วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30:3 (95-102)

บทบาทของกรดซาลิไซลิกต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลพืชสวน

Role of Salicylic Acid on Postharvest Changes in Fresh Horticultural Commodities

สุรัสวดี พรหมอยู่[1]

บทคัดย่อ

กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) จัดเป็นสารประกอบหลักในกลุ่ม phenylpropanoid และมีความสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเมทาบอลิซึมในพืชทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ปัจจุบันมีการศึกษาถึงบทบาทของ salicylic acid ที่มีต่อผลิตผลพืชสวนหลายชนิด ซึ่ง salicylic acid เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารเคมีในเทคโนโลยีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อควบคุมคุณภาพผลิตผลพืชสวน โดยในบทความนี้ได้ทบทวนบทบาทของ salicylic acid ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน ได้แก่ ความแน่นเนื้อของผล การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ความต้านทานโรค ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา การชราภาพและอายุผลิตผลระหว่างการเก็บรักษา

คำสำคัญ : ซาลิไซลิก คุณภาพ ผลิตผลพืชสวน

Abstract

Salicylic acid, a major phenylpropanoid compound and has been found to regulating plant growth and development, It also affects in pre- and post harvest physiological and plant metabolism changes. There are currently investigating the role of salicylic acid on numerous horticultural commodities. Salicylic acid can be used as an appropriate alternative to chemicals in post harvest technology for controlling the quality of horticultural crops. In the present review, I have focus on various role of salicylic acid on postharvest changes in horticultural commodities such as fruit firmness, color changes, total soluble solids, disease resistance, bioactive compound, physiological disorder, senescence and shelf life during storage have also been explained.

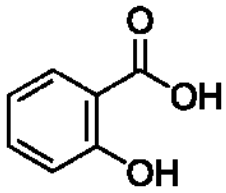
Key words: Salicylic acid, Quality, Horticultural commodities

บทนำ

กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) เป็นสารที่พืชสามารถสังเคราะห์ได้เอง จัดอยู่ในกลุ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 1 และพืชสามารถถูกกระตุ้นให้สังเคราะห์เพิ่มขึ้นได้ในสภาพที่เกิดความเครียดเนื่องจากสิ่งมีชีวิต (biotic stress) และสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) อีกทั้งมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดสัญญาณทำให้พืชสามารถปรับตัวได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Senaratna *et al*., 2000) ทั้งนี้คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของ salicylic acid ได้รวบรวมแสดงไว้ดัง Table 1

[1]คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 47000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Formula : $C_7H_6O_3$

Molecular weight : 138.1226 Da

Figure 1 The structure of salicylic acid.

Table 1 Some physical properties of salicylic acid.

Salicylic acid	
Chemical name	2-Hydroxybenzoic acid
Chemical formula	$C_7H_6O_3$
Molecular mass	138.123 $g.mol^{-1}$
Melting point	211 °C
Density	1.44 $g.cm^{-3}$ (at 20 °C)
pKa	2.97
CAS number	[69-72-7]

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/salicylic_acid

1. การสังเคราะห์ salicylic acid (Biosynthetic pathway)

กระบวนการสังเคราะห์ salicylic acid ในพืช มีการเสนอในวิถี Shikimic acid โดย Raskin (1992) เสนอว่าในการสังเคราะห์ cinnamic acid ซึ่ง cinnamic acid จะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น salicylic acid ได้โดย salicylic acid ถูกสังเคราะห์จาก chorismate โดยผ่านขั้นตอนไปเป็น iso-chorismate โดยการทำงานของเอนไซม์ isochorismate synthase จากนั้นมีเอนไซม์ isochorismate pyruvate lyase ทำหน้าที่เปลี่ยน iso-chorismate ไปเป็น salicylic acid และนอกจากการสังเคราะห์ salicylic acid ตามวิถีดังกล่าวแล้ว salicylic acid ในพืชยังสามารถสังเคราะห์ได้จาก Phenylalanine (Phe) โดย Phe ถูกเปลี่ยนเป็น trans-cinnamic acid โดยเอนไซม์ Phenylalanine ammonia lyase (PAL) แล้ว trans-cinnamic สามารถเปลี่ยนไปเป็น benzoic acid โดยการทำงานของเอนไซม์ benzoic-acid-2-hydroxylase และเปลี่ยนไปเป็น o-coumaric acid โดยเอนไซม์ trans-cinnamate-4-hydroxylate ก่อนที่จะได้ salicylic acid ซึ่ง Hayat *et al*. (2010) ได้สรุปแบบจำลองการสังเคราะห์ salicylic acid ไว้ดังแสดงใน Figure 2

2. การทำงานของ salicylic acid (Action of salicylic)

Hayat *et al*. (2010) เสนอว่าเมื่อมีการให้ salicylic acid จากภายนอก จะมีการส่งสัญญาณจากระยะไกลส่งต่อไปยังสาร methyl salicylic ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (precursor) ของ สาร salicylic acid ในรูปที่ทำงานไม่ได้ แต่สามารถเคลื่อนที่ในท่อลำเลียงอาหาร และถูกส่งต่อไปยังส่วนต่างๆ ของพืชจากเนื้อเยื่อส่วนที่ได้รับผลกระทบจากสภาพเครียดที่ถูกกระตุ้นจากสิ่งมีชีวิต (biotic stress) ได้แก่ สัตว์กินพืช แมลง ไส้เดือน เชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส และผลกระทบจากสภาพเครียดที่ถูกกระตุ้นจากสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) ได้แก่ น้ำ แสงอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิสูงและต่ำ สารกำจัดวัชพืชและแมลง โลหะหนัก และความเค็ม ซึ่ง methyl salicylic จากเนื้อเยื่อที่ได้รับสภาพเครียดต่างๆเหล่านี้ สามารถเคลื่อนย้ายส่งไปยังเนื้อเยื่อที่อยู่ในสภาวะปกติ และเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปสาร salicylic acid อีกครั้ง เพื่อกระตุ้นระบบการป้องกันตนเองของพืชทั้งแบบการป้องกันตนเองโดยการฆ่าตัวเองของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hypersensitive reaction; HR) และระบบ Systemic acquired resistance (SAR) ซึ่งเป็นระบบการป้องกันตนเองของพืชแบบหนึ่งโดยกระตุ้นให้มีการผลิตโปรตีนหรือสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้ นอกจากนี้บริเวณเนื้อเยื่อพืชที่มี salicylic acid ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิชนิดต่างๆ เช่น กลุ่มของปริมาณรวมสารต้านอนุมูลอิสระ (total antioxidant capacity) หรือเอนไซม์ในระบบการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ catalase, peroxidase และ superoxide dismutase ซึ่งจะเข้ามาช่วยในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาพเครียดต่างๆ ของพืช ตลอดจนช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่จะเกิดขึ้น (Figure 2)

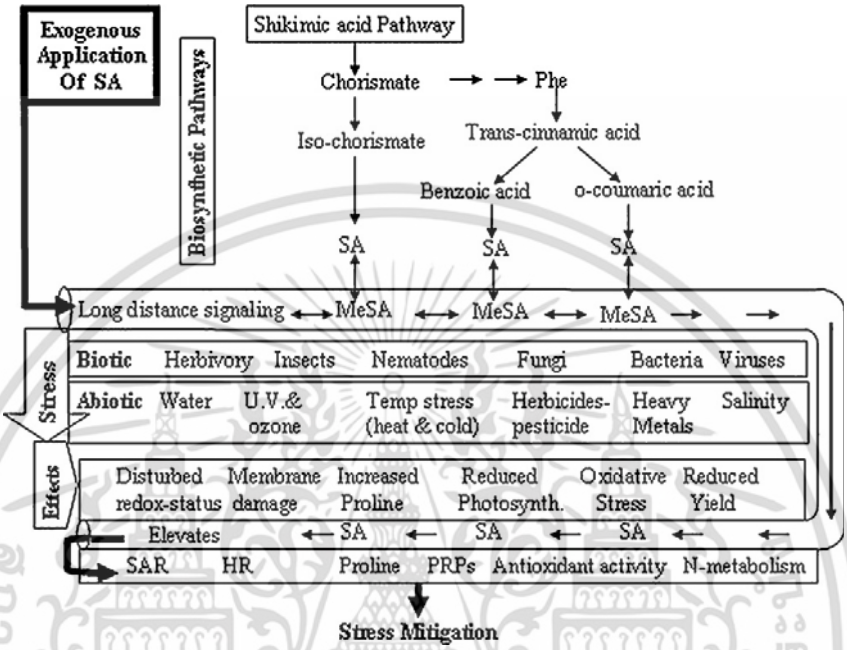


Figure 2 Model of the biosynthesis and action of salicylics acid on the induction of biotic and abiotic stress tolerance (Hayat *et al*.,2010).

ปัจจุบันมีผู้สนใจนำ salicylic acid มาใช้กับผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น ในรูปแบบการให้จากภายนอกโดยวิธีการรมไอ จุ่ม หรือพ่น ทั้งนี้ในระดับความเข้มข้นของสารละลาย และระยะเวลาการให้สารแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตก่อนนำไปเก็บรักษา โดย salicylic acid มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวนดังต่อไปนี้

2.1 การอ่อนนุ่ม (Softening

การเกิดอาการอ่อนนุ่มของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นคุณภาพหลักประการหนึ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า salicylic acid มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนุ่มของผลผลิตหลายๆ ชนิด ดังรายงานของ Sayyari *et al*. (2011) ศึกษาการนำสาร salicylic acid มาใช้กับผลทับทิม พบว่า ผลทับทิมที่มีการให้สาร salicylic acid โดยการจุ่มทั้งผลที่ระดับความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 mM นาน 10 นาที ช่วยให้ผลทับทิมเมื่อเก็บรักษาไปแล้วนาน 84 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 16-17 นิวตัน (N) ขณะที่ผลทับทิมชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อเหลือเพียง 9 N นอกจากนี้ Aghdam *et al*. (2011) ได้ศึกษาการใช้ salicylic acid ในผลกีวีโดยใช้ในรูปของ methyl salicylate ใช้วิธีการรมทั้งผลที่ระดับความเข้มข้น 32 µl L^{-1} นาน 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 องศาเซลเซียส เมื่อประเมินคุณภาพด้านต่างๆ พบว่าสาร methyl salicylate มีผลช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักผล และคงค่าความแน่นเนื้อของผล อีกทั้งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผลกีวีชุดควบคุม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านรสชาติ ซึ่งผลของสาร salicylic acid ต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักของผลเนื่องมาจาก salicylic acid ช่วยลดอัตราการหายใจของผลและทำให้เมตาบอลิซึมต่างๆ มีกิจกรรมลดลง จากการทดลองใช้สาร salicylic acid กับหน่อไม้ฝรั่งของ Wei *et al*. (2011) ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 mmol.L^{-1} พบว่าได้ผลดีกับการเพิ่มคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของหน่อไม้ฝรั่งโดยลดค่าแรงเฉือน (shear force) ระหว่างการเก็บรักษาให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับการศึกษาการใช้ salicylic acid ในผลองุ่น *(Vitis vinifera* L.) พันธุ์ Bidaneh Sefid และพันธุ์ Bidaneh Ghermez ที่ระดับความเข้มข้น 1-4 mmol.L^{-1} มีผลทำให้ความแน่นเนื้อของผลองุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น (Sarikhani *et al*., 2010) เช่นเดียวกับการศึกษาในผลกล้วยของ Srivastava and Dwivedi (2000) พบว่า salicylic acid ช่วยคงความแน่นเนื้อของผลกล้วย ซึ่งเป็นผลมาจาก salicylic acid มีผลทำให้อัตราการสร้างเอทิลีนลดลง และไปยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ เช่นเอนไซม์ polygalacturonase (PG), lipoxygenase (LOX), cellulase และ pectin-methylesterase (PME) ทำให้อัตราการอ่อนนุ่มของผลผลิตลดลง

2.2 การเปลี่ยนแปลงสี (Color change)

Wei *et al*. (2011) รายงานว่า salicylic acid ช่วยชะลอการสลายตัวของ chlorophyll ในหน่อไม้ฝรั่งซึ่งระดับความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้กับหน่อไม้ฝรั่งอยู่ที่ 0.1 mmol.L^{-1} หากใช้ระดับความเข้มข้นมากกว่า 1.0 mmol.L^{-1} จะส่งผลทำให้คุณภาพด้านสีด้อยลง คือ หน่อไม้ฝรั่งจะมีสีเขียวซีดผิดปกติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนในผลทับทิม Sayyari *et al*. (2011) แนะนำให้ใช้ salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 mM ยังคงลักษณะคุณภาพด้านสีไว้ได้ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือก ในขณะที่ผลทับทิมชุดควบคุมบริเวณผิวของผลเกิดจุดสีน้ำตาล (pitting) ระหว่างการเก็บรักษานาน 84 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total soluble solids; TSS)

จากการศึกษาของ Aghdam *et al.* (2011) โดยใช้ salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 32 µl L^{-1} นาน 16 ชั่วโมง ทำให้ผลกีวีมีค่า TSS ลดลงและมีค่าน้อยกว่าผลกีวีชุดควบคุม เนื่องจาก salicylic acid ไปยับยั้งการสร้างเอทิลีนภายในผลทำให้ไปลดกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ sucrose-phosphate synthase และลดการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครส รวมทั้ง salicylic acid มีผลต่อการชะลอการสุกในกล้วย ซึ่งในกระบวนการสุกของกล้วยนั้นจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในเนื้อจะมีมากกว่าในเปลือก จากข้อมูลการศึกษาของ Srivastava and Dwivedi (2000) ในผลกล้วยที่ได้รับ salicylic acid พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกลดลง เนื่องจากกระบวนการสุกของผลถูกชะลอออกไปทำให้ปริมาณน้ำตาล non-reducing ลดลง เช่นเดียวกับ Abbasi *et al.* (2011) ที่พบว่าผลท้อที่ได้รับว่า salicylic acid โดยวิธีการจุ่มทั้งผลที่ความเข้มข้น 1 mM มีผลทำให้ผลท้อระหว่างเก็บรักษามีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลและปริมาณกรดภายในผลลดลงและน้อยกว่าในผลท้อชุดควบคุม

2.4 การเกิดโรค (Diseases)

มีรายงานการวิจัยที่กล่าวถึงผลของ salicylic acid ต่อการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวและสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ เช่น มีการรายงานการใช้ salicylic acid กับผลกีวีหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้วิธีการรมที่ความเข้มข้น 32 µl L^{-1} สามารถลดอัตราการเน่าของผลและสัมพันธ์กับการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ Catalase (CAT) และเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (AsPOD) (Aghdam *et al.,* 2011) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการรายงานของ Zeng *et al.* (2006) ที่ศึกษาการใช้ salicylic acid กับผลมะม่วง พบว่าผลมะม่วงมีความต้านทานต่อโรคมากขึ้น อีกทั้งพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ AsPOD มีกิจกรรมของเอนไซม์ลดลง ทำให้มีปริมาณ H_2O_2 ในเซลล์เพิ่มขึ้นซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมให้พืชมีความต้านทานต่อโรคมากขึ้น Babalar *et al.* (2007) พบว่าการให้สาร salicylic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acid สามารถลดอาการผลเน่าที่เกิดจากเชื้อ *B. cinerea* ในผลสตรอเบอรี่หลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยวิธีการจุ่มทั้งผลในระยะผลเปลี่ยนเป็นสีแดงมากกว่า 75% ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 mmol.L^{-1} สอดคล้องกับการศึกษาของ Yu *et al.* (2007) พบว่า salicylic acid มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อ *Penicillium expansum* และเชื้อ *B. cinerea* เป็นเชื้อสาเหตุโรคผลเน่าในผลสาลี่ โดยไปกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ β-1,3-glucanase, Phenylalanine ammonia lyase (PAL), Polyphenol oxidases (PPO) และ Peroxidase (POD) ให้มีกิจกรรมสูงขึ้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตสาร phenolics ในพืชโดยมีคุณสมบัติไปยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่เป็นสาเหตุการเกิดโรค นอกจากนี้ salicylic acid ยังสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ POD จากการศึกษาของ Zainuri *et al*. (2001) รายงานว่า เมื่อใช้ salicylic acid ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในผลมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride ที่ระดับความเข้มข้น 2 mg L^{-1} สามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Collectotrichum gloeosporioides* ได้ ทั้งนี้การใช้ salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 2 mg L^{-1} ยังให้ผลเช่นเดียวกับการใช้ในไม้ตัดดอก Geraldton waxflower สายพันธุ์ CWA Pink ที่ประสิทธิภาพในการลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria* sp. และ *Epicoccum* sp. ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายยาวนานขึ้น (Beasley *et al.,* 1999)

2.5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds)

ปัจจุบันการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวไม่ใช่แต่คำนึงถึงคุณภาพภายนอกของผลผลิตเท่านั้น แต่ยังต้องคำนึงถึงว่าทำอย่างไรจึงจะรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคไว้ได้นานที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งพบว่า สาร salicylic acid ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของระบบการต้านอนุมูลอิสระในพืช (Knorzer *et al.,* 1999) ส่วนสาร salicylates ที่พืชสร้างขึ้นเอง เช่น ในผักหรือผลไม้ถือว่าเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการรักษาสุขภาพของผู้บริโภคโดยบริโภคได้อย่างปลอดภัยในปริมาณที่เหมาะสม (Hooper and Cassidy, 2006) สำหรับการศึกษาผลของสาร salicylic acid จากการให้จากภายนอก อาทิเช่น ในหน่อไม้ฝรั่งพบว่าสาร salicylic acid ช่วยให้หน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณรวมของสารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระมีอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านการเกิดโรคมะเร็ง และช่วยยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งได้ (Wei *et al.*, 2011) เช่นเดียวกับที่พบในผลทับทิมที่สาร salicylic acid มีผลต่อการรักษาปริมาณรวมสารฟีนอลิก สารแอนโธไซยานิน ปริมาณกรดและน้ำตาลรวมทั้งปริมาณรวมสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษาแยกในชั้น hydrophilic และ lipophilic ให้คงปริมาณสูงในระหว่างการเก็บรักษา (Sayyari *et al.*, 2011) ส่วนในผลกีวีการให้ salicylic acid จากภายนอกยังช่วยรักษาระดับสาร endogenous salicylic acid ภายในผลที่สร้างขึ้นเองได้อีกด้วย (Zhang *et al*., 2003) นอกจากนี้ Hung *et al*. (2007) พบว่าการให้ salicylic acid ในผลส้มก่อนเก็บรักษาทำให้เนื้อส้มมีปริมาณ ascorbic acid อยู่สูง เนื่องจากสาร salicylic acid ไปลดกระบวนการ catabolism มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของ ascorbic acid ไปอยู่ในรูป dehydroascorbate (DHAA) มากขึ้น ในขณะที่องุ่นที่ให้สาร salicylic acid จะกระตุ้นให้ Ca^{2+} ภายในผลมีการเคลื่อนที่จากแวคิวโอลและช่องว่างระหว่างเซลล์ไปยังไซโตพลาสซึม ซึ่ง Ca^{2+} ที่อยู่บริเวณไซโตพลาสซึมนี้จะกระตุ้น Ascorbate-Glutathione cycle มีผลให้เกิดการสะสม glutathione และ ascorbic acid มากขึ้น (Wang and Li, 2006)

2.6 อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา (Physiological disorders)

จริงแท้ (2549) ได้กล่าวไว้ว่า อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวนั้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลทำให้ผลผลิตสูญเสียมูลค่าทางการตลาดเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักเกิดจากการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป (Heat injury) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปล่อยให้ผลิตผลได้รับแสงแดดโดยตรง หรือได้รับความร้อนสูงระหว่างขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้ Hot treatment ทำให้ผิวไหม้หรือสีจางลง สุกไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดอาการผลนิ่ม ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืช อาจเกิดขึ้นจากการได้รับธาตุอาหารบางชนิดไม่เพียงพอใน ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น อาการ blossom end

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rot ในมะเขือเทศ และอาการไส้ขมในแอปเปิล หรือการปล่อยให้บรรยากาศที่เก็บรักษาผลิตผลมีปริมาณ O_2 ต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 1%) หรือ ได้มีปริมาณ CO_2 ที่สูงเกินไป (มากกว่า 20%) สามารถทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาได้เช่นกัน สำหรับการศึกษาผลของ salicylic acid ที่มีผลต่อการลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่มีประเด็นการศึกษามากที่สุด คือ ในแง่ของการลดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ซึ่งเกิดจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม มักเกิดขึ้นกับพืชเมืองร้อนหรือพืชกึ่งร้อน ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง ความเสียหายอาจปรากฏออกมาในลักษณะของการเปลี่ยนสีของผิวหรือเนื้อผลเป็นสีน้ำตาลหรือจุดสีดำ การสุกไม่สม่ำเสมอภายในผลเดียวกัน หรือลักษณะการสุกที่ผิดปกติ หรือในผลผลิตบางชนิดมีรสชาติผิดปกติไป อาจมีผลทำให้ผลิตผลอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผลิตผลเป็นหลัก

มีการศึกษาผลของ salicylic acid ที่มีต่อการลดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ งานวิจัยของ Ding *et al*. (2002) ศึกษาการใช้สาร salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 0.01-0.5 mM โดยวิธีการรมผลมะเขือเทศในระยะผลบริบูรณ์สีเขียวนาน 16 ชั่วโมงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่ากระตุ้นให้ผลมีการสร้างโปรตีนบางชนิดที่พืชทั่วไปจะสร้างขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะเครียด มีผลทำให้มะเขือเทศมีความต้านทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้มากขึ้นการศึกษาในผลท้อโดย Cao *et al*. (2010) พบว่า การใช้ salicylic acid ที่ความเข้มข้น 1 mM ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่เนื้อผลท้อ และช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ขณะที่สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ lipoxygenase ทำให้เนื้อเยื่อเกิดกระบวนการ lipid peroxidation น้อยลง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้สาร salicylic acid เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากการเกิดอาการสะท้านหนาวในหน่อไม้ พบว่าเมื่อนำหน่อไม้จุ่มลงในสาร salicylic acid ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 15 นาที สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสได้นานถึง 50 วัน รวมทั้งช่วยชะลอการเกิดโรคและการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และมีผลลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่เอนไซม์ PPO และเอนไซม์ PAL (Luo *et al*., 2012) สำหรับการศึกษาในดอกหน้าวัวตัดดอก 5 สายพันธุ์ของ Promyou *et al*. (2012) ได้เสนอแนวทางใหม่ในการยืดอายุการเก็บรักษา และป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยใช้ salicylic acid ความเข้มข้น 2.0 mM โดยใช้วิธีการจุ่มทั้งก้านดอกนาน 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดอาการสะท้านหนาว และมีผลทำให้เอนไซม์ catalase และ superoxide dismutase มีกิจกรรมสูงขึ้น และช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อจานรองดอก รวมทั้งคงสภาพเยื่อหุ้มเซลล์จานรองดอกหน้าวัวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.7 การชราภาพและอายุการเก็บรักษา (Senescence and shelf life)

การชะลอการชราภาพและยืดอายุการเก็บรักษาเป็นอีกบทบาทหนึ่งของ salicylic acid ที่มีการรายงานดังเช่นการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่จุ่มด้วย salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 mM สามารถรักษาคุณภาพของผล ลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยมีผลในการชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน และเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ superoxide dismutase และ catalase ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้จุ่ม salicylic acid ทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้นาน 25 วัน (สุวรรณา และคณะ, 2550) salicylic acid ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาดอกหน้าวัวให้นานขึ้น จากดอกหน้าวัวที่ไม่ได้ให้ salicylic acid ซึ่งจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 15 วัน แต่เมื่อให้ salicylic acid ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 mM โดยจุ่มดอกหน้าวัวทั้งก้านดอกนาน 15 นาที ทำให้ดอกหน้าวัวมีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 25 วัน โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจานรองดอก คงความสดและลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกทำให้มีอายุการวางจำหน่ายยาวนานขึ้น (สุรัสวดี, 2554) ทั้งนี้เป็นเพราะ salicylic acid มีผลยับยั้งการเปลี่ยนสาร 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ไปเป็นเอทิลีนโดยลดกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase และช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลผลิต (Leslie and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Romani, 1988) และการศึกษาการใช้สาร salicylic acid กับดอกกุหลาบโดยการพ่นให้กับต้นกุหลาบที่ปลูกในสภาพโรงเรือน พบว่า salicylic acid ช่วยยืดอายุการปักแจกันของกุหลาบตัดดอก ชะลอการเสื่อมสภาพ ลดการสูญเสียน้ำหนักสด และรักษาสมดุลของน้ำหลังจากตัดดอกและเก็บรักษาได้นานขึ้น จากกุหลาบตัดดอกปกติที่ไม่ได้ให้สาร salicylic acid เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีอายุการปักแจกัน 50 วัน ขณะที่ต้นกุหลาบที่ได้รับ salicylic acid ความเข้มข้น 50 uM มีอายุการปักแจกันนานขึ้นถึง 90 วัน (Alaey *et al*., 2011) ในไม้ตัดดอกแกลดิโอลัสสายพันธุ์ wing's sensation ที่แช่ในสารละลาย salicylic acid ความเข้มข้น 150 ppm เกิดการเสื่อมสภาพของกลีบดอกเกิดขึ้นช้ากว่าชุดควบคุมและมีอายุการปักแจกันนาน 8 วัน (Hatamzadeh *et al*., 2012)

สรุป

ปัจจุบันมีการศึกษาบทบาทของ salicylic acid ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวนเป็นจำนวนมากทั้งในด้านที่มีผลต่อการคงความแน่นเนื้อของผล ชะลอกระบวนการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีผล เพิ่มความต้านทานต่อการเกิดโรค และลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งช่วยในการกระตุ้นหรือรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ทั้งนี้วิธีการ ปริมาณการใช้ และระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมยังต้องมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต ซึ่งน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มคุณภาพผลิตผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 453 น.

สุรัสวดี พรหมอยู่. 2554. รายงานการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ชีวเคมี และสรีรวิทยาระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาวของดอกหน้าวัว 5 สายพันธุ์ และศึกษาวิธีการลดอาการสะท้านหนาวในดอกหน้าวัว. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ

สุวรรณา บุญญางษ์ วาริช ศรีละออง หทัยทิพย์ นิมิตรเกียรไกล และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2550. ผลของ Salicylic acid ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 78-81

Abbasi, N.A., S. Hafeez and M.J. Tareen. 2011. Salicylic acid prolongs shelf life and improves quality of 'Maria Delicia' peach fruit. Acta Hort. 880: 191-197.

Aghdam, M.S., A. Motallebiazar, Y. Mostofi, J.F. Moghaddam and M. Ghasemnezhad. 2011. Methyl salicylate affects the quality of Hayward kiwifruit during storage at low temperature. J. Agri. Sci. 3(2): 149-156.

Alaey, M., M. Babalar, R. Naderi and M. Kafi. 2011. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on physio-chemical attributes in relation to vase-life of rose cut flower. Postharvest Biol. Technol. 61: 91-94.

Babalar, M., M. Asghari, A. Talaei and A. Khosroshahi. 2007. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. Food Chem. 105: 449-453.

Beasley, D.R., D.C. Joyce, L.M. Coates and A.H. Wearing. 1999. Effect of salicylic acid treatment on postharvest diseases of Geraldton waxflower, In proceeding of the 12th Australasian plant pathology conference, Canberra, p. 222.

Cao, S., Z Hua, Y. Zhengb and B. Lua. 2010. Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. Postharvest Biol. Technol. 58: 93-97.

Ding C.K., C. Y. Wang, K. C. Gross and D. L. Smith. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. Planta 214: 895-901.

Hatamzadeh, A., M. Hatami and M. Ghasemnezhad. 2012. Efficiency of salicylic acid delay petal senescence and extended quality of cut spikes of *Gladiolus grandiflora* cv 'wing's sensation'. African J. of Agric. Research 7(4): 540-545

Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environ. Exp. Bot. 68: 14-25.

Hooper, L. and A. Cassidy. 2006. A review of the health care potential of bioactive compounds. J. Sci. Food Agric. 86: 1805-1813.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hung, R.H., J. H. Liu, Y. M. Lu and R. X. Xia. 2007. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperature. Postharvest Biol. Technol. 47: 168-175.

Knorzer, O.C., B. Lederer, J. Durner and P. Boger. 1999. Antioxidative defense activation in soybean cells. Physiol. Plant. 107: 294-302.

Leslie, C.A. and R.J. Romani. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. Plant Physiol. 88: 833-837.

Luo, Z., X. Wu, Y. Xie and C. Chen. 2012. Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment. Food Chem. 131: 456-461.

Promyou, S., S. Ketsa and W.G. van Doorn. 2012. Salicylic acid alleviates chilling injury in anthurium (*Anthurium andraeanum* L.) flower. Postharvest Biol. Technol. 64: 104-110.

Raskin, I. 1992. Salicylate, a new plant hormone. Plant Physiol. 99: 799-803.

Sarikhani, H., R. Sasani-Homa and D. Bakhshi. 2010. Effect of salicylic acid and SO_2 generator pad on storage life and phenolic contents of grape (*Vitis vinifera* L. 'Bidaneh Sefid' and 'Bidaneh Ghermez'). 877: 1623-1630.

Sayyari, M., M. Babalar, S. Kalantari, M. Serrano and D. Valero. 2011. Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. Postharvest Biol. Technol. 53: 152-154.

Senaratna, T., D. Touchell, E. Bunn and K. Dixon. 2000. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul. 30: 157-161.

Srivastava, M.K. and U.N. Dwivedi. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Sci. 158: 87-96.

Wang, L.J. and S.H.H. Li. 2006. Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca^{2+} homeostasis and antioxidant systems in young grape plants. Plant Sci. 170: 685-694.

Wei, Y., Z. Liu, Y. Su, D. Liu and X. Ye. 2011. Effect of salicylic acid treatment on postharvest quality, antioxidant activities and free polyamines of asparagus. J. Food Sci. 76(2): 126-132.

Wikipedia. 2012. Salicylic acid, http://en.wikipedia.org/wiki/Salicylic_acid. [Online] 13 June, 2012.

Yu, T., C. Jishuang, C. Rongle, H. Bin, L. Donghong and Z. Xiaodong. 2007. Biocontrol of blue and gray mold diseases of pear fruit by integration of antagonistic yeast with salicylic acid. Inter. J. Food Micro. 116: 339-345.

Zainuri, D.C., A.H. Wearing, L. Coates and L. Terry. 2001. Effects of phosphonate and salicylic acid treatments on anthracnose disease development and ripening of 'Kensington Pride' mango fruit. Aust. J. Exp. Agric. 41: 805-813.

Zeng, K.F., J.K. Cao and W.B. Jiang. 2006. Enhancing disease resistance in harvest mango (*Mangifera indica* L. cv. Matisu) fruit by salicylic acid. J. Sci Food Agric. 86: 694-698.

Zhang, Y., K. Chen, S. Zhang and I. Ferguson. 2003. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. Postharvest Biol. Technol. 28: 67-74.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้