

ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อคุณภาพและอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวาย
Dendrobium พันธุ์ชาวสวนาน

นางสาวมาสุทล สัจญ์พิง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF NANO-SILVER ON QUALITY AND VASE LIFE OF *Dendrobium*
'KHAO SANAN' FLOWERS

MISS MARSUTON SANYAPEUNG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อคุณภาพและอายุการปักแจกันของ

ดอกกล้วยไม้สกุลหวาย *Dendrobium* พันธุ์ขาวสนาน

โดย

นางสาวมาสุทล สัตย์พึ่ง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบุญรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบุญรัตน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ยุพิน จินตภากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.สายชล เกตุษา)

มาสุทล สัตย์พิง : ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อคุณภาพและอายุการปักแจกันของดอก
กล้วยไม้สกุลหวาย *Dendrobium* พันธุ์ขาวสนาน. (EFFECTS OF NANO-SILVER ON
QUALITY AND VASE LIFE OF *Dendrobium* 'KHAO SANAN' FLOWERS)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ธีรดา หวังสมบุญดี, 75 หน้า.

ในปัจจุบันนาโนซิลเวอร์ถูกนำมาใช้เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของ
แบคทีเรีย ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษานิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ (NS) 3 ชนิด ที่
มีขนาดอนุภาคและรูปร่างต่างกัน ดังนี้ NS Yellow (\varnothing 40 nm, spherical shape) NS Pink (\varnothing
40 nm, plate shape) และ NS Blue (\varnothing 80 nm, plate shape) ที่ความเข้มข้น 2.5 5 10 และ
20 มก./ลิตร ในการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* *Staphylococcus aureus*
แบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B ซึ่งเป็นตัวแทนแบคทีเรียที่แยกได้จากน้ำปักแจกัน
ของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน พบว่า NS Yellow ที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร ให้
ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุด เมื่อนำ NS Yellow มาทดลองยืด
อายุกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน และศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อคุณภาพของกล้วยไม้
ตัดดอก ด้วยวิธีการ holding คือ การแช่กล้วยไม้ตลอดอายุการปักแจกันโดยใช้นาโนซิลเวอร์
ความเข้มข้น 2.5 5 และ 10 มก./ลิตร และวิธีการ pulsing คือ การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายมาแช่ในน้ำกลั่นตลอดอายุการปักแจกัน โดยใช้ความเข้มข้น
2.5 5 10 และ 20 มก./ลิตร พบว่าการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร
ตลอดอายุการปักแจกัน สามารถเพิ่มการบานของดอกตูม และชะลอการเหี่ยวหรือการหลุดร่วง
ของดอกตูมดอกแรก และดอกบานดอกแรกหลังการปักแจกันได้ดีกว่าชุดควบคุมที่แช่กล้วยไม้
ในน้ำกลั่นตลอดอายุการปักแจกัน นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ทั้งวิธีการ holding
และการทำ pulsing สามารถยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้ได้นาน 20.3 และ 20.0 วัน
ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (16.5 วัน) นอกจากนี้นาโน
ซิลเวอร์ยังสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งในน้ำปักแจกัน และภายในส่วนโคนก้านช่อ
ดอกของกล้วยไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้เกิดการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำข้างลง และมี
อายุการปักแจกันนานขึ้น

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....ลายมือชื่อ.....

ปีการศึกษา.....2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5172412223 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS : NANO-SILVER / DENDROBIUM / VASE LIFE

MARSUTON SANYAPEUNG : EFFECTS OF NANO-SILVER ON QUALITY AND
VASE LIFE OF *Dendrobium* 'KHAO SANAN' FLOWERS. THESIS ADVISOR :
TEERADA WANGSOMBOONDEE, Ph.D., 75 pp.

Recently, nano-silver (NS) is widely used due to its antibacterial property. In this research, three types of NS with different average particle sizes and shapes were studied for the antibacterial ability against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, Unknown A and Unknown B (the representative bacteria isolated from vase solutions of *Dendrobium* 'Khao Sanan'). NS used were NS Yellow ($\text{\O} 40$ nm, spherical shape), NS Pink ($\text{\O} 40$ nm, plate shape) and NS Blue ($\text{\O} 80$ nm, plate shape) at concentrations of 2.5, 5, 10 and 20 mg/L. The results showed that 20 mg/L NS yellow had the highest effectiveness in inhibiting bacterial growth. Then the NS yellow was used in the experiment to prolong postharvest life of orchid cut flowers (*Dendrobium* 'Khao Sanan'). Effects of NS on orchid cut flower qualities were studied by placing orchid stems in 2.5, 5 and 10 mg/L NS holding solution and NS pulsing solution at 2.5, 5, 10 and 20 mg/L for 24 h. and then stood in vases containing distilled water. The results showed that orchids in 10 mg/l NS holding solution could increase bud opening and delay the first wilting or dropping of the florets after treatment better than control treatment hold in distilled water. Ten mg/L NS both in the holding solution and in the NS pulsing solution could significantly prolong vase life of orchids for 20.3 and 20.0 days, respectively, comparing with control treatment (16.5 days). Moreover, NS could significantly inhibit bacterial growth in vase solutions and stem-end of the orchids resulting in delay blockage of the xylems and last longer vase life.

Field of Study : Biotechnology Student's Signature

Academic Year : 2011 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบุญรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล คุณวาสี ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.ยุพิน จินตภากร กรรมการหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ และ ศาสตราจารย์ ดร.สายชล เกตุษา กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาในการทดลองทดลองจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.มานิต คิโดอยู่ อาจารย์ ดร.ชนิตา ปาลิยะวุฒิ คุณฐปนา บางยี่ขัน และ คณาจารย์เจ้าหน้าที่ทุกคนของภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ รองศาสตราจารย์ ดร.นาตยา งามโรจนวณิชย์ และเจ้าหน้าที่ทุกคน ของหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ และพี่ๆ จากหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณัฐ ที่ให้ความอนุเคราะห์นาโนซิลเวอร์เพื่อใช้ทดลองการทำวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ ความเข้าใจด้านเคมีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์เจ้าหน้าที่ ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับสมาชิกทุกคนในครอบครัว และพี่ๆ จากสำนักวิจัยพัฒนา เทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือเป็นกำลังใจในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. การตรวจเอกสาร.....	4
2.1 สถานการณ์การผลิตและการตลาดกล้วยไม้.....	4
2.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน.....	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้.....	7
2.4 การใช้สารเคมีส่งเสริมคุณภาพดอกไม้.....	11
2.5 การยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอกหลังการเก็บเกี่ยว.....	12
2.6 ซิลเวอร์ต่อการยับยั้งแบคทีเรีย.....	13
2.7 กลไกการทำงานของไอออนซิลเวอร์.....	13
2.8 กลไกการทำงานของนาโนซิลเวอร์.....	14
2.9 การใช้ประโยชน์จากนาโนซิลเวอร์ในการยืดอายุไม้ตัดดอก.....	17
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 คัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารนาโนซิลเวอร์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย.....	19
3.2 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้.....	21
3.3 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในกล้วยไม้ปักแจกัน.....	22
3.3.1 การหาจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน.....	23
3.3.2 การหาจำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอก.....	23
3.3.3 ศึกษาภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก.....	23
3.4 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้.....	24
4. ผลการทดลอง.....	25
4.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้ง	

การเจริญของแบคทีเรีย.....	25
4.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้.....	31
4.2.1 การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกบาน.....	31
4.2.2 การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกตูม.....	31
4.2.3 จำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น.....	31
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงของยอดก้านช่อดอก.....	33
4.2.5 อัตราการดูดน้ำ และปริมาณการดูดน้ำรวมของดอกกล้วยไม้.....	34
4.2.6 ความเข้มข้นและวิธีการแช่นาโนซิลเวอร์ที่เหมาะสมในการยืดอายุการปักแจกัน.....	36
4.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกัน	39
4.3.1 จำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน.....	40
4.3.2 จำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอก.....	40
4.3.3 ภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก.....	42
4.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้.....	44
5. อภิปรายผลการทดลอง.....	45
5.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย.....	45
5.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้.....	46
5.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกันและภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก.....	48
5.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้.....	49
6. สรุปผลการทดลอง.....	51
6.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย.....	51
6.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน.....	51
6.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกัน.....	51
6.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้.....	52
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	75

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกดอกกล้วยไม้สดรายเดือน ปี 2542-2551.....	6
2	ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของ <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง.....	26
3	ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อจำนวนวันที่ดอกบานและดอกตูม เหี่ยวหรือร่วงเป็นดอกแรก เปอร์เซ็นต์ดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น ของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	32
4	ผลของซิลเวอร์นาโนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงก้านช่อดอกและการดูดน้ำของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อหมดอายุการปักแจกัน	35
5	ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่ออายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	37

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขนาดอนุภาคและสีของนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	20
2	การเจริญของ <i>E. coli</i> บนอาหารวุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความเข้มข้น ต่างๆ กัน.....	27
3	การเจริญของ <i>S. aureus</i> บนอาหารวุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความ เข้มข้นต่างๆ กัน.....	28
4	การเจริญของแบคทีเรีย Unknown A บนอาหารวุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิด และความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	29
5	การเจริญของแบคทีเรีย Unknown B บนอาหารวุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิด และความเข้มข้นต่างๆ กัน.....	30
6	เปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมของกล้วยไม้ตัดดอกหวายขาวสนานที่แช่นาโนซิลเวอร์ (NS) ความเข้มข้นต่างๆ โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	33
7	การเปลี่ยนแปลงของปลายยอดก้านช่อดอกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน.....	34
8	อัตราการดูน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน ที่แช่ นาโนซิลเวอร์ (NS) ความเข้มข้นต่างๆ โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	36
9	ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แช่นาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 3 สัปดาห์ ...	38
10	กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แช่นาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 7 วัน.....	39
11	กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แช่นาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 14 วัน.....	39
12	ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน ตลอดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	41
13	ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่โคนก้านช่อ ดอกตลอดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....	41
14	เนื้อเยื่อลำเลียงภายในโคนก้านช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ pulsing ด้วยนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อายุการปักแจกัน 7 วัน.....	43
15	ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อปริมาณการดูดต้นเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่ส่วนโคน ก้านช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อายุการปักแจกันวันที่ 0 1 3 5 และ 7.....	43
16	ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่ออัตราการสร้างเอทิลีน (nl/g/h) ของช่อดอก กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อายุการปักแจกันถึงวันที่ 16.....	44

บทที่ 1

บทนำ

กล้วยไม้เป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับประเทศ โดยประเทศไทยส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกเมืองร้อน มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาเป็นเวลานาน การส่งออกยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอดจนมีมูลค่า มากกว่า 2,000 ล้านบาท เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตและการส่งออก โดยมีผู้ นำเข้ากล้วยไม้จากประเทศไทยกว่า 30 ประเทศ จะเห็นได้ว่ากล้วยไม้ไทยเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ อย่างไรก็ดีตามประเทศคู่แข่งชั้นนำของไทยก็มีอยู่ไม่น้อย ดังนั้นการรักษาค่ารวมทั้งการรักษาตลาดกล้วยไม้ไทย เอาไว้ รวมถึงการขยายตลาดต่อไปในอนาคตจึงต้องแข่งขันกันด้วยคุณภาพ ตลาดต่างประเทศนิยมสั่งซื้อ กล้วยไม้สกุลหวาย (*Dendrobium*) เนื่องจากมีสีสันสดใส หลากหลายและระยะเวลาการใช้งานนาน ส่วนตลาด ในประเทศดอกกล้วยไม้เป็นที่นิยมมากขึ้นกว่าในอดีต เห็นได้จากงานพิธีและเทศกาลต่างๆ ผู้จัดงานหันมาใช้ ดอกกล้วยไม้กันมากขึ้น เนื่องจากดอกกล้วยไม้มีอายุการใช้งานนานและราคาไม่แพง จากเดิมที่นิยมไม้ตัดดอก ประเภทอื่นๆ ได้แก่ ดอกกุหลาบ เบญจมาศ และเยอบีร่า เท่ากับว่าความต้องการกล้วยไม้มีแนวโน้มสูงขึ้นทั้ง ภายในและต่างประเทศ (สุทัศน์ ลิ้มปิยะประพันธ์, 2554) วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งใน การยืดอายุไม้ตัดดอก การมีอายุยาวนานของไม้ตัดดอกเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ขาย เพราะต้องอาศัยเวลาในการ บรรจุกักเก็บและการขนส่ง อีกทั้งผู้ซื้อก็ต้องการความสดใหม่ของดอกไม้และต้องการไม้ตัดดอกที่คงความสวยงาม ไว้ได้นาน (Gollnow และ Wade, 2002)

ปัญหาการส่งออกดอกกล้วยไม้ที่ผู้ขายมักประสบ คือ คุณภาพดอกกล้วยไม้ต่ำ หมายถึง ความบาน และคงทนของดอกมีอายุสั้น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงมีมาตรการเพื่อส่งเสริมพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต และวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวการส่งออกดอกกล้วยไม้ให้ทันสมัยอยู่เสมอ (เจตน์ มีญาณเยี่ยม, 2544) การยืด อายุไม้ตัดดอก (Vase life) คือ การยับยั้งการร่วงโรยของดอก ซึ่งเกิดจากการอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (Stem end blockage) ทำให้เกิดภาวะขาดสมดุลระหว่างการดูดน้ำเข้าภายในเซลล์ และการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ ที่มีสาเหตุมาจาก 3 ประการ คือ แบคทีเรีย บาดแผลทางกายภาพ (He และคณะ, 2006; Loubaud และ van Doorn, 2004) ซึ่งธรรมชาติของพืช จะสร้างสารเพื่อปิดบาดแผล จึงขัดขวางการไหลผ่านของน้ำ (Gollnow และ Wade, 2002) และ Physical air emboli (van Meeteren และคณะ, 2006) ซึ่งเป็นผลมาจากฟองอากาศขนาดเล็กถูกดึงเข้าสู่ลำต้นตรงบริเวณที่ถูกตัด หรือระหว่างการเก็บรักษาแห้ง สามารถกำจัดภาวะการอุดตันของเนื้อ เยื่อลำเลียงน้ำได้ โดยตัดเป็นมุมเฉียงได้น้ำ (Gollnow และ Wade, 2002) นอกจากนี้ดอกไม้ทั่วไป มักเกิดความเสียหายเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแก๊สเอทิลีน ส่งผลทำให้อายุไม้ตัดดอกลดลง ซึ่งผลร้ายซ้ำ รอยถลอกของดอกไม้ที่ เกิดขึ้นระหว่างการจัดการ มักเป็นสาเหตุให้เกิดการปล่อยแก๊สเอทิลีน และยังเป็นแหล่งให้แบคทีเรียเข้าปาก แผลได้ ผู้ขายจึงมักใช้ Silver thiosulfate (STS) ร่มกล้วยไม้ตัดดอก เพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน (Gollnow และ Wade, 2002) จากการวิจัยพบว่า แบคทีเรียเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ ซึ่งทำให้อายุไม้ตัดดอกสั้น (Gollnow และ Wade, 2002; Liu และคณะ, 2009) ดังนั้นแบคทีเรียจึงเป็นปัญหา สำคัญในไม้ตัดดอก การพัฒนาคัดเลือกสารเคมีเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียจึงเป็นทางเลือกที่ผู้ประกอบการ และนักวิจัยให้ความสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบซิลเวอร์ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งการ เจริญของแบคทีเรีย มีการทดลองใช้สารประกอบซิลเวอร์ เช่น ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่า

การใช้ STS ในการควบคุมการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย ช่วยเพิ่มการบานของดอกและยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอก สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ (Ketsa และคณะ, 1995) ซึ่งไอออนซิลเวอร์ (Ag^+) สามารถเข้าจับกับผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย และยังสามารถยับยั้งกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ดังนั้นการใช้ซิลเวอร์ในรูปแบบของอนุภาคนาโนซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคเล็ก มีพื้นที่สัมผัสภายนอกมากกว่า จึงสามารถสัมผัสกับเซลล์แบคทีเรียได้ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียดีกว่าไอออนซิลเวอร์ เมื่ออนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย จึงมีผลในการทำลายกระบวนการหายใจระดับเซลล์และการแบ่งเซลล์ นำไปสู่การตายของเซลล์แบคทีเรีย (Li และคณะ, 2009; Rai และคณะ, 2009)

เทคโนโลยีนาโนซิลเวอร์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในด้านการผลิตยา การแพทย์ และเครื่องสำอาง ตลอดจนเริ่มทดลองใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร เช่น การใช้ฟิล์มที่ผลิตจากวัสดุนาโนซิลเวอร์ห่อผลไม้ในการขนส่งเพื่อชะลอการสุก (Li และคณะ, 2009) การใช้น้ำนาโนซึ่งมีนาโนซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบ เพื่อเร่งการเจริญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของต้นอ่อนกล้วยไม้พันธุ์เหลืองจันทร์ในส่วนประกอบอาหารรุ้น และเพิ่มความแข็งแรงกล้วยไม้ในกระถางโดยการฉีดพ่นภายนอก (สาโรจน์ ประเสริฐศิริวัฒน์ และคณะ, 2549) การทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่จุดต้นเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก (stem-end bacteria) และเพิ่มอัตราการดูดน้ำเข้าภายในเซลล์ของเยอบีร่าตัดดอก ทำให้มีอายุการปักแจกันที่ยาวนานขึ้น (Liu และคณะ, 2009) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้นาโนซิลเวอร์เพื่อทดลองยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนานซึ่งเป็นพันธุ์หลักที่นิยมทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ที่มีต่ออายุและคุณภาพของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน หลังการเก็บเกี่ยว

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย
2. ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของนาโนซิลเวอร์ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน
3. ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน และก้านช่อดอกของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน
4. ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับผลการใช้นาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน
2. เพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคในการเลือกใช้นาโนซิลเวอร์นอกเหนือไปจากการใช้สารเคมีอื่น
3. เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดทิศทางการผลิตและประยุกต์ใช้นาโนซิลเวอร์เพื่อตอบสนองความต้องการเชิงเศรษฐกิจต่อไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สถานการณ์การผลิตและการตลาดกล้วยไม้

ในปี 2552 ประเทศไทยมีการผลิตกล้วยไม้ตัดดอก ในเนื้อที่ประมาณ 22,042 ไร่ ให้ผลผลิตดอกกล้วยไม้ 52,923 ต้นต่อปี เฉลี่ยเป็น 2,401 กิโลกรัมต่อไร่ จังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกกล้วยไม้หลัก 5 อันดับแรก ได้แก่ นครปฐม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ราชบุรี และนนทบุรี ตามลำดับ สามารถเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตกล้วยไม้ตัดดอกได้ตลอดทั้งปี โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตมากในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายเป็นสกุลที่ปลูกมากที่สุด มีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 80 พันธุ์ที่ปลูกมากได้แก่ ใจแดง บอม 17 เขียสกุล ขาวสนาน แอนนา ซากุระ และขาว 5N รองลงมาเป็นสกุลม็อคคาร่า ออนซีเดียม และแวนด้า พื้นที่ที่มีการปลูกกล้วยไม้ตัดดอกหนาแน่น ได้แก่ เขตอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม และอำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร จำนวนเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกมีประมาณ 2,000 ราย สำหรับกล้วยไม้จำหน่ายต้นที่มีการผลิตมากที่สุด คือ สกุลหวาย รองลงมาเป็น สกุลแวนด้า สกุลฟาแลนอปซิส และสกุลออนซีเดียม แหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัด กรุงเทพมหานคร นครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี กาญจนบุรี นครราชสีมา และเชียงใหม่ จำนวนเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้จำหน่ายต้นทั่วประเทศมีประมาณ 500 ราย (ควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, สำนัก, 2551; เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน, 2553)

กล้วยไม้ที่ผลิตในประเทศไทย มีทั้งที่ผลิตเพื่อใช้ในประเทศและส่งออกต่างประเทศ เกษตรกรขายกล้วยไม้ตัดดอก โดยคิดตามความยาวก้านช่อดอก ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 35-40 ซม. 40-50 ซม. และ 55-60 ซม. ในปี 2552 ราคาเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 2.67 บาท 3.67 บาท และ 4.63 บาท ต่อช่อดอก ตามลำดับ โดยมีต้นทุนการผลิต 1.40 บาท ต่อช่อ เป็นปริมาณกล้วยไม้ที่ใช้ในประเทศ 26,175 ต้น และเพื่อการส่งออก 26,750 ต้น ราคาส่งออก 98.65 บาท ต่อกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 2,639 ล้านบาท ซึ่งมีส่วนแบ่งการตลาดโลกเป็น 30.88% คู่ค้าที่สำคัญ คือ ประเทศญี่ปุ่น โดยส่งออกมากที่สุดคิดเป็นมูลค่า 740.50 ล้านบาท รองลงมา คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา 445.85 ล้านบาท และประเทศอิตาลี 232.73 ล้านบาท ประเทศคู่แข่งที่สำคัญ คือ มาเลเซีย และสิงคโปร์ ดังนั้นในแผนพัฒนาจึงมีเป้าหมายเพื่อให้การส่งออกกล้วยไม้เป็นสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยมุ่งยกระดับรายได้เกษตรกรและผลักดันการส่งออกให้ได้ปีละ 10,000 ล้านบาท ตั้งแต่ปี 2554-2559 เป็นต้นไป และรักษาความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกกล้วยไม้เมืองร้อน เป็นอันดับหนึ่งของโลก (เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน, 2552; ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2552) เนื่องจากผลผลิตกล้วยไม้ตัดดอก ยังมีปริมาณไม่เพียงพอกับการส่งออก ทำให้เกษตรกรสามารถขายดอกกล้วยไม้เกรดยาวที่สุดได้ราคาสูงถึงช่อละ 10-14 บาท จึงเป็นแรงจูงใจให้มีการปลูกเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการขยายการปลูกไปในพื้นที่อำเภอนครชัยศรี และอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม อำเภอโพธาราม และอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรี (ศูนย์ข้อมูลด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสมุทรสาคร, 2551) เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเหมาะกับการเจริญของกล้วยไม้ ใกล้เคียงน้ำ ตลาด และมีการคมนาคมขนส่งที่สะดวก และปัจจุบันพื้นที่ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกมีแนวโน้มที่จะย้ายจากกรุงเทพมหานคร ไปยังจังหวัดใกล้เคียงมากขึ้น เนื่องจากปัญหาที่ดินมีราคาสูง (ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย, 2551) ขณะที่พื้นที่ผลิตกล้วยไม้จำหน่ายต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนการส่งออกคาดว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งการส่งออกกล้วยไม้ตัดดอก

และต้นกล้วยไม้ จากปริมาณและมูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เอื้ออำนวย เช่น ประเทศที่เป็นตลาดใหม่ ได้แก่ ประเทศจีน อินเดีย และประเทศในยุโรปตะวันตก เริ่มมีความต้องการกล้วยไม้มากขึ้น ขณะที่กล้วยไม้ไทยมีพันธุ์ใหม่ๆ ออกสู่ตลาด และหน่วยงานราชการมีกิจกรรมส่งเสริมตลาดกล้วยไม้มากขึ้นและทำอย่างต่อเนื่อง (ศูนย์ข้อมูลด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสมุทรสาคร, 2551)

ถึงแม้ว่าประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกกล้วยไม้เมืองร้อนสกุลหวายเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่การส่งออกยังประสบปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งจากค่าระวางที่มีราคาแพง ขาดห้องเย็นที่สนามบิน และมีการใช้มาตรการกีดกันด้านสุขอนามัย กล้วยไม้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และลดต่ำลงเมื่อถึงมือผู้บริโภค เนื่องจากขาดการจัดการที่มีประสิทธิภาพในระดับสวนเกษตรกรและผู้ส่งออก เช่น การตัดดอกที่มีจำนวนดอกบานน้อย มีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม รวมทั้งการผสมสาร Methyl bromide เพื่อแก้ปัญหาเพลี้ยไฟในกล้วยไม้ส่งออก (งานเศรษฐกิจการเกษตร, สำนัก, 2552; 2553) จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการปลูกและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยไม้เพื่อให้ได้กล้วยไม้ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น

2.2 ลักษณะทั่วไปของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวसानาน

กล้วยไม้ *Dendrobium* 'Khao Sanan' อยู่ในวงศ์ Orchidaceae สกุล *Dendrobium* หรือสกุลหวาย เป็นหวายขาวลูกผสม ระหว่าง *Dendrobium* Walter Oumae ซึ่งมีสีขาวดอกเล็ก ปลายกลีบชั้นนอกกว้างกว่าโคนกลีบ และดอกมีกลิ่นหอมอ่อนๆ กับ *Dendrobium* White Doreen กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวसानาน มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นกล้วยไม้อิงอาศัย มีการเจริญเติบโตทางด้านข้าง ต้นเจริญเป็นกอ ขึ้นตรง ใบเป็นใบเดี่ยว แผ่นใบแบน รูปขอบขนานหนา สีเขียว ขอบใบเรียบ และปลายใบเรียวแหลม ช่อดอกเกิดที่ช่วงบนของลำทางด้านข้างหรือเกิดที่ปลายยอด โคนก้านช่อดอกตั้งตรง สีพื้นกลีบดอกทุกกลีบสีขาว กลีบเลี้ยงอันบนเป็นอิสระ กลีบเลี้ยงด้านข้างส่วนโคนเชื่อมติดกันมีลักษณะคล้ายคาง ชันเกสรเพศผู้และเพศเมียเชื่อมติดกันเป็นแท่งเรียวยาว เล้าเกสร ด้านบนสุดมีอับเรณูและฝาปิดอับเรณู ด้านหน้าเว้าเป็นแอ่ง มีสารเหนียวใส เป็นเมือก ที่ยอดเกสรตัวเมีย กลีบปากอยู่ทางด้านล่าง มีขนาดกว้าง 1.6 ซม. ยาว 1.4 ซม. ปลายมนสีขาว โคนสีเขียวอ่อน (yellow-green group 150 D) ออกดอกตลอดปีจากตายอดและตาข้างของลำหน้า และตาข้างของลำหลัง ครั้งละ 1-3 ช่อต่อลำ ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้น ดอกตกในช่วงฤดูฝน เป็นพันธุ์ที่ปลูกเลี้ยงง่าย ก้านช่อดอกยาว ให้ผลผลิตดี เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น มีฝนตกชุกมักประสบปัญหาเรื่องดอกตูมร่วง ฝ่อ การแตกหน่อใหม่ค่อนข้างช้า (ชุตแมน และ ไวเกล, 2000: 58; ศูนย์บริการจัดการเครือข่ายข้อมูลกล้วยไม้ (ORCHID NET), 2552)

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกดอกไม้สดรายเดือน ปี 2542-2551

ปริมาณ : ตัน

มูลค่า : ล้านบาท

เดือน	2542		2543		2544		2545		2546		2547		2548		2549		2550		2551	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ม.ค.	993	89.7	489	59.6	1,606	129.2	1,190	132	1,403	134.7	1,744	180.7	1,801	185.7	1,909	198.3	1,622	156.4	2,255	202.3
ก.พ.	908	78.2	616	64.4	1,085	116.3	1,282	137.6	1,262	139.2	1,419	151.4	1,828	189.8	1,838	198.1	1,835	193.9	1,825	190.5
มี.ค.	1,148	92.6	480	52.9	1,040	111.7	1,232	139.3	1,531	174.9	1,558	172.3	1,906	241.6	1,968	226.7	2,087	255.5	2,123	213.1
เม.ย.	743	68.7	1,261	91.3	974	111.1	965	106.1	1,295	142.2	1,411	159.2	1,573	175.6	1,681	179.4	1,733	190.7	1,801	180.6
พ.ค.	809	67.9	869	105.3	1,059	119.8	1,145	136.5	1,223	155.1	1,218	153.7	1,743	191.4	1,687	206.6	1,961	228.8	1,977	230.7
มิ.ย.	719	59.2	755	75.7	868	101.5	953	109.5	1,051	132.4	1,064	132.1	1,310	169.2	1,582	182.9	1,608	180.2	1,663	172.6
ก.ค.	812	67.1	856	87.6	901	99	952	104.8	1,126	137.4	1,018	130.8	1,345	270.1	1,516	171.9	1,524	189	1,922	171.6
ส.ค.	1,859	87.1	1,065	107.9	1,146	128.1	1,219	138.2	1,368	162.9	1,429	181.3	1,665	216.5	1,864	209.1	2,175	221.8	2,404	213.6
ก.ย.	1,166	106.6	1,300	132	1,340	146.9	1,424	167.2	1,743	206.8	1,819	205.5	1,940	218.8	2,178	233.9	2,676	251	2,413	221.5
ต.ค.	1,448	133.5	1,601	160.5	1,544	162.1	1,691	179.1	2,119	236.7	2,162	242	2,253	247.8	2,720	247.5	3,078	261.8	2,872	254
พ.ย.	1,184	109.8	1,140	128.3	1,164	124.9	1,348	143.2	1,524	159.6	1,847	206.3	1,956	205.1	2,033	196	2,025	193.4	1,839	158.2
ธ.ค.	1,335	100.7	1,345	165.7	1,213	144	1,568	159.6	1,776	203.3	1,937	220.8	1,886	226.9	2,372	240.6	2,243	223.1	2,059	202.6
รวม	13,125	1,061	11,778	1,231.2	13,941	1,494.6	14,971	1,653	17,420	1,985.4	18,627	2,136.1	21,207	2,538.6	23,348	2,491	24,567	2,545.4	25,152	2,411.1

ที่มา: เศรษฐกิจกิจการเกษตรโดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, สำนักงาน, 2552

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้

1) น้ำ

ดอกไม้ที่ตัดออกจากต้นแล้วนำมาปักไว้ในแจกัน มักมีปัญหาดอกบานไม่เต็มที่หรือเหี่ยวไปก่อนเวลาอันสมควร การดูต้นน้ำและน้ำหนักของดอกไม้มีแนวโน้มลดลงตามอายุการปักแจกันที่มากขึ้น จึงทำให้ดอกไม้แสดงอาการเหี่ยว (เกยูร ชีรเจริญปัญญา, 2529) คุณภาพของแหล่งน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถเร่ง หรือชะลอการเสื่อมคุณภาพของดอกไม้ให้เกิดขึ้นช้าหรือเร็วเมื่อนำมาใช้งาน แหล่งน้ำแต่ละแหล่งมีคุณภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้อายุการปักแจกันของดอกไม้แตกต่างกันได้ เช่น น้ำกลั่น น้ำดีไอออน น้ำฝน น้ำประปา และน้ำบาดาล ซึ่งมีชนิดและปริมาณแร่ธาตุและเกลือที่แตกต่างกัน น้ำที่มีปริมาณแร่ธาตุและเกลือมาก จะขัดขวางการดูดน้ำของดอกไม้ ทำให้ดอกไม้ดูดน้ำได้น้อยลง และดอกไม้ได้รับความเสียหาย เช่น ใบและกลีบดอกไม้ไหม้ ทำให้อายุการปักแจกันลดลง 40-60% การให้สารละลายที่มีปริมาณเกลือสูง ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ดอก แกลดิโอลัสและดอกเบญจมาศได้ (Waters, 1966) คุณภาพของน้ำยังมีผลต่อประสิทธิภาพของสารละลาย (สายชล เกตุษา, 2531) นอกจากนี้การใช้น้ำคุณภาพดีในการปักแจกันดอกไม้ยังเป็นส่วนสำคัญในการบานของดอกตูมด้วย (Reid และ Evans, 1986)

การยืดอายุไม้ตัดดอก คือ การยับยั้งการร่วงโรยของดอก ซึ่งเกิดจากการอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำในก้านดอก ทำให้การดูดน้ำไปตามก้านดอกและดอกไม้ลดลง เกิดภาวะขาดสมดุลระหว่างการดูดน้ำเข้าภายในเซลล์ของก้านดอกและการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์จากการคายน้ำ แม้ว่าก้านจะแช่ในน้ำอยู่ตลอดเวลาการปักแจกันก็ตาม เป็นผลให้ดอกเหี่ยว (He และคณะ, 2006) โดยสาเหตุหลัก 3 ประการ ที่ทำให้เกิดการอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ คือ แบคทีเรียที่เข้าไปเจริญอยู่ในท่อน้ำลำเลียง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการอุดตัน (Williamson และ Milburn, 1995; Bleeksma และ van Doorn, 2003; Loubaud และ van Doorn, 2004; Jedrzejuk และ Zakrzewski, 2009; Liu และคณะ, 2009) บาดแผลทางกายภาพจากการตัดก้านดอก แผลรอยขีด รอยถลอกของดอกไม้ที่เกิดจากการจัดการด้วยมือ ซึ่งธรรมชาติของพืชจะสร้างสารเพื่อปิดบาดแผล และมักเป็นสาเหตุให้เกิดการปล่อยแก๊สเอทิลีน และยังเป็นตำแหน่งให้แบคทีเรียเข้าไปในเซลล์พืชได้ จึงเป็นส่วนหนึ่งในการขัดขวางการไหลผ่านของน้ำ (van Doorn และ Cruz, 2000; van Doorn และ Vaslier, 2002; He และคณะ, 2006) และ physical air emboli ซึ่งเป็นผลมาจากฟองอากาศขนาดเล็กถูกดึงเข้าสู่ก้านดอกตรงบริเวณรอยตัดหรือระหว่างการเก็บรักษาแห่งในระหว่างการขนส่ง ฟองอากาศที่เข้าไปในท่อน้ำลำเลียงน้ำจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกาะกันไม่ต่อเนื่อง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดน้ำและการเคลื่อนที่ของน้ำลดลง (สายชล เกตุษา, 2531) การกำจัดฟองอากาศสามารถทำได้โดยตัดโคนก้านดอกเป็นมุมเฉียงได้น้ำออกประมาณ 3 ซม. การย้ายดอกไม้ไปแช่ในน้ำอุ่น หรือน้ำที่มีความเป็นกรดอ่อน เป็นวิธีที่สามารถลดฟองอากาศได้ (Gollnow และ Wade, 2002; van Meeteren และคณะ, 2006) สารอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular plug) ประกอบด้วย Polysaccharides ซึ่งแบคทีเรียขับออกมา (Bleeksma และ van Doorn, 2003) และโปรตีน ซึ่งเป็นตัวขัดขวางมีแบคทีเรีย (Dixon และ Peterson, 1989) การเกิดการอุดตันในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำพบมากที่สุดบริเวณใกล้รอยตัดโคนก้านดอก (Dixon และ Peterson, 1989) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรีย Extracellular polysaccharides และผลผลิตจากการถูกย่อยสลายของเซลล์พืชที่ตายแล้วโดยแบคทีเรีย รวมถึงบาดแผลจากการตัดทำให้เกิดการ

สะสมของสาร Lipid-phenolic เช่น Suberin ที่ทำให้เกิดการอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำมากขึ้น (Bleeksma และ van Doorn, 2003; He และคณะ, 2006; Liu และคณะ, 2009)

2) อาหาร

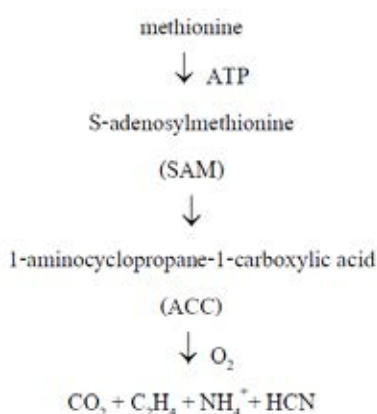
พืชมีการสะสมอาหารในรูปแป้งและน้ำตาล ถูกเก็บไว้ที่ส่วนต่างๆ ของพืชทั้งลำต้น ใบ ราก และดอก อาหารสะสมเหล่านี้มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยว และใช้เพื่อการบานของดอก (Gollnow และ Wade, 2002) ดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ มีการสะสมน้ำตาลในรูปของกลูโคสในดอกบานมากกว่าดอกตูม ซึ่งในการบานของดอกตูมจะดึงน้ำตาลกลูโคสมาจากดอกบาน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารต่างๆ ระหว่างดอกบานไปยังดอกตูม (อารีรัตน์ การุณสฤติชัย, 2547) จากการศึกษาในดอกแกลดิโอลัสพบว่า กลีบรวมของดอกตูมจะมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณคาร์โบไฮเดรตมาก ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของดอกบานลดลง (Waithaka และคณะ, 2001) นอกจากนี้ยังพบการเคลื่อนย้ายอาหารจากก้านดอกไปยังดอกบานตำแหน่งต่าง ๆ เนื่องจากการที่ดอกบานสลายอาหารสะสมเพื่อใช้ในการหายใจ พืชจะย่อยสลายแป้งและคาร์โบไฮเดรตให้อยู่ในรูปของน้ำตาล ซึ่งโมเลกุลของน้ำตาลที่เคลื่อนที่ได้ดี คือ ซูโครส และซูโครสเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสหรือ ฟรุคโตส เมื่อจะนำไปใช้ (Ho และ Nichols, 1977) ดอกไม้ไม่สามารถสร้างอาหารเองเพิ่มได้อีก เมื่อดอกมีการบานและการพัฒนาในส่วนอื่น ๆ ของดอก อาหารที่เคยมีอยู่ในดอกจึงหมดไปอย่างรวดเร็วเกิดการขาดอาหาร (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) กลีบดอกเมื่อถูกดึงอาหารไปใช้จะมีลักษณะเหี่ยวแห้ง สีจาง และเสื่อมสภาพจนหลุดร่วงในที่สุด กรณีดอกไม้ที่มีลักษณะเป็นช่อดอก ดอกจะมีการพัฒนาไม่พร้อมกัน เช่น กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การบานของดอกและอายุของดอกหลังจากบานสัมพันธ์กับขนาดของดอกตูม ดอกตูมที่ตำแหน่งใกล้โคนก้านดอกจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก มีอาหารสะสมมากกว่าดอกตูมที่ตำแหน่งใกล้ยอดก้านช่อดอก ซึ่งขนาดของดอกจะเล็กลงตามระยะห่างจากโคนก้านดอก ดอกตูมขนาดใหญ่กว่าจะเกิดการพัฒนามันเป็นดอกบานก่อนและดึงอาหารไปใช้ได้มากกว่า ทำให้มีอาหารไม่เพียงพอต่อดอกที่พัฒนาภายหลังจึงหลุดร่วงไป (เกยูร ธีรเจริญปัญญา, 2529; Ketsa, 1989) ซึ่งการพัฒนาของดอกตูมให้เป็นดอกบานเป็นการเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการเสื่อมสภาพดอกทำให้เกิดการร่วงโรย และนำไปสู่การหมดอายุการปักแจกันในเวลาต่อมา (Yap และคณะ, 2008)

3) เอทิลีน

เอทิลีนอยู่ในสถานะแก๊ส เป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมพืชในหลาย ๆ ด้าน ทั้งการเจริญเติบโต การพัฒนาในระยะต่าง ๆ และการเสื่อมสภาพ พืชผลิตเอทิลีนได้จากทุกส่วน ได้แก่ ใบ ลำต้น ราก ดอก ผล หัว และเมล็ด การผลิตเอทิลีนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในพืชตั้งแต่การงอกไปจนถึงการเกิดภาวะเสื่อมถอย (senescence) (Yang และ Hoffman, 1984) การสร้างเอทิลีนในดอกไม้หลายชนิด เช่น กุหลาบ คาร์เนชั่น และกล้วยไม้ในสกุลแคทลียา แวนด้า หวาย และฟาแลนนอปซิส สามารถสร้างเอทิลีนได้เหมือนผลไม้ประเภท climacteric คือ ระบบการสร้างเอทิลีนเป็น autocatalytic system ได้แก่ การที่พืชมีการตอบสนองต่อเอทิลีน โดยเอทิลีนที่ดอกไม้ได้รับจากภายนอกสามารถชักนำให้ดอกไม้สร้างเอทิลีนขึ้นมาได้เอง ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสร้างเอทิลีน เช่น การได้รับอันตรายจากบาดแผล ความชอกช้ำและสารเคมีเป็นพิษ สามารถกระตุ้นให้ดอกไม้เกิดการสร้างเอทิลีนได้ (สายชล เกตุษา, 2531) ในกรณีดอกไม้ที่ตอบสนอง

ต่อเอทิลีน เช่น คาร์เนชัน และกล้วยไม้ สามารถติดตามการเสื่อมสภาพที่มีผลมาจากการสร้างเอทิลีนได้ โดยการวัดปริมาณแก๊สเอทิลีนและการหายใจที่เพิ่มขึ้น ส่วนดอกไม้ที่ไม่ตอบสนองต่อเอทิลีน เช่น คาดีโอลัน ทิวลิป และไอริส โดยทั่วไปแล้วไม่พบการสร้างแก๊สเอทิลีนและการหายใจที่สูงขึ้นระหว่างการเกิดการเสื่อมสภาพของดอก อีกทั้งการได้รับแก๊สเอทิลีนจากภายนอกก็ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการเสื่อมสภาพของกลีบดอก (Serek และคณะ, 2006)

สารหรือโมเลกุลที่เป็นต้นกำเนิดของเอทิลีนนั้น คือ กรดอะมิโน Methionine ซึ่งพืชสังเคราะห์ได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเซลล์ สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ Methionine ได้เองต้องอาศัยจากพืช จึงจัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทิลีนจาก Methionine แสดงดังนี้



ในลำดับแรก Methionine ถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) ทั้ง Methionine และ SAM นี้อาจถูกใช้ไปในการสังเคราะห์โปรตีนบางอย่าง แต่ SAM จะถูกใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลิกนิน และเพกทินด้วย ในลำดับต่อมา SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ด้วย ACC synthase ACC นั้นไม่ปรากฏว่าถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น นอกจากถูกเปลี่ยนเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ ACC oxidase และอาจถูกเปลี่ยนเป็น Malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร แหล่งที่เอทิลีนถูกผลิตขึ้นนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีหลักฐานบางอย่างบ่งชี้ว่าเยื่อหุ้มเซลล์และ Tonoplast เป็นที่อยู่ของ ACC oxidase (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538)

ความแตกต่างระหว่างดอกไม้ที่มีการตอบสนองต่อเอทิลีนและไม่ตอบสนองต่อเอทิลีน มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดูแลจัดการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว ดอกไม้ที่ไม่มีการตอบสนองต่อเอทิลีนแสดงว่าเอทิลีนมีผลต่อกระบวนการอื่นๆ ของดอกไม้มากกว่ามีผลต่อการเสื่อมสภาพ หรือการหลุดร่วงของกลีบดอก เช่น เอทิลีนไม่มีผลต่อการร่วงของกลีบดอกไอริส และดอกลิลลี่ แต่เอทิลีนที่ความเข้มข้นต่ำมีผลยับยั้งการบานของดอกไอริสได้ นั่นคือเอทิลีนทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของก้านดอกย่อย ในขณะที่ความหลากหลายทางสายพันธุ์ของ species หนึ่ง ๆ อาจเป็นผลให้มีบางสายพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อเอทิลีนเลย ไปจนถึงสายพันธุ์ที่ตอบสนองต่อเอทิลีนก็ได้ ดอกไม้ที่มีการตอบสนองต่อเอทิลีนโดยทั่วไปหมายถึง เอทิลีนมีผลต่อการเสื่อมสภาพหรือการหลุดร่วงของกลีบดอก ดังนั้นผลของเอทิลีนจึงไม่เป็นที่พึงปรารถนาต่อดอกไม้ทั้งที่ตอบสนองต่อเอทิลีนและไม่ตอบสนองต่อเอทิลีน การป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากผลของเอทิลีนหลังการเก็บเกี่ยวจึงถูกนำมาใช้กับผลผลิตที่เกี่ยวข้องกับไม้ดอกไม้ประดับ หลักการทั่วไปที่ประสบความสำเร็จในการลดการตอบสนองของพืชต่อเอทิลีน คือ การยับยั้งการผลิตเอทิลีนของพืช การขัดขวางการจับกันของเอทิลีนกับ

receptor ของพืช และการขาดขวางปฏิกิริยาของพืชที่จะตอบสนองหลังการจับกันของเอทิลีนกับ receptor พืช (Serek และคณะ, 2006)

ดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวสามารถสร้างเอทิลีนได้เช่นเดียวกับที่อยู่บนต้น แต่สร้างในปริมาณที่น้อยกว่า ไม่ตัดดอกมีการสร้างเอทิลีนได้เนื่องจากถูกกระตุ้นด้วยบาดแผลของตัวดอก หรือก้านดอก ซึ่งเกิดจากการตัดดอกออกจากต้น และจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) โดยทั่วไปการสร้างเอทิลีนของดอกไม้ประกอบด้วย 3 ระยะ คือ ระยะแรก เป็นช่วงระยะที่ดอกไม้มีอัตราการสร้างเอทิลีนค่อนข้างต่ำ ระยะกลาง เป็นระยะที่ดอกไม้มีอัตราการสร้างเอทิลีนสูงที่สุด และระยะสุดท้าย เป็นระยะที่ดอกไม้มีอัตราการสร้างเอทิลีนลดลง จากการศึกษาในกล้วยไม้ตัดดอกพบว่า ดอกกล้วยไม้แต่ละชนิดมีช่วงระยะเวลาในการสร้างเอทิลีนที่แตกต่างกัน เช่น กล้วยไม้ตัดดอกในสกุลอนซิเดียมพันธุ์ Goldiama เริ่มพบการสร้างเอทิลีนมากขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวประมาณ 4 วัน ส่วนในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ ใช้เวลามากกว่า 7 วัน จึงจะเห็นการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทิลีน (Hew และ Yong, 1997) จากการศึกษาอัตราการสร้างเอทิลีนในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ที่บานเต็มที่แล้ว และเก็บเกี่ยวในวันที่ 10 และ 19 พบการสร้างเอทิลีนในปริมาณน้อยในช่วงแรก จนกระทั่งวันที่ 22 ปริมาณเอทิลีนเริ่มเพิ่มมากขึ้น และสูงสุดในวันที่ 25 จากนั้นการสร้างเอทิลีนจะลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ACC ในเนื้อเยื่อดอก โดยในช่วงเวลาที่มีปริมาณเอทิลีนต่ำ ดอกมีสภาพที่ยังมีความสด กลีบดอกกลีบเลี้ยงมีสีม่วง พบ ACC ในปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อปริมาณเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดอกมีการเปลี่ยนสีเล็กน้อย เห็นเส้นเวนชัดเจน มีปริมาณ ACC สูงที่สุด และเมื่อดอกมีสีเปลี่ยนไปมาก มีการม้วนพับของกลีบดอกกลีบเลี้ยง พบปริมาณ ACC ต่ำลง ปริมาณเอทิลีนก็ต่ำลงด้วย (Hew และ Yong, 1997) อย่างไรก็ตาม Ketsa และ Thampitakorn (1995) ได้ศึกษาการสร้างเอทิลีนโดยแยกระหว่างช่อดอกที่มีแต่ดอกตูม และช่อดอกที่มีแต่ดอกบาน พบว่าดอกตูมของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ช่า 2N ปอมปาดัวร์ ซาบิน โซเนียบอม 28 วอเตอร์โอมายซาบิน 2N และวอเตอร์โอมายซาบิน 4N มีปริมาณเอทิลีนและปริมาณ ACC มากกว่าในดอกบาน

4) การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการสลายน้ำตาลหรือสารตั้งต้นอื่นโดยใช้ออกซิเจน ผลผลิตที่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานในรูป Adenosine triphosphate (ATP) การหายใจเป็นกระบวนการที่จำเป็นในการเปลี่ยนสารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงให้อยู่ในรูปที่พร้อมใช้งาน และเป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการเติบโตและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ยังมีชีวิต จากการศึกษาในดอกกล้วยไม้ที่ยังมีอายุน้อยพบว่าโดยทั่วไปอัตราการหายใจสูงกว่าดอกที่อายุมากกว่า การที่ดอกมีอัตราการหายใจสูง ทำให้อายุการใช้งานดอกยิ่งสั้น นอกจากนี้การหายใจยังมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและการผสมเกสร โดยดอกไม้พวก *Cymbidium* พบอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นหลังได้รับการผสมเกสร 1 ชั่วโมง (Hew และ Yong, 1997)

อัตราการหายใจของดอกไม้สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดที่แสดงอายุการใช้งานของดอกได้ ดอกไม้ที่มีอายุสั้นจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าดอกไม้ที่อยู่ได้นาน ดอกไม้ที่เริ่มเข้าสู่ภาวะการเสื่อมสภาพจะมีอัตราการหายใจสูง และเมื่อดอกไม้หมดอายุการใช้งานจะมีอัตราการหายใจต่ำ บาดแผลที่เกิดจากของมีคม โรค แมลง และสารเคมีเป็นพิษ จะทำให้ดอกไม้มีอัตราการหายใจสูง ดังนั้นการลดอัตราการหายใจหรือทำให้ช่วงเวลาที่มียุทธการหายใจสูงสุดของดอกไม้เกิดขึ้นช้า ก็จะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของดอกไม้ได้นานขึ้นอีก ซึ่งการ

ใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดอัตราการหายใจและยืดอายุการใช้งานดอกไม้ได้อย่างชัดเจน (สายชล เกตุษา, 2531)

2.4 การใช้สารเคมีส่งเสริมคุณภาพดอกไม้

การสูญเสียคุณภาพของดอกไม้อาจเกิดจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากการขาดน้ำ ขาดอาหาร โดโนทำลายจากแบคทีเรียในน้ำ และแก๊สเอทิลีน จึงมีการแก้ไขปัญหาโดยใช้สารเคมีส่งเสริมคุณภาพของดอกไม้ที่เหมาะสมกับชนิดของดอกไม้ต่างๆ ลักษณะการใช้สารเคมี มี 4 ลักษณะ คือ (ช.ณัฐศิริ สุธสุวรรณ, 2529)

1) การใช้สารละลายเคมีเพื่อให้ดอกไม้คืนสภาพความสด (Conditioning)

เพื่อให้ดอกไม้คงความสด เซลล์เต่งตึง โดยการทำให้ดอกไม้อิ่มตัวด้วยน้ำหลังจากขาดน้ำไป ระยะเวลาหนึ่งระหว่างการลำเลียงจากในแปลงแหล่งปลูก หรือระหว่างการปฏิบัติการเพื่อคัดคุณภาพ การบรรจุหีบห่อ การเก็บรักษา และการขนส่ง ปกติมักจะเริ่มให้ก้านดอกไม้แช่ในน้ำอุ่นที่ห้องอุณหภูมิปกติแล้วเข้าห้องเย็นตลอดคืน น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำกลั่นผสมสารกำจัดแบคทีเรีย การดูน้ำของดอกไม้จะดียิ่งขึ้นถ้าน้ำนั้นไม่มีอากาศหรือมีสภาพเป็นกรด

2) การใช้สารละลายเคมีเป็นระยะเวลาสั้นก่อนการขนส่งหรือการเก็บรักษา (Pulsing)

Pulsing คือ วิธีการแช่ก้านดอกไม้ในสารละลายเคมีเป็นระยะเวลาหนึ่ง ก่อนการเก็บรักษา ก่อนการขนส่ง และก่อนการใช้ประโยชน์ วิธีนี้จะมีผลกับดอกไม้ภายหลังจากการแช่สาร โดยทำให้อายุการใช้ประโยชน์นานยิ่งขึ้น แม้ว่าดอกไม้จะปักแจกันในน้ำธรรมดาก็ตาม ส่วนผสมของสารละลายเคมีสำหรับแช่ก้านดอกไม้ในแต่ละชนิดมักจะแตกต่างกัน และบางครั้งแต่ละพันธุ์ก็ต่างกันด้วย ส่วนประกอบหลักของสารละลายเคมี คือ น้ำตาลซูโครส และสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

3) การใช้สารละลายเคมีเพื่อให้ดอกบาน (Bud Opening)

การใช้สารละลายเคมีช่วงนี้คล้ายกับการ pulsing แต่มีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ดอกไม้ที่ถูกเก็บเกี่ยวในระยะตูมกว่าปกติหลังการขนส่งแล้ว หรือหลังจากการเก็บรักษา บานได้อย่างมีคุณภาพดีก่อนส่งออกจำหน่าย ลักษณะของสารละลายเคมีและสภาพแวดล้อมคล้ายกับการทำ pulsing ทุกอย่าง แต่ระยะเวลาอาจนานกว่า คือ แช่ก้านดอกไม้ในสารละลายจนกว่าดอกไม้จะบานจึงจะนำไปจำหน่าย เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นและอุณหภูมิก็ควรต่ำลงด้วย

4) การใช้สารละลายเคมีในแจกัน (Holding)

สารละลายเคมีที่ใช้ในการปักแจกันนิยมใช้กันมานานแล้ว กลุ่มคนที่ใช้ คือ ผู้ขายส่งและผู้ขายปลีก โดยการแช่ก้านดอกไม้ในสารละลายเคมีจนกว่าจะขายได้ และผู้บริโภคก็นิยมนำมาใช้ปักแจกันเพื่อให้มีอายุการปักแจกันนานขึ้น ลักษณะของสารละลายเคมีและสภาพแวดล้อมคล้ายกับการทำ pulsing และการช่วยให้ดอกบาน แต่ความเข้มข้นเจือจางกว่า

2.5 การยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอกหลังการเก็บเกี่ยว

สารเคมีหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอกหลังการเก็บเกี่ยว เช่น สารประกอบซิลเวอร์ และ 8-hydroxyquinoline sulfate (HQS) มีรายงานการใช้สารละลายร่วมกันของ AgNO_3 ความเข้มข้น 30 มก./ลิตร 8-HQS ความเข้มข้น 225 มก./ลิตร และกลูโคสความเข้มข้น 4% แก่กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ยุพดีวัน ตลอดจนอายุการปักแจกัน พบว่าสามารถยืดอายุการปักแจกันได้นานกว่าการใช้กลูโคสความเข้มข้น 4% ร่วมกับ AgNO_3 หรือ 8-HQS เพียงอย่างเดียว (Ketsa และ Boonrote, 1990) ในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ การแช่สารละลาย AgNO_3 ความเข้มข้น 30 มก./ลิตร ร่วมกับ 8-HQS ความเข้มข้น 225 มก./ลิตร และกลูโคสความเข้มข้น 4% ตลอดจนอายุการปักแจกัน สามารถยืดอายุการปักแจกัน เพิ่มปริมาณการดูดน้ำ และเพิ่มการบานของดอกได้ การใช้ AgNO_3 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน เพิ่มการบานของดอก และอายุการปักแจกันได้ดีกว่าการใช้ Silver thiosulfate (STS) มีการทดลองใช้ AgNO_3 ความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ฉีดพ่นดอกกล้วยไม้ก่อนนำไปแช่สารละลายร่วมกันของ HQS ความเข้มข้น 225 มก./ลิตร และกลูโคสความเข้มข้น 4% ตลอดจนอายุการปักแจกัน สามารถยืดอายุการปักแจกันได้ แต่ถ้าฉีดพ่น AgNO_3 ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร จะทำความเสียหายแก่กลีบเลี้ยงและกลีบดอก (Ketsa และคณะ, 1995) มีการทดลองใช้ Aminooxyacetic acid (AOA) ความเข้มข้น 0.5 mM ร่วมกับซูโครสที่ความเข้มข้น 4% สามารถยืดอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ Heang Beauty ได้ เพราะ AOA มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียเนื่องจากทำให้สารละลายมีค่า pH ต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย (Chandran และคณะ, 2006) นอกจากการใช้สารเคมีที่ช่วยยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอก ยังมีการใช้การแช่เย็นดอกกล้วยไม้ที่อุณหภูมิ ต่ำเพื่อชะลอการบานของดอก โดยช่วยชะลอการใช้เอนไซม์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Hydrolase ที่ย่อยผนังเซลล์ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของกล้วยไม้ (Yap และคณะ, 2008)

2.6 ซิลเวอร์ต่อการยับยั้งแบคทีเรีย

มีการนำโลหะเงินและสารประกอบของโลหะเงินมาใช้ตั้งแต่สมัยโบราณ ก่อน ค.ศ. 1000 โดยการนำโลหะเงินมาใช้ทำน้ำดื่ม (Rai และคณะ, 2009) สารประกอบเงินหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เช่น ในปี ค.ศ. 1700 มีการใช้ AgNO_3 รักษาโรคกาฬโรค แผลชอนทะลุของต่อมน้ำลาย บาดแผลที่เกี่ยวข้องกับกระดูก และแผลหลังการผ่าตัดฝีคัณฑสูตร (ฝีที่เกิดขึ้นข้างทวารหนัก) มีการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ AgNO_3 เพื่อรักษาแผลจากไฟไหม้ ในปี ค.ศ. 1881 ได้มีการนำ AgNO_3 มาใช้ทำส่วนประกอบของยาหยอดตา (Klasen, 2000) และในปี ค.ศ. 1968 มีการใช้ Silver sulfadiazine (AgSD) ซึ่งเป็นสารผสมระหว่าง AgNO_3 และ Sulfadiazine ซึ่งใช้ AgSD 1% เป็นส่วนประกอบของครีมรักษาแผล AgSD ทำงานโดยสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้หลายชนิด เช่น *Escherichia coli* *Staphylococcus aureus* *Klebsiella* sp. และ *Pseudomonas* sp. จึงมีการนำครีม AgSD ไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นยารักษาแผลไฟไหม้โดยเฉพาะ (Fox และ Modak, 1974) ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ Silver zeolite เคลือบผิวเซรามิกเพื่อประโยชน์ในการถนอมอาหาร และนำมาเป็นส่วนประกอบวัสดุเพื่อลดการปนเปื้อนของแบคทีเรีย เช่น ของเล่นเด็ก เครื่องครัว นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารป้องกันการติดเชื้อจากเครื่องมือทางการแพทย์ (Hotta และ คณะ, 1998; Matsumura และคณะ, 2003) และยังใช้ในการรักษาการติดเชื้อจากแบคทีเรียหลังการรักษาด้วยเพนิซิลินอีกด้วย (Rai และคณะ, 2009)

สารเคมีหลักที่นำมาใช้เพื่อกำจัดแบคทีเรียในปัจจุบัน คือ สารปฏิชีวนะ (antibiotic) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่จำเพาะกับ active site ของโปรตีนในแบคทีเรีย จึงสามารถยับยั้งและรบกวนการทำงานของแบคทีเรียเหล่านั้นได้ และทำให้แบคทีเรียตายในที่สุด แต่สารปฏิชีวนะมีข้อด้อยตรงที่สามารถกระตุ้นให้แบคทีเรียกลายพันธุ์ได้ ทำให้ active site ของโปรตีนในแบคทีเรียเปลี่ยนไป สารตัวเดิมจึงไม่สามารถยับยั้งการทำงานของโปรตีนในแบคทีเรียที่กลายพันธุ์ได้อีก แบคทีเรียจึงไม่ตายเมื่อได้รับสารปฏิชีวนะตัวเดิม หรือที่เราเรียกกันว่า “การดื้อยา” นั้นเอง (พร้อมพงศ์ เพียรพิณจรธรรม และคณะ, 2550) สารปฏิชีวนะ เช่น เพนิซิลิน กำจัดแบคทีเรียโดยการยับยั้งอย่างจำเพาะกับ active site ของโปรตีน Penicillin Bound to Penicillin Binding Protein 4 (PBP4) ที่เชื่อมติดกับ Peptidoglycan ซึ่งโปรตีน PBP4 เป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงสร้างผนังเซลล์แบคทีเรียจึงไม่สามารถสร้างผนังเซลล์ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามเพนิซิลินไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทุกชนิด โดยมีประสิทธิภาพที่ดีสุดในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียเกิดการต้านทานต่อสารเพนิซิลินได้หลายวิธี เช่น การพัฒนาสร้างเอนไซม์ Penicillinase เพื่อย่อยสลายสารเพนิซิลิน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีนหรือบริเวณ active site ของโปรตีน PBP4 ท้ายที่สุดก็พัฒนาระบบขับเพนิซิลินออกนอกเซลล์ (Amasino และคณะ, 2007) ปัจจุบันมีการนำสารประกอบซิลเวอร์มาใช้ในการรักษาอีกครั้งโดยการนำมาผสมในที่เปิดบาดแผลเนื่องจากมีปัญหาแบคทีเรียที่ดื้อยาปฏิชีวนะและข้อจำกัดของการใช้ยาปฏิชีวนะ (Rai และคณะ, 2009)

แบคทีเรียแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive bacteria) และแกรมลบ (Gram-negative bacteria) โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วย Peptidoglycan ที่หนาประมาณ 20-80 นาโนเมตร ในขณะที่แบคทีเรียแกรมลบบจะมีชั้นของ Peptidoglycan บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก หนาเพียง 5-10 นาโนเมตร และมี Outer membrane หนา 7.5-10 นาโนเมตร หุ้ม Peptidoglycan อยู่ด้านนอกอีกชั้นหนึ่ง ทำให้แบคทีเรียแกรมลบมีการตอบสนองต่อเพนิซิลินและสารปฏิชีวนะน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เพราะว่า Outer membrane เป็นด่านป้องกันยับยั้งเพนิซิลินเข้ามาในเซลล์แบคทีเรีย หน้าที่สำคัญของ Outer membrane คือ คัดกรองสิ่งเข้าออกเยื่อเลือกผ่านเพื่อปกป้องแบคทีเรียจากสารอันตราย เช่น น้ำยาทำความสะอาด ยา สารพิษ และเป็นที่ยึดผ่านสารอาหารซึ่งสนับสนุนการเจริญของแบคทีเรีย (Black , 2005; Aggarwal, 2010; Li และคณะ, 2010) ซึ่งกลไกการทำงานของสารประกอบซิลเวอร์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียจะแตกต่างจากสารปฏิชีวนะดังต่อไปนี้

2.7 กลไกการทำงานของไอออนซิลเวอร์

กลไกในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของสารประกอบซิลเวอร์ ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด Feng และคณะ (2000) ได้ทดลองใช้ไอออนซิลเวอร์ (Ag^+) กับแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* พบว่าไอออนซิลเวอร์สามารถยับยั้งการเจริญและฆ่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ จากการศึกษากลไกการทำงานของไอออนซิลเวอร์ โดยใช้ $AgNO_3$ ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งสองชนิด พบการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเซลล์แบคทีเรียทั้งสองชนิดหลังการใช้ไอออนซิลเวอร์เหมือนกัน คือ เกิดมีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างชั้นของเยื่อหุ้มไซโทพลาสซึม (Cytoplasm) และชั้นของผนังเซลล์แบคทีเรีย และพบสารที่ประกอบด้วยโมเลกุลดีเอ็นเออยู่รวมกันอย่างหนาแน่นที่กลางเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งผู้วิจัยเรียกบริเวณดังกล่าวว่า Electron-light region สามารถเห็นได้ชัดเจนภายใต้กล้อง Transmission Electron Microscope (TEM) CM 120 X-ray กำลังขยาย 9,000-90,000 เท่า ลักษณะดังกล่าวทำให้เซลล์แบคทีเรียสูญเสียความสามารถในการแบ่งเซลล์

และยังพบ Electron-dense granules ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่มีซิลเวอร์และซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบอยู่รอบๆ ผนังเซลล์หรือภายในไซโทพลาสซึม แบคทีเรียบางเซลล์ที่พบผนังเซลล์ถูกทำลายมากก็จะพบจำนวน Electron-dense granules รอบๆ Electron-light region มากขึ้นด้วย

ไอออนซิลเวอร์เมื่อเข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย นอกจากทำให้โมเลกุลดีเอ็นเอเสียหายแล้ว ยังสามารถเข้าจับกับโปรตีนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่มีหมู่ Thiol (-SH) เนื่องจากไอออนซิลเวอร์เป็นเบสอ่อน จึงสามารถจับกับกรดอ่อน เช่น กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) ได้ดี หมู่ Thiol เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีน เมื่อจับกับไอออนซิลเวอร์จึงทำให้เอนไซม์ที่ active เปลี่ยนเป็น inactive ไอออนซิลเวอร์ที่แทรกเข้าไปภายในเซลล์ยังสามารถจับกับโปรตีนที่สำคัญอื่นๆ อีก เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ ทำให้โปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยที่ผิวของซิลเวอร์สามารถดูดซับออกซิเจนอะตอมไว้ได้ ซึ่งออกซิเจนอะตอมนี้จะทำปฏิกิริยากับคู่ของหมู่ Thiol ที่อยู่บนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย โดยการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอม เช่น น้ำ เป็นผลให้เกิดการเข้าคู่ของซัลเฟอร์อะตอมเกิดเป็นพันธะ R-S-S-R ซึ่งจะยับยั้งกระบวนการหายใจและการขนส่งอิเล็กตรอนภายในเซลล์ (Davies และ Etris, 1997) เมื่อเปรียบเทียบผลของซิลเวอร์ในปริมาณที่เท่ากันที่ใช้กับแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตพุกยูคาริโอต พบว่าซิลเวอร์ไม่สามารถทำลายเซลล์ยูคาริโอตได้ เนื่องจากเซลล์ยูคาริโอตมีขนาดใหญ่กว่า มีจำนวนมากกว่า และมีโครงสร้างภายในเซลล์ที่ซับซ้อนกว่า เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ไอออนซิลเวอร์ความเข้มข้นสูงกว่าที่ใช้กับเซลล์แบคทีเรียมาก เพื่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ยูคาริโอต ความต่างนี้เองทำให้สามารถนำไอออนซิลเวอร์มาใช้ในการรักษาโรคที่จะทำลายเซลล์แบคทีเรียโดยที่เซลล์ยูคาริโอตไม่ได้รับความเสียหาย (Alt และคณะ, 2004)

2.8 กลไกการทำงานของนาโนซิลเวอร์

นาโนเทคโนโลยีเป็นสาขาวิชาเกิดใหม่ของวิทยาศาสตร์ ถูกพัฒนาจากองค์ความรู้หลากหลายศาสตร์ ก่อให้เกิดชิ้นงานใหม่ที่เพิ่มประโยชน์การใช้สอย โดยอนุภาคนาโนต้องมีขนาดประมาณ 1-100 nm ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารดังกล่าวมีคุณสมบัติพิเศษใหม่ ๆ เปลี่ยนไปจากสารเดิม ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ (Roco, 1998) เมื่อมีการนำนาโนเทคโนโลยีมาสังเคราะห์โลหะเงินขนาดที่เล็กมาก จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีโอกาสที่จะสัมผัสกับแบคทีเรียได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดียิ่งขึ้น การใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับสารปฏิชีวนะในการกำจัดแบคทีเรียเป็นทางเลือกหนึ่ง นอกเหนือไปจากการพัฒนาสารปฏิชีวนะตัวใหม่ (พร้อมพงศ์ และคณะ, 2550) กลไกการทำงานของนาโนซิลเวอร์จากการทดสอบเปรียบเทียบกับไอออนซิลเวอร์ ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ให้ผลภาพถ่ายจากกล้อง Transmission Electron Microscope (TEM) แตกต่างกัน โดยไม่พบบริเวณ Electron-dense granules ในการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ นั่นคือระบบป้องกันตัวเองของเซลล์แบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้เมื่อใช้นาโนซิลเวอร์ แบคทีเรียที่ได้รับนาโนซิลเวอร์ พบนาโนซิลเวอร์เข้าเกาะที่ผนังเซลล์อย่างหนาแน่น และกระจายอยู่ทั่วไปตามผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งนาโนซิลเวอร์มีผลในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และเอนไซม์บางชนิดที่เกี่ยวข้องกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียสูญเสียคุณสมบัติเยื่อเลือกผ่าน นาโนซิลเวอร์ยังแทรกผ่านทะลุเข้าไปภายในเซลล์เกิดเป็นช่องว่าง (Pit) มีผลให้สารผ่านเข้าออกเซลล์มากยิ่งขึ้น นาโนซิลเวอร์มีพื้นที่สัมผัสเซลล์มากกว่าไอออนซิลเวอร์สามารถเข้าจับกับซัลเฟอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และฟอสฟอรัสส่วนประกอบของดีเอ็นเอ นอกจากนี้นาโนซิลเวอร์ยังแทรกผ่านทะลุและ

ปลดปล่อยไฮดรอกซิลเวอริ์ ซึ่งมีผลต่อระบบการหายใจและการแบ่งเซลล์ โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Dehydrogenase ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เซลล์แบคทีเรียตาย (Morones และคณะ, 2005; Rai และคณะ, 2009; Li และคณะ, 2010) จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิววัตถุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Scanning electron microscopy (SEM) เซลล์แบคทีเรียที่ได้รับนาโนซิลเวอริ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์อย่างชัดเจน โดยเกิดช่องว่างที่ผนังเซลล์ซึ่งทำให้เซลล์เสียสภาพไป ภาพจากกล้อง TEM แสดงให้เห็นว่านาโนซิลเวอริ์มีการสะสมที่เยื่อหุ้มเซลล์และยังผ่านทะลุเข้าไปในเซลล์ (Sondi และ Salopek-Sondi, 2004) ซึ่งสนับสนุนการทำงานของนาโนซิลเวอริ์ที่กล่าวไว้ข้างต้น และจากการทดลองพบว่า กลไกการทำงานของนาโนซิลเวอริ์ คือการเกิดการยึดเกาะ (anchoring) และการซึมผ่านของซิลเวอริ์ซึ่งเกิดที่ผนังเซลล์แบคทีเรีย และอาจมีผลต่อโปรตีน Phosphotyrosine ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการส่งสัญญาณในการทำงานของเซลล์ (signal transduction) ในกระบวนการ Phosphorylation โดยพบว่านาโนซิลเวอริ์มีผลต่อรูปแบบของเปปไทด์ 2 ชนิด ที่เกี่ยวข้องกับโปรตีน Phosphotyrosine ใน *E. coli* ซึ่งอาจมีผลทำให้การเกิด Phosphorylation ลดลง และมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของแบคทีเรีย (Shrivastava และคณะ, 2007) ซึ่งนาโนซิลเวอริ์สามารถยับยั้งการเจริญและการเพิ่มจำนวนของ *E. coli* โดยเพิ่มระยะเวลา Lag phase นานขึ้นได้ (Li และคณะ, 2010)

นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอริ์มีผลเนื่องจากมาขนาด และรูปร่างของนาโนซิลเวอริ์ อนุภาคของนาโนซิลเวอริ์ที่ขนาดเล็กจะให้ประสิทธิภาพการฆ่าแบคทีเรียได้ดีกว่าอนุภาคของนาโนซิลเวอริ์ขนาดใหญ่ เพราะเพิ่มโอกาสสัมผัสโดยตรง และมีผลต่อความแข็งแรงของการจับกันระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอริ์กับเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งรูปร่างของนาโนซิลเวอริ์ที่แตกต่างกันก็มีผลด้วยเช่นกัน (Lofton และ Sigmund, 2005; Morones และคณะ, 2005; Pal และคณะ, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญ *E. coli* และ *S. aureus* ในหลายสายพันธุ์ โดยการใช้นาโนซิลเวอริ์ดีกว่าการใช้สารปฏิชีวนะเพนิซิลลิน ที่ความเข้มข้นเดียวกัน คือ 2 $\mu\text{g}/\text{ml}$. และที่ค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในการยับยั้งการเจริญ (minimum inhibitory concentration (MIC)) 4 $\mu\text{g}/\text{ml}$. ของนาโนซิลเวอริ์ สามารถยับยั้ง *E. coli* *Vibrio cholera* *Shigella flexneri* *Salmonella typhimurium* และ *S. aureus* 3 สายพันธุ์ได้ (Sarkar และคณะ, 2007) นาโนซิลเวอริ์ที่มีพื้นผิวเว้าๆ แต่รูปร่างอนุภาคต่างกันก็มีพื้นผิวสัมผัสในรูปของ active facets ที่ต่างกัน จึงทำให้มีประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอริ์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแตกต่างกัน จากงานวิจัยของ Pal และคณะ (2007) พบว่ารูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอริ์ที่มีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ triangular สามารถจับแบคทีเรียได้ดีที่สุด และยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้มากกว่า 90% เมื่อใช้นาโนซิลเวอริ์ 1 μg ในขณะที่ spherical shape ใช้ 12.5 μg และ rod shape ใช้ 50-100 μg นั่นคือรูปร่างของนาโนซิลเวอริ์มีผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์ที่ผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอริ์กับเซลล์แบคทีเรีย เนื่องจากแต่ละรูปร่างของอนุภาคมีระนาบของเหลี่ยม (facets) แตกต่างกัน

นาโนซิลเวอริ์ที่มีความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่านาโนซิลเวอริ์ที่มีความเข้มข้นต่ำ และยังขึ้นอยู่กับจำนวนของแบคทีเรียเริ่มต้น และชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบด้วย จากงานวิจัยหลายงานพบว่า นาโนซิลเวอริ์ขนาดอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5 nm ที่ความเข้มข้น 75 $\mu\text{g}/\text{liter}$ สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบที่เลี้ยงในอาหารร่วน LB ได้ 4 ชนิด คือ *Pseudomonas aeruginosa* *Vibrio cholera* *E. coli* และ *Salmonella typhus* ซึ่งมีจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้น

10^5 CFU/มล. คิดเป็นสัดส่วนจำนวนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อเซลล์แบคทีเรียประมาณ 2,000 (Morones และคณะ, 2005) เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Sondi และ Salopek-Sondi (2004) ที่ทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12 nm บนอาหารร่วน LB ซึ่งใช้จำนวนแบคทีเรียเริ่มต้น 10^5 CFU พบว่านาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ 70% ที่ความเข้มข้น 50 มก./ลิตร ยับยั้งการเจริญได้ 100% หรือใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร กับแบคทีเรียเริ่มต้น 10^4 CFU ก็สามารถยับยั้งการเจริญได้ 100% เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร โคโลนีของแบคทีเรียจะมีขนาดและจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารร่วน LB ซึ่งผสมนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร

นักวิจัยได้ทดลองหาประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์เพื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ พบว่านาโนซิลเวอร์สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus subtilis* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Rhizobium tropici* *Pseudomonas syringae* *Xanthomonas compestris* pv. *vesicatoria* และ *Azotobacter chroococcum* เมื่อใช้สารสังเคราะห์ nanosized silica-silver ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร (Park และคณะ, 2006) แต่จากการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10-15 nm รูปทรง spherical shape หรือ polyhedral ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* เท่ากับ 90% *E. coli* สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ Ampicillin และ *S. typhus* สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อยาปฏิชีวนะหลายชนิด เท่ากับ 70-75% แต่ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* ได้ แม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์สูงถึง 100 มก./ลิตร (Shrivastava และคณะ, 2007) โดยนักวิจัยให้เหตุผลว่า ผลของนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่าแกรมบวกอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากแกรมลบมีชั้น Lipopolysaccharide ที่ผิวด้านนอก และตามด้วยชั้น Peptidoglycan ความหนาเพียง 7-8 nm ที่แม้จะติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ แต่ก็ขาดความแข็งแรงและความคงรูปของประจุลบบน Lipopolysaccharide จึงถูกดึงดูดเข้าหาประจุบวกของนาโนซิลเวอร์ ในขณะที่แกรมบวกมี Peptidoglycan ความหนา 20-80 nm ซึ่งหนากว่าแกรมลบ อีกทั้ง Peptidoglycan ประกอบด้วย Linear polysaccharide chains เชื่อมติดกันด้วย peptide สายสั้นเป็นโครงร่าง 3 มิติ แบคทีเรียแกรมบวกจึงมีความคงรูปและหนาแน่นด้วยพันธะ peptide สายสั้นที่ก่อรูปเป็นโครงร่าง 3 มิติ จึงทำให้นั่งเซลล์แบคทีเรียมีช่องว่างน้อยและยากต่อการซึมผ่านของนาโนซิลเวอร์ และแทรกตัวเข้าเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกได้ยากกว่าแกรมลบ เซลล์แบคทีเรียแกรมบวกจึงต้านทานต่อความเป็นพิษของนาโนซิลเวอร์ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (Shrivastava และคณะ, 2007) นอกจากนี้จากการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5-40 nm รูปทรง spherical shape ร่วมกับสารปฏิชีวนะยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* และ *S. typhus* และแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และ *Micrococcus luteus* พบว่าค่า MIC เท่ากับ 30 35 80 และ 65 มก./ลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านาโนซิลเวอร์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้น้อยกว่าแบคทีเรียแกรมลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Fayaz และคณะ, 2010)

นอกจากการใช้นาโนซิลเวอร์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแล้ว ยังมีการทดลองสังเคราะห์ nanosized silica-silver เพื่อใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งราและแบคทีเรีย ในอาหารร่วน LB ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในพืชได้หลายชนิด โดย nanosized silica-silver ที่ความเข้มข้น 100 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ 100% และเมื่อนำมาทดลองใช้ในสภาพแปลงปลูก พบว่า nanosized silica-silver ยัง

สามารถควบคุมการเกิดโรคราแป้ง โดยใช้ความเข้มข้น 0.3 มก./ลิตร ฉีดพ่นที่ใบเขียวของพืชที่มีการปลูกเชื้อแล้ว หลังจากฉีดพ่น 3 สัปดาห์ พืชยังไม่แสดงอาการเกิดโรคเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่แสดงอาการเกิดโรคแล้ว 100% (Park และคณะ, 2006) นอกจากนี้เริ่มมีการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ทางอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร เช่น การใช้ฟิล์มที่ผลิตจากวัสดุนาโนซิลเวอร์ห่อผลไม้ในการขนส่งเพื่อชะลอการสุก (Li และคณะ, 2009) การใช้นาโนซึ่งมีนาโนซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบเพื่อเร่งการเจริญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของต้นอ่อนกล้วยไม้พันธุ์เหลืองจันทร์บุร ในส่วนประกอบอาหารวุ้นและเพิ่มความแข็งแรงของกล้วยไม้ในกระถางโดยการฉีดพ่นภายนอก (สาโรจน์ และคณะ, 2549)

2.9 การใช้ประโยชน์จากนาโนซิลเวอร์ในการยืดอายุไม้ตัดดอก

จากคุณสมบัติของนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย จึงมีการนำนาโนซิลเวอร์มาทดลองในดอกเยอบีร่าพันธุ์ Dune เปรียบเทียบกับการใช้สารต้านแบคทีเรียอื่น ๆ เพื่อยืดอายุไม้ตัดดอก สารอื่นที่นำมาใช้ ได้แก่ 8-hydroxyquinoline citrate (8-HQC) ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) และ essential oils เช่น Carvacrol และ Zataria oil พบว่านาโนซิลเวอร์ และ AgNO_3 สามารถยืดอายุไม้ปักแจกันได้ดีกว่าการใช้ 8-HQC การใช้นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 1 และ 2 มก./ลิตร และการใช้ Carvacrol Thymol Thyme oil และ Zataria oil ที่ความเข้มข้น 100 มก./ลิตร สามารถเพิ่ม relative solution uptake ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง relative solution uptake เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาวะน้ำที่มีการลดลง นั่นคือชุดการทดลองดังกล่าวสามารถรักษาน้ำหนักสดของก้านดอกได้สูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักสดเริ่มต้น แม้ว่าจะมีอายุการปักแจกันถึง 5 วันแล้วก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่แช่ดอกเยอบีร่าในน้ำกลั่น (Solgi และคณะ, 2009) แต่การใช้ชูโครสเป็นน้ำปักแจกันทำให้เกิดการดูดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำได้รวดเร็วขึ้น (Nair และคณะ, 2003) ก่อนหน้านั้นพบว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการดูดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ จึงดูต้นน้ำได้น้อยลงเป็นผลให้เยอบีร่าตัดดอกเกิดการแตกของก้านดอก อาการก้านดอกโค้งงอ และการหลุดร่วงของกลีบดอก ดังนั้นการรักษาสภาพสมดุลน้ำและแรงดันเต่งของเซลล์ เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยยืดอายุการปักแจกันของดอกเยอบีร่าได้ และการใช้ชูโครสร่วมกับสารต้านแบคทีเรีย เช่น AgNO_3 หรือ นาโนซิลเวอร์ จึงเป็นที่ต้องการในการยืดอายุไม้ปักแจกัน (Nair และคณะ, 2003; Balestra และคณะ, 2005; Solgi และคณะ, 2009) มีการใช้นาโนซิลเวอร์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2-5 nm ที่ความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ยืดอายุไม้ตัดดอกเยอบีร่า โดยวิธีการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถเพิ่มอัตราการดูดน้ำ (water uptake) ลดการสูญเสียน้ำหนักก้านดอกได้ (relative fresh weight) และสามารถยืดอายุไม้ตัดดอกเยอบีร่าพันธุ์ Ruikou ได้ถึง 5 วัน จากการทดลองพบว่านาโนซิลเวอร์สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในโคนก้านดอกและแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน และเกิดการดูดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่ช้าลง จึงทำให้เกิดภาวะการขาดสมดุลลำช้ากว่าชุดการทดลองควบคุมที่แช่ในน้ำกลั่น (Liu และคณะ, 2009) นอกจากนี้มีการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2-5 nm ที่ความเข้มข้น 50 มก./ลิตร โดยวิธีการ pulsing เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถยืดอายุไม้ตัดดอกกุหลาบพันธุ์ Movie Star ได้นานกว่าการแช่กุหลาบในน้ำกลั่นได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติถึง 10 วัน นาโนซิลเวอร์ทำให้ค่า relative fresh weight และค่าสมดุลน้ำของก้านดอกสูงขึ้น แม้วานาโนซิลเวอร์จะทำให้อัตราการดูดน้ำต่ำกว่ากุหลาบตัดดอกที่แช่ในน้ำกลั่น แต่ทำให้ลดอัตราการสูญเสียน้ำได้จึงสามารถรักษาสภาพสมดุลน้ำให้สูงอยู่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดการคายน้ำของใบ เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของก้านดอกให้เพิ่มสูงขึ้น และลดจำนวนแบคทีเรียของโคนก้านดอกให้ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมี

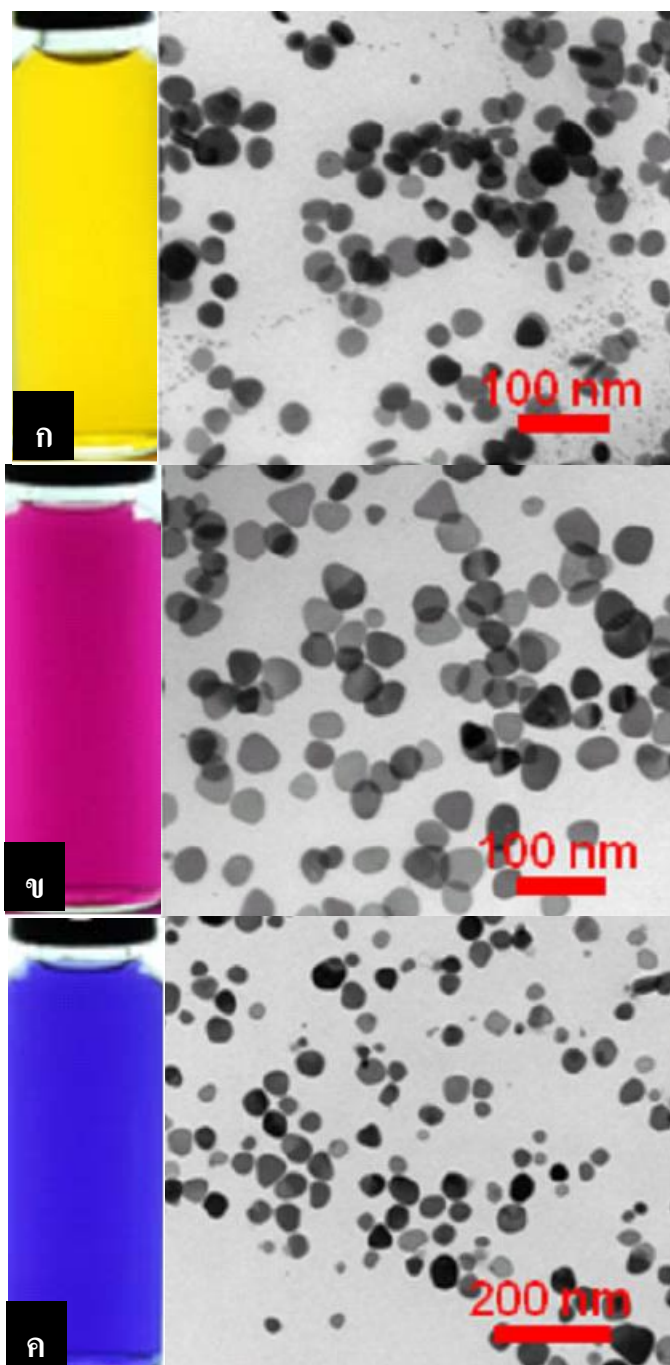
นัยสำคัญทางสถิติ นั่นคืออัตราการคายน้ำที่ลดลงเกิดจากนาโนซิลเวอร์มีผลต่อการลดการเปิดปากใบ โดยเข้าไปยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA ของยีน *Rh-PIP* เป็นยีนควบคุมการสร้าง Plasma membrane Intrinsic Proteins (PIPs) ซึ่งเป็น Plasma membrane ที่เกี่ยวข้องกับ Aquaporins (AQPs) นาโนซิลเวอร์ทำให้ยีน *Rh-PIP* เกิดการแสดงออกช้าลงประมาณ 2 วัน เนื่องจากยีน *Rh-PIP* ควบคุมการสร้างโปรตีน Aquaporins (AQPs) ซึ่งเป็นช่องทางการขนส่งน้ำโดยจะพบมากที่ Tonoplast (vacuolar) membrane และ Plasma membrane จึงทำให้ปากใบกุหลาบคายน้ำได้ช้าลง (Baiges และคณะ, 2001; Lu และคณะ, 2010) การใช้นาโนซิลเวอร์ร่วมกับไคโตซานธรรมชาติสามารถยืดอายุการปักแจกันของลิลลี่ตัดดอกพันธุ์ Siberia ที่ตอบสนองต่อเอทิลีน สามารถชะลอการสร้างเอทิลีนและอัตราการหายใจ อาจเป็นไปได้ว่านาโนซิลเวอร์สามารถเป็น anti-ethylene agent ได้ (Kim และคณะ, 2005; Ma และคณะ, 2008; Liu และคณะ, 2009)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 คัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

เตรียมอาหารรุ้น Luria-Bertani (LB) ที่มีความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ 0 2.5 5 10 และ 20 มก./ลิตร จากนาโนซิลเวอร์ที่สกัดทางเคมีความเข้มข้น 1000 มก./ลิตร โดยกรองผ่าน Minisart® syringe filters ขนาดรูกรอง 0.2 µm ภายในตู้ปลอดเชื้อ Microflow class 1 (ประเทศอังกฤษ) โดยเตรียมอาหารรุ้น LB ในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 100 มล. ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ 121°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิประมาณ 60°C ปิเปิดนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมไว้แล้วลงในอาหารรุ้น LB เขย่าให้เข้ากันเทลงใน Petri dish โดยนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ นาโนซิลเวอร์ Yellow ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปทรงอนุภาคเป็น spherical shape นาโนซิลเวอร์ Blue ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 80 nm รูปทรงอนุภาคเป็น plate shape และนาโนซิลเวอร์ Pink ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปทรงอนุภาคเป็น plate shape (ภาพที่ 1) (ได้รับความอนุเคราะห์นาโนซิลเวอร์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ หน่วยวิจัยปฏิบัติการรับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)



ภาพที่ 1 ขนาดอนุภาคและสีของนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง; ก. นาโนซิลเวอร์ Yellow ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปร่างอนุภาคเป็น spherical shape; ข. นาโนซิลเวอร์ Pink ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปร่างอนุภาคเป็น plate shape; ค. นาโนซิลเวอร์ Blue ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 80 nm รูปร่างอนุภาคเป็น plate shape (ภาพได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ในการทดลองนี้ใช้แบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นตัวแทนแบคทีเรียแกรมลบ *Staphylococcus aureus* เป็นตัวแทนแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรีย Unknown A (แบคทีเรียแกรมลบ โคโลนีสีขาว รูปทรงแท่ง) และ Unknown B (แบคทีเรียแกรมลบ โคโลนีสีเหลือง รูปทรงกลม) ซึ่งเป็นตัวแทนแบคทีเรียที่แยกได้จากน้ำปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยคัดเลือกจากโคโลนีที่มีจำนวนมาก บนอาหารเลี้ยงเชื้อ การเตรียมแบคทีเรียทำโดยการเขี่ยแบคทีเรียจาก stock plate ที่เป็นโคโลนีเดียว เลี้ยงในอาหารเหลว LB เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที บ่มข้ามคืนที่อุณหภูมิ 37°C สำหรับ *E. coli* และ *S. aureus* และบ่มข้ามคืนที่อุณหภูมิ 30°C สำหรับแบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B หลังจากนั้นเจือจางแบคทีเรียให้มีความเข้มข้น 10^6 colony forming units ต่อมล. (CFU/มล.) จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer Agilent 8453 (ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดย *E. coli* วัดค่า $OD_{600nm} = 1.0595 \times 10^{-3}$ *S. aureus* วัดค่า $OD_{600nm} = 4.9047 \times 10^{-3}$ แบคทีเรีย Unknown A วัดค่า $OD_{600nm} = 5.1322 \times 10^{-3}$ และแบคทีเรีย Unknown B วัดค่า $OD_{600nm} = 1.0223 \times 10^{-2}$

ทดสอบประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียตามวิธีของ Sondi และ Salopek-Sondi (2004) โดยปิเปตแบคทีเรียความเข้มข้น 10^6 CFU/มล. ปริมาตร 0.1 มล. ลงในจานอาหารร่วน LB เกลี่ยเชื้อให้ทั่วบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้นต่าง ๆ ความเข้มข้นละ 4 ซ้ำ (replicate) บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับ *E. coli* และ *S. aureus* และบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับแบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B ให้คะแนนระดับการเจริญของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับเชื้อที่เจริญในอาหารร่วน LB ที่ไม่มีการเติมนาโนซิลเวอร์ หลักเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 5 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 100% 4 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 80% 3 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 60% 2 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 40% 1 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 20% และ 0 คะแนน เมื่อไม่มีแบคทีเรียเจริญหรือเจริญได้น้อยกว่า 20% จากนั้นคิดเป็นค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเจริญของแบคทีเรียและค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เพื่อเปรียบเทียบและคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์

3.2 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้

ดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน (*Dendrobium* 'Khao Sanan') ที่ใช้ในการทดลองซื้อมาจากสวนกล้วยไม้แอ็ดวานซ์ ออร์คิด เลขที่ 50/1 หมู่ 5 ตำบลบางช้าง อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม เป็นช่อดอกเกรดส่งออกขนาดความยาวประมาณ 45-50 ซม. ตัดดอกในช่วงเช้า ขนส่งลักษณะแห้งจากสวนโดยรถยนต์ปรับอากาศ ระยะเวลาตั้งแต่ตัดดอกจนปักแจกันประมาณ 6 ชั่วโมง เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการตัดส่วนโคนก้านช่อดอกออกด้วยใบมีดคมใต้น้ำกัลัน เป็นแนวเฉียง 45 องศา โดยประมาณ ให้เหลือความยาวก้าน 15 ซม. (วัดจากปลายสุดถึงดอกย่อยดอกแรก) คัดเลือกช่อดอกที่มีความยาวใกล้เคียงกัน ดอกบาน 7 ± 1 ดอก และดอกตูม 12 ± 1 ดอก ใช้ขวดพลาสติกปากแคบขนาด 120 มล. เป็นแจกัน โดยมีน้ำกัลันหรือนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 100 มล. เป็นน้ำปักแจกัน ใส่กล้วยไม้ 3 ช่อดอก ต่อ 1 แจกัน เก็บกล้วยไม้ที่ปักแจกันแล้วที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 89% ซึ่งอ่านค่าจากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ Thermo-hygrograph Isuzu (ประเทศญี่ปุ่น) กล้วยไม้ได้รับแสงไฟฟลูออเรสเซนต์ 411 ลักซ์ วันละ 12 ชั่วโมง คล้องลวดที่ก้านดอกย่อยของดอกตูมดอกกลางสุดในแต่ละก้านช่อดอก เพื่อเป็นเครื่องหมายในการระบุจำนวนการบานของดอกตูม แบ่งการทดลองเป็นชุดการทดลองดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดทดลองควบคุม

นำกล้วยไม้แช่น้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่ 2-4 ทำการ holding ด้วยนาโนซิลเวอร์ โดยการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 2.5 5 และ 10 มก./ลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง ชุดการทดลองที่ 5-8 ทำการ pulsing โดยแช่กล้วยไม้ในสารละลายนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 2.5 5 10 และ 20 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายมาแช่ในน้ำกลั่นตลอดระยะเวลาการทดลอง นาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทดลองคัดเลือกว่า 1 ใน 3 ชนิด ที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิดได้ดีที่สุด จากข้อ 3.1 แต่ละชุดการทดลองมี 11 ซ้ำ (replicate) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธี ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การบันทึกผลการทดลอง

1. การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกบาน โดยบันทึกวันที่ดอกบานเริ่มเหี่ยว หรือหลุดร่วงเป็นดอกแรก นับเป็นจำนวนวันหลังจากเริ่มการทดลอง โดยกำหนดว่าดอกเสื่อมสภาพ คือ ดอกบานที่เกิดอาการดอกคว่ำ สังเกตเห็นเส้นแวน (vein) อย่างชัดเจน กลีบดอกเริ่มแห้ง ชีตเหลือง ดอกเหี่ยวหรือร่วง
2. การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกตูม โดยบันทึกวันที่ดอกตูมเริ่มเหี่ยว หรือหลุดร่วงเป็นดอกแรก นับเป็นจำนวนวันหลังจากเริ่มการทดลอง โดยกำหนดว่าดอกเสื่อมสภาพ คือ ดอกตูมที่เปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง สีน้ำตาล เหี่ยวหรือร่วง
3. จำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้นในแต่ละช่อดอกและคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

$$\text{ดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกตูมที่บานระหว่างการทดลอง}}{\text{จำนวนดอกตูมเมื่อเริ่มการทดลอง}} \times 100$$

4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของก้านช่อดอก โดยวัดความยาวก้านช่อดอกที่เหลืองและดำ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง
5. วัดอัตราการดูดน้ำของดอกกล้วยไม้ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ที่กล้วยไม้ใช้ตลอดการทดลอง โดยอ่านขีดบอกริมาตร ซึ่งมีสารละลายบรรจุอยู่ 100 มล. อ่านค่าปริมาณน้ำที่ลดลงทุกวัน โดยถือว่าปริมาณน้ำมีการระเหยน้อยมาก
6. วัดปริมาณการดูดน้ำตลอดการทดลอง (กรัม/ก้านช่อดอก) โดยหาจากน้ำหนักน้ำปึกแฉกก่อนการทดลองเทียบกับน้ำหนักน้ำปึกแฉกหลังสิ้นสุดการทดลอง โดยมีตัวแปรควบคุม คือ น้ำหนักน้ำปึกแฉกที่ไม่มีดอกไม้
7. ศึกษาอายุการปักแฉก (วัน) ของดอกกล้วยไม้ โดยนับตั้งแต่เริ่มปักแฉก จนหมดอายุการปักแฉก เมื่อจำนวนดอกบานและดอกตูมเสื่อมสภาพลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของช่อดอก
8. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศขณะทำการทดลอง

3.3 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในกล้วยไม้ปักแฉก

ในการทดลองแบ่งจำนวนชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดทดลองควบคุม โดยการแช่กล้วยไม้ในน้ำกลั่นตลอดอายุการปักแฉก ชุดการทดลองที่ 2 เป็นวิธีการ holding คือการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ และชุดการทดลองที่ 3 เป็นวิธีการ pulsing คือ การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์เป็นเวลา 24

ชั่วโมง จากนั้นย้ายมาแช่ในน้ำกลั่นตลอดอายุการปักแจกัน โดยความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่ใช้เป็นความเข้มข้นที่ยืดอายุการปักแจกันได้ดีที่สุดจากการทดลองการหาอายุการปักแจกันในข้อ 3.2 วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธี ANOVA และ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และด้วยวิธี independent-samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวิธีการ holding และวิธีการ pulsing เมื่อชุดการทดลองควบคุมหมดอายุการปักแจกันไปก่อน

3.3.1 การหาจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน

นับจำนวนแบคทีเรีย (CFU/มล.) ในน้ำปักแจกันดอกกล้วยไม้ทุกวัน ตั้งแต่วันที่ 0 ของการทดลองจนครบวันหมดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้ แต่ละชุดการทดลองทำ 5 ซ้ำ (replicate) โดยใส่กล้วยไม้ 3 ซีดดอกต่อ 1 แจกัน คิดเป็น 1 ซ้ำ เจือจางแบคทีเรียให้มีปริมาณโคโลนีที่สามารถนับได้ โดยการทำให้ serial dilution ของน้ำปักแจกันที่มีแบคทีเรีย ด้วยสารละลาย normal saline 0.9% ปิเปตสารแขวนลอยแบคทีเรีย 0.1 มล. ลงในจานอาหารรูน nutrient agar (NA) เกลี่ยเชื้อให้ทั่วบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการทดลอง 3 dilution สุดท้าย ต่อ 1 แจกัน และทำ 2 ซ้ำ ต่อ 1 dilution บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันของชุดการทดลองที่ 3 การ pulsing ในวันที่ 0 และ 1 ของอายุการปักแจกัน ให้นำจำนวนแบคทีเรียจากแจกันที่บรรจุน้ำกลั่นซึ่งเตรียมไว้แช่กล้วยไม้หลังการทำ pulsing 24 ชั่วโมง ดัดแปลงตามวิธีของ Ketsa และคณะ (1995) และ Liu และคณะ (2009)

3.3.2 การหาจำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอก

นับจำนวนแบคทีเรีย (CFU/มล.) ในก้านช่อดอกกล้วยไม้ทุก 2 วัน ตั้งแต่วันที่ 0 ของการทดลองจนครบวันหมดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้แต่ละชุดการทดลอง โดยตัดก้านช่อดอกที่เอียงตั้งจากนั้นตัดก้านช่อดอก 0.5 กรัม (ประมาณ 2.7 ซม.) จากโคนของก้านที่เหลือ แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 9 ก้าน (replicate) ย้ายชิ้นส่วนพืชเข้าสู่ปลอดเชื้อ ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อจำนวน 3 ครั้ง เพื่อลดแบคทีเรียที่ผิว ก้าน บดชิ้นส่วนก้านดอกในสารละลาย normal saline 0.9% ปริมาตร 1 มล. ด้วยโกร่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. เพื่อให้แบคทีเรียภายในก้านดอกออกมาอยู่ในสารแขวนลอย เจือจางแบคทีเรียให้มีปริมาณโคโลนีที่สามารถนับได้ โดยการทำให้ serial dilution ของแบคทีเรียด้วยสารละลาย normal saline 0.9% ปิเปตสารแขวนลอยแบคทีเรีย 0.1 มล. ลงบนจานอาหารรูน NA เกลี่ยเชื้อให้ทั่วบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการทดลอง 3 dilution สุดท้าย ต่อ 1 ก้านช่อดอก และทำ 2 ซ้ำ ต่อ 1 dilution บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ดัดแปลงตามวิธีของ Ketsa และคณะ (1995) และ Liu และคณะ (2009)

3.3.3 ศึกษาภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก

ศึกษาภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำในส่วนของโคนก้านช่อดอก ความยาวไม่เกิน 3 ซม. วัดจากปลายสุดของก้าน เตรียมตัวอย่างพืชโดยตัดก้านช่อดอกส่วนที่เอียงตั้ง จากนั้นตัดก้านช่อดอก ประมาณ 0.5 ซม. เพื่อทำการตัดตามยาว (L-section) โดยหล่อชิ้นส่วนพืชด้วยวุ้น 6% ในหลอด Micro tube ขนาด 1.5

มล. ที่ตัดกันบริเวณส่วนที่แคบออกแล้ว รอจนอุ่นแข็งตัวค่อย ๆ แกะชิ้นอุ่นที่มีชิ้นส่วนพืชภายในออก ส่วนก้านที่เหลือนำไปตัดตามขวาง (X-section) ความหนาในการตัดทั้งตามยาวและตามขวางเท่ากับ 80 μm โดยใช้เครื่อง Plant microtome automatic NK system MT-3 (ประเทศญี่ปุ่น) ทำซ้ำจำนวน 5 ก้านช่อดอก ต่อ 1 ชุดการทดลอง ศึกษาภาวะการดูดต้นเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของกล้วยไม้ในวันที่ 0 1 3 5 และ 7 ของการปักแจกัน นำชิ้นส่วนพืชที่ตัดแช่ Formalin-acid-alcohol (FAA) ทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชย้อมด้วยสี Safranin O อย่างน้อย 2 ชั่วโมง ล้างสีส่วนเกินด้วยน้ำ ดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อด้วยการแช่ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 30 50 70 95 และ 100% ใช้เวลาขั้นตอนละ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นย้อมด้วยสี Fast Green เป็นเวลา 5-10 วินาที ล้างสีส่วนเกินด้วย Xylene:EtOH อัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 10 นาที 2 ครั้ง และแช่ใน Xylene อย่างน้อย 10 นาที 2 ครั้ง จากนั้น mount ด้วย permount แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ (ดัดแปลงจาก Ruzin, 1999) นำไปศึกษาการดูดต้นเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำใต้กล้องจุลทรรศน์ Olympus BX 51 (ประเทศญี่ปุ่น) โดยถ่ายภาพจากกล้องดิจิทัล Olympus DP 70 (ประเทศญี่ปุ่น) และนับจำนวนของมัดเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่พบการดูดต้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับจำนวนมัดเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำทั้งหมด

3.4 ศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้

เตรียมกล่องพลาสติกขนาด 15 x 15 x 75 ซม. สำหรับเก็บตัวอย่างแก๊ส ครอบกล่องพลาสติกบนขวดที่ปักดอกกล้วยไม้โดยยึดขวดกับพื้นให้แน่นคงด้วยกระดาษขาว ปิดขอบด้านล่างของกล่องพลาสติกให้สนิทด้วยดินน้ำมัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C ใช้หลอดชนิดยาขนาด 10 มล. พร้อมเข็มเบอร์ 25G X 1" (0.5 x 25 มม.) ดึงเก็บตัวอย่างแก๊ส 10 มล. โดยการแทนที่น้ำเกลืออิมมัตวในขวดแก้วขนาด 20 มล. ปิดจุกได้น้ำพันด้วยพาราฟิล์มให้แน่น เก็บรักษาแบบคว่ำขวดลง ที่อุณหภูมิ 4°C แล้วนำไปตรวจวัดปริมาณแก๊สด้วยเครื่อง gas chromatograph Shimadzu GC-8A (ประเทศญี่ปุ่น) ที่ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เก็บผลการทดลอง 4 ซ้ำ (replicate) ต่อชุดการทดลอง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการสร้างเอทิลีน ในหน่วย นาโนลิตร/กรัม/ชั่วโมง (nl/g/h) ของช่อดอกกล้วยไม้ เฉลี่ยจาก 3 ช่อดอก ต่อ 1 แจกัน คือ 1 ซ้ำ เก็บตัวอย่างแก๊สที่อายุการปักแจกันวันที่ 0 2 4 6 8 10 12 14 และ 16 เตรียมชุดการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3 วิธีการวัดและคำนวณหาอัตราการสร้างเอทิลีนแสดงในภาคผนวก วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธี ANOVA และ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

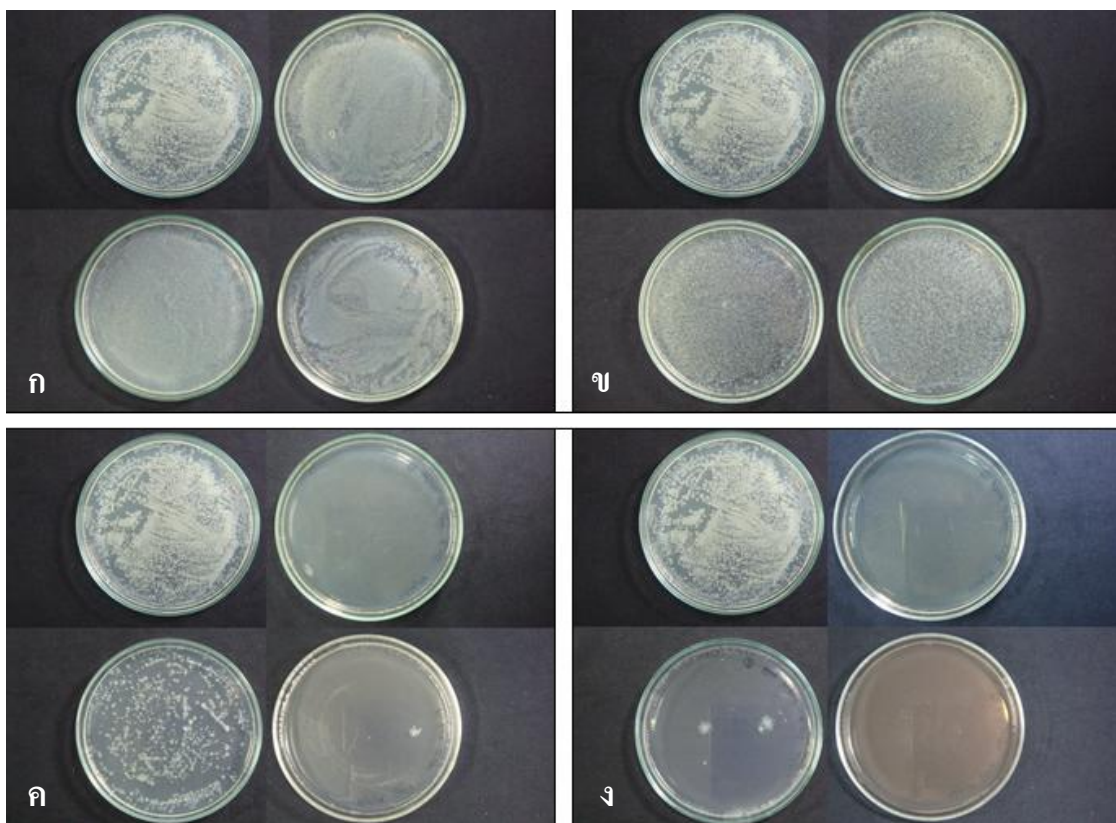
ผลการทดลอง

4.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

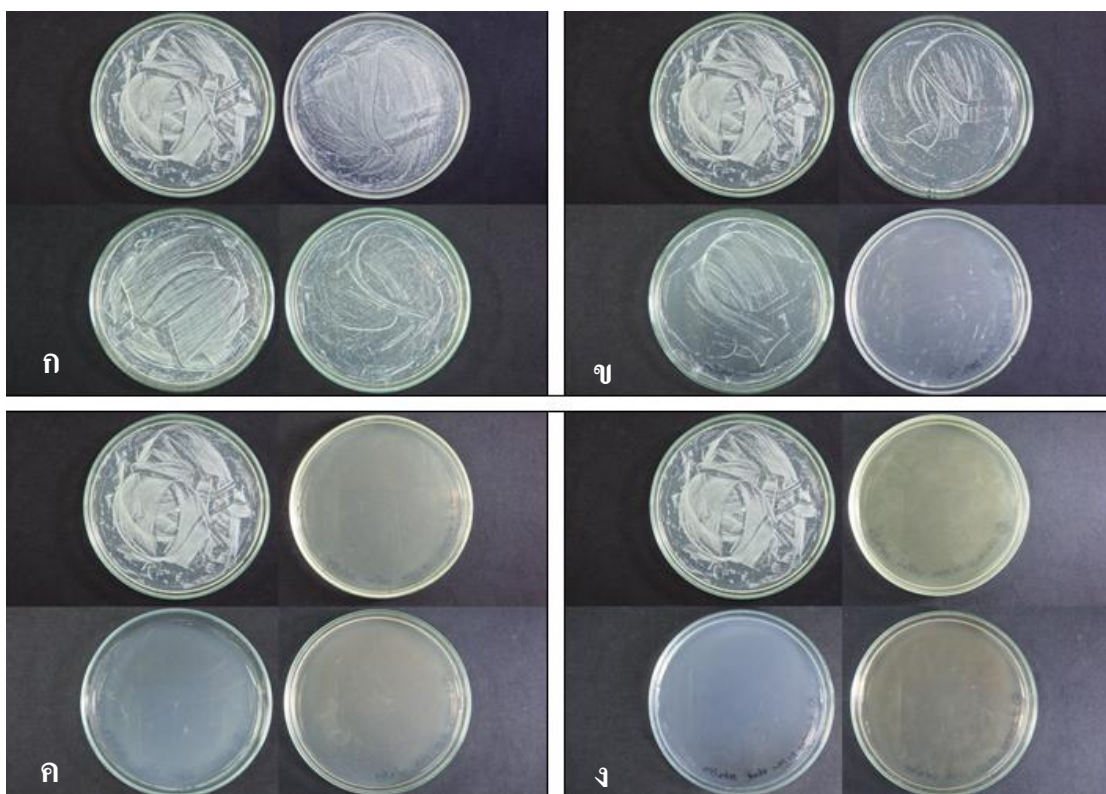
จากการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด คือ นาโนซิลเวอร์ Yellow ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปทรงอนุภาคเป็น spherical shape นาโนซิลเวอร์ Blue ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 80 nm รูปทรงอนุภาคเป็น plate shape และนาโนซิลเวอร์ Pink ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm รูปทรงอนุภาคเป็น plate shape ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* แบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* แบคทีเรียแกรมลบ Unknown A และ Unknown B จำนวน 10^5 CFU ในอาหารรุ้น LB ซึ่งผสมนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 0 2.5 5 10 และ 20 มก./ลิตร จำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นที่ใช้วัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm (ตารางภาคผนวกที่ 1) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ให้ผลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้แตกต่างกัน โดยมีระดับการเจริญของแบคทีเรียที่ต่างกัน (ตารางภาคผนวกที่ 2-5) นาโนซิลเวอร์สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่ไม่มีการเติมนาโนซิลเวอร์ ความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่สูง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่าการใช้นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นต่ำ นาโนซิลเวอร์ Yellow และ Pink ที่ความเข้มข้น 2.5 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้ 15% แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียชนิดอื่นได้ นาโนซิลเวอร์ Yellow ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทุกชนิดได้ 100% ยกเว้นที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย Unknown B ได้ 80% นาโนซิลเวอร์ Pink ที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทุกชนิดได้ 100% ในขณะที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* *S. aureus* แบคทีเรีย Unknown A และแบคทีเรีย Unknown B ได้ 80 100 0 และ 90% ตามลำดับ นาโนซิลเวอร์ชนิด Blue มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ต่ำที่สุด โดยที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* และแบคทีเรีย Unknown B ได้ 100% ส่วน *E. coli* และแบคทีเรีย Unknown A ยับยั้งได้เพียง 60% และ 20% ตามลำดับ (ตารางที่ 1, ภาพที่ 2-5) ดังนั้นนาโนซิลเวอร์ชนิดที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุดคือ Yellow รองลงมาคือ Pink และ Blue ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* *S. aureus* ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

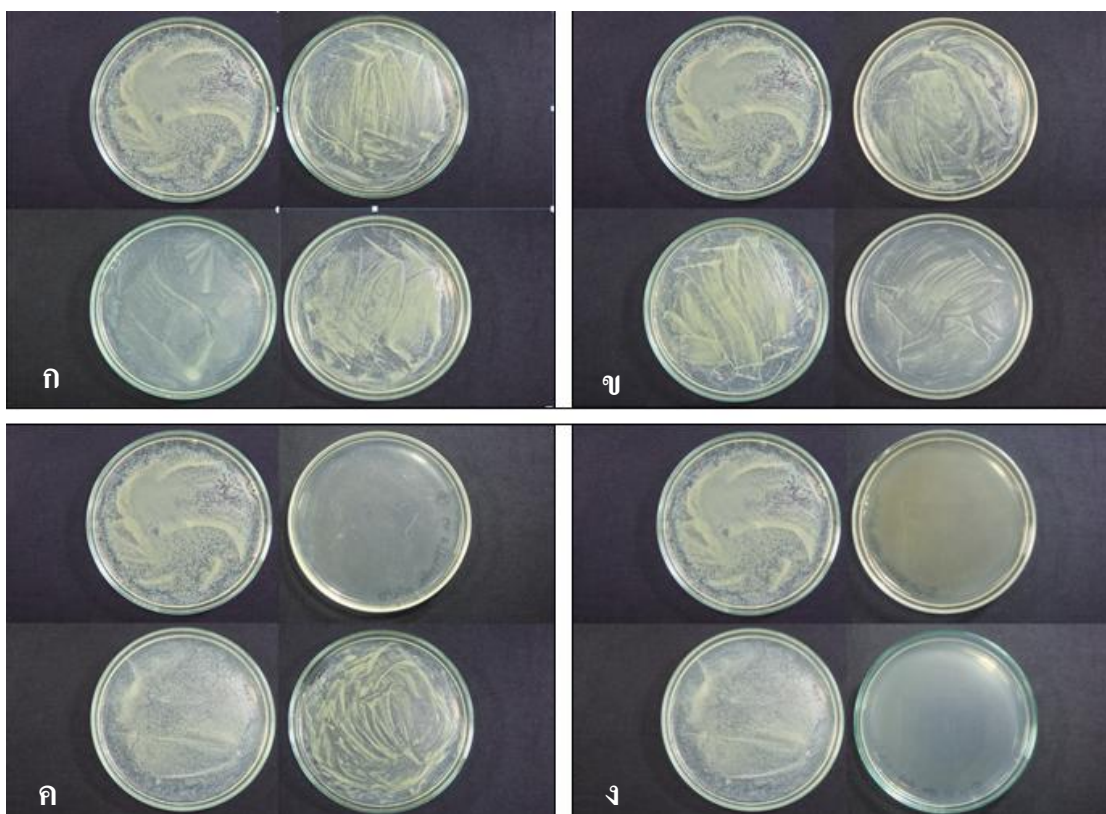
ชนิดของนาโนซิลเวอร์	ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ (มก./ลิตร)	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย			
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	Unknown A	Unknown B
-	0	0	0	0	0
Yellow	2.5	0	15	0	0
	5	20	15	0	0
	10	100	100	100	80
	20	100	100	100	100
Pink	2.5	0	15	0	0
	5	20	30	0	0
	10	80	100	0	90
	20	100	100	100	100
Blue	2.5	0	0	0	0
	5	5	20	0	0
	10	25	80	0	80
	20	60	100	20	100



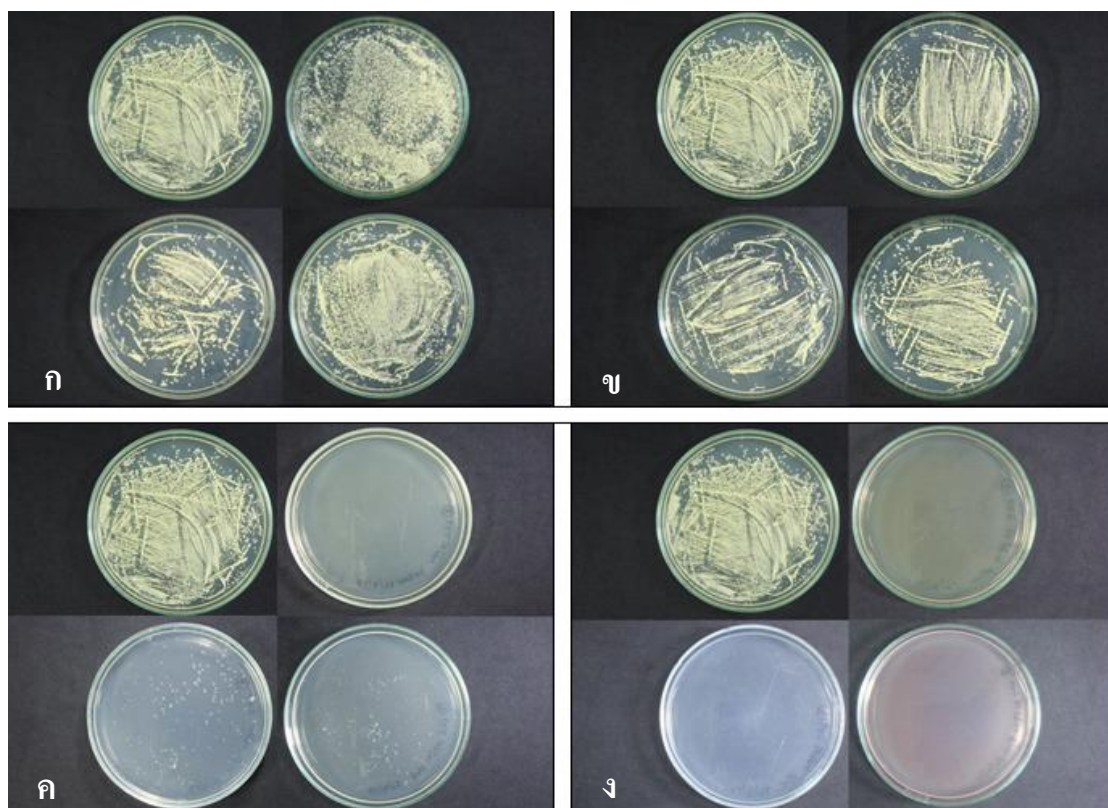
ภาพที่ 2 การเจริญของ *E. coli* บนอาหารรุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ กัน; ก. NS 2.5 มก./ลิตร; ข. NS 5 มก./ลิตร; ค. NS 10 มก./ลิตร; ง. NS 20 มก./ลิตร; ชุดการทดลองควบคุม NS 0 มก./ลิตร (บนซ้าย), NS Yellow (บนขวา), NS Blue (ล่างซ้าย), NS Pink (ล่างขวา)



ภาพที่ 3 การเจริญของ *S. aureus* บนอาหารรุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ กัน; ก. NS 2.5 มก./ลิตร; ข. NS 5 มก./ลิตร; ค. NS 10 มก./ลิตร; ง. NS 20 มก./ลิตร; ชุดการทดลองควบคุม NS 0 มก./ลิตร (บนข้าว), NS Yellow (บนขมิ้น), NS Blue (ล่างข้าว), NS Pink (ล่างขมิ้น)



ภาพที่ 4 การเจริญของแบคทีเรีย Unknown A บนอาหารรุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ กัน; ก. NS 2.5 มก./ลิตร; ข. NS 5 มก./ลิตร; ค. NS 10 มก./ลิตร; ง. NS 20 มก./ลิตร; ชุดการทดลองควบคุม NS 0 มก./ลิตร (บนซ้าย), NS Yellow (บนขวา), NS Blue (ล่างซ้าย), NS Pink (ล่างขวา)



ภาพที่ 5 การเจริญของแบคทีเรีย Unknown B บนอาหารรุ้น LB ที่ผสมนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ กัน; ก. NS 2.5 มก./ลิตร; ข. NS 5 มก./ลิตร; ค. NS 10 มก./ลิตร; ง. NS 20 มก./ลิตร; ชุดการทดลองควบคุม NS 0 มก./ลิตร (บนซ้าย), NS Yellow (บนขวา), NS Blue (ล่างซ้าย), NS Pink (ล่างขวา)

4.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ชนิดต่างๆ ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิด ในข้อ 4.1 พบว่านาโนซิลเวอร์ Yellow สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุด จึงนำมาทดลองยืดอายุการปักแจกันดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยศึกษาความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ ที่เหมาะสมในการยืดอายุการปักแจกันได้ยาวนานที่สุด โดยวิธีการ holding คือ การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 2.5 5 และ 10 มก./ลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง และวิธีการ pulsing คือ การแช่นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 2.5 5 10 และ 20 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายมาแช่ในน้ำกลั่นตลอดอายุการปักแจกันทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 89% ให้แสงความเข้มแสง 411 ลักซ์ วันละ 12 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาผลของการใช้นาโนซิลเวอร์ต่อการปักแจกันกล้วยไม้ดังนี้

4.2.1 การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกบาน

การแช่กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน ในนาโนซิลเวอร์ทุกความเข้มข้นช่วยให้ดอกบานเหี่ยว หรือหลุดร่วงช้าลง เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม โดยเฉพาะการ pulsing นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร นาน 24 ชั่วโมง พบการเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกบานเป็นดอกแรกช้าที่สุด คือ 11.3 วัน หลังการปักแจกัน ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมเริ่มเหี่ยวหลังการปักแจกัน 9.6 วัน (ตารางที่ 3) แต่การแช่นาโนซิลเวอร์เพื่อชะลอการเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกบานเป็นดอกแรกนั้น ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่น (ตารางที่ 3)

4.2.2 การเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกตูม

การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มก./ลิตร ด้วยการ pulsing นาน 24 ชั่วโมง และในนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 5 มก./ลิตร ที่แช่ตลอดอายุการปักแจกัน สามารถชะลอการเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกตูมเป็นดอกแรกหลังการปักแจกันได้ดีกว่าการแช่กล้วยไม้ในน้ำกลั่น การ pulsing นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร นาน 24 ชั่วโมง ให้ผลดีที่สุด โดยทำให้ดอกตูมเริ่มเหี่ยว หรือหลุดร่วงช้าที่สุด คือ 8.9 วัน หลังการปักแจกัน (ตารางที่ 3) แต่การแช่นาโนซิลเวอร์เพื่อชะลอการเหี่ยว หรือการหลุดร่วงของดอกตูมเป็นดอกแรกนั้น ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่น (ตารางที่ 3)

4.2.3 จำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น

นาโนซิลเวอร์ที่ใช้แช่กล้วยไม้ในทุกชุดการทดลองและในชุดควบคุม ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมในช่วง 14 วันแรกของการปักแจกัน (ภาพที่ 6) หลังจากนั้นการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์มีผลให้เปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมสูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นกล้วยไม้ที่ทำการ pulsing ในนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5 มก./ลิตร นาน 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 3, ภาพที่ 6) ชุดการทดลองที่มีการปักแจกันกล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ตลอดเวลา มีผลให้เปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมดีกว่าการ pulsing ในนาโนซิลเวอร์ นาน 24 ชั่วโมง ในทุกความเข้มข้น ชุดการทดลองที่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การบานดอกตูมได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ

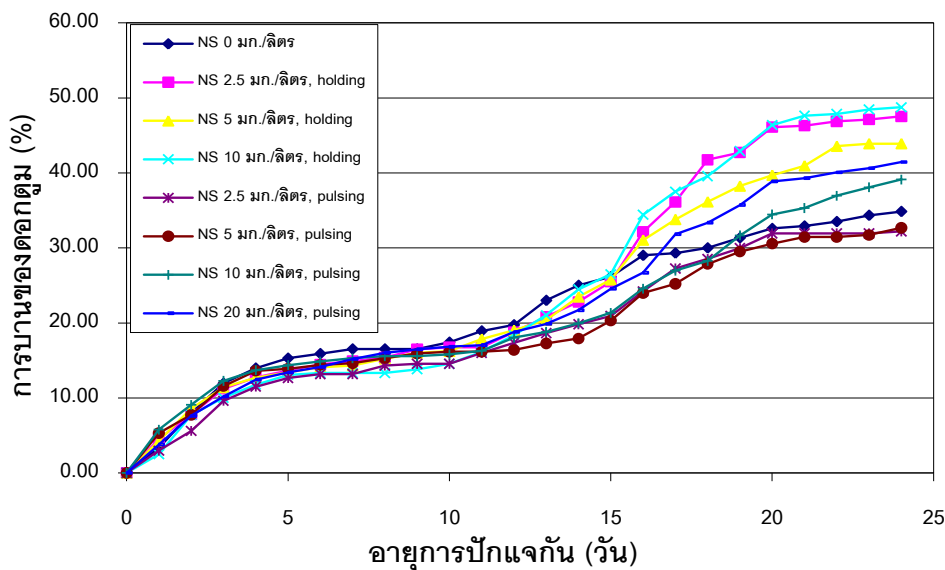
การใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร แซ่ตลอดอายุการปักแจกัน มีดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น 49.3% เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมซึ่งบานเพิ่มขึ้นเพียง 34.9% (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อจำนวนวันที่ดอกบานและดอกตูม เหี่ยว หรือร่วง เป็นดอกแรก เปอร์เซ็นต์ดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น ของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง	จำนวนวันที่ดอกบาน เหี่ยว หรือร่วงเป็นดอก แรก (วัน)	จำนวนวันที่ดอกตูม เหี่ยว หรือร่วงเป็นดอก แรก (วัน)	ดอกตูมที่บานเพิ่มขึ้น (%)
ชุดควบคุม (น้ำกลั่น)	9.61±0.51 ^{1/}	8.33±0.63 ^{1/}	34.86±2.80 a ^{2/}
นาโนซิลเวอร์			
2.5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	9.73±0.40	7.55±0.38	48.02±5.44 b
5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	10.88±0.50	8.52±0.56	44.13±4.36 ab
10 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	10.24±0.42	7.45±0.51	49.28±3.70 b
2.5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	10.33±0.46	7.88±0.25	32.48±4.04 a
5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	10.79±0.47	8.18±0.51	32.68±3.55 a
10 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	11.30±0.60	8.48±0.48	39.80±3.65 ab
20 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	10.42±0.49	8.91±0.76	41.45±3.77 ab

^{1/} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการบานของดอกตูมของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนที่แช่นาโนซิลเวอร์ (NS) ความเข้มข้นต่างๆ โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงของยอดก้านช่อดอก

จากการทดลองพบการเปลี่ยนแปลงของส่วนยอดก้านช่อดอกกล้วยไม้เมื่ออายุการปักแจกันเพิ่มขึ้น โดยแสดงอาการเหลือง อาการแห้ง และยอดก้านช่อดอกดำ (ภาพที่ 7) การแช่กล้วยไม้ด้วยวิธีการ holding ทุกชุดการทดลองสามารถลดการเหลืองของยอดก้านช่อดอกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม (ตารางที่ 4) โดยกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตลอดอายุการปักแจกัน สามารถลดอาการเหลืองของยอดก้านช่อดอกได้ดีที่สุด คือ พบอาการก้านเหลืองยาว 1.66 ซม. เมื่อเทียบกับการแช่กล้วยไม้ในน้ำกลั่นพบอาการก้านเหลืองยาว 3.61 ซม. นาโนซิลเวอร์ไม่สามารถลดอาการแห้งและดำของยอดก้านช่อดอกกล้วยไม้ได้ แม้ว่ากล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ที่แช่ตลอดอายุการปักแจกันจะเกิดการแห้งและดำของยอดก้านช่อดอกได้น้อยที่สุดก็ตาม (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของปลายยอดก้านช่อดอกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน; ก. อาการเหี่ยวของยอดก้านช่อดอก; ข. อาการแห้งและดำของยอดก้านช่อดอก

4.2.5 อัตราการดูดน้ำ และปริมาณการดูดน้ำรวมของดอกกล้วยไม้

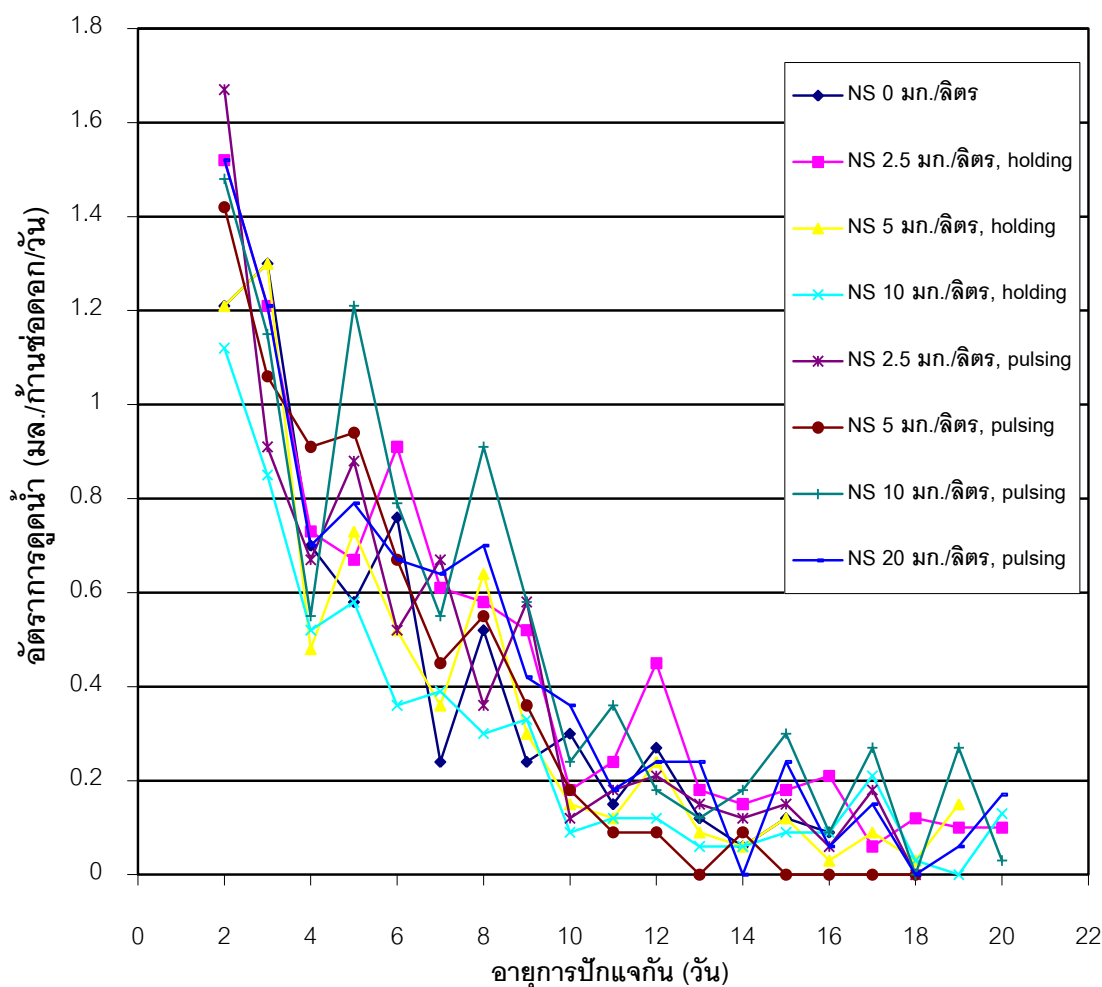
อัตราการดูดน้ำของช่อดอกกล้วยไม้จะลดลงตามอายุการปักแจกัน โดยแต่ละชุดการทดลองจะเริ่มดูดน้ำได้ลดลงมากหลังการปักแจกันได้ 9 วัน และอัตราการดูดน้ำจะลดน้อยลงจนกระทั่งหมดอายุการปักแจกัน (ภาพที่ 8) เมื่อพิจารณาการลดลงของอัตราการดูดน้ำพบว่าชุดการทดลองที่ใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตลอดการปักแจกัน มีการลดลงของอัตราการดูดน้ำน้อยที่สุด นั่นคือมีการดูดน้ำได้ค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่ออายุการปักแจกันเพิ่มขึ้น นาโนซิลเวอร์ไม่มีผลต่อปริมาณการดูดน้ำรวมของกล้วยไม้ตัดดอกในทุกชุดการทดลอง ถึงแม้ว่ากล้วยไม้ที่ใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร นาน 24 ชั่วโมง มีปริมาณการดูดน้ำทั้งหมดตลอดการทดลอง (vase solution uptake) สูงที่สุดคือ 9.22 กรัม/ก้านช่อดอก แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกล้วยไม้ในชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นที่มีปริมาณการดูดน้ำทั้งหมด 7.66 กรัม/ก้านช่อดอก (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงก้านช่อดอกและการดูดน้ำของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการใช้ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อหมดอายุการปักแจกัน

ชุดการทดลอง	การเหลืองของก้านช่อดอก (ซม.)	การแห้งและดำของก้านช่อดอก (ซม.)	ผลรวมอัตราการดูดน้ำที่ลดลง (มล./ก้านช่อดอก)	ปริมาณการดูดน้ำตลอดการทดลอง (กรัม/ก้านช่อดอก)
ชุดควบคุม (น้ำกลั่น)	3.61±0.72 c ^{2/}	0.79±0.33 ^{1/}	1.1	7.66±0.84 abc ^{2/}
นาโนซิลเวอร์				
2.5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	1.89±0.35 ab	1.16±0.37	1.4	8.89±0.58 bc
5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	1.85±0.25 ab	1.35±0.38	1.2	7.08±0.32 a
10 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	1.66±0.37 a	0.67±0.32	1.0	6.67±0.56 a
2.5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	2.69±0.51 abc	1.06±0.41	1.7	7.91±0.65 abc
5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	3.34±0.76 bc	1.08±0.34	1.4	7.65±0.31 abc
10 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	2.28±0.36 abc	1.24±0.44	1.5	9.22±0.65 c
20 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	2.43±0.40 abc	1.36±0.21	1.3	7.24±0.26 ab

^{1/} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

^{2/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 8 อัตราการดูดน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่แช่นาโนซิลเวอร์ (NS) ความเข้มข้นต่างๆ โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2.6 ความเข้มข้นและวิธีการแช่นาโนซิลเวอร์ที่เหมาะสมในการยืดอายุการปักแจกัน

จากการศึกษาหาความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่เหมาะสมและเวลาในการแช่นาโนซิลเวอร์ต่อการยืดอายุกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน พบว่านาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 2.5 5 และ 10 มก./ลิตร ที่แช่กล้วยไม้โดยการ holding ตลอดการปักแจกัน และที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มก./ลิตร โดยการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วย้ายลงแช่ในน้ำกลั่น สามารถยืดอายุการปักแจกันได้นานขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการปักแจกันในน้ำกลั่น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 5) และการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน การ holding สามารถยืดอายุการปักแจกันได้นานกว่าการ pulsing นาโนซิลเวอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่แช่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตลอดอายุการปักแจกัน สามารถยืดอายุการปักแจกันได้ดีที่สุด คือ 20.3 วัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่ pulsing ในนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยืดอายุการปักแจกันได้ 20.0 วัน โดยสามารถเพิ่มอายุการปักแจกันได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 23.0%

และ 21.2% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมที่มีอายุการปักแจกัน 16.5 วัน (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาสภาพก้านช่อดอกที่แช่นาโนซิลเวอร์หลังจากสิ้นสุดการทดลอง ประมาณ 3 สัปดาห์ จะเห็นว่าก้านช่อดอกที่แช่นาโนซิลเวอร์พบว่ายังมีดอกย่อยสภาพดีเหลืออยู่ และมีจำนวนดอกย่อยสภาพดีมากกว่าก้านช่อดอกที่แช่น้ำกลั่น จากการสังเกตก้านช่อดอกที่มีสภาพดีกว่าก้านช่อดอกอื่นๆ คือ ก้านช่อดอกที่แช่นาโนซิลเวอร์ วิธี holding ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มก./ลิตร และวิธี pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มก./ลิตร (ภาพที่ 9)

ตารางที่ 5 ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่ออายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน โดยการ holding และ การ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง	อายุการปักแจกัน	
	(วัน)	(%) ^{2/}
ชุดควบคุม (น้ำกลั่น)	16.48±0.52 a ^{1/}	100.00
นาโนซิลเวอร์		
2.5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	19.64±0.76 bc	119.17
5 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	19.36±0.58 bc	117.48
10 มก./ลิตร ตลอดอายุปักแจกัน	20.27±0.77 c	123.00
2.5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	17.73±0.66 ab	107.58
5 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	18.48±0.65 abc	112.14
10 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	19.97±0.82 c	121.18
20 มก./ลิตร 24 ชั่วโมง	19.55±0.65 bc	118.63

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{2/} เปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยให้ชุดควบคุม = 100%



ภาพที่ 9 ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แชนาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 3 สัปดาห์; ความเข้มข้น 0 มก./ลิตร วิธี holding 2.5 5 10 มก./ลิตร และ วิธี pulsing 2.5 5 10 20 มก./ลิตร จากซ้ายไปขวา ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบสภาพกล้วยไม้ที่ปักแจกันในชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่สามารถยืดอายุการปักแจกันได้ดีที่สุด คือ ชุดการทดลอง holding ที่แชนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตลอดอายุการปักแจกัน และชุดการทดลอง pulsing ด้วยนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อายุการปักแจกันวันที่ 7 (ภาพที่ 10) กล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นพบดอกบานเหี่ยวมากกว่า 1 ดอก และดอกตูมขนาดใหญ่เหลือ ในขณะที่ยังกล้วยไม้ซึ่งแชนาโนซิลเวอร์พบการเหลือของดอกตูมขนาดเล็ก และเริ่มพบการเหี่ยวของดอกบานในชุดการทดลอง pulsing เมื่อพิจารณากล้วยไม้ที่อายุการปักแจกันวันที่ 14 (ภาพที่ 11) จะเห็นว่ากล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นมีการร่วงโรยของดอกตูมและดอกบานอย่างชัดเจนจนหมดสภาพการปักแจกัน เมื่อเทียบกับกล้วยไม้ซึ่งแชนาโนซิลเวอร์พบการร่วงโรยของดอกตูมและดอกบาน แต่ยังไม่ถึงขั้นหมดสภาพการปักแจกัน แต่ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนของกล้วยไม้ที่แชนาโนซิลเวอร์ วิธี holding และ วิธี pulsing แม้ว่าจะพบการร่วงของดอกบานและดอกตูมของกล้วยไม้ที่แชนาโนซิลเวอร์ วิธี holding น้อยกว่าวิธี pulsing ก็ตาม



ภาพที่ 10 กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แชนาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 7 วัน; ความเข้มข้น 0 มก./ลิตร, วิธี pulsing 10 มก./ลิตร, วิธี holding 10 มก./ลิตร จากซ้ายไปขวาตามลำดับ



ภาพที่ 11 กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน แชนาโนซิลเวอร์ที่อายุการปักแจกัน 14 วัน; ความเข้มข้น 0 มก./ลิตร, วิธี pulsing 10 มก./ลิตร, วิธี holding 10 มก./ลิตร จากซ้ายไปขวาตามลำดับ

4.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกัน

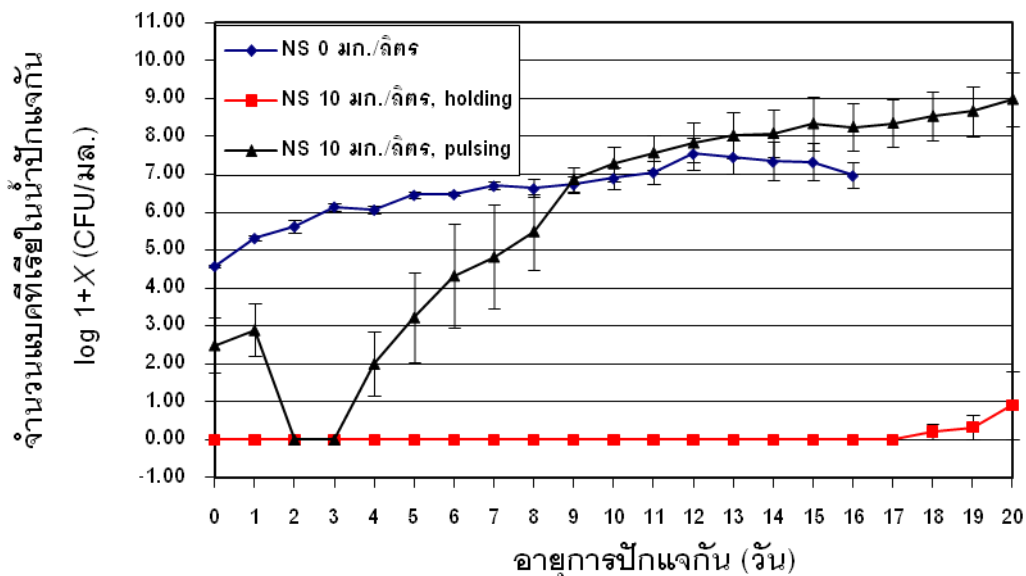
จากผลของความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่ 10 มก./ลิตร ที่ใช้ในการปักแจกันกล้วยไม้ด้วยวิธีการ holding และ pulsing ให้ผลในการยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้ได้นานที่สุด นำมาศึกษาจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียในน้ำปักแจกันและภายในโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น เปรียบเทียบกับกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ 10 มก./ลิตร ด้วยวิธีการ pulsing และการ holding โดยนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย บนอาหารวุ้น NA บ่มที่อุณหภูมิ 30°C นาน 48 ชั่วโมง ให้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 จำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแฉก

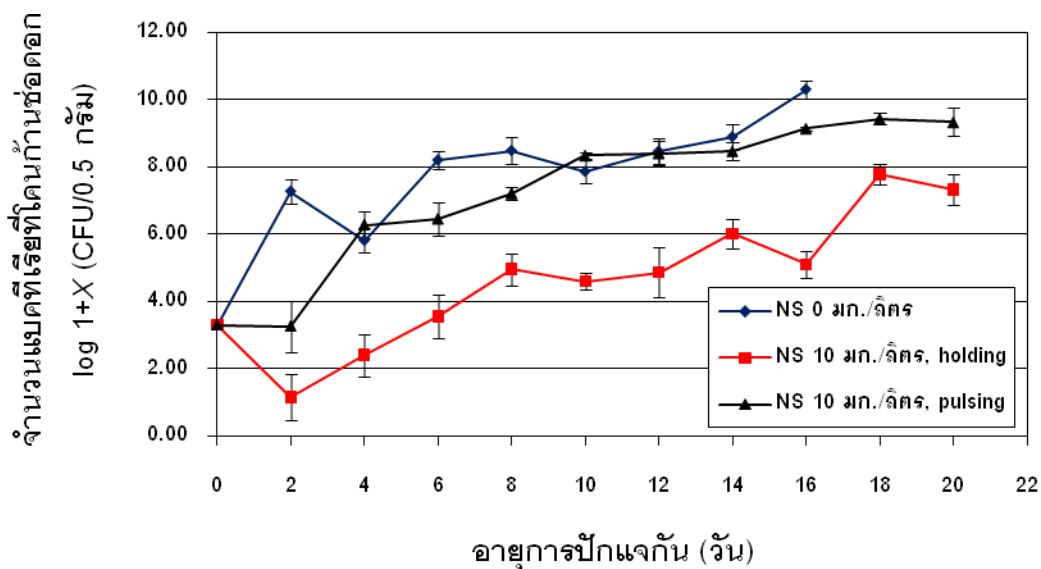
นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแฉกได้ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการ holding และ pulsing กับกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น พบว่ากล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ 10 มก./ลิตร ตลอดอายุการปักแฉก สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ 100% ถึง 17 วัน และมีจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแฉกน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการปักแฉก เมื่อสิ้นสุดอายุการปักแฉกพบแบคทีเรียในน้ำปักแฉกจำนวน 8.13 CFU/มล. (วันที่ 20) ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมพบแบคทีเรียในน้ำปักแฉกจำนวน 9.44×10^6 CFU/มล. (วันที่ 16) และกล้วยไม้ที่ pulsing ด้วยนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ที่อายุการปักแฉก 5 วัน หลังจากนั้นจึงเริ่มมีจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแฉกไม่แตกต่างจากกล้วยไม้ที่ไม่ได้แช่นาโนซิลเวอร์ (ภาพที่ 12, ตารางภาคผนวกที่ 10)

4.3.2 จำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอก

นาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร มีผลต่อจำนวนแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอก เมื่อเปรียบเทียบวิธีการ holding และ pulsing กับกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น ซึ่งวิธีการ holding สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอกได้ดีกว่าวิธีการ pulsing และในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการปักแฉก หลังจากแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์จำนวนแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอกลดลงมากที่สุด ใน 2 วันแรกของการปักแฉกเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น คือ วิธีการ holding มีจำนวนแบคทีเรีย 1.45×10^1 CFU/มล. วิธีการ pulsing มีจำนวนแบคทีเรีย 1.84×10^5 CFU/มล. ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมมีจำนวนแบคทีเรีย 1.85×10^7 CFU/มล. หลังจากนั้นจำนวนแบคทีเรียจึงเพิ่มขึ้นตามอายุการปักแฉก เมื่อหมดอายุการปักแฉก วิธีการ holding มีจำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอก 2.13×10^7 CFU/มล. (วันที่ 20) วิธีการ pulsing มีจำนวนแบคทีเรีย 2.15×10^9 CFU/มล. (วันที่ 20) ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมมีจำนวนแบคทีเรีย 2.11×10^{10} CFU/มล. (วันที่ 16) (ภาพที่ 13, ตารางภาคผนวกที่ 11)



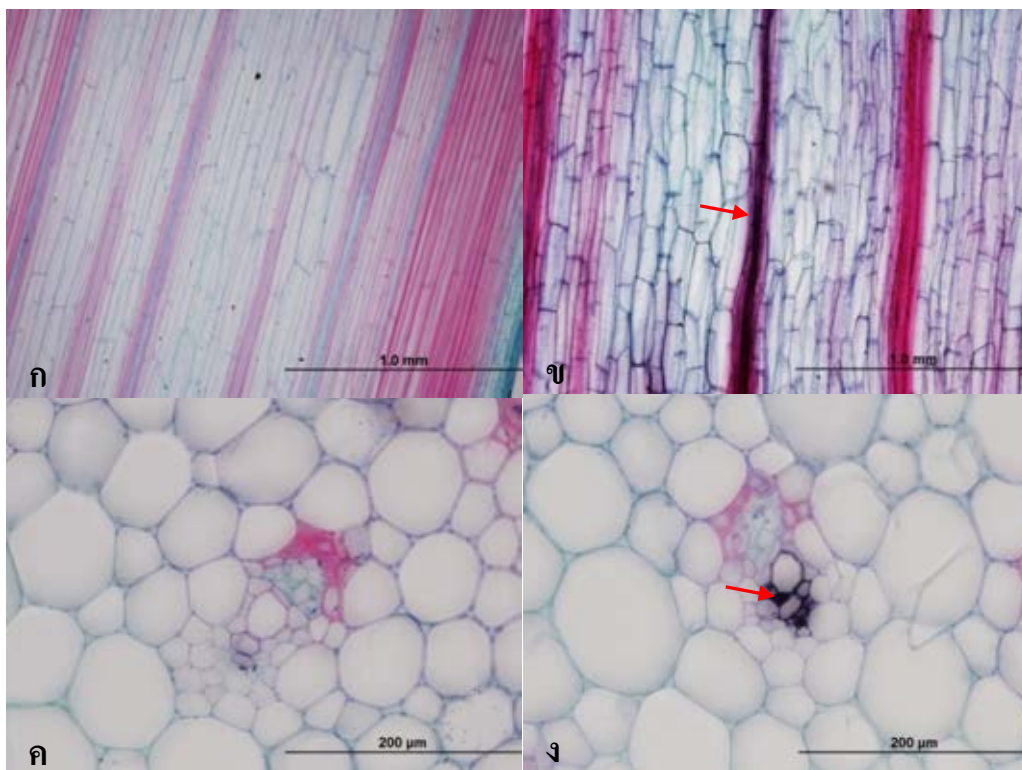
ภาพที่ 12 ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปิดแจกันตลอดอายุการปิดแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการใช้การ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง; X คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (CFU/มล.) ที่ขึ้นบนอาหารร่วน NA ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 48 ชั่วโมง; error bar แสดง ค่าเฉลี่ยข้อมูล \pm S.E. (n=5)



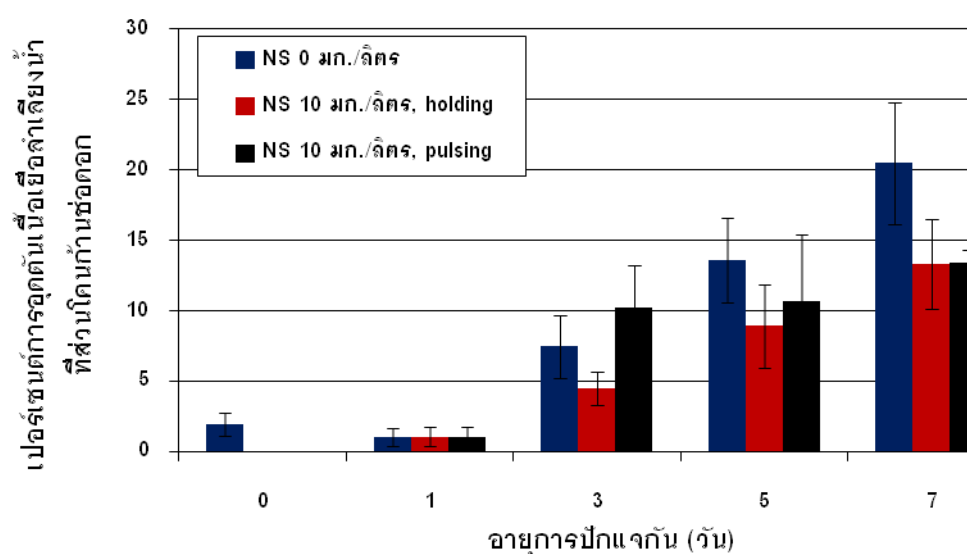
ภาพที่ 13 ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่โคนก้านช่อดอกตลอดอายุการปิดแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการใช้การ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง; X คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย (CFU/มล.) ที่ขึ้นบนอาหารร่วน NA ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 48 ชั่วโมง; error bar แสดง ค่าเฉลี่ยข้อมูล \pm S.E. (n=9)

4.3.3 ภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก

เมื่อตัดเนื้อเยื่อโคนก้านช่อดอกความยาวไม่เกิน 3 ซม. ด้วยเครื่อง Plant microtome automatic ความหนา 80 μm ย้อมด้วยสี Safranin O และสี Fast Green เพื่อดูการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของก้านช่อดอก โดยสี Safranin O จะย้อมติดผนังเซลล์ทุกติยภูมิที่มีการสะสมของลิกนิน และสี Fast Green จะย้อมติดผนังเซลล์ปฐมภูมิที่มีการสะสมของเซลลูโลส ตัดก้านทั้งตามยาว (L-section) และตามขวาง (X-section) เปรียบเทียบการเกิดการอุดตันภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น เทียบกับกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ 10 มก./ลิตร โดยวิธีการ pulsing และการ holding พบว่าส่วนของเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร (Phloem) ติดสีเขียวของ Fast Green และส่วนของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (Xylem) ติดสีแดง ของสี Safranin O บริเวณเซลล์ที่พบการอุดตันจะเริ่มเป็นสีแดงอมม่วงไปจนถึงเป็นสีดำเต็มทั้งเซลล์ในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำอย่างน้อย 1 เซลล์ จึงนับว่าเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำมอดนั้นเกิดการอุดตัน (ภาพที่ 14) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การอุดตันที่เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำต่อจำนวนทั้งหมดในก้านช่อดอก พบว่าเปอร์เซ็นต์การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ 10 มก./ลิตร โดยวิธีการ pulsing และการ holding น้อยกว่าก้านช่อดอกที่แช่น้ำกลั่นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอุดตันพบได้ตั้งแต่วันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซ็นต์การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน และปริมาณการอุดตันไม่แตกต่างจากวันที่ 0 เมื่อกล้วยไม้มีอายุการปักแจกัน 3 วัน เริ่มเห็นการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำได้ชัดเจน วิธีการ holding พบการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ 4.53% ซึ่งน้อยกว่าวิธีการ pulsing ที่พบการอุดตันของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ 10.27% เปอร์เซ็นต์การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยไม้มีอายุการปักแจกันเพิ่มขึ้น เมื่อกล้วยไม้มีอายุการปักแจกัน 7 วัน มีการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ เมื่อแช่กล้วยไม้ด้วยวิธีการ holding และ pulsing เท่ากับ 13.36% และ 13.45% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่ากล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นอย่างชัดเจน (20.49%) แม้ว่าจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 15)



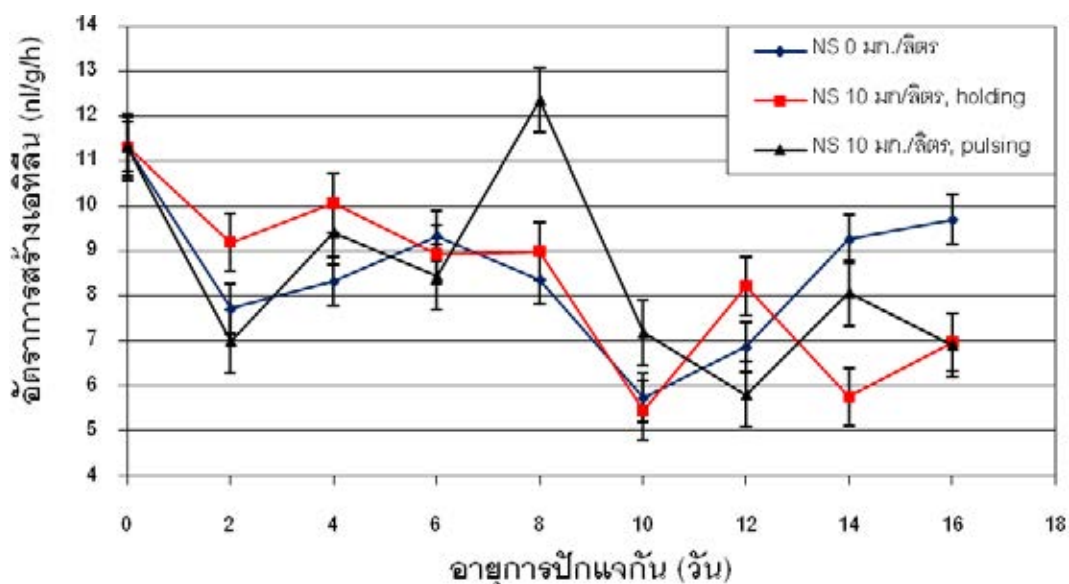
ภาพที่ 14 เนื้อเยื่อลำเลียงภายในโคนก้านช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการ pulsing ด้วยนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อายุการปักแจกัน 7 วัน ก. ตัดตามยาว (L-section) ไม่พบการอุดตัน; ข. ตัดตัดตามยาว (L-section) พบการอุดตัน; ค. ตัดตามขวาง (X-section) ไม่พบการอุดตัน; ง. ตัดตามขวาง (X-section) พบการอุดตัน; ลูกศรแสดงการเกิดการอุดตัน



ภาพที่ 15 ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่อปริมาณการดูดซับน้ำเยื่อลำเลียงน้ำที่ส่วนโคนก้านช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อายุการปักแจกันวันที่ 0 1 3 5 และ 7 ; error bar แสดง ค่าเฉลี่ยข้อมูล \pm S.E. (n=5)

4.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้

กล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์และกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นมีแนวโน้มการสร้างเอทิลีนไปในทิศทางเดียวกัน พบว่าในวันที่ 0 ของการปักแจกัน มีอัตราการสร้างเอทิลีนสูงสุด จากนั้นมีแนวโน้มการสร้างเอทิลีนลดลงและมีการสร้างเพิ่มขึ้นอีกเมื่อมีอายุการปักแจกันประมาณวันที่ 12 - 14 จนกระทั่งในวันที่ 16 กล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นมีการสร้างเอทิลีนถึง 9.71 นาโนลิตร/กรัม/ชั่วโมง มากกว่ากล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ทั้งวิธีการ holding (6.97 นาโนลิตร/กรัม/ชั่วโมง) และวิธีการ pulsing (6.90 นาโนลิตร/กรัม/ชั่วโมง) อย่างชัดเจน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ผลของนาโนซิลเวอร์ (NS) 10 มก./ลิตร ต่ออัตราการสร้างเอทิลีน (nl/g/h) ของช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อายุการปักแจกันถึงวันที่ 16 ; error bar แสดง ค่าเฉลี่ยข้อมูล \pm S.E. (n=4)

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

จากการเปรียบเทียบชนิดของนาโนซิลเวอร์ Yellow Pink และ Blue ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *E. coli* *S. aureus* Unknown A และ Unknown B พบว่าขนาดและรูปร่างของสารมีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย นาโนซิลเวอร์ Yellow และ Pink ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคเล็ก (เฉลี่ย 40 nm) สามารถลดการเจริญของแบคทีเรียได้ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่านาโนซิลเวอร์ Blue ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคใหญ่ (เฉลี่ย 80 nm) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเซลล์แบคทีเรียมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เพิ่มโอกาสสัมผัสโดยตรง และมีผลต่อความแข็งแรงของการจับกันระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเซลล์แบคทีเรีย จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่า (Morones และคณะ, 2005) เมื่อเปรียบเทียบนาโนซิลเวอร์ Yellow และ Pink ซึ่งมีขนาดอนุภาคเท่ากัน แต่มีรูปร่างที่ต่างกัน พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ Yellow รูปร่าง spherical shape มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์ Pink รูปร่าง plate shape ดังนั้นรูปร่างของนาโนซิลเวอร์มีผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์กับแบคทีเรีย เนื่องจากแต่ละรูปร่างของอนุภาคมีระนาบของเหลี่ยม (facets) แตกต่างกัน นาโนซิลเวอร์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่รูปร่างอนุภาคต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพของพื้นที่ผิวสัมผัสในรูปของ active facets ที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วย (Pal และคณะ, 2007)

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ทั้งสามชนิดต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย นาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่านาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น นาโนซิลเวอร์ Yellow ที่ความเข้มข้น 5 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้เพียง 20% ขณะที่ความเข้มข้น 10 และ 20 มก./ลิตร ยับยั้งได้ 100% (ตารางที่ 2) การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียนอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ ยังขึ้นกับจำนวนของแบคทีเรียเริ่มต้นและชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบด้วย (Sondi และ Salopek-Sondi, 2004; Morones และคณะ, 2005) เมื่อเปรียบเทียบการใช้นาโนซิลเวอร์ที่มีชนิดและความเข้มข้นเดียวกันต่อแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิด จากการทดลองพบว่า ผลของการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียมีความแตกต่างกัน นั่นคือแบคทีเรียแต่ละชนิดสามารถทนความเป็นพิษของนาโนซิลเวอร์ได้แตกต่างกัน เช่น การใช้นาโนซิลเวอร์ Blue ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* และแบคทีเรีย Unknown B ได้ 80% แต่ยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้เพียง 25% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Shrivastava และคณะ (2007) ที่พบว่านาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 25 มก./ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้ดี แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้ หรือการใช้นาโน

ซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นเท่ากันมีผลให้เวลาที่แบคทีเรียอยู่ในระยะ Lag phase ของ *E. coli* สายพันธุ์ปกติ นานกว่า *E. coli* สายพันธุ์ที่ต้านทาน Ampicillin (Li และคณะ, 2010) ซึ่งความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค รูปทรงอนุภาค และสายพันธุ์ของเชื้อที่นำมาใช้ทดสอบด้วย

ในการทดลองนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ที่มีความแตกต่างกันขององค์ประกอบผนังเซลล์ ความหนาของชั้นผนังเซลล์ในแบคทีเรียแกรมลบ ไม่มีผลต่อการทำงานของนาโนซิลเวอร์ Yellow แต่มีผลเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของนาโนซิลเวอร์ Pink และ Blue (ตารางที่ 2) ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่าไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดถึงผลการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของนาโนซิลเวอร์ว่าขึ้นกับชนิดของแบคทีเรีย ดังนั้นประสิทธิภาพในการยับยั้งของนาโนซิลเวอร์จึงน่าจะขึ้นกับสายพันธุ์และชนิดของแบคทีเรียมากกว่าชนิดของแบคทีเรีย (Park และคณะ, 2006; Shrivastava และคณะ, 2007; Fayaz และคณะ, 2010)

5.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้

ในการศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวาย พันธุ์ชาวสวน พบว่าการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการ holding และ pulsing ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของดอก โดยทำให้ดอกเหี่ยวหรือหลุดร่วงเป็นดอกแรกซ้าลงเมื่อแช่นาโนซิลเวอร์หลังการปักแจกัน เทียบกับชุดควบคุมที่แช่น้ำกลั่น (ตารางที่ 3) จากรายงานการใช้ซิลเวอร์ชนิดอื่นพบว่าการใช้ STS สามารถชะลอการร่วงของดอกบานและดอกตูมในกล้วยไม้สกุลหวายได้เช่นกัน (Uthaichay และคณะ, 2007) นอกจากนี้พบว่าการใช้นาโนซิลเวอร์สามารถลดอาการเหลืองของยอดก้านช่อดอกกล้วยไม้ อาการเหลืองของก้านเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียวจึงปรากฏสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ชัดเจนขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการเสื่อมสภาพของพืช (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) อีกทั้งยังพบลักษณะปลายยอดที่แห้งหรือดำ เกิดได้ทั้งในดอกกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นและนาโนซิลเวอร์ อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณน้ำในก้านดอกน้อยจึงลำเลียงน้ำไม่ถึงปลายยอด ทำให้ยอดแห้งหรือจากการขาดสารอาหาร (เกยูร วีระเจริญปัญญา, 2529) ซึ่งนาโนซิลเวอร์ไม่สามารถลดอาการช่อดอกแห้งไม่ให้เกิดขึ้นได้

การบานของดอกกล้วยไม้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Halevy และ Mayak, 1979) เนื่องจากกล้วยไม้ตัดดอกส่งออกจะตัดช่วงดอกบาน 2 ใน 3 ของช่อดอก จากผลการทดลองกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์ มีเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมมีความสัมพันธ์กับอายุการปักแจกัน นาโนซิลเวอร์ที่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมก็จะให้อายุการปักแจกันมากขึ้นด้วย การที่ชุดการทดลองที่ใช้นาโนซิลเวอร์ในช่วง 14 วัน หลังปักแจกันมีเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมต่ำกว่าชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 7) นั่นคือ ดอกตูมในชุดการทดลองที่ใช้นาโนซิลเวอร์พัฒนาเป็นดอกบานช้ากว่าชุดการทดลองควบคุม ซึ่งจากรายงานวิจัยในดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ พบว่าในดอกบานมีการสะสมน้ำตาลในรูปของกลูโคสมากกว่าดอกตูม เมื่อดอกตูมบานจะดึงน้ำตาลกลูโคสจากดอกบานไปใช้ ทำให้ดอกบานเสื่อมสภาพ เกิดการร่วงโรยและนำไปสู่การหมดอายุการปักแจกัน (อารีรัตน์ การุณสดีตย์ชัย, 2547) ดังนั้นการใช้สารเคมีชะลอการพัฒนาของดอกและการบานของดอกจะช่วยชะลอการใช้อาหารสะสมและยืดอายุการปักแจกัน (Yap และคณะ, 2008) ซึ่งนาโนซิลเวอร์น่าจะมีส่วนช่วยให้มีคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาปริมาณการดูดน้ำรวมของดอกกล้วยไม้ กล้วยไม้ที่แช่ในนาโนซิลเวอร์ไม่พบความแตกต่างของการดูดน้ำเมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ตลอดจนอายุการปักแจกัน มีอัตราการดูดน้ำที่ลดลงน้อยที่สุดและช้ากว่าชุดการทดลองควบคุม (ตารางที่ 4) เช่นเดียวกับการใช้สารประกอบซิลเวอร์ในเตรตในการปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ยุพดีวัน (Ketsa และ Boonrote, 1990) มีรายงานถึงผลของนาโนซิลเวอร์ที่ช่วยลดการหลุดร่วงของก้านดอก ทำให้ดอกมีการดูดน้ำได้ดีขึ้น (Liu และคณะ, 2009) การแช่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้นสูงจะทำให้อัตราการดูดน้ำลดลง ถึงแม้ว่ากล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์จะมีอัตราการดูดน้ำต่ำกว่ากล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่น แต่มีการดูดน้ำได้ค่อนข้างสม่ำเสมอโดยดูจากการลดลงของอัตราการดูดน้ำเมื่ออายุการปักแจกันเพิ่มขึ้น Lu และคณะ (2010) พบว่าการทำ pulsing กุหลาบตัดดอกในนาโนซิลเวอร์ทำให้ดอกกุหลาบมีอัตราการดูดน้ำต่ำ มีผลมาจากอัตราการคายน้ำของกุหลาบตัดดอกต่ำ เนื่องจากการปิดของ Aquaporins ที่ปากใบทำให้เกิดการคายน้ำที่ลดลง ซึ่งมีรายงานถึงผลของสารประกอบซิลเวอร์ในการยับยั้งการขนส่งน้ำผ่านทางรู Aquaporins (Niemietz และ Tyerman, 2002) จากการศึกษาในด้านยาสูบพบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ Aquaporins ได้ในหลายส่วนของพืช คือ ลำต้น ใบ กลีบดอก กลีบเลี้ยง เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย โดยพบว่ากลีบดอกมีการแสดงออกมากที่สุด (Siefritz และคณะ, 2001) จึงอาจเป็นไปได้ว่ากล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่แช่นาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้นสูงมีปริมาณการดูดน้ำตลอดการปักแจกันและอัตราการดูดน้ำต่ำ เนื่องจากนาโนซิลเวอร์ไปกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีน *NtAQP1* ทำให้รู Aquaporins เกิดการปิดเกิดการคายน้ำทั้งช่อดอกลดลง ทำให้มีความต้องการดูดน้ำปักแจกันต่ำกว่ากล้วยไม้ตัดดอกปกติที่แช่ในน้ำกลั่น

ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์และระยะเวลาการแช่สารมีผลต่อการยืดอายุไม้ตัดดอกได้ยาวนานขึ้น และชะลอการเสื่อมสภาพของดอกแรกหลังปักแจกันได้ดีกว่าชุดควบคุม เนื่องจากนาโนซิลเวอร์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียมากขึ้นตามความเข้มข้นที่ใช้ โดยมีรายงานว่านาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 50 มก./ลิตร ขึ้นไปสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียหลายชนิดได้ 100% (Sondi และ Salopek-Sondi, 2004; Morones และคณะ, 2005) แม้วานาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร จะสามารถยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้ได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุม แต่ยืดอายุการปักแจกันได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่แช่นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร อาจเป็นเพราะว่าซิลเวอร์ความเข้มข้นสูงเกินไป สามารถสร้างความเสียหายต่อกลิบเลี้ยงและกลีบดอก เนื่องจากมีรายงานการฉีดพ่นสารซิลเวอร์ในเตรตให้กับกล้วยไม้ในความเข้มข้นที่สูง มีผลให้กลีบเลี้ยงและกลีบดอกเกิดความเสียหาย ดอกเหี่ยว ทำให้การยืดอายุการปักแจกันได้ต่ำลง (Ketsa และคณะ, 1995) อย่างไรก็ตามจากรายงานการใช้ nanosized silica-silver ความเข้มข้น 3200 มก./ลิตร ฉีดพ่นใบอ่อนของแตงกวาและไม้กระถางดอกแพนซี ไม่พบอาการแสดงความเป็นพิษต่อพืชเนื่องจากการได้รับสารเคมี (phytotoxic phenomena) ในพืชทั้งสองชนิด (Park และคณะ, 2006) ซึ่งไม้ตัดดอกแต่ละชนิดน่าจะสามารถทนความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ และเวลาในการแช่นาโนซิลเวอร์ที่ให้อายุการปักแจกันได้แตกต่างกัน อาจต้องลดระยะเวลาการ pulsing ลงหากใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้นที่สูง จากรายงานการ pulsing ดอกเยอบีร่าในนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 5 มก./ลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถยืดอายุการปักแจกันดอกเยอบีร่าได้นานที่สุด เนื่องจากนาโนซิลเวอร์มีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกันและโคนของก้านดอก ทำให้เกิดการหลุดร่วงเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำโคนก้านดอกช้าลง (Liu และคณะ, 2009) การแช่นาโนซิลเวอร์ในกรณีที่มีความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าการแช่ตลอดอายุการปักแจกันช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การบานของดอกตูมและยืดอายุการปักแจกัน

ได้ดีกว่าการทำ pulsing นาโนซิลเวอร์ นาน 24 ชั่วโมง อาจเป็นเพราะการที่มีนาโนซิลเวอร์ในน้ำปักแจกันอยู่ตลอดเวลา มีประสิทธิภาพด้านแบคทีเรียดีกว่าแช่นาโนซิลเวอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียจะมีการสะสมที่ผิวรอยตัด และในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (Bleeksma และ van Doorn, 2003) การแช่นาโนซิลเวอร์ตลอดเวลาจึงมีจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นช้ากว่ามีผลให้อายุไม้ตัดดอกยาวนานกว่า

5.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกันและภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก

ในการศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ด้วยวิธีการ holding และ pulsing ต่อการยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสนาน พบว่าการแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของดอกยืดอายุการปักแจกันได้ โดยนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ที่มีอยู่ในน้ำปักแจกันตลอดเวลาสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกันได้นานถึง 17 วัน และลดปริมาณแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอกได้มากกว่าการทำ pulsing หรือในน้ำกลั่นชุดการทดลองควบคุม (ภาพที่ 12, ตารางภาคผนวกที่ 10-11) เช่นเดียวกับการใช้นาโนซิลเวอร์ในดอกเยอบีร่าและดอกกุหลาบ (Liu และคณะ, 2009; Lu และคณะ, 2010) และการใช้ซิลเวอร์ไนเตรตในการลดจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันกล้วยไม้ (Ketsa และคณะ, 1995) การที่นาโนซิลเวอร์สามารถลดจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันและภายในก้านช่อดอกได้ มีผลสอดคล้องกับการลดลงของเปอร์เซ็นต์การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่โคนก้านช่อดอก และยังเพิ่มอายุการปักแจกันได้ เป็นการยืนยันได้ว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุหลักของการเกิดการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำก่อนการเสื่อมสภาพของไม้ตัดดอก และเร่งการเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วจึงทำให้อายุไม้ตัดดอกสั้น (Goonow และ Wade, 2002; Bleeksma และ van Doorn, 2003; Liu และคณะ, 2009) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลของนาโนซิลเวอร์ที่ยับยั้งการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductance) ของกุหลาบตัดดอก และยังมีผลให้เกิดการลดลงของจำนวนแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอกอีกด้วย จึงช่วยยืดอายุการปักแจกันได้ (Lu และคณะ, 2010) จำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันจะเพิ่มขึ้นตามอายุการปักแจกัน ในขณะที่การใช้นาโนซิลเวอร์โดยการ pulsing มีจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันต่ำกว่าชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่อายุการปักแจกัน 5 วัน (ภาพที่ 13, ตารางภาคผนวกที่ 10) แสดงว่าการใช้ประโยชน์จากวิธีการ pulsing ด้วยนาโนซิลเวอร์เป็นการยับยั้งแบคทีเรียแบบชั่วคราว (Liu และคณะ, 2009)

จำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันและที่ผิวก้านช่อดอกที่มีอยู่เริ่มต้นก่อนเริ่มการทดลอง มีผลต่อการเพิ่มของจำนวนแบคทีเรียที่วัดได้ในน้ำปักแจกันและในโคนก้านช่อดอก การใช้นาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ในการทำ pulsing กล้วยไม้ นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่ในน้ำกลั่น พบว่าจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันในวันที่ 2 และ 3 ของการปักแจกันลดลง เมื่อเทียบกับวันที่ 0 และ 1 น่าจะเกิดจากการที่นาโนซิลเวอร์ปริมาณหนึ่งในก้านช่อดอกจากการ pulsing ออสโมซิสออกมาอยู่ในน้ำปักแจกัน และยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำปักแจกัน และนาโนซิลเวอร์ในช่วงการ pulsing สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียบริเวณผิวก้านช่อดอก ช่วยให้สามารถยืดอายุการปักแจกันได้ดีกว่าในชุดควบคุม ซึ่งจากการใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C นาน 30 นาที สามารถยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ Jew Yuay Tew ได้เพิ่มขึ้น 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกลั่นที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ผิวของก้านช่อดอกด้วย EtOH 98% ที่โคนก้านช่อดอกความยาว 10 ซม. ทำให้จำนวนแบคทีเรียในก้านช่อดอกลดลงและสามารถยืดอายุได้ 4 วัน และการ

นึ่งฆ่าเพื่อฆ่ากลิ่นที่จะใช้เป็นน้ำปักแจกันร่วมกับการฆ่าเชื้อที่ผิวของโคนก้านช่อดอก สามารถเพิ่มอายุการปักแจกันได้ถึง 6 วัน (Rattanawisalanon และคณะ, 2003) ซึ่งการลดจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้นในน้ำปักแจกันและที่ก้านช่อดอกให้ต่ำลงจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการยืดอายุการปักแจกันดอกไม้ได้

จำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันมีผลต่ออัตราการดูน้ำของกล้วยไม้ จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 9 ของการปักแจกัน กล้วยไม้ที่แช่น้ำกลิ่นมีแบคทีเรียในน้ำปักแจกันประมาณ 10^7 CFU/มล. ซึ่งเริ่มมีแนวโน้มทำให้อัตราการดูน้ำของกล้วยไม้ตัดดอกลดลง (ภาพที่ 8, ภาพที่ 12) แบคทีเรียในน้ำปักแจกันประมาณ 10^7 CFU/มล. น่าจะเป็นปริมาณแบคทีเรียที่เริ่มนำไปสู่การเสื่อมสภาพของดอก อันเนื่องมาจากการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ โดยการเสื่อมสภาพของดอกจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนแบคทีเรียในน้ำปักแจกันที่ค่า ๆ หนึ่ง เช่นเดียวกับการทดลองในคาร์เนชันตัดดอก พบว่าเมื่อใส่แบคทีเรียที่แยกได้จากโคนก้านดอกคาร์เนชัน จำนวนตั้งแต่ 10^8 CFU/มล. ลงในน้ำปักแจกันจะมีผลให้ดอกคาร์เนชันดูน้ำได้ลดลงขาดความสมดุลของน้ำ อันเนื่องมาจากแบคทีเรียไปอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (van Doorn และคณะ, 1995) ซึ่งจากการศึกษาชนิดของแบคทีเรียที่พบในโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ปอมปาดัวร์ พบว่า *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียที่พบมากและเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดการอุดตันในก้านดอก และเป็นแบคทีเรียที่พบทั่วไปในกล้วยไม้ (Ketsa และคณะ, 1995) ส่วน *Pseudomonas* sp. เป็นแบคทีเรียหลักที่พบในโคนก้านดอกของคาร์เนชันตัดดอก (van Doorn และคณะ, 1995; Loubaud และ van Doorn, 2004) แสดงว่าแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการอุดตันในโคนก้านดอกแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้งานของนาโนซิลเวอร์เพื่อยืดอายุการปักแจกันโดยลดจำนวนแบคทีเรียในไม้ตัดดอกแต่ละประเภทจึงแตกต่างกัน

การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำที่เพิ่มขึ้นตามอายุการปักแจกันให้ผลสอดคล้องกับอัตราการดูน้ำที่ลดลง นั่นคือสิ่งอุดตันไปขัดขวางการลำเลียงน้ำ ทำให้มีการดูน้ำได้ลดลงและมีปริมาณการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำมากกว่า ทำให้เกิดภาวะการขาดน้ำ ซึ่งพบการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำเริ่มเกิดชัดเจนในวันที่ 3 ของการปักแจกัน (ภาพที่ 15) นำไปสู่การเสื่อมสภาพดอก คือ การเริ่มพบดอกเหี่ยวแห้งหรือหลุดร่วงตามมาในวันที่ 7 ของการปักแจกัน (ตารางที่ 3) สารอุดตันในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (vascular plug) สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในการตัดชิ้นส่วนพืชซึ่งเห็นเป็นสารสีม่วงเข้มถึงสีดำเป็นวัตถุทึบแสง ซึ่ง vascular plug ประกอบด้วย Polysaccharides และโปรตีน (Dixon และ Peterson, 1989) จากการตัดตามขวาง (X-section) พบเปอร์เซ็นต์การอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำในชุดการทดลองที่แช่น้ำกลิ่นมากกว่าที่แช่นาโนซิลเวอร์ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบเปอร์เซ็นต์การเกิด plug ในเนื้อเยื่อลำเลียงมากที่สุด บริเวณใกล้รอยตัดที่โคนก้านช่อดอก (Dixon และ Peterson, 1989) และพบว่าการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรีย Extracellular polysaccharides และผลผลิตจากการย่อยสลายของเซลล์พืชที่ตายแล้ว (Bleeksma และ van Doorn, 2003)

5.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้

ในการศึกษาผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ด้วยวิธีการ holding และ pulsing ต่อการยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน พบว่าอัตราการสร้างเอทิลีนของกล้วยไม้ที่แช่นาโนซิลเวอร์จะต่ำกว่าของกล้วยไม้ที่แช่น้ำกลิ่น แต่ก็ไม่มีผลแตกต่างทางสถิติ อาจเป็นไปได้ว่าซิลเวอร์นาโนอาจจะไม่ได้ยืดอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน โดยการยับยั้งการสร้างเอทิลีนเช่นเดียวกับซิลเวอร์ในเตรต ที่ทำหน้าที่เป็น germicide มากกว่าที่จะเป็น ethylene inhibitor (Ketsa and

Boonrote, 1990) แต่ก็ยังไม่อาจสรุปได้เพราะมีรายงานการใช้นาโนซิลเวอร์และโคโตซานธรรมชาติในการยืดอายุการปักแจกันของดอกกลีลลี่ 2 สายพันธุ์ที่ตอบสนองต่อเอทิลีน สามารถชะลอการสร้างเอทิลีนและอัตราการหายใจได้ แสดงถึงลักษณะ climacteric type ที่อายุการปักแจกัน 5 วัน อาจเป็นไปได้ว่านาโนซิลเวอร์สามารถเป็น anti-ethylene agent (Kim และคณะ, 2005) เนื่องจากว่าระยะการพัฒนาของดอกย่อยภายในก้านช่อดอกมีการสร้างเอทิลีนได้แตกต่างกัน การหาอัตราการสร้างเอทิลีนจึงควรแยกกระหว่างดอกตูมและดอกบานเพื่อจะได้เห็นผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างของเอทิลีนได้อย่างชัดเจนขึ้น (Ketsa และคณะ, 1995; Hew และ Yong, 1997) มีรายงานในกล้วยไม้สกุลหวายว่ามีการตอบสนองต่อเอทิลีนต่ำกว่ากล้วยไม้สกุลแวนด้าที่ตอบสนองอย่างมากต่อปริมาณเอทิลีน (Goh และคณะ, 1985) ซึ่งในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน มีรายงานว่า เป็นสายพันธุ์ที่ตอบสนองต่อเอทิลีน การจะยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้พันธุ์นี้ได้จึงควรรหาสารเคมีที่สามารถลดแบคทีเรียและลดการสร้างเอทิลีนด้วย (Lerslerwong และคณะ, 2009) แม้ว่ากล้วยไม้ที่ใช้นาโนซิลเวอร์เมื่อหมดอายุการปักแจกันแล้วจะมีจำนวนแบคทีเรียทั้งในน้ำปักแจกันและแบคทีเรียที่โคนก้านช่อดอกต่ำกว่ากล้วยไม้ที่แช่น้ำกลั่นแต่ก็ยังมีอาการเสื่อมสภาพของดอก เกิดการเหี่ยวและการร่วงโรย ดังนั้นสภาพแวดล้อมขณะทำการทดลองก็มีผลอย่างมากต่ออายุการใช้งานของดอกไม้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสงสว่าง และความเข้มข้นของเอทิลีน (Sytsema, 1975)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ผลของชนิดและความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

จากการทดลองใช้นาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด นาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กและรูปร่างอนุภาคเป็น spherical shape มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ นาโนซิลเวอร์ Yellow ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 40 nm ความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุด คือ 20 มก./ลิตร สรุปได้ว่าผลของนาโนซิลเวอร์ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาค รูปร่างอนุภาค และความเข้มข้นของสาร นาโนซิลเวอร์ Yellow มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุดทั้งแกรมบวก *S. aureus* แกรมลบ *E. coli* แบคทีเรียแกรมลบ Unknown A และ Unknown B ที่คัดเลือกจากน้ำปัสสาวะของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่าน จึงเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทดสอบผลของการใช้นาโนซิลเวอร์ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่าน

6.2 ผลของนาโนซิลเวอร์ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่าน

ผลการใช้นาโนซิลเวอร์ Yellow ในการยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่านพบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยไม้ได้ดีขึ้น โดยเพิ่มการบานของดอก ชะลอการเหี่ยวและการหลุดร่วงของดอกตูมและดอกบาน ลดอัตราการคายน้ำ ลดอาการยอดก้านช่อดอกเหลือง และสามารถยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้ได้ยาวนานขึ้น นาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 10 มก./ลิตร สามารถยืดอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้ได้นานที่สุด เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการยืดอายุกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่าน ทั้งวิธีการ holding คือ การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ตลอดการปักแจกัน และวิธีการ pulsing คือ การแช่กล้วยไม้ในนาโนซิลเวอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถเลือกวิธีการใช้นาโนซิลเวอร์ในการปักแจกันได้ตามความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ เพราะมีผลต่อการยืดอายุการปักแจกันได้ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของกล้วยไม้ปักแจกัน

ผลของนาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ที่ใช้แช่กล้วยไม้ทั้งวิธีการ holding และวิธีการ pulsing สามารถลดจำนวนแบคทีเรียและยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทั้งในน้ำปักแจกันและภายในโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้ จำนวนแบคทีเรียที่ลดลงทำให้เกิดการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำข้าง จึงช่วยยืดอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนน่านได้ นั่นคือนาโนซิลเวอร์มีฤทธิ์ในการฆ่าและยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ ทำให้กล้วยไม้ตัดดอกดูดน้ำเข้าเซลล์ได้

น้อยลงอันเป็นสาเหตุให้เกิดการร่วงและเสื่อมคุณภาพไม้ตัดดอก นาโนซิลเวอร์สามารถนำมาใช้เป็นสารเคมีเพื่อยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนานได้ และยังสามารถนำไปใช้กับกล้วยไม้สายพันธุ์อื่นหรือแม้แต่ไม้ตัดดอกชนิดอื่นๆได้

6.4 ผลของนาโนซิลเวอร์ต่อการสร้างเอทิลีนของดอกกล้วยไม้

ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ที่ใช้แช่กล้วยไม้ด้วยวิธีการ holding และ pulsing ต่อการยืดอายุการปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน พบว่าสามารถลดอัตราการสร้างเอทิลีนของสกุลหวายพันธุ์ชาวสวนานได้ แต่อาจ不会有ผลต่อการยืดอายุการปักแจกันของกล้วยไม้เนื่องจากผลการตอบสนองต่อเอทิลีนของกล้วยไม้ยังไม่มีความชัดเจน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกยูร ธีรเจริญปัญญา. 2529. ผลของการใช้ไฮดรอกซีควิโนลีนซัลเฟต ซิลเวอร์ไนเตรท ซิลเวอร์ไอโอ ซัลเฟต กลูโคส และซูโครส ที่มีต่ออายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้หวาย วอลเตอร์ โอมาเย (Dendrobium Walter Oumae). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, สำนัก. 2551. สถานการณ์การผลิตและการตลาดไม้ดอกไม้ประดับ [ออนไลน์]. กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ดอกไม้ประดับข้อมูลนำเข้า-ส่งออกจากกรมศุลกากร ข้อมูลส่งออกรายงานมาตรฐานและบริการตรวจพืช กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.kingorchid.com/highlight/display.php?id=385> [2553, มกราคม 10]
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. ศรีวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ศรีวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 453 หน้า.
- เจดน์ มีญาณเยี่ยม. 2544. ปัญหาการส่งออกกล้วยไม้และมาตรการการแก้ไขปัญหา. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องกล้วยไม้ไทยเพื่อการส่งออก 20-21 มกราคม 2544, หน้า 27-37. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร.
- ช.ณัฐศิริ สุธสุวรรณ. 2529. คู่มือการผลิตกล้วยไม้เพื่อการส่งออก ใน เอกสารประกอบโครงการส่งเสริมการผลิตไม้ดอกไม้ประดับเพื่อการส่งออกปี 2529, หน้า 84-99. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ชุตแมน อังเดร และ ไวเกลด เฮด เดอ. 2000. สกุกกล้วยไม้ไทย ลาว กัมพูชา และเวียดนาม. แปลโดย อบฉันทไทย์ทอง และ ชุมพล คุณวาสี. (ม.ป.ท.), หน้า 58.
- ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย. 2551. กล้วยไม้. [ออนไลน์]. คลังความรู้. แหล่งที่มา: <http://www.talaadthai.com/web/resource/detail.asp?groupid=8&subjectid=376> [2553, กุมภาพันธ์ 2]
- พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม, ชูชาติ ธรรมเจริญ และสนอง เอกสิทธิ์. 2550. อนุภาคนาโนของเงินฆ่าแบคทีเรียได้อย่างไร ใน รายงานการวิจัยเรื่องคอลลอยด์อนุภาคนาโนเงินความเข้มข้นสูงสำหรับการประยุกต์ใช้ระดับอุตสาหกรรม (ปีที่ 1), กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สาโรจน์ ประเสริฐศิริวัฒน์, รักชาติ จ้อยร่อย และอุไร กายศ. 2549. ผลของน้ำนาโนต่อการเจริญของกล้วยไม้เลี้ยงในหลอดจันทบูร. วารสารวิจัยและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล 9 (พฤษภาคม-สิงหาคม): 30-40.
- สายชล เกตุษา. 2531. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สารมวลชน.
- สุทัศน์ ลิ้มปิยะประพันธ์. 2554. กล้วยไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ศูนย์ข้อมูลด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสมุทรสาคร. 2551. สถานการณ์การผลิตและการตลาดไม้ดอกไม้ประดับ [ออนไลน์]. กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ดอกไม้ประดับ. แหล่งที่มา: http://www.moac-info.net/modules/news/news_view.php?News_id=49386&action=edit&joomla=1 [2554, มิถุนายน 2]

- ศูนย์บริการจัดการเครือข่ายข้อมูลกล้วยไม้ (ORCHID NET). 2552. กล้วยไม้ตัดดอก สกุลหวาย (Dendrobium) [ออนไลน์]. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: http://orchidnet.doae.go.th/home/orchid_detail_all.php [2553, กุมภาพันธ์ 2]
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2552. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศปี 2552 [ออนไลน์]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/download/journal/trade%20statistics52.pdf> [2552, พฤศจิกายน 28]
- เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2552. ไม้ดอกไม้ประดับ [ออนไลน์]. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2552 เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 414 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2552.pdf [2552, พฤศจิกายน 28]
- เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2553. ไม้ดอกไม้ประดับ [ออนไลน์]. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2553 เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 416 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2553.pdf [2553, มกราคม 2]
- เศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, สำนักงาน. 2552. สถิติการส่งออก (Export) ดอกกล้วยไม้สด: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oea_report/export_import/export_result.php [2552, ธันวาคม 12]
- อารีรัตน์ การณสถิตย์ชัย. 2547. อิทธิพลของดอกบานที่มีผลต่อการร่วงและการบานของดอกตูมในกล้วยไม้สกุลหวายหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Aggarwal, A. 2010. Medical Microbiology. 1st edition. India: Internation Scientific Publishing Academy.
- Alt, V., Bechert, T., Steinrucke, P., Wagener, M., Seidel, P., Dingeldein, E., Domann, E. and Schnettler, R. 2004. An in vitro assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. Biomaterials 25: 4383-4391.
- Amasino, A., Amasino, D., Chin, R., Glaubitz, A., Shih, H. and Zhu, X. 2007. How Penicillin Kills Bacteria (and How Bacteria Fight Back) [Online]. University of Wisconsin, Madison. Available from: <http://cbm.msoe.edu/includes/pdf/smart2007/mwp2007.pdf> [2007, May 27]
- Baiges, I., Schaffner, A.R. and Mas, A. 2001. Eight cDNA encoding putative aquaporins in *Vitis* hybrid Richter-110 and their differential expression. J. Exp. Bot. 52: 1949-1951.
- Balestra, B.M., Agostini, R., Bellincontro, A., Mencarelli, F. and Varvaro, L. 2005. Bacterial populations related to gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) stem break. Phytopathol. Mediterr. 44: 291-299.
- Black, J. G. 2005. Microbiology Principle and Explorations. 6th edition. United State of America: John Wiley and Sons.
- Bleeksma, H.C. and van Doorn, W.G. 2003. Embolism in rose stems as a result of vascular occlusion by bacteria. Postharvest Biol. Technol. 29: 334-340.
- Chandran, S., Toh, C.L., Zuliana, R., Yip, Y.K., Nair, H. and Boyce, A.N. 2006. Effects of sugars and aminoxyacetic acid on the longevity of pollinated *Dendrobium* (Heang Beauty) flowers. J. Appl. Hort. 8: 117-120.
- Davies, R.L. and Etris, S.F. 1997. The development and functions of silver in water purification and disease control. Catal. Today 36: 107-114.
- Dixon, M.A. and Peterson, C.A. 1989. A re-examination of stem blockage in cut roses. Scientia Hort. 38: 227-285.
- Fayaz, A.M., Balaji, K.J., Girilal, M., Yadav, R., Kalaichelvan, P.T. and Venketesan, R. 2010. Biogenic synthesis of silver nanoparticles and their synergistic effect with antibiotics: a study against gram-positive and gram-negative bacteria. Nanomedicine: NBM 6: 103-109.
- Feng, Q.L., Wu, J., Chen, G.Q., Cui, F.Z., Kim, T.N. and Kim, J.O. 2000. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ion on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. J. Biomed Mater. Res. 52: 662-668.
- Fox, C.L. and Modak, S.M. 1974. Mechanism of silver sulfadiazine action on burn wound infections. Antimicrob. Agents Chemother. 5: 582-582.
- Goh, C.J., Halevy, A.H., Engel, R. and Kofranek, A.M. 1985. Ethylene evolution and sensitivity in cut

- orchid flowers. Scientia Hort. 26: 57-67.
- Gollnow, B. and Wade, N. 2002. Postharvest Care of Cut Flowers [Online]. NSW Department of Primary Industries. Available from: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture> [2009, November 16]
- Halevy, A.H. and Mayak, S. 1979. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, part 1. Hort. Rev. 1: 204-236.
- He, S., Joyce, D.C., Irving, D.E. and Faragher, J.D. 2006. Stem end blockage in cut *Grevillea* 'Crimson Yul-lo' inflorescences. Postharvest Biol. Technol. 41: 78-84.
- Hew, C.S. and Yong, J.W.H. 1997. The Physiology of Tropical Orchids in Relation to the Industry. 2nd edition. Singapore: World Scientific.
- Ho, L.C. and Nichols, R. 1977. Translocation of ¹⁴C-sucrose in relation to changes in carbohydrate content in rose corollas cut at different stages of development. Ann. Bot. 41: 227-242.
- Hotta, M., Nakajima, H., Yamamoto, K. and Aono, M. 1998. Antibacterial temporary filling materials: the effect of adding various ratios of Ag-Zn-Zeolite. J. Oral Rehabil. 25: 485-489.
- Jedrzejuk, A. and Zakrzewski, J. 2009. Xylem occlusions in the stems of common lilac during postharvest life. Acta Physiol. Plant. 31: 1147-1153.
- Ketsa, S. 1989. Vase-life characteristics of inflorescences of *Dendrobium* 'Pompadour'. J. Hort. Sci. 64: 611-615.
- Ketsa, S. and Boonrote, A. 1990. Holding solution for maximizing bud opening and vase life of *Dendrobium* 'Youppadeewan' flowers. J. Hort. Sci. 65: 41-47.
- Ketsa, S., Piyasaengthong, Y., and Prathuangwong, S. 1995. Mode of action of AgNO₃ in maximizing vase life of *Dendrobium* 'Pompadour' flowers. Postharvest Biol. Technol. 5: 109-117.
- Ketsa, S. and Thampitakorn, F. 1995. Characteristics of ethylene production of *Dendrobium* orchid flower. Acta Hort. 405: 253-263.
- Kim, J.H., Lee, A.K. and Suh, J.K. 2005. Effect of certain pre-treatment substances on vase life and physiological character in *Lilium* spp. Acta Hort. 673: 307-314.
- Klasen, H.J. 2000. Historical review of the use of silver in the treatment of burns. Part 1 early uses. Burns 26: 117-130.
- Lerslerwong, L. Ketsa, S. and van Doorn, W.G. 2009. Protein degradation and peptidase activity during petal senescence in *Dendrobium* cv. Khao Sanan. Postharvest Biol. Technol. 52: 84-90.
- Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y. and Hu, Q. 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). Food Chemistry 114: 547-552.

- Li, W., Xie, X., Shi, Q., Zend, H., Ouyang, Y. and Chen, Y. 2010. Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on *Escherichia coli*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 85: 1115-1122.
- Liu, J., He, S., Zhang, Z., Cao, J., Lv, P., He, S., Chen, G. and Joyce, D.C. 2009. Nano- silver pulse treatments inhibit stem-end bacteria on cut gerbera cv. Ruikou flowers. Postharvest Biol. Technol. 54: 59-62.
- Lofton, C. and Sigmund, W. 2005. Mechanisms controlling crystal habits of gold and silver colloids. Adv. Funct. Mater. 15: 1197-1208.
- Loubaud, M. and van Doorn, W.G. 2004. Wound-induced and bacteria-induced xylem blockage in roses, *Astilbe*, and *Viburnum*. Postharvest Biol. Technol. 32: 281-288.
- Lu, P., Cao, J., He, S., Liu, J., Li, H., Cheng, G., Ding, Y. and Joyce, D.C. 2010. Nano- silver pulse treatments improve water relations of cut rose cv. Movie Star flowers. Postharvest Biol. Technol. 57: 196-202.
- Ma, N., Xue, J., Li, Y., Liu, X., Dai, F., Jia, W., Luo, Y. and Gao, J. 2008. *Rh-PIP2;1*, a rose aquaporin gene, is involved in ethylene-regulated petal expansion. Plant Physiol. 148: 894-907.
- Matsumura, Y., Yoshikata, K., Kunisaki, S. and Tsuchido, T. 2003. Mode of bactericidal action of silver zeolite and its comparison with that of silver nitrate. Appl. Environ. Microbiol. 69: 4278-4281.
- Morones, J.R., Elechiguerra, J.L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J.B., Ramirez, J.T. and Yacaman, M.J. 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology 16: 2346-2353.
- Nair, S.A., Singh, V. and Sharma, T.V.R.S. 2003. Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. J. Trop. Agric. 41: 56-58.
- Niemietz, C.M. and Tyerman, S.D. 2002. New potent inhibitors of aquaporins: silver and gold compounds inhibit aquaporins of plant and human origin. FEBS Letters 531: 443-447.
- Pal, S., Tak, Y.K. and Song, J.M. 2007. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. Appl. Environ. Microbiol. 73: 1712-1720.
- Park, H., Kim, S.H., Kim, H.J. and Choi, S. 2006. A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. Plant Pathol. J. 22: 295-302.
- Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. Biotechnol. Adv. 27: 76-83.
- Rattanawisalanon, C., Ketsa, S. and van Doorn, W.G. 2003. Effect of aminoxyacetic acid and sugars on the vase life of *Dendrobium* flowers. Postharvest Biol. Technol. 29: 93-100.
- Reid, M.S. and Evans, R.Y. 1986. Control of cut flower opening. Acta Hort. 181: 45-54.
- Roco, M.C. 1998. Reviews of national research programs in nanoparticle and nanotechnology

- research. J. Aerosol Sci. 29: 749-760.
- Ruzin, S.E. 1999. Plant Microtechnique and Microscopy. United State of America: Oxford University Press.
- Sarkar, S., Jana, A.D., Samanta, S.K. and Mostafa, G. 2007. Facile synthesis of silver nano particles with highly efficient anti-microbial property. Polyhedron 26: 4419-4426.
- Serek, M., Woltering, E.L., Sisler, E.C., Frello, S. and Sriskandarajah, S. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. Biotechnol. Adv. 24: 368-381.
- Shrivastava, S., Bera, T., Roy, A., Singh, G., Ramachandrarao, P. and Dash, D. 2007. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. Nanotechnology 18: 225103-225111.
- Siefritz, F., Biela, A., Eckert, M., Otto, B., Uehlein, N. and Kaldenhoff, R. 2001. The tobacco plasma membrane aquaporin NtAQP1. J. Exp. Bot. 52: 1953-1957.
- Solgi, M., Kafi, M., Taghavi, T.S. and Naderi, R. 2009. Essential oils and silver nanoparticles (SNP) as novel agents to extend vase-life of gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. 'Dune') flowers. Postharvest Biol. Technol. 53: 155-158.
- Sondi, I. and Salopek-Sondi, B. 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for gram-negative bacteria. J. Colloid Interface Sci. 275: 177-182.
- Sytsema, W. 1975. Conditions for measuring vase life of cut flowers. Acta Hort. 41: 217-225. Acta Hort. Abstracts 41 (1975).
- Uthaichay, N., Ketsa, S. and van Doorn W.G. 2007. 1-MCP pretreatment prevents bud and flower abscission in *Dendrobium* orchids. Postharvest Biol. Technol. 43: 374-380.
- van Doorn, W.G., de Witte, Y. and Harkema, H. 1995. Effect of high numbers of exogenous bacteria on the water relations and longevity of cut carnation flowers. Postharvest Biol. Technol. 6:111-119.
- van Doorn, W.G. and Cruz, P. 2000. Evidence for a wounding-induced xylem occlusion in stems of cut chrysanthemum flowers. Postharvest Biol. Technol. 19: 73-83.
- van Doorn, W.G. and de Witte, Y. 1997. Sources of the bacteria involved in vascular occlusion of cut rose flowers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122: 263-266.
- van Doorn, W.G. and Vaslier, N. 2002. Wounding-induced xylem occlusion in stems of cut chrysanthemum flowers: roles of peroxidase and catechol oxidase. Postharvest Biol. Technol. 26: 275-284.
- van Meeteren, U., Arevalo-Galarza, L. and van Doorn, W.G. 2006. Inhibition of water uptake after dry storage of cut flowers: Role of aspired air and wound-induced processes in Chrysanthemum. Postharvest Biol. Technol. 41: 70-77.
- Waithaka, K., Dodge, L.L. and Reid, M.S. 2001. Carbohydrate traffic during opening of gladiolus

- florets. *J. Hort. Science and Biotech.* 76: 120-124.
- Waters, W.E. 1966. Toxicity of certain Florida waters to cut flowers. *Fla. State Hort. Soc.* 79: 456-459.
- Williamson, V.G. and Milburn, J.A. 1995. Cavitation events in cut stems kept in water: implications for cut flower senescence. *Scientia Hortic.* 64: 219-232.
- Yang, S.F. and Hoffman, N.E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35: 155-189.
- Yap, Y., Loh, C. and Ong, B. 2008. Regulation of flower development in *Dendrobium crumenatum* by changes in carbohydrate contents, water status and cell wall metabolism. *Scientia Hortic.* 119: 59-66.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 จำนวนแบคทีเรียที่เรียกค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ของ *E. coli* *S. aureus* แบคทีเรีย Unknown A และ Unknown B

61

ชนิดของแบคทีเรีย	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm	จำนวนแบคทีเรีย(CFU/มล.)
<i>Escherichia coli</i> อุณหภูมิ 37°C นาน 24 ชั่วโมง	1.1426×10^{-1}	1.18×10^8
	6.2079×10^{-2}	4.00×10^7
	4.0234×10^{-2}	2.78×10^7
	2.3201×10^{-2}	2.25×10^7
	5.2285×10^{-3}	4.75×10^6
	0.9659×10^{-3}	6.75×10^6
<i>Staphylococcus aureus</i> อุณหภูมิ 37°C นาน 24 ชั่วโมง	4.9424×10^{-3}	6.04×10^6
	4.1962×10^{-4}	7.89×10^5
Unknown A อุณหภูมิ 30°C นาน 48 ชั่วโมง	1.0123×10^{-2}	2.35×10^7
	5.1274×10^{-3}	5.09×10^6
Unknown B อุณหภูมิ 30°C นาน 48 ชั่วโมง	1.0617×10^{-2}	6.53×10^6
	5.0106×10^{-3}	5.20×10^4

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหาร Luria-Bertani Broth (LB)

ส่วนประกอบ

Luria-Bertani (LB) 20 กรัม/ 1 ลิตร

วุ้นเกรดสำหรับแบคทีเรีย 15 กรัม/ 1 ลิตร สำหรับอาหารวุ้น LBA

2. อาหาร Nutrient Broth (NB)

ส่วนประกอบ

Beef extract 3 กรัม/ 1 ลิตร

Peptone 5 กรัม/ 1 ลิตร

วุ้นเกรดสำหรับแบคทีเรีย 15 กรัม/ 1 ลิตร สำหรับอาหารวุ้น NA

การคำนวณหาอัตราการดูดน้ำ

$$\text{อัตราการดูดน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน)} = \frac{S_{t-1} - S_t}{N}$$

โดย S_{t-1} คือ ปริมาตรสารละลายที่อ่านได้จากขีดบอกปริมาตรข้างแจกัน ที่วันก่อนหน้า (มล.)

S_t คือ ปริมาตรสารละลายที่อ่านได้จากขีดบอกปริมาตรข้างแจกัน เมื่อวันที่ 1 2 3 ... จนกระทั่งหมดวัน (วันหมดอายุการปักแจกันของก้านช่อดอกสุดท้าย + 1 วัน) (มล.)

N คือ จำนวนก้านช่อดอก ต่อ 1 แจกัน (ก้านช่อดอก)

หาอัตราการดูดน้ำเฉลี่ยของทุกวันจาก 11 แจกันต่อชุดการทดลองจนกระทั่งหมดอายุการปักแจกันเฉลี่ยของชุดการทดลองนั้นๆ โดยถือว่าปริมาณน้ำมีการระเหยน้อยมาก นำไปเขียนกราฟแสดงอัตราการดูดน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ดังแสดงในภาพที่ 8 ดัดแปลงจาก Ketsa และคณะ, 1995; He และคณะ, 2006

การคำนวณหาอัตราการดูดน้ำที่ลดลง

$$\text{ผลรวมอัตราการดูดน้ำที่ลดลง (มล./ก้านช่อดอก)} = -[\sum (R_{t-1} - R_t)]$$

โดย R_{t-1} คือ อัตราการดูดน้ำรวม ที่วันก่อนหน้า เริ่มต้นจากวันที่ 2 (มล./ก้านช่อดอก/วัน)

R_t คือ อัตราการดูดน้ำรวม เริ่มจากวันที่ 3 4 5... จนกระทั่ง วันหมดอายุการปักแจกันเฉลี่ยของชุดการทดลองนั้นๆ (มล./ก้านช่อดอก/วัน)

การคำนวณหาปริมาณการดูดน้ำทั้งหมด

$$\text{ปริมาณการดูดน้ำทั้งหมด (กรัม/ก้านช่อดอก)} = W_2 - W_1 + W_p - W_n$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักสารละลายและแจกัน (กรัม) เมื่อหมดอายุการปักแจกันของก้านช่อดอกสุดท้ายในแจกัน

W_2 คือ น้ำหนักสารละลายและแจกัน (กรัม) เมื่ออายุการปักแจกันวันที่ 0

W_p คือ น้ำหนักสารละลายที่ถูกก้านกล้วยไม้ใช้ในการ pulsing (กรัม)

W_n คือ น้ำหนักที่ลดลงของน้ำกลั่นในชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้แช่ดอกไม้เมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้งหมด (กรัม)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ (มก./ลิตร)	ระดับการเจริญของแบคทีเรีย				ค่าเฉลี่ยระดับการเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4			
0	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 5	4	4	4	4	4	80	20
Yellow 10	0	0	0	0	0	0	100
Yellow 20	0	0	0	0	0	0	100
Pink 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Pink 5	4	4	4	4	4	80	20
Pink 10	1	1	1	1	1	20	80
Pink 20	0	0	0	0	0	0	100
Blue 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 5	4	5	5	5	4.75	95	5
Blue 10	4	4	4	3	3.75	75	25
Blue 20	2	2	2	2	2	40	60

คะแนนระดับการเจริญของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับเชื้อที่เจริญในอาหารวุ้น LB ที่มีความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ 0 มก./ลิตร หลักเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 5 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 100% 4 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 80% 3 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 60% 2 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 40% 1 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 20% และ 0 คะแนน เมื่อแบคทีเรียไม่มีเจริญหรือเจริญได้น้อยกว่า 20%

ตารางภาคผนวกที่ 3 ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ (มก./ลิตร)	ระดับการเจริญของแบคทีเรีย				ค่าเฉลี่ยระดับการเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4			
0	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 2.5	4	5	4	4	4.25	85	15
Yellow 5	4	4	4	5	4.25	85	15
Yellow 10	0	0	0	0	0	0	100
Yellow 20	0	0	0	0	0	0	100
Pink 2.5	4	4	4	5	4.25	85	15
Pink 5	3	3	3	5	3.5	70	30
Pink 10	0	0	0	0	0	0	100
Pink 20	0	0	0	0	0	0	100
Blue 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 5	4	4	4	4	4	80	20
Blue 10	1	1	1	1	1	20	80
Blue 20	0	0	0	0	0	0	100

คะแนนระดับการเจริญของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับเชื้อที่เจริญในอาหารวุ้น LB ที่มีความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ 0 มก./ลิตร หลักเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 5 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 100% 4 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 80% 3 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 60% 2 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 40% 1 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 20% และ 0 คะแนน เมื่อแบคทีเรียไม่มีเจริญหรือเจริญได้น้อยกว่า 20%

ตารางภาคผนวกที่ 4 ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย Unknown A ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ (มก./ลิตร)	ระดับการเจริญของแบคทีเรีย				ค่าเฉลี่ยระดับการเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4			
0	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 5	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 10	0	0	0	0	0	0	100
Yellow 20	0	0	0	0	0	0	100
Pink 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Pink 5	5	5	5	5	5	100	0
Pink 10	5	5	5	5	5	100	0
Pink 20	0	0	0	0	0	0	100
Blue 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 10	5	5	5	5	5	100	0
Blue 20	5	1	5	5	4	80	20

คะแนนระดับการเจริญของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับเชื้อที่เจริญในอาหารวุ้น LB ที่มีความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ 0 มก./ลิตร หลักเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 5 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 100% 4 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 80% 3 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 60% 2 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 40% 1 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 20% และ 0 คะแนน เมื่อแบคทีเรียไม่มีเจริญหรือเจริญได้น้อยกว่า 20%

ตารางภาคผนวกที่ 5 ประสิทธิภาพของนาโนซิลเวอร์ 3 ชนิด ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย Unknown B ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ (มก./ลิตร)	ระดับการเจริญของแบคทีเรีย				ค่าเฉลี่ยระดับการเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การเจริญของแบคทีเรีย	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4			
0	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 5	5	5	5	5	5	100	0
Yellow 10	2	0	0	2	1	20	80
Yellow 20	0	0	0	0	0	0	100
Pink 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Pink 5	5	5	5	5	5	100	0
Pink 10	0	0	1	1	0.5	10	90
Pink 20	0	0	0	0	0	0	100
Blue 2.5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 5	5	5	5	5	5	100	0
Blue 10	1	1	1	1	1	20	80
Blue 20	0	0	0	0	0	0	100

คะแนนระดับการเจริญของแบคทีเรียโดยเปรียบเทียบกับเชื้อที่เจริญในอาหารวุ้น LB ที่มีความเข้มข้นนาโนซิลเวอร์ 0 มก./ลิตร หลักเกณฑ์การให้คะแนนมีดังนี้ 5 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 100% 4 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 80% 3 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 60% 2 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 40% 1 คะแนน เมื่อแบคทีเรียเจริญ 20% และ 0 คะแนน เมื่อแบคทีเรียไม่มีเจริญหรือเจริญได้น้อยกว่า 20%

ตารางภาคผนวกที่ 8 การบานของดอกตูมของช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่เขื่อนนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อายุการปักแจกัน (วัน) ช่อดอกที่ทดลอง	การบานของดอกตูม (%) ^{1/}													
	0	1*	2*	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NS 0 มก./ลิตร	0.00	3.36ab	7.98ab	11.96	13.98	15.30	15.91	16.53	16.53	16.53	17.43	18.93	19.75	23.01
NS 2.5 มก./ลิตร, holding	0.00	4.53ab	7.81ab	11.22	12.76	13.67	14.46	14.92	15.39	16.49	16.76	16.76	18.79	20.82
NS 5 มก./ลิตร, holding	0.00	4.28ab	8.58ab	11.39	12.70	13.42	14.10	14.33	15.22	16.02	16.23	17.86	19.02	20.38
NS 10 มก./ลิตร, holding	0.00	2.50a	7.72ab	10.02	11.78	13.08	13.32	13.32	13.32	13.82	14.56	16.18	18.38	21.03
NS 2.5 มก./ลิตร, pulsing	0.00	2.98ab	5.60a	9.61	11.50	12.65	13.18	13.18	14.31	14.56	14.56	16.01	17.35	18.65
NS 5 มก./ลิตร, pulsing	0.00	5.31ab	7.75ab	11.58	13.63	13.90	14.41	14.63	15.31	15.92	16.16	16.16	16.39	17.27
NS 10 มก./ลิตร, pulsing	0.00	5.77b	9.08b	12.27	13.70	14.37	14.86	15.29	15.57	15.57	15.80	16.30	18.06	18.81
NS 20 มก./ลิตร, pulsing	0.00	3.80ab	7.62ab	10.19	12.44	13.42	14.12	15.19	16.02	16.49	16.82	17.04	18.80	19.86

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 8 (ต่อ) การบานของดอกตูมของช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่เขื่อนนาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ผ่านโดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อายุการปักแจกัน (วัน) ชุดการทดลอง	การบานของดอกตูม (%) ^{1/}												
	14*	15	16*	17*	18*	19*	20*	21*	22*	23*	24*	25	26
NS 0 มก./ลิตร	25.01b	26.15	29.01ab	29.32abc	30.00ab	31.36a	32.59a	32.92a	33.51a	34.35a	34.86a	-	-
NS 2.5 มก./ลิตร, holding	22.80ab	25.50	32.15ab	36.13bc	41.75c	42.72b	46.11b	46.30bc	46.88b	47.13b	47.54b	47.74	48.02
NS 5 มก./ลิตร, holding	23.47ab	25.75	31.05ab	33.80abc	36.15abc	38.25ab	39.70ab	40.95abc	43.56ab	43.90ab	43.90ab	43.90	44.13
NS 10 มก./ลิตร, holding	24.48b	26.50	34.43b	37.51c	39.57c	42.91b	46.38b	47.63c	47.86b	48.47b	48.75b	49.00	49.28
NS 2.5 มก./ลิตร, pulsing	19.83ab	20.94	24.21a	27.25ab	28.54ab	29.98a	31.93a	31.93a	31.93a	31.93a	32.20a	32.48	-
NS 5 มก./ลิตร, pulsing	17.93a	20.31	23.99a	25.21a	27.86a	29.51a	30.57a	31.45a	31.45a	31.73a	32.68a	-	-
NS 10 มก./ลิตร, pulsing	19.95ab	21.35	24.57a	26.97ab	28.26ab	31.68ab	34.47a	35.32ab	36.95ab	38.08ab	39.12ab	39.80	-
NS 20 มก./ลิตร, pulsing	21.70ab	24.55	26.69ab	31.83abc	33.37abc	35.73ab	38.87ab	39.30abc	40.07ab	40.63ab	41.45ab	-	-

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 9 อัตราการดูดน้ำของช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่แช่ในโซลเวอร (NS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อายุการปักแจกัน (วัน)	อัตราการดูดน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ^{1/}											
	2*	3	4*	5*	6*	7*	8*	9	10*	11*	12*	13*
ช่อดอกทดลอง												
NS 0 มก./ลิตร	1.21ab	1.30	0.70ab	0.58a	0.76bc	0.24a	0.51ab	0.24	0.30ab	0.15ab	0.27ab	0.12ab
NS 2.5 มก./ลิตร, holding	1.51ab	1.21	0.73ab	0.67a	0.91b	0.61b	0.58ab	0.51	0.18ab	0.24ab	0.45b	0.18ab
NS 5 มก./ลิตร, holding	1.21ab	1.30	0.48a	0.73a	0.51ab	0.36ab	0.64ab	0.30	0.15ab	0.12ab	0.24ab	0.09ab
NS 10 มก./ลิตร, holding	1.12a	0.85	0.52a	0.58a	0.36a	0.39ab	0.30a	0.33	0.09a	0.12ab	0.12a	0.06ab
NS 2.5 มก./ลิตร, pulsing	1.67b	0.91	0.67ab	0.88ab	0.51ab	0.67b	0.36a	0.57	0.12a	0.18ab	0.21ab	0.15ab
NS 5 มก./ลิตร, pulsing	1.43ab	1.06	0.91b	0.94ab	0.67abc	0.45ab	0.54ab	0.36	0.18ab	0.09a	0.09a	0.00a
NS 10 มก./ลิตร, pulsing	1.48ab	1.15	0.55ab	1.21b	0.70bc	0.54ab	0.91b	0.58	0.24ab	0.36b	0.18ab	0.12ab
NS 20 มก./ลิตร, pulsing	1.52ab	1.21	0.70ab	0.79a	0.67abc	0.64b	0.70ab	0.42	0.36b	0.18ab	0.24ab	0.24b

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 9 (ต่อ) อัตราการดูดน้ำของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวนาน ที่แช่นาโนซิลเวอร์ (NS) ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อายุการปักแจกัน (วัน) ชุดการทดลอง	อัตราการดูดน้ำ (มล./ก้านช่อดอก/วัน) ^{1/}							
	14	15*	16*	17*	18*	19*	20*	21
NS 0 มก./ลิตร	0.06	0.12ab	0.09ab	0.09ab	0.06ab	0.14a	0.28ab	0.00
NS 2.5 มก./ลิตร, holding	0.15	0.18ab	0.21b	0.06ab	0.12b	0.10a	0.10ab	0.00
NS 5 มก./ลิตร, holding	0.06	0.12ab	0.03a	0.09ab	0.03a	0.15a	0.10ab	0.07
NS 10 มก./ลิตร, holding	0.06	0.09ab	0.09ab	0.21ab	0.03a	0.00a	0.13ab	0.04
NS 2.5 มก./ลิตร, pulsing	0.12	0.15ab	0.06ab	0.18ab	0.00a	0.18ab	0.15ab	0.08
NS 5 มก./ลิตร, pulsing	0.09	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.45b	0.36b	0.00
NS 10 มก./ลิตร, pulsing	0.18	0.30b	0.09ab	0.27b	0.00a	0.27ab	0.03a	0.03
NS 20 มก./ลิตร, pulsing	0.00	0.24ab	0.06ab	0.15ab	0.00a	0.06a	0.17ab	0.00

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ต่อจำนวนแบคทีเรียในน้ำปัสสาวะของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

อายุการปักแจกัน (วัน)	จำนวนแบคทีเรีย หน่วย CFU/มล. ^{1/}											
	0*	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	
ชุดการทดลอง												
NS 0 มก./ลิตร	3.84×10 ⁴ c	2.10×10 ⁵ c	4.22×10 ⁵ b	1.41×10 ⁶ b	1.16×10 ⁶ c	2.88×10 ⁶ c	3.04×10 ⁶ b	5.04×10 ⁶ b	4.23×10 ⁶ b	5.49×10 ⁶ b	8.01×10 ⁶ b	
10 มก./ลิตร, holding	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	
10 มก./ลิตร, pulsing	3.08×10 ³ b	7.83×10 ³ b	0.00a	0.00a	9.96×10 ¹ b	1.67×10 ³ b	2.08×10 ⁴ b	6.68×10 ⁴ b	3.06×10 ⁵ b	7.38×10 ⁶ b	1.93×10 ⁷ b	

อายุการปักแจกัน (วัน)	จำนวนแบคทีเรีย หน่วย CFU/มล. ^{1/}									
	11*	12*	13*	14*	15*	16*	17**	18**	19**	20**
ชุดการทดลอง										
NS 0 มก./ลิตร	1.14×10 ⁷ b	3.56×10 ⁷ b	2.87×10 ⁷ b	2.21×10 ⁷ b	2.12×10 ⁷ b	9.44×10 ⁶ b	-	-	-	-
10 มก./ลิตร, holding	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00	1.62	2.10	8.13
10 มก./ลิตร, pulsing	3.72×10 ⁷ b	6.83×10 ⁷ b	1.07×10 ⁸ b	1.20×10 ⁸ b	2.18×10 ⁸ b	1.78×10 ⁸ c	2.24×10 ⁸	3.42×10 ⁸	4.69×10 ⁸	9.64×10 ⁸

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ logarithm (1+X); X คือ จำนวนแบคทีเรีย ในหน่วย CFU/มล. โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ logarithm (1+X); X คือ จำนวนแบคทีเรีย ในหน่วย CFU/มล. โดยวิธี Independent-samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลของนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 มก./ลิตร ต่อจำนวนแบคทีเรียในโคนก้านช่อดอกของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ชาวสวน โดยวิธีการ holding และการ pulsing เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ชนิดการทดลอง	วันที่											
	0	2*	4*	6*	8*	10*	12*	14*	16*	18**	20**	
NS 0 มก./ลิตร	2.01×10^3	1.85×10^7 c	6.52×10^5 b	1.59×10^8 c	3.02×10^9 c	7.29×10^7 b	2.89×10^8 b	7.81×10^8 b	2.11×10^{10} c	-	-	
10 มก./ลิตร, holding	-	1.45×10^1 a	2.56×10^2 a	3.60×10^4 a	9.21×10^4 a	3.99×10^4 a	7.39×10^4 a	1.05×10^6 a	1.27×10^5 a	6.23×10^7	2.13×10^7	
10 มก./ลิตร, pulsing	-	1.84×10^5 b	1.92×10^6 b	2.86×10^7 b	1.62×10^7 b	2.21×10^8 b	2.56×10^8 b	2.95×10^8 b	1.38×10^9 b	2.77×10^9	2.15×10^9	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ logarithm $1+X$; X คือ จำนวนแบคทีเรีย ในหน่วย CFU/มล. โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ logarithm $1+X$; X คือ จำนวนแบคทีเรีย ในหน่วย CFU/มล. โดยวิธี Independent-samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาภาวะการอุดตันเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำของโคนก้านช่อดอก (Ruzin, 1999)

1. Formalin-acid-alcohol (FAA)

ส่วนประกอบ

EtOH (95%) 50 มล.

Glacial acetic acid 5 มล.

Formalin (37% formaldehyde) 10 มล.

2. Safranin O

ส่วนประกอบ

สีย้อมสารละลาย Safranin O

Safranin O 1.0% w/v

3. Safranin O solvent

ส่วนประกอบ

Methyl cellosolve 2 เท่า

EtOH 100% 1 เท่า

น้ำกลั่น 1 เท่า

Sodium acetate 1% w/v

Formalin 2% v/v

4. Fast Green FCF staining solution

ส่วนประกอบ

Fast Green FCF 0.05% w/v

5. Fast Green solvent

ส่วนประกอบ

Methyl cellosolve 1 เท่า

Abs EtOH 1 เท่า

Methyl salicylate 1 เท่า

การตั้งค่าเครื่อง GC สำหรับหาปริมาณเอทิลีน

ชนิดของ Detector:	Frame ionization detector (FID)
ชนิดของ Column:	porapak Q80/100 in Iron tube for long 1.93 meters
อุณหภูมิ Column:	80 °C
อุณหภูมิ Injection:	120 °C
Carrier gas:	ไนโตรเจน
Frame gases:	ออกซิเจนและไฮโดรเจน
Pressure of primary:	500 kPa

วิธีการตรวจวัดเอทิลีนจากขวดแก้วที่เก็บในน้ำเกลืออิมมัตว

1. การดูดแก๊สจากหลอดตัวอย่าง

ใช้หลอดดูดขนาด 3 มล. พร้อมเข็มเปล่าเบอร์ 24G X 1" (0.5 x 24 มล.) จำนวน 2 ชุด เสียบเข้าที่ฝาขวดแก้วที่อยู่ในสภาพตั้งปากขึ้นแล้วแทงเข็มให้ทะลุถึงแก๊สที่เก็บแต่ไม่ให้โดนน้ำเกลือ จากนั้นใช้หลอดดูดพร้อมเข็มขนาดใหญ่ซึ่งบรรจุน้ำเกลืออิมมัตว แทงเข็มเข้าไปในขวดแก้วจนถึงชั้นที่เก็บน้ำเกลือ ฉีดน้ำเกลืออิมมัตวในหลอดดูดออก น้ำเกลืออิมมัตวจะไปแทนที่แก๊สภายในขวดแก้ว แก๊สจะถูกดันเข้าสู่ปลายเข็มเปล่าทั้งสอง จนเก็บตัวอย่างแก๊สเอทิลีนในขวดได้ 10 มิลลิลิตร ถอนเข็มและหลอดดูดออกออก รีบปิดปลายเข็มด้วยจุกยาง

2. การเตรียมเครื่อง GC และการฉีดแก๊สมาตรฐาน

เมื่อเครื่องพร้อมใช้งาน ฉีดแก๊สมาตรฐานความเข้มข้น 1 มก./ลิตร เข้าเครื่อง 1 มล. จนกว่าเครื่องจะรายงานความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.99xx – 1.1xxx มก./ลิตร โดยที่ x เป็นค่าในตำแหน่งทศนิยมที่เราไม่สนใจ ฉีดตัวอย่างแก๊สจากข้อ 1. เข้าเครื่องปริมาตร 1 มล. บันทึกค่าความเข้มข้นจากเครื่องมีหน่วยเป็น มก./ลิตร

การคำนวณหาอัตราการสร้างเอทิลีน

$$\text{อัตราการสร้าง (nl/g/h)} = \frac{(D \times A)}{(C \times B)} \times 1000$$

- โดย
- A คือ ปริมาตรภาชนะบรรจุ (ลิตร)
 - B คือ น้ำหนักสดชอกถ้วยไม้ที่เก็บตัวอย่าง (กรัม)
 - C คือ เวลาที่ปิดภาชนะก่อนเก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)
 - D คือ ความเข้มข้นของเอทิลีนจากเครื่อง GC (มิลลิกรัม/ลิตร)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมาสุทล สัตย์พึ่ง เป็นชาวจังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย