บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ลำไย

ลำไย (longan) เป็นไม้ผลเขตกึ่งร้อน (subtropical fruit) จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Euphoria longana* Lamk. และ *Dimorcarpus longan* Lour. ลำไยเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย สามารถเก็บเกี่ยวได้นาน 10 –20 ปี โดยแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ในเขตภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย น่าน แพร่ ลำปาง และตาก เป็นต้น ทางภาคอื่นๆก็มีการปลูกบ้างแต่ไม่มากนัก (ชะลอ, 2539) ลำไยจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่อปลูกได้ประมาณ 3 ปี ต้นที่อายุ 4-5 ปี ขนาดทรงพุ่มกว้างประมาณ 3-3.5 เมตร จะให้ผลผลิต 20-30 กิโลกรัมต่อต้น ส่วนต้นที่มีอายุมากที่มีทรงพุ่มกว้างมากกว่า 10 เมตรอาจให้ผลผลิต 400-600 กิโลกรัมต่อต้น อย่างไรก็ตามผลผลิตของลำไยจะมากหรือน้อยแตกต่างกันตามพันธุ์ อายุต้นและการปฏิบัติดูแลรักษา (พาวิน, 2543)

ลำไยปีนไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เพราะผลลำไยเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งนอกจากปริมาณผลผลิตจะพอเพียงต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท และมีแนวโน้มว่าปริมาณและมูลค่าการส่งออกยังคงเพิ่มขึ้นทุกปี(งานศูนย์ข้อมูล ฝ่ายแผนงานพัฒนาการเกษตรสำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงใหม่, 2547: ออนไลน์) ในปี 2546 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกลำไยประมาณ 640,000 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 320,000 ตัน และส่งออกได้ประมาณ 50% ของผลผลิตทั้งหมด (นิธิยา, 2547 ; Jiang *et al.,* 2002) ซึ่งผลผลิตจะออกสู่ตลาดมากประมาณกลางเดือนกรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคม สามารถจัดแบ่งพันธุ์ของลำไยได้เป็น 3 กลุ่มตามระยะเวลาเก็บเกี่ยว ดังนี้

1. พันธุ์เบา ระยะเวลาออกดอกถึงเก็บผลประมาณ 6 เดือน เก็บเกี่ยวเดือนกรกฎาคม ถึงสิงหาคม เป็นพันธุ์ที่นิยมของผู้บริโภคในต่างประเทศมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์ดอ โดยมีผลผลิตสูงถึง78% สามารถให้ผลผลิตต่อเนื่องทุกปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. พันธุ์หนักปานกลาง มีระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกถึงเก็บผลประมาณ 7 เดือน เก็บเกี่ยวเดือนสิงหาคม ได้แก่ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์แห้ว มีผลขนาดใหญ่ เนื้อกรอบ และรสหวานจัด โดยมีสัดส่วนผลผลิตคิดเป็น 6 และ 5%ตามลำดับ

3. พันธุ์หนัก มีระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกถึงเก็บผลประมาณ 8.5 เดือน เก็บเกี่ยวเดือนสิงหาคม ถึง กันยายน ได้แก่ พันธุ์เบี้ยวเขียว โดยมีสัดส่วนผลผลิตคิดเป็น5 % (สถาบันอาหาร, 2542)

นับตั้งแต่ปี 2539 เป็นต้นมา ผลผลิตลำไยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 2 เท่า เนื่องจากมีการขยายพื้นที่ปลูก ซึ่งผลผลิตประมาณ 50% อยู่ในรูปของลำไยสด 35%ใช้เพื่อการผลิตลำไยอบแห้งทั้งเปลือก และ15%ส่งเข้าสู่โรงงานเพื่อผลิตลำไยกระป๋องและลำไยแช่แข็ง (สถาบันอาหาร, 2542) โดยมีตลาดที่รองรับผลผลิตลำไย ดังนี้

1. ตลาดบริโภคผลสดภายในประเทศ

ในอดีตปริมาณการบริโภคผลลำไยสดภายในประเทศเคยเป็นตลาดที่มีขนาดใหญ่ และรองรับผลผลิตในสัดส่วนสูงที่สุด แต่ในระยะหลังการส่งออกผลลำไยสดและการแปรรูปผลลำไยมีการขยายตัว ทำให้ตลาดภายในประเทศมีสัดส่วนของการรองรับผลลำไยสดลดลง ปัจจุบันผลผลิตลำไยที่บริโภคภายในประเทศ 20% ของผลผลิตทั้งหมด

2. ตลาดส่งออกลำไยสด

ตลาดส่งออกผลลำไยสดรองรับผลผลิตได้ประมาณ 50%ของผลผลิตทั้งหมด โดยมีตลาดส่งออกดังนี้ตลาดส่งออกดั้งเดิม (traditional market) คือ ประเทศฮ่องกง มาเลเซีย และสิงคโปร์ เป็นตลาดที่มีมาแต่ดั้งเดิม รองรับการส่งออกได้ประมาณ 80%ของปริมาณส่งออกทั้งหมด ในสัดส่วนนี้ 65%เป็นการส่งออกไปฮ่องกง (พาวิน, 2543)

ฮ่องกงเป็นตลาดรองรับสำคัญที่สุดของไทย คิดเป็นปริมาณส่งออกประมาณปีละ 7,000 – 13,000 ตัน หรือประมาณ 65%ของปริมาณส่งออกลำไยสดของประเทศไทย ลำไยที่ส่งไปฮ่องกง 60% และฮ่องกงส่งต่อไปยังมาเก๊าและจีน ซึ่งประชากรมีรายได้สูง ทำให้กำลังซื้อสูงด้วย การค้าลำไยระหว่างผู้ค้าในไทยกับฮ่องกง จะอยู่ในรูป consignment โดยผู้ค้าในไทยไม่สามารถต่อรองราคาได้ และผู้ค้าในฮ่องกงไม่รับภาระการขาดทุนการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายของผลลำไยสด ฮ่องกงอนุญาตให้มีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่เปลือกผลลำไยได้ไม่เกินกว่า 350 ส่วนต่อล้านส่วน การนำผลไม้เข้าฮ่องกง ไม่มีกฎเกณฑ์และข้อกำหนดที่เข้มงวดมากนัก เพราะฮ่องกงมีระบบการค้าเสรี(กรมการค้าภายใน, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนประเทศสิงคโปร์ เป็นทั้งตลาดรองรับผลลำไยสด และผลลำไยอบแห้งของไทย และยังเป็นแหล่งระบายผลลำไยไปยังประเทศใกล้เคียง เช่น บรูไน ซึ่งสิงคโปร์นำเข้าผลลำไยสดจากไทยปีละ 2,000 – 3,800 ตัน นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าผลลำไยอบแห้งจากไทย ปีละประมาณ 100 – 350 ตัน สิงคโปร์ไม่เรียกเก็บภาษีนำเข้าสินค้าผลลำไยทั้งสดและแปรรูป แต่เข้มงวดเรื่องสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง และออกกฎหมายเรื่อง Chemical preservation โดยอนุญาตให้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างบนเปลือกผลลำไยได้ 200 - 300 ส่วนต่อล้านส่วน สำหรับเนื้อลำไยจะมีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างไม่ได้ (กรมการค้าภายใน, 2539)

ประเทศมาเลเซีย เป็นตลาดผลลำไยสดที่สำคัญของไทย โดยนำเข้าจากไทย 98% ที่เหลือนำเข้าจากจีนและไต้หวัน นอกจากนั้นมาเลเซียยังมีการส่งออกต่อไปยังประเทศใกล้เคียง เช่น อินโดนีเซีย บรูไน และสิงคโปร์ ตามสถิติกรมศุลกากรของไทย ไทยส่งออกผลลำไยไปมาเลเซียประมาณปีละ 1,000 – 1,200 ตัน แต่ยังมีปริมาณการส่งออกจากไทยไปมาเลเซียอีกจำนวนไม่น้อยที่เป็นการค้าชายแดนระหว่างพ่อค้าไทยกับมาเลเซีย จึงไม่ปรากฏสถิติการส่งออกอย่างเป็นทางการ คาดว่าปริมาณที่ไทยส่งออกผลลำไยไปมาเลเซียจะไม่น้อยกว่าที่ส่งออกไปยังสิงคโปร์หรืออาจใกล้เคียงกับฮ่องกง มาเลเซียไม่อนุญาตให้มีการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในผลไม้สดและไม่ให้มีสารตกค้างบนเปลือกและเนื้อของผลไม้ เมื่อนำผลลำไยเข้าสู่มาเลเซียจะต้องผ่านการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข และกระทรวงเกษตรของมาเลเซียโดยวิธีสุ่มตัวอย่าง (กรมการค้าภายใน, 2539)

3. ตลาดแปรรูป

เนื่องจากผลลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นที่นิยมของคนไทย และคนต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรหันมาปลูกลำไยกันมากขึ้น ทำให้มีผลลำไยออกสู่ตลาดมากเกินกว่าที่จะบริโภคผลสดได้ทัน ทำให้ราคาผลลำไยถูกลง การแปรรูปผลลำไยให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะสามารถรักษาราคาผลผลิตสดและช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ตลาดแปรรูปลำไยสามารถรองรับผลผลิตลำไยได้ประมาณ 30 %ของผลผลิตทั้งหมด (พาวิน, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาถึงวิถีการตลาดของผลลำไย สรุปได้ว่า พันธุ์ลำไยที่นิยมบริโภคกันมากในปัจจุบันคือพันธุ์ดอ เป็นลำไยพันธุ์เบาคือ ออกดอกและเก็บผลผลิตได้ก่อนพันธุ์อื่น การเจริญเติบโตเร็วให้ผลสม่ำเสมอ ออกผลทุกปีและให้ผลผลิตดีพอสมควร ช่วงระยะเวลาการออกดอกจะอยู่ในช่วงปลายเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคมและช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการปลูกของเกษตรกรมากที่สุด เพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อนพันธุ์อื่นๆ ทำให้ได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยม สามารถจำหน่ายได้ทั้งผลสดและแปรรูปเป็น

ลำไยกระป๋องและลำไยอบแห้ง เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์และมีน้ำพอเพียง ทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง พันธุ์ดอ แบ่งตามสีของยอดอ่อนได้ 2 ชนิด คือ

1. ดอยอดแดง

ลำต้นแข็งแรงไม่ฉีกหักได้ง่าย เปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดง ใบอ่อนมีสีแดง ปัจจุบันดอยอดแดงไม่นิยมปลูก เนื่องจากออกดอกติดผลไม่ดี และเมื่อผลเริ่มสุกถ้าเก็บไม่ทันจะร่วงเสียหายมาก

2. ดอยอดเขียว

มีลักษณะต้นคล้ายดอยอดแดง ใบอ่อนเป็นสีเขียว ออกดอกติดผลง่าย แต่อาจไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ลำไยพันธุ์ดอยังแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้ 2 ชนิด คือ ดอก้านอ่อน เปลือกของผลจะบาง และดอก้านแข็ง เปลือกของผลจะหนา ผลขนาดค่อนข้างใหญ่ ขนาดผลเฉลี่ย กว้าง × หนา × ยาว เท่ากับ 2.7 × 2.4 × 2.5 เซนติเมตร ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวยกบ่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น ปริมาณน้ำตาล 20% เมล็ดขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย (งานศูนย์ข้อมูล ฝ่ายแผนงานพัฒนาการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงใหม่, 2547:ออนไลน์)

ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลลำไยพันธุ์ดอนับตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 21 สัปดาห์ โดยสังเกตจากผิวเปลือกด้านนอกเรียบ เปลือกด้านในมีลักษณะเส้นคล้ายร่างแห เมล็ดมีสีดำ เนื้อมีรสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 16 –22% (พาวิน, 2543) มีผลการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว ดังตารางที่ 2.1

2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลลำไย

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ปัญหาของผลลำไยภายหลังการเก็บเกี่ยว คือสีผิวเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วัน ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลต่อรสชาติ แต่ทำให้ผลลำไยมีราคาต่ำลง (Jiang *et al*., 2002) เช่น การเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวเปลือกมีสีคล้ำลงทั้งด้านในและด้านนอกเนื่องจากผลลำไยแสดงอาการสะท้านหนาว (ดนัย, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าผลลำไยพันธุ์ดอที่ได้รับความร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกทั้งด้านในและด้านนอกของผลลำไย ซึ่งผลลำไยมีผิวเปลือกด้านนอกคล้ำลง เนื่องจากค่า L,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า chroma และค่า hue angle (H°) ของเปลือกด้านนอกลดลง โดยมีค่า L เท่ากับ 46.21 และ 41.08 มีค่า chroma เท่ากับ 28.66 และ 27.80 และมีค่า H° เท่ากับ 72.83 และ 66.84 องศา ในวันเริ่มต้นและภายหลังการเก็บรักษานาน 12 วัน ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกด้านในของผลลำไยพบว่าค่า L และค่า H° มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า chroma มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่า L* เท่ากับ 75.27 และ 66.23 มีค่า chroma เท่ากับ 20.11 และ 24.43 และมีค่า H° เท่ากับ 85.42 และ 77.67 องศา ในวันเริ่มต้นและภายหลังการเก็บรักษานาน 12 วัน ตามลำดับ (ศิริโสภา, 2546) การที่เปลือกของผลลำไยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอาจเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำและ/หรือความเครียดเมื่อได้รับความร้อน การเสื่อมสภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาว และมีการเข้าทำลายโดยโรคและแมลง (Jiang *et al*., 2002)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลลำไยในระยะเก็บเกี่ยว

ส่วนประกอบ	ปีที่ศึกษา	
	ค.ศ.1983 (พ.ศ. 2526)	ค.ศ.1984 (พ.ศ. 2527)
เนื้อผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	19.80±0.20	16.50±0.70
เปลือกผล (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	35.70±0.60	35.60±0.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (%)	20.10±0.10	18.30±0.20
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	184.00±7.00	154.00±11.00
ซูโครส (มิลลิกรัม/กรัม)	72.00±15.00	29.00±3.00
กลูโคส (มิลลิกรัม/กรัม)	22.00±17.00	17.00±1.00
ฟรุกโตส (มิลลิกรัม/กรัม)	28.00±17.00	23.00±1.00
ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (มิลลิกรัม/กรัม)	2.30±0.10	2.10±0.10
ค่าพีเอช(ความเป็นกรด-ด่าง)	6.20±0.10	6.40±0.10
กรดซิตริก (มิลลิกรัม/กรัม)	0.13±0.01	0.12±0.10
กรดมาลิก (มิลลิกรัม/กรัม)	0.89±0.16	0.35±0.07
กรดซัคซินิก (มิลลิกรัม/กรัม)	1.85±0.19	1.15±0.11
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม/กรัม)	2.00±0.20	1.40±0.20
ปริมาณของฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	0.80±0.10	0.50±0.10

(ที่มา : Paull and Chan ,1987 อ้างโดย พาวิน , 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการสุกของผลลำไย และค่อยๆลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยว น้ำตาลที่พบมาก คือ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลูโคส ปริมาณน้ำตาลจะผันแปรผันไปตามกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เตส ระยะความแก่ และพันธุ์ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดลดลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาผลลำไยไว้ในห้องเย็น (Jiang *et al*., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของดนัยและนิธิยา (2535) ที่รายงานว่าการเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 1, 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช และปริมาณวิตามินซี ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีลดลง มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศา-เซลเซียสเพิ่มขึ้น และสูงกว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกและเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส และผลลำไยพันธุ์ดอที่ได้รับอุณภูมิสูง 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน พบว่าการใช้อุณหภูมิสูง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซี โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีลดลง มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของเปลือกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาเช่นกัน (ไพศอล, 2545) ผลลำไยพันธุ์ Shixia ที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นาน 15, 20 และ 30 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา-เซลเซียส นาน 60 วัน มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีในส่วนของเนื้อ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณวิตามินซีลดลง ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Han *et al*., 2001) นอกจากนั้นยังพบว่าการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ Chuliang และ Shixia ในสภาพการควบคุมบรรยากาศ ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้ค่าพีเอชต่ำลงในส่วนของเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณวิตามินซีของเนื้อลดลง โดยเฉพาะในผลลำไยพันธุ์ Shixia มีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษา (Tain *et al*., 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

ผลลำไยเป็นผลไม้ประเภทที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกพร้อมบริโภคได้ (non-climacteric) มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ โดยมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 8-12 และ 15-20 มิลลิกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอัตราการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน ต่ำกว่า 0.1 ไมโครลิตรต่อ

กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการหายใจของผลลำไยพันธุ์ Shixia จะลดลงในช่วงวันแรกภายหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มสูงขึ้น การที่มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ การเก็บรักษาผลลำไยที่อุณหภูมิ 4 องศา-เซลเซียส ทำให้อัตราการหายใจลดลงอย่างช้าๆ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ผลลำไยปล่อยก๊าซเอทิลีนออกมาน้อยกว่า 2.3 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้ามีเชื้อราเข้าทำลายผลลำไยจะปล่อยก๊าซเอทิลีนออกมามากถึง 28.3 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Kader, 2002)

สาเหตุที่ทำให้ผลลำไยมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเกิดการเน่าเสียอันเนื่องมาจากการเจริญของเชื้อราบนผิว (อนวัช, 2541; พาวิน, 2543) สาเหตุที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของผลิตผลสามารถจำแนกได้ 2 สาเหตุ คือ (ชิงชิง, 2520)

1. การเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากลำไยผลมีน้ำตาลสูง เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้อย่างรวดเร็ว จากการแยกเชื้อในผลลำไยเน่าพบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ และแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อทำการแยกเชื้อจากผลที่เน่าเป็นเวลานานขึ้นสามารถแยกเชื้อราได้ และเชื้อที่พบมากจะอยู่ในจีนัส *Phlyctaena , Botryodiplodia* และ *Dengrophoma*

2. อุณหภูมิและระยะเวลาของการเก็บรักษา อายุการเก็บรักษาผลลำไยจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ซึ่งการเก็บรักษาผลลำไยให้มีอายุยาวนานควรเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าเก็บรักษาผลลำไยไว้ในสภาพอุณหภูมิห้อง พบว่าเกิดการเน่าเสียภายใน 4 วัน ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 11.5 และ 13.5 องศาเซลเซียส จะลดความเสียหายจากการเน่าของผลลำไยลง 20% หลังเก็บรักษาไว้ 1 สัปดาห์ บาดแผลและความบอบช้ำในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลลำไยสูงขึ้น

2.3 สารซัลไฟต์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้นำมาใช้ในวงการอาหารเป็นเวลาหลายศตวรรษแล้ว ชาวอียิปต์และโรมันโบราณรู้จักการนำควันที่ได้จากการเผาผงกำมะถันมาใช้ฆ่าเชื้อในการทำไวน์ ต่อมาสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารซัลไฟต์ถูกนำมาใช้ในอาหารชนิดต่างๆมากขึ้น ในสหรัฐอเมริกาได้นำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้อบแห้ง ช่วงศตวรรษที่ 19 เริ่มนำมาใช้กันแพร่หลายยิ่งขึ้น มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ปลาและเนื้อสัตว์ ต่อมาจึงมีกฎหมายจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) เกิดขึ้นเพื่อจำกัดการใช้เป็นครั้งแรก (ไพบูลย์, 2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดและคุณสมบัติของสารซัลไฟต์

สารซัลไฟต์ที่นำมาใช้ในอาหารตามเอกสาร Food Chemicals Codex มีหลายชนิดได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โพแทสเซียมซัลไฟต์ (K_2SO_3) โซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) โซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($K_2S_2O_5$) หรือในรูปของก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ (SO_2) (ไพบูลย์, 2532)

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่เกิดเปลวไฟ ไม่มีสี กลิ่นฉุนทำให้อึดอัด หายใจไม่ออก เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการถนอมอาหารได้จากการเผากำมะถัน หรือจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์สภาพเหลว สามารถละลายน้ำได้เกลือซัลไฟต์เมื่อละลายน้ำจะให้กรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ไบซัลไฟต์ไอออน (HSO_3^-) และซัลไฟต์ไอออน (SO_3^-) (ไพบูลย์, 2532)

ปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร

การเปลี่ยนแปลงของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหารเมื่อสภาพ pH เปลี่ยนแปลง

$$H_2O + SO_2 \rightleftharpoons H_2SO_3 \rightleftharpoons H^+ + HSO_3^- \rightleftharpoons 2H^+ + SO_3^=$$

ลดลง $\longleftarrow$ pH $\longrightarrow$ เพิ่มขึ้น

2.4 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการควบคุมการใช้กับผลลำไยสด

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีน้ำหนักโมเลกุล 64.06 ที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันปกติ เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุนแสบ ได้จากการเผากำมะถันในอากาศ (ไพบูลย์, 2532) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเผากำมะถันในเตาเผาที่มีประสิทธิภาพจะมีค่าประมาณ19-20% และมีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 0.14% นอกจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะได้จากการเผากำมะถันแล้วยังอาจได้จากสารประกอบซัลไฟต์ในรูปของเกลือซัลไฟต์ หรือไบซัลไฟต์ หรือเมตาไบซัลไฟต์ (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2535) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือสารประกอบซัลไฟต์สามารถละลายน้ำได้ เมื่อละลายในน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซัลฟูรัสที่ไม่แตกตัว ไบซัลไฟต์ไอออน และซัลไฟต์ไอออน ซึ่งเป็นรูปที่มีผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (ไพบูลย์, 2532) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปที่เป็นก๊าซเท่านั้นที่พบว่าเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีฤทธิ์เป็นกรดสามารถกัดกร่อน ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ในบรรยากาศเพียง 20 ส่วนต่อล้านส่วน ทำให้เกิดการระคายเคืองตา และถ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในบรรยากาศมีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 200 ส่วนต่อล้านส่วน และสูดดมเข้าไปเกิน 1 นาที ก็มีผลทำให้เยื่อตา เยื่อบุจมูก ปอด เป็นอันตรายได้ สำหรับระดับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ร่างกายมนุษย์สามารถดมได้ทุกวันโดยไม่เกิดอันตรายใดๆ คือ 5 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารถ้าอยู่ในระดับที่ควบคุมไม่สูงเกินไปก็จะไม่ก่อให้เกิดอันตราย ทั้งนี้เพราะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟตแล้วขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ แต่ถ้าร่างกายได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลือจากการถูกออกซิไดซ์จะไปลดประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและไขมันในร่างกาย องค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่า ADI (Acceptable Daily Intake) ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ที่ระดับ 0.7 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2535)

2.5 การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ลำไยเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นมาก และยังมีการเสื่อมคุณภาพ หรือเน่าเสียได้ง่าย จากการที่ผลผลิตลำไยจะมีมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนจึงมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญได้ดีของเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อราต่างๆ ดังนั้นจึงมีการใช้สารถนอมอาหารเพื่อช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อรา วิธีปฏิบัติที่นิยมกันอยู่สำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกผลลำไยสดในปัจจุบัน คือ การรมผลลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีสมบัติช่วยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราช่วยกำจัดแมลง และยังมีคุณสมบัติในการฟอกสี ทำให้เปลือกของผลลำไยมีสีอ่อนลงกว่าลำไยที่ไม่ได้รมควัน ทำให้สามารถยืดอายุในระหว่างการขนส่ง และวางจำหน่ายได้ยาวนานขึ้น (สถาบันอาหาร, 2542)

ผลลำไยที่รมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีอายุการเก็บรักษาได้นานเกิน 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 0 – 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 –95% (ซิงซิง, 2541; พาวิน, 2543)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้เป็นสารยับยั้งการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ และเป็นสารช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลลำไยสดนั้น อาจได้มาจาก

2.5.1 การเผาผงกำมะถัน

ในปัจจุบันเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายด้วยการนำผงกำมะถันมาเผาในภาชนะที่แบนราบภายในห้องปิดสนิดวิธีรมผลลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.1 บรรจุผลลำไยลงในตะกร้าแล้วเรียงตะกร้าที่บรรจุผลลำไยในห้องรมควัน โดยในการจัดเรียงตะกร้าจะต้องซ้อนกันพอเหมาะ และมีช่องว่างเพื่อให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แทรกเข้าไปได้อย่างทั่วถึง

1.2 นำผงกำมะถันซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะทนความร้อน ใส่ในห้องรมควันเพื่อเผากำมะถัน ในช่วงนี้จะต้องปิดตู้รมควันให้สนิทเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ ทั้งนี้ปริมาณกำมะถันที่จะใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง และจำนวนตะกร้าที่คำนวณเป็นน้ำหนักลำไยสด

1.3 ภายหลังเครื่องทำความร้อนทำงานจนผงกำมะถันหลอมละลายหมดและลุกไหม้แล้วจึงปิดเครื่องเป่าเพื่อให้การกระจายของก๊าซเป็นไปอย่างทั่วถึง ทิ้งไว้นาน 20-40 นาที ทั้งนี้กระบวนการทั้งหมดนี้จะใช้เวลานาน 50 –90 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดห้อง

1.4 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในห้องจะถูกกำจัดโดยใช้พัดลมดูดออกไปเพื่อผ่านก๊าซลงน้ำ

1.5 นำผลลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้วไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 – 6 องศาเซลเซียส (พาวิน , 2543)

2.5.2 การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหลว

เป็นวิธีการรมกำมะถันอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถควบคุมได้ง่ายด้วยการวัดปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากถังได้โดยตรงจากเครื่องวัด flow meter และหลังจากการรมในแต่ละครั้งต้องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างอยู่ออกให้หมด (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2535)

2.5.3 การใช้สารประกอบเกลือซัลไฟต์

อาจใช้ในรูปของสารละลาย หรือใช้ในรูปของผงบรรจุซองก็ได้ โดยเกลือซัลไฟต์เมื่อได้รับความชื้นหรือน้ำ จะแตกตัวให้โมเลกุลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมา ประสิทธิภาพการแตกตัวย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือซัลไฟต์ที่ใช้ ปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลาย และสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่สารนี้ละลายอยู่ (กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 แผนภูมิขั้นตอนการรมควันผลลำไยและปัจจัยที่ต้องควบคุม (สถาบันอาหาร, 2542)

ขั้นตอนการผลิต	ปัจจัยที่ต้องควบคุม
การดูแลรักษา	การคัดเลือกพันธุ์ การออกดอกและติดผล การงดใช้สารเคมีก่อนเก็บเกี่ยว
↓	
การเก็บเกี่ยว	ดัชนีการเก็บเกี่ยว วิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม
↓	
การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยว	การรวบรวมผลผลิตเข้าที่ร่ม ลดอุณหภูมิ ตัดแต่งกิ่งก้านและใบ การทำความสะอาด การบำรุงต้นลำไยหลังเก็บเกี่ยว
↓	
การคัดขนาด	คัดขนาดและคุณภาพ จัดแยกเกรด
↓	
การบรรจุและการชั่งน้ำหนัก	รูปแบบและคุณภาพของภาชนะบรรจุ วิธีการจัดเรียงในภาชนะบรรจุ การชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่กำหนด
↓	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การตรวจรับและการปิดฉลาก — สภาพของวัตถุดิบ การถูกน้ำหรือเปียกฝน คุณภาพและน้ำหนัก รายละเอียดของฉลาก

↓

การลำเรียงเข้าห้องรมควัน — ขนาดของห้อง วัสดุก่อสร้าง จำนวนชั้น รูปแบบการจัดเรียง

↓

การรมก๊าซ SO_2 — การทดสอบห้องก่อนใช้งาน (การกระจายก๊าซ และความสม่ำเสมอ) ปริมาณกำมะถันและเวลาที่ใช้ ประสิทธิภาพการเผาไหม้กำมะถัน

↓

การบำบัดก๊าซ SO_2 — การทดสอบ ระบบบำบัด การตรวจสอบคุณภาพของอากาศที่ระบาย

↓

การเป่าลมระบายก๊าซตกค้าง — การตรวจสอบคุณภาพหลังการรมควัน การสุ่มชักตัวอย่าง การตรวจสอบปริมาณสาร SO_2 ทั้งผลและในเนื้อ

↓

การลดอุณหภูมิ (Precooling) — อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเย็น เวลาที่ใช้ อุณหภูมิและคุณภาพของผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 ห้องรมควันผลลำไยสดมาตรฐาน

ห้องรมควันควรมีสถานที่ตั้งเหมาะสม การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างต้องมีความแข็งแรง และทนต่อการกัดกร่อนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พื้นห้องควรเป็นพื้นคอนกรีตฉาบเรียบ มีความแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักของชั้นวางลำไยได้ ทำความสะอาดได้ง่าย ประตูควรเป็นประตูสแตนเลส และมีฉนวนยางป้องกันการรั่วไหลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ควรมีดวงไฟติดไว้กลางห้อง และมีช่องกระจกเพื่อสามารถสังเกตความเป็นไปในห้องรมควันได้ มีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรเพื่อความปลอดภัย และป้องกันอัคคีภัย (สถาบันอาหาร, 2542)

ขนาดของห้องรมควัน

ขนาดของห้องรมควันขึ้นอยู่กับความต้องการในการผลิตของผู้ประกอบการแต่ละราย มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 200-300 ตะกร้า (บรรจุตะกร้าละ 11-12 กิโลกรัม) ในบางโรงงานอาจจะมีการแบ่งห้องออกเป็นหลายๆห้องเพื่อสะดวกในการนำผลลำไยเข้าไปรมควัน เพราะห้องขนาดใหญ่มากจะทำให้เสียเวลาในการรอคอยบรรจุตะกร้าผลลำไยให้เต็มห้อง นอกจากนี้การที่มีหลายห้องสามารถลดความเสี่ยงในกรณีที่อุปกรณ์ในการรมควันในห้องหนึ่งห้องใดเกิดชำรุดใช้การไม่ได้ โดยทั่วไปคือการกำหนดสัดส่วนของขนาดห้อง โดยปริมาตรของห้องหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อน้ำหนักของผลลำไยที่จะบรรจุหน่วยเป็นตัน ที่ได้รับการแนะนำควรมีสัดส่วนระหว่าง 10:1 ถึง 15:1 (สถาบันอาหาร, 2542)

ความสูงของเพดานจากพื้นห้องไม่ควรสูงเกินไป ความสูงที่แนะนำควรสูงเพียง 2.40 ถึง 2.50 เมตร เพราะการที่เพดานห้องสูงเกินไปจะทำให้มีช่องว่างเหนือชั้นลำไยมากเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะไปผสมกับปริมาตรของอากาศในพื้นที่ว่าง นอกจากนี้การกำหนดความกว้างยาวของห้อง และการวางตำแหน่งของประตู จะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการจัดเรียงของชั้นวางตะกร้าลำไย ตลอดจนการขนย้ายชั้นวางตะกร้าลำไยเข้าและออก ชนิดและขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนย้ายชั้นวางตะกร้าลำไย (สถาบันอาหาร, 2542)

ขนาดของประตูควรจะกว้างอย่างน้อย 2 เมตร อาจจะเป็นชนิดบานเดียว หรือชนิดสองบานปิดเข้าหากัน ควรใช้วัสดุที่ป้องกันการกัดกร่อนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เช่น สแตนเลส หรือไม้อัดบุโฟไมก้า สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอันมาก คือการป้องกันรอยรั่วตามขอบประตู และตามแนวต่อต่างๆของห้อง หรือโดยสรุปคือ ห้องรมควันจะต้องไม่มีการรั่วไหลของก๊าซออกไปภายนอก ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อดวงตาและระบบหายใจได้ วิธีการป้องกันการรั่วไหลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แนะนำ คือควรใส่ยางขอบประตู และใช้กาวซิลิโคนอุดตามรอยรั่วต่างๆ (สถาบันอาหาร, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การจัดเรียงตะกร้าผลลำไยและชั้นวางตะกร้าลำไย

จุดประสงค์ในการจัดทำชั้นวางตะกร้าผลลำไยเพื่อความสะดวกต่อการขนย้าย และทำให้รูปแบบการจัดเรียงตะกร้ามีมาตรฐานเหมือนกันทุกครั้ง โดยทั่วไปสามารถจัดเรียงได้ 8 ชั้น ชั้นละ 6 ตะกร้า รวมเป็นทั้งหมด 48 ตะกร้า โครงสร้างทำจากเหล็กกล่อง (5.0x2.5 เซนติเมตร) และเหล็กฉาก (2.50 เซนติเมตร) ที่มีความแข็งแรง และมีระยะห่างระหว่างชั้น 20 เซนติเมตร ซึ่งพอเพียงสำหรับการกระจายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ทั่วถึง (ชั้นวางอาจติดลูกล้อ เพื่อความสะดวกในการเข็นเข้าออก แต่ในกรณีที่ใช้รถยก (fork lift) ควรเปลี่ยนเหล็กฉากชั้นล่างสุดเป็นขนาด 4 เซนติเมตร) การจัดเรียงชั้นวางตะกร้าลำไยในห้องรมควัน จะต้องให้การกระจายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นไปโดยสะดวก สามารถเข้าถึงได้ทุกจุด ดังนั้นการจัดเรียงวางชั้นตะกร้าผลลำไยจะต้องไม่ชิดติดผนังห้อง เพราะจะทำให้การหมุนเวียนของก๊าซไม่สะดวกทำให้เกิดมุมอับ นอกจากนี้การจัดเรียงชั้นวางจะต้องสอดคล้องกับการวางตำแหน่งของพัดลมและท่อดูดก๊าซ เพื่อให้การหมุนเวียนก๊าซเป็นไปอย่างทั่วถึง และมีความเข้มข้นของก๊าซเท่ากัน หรือใกล้เคียงกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลลำไย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง ความสะดวกรวดเร็วในการขนย้ายชั้นวางตะกร้าผลลำไยเข้าและออกจากห้องรมควัน (สถาบันอาหาร, 2542)

2.8 การออกแบบระบบเตาเผากำมะถัน

เตาเผากำมะถันที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบเตาไฟฟ้า (heater) และแบบเตาก๊าซหุงต้ม

แบบเตาไฟฟ้า

การเผากำมะถันโดยใช้เตาไฟฟ้าโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้กำหนดวิธีการเผากำมะถันไว้ดังนี้ (สถาบันอาหาร, 2542)

- ขนาดของเตาไฟฟ้า 600 – 800 วัตต์
- เผากำมะถันได้ไม่เกิน 1.5 กิโลกรัมต่อหนึ่งเตา
- ใช้กระแสลมกวน (0.5-1.0 เมตร/วินาที)
- ต้องใช้สารช่วยในการเผาไหม้กำมะถัน โซเดียมไนเทรต ($NaNO_3$) 2% (20 กรัม ต่อกำมะถัน 1 กิโลกรัม)

ปริมาณการใช้กำมะถันและขนาดของเตาไฟฟ้าสำหรับอบผลลำไยที่มีปริมาณและขนาดห้องต่างๆกัน แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตาม การเผากำมะถันแบบใช้เตาไฟฟ้ามีข้อเสียตรงที่ต้องวางเตาไฟฟ้าและพัดลมไว้ภายในห้องรมควันทำให้ไม่สะดวกต่อการจัดเรียงตะกร้าผลลำไย และอาจไม่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน ในบางครั้งอาจเกิดอุบัติเหตุตะกร้าผลลำไยล้มลงมาติดเตาไฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลุกไหม้ได้ มีปัญหาการสึกหรอและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์เตาไฟฟ้าและพัดลมจากการกัดกร่อนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีปัญหาของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เผากำมะถันปริมาณมากๆ การควบคุมปริมาณและทิศทางของการกระจายก๊าซทำได้ยากและทำได้ไม่ดี ทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลลำไยได้สม่ำเสมอ (สถาบันอาหาร, 2542)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกำมะถันและเตาไฟฟ้าที่ใช้ในการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ขนาดห้อง ($ม^3$)	ปริมาณผลลำไย (กก.)	จำนวนผงกำมะถัน (กรัม)	ปริมาณ $NaNO_3$ (กรัม)	จำนวนและขนาดเตาไฟฟ้า	เวลาเผา (นาที)
2	350	150	3	ขนาด 600 วัตต์ 1 เตา	10
10	1,500	670	13.5	ขนาด 600 วัตต์ 1 เตา	20
20	2,500	1,183	24	ขนาด 600 วัตต์ 1 เตา	35
30	3,800	1,790	36	ขนาด 600 วัตต์ 1 เตา	45
40	5,000	2,365	47	ขนาด 600 วัตต์ 2 เตา	35
55.3	6,000	2,982	60	ขนาด 600 วัตต์ 2 เตา	40
70	7,500	3,744	75	ขนาด 600 วัตต์ 3 เตา	35
80	8,300	4,194	84	ขนาด 600 วัตต์ 3 เตา	40

(ที่มา : สถาบันอาหาร, 2542)

แบบเตาก๊าซหุงต้ม

เป็นแบบที่ใช้สะดวกและไม่เสียง่าย สามารถควบคุมการปลดปล่อยและการกระจายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดี สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบเตากำมะถันคือ จะต้องมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สามารถเผาไหม้หมดในระยะเวลาที่จำกัด ตัวเตาทำจากวัสดุที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี และทนทานต่อการกัดกร่อน สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ไม่มีการรั่วไหลของก๊าซ มีระบบผสมของอากาศกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดี นอกจากนี้ตัวเตาก๊าซหุงต้มจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถให้ความร้อนได้สูงจะช่วยในการเผาไหม้กำมะถันได้สมบูรณ์ และเพื่อความปลอดภัยที่ถังก๊าซหุงต้มควรติดตั้งวาล์วนิรภัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างการออกแบบของเตากำมะถันที่ดี ต้องประกอบด้วย เตาเผาขนาด กว้างxยาวxสูง 40x80x40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำด้วยแผ่นเหล็กเหนียวหนา 10 มิลลิเมตร มีฝาปิดทำจากเหล็กเหนียวหนา 10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ตีเกลียวประมาณ 10 เกลียว เพื่อการปิดฝาที่สนิทไม่ให้ก๊าซจากการเผาไหม้รั่วไหล มีท่อทางเข้าของอากาศขนาด 5.0-7.5 เซนติเมตร ซึ่งต่ออยู่กับพัดลมแบบหนีศูนย์กลาง หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าโบเวอร์ ขนาดใบพัด 25 ถึง 30 เซนติเมตร ซึ่งพัดลมจะต่อท่อดูดอากาศมาจากห้องรมควัน อากาศที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้จะช่วยในการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกพ่นออกจากห้องเผาไหม้ทางท่อขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-25 เซนติเมตร ซึ่งจะต่อเข้าสู่ห้องรมควัน การใช้ท่อขนาดใหญ่เพื่อลดความเร็วของก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 350ºซ ซึ่งอาจทำความเสียหายให้กับผลลำไยได้ ดังนั้นตำแหน่งของทางออกของท่อก๊าซควรจะอยู่ใกล้กับผนังห้อง โดยเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความร้อนจะปะทะกับผนังห้องก่อนและถ่ายเทความร้อนให้กับผนังห้อง ทำให้อุณหภูมิของก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงไม่ควรตั้งชั้นวางตะกร้าผลลำไยขวางทางออกของท่อส่งก๊าซ

ท่อส่งก๊าซควรมีความยาวพอสมควร เพื่อกันเปลวเพลิงที่อาจจะถูกพ่นออกมาจากห้องเผาไหม้ได้ ความเร็วของลมที่ปลายของท่อส่งก๊าซออกมาจะต้องไม่สูง คือประมาณ 0.5-0.7 เมตร/วินาที หรือมีวิธีสังเกตง่ายๆ โดยใช้มือวางทาบที่ทางออกของท่อก๊าซกำมะถัน (ทดสอบตอนที่ยังไม่มีการเผากำมะถัน) จะมีความรู้สึกเหมือนแรงลมอ่อนๆ ที่เกิดจากการใช้มือโบกพัดไปมา (สถาบันอาหาร, 2542)

2.9 การปฏิบัติการและการควบคุมการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เพื่อให้การรมผลลำไยสดเป็นไปตามจุดประสงค์ ที่จะยืดอายุการจัดส่งและการจัดจำหน่ายของผลลำไยสดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ผู้ควบคุมการรมควันจำเป็นจะต้องมีความรู้และความเข้าใจผลการปฏิบัติ และคุณภาพของการรมผลลำไยสดด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ระบบการประกันคุณภาพ (quality assurance) จะช่วยให้เกิดความมั่นใจในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น มีการควบคุมและการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน ตั้งแต่การตรวจรับวัตถุดิบ การบรรจุ การรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การเก็บรักษา จนถึงการขนส่ง และควรจัดทำรายงานหรือบันทึกผล ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจติดตามและประเมินคุณภาพได้ในภายหลัง หรือเพื่อการทวนสอบ กรณีพบว่าผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่องหรือมีปัญหาในกระบวนการผลิต รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงาน ที่จะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพมีดังนี้ (สถาบันอาหาร, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของผลลำไยที่ต้องการ

การรมควันจะให้ได้คุณภาพที่ดีจะต้องมีการคัดเลือกวัตถุดิบ คือผลลำไยสดที่นำมารมจะต้องมีคุณภาพเป็นไปตามที่ต้องการ และไม่ควรนำวัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกันมาปะปนกัน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงได้แก่

1. **พันธุ์** พันธุ์ที่เหมาะสมกับการรมและเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ ได้แก่ พันธุ์ดอ และเบี้ยวเขียว

2. **ความสุกของผล** ควรมีความสุกพอดี โดยมีดัชนีการเก็บเกี่ยวที่สามารถบ่งบอกได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ผลลำไยที่อ่อนหรือแก่เกินไปจะมีผลต่อความสม่ำเสมอของการรมควัน

3. **ลักษณะของผล** จะต้องมีความสด เนื้อสีขาวใส เปลือกต้องไม่มีรอยแตก หรือมีเชื้อรา ไม่มีบาดแผลจากแมลง ผิวภายนอกจะต้องไม่แห้งหรือเปียกเกินไป กรณีที่ผลลำไยถูกฝน หรือถูกน้ำจะต้องรีบเป่าให้แห้งด้วยพัดลม มีการตัดแต่งกิ่งให้สั้นและเป็นระเบียบ

4. **การเรียงผลบรรจุลงตะกร้า** จะต้องเป็นระเบียบเหมือนๆกันทุกตะกร้า โดยพยายามหันผลออกด้านนอก และหันกิ่งก้านเข้าด้านในตะกร้า เพื่อให้ผลลำไยสามารถสัมผัสกับก๊าซได้โดยสะดวก ตะกร้าบรรจุลำไยต้องมีช่องทางผ่านของก๊าซโดยสะดวก ใช้วัสดุที่ไม่ซึมซับก๊าซ และไม่ต้องมีแผ่นรองพลาสติก ซึ่งจะขัดขวางทางผ่านของก๊าซ (สถาบันอาหาร, 2542)

การควบคุมการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ต้องมีการควบคุมอย่างจริงจัง โดยจะต้องมีการตรวจสอบปริมาณของกำมะถันที่จะนำมาเผาให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้เหมาะสมกับปริมาณของผลลำไยที่จะเข้ารมควันแต่ละครั้ง และจะต้องควบคุมระยะเวลาการรมควันในแต่ละขั้นตอนให้ถูกต้อง(สถาบันอาหาร, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณปริมาณกำมะถันที่ใช้

ซิงซิง (2541) แนะนำวิธีการคำนวณหาปริมาณกำมะถันที่จะใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างสูงสุดที่ต้องการ (Maximum Residue Level or MRL) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการยืดอายุ และข้อกำหนดของประเทศคู่ค้า ตัวอย่างเช่น อนุญาตให้มีปริมาณสารซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ตกค้าง 350 ส่วนต่อล้านส่วน ของการวัดทั้งผล (whole fruit basis) ส่วนที่สองเป็น

ปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศภายในห้อง ซึ่งค้างไว้เมื่อสิ้นสุดการรม โดยสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

น้ำหนักของ SO_2 (กรัม) = M + S

และ M = W x A

S = C x F x D

โดย M = MRL, ปริมาณ SO_2 ตกค้างสูงสุด เป็นกรัม

S = Space dosage, ความเข้มข้นของ SO_2 ในอากาศภายในห้อง ซึ่งเหลือตกค้างเมื่อสิ้นสุดการรมควัน

W = Weight of fruit, น้ำหนักของผลลำไยที่นำเข้ารม เป็นกิโลกรัม

A = Absorption of fruit, ปริมาณการดูดซึมของ SO_2 ในผลลำไย เป็นกรัม/กิโลกรัม

C = Concentration of SO_2 to maintain, ความเข้มข้นของ SO_2 ในอากาศเมื่อสิ้นสุดการรมก๊าซเป็น %

F = Free space in the room, ปริมาตรช่องว่างในห้องเป็นลิตร

D = Density of SO_2 , ความหนาแน่นของ SO_2 ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของห้อง ที่ 25°ซ. D = 2.618 กรัม/ลิตร
ที่ 27°ซ. D = 2.601 กรัม/ลิตร
ที่ 30°ซ. D = 2.575 กรัม/ลิตร

สามารถคำนวณหาน้ำหนักของกำมะถันที่จะต้องนำมาเผา = น้ำหนักของ SO_2 (กรัม)/2

อัตราส่วนของห้องกับน้ำหนักของผลลำไย

เพื่อให้มีที่ว่างพอสำหรับการแพร่และการกระจายตัวของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยทั่วไปอัตราส่วนของห้อง (ลูกบาศก์เมตร) ต่อน้ำหนักของลำไยที่รม (ตัน) ที่แนะนำจะอยู่ระหว่าง 10:1 ถึง 15:1 (สถาบันอาหาร, 2542)

ค่าปรับปรุง

การเพิ่มปริมาณกำมะถันที่ใช้ขึ้นอีก 10 ถึง 20% โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของห้อง การดูดซึมของผนังห้อง การดูดซึมของก้านของผลลำไย วัสดุที่ใช้บรรจุ การรั่วไหลผ่านรูรั่วต่างๆของห้อง และประตูห้อง ตลอดจนความบริสุทธิ์ของผงกำมะถันที่ใช้ ซึ่งค่าปรับปรุงนี้จะหาได้จาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำการทดสอบรมควันและตรวจสอบปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผลลำไย (สถาบันอาหาร, 2542)

ระยะเวลาการรม

ภายหลังจากการเผาผงกำมะถันให้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยสมบูรณ์แล้ว โดยมีความเข้มข้นสุดท้ายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในห้องรมควัน 1.5% หรือ 15000 ส่วนต่อล้านส่วน หรือโดยสังเกตจากควันจะเริ่มเจือจางจนใส สามารถมองเห็นภายในห้องได้ชัดเจน ระยะเวลาการรมควันประมาณ 40-60 นาที (ชิงชิง, 2541) จึงจะถือได้ว่าการรมสิ้นสุด และสามารถระบายอากาศภายในห้องไปบำบัดได้ ระยะเวลาการรมควันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ และปริมาณตกค้างของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต้องการ

การเป่าลมเพื่อระบายก๊าซตกค้าง

ก่อนการขนย้ายชั้นวางตะกร้าผลลำไยออกจากห้อง ควรใช้พัดลมขนาดใหญ่เป่าเข้าไปภายในห้องรม เพื่อระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างอยู่ภายในห้อง และในชั้นวางตะกร้าลำไย รวมทั้งในตะกร้าผลลำไยออกไป ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างนี้เป็นก๊าซส่วนเกิน จำเป็นต้องระบายออกไป เพื่อป้องกันปัญหาการดูดก๊าซต่อเนื่อง (carry over effect) ทำให้เกิดการแทรกซึมของก๊าซจากเปลือกเข้าไปสะสมในเนื้อลำไยมากเกินกว่าที่ต้องการ (สถาบันอาหาร, 2542)

การตรวจสอบปริมาณสารตกค้าง

ภายหลังการรมในแต่ละครั้ง (Lot) จะต้องทำการตรวจปริมาณของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลลำไยทั้งผล ที่เปลือกและในเนื้อลำไยทันที โดยทำการสุ่มตัวอย่างตามแผนการตรวจสอบตามมาตรฐานของ Codex Code of Practice ตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 Codex Code of Practice สำหรับการควบคุมและการตรวจสอบผักและผลไม้เขตร้อน

ปริมาณตะกร้าในแต่ละครั้ง	จำนวนสุ่มตัวอย่าง (ตะกร้า)	จำนวนที่ไม่ยอมรับ (ตะกร้า)
ต่ำกว่า 100	5	1
101 – 300	7	2
301 – 500	9	3
501 – 1,000	10	3
มากกว่า 1,000	15	4

(ที่มา : สถาบันอาหาร, 2542)

แผนการสุ่มตัวอย่างจะพยายามสุ่มเก็บผลลำไยประมาณ 12-15 ผลจากตำแหน่งต่างๆ ในตะกร้าประมาณ 6 จุด โดยจะเก็บจุดละ 2-3 ผล ตรวจสอบปริมาณสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในลำไยทั้งผลและในเนื้อลำไย โดยวิธี Modified Monier-Williams Method (AOAC, 1984)

2.10 ข้อกำหนดการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลไม้สด

ข้อกำหนดปริมาณการอนุญาตให้ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของประเทศต่างๆเพื่อเป็นแนวปฏิบัติในการส่งผลไม้สดไปจำหน่ายแสดงในตารางที่ 2.4 ลำไยที่ผ่านการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์อย่างถูกวิธีจะมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างอยู่ที่เปลือกประมาณ 1,700 – 1,800 ส่วนต่อล้านส่วน โดยยังไม่พบปริมาณตกค้างในเนื้อของลำไยหรือที่ระดับไม่เกิน 10 ส่วนต่อล้านส่วน (พาวิน, 2543)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสูงสุดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างที่ยอมให้ตรวจพบได้

ประเทศ	ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้ตรวจพบ (ส่วนต่อล้านส่วน)
สิงคโปร์	0 (ในเนื้อลำไยสด)
ฮ่องกง	350*
มาเลเซีย	0
แคนาดา	0
เนเธอร์แลนด์	100* (จากต้นทางไม่เกิน 300 ส่วนต่อล้านส่วน)
สหราชอาณาจักร	0 (พบในอุ่นสดได้ไม่เกิน 15 ส่วนต่อล้านส่วน)
ฝรั่งเศส	30 (ในลิ้นจี่สด)
สหรัฐอเมริกา	10 (ในอุ่นสด)

* เป็นข้อกำหนดที่พบได้ในเปลือกผลไม้สำหรับเนื้อผลไม้ต้องเป็น 0

(ที่มา:อนวัช, 2541อ้างโดย พาวิน, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 ประโยชน์ของการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมผลไม้

1.ใช้ยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เร่งด้วยเอนไซม์ ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ได้เร่งด้วยเอนไซม์ของผักและผลไม้นั้น เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาล กรดอินทรีย์ กับกรดอะมิโน เมื่อปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในอาหารจะทำให้อาหารมีสีดำ สร้างกลิ่นรสต่างๆขึ้น และในบางครั้งจะสร้างสารที่ไม่ละลายต่างๆขึ้น ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนนั้นเกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปทำให้สารที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาอยู่ในรูปที่คงตัวขึ้น (ไพบูลย์, 2532)

2. ใช้หยุดปฏิกิริยาต่างๆที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง กรดซัลฟูรัสและซัลไฟต์จะใช้หยุดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากเอนไซม์ของผลไม้ที่เกิดขึ้น โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์ชนิดเดียวที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืช ปฏิกิริยาของซัลไฟต์ที่ไปหยุดการเกิดสีน้ำตาลนั้น เข้าใจว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปลดปริมาณออกซิเจน หรือสารนี้ไปทำปฏิกิริยากับควิโนนหรือสารที่ได้จากระหว่างปฏิกิริยาโพลีฟีนอลออกซิเดส (ไพบูลย์, 2532) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น*ออร์โท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อให้เป็น*ออร์โท*-ควิโนน (*o*-quinone) ควิโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารเคมีที่ยับยั้งเอนไซม์ PPO ได้ดีที่สุด และเป็นการยับยั้งแบบถาวรไม่กลับคืน (นิธิยา, 2545)

3.ใช้เป็นสารรีดิวซ์ การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของซัลไฟต์หรือเมตาไบซัลไฟต์ โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรีดิวซ์สารประกอบที่มีสีเป็นอนุพันธ์ที่ไม่มีสี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีผลในการฟอกสีของรงควัตถุสีแดง (แอนโทไซยานิน) แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลในการฟอกสีกับผลไม้ที่มีสีเหลืองเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม กรดซัลฟูรัสจะไม่ฟอกสีคลอโรฟิลล์แต่จะเร่งการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์เป็นฟีออไฟติน (ไพบูลย์, 2532)

4.ใช้เป็นสารกันเสีย เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งจะไปลดค่าแรงตึงของออกซิเจนในเนื้อเยื่ออาหารลงต่ำถึงจุดที่จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะเจริญ หรือทำให้เอนไซม์ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ในรูปรีดิวซ์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลกับจุลินทรีย์เฉพาะชนิด เช่น แบคทีเรียสร้างกรดแอซีติก และกรดแลคติก เชื้อราต่างๆมีความไวต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่าเชื้อยีสต์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายสามารถป้องกันการติดเชื้อจาก *Botrytis , Cladosporium* และเชื้อราอื่นๆ ในองุ่น และ เชอรี่ ได้อย่างมีประสิทธิผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังอาจใช้เก็บรักษาผลไม้ที่เสื่อมเสียง่ายหลังการเก็บเกี่ยว (ไพบูลย์, 2532) ปัจจัยที่สำคัญในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ ระดับพีเอช ซึ่งพบว่าเมื่อพีเอช ลดลงประสิทธิภาพการทำงานของสารประกอบนี้ยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดกรดซัลฟูรัส และแตกตัวต่อไปให้ไอออนต่างๆดังสมการ

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

$$2H_2SO_3 \longrightarrow H^+ + HSO_3^- \text{ หรือ } 2H^+ + SO_3^{-2}$$

การจะเกิดไอออนชนิดใดและปริมาณเท่าใดขึ้นกับระดับพีเอช พบว่าที่ระดับพีเอช สูงกว่า 7 ขึ้นไป การแตกตัวจะมีแต่ไอออนของ SO_3^{-2} ส่วนในระดับที่พีเอช ต่ำกว่า 4.5 ลงมา การแตกตัวจะให้ HSO_3^- และในระดับที่พีเอช ตั้งแต่ 3 ลงมาจะมีปริมาณของกรดซัลฟิวรัสในสภาพที่ไม่แตกตัวอยู่สูงสุด ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้สูงสุด ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยกรดซัลฟูรัสสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปรบกวนการทำงานของเซลล์ แต่ในสภาพที่มี HSO_3^- ก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอซีตัลดีไฮด์ภายในเซลล์จุลินทรีย์ และยังไปลดพันธะไดซัลไฟต์ในระบบเอนไซม์ด้วย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539)

ถึงแม้ว่าผลลำไยสดจะได้ผ่านการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อยับยั้งการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์แล้วก็ตาม แต่ลำไยเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้นมากหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ (อุณหภูมิ 29 – 30 องศาเซลเซียส) ประมาณ 2 ใน 3 ของผลลำไยจะเน่าเสียภายใน 4 วัน และจะเน่าเสียทั้งหมดภายใน 7 วัน ดังนั้นภายหลังการรมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องทำการลดอุณหภูมิของผลลำไยลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรสชาติและสีของเปลือกและเนื้อ และคุณภาพของเนื้อผลลำไย จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (สถาบันอาหาร, 2542) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาลำไยโดยไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) คือที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส (Kader, 2002) การลดอุณหภูมิของผลลำไยมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การใช้น้ำเย็น (Hydrocooling) ทำโดยจุ่มผลลำไยที่บรรจุในตะกร้าลงในน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซสเซียส นาน 10 นาที

2. การใช้ลมเย็น (Forced air cooling) ทำโดยอัดอากาศเย็นผ่านเข้าไปสัมผัสกับผลลำไยภายในภาชนะบรรจุ ใช้เวลาประมาณ 70 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาและขนส่งผลลำไยเพื่อการส่งออก คือ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะเก็บรักษาได้นาน 40–45 วัน และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะเก็บรักษาได้นาน 20 วัน (พาวิน, 2543)

2.12 เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO) (EC 1.10.3.1) เอนไซม์นี้มีชื่อเรียกตามระบบคือ *o*-diphenol oxygen oxidoreductase และอาจมีชื่อต่างๆกันเช่น ไทโรซิเนส (tyrosinase) โพลีฟีนอลเลส (polyphenolase) แคทีคอล ออกซิเดส (catechol oxidase) ครีโซเลส (cresolase) และแคทีคอลเลส (catecholase) เป็นต้น ชื่อเหล่านี้จะเรียกตามสารเริ่มต้นที่มีความจำเพาะต่างกันออกไป (ปราณี, 2543 ; Whitaker and Lee, 1995)

เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อผลไม้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยมีโมโนฟีนอลเป็นสารเริ่มต้นจะเกิดปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซิล หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ในภาวะที่มีออกซิเจน ได้เป็นสาร*ออโท*-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) และจะถูกออกซิไดส์ต่อได้เป็นสาร*ออโท*-ควิโนน (*o*-quinone) จากนั้นสาร*ออโท*-ควิโนน จะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ กรดอะมิโนและสารอื่นๆโดยอาศัยกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (นิธิยา, 2545; Mayer and Harel, 1979) ส่วนสารประกอบของฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้แก่ แคเทชิน (catechins) เอสเทอร์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid esters) 3,4- ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4 hydroxyphenylalanine; DOPA) และไทโรซีน (tyrosine) ค่าพีเอชที่เหมาะสำหรับการทำงานของเอนไซม์อยู่ในช่วง 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) สารจับโลหะ (chelating agents) และสารรีดิวซ์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น (นิธิยา, 2545; Whitaker and Lee, 1995)

2.13 สารประกอบฟีนอล (phenolics)

สารประกอบฟีนอลในพืช จะประกอบด้วยสารหลายชนิด ซึ่งจะมี aromatic ring ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) อย่างน้อย 1 หมู่ มาเกาะอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆเช่น กรดซินนามิค (cinnamic acid) กรดแคฟฟีอิก (caffeic acid) กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) กรดแกลลิก (gallic acid) และโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) สารประกอบฟีนอลเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุล phosphoenolpyruvate จากกระบวนการ Glycolysis และ erythose-4-phosphate (จาก Calvin cycle หรือ Pentose phosphate pathway ผ่านกระบวนการ Shikimic acid pathway)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารฟีนิลอะลานีนที่อยู่ตรงกลางจะมีการสูญเสีย NH_3 กลายเป็น *p*-hydroxycinnamic acid และเมื่อมี malonate 3 โมเลกุล ในรูปของ malonyl CoA จะมารวมกับกรดกรดซินนามิก ในรูปของ cinnamic-CoA จะกลายเป็น chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลสามารถจำแนกออกเป็น 3 ชั้น (classes) ตามจำนวนของ Phenol ring ที่อยู่ในโมเลกุล ชั้นที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมี 1 วง (monocyclic phenol) ที่พบทั่วไปในพืช เช่น ฟีนอล คาทีโคล (catechol) ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) และ *p*-hydroxycinnamic acid ชั้นที่มี 2 วง (dicyclic phenols) เช่น ฟลาโวนอยด์ และยังมีชั้นที่มีหลายวงมาต่อกัน (polycyclic หรือ polyphenol) นอกจากนี้ในการจำแนกหรือแบ่งชั้น อาจจะอาศัยจำนวนของคาร์บอนอะตอม และรูปแบบของโครงสร้างพื้นฐาน (basic carbon skeleton) ของโมเลกุลก็ได้

สารประกอบฟีนอลมีความสำคัญต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวทั้งในแง่รสชาติและสี โดยถ้ามีกรดฟีนอลิก ปรากฏอยู่ในผลิตผล อาจจะทำให้เกิดรสฝาด รสเปรี้ยว และรสขม รสฝาดของผลิตผลหลายชนิดจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ของสารประกอบฟีนอล ปริมาณของสารประกอบฟีนอลในผลิตผลจะผันแปรตามชนิด พันธุ์ และส่วนต่างๆ ของผลิตผล ตลอดจนความแก่ ในผลิตผลที่ยังอ่อนอยู่มักจะมีสารประกอบฟีนอลปริมาณมาก จึงทำให้มีรสฝาดมาก

ความสำคัญของสารประกอบฟีนอลอีกอย่างหนึ่งคือ การเปลี่ยนแปลงของสี หรือการเกิดเป็นสีน้ำตาลของผลิตผล โดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่เกิดความเสียหาย เช่น ในถั่วแขก ที่เกิดเป็นสีน้ำตาล พบว่า เกิดจากการที่สารประกอบฟีนอลถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นสารควิโนน หรือสารประกอบที่คล้ายคลึงกันโดยโพลีเมอร์ที่ไม่อิ่มตัวที่ทำให้มีสีน้ำตาลคือ melanins หรือ melanoidin ซึ่งมีสารตั้งต้น คือ กรดคลอโรจีนิค กรดนีโอคลอโรจีนิค (neochlorogenic acid) คาทีโคล ไทโรซีน (tyrosine) กรดแคฟฟีอิก ฟีนิลอะลานีน โปรคาทีชิน (procatechin) และโดพามีน (dopamine) (ยงยุทธ, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved