ผลของการฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวประเภทเวตโคตติงซิลิโคนและสารลดแรงตึงผิวประเภท N70 ต่อประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยทางใบของฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ

The Effect of Spraying with Wet-coating Silicone Surfactants and N70 Surfactants on Foliar Fertilization Efficacy of Wan Pirun Guava Cultivar

ธรรมธวัช แสงงาม[1*] ใยไหม ช่วยหนู[1] อาณัติ เฮงเจริญ[2] ศิริสุดา บุตรเพชร[2] และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[2]

Thamthawat Saengngam[1*], Yaimai Chuaynoo[1], Anut Hengcharoen[2], Sirisuda Bootpetch[2] and Tawatchai Inboonchuay[2]

Received: September 15, 2022
Revised: December 21, 2022
Accepted: December 21, 2022

Abstract: The aim of this research was to study the efficacy of surfactants, wet-coated silicone (S1) and N70 (S2), applied along with foliar fertilizer to Wan Pirun guava cultivar. The experiment was arranged in completely randomized design (CRD) with 3 replications. The results showed that surface tension of S1 was lower than that of S2 (51.08 dyne/cm and 68.39 dyne/cm, respectively), which reflected the good range of efficiency in capturing on the leaf surfaces. Droplet characteristics on the leaf surface of each plant demonstrated that the S1 spreading on leaves covered larger area than those of water and S2. The application of foliar fertilizer with wetting silicone surfactant on guava leaves gave the highest concentration of calcium in guava leaves (20,709 mg/kg).

Keywords: surfactant, foliar spray, guava

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวร่วมกับการให้ปุ๋ยทางใบของฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ โดยทำการทดสอบสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ สารลดแรงตึงผิวประเภทเวตโคตติงซิลิโคน (S1) และสารลดแรงตึงผิวประเภท N70 (S2) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ จากผลการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิว S1 มีค่าแรงตึงผิว 51.08 ดายน์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิว S2 มีค่า 68.39 ดายน์ต่อเซนติเมตร แสดงถึงประสิทธิภาพในการจับผิวใบได้ดี ส่วนลักษณะของหยดที่เกิดบนผิวใบพืชแต่ละชนิด พบว่า สารลดแรงตึงผิว S1 มีการแผ่กระจายตัวให้พื้นที่ที่มากกว่าน้ำและสารลดแรงตึงผิว S2 และในการการฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตทางใบร่วมกับสารลดแรงตึงผิวในใบฝรั่งพบว่า ในใบฝรั่งที่ฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน ให้การสะสมแคลเซียมสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 20,709 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: สารลดแรงตึงผิว การให้ปุ๋ยทางใบ ฝรั่ง

[1] ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140
[1] Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140
[2] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140
[2] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140
*Corresponding author: fagrtws@ku.ac.th

วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 6 (2) : 71-80 (2566)

คำนำ

ปัจจุบันการให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการให้ปุ๋ยกับพืชที่ช่วยให้ผลผลิตมีคุณภาพและปริมาณสูงขึ้น และยังส่งเสริมร่วมกับการใช้ธาตุอาหารทางดินด้วย แต่ปุ๋ยทางใบนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ต้องใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว หรือสารจับใบ (Swietilk and Faust, 1984)

สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เป็นสารประกอบที่ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง ช่วยให้การกระจายตัวของของเหลวดีขึ้น และช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ของเหลวกับก๊าซ หรือของเหลวกับของแข็ง จึงมีสมบัติในการลดแรงตึงผิวทั้งระหว่างน้ำ/อากาศ หรือน้ำ/น้ำมัน โครงสร้างทางกายภาพ และเคมีที่ประกอบด้วย glycolipids, lipopeptides, neutral lipids, phospholipids, fatty acids, และ polymeric compounds ทำให้มีสมบัติแตกต่างและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น เป็นสารซักฟอก (detergent) สารทำให้เกิดการคงตัว หรืออิมัลชัน (emulsification) การเกิดฟอง (foaming) การกระจาย (dispersion) การเกิดสภาวะเปียกหรือหยดน้ำ (wetting) การซึมผ่านได้ง่าย (penetrating) การเคลือบคลุมพื้นผิว (thickening) มีการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวหรือสารจับใบอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ควบคุมโรคพืช ควบคุมแมลงและศัตรูสารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางการเกษตร ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มการละลาย หรือตัวทำละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารเสริมฤทธิ์ทางการเกษตร (adjuvant) ร่วมกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพิ่มประสิทธิภาพ และเป็นที่ยอมรับแล้วว่าสารลดแรงตึงผิวสามารถเพิ่มระยะเวลาการคงอยู่ของสารกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตรบนผิวใบพืชได้ยาวนาน และช่วยป้องกันแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (ประดับ และ วรรธนะชัย, 2563)

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ 1) สารจับผิวแบบแอนไอออน (anionic surfactants) มีส่วนที่แอกทีฟต่อพื้นผิวของโมเลกุลเป็นแอนไอออนกลุ่ม N70 ได้แก่ โซเดียมลาริลหรือโดเดซิลซัลเฟต ใช้กันทั่วไปคือสบู่ ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำมันมะพร้าวหรือน้ำมันปาล์มกับเกลือโซเดียม 2) สารจับผิวแบบแคตไอออน (cationic surfactants) มีส่วนที่แอกทีฟต่อพื้นผิวของโมเลกุลเป็นแคตไอออน ได้แก่ โดเดซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 3) สารจับผิวแบบ 2 ไอออน (amphoteric surfactants) สารในประเภทนี้มีหมู่ที่เป็นไอออนอยู่ 2 แบบคือ แอนไอออนและแคตไอออน สารจึงสามารถแสดงออกทั้งแอนไอออน แคตไอออน หรือไม่มีสภาพไอออน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย ได้แก่ N-dodecyl-N,N-dimethyl betaine [$C_{12}H_{25}N+(CH_3)_2CH_2Coo-$] และ 4) สารจับผิวแบบไร้สภาพไอออน (nonionic surfactants) มีลักษณะพิเศษคือส่วนที่แอกทีฟต่อพื้นผิวของสารในประเภทนี้ไม่มีประจุ แต่มีโซ่พอลิออกซีเอทิลีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งสารกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคนได้แก่ โดเดซิลพอลิออกซีเอทิลีนอีเทอร์ จัดอยู่ในประเภทนี้ด้วย (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งในปัจจุบันสารจับใบทางการเกษตรที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม N70 และกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน (สุรัสวดี, 2563)

สารลดแรงตึงผิวกลุ่ม N 70 ส่วนใหญ่เป็นพวกซัลเฟต (Sulphate, $R\text{-}OSO_3$) มีไอออนดุลประจุ (counter ion) ซึ่งส่งเสริมการละลายน้ำของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวประจุลบจัดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ละลายน้ำได้ดี ให้ฟองมาก แต่ทำงานไม่ดีในน้ำกระด้าง หรือระบบที่มีความแปรปรวนของพีเอช (pH) สูง เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีการใช้งานมากที่สุดหรือถ้าเทียบเป็นสัดส่วนเกือบร้อยละ 50 ของตลาดโลก เนื่องจากผลิตได้ง่าย มีต้นทุนในการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น

สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคนส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ของไดเมทิลซิโลเซน (Dimethylsiloxane) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างเป็นองค์ประกอบที่ราคาแพงเมื่อเทียบกับชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นสารไฮโดรคาร์บอนทั่วไป

มีสมบัติลดแรงตึงผิวได้ดีโดยเฉพาะในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารลดแรงตึงผิวที่มีองค์ประกอบเป็นฟลูออโรคาร์บอน (สุรัสวดี, 2563)

ธีรศักดิ์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaladulesis* Dehnh) ต่อการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 จากการทดลองพบว่าสารสกัดจากใบยูคาลิปตัสสดที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 4 กรัมต่อลิตร มีผลทำให้เพลี้ยแป้งตาย 50% และการฉีดพ่นสารสกัดจากใบยูคาลิปตัสสด+สารลดแรงตึงผิว White Oil (4 กรัม+2.5 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร) เปรียบเทียบกับการใช้สารสกัดจากใบยูคาลิปตัสสด ที่อัตรา 4 กรัมอย่างเดียว สามารถลดจำนวนประชากรเพลี้ยแป้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจากจำนวนเริ่มต้นมากกว่า 500 ตัว/ต้น ลดลงเหลือจำนวนประชากรเพลี้ยเท่ากับ 31.38 และ113.13 ตัว/ต้น ตามลำดับ นอกจากนั้น Howard and Gwathmey (2008) ศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวต่อการดูดใช้โพแทสเซียมและการตอบสนองต่อผลผลิตของฝ้าย โดยทำการฉีดพ่นปุ๋ยโพแทสเซียมไนเทรตร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกันระหว่าง Penetrator Plus® กับ X-77® พบว่าปริมาณโพแทสเซียมในใบและก้านใบของฝ้ายเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับที่ไม่มีการใช้สารลดแรงตึงผิว

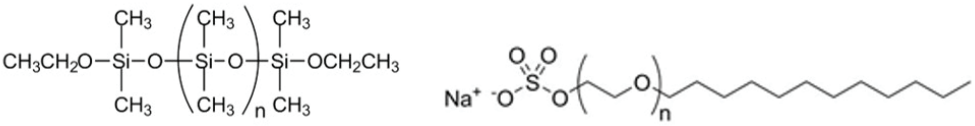
การใช้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการให้ปุ๋ยกับพืชที่ได้ผลดีและเห็นผลที่รวดเร็วอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นอย่างเพียงพอและครบถ้วนสมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพและปริมาณสูงขึ้น และยังช่วยเสริมการให้ธาตุอาหารทางดิน ในดินที่มีปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารจนไม่เพียงพอต่อพืช หรือในดินที่เกิดภาวะไม่สมดุลกันของธาตุอาหารในดิน แต่การใช้ปุ๋ยทางใบนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นนั้นต้องใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว (surfactant) หรือสารจับใบ ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง ช่วยให้การกระจายตัวของของเหลวดีและเพิ่มการซึมผ่านช่องขนาดเล็กได้ดีขึ้น ในทางการเกษตรนั้นมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ควบคุมโรคพืช ควบคุมแมลงและศัตรู และปุ๋ย ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มการละลาย หรือตัวทำละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ยงยุทธ, 2549) จากการศึกษาของ William *et al.* (1996) พบว่าสารลดแรงตึงผิวส่งผลต่อการดูดซึมแคลเซียมหลังการเก็บเกี่ยวของแอปเปิล พันธุ์ Golden Delicious ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม nonionic ได้แก่สาร Brij 30 Tween 20 Tween 80 Tergitol 15-S-9 และ Triton X-100 ในการชุบผลแอปเปิ้ลก่อนการให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แรงดัน เพื่อให้แคลเซียมซึมเข้าสู่ผลแอปเปิล และเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่า การปรับสภาพเบื้องต้นด้วย Triton X-100 ก่อนการแทรกซึมของแคลเซียมคลอไรด์ ส่งผลให้เนื้อมีความเข้มข้นของแคลเซียม 1,655 ไมโครกรัม ต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุม (ความเข้มของแคลเซียมในเนื้อผล 679 ไมโครกรัม ต่อกรัม) และช่วยให้เนื้อผลของแอปเปิ้ลมีความแน่นเนื้อมากขึ้น วาสนา (2553) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโนของพริก การทดลองนี้ได้ให้ธาตุเหล็กในรูปเกลือ ($FeSO_4$) คีเลตสังเคราะห์ (Fe-EDTA) และคีเลตกรดอะมิโน (Ferrous bisglycinate) พบว่าการใช้ปุ๋ยทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ดี ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก จึงทำการศึกษาความเข้มข้นและความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโนช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นกว่าไม่ใช้ปุ๋ย อารีรัตน์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาผลของการให้ปุ๋ยทางใบต่อการเปลี่ยนแปลงของการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศโดยให้ปุ๋ยอะมิโนคีเลตทางใบ 2 สูตร คือ FCB และ FZP ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยแก่มะเขือเทศลูกผสมมีแนวโน้มการตอบสนองและให้ผลผลิตที่ดีกว่า

ตำรับควบคุม และพบว่าจำนวนผลที่เป็นก้นเน่าของประเภทที่ได้รับปุ๋ยอะมิโนคีเลตทางใบมีปริมาณลดลง ส่วนคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในด้านความงอกที่เพาะในห้องปฏิบัติการ และสภาพเรือนทดลอง การให้ปุ๋ยทางใบมีผลทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของต้นพืชและในเมล็ดพันธุ์ พบว่าธาตุอาหารส่วนใหญ่สะสมอยู่ในต้น และใบพืชมีธาตุอาหารไปสู่เมล็ดน้อยโดยเฉพาะ แคลเซียม และโบรอน อีกทั้งยังพบว่าการให้ปุ๋ยอะมิโนคีเลตทางใบทั้ง 2 สูตร มีความสัมพันธ์ด้านบวกกับน้ำหนักเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะธาตุ Cu, B และ Fe และความงอกที่เพาะในห้องปฏิบัติการและเรือนทดลองเมื่อมีการให้ธาตุอาหารคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าปริมาณการเกิดโรคก้นเน่าของผลมะเขือเทศลดลงเมื่อได้รับปุ๋ยทางใบ โดยเฉพาะธาตุ P, K, Mn, Cu, Zn และ B

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแรงตึงผิวของหยดสารละลายและลักษณะของหยดสารละลายที่ผสมสารเวตโคตติงซิลิโคน หรือสารประเภท N70 และประสิทธิภาพของสารทั้งสองนี้เมื่อใช้ร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตทางใบของฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ โดยการทดลองนี้ใช้ธาตุแคลเซียมเพื่อศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนที่ในโฟเอมต่ำ จึงมีการเคลื่อนที่ออกจากใบพืชน้อย (ยงยุทธ, 2546) ทำให้สามารถศึกษาการสะสมธาตุอาหารในใบของฝรั่งอย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สารลดแรงตึงประเภทเวตโคตติงซิลิโคน (Ethoxy polydimethylsiloxane) และสารลดแรงตึงผิวประเภท N70 (Sodium lauryl ether sulfate) (Figure 1)



(1) (2)

Figure 1 Chemical element of Ethoxy polydimethylsiloxane (1) and Sodium lauryl ether sulfate (2).

2. ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต ($Ca(NO_3)_2$) สูตร 15-0-0

3. ฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ

โดยทำการวิจัยที่แปลงทดลอง คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน แบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

ทดสอบแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวโดยวิธี Drop weight derivation

การเตรียมสารละลาย 2 ชนิดคือ สารลดแรงตึงผิวประเภทเวตโคตติงซิลิโคน (S1) และสารลดแรงตึงผิวประเภทN70 (S2) ซึ่งในการทดลองนี้ ใช้สารลดแรงตึงผิวโดยตรง และเจือจาง 1,000 เท่า แล้วจึงนำสารละลายที่เตรียมใส่ลงในปิเปต ปล่อยสารละลายที่เตรียมไว้ออกจากปิเปตจำนวน 50 หยด หลังจากนั้นนำสารละลายไปชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลและนำไปคำนวณเพื่อหาค่าแรงตึงผิว (ดายน์ต่อเซนติเมตร) และคำนวณหาค่าแรงตึงผิว Surface tension โดยใช้สมการที่ 1 คำนวณ (Chinmaya, 2020) และทดสอบเอทานอลความบริสุทธิ์ที่ 95 % เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad \text{..... (1)}$$

γ_1 = ค่าแรงตึงผิวของสารละลาย

γ_2 = ค่าแรงตึงผิวของน้ำ (72 ดายน์ต่อเซนติเมตร)

W_1 = น้ำหนักของสารละลาย 50 หยด

W_2 = น้ำหนักเฉลี่ยของน้ำ 50 หยด

การทดสอบลักษณะของหยดที่เกิดบนผิวใบของสารลดแรงตึงผิวในพืชแต่ละชนิด

เตรียมสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดสอบและเตรียมใบพืช 7 ชนิดได้แก่ใบขนุน ใบคะน้า ใบฝรั่ง ใบส้มโอ ใบถั่วใบมะเขือเปราะ และใบข้าวโพด อายุใบสภาพที่เก็บมาทดลองคือใบแท้ที่สมบูรณ์ใบที่ 5 นับจากยอดลงมา โดยนำสารลดแรงตึงผิวมาหยดลงในปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนใบพืชที่เตรียมไว้ 3 จุด และคำนวณหาพื้นที่หยดน้ำที่แผ่กระจายบนใบพืช จากนั้นวัดพื้นที่การแผ่กระจายตัวของหยดน้ำบนใบพืชแต่ละชนิดด้วย Microscope Micrometer Calibration Ruler (ตารางเซนติเมตร) และทำการคำนวณหาพื้นที่หยดน้ำโดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ 1 ตารางเซนติเมตร = 100 จุด

การทดสอบประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยร่วมกับสารลดแรงตึงผิวต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบฝรั่ง

เตรียมฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณเป็นพืชทดสอบ ต้นฝรั่งที่ทดลองมีอายุ 2 ปี 6 เดือน ในแปลงทดลองโดยฝรั่งอยู่ในระยะก่อนออกดอก โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) 3 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ซึ่งตำรับการทดลอง แสดงดัง (Table 1) จัดประเภท treatment และทำสัญลักษณ์ที่ต้นฝรั่ง หลังจากนั้นคลุมถุงพลาสติกในต้นที่ฉีดพ่นสารแคลเซียมไนเทรต โดยนำถุงดำคลุมโคนต้นฝรั่ง ขณะฉีดเพื่อไม่ให้รากพืชดูดซึมสารแคลเซียมไนเตรท ดำเนินการฉีดพ่นสารแคลเซียมไนเทรตร่วมกับสารลดแรงตึงผิว S1 และ S2 ที่ใบฝรั่ง ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม แคลเซียมต่อลิตร โดยฉีดพ่น 1 ลิตรต่อต้น ทั้งด้านบนและด้านล่างของใบ โดยฝรั่งทุกต้นจะได้รับปริมาณน้ำและปุ๋ยเคมีเท่ากัน เมื่อทำการฉีดพ่นปุ๋ยแล้วทำการเก็บตัวอย่างใบที่ 1 3 5 และ 7 วันเพื่อทดสอบความเข้มข้นของแคลเซียมในใบ เพื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่มีการฉีดพ่นปุ๋ย โดยเก็บตัวอย่างใบฝรั่งจำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 3 ใบโดยเริ่มเก็บใบที่ 5 นับจากยอดกิ่ง (ใบเพสลาด) จากนั้นทำการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ และล้างตามด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างพืชที่อบแห้งมาบดให้ละเอียด นำไปย่อยสลายโดยวิธี wet ashing (Jones *et al*., 1991) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ทำการย่อยด้วยกรดไนตริกเปอร์คลอริก และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดด้วย atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลจากผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) หากพบความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

Table 1 Treatments and explanation.

Treatments	Description
T1	Calcium Nitrate + water for spraying
T2	Calcium Nitrate + water + wet-coated silicone surfactants for spraying
T3	Calcium Nitrate + water + N70 surfactants for spraying

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวโดยวิธี Drop weight derivation

จากการทดลองศึกษาทดสอบแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวโดยวิธี Drop weight derivation (Table 2) พบว่า ก่อนทำการทดลองได้ทำการทดสอบวิธีการโดยการวัดค่าแรงตึงผิวของเอทานอล พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับค่าแรงตึงผิวของเอทานอลมาตรฐาน คือ 21.65 ดายน์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าจริงเท่ากับ 21.55 ดายน์ต่อเซนติเมตร ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ก่อนและหลังเจือจาง พบว่าสารลดแรงตึงผิว S1 ให้ค่าแรงตึงผิวต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 21.07 และ 51.08 ดายน์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับและในสารสารลดแรงตึงผิว S2 ให้ค่าแรงตึงผิว มีค่าเท่ากับ 50.54 และ 68.39 ดายน์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิว S1 มีความสามารถในการเกาะตัวบนผิวใบได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิว S2 เนื่องจากมีค่าแรงตึงผิวที่ต่ำกว่า

Table 2 Test of the surface tension of surfactants by drop weight derivation method.

Replication	surface tension (Dyne/cm)				
	S1	S2	S1 (diluted1:1,000)	S2 (diluted1:1,000)	ethanol
1	21.14	48.89	53.58	68.92	21.38
2	21.11	52.00	47.81	66.26	21.77
3	20.96	50.74	51.85	70.00	21.80
average	21.07	50.54	51.08	68.39	21.65

Surface tension of Ethanol at 30 °C = 21.55 Dyne/cm Note: S1 = wet-coated silicone surfactant, S2 = N70 Surfactant.

ศึกษาลักษณะหยดที่เกิดบนผิวใบของสารลดแรงตึงผิวในพืชแต่ละชนิด

จากการทดลองศึกษาลักษณะหยดที่เกิดบนผิวใบในใบพืชแต่ละชนิด (Table 3) พบว่าสาร S1 มีพื้นที่การแผ่กระจายตัวของหยดน้ำบนใบพืชทุกชนิดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพื้นที่ของหยดน้ำของใบขนุน ใบคะน้า ใบฝรั่ง ใบส้มโอ ใบถั่วใบมะเขือเปราะ และใบข้าวโพด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 3.90 5.40 4.13 1.86 5.21 และ 4.75 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีพื้นที่มากกว่าน้ำ และสาร S2 ประมาณ 2.6 เท่า ซึ่งจะเห็นว่าการฉีดพ่นสารปริมาณที่น้อยกว่าก็สามารถครอบคลุมพื้นที่ผิวใบได้ทั้งหมด ซึ่งหากใช้ร่วมกับปุ๋ยทางใบจะช่วยลดการสูญเสียและประหยัดการใช้ปุ๋ยได้ดี

Table 3 Area of water droplet spread on plant leaves (cm^2).

Type plants	water	S1	S2	F-test
jackfruit leaves	2.05B	3.10A	1.86B	**
kale leaves	1.34B	3.90A	1.05B	*
guava leaves	1.62B	5.40A	1.69B	**
pomelo leaves	2.04B	4.13A	2.04B	**
bean leaves	0.68B	1.86A	0.72B	**
eggplant leaves	1.39C	5.21A	2.66B	**
corn leaves	1.56B	4.75A	1.13B	**
average	1.52	4.05	1.59	

Note: S1 = wet-coated silicone surfactant, S2 = N70 Surfactant.

1/* = significantly different at 95% level of confidence, mean within the same row followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ($p \leq 0.05$)

ศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพให้ปุ๋ยร่วมกับสารลดแรงตึงผิวต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบฝรั่ง

จากการทดลอง พบว่า การฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียม ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวต่อความเข้มข้นของแคลเซียมในใบฝรั่งที่อายุ 1, 3, 5 และ 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 4) พบว่า การฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน ร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต มีการสะสมแคลเซียมในใบฝรั่งสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 20,709 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม N70 ร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต และการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 15,130 - 17,149 และ 16,149 - 17,951 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Table 4 Calcium concentration in guava leaves.

Treatments	Ca concentration (mg/kg)			
	1 day	3 day	5 day	7 day
T1	16,538.4B	17,149.5B	15,130.2B	16,215.0B
T2	21,551.9A	20,261.5A	20,293.0A	20,731.9A
T3	17,951.0B	16,746.6B	16,149.6B	17,149.9B
F-test	*	*	*	*
p-value	0.034	0.050	0.049	0.044
%C.V.	18.67	8.62	11.37	14.38

T1= Calcium Nitrate + water for spraying, T2= Calcium Nitrate + water + wet-coated silicone surfactants for spraying , T3= Calcium Nitrate + water + N70 surfactants for spraying

1/* = significantly different at 95% level of confidence, mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using DMRT; ($p \leq 0.05$)

วิจารณ์

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น การทดสอบสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิดคือ สารลดแรงตึงผิวประเภทเวตโคตติงซิลิโคน (S1) และสารลดแรงตึงผิวประเภท N70 (S2) พบว่าสารลดแรงตึงผิว S1 มีความสามารถในการกระจายตัวบนผิวใบได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิว S2 เนื่องจากมีค่าแรงตึงผิวที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 2 ซึ่งสาร S1 มีพื้นที่การแผ่กระจายตัวของหยดน้ำบนใบพืชทุกชนิดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเมื่อฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิว S1 ลงบนใบพืช ช่วยให้การเกาะผิวใบพืชดีขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับหรือแพร่กระจายของสารต่างๆ สู่ใบพืชได้มากขึ้น ดังการทดลองที่ 3 ที่มีการฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน ร่วมกับปุ๋ยแคลเซียม มีการสะสมปริมาณแคลเซียมในใบฝรั่งสูงที่สุด เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ซึ่งสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคนมีบทบาทสำคัญต่อการลำเลียงแคลเซียม ช่วยให้มีปริมาณการสะสมแคลเซียมในใบสูงขึ้น เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สอดคล้องกับสุรัสวดี (2563) ซึ่งพบว่าโดยปกติใบพืชจะมีไขตามธรรมชาติทำหน้าที่เคลือบผิวใบ และทำให้สภาพผิวไม่มีขั้ว เมื่อทำการฉีดพ่นสารต่างๆ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในใบพืช สารลดแรงตึงผิวจะยึดเกาะบนพื้นผิวใบพืชเพิ่มความเปียกของผิว และการแพร่กระจายของสารต่างๆบนผิวพืชได้อย่างทั่วถึง ทำให้สารสำคัญที่ฉีดพ่น สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ใบพืชได้ดี นอกจากนั้นจะช่วยให้สารต่างๆที่ฉีดพ่นร่วมกับสารจับใบยึดเกาะผิวใบได้มากขึ้น ลดการสูญเสียสารต่างๆ เนื่องจากการกลิ้งและไหลหลุดออกจากใบพืช ส่งผลให้ปุ๋ย หรือสารต่างๆ เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

การใส่สารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน ร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตทางใบจะทำให้พืชได้รับแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Xing-Zheng *et al*. (2016) พบว่าการใช้สังกะสีฉีดพ่นทางใบของส้มที่ขาดสังกะสีพบว่า การใช้ $ZnCl_2$ $Zn(NO_3)_2$ $6H_2O$ และ $ZnSO_4$. $7H_2O$ ร่วมกับสารจับใบพวก Organosilicone โดยใช้ $ZnSO_4$. $7H_2O$ ที่อัตรา 100 มิลลิกรัมต่อลิตร $ZnCl_2$ และ $Zn(NO_3)_2$ $6H_2O$ อัตรา 200 มิลลิกรัมต่อลิตรและใช้ร่วมกับ Organosilicone ที่ 0.025% ทำให้ใบส้มไม่แสดงอาการขาดของธาตุสังกะสี และพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีในใบ มีอัตราการสังเคราะห์แสง และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น Torres (2008) ศึกษาการฉีดพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ที่มีผลต่อข้าวสาลี่พันธุ์ วินเทอร์ (*Triticum aestivum* L.) พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบ 5 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวแบบ nonionic ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวสาลี (2,431 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ซึ่งแตกต่างกับการฉีดพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบ 5 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์เพียงอย่างเดียว ซึ่งให้ผลผลิต (2,037 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) เช่นเดียวกับ Peirce *et al*. (2019) ศึกษาการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวต่อการดูดซึม และเคลื่อนย้ายกรดฟอสฟอลิกในใบข้าวสาลี จากการศึกษาพบว่า การใช้กรดฟอสฟอลิกร่วมกับสารลดแรงตึงผิว LI 700® สามารถช่วยลดแรงตึงผิว และกักเก็บฟอสฟอรัสไว้บนใบได้นานขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอลิกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้สารลดแรงตึงผิวมีส่วนช่วยในการเพิ่มการละลายของปุ๋ยเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือความชื้น เพิ่มการการเปียกผิวของใบพืช ทำให้ปุ๋ยสามารถแพร่กระจายตัวในพืชได้ดี ลดการตกค้างจับตัวเป็นก้อน อันเป็นสาเหตุการสูญเสียเนื้อปุ๋ยได้ (Trinchera and Valentina, 2018)

สรุป

ลักษณะของหยดที่เกิดบนผิวใบพืช แต่ละชนิดสารจับสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน มีการแผ่กระจายตัวให้พื้นที่ที่มากกว่าน้ำและสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม N70 และสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคน มีค่าแรงตึงผิวต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม N70 แสดงประสิทธิภาพในการจับผิวใบได้ดี นอกจากนั้นความเข้มข้นของแคลเซียมที่สะสมในใบฝรั่งที่ฉีดพ่นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเวตโคตติงซิลิโคนร่วมกับปุ๋ยแคลเซียม ให้การสะสมปริมาณแคลเซียมในใบฝรั่งสูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม และ บริษัท แอกกี้ จำกัด (Aggie Company Limited) ที่ได้สนับสนุนงบประมาณวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 66 หน้า.

ธีรศักดิ์ ชนิดนอก, พีระยศ แข็งขัน และฤชุอร วรรณะ. 2557. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaladulesis* Dehnh) ต่อการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้งมันสำปะหลัง (*Phenacoccus manihoti Matile-Ferrero*). วารสารแก่นเกษตร 42 ฉบับพิเศษ 1 : 505-511.

ประดับ เรียนประยูร และวรรธนะชัย ปฐมสิริวงศ์. 2563. คู่มือการผลิตสารจับใบพืชทางชีวภาพสำหรับการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, สุรินทร์ 56 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 424 หน้า

ยงยุทธ โอสถสภา. 2549. การให้ปุ๋ยทางใบ (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 164 หน้า

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2561. ฝรั่งพันธุ์หวานพิรุณ. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา: https://www3.rdi.ku.ac.th, 1 เมษายน 2565.

วาสนา ยอดปรางค์. 2553. ผลของการให้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 72 หน้า

สุรัสวดี กังสนันท์. 2563. สารลดแรงตึงผิว. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์เทคโนโลยีการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 176 หน้า

อารีรัตน์ พยุงธรรม, วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ และบุญมีศิริ. (2555). การให้ปุ๋ยอะมิโนคีเลตทางใบต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 156 หน้า

Chinmaya, K.S. 2020. Surface and Interfacial Phenomenon. Butterworths, London. 32 p.

Howard, D. D. and C.O. Gwathmey. 2008. Influence of surfactants on potassium uptake and yield response of cotton to foliar potassium nitrate. Journal of Plant Nutrition 18(12): 2669-2680.

Jones, B.J., Jr., B. Wolf, and H.A. Mill. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing Inc, Georgia. 560 p.

Peirce, C. A. E., T. M. McBeath, C. Ptiest and M.J. McLaughin. 2019. The timing of application and inclusion of a surfactant are important for absorption and translocation of foliar phosphoric acid by wheat leaves. Journal of Plant Nutrition 10(1):1-11.

Swietlik, D. and M. Faust. 1984. Foliar nutrition of Fruit Crops. Horticultural Reviews (USA). 6:287-355.

Torres, G. M. 2008. Foliar Phosphorus Fertilization and the Effect of Surfactants on Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.). Bachelor of Science in Agronomy Faculdades de Ciencias Agronomicas Botucatu, Sao Paulo, Brazil. 66 p.

Trinchera, A. and B. Valentina. 2018. Use of a non-ionic water surfactant in lettuce fertigation for optimizing water use, improving nutrient use efficiency, and increasing crop quality. Water 10(5): 1-15.

William S., J. Conway, B. George and A. E. Watada. 1996. Surfactants affect calcium uptake from postharvest treatment of 'Golden Delicious' apples. Journal of the American Society for Horticultural Science 121(6):1179–1184.

Xing-Zheng, F., F. Xing, L. Cao, C-P Chun, L-L. Ling, C-L. Jiang and L-Z. Peng. 2016. Effects of foliar application of various zinc fertilizers with organosilicone on correcting citrus zinc deficiency. Hort Science 51(4):422–426.