บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 พฤกษศาสตร์ของบัวบก

บัวบกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (L.) Urban วงศ์ Umbelliferae (หรือ Apiaceae) และชื่อสากลทั่วไป คือ Asiatic pennywort, Gotu-cola, Gotu kola, Indian pennywort และ Indian water Navelwort อนุกรมวิธานของบัวบกแสดงในรูปที่ 2.1 บัวบกเป็นพืชพื้นบ้านของไทยและของประเทศในเขตร้อนถึงเขตอบอุ่น และแพร่กระจายพันธุ์ไปอย่างกว้างขวางทั่วโลก สรรพคุณตามตำราแพทย์แผนไทย ใช้บัวบกรักษาอาการช้ำใน บำรุงหัวใจ บำรุงกำลัง รักษาอาการอ่อนเพลีย ขับปัสสาวะ รักษาโรคผิวหนัง และรักษาบาดแผล เป็นต้น

บัวบกเป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี ลำต้นทอดเลื้อยไปตามพื้นดิน เรียกว่าไหล (stolen) มีรากและใบงอกตามข้อของลำต้น ใบเดี่ยวรูปกลม ขอบใบหยัก ก้านใบยาวชูขึ้น ดอกออกเป็นช่อคล้ายร่มที่ซอกใบ แต่ละช่อมีประมาณ 3 - 4 ดอก กลีบดอกสีม่วงอมแดง เกสรตัวผู้สั้น ผลแบน (รูปที่ 2.2) บัวบกเป็นวัชพืชในเขตร้อน พบตามที่ชื้นแฉะทั่วไป ถิ่นกำเนิดเดิมพบในอินโดนีเซีย อินเดีย ศรีลังกา ในประเทศไทยพบได้ทุกภาค

Kingdom Plantae (-plants)
Subkingdom Tracheobionta (-vascular plants)
Superdivision Spermatophyta (-seed plants)
Division Magnoliophyta (-flowering plants)
Class Magnoliophyta (-dicotyledons)
Subclass Rosidae
Order Apiales
Family Apiaceae / Umbelliferae (-carrot family)
Genus *Centella* L.
Species *Centella asiatica* (L.) Urban

รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นทางอนุกรมวิธานของบัวบก

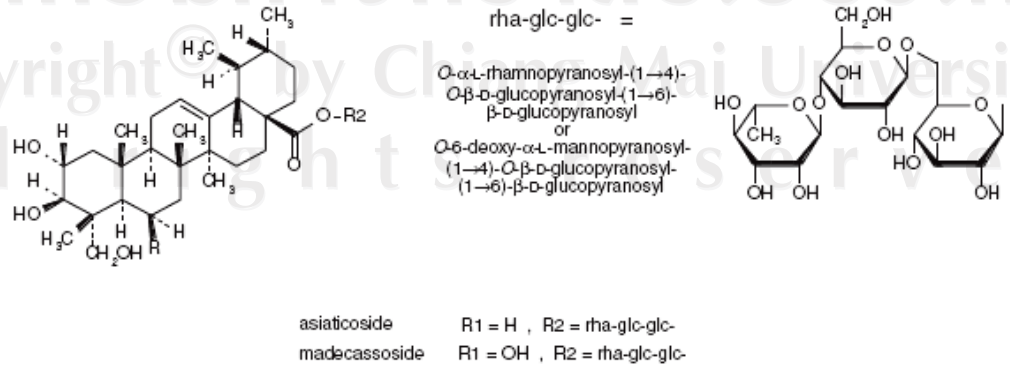
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัวบกเป็นพืชสมุนไพรที่บรรจุอยู่ใน world health organization monographs นอกจากนั้นยังมี Monographs ของบัวบกอยู่ในหลายประเทศ เช่น จีน ใน Chinese Pharmacopoeia: Centella, เยอรมนี ใน HAB1: Centella, อังกฤษ ใน British Herbal Phamacopioea: Centella; Martindale, The Extra Pharmacopioea: 1600-d Centella และ ไทย ใน Herbal Pharmacopoeia Supplement

รูปที่ 2.2 บัวบก (http://www.horapa.com/content.php?Category=Herb&No=675)

2.2 สรรพคุณของบัวบก

สารเคมีในบัวบกหลายชนิดมีสรรพคุณในการรักษาโรคส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม triterpene saponin และ triterpene acids sugar ester สารที่มีการศึกษากันมาก ได้แก่ madecassosides และ asiaticosides (รูปที่ 2.3) โดยมีปริมาณสารที่พบอยู่ระหว่าง 1 - 8% ทั้งนี้ขึ้นกับแหล่งวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของบัวบกในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2550)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ madecassoside และ asiaticoside (WHO, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของบัวบกในประเทศไทยในสัดส่วน 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
พลังงาน	44	แคลอรี่
น้ำ	86	กรัม
โปรตีน	1.8	กรัม
ไขมัน	0.9	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.1	กรัม
กากหรือเส้นใย	2.6	กรัม
เถ้า	1.7	กรัม
แคลเซียม	146	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	30	มิลลิกรัม
เหล็ก	3.9	มิลลิกรัม
วิตามินเอรวม	10,962	IU
Thiamin	0.24	มิลลิกรัม
Riboflavin	0.09	มิลลิกรัม
Niacin	0.8	มิลลิกรัม
วิตามินซี	4	มิลลิกรัม
เบต้าแคโรทีน	238.23	RE (ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล)

ที่มา : สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2550

บัวบก เป็นสมุนไพรที่มีรายงานการศึกษาวิจัยทั้งจากการศึกษาในสัตว์ทดลองและในหลอดทดลองว่าสารสกัดบัวบกช่วยเร่งการสมานแผลทำให้แผลหายเร็วขึ้น ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากบัวบกทั้งที่ใช้รับประทาน และใช้เป็นยาภายนอกสำหรับใช้ในการรักษาบาดแผล Marquart *et al*. (1990) รายงานคุณสมบัติในการสมานแผลของสารสกัดบัวบกว่าเพิ่มการสังเคราะห์ collagen และทำให้ปริมาณ proline ภายในเซลล์ของ fibroblast ที่ได้จากหนังหุ้มปลายของคนเพิ่มขึ้นแบบ dose-dependent และพบว่ามี neosynthesis ของ collagen ด้วย Shukla *et al*. (1999) รายงานว่า asiaticoside ที่แยกได้จากบัวบกช่วยเร่งการสมานแผลทั้งแบบ normal- และแบบ delay- type โดยพบว่าการใช้สารละลาย asiaticoside ความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% ทาบริเวณแผลของ Guinea-pig และ streptozotozin diabetic rats ตามลำดับ ทำให้ tensile strength และปริมาณ collagen เพิ่มขึ้นและการเกิดผิวหนังขึ้นคลุมบริเวณบาดแผลเร็วขึ้น นอกจากนี้ Cheng *et al*. (2004) ได้ศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดบัวบกและ asiaticoside ในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วย acetic acid ในหนูขาว พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้สารสกัดด้วยน้ำและ asiaticoside จากบัวบกแก่หนูขาวทางปากสามารถลดขนาดของแผลเปื่อยที่เกิดขึ้นได้ โดยการออกฤทธิ์จะแปรตามขนาดของสารสกัดที่สัตว์ทดลองได้รับ

Hamid *et al*. (2002) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดบัวบกในส่วนใบ ก้าน และราก โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล น้ำ และไลท์ปิโตรเลียม พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำ ในขณะที่สารสกัดด้วยไลท์ปิโตรเลียมมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันน้อย การเพิ่มปริมาณสารสกัด (1000 - 3000 ppm) มีผลในการเพิ่มฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ส่วนรากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด นอกจากนี้พบว่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดด้วยเอทานอลมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงสุด 50°C และ pH เป็นกลาง Jayashree *et al*. (2003) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของบัวบกในหนูถีบจักร พบว่าการให้สารสกัดด้วยเมทานอลจากบัวบกแก่สัตว์ทดลองทางปากขนาด 50 มก./กก./วัน ติดต่อกันเป็นเวลา 14 วัน ทำให้ปริมาณ antioxidant enzymes เช่น superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase เพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณของ glutathione และ ascorbic acid ลดลง นอกจากนั้นยังมีรายงานของ Zainol *et al*. (2003) ที่ศึกษาปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในลำต้น ราก และใบของบัวบก พบว่าในรากและใบของบัวบกมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง นอกจากนี้ปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคยังมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (r^2 = 0.9) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคเป็นตัวส่งเสริมฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของบัวบก สำหรับในประเทศไทยมีรายงานว่าบัวบกผักพื้นบ้านของไทยนั้นมีค่าดัชนีแอนติออกซิแดนท์สูง โดยในพืชสดมีค่าดัชนี 4.65 และในพืชแห้งมีค่าดัชนี 7.98 ทั้งนี้ในตัวอย่างแห้ง 100 กรัม ประกอบด้วยสารแอนติออกซิแดนท์ เบต้าแคโรทีน 12.76 มิลลิกรัม แซนโทฟิลล์ 10.59 มิลลิกรัม วิตามินซี 3.29 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.0031 มิลลิกรัม แทนนิน 24.28 มิลลิกรัม และสารประกอบฟีนอลิค 98.44 มิลลิกรัม (นวลศรี และอัญชนา, 2545)

ระบบภูมิคุ้มกัน มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการต่อสู้หรือป้องกันร่างกายจากสิ่งแปลกปลอมที่อาจทำให้เกิดการติดเชื้อ ภาวะภูมิแพ้ รวมทั้งการเกิดมะเร็ง ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายถึงฤทธิ์ของพืชสมุนไพรในการกระตุ้นหรือเสริมระบบภูมิคุ้มกัน Wang *et al*. (2005) รายงานว่า ได้ศึกษาการสกัดเพกตินจากบัวบกแล้วนำไป deacetylation และ carboxyl-reduction พบว่า เพกตินและเพกตินที่ผ่านการย่อยแล้วมีฤทธิ์กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน คือ หมู่คาร์บอกซิลและหมู่อซิติล

ข้อมูลการศึกษาวิจัยของบัวบกมีค่อนข้างมากรวมถึงการศึกษาวิจัยทางคลินิก นอกจากงานวิจัยที่กล่าวมาแล้ว มีรายงานว่าบัวบกมีประสิทธิภาพในการใช้รักษาโรคที่เกิดจากการเสื่อมประสิทธิภาพของหลอดเลือดดำ (venous insufficiency) และหน้าท้องลาย (striae gravidarum)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้นยังพบว่า บัวบกมีฤทธิ์ต่อจิตประสาท (psycho-neurological effect) ฤทธิ์ในการปกป้องเซลล์ประสาท (neuroprotective effect) และเพิ่มการเรียนรู้และความเข้าใจ ฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและไวรัส ฤทธิ์ในการปกป้องกล้ามเนื้อและหัวใจ และฤทธิ์ในการป้องกันอันตรายจากรังสีอีกด้วย สำหรับสรรพคุณของสารสำคัญที่พบในบัวบกดังแสดงในตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตามผู้บริโภคควรระมัดระวังในการใช้บัวบกและผลิตภัณฑ์จากบัวบก โดยเฉพาะการใช้รับประทานไม่ควรรับประทานติดต่อกันเป็นเวลานาน จะต้องระมัดระวังอาการไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากมีรายงานการพบฤทธิ์คุมกำเนิดในหนูถีบจักรจึงควรระวังการใช้ในหญิงมีครรภ์ไม่ควรรับประทานในปริมาณมาก และห้ามใช้บัวบกในคนที่แพ้สมุนไพรในวงศ์นี้ (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2550)

ตารางที่ 2.2 สารสำคัญที่พบในบัวบก

สาร	สรรพคุณ	แหล่งข้อมูล
asiaticoside	เร่งการสมานแผล	Shukla *et al*. (1999)
asiatic acid และสาร derivatives	รักษาโรคสมองเสื่อม เพิ่มการเรียนรู้ และปกป้องเซลล์ประสาทจาก oxidative damage ที่เกิดจาก glutamate	Lee *et al*. (2000)
asiaticoside	มีผลป้องกันเซลล์ประสาทและเป็นพิษต่อเซลล์ประสาท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ asiaticoside และระยะเวลาที่เซลล์สัมผัส	Supawantanakul (2003)
asiaticoside	มีผลในการเสริมสร้างความจำในภาวะเสื่อมของสติปัญญาบางรูปแบบ ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติต้าน oxidation ของสารนี้	Salout (2003)
asiaticoside	ป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะของหนูขาว	Cheng *et al*. (2004)
pectin	มีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน	Wang *et al*. (2005)
asiatic acid	มีคุณสมบัติอาจจะสามารถนำไปใช้ในการรักษาโรคมะเร็งผิวหนังได้ โดยพบว่า asiatic acid ทำให้ความสามารถในการอยู่รอดของเซลล์มะเร็งผิวหนังของคนลดลง	Park *et al*. (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การแปรรูปน้ำบัวบก

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน มีต้นกำเนิดมาจากครั้งก่อนประวัติศาสตร์ซึ่งมีการแปรรูปอาหารเป็นครั้งแรกเพื่อถนอมรักษาหรือปรับปรุงคุณภาพการบริโภคอาหาร การตากเมล็ดธัญพืชเป็นตัวอย่างการยืดอายุเพื่อการเก็บรักษา หรือการย่างเนื้อเพื่อปรับปรุงกลิ่นรส ต่อมาจึงได้มีการ

พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ มาใช้ในกระบวนการแปรรูปเพื่อลดเวลาและแรงงาน เช่น การใช้แรงน้ำ แรงลม หรือแรงงานสัตว์ในการสีข้าว กระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศอียิปต์ เช่น การผลิตเนยแข็งและไวน์ แต่การแปรรูปอาหารดังกล่าวนั้นทำขึ้นเพื่อรองรับความต้องการบริโภคในครัวเรือนเท่านั้น เมื่อสังคมพัฒนาขึ้นจึงทำให้เกิดความชำนาญเฉพาะทางและเริ่มมีธุรกิจการค้าด้านอุตสาหกรรมอาหารเกิดขึ้น เช่น การผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การผลิตอาหารอบ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันนี้ (วิไล, 2543)

ในปัจจุบันการแปรรูปสำหรับอุตสาหกรรมอาหารมีวัตถุประสงค์ เพื่อ

1. ยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น โดยใช้วิธีเก็บรักษารูปแบบต่างๆ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และชะลอการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง

2. เพิ่มชนิดและรูปแบบของอาหารให้มีความหลากหลายรวมทั้งมีสี กลิ่น รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน เรียกว่า คุณภาพการบริโภค (eating quality) หรือคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory หรือ organoleptic quality) รวมทั้งการแปรรูปอาหารให้มีรูปแบบที่เปลี่ยนไป เช่น เปลี่ยนจากเมล็ดธัญพืชเป็นแป้งเพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

3. ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการหรือปริมาณสารอาหารให้เหมาะสมกับสุขภาพร่างกายของกลุ่มบุคคล เรียกว่า คุณภาพทางโภชนาการ (nutritional quality)

4. เพื่อทำให้เกิดผลกำไรในเชิงธุรกิจของอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องจากปัจจุบันวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนไทยเปลี่ยนไปจากเดิม ความต้องการประเภทอาหารก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น เคยต้องการอาหารที่เก็บได้นาน ก็เปลี่ยนเป็นต้องการอาหารที่สะดวกและง่ายต่อการปรุงและบริโภค เป็นอาหารที่เก็บรักษาในสภาพแช่แข็งได้ และเป็นอาหารที่ทำให้มีสุขภาพดี ทำให้อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหารและกระบวนการผลิต รวมทั้งต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น โดยเปลี่ยนไปใช้กระบวนการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (นิธิยา, 2544)

เนื่องจากคุณประโยชน์ของบัวบกที่มีมากมาย จึงมีการนำบัวบกมาใช้อย่างหลากหลาย ทั้งในรูปอาหาร สมุนไพร และเครื่องสำอาง นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำบัวบกเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ในอดีตการเตรียมน้ำบัวบกมักจะเตรียมสดวันต่อวัน โดยเก็บรักษาในที่เย็นเพื่อรักษาสีและกลิ่นรสของน้ำบัวบกซึ่งจะต้องขายให้หมดภายในหนึ่งวัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเน่าเสียอันเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์และสูญเสียรสชาติ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการแปรรูปน้ำบัวบกเพื่อให้สามารถเก็บได้นานขึ้นโดยการทำเป็นเครื่องดื่มผง นอกจากนี้ยังมีความสะดวกในการรับประทานอีกด้วย และเพื่อรองรับการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จัดทำ “โครงการมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน” โดยได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์บัวบกผง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ใบบัวบกผงชงดื่ม มผช.167/2546 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

2.4 การทำแห้งอาหาร

การกำจัดน้ำหรือการทำแห้ง (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2543)

การทำแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (hot air drier) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ sublimation) การอบ (baking) เป็นต้น ซึ่งอาหารแห้งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณ 2 - 3% ทำให้ลดค่า a_w ในอาหารให้น้อยลงด้วยจึงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่อน้ำในอาหารลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และแอคทิวิตีของเอนไซม์ได้ (นิธิยา, 2544)

2.4.1 การทำแห้งอาหารโดยใช้ความร้อน

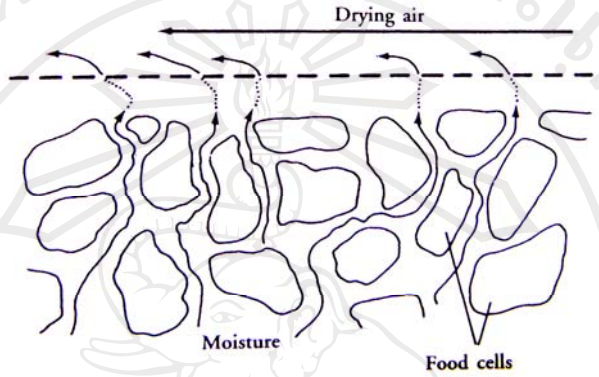
การทำแห้งอาหารโดยใช้ความร้อน เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อไล่น้ำออกจากอาหารให้เหลืออยู่ในปริมาณน้อยที่สุด เช่น การตากแดด (sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) ตู้อบแห้งแบบใช้ลมร้อน (hot air drier) ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum shelf drier) เป็นต้น

กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียก ความร้อนจะถ่ายเทไปที่ผิวด้านนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอและแพร่กระจายผ่าน boundary film ของอากาศพาไอระเหยออกไปโดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ (รูปที่ 2.4) ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหารได้ด้วยกลไก ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. เคลื่อนที่โดย capillary force
2. เคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายของน้ำเนื่องจากตัวถูกละลายมีความเข้มข้นแตกต่างกันที่บริเวณต่างๆ กันในชิ้นอาหาร
3. น้ำจะถูกดูดซับด้วยชั้นของตัวถูกละลายออกมาอยู่ที่ผิวของอาหาร
4. ไอน้ำที่ระเหยออกไปในอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง

2.4.2 การทำแห้งอาหารแบบแช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ การแช่แข็งอาหารให้แข็งในอุปกรณ์แช่เยือกแข็ง อาหารชิ้นเล็กๆ จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กๆ เพราะจะไม่ทำลายโครงสร้างเซลล์ของอาหาร หากอาหารเป็นของเหลวอาจแช่แข็งโดยใช้วิธีช้าได้ หลังจากนั้นนำอาหารแช่แข็งไปใส่ในตู้อบสุญญากาศที่ลดความดันต่ำลงประมาณ 4.58 ทอรร์ (610.5 พาสคาล) ซึ่งจะทำให้ความดันไอน้ำในอาหารลดต่ำด้วย น้ำที่อยู่ในสภาพน้ำแข็งจะระเหิดกลายเป็นไอโดยไม่หลอมละลายเป็นของเหลว ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกดูดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศ และกลั่นตัวบน refrigeration coils

เมื่อนำอาหารแห้งที่ได้จากการทำแห้งโดยวิธีการปกติ มาแช่น้ำให้คืนตัว อาหารแห้งไม่สามารถกลับคืนได้เหมือนสภาพสด เพราะระหว่างกระบวนการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย การสูญเสียสารให้กลิ่น และผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีคล้ำ การทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง เป็นการทำแห้งหรือลดค่า a_w โดยไม่ใช้ความร้อน อาหารแห้งที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและคงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไว้เป็นอย่างดี การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น อาหารจะเกิดการเสียหายน้อยมาก เมื่อนำอาหารแห้งมาแช่น้ำจะคืนรูปได้อย่างรวดเร็วและค่อนข้างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเกือบเหมือนธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ การอบแห้งอาหารอย่างรวดเร็วจะสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการอบแห้งอย่างช้าๆ การทำผักอบแห้งโดยการตากแดดจะสูญเสียวิตามินซีมาก แต่การทำให้ผักแห้งโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะสูญเสียวิตามินน้อยลง ในประเทศไนจีเรียได้มีการศึกษาผลของการทำแห้งโดยการตากแดดผัก 10 ชนิด พบว่า ผักแห้งสูญเสียวิตามินซีประมาณ 21 - 58% ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผัก การทำแห้งโดยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยเพราะเป็นกระบวนการที่ทำในภาวะสุญญากาศ (นิธิยา, 2544)

ข้อแตกต่างระหว่างการทำแห้งแบบธรรมดาและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 2.3 อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จากการสำรวจอุตสาหกรรมอาหารในปี 1981 โดยประชาคมเศรษฐกิจยุโรป พบว่าการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมแปรรูปชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ได้เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการแปรรูปมันฝรั่งด้วยกระบวนการแปรรูปต่างๆ (วิไล, 2543; นิธิยา, 2544)

ตารางที่ 2.3 การทำแห้งแบบธรรมดาและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบธรรมดา	การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
• ใช้อบอาหารได้ทุกชนิด	• ใช้อบอาหารได้ไม่ทุกชนิด
• ไม่เหมาะสมกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์	• ให้ผลดีกับเนื้อสัตว์ทั้งดิบและสุก
• ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ 37 - 93 ºC	• อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง
• ทำที่บรรยากาศปกติ	• ลดความดันบรรยากาศลงเหลือ 27 - 233 พาสคาล
• เป็นการระเหยน้ำที่ผิวอาหารให้กลายเป็นไอด้วยความร้อน	• เป็นการระเหิดน้ำจากน้ำแข็ง
• มีการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย	• มีการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายน้อยมาก
• โครงสร้างอาหารเปลี่ยนไปและมีการหดตัว	• โครงสร้างอาหารเปลี่ยนน้อยมาก
• การคืนตัวทำได้ช้าและไม่สมบูรณ์	• การคืนตัวได้รวดเร็วและค่อนข้างสมบูรณ์
• กลิ่นและรสชาติมักเปลี่ยนไปจากธรรมชาติ	• กลิ่นและรสชาติเหมือนปกติ
• ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีคล้ำ	• ผลิตภัณฑ์ที่ได้สีเกือบเหมือนธรรมชาติ
• คุณค่าทางโภชนาการลดลง	• รักษาสารอาหารส่วนใหญ่ให้คงเหลืออยู่ได้
• ค่าใช้จ่ายต่ำ	• ค่าใช้จ่ายสูงมาก

ที่มา : นิธิยา, 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 การใช้พลังงานในการแปรรูปมันฝรั่ง

	การใช้พลังงาน (เมกะจูลล์/ตัน)				
	การอบแห้งด้วยลมร้อน	การทำแห้งแบบระเหิด	การบรรจุกระป๋อง	รีทอร์ทเพาท์	การแช่เยือกแข็ง
การแปรรูป	8	42	6	4	5
การบรรจุ	1	2	14	7	7
การเก็บรักษา	0.1	0.1	0.1	0.1	32
การเก็บรักษาที่บ้าน	0	0	0	0	24
การขนส่ง	2	2	8	8	8
รวม	**11**	**46**	**28**	**18**	**52**

ที่มา : วิไล, 2543

George *et al.* (2004) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งแบบแช่เยือก (freeze drying) มีคุณภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอื่น (freeze drying, convective air, vacuum oven และ micro-convection) โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยรักษาวิตามินซี วิตามินเอ ไนอะซีน ค่าสี และอัตราการคืนรูป (rehydration rate) ของผลบลูเบอร์รี่ (*Vaccinium angustifolium*) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Grabowski *et al*. (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งหลายแบบ (vacuum, fluid bed, pulsed fluid bed และ freeze drying) พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แครนเบอร์รี่ดีที่สุด โดยตรวจสอบค่าสี รสชาติ ปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการคืนรูป (rehydration capacity)

นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำแห้งแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาการทำแห้งอาหารแบบต่างๆ

อาหาร	วิธีการทำแห้ง	คุณสมบัติ	แหล่งข้อมูล
แครอทหั่นแว่นอบแห้ง	vacuum microwave drying, air drying, freeze drying	- แครอทที่ทำแห้งแบบ vacuum microwave มีความสามารถในการคืนรูปดีกว่า ส่วน α-carotene และ vitamin C มีปริมาณสูงกว่า และมีความหนาแน่นต่ำ โดยที่แครอทมีความนุ่มกว่าแครอทที่ทำแห้งด้วยวิธี air drying - แครอทที่ทำแห้ง freeze dry สามารถคืนรูปได้ดีและสามารถรักษาคุณค่าทางอาหารได้ดีเท่ากับ vacuum microwave drying - จากการทดสอบความชอบพบว่า ผู้ทดสอบชอบแครอทอบแห้งและแครอทคืนรูป แบบ vacuum microwave drying มากกว่า	Lin *et al.* (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาการทำแห้งอาหารแบบต่างๆ (ต่อ)

อาหาร	วิธีการทำแห้ง	คุณสมบัติ	แหล่งข้อมูล
แคโรทีนอยด์ผงจากแครอทที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำแครอท	spray drying, freeze drying	- การเพิ่มอุณหภูมิและเวลา ทำให้แกรนูลของผงโรทีนอยด์แตกกระจัดกระจายเมื่อใช้ spray drying - การเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาและเวลาในการให้แสงทำให้ปริมาณ trans form ของ α-carotene, β- carotene และ lutein ในแคโรทีนอยด์ผงที่ใช้ freeze drying ลดลง โดยพบว่า α-carotene ลดลงมากที่สุด และค่าสี L และ b ลดลง ส่วนค่า a คงที่	Tan and Cheng (1998; 2000)
สมุนไพรอบแห้งชนิดต่างๆ	freeze drying, oven	- การทำแห้งแบบ freeze drying ช่วยรักษาคลอโรฟิลล์ ไรโบฟลาวิน ไนอะซีน กรดแอสคอร์บิก และแคโรทีนอยด์ ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วย oven	Mahanom *et al*. (1999)
ทูน่าอบแห้ง	air drying, vacuum drying, freeze drying	- ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบ freeze drying มี porosity มากที่สุด	Rahman (2001)
Pigeon pea seed อบแห้ง	freeze drying, hot air drying	- การทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีปริมาณ condensed tannin และ ปริมาณรวมฟีนอลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่การทำแห้ง freeze drying ช่วยรักษาคุณลักษณะของตัวอย่างได้ดีกว่า	Ferreira *et al*. (2003)
แป้งจากมันเทศ	freeze drying, hot air drying, drum drying	- วิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าสี และคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ - แป้งจากมันเทศที่ทำแห้งแบบ freeze drying ช่วยรักษา antioxidative activity ได้มากที่สุด	Hsu *et al*. (2003)
มะเขือเทศอบแห้ง	freeze drying, hot air drying	- มะเขือเทศที่ทำแห้งแบบ freeze drying มีความเป็นรีดิวซิงมากที่สุด แต่มี BHA และ α-tocopherol ต่ำ ส่วนมะเขือเทศที่ทำแห้งแบบ hot air drying มีปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคและไลโคพีนสูงสุด	Chang *et al*. (2005)
Nonenzymatic browning ในโมเดลอาหารที่มีน้ำตาลชนิดต่างๆ โดยมี L-lysine และ D-xylose เป็น reactant	freeze drying , spray drying	ตัวอย่างที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธี พบว่า - โครงสร้างทางกายภาพที่ต่างกัน - Sorption isotherm ต่างกัน - Glass transition คล้ายกัน	Miao and Roos (2005)
ไข่ผง	freeze drying, spray drying	- ระหว่างการเก็บรักษาไข่ผง พบว่า ไข่ผงที่มีค่า a_w ต่ำสุดจะเกิด cholesterol oxidation มากที่สุด และในไข่ผงที่ทำแห้งโดย spray drying เกิด cholesterol oxidation มากกว่า freeze drying	Obara *et al*. (2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาการทำแห้งอาหารแบบต่างๆ (ต่อ)

อาหาร	วิธีการทำแห้ง	คุณสมบัติ	แหล่งข้อมูล
แอปเปิ้ลอบแห้ง	freeze drying, conventional drying	- ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบ freeze drying รักษากลิ่นได้ดีที่สุด	Krokida (2005)
Soy hull pectin อบแห้ง	freeze drying, spray drying, vacuum oven drying	- การทำแห้งที่ต่างกันไม่มีผลต่อโครงสร้าง pectin - pectin ที่ทำแห้งโดย oven drying มีค่าสีที่วัดโดยระบบ Hunter ต่ำที่สุด - การทำแห้งที่ต่างกันไม่มีผลต่อการละลายและพฤติกรรมการไหลของ pectin	Monsoor (2005)
Lactose และ Lactose/pectin mixture	freeze drying, spray drying	- ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีโครงสร้างทางกายภาพและมี thermal behavior แตกต่างกัน	Haque *et al.* (2006)

2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์อาหาร

2.5.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w)

อาหารทั่วไปมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่างร้อยละ 7 - 95 น้ำที่อยู่ในอาหารมักเรียกว่า ความชื้น น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารบ้างด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง จึงมักเรียกน้ำอิสระนี้ว่า แอกทิฟวอเตอร์ (active water)

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการความชื้นมากกว่ายีสต์และเชื้อรา อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า วอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจัดอยู่ในประเภทที่มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.9 ได้แก่ แยม ทุเรียนกวน และกุ้งแห้ง เป็นต้น ส่วนอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ได้แก่ อาหารแห้ง ธัญชาติ นมผง และกาแฟ ซึ่งเกิดการเน่าเสียได้ยาก สามารถเก็บได้เป็นเวลานาน จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในอาหารสามารถเจริญในอาหารที่มี a_w ขั้นต่ำสุดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.6 (คณาจารย์, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ a_w ขั้นต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

ชนิดจุลินทรีย์	a_w ขั้นต่ำสุด
แบคทีเรีย	0.91
ยีสต์	0,88
เชื้อรา	0.80
แบคทีเรียชนิดทนเกลือได้ดี	0.75
เชื้อราชนิดทนแห้งได้ดี	0.61
ยีสต์ชนิดทนน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี	0.60
Acromobacter	0.96
Aerobacter aerogenes	0.95
Bacillus subtilis	0.95
Clostridium botulinum	0.95
Escherichia coli	0.96
Psuedomonas	0.97
Staphylococcus aureus	0.86
Sacharomyces rouxii	0.62
Salmonella	0.95

ที่มา : คณาจารย์, 2540

คำจำกัดความของ a_w คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน(P_0)

$$a_w = P / P_0 \qquad (1)$$

Raoult's law กล่าวว่า ตัวถูกละลายจะลดความดันไอของน้ำในอาหารมีผลต่อค่า a_w ลดลงไปด้วย อาหารทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบ สถานภาพของน้ำในอาหารอธิบายโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่รอบๆ อาหารนั้น อัตราส่วนของตัวเลขทั้งสองนี้คือค่า a_w

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สัมพันธ์กันกับค่าความชื้นเฉพาะหนึ่งๆ (specific moisture content) ของอาหาร เรียกว่า equilibrium relative humidity (ERH)

$$a_w = ERH / 100 \qquad (2)$$

น้ำในอาหารทำให้เกิดความดันไอซึ่งความดันไอที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

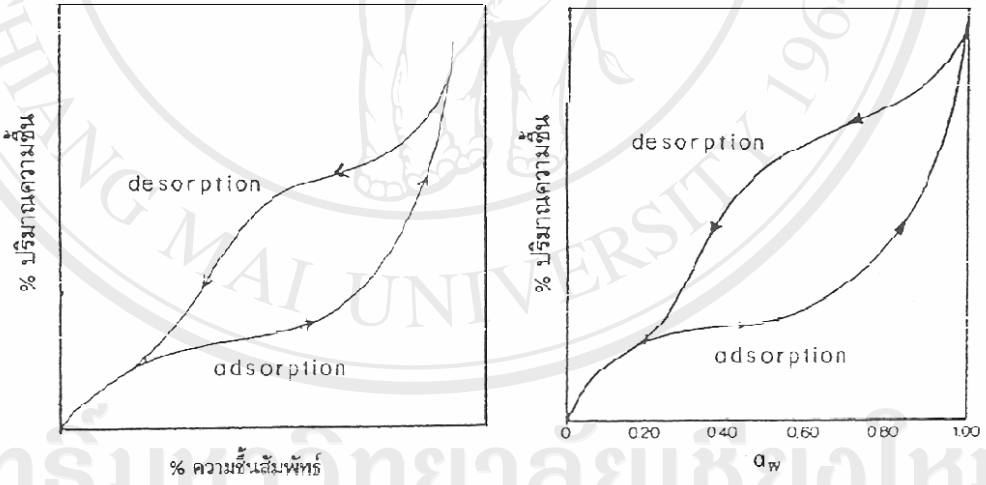
1. ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร
2. อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ความเข้มข้นของสารที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เกลือและน้ำตาล

อาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็งจะมีค่า a_w เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลงหรือมีปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่า a_w จะต่ำกว่า 1.0

การเปลี่ยนแปลงค่า a_w จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้งหรือกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ดังนั้นเมื่อนำค่า a_w มาเขียนเส้นกราฟปริมาณความชื้นในอาหารจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือ a_w กราฟนี้เรียกว่า sorption isotherms ซึ่งจะมีกระบวนการลดความชื้น (desorption) และการเพิ่มความชื้น (adsorption) เกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและจะมีผลต่อค่า a_w ด้วย (รูปที่ 2.5) กระบวนการทั้งสองจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันหรือเปลี่ยนกลับไปมา แต่มีความแตกต่างกันระหว่าง isotherms ณ ที่ความชื้นหนึ่งๆ ของอาหาร ค่า a_w ของ desorption จะต่ำกว่า adsorption หรือ ณ ที่ค่า a_w หนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอ



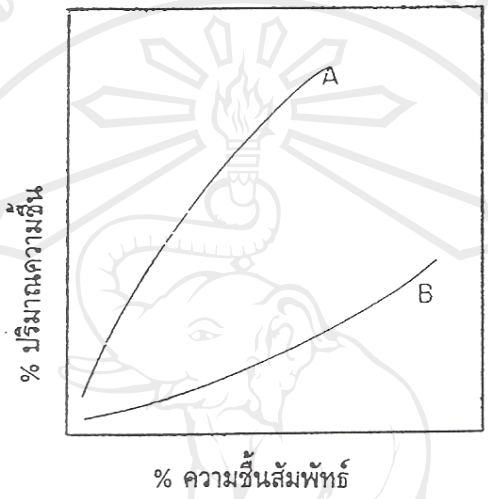
รูปที่ 2.5 sorption isotherms ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรือ a_w

กราฟ desorption isotherm เป็นการวิเคราะห์ระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับสภาวะแวดล้อม หรือความชื้นของอากาศขณะนั้น ดังนั้นจึงใช้ desorption isotherm สำหรับกระบวนการทำแห้ง

สำหรับกราฟ adsorption หรือ resorption isotherm เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherm จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product เช่น อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลและเกลือสูง และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เพิ่มขึ้น เส้นกราฟจะมีความชันน้อยอาหารประเภทนี้เรียกว่า nonhygroscopic product (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 adsorption isotherms ของสารประเภท hygroscopic product (A) และ nonhygroscopic product (B) (นิธิยา, 2545)

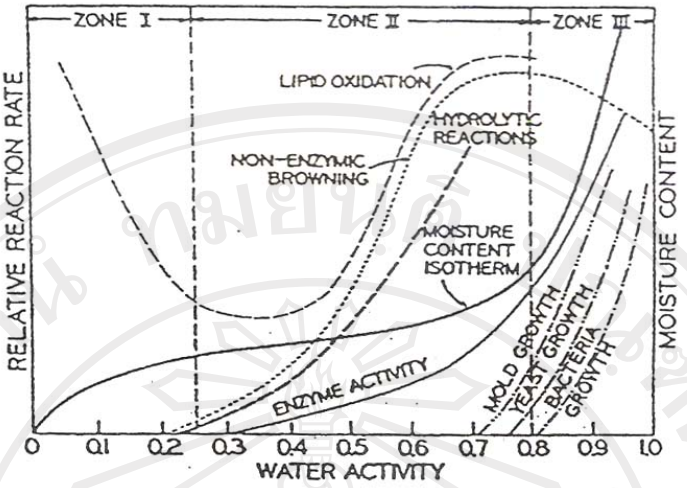
รูปกราฟ sorption isotherm โดยทั่วไปจะเป็นรูป sigmoid แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหารหรือค่า a_w

Zone I ของ isotherm เส้นกราฟค่อนข้างชันจะสอดคล้องกับ monolayer ของน้ำ ซึ่งเป็นน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่นและมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0 - 0.25 หรือ 0.3

Zone II เส้นกราฟค่อนข้างราบสอดคล้อง capillary water ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่กำจัดออกได้ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำส่วนนี้ลดลงทำให้ค่า a_w ลดลงด้วยและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย ปริมาณความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 3 - 7 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิ ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.3 - 0.8

Zone III เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้โดยง่าย น้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และถูกใช้สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อาหารจะมีน้ำประมาณ 12 - 25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า a_w มากกว่า 0.8 - 1.0 (รูปที่ 2.7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.7 อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 20ºC (นิธิยา, 2545)

a_w มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดที่เกิดขึ้นในอาหาร และอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของน้ำในอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.7 ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารซึ่งเป็นเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ จะเป็นปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้นในอาหารที่มีน้ำชนิด monolayer ซึ่งมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0 - 0.2 รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆ ก็ไม่สามารถเจริญได้จึงทำให้อาหารมีความคงตัวสูง

ตารางที่ 2.7 อัตราของปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในอาหารตามชนิดของน้ำหรือค่า a_w ที่มีอยู่ในอาหาร

ปฏิกิริยาและการเจริญของจุลินทรีย์	Monolayer water a_w 0 - 0.3	Capillary water a_w 0.3 - 0.8	Loosely bound water a_w 0.8 - 1.0
Enzymatic activity	0	ต่ำ	สูง
Nonenzymatic browning	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
Hydrolysis	0	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
Lipid oxidation	สูง	เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว	สูง
การเจริญของรา	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของยีสต์	0	ต่ำ*	สูง
การเจริญของแบคทีเรีย	0	0	สูง

* การเจริญของราและยีสต์จะเริ่มเมื่อมีค่า a_w ประมาณ 0.7

ที่มา : นิธิยา, 2544

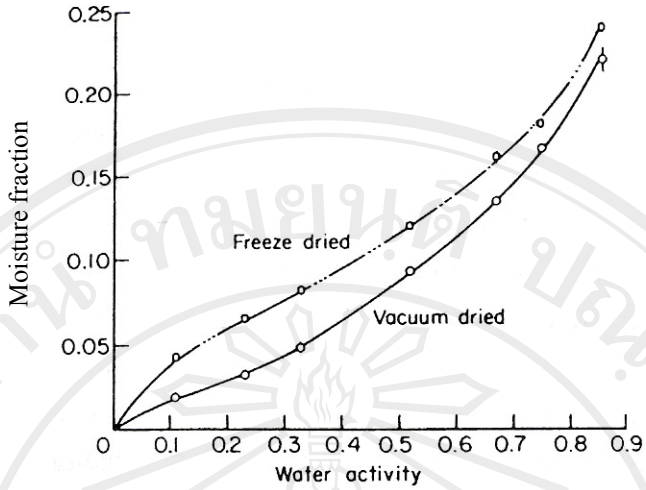
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

a_w มีบทบาทสำคัญมากต่อการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหารอบแห้ง a_w มีผลต่อปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารเน่าเสีย การเจริญหรือความคงตัวของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในอาหารซึ่งสัมพันธ์กับความคงตัวของอาหาร ปัจจุบันเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้วว่าจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่ปราศจากน้ำหรืออาหารแห้งเมื่ออาหารมี a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า แต่ยังมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้ทั้งที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เช่น ปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวหากเกิดขึ้นกับอาหารจะทำให้มีสี กลิ่น รสชาติ และความคงตัวเปลี่ยนไปด้วยระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา ดังนั้นจึงใช้ a_w เป็นตัวบ่งชี้หรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานและมีความคงตัวดี

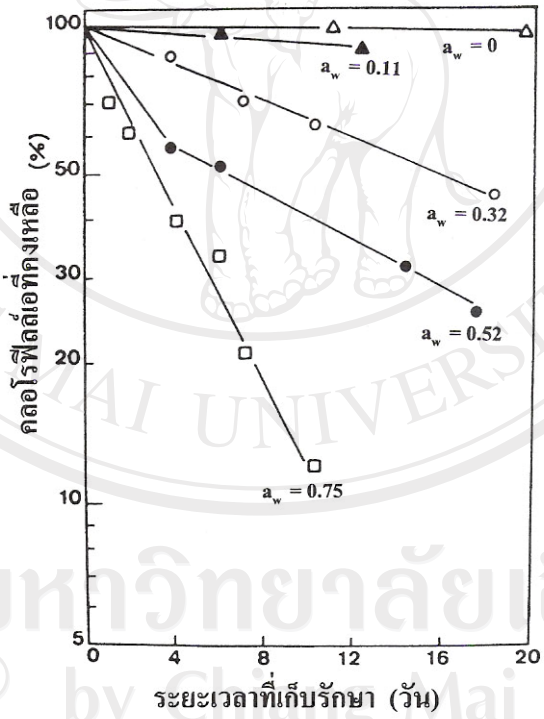
ความสัมพันธ์ระหว่าง equilibrium moisture content กับ a_w หรือ sorption isotherm เป็นคุณลักษณะสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้งและการเก็บรักษา รูปแบบของ isotherm จะเป็นตัวบ่งชี้ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาของอาหารแห้ง ซึ่งสามารถนำไปกำหนดลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่สัมพันธ์กับวิธีการอบแห้งที่ใช้ ชนิดของภาชนะบรรจุและภาวะที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งจะดูดซึม water vapour ได้มากกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศ (รูปที่ 2.8) a_w มีอิทธิพลทั้งลิพิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ เช่น การเกิด autoxidation ของลิพิดจะเกิดขึ้นได้เร็วที่ a_w ต่ำ และอัตราเร็วจะลดลงเมื่อ a_w เพิ่มมากขึ้นถึง 0.3 - 0.5 และจะเพิ่มมากขึ้นอีกครั้งหลังจาก a_w สูงกว่า 0.5 ส่วนปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อ a_w อยู่ในช่วง 0.4 - 0.6 และจะเกิดช้าลงเมื่อ a_w สูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้ และยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหาร (โดยเฉพาะอาหารที่มีกรดอะมิโนและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ) ค่า pH และค่า a_w ด้วย นอกจากนี้สิ่งที่น่าสนใจมาก คือ ช่วง a_w ที่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดจะเกิด autoxidation ของลิพิดมากที่สุด

รูปที่ 2.9 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอระหว่างการเก็บรักษาที่ผันแปรตามค่า a_w ที่อุณหภูมิ 38.6 ºC ค่า pH 5.9 หากค่า $a_w > 0.32$ คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินและขึ้นอยู่กับ ค่า pH ค่า a_w และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ส่วนแคโรทีนอยด์ในแครอทที่อบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งค่อนข้างคงตัวเมื่อ a_w อยู่ในช่วง 0.32 - 0.57 และคงตัวดีที่สุดที่ $a_w = 0.43$ ซึ่งจะมีความชื้นประมาณ 8.8 - 10% หากค่า a_w ลดต่ำลงน้อยกว่า 0.32 จะเกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์มากกว่าเมื่อ a_w เพิ่มสูงกว่า 0.57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 ความแตกต่างระหว่าง sorption isotherm ของการอบแห้งโดยวิธีแช่แข็งและวิธีสุญญากาศ (นิธิยา, 2544)



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอที่ผันแปรตาม a_w (นิธิยา, 2544)

2.5.2 ค่าสี

สีอาหารเกิดจากสารสี (pigment) ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเมื่อนำอาหารไปแปรรูปสารสีอาจถูกทำลายด้วยความร้อน ปฏิกิริยาเคมี การเปลี่ยนแปลง pH หรือเกิดออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ภายหลังการแปรรูปแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นจึงมีการใช้สีสังเคราะห์ ซึ่งมีความคงตัวต่อความร้อน แสงและการเปลี่ยน pH นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยา Maillard browning เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสีอาหาร เช่น ระหว่างการอบ หรือการทอด และอาจทำให้เกิดสีที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างการบรรจุกระป๋องหรืออบแห้ง ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารสีตามธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนแสงของแสงสี มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและการออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง ยิ่งการอบแห้งใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงยิ่งเกิดได้ง่ายและอาจเกิด browning reaction ระหว่างการเก็บรักษา หากยังมีแอคทิวิตีของเอนไซม์เหลืออยู่ สามารถป้องกันการทำงานของเอนไซม์ได้โดยนำไปลวกและใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือวิตามินซี แต่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำให้สีของแอนโทไซยานินหายไป และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างทำให้สีอาหารเปลี่ยนและผู้บริโภคบางคนอาจเกิดอาการแพ้ได้

ตารางที่ 2.8 สมบัติของสารสีธรรมชาติ

สารสี	แหล่งที่พบ	การละลาย	ความคงตัวของสารสี			
			ความร้อน	แสง	ออกซิเจน	การคงตัวใน pH
แอนโทไซยานิน	ผลไม้	น้ำ	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	ไม่คงตัว
บีตาเลน	หัวบีท	น้ำ	ปานกลาง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง
บิซิน	เยื่อหุ้มเมล็ดคำแสด	น้ำมัน	ปานกลางถึงต่ำ	คงตัวสูง	คงตัวสูง	-
แคนทาแซนทิน	เห็ด	น้ำมัน	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
คาราเมล	น้ำตาลไหม้	น้ำ	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง
แคโรทีน	ใบไม้	น้ำมัน	ปานกลางถึงต่ำ	คงตัวต่ำ	คงตัวต่ำ	คงตัวสูง
คลอโรฟิลล์	ใบไม้สีเขียว	น้ำ	คงตัวต่ำ	คงตัวต่ำ	คงตัวต่ำ	คงตัวต่ำ
เคอร์คูมิน	หัวขมิ้น	น้ำ	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	-
ออกซีไมโอโกลบิน	สัตว์	น้ำ	คงตัวต่ำ	-	คงตัวสูง	คงตัวต่ำ
พอลีฟีนอล	ใบชา	น้ำ	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวสูง
ควิโนน	รากและเปลือก	น้ำ	คงตัวสูง	ปานกลาง	-	ปานกลาง
แซนโทฟิลล์	ผลไม้	น้ำ	ปานกลาง	คงตัวสูง	คงตัวสูง	คงตัวต่ำ

ที่มา : นิธิยา, 2544

การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับ a_w และอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการเก็บรักษายิ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงยิ่งมีสีคล้ำ โดยเฉพาะเมื่ออาหารมีความชื้นมากกว่า 4 - 5% และอุณหภูมิสูงกว่า 38 ºC

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สี เป็นปัจจัยในการบ่งชี้คุณภาพของอาหารที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภค เพราะสีสามารถบ่งชี้ว่าอาหารมีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป สีธรรมชาติที่พบในผักและผลไม้คือ แคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ การรักษาสีธรรมชาติให้คงอยู่ระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งเป็นที่ยอมรับและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ทั้งแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ไม่ละลายน้ำและละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง เพราะโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่มาก (นิธิยา, 2544)

การที่สามารถมองเห็นสีวัตถุได้เมื่อมีแสงมากระทำต่อวัตถุนั้น มีปัจจัยในการเห็นสี 3 ประการด้วยกัน คือ

1. ต้นกำเนิดแสง ช่วงคลื่นแสงที่ตาคนสามารถมองเห็นได้คือ 380 - 770 นาโนเมตร แสงในแต่ละช่วงคลื่นจะให้สีต่างๆ กัน ในการวัดสีจำเป็นต้องใช้ต้นกำเนิดแสงอย่างเดียวกันทุกครั้ง ถ้าต้องการเปรียบเทียบผลของการวัดสีแต่ละครั้ง

2. วัตถุที่รับแสง เมื่อมีแสงมาตกกระทบวัตถุจะเกิดการดูดกลืนแสง หักเห หรือการสะท้อนของแสง ขึ้นกับลักษณะสมบัติของวัตถุที่รับแสง ดังนั้นแสงซึ่งตกกระทบวัตถุแล้วกลับคืนมาสู่นัยน์ตาหรือเครื่องบันทึกปริมาณแสงจึงแตกต่างกันไปทำให้เห็นสีต่างๆ กัน หรือมีความมันวาวแตกต่างกัน

3. ตัวบันทึกปริมาณแสง เมื่อมองดูวัตถุนัยน์ตาคือตัวบันทึกปริมาณแสง โดยทั่วไปนัยน์ตาคนจะสามารถบันทึกปริมาณแสงในช่วงคลื่นประมาณ 380 - 770 นาโนเมตร เท่านั้น ถ้านัยน์ตามีความผิดปกติจะทำให้การเห็นสีผิดไปได้ ในกรณีของเครื่องมือวัดสีตัวที่บันทึกปริมาณแสงคือชิ้นส่วนในเครื่องซึ่งมีความไวต่อปริมาณแสง เช่น photosensitive cell ในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นต้น จากหลักการเห็นสีดังกล่าวข้างต้นทำให้เกิดการวัดสีแบบต่างๆ กัน ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ การวัดสีโดยใช้ระบบ CIE การวัดสีโดยใช้ระบบสีของมันเซลล์ และการวัดสีโดยใช้ระบบสีของฮันเตอร์ (คณาจารย์, 2540)

ค่าของสีในระบบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถเปลี่ยนปรับเป็นค่าสีในระบบอื่นๆ ได้ เช่น เมื่อมีค่าของสีในระบบ CIE สามารถเปลี่ยนเป็นระบบมันเซลล์ได้โดยใช้วิธีของ ASTM: D 1535-80 (1985) สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงค่าสีในระบบ CIE L*C*H°

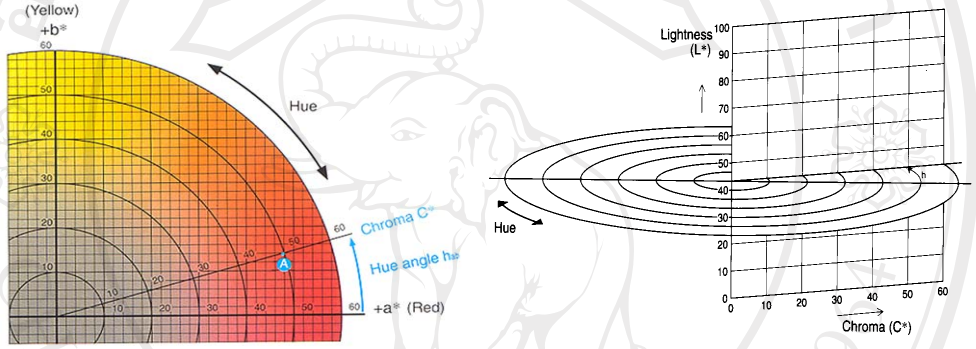
ระบบสี L*C*H° ใช้ไดอะแกรมเดียวกับระบบสี L*a*b* แต่ใช้ cylindrical coordinate แทน rectangular coordinate (รูปที่ 2.10) ในระบบสีนี้ ค่า L* คือ ความสว่าง (lightness) ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับค่า L* ในระบบสี L*a*b* ส่วนค่า C* คือ ความเข้มสี (chroma) โดยค่าของ C* เป็น 0 ที่แกนกลางและเพิ่มขึ้นตามระยะจากแกนกลาง และค่า H° คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มุมของค่าสี (hue angle) ค่า hue angle จะเริ่มที่แกน +a*(สีแดง) โดยแสดงค่าเป็นมุม คือ 0° จะเป็น +a* (สีแดง), 90° จะเป็น +b* (สีเหลือง), 180° จะเป็น –a* (สีเขียว) และ 270° จะเป็น –b* (สีน้ำเงิน) ค่าสีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้ (อรุณี, 2547)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \qquad (3)$$

$$H^\circ = \tan^{-1}\frac{b^*}{a^*} \qquad (4)$$



(ก) (ข)

รูปที่ 2.10 (ก) ไดอะแกรมแสดงค่าสี a*, b* และ C*
(ข) ความสว่างและความเข้มสี (อรุณี, 2547)

2.5.3 ค่า pH ของอาหาร

pH ของอาหารมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญและการทำลายจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญได้ดีในอาหารที่มี pH ในช่วง 5.5 - 7.0 แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่ทนต่อกรดจึงเจริญได้ดีเฉพาะในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามแบคทีเรียบางชนิด เช่น แลคติคแบคทีเรียเจริญได้ในอาหารที่เป็นกรด เช่น แหนม และนมเปรี้ยว เป็นต้น ส่วนยีสต์และราเจริญได้ในอาหารที่มี pH ต่ำหรืออาหารที่มีรสเปรี้ยว (คณาจารย์, 2540) อาหารแต่ละชนิดจะมี pH ต่างกัน แต่ส่วนใหญ่จะเป็นกลางจนถึงเป็นกรด อาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรือมี pH ต่ำจึงมักเก็บได้นานกว่าอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ

2.5.4 สารประกอบฟีนอลิค

สารประกอบฟีนอลิค มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจน จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิคมีความสามารถเป็นสารแอนตีออกซิแดนท์ที่ดี (Rice-Evans *et al.*, 1995; Shahidi &

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Naczk, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Velioglu *et al*. (1998) พบว่า สารประกอบฟีนอลิคมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผัก ผลไม้ และเมล็ดพืชบางชนิด เช่นเดียวกับ Gardner *et al*. (2000) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิคเป็นสารตัวหลักที่มีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำแอปเปิ้ล น้ำสับปะรด และน้ำผัก

Zainol *et al*. (2003) ได้ศึกษาปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในส่วนของลำต้น ราก และใบ ของบัวบก (*Centella asiatica* (L.) Urban) พบว่าส่วนรากและใบของบัวบกมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง และปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคมีความสัมพันธ์อย่างมากกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (r^2 = 0.9) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคเป็นตัวส่งเสริมฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของบัวบก สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cheung *et al*. (2002) ที่ศึกษาปริมาณรวมของสารประกอบฟีนอลิคและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากเห็ดชนิดกินได้ (mushroom edible extracts) พบว่า เห็ด Shiitake (*Lentinus edodes*) ที่สกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมากที่สุด โดยสารสกัดด้วยน้ำมีปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคมากกว่าสารสกัดจากเมทานอล และยังพบว่าปริมาณรวมสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดจากเห็ดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และให้ผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Velioglu *et al*. (1998)

2.5.5 กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี จัดเป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่พบได้ในผักผลไม้หลายชนิด เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม ฝรั่ง องุ่น สตรอเบอรี่ มะเขือเทศ กะหล่ำปลี บร็อคเคอรี่ และผักโขม วิตามินซีมีความสำคัญต่อร่างกาย คือ ช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยเสริมภูมิต้านทานของร่างกายต่อโรคภัยไข้เจ็บหลายชนิด นอกจากนี้มีการนำวิตามินซีมาใช้ในอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดโดยนำมาใช้ในลักษณะต่างๆ กันดังนี้

1. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหาร โดยเติมลงในอาหารบางชนิดที่มีวิตามินซีต่ำหรือไม่มีเลย หรือเติมลงในอาหารเพื่อทดแทนปริมาณวิตามินซีที่สูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้อาหารนั้นมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในเกณฑ์กำหนด
2. ใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากวิตามินซีสามารถจับกับออกซิเจนได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถช่วยป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับอาหาร อันจะเป็นสาเหตุให้คุณภาพของอาหารทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บ เช่น อาหารที่ผ่านการทอดน้ำมันต่างๆ นอกจากนั้นในบางกรณียังอาจช่วยให้ขั้นตอนการแปรรูปอาหารสะดวกและง่ายขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้บางชนิด ผักและผลไม้หลายชนิดเมื่อปอกเปลือกออกแล้วทิ้งไว้ให้ถูกอากาศ เนื้อเยื่อบริเวณผิวจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นทำให้ดูแล้วไม่สวยงาม เช่น มันฝรั่ง เห็ด กล้วยหอม มะพร้าว แอปเปิล แต่ถ้าปอกเปลือกแล้วแช่ในสารละลายวิตามินซีก่อนจะไม่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น นิยมใช้กับผักผลไม้ก่อนจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ วิตามินซีที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอาจอยู่ในรูปผงของกรดแอสคอร์บิก หรือเกลือโซเดียมแอสคอร์เบทบริสุทธิ์หรืออยู่ในรูปของสารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิกกับสารตัวอื่นๆ เช่น แป้งหรือเกลือแกง เพื่อช่วยให้วิตามินกระจายตัวในอาหารได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณน้อย หรือในรูปของสารละลาย เพราะวิตามินซีละลายน้ำได้ดี เวลาใช้ก็ฉีดพ่นไปบนอาหารได้โดยตรง (http://www.sc.chula.ac.th/clubs/FoodClub/page_124.htm)

หน้าที่ของวิตามินซีที่สำคัญ คือ

1. การสังเคราะห์คอลลาเจนเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฮดรอกซีเลชันของโปรลีน
2. การสลายของไทโรซีน
3. การสังเคราะห์ epinephrine จากไทโรซีนโดยเอนไซม์ dopamine beta-hydroxylase
4. การสร้างกรดน้ำดีโดยเอนไซม์ 7 alpha-hydroxylase
5. วิตามินซี พบมากที่ adrenal cortex ซึ่งจะถูกใช้อย่างรวดเร็วเมื่อต่อมถูกกระตุ้นโดยฮอร์โมน adrenocorticotropic hormone แต่ยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด
6. ช่วยส่งเสริมการดูดซึมของธาตุเหล็ก
7. เป็นแอนตีออกซิแดนท์ที่ละลายน้ำได้

2.5.6 คลอโรฟิลล์

สีของอาหารที่เกิดขึ้นเนื่องจากอาหารมีสารที่เรียกว่า รงควัตถุ ซึ่งมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ สีเขียวของผักใบเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ หรือสีเหลือง สีส้ม และสีแดงเนื่องจากสีของแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ดังนั้นสีของอาหารส่วนใหญ่จึงเป็นสีที่ได้จากธรรมชาติ แต่มีอาหารบางชนิดมีการเติมสีสังเคราะห์ลงไป สีที่เติมลงไปนี้จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่ง

อาหารที่ได้จากธรรมชาติทั้งที่มาจากพืชและสัตว์จะมีชนิดของรงควัตถุแตกต่างกัน นอกจากนี้รงควัตถุที่ได้จากพืชแต่ละชนิดยังมีสมบัติแตกต่างกันอีกด้วย รงควัตถุที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติที่ได้จากพืชสามารถจำแนกออกตามสมบัติของการละลายได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ และกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบในพืชโดยเฉพาะผักใบเขียวและผลไม้บางชนิด คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี และยังมีคลอโรฟิลล์อีก 3 ชนิด ที่พบในแบคทีเรียและสาหร่าย สำหรับคลอโรฟิลล์ที่พบในพืชชั้นสูงมีอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์เอต่อคลอโรฟิลล์บีประมาณ 3 : 1 และอยู่ในพลาสติด เรียกว่า คลอโรพลาสต์ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยเล็กๆ เรียกว่า grana และโครงสร้างของ grana จะประกอบด้วย lamellae โดยมีโมเลกุลคลอโรฟิลล์ฝังตัวอยู่ที่ lamellae และเกาะตัวอยู่กับลิปิด โปรตีน และไลโพโปรตีน

คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโครงสร้างเป็น tetrapyrole ซึ่งวงแหวนพอร์ไฟรินอยู่ในรูปไดไฮโดร และมีแมกนีเซียมอะตอมอยู่ตรงกลาง มีหมู่เมธิลที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 และ 8 มีหมู่ vinyl ที่ตำแหน่ง 2 หมู่เอธิลตำแหน่ง 4 หมู่ propionate ที่ตำแหน่ง 7 ถูกเอสเตอริไฟด์ด้วยไฟทิลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) มีหมู่ keto ที่ตำแหน่ง 9 และหมู่ carbomethoxy ที่ตำแหน่ง 10 ทำให้คลอโรฟิลล์เอมีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ คลอโรฟิลล์บีมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับคลอโรฟิลล์เอ ยกเว้นตำแหน่งที่ 3 ซึ่งในคลอโรฟิลล์เอเป็นหมู่เมธิลแต่คลอโรฟิลล์บีเป็นหมู่ฟอร์มิล (formyl) และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ สำหรับไฟทิลแอลกอฮอล์หรือไฟทอล (phytol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 20 อะตอม มีโครงสร้างเป็นไอโซพรีนอยด์ (รูปที่ 2.11)

ในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมอิออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอมทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive – brown) ได้โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส เกิดการสูญเสียหมู่ไฟทิลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ทำให้คลอโรฟิลไลด์ละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เนื่องจากแสง

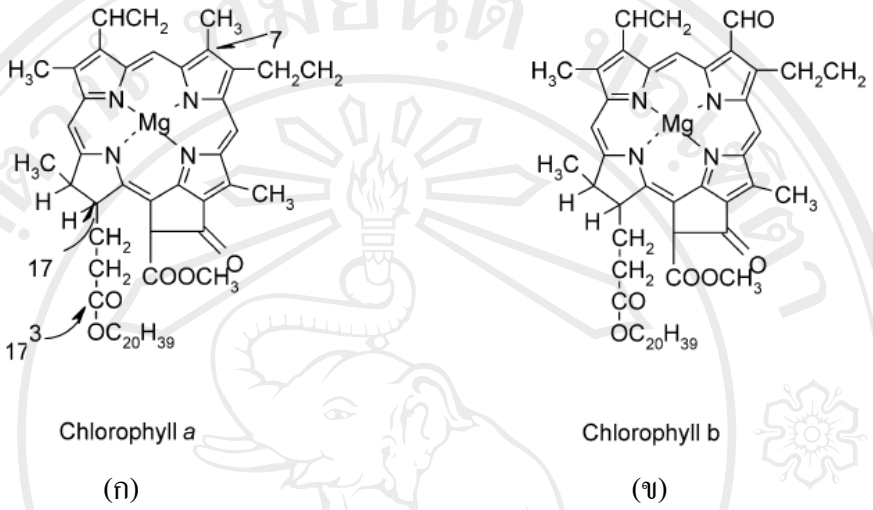
เมื่อคลอโรฟิลล์ถูกแสงและออกซิเจน สีจะจางลงและทำให้กลับคืนไม่ได้ไม่ว่าจะอยู่ในใบพืชหรืออยู่ในสารละลาย นอกจากนี้คลอโรฟิลล์เอจะสลายตัวได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บี

ความคงตัวของคลอโรฟิลล์ในอาหารอบแห้ง

ค่า a_w ในอาหารแห้ง มีผลต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ที่ภาวะ a_w สูงจะทำให้จุลินทรีย์เจริญและเกิดปฏิกิริยาที่เร่งเอนไซม์ได้ง่าย หากอาหารแห้งมีค่า a_w ต่ำ จะทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอในการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นฟีโอไฟติน ผล

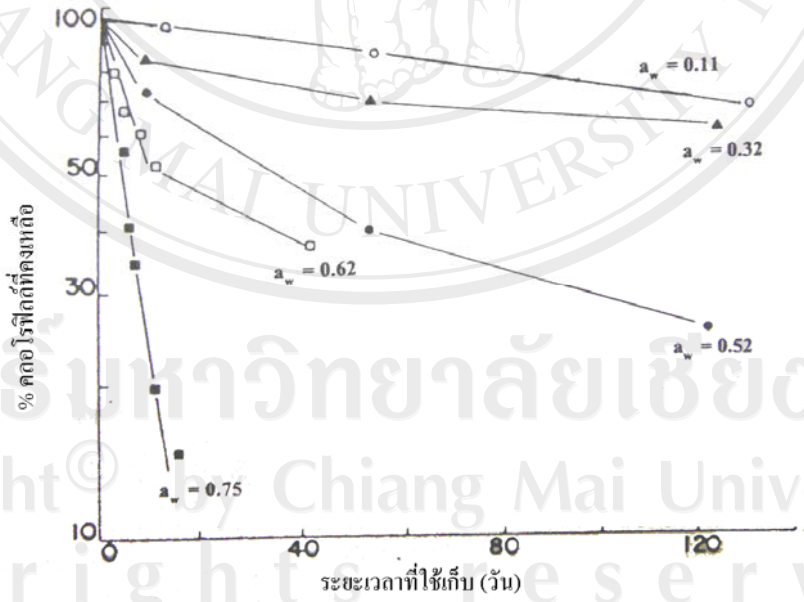
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผักโขม พบว่าเมื่อค่า a_w อยู่ในช่วง 0 - 0.32 คลอโรฟิลล์จะมีความคงตัวดีระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37ºC เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.52 - 0.75 จะมีฟีโอไฟตินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (นิธิยา, 2545)



(ก) (ข)

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ (ก) และคลอโรฟิลล์บี (ข) (นิธิยา, 2545)



รูปที่ 2.12 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผักโขม ซึ่งแปรผันตามค่า a_w ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 ºC และบรรยากาศปกติ (นิธิยา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved