การสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข 6 และผักบุ้งจีน

ACCUMULATION, TRANSLOCATION AND IMPACTS OF SILVER NANOPARTICLES ON RICE (*ORYZA SATIVA* L.CV. KDML 105), STICKY RICE (*ORYZA SATIVA VAR.* GLUTINOSA CV. RD 6) AND CHINESE WATER CONVOLVULUS (*IPOMOEA AQUATICA* Forsk. VAR. REPTAN)

จักรกริสน์ คัญทัพ[1] *นุจรินทร์ วะสุกัน[2]* *สุจิตรา ศรีสังข์[1]**

Jakkrisn Kunthup[1]*, Nootcharin Wasukan[2], Sujittra Srisung[1]**

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Srinakharinwirot University.

[2]สถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[2]National Science and Technology Development Agency.

****Corresponding author, e-mail:*** *sujittras@g.swu.ac.th*

Received: *September 12, 2018;* ***Revised:*** *November 30, 2018;* ***Accepted:*** *December 27, 2018*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้อนุภาคเงินนาโนกันอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติของอนุภาคเงินนาโนที่มีสมบัติเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในการเกษตร ซึ่งอนุภาคเงินนาโนอาจมีโอกาสปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อพืชในเกษตรกรรม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคเงินนาโนต่อการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบในพืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน ในการทดลองขั้นตอนแรกได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนโดยใช้น้ำผึ้งธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์ นอกจากนี้ศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการย่อยแบบเปียก 3 วิธีคือ วิธี D1 D2 และ D3 เมื่อพืชทั้ง 3 ชนิด ได้รับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคแกรไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรเมตรี ผลการทดลองพบว่า กระบวนการย่อยวิธี D2 เป็นกระบวนการย่อยที่เหมาะสม เนื่องจากผลของร้อยละการคืนกลับอยู่ระหว่างร้อยละ 81.67 - 94.00 ในขณะที่การศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และการกระจายตัวของ อนุภาคเงินนาโนในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า ข้าวเหนียว กข6 ในส่วนของรากที่สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดการรวมตัวและสะสมอยู่ผนังเซลล์ ภายในเซลล์ของรากส่งผลต่อการลำเลียงสารอาหาร และพัฒนาการเจริญเติบโตของเซลล์พืช

คำสำคัญ: อนุภาคเงินนาโน ข้าวเจ้าหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 ผักบุ้งจีน การสะสม

Abstract

Currently, silver nanoparticles (AgNPs) are widely used in agriculture area due to their properties as anti-bacterial and fungi. AgNPs may be released into the environment and impacts on agricultural crops have been exposed. In this work, to investigate the effects of AgNPs, accumulate, translocation and impacts on three plants including rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105), sticky rice (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD 6) and Chinese water convolvulus (*Ipomoea aquatic* Forsk. Var. reptan) were studied. The AgNPs were synthesized by pure natural honey as a reducing agent. In addition, the wet digestion of D1, D2 and D3 methods for determination of silver accumulation were evaluated. The three plants were exposed to AgNPs with various concentrations of 0.02, 0.05, 0.1 and 1 mg/L. After wet digestion the silver concentration were determined by graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS). The results showed that the D2 method was the optimum wet digestion process for the determination of silver in plants with the percent recovery of 81.67 to 94.00. The aggregation and accumulation of AgNPs within the roots and shoots of three plants were found that the roots of sticky rice at a concentration of 0.05 mg/L and penetrated to the cell wall and cell in root leading to effects on structural features and transporting nutrients to the plants, including the development on the growth of plant cells.

Keywords: Silver nanoparticles, Rice (*Oryza sativa* L.cv. KDML 105), Sticky rice (*Oryza sativa* var. glutinosa cv. RD 6), Chinese water convolvulus (*Ipomoea aquatica*Forsk. Var. reptan), Accumulation

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาวัสดุนาโนอย่างกว้างขวาง โดยเป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้กับวัสดุหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพทำให้มีประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ [1] อนุภาคเงินนาโน (Silver nanoparticles) เป็นวัสดุนาโนที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติของอนุภาคเงินนาโนนั้นสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ทำความสะอาดตัวเอง มีความไวต่อแสงและมีคุณสมบัติใช้ในการวินิจฉัย [2] จากคุณสมบัติข้างต้นภาคอุตสาหกรรมจึงนิยมนำมาเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อีกด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามอนุภาคเงินนาโนมีโอกาสที่จะถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมและเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาจจะได้รับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนเหล่านี้ [3] การที่อนุภาคเงินนาโนถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทำให้สิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารมีโอกาสส่งผ่านอนุภาคเงินนาโนเหล่านี้ได้เมื่อพืชได้ดูดซับอนุภาคเงินนาโนที่ถูกปลดปล่อยจากดินและน้ำขึ้นไปยังส่วนต่าง ๆ [4] จากนั้นถ้ามีการบริโภคพืชของสัตว์ชนิดต่าง ๆ อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต เช่น การเจริญเติบโต และการพัฒนาการของส่วนต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิต ดังปรากฏในงานวิจัยของ Fateme และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นข้าวในระยะเวลาต่างกัน พบว่าอนุภาคเงินนาโนส่งผลต่อการเร่งการเจริญเติบโตของราก [5] นอกจากนี้ Pakvirun และคณะ ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นและขนาดของอนุภาคเงินนาโนที่ความแตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นและขนาดมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว [6] ขณะที่ Prakash และคณะ ได้ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวเมื่อได้รับสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น ต่างกัน เป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ พบว่าการยืดตัวของราก น้ำหนักสดของราก คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จะลดลง [7] Li และคณะ ได้ศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคเงินนาโนและการกระจายตัว

ของขนาดอนุภาคเงินนาโนในถั่วเหลืองและข้าวหลังจากการสัมผัสทางรากและใบ พบว่ามีอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาด 36.0-48.9 นาโนเมตร ในรากและใบ รวมทั้งอนุภาคเงินนาโนสะสมอยู่ในผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของใบพืช [8] จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนต่อพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งไม่เคยมีการศึกษามาก่อน เนื่องจากส่วนใหญ่ประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมกันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้พืชในเกษตรกรรมมีความเสี่ยงในการที่จะได้รับและได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโน ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นในการสะสม เคลื่อนย้าย และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดนั้น ๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการย่อยตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโน หาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนที่สะสมและเคลื่อนย้ายในต้นข้าวสายพันธุ์หอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน และนอกจากนี้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวที่บริเวณต่าง ๆ ของพืชและผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6

วิธีดำเนินการวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

สังเคราะห์ได้ด้วยการใช้สารธรรมชาติโดยขั้นแรกเป็นการเตรียมน้ำผึ้งแท้ธรรมชาติ 20 กรัม ละลายน้ำ DI 80 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายน้ำผึ้งที่เตรียมไว้มา 15 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.1 mM $AgNO_3$ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วปรับ pH ให้เท่ากับ 8.5 ด้วย 0.1 M NaOH แล้วนำไปวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเงินนาโนเบื้องต้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-VIS spectrophotometry) และวิเคราะห์ปริมาณของอนุภาคเงินนาโนโดยใช้เทคนิคแกรไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Graphite furnace atomic absorption spectroscopy; GFAAS) [9]

การเพาะปลูกพืช

นำเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด (ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีน) ไปทำความสะอาดใน 30%H_2O_2 แล้วนำไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพืชไปปลูกในอาหารเพาะปลูก (Hoagland solution) [10-11] เป็นเวลา 15 วัน เมล็ดจะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน จึงนำเข้าสู่กระบวนการทดลองต่อไป

การสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนของพืช

นำต้นอ่อนพืชมาแช่ด้วยสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลานาน 7 วัน ในสภาวะที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การพัฒนากระบวนการย่อยที่เหมาะสม มี 3 วิธี ดังนี้ [12]

กระบวนการย่อยวิธี 1 ใช้กรดไนตริกเป็นตัวทำละลาย นำรากและยอดพืชไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม และเติมอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น และเติม 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแกรไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี [13]

กระบวนการย่อยวิธี 2 เป็นการพัฒนาวิธีจากกระบวนการย่อยวิธี 1 แต่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ [7]

กระบวนการย่อยวิธี 3 ใช้กรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริกเป็นตัวทำละลาย (อัตราส่วน 25:10) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและเติม 5% กรดไนตริกปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ [4]

โดยได้ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยแบบเปียก (Wet digestion) จากร้อยละการคืนกลับของสารละลายอนุภาคเงินนาโน โดยตัวควบคุมคือสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ดังสมการ

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

การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้ายและผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคเงินนาโนโดยจะใช้ส่วนของรากพืชทั้งหมดและส่วนของยอดที่ห่างจากรากขึ้นไป 2 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการย่อยแบบเปียกด้วยวิธี 1 2 และ 3 และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโดยเทคนิคแกรไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี

2. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy; TEM) ส่วนของรากของต้นอ่อนพืชถูกนำมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากน้ำผึ้ง โดยการใช้น้ำตาลจากน้ำผึ้งเป็นตัวรีดิวซ์เปลี่ยนจาก Ag^{+} เป็น Ag^{0} นอกจากนี้โปรตีนและเอนไซม์ในน้ำผึ้งยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินนาโน [9] โดยมีสมการดังนี้

$$2AgNO_{3(aq)} + C_6H_{12}O_{6(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow 2Ag_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} + C_6H_{12}O_{7(aq)} \quad \ldots(1)\ [14]$$

จากผลการสังเคราะห์ได้ศึกษาขนาดของอนุภาคเงินนาโนเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีโดยอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ได้มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 423 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงอนุภาคเงินนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 นาโนเมตร [15] จากนั้นได้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคเงินนาโนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน จากผลการวิเคราะห์พบว่าอนุภาคเงินนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 20-50 นาโนเมตร และพบว่าอนุภาคเงินนาโนเกิดการรวมตัวกัน

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่างพืช

จากผลการพัฒนากระบวนการย่อยอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่างพืชทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า กระบวนการย่อยวิธี 2 เป็นกระบวนการย่อยที่ง่ายและใช้เวลาน้อย และมีร้อยละการคืนกลับที่มากกว่ากระบวนการย่อยวิธี 1 และ 3 ในตัวอย่างพืชทุกชนิด

ตารางที่ 1 ร้อยละการคืนกลับของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

ตัวอย่างพืช	กระบวนการย่อยแบบเปียก	ร้อยละการคืนกลับในตัวควบคุม (% ± S.D.)	ร้อยละการคืนกลับในตัวอย่าง (% ± S.D.)
ข้าวหอมมะลิ 105			
	1	93.33±3.215	88.67±6.110
ราก	2	96.33±0.5770	90.33±3.785
	3	35.67±3.055	43.00±2.000
	1	86.00±2.645	81.67±2.517
ยอด	2	95.00±1.732	86.33±3.214
	3	42.33±4.014	34.33±1.527
ข้าวเหนียว กข 6			
	1	85.00±5.568	81.67±5.859
ราก	2	94.33±4.041	94.00±3.000
	3	52.67±8.083	43.00±7.810
	1	85.00±5.567	81.67±5.859
ยอด	2	94.33±4.041	93.33±3.511
	3	52.67±8.082	37.67±0.5770
ผักบุ้งจีน			
	1	85.00±5.567	81.67±5.859
ราก	2	96.00±3.464	90.33±6.429
	3	53.33±7.637	43.00±7.810
	1	85.00±5.567	79.33±5.507
ยอด	2	96.00±3.464	90.67±3.785
	3	53.00±2.000	32.00±6.557

* ตัวควบคุม คือ สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

ผลการศึกษาปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

จากการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนมีผลกระทบต่อพืช [16] จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในสายพันธุ์พืชที่ใกล้เคียงและพืชที่มีสภาวะแวดล้อมการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน จำนวน 3 ชนิด

1. การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105

จากการทดลองพบว่า อนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากเท่ากับ 2.588±2.241, 17.68±5.828, 63.21±0.03600 และ 256.9±23.65 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 13.72, 41.29, 40.90 และ 25.09 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

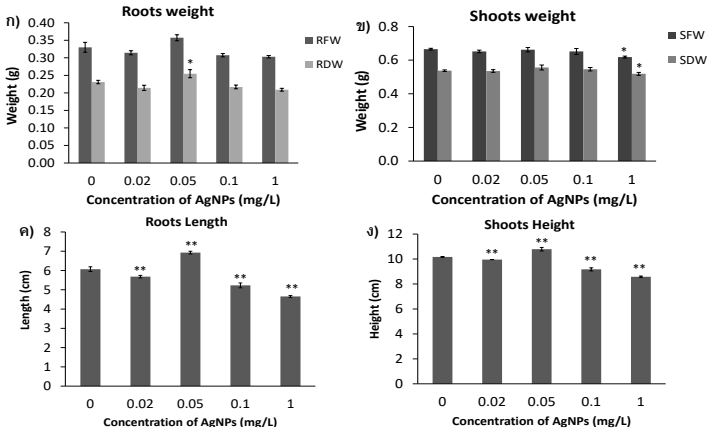
สำหรับการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดสามารถตรวจพบอนุภาคเงินนาโนได้ที่ความเข้ม 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 35.81 และ 14.36 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 เมื่อข้าวหอมมะลิได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุก ๆ ความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลงเมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (ภาพที่ 1) เมื่อสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้มีการเจริญเติบโตช้าลงและเกิดการเหี่ยวของยอด โดยรากจะมีความยาวลดลง 0.3-0.4 เซนติเมตร ส่วนยอดจะมีความยาวลดลง 0.1-0.2 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$ แต่มีข้อสังเกตอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงบวกต่อต้นข้าวหอมมะลิ 105 โดยรากจะมีความยาวเพิ่มขึ้น 0.8-0.9 เซนติเมตร ส่วนยอดจะมีความยาวเพิ่มขึ้น 0.5-0.6 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$ (ภาพที่ 1) นอกจากนี้การที่ข้าวหอมมะลิ 105 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้ความยาวของรากและยอดของข้าวหอมมะลิ 105 ลดลง 1.2-1.5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$

ตารางที่ 2 ปริมาณอนุภาคเงินนาโนที่สะสมในตัวอย่างพืช

ตัวอย่างพืช	ความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโน (mg/L)	ปริมาณการสะสม (µg/kg)	ร้อยละการสะสม (%)	ร้อยละการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอด (%)
ข้าวหอมมะลิ 105				
	0	ND	ND	-
	0.02	2.588±2.241	13.72	-
ราก	0.05	17.68±5.828	41.29	-
	0.1	63.21±0.03600	40.91	-
	1	256.9±23.65	25.09	-

	0	ND	ND	ND
	0.02	ND	ND	ND
ยอด	0.05	ND	ND	ND
	0.1	35.27±13.92	22.82	35.81
	1	43.06±24.65	4.206	14.36
ข้าวเหนียว กข6				
	0	ND	ND	-
	0.02	1.904±0.6100	8.381	-
ราก	0.05	11.78±3.929	23.20	-
	0.1	36.78±4.672	27.53	-
	1	266.7±23.32	25.93	-
	0	ND	ND	ND
	0.02	0.8140±1.251	3.583	29.95
ยอด	0.05	5.704±1.220	11.23	32.62
	0.1	4.755±2.381	3.559	11.45
	1	27.45±8.955	2.669	9.332
ผักบุ้งจีน				
	0	ND	ND	-
	0.02	1.686±0.3240	7.252	-
ราก	0.05	13.60±5.060	25.99	-
	0.1	31.68±10.18	27.10	-
	1	282.5±59.13	25.73	-
	0	ND	ND	ND
	0.02	1.595±0.2890	6.861	48.61
ยอด	0.05	4.054±4.070	7.750	22.97
	0.1	3.973±1.780	3.399	11.14
	1	83.59±23.62	7.614	22.84

* ND คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้



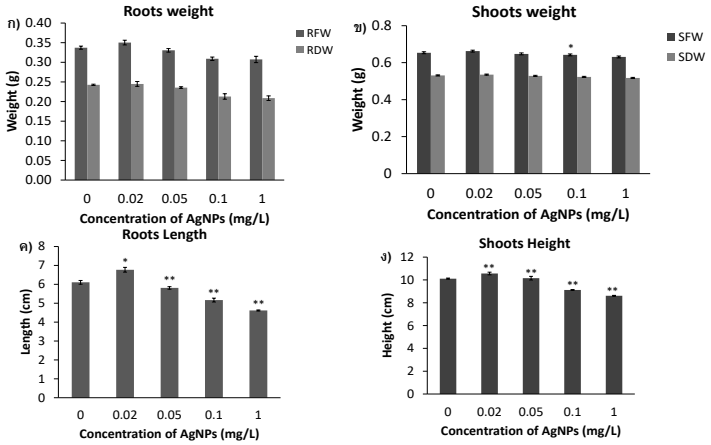
ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน ในสภาวะที่อุณหภูมิห้อง การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (ก) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ข) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ค) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของข้าวหอมมะลิ 105 (ง) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของข้าวหอมมะลิ 105 โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ และ $p<0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

2. การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6

จากการทดลองพบว่า อนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของข้าวเหนียว กข6 มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.904±0.6100, 11.78±3.929, 36.78±4.672 และ 266.7±23.32 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 8.381, 23.20, 27.53 และ 25.93 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4 ขณะที่ปริมาณการสะสมของราก สำหรับการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดสามารถตรวจพบอนุภาคเงินนาโนได้ที่ความเข้ม 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 3.583, 11.23, 3.559 และ 2.669 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ในการศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6 จากผลของการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในข้าวเหนียว กข6 ทำให้ทราบถึงปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6 โดยผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวเหนียว กข6 มีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อข้าวหอมมะลิได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุก ๆ ความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลง เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (ภาพที่ 2) แต่มีข้อสังเกตเมื่อสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงบวกต่อข้าวเหนียว กข6 โดยรากจะมีความยาวเพิ่มขึ้น 0.5-0.6 เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ ส่วนยอดจะมีความยาวเพิ่มขึ้น 0.4-0.5 เซนติเมตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$ เมื่อเทียบกับตัวควบคุม (ภาพที่ 2) นอกจากนี้การที่ข้าวเหนียว กข6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1

และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบทำให้ความยาวของรากและยอดของข้าวเหนียว กข6 ลดลง 1.0-1.2 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$



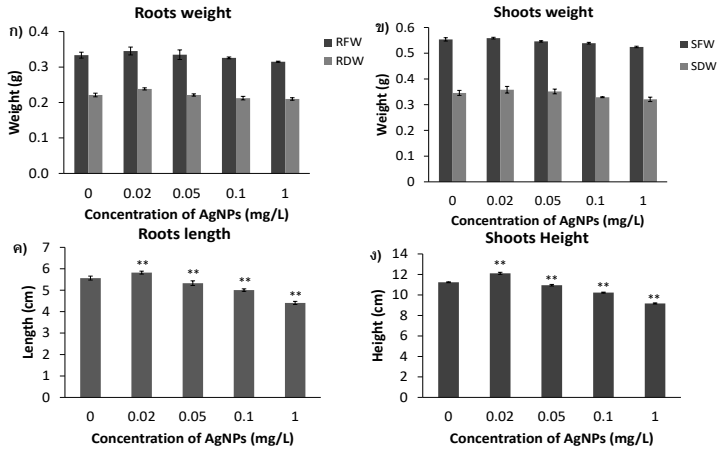
ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวเหนียว กข6 เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน ในสภาวะที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (ก) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของข้าวเหนียว กข6 (ข) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของข้าวเหนียว กข6 (ค) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของข้าวเหนียว กข6 (ง) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของข้าวเหนียว กข6 โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ และ $p<0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

3. การวิเคราะห์ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน

จากการทดลองพบว่า อนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนที่รากของผักบุ้งจีนมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.686±0.3240, 13.60±5.060, 31.68±10.18 และ 282.5±59.13 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 6 ขณะที่ปริมาณการสะสมของรากคิดเป็นร้อยละ 7.252, 25.99, 27.10 และ 25.73 ตามลำดับ สำหรับการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ยอดสามารถตรวจพบอนุภาคเงินนาโนได้ที่ความเข้ม 0.02, 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอดคิดเป็นร้อยละ 48.61, 22.97, 11.14 และ 22.84 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

จากผลของการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในผักบุ้งจีน ทำให้ทราบถึงปริมาณการสะสมและการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อผักบุ้งจีน โดยผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ผักบุ้งจีนมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อผักบุ้งจีนได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แต่การส่งผลกระทบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเหมือนกันในทุก ๆ ความเข้มข้น แม้ว่าแนวโน้มของน้ำหนักสดและแห้งของรากและยอดจะลดลง เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (ภาพที่ 3) แต่มีข้อสังเกตเมื่อสัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงบวกต่อผักบุ้งจีน โดยรากจะมีความ

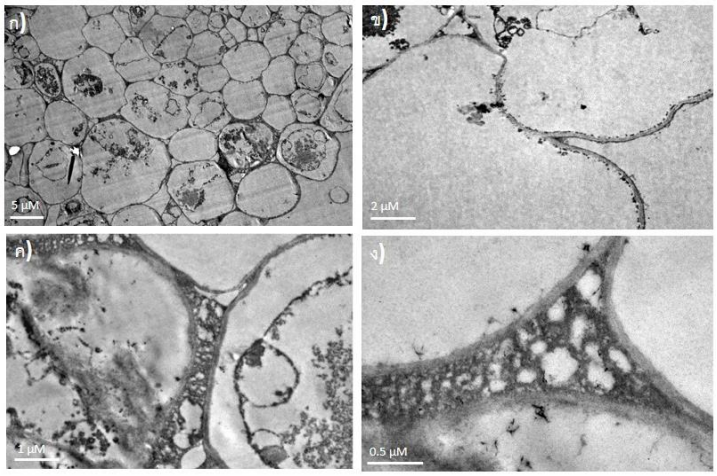
ยาวเพิ่มขึ้น 0.3-0.4 เซนติเมตร และยอดจะมีความยาวเพิ่มขึ้น 0.8-0.9 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$ แสดงดังภาพที่ 8 นอกจากนี้การที่ผักบุ้งจีนได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบทำให้ความยาวของรากและยอดของผักบุ้งจีนลดลง 0.7-1.0 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.01$



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน เมื่อได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน ในสภาวะที่อุณหภูมิห้อง การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (ก) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของรากสด (Roots fresh weight, RFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Roots dry weight, RDW) ของผักบุ้งจีน (ข) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อน้ำหนักของยอดสด (Shoots fresh weight, SFW) และน้ำหนักของรากแห้ง (Shoots dry weight, SDW) ของผักบุ้งจีน (ค) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความยาวของราก (Roots length, RL) ของผักบุ้งจีน (ง) แสดงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อความสูงของยอด (Shoots height, SH) ของผักบุ้งจีน โดย * และ ** แทนความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$ และ $p<0.01$ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ผลการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโน

จากการศึกษาพบว่า อนุภาคเงินนาโนได้มีการกระจายตัวการสะสมอยู่ทุกบริเวณของรากพืช โดยพบมากบริเวณส่วนของท่อลำเลียงอาหารของราก และยังพบว่ามีการรวมตัวกันของอนุภาคเงินนาโนทำให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งการรวมตัวนี้อาจทำให้เกิดการขัดขวางการลำเลียงอาหารจากรากไปสู่ยอด และเป็นสาเหตุให้ข้าวเหนียว กข6 มีการเจริญเติบโตช้าลง จึงอาจสรุปได้ว่าถ้าข้าวเหนียว กข6 ได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการสะสมของรากที่สูงขึ้น จะทำให้การขัดขวางการลำเลียงอาหารไปยังยอดมีความสามารถน้อยลง และนอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวภายในเนื้อเยื่อของรากบริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งการสะสมนี้จะส่งผลต่อรูปร่างของเซลล์และการพัฒนาการของข้าวเหนียว กข6



ภาพที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในส่วนต่าง ๆ ของพืช (ก) แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเนื้อเยื้อและผนังเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 (ข) การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในท่อขนส่งอาหารของรากของข้าวเหนียว กข6 (ค) การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในเนื้อเยื้อและผนังเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 (ง) การกระจายตัวการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในผนังเซลล์ชั้นนอกของรากของข้าวเหนียว กข6

สรุปและอภิปรายผล

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อตัวอย่างพืชทั้ง 3 ชนิด

จากการวิจัยของ Thuesombat, P. และคณะ พบว่ามีการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในพืช เช่น การศึกษาผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวหอมมะลิ 105 [15] ได้มีการเตรียมตัวอย่างในการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโนในต้นข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้กระบวนการย่อยแบบไมโครเวฟ (Microwave digestion) แต่เนื่องจากการใช้ไมโครเวฟเป็นกระบวนการย่อยที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษากระบวนการย่อยแบบเปียก ในการเตรียมตัวอย่างมีปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของกรดที่ใช้ในการละลาย เวลา และอุณหภูมิ เป็นต้น

จากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวมาดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยแบบเปียกของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่ากระบวนการย่อยวิธี 2 พบว่ามีร้อยละการคืนกลับอยู่ระหว่างร้อยละ 81.67 - 94.00 ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็วและมีร้อยละการคืนกลับที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี 1 และ 3

2. ปริมาณการสะสม การเคลื่อนย้าย และผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนในตัวอย่างพืช

ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีนได้สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณการสะสมที่สูงขึ้นและส่งผลทำให้พืชมีพัฒนาการการเจริญเติบโตที่ช้าลง โดยในสารละลายอนุภาคเงินนาโนความเข้มข้น 0.02 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่พบการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินนาโนไปสู่ยอดสำหรับข้าวหอมมะลิ 105 ในกรณีของข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีนอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีการเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ยอด จึงส่งผลให้ข้าวเหนียว กข6 และผักบุ้งจีนมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้าลงซึ่งวิเคราะห์ได้จากการลดลงของความยาว น้ำหนักสดและแห้งของรากและยอด

ของข้าวเหนียว กข6 เมื่อเทียบกับตัวควบคุม ขณะที่สารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 และผักบุ้งจีน โดยจะทำให้ความยาวของรากและยอดลดลง รวมทั้งน้ำหนักของรากและยอดก็ลดลงด้วย แต่มีข้อสังเกตสารละลายอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.02 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ในผักบุ้งจีนและข้าวหอมมะลิ 105 ตามลำดับ พบว่าจะส่งผลเชิงบวก โดยรากและยอดของพืชจะมีความยาวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งก่อนหน้านี้มีงานวิจัยของ Nair, P. M. และ Chung, I. M. ได้กล่าวถึงการที่รากและลำต้นของข้าวหอมมะลิ 105 ยาวกว่าตัวควบคุม เป็นเพราะอนุภาคเงินนาโนมีความเหมาะสมกับการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบริเวณรากของข้าวจะส่งผลให้รากและยอดยาวมากกว่าปกติ [7]

ในขณะที่ส่วนรากของข้าวเหนียว กข6 ที่สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และมีการพัฒนาการของรากข้าวเหนียว กข6 ที่ช้ากว่าปกติโดยสังเกตได้จากความยาว และน้ำหนักสดและแห้งของรากที่ลดลง อีกทั้งการสะสมปริมาณมากและการรวมตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากและยอดของข้าวเหนียว กข6 อาจเป็นปัจจัยในการขัดขวางการลำเลียงอาหารและน้ำไปเลี้ยงในส่วนต่าง ๆ ของข้าวเหนียว กข6 จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอนุภาคเงินนาโนที่มีต่อข้าวเหนียว กข6 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณการสะสมของอนุภาคเงินนาโน

3. การกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในส่วนต่าง ๆ ของพืช

การกระจายตัวของอนุภาคเงินนาโนในรากของข้าวเหนียว กข6 ที่สัมผัสกับอนุภาคเงินนาโนที่มีความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีการรวมตัวและสะสมบริเวณท่อขนส่งอาหาร เนื้อเยื่อ ผนังเซลล์ และภายในเซลล์ของรากของข้าวเหนียว กข6 นอกจากนี้การรวมตัวทำให้อนุภาคเงินนาโนมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการขัดขวางการขนส่งอาหารจากรากไปส่วนต่าง ๆ ของข้าวเหนียว กข6 อีกทั้งการสะสมยังส่งผลต่อรูปร่างและการพัฒนาการของเซลล์ของข้าวเหนียว กข6

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Corbett, J., McKeown, P. A., Peggs, G. N., and Whatmore, R. (2000). Nanotechnology: international developments and emerging products. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. *49*(2), 523-545.

[2] Becaro, A. A., Puti, F. C., Correa, D. S., Paris, E. C., Marconcini, J. M., and Ferreira, M. D. (2015). Polyethylene films containing silver nanoparticles for applications in food packaging: Characterization of physico-chemical and anti-microbial properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 15*, 2148-2156.

[3] Kaegi, R., Sinnet, B., Zuleeg, S., Hagendorfer, H., Mueller, E., Vonbank, R., Boller, M., and Burkhardt, M. (2010). Release of silver nanoparticles from outdoor facades. *Environmental Pollution. 158*, 2900-2905.

[4] Krishnaraj, C., Jagan, E. G., Ramachandran, R., Abirami, S. M., Mohan, N., and Kalaichelvan, P. T. (2012). Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Baco pamonnieri* (Linn.) Wettst. plant growth metabolism. *Process Biochemistry. 47*, 651-568.

[5] Fateme, M., Hossein, A., Sara, H., Mohsen, F., and Alireza, G. (2013). Effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa L.* and its rhizosphere bacteria. *Ecotoxicology and Environmental Safety. 88*, 48-54.

[6] Pakvirun, T., Supot, H., Sanong, A., and Supachitra, C. (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.

[7] Nair, P. M., and Chung, I. M. (2014). Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (Oryza sativa L.) seedlings. *Chemosphere. 112*, 105-113.

[8] Li, C. C., Dang, F., Li, M., Zhu, M., Zhong, H., Hintelmann, H. and Zhou, D. M. (2017). Effects of exposure pathways on the accumulation and phytotoxicity of silver nanoparticles in soybean and rice. *Nanotoxicology. 11*, 699-709.

[9] Philip, D. (2010). Honey mediated green synthesis of silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 75*, 1078-1081.

[10] Hoagland, D. R., and Arnon, D. I. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil.* 1st ed. Berkeley: California.

[11] Larue, C., Laurette, J., Herlin-Boime, N., Khodja, H., Fayard, B., Flank, A. M., Brisset, F., and Carriere, M. (2012). Accumulation, translocation and impact of TiO_2 nanoparticles in wheat (Triticumaestivum spp.): Influence of diameter and crystal phase. *Science of the Total Environment. 431*, 197-208.

[12] Kunthup, J., Srisung, S. (2016). Study optimal conditions for wet digestion of silver nanoparticles on rice (Oryza sativa L.cv. KDML105), sticky rice (Oryza sativa var. glutinosa cv. RD 6). *12th Naresuan Research Conference: Research and Innovation with National Development.* Phitsanulok, Thailand. pp. 377-383.

[13] Fabrega, J., Zhang, R., Renshaw, J. C., Liu, W. T., and Lead, J. R. (2011). Impact of silver nanoparticles on natural marine biofilm bacteria. *Chemosphere. 85*, 961-966.

[14] Wasif, A.I., Landage, S.M., and Dhuppe, P.U. (2014). Application of nanosilver on textiles synthesized using chemical reduction methods. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences. 3*, 45-53.

[15] Paramelle, D., Sadovoy, A., Gorelik, S., Free, P., Hobley, J., and Fernig, D. G. (2014). A rapid method to estimate the concentration of citrate capped silver nanoparticles from UV-visible light spectra. *Analyst. 139*(19), 4855-4861.

[16] Thuesombat, P., Hannongbua, S., Akasit, S., and Chadchawan, S. (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.