บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สตรอเบอรี่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Fragaria* spp. จัดอยู่ในอันดับ Rosales วงศ์ Rosaceae เป็นไม้ผลเขตหนาวมีทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสตรอเบอรี่ประกอบด้วย ราก ยอด ใบ ช่อดอก และผล ซึ่งสามารถผันแปรเปลี่ยนแปลงได้อย่างมากและอาจจะมากกว่าพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ ต้นสตรอเบอรี่จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง จึงพบว่ามีการปลูกสตรอเบอรี่กันอย่างมากมายในหลายประเทศทั่วโลกตั้งแต่แถบขั้วโลกเหนือถึงเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยด้วย (ณรงค์ชัย, 2543) สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ต้องการอากาศเย็นในช่วงของการเจริญเติบโตและช่วงการติดดอกออกผล จึงมีพื้นที่ปลูกหลักอยู่ในภาคเหนือตอนบน เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และมีการปลูกบ้างเล็กน้อยในพื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เพชรบูรณ์ เลย และอุบลราชธานี (ประสาทพรและดนัย, ม.ป.พ.)

การแบ่งประเภทของสตรอเบอรี่ตามจำนวนโครโมโซมแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ Diploid 2n = 4 Tetraploid 2n = 28 Hexaploid 2n = 42 และ Octaploid 2n = 56 (ชูพงษ์, 2531) สำหรับสตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้า มีจำนวนโครโมโซมแบบ Octaploid (2n = 8x = 56) และเป็นกลุ่ม *Fragaria*×*ananassa* Duch. ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอรี่พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา *F. chiloensis* กับ *F. virginiana* (ประสาทพรและปัจฉิมา, 2532 ; สังคม, 2532)

วัตถุประสงค์หลักในการปลูกสตรอเบอรี่ในประเทศไทยคือการบริโภคภายในประเทศทั้งบริโภคสดและแปรรูปและบางส่วนส่งเป็นสินค้าออก แต่ยังมีปริมาณที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น กล่าวคือเมื่อปี พ.ศ. 2538 มีการส่งออกสตรอเบอรี่ 259 เมตริกตัน เป็นมูลค่าทั้งสิ้น 3.3 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2539 สามารถส่งออกได้ 53 เมตริกตัน มีมูลค่าทั้งสิ้น 0.5 ล้านบาท และเมื่อปี พ.ศ. 2540 สามารถส่งออกได้ทั้งสิ้น 76 เมตริกตัน มูลค่ารวมทั้งสิ้น 1.4 ล้านบาท โดยประเทศที่เป็นคู่ค้าสำคัญคือ สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น (สำนักงานการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2545 : ออนไลน์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สายพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกในประเทศไทย

เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 จนถึง พ.ศ. 2541 ได้มีการนำสตรอเบอรี่สายพันธุ์ต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกมากมาย เช่น ในปี พ.ศ. 2515 มีพันธุ์ Cambridge Favourite, Tioga

และ Sequoia รู้จักกันในนามพันธุ์พระราชทานเบอร์ 13, 16 และ 20 ตามลำดับ ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2529 ได้นำพันธุ์ Nyoho, Toyonoka และ Aiberry จากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาทดลองปลูก ผลปรากฏว่าพันธุ์ Nyoho และ Toyonoka สามารถปรับตัวได้ดีบนพื้นที่สูง ในปี พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นปีที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงฉลองศิริราชสมบัติครบ 50 ปี ได้ตั้งชื่อพันธุ์ B5 เป็นพันธุ์พระราชทาน 50 และในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งตรงกับปีพระชนม์พรรษาครบ 70 พรรษา ได้ตั้งชื่อพันธุ์ Toyonoka เป็นพันธุ์พระราชทาน 70 ปัจจุบันพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16, 20, 50 และ 70 นอกจากนี้ยังมีการปลูกพันธุ์ Nyoho, Dover และ Selva บ้างในบางพื้นที่ (ณรงค์ชัย, 2542)

พันธุ์พระราชทาน 72

ฝ่ายงานวิจัยและพัฒนาการผลิตสตรอเบอรี่มูลนิธิโครงการหลวงได้นำสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 เข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น มีชื่อว่า Tochiotome โดยทำการปลูกทดสอบครั้งแรกในแปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2542 และทดลองปลูกต่อมาที่สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2543-2544 จนได้ผลการทดลองเป็นที่แน่ใจแล้วว่าสตรอเบอรี่พันธุ์นี้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี มีความทนทานต่อโรคและแมลง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในลักษณะรับประทานผลสด ต่อมาขยายเพิ่มจำนวนต้นไหลให้มากขึ้นและเริ่มส่งเสริมให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอรี่ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของงานส่งเสริมสตรอเบอรี่ตั้งแต่ปีฤดูกาลผลิต พ.ศ. 2545-2546 เป็นต้นมา

ผลของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 72 มีขนาดค่อนข้างใหญ่ถึงใหญ่มาก โดยพบว่าผลมีน้ำหนักเฉลี่ยเกือบ 14 กรัมต่อผล มีความแข็งหรือความแน่นเนื้อมากกว่าผลของพันธุ์พระราชทาน 70 แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) น้อยกว่าเล็กน้อย คือ พันธุ์พระราชทาน 70 และ 72 มีปริมาณ TSS เฉลี่ย 9.6 และ 9.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีความสมดุลพอดีระหว่างรสเปรี้ยวและรสหวาน จึงทำให้ผลมีรสชาติที่ดีถูกปากผู้บริโภค มีกลิ่นหอมเมื่อผลเริ่มสุกจนถึงผลสุกเต็มที่ เนื้อผลภายในมีสีขาว ส่วนผิวผลเมื่อผลสุกเต็มที่จะมีสีแดงจัด มีความเป็นเงามันที่ผิวผลทำให้เป็นที่น่าสนใจของผู้บริโภคเมื่อได้พบเห็น และยังมีความทนทานต่อการขนส่งมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ที่ใช้ในการส่งเสริมอยู่ในปัจจุบัน (ณรงค์ชัย, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอรี่

1. ขนาดของผล ผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งผลแก่และสุก ซึ่งการเพิ่มขนาดผลแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกก่อนเกิดปฏิสนธิ (fertilization) เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นพืชผสมตัวเองคือเกิดการผสมเกสรก่อนดอกบาน จึงพบว่าการแบ่งเซลล์เกิดเพียงเล็กน้อย ระยะที่ 2 ภายหลังจากเกิดการปฏิสนธิ มีการแบ่งเซลล์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ระยะที่ 3 ระยะภายหลังจากดอกบาน จะเกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนเซลล์ประมาณ 7 วัน ภายหลังจากกลีบดอกร่วง จากนั้นจะเพิ่มปริมาตรของเซลล์ มีการขยายขนาดเซลล์ของเนื้อผลประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลเพิ่มขนาดด้านกว้างอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่เต็มที่ส่วนของแกนกลางและเนื้อผลจะหยุดพัฒนา แต่ยังสามารถเพิ่มขนาดของผลได้อีกเล็กน้อย เนื่องจากเซลล์ชั้นเปลือกนอกมีผนังเซลล์ที่บางกว่าแกนกลางผลและสามารถเพิ่มขนาดได้เร็วเป็น 2 เท่าของแกนกลางผล (Avigdori-Avidov, 1986)

2. ความแน่นเนื้อ เมื่อผลมีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผนังเซลล์แข็ง แต่มีสตรอเบอรี่บางพันธุ์ที่มีลักษณะเนื้อโปร่ง มีช่องว่างตรงกลางผล จะทำให้เนื้อนิ่ม และผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดใหญ่มักจะมีเนื้อนิ่มกว่าผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดเล็กเนื่องจากมีน้ำในผลมาก ผลสตรอเบอรี่ที่มีอายุมากขึ้นจะมีเนื้อนิ่มมากขึ้น (Puchalski *et al*., 1994) การที่ผลสตรอเบอรี่มีความแน่นเนื้อน้อยหรือมีผลนิ่มจะทำให้ผิวมีความต้านทานต่อการเสียหายทางกลลดลง ชอกช้ำได้ง่าย ดังนั้นผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีจะต้องมีขนาดผลใหญ่และเนื้อแน่น (ดนัย, 2538) ความแน่นเนื้อของผลสตรอเบอรี่จะแปรผันตามพันธุ์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ระยะแก่ ขนาดของผล และปริมาณน้ำในผล ต้นสตรอเบอรี่ที่มีการเจริญเติบโตทางใบมากจะทำให้ผลนิ่มและ ผลจะนิ่มมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น (Moore and Sistrunk, 1981) การนิ่มของผลไม้เกิดจากการที่เซลล์เสียความสามารถในการเกาะติดกันและการที่เพกทินเปลี่ยนรูปไปเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทิน นอกจากนั้น S-adenosylmethionine (SAM) ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลในเพกทินถูก methylation ส่งผลให้เกิดการแตกหักของ calcium cross-link ระหว่างเพกทิน นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์ในแง่ของสารประกอบเพกทินแล้ว การเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสยังมีความสัมพันธ์กับการอ่อนตัวลงของผลไม้ระหว่างการสุก ในระหว่างการสุกของผลไม้บางชนิดปริมาณโมโนเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะเกิดการละลายของส่วนประกอบในเฮมิเซลลูโลส (ดนัย, 2540)

3. ไขมัน ผิวนอกของผลสตรอเบอรี่มีแวกซ์ (wax) เคลือบอยู่ โดยเฉพาะที่ผิวของผลสุก ทำให้ผิวมีลักษณะมันวาว ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ลักษณะผิวของสตรอเบอรี่จะผันแปรตามพันธุ์ (ดนัย, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. โปรตีน ไม่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพโดยตรงของผลไม้สุก แต่โปรตีนจะเพิ่มขึ้นขณะที่ผลไม้สุก ในกระบวนการสุกของผลไม้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ใหม่ๆ เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอทธิลีน การหายใจ การเปลี่ยนสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล (สายชล, 2528) ในช่วงระยะการเจริญเติบโตของผลสตรอเบอรี่ระดับโปรตีนจะเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเพิ่มปริมาตรของเซลล์ 10 เท่า (ดนัย, 2538)

5. สารสี เมื่อผลสตรอเบอรี่เริ่มแก่สีผิวของผลสตรอเบอรี่จะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีขาว เป็นผลจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างในเซลล์ กระบวนการออกซิเดชั่นและเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) และเมื่อเริ่มสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีชมพูและสีแดงตามลำดับ นั่นคือหลังการสูญเสียคลอโรฟิลล์แล้วมีการสังเคราะห์สารสีใหม่ คือ แอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีสีม่วงแดงและมักอยู่ตามเซลล์ชั้นนอกของผล ซึ่งทำให้เห็นว่าผลสตรอเบอรี่สุกมีสีแดง และในระยะนี้จะมีปริมาณน้ำตาลมากที่สุดและแสดงกลิ่นเฉพาะของพันธุ์ด้วย ผลสตรอเบอรี่ที่เริ่มเปลี่ยนสีจากระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นสีแดงทั้งผลจะมีขนาดเพิ่มขึ้นด้วยประมาณ 25-27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะผันแปรไปตามพันธุ์ (ดนัย, 2538)

6. น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากน้ำ มีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำตาลชนิดต่างๆ และพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โพลีแซกคาไรด์ต่างๆ ผักและผลไม้จะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบประมาณ 2-40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลไม้สุก ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของโพลีแซกคาไรด์ ได้แก่ แป้ง ซึ่งเป็นส่วนที่พืชสะสมไว้ และมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกทิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ นอกจากนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลซึ่งมีทั้งที่เป็นไดแซคคาไรด์ คือ น้ำตาลซูโครส และโมโนแซคคาไรด์ คือ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งจะอยู่ในส่วนของเหลวในเซลล์ สตรอเบอรี่มีปริมาณกลูโคส 2.6 เปอร์เซ็นต์ ฟรุกโตส 2.3 เปอร์เซ็นต์ ซูโครส 1.3 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540)

7. กรดอินทรีย์ กรดจะถูกสร้างจากกระบวนการหายใจภายในเซลล์โดยการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ในผักและผลไม้มีคุณสมบัติเป็นกรดเพราะมีกลุ่มคาร์บอกซิล หรือ COOH กรดอินทรีย์เหล่านี้อาจจะละลายน้ำอยู่ในรูปที่เป็นอิสระหรือรวมตัวกับสารโมเลกุลอื่นเกิดเป็นเกลือเอสเตอร์หรือไกลโคไซด์ก็ได้ ผลไม้บางชนิดมีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่สูงมากจนเกิดเป็นผลึก เช่น องุ่นมีผลึกของโพแทสเซียมไบทาร์เทรต กรดอินทรีย์ที่อยู่ในผักและผลไม้มีผลต่อรสชาติของผักและผลไม้โดยตรง และยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารเริ่มต้นในกระบวนการหายใจด้วย (ดนัย, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดอินทรีย์มักจะถูกเก็บสะสมอยู่ในแวคคิวโอลในปริมาณมาก และมีบทบาทอย่างสำคัญในการให้รสชาติ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนอยู่มีปริมาณกรดสูงทำให้รสชาติไม่อร่อย และไม่เหมาะต่อการเข้าทำลายของโรค (จิรา, 2531) ปริมาณกรดอินทรีย์จะลดลงระหว่างที่ผลไม้สุก เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจหรือถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (สายชล, 2529) กรดที่พบมากในสตรอเบอรี่ คือ กรดมาลิก และกรดซิตริก (Inaba and Nakamaru, 1979)

8. วิตามินซี วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) และอาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น 2, 3-deketoglulonic acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผักและผลไม้ส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูป reduced ascorbic acid ปริมาณวิตามินซีในรูปต่างๆ นี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของผักและผลไม้เมื่อเก็บเกี่ยวด้วย (จริงแท้, 2544)

วิตามินซีเกิดการสูญเสียได้ง่ายที่สุดเมื่อผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง การเกิดบาดแผล รอยช้ำ และการเหี่ยว เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารชนิด strong reducing ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ก๊าซ และอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง นอกจากนั้นวิตามินซียังอาจสูญเสียได้จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะกระตุ้นปฏิกิริยาโดยตรงระหว่าง ascorbic acid และโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ เอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผลไม้สดเกิดการเสียหายเนื่องจากการตัดแต่ง หั่น หรือเกิดรอยช้ำ ในช่วงแรกผลสตรอเบอรี่ที่ตัดขั้วออกแล้วจะสูญเสียวิตามินซีประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ และสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 85-95 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 2 วัน ดังนั้นการเก็บรักษาและการขนส่งสตรอเบอรี่ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (นิธิยา, 2539 ; จริงแท้, 2544 ; Mapson, 1970 ; Burton, 1982)

9. สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) สารประกอบที่ให้กลิ่น ได้แก่ สารประเภทเอสเทอร์ แลกโตน แอลกอฮอล์ กรด อัลดีไฮด์ คีโตน อะซิทิล และไฮโดรคาร์บอน (กนกมณฑล, 2526) สารกลุ่มนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นเฉพาะของผลสตรอเบอรี่สุก เช่น สตรอเบอรี่พันธุ์ Solweta, Puket Beauty, Elista, Bromba, Senga Jurica และ Marton Down ต่างก็มีกลิ่นไม่เหมือนกัน (Jankousky *et al*., 1983) สารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อมีสภาพความเข้มแสงสูงและอุณหภูมิต่ำเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ระเหยได้ง่าย ในสตรอเบอรี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สุกพบสารให้กลิ่นคงตัวเพียง 24 ชนิดที่สำคัญ เช่น 2-5 dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone, linealool, geraniol, β-ionine, β-phenylethanol และ granil acetate (ดนัย, 2538 ; Avidori-Avidov, 1986) ปริมาณสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ของผล (Perez *et al*., 1997) ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวระยะสีแดงจะผลิตสารให้กลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาวและชมพู (Miszczak *et al*., 1995)

การเก็บเกี่ยว

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ไม่มีเปลือกห่อหุ้มผลจึงชอกช้ำเสียหายง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่จึงต้องทำด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดความชอกช้ำกับผล การเก็บเกี่ยวในประเทศไทยเป็นการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีความแก่ที่เหมาะสมได้ แต่ในต่างประเทศ เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกามีค่าแรงงานสูงจึงมีการใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูป พันธุ์ที่สามารถใช้เครื่องจักรกลเก็บเกี่ยวผลจะต้องเป็นพันธุ์ที่แก่และสุกพร้อมๆ กัน (ดนัย, 2538)

ควรเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เมื่อผลแก่จัด เพราะหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วผลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คือ อัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงเสื่อมสลาย รสชาติคงที่ฉะนั้นถ้าเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่ยังไม่แก่จัดเต็มที่จะได้ผลที่มีรสชาติเหมือนเดิมตลอดไป (จิรา, 2531) ดัชนีที่ใช้ในการตัดสินความแก่ของผลสตรอเบอรี่ คือ สีของผล ถ้าเก็บเกี่ยวในระยะที่ยังไม่แก่จะทำให้ได้คุณภาพของผลไม่ดี (Dana, 1981) แต่ผลสตรอเบอรี่สามารถมีสีแดงเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ผลยังไม่แดงทั้งผลจึงสามารถแดงได้พอดีเมื่อถึงตลาดปลายทาง การเก็บเกี่ยวสตรอเบอรี่ที่ผิวสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการช้ำและมีเชื้อราเข้าทำลายระหว่างการขนส่งได้ง่าย ในประเทศออสเตรเลียแนะนำให้เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่เมื่อผิวผลมีสีแดงประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งผล (ชูพงษ์, 2531) ส่วนในรัฐแคลิฟอร์เนียร์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตสตรอเบอรี่ที่สำคัญของโลกกำหนดว่า ผลสตรอเบอรี่ที่มีผิวเป็นสีชมพูหรือสีแดงประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ คือผลสตรอเบอรี่ที่แก่พร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ (นิธิยาและดนัย, 2533) สำหรับในประเทศไทยนั้น ดร.สุรพงษ์ โกสิยะจินดา ได้ศึกษาผลสตรอเบอรี่พันธุ์ Tioga ของโครงการหลวง พบว่า ควรเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่มีสีชมพูหรือแดงอย่างน้อย 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ (นิธิยาและดนัย, 2533)

เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ชอกช้าเสียหายง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลจึงควรมีขั้นตอนหรือวิธีการที่กระทำด้วยความระมัดระวัง ดังนี้

1. เลือกเก็บผลที่มีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ โดยเฉพาะสีผล
2. เก็บโดยใช้มือเด็ดผลออกจากขั้ว หรือใช้กรรไกรขนาดเล็กตัดขั้วผล
3. ควรเลือกเก็บในช่วงที่มีอากาศเย็น แดดไม่ร้อนจัด เช่น ในช่วงเช้า
4. ภาชนะบรรจุที่ใช้ขณะที่เก็บผลในแปลงปลูก ควรใช้ตะกร้าที่มีความโปร่ง และมีขนาดที่เหมาะสม และไม่ควรบรรจุผลสตรอเบอรี่มากจนเกินไป เพราะจะเกิดการกดทับกันทำให้ผลสตรอเบอรี่ช้ำ
5. รวบรวมผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวจากแปลงปลูก คัดแยกคุณภาพ และส่งขายโดยเร็วที่สุด

คุณภาพของผลสตรอเบอรี่ (นิธิยาและดนัย, 2533)

ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีต้องสะอาด เนื้อแน่น และมีกลีบเลี้ยงติดมาด้วย กลีบเลี้ยงมีสีเขียว ไม่แห้ง ผิวผลควรมีสีแดงสดทั้งผล หรืออย่างน้อยผลมีสีแดง 75 เปอร์เซ็นต์ สตรอเบอรี่ที่มีสีแดงคล้ำแสดงว่าสุกงอมเกินไป ผลสตรอเบอรี่ที่อยู่ภายในภาชนะบรรจุเดียวกันควรมีสีและขนาดสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแผลช้ำ หรือเชื้อรา

มาตรฐานของผลสตรอเบอรี่ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดว่า เกรด U.S. No.1 จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 3/4 นิ้ว และยอมให้มีผลขนาดเล็กว่าปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานของประเทศ แต่โครงการหลวงได้จัดชั้นมาตรฐานโดยใช้ขนาดของผลเป็นหลัก ดังนี้

ชั้นพิเศษ	เส้นผ่านศูนย์กลางผลมากกว่า	3.75	เซนติเมตร
ชั้น A	เส้นผ่านศูนย์กลางผลระหว่าง	3.75-3.25	เซนติเมตร
ชั้น B	เส้นผ่านศูนย์กลางผลระหว่าง	3.25-2.75	เซนติเมตร
ชั้น C	เส้นผ่านศูนย์กลางผลระหว่าง	2.75-2.50	เซนติเมตร
ชั้น D	เส้นผ่านศูนย์กลางผลน้อยกว่า	2.50	เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิเฉียบพลัน

การลดอุณหภูมิให้ผลสตรอเบอรี่โดยเร็ว เป็นวิธีที่ทำให้ผลมีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานกว่าปกติ (Shoemaker, 1983) หลังจากที่ได้เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่มาแล้วควรลดอุณหภูมิทันที

เพราะถ้าหากทิ้งระยะเวลาไว้ช่วงหนึ่งหลังจากที่เก็บเกี่ยวแล้วจึงลดอุณหภูมิ มีผลทำให้ผลสตรอเบอรี่สูญเสียน้ำหนักมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Nunes *et al*., 1995) การลดอุณหภูมิผลสตรอเบอรี่อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 1, 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 หรือ 24 ชั่วโมง ปรากฏว่าสตรอเบอรี่พันธุ์ Nyoho ที่เก็บเกี่ยวระยะสีผิวออกแดง 50, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีความแน่นเนื้อดีขึ้น เมื่อเทียบกับผลสตรอเบอรี่ที่ทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นแล้วผลสตรอเบอรี่นิ่มลง และทุกระยะความแก่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีปริมาณสูงกว่าที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Maezawa and Akimoto, 1997)

ในสหรัฐอเมริกาอุณหภูมิของผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ อาจจะสูงถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วนในประเทศไทยอุณหภูมิของผลสตรอเบอรี่จะสูงกว่านี้ ถ้าหากวางผลสตรอเบอรี่เอาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงดังกล่าวประมาณ 4 ชั่วโมง จะทำให้คุณภาพของผลสตรอเบอรี่ลดลงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปล่อยให้ผลสตรอเบอรี่อยู่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณผลสตรอเบอรี่ที่ขายได้จะลดจาก 85 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้วิธีการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (forced air cooling) โดยทั่วไปจะใช้เวลา 2-4 ชั่วโมง เป็นวิธีที่รวดเร็วและหลีกเลี่ยงการทำให้ผลสตรอเบอรี่เปียก ซึ่งอาจจะทำให้ผลสตรอเบอรี่เสียหายได้ในภายหลัง ในประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่มีการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน ในกรณีของโครงการหลวงใช้วิธีการเก็บใส่ห้องเย็น (room cooling) ซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 9-10 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิลดลงถึง 7 องศาเซลเซียส ในประเทศออสเตรเลียจะทำการลดอุณหภูมิโดยวิธีผ่านอากาศเย็นเช่นกัน และจะลดอุณหภูมิลงจนถึง 5 องศาเซลเซียส (นิธิยาและดนัย, 2533)

การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นๆ (นิธิยาและดนัย, 2533) ช่วงของอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.1 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 90-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเก็บรักษานานประมาณ 5-7 วัน ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน (ชูพงษ์, 2531) หลังจากที่เก็บเกี่ยวมาแล้วอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ เช่น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ได้นาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ได้เพียง 1 วัน (Shoemaker, 1983) อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผลสตรอเบอรี่อยู่ที่ -0.8 องศาเซลเซียส การสูญเสียที่เกิดระหว่างการเก็บรักษา คือ การสูญเสียสีแดงสด ผลเหี่ยว เน่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และรสชาติเปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 9 เท่า แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางขายของผลสตรอเบอรี่มาก การเก็บรักษาในครัวเรือนควรเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น โดยห่อด้วยพลาสติกและควรบริโภคโดยเร็วไม่ควรเก็บรักษาไว้นานเกินไป (นิธิยาและดนัย, 2533)

นอกจากวิธีการเก็บรักษาโดยวิธีการใช้อุณหภูมิต่ำ การควบคุมหรือดัดแปลงบรรยากาศซึ่งเป็นการใช้บรรยากาศที่ดัดแปลงส่วนผสม ช่วยให้ขนส่งสตรอเบอรี่ไปจำหน่ายยังที่ไกลๆ ได้ (กนกมณฑล, 2526)

การสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่

ความเสียหายของผลสตรอเบอรี่มักเกิดจากสาเหตุหลายประการ ดังนี้ (นิธิยาและดนัย, 2533)

1. การชอกช้ำ ผลสตรอเบอรี่อ่อนแอต่อการชอกช้ำ เพราะมีผิวบางและเนื้อนิ่มซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแพร่ขยายไปยังผลข้างเคียงด้วย การชอกช้ำมักจะเป็นผลมาจากการเก็บเกี่ยวที่ไม่ระมัดระวัง ทำการบรรจุหีบห่อแน่นหรือหลวมเกินไป การขนส่งและเคลื่อนย้ายไม่ระมัดระวัง

2. การเน่าเสีย ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราชนิดต่างๆ เช่น *Botrytis*, *Rhizopus* และ *Colletotrichum*

3. การเหี่ยวของผล เกิดจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ทั้งผลและกลีบเลี้ยงเหี่ยวและแห้งไปในที่สุด อาการเช่นนี้มีผลต่อลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคมองเห็นก่อนที่จะมีผลต่อคุณภาพจริง

4. การสุกงอม เนื่องจากผลสตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่มีกระบวนการเมแทบอลิซึมสูง จึงมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากจากสุกเป็นงอม ซึ่งเป็นระยะเสื่อมสลาย (senescence)

การเคลือบผิว

ผิวหรือเปลือกของผลไม้ทำหน้าที่ปกคลุมและป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายในการเปลี่ยนแปลงทั่วไปทางด้านชีวเคมีและกายภาพที่สำคัญหลายประการของผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวมักขึ้นอยู่กับสมบัติของผิวหรือเปลือกซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้น (สุรพงษ์, 2530) กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย

1. การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในผลิตผล หรือภายในผลิตผลกับก๊าซที่อยู่ภายนอก
2. การสูญเสียความชื้น หรือการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การถูกเชื้อโรคเข้าทำลาย
4. การซึมผ่านของสารเคมีเข้าไปภายในผลิตผล
5. การที่ผลิตผลมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำ
6. ความเสียหายอันเกิดมาจากทางกล
7. การระเหยของสารมีกลิ่น
8. การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส (texture)

ผลไม้ในธรรมชาติจะมีสารประเภทแวกซ์ (wax หรือ cutin) เคลือบอยู่บริเวณผิว เรียกว่า คิวติเคิล (cuticle) หรือนวลของผลไม้ปกคลุมเซลล์ผิว ชั้นของคิวติเคิลนี้มีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซบริเวณผิวของผลไม้ ชั้นของคิวติเคิลหรือนวลที่เคลือบผิวผลไม้นี้จะหลุดไปเนื่องจากการเก็บเกี่ยว และการขนย้าย หรือการทำความสะอาด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ทั้งในแง่ของความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้ ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (สุรพงษ์, 2530 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540) จึงได้มีการผลิตสารเคลือบผิวขึ้นมาใช้เพื่อเคลือบผิวผลไม้แทนไขธรรมชาติที่หลุดไป โดยเฉพาะสารเคลือบผิวชนิดที่สามารถบริโภคได้ซึ่งเป็นที่สนใจกันมาก เนื่องมาจากค่านิยมของผู้บริโภคในปัจจุบันนิยมความเป็นอยู่ที่ใกล้ชิดกับธรรมชาติและตระหนักถึงสารพิษที่เป็นอันตรายทั้งกับสภาพแวดล้อมและสุขภาพ (จริงแท้, 2538)

สารเคลือบผิวที่ผลิตเป็นการค้าในปัจจุบันส่วนมากจะสกัดหรือผลิตมาจากพืชหรือสัตว์ เช่น canauba wax ได้จาก *Capernicia cerifera* cadelilla wax ได้จาก *Pedilanthus paronis* shellac ได้จาก lac ซึ่งเป็นสารที่ขับถ่ายจากแมลง laccifer และ bee wax (มณฑาทิพย์, 2535 ; สายชล, 2536 ; ดนัยและนิธิยา, 2543)

ชนิดของสารเคลือบผิวในกลุ่มที่บริโภคได้ (ดนัยและนิธิยา, 2548)

1. สตาร์ช ที่อยู่ในรูปของอะไมโลส และอะไมโลเพกทิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าว และข้าวโพด จากรากและลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แห้ว ท้าวยายม่อม และมันสำปะหลัง เป็นต้น

2. น้ำมัน หมายรวมถึงน้ำมันทุกชนิดที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และทานตะวัน เป็นต้น

3. โปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งปกติสามารถละลายได้ในน้ำร้อน มีสภาพเป็นเจล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก

5. สารที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม ซึ่งละลายได้ในน้ำเย็นและมีลักษณะที่หนืดมาก

6. โพลีแซกคาไรด์อื่นๆ ที่ได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส เพกทิน และกัม

7. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน

ดังนั้นการเคลือบผิวจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ จัดเป็นการเก็บรักษาผลิตผลแบบดัดแปลงบรรยากาศ เพราะการเคลือบผิวจะเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผลิตผลทำให้ปริมาณก๊าซ CO_2 ซึ่งเกิดจากการหายใจมีมาก และไปมีผลยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน (Hulme, 1971)

การดัดแปลงบรรยากาศสามารถลดความเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยจะชะลอการสุก การเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ทำให้การหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนช้าลง ที่ระดับ O_2 ต่ำประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ หรือระดับ CO_2 สูง 1 เปอร์เซ็นต์ จะลดความไวในการสังเคราะห์เอทธิลีน ลดความผิดปกติทางสรีรวิทยา ควบคุมโรคและแมลงในผลไม้บางชนิด แต่การดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมอาจเป็นผลเสียแก่ผลิตผลได้ เช่น ทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลในผลสาลี่และแอปเปิล เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและรสชาติของกล้วยและมะเขือเทศ อันเนื่องมาจากสภาพ O_2 ต่ำเกินไปหรือ CO_2 สูงเกินไป จะเกิดผลของการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 (anaerobic respiration) ข้อดีของการเคลือบผิว คือ สามารถผสมสารอื่นที่ส่งผลดีกับผลิตผลลงไปกับสารเคลือบผิวได้ เช่น สารป้องกันเชื้อรา สี และจะได้ผลดียิ่งขึ้นหากใช้ร่วมกับสภาพที่อุณหภูมิต่ำ (Kader *et al*., 1985)

ไคโตซาน

ไคโตซาน (chitosan) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (chitin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) ไคตินมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืช แต่ไคตินเป็นโพลิเมอร์ในสัตว์ (Austin *et al*., 1981) แหล่งที่พบไคตินได้มาก คือ ในสัตว์ที่มีข้อปล้อง (arthopoda) เช่น กุ้ง ปู แมลงทุกชนิด หอยเปลือกแข็ง หอยมุก ปลาหมึก ไคตินช่วยให้เปลือกสัตว์เหล่านี้แข็งแกร่ง และยังพบในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบไคตินบุระบบย่อยอาหาร ระบบขับถ่ายของสัตว์ หรือตามผนังเซลล์ของเห็ด รา ยีสต์ และแบคทีเรีย โดยจะรวมอยู่ในสารพวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพลีแซกคาไรด์ (มยุรา, 2539) ส่วนไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ของหน่วยย่อย glucosamine ที่ได้จากกระบวนการแยกหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกโดยกระบวนการ deacetylation จากหมู่เอมีนในโครงสร้างของไคตินด้วยด่าง ได้เป็น D-glucosamine polymer ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (amino sugar) สูตรโครงสร้างของไคตินและไคโตซานมีสูตรโครงสร้างคล้ายกันดังภาพ 1 (Frence-chitine, 2545 : online)

CHITIN CHITOSAN

ภาพ 1 สูตรโครงสร้างของไคตินเปรียบเทียบกับไคโตซาน (Frence-chitine, 2545 : online)

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า poly-β-(1$\rightarrow$4)-2-deoxy-D-glucosamine เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินเป็น NH_2-CO-CH_3 แทนที่จะเป็นหมู่ OH ซึ่งพบในเซลลูโลส เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคติน จะพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไคตินละลายได้ยากในสารละลายทั่วไป ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลาย แต่สามารถดัดแปลงไคตินโดยวิธีการทางเคมีเป็นไคโตซานเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานให้มากยิ่งขึ้น

ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า poly-β-(1$\rightarrow$4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose (หรือ D-glucosamine) ผลิตได้โดยการแยกเอาหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกจากไคติน (deacetylation) โดยทั่วไป 80 เปอร์เซ็นต์ ของหน่วยไคตินทั้งหมดจะถูกดึงหมู่อะซิทิลออก ส่วนอีกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ยังเป็นหมู่อะซิทิลอยู่ เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตซานจะเห็นว่าไคโตซานอาจมีประจุบวกบนหมู่ NH_2 ได้ ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่เป็นกรด การใช้ประโยชน์จากไคโตซานจึงมีได้กว้างกว่าไคติน ไคโตซานส่วนใหญ่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิดที่เป็นกรดเจือจาง มีค่าพีเอชน้อยกว่า 6.0 (Filar and Wirick, 1978) ตัวทำละลายไคโตซานที่ดีที่สุดคือ กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก (Kienzle-sterzer *et al*., 1982 ; ภาวดีและคณะ, ม.ป.พ.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตไคตินและไคโตซาน (ภาวดีและคณะ, ม.ป.พ.)

กระบวนการผลิตไคตินและไคโตซานประกอบด้วยหลักการที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

1. การกำจัดโปรตีน (deproteination)
2. การกำจัดเกลือแร่ (demineralization)
3. การกำจัดหรือลดหมู่อะซิทิล (deacetylation)

ซึ่งกระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซานจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ แสดงดังแผนภาพ

เปลือกกุ้ง (น้ำหนักแห้ง 100 กิโลกรัม)

↓

บด คัดขนาด (2 มิลลิเมตร)

↓

แยกโปรตีนออก (โดยต้มกับโซดาไฟเข้มข้น 4-8 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1: 6 solid : liquor, 600 ลิตร)

↓

ล้างน้ำให้หมดด่าง

↓

แยกเกลือแร่ออก (ใช้กรดเกลือเข้มข้น 4-8 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1: 6 solid : liquor, 600 ลิตร)

↓

ล้างน้ำแล้วทำให้แห้ง

↓

ไคติน (20-50 กิโลกรัม)

↓

ทำปฏิกิริยาลดหมู่อะซิทิล (โดยใช้กรดเกลือเข้มข้น 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:10 solid : liquor, 500 ลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 90-120 องศาเซลเซียส)

↓

ล้างน้ำแล้วทำให้แห้ง

↓

ไคโตซาน (20-30 กิโลกรัม)

ภาพ 2 การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กระดองปู (น้ำหนักแห้ง 100 กิโลกรัม)

↓

ล้างแล้วทำให้แห้ง บด คัดขนาด

↓

แยกโปรตีนออก (โดยต้มกับโซดาไฟความเข้มข้น 4-8 เปอร์เซ็นต์, 600 ลิตร, ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง.)

↓

ล้างน้ำให้หมดด่าง

↓

แยกเกลือแร่ออก (โดยใช้กรดเกลือเข้มข้น 4-8 เปอร์เซ็นต์, 600 ลิตร, ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง)

↓

ล้างน้ำแล้วทำให้แห้ง

↓

ไคติน (15-25 กิโลกรัม)

↓

ทำปฏิกิริยาลดหมู่อะซิทิล (โดยใช้โซดาไฟเข้มข้น 40-50 เปอร์เซ็นต์, 500 ลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 90-120 องศาเซลเซียส)

↓

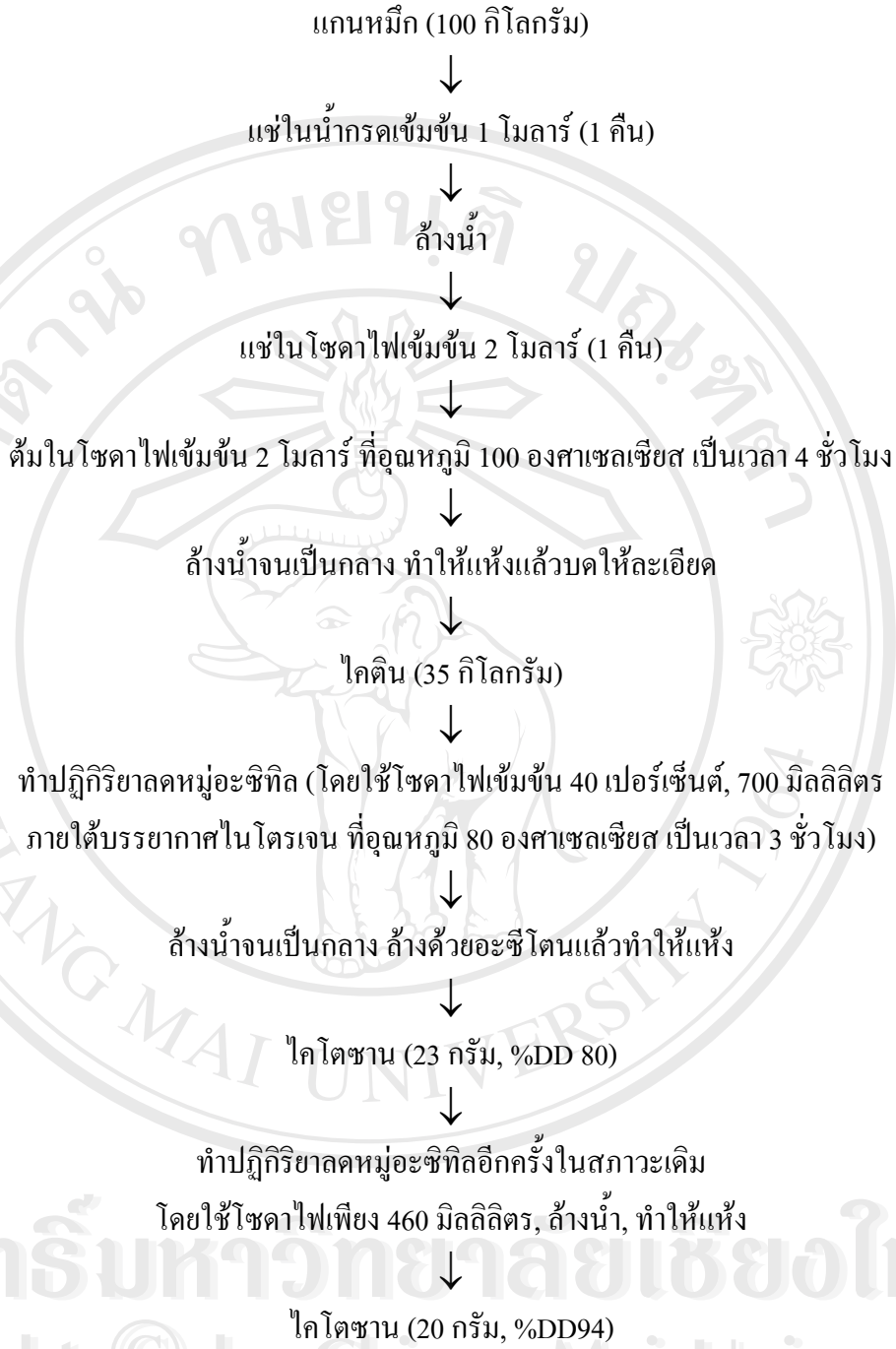
ล้างน้ำแล้วทำให้แห้ง

↓

ไคโตซาน (10-20 กิโลกรัม)

ภาพ 3 การผลิตไคตินและไคโตซานจากกระดองปู

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4 การผลิตไคตินและไคโตซานจากแกนหมึก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน (ภาวดีและคณะ, ม. ป. พ.)

1. การละลาย (solubility)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันแต่ภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งอาจจะมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

สารละลายไคโตซานมีความเหนียว ใส มีพฤติกรรมแบบ นอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) ในสารละลายหมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pKa) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของโพลิเมอร์โดย pKa ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8

2. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.0×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

3. Degree of deacetylation

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

4. ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น Degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโพลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

5. ความสามารถในการตกตะกอน (coagulating ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (flocculant and coagulation agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และโพลิเมอร์อื่น จากการวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก cheese whey พบว่า ความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเลคตรอน ทำให้ประจุของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่อะมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับประจุของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิทิลในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่ถูกนำเอากลุ่มอะซิทิลออกไปมากจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับประจุของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับประจุของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึกและความ สามารถในการดึงดูดน้ำของไคโตซาน

ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มใสเหนียวและยืดหยุ่น ซึ่งสามารถใช้ห่อหุ้มอาหารเนื่องจากรับประทานได้ และทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงมีผลต่อเมแทบอลิซึมของผลไม้ (ไพรัตน์และคณะ, 2536)

ไคโตซานมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยตรง และกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เกิดภูมิต้านทานเชื้อรา ดังนั้นจึงได้มีการนำไคโตซานมาเคลือบผิวผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิดและยังปลอดภัยกว่าด้วย มีการใช้ไคโตซานเคลือบผิวส้มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในประเทศเวียดนาม มีการใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.6-1.8 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวส้มด้วยความหนาประมาณ 30-35 ไมครอน พบว่าสามารถเก็บรักษาส้มได้นานถึง 35-40 วัน โดยที่คุณภาพ เช่น สีของเปลือกนอกไม่เปลี่ยนแปลง (Dien and Binh, 1996) Ghaouth *et al.* (1992) พบว่าสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เคลือบผิวผลสตรอเบอรี่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในช่วงการเก็บรักษา 21 วันแรก แต่หลังจากนั้นไคโตซานจะยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราได้ดีกว่า Rovral อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เพราะหลังจากเก็บรักษา 21 วัน แล้ว Rovral จะเกิดอาการเป็นพิษต่อผลสตรอเบอรี่ ทำให้เกิดอาการช้ำน้ำ (water-soaked areas) ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน และการที่ไคโตซานสามารถยับยั้งการเกิดโรคได้เนื่องมาจากคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยตรงจากไคโตซานเอง หรือการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์ (chitinase และ β-1,3–glucanase) มาย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราและการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กระตุ้นให้เกิดการสร้างสารต่อต้านเชื้อราของผลสตรอเบอรี่ (phytoalexins) หรือทั้ง 3 สาเหตุรวมกัน นอกจากนี้ Ghaouth *et al.* (1992) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ต่อ โดยการนำเอาผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonifer* แล้วเคลือบผิวผลสตรอเบอรี่ด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเกิดโรคจากเชื้อราทั้ง 2 ชนิดลดลง และกลไกการเกิดโรคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นตัวยับยั้งเชื้อรามากกว่าความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของ chitinase, chitosanase และ β-1,3-glucanase ไคโตซานมีผลอย่างมากในการยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดนี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ สอดคล้องกับ Du *et al.* (1992) ซึ่งศึกษาการยับยั้งการเกิดโรคจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* ของไคโตซานที่เคลือบผิวผลแอปเปิลพันธุ์ Jonagold โดยพิจารณาจากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning Electron Micrograph) พบว่า ไคโตซานสามารถยับยั้งการงอกของ conidia และการเจริญของ hypha ในเชื้อ *Botrytis cinerea* ได้ โดยให้เหตุผล 2 ประการ ประการแรกคือ เกิดจาก phytoalexin และเอนไซม์บางชนิดที่ถูกกระตุ้นโดยไคโตซานให้ไปยับยั้งการงอกของ conidia และประการที่สองคือ ลักษณะผิวที่ตึง เรียบ ไม่มีรอยแตก ของผลแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน ดังนั้นจึงเกิดการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ยาก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกด้วยไคโตซานความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ หลังแช่ผลในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52 และ 55 องศาเซลเซียส นาน 5 และ 10 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่า การแช่ผลมะม่วงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และ 55 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรกโนสได้ดีที่สุด (วิทวัส, 2545) นอกจากนี้มีการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการงอกสปอร์ของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporoides* ที่ปลูกเชื้อบนผลมะม่วง แล้วจุ่มผลมะม่วงที่ปลูกเชื้อในสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 800 และ 1600 µg/ml ที่ pH 4.0 และ 4.5 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 800 µg/ml pH 4.5 สามารถยับยั้งการ งอกของสปอร์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ธวัชและสมศิริ, 2546) และมีการศึกษาการปลูกเชื้อ *Colletotrichum* sp. ซึ่งเป็นสาเหตุโรคแอนแทรกโนสบนผลมะละกอหลังการเก็บเกี่ยว โดยปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของเชื้อราความเข้มข้น 10×10^5 สปอร์/มิลลิลิตร แล้วเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการใช้บีโนมิลความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อราไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ และบีโนมิล 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอายุการเก็บรักษานาน 6 วัน โดยไม่มีอาการของโรค แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผลที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวที่มีอายุเก็บรักษานาน 4 วัน (นันท์นภัสและคณะ, 2546) และจากการเคลือบผิวผลลิ้นจี่พันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Huaizhi ด้วยสารละลายไคโตซาน สามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่ได้ และยังช่วยยับยั้งการเกิดโรคได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ (Zhang and Quantick, 1997) นอกจากนี้การใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลลำไย แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า การเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานช่วยลดอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักของผลลำไย นอกจากนี้ยังมีผลชะลอการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผลลำไย และมีผลยับยั้งการเน่าเสียของผลลำไยในระหว่างการเก็บรักษา (Jiang and Li, 2001) การใช้สารละลายไคโตซานจากเปลือกกุ้งและแกนหมึกความเข้มข้น 0, 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-35 องศาเซลเซียส) พบว่า การเคลือบผิวด้วยไคโตซานทำให้ส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าส้มโอที่ไม่ได้เคลือบผิว (เบญจมาสและคณะ, 2546) นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้สารละลายไคโตซานในการเคลือบผิวของผักหลายชนิด ได้แก่ มะเขือเทศ แตงกวา และพริกหยวก พบว่า สามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ และลดอัตราการผลิตก๊าซเอทธิลีนด้วย ซึ่งทำให้ผักผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยวย่น สีผิวไม่เปลี่ยนแปลง (Ghouth *et al*., 1991b) สอดคล้องกับการทดลองของ Ghouth *et al*. (1992) ซึ่งพบว่าการเคลือบผิวผลมะเขือเทศด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้ดีกว่ากลุ่มที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ และดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดโรคจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* ลดลง ซึ่งเชื้อราชนิดนี้เป็นเชื้อสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคในมะเขือเทศ และเมื่อเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจะต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในปี พ.ศ. 2536 ไพรัตน์และคณะ รายงานว่า การใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสารฆ่าเชื้อรา ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นาน 24 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±1 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 82±5 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 11±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85±5 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวได้นานถึง 56 วัน นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถเคลือบบนผิวเครื่องเทศได้ เพื่อรักษาและป้องกันการสูญเสียกลิ่นของเครื่องเทศจากการสเตอริไรซ์ด้วยไอน้ำ (Patent Abstracts of Japan, 1998) และยังมีการใช้ไคโตซานในการเคลือบบนผิวไข่เพื่อรักษาความสดของไข่ให้ยาวนานยิ่งขึ้นโดยคุณภาพ เช่น ลักษณะของไข่แดง ความหนาของไข่ขาวและรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งมีผลทำให้เปลือกไข่มีความแข็งขึ้น ป้องกันการแตก ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง (Patent Abstracts of Japan, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไคติเนส (chitinase) (Shaikh and Deshpande, 1993)

ไคติเนส เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม hydrolase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการสลายไคตินให้เป็น monomer ของ *N*-acetylglucosamine (GlcNAc) เอนไซม์กลุ่มนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. Endochitinase หรือ chitinase มีชื่อทางเคมีว่า poly-β-1,4-(2-acetamido-2-deoxy)-D-glycoside glycanohydrolase : E.C.3.2.1.14 จะสลายไคตินแบบสุ่มตรงตำแหน่ง β-1,4 glycosidic bond ที่เชื่อมต่อ GlcNAc แต่ละหน่วยภายในสายของโพลิเมอร์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ oligomer เช่น chitotetraose, chitotriose และ diacetylchitobiose เป็นต้น

2. Exochitinase หรือ *N*-acetylglucosaminase หรือ chitobiase มีชื่อทางเคมีว่า chitobiose acetamidodeoxyglucohydrolase : E.C.3.2.1.29 จะสลายไคตินโดยตัด GlcNAc จากปลายที่เป็น non-reducing end ของโพลิเมอร์ของ *N*-acetylglucosamine แบ่งเป็น 2 แบบ ตามลักษณะของปฏิกิริยาการสลาย คือ chitobiosidase จะสลายไคตินจากปลายที่เป็น non-reducing end เข้ามาทีละหน่วยให้ผลิตภัณฑ์เป็น diacetylchitobiose ส่วน *N*-acetylglucosaminase จะสลายไคตินจากปลายที่เป็น non-reducing end ออกไปทีละหน่วย

จากการที่ไคติเนสเกิดปฏิกิริยาตรงตำแหน่ง β-1, 4 glycosidic bond ซึ่งในธรรมชาติพันธะนี้มีความหลากหลายมากตามแหล่งกำเนิด ทำให้เอนไซม์ไคติเนสมีความจำเพาะกับสารตั้งต้นและให้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันไป การจำแนกชนิดของไคติเนสขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

ไคติเนสเป็นเอนไซม์ที่พบในสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ ซึ่งอาจมีการสร้างเอนไซม์ชนิดนี้ขึ้นภายในเซลล์ตลอดเวลาในระดับที่ต่ำ ที่เรียกว่า constitutive enzyme หรือ ต้องมีตัวชักนำในการสร้างเอนไซม์เสียก่อน ซึ่งเรียกว่า inducible enzyme (Jeuniaux, 1996)

โดยทั่วไปจะพบไคติเนสในสิ่งมีชีวิตที่มีไคติน เช่น arthtopods และเชื้อราต่างๆ ซึ่งได้แก่ *Ascomicota*, *Basidiomycota*, *Phycomycota* และ *Deuteromycota* บทบาทของไคติเนสในสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น ได้แก่ การสร้างโครงสร้าง exoskeleton ของ arthropods และผนังเซลล์ของเชื้อรา นอกจากนี้ยังพบไคติเนสในสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่มีไคตินอีกด้วย เช่น จุลินทรีย์ในดิน ระบบทางเดินอาหารของปลา และพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แหล่งของเอนไซม์ไคติเนสที่พบได้ในสิ่งมีชีวิต (ตาราง 1)

1. พืช (plant)

เซลล์พืชปกติแล้วไม่มีไคตินเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อพืชถูกรุกรานจากการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคหรือเมื่อเกิดบาดแผลและความเครียดต่างๆ พืชจะผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น chitinase, β-1,3-glucanase, PR-protein like chitinase, proteinase และ proteinase inhibitor เพื่อใช้ป้องกันตัวเองจากเชื้อสาเหตุของโรค โดยกลไกในการป้องกันตนเองแบบ active defense mechanism (Robert and Selitrennikoff, 1988 ; Chang *et al*., 1995) ในบริเวณส่วนของต้นพืชที่เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย เช่น ราก ใบ และเมล็ด จะมีการสะสมของ chitinase mRNA เพื่อทำให้พืชต้านทานต่อการรุกรานของราโรคพืชได้

ไคติเนสที่พืชสร้างขึ้นทำหน้าที่สลายไคตินที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของเชื้อราก่อโรคหรือเปลือกของแมลงศัตรูพืชให้เกิดความเสียหาย มีรายงานการตรวจพบไคติเนสในพืชหลายชนิด เช่น ยาสูบ ข้าว ถั่ว น้ำยางพารา ข้าวสาลี และมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบได้ในสาหร่ายทะเล (Fravel *et al*., 1988 ; Roberts and Selitrennikoff, 1998)

2. สัตว์ (animal)

สัตว์พวกแมลง และสัตว์ทะเลที่มีเปลือก เช่น ปู กุ้ง จะมีไคตินเป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะพบไคติเนสได้ในสัตว์พวกนี้ ส่วนในปลาและสัตว์เลื้อยคลานบางชนิดที่ไม่มีไคตินเป็นส่วนประกอบแต่ใช้ไคตินเป็นอาหารได้ จะพบไคติเนสที่บริเวณตับอ่อนและกระเพาะอาหาร (พลับพลึง, 2540)

นอกจากนี้ Matsumiya *et al*. (1998) ได้ศึกษาเอนไซม์ไคติเนสจากปลาหมึกกล้วย 4 สายพันธุ์ พบว่า มีไคติเนสเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหาร ลำไส้ และบริเวณตับจะพบเอนไซม์ชนิดนี้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ ในหอยพัดและหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) นั้นพบไคติเนสได้ที่บริเวณเปลือกหอย ส่วนพวกแมลง *Bombyx mori*, *Manduca sexta* และแมลงสายพันธุ์อื่นๆ จะใช้ไคติเนสเพื่อการลอกคราบ

3. จุลินทรีย์ (microorganism)

จุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และราบางชนิด จะสร้างเอนไซม์ไคติเนสเพื่อนำมาใช้งานด้านการควบคุมทางชีวภาพได้ เช่น

3.1 แบคทีเรีย

โดยปกติไม่พบว่ามีไคตินเป็นองค์ประกอบในเซลล์ แต่สามารถพบไคติเนสได้ในแบคทีเรียพวกที่ใช้ไคตินเป็นแหล่งคาร์บอน เช่น *Aeromonas hydrophila* (Hiraga *et al*., 1997), *Serratia marcescens* (Khoury *et al*., 1997), *Pseudomonas aeruginosa* (Wang *et al*., 1999),

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Vibrio alginolyticus (Ohishi *et al*., 1999), *Xanthomonas sp*. (Yamaoka *et al*., 1999), และ *Bacillus cereus* (Wang *et al*., 2001) เป็นต้น ไคติเนสที่ผลิตจากแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นสารควบคุมชีวภาพ หรือใช้ย่อยสลายของเหลือทิ้งที่มีไคตินเป็นองค์ประกอบ และเปลือกกุ้งและปู เพื่อให้ได้ไคตินและไคโตซานในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (Kapat *et al*., 1996 ; Khoury *et al*., 1997 ; Mahadevan and Crawford, 1997)

3.2 แอคติโนมัยซีส

ในแอคติโนมัยซีสปกติแล้วไม่พบว่ามีไคตินเป็นองค์ประกอบในเซลล์ แต่พบว่ามีแอคติโนมัยซีสบางชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ไคติเนสได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่ม *Streptomyces* spp. เช่น *S. olivaceoviridis* (Romaguera *et al*., 1993) และ *S. kurssanovii* (Tikhonov *et al*., 1998)

3.3 ราและยีสต์

เชื้อราส่วนใหญ่จะสร้างไคติเนสเพื่อใช้ในการสลายตัวเพื่อปล่อยสปอร์ โดยให้เกิดการยืดยาวออกไปของ stipe *Basidiomicetes* บางชนิดจะมีการสร้างไคติเนสเพื่อสลายเส้นใยอาหารและย่อยสลายอาหารเหล่านั้นให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้ในขั้นตอนการเจริญของเส้นใยและเพื่อการ differentiation ซึ่งเอนไซม์ไคติเนสที่พบในเชื้อราส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านสารควบคุมชีวภาพควบคุมเชื้อราก่อโรคและแมลงศัตรูพืช ตัวอย่างเช่น *Myrothecium verrucaria* (Vyas and Deshpande, 1989), *Trichoderma* spp. (Kapat *et al*., 1996), *Paecilomyces varioti* (Gautam *et al*., 1996), *Beauveria bassiana* (Suresh and Chandrasekaran, 1998) และ *Penicillium ianthinellum* (Fenice *et al*., 1998) ส่วนยีสต์ที่มีไคตินเป็นองค์ประกอบ เช่น *Saccharomyces cerevisiae* จะสร้างไคติเนสในระยะที่มีการแบ่งเซลล์หรือระยะแตกหน่อ (Shaikh and Deshpande, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1 ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่ผลิตเอนไซม์ไคติเนส (Punya, 1994)

แหล่งสารตั้งต้น	สารตั้งต้น
พืช	
Wheat germ	Chitin
Yam (*Disocorea oppsita*)	Glycol chitin
Bean (*Phasiolus vulgaris*)	Chitin
สัตว์	
Hornworm (*Manduca sexta*)	Glycol chitin
Stable fly (*Stomoxis calcitrans*)	Chitin
Spider (*Cupiennius salei*)	Chitin
Calf serum	Glycol chitin
จุลินทรีย์	
Serratia marcescens	Chitin
Streptomyces antibioticus	Chitin
Streptomyces griseus	Chitin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved