บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการเจรจาเปิดตลาดผลไม้สดไปสหรัฐอเมริกาของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประสบความสำเร็จในปี 2550 มีผลทำให้ประเทศไทยสามารถส่งออกผลไม้ฉายรังสีแกมมาไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาได้ 6 ชนิด ได้แก่ ลิ้นจี่ ลำไย เงาะ มังคุด มะม่วง สับปะรด และในปลายปี 2554 สามารถส่งเพิ่มได้อีก 1 ชนิด คือ แก้วมังกรซึ่งในการประชุมคณะกรรมการสนับสนุนและติดตามดูแลการประสานงานการตรวจสอบสินค้าเกษตรก่อนการส่งออก สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ครั้งที่ 2/2555 (22 มิถุนายน พ.ศ. 2555) รายงานว่าผู้ประสานงานผลไม้ฉายรังสี (บริษัท บัดดี้โคโค่นัท จำกัด) ภายใต้การกำกับดูแลของ มกอช. มีความประสงค์ที่จะขยายการส่งออกสับปะรดฉายรังสีแกมมาเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าฉายรังสีให้มากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนการฉายรังสีประมาณ 11-16 บาทต่อกิโลกรัม หากมีการส่งออกผลไม้ฉายรังสีมากขึ้นจะทำให้ต้นทุนการผลิตสินค้าฉายรังสีแกมมาลดลง ทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้มากขึ้น และเนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตสับปะรดเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยสับปะรดที่ส่งออกส่วนใหญ่เป็นสับปะรดแปรรูป (สับปะรดกระป๋อง สับปะรดแห้ง แช่อิ่ม หรือสับปะรดแช่แข็ง เป็นต้น) ในขณะที่ปริมาณการส่งออกสับปะรดผลสดมีน้อยมาก ซึ่งปัญหาหลักของการส่งออกสับปะรดผลสดคือ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของสับปะรดเองภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะการเกิดไส้สีน้ำตาล (Internal browning) โดยอาการจะเป็นพัฒนาเร็วขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และนับเป็นปัญหาที่สำคัญของการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาสับปะรดได้นานพอสำหรับการขนส่งทางเรือได้ จากรายงานของ Soares และคณะ (2005) พบว่า การให้ปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O) จำนวน 16 กรัมต่อต้น สามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียสได้ และผลสุกแก่ในระยะเปลือกเริ่มเปลี่ยนสี (color break) จะแสดงอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าผลที่สุกแก่หรือผลที่เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากกว่า 50% นอกจากนี้การให้แคลเซียมกับต้นสับปะรดระหว่างการเพาะปลูกอัตรา 1.3 กรัมต่อผล และเมื่อทำการเก็บเกี่ยวแล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 28 วัน พบว่าสามารถช่วยลดอาการไส้สีน้ำตาลได้ (Herath และคณะ, 2003) อิษยาและจริงแท้ (2551) พบว่าสับปะรดพันธุ์ที่มีแคลเซียมสูงพบอาการไส้สีน้ำตาลต่ำ โดยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเป็นสับปะรดที่มีแคลเซียมสูงกว่าพันธุ์ควีน นอกจากนี้ ทวีศักดิ์ และคณะ (2544) รายงานว่าเมื่อให้แคลเซียมในระหว่างการพัฒนาของผลสับปะรดทำให้มีผลเกิดอาการไส้สีน้ำตาลลดลง โดยปกติแล้วพืชจะดูดแคลเซียมเข้าไปในรูปของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) และมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับสปินเดิลไฟเบอร์ (spindle fiber) ในการแบ่งเซลล์มีบทบาทในการรักษาสภาพและคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ และยังมีบทบาทอีกหลายอย่างเกี่ยวกับการตอบสนองของเซลล์ต่อสิ่งเร้าและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิด นอกจากนี้ธาตุโบรอนก็มีบทบาทเกี่ยวข้องต่อการดึงดูดธาตุอาหารพืชช่วยให้พืชดูดธาตุแคลเซียมและไนโตรเจนไปใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยโบรอนมีบทบาทในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากโบรอนเป็นโคแฟคเตอร์ที่สำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ซึ่งโบรอนเข้าสู่พืชในรูปของบอเรทไอออน (H_2BO_3) นอกจากนี้โบรอนทำหน้าที่สำคัญช่วยในการเชื่อมต่อของเพกตินเข้ากับผนังเซลล์หลัก และโบรอนยังทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผลช่วยในการแบ่งเซลล์ และในสร้างเอนไซม์หลายชนิด Wojcik และคณะ (2008) พบว่าแอปเปิ้ล

ที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอนจะมีคุณภาพผล เช่น สีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และมีการสะสมโบรอนที่เปลือกของผลแอปเปิ้ลมากกว่าแอปเปิ้ลที่ไม่ได้รับโบรอน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Huang และ Snapp (2009) พบว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอนจะมีปริมาณผลผลิตสูง และผลมะเขือเทศมีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอน ส่วนซิลิกอนจะถูกเก็บไว้ที่ผนังเซลล์ของพืช และจะช่วยทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงและยืดหยุ่น มีหลายหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าซิลิกอนอาจจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นกลไกความต้านทานโรค โดยทำให้เกิดการสะสมลิกนิน และสารประกอบฟีนอล (Esptein, 1999; Stamatakis และคณะ, 2003; Francois และคณะ, 2005) อย่างไรก็ตามข้อมูลงานวิจัยด้านการจัดการธาตุอาหาร ได้แก่ แคลเซียม โบรอน และซิลิกอน เพื่อลดความเสียหายของสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและสับปะรดที่ฉายรังสีแกมมายังขาดอยู่มาก

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการให้ธาตุแคลเซียม โบรอน และซิลิกอนต่อการเกิดไส้สีน้ำตาล คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สับปะรดที่ใช้เป็นพันธุ์ปัตตาเวียในกลุ่ม Smooth Cayenne

1.3.2 ศึกษาผลของการฉีดพ่น แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0, 1.5 และ 3 กรัม/ต้น หรือโบรอน ความเข้มข้น 0 และ 0.4% และอิทธิพลร่วมกันระหว่างแคลเซียมและโบรอนต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และคุณภาพของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และหลังจากย้ายออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องนาน 2 วัน

1.3.3 ศึกษาการให้ซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60 mM กับสับปะรดหลังการเร่งดอกครั้งที่ 1 เป็นเวลา 60 วัน ต่อการยับยั้งหรือลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล และคุณภาพของผลสับปะรดภายในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และหลังจากย้ายออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องนาน 2 วัน

1.3.4 ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%

1.4 ทฤษฎี สมมติฐานและ / หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

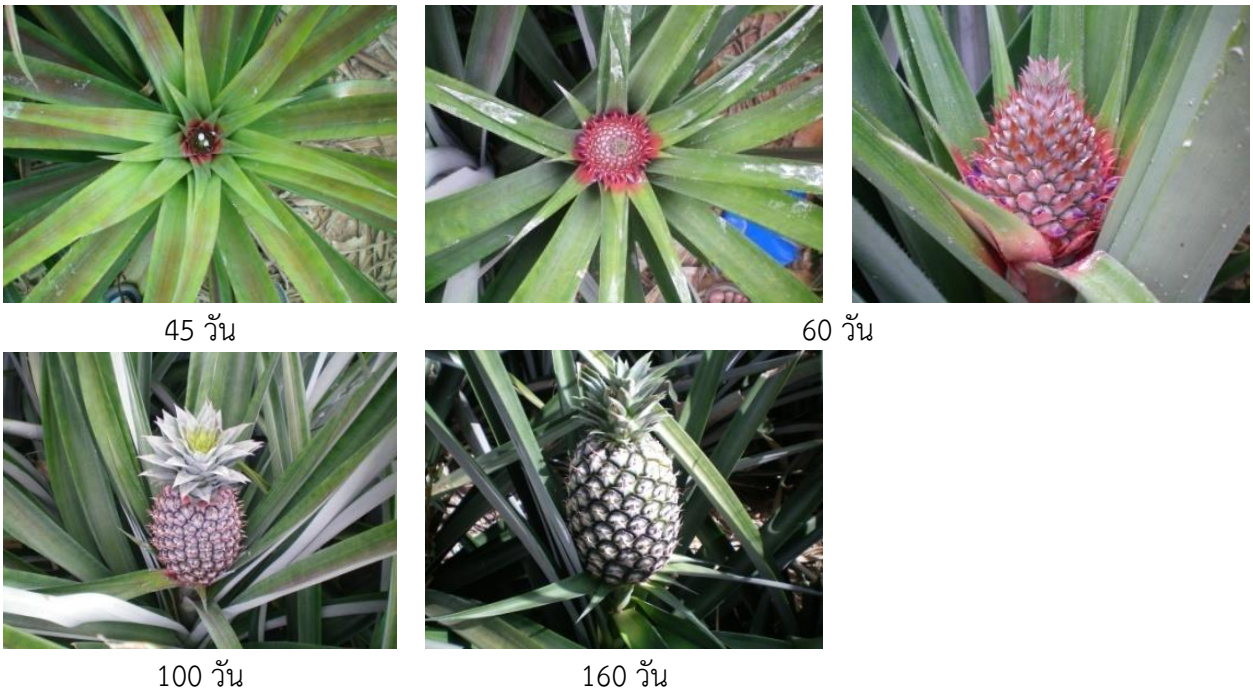
จากการศึกษาที่ผ่านมาโดยการใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยับยั้งการเกิดไส้สีน้ำตาลของสับปะรดภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเก็บสับประรดไว้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง การเคลือบผิว การจุ่มน้ำร้อน และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม พบว่าสามารถชะลอการเกิดหรือลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้เพียงบางส่วนเท่านั้น และเมื่อเก็บสับปะรดไว้นานกว่า 2-3 สัปดาห์ มักพบอาการไส้สีน้ำตาล ดังนั้นการศึกษาปัจจัยด้านการจัดการก่อนการเก็บเกี่ยวจึงน่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการช่วยลดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจากปัจจัยในการเกิดไส้สีน้ำตาลของสับปะรดในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอาจเกี่ยวเนื่องกับการขาดธาตุบางตัวในระหว่างการเจริญเติบโต โดยเฉพาะธาตุแคลเซียม โบรอน และซิลิกอน ซึ่งปัจจุบันพบว่าธาตุอาหารดังกล่าวมีบทบาทต่อการพัฒนาของผักและผลไม้หลายๆ ชนิด เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในพืช และเป็นธาตุที่จำเป็นต่อเมทาบอลิซึมหลาย ๆ ส่วนในเซลล์ของพืช จึงอาจเป็นไปได้ว่าการให้ธาตุ

แคลเซียม โบรอน และซิลิกอนในระหว่างการพัฒนาของผลสับปะรดในปริมาณที่เหมาะสมอาจมีส่วนช่วยในการยับยั้งหรือลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดภายหลังการเก็บเกี่ยวได้

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของสับปะรด

สับปะรดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ พื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการปลูกจึงมักจะเป็นบริเวณใกล้ชายทะเล ซึ่งจะมีระดับอุณหภูมิและความชื้นไม่แปรปรวนมากนัก (Barthomew และ Kadzimin, 1977) โดยทั่วไปผลสับปะรดที่มีอายุ 150-160 วัน หลังจากการใช้สารเร่งการออกดอกมีความบริบูรณ์เต็มที่และสามารถเก็บเกี่ยวได้ (จินดารัฐ, 2541) ผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยวมาควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ soluble solids (SS) อย่างน้อย 12 °Brix และมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) ไม่เกิน 1% จึงจะมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Kader, 1996) โดยทั่วไปสับปะรดจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11-18 °Brix ส่วนปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (ส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริก) จะอยู่ในช่วง 0.5-1.6% และมีปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) 20-65 mg/100g FW ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระดับความบริบูรณ์ (Kader, 1996)



ภาพที่ 2.1 แสดงระยะการพัฒนาของผลสับปะรดหลังเร่งการออกดอกด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ หรือ เอทิฟอน

2.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหารที่พบในสับปะรด จากการรายงานของ USDA Nutrient Database for standard reference (2001) พบว่าในส่วนที่รับประทานได้หนัก 100 กรัม มีสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

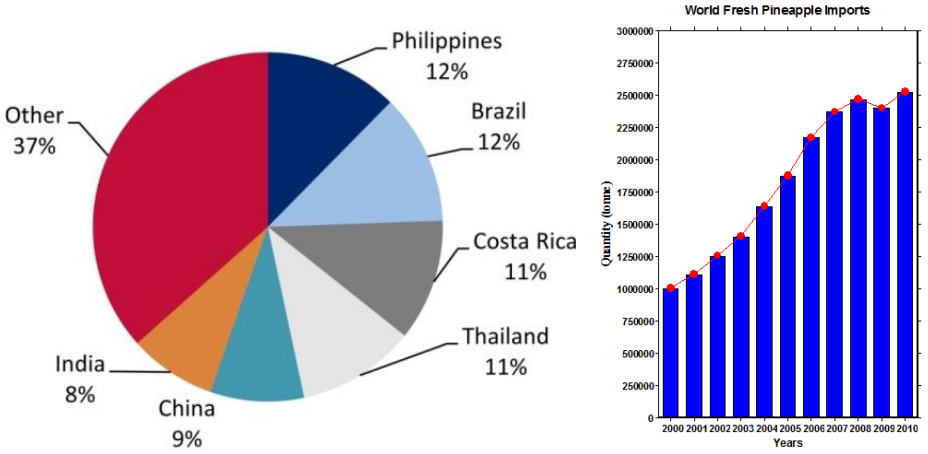
ตารางที่ 2.1 สารอาหารและแร่ธาตุที่พบในสับปะรดส่วนที่รับประทานได้ หนัก 100 กรัม (USDA, 2001)

สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัม ของส่วนที่รับประทานได้	สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัม ของส่วนที่รับประทานได้
น้ำ (กรัม)	86.50	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	7.00
โปรตีน (กรัม)	0.39	เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.37
ไขมันโดยรวม (กรัม)	0.43	แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	14.00
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.39	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	7.00
เยื่อใย (กรัม)	1.20	โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	113.00
ไธอะมีน (มิลลิกรัม)	0.09	โซเดียม (มิลลิกรัม)	1.00
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.08	ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.03
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.11	ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	0.42
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	1.65	กรดแพนโทธินิค (มิลลิกรัม)	0.16
ซีลิเนียม (ไมโครกรัม)	0.60	วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.09
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	15.40	โฟเลตโดยรวม (ไมโครกรัม)	11.00

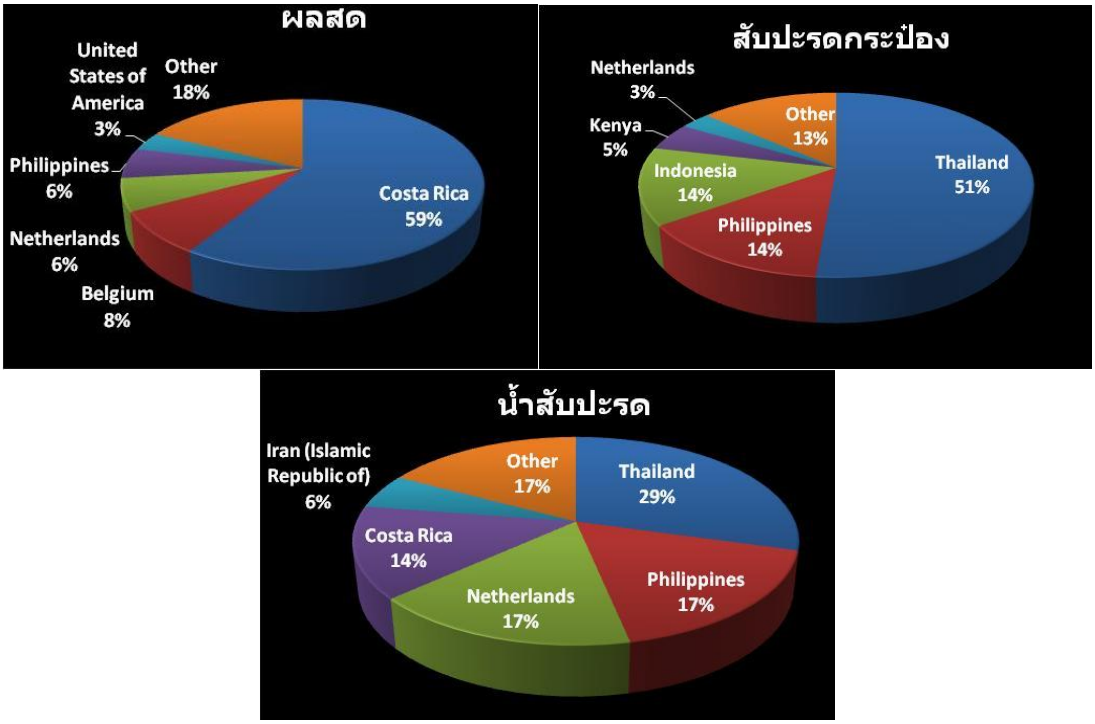
2.3 ปริมาณการผลิตและมูลค่าการส่งออก

แหล่งผลิตหรือปลูกสับปะรดที่สำคัญในโลก ได้แก่ ฟิลิปปินส์ บราซิล คอสตาริกา ไทย จีน และอินเดีย จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการผลิตสับปะรดติดอันดับต้นๆ ของการผลิตสับปะรดระดับโลก แต่การส่งออกของประเทศไทยมักมีการส่งออกในรูปแบบการแปรรูป เช่น สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรด ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีข้อจำกัดในการส่งออกผลสดหลายๆ อย่าง และที่สำคัญคือ ระยะทางในการขนส่ง ซึ่งถ้าระยะทางไกลผลิตผลจะเน่าเสียในระหว่างการขนส่ง เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่มีขนาดของผลใหญ่การขนส่งไปยังประเทศคู่ค้าจึงมีค่าใช้จ่ายสูงถ้าหากขนส่งโดยทางเครื่องบิน อีกทั้งการส่งออกสับปะรดจำเป็นต้องมีการกำจัดไข่ของแมลง และแมลงที่ติดมากับผลสับปะรดออกก่อนจึงจะส่งออกไปยังประเทศคู่ค้าได้ ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวทำให้ประเทศไทยมีการส่งออกในรูปผลสดน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศต่างๆ (ภาพที่ 2.2) สำหรับในประเทศไทย แหล่งปลูกที่สำคัญที่อยู่ในภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี ภาคตะวันออกได้แก่ จังหวัดชลบุรี และ

ระยอง และภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช พังงา และภูเก็ต โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุดคือ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รองลงมาคือ ระยอง เพชรบุรี และราชบุรี ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)



สัดส่วนการผลิตสับปะรดระดับโลก (FAO, 2553)



ภาพที่ 2.2 สัดส่วนการผลิตและส่งออกสับปะรดของประเทศไทยเปรียบเทียบกับการผลิตสับปะรดในระดับโลก

2.4 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลและอาการฉ่ำน้ำในสับปะรด

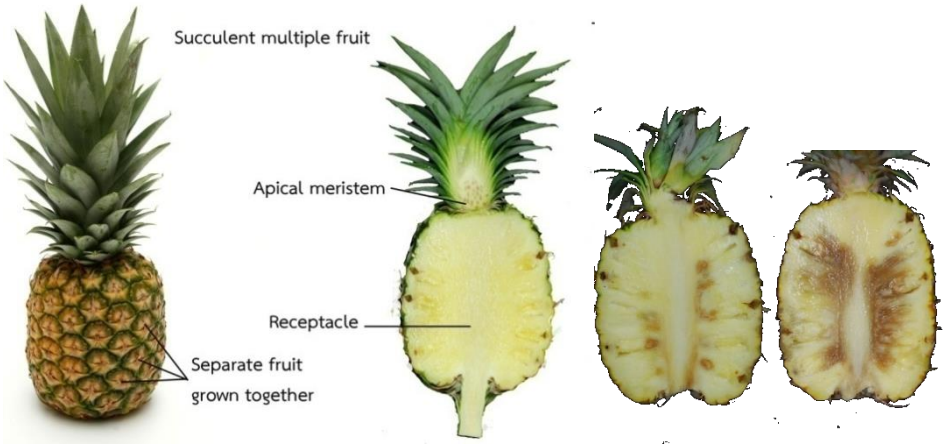
การเกิดสีน้ำตาลโดยปกติเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ 1) การเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Non enzymatic Browning) ซึ่งมีสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ได้แก่ น้ำตาลและกรดอะมิโน โดยที่ carbonyl-amine browning หรือ Maillard reaction จะเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาของคาร์โบไฮเดรตหรือหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนร่วมกับการให้ความร้อนทำให้เกิดเม็ดสีน้ำตาลของ melanoidin นอกจากนี้ น้ำตาลยังสามารถเกิดการแตกสลายโดยความร้อนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้ (sugar browning) หรือ Caramelization จะเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะกับคาร์โบไฮเดรต โดยเกิดการเผาไหม้ของน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว ทำให้น้ำตาลสูญเสียน้ำไปเป็น caramel 2) การเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ (enzymatic Browning) เกิดจากเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลในเนื้อเยื่อพืชถูกทำลายทำให้สารประกอบฟีนอลรั่วไหลออกมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) โดยมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสารตัวกลางที่ทำให้เกิดสีคือ *o*-quinone ซึ่งเมื่อรวมตัวเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้น (Namiki, 1988) นอกจากนี้กลไกการเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดจากการรวมตัวกันของ phosphoenol pyruvic acid และ erythrose-4-phosphate เข้าสู่ Shikimic acid pathway เพื่อสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล คือ phenylalanine (precursor ของสารประกอบฟีนอล) โดยเอนไซม์ phenylalanine ammonialyase (PAL) ทำหน้าที่ดึงหมู่อะมิโนออกจาก phenylalanine ได้เป็น *p*-coumaric acid เมื่อพืชได้รับความเสียหายเช่น การสูญเสียน้ำ บาดแผล บอบช้ำ หรือเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลในเนื้อเยื่อพืชและเอนไซม์ PPO ในสภาพที่มีออกซิเจนเกิดสารประกอบ *o*-quinone จากนั้นเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นรงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น (จักรพงษ์ และจริงแท้, 2536; จริงแท้, 2549)

การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดสามารถสังเกตได้จากรอยช้ำสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่บริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล (core) โดยอาการจะเริ่มจากการฉ่ำน้ำบริเวณใกล้ๆ กับแกน และขยายบริเวณกว้างออกแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เรียกว่า endogeneous brown spot (EBS) หรือ internal browning (IB) (Akamine และคณะ, 1975) ในประเทศไต้หวัน พบว่าสับปะรดจะเกิดอาการ IB ขึ้น เมื่อสับปะรดในแปลงปลูกผ่านช่วงอากาศเย็นและยังพบอาการดังกล่าวทั้งในอเมริกากลาง ฟิลิปปินส์ และฮาวายในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ในประเทศออสเตรเลีย พบว่าสับปะรดจะเกิดอาการ IB ขึ้น ถ้าอุณหภูมิในแปลงต่ำกว่า 21 องศาเซลเซียส แต่ในแอฟริกาตะวันตก รายงานว่าอาการ IB สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอากาศร้อน (Akamine และคณะ, 1975)

การเก็บสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สับปะรดเกิดอาการไส้สีน้ำตาล เนื่องจากการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เซลล์เมมเบรนของเนื้อเยื่อสับปะรดเสื่อมสภาพไป สารต่างๆ จึงสามารถผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้ง่ายและกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารฟีนอลมากขึ้น ซึ่งสารฟีนอลจะถูกเปลี่ยนเป็น quinine โดยการทำงานของเอนไซม์ PPO แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ทำให้มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น (Paull และ Rohrbach, 1985) และผลสับปะรดมีปริมาณ ascorbic acid น้อย จะเกิดสีน้ำตาลได้ง่าย (Abdullahและคณะ, 1987; Teisson และคณะ, 1979)

อาการไส้สีน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ascosbic acid โดยพบว่า ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและภูเก็ตที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาล มีปริมาณ ascosbic acid น้อยกว่าผลที่ไม่เกิดอาการไส้สีน้ำตาล (Tiesson และคณะ, 1979; Paull และ Rohrbach, 1985; Abdullah และคณะ, 1987) ทั้งนี้ผลสับปะรดที่มีปริมาณ ascorbic

acid มากกว่า 8 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร มีโอกาสเกิดอาการไส้สีน้ำตาลน้อย (จักรพงษ์ และจริงแท้, 2536) ในทางตรงกันข้าม อ้อมอรุณ (2547) พบว่าอนุมูลอิสระในรูปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) และตัวต้านทานออกซิเดชัน ได้แก่ ascorbic acid ตลอดจนเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) ไม่ใช่สาเหตุของความต้านทานหรืออ่อนแอต่ออาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและภูเก็ต



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของผลสับปะรด และอาการไส้สีน้ำตาล

2.5 การชะลอการเกิดไส้สีน้ำตาลภายหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจาก ascorbic acid เป็น reducing agent ของ quinine ทำให้ quinine ไม่สามารถรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ จึงไม่เกิดอาการไส้สีน้ำตาลขึ้น (Abdullah และคณะ, 1987) มีรายงานว่า การใช้สารเคลือบผิวประเภท paraffin-polyethylene สามารถช่วยลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียได้ เพราะสารเคลือบผิวไปจำกัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เข้าสู่ภายในผล ทำให้เอนไซม์ PPO ทำงานได้น้อยลง การ oxidation ของสารฟีนอลจึงเกิดได้น้อยลง (ปณิธาน, 2533; Paull และ Rohrbach, 1985) จักรพงษ์ และจริงแท้ (2536) รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิว Sta-fresh 7055 ความเข้มข้น 10% เคลือบผิวสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 12 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลลงได้ 70-80% เนื่องจากสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ เอนไซม์ PPO จะทำงานได้ช้า สารประกอบฟีนอลจึงไม่ถูกออกซิไดซ์ และไม่เกิดเป็นสีน้ำตาล ทำให้ไม่เห็นอาการผิดปกติ แม้จะมีอาการผิดปกติเกิดขึ้น (จริงแท้, 2541) โดยการทำงานของเอนไซม์ PPO จะถูกยับยั้งเมื่อมีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 5% (Paull และ Rohrbach, 1985)

อ้อมอรุณ (2543) รายงานว่า ผลสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่มีความบริบูรณ์มาก (เขียว-เหลือง) แสดงอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าสับปะรดที่มีสีเขียวทั้งผล และการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตในสภาพควบคุมบรรยากาศ (3 % O_2 + 8% CO_2) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน สามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลได้เปรียบเทียบกับผลสับปะรดที่เก็บในสภาพอากาศปกติ และอาการไส้สีน้ำตาลพัฒนามากขึ้นเมื่อย้ายผลสับปะรดมาเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลสับปะรดที่เคลือบผิวด้วย Sta-fresh 7055 อัตราส่วน 1:3.5 เกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่าสับปะรดเคลือบผิวด้วย Sta-fresh 7055 ในอัตราส่วน 1:7

รัศมี (2531) ได้ศึกษาการเก็บรักษาผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 5 สัปดาห์ แล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิ 15, 25 และ 35 องศาเซลเซียส นาน 3 และ 6 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 5 สัปดาห์ แล้วย้ายออกมาที่ 15 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน สามารถยับยั้งอาการ IB ได้ และเมื่อวางไว้นานขึ้นเป็น 6 วัน จะมีอาการ IB พัฒนาขึ้นเล็กน้อย

2.6 ผลของการใช้แคลเซียม โบรอน และซิลิกอนเพื่อลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช

มีรายงานการศึกษาในประเทศศรีลังกา พบว่าการให้แคลเซียม (1.3 กรัมต่อผล) และโบรอน (0.4%) กับต้นสับปะรดระหว่างการปลูกและพัฒนาของผล ทำให้ผลสับปะรดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน เกิดอาการไส้สีน้ำตาลลดลง (Herath และคณะ, 2003) นอกจากนี้ ทวีศักดิ์ และคณะ (2544) รายงานว่าเมื่อให้แคลเซียมในระหว่างการพัฒนาของผล ทำให้มีผลเกิดอาการไส้สีน้ำตาลดลง เนื่องจากแคลเซียมสามารถรักษาสภาพความแข็งแรง หน้าที่ของเซลล์และเยื่อหุ้มต่างๆ และรักษาหน้าที่ของกระบวนการต่างๆภายในเซลล์ นอกจากนี้แคลเซียมซึ่งมีความสำคัญช่วยให้เซลล์ติดต่อกัน และช่วยเชื่อมผนังเซลล์ให้เป็นรูปร่าง และขนาดให้เป็นไปตามลักษณะของพืชแต่ละชนิด และเป็นตัวช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผลแล้ว นอกจากนี้โบรอน (B) เป็นธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญโดยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชใช้ธาตุแคลเซียมได้ดีขึ้นในการสร้างโครงสร้างผนังเซลล์ และอาจช่วยในกระบวนการเคลื่อนย้ายสารอาหารในพืช มีความจำเป็นต่อการถ่ายละอองเกสร (pollination) และมีผลต่อการเกิดของดอก การติดของผล และการสร้างเมล็ด โดยพบว่าการใช้สารละลายแคลเซียม-โบรอนสามารถลดการผิดปกติทางสรีรวิทยาของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (ศิวพร และพีระศักดิ์, 2010)

Pechkeo และคณะ (2007) รายงานว่า การฉีดพ่น 10% $CaCl_2$ ร่วมกับ 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม H_3BO_3 ในช่วงที่ติดผลของมังคุด สามารถเพิ่มคุณภาพของผลมังคุดที่ปลูกในพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชได้ เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวมีความเป็นกรดสูงและมีธาตุอาหารต่ำ ดังนั้นการพ่นแคลเซียมหรือโบรอนให้กับมังคุดหลังดอกบาน 6-8 สัปดาห์ จึงสามารถลดการเกิดอาการเนื้อแก้ว และยางไหลของมังคุดได้ สัมพันธ์กับการรายงานของ Limpun-Udom (2001) พบว่าเปลือกมังคุดหรือเนื้อมังคุดที่ปกติจะมีปริมาณแคลเซียมหรือโบรอนสูงกว่าเปลือกมังคุดหรือเนื้อมังคุดที่มีอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา เช่น เนื้อแก้ว และยางไหล

Elmer และคณะ (2007) พบว่าผลท้อที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยแคลเซียมไนเตรต ประมาณ 9.6 กรัม/ต้น สามารถลดการเกิดอาการเน่าสีน้ำตาลที่เกิดจาก *Monilinia fructicola* (Wint.) ได้ และผลท้อมีปริมาณแคลเซียมสะสมที่เปลือกเพิ่ม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมในเปลือกจึงอาจส่งผลให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรง และต้านทานต่อการเข้าทำลายของ *M. fructicola* (Wint.) ได้

Sharma และ Singh (2009) รายงานว่า การเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อผลมะม่วง (Fruit pitting) ซึ่งเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของมะม่วงนั้นเกิดจากต้นมะม่วงขาดธาตุโบรอนและแคลเซียมในระหว่างการติดผล

Wojcik และคณะ (2008) พบว่าการให้โบรอนในรูปแบบของการฉีดพ่นมีประสิทธิภาพมากกว่าการให้โบรอนในรูปของปุ๋ยทางดิน โดยต้นแอปเปิ้ลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอน (boric acid) มีการติดผลมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับโบรอนและต้นที่ได้รับปุ๋ยโบรอนทางดิน นอกจากนี้ แอปเปิ้ลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอนมีคุณภาพผลดีกว่าแอปเปิ้ลที่ไม่ได้รับโบรอน เช่น สีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และการสะสมโบรอนที่เปลือกของผลแอปเปิ้ลมาก เป็นต้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Huang และ Snapp (2009) พบว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอนมีปริมาณผลผลิตสูง และผลมะเขือเทศมีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอน

ซิลิกอน (Silicon, Si) เป็นธาตุอาหารเสริมของพืช และเป็นที่ทราบกันดีว่าซิลิกอนมีประโยชน์ในด้านการป้องกันโรคพืชชนิดต่างๆ โดยบทบาทในการป้องกันโรคพืชนั้นยังไม่กระจ่างชัด แต่มีหลายหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าซิลิกอนอาจจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นกลไกความต้านทานโรค โดยทำให้เกิดการสะสมลิกนิน สารประกอบฟีนอล โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรค (pathogenesis related proteins) และการสร้างโครงสร้างในการป้องกันตนเองของพืช (Esptein, 1999; Francois และคณะ, 2005) เช่น Kunoh และ Ishizaki (1975) พบว่าบริเวณตำแหน่งที่เชื้อราสาเหตุโรคเข้าทำลายใบข้าวสาลี แตงกวา บาร์เลย์และผักบุ้ง มีการสะสมของซิลิกอน ทำให้ช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราได้ นอกจากนี้ มีรายงานว่าการพ่นสารละลายซิลิกอนความเข้มข้น 2,000 ppm ให้กับอโวคาโด มีผลช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสภายหลังการเก็บเกี่ยวที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ได้ (Anderson และคณะ, 2005) ในขณะที่ Cherif และคณะ (1992) พบว่าซิลิกอนช่วยชักนำความต้านทานโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium ultimum* บนต้นแตงกวา ส่วน Menzies และคณะ (1992) ระบุว่าการพ่นซิลิกอนบนใบของแตงกวา แตงเมลอน และแตงซูกินี สามารถช่วยลดการเกิดโรคราแป้งได้ นอกจากนี้ยังพบรายงานการใช้ซิลิกอนเพื่อการป้องกันโรคในพืชอื่นๆได้แก่ ข้าว (Seebold และคณะ, 2001) และถั่ว (Dann และ Muir, 2002)

Stamatakis และคณะ (2003) รายงานว่าต้นมะเขือเทศที่มีการให้ซิลิกอนเป็นธาตุอาหารในสารละลายในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน (Hydroponic) ของมะเขือเทศ พบว่าในผลมะเขือเทศมีปริมาณของ β-carotene และ lycopene เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้มะเขือเทศที่ได้รับซิลิกอนยังมีปริมาณวิตามินซี และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าชุดควบคุม

บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมแปลงปลูกหน่อสับปะรด

ทำการคัดเลือกหน่อสับปะรดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และปลูกสับปะรดเป็นแถวคู่ โดยมีระยะปลูก คือ ระยะระหว่างแถว 40-50 เซนติเมตร ระหว่างต้น 30 เซนติเมตร ทางเดิน 70 -80 เซนติเมตร โดยเตรียมต้นสับปะรด จำนวน 100 ต้น/ชุดการทดลอง

ภาพที่ 3.1 การเตรียมแปลงปลูก และลงหน่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ณ อ.เมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3.2 การปลูกและการดูแลสับปะรด

หลังจากปลูกสับปะรดแล้วทำการควบคุมวัชพืชและให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีของเกษตรกร เมื่อต้นสับปะรดสมบูรณ์จะชักนำให้ออกดอกด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ 1-2 กรัม/ต้น (ภาพที่ 3.2) แล้วเริ่มทำการพ่นธาตุอาหารต่างๆ หลังจากเร่งสับปะรดออกครั้งที่ 1 นาน 60 วัน (ครั้งที่ 1) หลังจากนั้นทำการพ่นสารทุก ๆ 15 วัน ตามข้อ 3.3

หลังจากปลูกสับปะรดแล้วทำการควบคุมวัชพืชโดยใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช

หลังปลูกโดยมีระยะปลูก ได้ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 และปุ๋ยอินทรีย์ที่โคนต้น (150 กิโลกรัม/ไร่)

2 เดือนหลังจากใส่ปุ๋ยทางดิน

ให้ปุ๋ยทางใบเพื่อบำรุงต้นให้สมบูรณ์พร้อมที่จะเร่งให้สับปะรดออกดอก
โดยการสังเกตและนับจำนวนใบของสับปะรด (ประมาณ 30 ใบ) หรือสังเกตสะโพกของต้นให้ใหญ่เท่ากระป๋องนม (สับปะรดอายุประมาณ 5 เดือนหลังปลูก) ในระยะนี้สามารถชักนำการออกดอกสับปะรด ครั้งที่ 1 โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 1-2 กรัม/ต้น

↓ **เว้น 2 วัน**

ทำการชักนำการออกดอกสับปะรด ครั้งที่ 2 โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 1-2 กรัม/ต้น

↓ **เว้น 7 วัน**

ทำการชักนำการออกดอกสับปะรด ครั้งที่ 3 โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 1-2 กรัม/ต้น

↓ **45 วันหลังจากเร่งดอกครั้งที่ 1**

↓ **15 วัน**

ลูกจะโผล่พ้นต้นและพ่นด้วยปุ๋ยสูตร 0 - 0 - 60 อัตราส่วน 13 กิโลกรัม : 1,000ลิตร
เพื่อป้องผลสับปะรดแก๊ส

↓ **30 วัน**

จะสามารถแคะจุกได้ หลังจากแคะจุกแล้ว 10 วัน ทำการพ่นปุ๋ยสูตร 0 – 0 – 60 อีกครั้ง
โดยพ่นปุ๋ยเฉพาะบริเวณผล

60 วัน

เก็บเกี่ยวผลผลิต

ภาพที่ 3.2 การปฏิบัติดูแลและเก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

การเก็บเกี่ยวสับปะรด

ทำการเก็บเกี่ยวและรวบรวมผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ในวัยที่ผลมีสีเขียวและตาของผล 2 แถวทางโคนก้านผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจากแปลงเกษตรกรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 สำหรับการทดลองที่ 1 และในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 สำหรับการทดลองที่ 2 ขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้วยรถกระบะมีหลังคาสแตนเลส

3.3 การดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ และโบรอน ก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

งานวิจัยครั้งนี้ใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ หลังจากติดดอกระยะเวลา 1 เดือน ทำการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ และโบรอนความเข้มข้นต่างๆ ทุกๆ 15 วัน จนกระทั่งผลสุกแก่ทางการค้าจำนวน 5 ครั้ง มีการวางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 factorials in completely randomized design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ ๆ ละ 1 ผล (50 ผลต่อชุดทดลอง) ประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1: ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 3 ระดับ คือ 0, 1.5 และ 3 กรัม/ต้น
ปัจจัยที่ 2: ความเข้มข้นของโบรอน 2 ระดับ คือ 0 และ 0.4 %

การเตรียมสารละลาย

ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 150 และ 300 กรัม ละลายในน้ำประปา ปริมาตร 5,000 มิลลิลิตร นำไปฉีดพ่นที่ต้นและผลสับปะรด จำนวน 100 ต้น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร/ต้น (จะได้ปริมาณสารแคลเซียมคลอไรด์ เท่ากับ 1.5 และ 3.0 กรัม/ต้น ตามลำดับ) และสารละลายโบรอน ความเข้มข้น 0.4 % เตรียมโดยชั่งโบรอน (H_3BO_3) ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร (0.2 กรัม/ต้น) สำหรับปัจจัยร่วมกันระหว่างแคลเซียมและโบรอน ทำโดยเตรียมสารละลายผสมแคลเซียมคลอไรด์และโบรอน ในปริมาตร 5,000 มิลลิลิตร และนำไปฉีดพ่นสับปะรด 50 มิลลิลิตร/ต้น ในขณะที่สับปะรดที่ฉีดพ่นด้วยน้ำประปา คือ ต้นหรือผลสับปะรดที่ไม่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ หรือ โบรอน (ชุดควบคุม)

ทำการเก็บเกี่ยวและรวบรวมผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ในวัยที่ผลมีสีเขียวและตาของผล 2 แถวทางโคนก้านผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง คัดเลือกผลที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิหรือบาดแผล นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นจุ่มสารละลาย Carbendazim ความเข้มข้น 500 ppm เพื่อควบคุมการเข้าทำลายของเชื้อรา ผึ่งให้แห้งก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 และ 28 วัน โดยแบ่งสับปะรดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกทำการบันทึกผลทันทีหลังจากนำออกจากห้องเย็น ส่วนกลุ่มที่ 2 ทำการย้ายสับปะรดออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง (29 - 31 องศาเซลเซียส) ต่ออีก 2 วันก่อนการบันทึกผล (14+2 และ 28+2 วัน) เพื่อจำลองการวางจำหน่าย โดยทำการตรวจวัดดังนี้

1. คะแนนการเกิดไส้สีน้ำตาล
2. ปริมาณ soluble solids จากน้ำคั้นเนื้อ
3. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้
4. ปริมาณ phenolic
5. ปริมาณ Malondialdehyde (MDA)
6. ปริมาณแคลเซียมและโบรอนในส่วนเปลือกและเนื้อติดแกน

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการฉีดพ่นซิลิกอนก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

งานวิจัยครั้งนี้ใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่เพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ หลังจากติดดอกระยะเวลา 1 เดือน ทำการฉีดพ่นสารละลายซิลิกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ กันโดยทำการฉีดพ่นทุกๆ 15 วัน จนกระทั่งผลสุกแก่ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 10 ซ้ำ (ผล) โดยมีชุดทดลอง ดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 ไม่ฉีดพ่นสารละลายซิลิกอน (ชุดควบคุม)
ชุดทดลองที่ 2 ฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลิกอน ความเข้มข้น 10 mM
ชุดทดลองที่ 3 ฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลิกอน ความเข้มข้น 20 mM
ชุดทดลองที่ 4 ฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลิกอน ความเข้มข้น 40 mM
ชุดทดลองที่ 5 ฉีดพ่นด้วยสารละลายซิลิกอน ความเข้มข้น 60 mM

การเตรียมสารละลายซิลิกอน

เตรียมจากสารละลายโพแทสเซียมซิลิเกต (K_2O_3Si) ซึ่งมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบ 20% ทำการฉีดพ่นสับปะรดด้วยสารละลายซิลิกอน ความเข้มข้นต่างๆ (10, 20, 40 และ 60 mM) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร/ต้น ทำการเก็บเกี่ยวและรวบรวมผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในวัยที่มีสีเขียวและตาของผล 2 แถวทางโคนก้านผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง คัดเลือกผลที่มีขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีตำหนิหรือบาดแผล นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นจุ่มสารละลาย Carbendazim ความเข้มข้น 500 ppm เพื่อควบคุมการเข้าทำลายของเชื้อรา ผึ่งให้แห้งก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 และ 28 วัน โดยแบ่งสับปะรดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกทำการบันทึกผลทันทีหลังจากนำออกจากห้องเย็น ส่วนกลุ่มที่ 2 ทำการย้ายสับปะรดออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง (29 - 31 องศาเซลเซียส) ต่ออีก 2 วันก่อนการบันทึกผล (14+2 และ 28+2 วัน) เพื่อจำลองการวางจำหน่าย โดยทำการตรวจวัดดังนี้

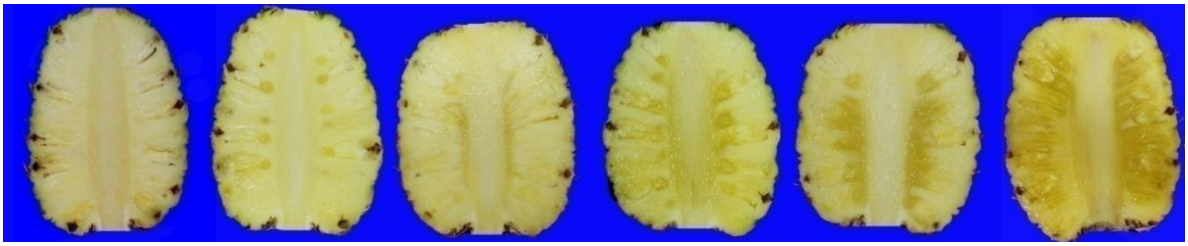
1. การเกิดไส้สีน้ำตาลและอาการฉ่ำน้ำ
2. ปริมาณ soluble solids จากน้ำคั้นเนื้อ
3. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้
4. ปริมาณ phenolic
5. ปริมาณ Malondialdehyde (MDA)
6. ปริมาณธาตุซิลิกอนในส่วนของเปลือกและเนื้อติดแกน

3.4 วิธีวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การเกิดอาการฉ่ำน้ำ และอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อสับปะรด

1.1 อาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรด (translucent symptom) พิจารณาโดยการให้เป็นคะแนน ดังนี้

คะแนนที่ 0 คือ ไม่มีอาการฉ่ำน้ำ
คะแนนที่ 1 คือ มีอาการฉ่ำน้ำมากกว่า 5% แต่ไม่เกิน 10%
คะแนนที่ 2 คือ มีอาการฉ่ำน้ำมากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 25%
คะแนนที่ 3 คือ มีอาการฉ่ำน้ำมากกว่า 25% แต่น้อยกว่า 50%
คะแนนที่ 4 คือ มีอาการฉ่ำน้ำมากกว่า 50% แต่น้อยกว่า 75%
คะแนนที่ 5 คือ มีอาการฉ่ำน้ำมากกว่า 75%



คะแนน 0 1 2 3 4 5

1.2 อาการไส้สีน้ำตาล (Internal browning) โดยนำผลสับปะรดมาตัดแบ่งครึ่งผลตามยาวและพิจารณาให้คะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลโดยการประมาณอาการไส้สีน้ำตาลจากบริเวณเนื้อและแกนผลดังนี้

คะแนนที่ 0 คือ ไม่มีอาการไส้สีน้ำตาล
คะแนนที่ 1 คือ พบอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า 5% แต่น้อยกว่า 10%
คะแนนที่ 2 คือ พบอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า 10% แต่น้อยกว่า 25%
คะแนนที่ 3 คือ พบอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า 25% แต่น้อยกว่า 50%
คะแนนที่ 4 คือ พบอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า 50% แต่น้อยกว่า 75%
คะแนนที่ 5 คือ พบอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า 75%

คะแนน 0 1 2 3 4 5

2. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids; TSS)

ทำการคั้นน้ำจากเนื้อสับปะรด และนำไปวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ด้วยเครื่อง Hand Refractometer ATAGO® PAL-1 และรายงานผลในหน่วย °Brix

3. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity; TA)

ทำการคั้นน้ำจากเนื้อสับปะรด และนำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1N โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) ความเข้มข้น 1% ปริมาณ 1-2 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ ทำการไตเตรทจนถึงจุดยุติ คือเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปของกรดซิตริก ดังสมการ (Milliequivalent weight (meq. wt.) citric acid = 0.064)

$$\text{Titratable acidity (\%)} = \frac{(\text{mL NaOH}) \times (\text{N NaOH}) (\text{meq.wt. citric acid}) \times 100}{\text{mL of sample}}$$

4. ปริมาณ phenolic ทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Singleton and Rossi, 1965)

นำตัวอย่างเนื้อสับปะรด 2 กรัม ผสมกับเอทานอล ความเข้มข้น 80% ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียดแล้วนำไปปั่นที่แรงเหวี่ยง 12,000*x g* ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอล โดยเจือจาง 10 เท่า แล้วทำการปิเปตสารตัวอย่างที่ทำการเจือจาง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 0.2 N Folin-ciocalteu (สารละลาย Folin-ciocalteu ความเข้มข้น 2 N เจือจาง 10 เท่าด้วยน้ำกลั่น) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7.5% (ละลายโซเดียมคาร์บอเนตจำนวน 75 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง จากนั้นนำไปวางไว้ใน water bath ที่อุณหภูมิน้ำคงที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วย้ายไปวางในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาคำนวณกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ปริมาณ Malondialdehyde (MDA) (Hodges และคณะ, 1999)

ใช้วิธีการ modified thiobarbituric assay โดยให้ thiobarbituric acid (TBA) ทำปฏิกิริยากับ malondialdehyde (MDA) เกิดสารสีแดงหรือสารเรืองแสง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ นำเนื้อสับปะรดจำนวน 1 กรัม เติมสาร polyvinyl polypyrrolidone (PVPP) 0.25 กรัม และ sodium phosphate buffer pH 6.4 ความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นให้ละเอียดโดยใช้เครื่อง homogenizer จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 12,000*x g* เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำส่วนใสที่ได้ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติมสารละลายthiobarbituric acid (TBA) ความเข้มข้น 0.5% ที่มี trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 15% ปริมาตร 6 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำไปให้ความเย็นทันทีในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 12,000*x g* เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณ MDA และรายงานผลในหน่วย nmolMDA/g FW

$$\text{ปริมาณ MDA} = \left[\frac{[OD_{532} - OD_{600}] \times 10^6}{155{,}000} \right] \times \text{dilution factor}$$

6. **ปริมาณธาตุแคลเซียม โบรอน และซิลิกอน**

โดยนำส่วนเปลือกและเนื้อผลบริเวณกลางผลมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Flame atomic absorption spectrometry (AOAC, 1995)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SAS ver. 9 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT)

3.6 สถานที่ดำเนินการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) กรุงเทพฯ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

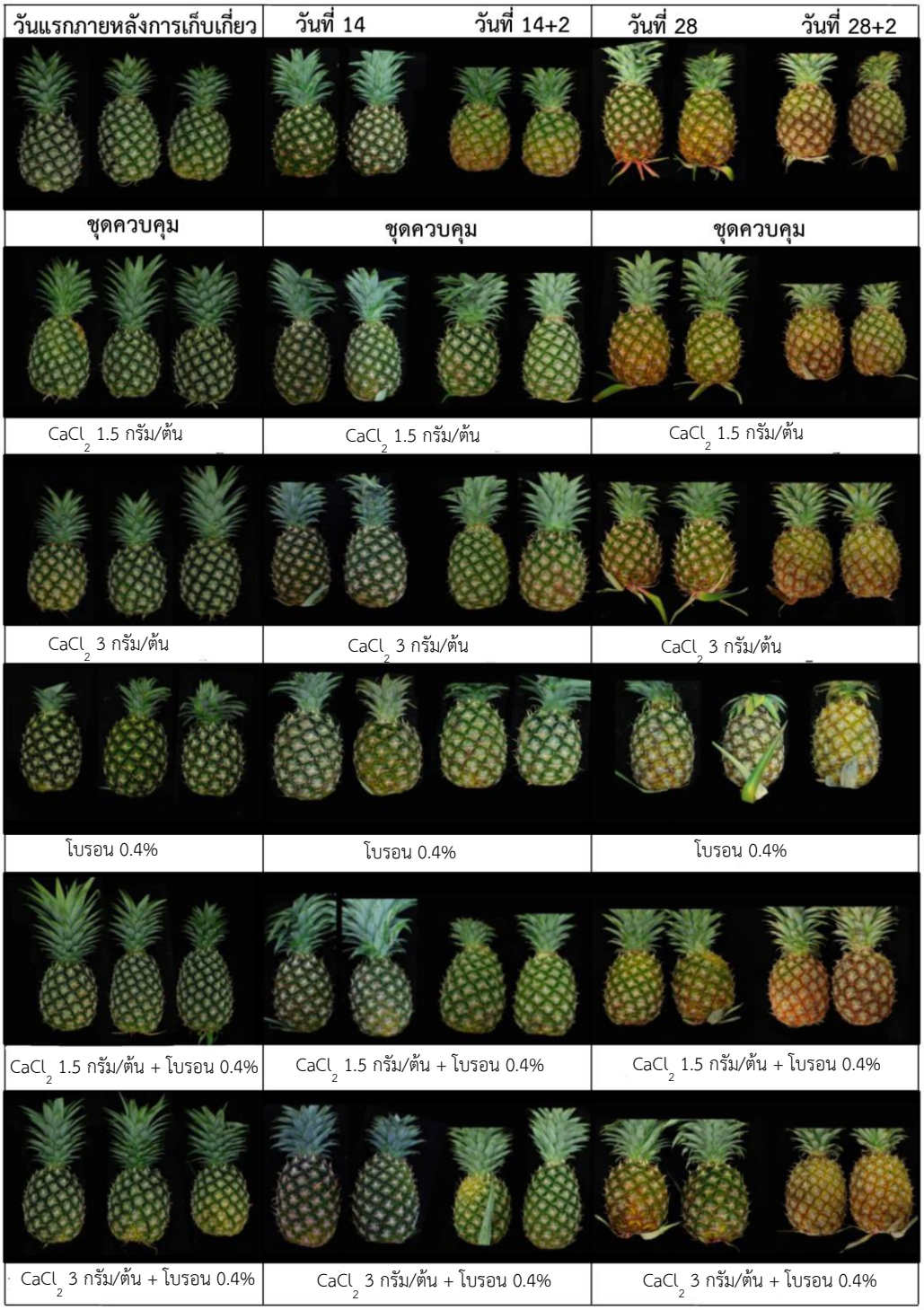
4.1 ผลของการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ โบรอน ก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

ผลสับปะรดที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) หรือฉีดพ่นธาตุอาหารต่างๆ ทางใบ ได้แก่ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 และ 3 กรัม/ต้น, โบรอน (B) ความเข้มข้น0.4%, $CaCl_2$ ปริมาณ1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับ 0.4%B, $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับ 0.4%B ในระหว่างการเจริญและพัฒนาของผลจนกระทั่งผลสับปะรดสุกแก่ โดยพิจารณาตาของผล 2 แถวจากโคนก้านผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผลสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

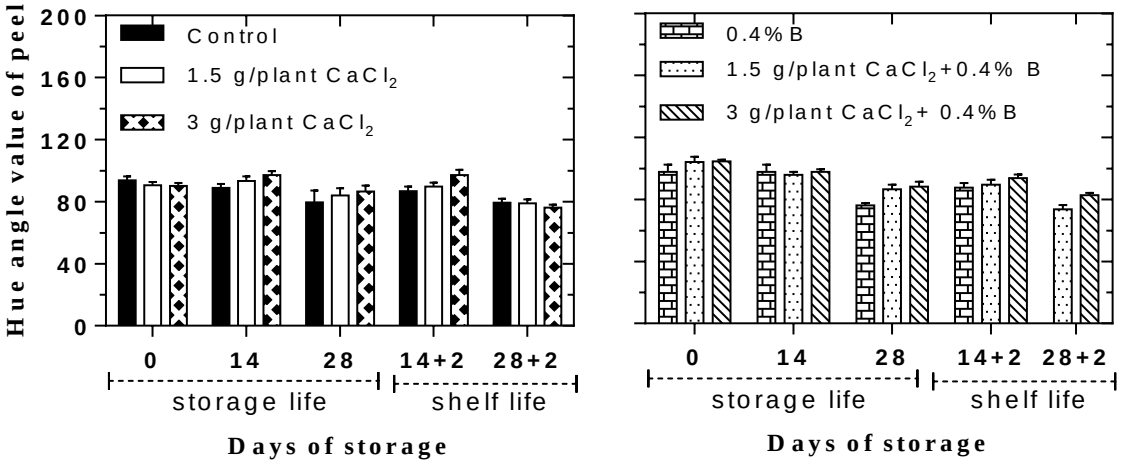
4.1.1 สีเปลือก

เปลือกสับปะรดภายหลังการเก็บเกี่ยวมีสีเขียวไม่แตกต่างกัน เพราะระยะสุกแก่ของสับปะรดที่เก็บมานั้นใกล้เคียงกัน ภายหลังการเก็บรักษาสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน สีเปลือกของสับปะรดในทุกๆ ชุดทดลองยังคงมีสีเขียวไม่แตกต่างจากสับปะรดก่อนการเก็บรักษา แต่เมื่อย้ายสับปะรดในทุกชุดทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มาวางที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 วัน พบว่าสีเปลือกของสับปะรดในชุดควบคุมเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเปลือกมีสีเหลืองมากกว่าเปลือกผลสับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ และในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา พบว่าสีเปลือกของสับปะรดในทุกๆ ชุดทดลองเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง-ส้มทั้งผล และไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง (ภาพที่4.1)

เมื่อพิจารณาค่า hue angle ของเปลือก พบว่าเปลือกสับปะรดเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีค่าระหว่าง 91-104 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 97 ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่า hue angle ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 28 สับปะรดมีค่า hue angle ของสีเปลือกระหว่าง 80 – 85 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะสีเปลือกของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)



ภาพที่ 4.2 ค่า hue angle ของสีเปลือกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

4.1.2 การฉ่ำน้ำ (Translucence)

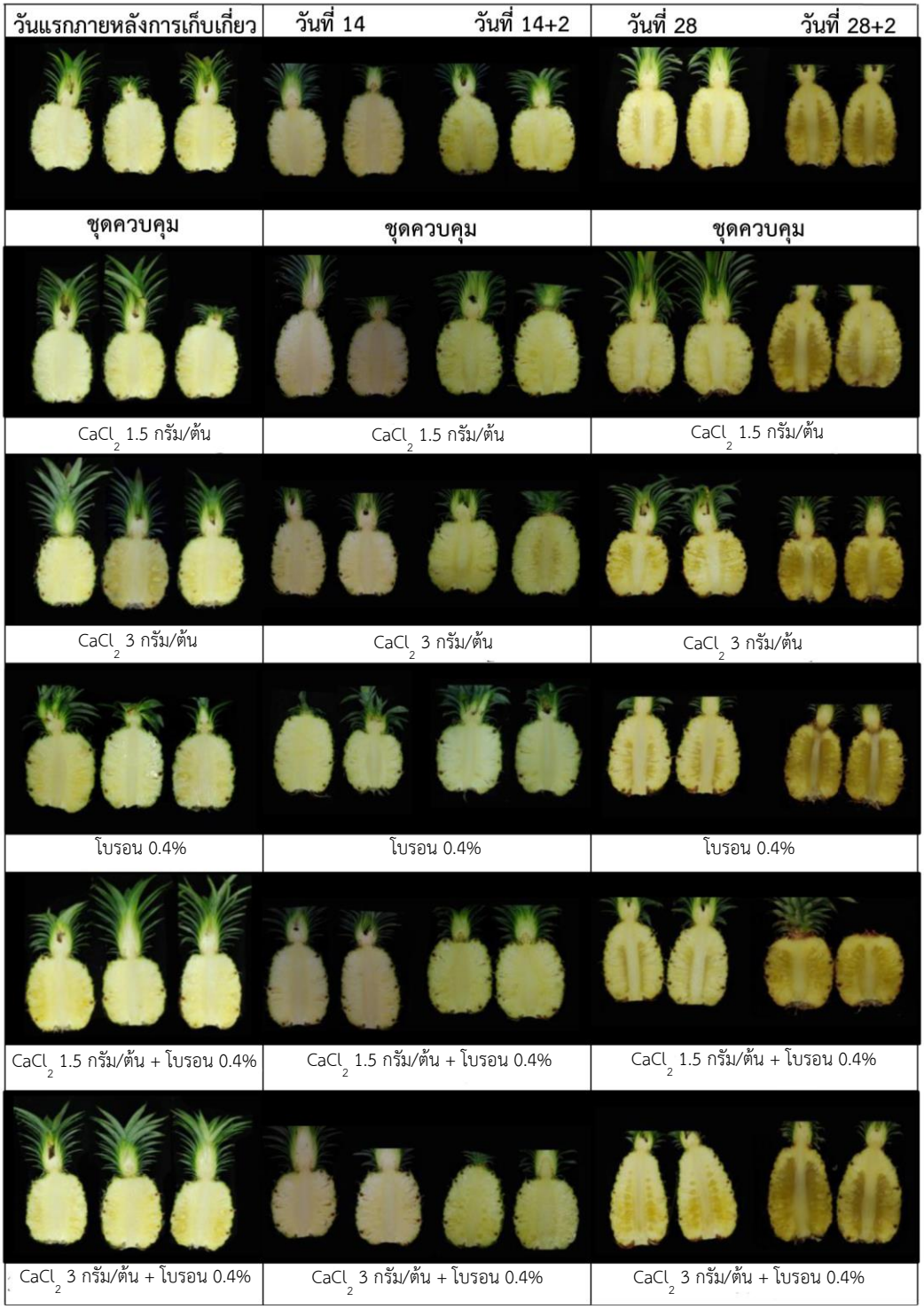
อาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรดเป็นอาการที่พบก่อนอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรด จากการศึกษาพบว่าสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน ยังไม่แสดงอาการฉ่ำน้ำและอาการไส้สีน้ำตาล แต่หลังจากย้ายสับปะรดมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน เริ่มพบอาการฉ่ำน้ำในสับปะรดทุกชุดทดลอง แต่สับปะรดที่ได้รับ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น หรือสับปะรดที่ได้รับ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน (B) ความเข้มข้น 0.4% (ในระหว่างที่ผลมีการเจริญเติบโตและพัฒนา) มีความรุนแรงของอาการฉ่ำน้ำน้อยกว่าสับปะรดในชุดควบคุม และสับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ (ภาพที่4.3) ความรุนแรงของอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และมีความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายสับปะรดจากอุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา พบว่าสับปะรดในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยของคะแนนการฉ่ำน้ำเท่ากับ 2 คะแนน ในขณะที่สับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 และ 3 กรัม/ต้น ในระหว่างการพัฒนาของผลมีค่าเฉลี่ยของคะแนนการฉ่ำน้ำเท่ากับ 1.6 และ 2.7 คะแนน ตามลำดับ ผลสับปะรดที่ได้รับโบรอน ความเข้มข้น 0.4% เพียงอย่างเดียวมีคะแนนเท่ากับ 2 คะแนน ส่วนผลสับปะรดที่ได้รับ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 และ 2.7 คะแนน ตามลำดับ และเมื่อนำสับปะรดออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องนาน 2 วัน (28+2 วัน) พบว่าสับปะรดแสดงอาการฉ่ำน้ำรุนแรงเพิ่มขึ้นโดยมีคะแนนเฉลี่ยระหว่าง 4 – 4.5 คะแนน และในวันดังกล่าว (28+2 วัน) พบสับปะรดแสดงอาการฉ่ำน้ำร่วมกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) ยกเว้นสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น

$CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับ 0.4% B ไม่พบอาการไส้สีน้ำตาล สับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น เกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าสับปะรดในชุดควบคุมและสับปะรดที่ได้รับโบรอนความเข้มข้น 0.4% หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียว หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% (ภาพที่ 4.4)

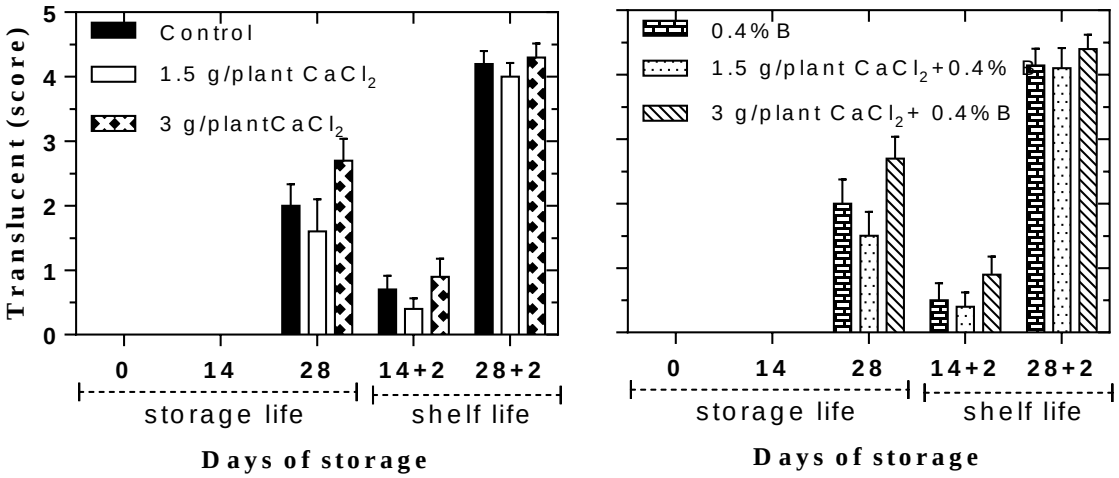
จากข้อมูลการเกิดอาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรดเมื่อนำมาวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดอาการฉ่ำน้ำ พบว่าในวันที่ 14+2 สับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้นและ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5กรัม/ต้น ร่วมกับ 0.4% B แสดงอาการฉ่ำน้ำน้อยกว่าสับปะรดในชุดควบคุม 43% รองลงมา คือผลสับปะรดที่ได้รับโบรอน0.4% เพียงอย่างเดียว แสดงอาการฉ่ำน้ำน้อยกว่าชุดควบคุม 28% ขณะที่ผลสับปะรดที่ได้รับ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียว หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน0.4% แสดงอาการฉ่ำน้ำมากกว่าชุดควบคุม 28% และเมื่อเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน พบว่าสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น และ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% แสดงอาการฉ่ำน้ำน้อยกว่าสับปะรดในชุดควบคุม 20% และ 25% ตามลำดับ ขณะที่สับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ แสดงอาการฉ่ำน้ำมากกว่าสับปะรดในชุดควบคุม (ตารางที่ 4.1)

4.1.3 อาการไส้สีน้ำตาล (Internal browning)

อาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดในทุกชุดทดลองไม่ปรากฏในระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส แต่เมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน เริ่มแสดงอาการเล็กน้อย (คะแนนน้อยกว่า 1 คะแนน) ยกเว้นสับปะรดที่พ่นด้วย $CaCl_2$1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% ที่ไม่แสดงอาการไส้สีน้ำตาล (ภาพที่ 4.5) จากข้อมูลการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อสับปะรด (วันที่ 28+2) เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลการยับยั้งการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อสับปะรด พบว่าการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% ให้สับปะรดในระหว่างที่ผลพัฒนา เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพโดยสามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ 100% ขณะที่ผลสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้นหรือโบรอนปริมาณ 0.4% เพียงอย่างเดียวสามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ 75% และ 25% ตามลำดับ แต่การใช้ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียวหรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอนปริมาณ 0.4% ชักนำให้สับปะรดเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มขึ้นมากกว่า 50% (ตารางที่4.2)



ภาพที่ 4.3 อาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)



ภาพที่ 4.4 การเกิดอาการฉ่ำน้ำในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

ตารางที่ 4.1 การยับยั้งการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่น (ชุดควบคุม) หรือฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ และโบรอน

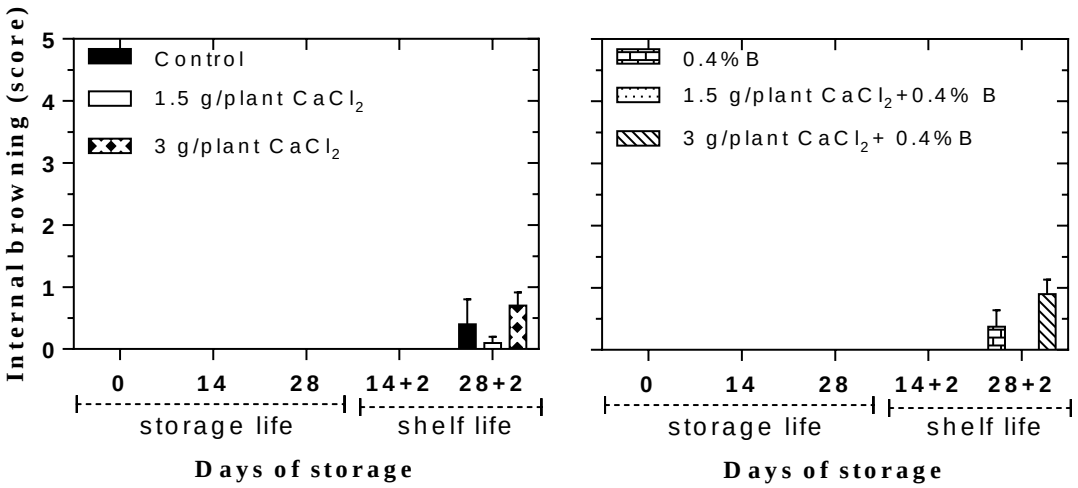
วัน	การยับยั้งอาการฉ่ำน้ำ (%)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
28	0	-20	+35	0	-25	+35
14 + 2	0	-43	+28	-28	-43	+28
28 + 2	0	-5	+2	-2.4	-2.3	+4.7

<u>หมายเหตุ</u> การยับยั้งอาการฉ่ำน้ำคำนวณจากการเกิดอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดในชุดควบคุมเท่ากับ 100%

(+ ไม่ยับยั้ง, - หมายถึงยับยั้ง)

T1 = control, T2 = 1.5 g $CaCl_2$/plant, T3 = 3 g $CaCl_2$/plant,

T4 = 0.4% boron (B), T5 = 1.5g $CaCl_2$/plant +0.4%B, T6 = 3 g $CaCl_2$/plant +0.4%B



ภาพที่ 4.5 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

ตารางที่ 4.2 การยับยั้งการเกิดไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่น (ชุดควบคุม) หรือฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์และโบรอน

วัน	การยับยั้งอาการไส้สีน้ำตาล (%)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
28 + 2	0	-75	+75	-25	-100	+125

<u>หมายเหตุ</u> การยับยั้งอาการไส้สีน้ำตาลคำนวณจากการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดในชุดควบคุมเท่ากับ 100%

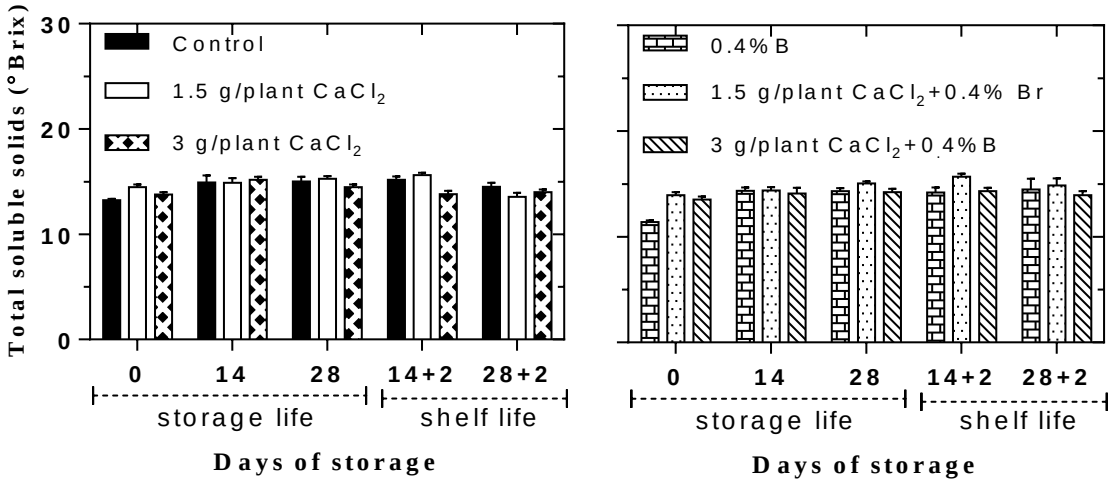
(+ ไม่ยับยั้ง, - หมายถึงยับยั้ง)

T1 = control, T2 = 1.5 g/plant $CaCl_2$, T3 = 3 g $CaCl_2$/plant,

T4 = 0.4% boron (B), T5 = 1.5g $CaCl_2$/plant +0.4%B, T6 = 3 g $CaCl_2$/plant +0.4%B

4.1.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

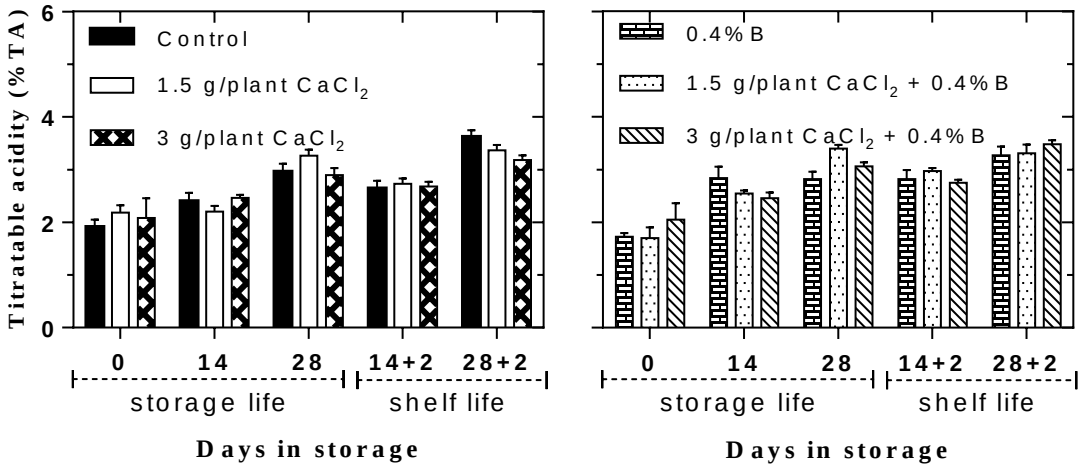
ในวันเริ่มต้นก่อนนำสับปะรดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (10 องศาเซลเซียส) พบว่าสับปะรดในแต่ละชุดทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าระหว่าง 12 – 15°brix และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาสับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในน้ำคั้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

4.1.5 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

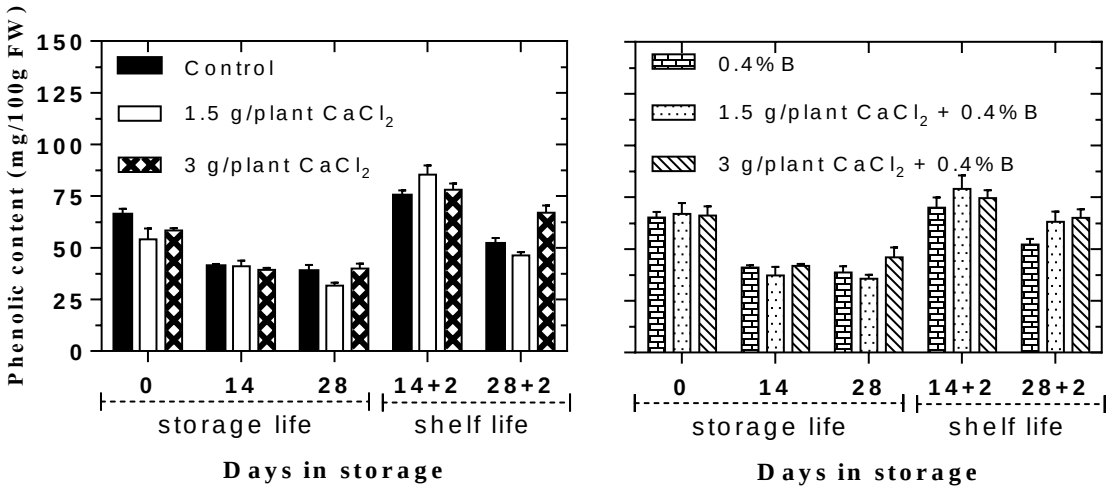
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำคั้นสับปะรดทุกชุดทดลองในวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 1.7– 2.1% citric acid และในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าสับปะรดมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในน้ำคั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 2.4 –3.6% citric acid และจากการวิเคราะห์ทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาเก็บรักษา (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของน้ำคั้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

4.1.6 ปริมาณ phenolic compounds

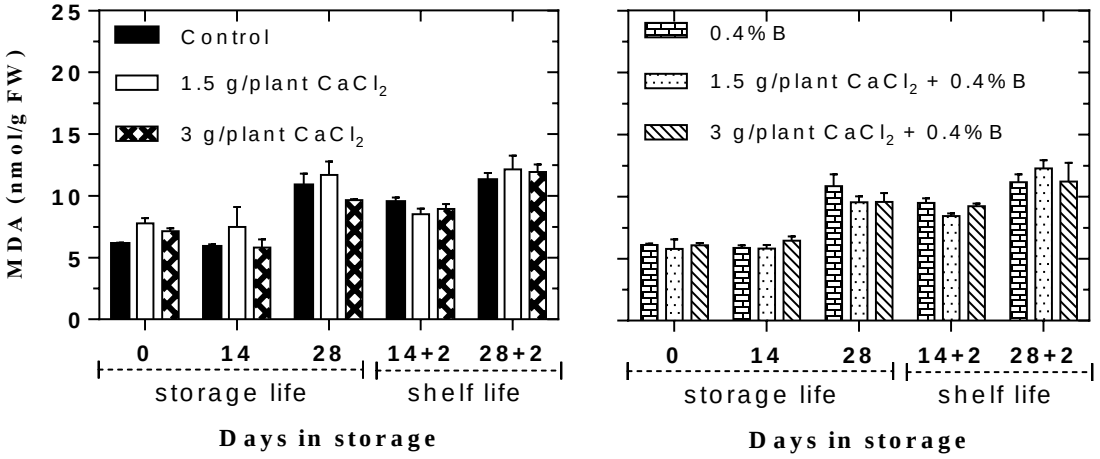
สับปะรดชุดควบคุมก่อนการเก็บรักษามีปริมาณ phenolic compounds เท่ากับ 66 mg/100gFW และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองอื่นๆ โดยสับปะรดที่ได้รับ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้นหรือโบรอน 0.4% เพียงอย่างเดียว หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 3 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% มีปริมาณ phenolic compounds เท่ากับ 54.2, 58.4, 65.2, 66.9 และ 66.2 mg/100g FW ตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณ phenolic compounds ในสับปะรดมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาสับปะรดในทุกชุดทดลองมีปริมาณ phenolic compounds อยู่ระหว่าง 37-41 mg/100g FW แต่เมื่อย้ายสับปะรดทุกชุดทดลองมาวางที่อุณหภูมิห้องต่อ 2 วัน พบว่าสับปะรดมีปริมาณ phenolic compounds เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดทดลอง โดยสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่น $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียว หรือ $CaCl_2$ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% มีปริมาณ phenolic compounds เพิ่มมากกว่าสับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ เมื่อเก็บรักษาสับปะรดนาน 28 วัน พบว่าสับปะรดมีปริมาณ phenolic compounds ไม่แตกต่างจากวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และเมื่อย้ายสับปะรดมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน สับปะรดมีปริมาณ phenolic compounds เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสับปะรดที่ย้ายมาจากการเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำ (14+2 วัน) แต่มีปริมาณ phenolic compounds น้อยกว่าในวันที่ 14+2 (ภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.8 ปริมาณ phenolic compounds ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และวันที่ 28 + 2)

4.1.7 ปริมาณ malondialdehyde (MDA)

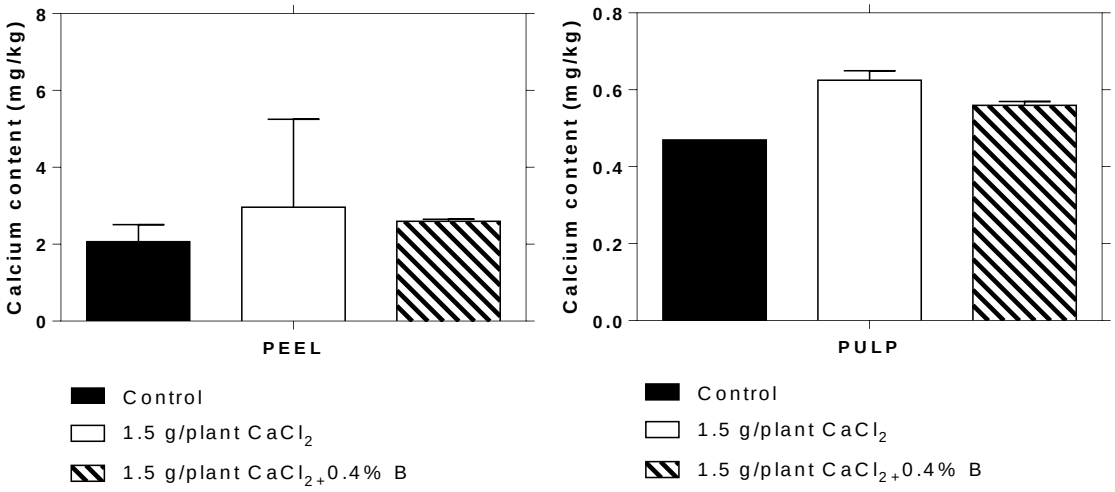
สับปะรดในแต่ละชุดทดลองมีปริมาณ MDA เริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าระหว่าง 5.79 – 7.77 nmol/g FW และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาพบว่าสับปะรดมีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างจากปริมาณ MDA ในวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา แต่เมื่อเก็บรักษานาน 28 วัน พบว่าสับปะรดทุกชุดทดลองมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (9.55 – 11.69 nmol/g FW) เมื่อนำสับปะรดจากอุณหภูมิต่ำมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย (14+2 วัน และ 28+2วัน) พบว่าสับปะรดมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น และในวันที่ 28+2 วัน สับปะรดมีปริมาณ MDA อยู่ในช่วงระหว่าง 11.16 – 12.26 nmol/g FW (ภาพที่ 4.9)



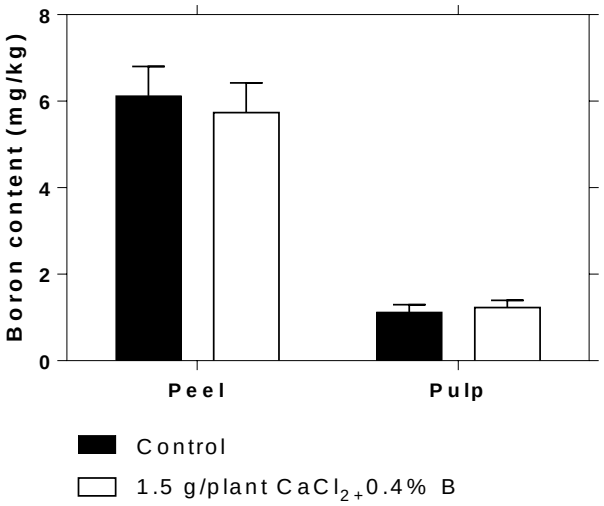
ภาพที่4.9 ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้ฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 หรือ 3 กรัม/ต้น หรือ โบรอน 0.4% หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น + โบรอน 0.4% หรือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม/ต้น+โบรอน 0.4% ในระหว่างการเจริญพัฒนาของผล และภายหลังเก็บเกี่ยวทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนาน 14 และ 28 วัน และย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (วันที่ 14 + 2 และ วันที่ 28 + 2)

4.1.8 ปริมาณแคลเซียมและโบรอน

การเลือกตัวอย่างเนื้อและเปลือกสับปะรดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม และโบรอน พิจารณาจากผลการศึกษาการฉีดพ่นแคลเซียม โบรอน และแคลเซียมร่วมกับโบรอน ที่สามารถลดอาการฉ่ำน้ำและอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดในชุดควบคุม ดังนั้น ความเข้มข้นของสารที่เหมาะสม คือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น และแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน ความเข้มข้น 0.4% ซึ่งจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง พบว่าส่วนของเปลือกมีแคลเซียมมากกว่าเนื้อติดแกน และการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางใบระหว่างที่ผลสับปะรดกำลังพัฒนา ทำให้ส่วนของเปลือกและเนื้อสับปะรดมีแคลเซียมมากกว่าสับปะรดชุดควบคุม โดยเปลือกและเนื้อติดแกนของสับปะรดในชุดควบคุมมีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 2.08 และ 0.47 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่เปลือกและเนื้อของสับปะรดที่ได้รับการพ่นแคลเซียมคลอไรด์ มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 3.96 และ 0.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่การพ่นแคลเซียมคลอไรด์ ร่วมกับโบรอน ความเข้มข้น 0.4% พบว่ามีการสะสมของแคลเซียมที่เปลือกและเนื้อติดแกนเท่ากับ 2.60 และ 0.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณโบรอน พบว่า สับปะรดมีปริมาณโบรอนในส่วนของเนื้อติดแกนต่ำกว่าเปลือก อย่างไรก็ตาม ผลสับปะรดในระหว่างการเจริญพัฒนา ทั้งที่ได้รับหรือไม่ได้รับการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น และโบรอน ความเข้มข้น 0.4% มีปริมาณโบรอนไม่แตกต่างกันทั้งในส่วนของเนื้อติดแกนหรือเปลือก โดยในส่วนของเปลือกมีปริมาณโบรอนระหว่าง 5.81 – 6.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ส่วนของเนื้อติดเปลือกมีปริมาณโบรอนระหว่าง 1.12 – 1.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.10 ปริมาณแคลเซียมในเปลือกและเนื้อติดแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) หรือ ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้นเพียงอย่างเดียว หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4%



ภาพที่ 4.11 ปริมาณโบรอนในเปลือกและเนื้อติดแกนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นธาตุอาหาร (ชุดควบคุม) หรือ ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ 1.5กรัม/ต้นเพียงอย่างเดียว หรือ แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4%

4.2 ศึกษาผลของการฉีดพ่นซิลิกอนก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

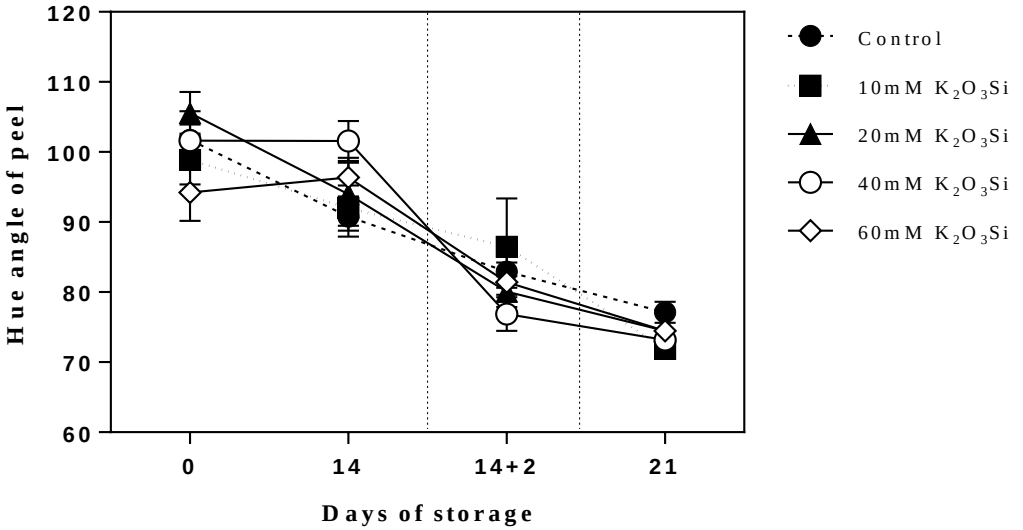
ผลสับปะรดที่ไม่ได้ฉีดพ่น (ชุดควบคุม) และฉีดพ่นซิลิกอนทางใบ ความเข้มข้น10, 20, 40 และ 60 mM ในระหว่างที่ผลสับปะรดเจริญและพัฒนา เมื่อเก็บเกี่ยวผลสับปะรดที่ระยะสุกแก่เท่ากัน และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ผลในวันที่ 0, 14 และ 21 วัน โดยแบ่งสับปะรดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ทำการบันทึกผลทันที และอีกกลุ่มหนึ่งจะย้ายไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิห้องเพื่อจำลองการวางจำหน่ายอีก 2 วันแต่ในครั้งนี้ ผู้วิจัยไม่ได้วิเคราะห์ผลที่เก็บไว้ที่ 21+2 วัน เนื่องจากระบบห้องเย็นมีเหตุขัดข้องทำความเย็นที่ 10 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์สับปะรดระหว่างชุดทดลองแสดง ดังนี้

4.2.1 สีเปลือก

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของสับปะรดภายหลังเก็บเกี่ยว พบว่าในช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สับปะรดมีสีเปลือกไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง เมื่อย้ายสับปะรดทุกชุดทดลองจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย (14+2 วัน) พบว่าสีเปลือกของสับปะรดไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองเช่นกัน แต่สีเปลือกของสับปะรดทุกๆ ชุดทดลองเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากขึ้น และในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสีเปลือกสับปะรดในชุดควบคุมเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง แต่สีเปลือกของผลสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่นซิลิกอนความเข้มข้นตั้งแต่ 20-40 mM มีสีเขียวมากกว่าชุดควบคุม แต่อย่างไรก็ตามค่า hue angle ของสับปะรดในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.11)

ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบระหว่างผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 3 สัปดาห์ และนำมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน (14+2, 21วัน)

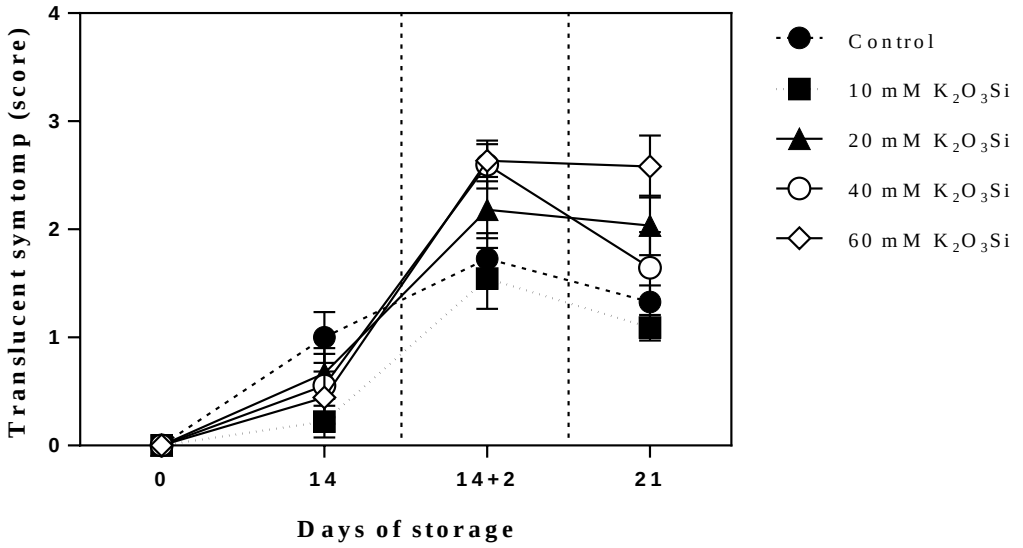
สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกสับปะรดซึ่งแสดงเป็นค่า hue angle พบว่าทุกๆ ชุดทดลองมีค่า hue angle ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสับปะรดมีค่า hue angle เริ่มต้นในช่วง 92.23-101.71 และในวันที่ 14 พบว่าค่า hue angle ของเปลือกสับปะรดในชุดควบคุม และชุดที่ได้รับการฉีดพ่นซิลิกอนความเข้มข้น 10 และ 20 mM มีค่าลดลง ขณะที่สับปะรดที่ได้รับซิลิกอนความเข้มข้น 40 และ 60 mM มีค่า hue angle คงที่ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อย้ายสับปะรดทุกชุดทดลองมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิห้อง เพื่อจำลองการวางจำหน่าย (14+2 วัน) พบว่า ค่า hue angle ของเปลือกสับปะรดลดลงอย่างต่อเนื่องทุกชุดทดลองจนกระทั่งถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของเปลือกสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลกำลังพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

4.2.2 อาการฉ่ำน้ำ (translucent symptom)

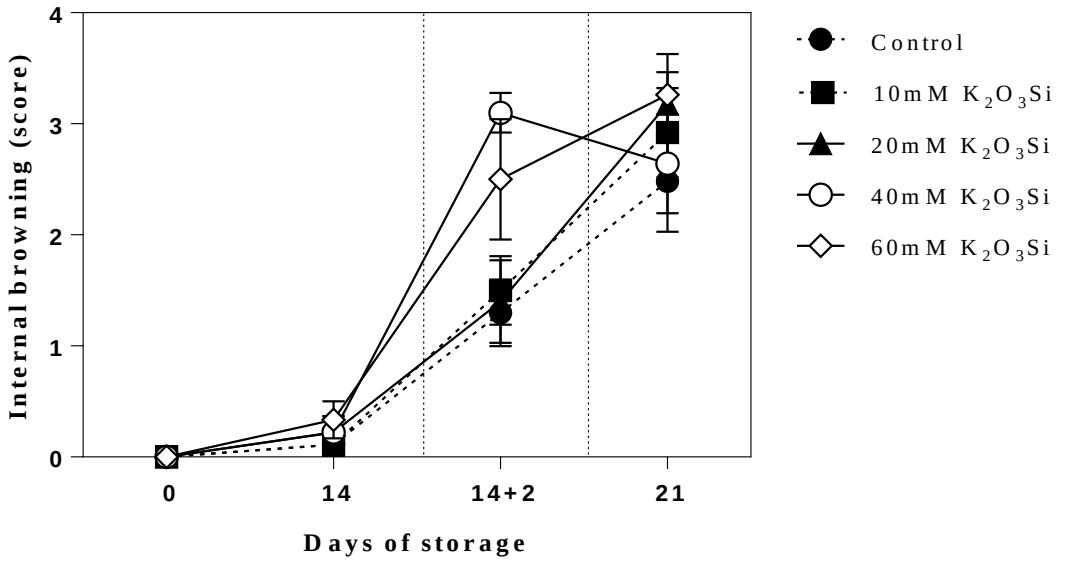
อาการฉ่ำน้ำของสับปะรดปรากฏในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 10 องศาเซลเซียส สับปะรดในชุดควบคุมแสดงอาการฉ่ำน้ำมากกว่าผลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยซิลิกอนความเข้มข้นต่างๆ โดยสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน 10 mM แสดงอาการฉ่ำน้ำน้อยที่สุด โดยมีคะแนนของอาการฉ่ำน้ำเท่ากับ 0.22 คะแนน ในขณะที่สับปะรดที่ได้รับซิลิกอนความเข้มข้น 20-60 mM มีคะแนนอาการฉ่ำน้ำอยู่ในช่วง 0.44-0.67 คะแนน ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าความรุนแรงของอาการฉ่ำน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อย้ายสับปะรดออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องอีก 2 วัน (14+2 วัน) สับปะรดที่ได้รับซิลิกอนความเข้มข้น 10 mM มีคะแนนการเกิดอาการฉ่ำน้ำน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสับปะรดชุดควบคุม และสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 40 และ 60 mM แสดงอาการฉ่ำน้ำของเนื้อผลมากกว่าสับปะรดชุดควบคุมและสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10 mM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าสับปะรดในทุกๆ ชุดทดลองมีอาการฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้นจากวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ซึ่งสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10 mM แสดงอาการฉ่ำน้ำน้อยกว่าสับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 อาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลกำลังพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว ภายหลังการเก็บเกี่ยวนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และย้ายออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.2.3 อาการไส้สีน้ำตาล (Internal browning)

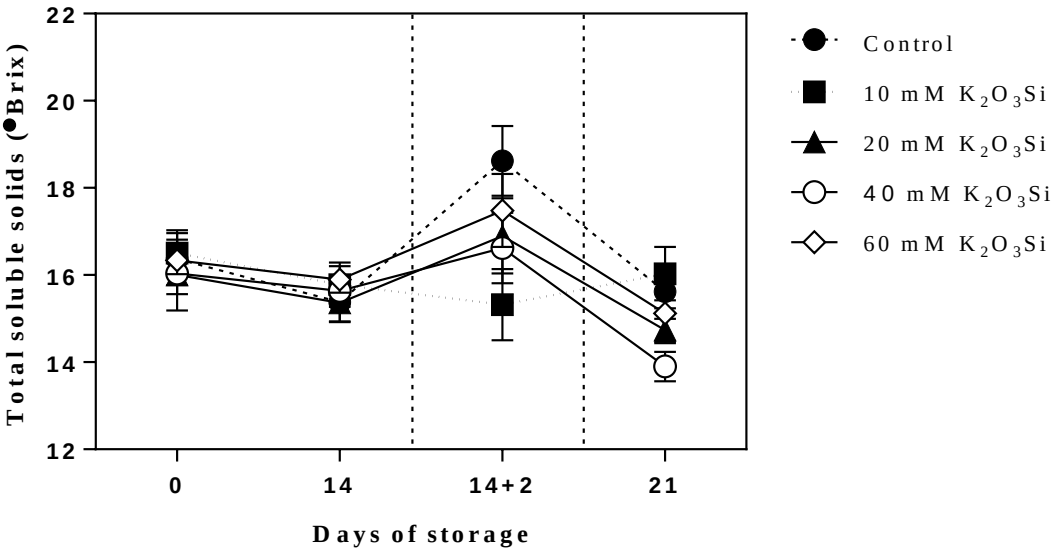
สับปะรดในทุกๆ ชุดทดลองเริ่มแสดงอาการไส้สีน้ำตาลในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยมีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอยู่ในช่วง 0.11-0.33 คะแนน อาการไส้สีน้ำตาลพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อย้ายสับปะรดมาวางที่อุณหภูมิห้องนาน 2 วัน (14+2 วัน) โดยสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 40-60 mM แสดงอาการไส้สีน้ำตาล (2.50-3.10 คะแนน) มากกว่าสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10-20 mM (1.40-1.50 คะแนน) และสับปะรดในชุดควบคุม (คะแนน 1.30 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา สับปะรดในทุกๆ ชุดทดลองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีคะแนนการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลระหว่าง 2.46-3.28 คะแนน (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลกำลังพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว ภายหลังการเก็บเกี่ยวนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และย้ายออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

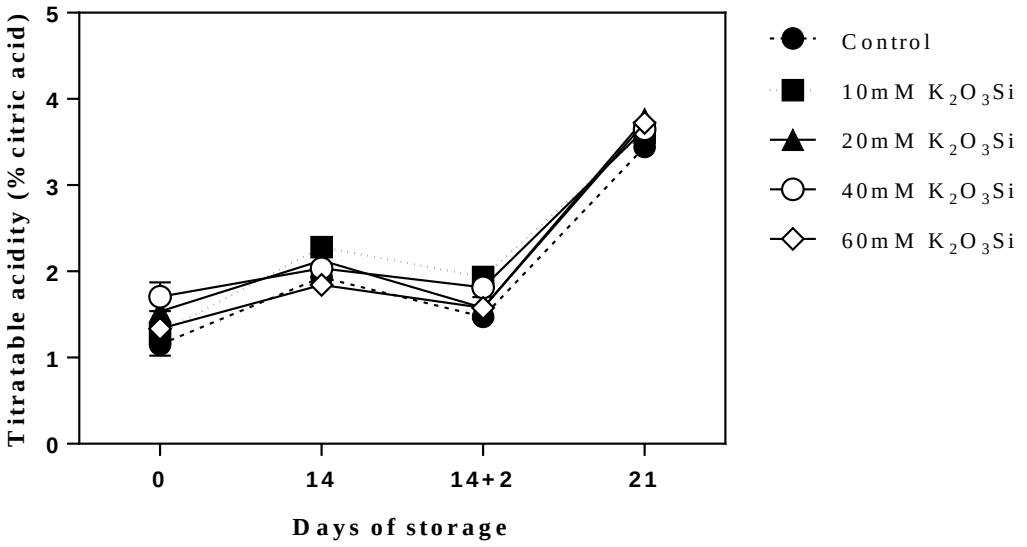
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ของสับปะรดในวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 16.03-16.50˚brix และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าสับปะรดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงเล็กน้อย และเมื่อย้ายสับปะรดไปวางที่อุณหภูมิห้องนาน 2 วัน (14+2 วัน) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีทั้งหมดค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสับปะรดในชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 18.62˚brix ขณะที่สับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 20-60 mM มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดใกล้เคียงกันระหว่าง 16.90-17.48˚brix ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สับปะรดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดลดลงเล็กน้อยจากวันแรกของการเก็บรักษา จากการทดลองพบว่าสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10 mM มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.15) อย่างไรก็ตามสับปะรดในทุกชุดทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.15 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเนื้อสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.2.4 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้

สับปะรดภายหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ เท่ากับ 1.5-1.7% citric acid เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของเนื้อสับปะรดระหว่างการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.16)



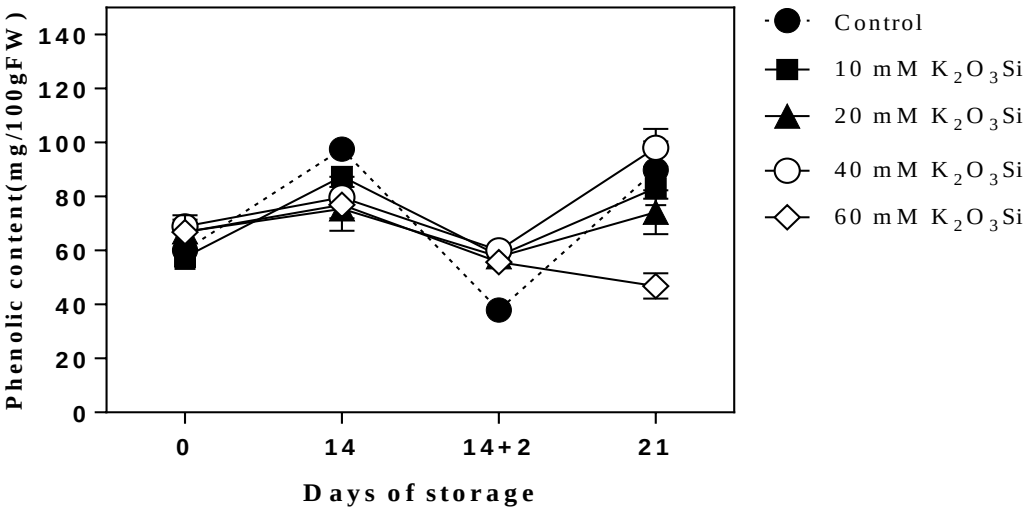
ภาพที่ 4.16 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของเนื้อสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.2.5 ปริมาณ phenolic compounds

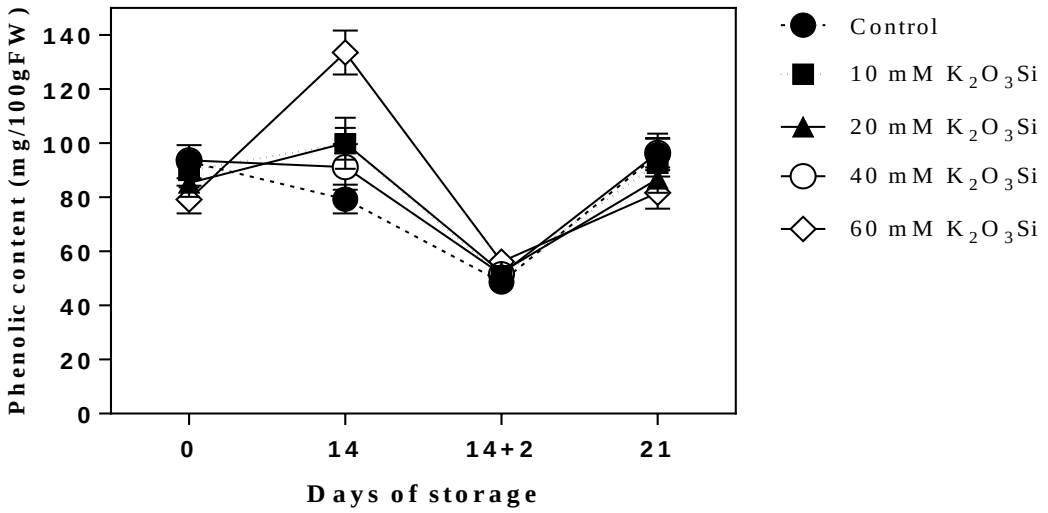
การฉีดพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ในระหว่างที่ผลมีการพัฒนา และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อสับปะรดในวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษามีปริมาณ phenolic compounds ในช่วง 57.62– 68.98 mg/100 gFW และวันที่ 14 ของการเก็บรักษาปริมาณ phenolic compounds ในสับปะรดทุกชุดทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยสับปะรดในชุดควบคุมมีปริมาณ phenolic compounds มากที่สุด 97.56 mg/100 gFW ขณะที่สับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10 – 60 mM มีปริมาณ phenolic compounds ในช่วง 75.39-87.39 mg/100 gFW เมื่อย้ายผลสับปะรดออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน (14+2 วัน) พบว่าสับปะรดในทุกชุดทดลองมีปริมาณ phenolic compounds ลดลง โดยเฉพาะชุดควบคุม มีปริมาณ phenolic compounds เหลือเพียง 37.88 mg/100 gFW เมื่อเก็บรักษา 21 วัน พบว่า เนื้อสับปะรดมีปริมาณ phenolic compounds ไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง โดยมีค่าอยู่

ในช่วง 74.24 – 98.05 mg/100gFW ยกเว้นสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 60 mM มีปริมาณ phenolic compounds ต่ำ (46.86 mg/100 gFW) (ภาพที่ 4.17)

สับปะรดในส่วนของเนื้อติดแกนมีปริมาณ phenolic compounds เท่ากับ 79.17-93.73 mg/100 gFW ในวันเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา และในวันที่ 14 สับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 60 mM มีปริมาณ phenolic compounds ในส่วนของเนื้อติดแกนเพิ่มขึ้นจากวันแรกของการเก็บรักษา (133.58 mg/100 gFW) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสับปะรดในชุดทดลองอื่นๆ (79.35 – 100.04 mg/100 gFW) และเมื่อย้ายสับปะรดจากอุณหภูมิเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส มาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน (14+2 วัน) พบว่าเนื้อติดแกนของสับปะรดชุดควบคุม และสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 10, 20 และ 60 mM มีปริมาณ phenolic compounds ลดลงใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 48.71 – 56.19 mg/100 gFW เมื่อเก็บรักษาสับปะรดเป็นเวลา 21 วัน พบว่า เนื้อติดแกนของสับปะรดทุกชุดทดลองมีปริมาณ phenolic compounds ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 81.73 – 96.50 mg/100 gFW (ภาพที่ 4.18)



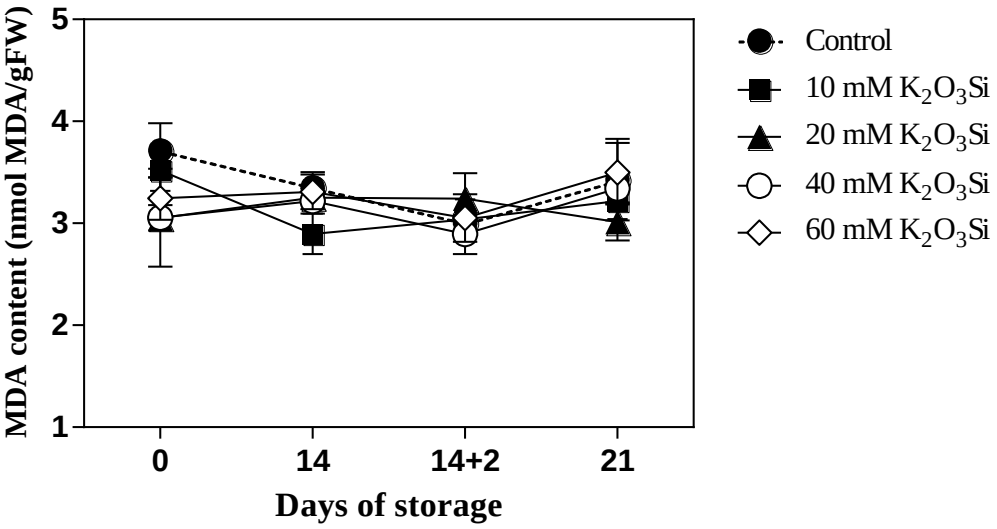
ภาพที่ 4.17 ปริมาณ phenolic compounds ในเนื้อของสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย



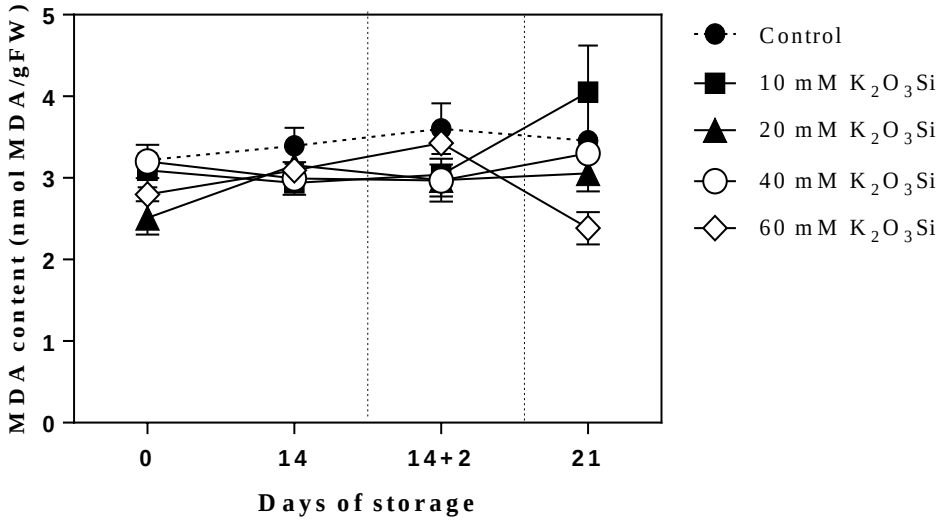
ภาพที่ 4.18 ปริมาณ phenolic compounds ในเนื้อติดแกนของสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.26 ปริมาณ malondialdehyde (MDA)

เนื้อสับปะรดในวันแรกของการเก็บรักษามีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.05 – 3.71 nmol MDA /gFW และในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อสับปะรดมีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.01 – 3.42 nmol MDA/gFW (ภาพที่ 4.19) ในขณะที่เนื้อติดแกนของสับปะรดมีปริมาณ MDA อยู่ในช่วง 2.51 – 3.21 nmol MDA/gFW และในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เนื้อติดแกนของสับปะรดในแต่ละชุดทดลองมีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามในวันที่ 21 เนื้อติดแกนของสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่นซิลิกอน 10 mM มี MDA มีปริมาณ MDA มากที่สุดเท่ากับ 4.05 nmol MDA/gFW เนื้อติดแกนของสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 60 mM มีปริมาณ MDA น้อยที่สุดเท่ากับ 2.38 nmol/gFW ส่วนเนื้อติดแกนสับปะรดในชุดควบคุมและสับปะรดที่ได้รับซิลิกอน ความเข้มข้น 20 – 40 mM มี MDA อยู่ในช่วง 3.05 – 3.45 nmol/gFW (ภาพที่ 4.20)



ภาพที่ 4.19 ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเนื้อของสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย



ภาพที่ 4.20 ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเนื้อติดแกนของสับปะรดที่ได้รับการพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ทางใบในระหว่างที่ผลพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และนำออกมาวางต่อที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน เพื่อจำลองการวางจำหน่าย

4.2.7 ปริมาณธาตุซิลิกอน

การฉีดพ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 60 mM ให้กับสับปะรดทางใบในระหว่างที่ผลกำลังพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว และภายหลังการเก็บเกี่ยวได้นำตัวอย่างเปลือกและเนื้อติดแกนของสับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่นซิลิกอน 10 และ 40 mM มาวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกอนโดยใช้วิธี flame atomic absorption spectrometer (AOAC, 1995) เปรียบเทียบกับสับปะรดในชุดควบคุม พบว่า ตัวอย่างทั้งที่ไม่ได้รับ และรับการฉีดพ่นด้วยซิลิกอนทางใบมีการสะสมซิลิกอนในส่วนของเปลือกและเนื้อน้อยกว่า 5 mg/kg

ตารางที่ 4.3 ปริมาณซิลิกอนในส่วนของเปลือกและเนื้อติดแกนสับปะรด

Treatments	Peel	Pulp
Control	<5	<5
10 mM K_2O_3Si	<5	<5
40 mM K_2O_3Si	<5	<5

บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล

ภายหลังการเก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 เดือน พบว่าอาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรดปรากฏก่อนอาการไส้สีน้ำตาล โดยพบอาการฉ่ำน้ำในวันที่ 14+2 วัน ขณะที่อาการไส้สีน้ำตาลพบในวันที่ 28+2 วัน ในช่วงแรกลักษณะของอาการฉ่ำน้ำ คือ จะพบจุดใสๆ บริเวณเนื้อผล หรือผลย่อยๆ เมื่ออาการมีความรุนแรงมากขึ้นจุดฉ่ำน้ำจะกระจายเป็นวงขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น จนถึงแกนผลสับปะรด การเกิดอาการฉ่ำน้ำของผลเกี่ยวข้องกับ sugar metabolism ในระหว่างที่ผลมีการเจริญเติบโตพัฒนากระทั่งเก็บเกี่ยว โดยสับปะรดจะมีการสะสมน้ำตาลมากใน 6 สัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของอาการฉ่ำน้ำของเนื้อผลสับปะรด (Chen และ Paull, 2000) ในขณะที่อาการไส้สีน้ำตาลเกิดมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์และแบบไม่ใช่เอนไซม์ โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง คือ PPO และ PAL (Namiki, 1988; จริงแท้, 2541, 2549) การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดสามารถสังเกตได้จากรอยช้ำสีน้ำตาล เกิดขึ้นที่บริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล โดยอาการจะเริ่มจากการฉ่ำน้ำบริเวณใกล้ๆ กับแกน และขยายบริเวณกว้างออกแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Akamine และคณะ, 1975) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าอาการไส้สีน้ำตาลไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อใกล้แกนผลเสมอไป แต่การเกิดจะมีความสัมพันธ์กับอาการฉ่ำน้ำ คือ ถ้าอาการฉ่ำน้ำเกิดในส่วนของเนื้อผลใกล้เปลือกมักพบว่าจุดฉ่ำน้ำจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นด้วย แต่ถ้าอาการฉ่ำน้ำเกิดขึ้นรุนแรงขยายถึงส่วนของเนื้อใกล้แกน หรือแกน จะพบอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นบริเวณเนื้อใกล้แกนหรือที่แกนมากกว่าส่วนเนื้อผลใกล้เปลือก

แคลเซียมจัดว่าเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ เยื่อเลือกผ่าน cell membrane ของพืช และมีคุณสมบัติเป็น secondary messenger ในพืช ดังนั้นการขาดธาตุแคลเซียมจะส่งผลให้พืชแสดงอาการผิดปกติทางสรีระวิทยาต่างๆ ซึ่งการเกิดอาการฉ่ำน้ำหรืออาการไส้สีน้ำตาลอาจเกิดมาจากการขาดธาตุแคลเซียมด้วย (Ferguson และ Droback, 1986; Poovaiah และคณะ, 1988; Poovaiah, 1988; Wang, 1989) ทวีศักดิ์ และคณะ (2544) รายงานว่าเมื่อให้แคลเซียมในระหว่างการพัฒนาของผล ทำให้มีผลสับปะรดเกิดอาการไส้สีน้ำตาลลดลง เนื่องจากแคลเซียมสามารถรักษาสภาพความแข็งแรง หน้าที่ของเซลล์และเยื่อหุ้มต่างๆ และรักษาหน้าที่ของกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ นอกจากนี้แคลเซียมซึ่งมีความสำคัญช่วยให้เซลล์ติดต่อกัน และจะช่วยเชื่อมผนังเซลล์ให้เป็นรูปร่าง และขนาดให้เป็นไปตามลักษณะของพืชแต่ละชนิด และเป็นตัวช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผลด้วย สอดคล้องกับ Hewajulige และคณะ (2003) พบว่าการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ให้สับปะรดสามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลได้ โดยพบว่าสับปะรดที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 1.3 กรัม/ผล แสดงอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าสับปะรดที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 2 กรัม/ผล เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า การฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางใบ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น สามารถลดอาการไส้สีน้ำตาลและอาการฉ่ำน้ำของสับปะรดได้เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดในชุดควบคุม และสับปะรดที่ได้รับ 3 กรัม/ต้น นอกจากนี้พบว่าสับปะรดที่ได้รับแคลเซียมมีการสะสมแคลเซียมทั้งในเปลือกและเนื้อผลมากกว่าสับปะรดที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นแคลเซียม เช่นเดียวกับการศึกษาของ อิษยา และจริงแท้ (2551) ที่รายงานว่าสับปะรดพันธุ์ที่มีแคลเซียมสูงพบอาการไส้สีน้ำตาลต่ำ ทั้งนี้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเป็นสับปะรดที่มีแคลเซียมสูงกว่าพันธุ์ควีน ดังนั้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจึงต้านทานต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดีกว่าสับปะรดพันธุ์ควีน

ธาตุโบรอนมีบทบาทเกี่ยวข้องต่อการดึงดูดธาตุอาหารพืช ช่วยให้พืชดูดธาตุแคลเซียมและไนโตรเจนไปใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้โบรอนยังบทบาทในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากโบรอนเป็นโคแฟคเตอร์ที่สำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ซึ่งโบรอนเข้าสู่พืชในรูปของบอเรทไอออน (H_2BO_3) นอกจากนี้โบรอนทำหน้าที่สำคัญช่วยในการเชื่อมต่อของเพกตินเข้ากับผนังเซลล์หลัก และโบรอนยังทำหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล ช่วยในการแบ่งเซลล์ ผลจากการศึกษานี้ พบว่าการใช้โบรอนฉีดพ่นทางใบสามารถลดอาการฉ่ำน้ำและอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในระหว่างการเก็บรักษาได้ แต่มีประสิทธิภาพในการลดอาการฉ่ำน้ำและอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าการใช้แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน 0.4% ช่วยลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ดีเท่ากับการใช้แคลเซียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ซึ่ง Wojcik และคณะ (2008) พบว่าแอปเปิ้ลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอน มีคุณภาพผล เช่น สีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และมีการสะสมโบรอนที่เปลือกของผลแอปเปิ้ล มากกว่าแอปเปิ้ลที่ไม่ได้รับโบรอน สอดคล้องกับผลการศึกษาในต้นมะเขือเทศที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอนจะมีผลผลิตสูง และผลมะเขือเทศมีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นด้วยโบรอน (Huang และSnapp, 2009) แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ หรือโบรอนให้กับสับปะรดทางใบก่อนการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อคุณภาพในการรับประทานเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ แต่ผลสับปะรดที่ได้รับธาตุอาหารทางใบมีปริมาณ phenolic มากกว่าสับปะรดในชุดควบคุมเล็กน้อย

ซิลิกอนถูกเก็บไว้ที่ผนังเซลล์ของพืช และจะช่วยทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงและยืดหยุ่น มีหลายหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าซิลิกอนอาจจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นกลไกความต้านทานโรค โดยทำให้เกิดการสะสมลิกนิน และสารประกอบฟีนอล (Esptein, 1999; Stamatakis และคณะ, 2003; Francois และคณะ, 2005) จากการฉีดพ่นซิลิกอนความเข้มข้นต่างๆ ให้กับสับปะรดทางใบในระหว่างการเจริญเติบโต พบว่าสับปะรดที่พ่นซิลิกอนความเข้มข้น 10 mM เกิดอาการฉ่ำน้ำน้อยที่สุด และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่การพ่นซิลิกอนไม่มีผลช่วยลดการเกิดไส้สีน้ำตาล และทำให้สับปะรดมีคุณภาพในการรับประทานไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดในชุดควบคุม เช่น ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนในส่วนของเปลือกและเนื้อใกล้แกนของสับปะรด พบว่าซิลิกอนที่พบในเนื้อเยื่อของพืชทั้งสองมีปริมาณน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (เนื่องจากไม่สามารถตรวจพบซิลิกอนด้วยวิธีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโบรอน) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าซิลิกอนที่ให้ไปทางใบอาจเคลื่อนย้ายไปยังส่วนของผลได้ช้าทำให้มีการสะสมซิลิกอนที่ผลน้อย

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. ความผิดปกติทางสรีระวิทยาของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ อาการฉ่ำน้ำและอาการไส้สีน้ำตาล โดยอาการฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรดเกิดขึ้นก่อนอาการไส้สีน้ำตาล โดยพบอาการฉ่ำน้ำในสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำนาน 14 วัน แล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 2 วัน ซึ่งความรุนแรงของอาการฉ่ำน้ำพบมากขึ้นในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา และวันที่ 28+2 ตามลำดับ

2. สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียทั้งที่ได้รับการฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับโบรอน ความเข้มข้น 0.4% สามารถลดอาการฉ่ำน้ำได้เมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดในชุดควบคุม (ประมาณ 43% ในวันที่ 14+2) สับปะรดที่นำมาศึกษาแสดงอาการไส้สีน้ำตาลหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำนาน 28 วัน และนำมาวางต่อที่อุณหภูมิห้องต่ออีก 2 วัน (28+2 วัน) แต่สับปะรดที่ได้รับการฉีดพ่นธาตุแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น เพียงอย่างเดียว หรือ แคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม/ต้น ร่วมกับโบรอน ความเข้มข้น 0.4% ลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดระหว่างการเก็บรักษาได้มากกว่า 50%

3. การพ่นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียด้วยซิลิกอน ความเข้มข้น 10, 20, 40 และ 60 mM หลังการติดดอก 1 เดือน ทุกๆ 15 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยว (5 ครั้ง) พบว่า สับปะรดที่พ่นซิลิกอน ความเข้มข้น 10 mM เกิดอาการฉ่ำน้ำน้อยที่สุดอย่างไม่มีนัยสำคัญ และการพ่นซิลิกอนไม่มีสามารถลดการเกิดไส้สีน้ำตาล นอกจากนี้สับปะรดที่พ่นด้วยซิลิกอนความเข้มข้นต่างๆ มีคุณภาพในการรับประทาน เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การให้แคลเซียมคลอไรด์ หรือแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับโบรอน ในระหว่างที่ผลสับปะรดกำลังพัฒนาจนกระทั่งเก็บเกี่ยว เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการเกิดไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพในการรับประทาน ดังนั้นการควบคุมการเกิดอาการฉ่ำน้ำหรืออาการไส้สีน้ำตาลในระหว่างการขนส่ง หรือการเก็บรักษาอาจมีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้ามีการจัดการด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวร่วมด้วย เช่น การจุ่มสารละลายเมธิลจัสโมเนต และการเคลือบผิว เป็นต้น

บรรณานุกรม

จริงแท้ ศิริพานิช, 2549, ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช, โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 453 หน้า.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2536, ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดและวิธีป้องกัน, วิทยาสารเกษตรศาสตร์ ปีที่ 27(4), : 421-430.

จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541, สับปะรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 196 หน้า

ทวีศักดิ์ แสงอุดม, จงวัฒนา พุ่มหิรัญ, สมเกียรติ นวลละออง, บุญเกื้อ ทองแท้, ไพรัตน์ ช่วยเต็ม และเบญจมาส รัตนชินกร, 2544, ศึกษาการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของสับปะรดพันธ์ตราดสีทอง, เอกสารเผยแพร่ศูนย์วิจัยพืชสวนวิจัยจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน จันทบุรี, 2 หน้า.

ปณิธาน ส่องประทีป, 2533, ความสัมพันธ์ของลักษณะการลอยน้ำกับวัยและการเกิด chilling injury ของผลสับปะรดพันธ์ปัตตาเวีย, ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 26 หน้า.

รัศมี ฟักกลัด, 2531, อิทธิพลของระดับอุณหภูมิต่างๆ ในการเก็บรักษาสับปะรดต่อการเกิด chilling injury, ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 19 หน้า.

รายงานการติดตามการส่งออกผลไม้สดเข้าสู่สหรัฐอเมริการะยะที่ 2 และการศึกษาติดตามข้อมูลด้านการตลาดและการผลิตเบื้องต้นของผลไม้ไทยทั้ง 6 ชนิด ในตลาดผลไม้สหรัฐอเมริกา, 2551,เสนอต่อ สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำกรุงวอชิงตัน ดี.ซี.

ศิวพร มินรินทร์ และ พีระศักดิ์ ฉายประสาท, 2553, การศึกษาผลของการใช้สารละลายแคลเซียม-โบรอนที่มีผลต่อการลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาและเพิ่มคุณภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง, 41: 1 (พิเศษ) 51-54.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2552. [สืบค้น] http://www.doae.go.th [1 กันยายน 2554]

อภิรดี อุทัยรัตนกิจ ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย และวาริช ศรีละออง, 2554, การตอบสนองของระยะความแก่ต่อการฉายรังสีแกมมาของผลสับปะรดตราดสีทอง, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (3 พิเศษ): 69-72.

อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต, 2543, การเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตภายใต้สภาพบรรยากาศควบคุม, ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 32 หน้า.

อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต, 2547, อนุมูลอิสระและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 92 หน้า.

อิษยา ภู่สิทธิกุล และ จริงแท้ ศิริพานิช, 2551, ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมต่ออาการเกิดไส้สีน้ำตาลของสับปะรด, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 39 (3): 176-179.

Abdullah, H., Rohaya, M.A., and Zaipun, M.Z., 1985, Effect of modified atmosphere on black heart development and ascorbic acid content in Mauritius pineapple (*Ananas comosus* cv. Mauritius) during storage at low temperature. ASEAN Food Journal, 1(1): 15-18.

Akamine, E.K., Good, T., Steepy, T., and Iwaoka, N., 1975, Control of endogenous brown spots of fresh pineapple in postharvest handling. Journal of American Society of Horticultural Science, 100: 60-65.

Barthomew, D.D. and Kadzimin, S.B., 1997, Pineapple, pp 113-156. In Alvim, P. and Kozlowski, T.T. (eds.) Ecophysiology of Tropical Crops. Academic Press, New York.

Elmer, P.A.G., Spiers, T.M., and Wood, P.N., 2007, Effect of pre-harvest foliar calcium spray on fruits levels and brown rot of peaches, Crop Production, 26: 11-18.

Epstein, E., 1999, Silicon, Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50: 641:664.

Ferguson, I.B. and Droback, B.K., 1986, Calcium and the regulation of plant growth and senescence. Horticultural Science, 23: 262-266.

François, F., Rémus-Borel, W., Menzies, J.G., and Bélanger, R.R., 2005, Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi, FEMS Microbiology Letters, 249 (1): 1-6.

Herath, H.M.I., Bandara, D.C., and Banda, D.M.G.A., 2003, Effect of pre-harvest calcium fertilizer application on the control of internal browning development during the cold storage of pineapple “Mauritius” (*Ananas comosus* (L.) Merr.), Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 78: 762-767.

Herath, H.M.I., Bandara, D.C., and Banda, D.N.G.A., 2000, Effect of calcium and potassium fertilizer applied at the time of planting on the control of internal browning under cold storage of Mauritius pineapple. Tropical Agricultural Research, 12: 352-359.

Hewajulige, I.G, Wijeratnam, S.W., and Wijesundera, R.L., 2006, Pre-harvest application of calcium to control black heart disorder in Mauritius pineapples during low-temperature storage, Journal of the Science of Food and Agriculture, 86: 420-424.

Hewajulige, I.G.N., Wijeratnam, R.S.W., Wijesundera, R.L.C., and Abeysekere, M., 2003, Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. Journal of the Science of Food and Agriculture, 83: 1454-1454.

Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F.and Prange, R.K., 1999, Improving the thiobarbituric acid-reactive substance assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds, Planta, 207: 604-622.

Huang, J., and Snapp, S.S., 2009, Potassium and boron nutrition enhance fruit quality in Midwest fresh market tomatoes, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40 (11-12): 1937-1952.

Kader, A.A., 1996, Recommendation for maintaining postharvest quality of pineapple. Perishable Handling Newsletter, 88: 19-20.

Kunoh, H., and Ishizaki, H., 1975, Silicon levels near penetration sites of fungi on wheat barley, cucumber and morning glory leaves, Physiology and Plant Pathology, 5: 283-287.

Limpun-Udom, S., 2001, Influence of water on incidence of translucent flesh disorder in mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. M.Sc. Thesis Prince of Songkla University, Songkla.

Netto, A.F.D.C., Clement, E., and Scapim, C.A., 2005, Cold storage of pineapple 'smooth cayenne' under different types of packaging. J. Food Technol., 3: 242-246.

Paull, R.E, and Rohrbach, K.G., 1985, Symptom development of chilling injury in pineapple fruit (*Ananas comosus*). Journal of American Society of Horticultural Science, 110: 100-105.

Pechkeo, S., Sdoodee, S., and Nilnond, C., 2007, The effect of calcium and boron sprays on the incidence of translucent flesh disorder and garbage disorder in mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Kasetsart Journal (Nat. Sci.) 41: 621-632.

Poovaiah, B.W., Glenn, G.M. and Reddy A.S.N., 1988, Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. Horticultural Review, 10: 107-152.

Poovaiah, B.W., Molecular and cellular aspects of calcium action in plants. HortSci., 23: 267-271.

Selvarajah, S., Bachot, A.D., and John, P., 2001, Internal browning in cold stored pineapple is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology, 23: 167-170.

Selvarajah, S. and Herath, H.M.W., 1997, Effect of edible coating on some quality and physic-chemical parameters of pineapple during cold storage. Tropical Agricultural Research, 9: 77-89.

Selvarajah, S., Herath, H.M.W., Bandara, D.C. and Banda, D.M.G.A., 1998, Effect of preharvest calcium treatment on postharvest quality of pineapple. Tropical Agricultural Research, 10: 214-224.

Sharma, R.R., and Singh, R., 2009, Low light and low leaf calcium and boron concentrations are associated with fruit pitting- a new disorder in mango (*Mangifera indica* L.) in India. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84(1): 83-86.

Singh, R., Sharma, R.R. and Tyagi, S.K., 2007, Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Frangaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae, 122: 215-220.

Soares, A.G., Trugo, L.C. and Botrel, N., 2005, Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) by preharvest soil application of potassium. Postharvest Biology and Technology, 35 (2): 201-207.

Stammatakis, A., Papadantonakis, N., Lydakis-Simantiris, N. and Kefalas, P., 2003, Effect of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically, ISHS International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment, Acta Horticulturae, 609: 141-147.

Teisson, C., Combres, J.C, Martin, P.P and Marchal, J., 1979, Internal browning of pineapples fruits. Fruits, 34 (4): 245-261.

USDA Nutrient Database for Standard Reference, 2001, [Online]. Available: http://www.nal.usda.gov/fnis/foodcomp/cgi-bin/list_nut_eat.pl [September 2011]

Wang, C.Y. 1989. Chilling injury of fruits and vegetables. Food Review International 5: 209-236.

Wijeratnam, R.S.W., Hewajulige, I.G.N., Wijesundera, R.L.C. and Abeysekere M., 2006, Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple [online] Acta. Hort. 702, Available; http://www.actahort.org/books/702/702_26.htm. [06-02-2014].

Wojcik, P., Wojcik, M. and Klamkowski, K., 2008, Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. Scientia Horticulturae, 116, 58-64.

Zhou, Y. Pan, X., Qu, H. and Underhill, S. J. R., 2014, Low temperature alters plasma membrane lipid composition and ATPase activity of pineapple fruit during blackheart development. J. Bioenerg Biomembr, 46: 59-69.

Zhou, Y., Dahler, J.M., Underhill, S.J.R. and Wills, R.B.H., 2003, Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. Food chemistry, 80: 565-572.