บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ส้ม

ส้มเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Rutacae สกุล Citrus ส้มเขียวหวานที่ปลูกในประเทศไทยอยู่ในกลุ่มแมนดาริน (Mandarin) โดยอยู่ในพันธุ์ Common Mandarinคือ **Citrus recticulata** Blanco (หลวงบุเรศบำรุงการ, 2519, และรวี เสรฐภักดี 2523) พันธุ์ที่นิยมปลูกมากคือ พันธุ์เขียวหวาน

คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวาน

ส้มเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีเกลือแร่ และวิตามินหลายชนิด เช่น เหล็ก ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินเอ โดยเฉพาะมีวิตามินซีอยู่สูง ซึ่งกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และกองโภชนาการได้รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวาน ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

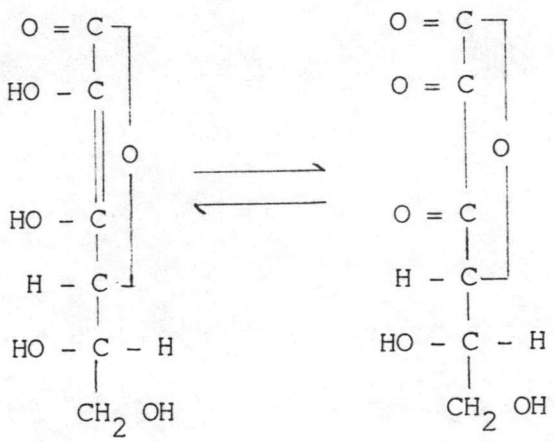
ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของส้มเขียวหวาน

	กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ	กองโภชนาการ
ความชื้น (ร้อยละ)	89.20	88.7
ไขมัน (ร้อยละ)	0.07	0.2
กาก (ร้อยละ)	0.33	0.2
โปรตีน (ไนโตรเจนร้อยละ x 6.25)	0.83	0.6
เถ้า (ร้อยละ)	0.47	(*)
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	9.10	9.9
พลังงาน (กิโลแคลอรี่/100 กรัม)	40.35	44.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	28.10	31.0
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.32	0.8
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	18.10	18.0
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	2.07	*
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	200.20	*
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	*	0.04
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	*	0.05
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม	*	18.00
วิตามินเอ (หน่วยสากล/100 กรัม)	*	4000.00

* ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

วิตามินซี

ส้มเป็นผลไม้ที่ให้วิตามินซีสูงถึง 45 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Guthrie, 1979) วิตามินซีเป็นวิตามินที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้ เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ L-glucono-δ-lactone oxidase ซึ่งเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลกาแล็กโตส เป็นกรดแอสคอร์บิค (Hughes, 1981) วิตามินซีโดยทั่วไปอยู่ในรูปกรดแอสคอร์บิคซึ่งถูกรีดิวซ์ (reduced ascorbic acid) เมื่อวิตามินซีถูกออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascorbic acid, DHAA) ดังรูปที่ 1 และกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิคเมื่อถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นกรดไดคีโตกูโลนิก (diketogulonic acid) ไม่มีฤทธิ์ในการป้องกันโรคลักปิดลักเปิด (antiscorbutic) (Guthrie, 1979)



L-ascorbic acid Dehydro-L-ascorbic acid

รูปที่ 1 ขั้นตอนการที่วิตามินซีถูกออกซิไดซ์

วิตามินซีมีความสำคัญต่อการสร้างคอลลาเจน (collagen) ในร่างกาย คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ต่าง ๆ รวมทั้งผิวหนังและเอ็น มีหน้าที่ดึงและยึดอวัยวะต่าง ๆ โดยมีแรงยึดเหนี่ยวสูง หน่วยโครงสร้างของคอลลาเจน คือ โทรโปคอลลาเจน (tropocollagen) ประกอบด้วยเส้นโปลีเปปไทด์สามเส้น หนึ่งในสามของกรดอะมิโนเป็นไกลซีน (glycine) หนึ่งในสี่เป็นโปรลีน (proline) และไฮดรอกซีโปรลีน

(hydroxyproline) ลำดับการเรียงตัวส่วนมากจะเป็น (-Gly-x-Pro-) หรือ (-Gly-x-Hydroxypro-) โดย x เป็นกรดอะมิโนอื่น ๆ การเรียงตัวเช่นนี้ทำให้เส้นโปลีเปปไทด์ขดเป็นเกลียวสามเส้น วิตามินซีทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชั่น (hydroxylation) ของโปรลีนเป็นไฮดรอกซีโปรลีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเส้นโปลีเปปไทด์ของคอลลาเจนทำให้มีความคงตัว ส่งผลให้เกิดการสมานแผล (healing of wounds) (Lee, 1975)

วิตามินซีมีความสำคัญในการเปลี่ยนโดปามีน (dopamine) เป็นนอร์อิพิเนฟริน (norepinephrin) ซึ่งเป็นสารนำกระแสประสาทในสมอง และวิตามินซีช่วยในการเปลี่ยนกรดอะมิโนทริปโตเฟน (tryptophan) เป็น 5-ไฮดรอกซีทริปโตเฟน (5-hydroxytryptophan) และเซโรโทนิน (serotonin) ซึ่งเป็นสารนำกระแสประสาทที่สำคัญในสมอง (Guthrie, 1979) นอกจากนี้วิตามินซีช่วยในการรีดิวซ์เหล็กที่อยู่ในรูปเฟอริก (ferric iron) ให้อยู่ในรูปเฟอรัส (ferrous iron) ในทางเดินอาหารช่วยเพิ่มการดูดซึมเหล็กเข้าสู่ร่างกาย (Guthrie, 1979)

วิตามินซีมีความสำคัญในการสังเคราะห์คาร์นิทีน (carnitine) จากกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และเมทไธโอนีน (methionine) โดยที่คาร์นิทีนมีบทบาทในการนำกรดไขมันเข้าไปในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ของกล้ามเนื้อลายทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชั่นให้พลังงานออกมา (Hughes, 1980; Tao, 1981)

วิตามินซีป้องกันการเกิดสารไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในร่างกาย โดยทำหน้าที่เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชั่น (anti-oxidant) ทำให้สารไนไตรต์ (nitrite) เปลี่ยนเป็นไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide) ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารเอมีนในอาหารโปรตีน จึงไม่เกิดสารไนโตรซามีนที่เป็นอันตราย นอกจากนี้วิตามินซียังเพิ่มภูมิต้านทานของผู้ป่วยที่เป็นมะเร็ง โดยเฉพาะเมื่อให้ร่วมกับวิตามินเอ และซีลีเนียม (Cameron, 1976)

กรดแอสคอร์บิคในร่างกายทั้งหมดมีอยู่ 1500-4000 มิลลิกรัม ซึ่งปริมาณนี้เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดอาการเลือดออกตามไรฟัน แม้ร่างกายจะไม่ได้รับวิตามินซีเป็นเวลา 90 วันติดต่อกัน (Guthrie, 1979) เมื่อระดับกรดแอสคอร์บิคในร่างกายเหลือประมาณ 300 มิลลิกรัม จะเริ่มแสดงอาการของการขาดวิตามินซี โดยมีอาการอ่อนเพลีย เกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อลาย ปวดตามข้อและกระดูก ความอยากอาหารลดลง ผิวหยาบแห้ง และมีเลือดออกตามไรฟัน อาการ

เหล่านี้เป็นอันตรายมากโดยเฉพาะในเด็กทารก (Guthrie, 1979; Nobile, 1981) ตามปกติร่างกายมีความต้องการวิตามินซีวันละ 30 มิลลิกรัม (กองโภชนาการกรมอนามัย, 2532) ในหญิงมีครรภ์ควรได้รับวิตามินซีเพิ่มขึ้น แต่ควรระวังไม่ให้มากเกินไป เนื่องจากทำให้เกิดภาวะการขาดวิตามินซีในทารกที่คลอดออกมา (vitamin dependency) (Hughes, 1981)

ร่างกายสามารถนำวิตามินซีจากผักและผลไม้ไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าการรับวิตามินซีในรูปของยาเม็ด (tablet) เนื่องจากวิตามินซีตามธรรมชาติอยู่ในภาวะสมดุลระหว่างรูปรีดิวซ์และออกซิไดซ์ (Nobile, 1981, Jacob, 1987)

วิตามินซีเป็นผลึกหรือผงสีขาว ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเบนซีน สลายตัวง่ายเมื่อได้รับความร้อน คงตัวในภาวะที่เป็นกรด (พีเอชประมาณ 5-6) ถูกออกซิไดซ์โดยแสงและอากาศ โดยเฉพาะเมื่อมีโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก ทำให้การสลายตัวเร็วขึ้น การสลายตัวของวิตามินซียังขึ้นอยู่กับกลุ่มเอนไซม์ออกซิเดส (Tannenbaum, 1979) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีโลหะเป็นโคเอนไซม์ เช่น ฟีนอลเลส (phenolase) มีทองแดงเป็นโคเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) มีเหล็กเป็นโคเอนไซม์ (Lloyd, 1978)

ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นโดยวิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศ (vacuum concentration) พบว่าวิตามินซียังคงเหลือในผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 85-90 (Holdsworth, 1979) วิตามินซีที่สูญเสียไปส่วนใหญ่เนื่องจากการใช้ภาชนะที่เป็นทองแดงบรรจุน้ำส้มคั้นที่ร้อน หรือการปล่อยให้น้ำส้มคั้นที่ร้อนอยู่เป็นเวลานานโดยไม่รีบทำให้เย็น (Bolin, 1982) จากการศึกษาของ Marchall (1955) พบว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9-12 เดือน สูญเสียไปน้อยกว่าร้อยละ 5 และการสูญเสียวิตามินซีเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 24-30 องศาเซลเซียส

วิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นถูกทำลายช้าลงเมื่อเติมเอนไซม์เปคติเนสในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากเอนไซม์เปคติเนสจะสลายเปคตินในน้ำส้มให้เป็นกรดเปคติก (pectic acid) ทำให้พีเอชของน้ำส้มลดลง ช่วยเพิ่มความคงตัวของวิตามินซีและการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในการถนอมรักษาน้ำส้มเข้มข้นจะช่วยลดการสูญเสียวิตามินซีระหว่างการเก็บเช่นกัน (Tannenbaum, 1979)

การผลิตน้ำส้มเข้มข้น

น้ำส้มเข้มข้นเริ่มผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1945-1946 โดยการระเหยภายใต้ความดันและอุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 27 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มข้นสุดท้ายประมาณ 42 องศาบริกซ์ (ทำให้เข้มข้น 4 เท่า) แล้วเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนน้ำส้มเข้มข้นต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 3 จะได้น้ำส้มที่มีความเข้มข้นประมาณ 12 องศาบริกซ์ซึ่งเหมาะแก่การบริโภค และน้ำส้มที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำส้มสด (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2524) บางครั้งมีการเตรียมผลิตภัณฑ์ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 65 องศาบริกซ์ (ทำให้เข้มข้น 6 เท่า) หรือ 72 องศาบริกซ์ (ทำให้เข้มข้น 8 เท่า) แล้วแต่ความต้องการของผู้ผลิต

การเตรียมน้ำส้มเข้มข้นจากน้ำส้มสด มี 3 วิธีขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (อนงค์ อรอุไร, 2529) ได้แก่ การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สูญญากาศ (vacuum concentration) การทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็ง (freezing concentration) และการทำให้เข้มข้นโดยการออสโมซิสแบบผันกลับ (reverse osmosis)

การทำน้ำส้มเข้มข้นโดยการระเหยภายใต้สูญญากาศ ควรเลือกชนิดของเครื่องระเหยที่เหมาะสมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี เครื่องระเหยควรมีประสิทธิภาพการระเหยสูง โดยใช้ระยะเวลาสั้น และอุณหภูมิต่ำ เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากความร้อน เช่น การสูญเสียสารระเหยที่ให้กลิ่นรส การเกิดกลิ่นหุงต้มเนื่องจากการให้ความร้อน (cooking flavor) (Holdsworth, 1979) การทำให้เข้มข้นเป็น 4 เท่าหรือมากกว่าอัตราการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณไอน้ำที่ถูกกำจัดออกไป (Thijssen, 1970) และพบว่าไอน้ำที่ระเหยไปร้อยละ 10 มีส่วนประกอบของสารระเหยซึ่งให้กลิ่นรส (Bolin and Salunkhe, 1971) ดังนั้นการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นมีกลิ่นรสของน้ำผลไม้สด ทำได้โดยนำน้ำส่วนที่ระเหยออกไปซึ่งมีสารระเหยที่มีกลิ่นรสเติมกลับมาในน้ำผลไม้เข้มข้นในตอนสุดท้าย (William, 1977) หรือนำน้ำผลไม้สดเติมลงในน้ำผลไม้เข้มข้น เพื่อให้มีความเข้มข้นในระดับที่ต้องการซึ่งเรียกว่า cut back (Robertson, 1975) ในขั้นตอนนี้น้ำผลไม้ควรมีอุณหภูมิต่ำเพื่อรักษากลิ่นรสไว้ การเติมน้ำผลไม้สดช่วยทดแทนกลิ่นรสที่สูญเสียไป และปกปิดกลิ่นหุงต้มที่เกิดจากการให้ความร้อน (อนงค์ วรอุไร, 2529)

การทำน้ำส้มเข้มข้นโดยการแช่แข็ง เป็นวิธีการแยกน้ำส้มโดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำมากจนน้ำในน้ำส้มกลายเป็นน้ำแข็ง และแยกผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพดีมากไม่มีการสูญเสียกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร แต่วิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง (William, 1979) และเตรียมน้ำส้มได้เพียง 50 องศาบริกซ์ เนื่องจากการแข็งตัวของน้ำขึ้นกับอุณหภูมิยูเทกติก (eutectic temperature) ของน้ำผลไม้ เมื่ออุณหภูมิใกล้อุณหภูมิยูเทกติกความเข้มข้นของน้ำส้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้น้ำส้มไม่แข็งตัว (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2524)

การทำให้เข้มข้นโดยการออสโมซิสแบบผันกลับ เป็นวิธีที่น้ำเคลื่อนออกจากของเหลวโดยผ่านเยื่อแผ่นกรอง (selectively permeable membrane) โดยใช้ความดัน เยื่อแผ่นกรองจะไม่ให้สารอื่น เช่น น้ำตาล กรดต่าง ๆ ผ่าน วิธีนี้ไม่เสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (William, 1979) แต่ความเข้มข้นสูงสุดที่ได้ประมาณ 28 องศาบริกซ์เท่านั้น (อนงค์ วรอุไร, 2528)

กระบวนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นควรคำนึงถึงเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ เพื่อควบคุมการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ น้ำส้มมีเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เปอร์ออกซิเดส ไดฟินอลออกซิเดส (diphenol oxidase) ไพรูวิกดีคาร์บอกซีเลส (pyruvic decarboxylase) คาร์บอกซีเอสเทอเรส (carboxyesterase) เปคตินเอสเทอเรส (pectinesterase) เป็นต้น เอนไซม์เหล่านี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้กลิ่นรสของน้ำผลไม้เปลี่ยนแปลง (Bruemmer, 1977) และเอนไซม์ยังมีผลต่อปริมาณวิตามินซี

เปอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ไม่ทนความร้อน เมื่อน้ำส้มได้รับความร้อนประมาณ 30 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของเอนไซม์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้การสูญเสียวิตามินซีจากการถูกออกซิไดซ์ลดลง ปริมาณของเอนไซม์ในน้ำส้มขึ้นอยู่กับความแรงของการคั้น การใช้แรงคั้นน้อยทำให้ปริมาณเอนไซม์ที่ละลายในน้ำส้มลดลง (Bruemmer, 1977) กระบวนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นซึ่งใช้ความร้อนประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส ช่วยให้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่มีผลทำลายวิตามินซี และไม่มีผลต่อกลิ่นรสของน้ำส้ม

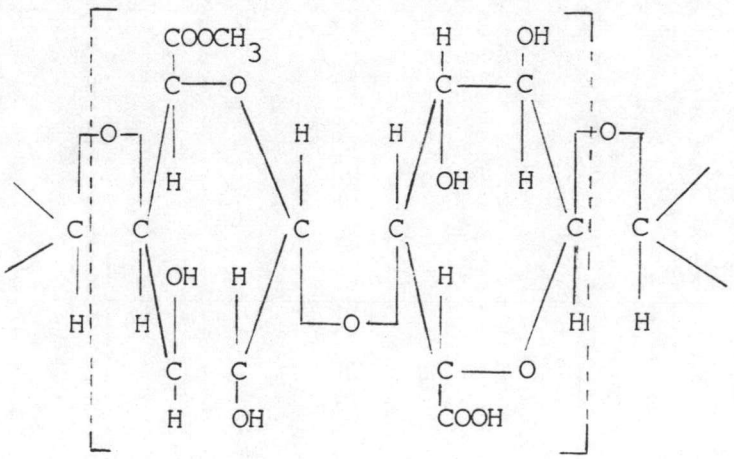
ไดฟินอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่ไม่คงตัวในภาวะที่เป็นกรด (Bruemmer, 1977) จึงไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (enzymatic browning) ถึงแม้ในน้ำส้มมีสารประกอบฟีนอลเป็นจำนวนมาก

คาร์บอกซีเอสเทอเรสเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ของสารอะซีเตต (acetate) ทำให้กลิ่นของน้ำส้มเปลี่ยนแปลง (Bruemmer, 1977) เอนไซม์คงตัวที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส

ไพรูวิกคาร์บอกซีเลสเป็นเอนไซม์ที่พบในน้ำผลไม้ทั่วไป ถูกทำลายด้วยความร้อน เอนไซม์นี้รีดิวซ์กรดไพรูวิกในน้ำส้มโดยนำกลุ่มคาร์บอกซีออกจากกรดไพรูวิกเกิดเป็นสารอะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) (Roe, 1974) สารอะซีตัลดีไฮด์เป็นสารตั้งต้นของอะซีโตอิน (acetoin) และไดอะเซทิล (diacetyl) ซึ่งสารไดอะเซทิลเป็นสารที่ทำให้กลิ่นรสของน้ำส้มเสียไป (off flavor)

เปคตินเป็นส่วนสำคัญของเซลล์ผลไม้ ทำให้เซลล์แข็งแรง เปคตินเมื่อกระจายตัวในน้ำเกิดเป็นคอลลอยด์ (colloid) เปคตินพบมากในเปลือก ผนังเซลล์ และส่วนถุงบรรจุน้ำผลไม้ (juice sac) (Neubeck, 1977) นอกจากนี้เปคตินยังเป็นส่วนประกอบของสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่น (cloud) ในน้ำส้ม ซึ่งสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นประกอบด้วยเปคติน โปรตีน และไขมัน (Baker, 1972)

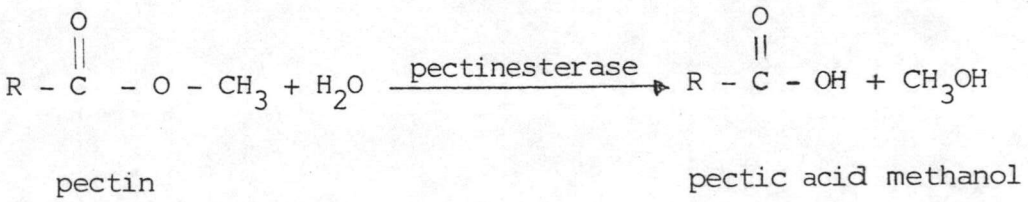
เปคตินเป็นกลุ่มของสารประกอบน้ำตาลหลายโมเลกุลต่อเป็นสายยาว (polysaccharide chain) โดยกลุ่มคาร์บอกซี (carboxy group) ถูกเอสเทอริไฟด์ (esterified) ด้วยกลุ่มเมทิล (methyl group) (รูปที่ 2) โดยในธรรมชาติพบเปคตินมีกลุ่มเมทิลร้อยละ 9-11 (William, 1977)



รูปที่ 2 โครงสร้างของเปคติน (Ellis, 1977)

ลักษณะของน้ำส้มขึ้นกับส่วนประกอบซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่น การนำกลุ่มเมทิล ($COOCH_3$) ออกจากสารเปคติน (demethoxylation) ทำให้สูญเสียสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่น โดยเฉพาะที่พีเอช 3.5 (Mizrahi and Bark, 1970)

กระบวนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นอาจทำให้น้ำส้มสูญเสียความขุ่น (loss of cloud) และเกิดเป็นเจล (gelatin) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะต่างจากน้ำส้มธรรมชาติ เมื่อนำน้ำส้มเข้มข้นมาเติมน้ำ น้ำส้มที่ได้จะแยกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ไม่ละลายจะตกตะกอนลงมา ส่วนบนมีลักษณะใส และการจับกันเป็นเจลทำให้น้ำส้มเข้มข้นรวมกันเป็นก้อนไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ภาวะทั้งสองเกิดจากการแยกสารละลายด้วยน้ำของกลุ่มเมทิลในสายเปคติน โดยมีเอนไซม์เปคตินเอสเทอเรสเป็นตัวเร่ง เกิดเป็นกรดเปคติกและเมทานอล (methanol) (รูปที่ 3) ซึ่งสายเปคตินที่มีกลุ่มเมทิลต่ำ (low methoxy group) จะทำปฏิกิริยากับโพลีวาเลนท์แคตไอออนให้สารเปคเตต (pectate) ที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้น้ำส้มแยกชั้น (Dietz, 1953) การทำงานของเอนไซม์เปคตินเอสเทอเรสยับยั้งได้โดยใช้ความร้อน อุณหภูมิประมาณ 82 องศาเซลเซียส แต่การใช้ความร้อนอาจมีผลให้กลิ่นรสของน้ำส้มเปลี่ยนแปลง (Pratt, 1953)

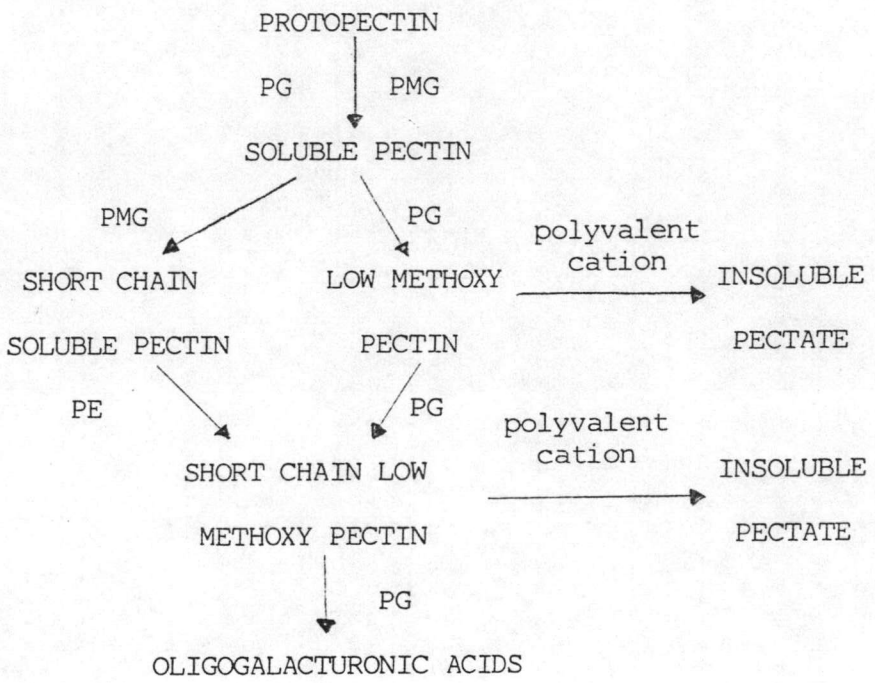


รูปที่ 3 การแยกสลายด้วยน้ำของเปคตินโดยเอนไซม์เปคตินเอสเทอเรส

การนำเอนไซม์มาใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลได้ (yield) ในการสกัดน้ำผลไม้ และปรับปรุงคุณภาพของน้ำผลไม้ให้มีความคงตัว มีความหนืดลดลง และช่วยลดความขุ่นของน้ำผลไม้หลายชนิด (Bruemmer, 1977)

ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ที่มีความเข้มข้นสูง จำเป็นต้องมีการสลายเปคติน (depectinization) ในน้ำผลไม้บางส่วน การสลายเปคตินประมาณร้อยละ 5-10 ช่วยทำให้สารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นคงตัว (cloud stability) (Baumann, 1981) การสลายเปคติน

นิยมใช้เอนไซม์เปคติเนสที่มีส่วนประกอบของโพลีกาแล็กทูโรเนส (polygalacturonase-PG) สูง มีเมทิลเอสเทอเรส (methylesterase) และโพลีเมทิลกาแล็กทูโรเนส (polymethylgalacturonase-PMG) ต่ำ (Neuback, 1972; Crandall, 1986) เมื่อโพลีกาแล็กทูโรเนสสลายเปคตินได้กรดโอลิโกกาแล็กทูโรนิก (oligogalacturonic acid) ที่ละลายน้ำได้ ดังรูปที่ 4 ทำให้น้ำส้มไม่แยกชั้น (Baker, 1972)



PG = polygalacturonase

PMG = polymethylgalacturonase

PE = pectinesterase

รูปที่ 4 แผนภูมิการสลายเปคตินโดยเอนไซม์โพลีกาแล็กทูโรเนส โพลีเมทิลกาแล็กทูโรเนส และเปคตินเอสเทอเรส

มีการใช้เอนไซม์เปคติเนสในทางการค้าเป็นเวลาหลายปีในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเยอรมัน สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) ได้จัดเอนไซม์เปคติเนสที่เตรียมจาก Aspergillus niger อยู่ในกลุ่มสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (generally recognized as safe ; GRAS)

เอนไซม์เปคติเนสช่วยทำให้สารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นคงตัว และช่วยลดความหนืดของผลิตภัณฑ์ (Baker, 1972) การลดความหนืดช่วยให้การระเหยเพื่อให้เข้มข้นทำได้ง่ายขึ้น จากการศึกษาของ Crandall (1982) พบว่าน้ำส้มที่มีความเข้มข้น 72 องศาบริกซ์ เตรียมโดยใช้เอนไซม์เปคติเนส 70 ส่วนในล้านส่วน แล้วเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 เดือน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพดีไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

คุณภาพของน้ำส้มเข้มข้นที่เตรียมโดยใช้เอนไซม์เปคติเนสขึ้นอยู่กับปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ เวลาและอุณหภูมิที่เก็บผลิตภัณฑ์ซึ่งการศึกษาของ Crandall (1986) เปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์เปคติเนส 70 ส่วนในล้านส่วน และ 350 ส่วนในล้านส่วนเพื่อเตรียมน้ำส้มเข้มข้น 72 องศาบริกซ์ ทำการเก็บที่อุณหภูมิ -7,1,7 และ 13 องศาเซลเซียสตามลำดับเป็นเวลา 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าการใช้เอนไซม์ 70 ส่วนในล้านส่วนช่วยลดความหนืดของน้ำส้มเข้มข้นดีกว่าการใช้เอนไซม์ 350 ส่วนในล้านส่วน สารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นมีความคงตัว และมีปริมาณวิตามินซีโดยเฉลี่ยจากทุกอุณหภูมิ 34.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งปริมาณวิตามินซีมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้เอนไซม์ โดยกลุ่มควบคุมมีปริมาณวิตามินซีโดยเฉลี่ย 32.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้รสชาติของน้ำส้มที่เตรียมโดยใช้เอนไซม์ 70 ส่วนในล้านส่วนไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ต่อมา Crandall (1987) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์เปคติเนส 1200 ส่วนในล้านส่วนกับการใช้เครื่องมือ Brown Model 2507 Finisher ซึ่งเป็นเครื่องมือลดความหนืดของน้ำผลไม้ต่อการลดความหนืดของน้ำส้ม และคุณภาพของน้ำส้มเข้มข้นที่เตรียมได้เมื่อเก็บเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ -7 และ 4 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มเข้มข้นที่เตรียมโดยใช้เอนไซม์มีความคงตัวของสารแขวนลอยที่ให้ความขุ่นดีกว่า ความหนืดลดลงมากกว่าการใช้เครื่องและปริมาณวิตามินซีเหลือมากกว่าร้อยละ 94 น้ำส้มเข้มข้นที่ได้รสชาติดี อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์เปคติเนสควรคำนึงถึงวิธีการผลิต เวลาในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ ค่าพีเอช รวมถึงปริมาณเอนไซม์ที่อยู่ในน้ำผลไม้

น้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้อาจมีรสขมเนื่องจากสารลิโมนอยด์ (limonoid) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 26 อะตอมเกิดจากการออกซิไดซ์ไตรเทอพีนส์ (oxidised triterpenes) ลิโมนอยด์ที่พบมากในวงศ์ Rutaceae คือ ลิโมนิน (limonin) (Goodwin, 1970) ซึ่งเป็นอนุพันธ์จากการออกซิไดซ์ไตรเทอพีนอยด์ (triterpenoid) ประกอบด้วยวงฟูแรน (furan ring)

1 วง กลุ่มคีโตน (ketone) 1 กลุ่มอีปอกไซด์ (epoxide) 1 กลุ่มและวงแล็กโตน (lactone ring) 2 วง (Ting, 1971) สารลิโมนินสังเคราะห์ขึ้นในใบแล้วย้ายมาที่ผลซึ่งพบมากในส่วนของน้ำคั้น น้ำคั้นจากส้มมีรสขมหลังจากตั้งทิ้งไว้หลายชั่วโมง หรือเมื่อได้รับความร้อน สันนิษฐานว่ารสขมเกิดจากการแพร่อย่างช้า ๆ ของลิโมนอยด์จากเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายไปยังน้ำคั้น หรืออาจมีการเปลี่ยนรูปจากสารที่ไม่มีรสขมและละลายน้ำได้คือลิโมโนเอด เอ-ริงแล็กโตน (limonoate A-ring lactone) เป็นลิโมนิน โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Bruemmer, 1977) จากการทดลองส้มต้นฤดู (early season orange) พบว่าเมื่อเนื้อเยื่อของผลส้มเกิดการฉีกขาด สารลิโมโนเอด เอ-ริงแล็กโตนในสภาพที่เป็นกรดจะเปลี่ยนรูปอย่างช้า ๆ เป็นสารลิโมนินซึ่งมีรสขม ได้มีการใช้เอนไซม์ลิโมโนเอด ดีไฮโดรจีเนส (limonoate dehydrogenase) ทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์กลุ่มไฮดรอกซีของคาร์บอน -17 ในลิโมโนเอด-เอริงแล็กโตนเป็นสารประกอบซึ่งไม่มีน้ำ (17-dehydro compound) ซึ่งไม่เกิดแล็กโตไนซ์ (lactonize) เป็นสารแล็กโตนที่มีรสขม (Hasegawa, 1972) สำหรับสารเอนไซม์ลิโมโนเอดดีไฮโดรจีเนส ผลิตได้จาก Pseudomonas ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีลิโมโนเอดเป็นแหล่งของคาร์บอน (Hasegawa, 1972) แต่การนำเอนไซม์นี้มาใช้ในอุตสาหกรรมยังอยู่ระหว่างการศึกษา

<u>การผลิตน้ำส้มผง</u>

การผลิตน้ำส้มผงมีกระบวนการผลิตหลายวิธี เช่น การอบแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) การทำให้แห้งโดยการใช้ลูกกลิ้ง (drum drying) และอบแห้งแบบระเหิดด้วยความเย็นจุดเยือกแข็ง (freeze drying) (Agriculture Research, 1962)

การทำให้แห้งโดยการใช้ลูกกลิ้งไม่เหมาะในการเตรียมน้ำส้มผง เนื่องจากผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำ ผงที่ได้ละลายน้ำยากและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงมาก สำหรับการอบแห้งแบบระเหิดด้วยความเย็นจุดเยือกแข็งเสียวิตามินซีน้อย (Agriculture research, 1962) ผงที่ได้ละลายน้ำง่าย แต่เมื่อเก็บไว้จะจับตัวเป็นก้อนแข็งและกลิ่นรสเปลี่ยนแปลง วิธีที่นิยมในปัจจุบันจึงใช้การอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยใช้สารช่วยทำให้แห้ง (drying aid) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ละลายน้ำได้ดี ไม่จับเป็นก้อนแข็งเมื่อเก็บไว้ สารช่วยทำให้แห้งมีหลายชนิด เช่น แป้ง (starch) เจลาติน (gelatin) และมอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) ปัจจุบันนิยมใช้

มอลโตเด็กซ์ตรินเนื่องจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ดี

กระบวนการผลิตน้ำส้มผงอาจมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนแข็ง ปริมาณที่ใช้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณกรดในผลไม้ ปริมาณที่เหมาะสม คือ แคลเซียมคาร์บอเนตต่อ กรดในน้ำผลไม้เป็น 1 ต่อ 8 และอาจเติมวิตามินซีเพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นสีน้ำตาลเมื่อเก็บไว้ (Holdworth, 1979) และเพิ่มคุณค่าของน้ำส้มผง เนื่องจากการใช้ความร้อนในการผลิตทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง นอกจากนี้การใช้ความร้อนทำให้สารหอมระเหยในน้ำส้มสูญเสียไป การเติมกลิ่นส้มในรูปของน้ำมันช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด