บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้ม

ส้ม เป็นผลไม้ที่เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินซี ที่คนไทยนิยมบริโภคและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตลอดปี มีจำหน่ายในตลาดทั่วไป ราคาไม่แพง อีกทั้งยังเป็นผลไม้ที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคทั่วไปและสามารถบริโภคได้เป็นประจำ เนื่องจากส้มมีคุณค่าทางอาหารสูง ผลผลิตของส้มส่วนใหญ่ใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ ส้มได้รับการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบ ได้แก่ น้ำส้ม และน้ำผลไม้ผสมที่นำน้ำส้มรวมกับน้ำผลไม้ชนิดอื่นๆ ซึ่งนับเป็นปริมาณการใช้ส่วนใหญ่ของผลผลิตส้มที่ผลิตได้ นอกจากนี้ ยังมีการแปรรูปเป็นน้ำส้มผง หรือนำน้ำส้มผงไปเป็นส่วนประกอบร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น เช่น ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ เป็นต้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำส้มสามารถให้สี และกลิ่นรสเฉพาะซึ่งได้รับความนิยม อีกทั้งช่วยเสริมคุณค่าอาหารให้กับผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย นอกจากนี้ ส้มยังเป็นสินค้าเกษตรของประเทศที่มีการส่งออกไปยังต่างประเทศ มีมูลค่าการส่งออกหลายสิบล้านบาท โดยเฉพาะตลาดในประเทศแถบเอเชีย (ไทยกู๊ดวิวดอทคอม, 2552ข)

2.1.1 สายพันธุ์ของส้ม

สายพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (ไทยกู๊ดวิวดอทคอม, 2552ก) ได้แก่

ส้มเกลี้ยง (Sweet Orange: *Citrus sinensis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 5-7 เมตร ทรงพุ่มค่อนข้างทึบ กิ่งก้านแข็งแรง มีหนามขนาดใหญ่ หลังจากปลูกแล้ว 3 ปี จะเริ่มให้ผลผลิต ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 7.5-8 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส้มเขียวหวาน (Tangerine: *Citrus reticulata*) เป็นไม้ผลขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตได้นานไม่ต่ำกว่า 15 ปี ถ้ามีการดูแลรักษาอย่างดีตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20-25 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มเขียวหวานที่มีอายุ 10 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 150-180 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี น้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มจุก (Neck Orange: *Citrus nobilis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง เริ่มให้ผลผลิตหลังปลูกได้ประมาณ 3 ปี และให้ผลต่อเนื่องได้ไม่ต่ำกว่า 20 ปี ตั้งแต่ออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มจุกที่มีอายุ 5 ปี และจะให้ผลผลิตที่มีน้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 5-6 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มตรา หรือส้มเช้ง (Acidless Orange: *Citrus sinensis*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตได้นาน ไม่ต่ำกว่า 10 ปี นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8-9 เดือน ต้นส้มตราที่มีอายุประมาณ 5 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี น้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 6-8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มโอ (Pummelo: *Citrus grandis* หรือ *Citrus maxima*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 3-7 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 4 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15-20 ปี นับจากดอกบานถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มอายุ 8 ปีจะให้ผลผลิตประมาณ 80-100 ผลต่อต้นต่อปี

ส้มเขียวหวานนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายสายพันธุ์ (สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552ก) ได้แก่

1) ส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวาน หรือส้มผิวทอง หรือส้มบางล่าง หรือส้มบางมด เป็นพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศ เนื่องจากให้ผลผลิตดก ปัจจุบันมีการปลูกในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มเขียวหวาน พอสรุปได้ดังนี้

ทรงพุ่ม: มีลำต้นสูงประมาณ 2-8 เมตร ทรงพุ่มลักษณะแน่นทึบ เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้มไม่มีขน มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะกิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยมเรียว

ใบ: เป็นรูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปโล่ หรือหอกปลาย และฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวทอง ใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวด้านหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ตัวใบมีกลิ่น ก้านใบมีปีกแคบหรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก

ดอก: ดอกมีขนาดเล็ก ขนาดของดอกตูมมีความยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร กลีบดอกสีขาว มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกมีจำนวนเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกันประมาณ 18-23 อัน ออกดอกในตำแหน่งซอกใบ เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ

ผล: ผลมีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว สีเขียวอมเหลือง จนถึงสีแดงอมส้ม ลักษณะของผิวเปลือกจะเรียบ มีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบผล จำนวน 10-15 กลีบ แต่ละกลีบมีผนังบาง เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ก้านผลสั้น ขนาดผลมีตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร และยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยหัวลง

เมล็ด: รูปร่างแบบรูปไข่หัวกลับ เนื้อเยื่อสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อน หรือสีเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละกลีบ

2) ส้มสายน้ำผึ้ง

ส้มสายน้ำผึ้ง หรือส้มโชกุน หรือส้มเพชรยะลา เป็นพันธุ์ส้มในกลุ่มส้มเขียวหวานชนิดหนึ่ง ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่างสูง เพราะผลส้มที่มีคุณภาพและรสชาติที่ดีกว่าส้มเขียวหวานชนิดอื่นๆ มีเนื้อแน่นและสีสวย ชานมีลักษณะนิ่ม มีน้ำส้มในปริมาณมาก รสชาติหวานแหลม อมเปรี้ยวเล็กน้อย

ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มสายน้ำผึ้ง พอสรุปได้ดังนี้

ทรงพุ่ม: ส้มสายน้ำผึ้งมีการเจริญได้ดีใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน มีทรงพุ่มแน่นกว่าส้มเขียวหวาน ลักษณะกิ่ง และใบจะตั้งขึ้น ในขณะที่ส้มเขียวหวานใบจะตก หรือห้อยลงมา

ใบ: ใบของส้มสายน้ำผึ้งมีขนาดเล็กและมีสีเขียวเข้มมากกว่าเมื่อเทียบกับส้มเขียวหวาน ใบมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีนและส้มพองแกน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผล: มีลักษณะผลคล้ายส้มเขียวหวานมาก ผลอ่อนมีสีคล้ายส้มเขียวหวาน เมื่อแก่จัดผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแดง ยกเว้นผลส้มที่ได้จากภาคใต้นั้นมีสีผิวเหมือนส้มเขียวหวาน ปอกเปลือกง่าย เปลือกมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีน หรือส้มพองแกน

3) ส้มฟรีมองต์

ส้มฟรีมองต์ (Fremont) จัดอยู่ในกลุ่มส้มเขียวหวานอีกชนิดหนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก เป็นสายพันธุ์ผสมของส้มคลีเมนไนท์ (Clementine) มีรสชาติหวานแหลมอมเปรี้ยว โดยออกเปรี้ยวมากกว่า จึงเป็นที่นิยมของชาวต่างประเทศ มีกลิ่นหอม นำมาบริโภคทั้งแบบผลสด และน้ำส้มคั้น

ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มฟรีมองต์ พอสรุปได้ดังนี้

ทรงพุ่ม: ทรงพุ่มสูง ใบสีเขียวเข้ม ใบตั้ง และโปร่งกว่าทรงพุ่มของส้มเขียวหวาน ต้นและกิ่งแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดีกว่าส้มเขียวหวาน จึงไม่จำเป็นต้องใช้ไม้ค้ำยันกิ่งในช่วงให้ผลผลิต

ผล: ผลมีขนาดโตใกล้เคียงกับผลส้มเขียวหวาน มีเปลือกค่อนข้างหนา และเหนียว จึงทำให้ผลปอกเปลือกยากกว่าส้มเขียวหวาน ที่ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระมากกว่าส้มเขียวหวาน และผิวเปลือกเป็นสีส้มมากกว่าด้วย เนื้อผลค่อนข้างแน่น ทำให้เก็บผลไว้ได้นาน

4) ส้มธนาธรเบอร์ 1

ส้มสายพันธุ์นี้เป็นสายพันธุ์ลูกผสมระหว่างส้มเช้งกับส้มสายน้ำผึ้ง ซึ่งเกษตรกรของสวนส้มธนาธรได้ผสมขึ้นเอง มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว ชานนิ่ม และมีกลิ่นหอม

ลักษณะประจำพันธุ์ของส้มธนาธรเบอร์ 1 พอสรุปได้ดังนี้

ทรงพุ่ม: ทรงพุ่มโปร่งเมื่อเทียบกับส้มเขียวหวาน ลำต้นไม่มีหนาม ในระยะที่ออกผลอาจจะต้องใช้ไม้ค้ำยันช่วยพยุงผลส้ม

ใบ: ใบมีขนาดใหญ่กว่าส้มเขียวหวาน ไม่ตั้งขึ้นเหมือนกับส้มสายน้ำผึ้ง ด้านล่างสีเขียวอมเหลือง ด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมันวาว

ผล: รูปร่างกลมแบน มีขนาดใหญ่กว่าส้มเขียวหวาน สีเหลืองไปจนถึงสีเหลืองอมส้ม ผิวเปลือกขรุขระเล็กน้อยเพราะมีต่อมน้ำมันใหญ่ เปลือกหนา และปอกเปลือกได้ยากกว่าส้มเขียวหวาน เนื้อฉ่ำน้ำ มีปริมาณน้ำจำนวนมาก

ลักษณะผลของส้มสายพันธุ์ต่างๆ แสดงในภาพ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส้มเขียวหวาน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มฟรีมองต์ ส้มธนาธรเบอร์ 1

ภาพ 2.1 ลักษณะผลของส้มสายพันธุ์ต่างๆ
ที่มา: สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552ก

2.1.2 แหล่งผลิตส้ม

พื้นที่ปลูกส้มในประเทศไทย เมื่อพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพของดิน แบ่งออกได้ 3 เขต ดังนี้ (สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552ข)

1) เขตที่ราบลุ่มแม่น้ำ

พื้นที่ในเขตนี้เป็นแหล่งผลิตส้มที่สำคัญในภาคกลาง สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบ ดินเป็นดินตะกอนแม่น้ำหรือเป็นดินเหนียวที่มีการระบายน้ำไม่ดี และมีระดับน้ำใต้ดินสูง ดังนั้น เมื่อมีฝนตกหนักจึงเกิดสภาพน้ำท่วมขังได้ง่าย การปลูกส้มจึงจำเป็นต้องมีการยกร่องให้สูงพ้นจากระดับน้ำ และมีการสร้างคันกั้นน้ำ หรือคูระบายน้ำ แหล่งปลูกส้มในเขตนี้ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง คือ ในจังหวัดปทุมธานี และนนทบุรี นครปฐม และราชบุรี

2) สภาพพื้นที่ดอน

พื้นที่ในเขตนี้บางแห่งตั้งอยู่บริเวณเชิงเขา หรือเป็นพื้นที่สูง ซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินลึก การปลูกส้มในสภาพพื้นที่นี้จึงควรมีการปรับพื้นที่เป็นร่องลูกฟูกให้สูงกว่าระดับพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อช่วยให้มีการระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น แหล่งปลูกส้มในเขตนี้ ได้แก่ พื้นที่ในเขตภาคกลางตอนบน ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคกลางตอนล่าง โดยมีพื้นที่ปลูกในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน เลย กาญจนบุรี ลพบุรี นครพนม สระบุรี จันทบุรี และตราด เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) สภาพพื้นที่ชื้นแฉะและมีฝนตกชุก

พื้นที่ในเขตนี้มีปริมาณฝนตกชุก ตั้งอยู่ในพื้นที่ดอน การปลูกส้มในเขตนี้จึงจำเป็นจะต้องมีการยกระดับพื้นที่ปลูกให้สูง เพื่อให้มีการระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้เร็วยิ่งขึ้น อาจทำการปรับพื้นที่ให้มีความสูงมากกว่าระดับแนวพื้นดิน 50 เซนติเมตรขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและต้องคำถึงเรื่องการป้องกันการชะล้างของหน้าดินที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย แหล่งปลูกส้มในเขตนี้ ได้แก่ ภาคตะวันออก และภาคใต้ โดยมีพื้นที่ปลูกในเขตจังหวัดจันทบุรี ตราดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี สงขลา กระบี่ และยะลา

2.1.3 ปริมาณผลผลิตส้ม

ข้อมูล ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2551 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกส้มรวม 185,000 ไร่ เป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้วประมาณ 101,000 ไร่ มีผลผลิตรวมทั้งประเทศประมาณ 283,000 ตัน โดยคิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ได้ 2,780 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (ไทยกู๊ดวิวดอทคอม, 2552ข) สำหรับข้อมูลจากการคาดการณ์ ในปีการผลิต 2551/52 ที่สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ได้รายงานไว้ว่า ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานเป็นสายพันธุ์สายน้ำผึ้งมากที่สุดร้อยละ 96 ของพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมดในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีพื้นที่ปลูกส้มทั้งจังหวัด ประมาณ 67,221 ไร่ เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 63,721 ไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 3,684 กิโลกรัมต่อไร่ หรือคิดเป็นผลผลิตรวม 234,740 ตัน ซึ่งลดลงจากปีการผลิต 2550/51 ที่มีปริมาณผลผลิตรวม 398,535 ตัน อาจเนื่องจากเกษตรประสบปัญหาการปลูกส้มที่เป็นผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยแล้ง ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ลดลง (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดเชียงใหม่, 2552) ประกอบกับการเกิดภาวะที่มีการบริโภคภายในประเทศน้อยลง เนื่องจากผู้บริโภคคำนึงถึงปัญหาสารพิษตกค้างในอาหาร โดยเฉพาะพืชผักและผลไม้สดกันมากขึ้น (กรุงเทพธุรกิจ, 2547) หรือเกษตรกรประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคส้ม

นอกจากนี้ เกษตรกรยังประสบปัญหาด้านราคาผลผลิตตกต่ำ ซึ่งมีสาเหตุทั้งจากคุณภาพผลผลิตที่ด้อยลง ที่อาจเกิดจากปัจจัยการผลิตที่มีราคาแพงขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เกษตรกรจึงปล่อยสวน ขาดการดูแลเอาใจใส่ หรือความเสื่อมโทรมของดินที่เกิดจากการใช้สารเคมีอย่างไม่ระมัดระวัง ผลผลิตมีการส่งออกได้น้อย มีการแข่งขันจากส่วนแบ่งตลาดของผลไม้ชนิดอื่นที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น จีน และออสเตรเลีย (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดเชียงใหม่, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 คุณค่าทางอาหาร

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข รายงานว่า ในส้มเขียวหวาน 100 กรัม (น้ำหนักเฉลี่ยของผลส้ม 1 ผล) ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจำนวนมาก ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต 9.90 กรัม โปรตีน 0.60 กรัม ไขมัน 0.20 กรัม แคลเซียม 31.00 มิลลิกรัม เหล็ก 0.80 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 18.00 มิลลิกรัม วิตามินเอ 4,000 หน่วยสากล วิตามินบีหนึ่ง 0.04 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.05 มิลลิกรัม วิตามินซี 18.00 มิลลิกรัม เส้นใย 0.02 กรัม ความชื้น 88.70 กรัม และมีปริมาณแคลอรี 44 หน่วย (Thai Junior Encyclopedia Project Webmaster, 2540)

น้ำส้มมีปริมาณวิตามินซีเป็นองค์ประกอบ 40-70 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำส้ม (Rocha *et al.,* 1995) มีองค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0-10 โดยน้ำหนัก) (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) วิตามินซีซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (free radicals) สามารถทำหน้าที่ยับยั้ง ต่อต้าน หรือควบคุมอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระนั้นสามารถไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเข้าไปทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี และหน้าที่ทางชีวภาพของเซลล์ได้ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ และเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในร่างกาย เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสร้างเซลล์ที่ผิดปกติ หรือไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ตามปกติ จนอาจกลายเป็นเนื้องอกหรือเซลล์มะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติมักพบได้มากจากผักและผลไม้ ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ แอนโธไซยานิน แร่ธาตุต่างๆ เช่น สังกะสี แมงกานีส ทองแดง (พรวิไล และ ภุมริน, 2543 ; Shah, 2000) การแปรรูปน้ำส้มด้วยความร้อนย่อมส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะการสูญเสียวิตามินซีเป็นจำนวนมากในระหว่างการแปรรูป ทั้งนี้ เนื่องจากวิตามินซีในน้ำส้มมีคุณสมบัติไวต่อความร้อนจึงเกิดการสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการแปรรูปได้ (Özkan *et al.*, 2004)

2.2 การทำแห้งอาหาร

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) เป็นวิธีการถนอมอาหารที่มนุษย์คุ้นเคยมานาน เช่น การตากหญ้า ตากฟางข้าวสำหรับปศุสัตว์ การตากเมล็ดพันธุ์สำหรับการเพาะปลูก การตากเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และธัญชาติเพื่อเก็บไว้เป็นอาหารได้นานขึ้น การทำแห้งที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เรียกว่า การตากแห้ง ส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า ก๊าซ หรือไอน้ำในเครื่องอบแห้ง เรียกว่า การอบแห้ง อย่างไรก็ตาม เทอมที่ใช้เรียกโดยรวม คือ การทำแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

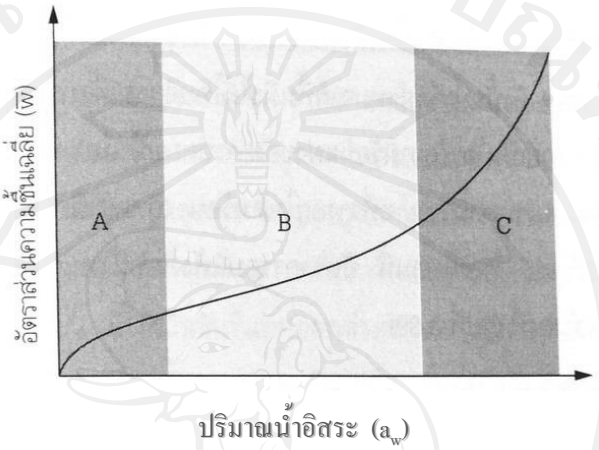
การทำแห้งอาหารเป็นกรรมวิธีการถนอมอาหารวิธีดั้งเดิมวิธีหนึ่ง เป็นกระบวนการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และยังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง การทำแห้งทำให้อาหารมีความชื้นลดลง และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (ภัทวรา และคณะ, 2546 ; อภิรักษ์, 2546 ; ศรีมา และคณะ, 2547 ; ฉัตรชัย และคณะ, 2549 ; สุทธิชัย และคณะ, 2549 ; Teixeira *et al.*, 1995 ; Karim and Wai, 1999b ; Silva *et al.*, 2005) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งยังมีข้อเด่น คือ ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักน้อย จึงมีข้อได้เปรียบด้านการขนส่ง และการกระจายผลิตภัณฑ์ การทำแห้งเป็นการแยกน้ำออกจากอาหาร จึงเป็นการลดความชื้นของอาหารให้อยู่ในระดับที่สามารถยับยั้ง หรือชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ กล่าวคือ มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (ค่า a_w) ต่ำกว่า 0.70 โดยอาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารที่จะเป็นปัจจัยยับยั้ง หรือส่งเสริมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

การทำแห้งผลิตผลทางการเกษตรมีความจำเป็นต่อการยืดอายุการเก็บรักษา การรักษาคุณภาพ และการลดความสูญเสียของผลผลิต การทำแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนจากตัวกลาง หรือแหล่งความร้อนไปยังวัสดุชื้นเพื่อลดความชื้น ด้วยกระบวนการระเหยน้ำออกจากวัสดุ โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย (latent heat of vaporization) ด้วยเทคนิคที่ไม่ยุ่งยาก เช่น การอบแห้งธัญพืชต่างๆ จำพวก ข้าว ถั่ว และข้าวโพด ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มต่างๆ เช่น มะละกอแช่อิ่ม สับปะรดแช่อิ่ม และมะม่วงแช่อิ่ม เป็นต้น แหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น (สมชาติ, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร การทำแห้งจัดว่ามีความสำคัญในแง่การถนอมคุณภาพและลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการกำจัดน้ำออกจากอาหารเพื่อการเก็บรักษา และการขนส่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติด้านเคมีของน้ำ คือ ค่า a_w กล่าวคือ การทำแห้งเป็นกระบวนการที่ทำให้น้ำอยู่ในสภาวะที่มีค่า a_w ต่ำ ด้วยการกำจัดน้ำออก โดยไม่ทำให้คุณภาพของวัสดุเปลี่ยนไป

จากเดิม ดังภาพ 2.2 ในขอบเขต A ผลิตภัณฑ์อาหาร หรือวัตถุดิบเกือบทั้งหมดจะมีเสถียรภาพสูง น้ำจะมีพันธะที่แข็งแรงกับของแข็ง ในขอบเขต B พันธะน้ำจะอ่อนแอลง และในขอบเขต C น้ำจะมีพฤติกรรมเหมือนกับน้ำอิสระทั่วไป ในกรณีขอบเขต A นั้น โปรตีน และเอนไซม์ในอาหารจะมีความเสถียรมาก



ภาพ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำอิสระ (a_w) กับอัตราส่วนความชื้นในวัสดุ (adsorption isotherm)

ที่มา: วิวัฒน์, 2548

ในกระบวนการทำแห้งอาหารนั้น การกำจัดน้ำออกจากอาหารเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพสูงได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วยนอกเหนือจากอัตราส่วนความชื้น เช่น การกระจายตัวของน้ำภายในวัสดุที่กำลังทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น การอบแห้งเส้นพาสต้าที่มักอบแห้งอย่างช้าๆ ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง เพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ โดยอบที่อุณหภูมิในช่วง 60 ถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง (วิวัฒน์, 2548)

กระบวนการทำแห้งที่เป็นการให้ความร้อนแก่ของแข็งที่มีของเหลวประกอบอยู่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไป คือ น้ำ หรือการให้ความร้อนกับสารละลายเพื่อให้ของเหลวหรือตัวทำละลายนั้นระเหยออกไป สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ตามวิธีการให้ความร้อน หรือลักษณะของก๊าซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อนโดยรอบ (ตัวกลางส่งผ่านความร้อนโดยปกติ คือ อากาศ) เช่น การทำแห้งที่ให้ลมร้อนไหลสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของวัสดุ การทำแห้งแบบนำความร้อนเป็นการทำแห้งโดยใช้ความร้อนที่ถ่ายเทให้สัมผัสกับวัสดุโดยตรงผ่านจากถาดร้อน การทำแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟราเรด (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นยาว) ไปยังผิวของวัสดุ การอบแห้งแบบกำเนิดความร้อนสม่ำเสมอเป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อวัสดุเองโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นการทำแห้งในสภาวะสุญญากาศโดยให้ความร้อนด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน การทำแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดเป็นการทำแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheated steam) เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังของเหลวหรือตัวละลายในวัสดุ ในกรณีที่ลดอุณหภูมิของวัสดุให้อยู่ในระดับ -30 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำแห้งแบบสุญญากาศ น้ำแข็งจะระเหิดเป็นไอออกไป เรียกว่า การทำแห้งแบบแช่แข็ง ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และยาที่ไม่เสถียร มีข้อด้อย คือค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่น (วิวัฒน์, 2548) นอกจากนี้ยังมีกรรมวิธีอื่นๆ เช่น การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมรังสีอินฟราเรดไกล เป็นต้น (Thuwapanichayanan *et al.*, 2006)

การทำแห้งอาหารมีประโยชน์หลายประการ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) ได้แก่

1) เป็นวิธีการถนอมรักษาอาหาร เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์

2) ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้สามารถเก็บไว้ได้นาน ทำให้มีผลิตภัณฑ์อาหารในยามขาดแคลน นอกฤดูกาล หรือในพื้นที่ห่างไกล

3) ลดน้ำหนักและปริมาตรของอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษา ขนส่ง และกระจายผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังลดต้นทุนค่าขนส่ง และการเก็บรักษา

4) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ลูกเกด ซึ่งได้จากทำแห้งองุ่น

5) ทำให้เกิดความสะดวกในการใช้ และพร้อมรับประทาน เช่น เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปชนิดต่างๆ ธัญพืชพร้อมชง และเครื่องปรุงรสชนิดผงต่างๆ เป็นต้น

เมื่อนิยามความเข้มข้นของน้ำด้วยอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย $\overline{w}$ (kg-น้ำ/kg-ของแข็งปราศจากน้ำ) และความเร็วเชิงมวลในการทำแห้ง (J) ด้วยปริมาณน้ำที่ระเหยไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา จะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเร็วเชิงมวลในการทำแห้ง (J) = $\left(\frac{W_S}{A}\right)\left(-\frac{d\overline{w}}{dt}\right)$ [kg-น้ำ/$m^2 \cdot s$]

โดย W_S คือ น้ำหนักของแข็งปราศจากน้ำ

A คือ พื้นที่ผิวของการทำแห้ง (ที่เกิดการระเหย)

นอกจากนี้ยังมีนิยามอัตราการทำแห้ง (J_r) ดังสมการ ดังนี้

อัตราการทำแห้ง $J_r = \left(-\frac{d\overline{u}}{dt}\right)$ [kg-น้ำ/(kg-ของแข็งปราศจากน้ำ) $\cdot$ s]

โดย $\overline{u}$ คือ อัตราส่วนน้ำเฉลี่ย [kg-น้ำ/(kg-ของแข็งปราศจากน้ำ)]

2.2.2 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

วิธีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร แหล่งพลังงานความร้อนจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ และกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่ได้สูงนัก และกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้การตากแห้งซึ่งเป็นวิธีที่มีใช้กันมาดั้งเดิมต้องใช้เวลานาน จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งประเภทต่างๆ โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่ต่างกัน ทำให้สามารถกำหนด และควบคุมปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการใช้ได้ และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร การใช้เครื่องอบแห้งที่ถูกต้องและเหมาะสม ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และมวลสารที่รวดเร็ว อาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้น การถ่ายเทความร้อน และมวลสารระหว่างการทำแห้งสามารถทำได้หลายวิธี (สมชาติ, 2540) ได้แก่

1) การให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร โดยกระแสลมร้อนทำหน้าที่ทั้งการให้ความร้อน และเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นการพาความร้อน (convection)

2) การแผ่อาหารเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ทำให้ไอน้ำกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีก หรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงนัก

3) การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องทำแห้งด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

4) การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิของอาหารให้อยู่ต่ำกว่าจุดร่วมสาม (triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น หรือลดความดันลงอีก จะทำให้เกิดการระเหิดของน้ำ โดยน้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่า การทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization)

นอกจากนี้ ยังมีการทำแห้งโดยใช้ความดันออสโมติกในการลดปริมาณน้ำจากชิ้นอาหาร ได้แก่ การทำผลไม้แช่อิ่ม เมื่อแช่ชิ้นผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำในอาหารจะเคลื่อนย้ายออกมาที่น้ำเชื่อมข้างนอก และน้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปแทนที่น้ำในชิ้นผลไม้ จนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำตาลภายในและภายนอกชิ้นผลไม้เท่ากัน อย่างไรก็ตามชิ้นอาหารยังคงมีน้ำเหลืออยู่อีกในปริมาณมาก จึงนิยมนำไปทำแห้งในขั้นตอนต่อไป (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

การเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารหลังจากได้รับพลังงานความร้อน มีการเคลื่อนที่จากภายในตัวอาหารมาสู่ผิวหน้าของอาหารด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ 2 แบบ (เรียวโซ, 2529) คือ

1) การเคลื่อนที่ด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force) เป็นการเคลื่อนที่ในอาหารที่มีเซลล์โปร่ง มีช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆ เกิดแรงดันของน้ำขึ้นมาตามท่อ การเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้สะดวกรวดเร็ว แต่จะหยุดเมื่อน้ำในทางแคบๆ นั้นขาดตอนลง

2) การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (diffusion) ผ่านเซลล์ เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบๆ หรือเกิดในอาหารที่ทำแห้งไประยะหนึ่งที่แรงผ่านช่องแคบหมดแล้ว น้ำต้องแพร่ผ่านเซลล์จึงเคลื่อนที่ได้ช้า เมื่อน้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารแล้วจึงระเหยกลายเป็นไอ เคลื่อนย้ายออกไปกับกระแสลมหรือถูกดูดออกไปด้วยระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกการถ่ายเทมวลภายในอาหาร

การถ่ายเทมวลภายในอาหาร โดยการเคลื่อนที่ของน้ำ (เรียวโซ, 2529 ; สมชาติ, 2540) ได้แก่

1) แรงตึงผิว (surface force) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากแรงดึงดูดท่อรูเข็ม (capillary flow) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีรูพรุน น้ำอิสระจะเคลื่อนที่ผ่านท่อรูเข็ม หรือช่องว่างเล็กๆ ระหว่างของแข็ง (รูเปิดที่เชื่อมระหว่างน้ำภายในอาหารและผิวหน้าอาหาร) ด้วยกลไกของแรงตึงผิว

2) การแพร่ที่ผิว (surface diffusion) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลว เนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวที่มีรูพรุนเล็กๆ

3) การแพร่ของน้ำ (liquid diffusion) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น ความชื้นที่ผิวหน้าลดลงต่ำกว่าความชื้นที่เหลืออยู่ภายในอาหารทำให้เกิดแรงขับในการเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ผิวโดยการแพร่ของน้ำ อัตราการแพร่ขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิ และความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้นภายใน และที่ผิวหน้าของอาหาร

4) การแพร่ของไอ (vapor diffusion) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอของอาหาร และความดันไอเหนืออาหาร (หรือความเข้มข้นของความชื้น) ระหว่างการทำแห้งอาจเกิดการระเหยใต้ผิวหน้าอาหาร โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาทำแห้งเป็นเวลานาน โมเลกุลของน้ำจะแพร่ผ่านอาหารออกมาสู่อากาศร้อน

5) การไหลเนื่องจากความดัน (pressure flow) ความแตกต่างระหว่างความดันของอากาศร้อน และความดันภายในโครงสร้างอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำได้

6) การไหลเนื่องจากความร้อน (thermal flow) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าอาหาร และภายในอาหารนั้น อาจมีความสำคัญต่อการทำแห้งอาหารในช่วงหลัง ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากภายในมาสู่ผิวหน้าอาหาร

7) การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวและไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (hydrodynamic flow)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ สภาพการครอบครองน้ำในวัสดุ ดังตาราง 2.1 ยังส่งผลต่อกลไกการถ่ายเทของน้ำในระหว่างการทำแห้งได้เป็นอย่างมาก รวมทั้งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง สภาพการครอบครองน้ำในวัสดุมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ของแข็งที่มีรูพรุนจะดูดเก็บน้ำเรียกว่า น้ำแบบเส้นสาย (funicular water) ไว้ข้างใน ด้วยปรากฏการณ์ท่อรูเข็ม (capillary) หากน้ำมีการเคลื่อนที่เข้าไปเต็มรูเข็มที่มีขนาดรัศมีเล็กสุดก่อนไปเต็มในท่อรูเข็มที่มีขนาดรัศมีใหญ่ขึ้น จะเกิดแรงดึงดูดท่อรูเข็มมากขึ้น หลังจากน้ำแบบเส้นสายเคลื่อนที่หลุดออกไปแล้ว ยังมีน้ำแบบแขวน (pendular water) เหลืออยู่ ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ภายในวัสดุได้ ต้องระเหยเป็นไอที่ตำแหน่งนั้นๆ แล้วจึงเคลื่อนที่ไปยังผิวของวัสดุโดยการแพร่ (diffusion) ภายในช่องว่างที่เป็นรูพรุนละเอียด

ตาราง 2.1 กลไกการครอบครองและการถ่ายเทน้ำภายในวัสดุ

ชนิดของน้ำที่มีในวัสดุ	แรงครอบครอง	กลไกการถ่ายเทน้ำ	ความดันไอ (p)	ตัวอย่างวัสดุ
น้ำเกาะผิว (adhesion)	แรงตึงผิว	การแพร่ของไอ	$p = p_w$	ผิวอนุภาคหยาบใหญ่
น้ำท่อรูเข็ม (น้ำแบบเส้นสาย)	แรงดึงดูดท่อรูเข็ม	การถ่ายเทของน้ำเหลว	$p = p_w$ (รู > 100nm)	ชั้นอนุภาค ของแข็งรูพรุน
น้ำท่อรูเข็ม (น้ำแบบแขวน)	แรงตึงผิว	การแพร่ของไอ	$p < p_w$ (รู < 100nm)	ชั้นอนุภาค ของแข็งรูพรุน
น้ำออสโมติก (สภาพแขวนลอย)	แรงดึงดูดออสโมติก	การถ่ายเทของน้ำเหลว ปริมาณหดตัว = ปริมาณน้ำที่ระเหย	$p = p_w$	ชั้นอนุภาคละเอียด เค้กกรอง วัสดุที่มีอัตราส่วนความชื้นสูง
น้ำดูดซับ	แรงดูดซับ	การแพร่ของไอ การแพร่บนผิว	$p < p_w$	ซิลิกาเจล
น้ำพันธะ	แรงอัฟฟินิตี (affinity)	การแพร่ของน้ำ	$p < p_w$	สารละลายพอลิเมอร์
สารละลาย		การแพร่ของน้ำ	$p < p_w$	สารละลายจำพวกเกลือ สารละลายสารอินทรีย์
น้ำแข็ง		การแพร่ของไอ (การไหลของไอ)	$p = p_{ice}$	

หมายเหตุ : p_w = ความดันไอของน้ำอิสระ, p_{ice} = ความดันไอของน้ำแข็ง, nm = nanometer = 10^{-9} m

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิวัฒน์, 2548

กลไกการถ่ายเทน้ำของการทำแห้ง และความเร็วเชิงมวลในการทำแห้งนั้นแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ต้องการจะทำแห้ง ในกรณีของสารละลาย หรือวัสดุจำพวกเจล น้ำจะกลายเป็นไอหลังจากเคลื่อนย้ายมาที่พื้นผิวของวัสดุโดยการแพร่ ส่วนวัสดุของแข็งที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูพรุนมาก น้ำอาจเคลื่อนย้ายมาที่พื้นผิวของวัสดุโดยการแพร่ของไอน้ำ หรือการไหลที่หนืดอย่างอิสระ (free viscous flow) ในกรณีที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากแขวนลอยในน้ำ ที่พื้นผิวของอนุภาคจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะมีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาค ดังนั้นวัสดุจะพยายามดูดน้ำจากข้างนอกเข้ามาเพื่อกั้นแยกอนุภาคออกจากกัน เรียกว่า แรงดึงดูดออสโมติก (osmotic) ซึ่งพบได้ในวัสดุที่มีอัตราส่วนความชื้นสูง นอกจากวัสดุจะประกอบด้วยน้ำที่ครอบครองไว้แล้ว ยังมีน้ำที่ก่อเป็นพันธะหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งน้ำที่ถูกดูดซับ (adsorbed) อีกด้วย (วิวัฒน์, 2548)

2.2.3 อัตราการทำแห้ง

ลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ถ้าอาหารมีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่เป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ (capillary flow) น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวอาหารได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ผิวอาหารเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ต่อมาเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอผิวอาหารจึงแห้ง การระเหยเกิดขึ้นได้ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการทำแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง น้ำในอาหารที่มีเนื้อแน่นเคลื่อนที่จากภายในชิ้นอาหารได้ช้าจึงมีเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งน้อยลง การทำแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศในตู้อบอยู่ในสมดุลกับความชื้นของอาหาร หรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เท่ากับค่า a_w ของอาหารคูณ 100 และเรียกว่า ความชื้นสมดุลของอาหาร

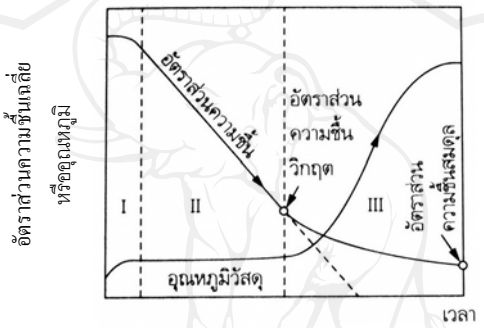
เส้นลักษณะเฉพาะของการทำแห้ง (Drying Characteristic Curve)

ถ้านำวัสดุที่เปียกชื้นที่มีรูพรุนวางในกระแสลมร้อนที่มีอุณหภูมิ t มีความชื้น H (humidity) และความเร็วลม ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกมีค่าคงที่ เมื่อวัดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น และอุณหภูมิของวัสดุทำแห้งเทียบกับเวลา จะได้ดังภาพ 2.3 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยในวัสดุ ดังภาพ 2.4 (เส้นลักษณะเฉพาะของการทำแห้ง ภายใต้เงื่อนไขการทำแห้งคงที่) โดยอัตราการทำแห้งหาได้จากการหาอนุพันธ์ของเส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นกับเวลา (ภาพ 2.3) โดย R หมายถึง อัตราการทำแห้ง R_C หมายถึง อัตราการทำแห้งที่คงที่ R_W หมายถึง อัตราการทำแห้งที่วัสดุมีพื้นที่

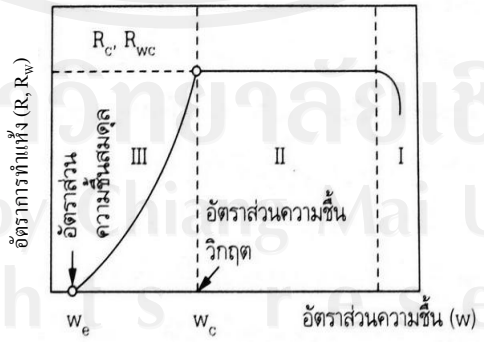
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่แน่นอน และ R_{WC} หมายถึง อัตราการทำแห้งของวัสดุที่เป็นของแข็งที่มีของเหลวเป็นองค์ประกอบ

ช่วงเวลาในการทำแห้ง พอจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ดังแสดงในภาพ 2.3 และภาพ 2.4 คือ (I) ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ หรือช่วงเวลาการอุ่นวัสดุ (II) ช่วงการอบแห้งที่มีอัตราคงที่ และ (III) ช่วงการอบแห้งที่มีอัตราลดลง โดยมีรายละเอียดของแต่ละช่วงเวลาการทำแห้ง ดังนี้ คือ



ภาพ 2.3 ช่วงเวลา 3 ระยะของการทำแห้ง
ที่มา: วิวัฒน์, 2548



ภาพ 2.4 เส้นลักษณะเฉพาะของการทำแห้ง
ที่มา: วิวัฒน์, 2548

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

I: ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ หรือช่วงเวลาการอุ่นวัสดุ

วัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวจะอยู่ในรูปของน้ำ ถ้านำมาทำแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ ช่วงแรกของการอบแห้ง อุณหภูมิของวัสดุ (t_m) มีค่าน้อย ทำให้ความชื้นอิ่มตัวของอากาศ (H_m) มีค่าน้อยด้วย t_m จะเพิ่มขึ้นตามเวลา จนมีค่าคงที่เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (t_w) ดังนั้นช่วงเวลาการอุ่นวัสดุหรือให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ คือช่วงเวลาที่เริ่มจากอุณหภูมิเริ่มแรกของวัสดุจนถึงอุณหภูมิสมดุล กำหนดโดยเงื่อนไขของการอบแห้ง ในกรณีที่มีการพาความร้อนอย่างเดียว t_m มีค่าเท่ากับ t_w ส่วนในกรณีที่มีการนำความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน t_m มีค่าไม่เท่ากับ t_w

เงื่อนไขของการทำแห้ง อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ก่อให้เกิดการทำแห้ง และเงื่อนไขภายในตัววัสดุเอง เงื่อนไขภายนอกเกี่ยวข้องกับวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและวิธีกำจัดไอน้ำที่ระเหยออกมา ส่วนเงื่อนไขภายใน ได้แก่ องค์ประกอบและรูปร่างของวัสดุ อัตราส่วนความชื้น และอัตราส่วนความชื้นสมดุลของวัสดุทำแห้ง เป็นต้น (วิวัฒน์, 2548)

II: ช่วงการอบแห้งที่มีอัตราคงที่

อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ t_w หากยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำอิสระที่ผิววัสดุ ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ในช่วง II นี้ อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย ($\overline{w}$) ของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลา ดังนั้นอัตราเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (constant drying rate) (ภาพ 2.3 และ ภาพ 2.4)

III: ช่วงการอบแห้งที่อัตราลดลง

ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป และพื้นผิวที่เกิดการระเหยของน้ำจะร่นเข้าจากผิวนอกของวัสดุเข้าสู่ภายในตัววัสดุ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้ง และอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น นั่นคือความเร็วของการทำแห้งจะค่อยๆ ลดลง เพราะปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับจะลดลง ซึ่งส่วนหนึ่งใช้ในการระเหยน้ำ และใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ ในช่วงนี้ ความร้อนที่ไหลเข้ากับอัตราการระเหยจะไม่สมดุล การทำแห้งจะสิ้นสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลงเมื่ออัตราส่วนความชื้นลดลงถึงค่าอัตราส่วนความชื้นสมดุล w_e (equilibrium moisture content) (ภาพ 2.4)

ค่าของอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยที่จุดต่อระหว่างช่วง II และ III เรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤต (critical moisture content, w_c) (เรียวโซ, 2529 ; วิวัฒน์, 2548) ในกรณีของวัสดุที่มีช่วง II และ III ยาวนานมาก อาจไม่คำนึงถึงช่วง I ในกรณีของวัสดุที่ไม่เปียกชื้น หรือวัสดุที่มีลักษณะเฉพาะบางชนิด อาจไม่มีช่วง III หรือในกรณีที่ไม่มีการหดตัวของพื้นผิววัสดุ อาจไม่มีช่วง II (วิวัฒน์, 2548)

2.2.4 คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของอาหาร

ในการวิเคราะห์การทำแห้งและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้น จำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของอาหารเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์การทำแห้ง คุณสมบัติเชิงความร้อน ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และสภาพนำความร้อน คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นของอาหาร และความหนืด (ประภาศรี และคณะ, 2531 ; สมชาติ, 2540 ; อภิรักษ์, 2545) เป็นต้น

ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะ (specific heat) หมายถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ ที่ความดันหรือปริมาตรคงที่ โดยมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการความดันคงที่มากกว่าปริมาตรคงที่ ความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็น kJ/kg°C ค่าความร้อนจำเพาะในผลิตภัณฑ์อาหารมักขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหารในลักษณะเชิงเส้น หรือสัดส่วนของส่วนประกอบในอาหารเอง เช่น น้ำ ไขมัน แป้ง เป็นต้น โดยทั่วไปมักไม่กำหนดให้ขึ้นกับอุณหภูมิสำหรับช่วงอุณหภูมิใช้งานที่ไม่กว้างนัก

สภาพนำความร้อน

สภาพนำความร้อน หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ กำหนดไว้เป็นปริมาณของอัตราที่ความร้อนจะถูกถ่ายเทผ่านหน่วยความหนาของวัสดุ เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างความหนาของวัสดุนั้นจำนวนหนึ่งองศา มีหน่วยเป็น Watt/(m · K) การหาสภาพการนำความร้อน ซึ่งเป็นความต้านทานการถ่ายเท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความร้อนหลักของการนำความร้อน อาจทำได้ภายใต้การไหลของความร้อนที่สถานะคงตัว (สภาวะที่สม่ำเสมอ) หรือไม่คงตัว (สภาวะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยฟลักซ์ความร้อน (heat flux) จะเป็นสัดส่วนกับเกรเดียนท์ของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของวัสดุอาหารที่มีความสำคัญ ได้แก่

1) ความหนาแน่นจริง (density) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวลของวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุ (ปริมาตรส่วนที่เป็นของแข็งและปริมาตรของ internal pore)

2) ความหนาแน่นทั้งหมด (bulk density) หมายถึงอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรทั้งหมด ซึ่งรวมปริมาตรของเม็ดวัสดุและปริมาตรของอากาศที่แทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างหน่วยของอาหาร (void volume) รวมถึงรูพรุน (porosity) ที่มีอยู่หรือเกิดขึ้นในอาหาร โดยส่วนใหญ่ใช้กับวัสดุที่รวมกันอยู่เป็นกอง

3) ความหนาแน่นของของแข็ง (solid density) หมายถึงอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรทั้งหมด ซึ่งอาจพิจารณารวมหรือไม่รวมปริมาตรของช่องว่างภายในตัวอาหาร (internal pores)

4) ความหนาแน่นของของเหลว (liquid density) โดยทั่วไปจะหมายถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นของของเหลวต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งทำการวัดเป็นค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) การเติมของแข็งลงในของเหลว ทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเพิ่มขึ้น

5) ความหนาแน่นของก๊าซและไอ (gases and vapours) เนื่องจากก๊าซและไอสามารถอัดตัวได้ (compressible) มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ และความดัน ซึ่งภายใต้สภาวะปกติจะเป็นไปตามสมการของก๊าซในอุดมคติ ดังนี้

$$PV = RT$$

โดย P คือ ความดัน (N/m^2)

V คือ ปริมาตรโมลาร์ของก๊าซ (m^3/k mol)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 k J/k mol)

T คือ อุณหภูมิ (K)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหนืด

ความหนืด (viscosity) หมายถึงความฝืดที่กระทำภายในของไหล หรือความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของของไหล ของไหลที่มีความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนตามค่าความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) เรียกว่า ของไหลนิวโตเนียน (newtonian fluid) ส่วนของไหลที่มีความหนืดเปลี่ยนแปลงตามความเค้นเฉือน และอัตราเฉือน เรียกว่า ของไหลนอนนิวโตเนียน (non-newtonian fluid) โดยของไหลนอนนิวโตเนียน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1) ประเภทที่ไม่ขึ้นกับเวลา (time independent non-newtonian fluid) ของไหลประเภทนี้จะมีค่าความหนืดของของไหลคงที่ไม่ขึ้นกับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน ได้แก่ ของไหลพวกซูโดพลาสติก (pseudoplastic) และไดเลเทนต์ (dilatant)

2) ประเภทที่ขึ้นกับเวลา (time dependent non-newtonian fluid) ค่าความหนืดของของไหลประเภทนี้จะขึ้นกับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน ได้แก่ ของไหลที่มีความหนืดลดลงตามเวลา เรียกว่า ของไหลทิโซโทรปิค (thixotropic fluid) และของไหลที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามเวลา เรียกว่า ของไหลรีโอเพคซิค (rheopexic fluid)

กลไกการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดผลต่างของอุณหภูมิ (driving force) ระหว่างสสาร 2 ชนิด หรือบริเวณ 2 บริเวณ โดยความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) การนำความร้อน

การนำความร้อน (conductive heat transfer) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการชนกันโดยตรงของโมเลกุล เนื่องจากการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกับบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) การพาความร้อน

การพาความร้อน (convective heat transfer) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับพื้นผิววัสดุใดๆ ในขณะที่อุณหภูมิของของไหล และพื้นผิวนั้นแตกต่างกัน ถ้ามีแรงกระทำจากภายนอกทำให้ของไหลเคลื่อนที่ เช่น เครื่องสูบ พัดลม เรียกการถ่ายเทความร้อนนี้ว่า

การพาความร้อนแบบบังคับ ในกรณีที่ของไหลเคลื่อนที่ได้เนื่องจากแรงขับภายใน หรือความแตกต่างของความหนาแน่นเนื่องจากอุณหภูมิภายในของของไหลแตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้ของไหลเกิดการไหลแบบราบเรียบ หรือแบบปั่นป่วนก็ได้ เรียกการถ่ายเทความร้อนนี้ว่า การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

3) การแผ่รังสี

การแผ่รังสี (radiative heat transfer) หมายถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวทั้งสองโดยเกิดการเปล่งของรังสี (emission) แล้วมีการดูดซับ (absorption) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกระบวนการแผ่รังสีไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน หรือความร้อนจากการแผ่รังสี และสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการทำแห้ง

การทำแห้งอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร และสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) การเปลี่ยนแปลงของอาหารอันเป็นผลเนื่องมาจากการทำแห้ง ได้แก่

1) การหดตัว

เมื่ออาหารมีการเสียน้ำ ทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้อาหารมีการหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ

2) การเปลี่ยนสี

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อน หรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาล และในช่วงที่อาหารมีความชื้นร้อยละ 10-20 ส่งผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง และช่วงความชื้นดังกล่าว

3) การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากช่วงแรกของการทำแห้งมีการทำให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาล และ/หรือ โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช่อุณหภูมิสูง และใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันสมควร

4) การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ทำให้ได้อาหารที่มีสภาพเหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ แป้ง และโปรตีนเสียความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายเซลล์ หรือเปลี่ยนโครงสร้างของแป้ง และโปรตีน

5) การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย

เกิดการเสื่อมสลายของวิตามิน และแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไทอะมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนาน การสูญเสียยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดลง หรือแตกต่างไปจากเดิม

2.2.6 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้กระบวนการทำแห้งอาหาร

กระบวนการทำแห้งอาหาร เป็นหน่วยปฏิบัติการที่เกิดการถ่ายเทมวล และความร้อนในเวลาเดียวกัน โดยการถ่ายเทความร้อนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เนื่องจากการระเหยของน้ำจากตัวอาหารออกไป ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญต่อการทำแห้งอาหาร จึงมีทั้งปัจจัยภายใน คือชนิด และองค์ประกอบของอาหารที่ต้องการนำมาทำแห้งเอง และปัจจัยภายนอกที่มากระทำต่อตัวอาหาร ได้แก่ แหล่งพลังงานความร้อน วิธีการ และเครื่องมือที่นำมาใช้ในกระบวนการทำแห้ง ดังนั้นอาจกล่าวถึงปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้กระบวนการทำแห้งอาหารพอสังเขปได้ดังนี้

1) รูปทรงหลากหลายของวัสดุอบแห้ง

วัสดุที่นำมาทำแห้งในอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ทั้งที่เป็นอาหารและไม่ใช่อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เซรามิก ฉนวนไฟฟ้าแรงดันสูง และแบบหล่อไม้ขนาดใหญ่ เป็นต้น โดยวัสดุที่ต้องการนำมาทำแห้งมีรูปลักษณะต่างๆ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก. ของเหลว และสเลอรี่ (slurry)
ข. วัสดุที่แช่แข็ง
ค. วัสดุคล้ายพวกแป้งเปียก
ง. วัสดุที่เป็นเม็ด
จ. วัสดุที่เป็นก้อน
ฉ. วัสดุที่เป็นสะเก็ด
ช. วัสดุเส้นใยสั้น
ซ. วัสดุมีมิติคงที่
ฌ. วัสดุที่เป็นแผ่นยาวต่อเนื่อง
ญ. สี และของเหลวที่ใช้ทา

วัสดุในลำดับ ก. ถึง ง. จะเปลี่ยนสภาพเป็นเม็ดหลังจากทำแห้ง ส่วนวัสดุลำดับ จ. ถึง ญ. จะไม่เปลี่ยนรูปร่างวัสดุเมื่อแห้ง

2) คุณสมบัติการทำแห้งของวัสดุ

วัสดุแต่ละประเภทมีคุณสมบัติด้านการทำแห้งแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำภายในวัสดุ ความชอบน้ำ (hydrophillicity) ความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ขององค์ประกอบของวัสดุ และลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุ เช่น ความหนาแน่น และโครงสร้างรูพรุน เป็นต้น คุณสมบัติของวัสดุส่งผลเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการทำแห้ง

3) การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกล

การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกล เป็นการพิจารณาเกี่ยวกับอุปกรณ์การทำแห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการเลือกเทคนิคในการทำแห้ง มีวัสดุที่ต้องการนำมาทำแห้งที่มีรูปทรงแตกต่างกันมากมาย ซึ่งมีผลต่อปฏิบัติการต่างๆ เช่น การป้อน การขนส่ง และการถ่ายเท ดังนั้นการทำแห้งให้มีประสิทธิภาพตลอดกระบวนการจึงต้องอาศัยเทคโนโลยีรวม (overall technology) ตัวอย่างของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ประกอบด้วยการทำงานที่มีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ได้แก่ กระบวนการทางวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล และแขนงอื่นๆ เช่น การเคลื่อนย้ายสเลอรี่ เทคโนโลยีพ่นฝอย การแพร่กระจายของลมร้อนภายในหอทำแห้ง ระบบการปั๊มของเหลวเข้าสู่ระบบ เทคโนโลยีการป้องกันเสียงรบกวน ระบบการทำความร้อน เป็นต้น ซึ่งล้วนส่งผลต่อการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) การเลือกชนิดของเครื่องทำแห้ง

การเลือกชนิดของเครื่องทำแห้งอย่างเหมาะสมมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำแห้งเป็นอย่างมาก บางครั้งการใช้เครื่องมือในการทำแห้งที่ไม่เหมาะสม ในขณะที่กระบวนการทำแห้งยังคงสามารถปฏิบัติการได้ ก็ส่งผลทำให้ความสามารถในการทำแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลงได้มาก

5) การพิจารณาสภาพทำเลที่ตั้ง

การพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้ง สามารถพิจารณาได้จากเงื่อนไขด้านเศรษฐกิจ ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานความร้อน และการจัดการความร้อนที่ออกสู่ภายนอก และสิ่งแวดล้อม (exhaust heat) และเงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อม คือปัญหาที่อาจเกิดมลภาวะกับสภาพแวดล้อมภายนอก (เรียวโซ, 2529) รวมทั้งควรคำนึงถึงผลกระทบต่อแหล่งชุมชนใกล้เคียง และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

6) มาตรการประหยัดพลังงาน

การทำแห้งเป็นกระบวนที่ต้องใช้พลังงานความร้อนสูงเพื่อระเหยน้ำออกจากวัสดุ ในปัจจุบันได้รับความสนใจในการศึกษา และค้นคว้าวิจัยในด้านการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และการประหยัดพลังงานเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการทำแห้งเพื่อนำไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งสำหรับการกำหนดมาตรการประหยัดพลังงานย่อมส่งผลดีทั้งในทางตรง และในทางอ้อม ได้แก่ การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และมีแหล่งพลังงานใช้ได้นานขึ้น (เรียวโซ, 2529 ; สมชาติ, 2550)

2.2.7 การเลือกชนิดของเครื่องทำแห้ง

ชนิดของเครื่องทำแห้ง สามารถแบ่งตามลักษณะการสัมผัสของตัวอาหารกับแหล่งให้ความร้อนได้ 2 ประเภท (สมชาติ, 2535) ได้แก่

1) Adiabatic dryer

Adiabatic dryer เป็นเครื่องทำแห้งที่ให้ความร้อนโดยใช้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่สัมผัสกับอาหาร อาหารอาจอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วยก็ได้ เช่น ตู้อบลมร้อนแบบถาด, cabinet dryer, tunnel dryer, klin dryer, air-lift dryer และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) Solid surface transfer dryer

Solid surface transfer dryer เป็นเครื่องทำแห้งที่มีลักษณะทำให้อาหารสัมผัสกับแผ่นโลหะร้อน น้ำที่ระเหยกระจายออกสู่บรรยากาศภายนอก หรืออาจใช้ระบบลมหมุนเวียน หรือใช้ระบบสุญญากาศโดยมีปั๊มสุญญากาศทำหน้าที่กำจัดความชื้นภายในตู้อบออกสู่ภายนอก ได้แก่ drum dryer, vacuum dryer, continuous vacuum dryer และ rotary dryer เป็นต้น

ในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดเครื่องทำแห้งนั้น มีปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาหลายประการ (เรียวโซ, 2529) ได้แก่

1) การพิจารณาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้ง

ก. การเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความร้อน

เมื่อพิจารณาความไวของวัสดุต่อความร้อน เราสามารถกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของวัสดุที่ยอมได้ระหว่างทำแห้ง อุณหภูมินี้เป็นเงื่อนไขการออกแบบอันแรกเกี่ยวกับการกำหนดอุณหภูมิของแหล่งพลังงานความร้อน โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างทำแห้ง และเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง ในหลายกรณีของการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงแต่ช่วงเวลาสั้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้เวลานาน กล่าวโดยสรุปได้ว่า เงื่อนไขของการทำแห้งที่กำหนดได้ในระดับห้องปฏิบัติการสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาขั้นหนึ่งเท่านั้น ส่วนการเลือกอุปกรณ์ทำแห้งพิเศษ และเงื่อนไขของการทำแห้งอื่นๆ ควรนำปัจจัยในด้านเทคนิคต่างๆ ที่สำคัญมาร่วมพิจารณาด้วย

ข. รูปทรงและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คุณค่าทางการค้า

ในกรณีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คุณภาพ และคุณค่าทางการค้ามักจะขึ้นกับรูปทรงและคุณสมบัติเชิงเทคโนโลยีอนุภาค (powder technology) ของผลิตภัณฑ์ทำแห้งโดยตรง เช่น ในกรณีทำแห้งผลิตภัณฑ์โดยวิธีพ่นฝอย คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขที่ใช้ในการพ่นฝอยและทำแห้ง ส่วนกรณีของวัสดุเปราะ การร้าว หรือการแตกของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทำแห้ง อาจเป็นปัญหาที่สำคัญต่อการดำเนินการทำแห้ง และคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. การทำให้ผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่อง

การเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (defect) อาหารและเวชภัณฑ์ เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่ง เนื่องจากตัวเครื่องมือทำแห้งเองที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง ตลอดจนการทำสเตอริไลเซชั่น (sterilization) และการฆ่าเชื้อโรค ในกรณีผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน อาจมีกลิ่นเหม็นไหม้เนื่องจากวัสดุที่เกาะติดกับผนังเครื่อง หรือตกค้างอยู่ในเครื่องเป็นเวลานานจนเกิดไหม้เกรียม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายด้อยลง

2) การพิจารณาด้านคุณสมบัติจำเพาะของวัสดุ และกระบวนการ

ก. คุณสมบัติทำแห้งของวัสดุเปียกชื้น

คุณสมบัติทำแห้งของวัสดุมีความจำเป็นในการประเมินการทำแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นลักษณะเฉพาะของการทำแห้ง (แม้ในกรณีที่ไม่สามารถหาเส้นกราฟนี้ได้) ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราส่วนความชื้นต่ำสุด (minimum moisture content) ของวัสดุ และอัตราส่วนความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ซึ่งขึ้นกับลักษณะการสัมผัสระหว่างวัสดุกับตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน หรือแหล่งพลังงานความร้อน ขนาด และรูปทรงของวัสดุที่นำมาทำแห้ง

ข. คุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุทำแห้ง

คุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุทำแห้งมีผลต่อปฏิบัติการด้านการขนถ่ายวัสดุในเครื่องทำแห้ง ได้แก่ คุณสมบัติการเกาะติด หรือความเหนี่ยวเหนอะของวัสดุ ตั้งแต่จากสภาพเปียกจนถึงสภาพแห้ง ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับเครื่องทำแห้งแบบต่อเนื่อง การเคลื่อนที่ของวัสดุตั้งแต่เวลาที่เริ่มป้อนเข้าเครื่อง และเคลื่อนย้ายภายในเครื่อง จนถึงเวลาที่วัสดุเคลื่อนที่ผ่านออกมา ปัญหาการเกาะติดของวัสดุบริเวณผนังเครื่อง และการรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ ทำให้เครื่องทำแห้งไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ค. การกำจัดน้ำออกล่วงหน้า

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการกำจัดน้ำออกจากวัสดุที่ยังเปียกชื้นก่อนการทำแห้งด้วยเครื่องมือกลจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการนำวัสดุที่ยังเปียกชื้นไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งเป็นอย่างมาก ดังนั้นแม้อาจเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุน ก็ควรให้ความสำคัญอย่างมากกับวิธีการที่จะนำกระบวนการกำจัดน้ำออกก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งหลักด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง. คุณสมบัติอื่นๆ

ควรรักษาอัตราส่วนความชื้นของวัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องทำแห้งให้สม่ำเสมอ นอกจากนี้ควรคำนึงถึงความเป็นพิษ ความไม่สม่ำเสมอ การแข็งตัวของผิว การหดตัว การเปลี่ยนขนาดอนุภาค เป็นต้น ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะส่งผลอย่างมากต่อคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (วิวัฒน์, 2548)

3) การพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายรวมของการทำแห้ง

ค่าใช้จ่ายในการทำแห้ง อาจแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายการลงทุน และค่าใช้จ่ายของการเดินเครื่อง ข้อสำคัญ คือการลดค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจากเครื่องทำแห้งที่เหมาะสมกับงานแต่ละประเภทอาจมีอยู่หลายประเภท การลดค่าใช้จ่ายสามารถทำได้โดยการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน และค่าใช้จ่ายของการเดินเครื่องเพื่อการเปรียบเทียบ รวมทั้งควรคำนึงถึงการขึ้นราคาของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ต้องใช้ และค่าแรงในอนาคตด้วย

ขั้นตอนในการเลือกเครื่องทำแห้งโดยสรุป คือขั้นแรกควรพิจารณารูปแบบของวัสดุเปียก ปริมาณที่ต้องการ และวิธีปฏิบัติการ จากนั้นพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการทำแห้ง และการเลือกประเภทของเครื่องทำแห้ง ซึ่งต้องคำนึงถึงทำเลที่ตั้ง และปัญหาของแหล่งพลังงานความร้อน และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เมื่อจะนำเครื่องทำแห้งไปใช้งานจริง แล้วจึงทำการประเมินขนาดของเครื่องทำแห้ง (เรียวโซ, 2529 ; วิวัฒน์, 2548) นอกจากนี้ปัจจัยในการเลือกใช้เครื่องมือและกรรมวิธีการทำแห้งที่มีอยู่มากมายนั้น ยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งตามความต้องการของผู้บริโภค และ/หรือ ผู้ผลิตอีกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 น้ำผลไม้ผง

2.3.1 คุณลักษณะของน้ำผลไม้ผง

น้ำผลไม้ผงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารผงที่มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีน้ำหนักน้อย และมีปริมาตรลดลงจากน้ำผลไม้ประมาณ 8 และ 4 เท่า ตามลำดับ น้ำผลไม้ผงที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งจะมีความชื้นต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 5 เมื่อเติมน้ำลงไปในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผง จะได้น้ำผลไม้ที่คล้ายน้ำผลไม้สดก่อนทำแห้ง คุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ผง ได้แก่คุณลักษณะด้านการ

ละลายที่สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วแม้ในน้ำเย็น (1-2 นาที) มีสี และกลิ่นรสที่ใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมคุณภาพ นอกจากนี้คุณลักษณะทางด้านกายภาพที่สำคัญของน้ำผลไม้ผง ยังประกอบด้วยคุณลักษณะที่สำคัญ (สมชาติ, 2535 ; อรทัย, 2547) ได้แก่

1) ความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร (wettability) เมื่อมีการเติมน้ำ หากน้ำผลไม้ผงมีผิวสัมผัสมากจะดูดน้ำได้ดี ทำให้กระจายตัวในของเหลวได้ง่าย

2) การกระจายตัว (dispersibility) น้ำผลไม้ผงที่มีการกระจายตัวดี ทำให้จมน้ำได้เร็ว หากมีการรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น อาจทำให้การกระจายตัวในของเหลวไม่ดี

3) การจมน้ำ (sinkability) น้ำผลไม้ผงที่จมน้ำได้เร็ว มักจะละลายได้ดี ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของผง

4) ความสามารถละลายน้ำ (solubility) และอัตราเร็วของการละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำผลไม้ผง

2.3.2 การทำแห้งน้ำผลไม้ผง

โดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตน้ำผลไม้ผงมักทำจากน้ำผลไม้ก่อน แล้วจึงนำไปทำแห้งซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบโฟมแมต แบบพ่นฝอย แบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) การทำแห้งน้ำผลไม้ ส่วนใหญ่จะเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมน้ำผลไม้ให้มีคุณภาพที่ดีก่อน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงที่มีสี และกลิ่นรสที่ดี กรรมวิธีการทำแห้งให้เป็นผงอาจทำได้หลายวิธี โดยส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำแห้ง หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรออกแบบกระบวนการทำแห้งโดยแบ่งกระบวนการทำแห้งออกเป็นช่วง โดยในช่วงแรกที่อาหารยังมีความชื้นสูง อาจใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้ลดความชื้นของอาหารอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อความชื้นในอาหารลดลงบ้างแล้ว อาจลดอุณหภูมิการทำแห้งให้ต่ำลงด้วย ซึ่งจะส่งผลในการช่วยคงคุณลักษณะภายนอกที่ดีของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงไว้ได้

ในบางกรณีการผลิตน้ำผลไม้ผง มีความจำเป็นต้องเติมวัตถุเจือปนอาหารประเภทที่ช่วยถนอมรักษาอาหาร (preservative) เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือสารที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างภายในของอาหารให้เหมาะสมต่อการทำแห้ง เช่น สารที่ก่อให้เกิดโฟม รวมทั้งสารที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้คงตัว (stabilizers) เช่น โปรตีนถั่วเหลือง (soya protein) glyceryl monostearate หรือ alginates เป็นต้น (สมชาติ, 2535)

2.3.3 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผง

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงที่ผ่านกรรมวิธีทำแห้งนั้น มีข้อควรพิจารณาเกี่ยวกับสภาวะในการเก็บรักษา ดังนี้

1) เก็บในที่อุณหภูมิต่ำ

2) เก็บในบรรยากาศที่เป็นแก๊สเฉื่อย เพื่อป้องการการเกิดออกซิเดชั่น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และสูญเสียกลิ่นรสที่ดี

3) เก็บในที่มีความชื้นต่ำ หรือเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่มีสารดูดความชื้น หรือในสภาวะสุญญากาศ

4) การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการผลิต เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์

2.4 วัตถุเจือปนอาหาร

วัตถุเจือปนอาหารเป็นวัสดุที่จำเป็นในการเตรียม การผลิต การแปรรูป และการเก็บรักษาอาหาร ซึ่งมีการควบคุมดูแลคุณภาพ และกำหนดมาตรฐานโดยองค์กรภายใต้สหประชาชาติ คือ World Health Organization (WHO) และ Food and Agriculture Organization (FAO) ที่ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2498 (ค.ศ. 1955) ต่อมาได้ก่อตั้ง Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) ในปีพ.ศ. 2499 (ค.ศ. 1956) ซึ่งเป็นคณะผู้เชี่ยวชาญพิจารณาด้านความปลอดภัยของวัตถุเจือปนอาหาร และทาง FAO/WHO ได้ร่วมกันก่อตั้งคณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission, CAC) ในปี พ.ศ. 2505 (ค.ศ. 1962) เพื่อเป็นผู้ประกาศรหัสทะเบียนของวัตถุเจือปนอาหารต่างๆ และตั้งค่า Acceptable Daily Intakes (ADI) โดยแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน และมีการปรับปรุงแก้ไขมาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ให้มีการพิจารณาเพิ่มเติมชื่อวัตถุเจือปนอาหารทุก 2 ปี

ในสหภาพยุโรปมีการตั้งรหัสของผลิตภัณฑ์วัตถุเจือปนอาหาร โดยใช้เลขรหัสเดียวกันสำหรับ International Numbering System (INS) ส่วนเลขรหัส European Economic Community

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(EEC) นั้นใช้ร่วมกัน อย่างไรก็ตาม คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (CAC) ให้มีการกำหนดชื่อที่เป็นสามัญร่วมกันแทนคำศัพท์ทางเคมี และรหัส เพื่อให้เกิดความสะดวกทางการค้าระหว่างประเทศในการนำเข้าและส่งออก รวมทั้งในขั้นตอนการพิจารณาของศุลกากรของแต่ละประเทศด้วย (สุกิจ, 2548)

2.4.1 ความหมายของวัตถุเจือปนอาหาร

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (2527) และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 199 (2532) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงวัตถุที่ปกติมิได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีในการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพ หรือมาตรฐาน หรือลักษณะของอาหาร และให้หมายความรวมถึงวัตถุที่มิได้ใช้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย

คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ว่า วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึงสารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหาร หรือไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้ และวัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นในอาหารเพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมถึงคุณลักษณะในด้านประสาทสัมผัส) กรรมวิธีในการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุการเก็บของอาหารนั้นอาจมีผลทางตรงหรือทางอ้อม ทำให้สารนั้น หรือผลิตผลพลอยได้ของสารนั้น กลายเป็นส่วนประกอบของอาหารนั้น หรือมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึงสารปนเปื้อน หรือสารที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของอาหาร

2.4.2 หลักเกณฑ์ในการใช้วัตถุเจือปนอาหาร

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา การใช้วัตถุเจือปนอาหารตามที่คณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศได้กำหนดไว้ มีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) วัตถุเจือปนอาหารทุกชนิด ไม่ว่าชนิดที่ได้มีการอนุญาตให้ใช้แล้ว หรือที่จะมีการอนุญาตให้ใช้ ควรจะต้องได้ผ่านการทดสอบ และประเมินผลทางพิษวิทยาเสียก่อน ซึ่งในการประเมินนั้น ควรรวมการศึกษาถึงผลในด้านการสะสม การเสริมฤทธิ์ หรืออันตรายจากการใช้สารนั้นไว้ด้วย

2) สำหรับวัตถุเจือปนอาหารที่สมควรให้มีการรับรองให้ใช้นั้น ควรจะเป็นสารที่ได้รับการพิจารณาประเมินผลทางพิษวิทยาจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคในปริมาณที่กำหนดให้ใช้

3) วัตถุเจือปนอาหารทุกชนิดที่ใช้ ควรจะต้องมีการเฝ้าระวังการใช้อย่างต่อเนื่อง และควรจะมีการประเมินผลทางพิษวิทยาใหม่เสมอเมื่อจำเป็น เช่น ในกรณีเปลี่ยนสภาวะการใช้ หรือเพื่อเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

4) ข้อกำหนด (specifications) ของวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ ควรจะตรงกับข้อกำหนดที่ได้ผ่านการรับรองแล้ว เช่น ข้อกำหนดเกี่ยวกับการจำแนกและความบริสุทธิ์ (specification of identity and purity) ที่ได้ผ่านการรับรองของคณะกรรมาธิการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ

5) การใช้วัตถุเจือปนอาหารที่เป็นที่ยอมรับต่อเมื่อการใช้นั้นมีวัตถุประสงค์ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวถึงในข้อใดข้อหนึ่งในข้อ (1)-(4) และการที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการใช้นั้น ไม่สามารถจะใช้วิธีการอื่นที่ประหยัดกว่า หรือให้ผลดีกว่า และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

2.4.3 ชนิดของวัตถุเจือปนอาหาร

การเลือกใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดต่างๆ เนื่องจากมีวัตถุประสงค์การใช้ที่ต่างกัน (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549 ; ศิวาพร, 2546) โดยวัตถุประสงค์ของการใช้วัตถุเจือปนอาหารมีหลายประการ ได้แก่

1) เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการ

2) เพื่อเป็นการให้ส่วนประกอบ ที่จำเป็นแก่ผลิตภัณฑ์อาหารที่จะผลิตเพื่อกลุ่มบุคคลที่ต้องการอาหารพิเศษ

3) เพื่อช่วยยืดอายุในการเก็บรักษา หรือช่วยให้อาหารนั้นมีคุณภาพคงที่ หรือช่วยปรับปรุงคุณภาพอาหาร ในด้านเกี่ยวกับสี กลิ่น รส ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือคุณภาพของอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) เพื่อเป็นการช่วยเกี่ยวกับกรรมวิธีการแปรรูป การเตรียม การบรรจุ การขนส่ง และการเก็บรักษาอาหาร โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้มิได้ใช้เพื่อปิดบังการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพไม่ดี หรือการแปรรูปที่มีการสุขาภิบาลที่ไม่ถูกต้อง

ชนิดของวัตถุเจือปนอาหารที่มีใช้กันในอุตสาหกรรมอาหาร อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1) กลุ่มที่ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร ได้แก่ วัตถุกันเสีย วัตถุกันหืน และสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร เป็นต้น วัตถุกันเสียเป็นวัตถุเจือปนอาหาร ที่ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร โดยการช่วยยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในอาหาร ส่วนวัตถุกันหืนและสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหารจะช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร โดยการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ในอาหาร

โดยทั่วไปแล้วการใช้สารประกอบไนไทรตและไนเทรตในอาหารนั้นช่วยให้มีการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อ แต่พบว่า ผลพลอยได้จากการใช้สารดังกล่าวทำให้ช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium botulinum* และการสร้างสารพิษของเชื้อดังกล่าวในผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการงอกของสปอร์ได้

2) กลุ่มที่ให้กลิ่นรสแก่อาหาร ได้แก่ กรดชนิดต่างๆ สารให้ความหวาน และวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส ทั้งที่ได้จากสารธรรมชาติ และการสังเคราะห์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ดังนี้

ก. กลุ่มที่ช่วยปรับปรุงในด้านสีของอาหาร ได้แก่ สีผสมอาหารชนิดต่างๆ ทั้งสีผสมอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ จากธรรมชาติ และในขณะเดียวกันสารประกอบไนไตรต์ ซึ่งใช้เป็นวัตถุกันเสียในอาหารนั้น มีส่วนช่วยให้มีการเกิดสีในผลิตภัณฑ์เนื้อด้วย

ข. กลุ่มที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ วัตถุเจือปนอาหารพวกกัมชนิดต่างๆ เช่น คาราจีแนน (carrageenan) กัวร์กัม (guar gum) แอลจิเนต(alginate) แซนแทนกัม (xanthan gum) และวุ้น (agar) หรือโมดิฟายสตาร์ช (modified starch) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) และสารประกอบฟอสเฟต เป็นต้น

ค. กลุ่มที่ช่วยเสริมสารอาหารให้อาหาร ได้แก่ วิตามิน กรดอะมิโน และเกลือแร่ใยอาหาร เช่น เซลลูโลส หรือเพ็กติน เพื่อเสริมในอาหารจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับผู้ที่ต้องการอาหารเฉพาะ เช่น ผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก หรือผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบขับถ่าย เป็นต้น การใช้สารทดแทนไขมันจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำ หรือแคลอรี่ต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก หรือผู้ป่วยที่ต้องบริโภคอาหารเฉพาะ

3) กลุ่มที่ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร และช่วยในกรรมวิธีในการแปรรูป เช่น สารจับโลหะ (sequesting agents) เอนไซม์ (enzymes) วัตถุกันการรวมกันเป็นก้อน (anticaking agents) วัตถุกันฟอง (antifoaming agents) และวัตถุที่ช่วยให้คงตัว (firming agents) เป็นต้น (ศิวาพร, 2546)

2.5 การทำแห้งด้วยวิธีโฟมแมต

2.5.1 การทำแห้งอาหารด้วยวิธีโฟมแมต

การทำแห้งอาหารด้วยวิธีโฟมแมต เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้งอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพด้วยการใช้กระบวนการก่อให้เกิดโฟมก่อนนำไปทำแห้ง เพื่อเพิ่มความมีรูพรุน และลดความหนาแน่นทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ออกสู่ผิวนอกได้ง่ายขึ้น การลดระยะเวลาในการทำแห้งซึ่งน่าจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารน้อยลง (Kudra and Ratti, 2006)

การก่อให้เกิดโฟมเป็นกระบวนการทำให้อาหารอยู่ในสภาพคอลลอยด์ สำหรับอาหารบางชนิด เช่น ไข่ขาว นม สามารถทำให้เกิดฟอง และอยู่ในสภาพคอลลอยด์ได้ด้วยการตีอัดอากาศ โดยคอลลอยด์ที่ได้มีความคงตัว เนื่องจากอาหารดังกล่าวประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และโมโนกลีเซอร์ไรด์ (monoglycerides) ซึ่งมีสมบัติในการทำให้เกิดฟองที่มีความเสถียร (foam stability) โดยโปรตีนที่ละลายน้ำได้จะเกิดการเสียสภาพหรือคลายเกลียว (denaturation) ดังนั้นผิวที่ร่วมระหว่างน้ำกับฟองอากาศ (air-water interface) จึงเกิดโครงสร้างซึ่งสามารถทำหน้าที่กีดขวางการรวมตัวกันของอนุภาคคอลลอยด์ (ฟองอากาศ) เพราะโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่พอที่จะทำหน้าที่เป็นเครื่องกีดขวางไม่ให้ฟองอากาศเกาะกลุ่มกันได้ และทำหน้าที่หน่วงให้การเคลื่อนที่ของฟองอากาศช้าลง ทำให้ฟองอากาศรวมตัวกันได้ยากขึ้น นอกจากนี้โปรตีนยังมีสมบัติในการยืดหยุ่นที่ดี ดังนั้นที่บริเวณผิวร่วม โปรตีนจะทำหน้าที่ในการเป็นตัวต้านทานต่อแรงเฉือน และแรงกดที่จะกระทำต่อฟองอากาศ และช่วยลดแรงตึงผิวของฟองอากาศ ซึ่งส่งผลให้ฟองอากาศมีความเสถียร แต่สำหรับอาหารบางประเภทที่ไม่สามารถทำให้ฟองที่เกิดมีความเสถียร จะช่วยเพิ่มความมีรูพรุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้กับอาหาร และลดความหนาแน่นของอาหาร ส่งผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง (Thuwapanichayanan *et al.*, 2006)

การทำน้ำผลไม้ให้เข้มข้นด้วยการใช้สารที่ทำให้เกิดโฟม เพื่อลดปริมาณน้ำบางส่วนทำให้ได้โฟมน้ำผลไม้ที่มีความคงตัว ไม่ยุบตัวในขณะทำแห้ง และสามารถแผ่ลงบนถาดอบแห้งได้ ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำผลไม้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อัตราส่วนของเนื้อผลไม้ ชนิดของสารที่ทำให้เกิดโฟม ชนิด และความเข้มข้นของสารที่ให้ความคงตัวของโฟมนั้นมีอิทธิพลส่งผลต่อความคงตัวของโฟมน้ำผลไม้เมื่องร้อน (อรทัย, 2547)

2.5.2 กระบวนการทำให้เกิดโฟม

การทำแห้งแบบโฟมแมต เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้หลักการตีอาหารเหลวเพื่อเติมอากาศเข้าไปในตัวอาหาร ทำให้เกิดเป็นโฟมที่คงตัวได้ในระหว่างการทำแห้ง อาจมีการเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟม หรือสารที่ทำให้โฟมคงตัวด้วยหรือไม่ก็ได้ เช่น น้ำนม ไข่ขาว เมื่อนำมาตีสามารถเกิดโฟมขึ้นได้ เพราะอาหารเหล่านี้มีองค์ประกอบของโปรตีน และสารโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เกิดโฟม และรักษาโฟมให้คงทนแข็งแรง แต่สำหรับอาหารบางชนิด เช่น น้ำส้มคั้น จำเป็นต้องมีการเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟม จึงจะได้โฟมที่เสถียร จากนั้นจึงใช้ความร้อนจากลมร้อนเป็นตัวระเหยความชื้นที่แทรกอยู่บนโฟมออกไป ทำให้อาหารเหลวแห้งอย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้ปั๊มสุญญากาศ จึงส่งผลต่อสี และกลิ่นของอาหารยังคงเหลืออยู่มาก (Kudra and Ratti, 2006 ; Thuwapanichayanan *et al.*, 2006)

เนื่องจากการทำแห้งแบบโฟมแมตนั้น ต้องนำโฟมของอาหารเหลวมาหยอดเป็นเส้นยาวลงบนถาดหรือสายพานก่อนนำไปทำแห้ง ลักษณะของโฟมจะเป็นโฟมที่มีรูพรุน ซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 24 μm (ไมครอน) จำนวนมาก กระจายอยู่ในชั้นของเหลวคล้ายรังผึ้ง ช่วงของค่าความหนาแน่นของโฟมที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้โฟมมีความเสถียร ไม่ยุบตัวระหว่างการทำแห้ง ส่งผลให้แห้งได้เร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเปราะแตกหักง่าย จึงสะดวกต่อการขูดออกจากถาด หรือสายพาน (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับสารที่ก่อให้เกิดโฟมควรเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น surface active ไม่มีรสชาติ ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถทำให้เกิดโฟมได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำ และปลอดภัยต่อการบริโภค การใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมเติมลงในอาหารมีจุดประสงค์อยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ

1) ทำให้เกิดโฟมขึ้นในอาหาร ภายหลังการตีด้วยเครื่องตีความเร็วสูง
2) ทำให้โฟมที่เกิดมีความเสถียร

สารที่ก่อให้เกิดโฟมมีมากมายหลายชนิด สารก่อโฟมที่นิยมเติมลงในอาหารเหลวก่อนตีให้เกิดโฟม ได้แก่ solubilized soybean protein (Gunther's D-100), glyceryl monostearate (GMS), tapioca starch (รติยา, 2549) และ methocel 90 HG 400 cps (MC-400) ซึ่งช่วยเพิ่มความข้นหนืด ทำให้โฟมเสถียรไม่ยุบตัว และได้โฟมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสสม่ำเสมอ ส่วนปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ต้องเพียงพอที่จะก่อให้เกิดโฟมที่มีความหนาแน่นตามต้องการ เช่น D-100 โดยทั่วไปใช้ปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 0.25 เพื่อให้เกิดโฟมที่มีความหนาแน่น 0.30-0.4 กรัมต่อมิลลิลิตร ความเร็วในการตีผสมระดับสูงสุดที่ระดับ 10 ระยะเวลาตี 6 นาที สำหรับ D-100 และ 10 นาที สำหรับ GMS (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547)

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม

ในการตีส่วนผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (high speed mixer) เพื่อเปลี่ยนรูปแบบจากอาหารเหลวให้อยู่ในรูปโฟมที่มีความหนาแน่นน้อย และมีความคงตัว จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547) ดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

อาหารบางชนิดมีสารก่อให้เกิดโฟมอยู่ด้วยตามธรรมชาติ เช่น น้ำสับปะรด ประกอบด้วยสาร galactose mannans ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมที่คงตัว จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟมในการตีส่วนผสม ในขณะที่น้ำเสาวรสไม่มีสารที่ก่อให้เกิดโฟมตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องเติมทั้งสารก่อให้เกิดโฟม และสารที่ทำให้โฟมคงตัว เช่น D-100 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ MC-400 ที่ร้อยละ 1.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ปริมาณของสารละลายได้ทั้งหมด

อาหารที่มีปริมาณสารละลายได้ทั้งหมดยิ่งมาก ทำให้โฟมที่ได้ยิ่งมีค่าความหนาแน่นมาก ส่งผลให้โฟมมีค่าความคงตัวระหว่างการทำแห้งได้มาก

3) ปริมาณของเนื้ออาหาร

น้ำผลไม้ที่มีเนื้อผลไม้ปนมาด้วยจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความคงตัวของโฟมระหว่างการทำแห้ง

4) ชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโฟม

สารที่ก่อให้เกิดโฟมมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติ และวิธีการใช้แตกต่างกัน

5) ชนิด และความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของโฟม

การเลือกใช้ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวของโฟม และความเข้มข้นเพื่อให้ได้โฟมที่คงตัวระหว่างการทำแห้งมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร

2.5.4 ข้อดีของกระบวนการทำแห้งแบบโฟมแมต

การทำแห้งด้วยวิธีโฟมแมต เป็นวิธีทำแห้งอาหารผงวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำผลไม้ผง ซึ่งมีข้อดีที่พอจะสรุปได้ ดังนี้

1) การทำแห้งแบบโฟมแมตใช้ได้ดีกับอาหารเหลว หรืออาหารกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูงโดยยังสามารถรักษาสี และกลิ่นไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ไม่สามารถทำได้

2) ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นลง ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ

3) คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ มีสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปที่ดีกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบอื่นๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีน้ำหนักเบา และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ (นิธิยา และ ไพโรจน์, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำโฟมแมต

ชนันท์ (2545) ทำการศึกษาการผลิตน้ำลำไยผงด้วยวิธีอบแห้งแบบโฟมแมต โดยมีส่วนประกอบของสารที่ก่อให้เกิดโฟม 2 ชนิด คือ methocel 65 HG ร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก ผสมกับ glyceryl monostearate ร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก พบว่าอุณหภูมิอบแห้งแบบลมร้อน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผงที่มีความชื้น และค่า a_w ต่ำ (ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง และ 0.120 ตามลำดับ) และมีความสามารถในการคืนรูปสูงถึงร้อยละ 98.5

อรทัย บุญทะวงศ์ (2547) ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเกี๋ยงโดยใช้วิธีโฟมแมต พบว่า การใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสม คือ methocel ผสมกับ carboxy methyl cellulose ในปริมาณร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำมะเกี๋ยงสกัด ทำให้ได้โฟมที่มีความหนาแน่นน้อย (0.44 กรัมต่อมิลลิลิตร) และมีค่าโอเวอร์รันสูง (ร้อยละ 690.07) และเมื่อนำไปทำแห้งด้วยตู้อบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมะเกี๋ยงผงที่ได้มีสีแดงเข้ม ค่อนข้างคล้ำ ไม่จับตัวเป็นก้อน มีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ (ร้อยละ 2.49 และ 0.21 ตามลำดับ) และมีความสามารถในการคืนรูปสูงถึงร้อยละ 98.84

Karim and Wai (1999b) รายงานว่า ในการศึกษาคุณลักษณะของน้ำมะเฟืองผง ที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมแมต โดยใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมเป็น methocel 65 HG (มีองค์ประกอบของ methocyl group ร้อยละ 27-29) และทำแห้งด้วยตู้อบแบบรมควัน (smoker) ขนาดเล็ก อุณหภูมิทำแห้งที่ 70 หรือ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ได้น้ำมะเฟืองผงที่มีลักษณะแห้ง มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 ผงไม่จับตัวกันเป็นก้อน มีความสามารถละลายได้ในน้ำเย็น โดยมีอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และน้ำมะเฟืองผงสูญเสียคุณลักษณะสีที่ดีของผลิตภัณฑ์ไปมากกว่าด้วย

Falade *et al.* (2003) ได้ศึกษาการทำแห้ง cowpea paste ด้วยวิธีอบแห้งแบบโฟมแมต โดยใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟม 2 ชนิด คือ กลีเซอเรียล โมโนสเตียเรท หรือโปรตีนอัลบูมินจากไข่ (egg albumin) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 และ 15 โดยน้ำหนัก โดยผ่านการตีปั่นส่วนผสมโฟม เป็นเวลา 3, 6, 9, 12, 15, 18 และ 21 นาที พบว่า ความหนาแน่นของโฟมแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมทั้ง 2 ชนิด และระยะเวลาที่ใช้ตีปั่นส่วนผสมโฟม โดยเมื่อทำการตีปั่นเป็นเวลา 9 และ 21 นาที ทำให้โฟมที่มีส่วนผสมกลีเซอเรียล โมโนสเตียเรท หรือ egg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

albumin มีความหนาแน่นที่ต่ำสุด ในขณะที่ความหนาแน่น และความคงตัวของโฟมที่ใช้ส่วนผสมของกลีเซอเรียล โมโนสเตียเรท หรือ egg albumin ก็แปรผันตามปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วย

2.6 กรรมวิธีการทำแห้งทางเลือกใหม่

2.6.1 สถานการณ์ด้านพลังงานในประเทศ

ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในด้านการใช้พลังงาน เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นทุกปี เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง หรือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งล้วนมีความจำเป็นต่อระบบเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ปัญหาด้านการใช้พลังงานของประเทศจึงต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของประเทศที่เพิ่มขึ้นทุกปี ในปีพ.ศ. 2547 มีมูลค่าประมาณ 1 ใน 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ หรือประมาณ 1 ล้านล้านบาท ส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ ลิกไนต์และถ่านหิน รวมทั้งปิโตรเลียม (น้ำมันดิบและแก๊สปิโตรเลียมเหลว) ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 82 จึงส่งผลการขาดดุลการค้าสูง ความมั่นคงด้านพลังงานลดลง และอีกปัจจัย คือ การใช้พลังงานที่ขาดประสิทธิภาพ อีกทั้งประเทศไทยมีค่าอัตราส่วนการเพิ่มการใช้พลังงานต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจที่สูงกว่าประเทศที่พัฒนาแล้ว นอกจากนี้ยังเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณสูง ซึ่งครอบคลุมทั้งมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ และมลพิษในดิน รวมทั้งสภาวะแก๊สเรือนกระจก ด้วยเหตุดังกล่าว ทำให้ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก การแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ ในแนวทางเร่งด่วนอาจทำได้โดยมุ่งเน้นไปยังระบบขนส่ง การใช้พลังงานในภาคขนส่ง การจัดหาพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้า การประหยัดพลังงาน และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนนั้นน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขได้ในระยะยาว และการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันผลกระทบของปัญหาด้านพลังงาน อีกทั้งยังนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคตของประเทศได้อีกด้วย (สมชาติ, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 การทำแห้งกับการใช้พลังงาน

การทำแห้งเป็นกระบวนลดความชื้นผลิตภัณฑ์ มักมีวิธีการที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรให้ความสนใจเพื่อหาแนวทางการใช้พลังงานในการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน เป็นต้น (อำไพศักดิ์ และ ธนภัทร, 2550)

การทำแห้งด้วยปั๊มความร้อน (heat pump) เป็นเทคนิคการทำแห้งวิธีหนึ่ง เพื่อลดความชื้นในวัสดุ ทำให้ช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บผลผลิตไว้ได้ แม้ว่าวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งต่ำ แต่ต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงาน (ศรีมา และคณะ, 2547) ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือการทำแห้งด้วยลมร้อน ยังเป็นวิธีที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง และสิ้นเปลืองพลังงานมากเช่นเดียวกัน (ฉัตรชัย และคณะ, 2549)

พลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง และประสิทธิภาพการทำแห้งที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการออกแบบขนาดของเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง การทำแห้งที่อาศัยหลักการพาความร้อน เช่น การใช้ลมร้อน ซึ่งมีอัตราการระเหยน้ำช้าต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ใช้ทำแห้งขนาดใหญ่ และมีความสิ้นเปลืองพลังงาน (Abukhalifeh *et al.*, 2005)

การประหยัดพลังงานเป็นแนวทางที่น่าจะมีความเหมาะสม และเป็นมาตรการที่สำคัญที่สุดในการแก้ปัญหาพลังงานของประเทศ การพิจารณาถึงอุปสงค์พลังงาน และอุปทานพลังงาน (ตาราง 2.2) ของประเทศจึงมีความจำเป็น เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางกำหนดการใช้พลังงานอย่างไม่ฟุ่มเฟือย ลดการใช้ที่ไม่จำเป็น หรือเกินความจำเป็น ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และคุ้มค่า การประหยัดพลังงานส่งผลในทางตรง ได้แก่ ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของผู้ใช้ ลดต้นทุนด้านพลังงานของประเทศ หรือในส่วนภาคเอกชน โรงงาน ธุรกิจ สถานประกอบการ และส่งผลในทางอ้อม ได้แก่ ทำให้ราคาสินค้า และบริการลดลง ปริมาณการจำหน่ายสินค้ามีโอกาสเพิ่มมากขึ้น มีทรัพยากรที่เป็นแหล่งพลังงานใช้ได้ในระยะยาวขึ้น รวมถึงช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ (สมชาติ, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 คำศัพท์ที่นิยมใช้ในด้านพลังงาน

คำศัพท์	ความหมาย	ตัวอย่างพลังงาน
พลังงานปฐมภูมิ (primary energy)	หมายถึง พลังงานที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ ซึ่งยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง	เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานที่มีอยู่ในถ่านหิน น้ำมันดิบ และไม้ฟืน เป็นต้น
พลังงานทุติยภูมิ (secondary energy)	หมายถึง พลังงานที่ได้จากการแปรรูปมาจากพลังงานปฐมภูมิ	เช่น ไฟฟ้า พลังงานที่มีอยู่ในน้ำมันดีเซล เบนซิน และถ่านไม้ เป็นต้น
พลังงานขั้นสุดท้าย (final energy)	หมายถึง พลังงานที่อยู่ในรูปพร้อมใช้กับอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องยนต์	เช่น ไฟฟ้า พลังงานที่มีอยู่ในน้ำมันดีเซล เบนซิน และแก๊สปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น
พลังงานเชิงพาณิชย์ (commercial energy)	หมายถึง พลังงานที่มีการซื้อขายในวงกว้าง	เช่น น้ำมันปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์
อุปสงค์พลังงาน (energy demand)	หมายถึง ปริมาณความต้องการการใช้พลังงานประเภทต่างๆ เพื่อตอบสนองตามความต้องการของผู้บริโภคที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ หรือ ปริมาณความต้องการใช้พลังงานในทุกภาคเศรษฐกิจ เช่น ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตร ณ เวลาหนึ่งๆ ณ ระดับราคาที่กำหนด	เช่น ปริมาณความต้องการใช้น้ำมันเบนซินในการเดินทางสำหรับ 7 วัน ที่ราคา 23.14 บาทต่อลิตร
อุปทานพลังงาน (energy supply)	หมายถึง ปริมาณการจัดหาพลังงานประเภทต่างๆ ของผู้ผลิต เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ของผู้บริโภค ณ เวลาหนึ่งๆ ณ ระดับราคาที่กำหนด หรืออุปทานพลังงานระดับประเทศ ได้แก่ ปริมาณการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคเศรษฐกิจ ในปีที่กำหนด	เช่น ปริมาณนำเข้าฟอสซิลของบริษัทแห่งหนึ่ง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 เพื่อมาจัดจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมในราคาที่กำหนด

ที่มา : สมชาติ, 2550

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 การทำแห้งทางเลือกใหม่

ทางเลือกใหม่สำหรับการทำแห้ง ได้แก่ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ คลื่นไมโครเวฟ และอินฟราเรด การใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วง 1-0.01 เซนติเมตร มีความถี่ในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz นำมาใช้ทำแห้งอาหาร โดยอาศัยสมบัติของน้ำภายในอาหารที่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟไว้ได้ จากนั้นเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดการระเหยน้ำจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนหรือการทำแห้งโดยอาศัยหลักการพาความร้อน นอกจากนี้โมเลกุลขององค์ประกอบในอาหาร โปรตีน และไขมันยังมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟได้ การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีคุณสมบัติการคืนรูปที่ดีกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนอีกด้วย (Wang and Sheng, 2006 ; Maskan, 2000) สำหรับการใช้รังสีอินฟราเรดในการทำแห้ง อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในทำนองเดียวกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ และยังมีข้อได้เปรียบในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าระบบลมร้อนเช่นกัน (Toğrul, 2006)

การทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด จัดเป็นกระบวนการทำแห้งทางเลือกใหม่วิธีหนึ่งที่เริ่มได้รับความสนใจ และนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น (Ratti and Mujumdar, 1999) อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีไปยังอาหาร แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในตัวอาหารโดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำจนเกิดความร้อนถึงจุดที่น้ำระเหยกลายเป็นไอ (Meeso *et al.*, 2006) แล้วไอจะถูกกำจัดออกจากระบบ จัดเป็นระบบการให้ความร้อนที่สะอาด สามารถควบคุมได้ง่าย วัตถุได้รับพลังงานโดยตรง ทำให้มีประสิทธิภาพการให้ความร้อนสูง และถ้าเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานจากรังสีอินฟราเรดได้มากกว่าร้อยละ 88 (Infrared Heating Technologies LLC, 2008)

การใช้รังสีอินฟราเรดในระดับอุตสาหกรรมช่วยเพิ่มผลผลิตในการผลิต ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตในสายการผลิตและทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมากขึ้น ตลอดจนช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิต มีการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในระดับอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ โดยยุคเริ่มแรก พ.ศ. 2473 (ค.ศ 1930) มีการออกแบบเป็นหลอดอินฟราเรดในระดับทางการค้า และนำมาใช้ในขั้นตอนอบแห้งสารเคลือบผิวที่เป่าเคลือบให้กับรถยนต์ (Bartley, 1999) นอกจากนี้ยังมีการนำแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้อบแห้งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในระดับอุตสาหกรรม (ภาคภูมิ, 2542) เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมเส้นใย และสิ่งทอ อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตและแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร อุตสาหกรรมการผลิตหลอดไฟ และเครื่องทำความร้อน เป็นต้น

การทำแห้งผลิตผลทางการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นในการยืดอายุการเก็บรักษา การนำกระบวนการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลมาประยุกต์ใช้ จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการลดเวลาในการทำแห้งให้น้อยลง เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์ดี ภาคอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องต้นแบบในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดเวลาในการทำแห้งให้มากที่สุด จึงได้นำรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ร่วมกับปั๊มความร้อน หรือการใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับสุญญากาศ โดยคาดว่าจะช่วยลดเวลา และลดการใช้พลังงาน รวมทั้งช่วยในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งให้อยู่ในเกณฑ์ดี (ศรีมา และคณะ, 2547) อุปกรณ์การทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ต่ำเช่นเดียวกับอุปกรณ์การทำแห้งด้วยลมร้อน (อำไพศักดิ์ และ ธนภัทร, 2550)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มักได้รับความเสียหาย หรือสูญเสียคุณภาพเมื่อได้รับความร้อนสูง ในการทำแห้งโดยรังสีอินฟราเรด พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกวัสดุที่ต้องการทำแห้งดูดกลืนไว้โดยตรง มีอัตราการทำแห้งสูง ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลง และทำให้ใช้พลังงานในกระบวนการทำแห้งน้อย และมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีวิธีการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือใช้ความดันต่ำ การทำแห้งวิธีนี้จะทำให้น้ำในอาหารสามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ การทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำจึงส่งผลต่อการคงคุณลักษณะที่ดี และคุณค่าโภชนาการไว้ได้มากที่สุด (สักกมน, 2551) ดังนั้นจึงสามารถนำข้อเด่นของการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศมารวมเข้าด้วยกันเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ใช้ทำแห้งอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

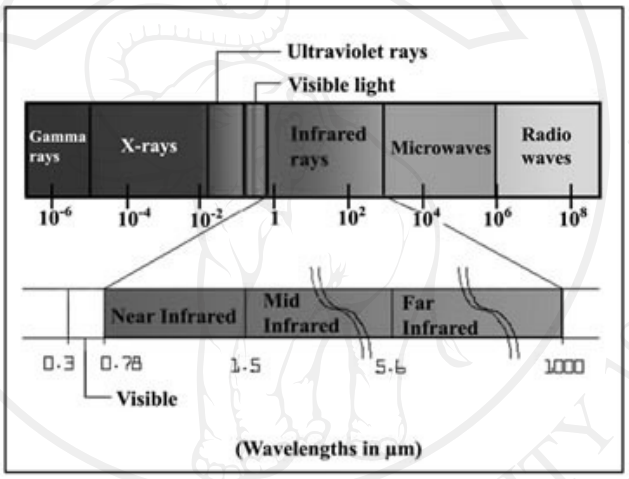
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 รังสีอินฟราเรด

2.7.1 รังสีอินฟราเรดและคุณสมบัติ

รังสีอินฟราเรด (infrared radiation, IR) ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดย Sir Willium Herschel นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1800 ขณะทำการศึกษาเกี่ยวกับแสงจากดวงอาทิตย์ รังสี

อินฟราเรด หมายถึงรังสีใต้แดง หรือรังสีอยู่ใต้แถบสีแดง เป็นรังสีที่มองไม่เห็น (invisible radiation) จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก คือมีช่วงความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นไมโครเวฟ และมีช่วงความยาวคลื่นยาวกว่าคลื่นแสง โดยมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.75 μm (หรือ 0.000075 เซนติเมตร) ถึง 1000 μm (หรือ 0.1 เซนติเมตร) (ภาพ 2.5) โดยที่ช่วงคลื่นสั้นอยู่ใต้คลื่นแสงสีแดง และช่วงคลื่นยาวมีส่วนความยาวคลื่นช่วงสุดท้ายที่ทับซ้อนกับคลื่นไมโครเวฟ (ประพัฒน์, 2545 และ Simon, 1966) ในทางปฏิบัติมีการแบ่งช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมของรังสีอินฟราเรดให้อยู่ในช่วง 0.8 μm ถึง 10 μm



ภาพ 2.5 ระดับคลื่นของรังสีอินฟราเรด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Amperis, 2009

ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถจำแนกได้อีก 3 ช่วงจากแหล่งกำเนิดความร้อนตามระดับอุณหภูมิของตัวเปล่งรังสี ได้แก่ รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (short wave radiation) รังสีอินฟราเรดคลื่นระดับกลาง (medium wave radiation) และรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (long wave radiation) ซึ่งจะเหมาะสมกับวัสดุแต่ละประเภทที่จะใช้ดูดซับพลังงานแตกต่างกันไป (Bartley, 1999) สำหรับการแบ่งช่วงคลื่นอินฟราเรดตามความยาวคลื่น ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อน สามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ ได้แก่ อินฟราเรดใกล้ (near infrared) มีความยาวคลื่น 0.7 μm ถึง 3 μm อินฟราเรดกลาง (medium infrared) มีความยาวคลื่น 3 μm ถึง 25 μm และอินฟราเรดไกล (far infrared) มีความยาวคลื่น 25 μm ถึง 100 μm (จักรมาส, 2551) นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของอินฟราเรดอย่างละเอียดตามการนำไปใช้ประโยชน์ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ near infrared, short wave infrared, intermediate infrared, thermal infrared และ far infrared ดังแสดงในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ระดับของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ชนิด (Class)			ความยาวคลื่น (Wavelength)	ความถี่ (Frequency)
Ultraviolet			100 A ~ 0.4 μm	750 ~ 3,000 THz
Visible			0.4 ~ 0.7 μm	430 ~ 750 THz
Infrared	Near infrared		0.7 ~ 1.3 μm	230 ~ 430 THz
	Short infrared		1.3 ~ 3 μm	100 ~ 230 THz
	Intermediate infrared		3 ~ 8 μm	38 ~ 100 THz
	Thermal infrared		8 ~ 14 μm	22 ~ 38 THz
	Far infrared		14 μm ~ 1 mm	0.3 ~ 22 THz
Radio Wave	Submillimeter		0.1 ~ 1 mm	0.3 ~ 3 THz
	Microwave	Millimeter EHF)	1 ~ 10 mm	30 ~ 300 THz
		Centimeter (SHF)	1 ~ 10 cm	3 ~ 30 GHz
		Decimeter (UHF)	0.1 ~ 1 mm	0.3 ~ 3 GHz
	Very short wave (VHF)		1 ~ 10 m	30 ~ 300 MHz
	Short wave (HF)		10 ~ 100 mm	3 ~ 30 MHz
	Medium wave (MF)		~ 1 km	~ 300 kHz
	Long wave (LF)		1 ~ 10 km	30 ~ 300 kHz
	Very long wave (VLF)		10 ~ 100 km	30 kHz

ที่มา: ประพัฒน์, 2545

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

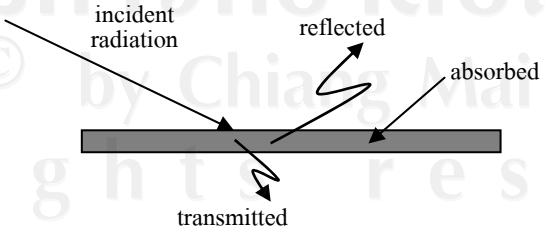
รังสีอินฟราเรดมีลักษณะเช่นเดียวกับแสงแดดที่เรามองเห็น คลื่นวิทยุ และรังสีเอ็กซ์ เป็นต้น มีการแผ่พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยอุณหภูมิของตัวเองโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง หรือตัวนำในการส่งผ่านความร้อนไปยังวัสดุ (ประพัฒน์, 2545) เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีระดับพลังงานที่มีความเข้มสูงกว่าพลังงานความร้อนจากลมร้อนถึง 6-10 เท่า ส่งผลให้กระบวนการทำแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดนั้น มีอัตราการระเหยน้ำเร็วกว่าการพาความร้อนแบบลมร้อน ทำให้ใช้พลังงานต่ำกว่าการทำแห้งโดยอาศัยหลักการพาความร้อนแบบดั้งเดิม ทั้งยังไม่ส่งผลทำลายโครงสร้างภายในของอาหารอีกด้วย (Abukhalifeh *et al.*, 2005)

2.7.2 การลดความชื้นโดยใช้รังสีอินฟราเรด

การทำให้วัสดุที่นำมาทำแห้งมีความชื้นลดลง โดยใช้รังสีอินฟราเรดที่เหมาะสมนั้น วัสดุจะต้องมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำและมีการดูดซับสูง นอกจากนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ได้แก่ อุณหภูมิของผิวหน้าวัสดุให้ และ/หรือ วัสดุรับความร้อน คุณสมบัติของผิวหน้าวัสดุให้ และ/หรือ วัสดุรับความร้อน รูปร่างของวัสดุที่แผ่รับ และส่งรังสี

การลดความชื้นของวัสดุที่มีชั้นหนาและความชื้นสูง เช่น อาหาร มีความจำเป็นต้องมีค่าการส่งผ่านของรังสีสูงเพื่อที่ผิวหน้าจะไม่ถูกทำลายโดยรังสี สำหรับวัสดุชื้น (moist materials) นอกจากคุณสมบัติการดูดซับและส่งผ่านพลังงานของวัสดุแล้วต้องศึกษาคุณสมบัติ ในแง่ของความยาวคลื่น และความหนาแน่นของวัสดุที่รับพลังงานซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในวัสดุด้วย แต่โดยทั่วไปวัสดุชื้นส่วนมากจะมีค่าการดูดซับพลังงานต่ำ แต่มีค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัสดุมักจะมีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้น (ประพัฒน์, 2545 และ สุพรรณ, 2546)

ปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ได้แก่ ระดับความเข้มของการแผ่รังสี ปริมาณน้ำของวัสดุก่อนการทำแห้ง ระดับความลึก หรือความหนาของวัสดุที่นำมาทำแห้ง ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับวัสดุที่ทำแห้ง รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน (จักรมาส และ เสรี, 2549) รังสีความร้อนที่แผ่ไปตกกระทบกับวัสดุนั้นทำให้เกิดผล ได้แก่ การดูดซับพลังงานความร้อน (absorptivity, α) การส่งผ่าน (transmissivity, τ) และการสะท้อนกลับ (reflectivity, ρ) (ภาพ 2.6) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ (จักรมาส, 2551)



ภาพ 2.6 การดูดซับ การส่งผ่าน และการสะท้อนกลับพลังงานของวัตถุ
ที่มา: จักรมาส, 2551

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หากวัตถุสามารถดูดซับพลังงานได้สูงโดยไม่มีการส่งผ่าน และสะท้อนกลับจะเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้เป็น $\alpha = 1$ วัสดุที่มีสมบัติเช่นนี้ เรียกว่า วัตถุดำ หรือ black body ซึ่งในส่วนของวัตถุร้อนที่แผ่รังสีสมบูรณ์ (perfect radiator) จะเรียกว่า วัตถุดำเช่นกัน โดยปริมาณความร้อนที่แผ่ออกสามารถคำนวณด้วยสมการของสเตฟาน-โบลแมน (Stefan-Boltzman) ดังนี้

$$Q = \sigma A T^4$$

โดย Q หมายถึง อัตราการแผ่ความร้อน (J/s) σ หมายถึง ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลแมน (5.7×10^{-8} ; J/s m^2 K^4) A หมายถึง พื้นที่ผิว (m^2) และ T หมายถึง อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K หรือ °C+273)

อุปกรณ์แผ่รังสีอินฟราเรดทั่วไปไม่ใช่วัตถุที่แผ่รังสีสมบูรณ์ แม้จะมีค่าการดูดซับสูงก็ตาม ดังนั้นจึงเรียกเป็นวัตถุเทา (grey body) โดยเพิ่มค่า ε (ค่า emissivity คือ ปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาโดยตรง หรือค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุนั้นๆ ซึ่งมีค่า 0 ถึง 1) เพื่อคำนวณในสมการสเตฟาน-โบลแมนใหม่ จะได้สมการ “the rate of energy emission” ดังนี้

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

สำหรับปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับด้วยวัตถุเทานั้น ความสามารถในการดูดซับรังสี จะมีค่าเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุนั้น และเมื่อความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดกำหนดโดยต้นกำเนิดรังสี อุณหภูมิที่สูงกว่าจะให้ความยาวคลื่นที่สั้นกว่า และการแทรกซึมลึกกว่า อัตราสุทธิของการถ่ายโอนความร้อนสู่วัตถุจึงเท่ากับอัตราการดูดซับลบจากอัตราการแผ่รังสี ดังสมการ

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย T_1 หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่แผ่รังสี (K) และ T_2 หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่ดูดซับรังสี (K) ส่วนค่า ε ของวัตถุใด ๆ จะแสดงเป็นค่าเปรียบเทียบกับค่า ε ของวัตถุดำที่เป็นวัตถุเชิงอุดมคติ โดยวัตถุนี้จะดูดซับพลังงานได้สมบูรณ์ จึงมีค่า $\varepsilon = 1$ สำหรับวัตถุทั่วไปจะมีค่า ε ขึ้นอยู่กับช่วงความยาวคลื่นที่วัด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังแสดงในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ค่า Emissivity ของวัสดุประเภทต่างๆ

ประเภทวัสดุ	Emissivity	ประเภทวัสดุ	Emissivity
Black body	1.00	Ice	0.97
White paper	0.9	Lean beef	0.74
Polished surface	0.05	Beef fat	0.78
Water	0.955	Aluminium foil	0.09
		Stainless steal	0.44

ที่มา: Lewis, 1996

ในทางอุตสาหกรรมมีการออกแบบ และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดโดยอาศัยหลักการที่สำคัญ คือ การแผ่รังสีโดยตรงสู่วัสดุที่ต้องการทำแห้ง ซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบเป็นถาด (batch type) และแบบต่อเนื่อง (continuous type) เช่น แบบตู้อบ แบบสายพานลำเลียง (conveyor dryer) และแบบถังหมุน (rotary drum dryer) เป็นต้น เครื่องทำแห้งแบบอินฟราเรดนำมาใช้ในกรรมวิธีการทำแห้งผิวของวัสดุ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ และงานเคลือบสีผลิตภัณฑ์ เป็นต้น การทำแห้งวัสดุที่มีความหนา เช่น อาหาร เมล็ดพันธุ์ ซึ่งยังมีการพัฒนาอยู่น้อย ที่มีรายงาน ได้แก่ การประยุกต์ใช้ในการทำแห้งแครอท ฟักทอง สาหร่าย เมล็ดธัญพืช ผงชา ผงโกโก้ ผงกะหรี่ มอลท์ ผงชูรส แป้ง และผลิตภัณฑ์พาสต้า (ประพัฒน์, 2545 และ สุพรรณ, 2546) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการทำแห้งสมุนไพรไทย เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ขิงผง เนื้อสัตว์ กระเทียม ธัญชาติ ลำไย กล้วย ข้าว พริกผง และพืช เป็นต้น (กองบรรณาธิการ, 2550 ; ประพัฒน์, 2545 ; สุพรรณ, 2546 ; อำไพศักดิ์ และคณะ, 2549 ; Baysal *et al*., 2003 ; Fasina *et al*., 2001 ; Jaiboon *et al*., 2006 ; Nimmol *et al*., 2007 ; Pan, 2004 ; Staack *et al*., 2007 ; Swasdisevi *et al*., 2007 ; Wang and Sheng, 2006)

การทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นวิธีการทำแห้งอาหารที่มีความน่าสนใจวิธีหนึ่งที่เริ่มได้รับความสนใจ และมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งอาจกล่าวโดยสรุปถึงข้อเด่นของการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ได้ดังนี้ คือ

1) พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) หลอดรังสีอินฟราเรดให้ฟลักซ์ความร้อน (heat flux) สูง ดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถออกแบบเครื่องมือทำแห้งที่มีขนาดกะทัดรัดได้ดี

3) การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ และต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถใช้พัดลมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการลดทั้งต้นทุนอุปกรณ์ และค่าพลังงาน

4) รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่าย เนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย และระบบไม่มีความซับซ้อนมากนัก

5) การทำแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีในการทำแห้ง และมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

6) การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นการใช้พลังงานที่สะอาด เนื่องจากระบบจะไม่เกิดของเสียที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนและก่อมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

2.7.3 อุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด

อุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด คือ หลอดอินฟราเรดที่ใช้สำหรับอบแห้งอาหาร แบ่งตามประเภทของแหล่งพลังงาน ได้แก่ ชนิดใช้ไฟฟ้า (electrically heated) และชนิดใช้แก๊ส (gas fired) (ประพัฒน์, 2545 ; ศิศีโรตม์, 2545 และ สุพรรณ, 2546) หลอดอินฟราเรดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์อบแห้งแบบอินฟราเรด (Nomura *et al.*, 1990 ; Stricker, 1999) หลอดอินฟราเรดควรผลิตจากวัสดุที่ทนความร้อน แข็งแรงบำรุงรักษาง่าย กระจายความร้อนได้ทั่วพื้นผิวโดยสม่ำเสมอ ถ่ายเทความร้อนดี ควรใช้เวลาให้ความร้อนน้อยกว่าอุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดอื่น และไม่ทำให้วัสดุที่รับพลังงานเกิดความเสียหาย รวมทั้งไม่เกิดเปลวไฟในระหว่างกระบวนการทำงาน

หลอดอินฟราเรดที่ผลิตจากเซรามิก (ภาพ ง-10) มีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่แผ่กระจายรังสีพลังงาน ได้แก่ ส่วนประกอบผลึกออกไซด์ของโลหะ โดยเมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแท่งความร้อน จะเกิดการเผาโลหะ ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะดูดซับพลังงานความร้อนจากแท่งความร้อนแล้วปลดปล่อยพลังงานที่เปลี่ยนเป็นรังสีอินฟราเรดซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กัน รังสีอินฟราเรดที่ได้จะทะลุทะลวงวัตถุเข้าไปถึงโมเลกุลภายใน เกิดการสั่นสะเทือนทำให้วัตถุร้อนขึ้น เนื่องจากพลังงานที่แผ่ออกจากหลอดอินฟราเรดเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจึงไม่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏภายนอกของวัตถุนั้น (ศิศีโรตม์, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

เสรี และ คำนึง (2545) ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับออกแบบ และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรด สำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูป พบว่าการดำเนินการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ขิงผงของกลุ่มเกษตรกรมักทำไม่ได้ตามมาตรฐาน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น และพบสิ่งปนเปื้อนได้ง่าย สำหรับการศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบเพื่อลดความชื้นขิงผงด้วยอินฟราเรด โดยใช้เครื่องอบแบบอินฟราเรดที่มีแก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งพลังงาน เครื่องอบซึ่งออกแบบให้มีการใช้พลังงานที่ไม่เกิน 1.18 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของขิงผง จากการวัดอุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบ พบว่ามีการกระจายของความร้อนจากแหล่งพลังงานในบริเวณที่ห่างจากหลอดอินฟราเรดในช่วงระยะ 550-850 มิลลิเมตร สม่ำเสมอมากกว่าช่วงระยะอื่นๆ ทำให้วัสดุดูดซับพลังงานความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าบริเวณอื่นเล็กน้อยด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การอบแบบชั้นบาง และควบคุมให้รับรังสีอินฟราเรดเป็นเวลาไม่เกิน 90 วินาที ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวในตู้อบ และใช้กระบวนการอบต่อเนื่อง ทำให้ได้ขิงผงที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 2.5 (โดยน้ำหนักเปียก) มีสีสม่ำเสมอ และไม่มีสิ่งแปลกปลอม โดยมีอัตราการอบแห้งไม่ต่ำกว่า 80 กิโลกรัม-ขิงผงต่อวัน มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำกว่าการอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนชนิดถาดคงที่ประมาณร้อยละ 13

Baysal *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของการทำแห้งแครอทและกระเทียมโดยการทำแห้งด้วยไมโครเวฟและอินฟราเรด เมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยวิธีทั้งสองกับวิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน พบว่าแครอทที่ทำแห้งด้วยลมร้อนมีสีใกล้เคียงกับสีของแครอทสดมากที่สุด ในขณะที่มีอัตราการทำแห้งต่ำที่สุด แต่การอบแห้งด้วยอินฟราเรดมีอัตราการระเหยน้ำสูงสุด สำหรับการใช้ไมโครเวฟทำให้ได้แครอทอบแห้งที่มีลักษณะการหดตัวมากแต่มีปริมาณของแข็งสูงกว่าวิธีอื่นๆ ในขณะที่การอบแห้งกระเทียมด้วยวิธีที่ต่างกันนั้น พบว่าการใช้ลมร้อนมีอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่าวิธีไมโครเวฟ และอินฟราเรด ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากปริมาณน้ำเริ่มต้นในแครอทที่สูงกว่ากระเทียม น้ำซึ่งเป็นตัวดูดซับพลังงานที่ดี จึงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการทำแห้งอย่างเร็ว เมื่ออาศัยแหล่งพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟและอินฟราเรด

การศึกษาในโครงการวิจัยเตาอบอินฟาเรดแบบกึ่งสุญญากาศ ของนายบวรโชค ผู้พัฒน์ และนายวรรณภพ กล่อมเกลี้ยง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พบว่าการอบสมุนไพรด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กึ่งสุญญากาศ โดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรดซึ่งทำจากเซรามิกชนิดพิเศษ มีคุณสมบัติที่ทนความร้อนได้สูง มีความแข็งแกร่ง และไม่เกิดไฟรั่ว สามารถกระจายความร้อนได้สูงและเร็ว โดยอาศัยหลักการให้ลมเป็นตัวพาไอน้ำที่ระเหยแล้วออกสู่ภายนอก ใช้ระบบควบคุมการตั้งค่าอุณหภูมิในการอบ และการตั้งเวลาในการอบ ผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพรที่ได้หลังผ่านกระบวนการอบแห้งมีคุณลักษณะที่ดี และสะอาด ลดปัญหาการเกิดเชื้อรา นอกจากนี้ยังพบว่าสมุนไพรบางชนิดมีคุณสมบัติทางยาเพิ่มขึ้น และเป็นที่ยอมรับจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (กองบรรณาธิการ, 2550)

Pan (2004) ได้ศึกษาการทำแห้งลูกแพร์ด้วยรังสีอินฟราเรดในสภาวะสุญญากาศ พบว่ามีอัตราการระเหยน้ำหรืออัตราการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งด้วยวิธีการใช้ลมร้อน (air drying) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

Swasdisevi *et al.* (2007) ได้ทดลองอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดระดับไกล (far infrared, FIR) โดยอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 300 (โดยน้ำหนักแห้ง) ที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 5, 10 และ 15 กิโลปาสคาล พบว่ามีอัตราการอบแห้งสูง และได้ผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ดี มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7 (โดยน้ำหนักแห้ง) และสภาวะที่เหมาะสมในการอบ คือการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความดัน 5 กิโลปาสคาล

Laohavanich and Wongpichet (2006) ได้ศึกษาการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดภายในห้องอบแห้ง โดยตู้อบมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.20 เมตร x 0.90 เมตร x 1.20 เมตร อาศัยอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดที่มีระดับความแรงของรังสีต่างกัน แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิในระดับ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊ส (gas-fired radiator) เป็นแหล่งกำเนิด และควบคุมพลังงาน ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบตามระนาบราบ พบว่าทุกค่าอุณหภูมิหรือทุกระดับความเข้มของรังสีนั้น รังสีอินฟราเรดมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ ณ ระยะห่างระหว่างพื้นที่รับรังสี (ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 80 เซนติเมตร x 100 เซนติเมตร) กับอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดที่ระยะ 0.4 เมตร หากพิจารณารูปแบบการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดบนพื้นที่รับรังสี พบว่าบริเวณที่ได้รับพลังงานที่เหมาะสม (อุณหภูมิผันแปรที่ ±3 องศาเซลเซียส) ได้แก่บริเวณกึ่งกลางที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ (กว้าง x ยาว) เท่ากับ 70 เซนติเมตร x 65 เซนติเมตร ของพื้นที่รับรังสีทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Staack *et al.* (2007) รายงานว่า ในการทดลองอบแห้งพริกผงด้วยรังสีอินฟราเรดระดับใกล้หรือกลาง (near or medium infrared) โดยศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนขณะอบแห้ง ในพริกผงที่มีค่า a_w เริ่มต้นในระดับต่างกัน พบว่าค่า a_w มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการให้ความร้อนแก่อาหารผงด้วยรังสีอินฟราเรด การวัดค่าโดยประมาณของ heat flux ที่บริเวณผิว และความลึกกองที่ 1 และ 3 มิลลิเมตร พบว่าการกระจายความร้อนในจานพริกผงที่มีค่า a_w สูง ค่อนข้างมีความสม่ำเสมอมากกว่าพริกผงที่มีค่า a_w ต่ำกว่า แต่ใช้เวลาให้ความร้อนแก่พริกผงนานกว่า สำหรับรังสีอินฟราเรดระดับใกล้ที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนสูงกว่ารังสีอินฟราเรดระดับกลาง ทำให้บริเวณผิวพริกผงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในการอบแห้งพริกผงที่มีค่า a_w สูง เท่ากับ 0.96 และมีความชื้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักแห้ง พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ความลึกระดับต่างๆ น้อยลง และที่ความลึกของกองพริกผงที่ 3 มิลลิเมตร มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ส่วนที่ความลึก 8 มิลลิเมตร การถ่ายเทพลังงานความร้อนเกือบทั้งหมดเป็นแบบการนำความร้อน

อำไพศักดิ์ และคณะ (2549) ทำการศึกษาการทำแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยใช้เครื่องทำแห้งที่มีอุณหภูมิอากาศเข้าคงที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ไหลผ่านชิ้นเนื้อตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.1-1.0 เมตร/วินาที และให้กำลังงานไฟที่จ่ายให้หลอดอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 260-640 วัตต์ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างหลอดรังสีกับชิ้นเนื้อคงที่ พบว่าระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วลม และลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดรังสี และพบว่าชิ้นเนื้อมีสีเข้มมากขึ้นเมื่อลดความเร็วลม และเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดอินฟราเรด

อำไพศักดิ์ และ ธนภัทร (2550) รายงานว่าการทำแห้งเนื้อวัว โดยใช้วิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน หรือลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดนั้น วิธีการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดจะใช้ระยะเวลาการทำแห้งสั้น มีอัตราการทำแห้งสูง และใช้พลังงานในการทำแห้งน้อยกว่าวิธีทำแห้งด้วยลมร้อน นอกจากนี้การทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อแห้งที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ศิศีโรตม์ (2545) ศึกษาการอบฝักถั่วลิสงด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรด พบว่าการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 60-90 องศาเซลเซียสนั้น ทำให้ได้ฝักถั่วลิสงที่มีความชื้นลดลงเหลือน้อยกว่าร้อยละ 9 โดยระยะเวลาที่ใช้อบอยู่ระหว่าง 4-7 ชั่วโมง และยังพบอีกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมเนื่องจากทำให้ได้ฝักถั่งลิสงที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 9

และทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยใช้ระยะเวลาอบแห้ง 5 ชั่วโมง และยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวไม่แห้งจนมีความกรอบมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายจากการขนส่งได้

จักรมาส และ เสรี (2549) ศึกษาการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดภายในห้องอบแห้ง โดยมีแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดเป็นหลอดอินฟราเรด ขนาดกว้าง 0.15 เมตร ยาว 0.55 เมตร ใช้แหล่งพลังงานจากแก๊สธรรมชาติ ห้องอบมีขนาดโดยรวม กว้าง 0.9 เมตร ยาว 1.2 เมตร และสูง 1.2 เมตร ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบตามระนาบ เพื่อใช้อธิบายการกระจายของรังสีอินฟราเรดที่ระดับความแรงของรังสี 3 ระดับ ที่แปรค่าเป็นอุณหภูมิผิวร้อนเป็น 700, 800 หรือ 900 องศาเซลเซียส และที่ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดถึงพื้นระนาบของถาดอบให้ความร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 0.20, 0.30, 0.40 หรือ 0.50 เมตร (ค่าความยาวคลื่นของการแผ่รังสีอินฟราเรดลดลงตามลำดับ) พบว่าลักษณะการกระจายของอุณหภูมิอากาศในแนวระนาบที่ทุกระยะห่างจากหลอดกำเนิดรังสีนั้น มีพฤติกรรมคล้ายกัน คือ ค่าอุณหภูมิอากาศจะมีค่าสูงบริเวณกึ่งกลางห้องอบ และลดลงตามระยะห่างจากหลอดกำเนิดรังสีตามแนวระดับที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิผิวร้อนเพิ่มขึ้นและระนาบกับหลอดกำเนิดรังสีลดลง จะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ที่ระยะห่าง 0.4 เมตร มีระดับอุณหภูมิอากาศสม่ำเสมอดีกว่าที่ระยะอื่น

จักรมาส (2551) ศึกษาวิธีการเตรียมข้าวเปลือกเก็บเกี่ยวใหม่ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal process) พบว่าการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถช่วยเพิ่มปริมาณต้นข้าว ทั้งข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง (มากกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ทำให้ค่าดัชนีความขาวลดลงด้วย ในขณะที่วิธีการเทมเปอร์ริ่ง (tempering) เพียงอย่างเดียว ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มปริมาณต้นข้าว สำหรับข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง พบว่าการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นเวลา 3 นาที แล้วเทมเปอร์ริ่ง เป็นเวลา 20-50 นาที และนำไปเป่าลมธรรมชาติ ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 โดยทำให้มีปริมาณต้นข้าวสูงขึ้นก่อนนำไปสีได้ และมีค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง ส่วนข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณต้นข้าว และค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฉัตรชัย และคณะ (2549) ศึกษาการอบแห้งแครอทโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งแครอทด้วยอุณหภูมิผิวแครอท 3 ระดับ ได้แก่ 60, 70 หรือ 80 องศาเซลเซียส ที่ความดันภายในห้องอบแห้ง 7 หรือ 10 กิโลปาสคาล (kPa) ทำการอบแห้งจนแครอทมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 7 (โดยน้ำหนักแห้ง) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิควบคุมที่ผิวแครอท และลดความดันภายในห้องอบแห้งนั้น ทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้อบแห้งได้ ส่วนผลิตภัณฑ์แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองนั้น มีคุณลักษณะด้านสีไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ถ้าใช้เวลาอบแห้งนาน แครอทจะมีการหดตัวเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการดูดน้ำกลับคืนสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการอบแห้งแครอทด้วยรังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งแครอทด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดภายใต้สภาวะความดันต่ำ และพบข้อจำกัดของการใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งชิ้นแครอทที่มีความหนาค่อนข้างมาก ทำให้รังอินฟราเรดไม่สามารถทะลุทะลวงเนื้อในแครอทได้มากนัก

ศรีมา และคณะ (2547) ศึกษาการอบแห้งผลไม้ และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดไกล โดยทำการอบแห้ง มะละกอเส้น ข่า และตะไคร้ ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิควบคุมการเปิด-ปิดหลอดรังสีอินฟราเรดไกลเป็น 45 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นก่อนอบแห้งสูง รังสีอินฟราเรดไกลจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้มากที่สุด โดยมะละกอเส้นซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 2,300 (โดยน้ำหนักแห้ง) สามารถอบแห้งด้วยระยะเวลาที่ลดลงได้ถึง ร้อยละ 30 ในระหว่างการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดมีการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนในห้องอบแห้ง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนผิวของหลอดอินฟราเรดได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการยังสามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานได้มากกว่าการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว และทำให้ผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งมีความชื้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีและกลิ่นอยู่ในเกณฑ์ดี อีกทั้งการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดไกลมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนประมาณ 2 เดือน

ประพัฒน์ (2545) ศึกษาเปรียบเทียบการอบเยื่อหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้ตู้อบแก๊ส ตู้อบไฟฟ้า หรือตู้อบรังสีอินฟราเรด พบว่าตู้อบรังสีอินฟราเรดมีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ชี้วัดที่เป็นตัวกำหนดราคาจำหน่ายเมล็ด ได้แก่ ค่าความขาว (ค่า L*) เนื้อในเมล็ด และเนื้อในเมล็ดเต็ม โดยตู้อบแบบแก๊ส ใช้อุณหภูมิอบ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราลอกเยื่อ 1.20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเมล็ดเต็มคิดเป็นร้อยละ 89.40 และเนื้อในเมล็ดมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า L* เท่ากับ 61.44 ส่วนตู้อบแบบไฟฟ้า ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีอัตราลอกเยื่อ 1.24 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเมล็ดเต็มคิดเป็นร้อยละ 87.72 และเนื้อในเมล็ดมีค่า L* เท่ากับ 61.89 สำหรับตู้อบรังสีอินฟราเรด ใช้อุณหภูมิอบ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง ที่ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็น 15 เซนติเมตร มีอัตราลอกเยื่อ 0.99 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เนื้อในเมล็ดเต็มคิดเป็นร้อยละ 91.43 และเนื้อในเมล็ดมีค่า L* เท่ากับ 63.03

สุพรรณ (2546) ศึกษาคุณลักษณะการอบของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มขิงผงโดยใช้รังสีอินฟราเรด พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ทำการอบขิงผงที่มีความชื้นก่อนอบร้อยละ 4.9 (โดยน้ำหนักแห้ง) ด้วยวิธีการตากแดด หรืออบด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 0.84 บาทต่อกิโลกรัมของขิงผง และมีอัตราการอบแห้ง 40 กิโลกรัมของขิงผงต่อชั่วโมง ส่วนการใช้ตู้ทดสอบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่มีแหล่งพลังงานเป็นแก๊สปิโตรเลียม ออกแบบให้เป็นตู้อบแบบถาดคงที่ ซึ่งสามารถปรับระยะห่างระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรดกับถาดอบแห้งได้ พบว่าระยะห่างจากหลอดในช่วง 575-825 มิลลิเมตรนั้น มีการกระจายตัวของรังสีอินฟราเรดอย่างสม่ำเสมอมากกว่าระยะอื่น มีอัตราการใช้แก๊สคิดเป็น 0.026 เมกกะจูลต่อวินาทีต่อตารางเมตร นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์ขิงผง ได้แก่ การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่ไม่ต้องให้พลังงานต่อเนื่องร่วมกับการพักขิงผงภายในห้องอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ขิงผงที่ได้ไม่เกิดความเสียหาย และมีความชื้นหลังการอบแห้งอยู่ในระดับที่เป็นมาตรฐาน อีกทั้งมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อย และง่ายต่อออกแบบกระบวนการผลิต

Fasina *et al.* (2001) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และคุณสมบัติทางหน้าที่ของเมล็ดที่ผ่านกระบวนการเปรียบเทียบกับเมล็ดดิบของเมล็ดพืชวงศ์ถั่ว โดยการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ในการศึกษาใช้ถั่ว 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง (kidney bean) ถั่วลันเตา ถั่วดำ lentil และ pinto bean โดยกำหนดให้อุณหภูมิผิวร้อนของเมล็ดถั่ว เท่ากับ 140 องศาเซลเซียส พบว่าคุณสมบัติของเมล็ดถั่วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความเหนียวลดลง ค่าการแตกหักลดลง ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และมีการสูญเสียจากการชะล้างมากขึ้น และมีกิจกรรมการยับยั้ง trypsin ลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่าการให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดไม่มีผลต่อองค์ประกอบโปรตีนและแป้งในเมล็ดถั่ว และคุณสมบัติทางหน้าที่ของแป้งที่ทำจากเมล็ดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดนั้นดีกว่าแป้งที่ทำจากเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved