ผลและการวิจารณ์

1. การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ ethephon

เนื่องจากความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้และระยะเวลาในการพ่นสาร ethephon มีความสำคัญต่อคุณภาพของสับปะรด (Hepton, 2003) ดังนั้นในต่างประเทศเช่นสหรัฐอเมริกา (Anonymous, 1977; Hepton and Hodgson, 2003; Paull and Chen, 2003) และออสเตรเลีย (Smith, 1991) จึงมีคำแนะนำและกฎระเบียบในการใช้ ethephon เพื่อเร่งการสุกและลดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลสับปะรด แต่ในประเทศไทยไม่มีกฎระเบียบการใช้ดังกล่าว (จริงแท้, 2544) มีการศึกษาถึงผลกระทบของสาร ethephon ที่มีต่อคุณภาพผลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ปลูกในประเทศไทยอยู่บ้าง ได้แก่การศึกษาของปิยะ (2522) ที่ใช้ความเข้มข้นของ ethephon ที่สูงตั้งแต่ 1,500-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พ่นในปริมาตร 30 มิลลิลิตรต่อผล ซึ่งทำให้คุณภาพด้านผลโดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลหรือปริมาณ TSS ลดลง ขณะที่สุภาพรและคณะ (2542) ซึ่งใช้ความเข้มข้นของ ethephon เพียง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร พ่นในปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อผลกลับทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาในเรื่องผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ ethephon ในแต่ละระยะเวลาหลังพ่นสาร ซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพโดยเฉพาะคุณภาพด้านการบริโภค ในการทดลองนี้จึงศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ ethephon ก่อนนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ศึกษาในขั้นตอนนี้ได้แก่ 0, 125, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พ่นผลสับปะรดที่อายุ 96, 110, 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

จากผลการศึกษาพบว่าทุกความเข้มข้นของ ethephon ที่พ่นขณะผลอายุ 96 และ 110 วันหลังการเร่งดอกทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ต่อปริมาณ TSS และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA แต่ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างต่อปริมาณ TA เมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เมื่อนำ ethephon ไปพ่นผลขณะอายุ 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอก พบว่าทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ในทุกดัชนีที่ศึกษา (ตารางที่ 1) สำหรับรายละเอียดของผลการศึกษาที่ได้ซึ่งแยกตามอายุของผลที่เริ่มพ่นสารมีดังต่อไปนี้

ก. การพ่น ethephon ที่ผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณ TSS และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA มีค่าสูงสุด (14.1°Brix และ 23.42 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ ethephon ที่ความเข้มข้นอื่น

ข. Ethephon ทุกความเข้มข้นที่ใช้พ่นสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ TA การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon สูงกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

ค. การใช้ ethephon พ่นผลอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก พบว่าสับปะรดที่พ่นด้วย ethephon ที่ระดับความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณ TSS และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA มากที่สุดคือ 16.4°Brix และ 32.75 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ TA มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.52% citric acid ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของคุณภาพที่ศึกษาระหว่างผลที่พ่นด้วย ethephon เข้มข้น 0 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร

ง. การพ่นสาร ethephon ให้กับสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณ TSS และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA มีปริมาณมากที่สุดคือ 13.8°Brix และ 23.81 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ TA มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.59% citric acid สำหรับปริมาณ TSS ของผลที่พ่นด้วย ethephon เข้มข้น 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และน้อยกว่าผลที่พ่นด้วย ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้ ethephon เข้มข้น 0–250 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณ TA และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

ตารางที่ 1 ผลการใช้ ethephon ที่ระดับความเข้มข้น 0, 125, 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อปริมาณ TA ปริมาณ TSS และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 96, 110, 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวขณะผลสับปะรดอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ความเข้มข้นของ ethephon (mg/l)	คุณภาพผลที่ศึกษา			คุณภาพผลที่ศึกษา		
	TSS (°Brix)	TA (% citric acid)	TSS:TA	TSS (°Brix)	TA (% citric acid)	TSS:TA
	พ่นสารเมื่อ 96 วันหลังการเร่งดอก			*พ่นสารเมื่อ 110 วันหลังการเร่งดอก*		
0	12.5b	0.61	20.50b	11.3b	0.68	17.16c
125	12.4b	0.65	19.03bc	13.1a	0.60	22.82a
250	11.5c	0.62	18.51c	13.2a	0.63	21.36ab
500	14.1a	0.61	23.42a	13.2a	0.70	19.02bc
เฉลี่ย	12.6	0.62	20.36	12.7	0.65	20.09
F-Test	**	ns	**	**	ns	**
CV (%)	7.0	7.7	9.0	9.3	14.7	20.7
	พ่นสารเมื่อ 124 วันหลังการเร่งดอก			*พ่นสารเมื่อ 138 วันหลังการเร่งดอก*		
0	11.7c	0.67a	17.73c	11.8c	0.68a	17.55b
125	12.6c	0.66a	20.11bc	12.8b	0.72a	17.92b
250	14.1b	0.59ab	23.95b	12.8b	0.68a	19.13b
500	16.4a	0.52b	32.75a	13.8a	0.59b	23.81a
เฉลี่ย	13.7	0.61	23.63	12.8	0.66	19.60
F-Test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.7	15.2	25.0	7.2	8.8	13.2

หมายเหตุ เครื่องหมาย (ns) แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ, ตัวเลขจากการวิเคราะห์คุณภาพที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 95% โดยวิธี DMRT

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรกับผลสับปะรดที่อายุต่างกันทำให้เกิดความแตกต่างอย่างชัดเจนของปริมาณ TSS ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลดีต่อคุณภาพด้านการบริโภค คือทำให้ปริมาณ TSS ของผลที่พ่นสารในทุกอายุเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าคิดเป็น 12.8, 16.9, 40.8 และ 16.5% ตามลำดับอายุที่เริ่มพ่นสาร ethephon ผลการทดลองที่ได้นี้ต่างจากผลของปิยะ (2522) ซึ่งใช้ความเข้มข้นของ ethephon ที่สูงกว่าคือ 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นสับปะรดอายุ 84-140 วันหลังการเร่งดอกแต่ไม่ทำให้ปริมาณ TSS แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า นอกจากนี้การใช้ความเข้มข้นที่ 3000 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นสับปะรดอายุ 140 วันหลังการเร่งดอกกลับทำให้ปริมาณ TSS ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TSS ที่ได้จากการพ่นด้วย ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกในการทดลองนี้กับผลการศึกษาของสุภาพรและคณะ (2542) ซึ่งใช้ ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นผล 2 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่าปริมาณ TSS ในการทดลองนี้เพิ่มขึ้น 8.5% เมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS นี้มากกว่าที่สุภาพรและคณะ (2542) รายงานไว้ว่าปริมาณ TSS เพิ่มขึ้น 2.8% แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่ใช้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS

สำหรับปริมาณ TA สรุปได้ว่าทุกความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ศึกษาไม่ทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นขณะอายุ 96 และ 110 วันหลังการเร่งดอกแตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า แต่การใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นสับปะรดอายุ 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอกทำให้ปริมาณ TA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและผลที่ใช้ ethephon ที่ระดับความเข้มข้นอื่น การที่ปริมาณ TA ของผลที่พ่นด้วย ethephon ขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่านี้เป็นไปในทำนองเดียวกับปิยะ (2522) ซึ่งพบว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นผลอายุ 98 วันหลังการเร่งดอกไม่ทำให้ปริมาณ TA แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า แต่การไม่พบความแตกต่างของปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon ที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกนี้ต่างจากผลของปิยะ (2522) ซึ่งพบว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นผลอายุ 112 วันหลังการเร่งดอกทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า นอกจากนี้การที่ปริมาณ TA ในผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่านั้นตรงข้ามกับผลของปิยะ (2522) ซึ่งพบว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นผลอายุ 126 และ 140 วันหลังการเร่งดอก ทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

จากการเปรียบเทียบการใช้ ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ใช้พ่นผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและพ่นก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ (สุภาพรและคณะ, 2542) นั้นให้ผลในทำนองเดียวกันคือไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TA ขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นและระยะเวลาการพ่น ethephon

สำหรับอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ซึ่งมีความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปริมาณ TSS และปริมาณ TA (Paull and Chen, 2003) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการพ่นสาร ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกไม่ทำให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งสุภาพรและคณะ (2542) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่ถ้าใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าสามารถทำให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าในทุกอายุของสับปะรดที่พ่นสาร

ผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรในทุกอายุที่พ่นสารทำให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพภายในซึ่งเก็บเกี่ยวที่ 152 วันหลังการเร่งดอกมากที่สุด และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะปริมาณ TSS ไม่เป็นผลเสียต่อคุณภาพด้านการบริโภค จึงใช้ความเข้มข้นดังกล่าวนี้ในการศึกษาและติดตามผลของ ethephon ที่มีต่อคุณภาพปริมาณของน้ำตาลชนิดหลักในสับปะรด และเอนไซม์ sucrose synthase ในแต่ละระยะเวลาภายหลังการพ่น ethephon ขณะผลอายุต่างๆกัน และเมื่อพิจารณาในเรื่องคุณภาพผลซึ่งพบว่าการพ่นสาร ethephon ที่ผลสับปะรดสามารถเร่งกระบวนการเก็บเกี่ยวให้เร็วขึ้นได้ (ปิยะ, 2522; สุภาพรและคณะ, 2542; Hepton, 2003) ดังนั้นจะนำผลของคุณภาพที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนต่อไปมาใช้พิจารณาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

2. <u>การศึกษาผลของ ethephon และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพ ปริมาณน้ำตาล และเอนไซม์ sucrose synthase ของสับปะรด</u>

ผลการศึกษาในหัวข้อที่ 1 ซึ่งพบว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพภายในผลมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ ethephon ที่ระดับความเข้มข้นอื่นและน้ำเปล่า แต่เนื่องจากระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมภายหลังจากการใช้ ethephon เพื่อเร่งการสุกของสับปะรด (ปิยะ, 2522; สุภาพร และคณะ, 2542; Hepton, 2003; Norman, 1978; Paull and Chen, 2003; Wee and Ng, 1971) ยังไม่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองแบบ split plot เพื่อศึกษาทั้ง 2 ปัจจัยไปพร้อมๆกันคือ ปัจจัยในเรื่องความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยทำการพ่นสับปะรดที่อายุ 96, 110, 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเรียงลำดับตามการเจริญ 4 ระยะคือ ปลายตาขาว เริ่มตาดำ ปลายตาดำเข้าสู่ตาขยาย และปลายตาขยายเข้าสู่ตาเปิด (สมศักดิ์, 2535) (ตารางผนวกที่ 1) และเก็บผล 1-2 สัปดาห์หลังพ่นสารเริ่มตั้งแต่ 110 วันหลังการเร่งดอกจนกระทั่ง 152 วันหลังการเร่งดอกซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลในแปลง ผลที่เก็บเกี่ยวตามระยะเวลาที่กำหนดจะถูกนำไปศึกษาผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพทั้งภายนอกและภายใน ปริมาณน้ำตาลและกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เช่นแสงแดดซึ่งอาจเผาผลทำให้เกิดความเสียหาย ระยะเวลาการพ่นสาร และความสม่ำเสมอของการพ่นสารเป็นต้น ดังนั้นจึงพยายามควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้มากที่สุด โดยการเลือกแปลงซึ่งเป็นแปลงของเกษตรกรที่เป็นลูกไร่ของโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดซึ่งมีการดูแลตามคำแนะนำของโรงงาน ผลที่นำมาศึกษาทั้งหมดไม่ถูกไขหรือแคะจุกเพื่อไม่ทำลายเนื้อเยื่อเจริญบริเวณจุก และป้องกันการตกค้างของไนเตรทในกรณีดินที่ปลูกสับปะรดมีไนเตรทสูง (Hepton, 2003) รวมทั้งหลังการเร่งดอกไม่มีการใส่ปุ๋ยไนเตรทเพิ่มในแปลง เพื่อป้องกันการตกค้างของไนเตรทซึ่งเป็นสิ่งที่โรงงานแปรรูปสับปะรดกระป๋องไม่ต้องการ (เดช, 2536; บริษัท โดลไทยแลนด์จำกัด, ม.ป.ป.; อาภัสรา, 2535) และเนื่องจากระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในช่วงฤดูแล้งซึ่งไม่มีฝน (ภาพผนวกที่ 1) จึงต้องให้น้ำแก่สับปะรดในบางครั้ง เพื่อป้องกันการขาดน้ำของสับปะรดและคลุมผลเพื่อป้องกันการถูกแดดเผา การที่สับปะรดเป็นพืชแบบ Crassulacean acid metabolism (CAM) ซึ่งเปิดปากใบเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซในเวลากลางคืน รวมทั้งอุณหภูมิขณะพ่นสารมีผลต่อความสำเร็จในการใช้ ethephon (Saltveit, 1999) จึงทำการพ่นสารในเวลาเย็น และพ่นโดยรอบผลเพื่อให้ได้รับผลของ ethephon อย่างทั่วถึง โดย

พยายามหลีกเลี่ยงการพ่นบริเวณใจกลางจุก เพื่อป้องกันผลกระทบซึ่งอาจเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อเจริญบริเวณจุก ผลที่ได้จากการทดลองมีดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ผลของ ethephon ต่อคุณภาพภายนอก

คุณภาพภายนอกที่ทำการศึกษาได้แก่จุกและผล โดยผลการทดลองที่มีต่อคุณภาพของจุกได้แก่ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของจุกจากผลที่ผ่านการพ่นและไม่พ่นสาร ethephon แสดงในภาพที่ 4-7 (ตารางผนวกที่ 3-5) สำหรับคุณภาพภายนอกของผลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความกว้าง ความยาว น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนของผลที่ผ่านการพ่นและไม่พ่นสาร ethephon แสดงในภาพที่ 8-11 (ตารางผนวกที่ 6-9) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ผลของสาร ethephon ที่มีต่อคุณภาพภายนอกของจุก

เนื่องจากการให้สาร ethephon แก่ผลสับปะรดถ้ากระทบกระเทือนการพัฒนาของจุกอาจมีผลต่อคุณภาพหรือการเจริญของผลได้ จึงทำการศึกษาคุณภาพของจุกภายหลังการพ่นสาร เพื่อติดตามถึงผลกระทบของ ethephon ซึ่งผลที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของจุกที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 4 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยคุณภาพภายนอกของจุกแตกต่างไปจากคุณภาพภายนอกของจุกที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักจุกเฉลี่ย มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ทั้งนี้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักจุกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยจุกมีความกว้าง ความยาวและน้ำหนักเรียงตามลำดับดังนี้คือ 13.5 เซนติเมตร 14.3 เซนติเมตร และ 162.1 กรัม

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

ข. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของจุกที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 5 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยคุณภาพภายนอกของจุกแตกต่างไปจากคุณภาพภายนอกของจุกที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ความกว้างและความยาวจุกเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ความกว้างและความยาวจุกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยจุกมีความกว้างและความยาวเฉลี่ยเรียงตามลำดับดังนี้คือ 13.5 เซนติเมตร และ 13.4 เซนติเมตร

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

ค. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของจุกที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 6 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยคุณภาพภายนอกของจุกแตกต่างไปจากคุณภาพภายนอกของจุกที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักจุกเฉลี่ย มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักจุกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยจุกมีความกว้าง ความยาวและน้ำหนักเรียงตามลำดับดังนี้คือ 14.0 เซนติเมตร 14.5 เซนติเมตร และ 169.0 กรัม

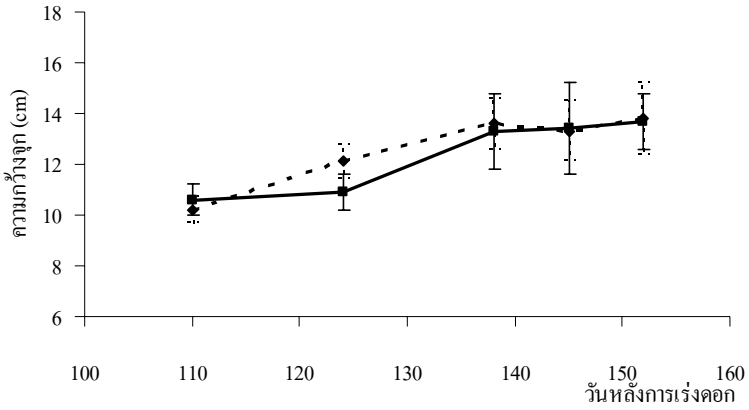
ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

ง. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของจุกที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 7 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยคุณภาพภายนอกของจุกแตกต่างไปจากคุณภาพภายนอกของจุกที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

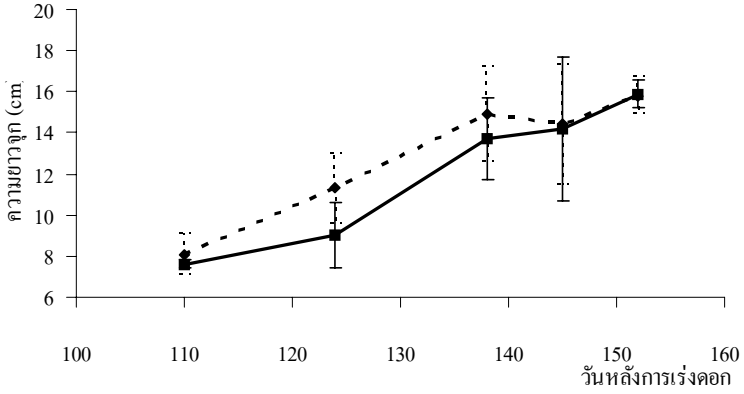
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพจุกที่เก็บเกี่ยวขณะผลอายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

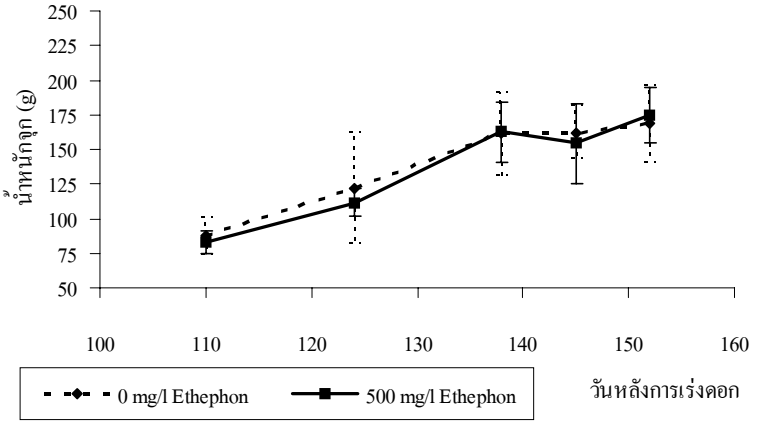
ก)



ข)

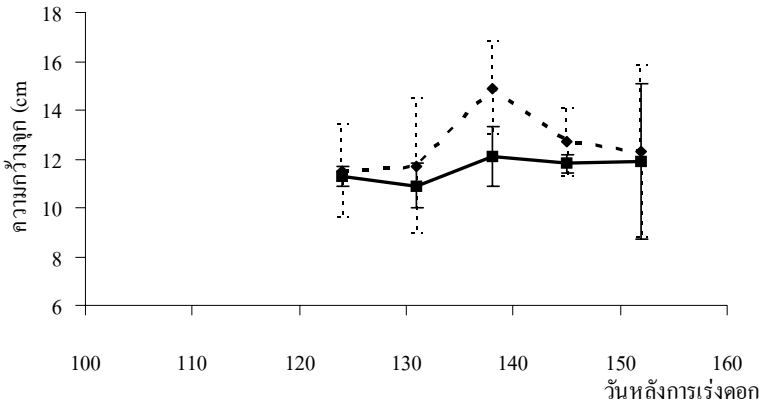


ค)

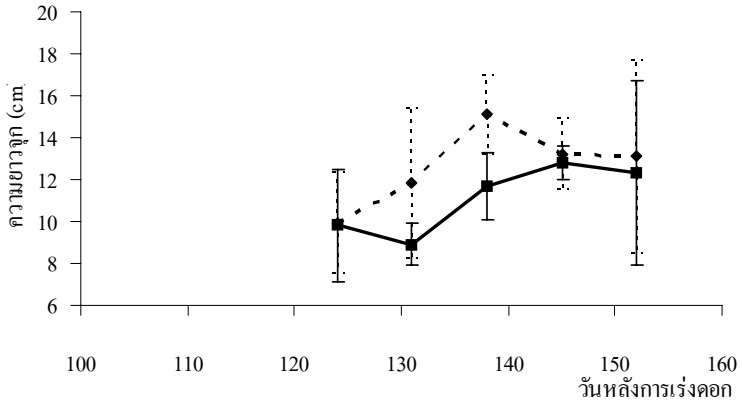


ภาพที่ 4 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างจุก (ก) ความยาวจุก (ข) และน้ำหนักจุก (ค) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสาร ถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

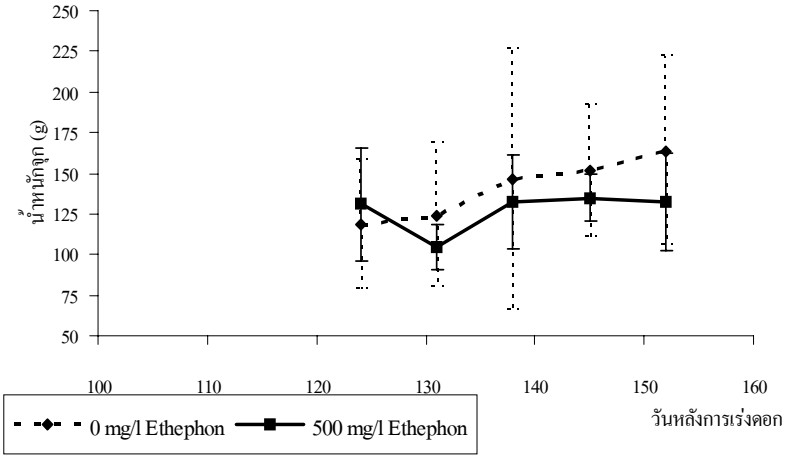
ก)



ข)

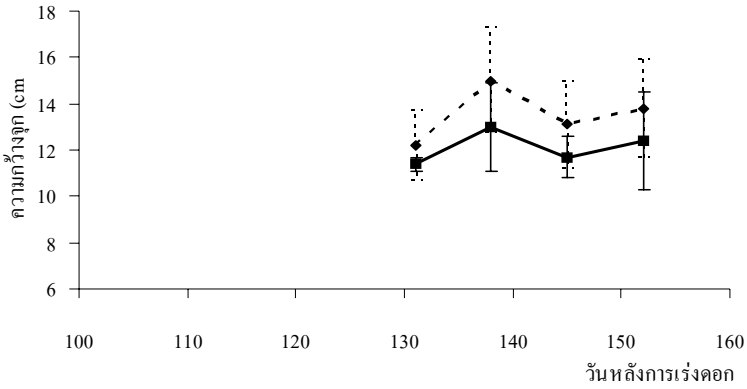


ค)

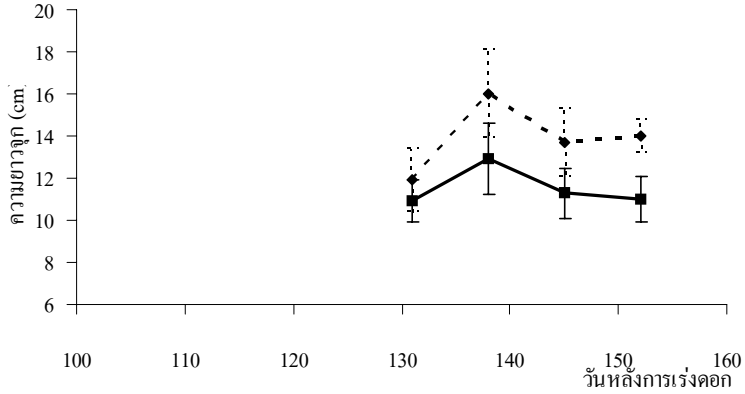


ภาพที่ 5 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างจุก (ก) ความยาวจุก (ข) และน้ำหนักจุก (ค) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสาร ถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

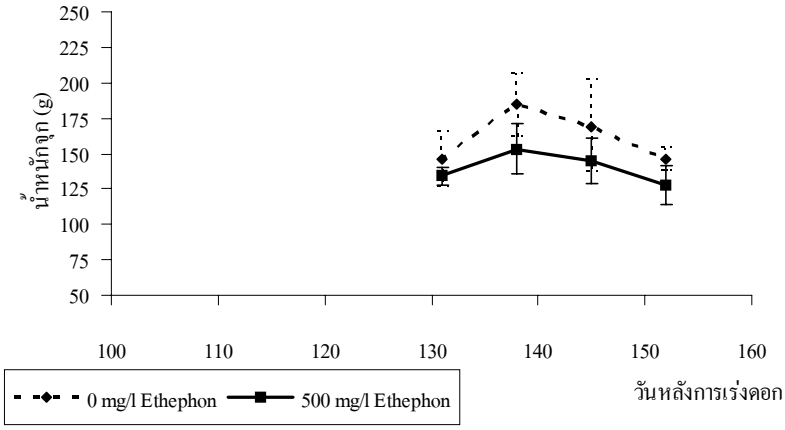
ก)



ข)

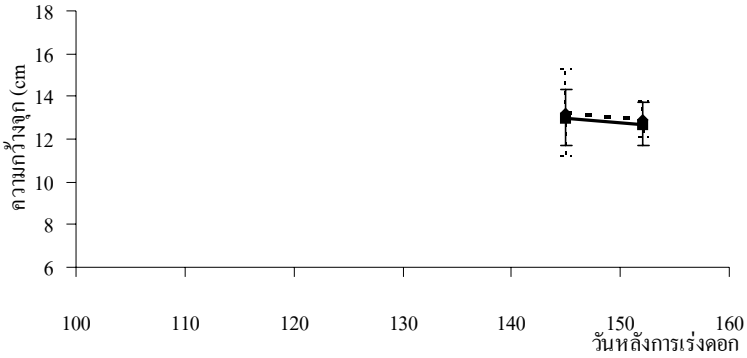


ค)

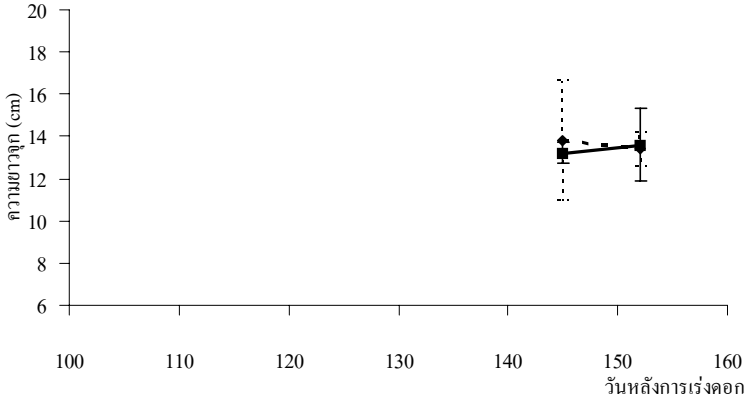


ภาพที่ 6 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างจุก (ก) ความยาวจุก (ข) และน้ำหนักจุก (ค) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสาร ถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

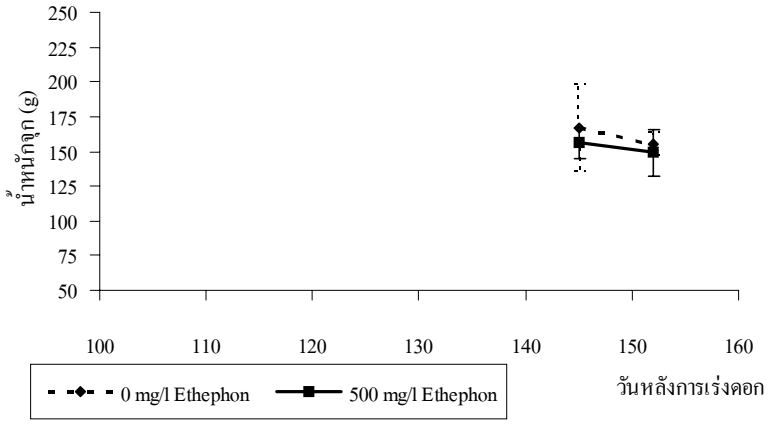
ก)



ข)



ค)



ภาพที่ 7 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างจุก (ก) ความยาวจุก (ข) และน้ำหนักจุก (ค) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสาร ถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

จากการพ่นสาร ethephon ในระยะเวลาต่างๆกันทั้ง 4 ระยะเวลาจะเห็นว่า ปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของ ethephon ไม่ทำให้ขนาดซึ่งได้แก่ความกว้างและความยาว รวมถึงน้ำหนักเฉลี่ยของจุกเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งต่างจากรายงานของปิยะ (2522) ที่พบว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักจุกลดลงในทุกอายุที่พ่นสาร (84-140 วันหลังการเร่งดอก) เมื่อเทียบกับจุกของผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่สูงมีผลต่อเนื้อเยื่อเจริญบริเวณจุก ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากสุภาพรและคณะ (2542) ซึ่งพบว่าน้ำหนักและความกว้างจุกลดลงเมื่อใช้สาร ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เร่งการสุกของผลก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ แต่ความยาวจุกไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า การที่สุภาพรและคณะ (2542) ซึ่งใช้ความเข้มข้นน้อยแต่ทำให้ความกว้างและน้ำหนักจุกลดลงอาจมีสาเหตุมาจากวิธีการพ่นสาร ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำอย่างระมัดระวังและหลีกเลี่ยงการพ่นโดนใจกลางหรือยอดของจุกซึ่งมีเนื้อเยื่อเจริญอยู่ ดังนั้นจึงทำให้สาร ethephon ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุกเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

สำหรับปัจจัยเรื่องระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าเมื่อสับปะรดมีอายุเพิ่มขึ้น ขนาดและน้ำหนักของจุกก็เพิ่มขึ้นตามอายุผล และเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสับปะรดมีอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นจะคงที่จนกระทั่งวันสุดท้ายที่เก็บเกี่ยว จึงเป็นการยืนยันว่าขณะสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกเป็นระยะที่จุกมีการเจริญสูงสุด และจากนั้นจะพักตัว (Bartholomew *et al*., 2003) การที่จุกเจริญสูงสุดที่ 138 วันหลังการเร่งดอกมีความหมายต่อผลโดยเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าผลสับปะรดใกล้ถึงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (Paull and Reyes, 1996)

การที่ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว แสดงว่าการพ่น ethephon ด้วยความเข้มข้นและวิธีการพ่นเช่นนี้ไม่มีผลต่อเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของจุก แม้ว่าระหว่างการพ่นสารจะมีการฟุ้งกระจายของสาร แต่เนื่องจากจุกของสับปะรดมีใบซ้อนทับกันหลายชั้นจึงอาจช่วยป้องกันไม่ให้ละอองของ ethephon ตกลงไปแล้วก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อจุกของสับปะรดได้ การไม่พบความเปลี่ยนแปลงของขนาดของจุกเป็นผลดีต่อสับปะรด คือ จุกที่กว้างให้เกิดร่มเงาตามธรรมชาติกับผลสับปะรด เป็นการป้องกันไม่ให้สับปะรดถูกแดดเผาซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกษตรกรไม่สามารถขายผลผลิตได้ เพราะเซลล์ของสับปะรดบริเวณดังกล่าวจะตาย เนื้อของบริเวณนั้นจะยุบลงไปและเกิดการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุให้บริเวณดังกล่าวจะถูกแมลงและเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย (Hepton, 2003) และเป็นการช่วยให้เกษตรกรประหยัดค่าใช้จ่ายในการคลุมผลในฤดูแล้ง (บริษัท โดลไทยแลนด์ จำกัด, ม.ป.ป.)

นอกจากนี้การที่สับปะรดมีจุกใหญ่เป็นการช่วยไม่ให้เนื้อสับปะรดใสฉ่ำน้ำ (translucent) ซึ่งเป็นสิ่งที่โรงงานไม่ต้องการ (Paull and Reyes, 1996) และจุกซึ่งผ่านการพ่น ethephon ด้วยวิธีดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ปลูกในรุ่นต่อไปได้ จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องหน่อพันธุ์สับปะรดด้วย

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พ่นโดยรอบผลตั้งแต่ยังเป็นผลอ่อนจนถึงระยะที่ผลเจริญเต็มวัยและใกล้สุก ไม่ทำให้การพัฒนาของจุกแตกต่างจากจุกของผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

2.1.2 ผลของสาร ethephon ที่มีต่อคุณภาพภายนอกของผล

คุณภาพภายนอกของผลเป็นสิ่งที่เกษตรกรคำนึงถึงเนื่องจากเป็นการบ่งชี้ในเรื่องของราคา โดยเฉพาะการจำหน่ายเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์การรับซื้อและประเมินราคาไว้ชัดเจน โดยเฉพาะเกณฑ์ในเรื่องของขนาดและน้ำหนักผล ทั้งนี้คุณภาพภายนอกที่ทำการศึกษาผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ได้แก่ขนาด น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล ซึ่งศึกษาภายหลังการพ่นสาร ethephon เมื่อผลสับปะรดอายุ 96, 110, 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอกเช่นกันโดย

ก. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของผลที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 8 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ความยาวเฉลี่ยของผลยาวกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยของผลที่พ่นด้วย ethephon กว้างกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ความกว้าง ความยาว และน้ำหนักผลเฉลี่ย รวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ทั้งนี้ความกว้าง ความยาว น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยผลมีความกว้าง ความยาว น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยสูงสุดเรียงตามลำดับดังนี้คือ 12.1 เซนติเมตร 15.6 เซนติเมตร 1229.2 กรัม และ 2.59 เซนติเมตร

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

ข. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของผลที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 9 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้คุณภาพภายนอกของผลที่พ่นด้วย ethephon ที่ทำการศึกษาแตกต่างไปจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้น้ำหนักผล และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก และคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยผลมีน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยสูงสุดเรียงตามลำดับดังนี้คือ 1149.8 กรัม และ 2.47 เซนติเมตร

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

ค. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของผลที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 10 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้คุณภาพภายนอกของผลที่พ่นด้วย ethephon ที่ทำการศึกษาแตกต่างไปจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

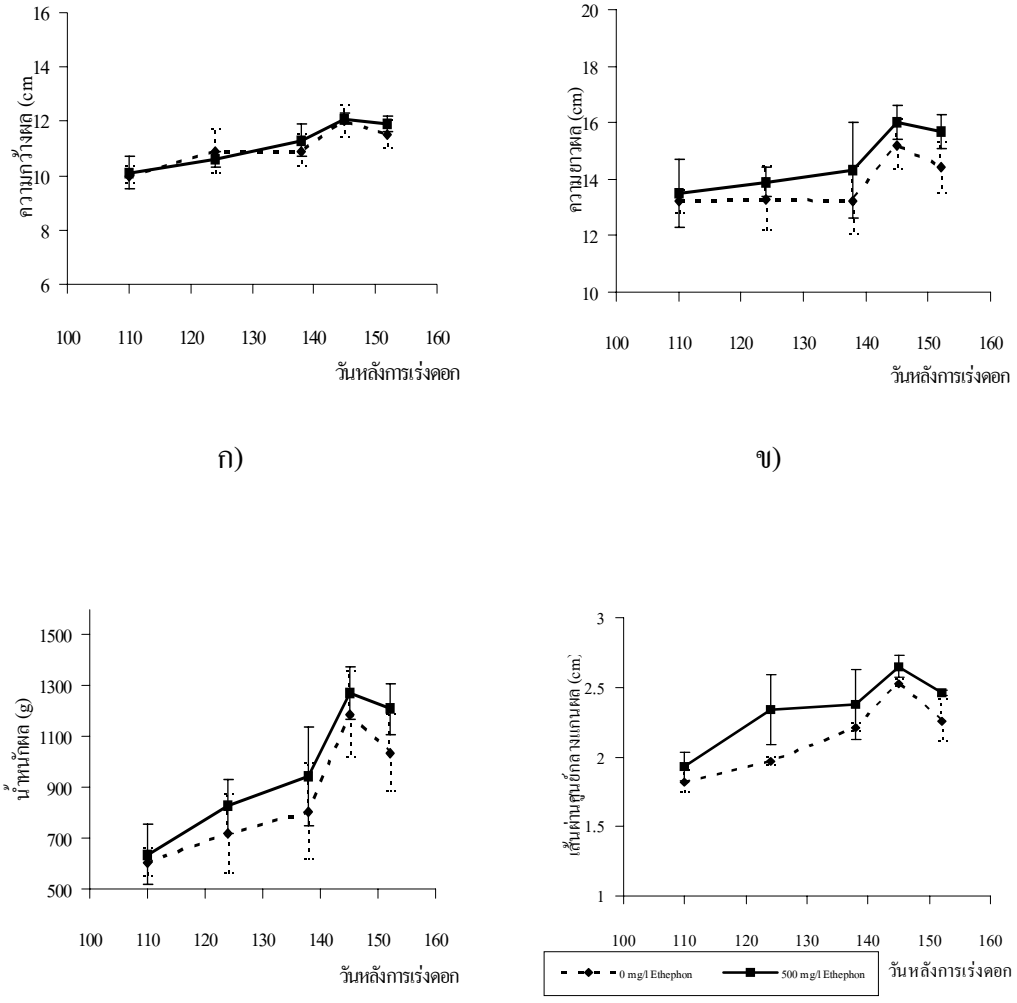
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ความกว้าง น้ำหนักผล และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ความกว้าง น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก และคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก โดยผลมีความกว้าง น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลเฉลี่ยสูงสุดเรียงตามลำดับดังนี้คือ 11.8 เซนติเมตร 1095.0 กรัม และ 2.43 เซนติเมตร

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา

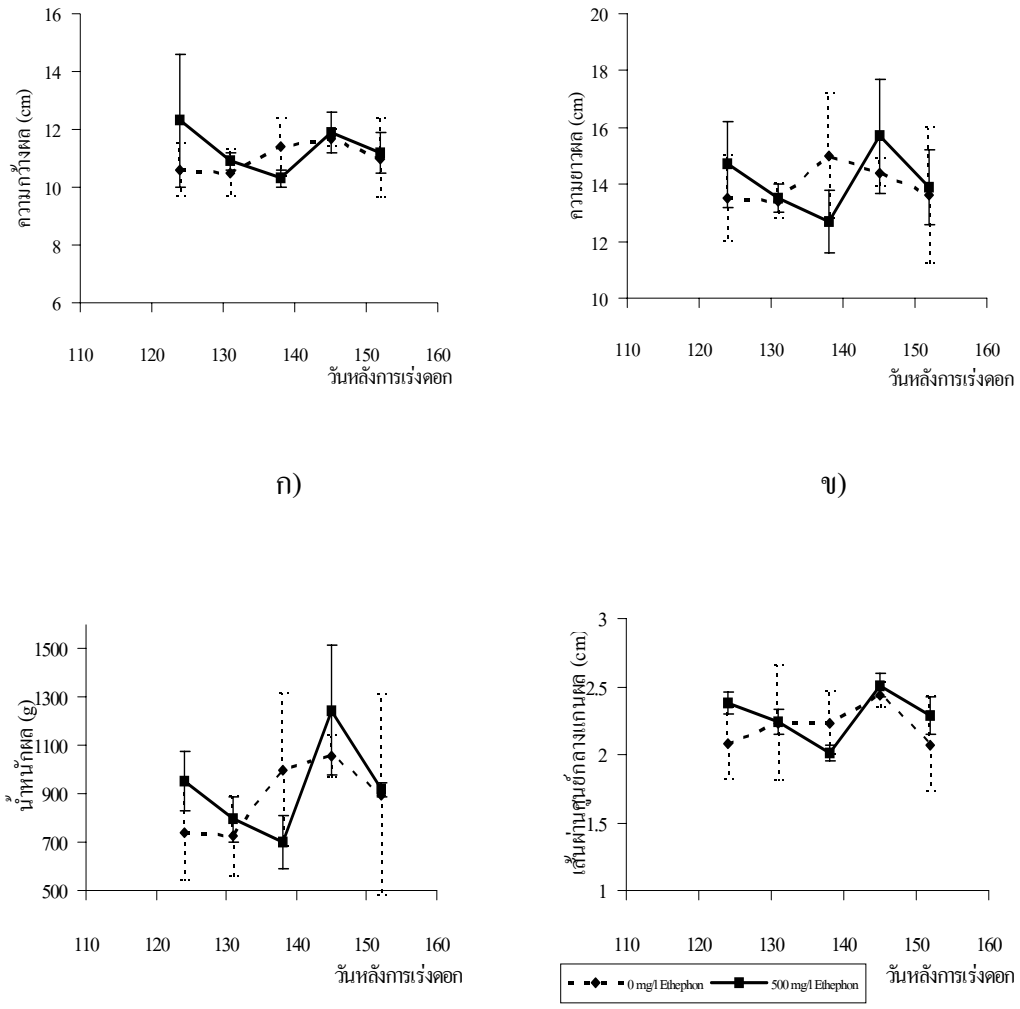
ง. ผลการศึกษาคุณภาพภายนอกของผลที่ทำการพ่นสารขณะอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก แสดงในภาพที่ 11 พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่ทำให้คุณภาพภายนอกของผลที่พ่นด้วย ethephon ที่ทำการศึกษาแตกต่างไปจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าคุณภาพภายนอกผลไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ 145 หรือ 152 วันหลังการเร่งดอก

ในการศึกษานี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในทุกดัชนีที่ทำการศึกษา



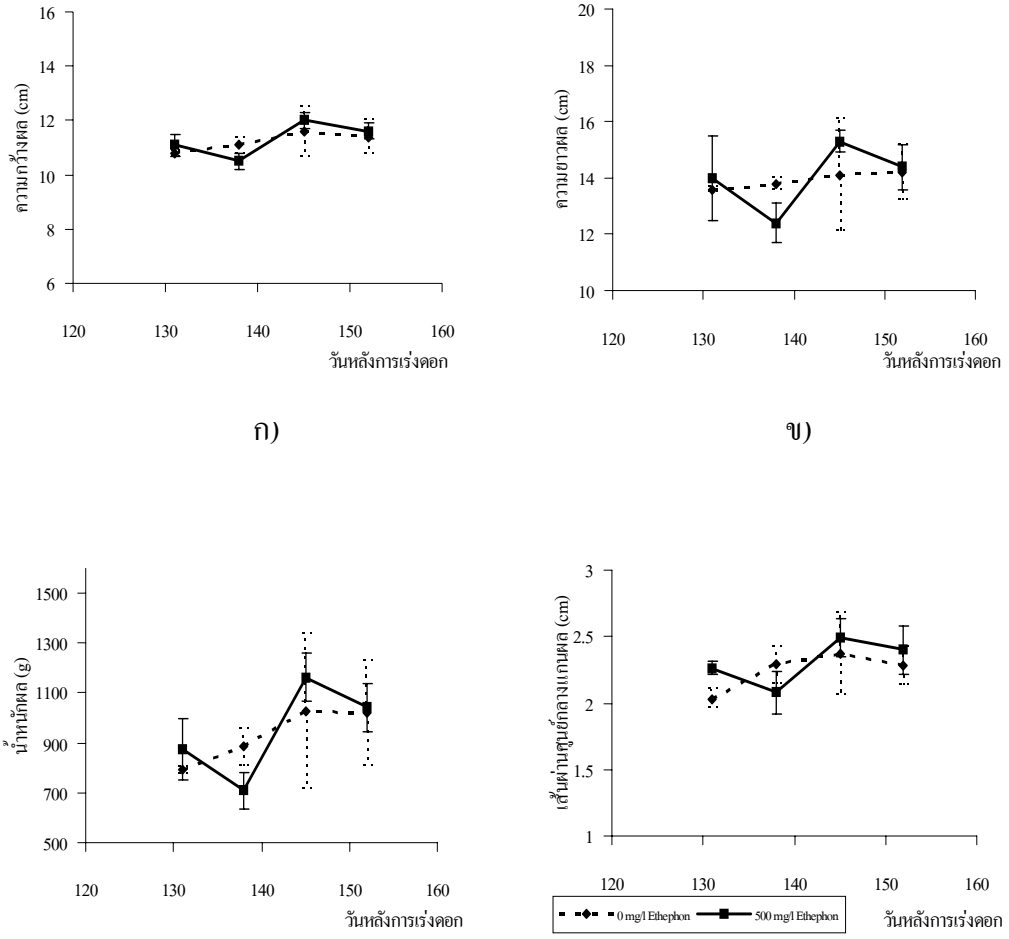
ภาพที่ 8 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างผล (ก) ความยาวผล (ข) น้ำหนักผล (ค) และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล (ง) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊤ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



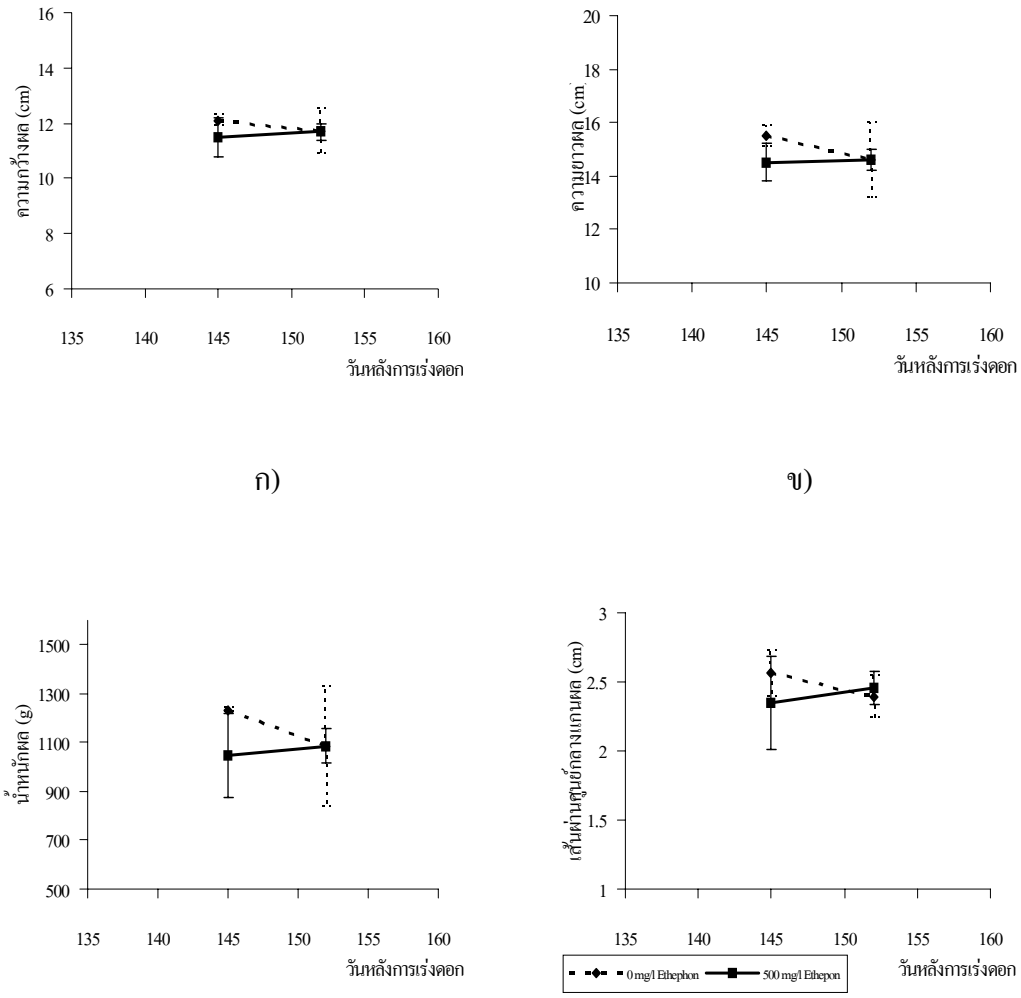
ก) ข)

ค) ง)

ภาพที่ 9 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างผล (ก) ความยาวผล (ข) น้ำหนักผล (ค) และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล (ง) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



<u>ภาพที่ 10</u> ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างผล (ก) ความยาวผล (ข) น้ำหนักผล (ค) และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล (ง) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 11 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความกว้างผล (ก) ความยาวผล (ข) น้ำหนักผล (ค) และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล (ง) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

ผลจากการศึกษาในเรื่องของขนาด น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล พบว่าปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ขณะ 96 วันหลังการเร่งดอก (ปลายตาขาว) เท่านั้นที่มีผลกระทบต่อความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลที่เฉลี่ยจากทุกระยะหลังการพ่นสารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ภาพที่ 8) สำหรับปัจจัยในเรื่องระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่พบว่าทำให้เกิดความแตกต่างของคุณภาพภายนอกของผลเฉลี่ยของผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon (ภาพที่ 8-11) แสดงว่าผลสับปะรดมีการพัฒนาคุณภาพภายนอกตลอดเวลาหลังการเร่งดอก และพัฒนาสูงสุดตั้งแต่สับปะรดอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก จากการไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสารทุกอายุที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 8-11) เป็นการยืนยันว่า ethephon ที่ใช้ไม่มีผลต่อขนาด น้ำหนัก และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลในแต่ละระยะเวลาที่ศึกษาภายหลังการพ่นสารเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ผลการทดลองที่ได้นี้ต่างจากผลของปิยะ (2522) ซึ่งใช้ ethephon เข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นผลสับปะรดอายุ 84-140 วันหลังการเร่งดอก และทำให้ความกว้าง ความยาว น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผลลดลงในทุกอายุที่พ่นสาร ethephon จึงเป็นการแสดงให้เป็นว่าความเข้มข้นของ ethephon มีผลต่อการพัฒนาของผล ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ ethylene ที่ความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการยืดของเซลล์ได้ (Wang *et al*., 2002) พบว่า สำหรับ ethephon ที่พ่นขณะผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกไม่ทำให้คุณภาพภายนอกของผลเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุภาพรและคณะ (2542) และ Smith (1991) ที่พบว่า ethephon ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อ ขนาด น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางแกนผล

จากผลของคุณภาพภายนอกทั้งจุกและผลของสับปะรดที่ผ่านการพ่นและไม่พ่นสาร ethephon และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆกันหลังพ่นสาร (ภาพที่ 8-11) สามารถกล่าวได้ว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ใช้พ่นผลตั้งแต่อายุ 96-138 วันหลังการเร่งดอกในการทดลองนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพดังกล่าว เมื่อพิจารณาคุณภาพภายนอกของจุกที่พบว่าจุกเจริญสูงสุดตั้งแต่ 138 วันหลังการเร่งดอก แสดงว่าผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก นี้ใกล้ถึงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (Paull and Reyes, 1996) และจากข้อมูลข้างต้นพบว่าผลสับปะรดเจริญสูงสุดตั้งแต่ 145 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งขนาดและน้ำหนักดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ส่งโรงงานอุตสาหกรรมได้ (บริษัท โดลไทยแลนด์ จำกัด, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ตามการจำหน่ายผลผลิตเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมนั้นต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆประกอบด้วยเช่น คุณภาพภายในโดยเฉพาะในด้านรสชาติ ซึ่งถ้าอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานรับนั้นก็จะสามารถเก็บผลสับปะรดที่ผ่านการพ่นสาร

ethephon เร็วกว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเดิม 1 สัปดาห์ จึงมีการศึกษาคุณภาพภายในควบคู่ไปด้วย ซึ่งแสดงอยู่ในผลการทดลองชุดถัดไป

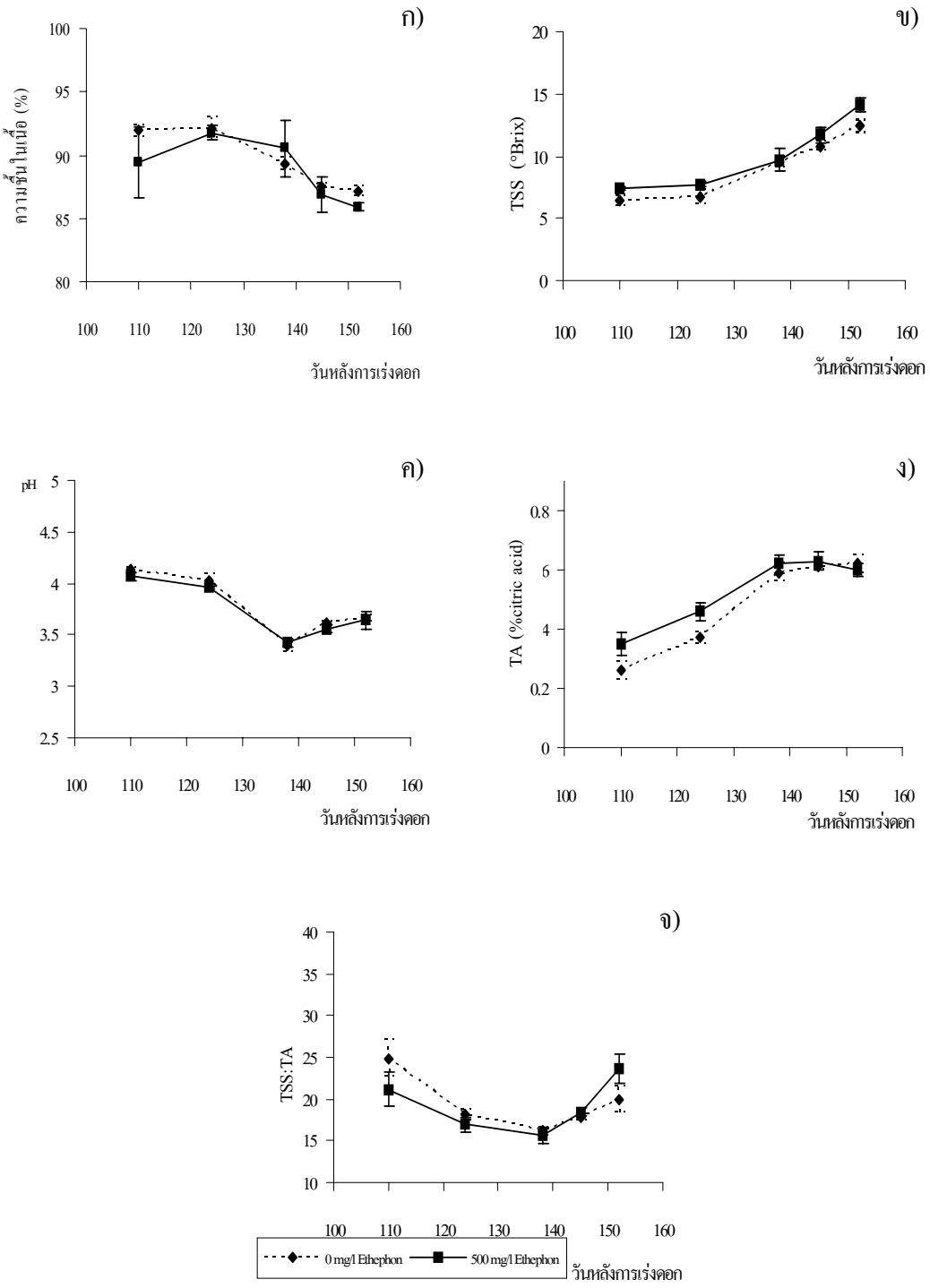
2.2 ผลของ ethephon ต่อคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาลและเอนไซม์ sucrose synthase

จากการที่พบว่า ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อคุณภาพภายนอกของผลสับปะรดที่พ่นสารขณะอายุ 96-138 วันหลังการเร่งดอกนั้น แต่ ethephon อาจมีผลต่อคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาลและกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ได้ เนื่องจาก Dull *et al*., (1967) พบว่า ethylene มีผลทำให้อัตราการหายใจของสับปะรดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆภายในของสับปะรดได้ ดังนั้นเพื่อที่จะต้องการทราบว่าภายหลังการพ่นสาร ควรเก็บเกี่ยวผลในเวลาใดจึงมีคุณภาพตามที่โรงงานสามารถรับซื้อผลิตภัณฑ์ได้ รวมทั้งภายหลังการพ่นสารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้นในเนื้อ (moisture content) ปริมาณ TSS pH ของน้ำคั้น ปริมาณ TA อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ปริมาณซูโครส กลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดหลักของผลสับปะรด และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase จึงได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในแต่ละระยะเวลาภายหลังการพ่น ethephon ผลที่ได้จากการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

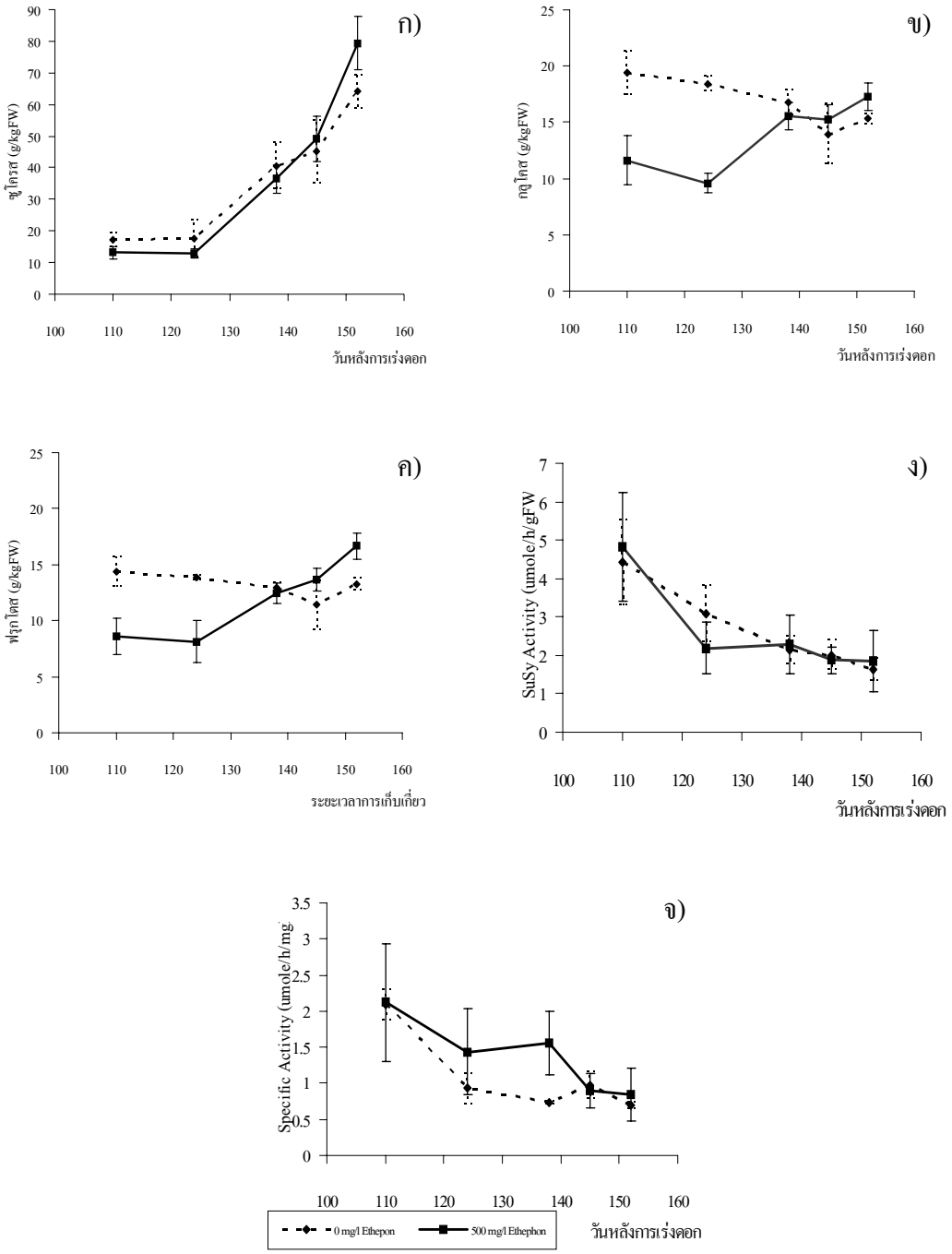
2.2.1 ผลการศึกษาคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นสารขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก (ระยะปลายตาขาว) แสดงในภาพที่ 12 และ 13 (ตารางผนวกที่ 10)

ผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพภายใน (ภาพที่ 12) ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ภาพที่ 13) พบว่าปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของ ethephon (500 มิลลิกรัมต่อลิตร) เพียงปัจจัยเดียว ส่งผลให้ปริมาณ TSS เฉลี่ยจากผลที่พ่นด้วย ethphon (10.12°Brix) สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (9.18°Brix) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12 ข) และ ethephon ยังทำให้ปริมาณ TA เฉลี่ยจากผลที่พ่นด้วย ethphon (0.53% citric acid) สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (0.49% citric acid) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12 ง) แต่พบว่าปริมาณกลูโคสเฉลี่ยในผลที่พ่นด้วย ethephon (13.85 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (16.77 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 13 ข)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะปัจจัยเรื่องระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าคุณภาพภายใน ปริมาณซูโครสและฟรุกโตส และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ซึ่งเฉลี่ยจากผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละอายุที่เก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) (ภาพที่ 12, 13) โดยความชื้นในเนื้อเฉลี่ยลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้น (ภาพที่ 12 ก) ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณ TSS เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณ TSS เฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (13.24°Brix) (ภาพที่ 12 ข) pH ของน้ำคั้นเฉลี่ยลดต่ำสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (3.41) ก่อนที่จะกลับเพิ่มขึ้นอีกหลังจากอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 12 ค) ปริมาณ TA เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (0.60% citric acid) (ภาพที่ 12 ง) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เฉลี่ยสูงสุดเมื่อผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (23.03) และต่ำสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (15.91) ก่อนที่จะกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 12 จ) ปริมาณซูโครสและฟรุกโตสเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (71.68 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และ 14.97 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) (ภาพที่ 13 ก, ค) ทั้งนี้พบว่าปริมาณกลูโคสเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะการพัฒนาของผล (ภาพที่ 13 ข) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase พบว่ามีกิจกรรมเฉลี่ยสูงสุดเมื่อผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (4.619 μmole/h/g FW, 2.101 μmole/h/mg Protein) และลดลงตั้งแต่ผลอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก (2.637 μmole/h/g FW, 1.182 μmole/h/mg Protein) จากนั้นคงที่จนกระทั่งผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 13 ง, จ)



<u>ภาพที่ 12</u> ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความชื้นในเนื้อ (ก) ปริมาณ TSS (ข) pH ของน้ำคั้น (ค) ปริมาณ TA (ง) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอกดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊤ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 13 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อปริมาณซูโครส (ก) กลูโคส (ข) ฟรุกโตส (ค) กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ง) และ specific activity ของเอนไซม์ sucrose synthase (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในส่วนของปริมาณ TA ($P<0.05$) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ($P<0.01$) ปริมาณซูโครส ($P<0.05$) และปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส ($P<0.01$) (ตารางที่ 2) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและ ethephon เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (0.59% citric acid ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า และ 0.62% citric acid ในผลที่พ่นด้วย ethephon) จากการเปรียบเทียบปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (0.35% citric acid) และ 124 วันหลังการเร่งดอก (0.46% citric acid) มีปริมาณมากกว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า 34.6 และ 24.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเป็นความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นภายใน 4 สัปดาห์หลังการพ่นสารที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอก

ข. อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและเก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกมีค่ามากที่สุด (24.90) ส่วนผลที่เก็บเกี่ยวที่ 138 วันหลังการเร่งดอกมีค่าต่ำสุด (16.16) ก่อนที่จะกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้ง อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่านี้เป็นไปในทำนองเดียวกับผลที่พ่นด้วย ethephon กล่าวคือผลที่เก็บเกี่ยวที่ 138 วันหลังการเร่งดอก มีค่าต่ำสุด (15.66) แต่ผลที่เก็บเกี่ยวที่ 110 และ 152 วันหลังการเร่งดอก มีค่าสูงสุดคือ 21.17 และ 23.56 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (21.17) มีปริมาณต่ำกว่าอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (24.90) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ถ้าเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกจะพบว่าอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon (23.56) มีปริมาณสูงกว่าอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (19.90) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ค. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ปริมาณซูโครสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและ ethephon เพิ่มขึ้น โดยปริมาณสูงสุดพบได้ในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (64.01 และ 79.35 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซูโครสระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าปริมาณซูโครสในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (79.35 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณสูงกว่าปริมาณ

ซูโครสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (64.01 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ethephon ทำให้ปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกเมื่อพ่นสาร ขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก

ง. ปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าค่อนข้างคงที่ใน 4-5 สัปดาห์แรกหลังพ่นน้ำเปล่าและเริ่มลดลงหลังจากนั้น ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วย ethephon กล่าวคือ 4 สัปดาห์แรกหลังการพ่นสาร ethephon ผลมีปริมาณกลูโคสต่ำ จากนั้นจึงเริ่มสูงขึ้นและคงที่ตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลูโคส ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (11.60 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และ 124 วันหลังการเร่งดอก (9.60 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (19.43 และ 18.40 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ethephon ทำให้ปริมาณกลูโคสลดลงหลังจากพ่นสารเป็นเวลา 4 สัปดาห์

จ. ปริมาณฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าค่อนข้างคงที่ตลอดอายุที่เก็บเกี่ยว ส่วนปริมาณฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บเกี่ยว โดยฟรุกโตสมีปริมาณสูงสุดในผลที่พ่นด้วย ethephon ที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (16.68 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟรุกโตสระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าปริมาณฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (8.63 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และ 124 วันหลังการเร่งดอก (8.15 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (14.39 และ 13.88 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับอายุที่เก็บเกี่ยว) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แต่เมื่อเก็บผลที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกพบว่าผลที่พ่นด้วย ethephon มีปริมาณฟรุกโตส (16.68 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (13.26 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ ethephon ทำให้ปริมาณฟรุกโตสลดลงหลังจากพ่นสารเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นปริมาณจะเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ตารางที่ 2 การมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหลังจากพ่นสารที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอก ในปริมาณ TA อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA และปริมาณซูโครส กลูโคสและฟรุกโตส

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)		0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	ปริมาณ TA (% citric acid)			*อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA*		
110	0.26c	0.35c	0.09 **	24.90a	21.17a	3.73 **
124	0.37b	0.46b	0.09 **	18.09bc	16.92bc	1.17
138	0.59a	0.62a	0.03	16.16c	15.66c	0.50
145	0.61a	0.63a	0.02	17.75bc	18.45b	0.70
152	0.62a	0.60a	0.02	19.90b	23.56a	3.66*
F-Test (E X H)			*			**
	ปริมาณซูโครส (g/kg Fw)			*ปริมาณกลูโคส (g/kg Fw)*		
110	17.30c	13.10d	4.21	19.43a	11.60b	7.83**
124	17.56c	13.07d	4.49	18.40a	9.60b	8.80**
138	40.57b	36.48c	4.08	16.75ab	15.54a	1.21
145	45.01b	49.21b	4.20	13.96b	15.24a	1.28
152	64.01a	79.35a	15.34**	15.30b	17.26a	1.96
F-Test (E X H)			*			**

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	ปริมาณฟรุกโตส (g/kg Fw)		
110	14.39a	8.63c	5.76**
124	13.88a	8.15c	5.74**
138	12.97ab	12.43b	0.54
145	11.41b	13.65b	2.24
152	13.26ab	16.68a	3.42*
F-Test (E X H)			**

หมายเหตุ เครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99%, เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT, เปรียบเทียบทางด้านแถว ค่าความแตกต่างที่มีเครื่องหมาย * และ ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ โดยวิธี LSD

ผลการทดลองที่ได้จากการพ่น ethephon ขณะสับปะรดอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกซึ่งเป็นสับปะรดผลอ่อน แม้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณ TSS ซึ่งเป็นดัชนีที่ประเมินคุณภาพด้านการบริโภคของสับปะรด (Smith, 1988) กล่าวคือปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon ไม่แตกต่างจากปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าในแต่ละระยะเวลาหลังการพ่นสาร แต่เนื่องจากปริมาณ TSS สามารถบ่งชี้ความหวานหรือน้ำตาลได้ จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณ TSS กับปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด และพบว่าในผลอ่อนซึ่งมีปริมาณ TSS ต่ำนั้นมีปริมาณซูโครสต่ำ เมื่อปริมาณ TSS เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติขณะผลเจริญขึ้นตั้งแต่อายุ 138-152 วันหลังการเร่งดอก นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่ามีเพียงปริมาณซูโครสเฉลี่ยเท่านั้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพผนวกที่ 2) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปริมาณ TSS ในสับปะรดมีความสัมพันธ์กับปริมาณซูโครสมากที่สุด (ภาพที่ 12 ข, 13 ก) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS และปริมาณซูโครสเป็นไปในทำนองเดียวกับ Chen and Paull (2000) ซึ่งพบว่าขณะที่ปริมาณ TSS ต่ำในผลอ่อนนั้นจะมีปริมาณซูโครสต่ำ แต่ขณะที่ผลพัฒนาขึ้นปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นและประกอบด้วยซูโครสเป็นหลัก การไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณ TSS โดยเฉพาะที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเก็บเกี่ยวแสดงว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่นและไม่พ่นสารที่อายุดังกล่าวซึ่งไม่แตกต่างกันนี้ เป็นไปในทำนองเดียวกับผลการศึกษาของปิยะ (2522) ที่พบว่าปริมาณ TSS ในผลที่ผ่านการพ่น ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะสับปะรดอายุ 98 วันหลังการเร่งดอกมีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ถึงแม้ ethephon ไม่มีผลต่อปริมาณ TSS ในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก แต่ปริมาณของซูโครสและฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วย ethephon มากกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) แสดงว่าผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกมีความหวานกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า เนื่องจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของน้ำตาลแต่ละชนิดทำให้ความหวานมากขึ้นโดยเฉพาะฟรุกโตสและซูโครส (Pangborn, 1963; Yamagushi *et al*., 1970) นอกจากนี้ในเรื่องของรสหวานสามารถสังเกตได้จากอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ซึ่งในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกมีค่ามากกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA นี้พบว่าถ้าปริมาณ TSS มากกว่าปริมาณ TA แสดงว่าสับปะรดมีรสชาติหวานแหลม (สมบัติและคณะ, 2539) และจากการที่ปริมาณ TA ของผลที่พ่นและไม่พ่นสารที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกมีรสชาติหวานแหลมกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

การใช้ ethephon พ่นผลขณะอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นภายใน 4 สัปดาห์แรกหลังการพ่นสาร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12 ง, ตารางที่ 2) อาจมีเหตุผลมาจาก ethylene ไปเพิ่มอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท non-climacteric (Biale and Young, 1981; Lelievre *et al*., 1997) รวมทั้งสับปะรดขณะที่เปลือกยังมีสีเขียวได้ (Dull *et al*., 1967) เมื่ออัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสาร pyruvate จากการหายใจที่เพิ่มขึ้นจึงถูกดึงไปใช้ในการสังเคราะห์กรดมาลิกและกรดซิตริกใน mitochondria (Taiz and Zeiger, 1998) ทำให้ได้กรดอินทรีย์ต่างๆในวัฏจักรเครบส์เพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2544; ดนัย, 2540) ดังนั้น ethephon จึงทำให้ปริมาณ TA เพิ่มสูงขึ้นโดยอาจเกิดผ่านทางอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจาก ethephon มีการสลายเป็น ethylene อยู่ตลอดเวลาและ ethylene ในพืชสามารถสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สมบูรณ์ (Taiz and Zeiger, 1998) ดังนั้นอิทธิพลของ ethephon จึงส่งผลต่อปริมาณ TA เพียงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังจะเห็นว่าปริมาณ TA ของผลที่พ่นและไม่พ่นสารที่เก็บเกี่ยวขณะอายุ 138-152 วันหลังการเร่งดอกไม่มีความแตกต่างจากปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ตารางที่ 2) การลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสใน 4 สัปดาห์แรกหลังการพ่นสาร เป็นสิ่งแสดงให้เห็นนัยยะว่า ethephon ทำให้อัตราการหายใจของสับปะรดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลูโคสและฟรุกโตสเป็นสารสำคัญซึ่งถูกนำไปใช้เป็นอันดับต้นเมื่อเริ่มเกิดกระบวนการ glycolysis ในกระบวนการหายใจ (Salisbury and Ross, 1992; Taiz and Zeiger, 1998) เมื่อเซลล์มีการหายใจเพิ่มขึ้นกลูโคสและฟรุกโตสจึงถูกนำไปใช้มากขึ้น นอกจากนี้การที่ผลอ่อนของสับปะรดมีปริมาณซูโครสน้อยทำให้สลายเป็นกลูโคสและซูโครสทดแทนได้น้อย จึงทำให้ปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสในผลที่พ่นด้วย ethephon ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า และเมื่ออิทธิพลของ ethephon ที่มีต่ออัตราการหายใจหมดไปขณะผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดกลับเพิ่มขึ้นจนเท่าผลปกติ การที่ปริมาณ TA ลดลงในผลที่พ่นสาร ethephon ระหว่าง 4 สัปดาห์แรกหลังการพ่นสาร ขณะที่ pH ของน้ำคั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงแต่ยังไม่เด่นชัดพอ อาจมีสาเหตุมาจากอายุของเนื้อเยื่อในการตอบสนองต่อ ethylene ซึ่งจริงแท้ (2544) และ Saltveit (1999) กล่าวไว้ว่าเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่มีการตอบสนองได้ไม่ดีเท่าเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสารซึ่งเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 และ152 วันหลังการเร่งดอก ที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณ TA นั้น (ตารางที่ 2) เป็นไปในทำนองเดียวกับปิยะ (2522) ที่พบว่าเมื่อพ่น ethephon เข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ผลอายุ 98 วันหลังการเร่งดอก ไม่ทำให้ปริมาณกรดในผลที่ผ่านการพ่นด้วย ethephon ต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าในระยะสุดท้ายของการเก็บเกี่ยว

เมื่อพิจารณาคุณภาพของสับปะรดจากปริมาณ TSS ซึ่งกรมวิชาการเกษตร (2545) กำหนดไว้ว่าผลสับปะรดที่เก็บเกี่ยวส่งโรงงานอุตสาหกรรมควรมีปริมาณ TSS ซึ่งวัดจากบริเวณกลางผลตั้งแต่ 11°Brix ขึ้นไป พบว่าการพ่นด้วย ethephon ขณะผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลได้เร็วกว่าปกติ เพราะเหตุที่ว่าปริมาณ TSS ของผลที่พ่นสารรวมถึงปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในผลที่พ่นและไม่พ่นสารที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอกไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 12 ข) ซึ่งคุณภาพของผลปกติที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกยังไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวผลที่พ่น ethephon ตามเวลาปกติแต่ผลของสับปะรดจะมีรสชาติที่หวานขึ้น ทั้งนี้การพ่น ethephon ที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่สามารถเพิ่มปริมาณ TA เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว

เป็นที่น่าสังเกตว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณซูโครสและฟรุกโตสในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้อาจมาจากอิทธิพลของ ethylene ที่สามารถทำให้เกิดความผิดปกติบริเวณเยื่อหุ้มและผนังเซลล์ โดย ethylene สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์จากการเพิ่ม mRNA ของเอนไซม์ lipase (Hong *et al*., 2000) เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (Yu *et al*., 2003) เพิ่มการสะสม mRNA ของ cellulase และ polygalacturonase (Taiz and Zeiger, 1998) ดังที่พบในพริกไทย (Ferrarese *et al*., 1995) และสตรอเบอรี่ (Llop-Tous *et al*., 1999) ซึ่งเป็นผลแบบ non-climacteric เช่นเดียวกับสับปะรดซึ่ง ethylene ทำให้ cellulase เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ethylene ทำให้ microfibril ที่ผนังเซลล์มีการเรียงตัวที่ผิดปกติไป (Heldt, 2005; Saltveit, 1999) ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้ผลที่พ่นด้วย ethephon มีความสามารถในการต้านทานการนำสารเข้าน้อยกว่าผนังเซลล์ปกติของสับปะรดขณะอายุมากขึ้น จึงทำให้สารสามารถเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้น

การพบว่า ethephon ทำให้ปริมาณซูโครสและฟรุกโตสเพิ่มขึ้นที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก และปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสลดลงเมื่อผลอายุ 110 และ 124 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 2) แต่ ethephon ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ภาพที่ 13 ง, จ) จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นหลังการพ่น ethephon ที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอก ไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พบว่าผลอ่อนอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก มีกิจกรรมของเอนไซม์สูง และเริ่มลดลงเมื่อผลอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก (เริ่มเข้าสู่ระยะตาขยาย) ก่อนที่จะคงที่จนถึงวันสุดท้ายที่เก็บเกี่ยว (152 วันหลังการเร่งดอก) (ภาพที่ 13 ง, จ) เป็นไปในทำนองเดียวกับที่ Chen and Paull (2000) พบว่าเอนไซม์ sucrose synthase มีกิจกรรมสูงในขณะผลอ่อนและลดลงเมื่อผลเจริญขึ้น

ก่อนที่จะคงที่จนถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ที่สูงในระยะผลอ่อนนี้พบได้ในพืชหลายชนิดนอกจากสับปะรด ตัวอย่างเช่น มะเขือเทศ (Wang *et al*., 1993b; D' Aoust *et al*., 1999; Sun *et al*., 1992) มะละกอ (Zhou and Paull, 2001) ซึ่งบทบาทของเอนไซม์ sucrose synthase ในระยะผลอ่อนนี้มีหน้าที่เกี่ยวกับการเจริญและพัฒนาของผลนั่นเอง การพ่น ethephon ที่ 96 วันหลังการเร่งดอกและไม่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase แตกต่างไปจากผลปกติตลอดระยะเวลาที่ศึกษา นอกจากนี้การไม่พบความแตกต่างของคุณภาพภายนอกผลระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่น ethephon (ภาพที่ 8) ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าเอนไซม์ sucrose synthase ในผลสับปะรดเกี่ยวข้องกับการเจริญและพัฒนาของผลหรือไม่ แต่การใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นขณะผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่ทำให้ผลสับปะรดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพภายนอก

2.2.2 ผลการศึกษาคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นสารขณะอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (ระยะเริ่มตาดำ)

ผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase แสดงในภาพที่ 14, 15 (ตารางผนวกที่ 11) พบว่าความเข้มข้นของ ethephon เพียงปัจจัยเดียวทำให้ปริมาณ TSS เฉลี่ย (11.02°Brix) ที่ได้จากทุกระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมีปริมาณสูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งมีปริมาณ TSS เฉลี่ย 8.90°Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาพที่ 14 ข)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าความชื้นในเนื้อเฉลี่ย ปริมาณ TSS เฉลี่ย pH ของน้ำคั้นเฉลี่ย ปริมาณ TA เฉลี่ย และปริมาณซูโครสเฉลี่ย (ภาพที่ 14 ก-ง, 15 ก) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยความชื้นในเนื้อเฉลี่ย 4 สัปดาห์แรกที่ศึกษา (124-138 วันหลังการเร่งดอก) มีค่าคงที่จากนั้นลดลงตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (86.48%) และคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 14 ก) ผลของความชื้นในเนื้อเฉลี่ยนี้ตรงข้ามกับปริมาณ TSS เฉลี่ยใน 4 สัปดาห์แรกที่ศึกษาซึ่งคงที่ แต่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (12.16°Brix) และคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 14 ข) pH ของน้ำคั้นเฉลี่ยลดลงต่ำสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (3.44) และกลับเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก จากนั้นคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 14 ค) ปริมาณ TA เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณ TA เฉลี่ยสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (0.62% citric acid) (ภาพที่ 14 ง)

สำหรับปริมาณซูโครสเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณซูโครสเฉลี่ยสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (54.120 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ภาพที่ 15 ก)

พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในเรื่องของปริมาณ TSS ($P<0.05$) pH ของน้ำคั้น ($P<0.01$) ปริมาณ TA ($P<0.05$) ปริมาณกลูโคส ($P<0.05$) และกิจกรรมโดยรวมของเอนไซม์ sucrose synthase (ตารางที่ 3) กล่าวคือ

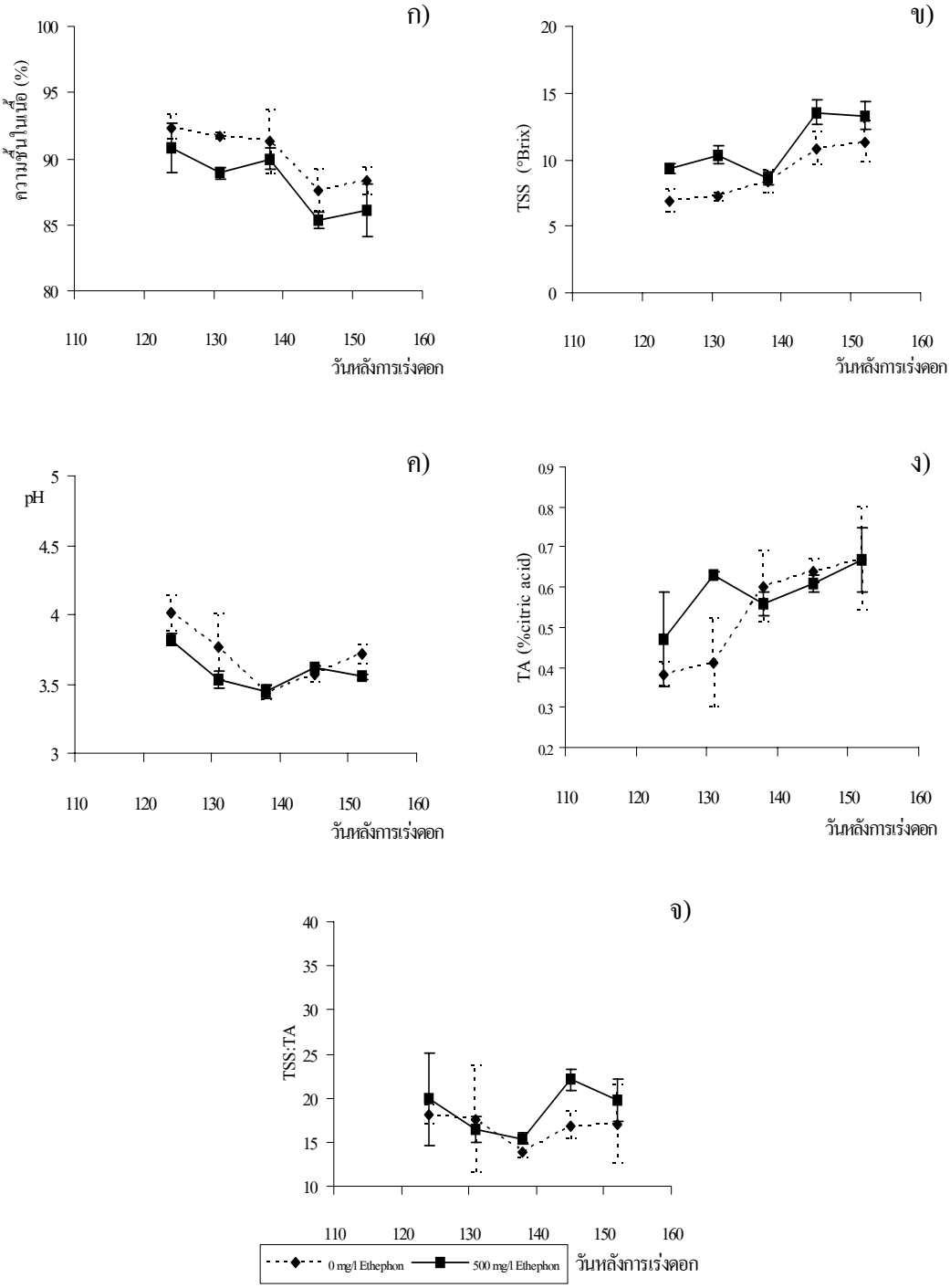
ก. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นทำให้ปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณต่ำสุดที่อายุ 124 วันหลังการเร่งดอก (6.85°Brix) และสูงสุดตั้งแต่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (10.80°Brix) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณ TSS ในผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า โดยปริมาณ TSS ลดต่ำสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (8.62°Brix) และกลับเพิ่มสูงสุดตั้งแต่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (13.53°Brix) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TSS ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon มากกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า 2 ช่วงเวลา โดยช่วงแรกเมื่อเก็บเกี่ยวผลที่อายุ 124 และ 131 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งในผลที่พ่นด้วย ethephon มีปริมาณ TSS มากกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า 35.9 และ 43.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และช่วงหลังเป็นการเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งมากกว่า 25.3 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวเป็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ทำให้ปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นภายใน 3 สัปดาห์แรกหลังการพ่นสารที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก และเพิ่มขึ้นอีกครั้งใน 2 สัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว

ข. pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและพ่นด้วย ethephon ลดต่ำสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (3.43 และ 3.44 ตามลำดับ) และกลับสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุผลมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ pH ของน้ำคั้นระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวพบว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (3.53) มีค่าน้อยกว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (3.76) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ทำให้ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon ลดลงหลังจากพ่นสาร 3 สัปดาห์ (131 วันหลังการเร่งดอก)

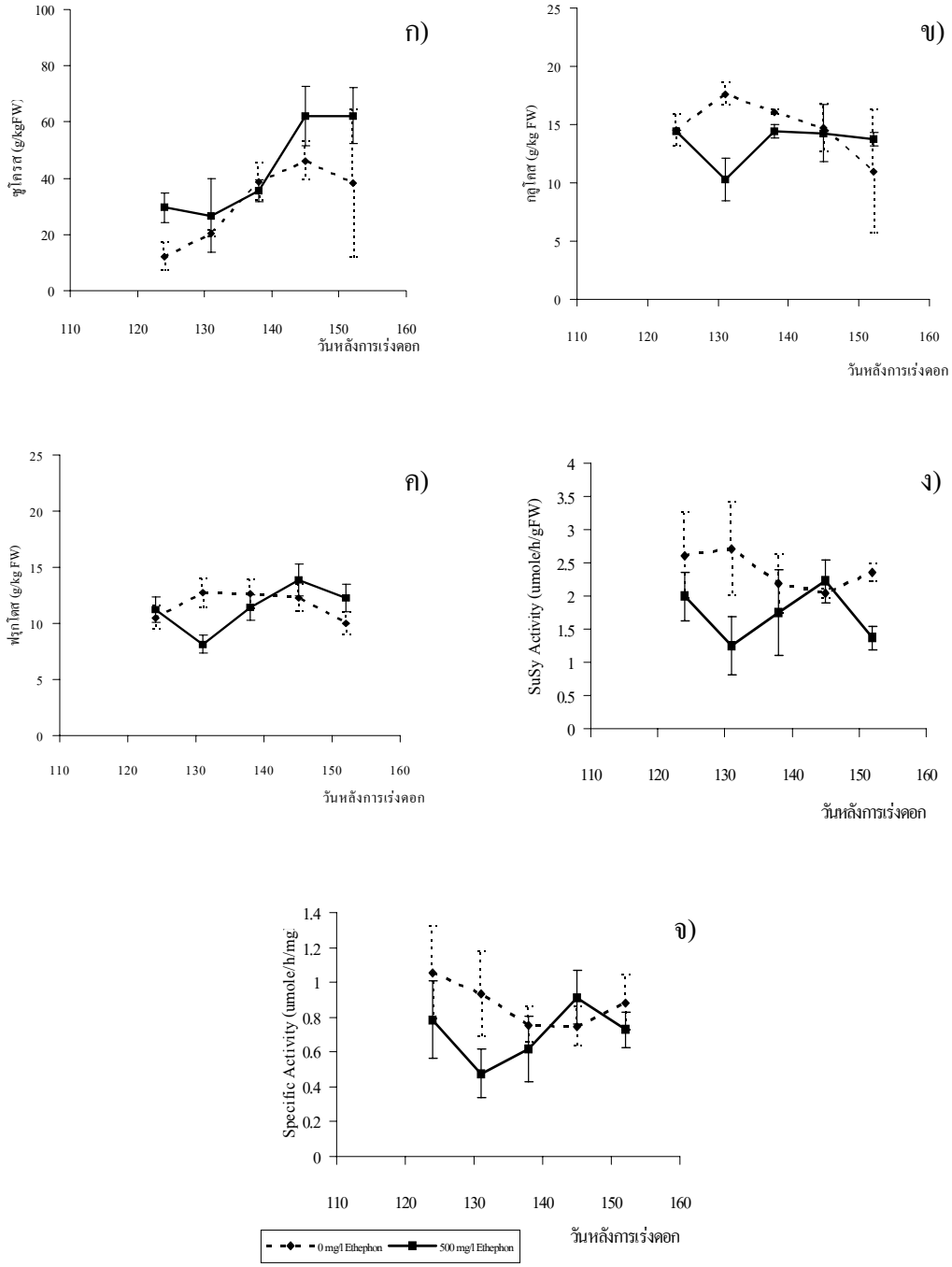
ค. ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าคงที่ระหว่าง 3 สัปดาห์แรก และเพิ่มขึ้นตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (0.60% citric acid) จากนั้นคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก แต่ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon คงที่ใน 2 สัปดาห์แรกหลังพ่นสาร และเพิ่มขึ้นตั้งแต่ผลอายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (0.63% citric acid) จากนั้นคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (0.63% citric acid) มากกว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (0.41% citric acid) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นที่ 131 วันหลังการเร่งดอก (3 สัปดาห์หลังจากพ่นสาร ขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก)

ง. ปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บเกี่ยว ยกเว้นการเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกซึ่งมีปริมาณกลูโคสลดลง (10.97 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) สำหรับปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วย ethephon ซึ่งส่วนมากค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวนั้นพบว่าในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอกมีปริมาณกลูโคสต่ำสุด (10.30 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลูโคสระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (10.30 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณกลูโคสในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (17.62 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ ethephon ทำให้ปริมาณกลูโคสลดลงหลังการพ่นสารผ่านไป 3 สัปดาห์

จ. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นไม่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรลดต่ำสุดในผลอายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (1.258 μmole/h/g FW) เมื่อเปรียบเทียบกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วย ethephon ซึ่งเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (1.258 μmole/h/g FW) มีค่าต่ำกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (2.711 μmole/h/g FW) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ ethephon ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงหลังการพ่นสารผ่านไป 3 สัปดาห์



ภาพที่ 14 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความชื้นในเนื้อ (ก) ปริมาณ TSS (ข) pH ของน้ำคั้น (ค) ปริมาณ TA (ง) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊤ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 15 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อปริมาณซูโครส (ก) กลูโคส (ข) ฟรุกโตส (ค) กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ง) และ specific activity ของเอนไซม์ sucrose synthase (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 2 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ 3 การมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหลังจากพ่นสารที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก ในปริมาณ TSS pH ของน้ำคั้น ปริมาณ TA ปริมาณกลูโคส และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)		0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	ปริมาณ TSS (°Brix)			*pH ของน้ำคั้น*		
124	6.85c	9.31bc	2.46*	4.01a	3.82a	0.19
131	7.21bc	10.35b	3.14**	3.76b	3.53bc	0.23*
138	8.34b	8.62c	0.27	3.43d	3.44c	0.01
145	10.80a	13.53a	2.73**	3.57c	3.62b	0.05
152	11.32a	13.28a	1.96*	3.71b	3.55bc	0.16
F-Test (E X H)			*			**
	ปริมาณ TA (% citric acid)			*ปริมาณกลูโคส (g/kg Fw)*		
124	0.38b	0.47b	0.09	14.53ab	14.39a	0.14
131	0.41b	0.63a	0.22**	17.62a	10.30b	7.33*
138	0.60a	0.56ab	0.04	16.02a	14.42a	1.60
145	0.64a	0.61a	0.03	14.73ab	14.26a	0.47
152	0.67a	0.67a	0.00	10.97b	13.72ab	2.75
F-Test (E X H)			*			*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (μmole/h/gFw)		
124	2.602a	1.992ab	0.610
131	2.711a	1.258c	1.453*
138	2.179a	1.749abc	0.430
145	2.033a	2.222a	0.189
152	2.346a	1.365bc	0.981
F-Test (E X H)			*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99%, เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT เปรียบเทียบทางด้านแถว ค่าความแตกต่างที่มีเครื่องหมาย * และ ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ โดยวิธี LSD

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากการพ่น ethephon ขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก พบว่า ethephon มีผลทำให้ปริมาณ TSS pH ของน้ำคั้น ปริมาณ TA ปริมาณกลูโคส และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าในแต่ละระยะเวลาหลังการพ่นสาร (ตารางที่ 3) กล่าวคือปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของผลในผลปกติซึ่งเป็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS ทั่วไปในสับปะรด (Kelley, 1911; Singleton and Gortner, 1965) เมื่อให้ ethephon พบว่าปริมาณ TSS เพิ่มมากกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าภายใน 2-3 สัปดาห์แรกหลังพ่นสาร (124-131 วันหลังการเร่งดอก) ก่อนที่จะลดลงเท่าผลปกติและกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวที่ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 14 ข ตารางที่ 3) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon ภายใน 3 สัปดาห์แรกหลังพ่นสาร พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส ถึงแม้ปริมาณซูโครสจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในผลที่พ่นด้วย ethephon ก็ตาม (ภาพที่ 14 ข, 15 ก-ค) แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ในระยะนี้อาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TA โดยเห็นได้ชัดเมื่อเก็บผลขณะอายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 3) การที่ปริมาณ TSS เกี่ยวข้องกับปริมาณ TA มีสาเหตุมาจากการวัดค่าของปริมาณ TSS เป็นการวัดที่ได้รวมกรดอินทรีย์ สาร pectin และสารประกอบอื่นๆที่ละลายได้ที่ส่งผลต่อค่าดัชนีการหักเหของแสง (Holcroft and Kader, 1999) ดังนั้นเมื่อ ethephon ทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงปริมาณกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งขณะเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก อิทธิพลของ ethylene ที่ทำให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นในระยะแรกนี้ลดลง เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 4 หลังการพ่นสาร (138 วันหลังการเร่งดอก) ซึ่งพบว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon กลับมาเท่ากับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า จากผลการทดลองที่ได้ซึ่งพบว่าปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอีกครั้งในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอกนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารบริเวณผนังและ/หรือเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงจากผลของ ethylene (Ferrarese *et al*., 1995; Hong *et al*., 2000; Lelievre, 1997; Taiz and Zeiger, 1998; Yu *et al*., 2003) เช่นเดียวกับที่พบในการพ่น ethephon ที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอก ดังนั้นการนำสารเข้าสู่เซลล์จึงมากขึ้น (Yamaki and Ino, 1992)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TA ซึ่งเป็นผลมาจากการพ่นสับปะรดด้วย ethephon เกี่ยวข้องกับอัตราการหายใจของสับปะรดเพิ่มขึ้น (Dull *et al*., 1967) ยืนยันได้จากปริมาณกลูโคส (Salisbury and Ross, 1992; Taiz and Zeiger, 1998) ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 3) เช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณกลูโคสจากการพ่นด้วย ethephon

ขณะผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 2) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TA ในการพ่นสาร ethephon ที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกนี้ทำให้ pH ของน้ำคั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก แสดงให้เห็นว่าเนื้อเยื่อที่เจริญมากขึ้นของสับปะรดมีการตอบสนองต่อ ethylene ได้ดีขึ้นกว่าการพ่นสารที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอก ดังที่ Saltveit (1999) กล่าวไว้ การที่ ethephon ทำให้เซลล์มีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ดังนั้น ATP ภายในเซลล์ซึ่งได้จากกระบวนการหายใจจึงเพิ่มขึ้น ประกอบกับเมื่อผลอายุเพิ่มขึ้นการเจริญของผลสับปะรดเป็นการขยายขนาดของเซลล์เพียงอย่างเดียว จึงไม่จำเป็นต้องใช้ ATP เพื่อการแบ่งเซลล์หรือสะสมสารเพื่อการเจริญเติบโต จึงอาจทำให้เซลล์มี ATP มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase โดยทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วย ethephon ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ sucrose synthase เป็นเอนไซม์ที่มีหลายหน้าที่ภายในเซลล์ และหน้าที่สำคัญประการหนึ่งคือช่วยให้เซลล์ประหยัด ATP ในกระบวนการสลายซูโครสเพื่อเข้าสู่วิถี glycolysis ในกระบวนการหายใจ (Amthor, 1989; Huber and Akazawa, 1986) ดังนั้นเมื่อเซลล์มี ATP มากกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในหน้าที่นี้จึงลดลง

การลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase อาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของผนังเซลล์ของสับปะรด สอดคล้องกับ Pozueta-Roero *et al*. (2004) ที่พบว่าเมื่อกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงทำให้การสังเคราะห์ cellulose ลดลง นอกจากนี้ Ruan *et al*. (2003) พบว่าเมื่อกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงทำให้ฝ้ายมีเส้นใยลดลง การลดลงของ cellulose ของเซลล์สับปะรดอาจเป็นเหตุให้สารสามารถเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon ที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกจึงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก อย่างไรก็ตามการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดและน้ำหนักของผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 9) แต่เนื้อของสับปะรดที่พ่นสารขณะอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกอาจนิ่มและมีเส้นใยน้อยกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าจากการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase

การที่พบว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon มากกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าตั้งแต่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก โดยที่ปริมาณ TA ไม่เปลี่ยนแปลงนั้น ต่างจากผลของปิยะ (2522) ที่พบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 112 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเป็นอายุที่ใกล้เคียงกับผลที่ศึกษา ไม่ทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับผลที่

ไม่ได้พ่นสาร แต่ทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาคุณภาพของสับปะรดในผลที่ผ่านการพ่นและไม่พ่นสาร ethephon พบว่าผลที่พ่นสาร ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก สามารถเก็บผลส่งโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง ได้เร็วขึ้น 1 สัปดาห์ (อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก) เนื่องจากผลดังกล่าวมีปริมาณ TSS (13.53°Brix) มากกว่าเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตร (2545) กำหนดไว้ (ตารางที่ 3) และมีขนาดรวมทั้งน้ำหนักของผลสับปะรดไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและขณะผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 9)

2.2.3 ผลการศึกษาคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นสารขณะอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก (ระยะปลายตาดำเข้าสู่ตาขยาย)

ผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase แสดงในภาพที่ 16, 17 (ตารางผนวกที่ 12) โดยพบว่าปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของ ethephon ที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ความชื้นในเนื้อเฉลี่ย 86.29% ต่ำกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งมีความชื้นในเนื้อเฉลี่ย 89.64% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณ TSS เฉลี่ยจากผลที่พ่นด้วย ethephon ที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาต่างๆ (12.67°Brix) สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งมีปริมาณ TSS เฉลี่ยเพียง 9.35°Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 16 ข) นอกจากนี้ซูโครสเฉลี่ยในผลที่พ่นด้วย ethephon (49.83 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) มีปริมาณมากกว่าซูโครสเฉลี่ยในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (30.83 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 17 ก)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าทำให้ความชื้นในเนื้อเฉลี่ย ปริมาณ TSS เฉลี่ย pH ของน้ำคั้นเฉลี่ย ปริมาณ TA เฉลี่ย อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เฉลี่ย และปริมาณซูโครส กลูโคสและฟรุกโตสเฉลี่ย ซึ่งคิดค่าเฉลี่ยจากผลที่พ่นและไม่พ่นสารนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 16, 17 ก-ค ตารางผนวกที่ 12) โดยความชื้นในเนื้อเฉลี่ย 2 สัปดาห์แรกที่ศึกษาคงที่ และลดลงตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (87.22%) จากนั้นคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 16 ก) ปริมาณ TSS เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวนานขึ้น โดยปริมาณสูงสุดพบที่ผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (14.01°Brix) (ภาพที่ 16 ข) pH ของน้ำคั้นเฉลี่ยลดลงต่ำสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (3.39) และกลับเพิ่มขึ้นอีกหลังจากอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 16 ค) ปริมาณ TA เฉลี่ยสูงสุดเมื่อผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (0.68% citric acid) ทั้งนี้ปริมาณ TA เฉลี่ยลดต่ำสุดเมื่อ

ผลอายุ 131 และ 152 วันหลังการเร่งดอก (0.60 และ 0.59% citric acid ตามลำดับ) (ภาพที่ 16 ง) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เฉลี่ยคงที่ใน 3 สัปดาห์แรกและเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (24.68) (ภาพที่ 16 จ) ปริมาณซูโครสเฉลี่ยคงที่ใน 2 สัปดาห์แรกและเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณซูโครสเฉลี่ยสูงสุดเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (57.78 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ภาพที่ 17 ก) ปริมาณกลูโคสเฉลี่ยส่วนมากค่อนข้างคงที่โดยจะลดต่ำสุดเมื่อเก็บผลที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (9.79 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ภาพที่ 17 ข) ปริมาณฟรุกโตสเฉลี่ยส่วนมากค่อนข้างคงที่แต่พบว่าลดต่ำสุดเมื่อเก็บผลที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (8.53 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) (ภาพที่ 17 ค)

พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในส่วนของ pH ของน้ำคั้น ($P<0.01$) ปริมาณ TA ($P<0.01$) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ($P<0.01$) และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ($P<0.05$) (ตารางที่ 4) กล่าวคือ

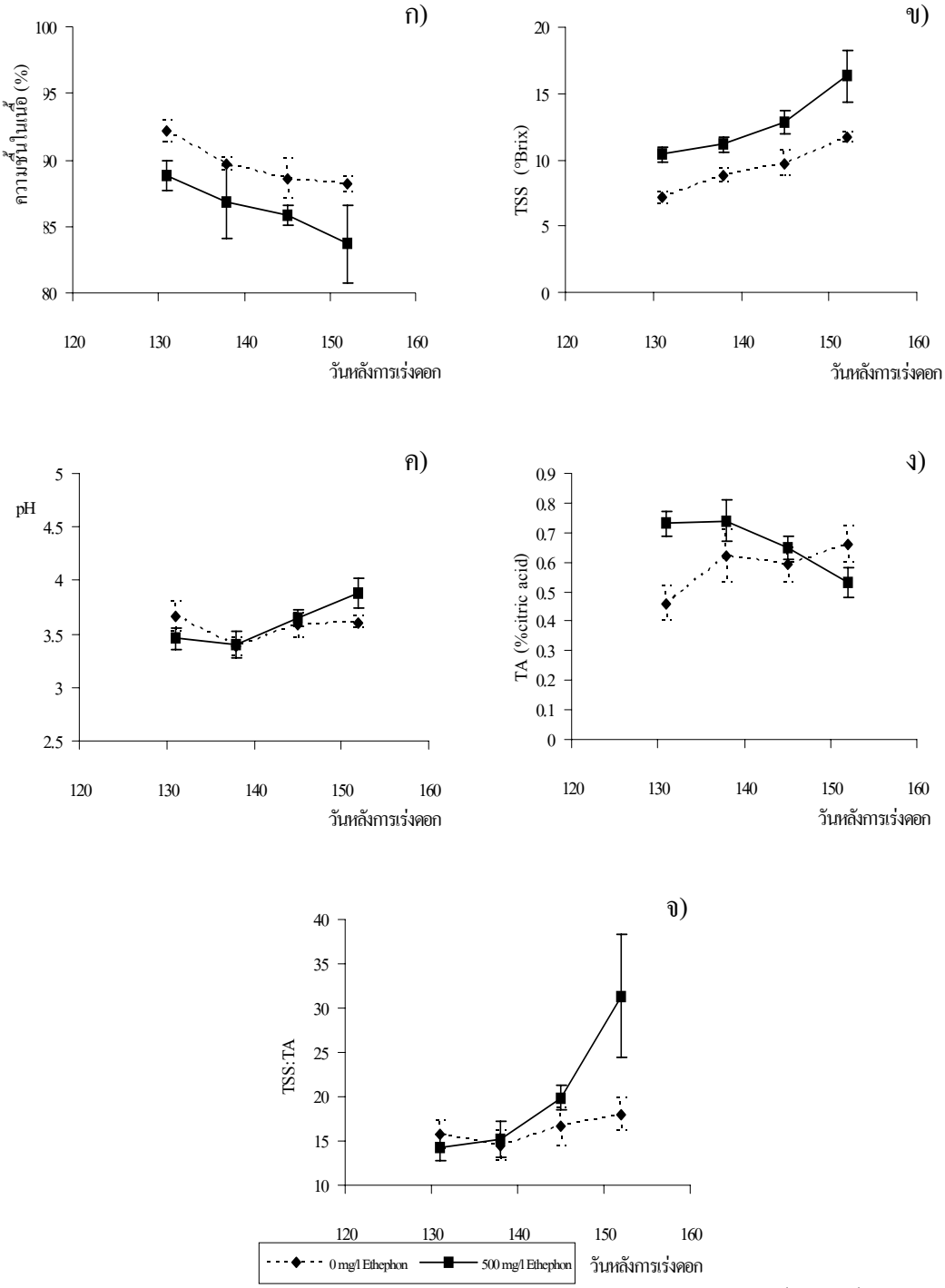
ก. pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าลดต่ำสุดในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (3.38) และกลับสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุผลเพิ่มขึ้น สำหรับ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon คงที่ใน 2 สัปดาห์แรกหลังพ่นสาร (3.46 และ 3.40 ตามลำดับ) ก่อนที่จะกลับสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุผลเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ pH ของน้ำคั้นระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละอายุที่เก็บเกี่ยว พบว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (3.46) มีปริมาณน้อยกว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (3.67) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบผลที่เก็บเกี่ยวผลที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก พบว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon (3.65 และ 3.88 ตามลำดับ) สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (3.57 และ 3.61 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ) กล่าวคือความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ทำให้ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon ลดลงหลังจากพ่นสาร 1 สัปดาห์ หลังจากนั้น pH ของน้ำคั้นจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ข. ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ผลอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (0.62% citric acid) และคงที่จนกระทั่งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก แต่ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon คงที่ใน 3 สัปดาห์แรกหลังพ่นสาร และลดลงเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (0.53% citric acid) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละอายุที่เก็บเกี่ยว พบว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการ

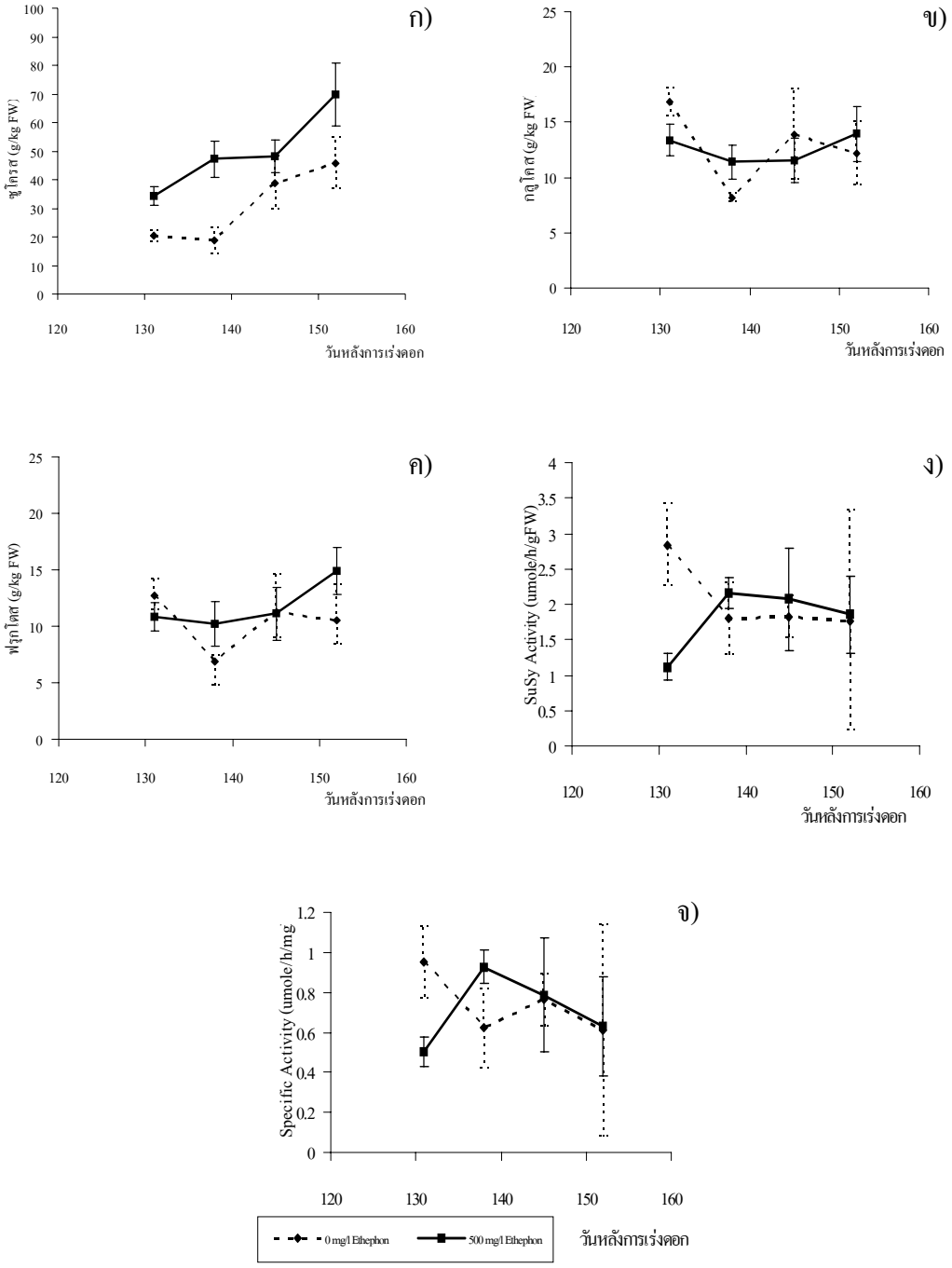
เร่งดอก (0.73% citric acid) มีปริมาณมากกว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (0.46% citric acid) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ นั่นคือ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ภายใน 1 สัปดาห์หลังจากพ่นสารขณะผลอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก

ค. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นไม่ทำให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเปลี่ยนแปลง แต่การพ่นด้วย ethephon ทำให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บผลที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (31.38) เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละอายุที่เก็บเกี่ยว พบว่าอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (31.38) มีอัตราส่วนที่สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (17.97) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ethephon ทำให้อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ง. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นไม่ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าและ ethephon เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละอายุที่เก็บเกี่ยว พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก (1.118 μmole/h/g FW) มีปริมาณต่ำกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (2.835 μmole/h/g FW) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ ethephon ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงหลังการพ่นสาร 1 สัปดาห์



ภาพที่ 16 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทีมีต่อความชื้นในเนื้อ (ก) ปริมาณ TSS (ข) pH ของน้ำคั้น (ค) ปริมาณ TA (ง) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 124 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊤ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 17 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อปริมาณซูโครส (ก) กลูโคส (ข) ฟรุกโตส (ค) กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ง) และ specific activity ของเอนไซม์ sucrose synthase (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 124 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊤ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

ตารางที่ 4 การมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยว หลังจากพ่นสารที่อายุ 124 วันหลังการเร่งดอก ใน pH ของน้ำคั้น ปริมาณ TA อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)		0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	pH ของน้ำคั้น			*ปริมาณ TA (% citric acid)*		
131	3.67a	3.46c	0.21**	0.46b	0.73a	0.27**
138	3.38c	3.40c	0.02	0.62a	0.74a	0.12
145	3.57b	3.65b	0.08*	0.59a	0.65a	0.06
152	3.61ab	3.88a	0.27**	0.66a	0.53b	0.13
F-Test (E X H)			**			**
	อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA			*กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (μmole/h/gFw)*		
131	15.68a	14.26c	1.42	2.835a	1.118a	1.717*
138	14.41a	15.19bc	0.78	1.793a	2.159a	0.366
145	16.58a	19.89b	3.31	1.816a	2.077a	0.261
152	17.97a	31.38a	13.41**	1.771a	1.854a	0.083
F-Test (E X H)			**			*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ, เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT, เปรียบเทียบทางด้านแถว ค่าความแตกต่างที่มีเครื่องหมาย * และ ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ โดยวิธี LSD

ผลที่ได้จากชุดการทดลองนี้พบการมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในเรื่องของ pH ของน้ำคั้น ปริมาณ TA อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ตารางที่ 4) โดยผลที่ผ่านการพ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 131 วันหลังการเร่งดอก มีปริมาณ TA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับการที่ pH ของน้ำคั้นและกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่านั้น อาจมีสาเหตุสืบเนื่องมาการใช้ ethephon ซึ่งทำให้อัตราการหายใจของสับปะรดเพิ่มขึ้น (Dull *et al*., 1967) ดังนั้นทั้งปริมาณกรดและ ATP จึงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองในการพ่นสารขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก แต่การที่เนื้อเยื่อสับปะรดมีอายุ 124 วันหลังการเร่งดอกเริ่มเข้าสู่การเจริญเต็มที่จึงอาจทำให้สับปะรดตอบสนองต่อ ethephon เร็วขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่ pH ของน้ำคั้นเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ซึ่งตรงตามที่จริงแท้ (2544) และ Saltveit (1999) กล่าวไว้ว่าเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนมีการตอบสนองต่อ ethylene ไม่ดีเท่าเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ทั้งนี้ ethephon ซึ่งทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นไปลดกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากเหตุผลของ ATP ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในผลของการพ่นสาร ethephon ที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (Amthor, 1989; Huber and Akazawa, 1986) และเช่นเดียวกันคือการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ไม่ส่งผลต่อขนาดและน้ำหนักของผลที่เก็บเกี่ยวที่ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก แต่การลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase อาจส่งผลถึงการสังเคราะห์ cellulose ในเซลล์ให้น้อยลง (Pozueta-Roero *et al*., 2004) มีเส้นใยน้อยลง (Ruan *et al*., 2003) ซึ่งอาจส่งผลให้เนื้อนิ่มขึ้นและอาจมีเส้นใยน้อยกว่าปกติได้เช่นเดียวกับกรณีการพ่นสารขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก

จากผลของปริมาณ TA ที่ได้ (ตารางที่ 4) ซึ่งพบว่า ethephon สามารถเพิ่มปริมาณ TA ได้ภายใน 1 สัปดาห์ภายหลังการพ่นสารเท่านั้น และไม่พบความแตกต่างของปริมาณ TA จากผลที่พ่น ethephon และผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งเก็บผลในเวลาอื่น (131-152 วันหลังการเร่งดอก) โดยเฉพาะผลที่อายุ 145 หรือ 152 วันหลังการเร่งดอก ทำให้ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากผลการศึกษาของปิยะ (2522) ที่พบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 126 วันหลังการเร่งดอกสามารถทำให้ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า การที่ผลของปริมาณ TA แตกต่างกันนี้อาจเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ต่ำกว่าความเข้มข้นที่ปิยะ (2522) ใช้ถึง 3 เท่า

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาล โดยเฉพาะกลูโคสและฟรุกโตสซึ่งเป็นสารสำคัญในการเข้าสู่วิถี glycolysis (Taiz and Zeiger, 1998) ภายหลังการพ่นสาร ethephon ที่อายุ 124 วันหลังการเร่งดอกนี้ (ภาพที่ 17 ข ,ค) พบว่าการลดลงของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวไม่ชัดเจนเช่นเดียวกับการทดลองขณะพ่นสารที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 3) อาจมีสาเหตุมาจากการที่ผลปกติเมื่อเจริญขึ้นถึงอายุ 131 วันหลังการเร่งดอก เป็นระยะเวลาที่เริ่มมีการสะสมซูโครสในเซลล์เพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากผลที่แสดงในภาพที่ 13 ก และ 15 ก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของซูโครสอาจช่วยทดแทนการนำกลูโคสและฟรุกโตสไปใช้ในกระบวนการหายใจได้ โดยอาจมีการสลายซูโครสเพื่อนำไปใช้แทนที่การดึงน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้ง 2 ชนิดไปใช้เพียงอย่างเดียว จึงทำให้พบการลดลงของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดไม่เด่นชัดเท่าผลการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าการสลายซูโครสไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ sucrose synthase เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงขณะผลอายุ 131 วันหลังการเร่งดอกเช่นเดียวกัน

ในการทดลองนี้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon ขณะสับปะรดอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก นั่นคือผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon มีปริมาณ TSS ไม่แตกต่างกัน ผลที่ได้นี้เป็นไปในทำนองเดียวกับผลการศึกษาของปิยะ (2522) ที่พบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 126 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเป็นอายุที่ใกล้เคียงกับผลที่ศึกษา ไม่ทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้พ่นสาร เมื่อพิจารณาคุณภาพของสับปะรดโดยการใช้ปริมาณ TSS เป็นเกณฑ์ในการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2545) พบว่าผลที่พ่นด้วย ethephon ขณะอายุ 124 วันหลังการเร่งดอกสามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าปกติ 1 สัปดาห์ คือเก็บที่ 145 วันหลังการเร่งดอก เช่นเดียวกับผลที่พ่นขณะอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก ทั้งนี้ผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกมีคุณภาพภายนอกไม่ต่างจากผลที่ไม่พ่นสารและผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก การพิจารณาว่าผลเก็บเกี่ยวได้หรือไม่ในการทดลองนี้ยังสังเกตได้จากผลการทดลองในเรื่องของ pH ของน้ำคั้น ซึ่งพบว่าหลังจาก pH ของน้ำคั้นลดลงใน 1 สัปดาห์แรกหลังพ่นสารอันเนื่องมาจากอิทธิพลของ ethephon นั้น เมื่อผลพัฒนาถึงอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกพบว่า pH ของน้ำคั้นเท่ากับในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บที่อายุ 145 และ 152 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งการกลับเพิ่มขึ้นของ pH ของน้ำคั้นเป็นสัญญาณแสดงว่าสับปะรดเริ่มมีการสุกเกิดขึ้น (จินดารัฐ, 2541; Singleton and Gortner, 1965) ดังนั้นอัตราการ

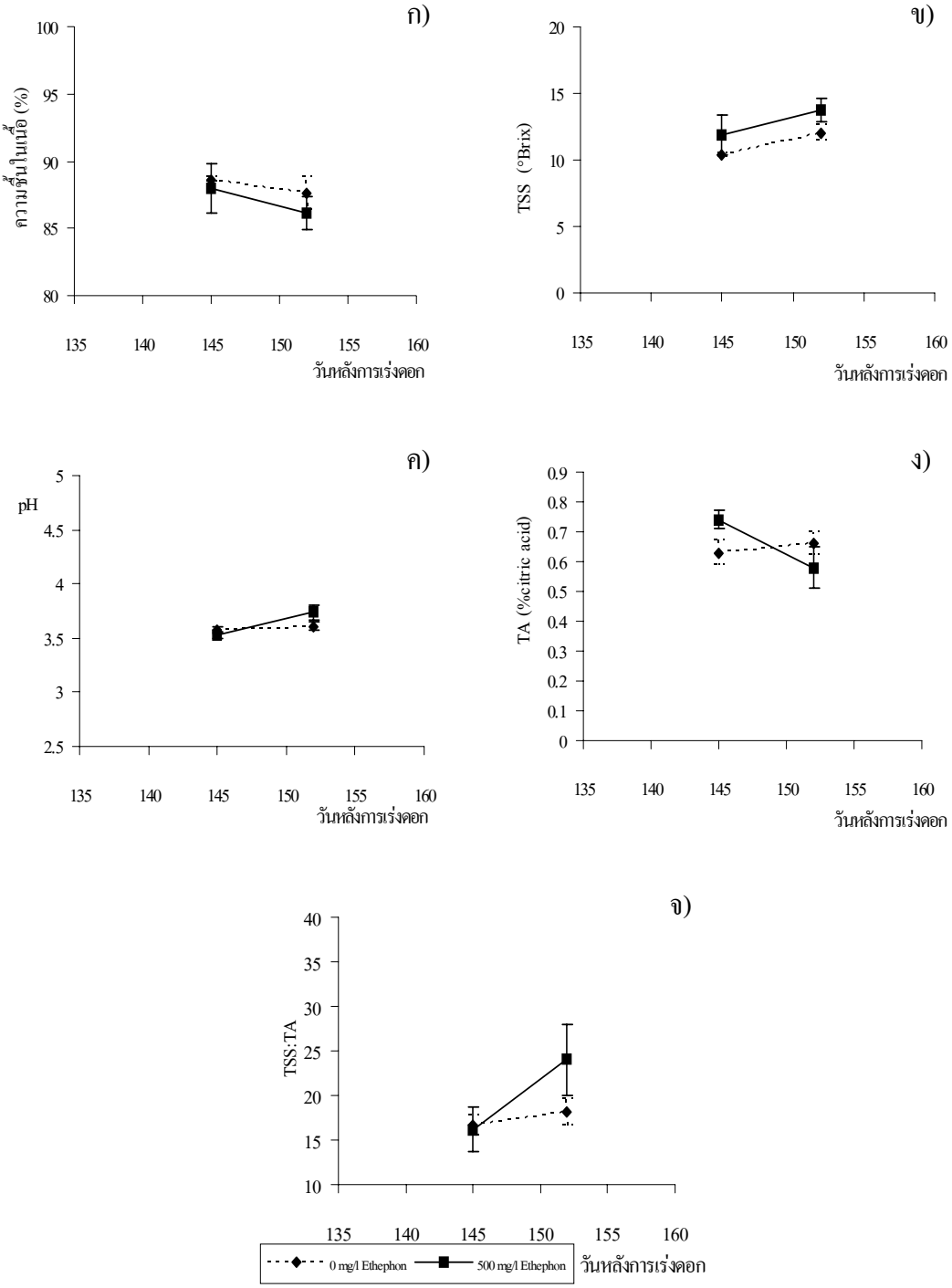
เพิ่มขึ้นของ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon ซึ่งมากกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าจึงแสดงว่าผลที่พ่นด้วย ethephon ที่อายุ 124 วันหลังการเร่งดอกสุกเร็วกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

การเก็บผลที่อายุมากขึ้นคือ 152 วันหลังการเร่งดอกอาจไม่เหมาะกับการส่งโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon มีค่าสูงมากถึง 31.38 (ตารางที่ 4) ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ที่สูงหมายถึงการใสฉ่ำน้ำของเนื้อสับปะรด (Paull, 1997) ซึ่งเป็นสิ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมไม่ต้องการ (Paull and Chen, 2003) แต่ถ้าบริโภคผลสดจะมีรสหวานมากกว่าปกติ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ในผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกซึ่งเกิดจากการมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณ TA ที่มีแนวโน้มลดลงและปริมาณ TSS ที่เพิ่มมากขึ้นในผลที่พ่นสาร ethephon ที่เก็บเกี่ยวที่ 152 วันหลังการเร่งดอก

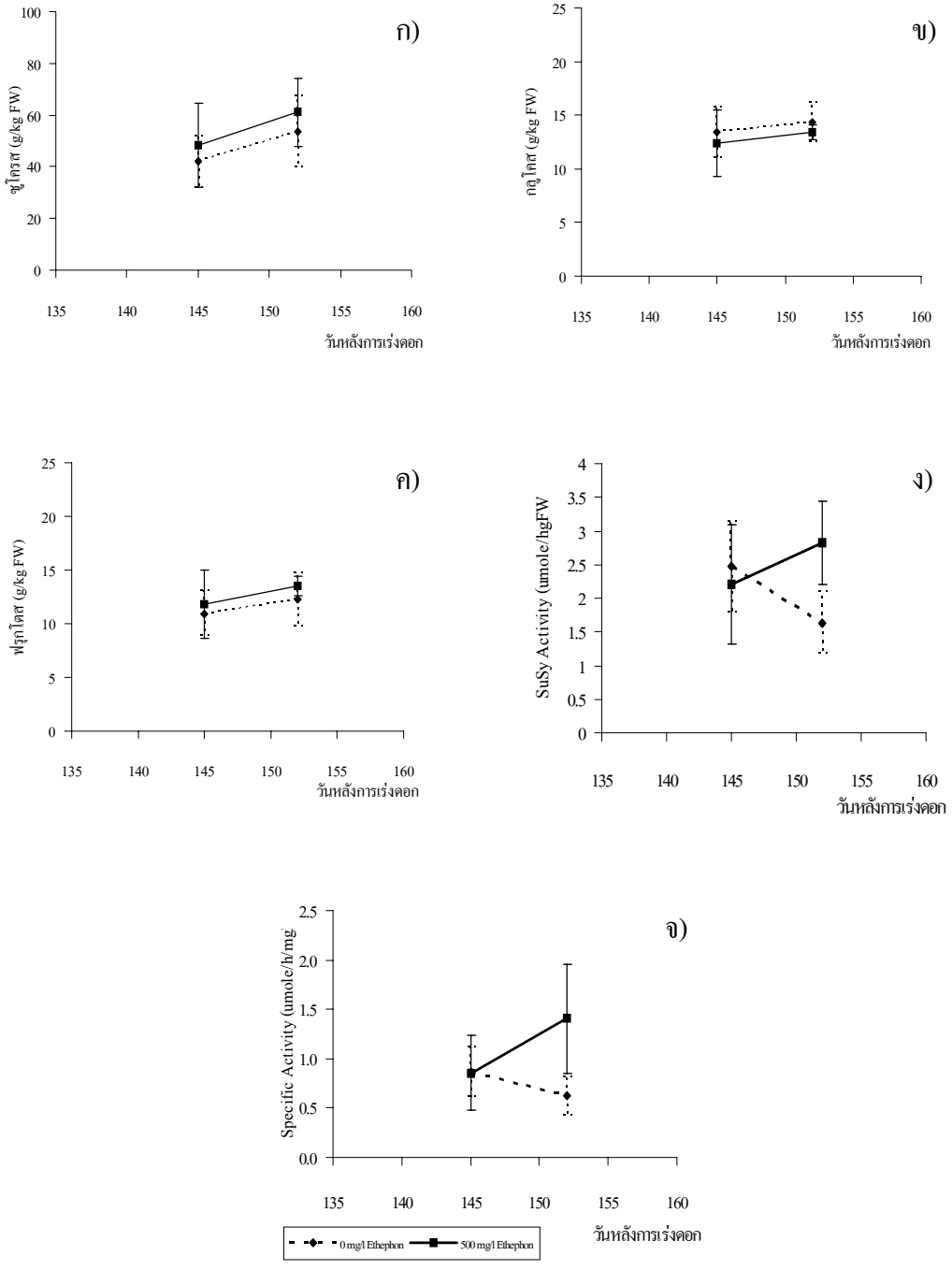
2.2.4 ผลการศึกษาคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในผลที่พ่นสารขณะอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก (ระยะปลายตาขยายเข้าสู่ตาเปิด)

ผลของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase แสดงในภาพที่ 18, 19 (ตารางผนวกที่ 13) พบว่าความเข้มข้นของ ethephon ที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงปัจจัยเดียวทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เฉลี่ย 2.518 μmole/h/g FW สูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เฉลี่ย 2.051 μmole/h/g FW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 19 ง)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสาร ethephon พบว่าทำให้ความชื้นในเนื้อเฉลี่ย ปริมาณ TSS เฉลี่ย pH ของน้ำคั้นเฉลี่ย และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เฉลี่ย ซึ่งคิดค่าเฉลี่ยจากผลที่พ่นและไม่พ่นสารนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความชื้นในเนื้อเฉลี่ยลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวนานขึ้น ซึ่งลดต่ำสุดเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (86.87%) (ภาพที่ 18 ก) ทั้งนี้ความชื้นในเนื้อเฉลี่ยตรงข้ามกับปริมาณ TSS เฉลี่ยซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวนานขึ้น โดยปริมาณ TSS เฉลี่ยสูงสุดพบที่ผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (12.88°Brix) (ภาพที่ 18 ข) pH ของน้ำคั้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยพบว่า pH ของน้ำคั้นเฉลี่ยสูงสุดขณะที่ผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (3.68) (ภาพที่ 18 ค) อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยเพิ่มสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (21.08) (ภาพที่ 18 จ)



<u>ภาพที่ 18</u> ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อความชื้นในเนื้อ (ก) ปริมาณ TSS (ข) pH ของน้ำคั้น (ค) ปริมาณ TA (ง) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)



ภาพที่ 19 ผลการใช้ ethephon เข้มข้น 0 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีต่อปริมาณซูโครส (ก) กลูโคส (ข) ฟรุกโตส (ค) กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase (ง) และ specific activity ของเอนไซม์ sucrose synthase (จ) เมื่อพ่นผลสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 1 สัปดาห์หลังการพ่นสารถึงอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (เครื่องหมาย ⊥ และ ⊥ แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย)

พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวในส่วนของ pH ของน้ำคั้น ($P<0.05$) และปริมาณ TA ($P<0.05$) (ตารางที่ 5) กล่าวคือ

ก. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นไม่ทำให้ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเปลี่ยนแปลง แต่การพ่นด้วย ethephon ทำให้ pH ของน้ำคั้นเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บผลที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (3.74) เมื่อเปรียบเทียบ pH ของน้ำคั้นระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสารในแต่ละระยะเวลาการเก็บเกี่ยว พบว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (3.74) มีค่ามากกว่า pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (3.61) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้ทำให้ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon ไม่เปลี่ยนแปลงถ้าเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก แต่ทำให้ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ข. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่นานขึ้นไม่ทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเปลี่ยนแปลง แต่การพ่นด้วย ethephon ทำให้ปริมาณ TA มีค่าสูงสุดตั้งแต่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (0.74% citric acid) และต่ำสุดเมื่ออายุ 152 วันหลังการเร่งดอก (0.58% citric acid) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TA ระหว่างผลที่พ่นและไม่พ่นสาร ethephon ในแต่ละระยะเวลาการเก็บเกี่ยว พบว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก (0.74% citric acid) มีปริมาณมากกว่าปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (0.63% citric acid) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ปริมาณ TA ในผลที่พ่นด้วย ethephon เพิ่มขึ้นภายใน 1 สัปดาห์หลังจากพ่นสาร จากนั้นลดลงจนกระทั่งมีปริมาณเท่ากับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าเมื่อผลอายุ 152 วันหลังการเร่งดอก

ตารางที่ 5 การมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon กับระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหลังจากพ่นสารที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก ใน pH ของน้ำคั้น และปริมาณ TA

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วันหลังการเร่งดอก)	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง	ethephon เข้มข้น		ค่าความแตกต่าง
	0 (mg/l)	500 (mg/l)		0 (mg/l)	500 (mg/l)	
	pH ของน้ำคั้น			*ปริมาณ TA (% citric acid)*		
145	3.58a	3.53b	0.05	0.63a	0.74a	0.11*
152	3.61a	3.74a	0.13*	0.66a	0.58b	0.08
F-Test (E X H)			*			*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95, เปรียบเทียบทางด้านสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT, เปรียบเทียบทางด้านแถว ค่าความแตกต่างที่มีเครื่องหมาย * และ ** กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ โดยวิธี LSD

การศึกษาครั้งนี้พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่มีต่อปริมาณ TA และ pH ของน้ำคั้น (ตารางที่ 5) โดย ethephon ทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นภายใน 1 สัปดาห์หลังการพ่นสาร (145 วันหลังการเร่งดอก) การที่ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นนี้อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2544; ดนัย, 2540; Dull *et al*., 1967; Lelievre *et al*., 1997; Paull and Chen, 2003; Taiz and Zeiger, 1998) จากอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น (Dull *et al*., 1967) ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ ethylene แก่ผล ดังเช่นผลการทดลองที่ได้จากการพ่น ethephon ที่อายุ 110 และ 124 วันหลังการเร่งดอก การที่เนื้อเยื่อมีอายุมากขึ้นและมีศักยภาพในการสุกมากขึ้นอาจทำให้ระยะเวลาในการตอบสนองต่อ ethephon เร็วขึ้น (จริงแท้, 2544; Saltveit, 1999) ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณ TA เปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ปริมาณ TA ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกคล้ายกับปิยะ (2522) ที่พบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 1500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อายุ 140 วันหลังการเร่งดอกทำให้ผลที่เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าผลปกติมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ปริมาณ TA ในผลที่พ่นสาร ethephon และเก็บเกี่ยวที่ 152 วันหลังการเร่งดอกไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า แต่ pH ของน้ำคั้นในผลที่พ่นด้วย ethephon ที่เก็บเกี่ยวในเวลาเดียวกันกลับเพิ่มขึ้นกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) ซึ่งการกลับเพิ่มขึ้นของ pH ของน้ำคั้นอย่างรวดเร็วแสดงถึงการสุกของผลที่พ่นด้วย ethephon เกิดขึ้นเร็วกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (จินดารัฐ, 2541; Singleton and Gortner, 1965) ทั้งนี้การเก็บเกี่ยวผลที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกซึ่งปริมาณ TA ไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าจะคล้ายกับการทดลองที่สุภาพรและคณะ (2542) พบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 สัปดาห์ไม่ทำให้ปริมาณ TA แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

ผลที่ได้จากการพ่น ethephon ขณะสับปะรดอายุ 138 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเป็นระยะที่สับปะรดเจริญเต็มที่และใกล้สุกนี้ พบว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่นด้วย ethephon ไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ซึ่งผลที่ได้นี้ต่างจากผลของสุภาพรและคณะ (2542) ที่พบว่าปริมาณ TSS ในผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยวมีปริมาณสูงกว่าในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า ผลการทดลองนี้คล้ายกับผลของปิยะ (2522) ที่พบว่าปริมาณน้ำตาลในผลที่พ่นด้วย ethephon ไม่ต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า เมื่อพ่น ethephon เข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อายุ 140 วันหลังการเร่งดอก ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ ethephon มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS จากการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณ TSS กับ

ปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในผลที่พ่นด้วย ethephon มีความสอดคล้องกันคือ ปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในผลที่พ่นด้วย ethephon ไม่แตกต่างจากในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า

เมื่อพิจารณาการเก็บเกี่ยวจากปริมาณ TSS ตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2545) พบว่าสามารถเก็บผลที่พ่นด้วย ethephon ที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกได้เร็วขึ้นกว่าปกติ 1 สัปดาห์ (145 วันหลังการเร่งดอก) (ภาพที่ 18 ข) นอกจากนี้ผลที่เก็บเกี่ยว ณ เวลานี้ยังมีปริมาณ TA ที่มากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดในประเทศไทย เนื่องจาก Bartholomew *et al*. (2003) กล่าวว่าสับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมมีปัญหาที่ปริมาณกรดต่ำทำให้ทางโรงงานต้องเติม citric acid เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

เป็นที่สังเกตว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ที่แม้ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของ ethephon และระยะเวลาการเก็บเกี่ยว แต่ความเข้มข้นของ ethephon ที่ใช้สามารถทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งต่างจากในการทดลองที่ผ่านมาที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่าการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เกิดขึ้นในผลที่พ่นด้วย ethephon และเก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณ TA ลดลง ดังนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase อาจมีความสัมพันธ์กับการหายใจที่ถูกชักนำโดย ethylene ดังนี้

ก. การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ sucrose synthase อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการที่เซลล์มีอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก การเพิ่มอัตราการหายใจให้สูงขึ้นเป็นสัญญาณหนึ่งที่ทำให้เซลล์เร่งการเสื่อมสภาพ ดังนั้นกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นมากและอาจไปเร่งให้เอนไซม์ sucrose synthase มีกิจกรรมที่สูงขึ้นโดยเอนไซม์ sucrose synthase อาจทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ UPG-glucose เพื่อใช้ในการผลิต cellulose สะสมไว้เช่นเดียวกับกรณีของรากข้าวโพดที่เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase มากขึ้นเพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์ cellulose สะสมไว้ที่เซลล์รากระหว่างใกล้ตาย (Subbaiah and Sachs, 2001) ถ้ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เพื่อวัตถุประสงค์นี้แสดงว่าสับปะรดที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอกควรมีเส้นใยมากกว่าปกติ

ข. Ethylene อาจเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase โดยผ่านการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากการให้ ethylene จากภายนอกแก่ผล

องุ่นซึ่งเป็นผลประเภท non-climacteric เช่นเดียวกับผลสับปะรดสามารถเพิ่มเอนไซม์ alcohol dehydrogenase (Tesniere *et al*., 2004) เอนไซม์ alcohol dehydrogenase ที่เพิ่มขึ้นทำให้ pyruvate ซึ่งเป็นผลิตผลสุดท้ายของวิถี glycolysis ที่ปกติจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ถูกดึงมาใช้ โดย pyruvate เกิดการ decarboxylation เปลี่ยนเป็น acetaldehyde โดยเอนไซม์ pyruvate decarboxylase จากนั้นเอนไซม์ alcohol dehydrogenase ทำการเปลี่ยน acetaldehyde ไปเป็น ethanol (Brownleader *et al*., 1997; Taiz and Zeiger, 1998; Salisbury and Ross, 1992) ดังนั้นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นได้จาก ethylene โดยพืชไม่จำเป็นต้องอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (Geigenbyrger, 2003; Tesniere *et al*., 2004) การที่ pyruvate ไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ทำให้กรดอินทรีย์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในวัฏจักรเครบส์ลดน้อยลง (จริงแท้, 2544; ดนัย, 2540; Salisbury and Ross, 1998) ดังนั้นปริมาณ TA จึงลดลงและ pH ของน้ำคั้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ทำให้ ATP ลดน้อยลง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เซลล์ต้องปรับวิธีในการประหยัด ATP ในเซลล์ให้มากขึ้น ซึ่งเอนไซม์ sucrose synthase ที่สามารถช่วยเซลล์ในการรักษาสภาวะการใช้ ATP (Amthor, 1989; Avigad and Dey, 1997; Bologa *et al*., 2003; Huber and Akazawa, 1986) ได้จึงถูกกระตุ้นให้มีกิจกรรมสูงขึ้น

การที่ ethylene มีผลอย่างไรต่อเอนไซม์ sucrose synthase นั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษาต่อและเนื่องจากเอนไซม์ sucrose synthase มีหลายไอโซฟอร์มและยังไม่มีผู้ศึกษาเอนไซม์ดังกล่าวนี้ในสับปะรดทั้งในกรณีของโครงสร้างหรือลำดับเบสหรือลำดับกรดอะมิโน ดังนั้นจึงได้ศึกษาลำดับเบสบางส่วนของเอนไซม์ sucrose synthase เพื่อประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

จากผลที่ได้ทั้งหมดของคุณภาพภายใน ปริมาณน้ำตาล และกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ของผลสับปะรดที่ผ่านการพ่นและไม่พ่นสาร ethephon ที่อายุต่างๆตั้งแต่ 96-138 วันหลังการเร่งดอก และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆกันภายหลังการพ่นสาร สามารถสรุปได้ว่าอายุของผลสับปะรดมีผลต่อการแสดงออกของ ethylene ดังเช่นที่จริงแท้ (2544) และ Salveit (1999) กล่าวไว้ นั่นคือเมื่อพ่น ethephon ขณะผลอายุน้อย พบว่าเนื้อเยื่อมีการตอบสนองไม่ดีเท่าการพ่นเมื่อเนื้อเยื่อมีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยสังเกตจากผลของ ethylene ที่มีต่อคุณภาพภายในโดยเฉพาะปริมาณ TA และ pH ของน้ำคั้น ซึ่งพบว่าเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนใช้เวลาในการตอบสนองต่อ ethylene นานกว่า นอกจากนี้ผลที่ได้ไม่ชัดเจนเท่าเนื้อเยื่อที่อายุมากขึ้น เป็นเหตุให้การใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นขณะผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่สามารถทำให้ผลที่ผ่านการพ่นสารมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในอย่างชัดเจนเพียงพอที่จะเก็บเกี่ยวผลได้เร็วขึ้น

ดังนั้นถ้าใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นขณะผลอายุ 96 วันหลังการเร่งดอก จะเก็บผลได้ตามเวลาปกติ แต่ผลที่ได้จะมีรสหวานกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าจากการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณซูโครสและฟรุกโตส (ภาพที่ 13 ข, ค ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามพบว่าการพ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะผลอายุ 110-138 วันหลังการเร่งดอกทำให้เก็บผลได้เร็วขึ้น 1 สัปดาห์ โดยผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกและเก็บผลที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณ TA ไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ภาพที่ 14 ข, ง ตารางที่ 3) สำหรับผลที่พ่นขณะอายุ 124 วันหลังการเร่งดอกและเก็บผลที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกซึ่งพบว่าปริมาณ TSS และปริมาณ TA ไม่แตกต่างจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าที่เก็บเกี่ยวในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 16 ข, ง ตารางที่ 4) แต่ปริมาณ TSS อยู่ในเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตร (2545) กำหนดไว้ และปริมาณกรดที่ไตเตรทอยู่ในช่วงที่โรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องรับได้ จึงทำให้เก็บผลได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ถ้าปล่อยผลทิ้งไว้จนกระทั้งอายุ 152 วันหลังการเร่งดอกจะทำให้ผลที่พ่นสาร ethephon ซึ่งเก็บเกี่ยวที่ 152 วันหลังการเร่งดอกมีอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA สูงกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ภาพที่ 16 จ) ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ที่สูงมากเช่นนี้ไม่เหมาะจะใช้ส่งโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องเนื่องจากมีเนื้อใสฉ่ำน้ำ (Paull, 1977; Paull and Chen, 2003) จึงเหมาะกับการบริโภคผลสดมากกว่า สำหรับผลที่พ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บผลที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอก แม้มีปริมาณ TSS ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ภาพที่ 18 ข) แต่ปริมาณ TSS อยู่ในเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตร (2545) กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณ TA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ผลอายุ 145 วันหลังการเร่งดอกเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า (ตารางที่ 5) ดังนั้นการพ่น ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บผลที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกจึงสามารถแก้ปัญหาของสับปะรดที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องในประเทศไทยมีปริมาณกรดต่ำจนต้องเติม citric acid เพิ่มในผลิตภัณฑ์ ตามที่ Bartholomew *et al*. (2003) กล่าวไว้ได้

จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดสังเกตได้ว่าปริมาณ TSS นอกจากจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณซูโครสดังเช่นที่ Chen and Paull (2000) กล่าวไว้ ยังพบว่าปริมาณ TSS มีความสัมพันธ์กับปริมาณ TA ตามที่ Holcroft and Kader (1999) กล่าวไว้ โดยสังเกตจากข้อมูลที่พ่นสาร ethephon ขณะผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก (ภาพที่ 14, 15) ซึ่งในระหว่างที่ปริมาณซูโครสในเซลล์น้อย (ภาพที่

15 ก) แต่ปริมาณ TA เพิ่มขึ้นของอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14 ง) ส่งผลให้ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 14 ข)

ปริมาณน้ำตาลโดยเฉพาะซูโครสที่เพิ่มขึ้นในระยะผลสุกไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase โดยสังเกตว่าในระยะผลสุกที่ปริมาณซูโครสเพิ่มมากขึ้นแต่กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ไม่แตกต่างจากในผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า อย่างไรก็ตามการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase หลังจากพ่นผลด้วย ethephon ที่อายุ 110 และ 124 วันหลังการเร่งดอก (ตารางที่ 3, 4) อาจเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ATP จากอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นในเวลาดังกล่าว โดยพิจารณาจากปริมาณ TA pH ของน้ำคั้นและปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า การลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase นี้ยังอาจเกี่ยวข้องกับการนำสารเข้าออกจากเซลล์ของผลสับปะรดได้ เนื่องจากเอนไซม์ sucrose synthase ที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มีหน้าที่อีกประการหนึ่งคือผลิต UDP-glucose เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ cellulose และ callose เพื่อสะสมไว้ที่ผนังเซลล์ (Konishi *et al*., 2001; Nakai *et al*., 1999; Salnikov *et al*., 2001) ดังนั้นการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase หลังจากพ่นผลอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกจึงส่งผลมากกว่าหลังจากพ่นผลอายุ 124 วันหลังการเร่งดอก โดยสังเกตจากปริมาณ TSS ในระยะเก็บเกี่ยวของผลที่ผ่านการพ่นที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกมากกว่าในผลที่ผ่านการพ่นที่อายุ 124 วันหลังการเร่งดอก อย่างไรก็ตามการพ่น ethephon ที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอกที่แม้ว่าจะทำให้ปริมาณ TA เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อ ethylene มีน้อยกว่าในเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโตมากขึ้น รวมทั้งในเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เนื้อเยื่อมีการเจริญอย่างรวดเร็ว โดยพิจารณาจากคุณภาพภายนอกของมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามการพัฒนาของผล (ภาพที่ 8) จึงอาจทำให้ปริมาณ ATP ที่เพิ่มขึ้นจากการหายใจถูกนำไปใช้ในกรณีอื่น เช่นการเจริญเติบโตและสะสมสาร ดังนั้นปริมาณ ATP ที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อการลดการทำงานของเอนไซม์ sucrose synthase

ในการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase นี้เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ จะใช้ข้อมูลของภาพรวมของกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ต่อน้ำหนักสด เนื่องจากมีความชัดเจนทางด้านสถิติมากกว่า อย่างไรก็ตามข้อมูลที่คำนวณเป็น specific activity แม้ไม่มีความชัดเจนทางสถิติเท่า แต่การเพิ่มและลดของ specific activity เป็นไปในทำนองเดียวกันกับภาพรวมกิจกรรมของเอนไซม์ต่อน้ำหนักสด จึงอาจกล่าวเป็นนัยได้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ที่เปลี่ยนแปลงจากผลของ ethephon เป็นไปในทำนองเดียวกัน

3. <u>การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase และปริมาณน้ำตาลในเปลือก เนื้อ และแกนของผลสับปะรด</u>

การศึกษาเอนไซม์ sucrose synthase ในเนื้อสับปะรดเริ่มศึกษาโดย Chen and Paull (2000) และไม่มีรายงานการศึกษาเอนไซม์ดังกล่าวในเปลือกและแกนผล ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในเนื้อ เปลือกและแกนผลโดยใช้สับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ในเนื้อสูงสุด โดยศึกษาและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่อน้ำหนักสด และ specific activity ของเอนไซม์ การที่วิเคราะห์ทั้ง 2 รูปแบบ เนื่องจากในผลไม้หลายชนิดเช่น สับปะรด Chen and Paull (2000) มะละกอ (Zhou and Paull, 2001) sweet melon (Schaffer *et al*., 1987) มันฝรั่ง (Bologa *et al*., 2003) และข้าวโพด (Echeverria and Humphreys, 1984) ที่ผ่านมามีการศึกษาในลักษณะภาพรวมของกิจกรรมของเอนไซม์ต่อน้ำหนักสดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงแสดงหน่วยทั้ง 2 ร่วมกัน ผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ทั้ง 3 บริเวณไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งกิจกรรมและ specific activity ของเอนไซม์ (ตารางที่ 6)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในเปลือก เนื้อ และแกนผล พบว่าซูโครสมีปริมารสูงสุดในเนื้อ (7.540 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และต่ำสุดในเปลือก (2.460 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) กลูโคสมีปริมาณสูงสุดที่แกนผล (14.463 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และต่ำสุดที่เปลือก (11.500 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ฟรุกโตสพบสูงสุดในเนื้อ (10.350 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) โดยในเปลือกและแกนพบในปริมาณเท่ากันคือ (4.490 และ 4.663 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) (ตารางที่ 6) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในแต่ละส่วนคือ เปลือก เนื้อ และแกนผล พบว่าทั้ง 3 บริเวณมีปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดในรูปแบบเดียวกันคือ มีกลูโคสในปริมาณที่สูงสุด รองลงมาได้แก่ฟรุกโตส และมีปริมาณซูโครสต่ำสุด (ตารางที่ 7) ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Chen and Paull (2000) ที่พบว่าในเนื้อของสับปะรดผลอ่อนมีปริมาณกลูโคสสูงสุดและซูโครสต่ำสุด

ตารางที่ 6 กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase และปริมาณน้ำตาลในบริเวณเนื้อ เปลือก และแกนผล จากผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก

บริเวณที่ศึกษา	กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase		ปริมาณน้ำตาล (g/kg Fw)		
	(μmole/h/gFw)	(μmole/h/mg Protein)	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุกโตส
เปลือก	3.379	1.827	2.460c	11.500c	4.490b
เนื้อ	4.187	1.575	7.540a	13.333b	10.350a
แกน	4.246	1.830	4.157b	14.463a	4.663b
F-Test	ns	ns	**	**	**
CV (%)	9.38	10.46	3.39	1.51	1.81

หมายเหตุ เครื่องหมาย (ns) แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตัวเลขจากการวิเคราะห์คุณภาพที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 95% โดยวิธี LSD

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำตาลในบริเวณเนื้อ เปลือก และแกนผล จากผลสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก

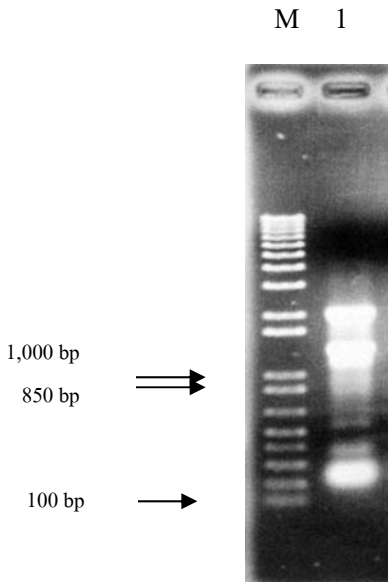
ปริมาณน้ำตาล (g/kg Fw)	บริเวณที่ศึกษา		
	เปลือก	เนื้อ	แกน
ซูโครส	2.460c	7.540c	4.157c
กลูโคส	11.500a	13.333a	14.463a
ฟรุกโตส	4.490b	10.350b	4.663b
F-Test	**	**	**
CV (%)	2.45	5.27	0.35

หมายเหตุ เครื่องหมาย (ns) แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเครื่องหมาย * และ ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตัวเลขจากการวิเคราะห์คุณภาพที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 95% โดยวิธี LSD

4. <u>การโคลนและศึกษาลำดับเบสบางส่วนของยีน sucrose synthase ในสับปะรด</u>

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาลำดับเบสของยีน sucrose synthase ของสับปะรดเป็นรายงานแรก ตัวอย่างของเนื้อสับปะรดที่นำมาใช้เป็นสับปะรดที่ไม่ผ่านการพ่นสาร ethephon และเป็นผลอ่อนอายุ 103 วันหลังการเร่งดอก สาเหตุที่นำเนื้อของสับปะรดอายุนี้มาใช้ เนื่องมาจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ที่พบว่าเอนไซม์ดังกล่าวมีกิจกรรมที่สูงในขณะผลมีอายุ 110 วันหลังการเร่งดอก และกิจกรรมดังกล่าวจะลดลงเป็นลำดับเมื่ออายุผลมากขึ้น ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ที่ Chen and Paull (2000) ศึกษาในเนื้อสับปะรดก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน การที่เอนไซม์ sucrose synthase มีกิจกรรมสูงแสดงโดยนัยว่ามีการแสดงออกของ mRNA ของเอนไซม์ดังกล่าวสูงด้วย ทั้งนี้เพราะโปรตีนแต่ละชนิดกำหนดโดยข้อมูลของลำดับเบสบนดีเอ็นเอซึ่งจะถอดรหัสมาเป็น mRNA (Voet and Voet, 2004; Lam, 1997) และแปลรหัสเป็นโปรตีนอีกต่อหนึ่ง (Voet and Voet, 2004) ดังนั้นจึงใช้เนื้อของผลอ่อนสับปะรดมาแยกสกัดอาร์เอ็นเอเพื่อศึกษาลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA สำหรับเหตุที่ไม่ใช้เนื้อที่ผ่านการพ่นสาร ethephon นั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบของสาร ethephon ที่อาจเกิดขึ้นกับยีน sucrose synthase ดังนั้นจึงนำเนื้อของผลอ่อนมาสกัดอาร์เอ็นเอเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาลำดับเบสโดยผ่านวิธี reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) แต่เนื่องจากสับปะรดเป็นพืชที่มีทั้งสารฟีนอลิก และคาร์โบไฮเดรตสูง (Cazzonelli *et al*., 1998; Gehrig *et al*., 2000) ซึ่งสามารถขัดขวางการสกัดอาร์เอ็นเอ ทำให้อาร์เอ็นเอ ที่ได้มีปริมาณและคุณภาพต่ำ (Cazzonelli *et al*., 1998; Teakle *et al*., 2002) Lin *et al.* (2000) สามารถสกัดอาร์เอ็นเอ จากเนื้อสับปะรดได้โดยใช้น้ำยา Trizol เท่านั้นไม่ได้ใช้วิธีของ Cazzonelli *et al*. (1998) ที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้า ในการทดลองนี้จึงสกัดอาร์เอ็นเอโดยใช้น้ำยา Trizol และเมื่อนำอาร์เอ็นเอ ทั้งหมดจากเนื้อของผลอ่อนสับปะรดที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นและคุณภาพพบว่า ได้ความเข้มข้น 0.94 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร โดยอัตราส่วนระหว่าง A260/A280 มีค่าเท่ากับ 1.72 ซึ่งแสดงว่า อาร์เอ็นเอ ทั้งหมดที่สกัดได้มีคุณภาพดีพอควร (Teakle *et al*., 2002) เมื่อนำอาร์เอ็นเอดังกล่าวไปตรวจสอบโดยการทำอิเล็กโทรโฟรีซิสจะเห็นแถบของอาร์เอ็นเอทั้งหมดได้ชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 20 ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันว่าการสกัดอาร์เอ็นเอจากเนื้อของสับปะรดสามารถใช้น้ำยา Trizol ได้เช่นเดียวกับ Lin *et al*. (2000)

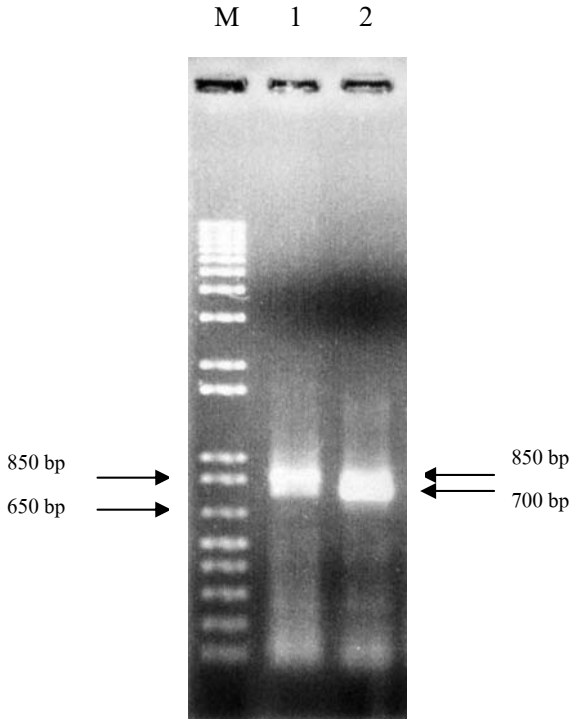
เนื่องจากการศึกษาลำดับเบสบางส่วนของยีน sucrose synthase นี้เป็นการศึกษาลำดับเบสที่ใช้ mRNA เป็นแม่แบบ ดังนั้นจึงใช้วิธีทำ RT-PCR ทั้งนี้การทำ RT-PCR ในการทดลองนี้เป็น



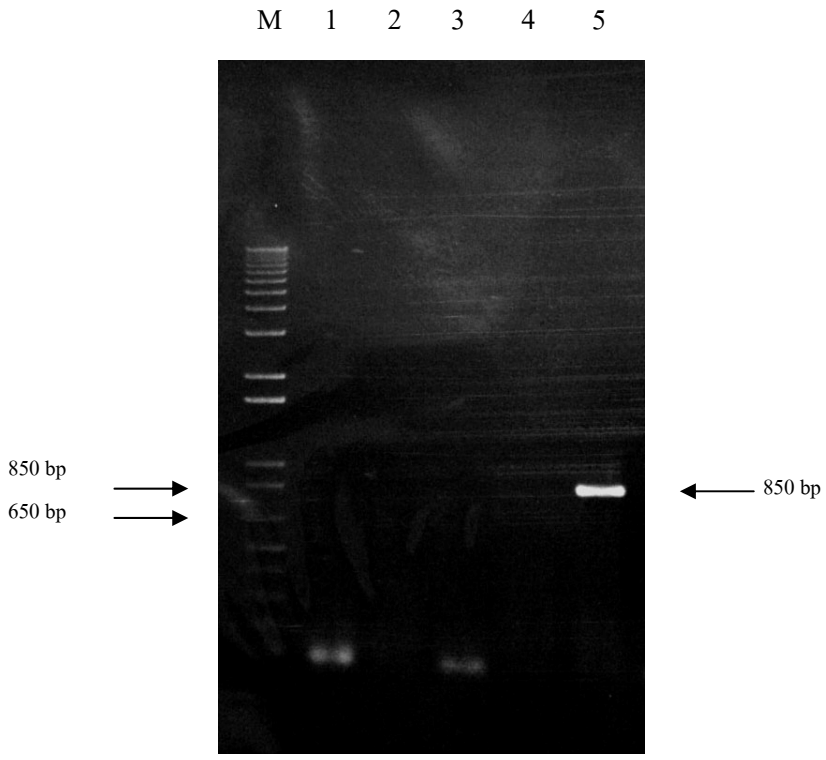
<u>ภาพที่ 20</u> Agarose gel electrophoresis ของ อาร์เอ็นเอ ทั้งหมดที่สกัดจากเนื้อของผลสับปะรดอายุ 103 วันหลังการเร่งดอก โดย M คือ DNA มาตรฐาน 1 กิโลเบส แถวที่ 1 คือ อาร์เอ็นเอทั้งหมดที่สกัดได้

แบบ one-step คือสามารถวิเคราะห์หาอาร์เอ็นเอได้ภายในขั้นตอนเดียวโดยทำปฏิกิริยา reverse transcription จาก mRNA เป็น cDNA และเพิ่มปริมาณ cDNA โดยใช้ PCR แบบต่อเนื่องในปฏิกิริยาเดียวกัน ซึ่งมีข้อดีคือสะดวกและรวดเร็ว แต่เนื่องจากคู่ไพรเมอร์ที่นำมาใช้มีอุณหภูมิของการ annealing อยู่ระหว่าง 48-52°C ซึ่งเป็นช่วงที่กว้าง ทำให้ต้องศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ annealing ก่อน โดยจากการทำ RT-PCR ซึ่งใช้อุณหภูมิของการ annealing ต่างๆกัน พบว่าอุณหภูมิของการ annealing ที่เหมาะสมสำหรับคู่ไพรเมอร์นี้ คือ 47°C อุณหภูมิที่ได้นี้ทำให้เห็นแถบของดีเอ็นเอหลังจากการทำอิเล็กโทรโฟรีซิสจากไพรเมอร์ที่นำมาใช้คาดว่าจะได้ cDNA ขนาดประมาณ 700-800 คู่เบส แต่แถบที่ปรากฏมี 2 แถบ ขนาดประมาณ 700 และ 850 คู่เบสและไม่สามารถปรับสภาวะในการทำ PCR เพื่อให้แถบหนึ่งแถบใดไม่ปรากฏได้ ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าดีเอ็นเอของแถบที่ปรากฏเป็น sucrose synthase cDNA ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากยีน sucrose synthase ในพืชหลายชนิดมีมากกว่า 1 ไอโซฟอร์ม (Wang *et al*., 1992; Martinez de Ilarduya *et al*., 1993; Fu and Park, 1995; Huang *et al*., 1996; Chengappa *et al*., 1998; Tang and Sturm, 1999; Tanase and Yamaki, 2000a; Paul Barratt *et al*., 2001; Carlson *et al*., 2002; Komatsu *et al*., 2002) หรือคู่ไพรเมอร์ที่ใช้นี้สามารถจับกับยีนอื่นซึ่งไม่ใช่ยีนที่ต้องการศึกษาจึงทำให้ปรากฏแถบของดีเอ็นเอจากยีนอื่นด้วย เนื่องจากไพรเมอร์คู่นี้ออกแบบมาจากลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ในพืชชนิดต่างๆโดยออกแบบมาเป็น degenerate primer ซึ่งไม่เฉพาะเจาะจงกับยีน sucrose synthase ในเนื้อสับปะรด จึงอาจทำให้เกิดแถบดีเอ็นเออีกแถบที่ไม่ใช่ sucrose synthase cDNA ได้

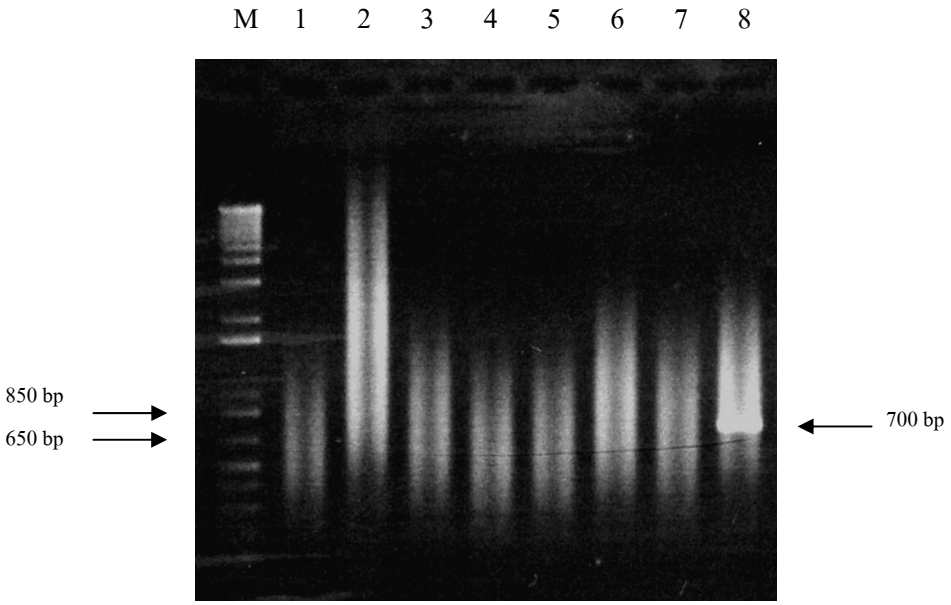
การแยกดีเอ็นเอทั้ง 2 แถบออกจากกันโดยการตัดเจลและนำไปสกัดเพื่อให้ได้ชิ้นดีเอ็นเอที่ต้องการเพียงชิ้นเดียวนั้น พบว่าเมื่อตรวจสอบโดยการทำ agarose gel electrophoresis แล้วไม่สามารถแยกแต่ละแถบได้อิสระ จะมี DNA จากแถบที่อยู่ใกล้กันติดอยู่ด้วยเสมอ (ภาพที่ 21) การนำไปหาลำดับเบสโดยตรงจึงไม่สามารถทำได้ ต้องทำการโคลนชิ้นส่วนของดีเอ็นเอก่อนนำไปศึกษาลำดับเบสต่อไป ในการทดลองนี้จึงได้โคลนชิ้นดีเอ็นเอดังกล่าวเข้าสู่พลาสมิด pGEM-T และถ่ายพลาสมิดสายผสมเข้าสู่ *E. coli* สายพันธุ์ DH5α เพื่อคัดเลือกโคลนที่มีชิ้นดีเอ็นเอเพียงขนาดเดียวก่อนนำไปหาลำดับเบสต่อไป จากการคัดเลือกโคโลนีสีขาวซึ่งเป็นเครื่องหมายแสดงว่ามีพลาสมิดสายผสมอยู่ใน *E. coli* (Henry, 1997) มาตรวจสอบว่ามีชิ้น DNA ที่ต้องการศึกษาหรือไม่ โดยใช้เทคนิค PCR พบโคลนของ *E. coli* ที่มีแถบดีเอ็นเอที่ต้องการคือขนาดประมาณ 700 และ 850 คู่เบส (ภาพที่ 22, 23)



ภาพที่ 21 Agarose gel electrophoresis แสดงแถบดีเอ็นเอที่ได้จากการตัดแถบดีเอ็นเอขนาด 850 และ 700 คู่เบสมาเพิ่มปริมาณซ้ำด้วยไพร์เมอร์ sucrose synthase sense และ anti-sense แถวที่ 1 ผลจากการนำดีเอ็นเอขนาด 850 คู่เบส และแถวที่ 2 คือผลจากการนำดีเอ็นเอขนาด 700 คู่เบส มาเพิ่มปริมาณซ้ำ โดย M คือ DNA มาตรฐาน 1 กิโลเบส



<u>ภาพที่ 22</u> ผลจากการตรวจสอบโคโลนีสีขาวที่คาดว่าจะมีชิ้นส่วนของ sucrose synthase gene ขนาด 850 คู่เบส โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR โดย M คือ DNA มาตรฐาน 1 กิโลเบส หมายเลขแถวบนแสดงจำนวนโคโลนีสีขาวที่นำมาตรวจหาพลาสมิดลูกผสมที่ต้องการ



<u>ภาพที่ 23</u> ผลจากการตรวจสอบโคโลนีสีขาวที่คาดว่าจะมีชิ้นส่วนของ sucrose synthase gene ขนาด 700 คู่เบส โดยการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR โดย M คือ DNA มาตรฐาน 1 กิโลเบส หมายเลขแถวบนแสดงจำนวนโคโลนีสีขาวที่นำมาตรวจหาพลาสมิดลูกผสมที่ต้องการ

จากการหาลำดับเบสของพลาสมิดที่ได้ทั้ง 2 โคลน และนำผลของลำดับเบสไปตรวจสอบกับฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม BlastN พบว่าชิ้นส่วนของดีเอ็นเอ ซึ่งมีขนาดประมาณ 850 คู่เบส นั้นไม่ใช่ยีน sucrose synthase แต่ชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่มีขนาดประมาณ 700 คู่เบส นั้นเป็นส่วนหนึ่งของยีน sucrose synthase โดยได้ลำดับเบสจริงขนาด 687 คู่เบส (ภาพที่ 24) เมื่อนำลำดับเบสดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ที่ได้จากฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม ClustalW พบว่าเหมือนกับลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ของแพร์ญี่ปุ่น (*Pyrus pyrifolia*, GenBank accession no. AB045710) ไอโซฟอร์มที่ 1 (PypSUS1) ส้ม (*Citrus unshiu*, GenBank accession no. AB022091) ไอโซฟอร์ม A (*CitSUSA*) และถั่วลันเตา (*Pisum sativum*, GenBank accession no. AJ001071) ไอโซฟอร์มที่ 2 (*peaSUS2*) ถึง 75% ทั้งนี้ยังเหมือนกับลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ในมะละกอ (*Carica papaya*, GenBank accession no. AB091538) และข้าว (*Oryza sativa*, GenBank accession no. AK102158) ถึง 74% และมีเปอร์เซ็นต์ความเหมือน 72% เมื่อเทียบกับ sucrose synthase cDNA ไอโซฟอร์มที่ 2 ของมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum*, GenBank accession no. AY205302) การเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสข้างต้นแสดงในภาพที่ 25 เนื่องจากลำดับเบสของยีน sucrose synthase ของส้ม (Citrus unshiu) ในฐานข้อมูลมีทั้งที่เป็น cDNA ของ sucrose synthase ไอโซฟอร์ม A (*CitSUSA*, GenBank accession no. AB022091) และลำดับเบสในจีโนม (genomic DNA) ของ sucrose synthase ไอโซฟอร์ม A-2 (*CitSUSA-2*, GenBank accession no. AB025778) ซึ่งถ้าใช้ไพรเมอร์คู่นี้ในการเพิ่มปริมาณยีน sucrose synthase จากดีเอ็นเอโดยการทำ PCR จะทำให้เห็นแถบของดีเอ็นเอในตำแหน่งประมาณ 800 คู่เบส เนื่องจากมีส่วนของ intron แทรก (ภาพผนวกที่ 7)

เมื่อนำลำดับเบสบางส่วนที่ได้ของ sucrose synthase cDNA จากสับปะรดไปแปลรหัสเป็นกรดอะมิโน จะได้กรดอะมิโนทั้งสิ้น 229 residues (ภาพที่ 26) จากการนำลำดับกรดอะมิโนดังกล่าวไปตรวจสอบกับข้อมูลจากฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม BlastP พบว่าเหมือนกับโปรตีน sucrose synthase ในพืชหลายชนิดและจากการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน sucrose synthase โดยใช้โปรแกรม ClustalW พบว่าเหมือนกับลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน sucrose synthase 3 ในข้าวโพด (*Zea mays*, GenBank accession no. AAM89473) และโปรตีน sucrose synthase ในข้าวโพด (*Zea mays*, GenBank accession no. AAL27096) มากที่สุดถึง 83% ขณะที่เหมือนกับโปรตีน sucrose synthase ในส้ม (*Citrus unshiu*) หมายเลขใน GenBank คือ BAA88904 และ BAA88981 ถึง 82 และ 81% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเหมือนกับโปรตีน sucrose

```
1      ggcattgatg tctttgatcc taagttcaat attgtctctc ctggagcaga tatgtctatt
61     tattttcctt actcagaaaa ggagaagagg cttacttcac ttcatggttc aattgagaag
121    ctgctgtatg atccagagca aaatgacgtg cacattggtt ggttggatga ccggtctaag
181    cccatcatct tctccatggc caggcttgac cgcgtgaaaa acataactgg actggttgaa
241    ttgtatggta aatgcgccaa actgcgtgaa atggttaacc tagttgtagt tgctggttac
301    catgatgtga agaaatctaa agatagggag gaaatccaag aaatcgagaa aatgcacgaa
361    cttataaagg catacgattt gttcggccaa tttcggtgga tctctgccca gacaaacaag
421    gcaagaaacg gtgagcttta tcgatacata gccgatactc gaggtgcttt tgtgcagcct
481    gcgttatatg aagcctttgg acttactgtg gtggaggcta tgacttgtgg tcttccaaca
541    tttgccactt gccatggagg ccctgcggag attattgagc atggagtatc gggttttcat
601    atcgacccgt atcatcctga ccaggctgct gccatcatgg ttgagttctt tgaacagagc
661    aaggaaaacc ctcaccggtg tctatgg
```

ภาพที่ 24 ลำดับเบสบางส่วนของ sucrose synthase cDNA ขนาด 687 คู่เบส จากเนื้อของสับปะรดอายุ 103 วันหลังการเร่งดอก

```
CLUSTAL W (1.82) multiple sequence alignment

AB045710        TCTTCCTGGGCAGTACCGAGTGGTTCATGGAATTAATGTCTTTGATCCAAAGTTCAATAT 1664
AB022091        TCTTCCAGGCTTATATCGAGTTGTTCATGGCATTGATGTTTTTGATCCGAAGTTCAATAT 1628
AJ001071        TCTTCCGGGACTGTATAGAGTTGTCCACGGCATTGATGTTTTTGATCCCAAGTTCAACAT 1680
AB091538        TCTTCCTGGTCTGTATCGTATTGTCCATGGGATTGATGTTTTTGACCCAAAGTTCAACAT 1614
AK102158        TCTTCCTGGTCTGTATCGTATTGTCCATGGGATTGATGTTTTTGACCCAAAGTTCAACAT 1614
AY205302        TCTCCCAGGCCTATATCGTGTTGTCCATGGCATTGATGTTTTCGATCCCAAATTCAATAT 1589
SuSy_687        ----------------------------GGCATTGATGTCTTTGATCCTAAGTTCAATAT 32
                                            ** *** **** ** ** ** ** ***** **

AB045710        CGTGTCTCCCGGAGCAGATATGACCATTTATTTCCCTTACTCTGAAAAGCAAAAGAGACT 1724
AB022091        TGTGTCCCCGGGGGCAGACATGGACATTTATTTCCCATACTCTGAAAAGCAGAAAAGACT 1688
AJ001071        TGTCTCTCCTGGAGCAGATATGACAATATATTTTCCATACTCTGATAAGGAGAAAAGACT 1740
AB091538        AGTCTCTCCAGGAGCAGACATGTCTATATACTTTCCGTACACTGAAAAGGCCAAGCGGCT 1674
AK102158        AGTCTCTCCAGGAGCAGACATGTCTATATACTTTCCGTACACTGAAAAGGCCAAGCGGCT 1674
AY205302        AGTGTCTCCTGGAGCTGACATGACAATTTACTTCCCATATTCTGACAAGGAAAAGAGACT 1649
SuSy_687        TGTCTCTCCTGGAGCAGATATGTCTATTTATTTTCCTTACTCAGAAAAGGAGAAGAGGCT 92
                 ** ** ** ** ** ** ***   ** ** ** ** **  * ** ***   **  * **

AB045710        TACCAGCCTTCATGGTTCCCTAGAAGAGTTGCTATATAATCCTGACCAGAATGATGTTCA 1784
AB022091        CACAGCCCTACATGGTTCTATAGAACAGTTGCTGTTTGATCCTGAACAGAATGATGAGCA 1748
AJ001071        CACGGCCCTACACAGTTCAATTGAAAAGCTATTATACGGTACCGAGCAGACCGATGAGTA 1800
AB091538        CACTTCGCTTCATGGTTCACTTGAAAACTTGATTTCTGACCCAGAGCAAAATGACGAACA 1734
AK102158        CACTTCGCTTCATGGTTCACTTGAAAACTTGATTTCTGACCCAGAGCAAAATGACGAACA 1734
AY205302        GACATCTTTGCATCCCTCGATTGAGAAGTTGTTATTTGATCCTGAGCAGAATGAAGTGCA 1709
SuSy_687        TACTTCACTTCATGGTTCAATTGAGAAGCTGCTGTATGATCCAGAGCAAAATGACGTGCA 152
                 **     * **    **  * **  *  *  * *      * ** ** *  ** *   *

AB045710        TATTGGCACACTAAGCGATCGATCAAAGCCCATAATATTCTCAATGGCAAGGCTCGACCA 1844
AB022091        TGTTGGTACATTGAGTGATCGGTCGAAGCCCATTGTCTTTTCCATGGCGAGGCTTGACCA 1808
AJ001071        CATTGGTTCACTGACAGACCGGTCAAAGCCTATAATTTTCTCCATGGCAAGGCTAGACAG 1860
AB091538        TATTGGACACCTGGATGACAGATCAAAACCCATTCTCTTTTCCATGGCAAGACTTGACCG 1794
AK102158        TATTGGACACCTGGATGACAGATCAAAACCCATTCTCTTTTCCATGGCAAGACTTGACCG 1794
AY205302        TATAGGCAACCTGAATGATCAATCAAAACCGATAATTTTTTCAATGGCAAGGCTTGACCG 1769
SuSy_687        CATTGGTTGGTTGGATGACCGGTCTAAGCCCATCATCTTCTCCATGGCCAGGCTTGACCG 212
                  * **     *    **    ** ** ** **  * ** ** ***** ** ** ***

AB045710        GGTGAAAAATATGACTGGGTTGGTTGAGTGCTATGCTAAATGTTCCAAACTGAGGGATCT 1904
AB022091        TGTGAAAAACATGACAGGGTTGGTTGAGTGCTATGGTAAGAATAGCCGACTGAGGGAACT 1868
AJ001071        AGTTAAAAACATAACTGGTTTGGTAGAAAGCTATGCTAAGAACAGCAAATTGAGGGAACT 1920
AB091538        AGTTAAGAACATAACAGGGTTGGTTGAAGCTTATGCTAAAAACGCTAGGCTGAGGGAGCT 1854
AK102158        AGTTAAGAACATAACAGGGTTGGTTGAAGCTTATGCTAAAAACGCTAGGCTGAGGGAGCT 1854
AY205302        GGTCAAGAACATTACGGGATTAGTTGAGTGCTATGCTAAAAATGCCACACTCAGGGAATT 1829
SuSy_687        CGTGAAAAACATAACTGGACTGGTTGAATTGTATGGTAAATGCGCCAAACTGCGTGAAAT 272
                 ** ** ** ** ** **  * ** **    **** ***          *  * **  *
```

<u>ภาพที่ 25</u> การเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสบางส่วนของ *sucrose synthase* cDNA ขนาด 687 คู่เบส จากเนื้อของสับปะรดอายุ 103 วันหลังการเร่งดอก กับ *Pyrus pyrifolia* (GenBank accession no. AB045710) *Citrus unshiu* (GenBank accession no. AB022091) *Pisum sativum* (GenBank accession no. AJ001071) *Carica papaya* (GenBank accession no. AB091538) *Oryza sativa* (GenBank accession no. AK102158) และ *Solanum tuberosum* (GenBank accession no. AY205302) เครื่องหมาย * แสดง nucleotide ที่เหมือนกัน

```
CLUSTAL W (1.82) multiple sequence alignment

AB045710        GGCAAACCTTGTCATAGTTGCTGGTTACATTGATGCAAAGAAATCACGAGATAGAGAAGA 1964
AB022091        GGTTAACCTTGTAGTGGTAGCTGGTTACATAGATGTAAATAAGTCCAAAGACAGAGAAGA 1928
AJ001071        TGTCAACCTTGTGGTAGTAGCTGGTTATATTGATGTCAAAAAGTCCAGTGACAGAGAAGA 1980
AB091538        GGTAAACCTTGTCGTGGTTGCTGGCTATAACGATGTCAAGAAATCCAAGGACAGAGAAGA 1914
AK102158        GGTAAACCTTGTCGTGGTTGCTGGCTATAACGATGTCAAGAAATCCAAGGACAGAGAAGA 1914
AY205302        GGCAAACCTTGTTGTAGTAGCTGGATACAACGATGTAAAGAAATCCAATGATAGAGAAGA 1889
SuSy_687        GGTTAACCTAGTTGTAGTTGCTGGTTACCATGATGTGAAGAAATCTAAAGATAGGGAGGA 332
                 *  ***** **  * ** ***** **    ****  ** ** **    ** ** ** **

AB045710        AATTGCAGAGATTGAGAAGATGCATAATCTTATGATTGAGTACAAATTAGATGGTCAATT 2024
AB022091        GATAGCAGAAATTGAGAAGATGCATGAGCTTATGAAGACGTACAAGTTGGATGGTCAGTT 1988
AJ001071        AATTGAAGAGATCGAGAAGATGCATGATCTCATGAAGCAATACAATTTGAATGGCGAGTT 2040
AB091538        AATCGCAGAGATTGAGAAGATGCATGAACTTATTAAGACCTATAACTTGTTTGGGCAGTT 1974
AK102158        AATCGCAGAGATTGAGAAGATGCATGAACTTATTAAGACCTATAACTTGTTTGGGCAGTT 1974
AY205302        AATAGCAGAAATTGAGAAGATGCATGCTCTTATGAAGGAACATAACTTGGATGGTCAATT 1949
SuSy_687        AATCCAAGAAATCGAGAAAATGCACGAACTTATAAAGGCATACGATTTGTTCGGCCAATT 392
                 **   *** ** ***** *****    ** ** *      *  * **    **  * **

AB045710        TCGATGGATTTCATCTCAAACTAATCGAGTTAGTAACGGTGAGCTTTATCGTTACATAGC 2084
AB022091        TCGTTGGATAGCAGCTCAAACAAATAGGGCACGTAATGGTGAGCTCTATCGCTATATAGC 2048
AJ001071        TCGATGGATTACTGCCCAAACAAATAGAGCACGTAACGGGGAGCTGTATCGCTACATAGC 2100
AB091538        CCGTTGGATCTCGGCTCAGACGAACAGGGCTCGCAATGGTGAGCTCTATCGCTACATAGC 2034
AK102158        CCGTTGGATCTCGGCTCAGACGAACAGGGCTCGCAATGGTGAGCTCTATCGCTACATAGC 2034
AY205302        CAGATGGATATCAGCCCAAATGAACCGGGCACGTAATGGTGAGCTCTATCGCTATATAGC 2009
SuSy_687        TCGGTGGATCTCTGCCCAGACAAACAAGGCAAGAAACGGTGAGCTTTATCGATACATAGC 452
                  * *****  *  * ** *  **    *   * ** ** ***** ***** ** *****

AB045710        AGATACAAGAGGTGCTTTTGCTCAGCCTGCATTTTATGAAGCTTTTGGACTCACAGTTGT 2144
AB022091        CGACACCAAAGGTGCTTTTGTGCAGCCTGCTTTTTATGAAGCTTTTGGATTAACAGTTGT 2108
AJ001071        AGATACAAAAGGCGCTTTCGTTCAGCCTGCCTTCTATGAAGCTTTTGGACTTACAGTTGT 2160
AB091538        TGATACTCATGGTGCCTTCGTGCAGCCAGCTTTCTACGAAGCATTCGGTCTCACTGTTGT 2094
AK102158        TGATACTCATGGTGCCTTCGTGCAGCCAGCTTTCTACGAAGCATTCGGTCTCACTGTTGT 2094
AY205302        TGACAAGAGAGGTATATTTGTTCAGCCTGCATTTTATGAAGCGTTTGGACTCACGGTGGT 2069
SuSy_687        CGATACTCGAGGTGCTTTTGTGCAGCCTGCGTTATATGAAGCCTTTGGACTTACTGTGGT 512
                 ** *     **    ** *  ***** ** ** ** ***** ** **  * ** ** **

AB045710        GGAGGCTATGTCTTGCGGCCTTCCAACATTCGCCACAATCCATGGTGGCCCTGCGGAGAT 2204
AB022091        GGAAGCTATGACTTGTGGACTTCCGACATTCGCCACTTGCCATGGTGGCCCTGCAGAGAT 2168
AJ001071        GGAGGCCATGACTTGTGGACTCCCTACGTTTGCTACTAACCATGGTGGTCCTGCTGAGAT 2220
AB091538        GGAGGCCATGACATGTGGACTCCCTACTTTTGCAACAGTCCATGGTGGACCTGCCGAGAT 2154
AK102158        GGAGGCCATGACATGTGGACTCCCTACTTTTGCAACAGTCCATGGTGGACCTGCCGAGAT 2154
AY205302        TGAAGCTATGACTTGTGGTCTTCCAACATTTGCAACTTGTCATGGTGGTCCTATGGAGAT 2129
SuSy_687        GGAGGCTATGACTTGTGGTCTTCCAACATTTGCCACTTGCCATGGAGGCCCTGCGGAGAT 572
                 ** ** *** * ** ** ** ** ** ** ** ** **    ***** ** ***   *****

AB045710        TATTGAGCATGGTGTATCAGGATTTCATATCGATCCTTATCATCCTGAGAAGGCTGCTGC 2264
AB022091        TATCGAGCATGGTGCGTCAGGGTTCCATATTGATCCATATCACCCTGATCAAGCTGCTGA 2228
AJ001071        CATCGAGCATGGTGTATCGGGATTCCATATTGATCCTTATCATCCTGACCAAGCATCAGA 2280
AB091538        TATAGAGCACGGGATCTCAGGGTTCCACATAGATCCTTATCATCCGGATCAAGCTGCAAA 2214
AK102158        TATAGAGCACGGGATCTCAGGGTTCCACATAGATCCTTATCATCCGGATCAAGCTGCAAA 2214
AY205302        CATTCAGGACGGTGTATCCGGGTACCATATAGATCCTTATCATCCCAATAAAGCTGCTGA 2189
SuSy_687        TATTGAGCATGGAGTATCGGGTTTTCATATCGACCCGTATCATCCTGACCAGGCTGCTGC 632
                 **  ** * **    ** ** *  ** ** ** ** ***** **  *  * **  *

AB045710        ACTTATGGCCGATTTCTTTCAACGTTGCAAGGAGGATCCTAGCTATTGGAATACAATCTC 2324
AB022091        ACTCATGGCAGATTTCTTTGGAAAGTGCAAGGAAAATCCAAGCCATTGGAAAAAAATCTC 2288
AJ001071        GCTATTGGTTGATTTTTTCCAACGATGTAAGGAGGACCCAAATCACTGGAATAAAGTATC 2340
AB091538        TCTGATAGCTGACTTCTTCGAACAATGTAAACAAGACCCCAACCATTGGGTTGAAGTTTC 2274
AK102158        TCTGATAGCTGACTTCTTCGAACAATGTAAACAAGACCCCAACCATTGGGTTGAAGTTTC 2274
AY205302        GCTCATGGTAGAATTCTTCCAACGATGTGAACAAAATCCTACTCACTGGGAAAATATATC 2249
SuSy_687        CATCATGGTTGAGTTCTTTGAACAGAGCAAGGAAAACCCTCACCGGTGTCTATGG----- 687
                  *  * *  ** ** **   *    *  *  *  * **       **
```

ภาพที่ 25 (ต่อ)

```
DNA: GGCATTGATGTCTTTGATCCTAAGTTCAATATTGTCTCTCCTGGAGCAGAT
 +1: G  I  D  V  F  D  P  K  F  N  I  V  S  P  G  A  D

DNA: ATGTCTATTTATTTTCCTTACTCAGAAAAGGAGAAGAGGCTTACTTCACTT
 +1: M  S  I  Y  F  P  Y  S  E  K  E  K  R  L  T  S  L

DNA: CATGGTTCAATTGAGAAGCTGCTGTATGATCCAGAGCAAAATGACGTGCAC
 +1: H  G  S  I  E  K  L  L  Y  D  P  E  Q  N  D  V  H

DNA: ATTGGTTGGTTGGATGACCGGTCTAAGCCCATCATCTTCTCCATGGCCAGG
 +1: I  G  W  L  D  D  R  S  K  P  I  I  F  S  M  A  R

DNA: CTTGACCGCGTGAAAAACATAACTGGACTGGTTGAATTGTATGGTAAATGC
 +1: L  D  R  V  K  N  I  T  G  L  V  E  L  Y  G  K  C

DNA: GCCAAACTGCGTGAAATGGTTAACCTAGTTGTAGTTGCTGGTTACCATGAT
 +1: A  K  L  R  E  M  V  N  L  V  V  V  A  G  Y  H  D

DNA: GTGAAGAAATCTAAAGATAGGGAGGAAATCCAAGAAATCGAGAAAATGCAC
 +1: V  K  K  S  K  D  R  E  E  I  Q  E  I  E  K  M  H

DNA: GAACTTATAAAGGCATACGATTTGTTCGGCCAATTTCGGTGGATCTCTGCC
 +1: E  L  I  K  A  Y  D  L  F  G  Q  F  R  W  I  S  A

DNA: CAGACAAACAAGGCAAGAAACGGTGAGCTTTATCGATACATAGCCGATACT
 +1: Q  T  N  K  A  R  N  G  E  L  Y  R  Y  I  A  D  T

DNA: CGAGGTGCTTTTGTGCAGCCTGCGTTATATGAAGCCTTTGGACTTACTGTG
 +1: R  G  A  F  V  Q  P  A  L  Y  E  A  F  G  L  T  V

DNA: GTGGAGGCTATGACTTGTGGTCTTCCAACATTTGCCACTTGCCATGGAGGC
 +1: V  E  A  M  T  C  G  L  P  T  F  A  T  C  H  G  G

DNA: CCTGCGGAGATTATTGAGCATGGAGTATCGGGTTTTCATATCGACCCGTAT
 +1: P  A  E  I  I  E  H  G  V  S  G  F  H  I  D  P  Y

DNA: CATCCTGACCAGGCTGCTGCCATCATGGTTGAGTTCTTTGAACAGAGCAAG
 +1: H  P  D  Q  A  A  A  I  M  V  E  F  F  E  Q  S  K

DNA: GAAAACCCTCACCGGTGTCTATGG
 +1: E  N  P  H  R  C  L  W
```

ภาพที่ 26 ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน sucrose synthase ขนาด 229 residues ซึ่งแปลรหัสจากลำดับเบสบางส่วนของ *sucrose synthase* cDNA ขนาด 687 คู่เบส โดยใช้โปรแกรมในเว็บไซต์ http://searchlauncher.bcm.tmc.edu/seq-util/seq-util.html

synthase 2 จากถั่วลันเตา (*Pisum sativum*, GenBank accession no. CAA04512) โปรตีน sucrose synthase 2 จากมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum*, GenBank accession no. AAO67719) และโปรตีน sucrose synthase 1 จากแพร์ญี่ปุ่น (*Pyrus pyrifolia*, GenBank accession no. BAB20799) ถึง 80, 79 และ 78% ตามลำดับ ภาพการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสข้างต้นแสดงในภาพที่ 27

ในการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA จากสับปะรดกับข้อมูลของลำดับเบสในฐานข้อมูลนั้นจะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์ความเหมือนที่ได้มีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือนของลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน sucrose synthase จากสับปะรดกับข้อมูลของลำดับกรดอะมิโนในฐานข้อมูล ทั้งนี้เนื่องจากรหัสพันธุกรรมที่แตกต่างกันอาจแปลเป็นกรดอะมิโนชนิดเดียวกัน (degenerate code) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบเป็นลำดับกรดอะมิโนแล้วจึงมีความเหมือนมากกว่าลำดับเบส อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้งลำดับของเบสและลำดับของกรดอะมิโนข้างต้นเป็นการยืนยันว่าลำดับเบสที่ได้จากสับปะรดเป็นลำดับเบสของยีน sucrose synthase จริง ดังนั้น sucrose synthase cDNA บางส่วนที่โคลนเข้าสู่เวคเตอร์ pGEM®-T จึงถูกตั้งชื่อว่า pAcSuSy ถึงแม้ว่าลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA จากสับปะรดที่ได้มานี้ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่ายีน sucrose synthase ในสับปะรดมีกี่ไอโซฟอร์ม และยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นไอโซฟอร์มใด เนื่องจากข้อมูลที่ได้เหมือนทั้งไอโซฟอร์มที่ 1, 2 และ A นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบลำดับของกรดอะมิโนพบว่าเหมือนโปรตีน sucrose synthase ทั้งไอโซไซม์ที่ 1, 2 และ 3 จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้เช่นกันว่าโปรตีนบางส่วนของ sucrose synthase ของสับปะรดที่ศึกษาได้เป็นรูปแบบใดและในสับปะรดมีกี่รูปแบบ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ของสับปะรดที่ได้เป็นลำดับเบสที่อยู่ในส่วนอนุรักษ์ (conserve region) และเนื่องจากเป็นการเริ่มต้นศึกษาเกี่ยวกับยีน sucrose synthase ในสับปะรดซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษามาก่อน จึงทำให้สามารถใช้ลำดับเบสที่ได้ในการศึกษาในขั้นต่อไปได้ โดยสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปพัฒนาและปรับปรุงใช้ในการศึกษาพันธุศาสตร์โมเลกุลของยีน sucrose synthase ในสับปะรดต่อไปได้ เช่นถ้าต้องการทราบว่า sucrose synthase ในสับปะรดมีลำดับเบสแบบ full-length เป็นอย่างไร มีกี่ไอโซฟอร์ม และแต่ละไอโซฟอร์มพบได้ที่ใดบ้างก็สามารถนำลำดับเบสที่ได้ไปใช้ประโยชน์เพื่อศึกษาสิ่งที่ต้องการทราบได้โดยใช้เทคนิคต่างๆเช่น เทคนิค RACE และ gene walking (Huang *et al*., 1996; Kumer *et al*., 1992) การหายีนเพิ่มเติมจาก cDNA library (Kuster *et al*., 1993) หาจำนวนยีนโดย Southern blot hybridization (Sebkova *et al*., 1995; Dejardin *et al*., 1997; Paul Barratt *et al*., 2001; Komatsu *et al*., 2002) ตรวจสอบการแสดงออกของยีนโดย Northern blot hybridization (Huang *et al*., 1996; Dejardin *et al*., 1997;

Carlson, *et al*., 2002; Komatsu *et al*., 2002) และการทำ semiquantitative RT-PCR (Komatsu *et al*., 2002) หรือการทำ real time-PCR (Baud *et al*., 2004) นอกจากนี้ยังสามารถนำลำดับเบส

บางส่วนดังกล่าวนี้ไปศึกษาผลกระทบของเอนไซม์หรือยีนที่สนใจที่มีต่อลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยา หรือแม้กระทั่งวิธีการสังเคราะห์ทางชีวเคมี โดยเฉพาะเมแทบอลิซึมของพืชนั้นๆได้โดยผ่านการผลิตพืชดัดแปลงพันธุกรรม (transgenic plant) และถ้าทราบลำดับเบสในส่วนที่แสดงออกได้และสามารถบ่งชี้ว่าเป็นไอโซฟอร์มใดได้ เมื่อนำมาใช้ในการผลิตพืชดัดแปลงพันธุกรรมก็สามารถทราบถึงผลกระทบของแต่ละไอโซฟอร์มซึ่งส่งผลต่อลักษณะสัณฐานสรีรวิทยา และวิธีการสังเคราะห์ทางชีวเคมีได้ (Zrenner *et al*., 1995; Tang and Sturm, 1999; D/ Aoust *et al*., 1999; Chengappa *et al*., 1999)

```
CLUSTAL W (1.82) multiple sequence alignment

AAM89473        TSTYQEIAGSKNTVGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIVSPGADMSIYFPHTEK 537
AAL27096        TSTYQEIAGSKNTVGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIVSPGADMSIYFPHTEK 524
BAA88904        TSTYQEIAGTKNTVGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIVSPGADMDIYFPYSEK 539
BAA88981        TSTYQEIAGTKNTVGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIASPGADMDIYFPYSEK 539
CAA04512        TSTYQEIAGTKNTIGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIVSPGADMTIYFPYSDK 540
AAO67719        TSTYQEIAGTKNTVGQYESHTAFTLPGLYRVVHGIDVFDPKFNIVSPGADMTIYFPYSDK 539
BAB20799        TSTYQEIAGTKDPVGQYESHSSYTLPGQYRVVHGINVFDPKFNIVSPGADMTIYFPYSEK 540
SS229           ------------------------------GIDVFDPKFNIVSPGADMSIYFPYSEK 27
                ::: .. :.:... .. .: :: : ..      **:********.****** ****:::*

AAM89473        AKRLTSLHGSIENLIYDPEQNDEHIGHLDDRSKPILFSMARLDRVKNITGLVEAFAKCAK 597
AAL27096        AKRLTSLHGSIENLIYDPEQNDEHIGHLDDRSKPILFSMARLDRVKNITGLVEAFAKCAK 584
BAA88904        QKRLTALHGSIEQLLFDPEQNDEHVGTLSDRSKPIVFSMARLDHVKNMTGLVECYGKNSR 599
BAA88981        QKRLTALHGSIEQLLFDPEQNDEHVGTLSDQSKPIVFSMARLDHVKNMTGLVECYGKNSR 599
CAA04512        EKRLTALHSSIEKLLYGTEQTDEYIGSLTDRSKPIIFSMARLDRVKNITGLVESYAKNSK 600
AAO67719        EKRLTSLHPSIEKLLFDPEQNEVHIGNLNDQSKPIIFSMARLDRVKNITGLVECYAKNAT 599
BAB20799        QKRLTSLHGSLEELLYNPDQNDVHIGTLSDRSKPIIFSMARLDQVKNMTGLVECYAKCSK 600
SS229           EKRLTSLHGSIEKLLYDPEQNDVHIGWLDDRSKPIIFSMARLDRVKNITGLVELYGKCAK 87
                 ****:** *:*:*::..:*.: ::* * *:****:*******:***:***** :.* :

AAM89473        LRELVNLVVVAGYNDVNKSKDREEIAEIEKMHELIKTHNLFGQFRWISAQTNRARNGELY 657
AAL27096        LRELVNLVVVAGYNDVNKSKDREEIAEIEKMHELIKTHNLFGQFRWISAQTNRARNGELY 644
BAA88904        LRELVNLVVVAGYIDVNKSKDREEIAEIEKMHELMKTYKLDGQFRWIAAQTNRARNGELY 659
BAA88981        LRELVNLVVVAGYIDVNKSKDREEIAEIEKMHELMKTYKLDGQFRWIAAQTNRARNGELY 659
CAA04512        LRELVNLVVVAGYIDVKKSSDREEIEEIEKMHDLMKQYNLNGEFRWITAQTNRARNGELY 660
AAO67719        LRELANLVVVAGYNDVKKSNDREEIAEIEKMHALMKEHNLDGQFRWISAQMNRARNGELY 659
BAB20799        LRDLANLVIVAGYIDAKKSRDREEIAEIEKMHNLMIEYKLDGQFRWISSQTNRVSNGELY 660
SS229           LREMVNLVVVAGYHDVKKSKDREEIQEIEKMHELIKAYDLFGQFRWISAQTNKARNGELY 147
                **::.***:**** *.:** ***** ****** *:  :.* *:****::* *:. *****

AAM89473        RYIADTHGAFVQPAFYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATLHGGPAEIIEHGVSGFHIDPYHPE 717
AAL27096        RYIADTHGAFVQPALYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATLHGGPAEIIEHGVSGFHIDPYHPE 704
BAA88904        RYIADTKGAFVQPAFYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATCHGGPAEIIEHGASGFHIDPYHPD 719
BAA88981        RYIADTKGAFVQPAFYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATCHGGPAEIIEHGASGFHIDPYHPD 719
CAA04512        RYIADTKGAFVQPAFYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATNHGGPAEIIEHGVSGFHIDPYHPD 720
AAO67719        RYIADKRGIFVQPAFYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATCHGGPMEIIQDGVSGYHIDPYHPN 719
BAB20799        RYIADTRGAFAQPAFYEAFGLTVVEAMSCGLPTFATIHGGPAEIIEHGVSGFHIDPYHPE 720
SS229           RYIADTRGAFVQPALYEAFGLTVVEAMTCGLPTFATCHGGPAEIIEHGVSGFHIDPYHPD 207
                *****.:* *.***:************:******** **** ***:.*.**:*******:

AAM89473        QAANLMADFFDRCKQDPDHWVNISGAGLQRIYEKYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKYVSKL 777
AAL27096        QAVNLMADFFDRCKQDPDHWVNISGAGLQRIYEKYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKYVSKL 764
BAA88904        QAAELMADFFGKCKENPSHWKKISDGGLKRIYERYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKYVSKL 779
BAA88981        QAAELMADFFGKCKENPSHWKKISDGGLKRIYERYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKYVSKL 779
CAA04512        QASELLVDFFQRCKEDPNHWNKVSDGGLQRIYERYTWKIYSERLMTLAGVYSFWKYVSKL 780
AAO67719        KAAELMVEFFQRCEQNPTHWENISASGLQRILDRYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKLVSKL 779
BAB20799        KAAALMADFFQRCKEDPSYWNTISDAGLQRIYEKYTWKIYSERLMTLAGVYGFWKYVSKL 780
SS229           QAAAIMVEFFEQSKENP---------------HRCLW---------------------- 229
                :*  ::.:** :.:::*    . : .. .   .:  *.  :.   : :.  .  .  :.
```

<u>ภาพที่ 27</u> การเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับกรดอะมิโนบางส่วนของโปรตีน sucrose synthase ขนาด 229 residues จากเนื้อของสับปะรดอายุ 103 วันหลังการเร่งดอก กับ *Zea mays* (GenBank accession no. AAM89473, AAL27096) *Citrus unshiu* (GenBank accession no. BAA88904, BAA88981) *Pisum sativum* (GenBank accession no. CAA04512) *Solanum tuberosum* (GenBank accession no. AAO67719) และ *Pyrus pyrifolia* (GenBank accession no. BAB20799) เครื่องหมาย * แสดงกรดอะมิโนที่เหมือนกันในทุกสายของโปรตีนที่ศึกษา, เครื่องหมาย : แสดง conserved substitutions ของกรดอะมิโน, เครื่องหมาย . แสดง semi-conserved substitutions ของกรดอะมิโน

สรุป

การใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้คุณภาพภายในผลสับปะรดแตกต่างจากการพ่นด้วยน้ำเปล่าและ ethephon ที่ระดับความเข้มข้นอื่นมากที่สุด จึงใช้ ethephon ที่ความเข้มข้นนี้ศึกษาผลของ ethephon ต่อคุณภาพ ปริมาณน้ำตาลและกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ในแต่ละระยะเวลาภายหลังการพ่นสาร ซึ่งผลที่ได้พบว่าอายุของสับปะรดมีผลต่อการแสดงออกของ ethylene โดยผลที่อายุมากสามารถตอบสนองต่อ ethylene ได้ดีกว่าผลที่อายุน้อย การใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นโดยรอบผลที่อายุ 96 วันหลังการเร่งดอกไม่สามารถเก็บผลได้เร็วกว่าปกติเพียงแต่ผลที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 152 วันหลังการเร่งดอก มีความหวานมากกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า แต่การพ่นที่อายุ 110, 124 และ 138 วันหลังการเร่งดอกสามารถเก็บเกี่ยวผลได้เร็วขึ้น 1 สัปดาห์โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายนอกของจุกและผล ทั้งนี้พบว่าผลที่พ่นที่อายุ 110 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกมีปริมาณ TSS มากกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าขณะที่ปริมาณ TA ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งตรงข้ามกับผลที่พ่นสาร ethephon ที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยว ณ เวลาเดียวกันที่พบว่าปริมาณ TA มากกว่าผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่าขณะที่ปริมาณ TSS ไม่เปลี่ยนแปลง การเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณซูโครสมากกว่าปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TA การเพิ่มขึ้นของปริมาณซูโครสไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase อย่างไรก็ตามการใช้ ethephon สามารถทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase ลดลงได้

การศึกษาเปลือก เนื้อ และแกนของสับปะรดอายุ 110 วันหลังการเร่งดอกพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ sucrose synthase เท่ากันทั้ง 3 บริเวณและพบกลูโคสในปริมาณสูงสุดขณะที่พบซูโครสในปริมาณต่ำสุด ลำดับเบสของ sucrose synthase cDNA ขนาด 687 คู่เบสที่ได้จากการศึกษานี้อยู่ในส่วนอนุรักษ์ (conserve region) ของยีน sucrose synthase และโคลนอยู่ใน pGEM® -T เวคเตอร์ โดยชื่อว่า pAcSuSy

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการศึกษานี้ใช้ ethephon เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พ่นโดยรอบผลในปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อผล โดยสับปะรดที่ใช้เริ่มทำการเร่งดอกปลายเดือนพฤศจิกายน เก็บผลครั้งสุดท้ายในเดือนเมษายน จึงทำให้ได้ผลการทดลองตามที่ได้รายงานไว้ ในกรณีที่จะนำความเข้มข้นดังกล่าวไปใช้ในช่วงเวลาอื่นหรือใช้การพ่นวิธีอื่นอาจทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากผลที่ได้จากการศึกษานี้

การพ่นสับปะรดต่อผลในศึกษาครั้งนี้ เมื่อคำนวณต่อผลนั้นแต่ละผลจะได้รับสารสำคัญ 25 มิลลิกรัมต่อผล ใน 1 ไร่ในประเทศไทยปลูก 8,000-10,000 ต้น (จินดารัฐ, 2541; บริษัท โดล ไทยแลนด์ จำกัด, ม.ป.ป.) เมื่อคิดเป็น 1 เฮกตาร์ (6.25 ไร่) จะปลูกสับปะรดประมาณ 50,000-62,500 ต้น ซึ่งคิดเป็นเนื้อสารที่ใช้พ่น 1.25-1.562 กิโลกรัมของสารสำคัญต่อ 6.25 ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาสารตกค้างจากการใช้ ethephon ซึ่งคิดป็นสารสำคัญตั้งแต่ 0.56, 1.12, 2.24 และ 4.48 กิโลกรัมของสารสำคัญต่อ 6.25 ไร่ และมีสารตกค้างในผลของสับปะรดที่เก็บหลังการพ่นสาร 7-8 วันอยู่ 0.02-0.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเนื้อของผลสับปะรดมีสารตกค้างอยู่ 0.06-0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (JMPR, 1994) จะเห็นว่าความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาการพ่นสับปะรดที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอก ซึ่งเป็นระยะเวลาการพ่นสารที่สามารถทำให้ผลสับปะรดมีปริมาณ TA เพิ่มขึ้นจากผลที่พ่นด้วยน้ำเปล่า อยู่ในช่วงของความเข้มข้นของสารสำคัญและระยะเวลาที่มีการศึกษาสารตกค้าง ซึ่งปริมาณสารตกค้างที่ทางสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาในมลรัฐฮาวายดังกล่าวไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามที่ JMPR (1994) ได้กำหนดไว้ ดังนั้นการพ่นสาร ethephon ที่อายุ 138 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปสับปะรดน่าจะมีสารตกค้างไม่เกินที่กำหนด และการพ่นที่อายุ 110 และ 124 วันหลังการเร่งดอกและเก็บเกี่ยวที่อายุ 145 วันหลังการเร่งดอกควรจะมีปริมาณสารตกค้างที่ลดน้อยลงอีก เนื่องจากยิ่งเก็บเกี่ยวภายหลังการพ่นสารที่นานขึ้นจะทำให้ปริมาณสารตกค้างลดน้อยลงอีก (JMPR, 1994) อย่างไรก็ตามถ้าต้องการศึกษาปริมาณสารตกค้างที่แน่นอนก็สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณสาร ethephon ตกค้าง จากการใช้ GC ซึ่ง JMPR (1994) ได้กล่าวถึง หรือตามวิธีที่ Hurter *et al*. (1978) ได้ศึกษาในมะเขือเทศ เชอร์รี่ และ แอปเปิ้ล นอกจากนี้อาจใช้ GC/MS ตามที่ Takenaka (2002) ได้ศึกษาในผักและผลไม้หลายชนิดที่ปลูกทางตะวันตกของประเทศญี่ปุ่น