษภาคม 2534
 สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 16 หมู่ 6 ตำบล ป่ามะคาบ อำเภอ เมือง จังหวัด
 พิจิตร 66000
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 148/2 หมู่ 8 ถนน พิจิตร-สากเหล็ก ตำบล ปากทาง
 อำเภอ เมือง จังหวัด พิจิตร 66000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษา 1 ถึง 6 จาก โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม จังหวัดพิจิตร
 พ.ศ. 2555 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
 จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
 พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
 จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร

