ผลของน้ำนาโนบับเบิลและสาร 1-Methylcyclopropene ต่อคุณภาพของกล้วยไม้หวายตัดดอกพันธุ์ขาวสนาน

Effect of Nanobubbles Water and 1-Methylcyclopropene on Qualities of Cut *Dendrobium* 'Khao Sanan'

อัญชิษฐา เพ็ชรเพ็ง [1] สุวัชชัย จรัสโสภณ [3] ธนกร วิรุฬหมงคล [3] และ วชิรญา อิ่มสบาย [1,2]*

Aunchitha Petchpeng[1], Suwatchi Jarussopphon[3], Thanakorn Wirunmongkol[3] and Wachiraya Imsabai [1,2*]

Received 18 September 2020, Accepted 16 November 2020

ABSTRACT

Presently, nanobubbles (NBs) water is widely used in agriculture. This research aimed to study the effect of NBs water using 1-methyl cyclopropane (1-MCP) for soaking an orchid inflorescence in a vase using NBs water for extending the vase life and for delaying flower senescence. The inflorescences of *Dendrobium* 'Khao Sanan' soaked in 1-MCP dissolved in NBs water at a concentration of 500 ppb (1-MCP-NBs) were compared to the without-soaking and then holding in reverse osmosis (RO) or NBs water. The result showed that the rate of water uptake and the fresh weight change in all treatments reduced throughout time. However, the inflorescences without soaking and holding in RO water had the lowest water uptake concomitant with a decrease in fresh weight change, and the open flowers had more senescence resulting in the average of vase life of only 12.6 days. The vase life of the inflorescences without soaking and holding in NBs water showed no differences from that of soaking in the 1-MCP-NBs and then holding in the RO or the NBs waters. The average vase life of these flowers was 15.6-16.6 days. Therefore, only using the NBs water for vase solution, or soaking the whole inflorescences in the 500 ppb 1-MCP-NBs water and then holding in the RO water improved flower quality and extended the vase life of *D.* 'Khao Sanan' flowers.

Keywords: Nanobubbles, Senescence, Vase life

[1*] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400
Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Inovation, Bangkok 10400, Thailand.

[3] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
National Nanotechnology Center, National Science and Technology Development Agency, Thailand Science Park, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 08-1553-8905, E-mail address: agrwyi@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำน้ำนาโนบับเบิล (nanobubbles; NBs) มาใช้ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการใช้น้ำ NBs ร่วมกับสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) มาแช่ช่อดอกกล้วยไม้ หรือปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ NBs เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุปักแจกัน โดยแช่ช่อดอกกล้วยไม้หวายพันธุ์ขาวสนานในน้ำ NBs ที่มีสาร 1-MCP ความเข้มข้น 500 ppb ละลายอยู่ (1-MCP-NBs) เปรียบเทียบกับการไม่แช่น้ำ แล้วนำไปปักแจกันในน้ำ reverse osmosis (RO) หรือน้ำ NBs พบว่า กล้วยไม้ในทุกการปฏิบัติ (treatment) มีอัตราการดูดน้ำและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยกล้วยไม้ที่ไม่แช่ในน้ำและปักแจกันในน้ำ RO มีอัตราการดูดน้ำน้อยที่สุดสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดที่ลดลงมากที่สุด และดอกบานเสื่อมสภาพมากที่สุด จึงทำให้มีอายุปักแจกันเพียง 12.6 วัน ในขณะที่กล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำและปักแจกันในน้ำ NBs มีอายุปักแจกันไม่แตกต่างจากกล้วยไม้ที่แช่น้ำ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือน้ำ NBs มีอายุปักแจกันเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 15.6-16.6 วัน ดังนั้นการใช้น้ำ NBs ปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้เพียงอย่างเดียว หรือการแช่ดอกกล้วยไม้ทั้งช่อด้วยน้ำ 1-MCP-NBs ที่ความเข้มข้น 500 ppb แล้วปักแจกันในน้ำ RO ส่งผลให้กล้วยไม้หวายพันธุ์ขาวสนานมีคุณภาพดีและช่วยยืดอายุปักแจกันได้

คำสำคัญ: นาโนบับเบิล การเสื่อมสภาพ อายุปักแจกัน

คำนำ

กล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานจัดอยู่ในกลุ่มกล้วยไม้ดอกสีขาวที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับที่สองรองจากสายพันธุ์กลุ่มสีม่วงชมพูโคนกลีบขาว ดอกมีรูปแบบเป็นกึ่งฟอร์มกลม ก้านช่อค่อนข้างแข็งแรง ปลูกเลี้ยงง่าย แต่จะแตกหน่อใหม่ค่อนข้างช้า ให้ผลผลิตดีในช่วงฤดูฝนแต่จะประสบปัญหาเรื่องดอกตูมฝ่อและร่วง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547) ปัญหาสำคัญ คือ ดอกกล้วยไม้มีคุณภาพลดลง เนื่องจากการเสื่อมชราตามอายุ ทำให้เมื่อส่งถึงปลายทางดอกกล้วยไม้จะไม่สดหรือเริ่มเกิดอาการเสื่อมสภาพ เช่น ดอกคว่ำ กลีบดอกลู่ และกลีบดอกเปลี่ยนสี ซึ่งการเสื่อมสภาพของดอกกล้วยไม้นี้ มีลักษณะอาการที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละสายพันธุ์ นอกจากนี้ในขั้นตอนการปฏิบัติหรือการจัดการหลังการตัดดอกกล้วยไม้ทั้งการเคลื่อนย้าย การขนส่ง และการเก็บรักษาจะทำให้เกิดอาการดอกช้ำ ร่วง เหี่ยว กลีบดอกเปลี่ยนสี หรือ สีซีด เป็นต้น (สายชล, 2531)

อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าการใช้สารละลายปักแจกันสามารถลดการเสื่อมสภาพของดอกกล้วยไม้ได้ โดยส่วนมากประกอบด้วยสารเคมีอย่างน้อย 2 ชนิด คือ น้ำตาล เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารของดอกกล้วยไม้ และสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเพื่อลดการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำในก้านดอก (สายชล, 2531) ในอดีตสาร silver nitrate ($AgNO_3$) นิยมนำมาใช้สำหรับยืดอายุปักแจกันของดอกไม้ เพราะเกลือเงินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ดี (Veen, 1983) แต่อนุภาคของเงิน Ag^{2+} สามารถ oxidize เป็นสีดำได้ง่ายเมื่อถูกแสงหรือโปรตีน ทำให้การเก็บสารละลายต้องเก็บในขวดสีชา หรือห่อด้วยกระดาษทึบแสง และบางครั้งยังเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืชอีกด้วย ในปี พ.ศ. 2544 กรรณารัตน์ จึงได้ทดสอบการใช้ aluminum sulfate [$Al_2(SO_4)_3$] ซึ่งเป็นสารละลายที่ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด จึงช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ เพื่อทดแทนการใช้สาร silver nitrate ($AgNO_3$) พบว่าการใช้สารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ 25 mg/L ร่วมกับ 8-hydroxyquinoline sulfate (HQS) 225 mg/L + กลูโคส 4% ทำให้กล้วยไม้หวายมีอายุปักแจกันไม่แตกต่างจากสารละลาย $AgNO_3$ + HQS + กลูโคส 4% โดยมีอายุปักแจกันมากกว่าชุดควบคุม ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ 25 mg/L ร่วมกับ HQS 225 mg/L + กลูโคส 4% ในการปักแจกัน

นอกจากนี้ดอกกล้วยไม้ยังตอบสนองต่อเอทิลีนทั้งจากที่สร้างขึ้นเองและจากภายนอก จึงทำให้เกิดการให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ (Reid & Wu, 1992; Hew & Yong, 2004) ดังนั้นการยับยั้งการเสื่อมสภาพของดอกกล้วยไม้ จึงเน้นไปที่การยับยั้งการผลิตและลดการทำงานของเอทิลีนด้วยการใช้สารดูดซับแก๊สเอทิลีน สารยับยั้งการสร้างและทำงานของเอทิลีน โดยมีการใช้สาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) ที่มีความสามารถในการแย่งจับกับตัวรับเอทิลีน (ethylene receptor) ซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของเอทิลีนทั้งจากภายในและภายนอกทำให้เอทิลีน ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ส่งผลให้พืชแสดงการเสื่อมสภาพหรือตอบสนองต่อเอทิลีนน้อยลง (Taiz & Zeiger, 2002) โดยที่ 1-MCP จะจับกับ ethylene receptor อย่างถาวรและยับยั้งการสร้างเอทิลีนที่กระตุ้นด้วยตัวเอง (autocatalysis) (Sisler, Dupille, & Serek, 1996) สายชล และนริสรา (2543) ได้ทดลอง รมกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์โซเนียบอม แอนนา ขาวสนาน และปอมปาดัวร์ ด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้นที่ 400-500 nL/L เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าสามารถยืดอายุปักแจกันของดอกกล้วยไม้ทั้ง 4 พันธุ์ได้ และมีการศึกษาเพิ่มเติมในดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์โซเนียบอมที่ผ่านการรมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 300-500 nL/L เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง มีอายุปักแจกันนานขึ้น สอดคล้องกับการสร้างเอทิลีนที่ลดลง รวมทั้งทำให้ดอกตูมและดอกบานหลุดร่วงน้อยลงตามไปด้วย (นริสา, 2546)

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีฟองอากาศขนาดนาโน (nanobubbles ; NBs) มาใช้ในงานทางด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีสะอาดและลดการใช้สารเคมี การที่น้ำ NBs มีฟองอากาศขนาดนาโนละลายอยู่ จึงคาดว่า น้ำ NBs จึงมีความสามารถในการซึมผ่านเข้าสู่กล้วยไม้ได้ง่ายขึ้นทำให้ช่อดอกมีความสดมากขึ้น และยังช่วยลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำ เนื่องจากมีการแตกตัวให้อนุมูลอิสระช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ น้ำ NBs ยังมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากช่วยเพิ่มการละลายของสาร จึงทำให้สามารถรักษาความสดของผลผลิตได้ (Agarwal, Ng, & Liu, 2011) โดยมีรายงานว่า การจุ่มกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์เขียวหยก ในน้ำฟองอากาศขนาดไมโคร (micro bubbles; MBs) ที่มี 1-MCP ละลายอยู่ (1-MCP-MBs) ที่ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ช่อดอกกล้วยไม้ที่จุ่มในน้ำ 1-MCP-MBs มีน้ำหนักสดมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่จุ่มน้ำ และมีอายุการปักแจกันเฉลี่ย 10.9 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุปักแจกันเฉลี่ย 6.9 วัน (Atsukoet *et al.,* 2016) ณัฐชัย, พนิดา และวาริช (2555) พบว่าการใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดไมโครและนาโน (micro- and nano- bubbles; MNBs) มาใช้ร่วมกับ 1-MCP (1-MCP-MNBs) ความเข้มข้น 30 ppb ในการจุ่มหรือฉีดพ่นกล้วยหอม สามารถชะลอการสุกของกล้วยในระหว่างการเก็บรักษาได้และมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาในขณะที่ เปมิกา, ณัฐชัย และวาริช (2558) ได้ทดลองใช้ 1-MCP-MNBs ความเข้มข้น 750 950 และ 2500 ppb ฉีดพ่นกล้วยไข่เพื่อชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพ พบว่าการฉีดพ่น 1-MCP-NMBs ความเข้มข้น 2,500 ppb สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้

จากการทดลองก่อนหน้าดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการนำเอาเทคโนโลยีน้ำ NBs ร่วมกับสาร 1-MCP (1-MCP-NBs) มาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพของช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำ NBs หรือน้ำ 1-MCP-NBs ต่อการรักษาคุณภาพของกล้วยไม้สกุลหวายตัดดอกพันธุ์ขาวสนาน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างและการจัดการปฏิบัติ (treatment)

ดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน นำมาจากบริษัท กล้วยไม้ไทย จำกัด อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี โดยใช้ช่อดอกรูปร่างปกติ ไม่มีช่อแขนง ความยาวช่อดอก 45-50 ซม. มีดอกบานจำนวน 4-6 ดอกต่อช่อ ตัดโคนก้านช่อดอกเฉียง 45 องศา ให้มีความยาว 12 ซม. นับจากดอกบานดอกล่างสุดก่อนนำช่อดอกกล้วยไม้ปักแจกันในน้ำ reverse osmosis (RO) หรือ NBs หรือสารละลาย และผูกด้วยไหมพรมแยกระหว่างดอกบานกับดอกตูม วางไว้ในห้องที่เปิดไฟให้แสงสว่าง (15 µmol/m^2/s) และเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ช่วงเวลา 8:30-16:30 น. อุณหภูมิ 25±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้น้ำ NBs ปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน

ปักแจกันดอกกล้วยไม้ในน้ำ NBs ที่ผลิตโดยใช้น้ำ RO เปรียบเทียบกับการปักแจกันในน้ำ RO หรือ ปักแจกันในสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ 25 mg/L + 8-HQS 225 mg/L + sucrose 4% จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองทุกวันจนกระทั่งหมดอายุปักแจกัน ทำการทดลองซ้ำ 9 ครั้ง

การทดลองที่ 2 ศึกษาการแช่ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานในน้ำ 1-MCP-NBs

แช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำประปา หรือน้ำ NBs ที่ผลิตในน้ำประปา โดยมีสาร 1-MCP ความเข้มข้น 0, 250 และ 500 nL/L (ppb) เป็นเวลา 5 นาที เปรียบเทียบกับช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำ จากนั้นนำมาปักแจกันในน้ำ RO และทำการบันทึกผลทุกวันจนกระทั่งหมดอายุปักแจกัน ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

การเตรียมน้ำ NBs ร่วมกับสาร 1-MCP

ทำการเตรียมสาร 1-MCP (0.014% active ingredient ethylbloc®) โดยชั่งสารผง 1-MCP สำหรับความเข้มข้น 250 ppb จำนวน 0.0696 กรัม ใส่ในถ้วยตวง (beaker) หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 1.39 มิลลิลิตร ลงใน beaker และชั่งสารผง 1-MCP สำหรับความเข้มข้น 500 ppb จำนวน 0.1392 กรัม ใส่ใน beaker เติมน้ำกลั่น 2.96 มิลลิลิตร ลงใน beaker นำ beaker ใส่ในภาชนะปิดสนิทขนาด 0.174 ลบ.ม. และตั้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในห้องอุณหภูมิ 25±2 °C เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการต่อเข้ากับเครื่อง Nanobubles generator (จากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ) ที่มีอัตราการไหล 40 mL/min โดยให้สายยางจุ่มอยู่ในภาชนะบรรจุน้ำ ปริมาตร 20 ลิตร (อุณหภูมิน้ำ 20 °C) ดัง Figure 1

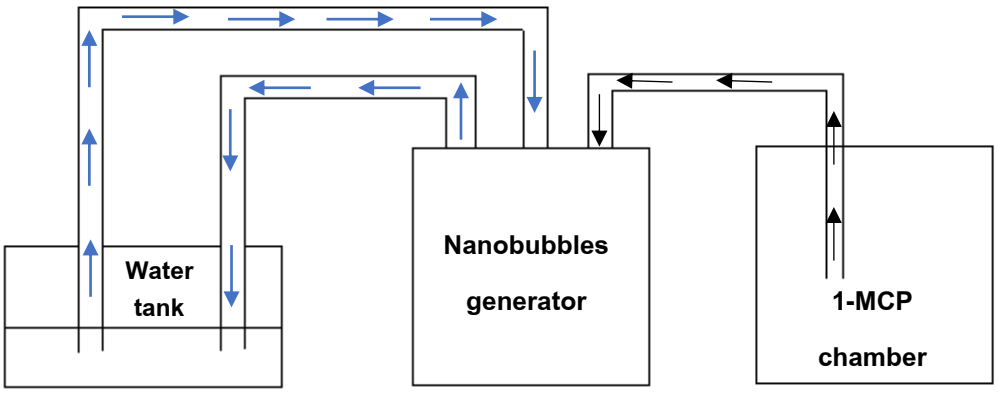

Figure 1 Schematic diagram of 1-MCP nano bubbles generator used in this study

การทดลองที่ 3 ศึกษาการแช่ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานในน้ำ 1-MCP-NBs ก่อนปักแจกันในน้ำ NBs

จากการทดลองที่ 1 พบว่าการปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ NBs และสารละลายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงเลือกเฉพาะการปักแจกันในน้ำ NBs มาทำการทดลองต่อ ส่วนในการทดลองที่ 2 เมื่อแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำประปาหรือ น้ำ NBs มีอายุปักแจกันไม่แตกต่างจากการไม่แช่น้ำ แต่การแช่ช่อดอกกล้วยไม้ใน น้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb นาน 5 นาที สามารถยืดอายุปักแจกันของช่อดอกกล้วยไม้ได้นานที่สุด ในการทดลองที่ 3 จึงเลือกการปฏิบัติที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และ 2 มาทำการทดลองร่วมกัน โดยแบ่งเป็นการปฏิบัติ (treatment) ที่ 1 ไม่แช่ช่อดอกล้วยไม้ในน้ำ และปักแจกันในน้ำ RO การปฏิบัติที่ 2 ไม่แช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ และปักแจกันในน้ำ NBs การปฏิบัติที่ 3 แช่ช่อดอกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs (500 ppb) และปักแจกันในน้ำ RO และการปฏิบัติที่ 4 แช่ช่อดอกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs (500 ppb) และปักแจกันในน้ำ NBs บันทึกผลทุกวันจนกระทั่งหมดอายุปักแจกัน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2. การบันทึกผล

2.1 อัตราการดูดน้ำ และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด บันทึกตั้งแต่วันที่เริ่มการทดลองจนกระทั่งถึงวันที่ 14 ของการทดลอง

- อัตราการดูดน้ำ บันทึกอัตราการดูดน้ำ จากปริมาณน้ำในหลอดแก้ว และคำนวณ ดังนี้

อัตราการดูดน้ำ = ปริมาณน้ำของวันที่ 0 – ปริมาณน้ำของวันที่ 1 (ml)

(ปริมาณน้ำของวันที่ 0 คือ ปริมาณน้ำวันก่อนหน้า
ปริมาณน้ำของวันที่ 1 คือ ปริมาณน้ำวันถัดมาจากวันที่ 0)

- การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด บันทึกน้ำหนักสดแต่ละช่อของดอกกล้วยไม้ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-200 (max 1000 g; d=1g) จากนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณ ดังนี้

$$\text{การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด (\% of initial weight)} = \frac{\text{น้ำหนักสดของช่อดอกกล้วยไม้ในแต่ละวัน}}{\text{น้ำหนักสดของช่อดอกกล้วยไม้ในเริ่มต้น}} \times 100$$

2.2 ดอกตูมบานเพิ่ม และการเสื่อมสภาพของดอกตูมและดอกบาน

- ดอกตูมบานเพิ่ม นับจำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มสะสมในแต่ละวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$\text{ดอกบานเพิ่ม (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกตูมที่บานเพิ่มสะสมในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนดอกตูมทั้งหมด}} \times 100$$

- การเสื่อมสภาพของดอกตูม นับจำนวนดอกตูมที่แสดงอาการเสื่อมสภาพในแต่ละวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$\text{ดอกตูมเสื่อมสภาพ (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกตูมที่แสดงอาการเสื่อมสภาพในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนดอกตูมทั้งหมด}} \times 100$$

- การเสื่อมสภาพของดอกบาน บันทึกจำนวนดอกบานที่แสดงอาการการเสื่อมสภาพในแต่ละช่อของช่อดอกล้วยไม้ แล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$\text{ดอกบานเสื่อมสภาพ (\%)} = \frac{\text{จำนวนดอกบานที่แสดงอาการเสื่อมสภาพในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนดอกบานทั้งหมด}} \times 100$$

2.3 อายุปักแจกัน กำหนดให้ช่อดอกกล้วยไม้หมดอายุปักแจกันเมื่อมีจำนวนดอกบานเสื่อมสภาพมากกว่าหรือเท่ากับ 50% ของดอกบานทั้งหมด ดอกบานเสื่อมสภาพ ได้แก่ ดอกบานที่แสดงอาการ ดอกลู่ ดอกคว่ำ ดอกเหลืองฉ่ำน้ำ และดอกร่วง

การทดลองที่ 1 และ 2 แสดงผลการทดลองเฉพาะอายุปักแจกันเท่านั้น

3. การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ/treatment กำหนดให้ช่อดอกกล้วยไม้ 1 ช่อเท่ากับ 1 ซ้ำ (replication) ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง (repeat) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ treatment โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้น้ำ NBs ปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนาน

ช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ NBs และปักแจกันในสารละลายมีอายุปักแจกันมากกว่าการปักแจกันในน้ำ RO โดยช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ NBs ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในสารละลาย ซึ่งมีอายุปักแจกันเฉลี่ย 17.7 วัน (Table 1) จากการทดลองซ้ำทั้งหมด 9 ครั้ง ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน 6 ครั้ง (ไม่แสดงข้อมูล)

Table 1 Vase life of *Dendrobium* 'Khao Sanan' flowers holding in RO or NBs water or vase solution

Treatments	Vase life (days)[1/]
RO water	11.5 b
NBs water	15.7 a
Vase solution: 225 mg/L 8-HQS + 25 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ + 4% sucrose	17.7 a
F-test	*
%C.V.	23.44

Note: [1/] = Mean values within a column followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level by using DMRT

* = significant difference at P< 0.05

การทดลองที่ 2 ศึกษาการแช่ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานในน้ำ NBs ร่วมกับสาร 1-MCP (1-MCP-NBs)

ช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb มีอายุปักแจกันมากกว่าช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่หรือไม่แช่ในน้ำประปา หรือแช่ในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 250 ppb โดยช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb มีอายุปักแจกันเฉลี่ย 16.5 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ NBs ที่มีอายุปักแจกันเฉลี่ย 13.0 วัน (Table 2) เมื่อทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง พบว่าการแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb แล้วปักแจกันในน้ำ RO มีอายุปักแจกันนานสุดถึงสามครั้ง (ไม่แสดงข้อมูล)

Table 2 Vase life of *Dendrobium* 'Khao Sanan' flowers soaked in NBs water or 250 ppb and 500 ppb of 1-MCP-NBs water comparing with no-soaking or soaking in tap water for 5 mins

Treatments	Vase life (days)[1/]
No soaked	10.5 b
Soaked in tap water	12.6 b
Soaked in NBs water	13.0 ab
Soaked in 250 ppb 1-MCP-NBs water	10.6 b
Soaked in 500 ppb 1-MCP-NBs water	16.5 a
F-test	*
%C.V.	25.42

Note [1/] = Mean values within a column followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level by using DMRT

* = significant difference at P< 0.05

การทดลองที่ 3 ศึกษาการแช่ช่อดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานในน้ำ 1-MCP-NBs ก่อนปักแจกันในน้ำ NBs

3.1 อัตราการดูดน้ำ และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

กล้วยไม้ในทุกการปฏิบัติมีอัตราการดูดน้ำและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดลดลงตลอดระยะเวลาการปักแจกัน โดยกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำและปักแจกันในน้ำ RO มีอัตราการดูดน้ำน้อยที่สุดและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดลดลงมากกว่าการปฏิบัติอื่นๆ (Figure 2A and Figure 2B)

3.2 ดอกตูมบานเพิ่ม และการเสื่อมสภาพของดอกตูมและดอกบาน

ในช่วงแรกของการปักแจกันกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำทั้งที่ปักแจกันในน้ำ RO และน้ำ NBs มีการบานเพิ่มของดอกตูมมากกว่ากล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs แต่หลังจากปักแจกันเป็นเวลา 8 วัน กล้วยไม้ในทุกการปฏิบัติมีดอกตูมบานเพิ่มไม่แตกต่างกัน (Figure 2C)

การเสื่อมสภาพของดอกตูมในทุกการปฏิบัติเกิดขึ้นน้อยมาก และกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ RO มีแนวโน้มการเสื่อมสภาพมากกว่ากล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำ แล้วปักแจกันในน้ำ NBs หรือกล้วยไม้ที่แช่น้ำ 1-MCP-NBs (Figure 2D) ในขณะที่การเสื่อมสภาพของดอกบานของกล้วยไม้ที่แช่น้ำ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือ NBs มีเปอร์เซ็นต์การเสื่อมสภาพของดอกบานเท่ากับ 66.72 และ 67.92 % และกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ NBs มีเปอร์เซ็นต์การเสื่อมสภาพของดอกบาน 70.58 % ในขณะที่ชุดควบคุมที่มีเปอร์เซ็นต์การเสื่อมสภาพของดอกบาน 88.73 % (Figure 2E)

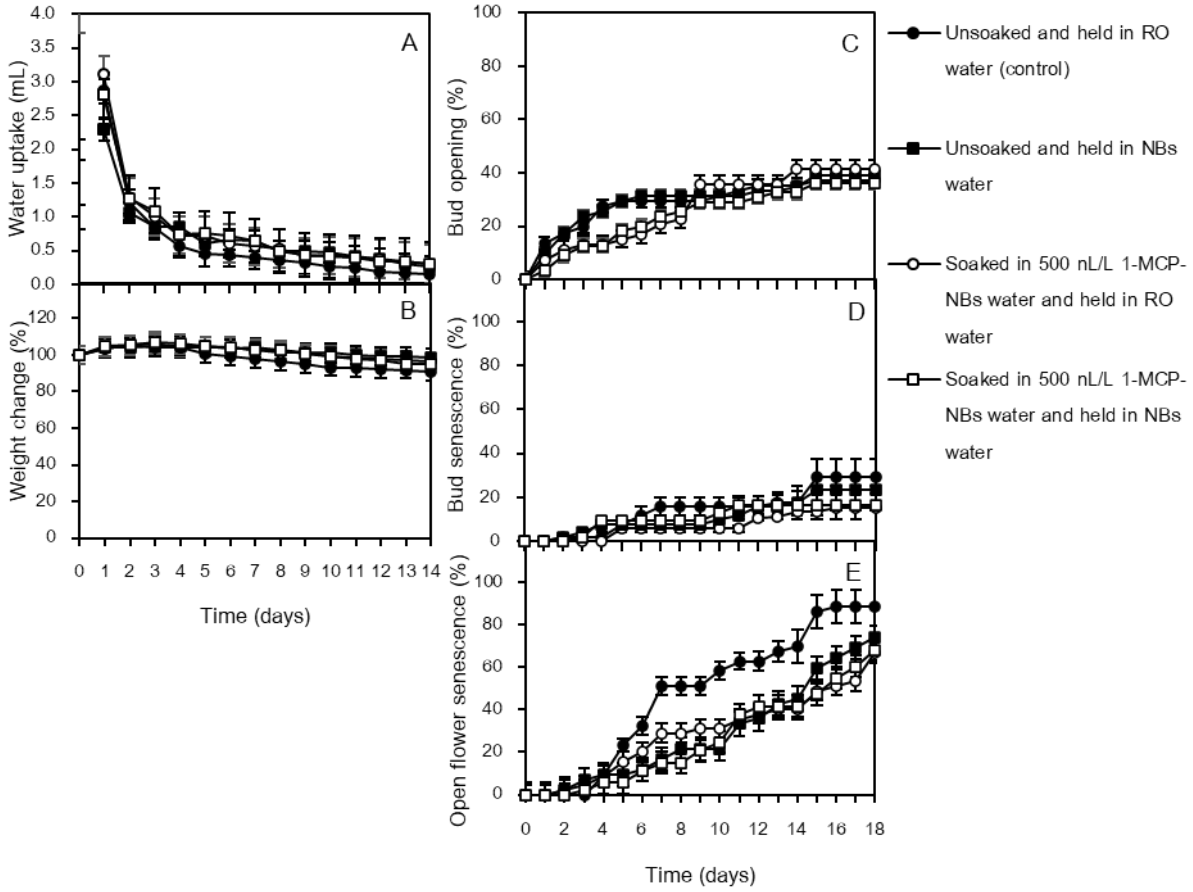

Figure 2 Water uptake (A), weight change (B), bud opening (C), bud senescence (D) and open flower senescence (E) of *Dendrobium* 'Khao Sanan' flowers soaked in 500 ppb of 1-MCP-NBs water for 5 mins comparing without soaking and holding in RO or NBs water

3.3 อายุปักแจกัน

กล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือน้ำ NBs และกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ NBs ทั้งสามการปฏิบัติมีอายุปักแจกันนานกว่าชุดควบคุม โดยกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs และปักแจกันในน้ำ RO มีอายุปักแจกันเฉลี่ย 16.6 วัน กล้วยไม้ที่แช่น้ำ 1-MCP-NBs และปักแจกันในน้ำ NBs และกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำและปักแจกันในน้ำ NBs มีอายุปักแจกันเฉลี่ยเท่ากับ 15.8 วัน และ 15.6 วัน ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับลักษณะโดยรวมของกล้วยไม้ที่พบว่าเมื่อปักแจกันเป็นเวลา 7 วัน กล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำและปักแจกันในน้ำ RO มีอาการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นก่อนการปฏิบัติอื่นและเสื่อมสภาพมากขึ้นตามระยะเวลาปักแจกัน ส่วนกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำและปักแจกันในน้ำ NBs และที่แช่น้ำ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือ น้ำ NBs เป็นเวลา 15 วัน ดอกบานยังมีการเสื่อมสภาพน้อย (Table 4)

Table 3 Vase life of *Dendrobium* 'Khao Sanan' flowers soaked in 500 ppb of 1-MCP-NBs water for 5 mins comparing without soaking and holding in RO or NBs water

Treatments	Vase life (days)[1/]
No soaked and held in RO water (control)	11.7 b
No soaked and held in NBs water	15.6 a
Soaked in 500 ppb 1-MCP-NBs and held in RO water	16.6 a
Soaked in 500 ppb 1-MCP-NBs and held in NBs water	15.8 a
F-test	*
%C.V.	16.5

Note [1/] = Mean values within a column followed by the same letters are not significantly different at 0.05 level by using DMRT

* = significant difference at P< 0.05

Table 4 Inflorescences of *Dendrobium* 'Khao Sanan' flowers soaked in 500 ppb of 1-MCP-NBs water for 5 mins comparing without soaking and holding in RO or NBs water

Treatments	Time (days)		
	1	7	15
No soaked and held in RO water (control)			
No soaked and held in NBs water			
Soaked in 500 ppb 1-MCP-NBs and held in RO water			
Soaked in 500 ppb 1-MCP-NBs and held in NBs water			

วิจารณ์ผลการทดลอง

การปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ NBs มีอายุปักแจกันนานกว่าช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ RO เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำ RO ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการอุดตันในท่อลำเลียงน้ำ ช่อดอกกล้วยไม้จึงเสื่อมสภาพได้เร็วในขณะที่ในน้ำ NBs มีฟองอากาศขนาดนาโนละลายอยู่นั้น สามารถแตกตัวเกิดอนุมูลอิสระขึ้น ส่งผลให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ (Agarwal, Ng, & Liu, 2011) จึงลดปัญหาการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำ และ ทำให้ช่อดอกกล้วยไม้มีอายุปักแจกันที่นานขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองใช้น้ำ Fine bubbles (> 100 μm) ในการปักแจกันดอก gentian, lisianthus และ small chrysanthemum พบว่าสามารถรักษาความสดของช่อดอกได้นานกว่าการปักแจกันในน้ำกลั่น (Ueda *et al*., 2014) รวมทั้งพบว่าช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ NBs จึงมีอายุปักแจกันไม่แตกต่างจากช่อดอกกล้วยไม้ที่ปักแจกันในสารละลายที่มีสาร HQS และ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้เช่นกัน (สายชล, 2531) ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำ NBs ทดแทนการใช้สารละลายเคมีในการยืดอายุปักแจกันกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์ขาวสนานได้

การแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb ทำให้มีอายุปักแจกันนานขึ้น เนื่องจากสาร 1-MCP มีความสามารถในการจับกับ ethylene receptor ได้ดีกว่าเอทิลีนถึง 100 เท่า ทำให้เอทิลีนทำงานไม่ได้หรือทำงานได้น้อยลง จึงไปชะลอการเสื่อมสภาพของดอกไม้ได้ (Sisler & Serek, 1997) แม้ว่าในการทดลองนี้จะมีการใช้สาร 1-MCP ที่ 2 ระดับความเข้มข้น แต่กลับพบว่า 1-MCP ความเข้มข้น 250 ppb มีอายุปักแจกันไม่แตกต่างจากชุดควบคุม เป็นไปได้ว่าช่อดอกกล้วยไม้นั้นมี ethylene receptor เหลือมากพอที่จะจับกับเอทิลีนได้ ดอกกล้วยไม้จึงยังคงเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ สายชล และนริสา (2543) ที่รายงานว่าการรมกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์โซเนียบอมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 400-500 ppb สามารถรักษาคุณภาพและอายุปักแจกันของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์โซเนียบอมได้ดีกว่าการรม 1-MCP ที่ความเข้มข้น 0-300 ppb อย่างไรก็ตามในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์เขียวหยกมีการทดลองจุ่มช่อดอกในน้ำ MBs ร่วมกับ 1-MCP (1-MCP-MBs) ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 15 นาที สามารถยืดอายุของกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์เขียวหยกได้ (Atsuko *et al*., 2016) แสดงให้เห็นว่าในกล้วยไม้ที่แต่ละสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อสาร 1-MCP ที่แตกต่างกัน

ช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือ NBs และช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำ แล้วปักแจกันในน้ำ NBs มีการดูดน้ำและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดมากกว่าช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ RO เนื่องจากน้ำ NBs การแตกตัวของฟองอากาศส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น และทำให้ค่า pH ในน้ำต่ำลง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ (Agarwal, Ng, & Liu, 2011) และมีประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Mahakarnchanakul *et al.,* 2016) ดังนั้น เมื่อแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ NBs หรือปักแจกันในน้ำ NBs จึงทำให้ช่อดอกกล้วยไม้สะอาดขึ้นลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ และลดการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำ ทำให้ดอกล้วยไม้ดูดน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักสดลดลงช้ากว่ากล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ RO เพียงอย่างเดียว

เมื่อมีการใช้สาร 1-MCP ที่เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน จึงทำให้การบานเพิ่มลดลง ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของ 1-MCP ขึ้นอยู่กับการสร้าง receptor ของเอทิลีน เพราะ 1-MCP จะเข้ากับกับ receptor ของเอทิลีนแบบถาวร เมื่อมีการสร้าง receptor ของเอทิลีนใหม่ในเนื้อเยื่อพืชจึงทำให้เอทิลีนสามารถกลับมาทำงานได้ (Sisler & Serek, 1997) ช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ในน้ำ NBs ร่วมกับ 1-MCP 500 ppb จึงมีเปอร์เซ็นต์การบานเพิ่มของดอกตูมในช่วงแรกน้อยกว่าการปฏิบัติอื่น ๆ แต่เมื่อเวลา

ผ่านไป เปอร์เซ็นต์การบานเพิ่มของดอกตูมจึงเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการใช้น้ำ 1-MCP-MBs ความเข้มข้น 200 ppm ในกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์เขียวหยกที่สามารถชะลอการบานของดอกตูม โดยมีดอกตูมเริ่มบานในวันที่ 6 ของการปักแจกัน (Atsuko *et al*., 2016) นอกจากนี้ช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำ แล้วปักแจกันในน้ำ NBs มีดอกตูมบานเพิ่มไม่แตกต่างกับช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ RO แต่กลับมีมีการเสื่อมสภาพของดอกตูม และดอกบานน้อยกว่าช่อดอกกล้วยไม้ที่ไม่แช่น้ำแล้วปักแจกันในน้ำ RO ซึ่งการเสื่อมสภาพของดอกบานของช่อดอกล้วยไม้ที่ปักแจกันในน้ำ NBs เพียงอย่างเดียวนั้นก็ไม่แตกต่างกับช่อดอกกล้วยไม้ที่แช่ 1-MCP-NBs แล้วปักแจกันในน้ำ RO หรือน้ำ NBs เนื่องจากในน้ำ NBs มีปริมาณ free radical หรือ reactive oxygen species (ROS) ที่ไปฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้บางส่วน และมีรายงานว่า ROS ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นสามารถทำให้เมล็ดที่แช่ในน้ำ NBs งอกได้ดีขึ้น โดย ROS ในน้ำ NBs ทำหน้าที่ในการ sterilization และ physiological promotion (Liu *et al*., 2014; Liu *et al*., 2016) จึงเป็นไปได้ว่าในน้ำ NBs มีระดับความเข้มข้นของ ROS ที่เหมาะสมในการช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ และช่วยส่งเสริมกระบวนการเติบโตของดอกกล้วยไม้ ทำให้การปักแจกันในน้ำ NBs ช่วยให้ช่อดอกกล้วยไม้มีดอกตูมบานเพิ่มขึ้นได้และยังทำให้ดอกบานเสื่อมสภาพช้าลง

เมื่อแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs ร่วมกับการปักแจกันในน้ำ NBs จึงไม่ได้ทำให้อายุปักแจกันแตกต่างจากการปักแจกันในน้ำ NBs เพียงอย่างเดียว แสดงว่าการแช่กล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs หรือการปักแจกันในน้ำ NBs ก็เพียงพอแล้วที่จะยืดอายุปักแจกันและชะลอการเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำ NBs มาใช้แทนสารละลายยืดอายุปักแจกัน หรือสารละลายบรรจุเปียกระหว่างการขนส่งกล้วยไม้เพื่อส่งออกได้ ซึ่งจะเป็นการลดใช้สารเคมี ส่วนการใช้สาร 1-MCP เพื่อลดความเสียหายจากเอทิลีนภายนอกโดยการแช่น้ำ 1-MCP-NBs สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อความสะดวกและลดความยุ่งยากในการดำเนินงาน เนื่องจากการรมด้วย 1-MCP นั้นต้องทำในสภาวะปิดเพื่อป้องกันการรั่วออกของก๊าซ 1-MCP และใช้เวลาในการรมยาวนานตั้งแต่ 2-4 ชั่วโมง และยังต้องรักษาอุณหภูมิตลอดการรม ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการสร้างระบบปิดและระบบให้ความเย็น ดังนั้นการแช่ช่อดอกกล้วยไม้ในน้ำ 1-MCP-NBs ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาดก่อนขั้นตอนการตัดก้านช่อดอก จะช่วยลดเวลาและขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวลงได้

สรุปผลการทดลอง

การใช้น้ำ NBs ในการปักแจกันช่อดอกกล้วยไม้เพียงอย่างเดียว หรือการแช่ช่อดอกกล้วยไม้ทั้งช่อในน้ำ 1-MCP-NBs ความเข้มข้น 500 ppb ก่อนการปักแจกันในน้ำ RO หรือ NBs สามารถชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุปักแจกันของกล้วยไม้หวายตัดดอกพันธุ์ขาวสนานได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม กรุงเทพมหานคร และได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

กรรณารัตน์ เริงมงคล. (2544). *ผลของการใช้อะลูมินัมซัลเฟตทดแทนซิลเวอร์ไนเตรตในสารละลายเคมียืดอายุการปักแจกันของดอกกล้วยไม้สกุลหวาย.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2547). *เอกสารวิชาการกล้วยไม้.* (น.152) กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย, และวาริช ศรีละออง. (2555). การใช้ฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครและนาโน: เทคนิคใหม่ในการชะลอการสุกของกล้วยหอม. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43*(2), (พิเศษ), 61-64.

นริสา อุทัยฉาย. (2546). *ผลของ 1-methylcyclo propene ที่มีต่ออายุการปักแจกันและคุณภาพดอกกล้วยไม้สกุลหวาย*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปมิกา พรหมแก้ว, ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, และวาริช ศรีละออง. (2558). ผลการใช้ฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของกล้วยไข่โดยวิธีการฉีดพ่น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 46*(3), (พิเศษ), 841-844.

สายชล เกตุษา. (2531). *เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของดอกไม้*. (น. 291) กรุงเทพฯ: สารมวลชล.

สายชล เกตุษา และนริสา อุทัยฉาย. (2543). *การปรับปรุงคุณภาพของกล้วยไม้หวายเพื่อการส่งออกโดยใช้ 1-methtlycyclo propene : รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2543.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Agarwal, A., Ng, W. J., & Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere, 84*(9), 1175-1180.

Atsuko, O., Lekkhum, P., Kaewlek, A., Pongprasert, N., & Srilaong, V. (2016). The application of microbubbles technology in combination with 1-MCP to extend vase life of *Dendrobium* cv. 'KaeawYok'. *Agricultural Sci. J., 47*(3), 313-316.

Hew, C.S., & Yong, H.W.J. (2004). *The physiology of tropical orchids in relation to the industry* (2nd ed.). (p. 370). Singapore: World Scientific.

Liu, S., Oshita, S., & Makino, Y. (2014). Stimulating effect of nanobubbles on the reactive oxygen species generation inside barley seeds as studied by the microscope spectrophotometer. *International Conference of Agricultural Engineering*, 6-10.

Liu, S., Oshita, S., Makino, Y., Wang, Q., Kawagoe, Y., & Uchida, T. (2016). Oxidative capacity of nanobubbles and its effect on seed germination. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 4*(3), 1347-1353.

Mahakarnchanakul, W., Klintham, P., Tongchitpakdee, S., & Chinsirikul, W. (2015). Using sanitizer and fine bubble technologies to enhance food safety. In *FFTC-KU International Workshop on Risk Management on Ahrochemicals through Novel Technologies for Food Safety in Asia* (pp. 1-19).

Reid, M. S., & Wu, M. J. (1992). Ethylene and flower senescence. *Plant growth regulation, 11*(1), 37-43.

Sisler, E. C., & Serek, M. (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia plantarum, 100*(3), 577-582.

Sisler, E. C., Dupille, E., & Serek, M. (1996). Effect of 1-MCP and methylenecyclopropane on ethylene binding and action on cut carnations. *Plant Growth Regulation, 18*(1), 79-86.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology.* (p. 690). Sunderland, USA: Sinauer Associates.

Ueda, Y., Tokuda, Y., Nihei, N., Yajima, Y., & Yabuki, T. (2014). Fleshness Enhancement of cut flowers by using water containing fine bubbles int. *Japanese Journal of Multiphase Flow, 28*(3), 340-344.

Veen, H. (1983) . Silver thiosulphate: an experimental tool in plant science. *Scientia Horticulturae, 20*(3), 211-224.