บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ใบบัวบก

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Centella asiatica* (Linn.) Urban.

ชื่อวงศ์: Umbelliferae

ชื่ออังกฤษ: Asiatic pennywort

ชื่อท้องถิ่น:ผักแว่น, ผักหนอก, ปะหนะ, เอขาเค๊าะ

ใบบัวบก เป็นไม้ล้ม ลุก ใบเดี่ยว เรียงสลับ ขอบใบหยัก แตกเป็นกระจุก ดังรูป 2.1 ลำต้นทอดไปแตะดิน ก็จะแตกราก และใบเป็นต้นใหม่อีก ทำให้ต้นแผ่ติดต่อกันเป็นพืดไปเป็นบริเวณกว้างได้ ก้านใบยาว ดอกออกเป็นช่อคล้ายร่ม ก้านดอกแตกออกจากโคนใบ แต่ละช่อมีดอกย่อย 3 ถึง 6 ดอก มีกลีบดอก 5 กลีบ สีม่วงแดงเข้ม พบตามที่ลุ่มชื้นแฉะทั่วไป ในส่วนต่างๆ ตามท้องนา ตามริมน้ำ (วรวุฒิ, 2551)

รูป 2.1 ลักษณะใบของบัวบก

ที่มา: Hengsawas, 2004

บัวบกถือว่ามีสรรพคุณทางยาต่างๆ มากมาย เช่น รักษาโรคบิด ท้องร่วง วัณโรค หลอดลมอักเสบ กระเพาะอาหารอักเสบ ตับอักเสบ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ ไขข้ออักเสบ ร้อนใน ลดความดันโลหิต ลดน้ำตาลในเลือด ลดความเปราะของเส้นเลือด ขับปัสสาวะ บำรุงหัวใจ บำรุงกำลัง รักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการฟกช้ำ กระตุ้นการเรียนรู้ และความจำ เป็นต้น (Brinkhaus *et al*., 2000) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์บำรุงสมอง และกระตุ้นการเจริญของเดนไดรท์ (dendrite) ฤทธิ์ป้องกันเซลล์ประสาท ความจำเสื่อม และการเกิดอนุมูลอิสระจากความเครียด ฤทธิ์ในการเร่งการสร้างเซลล์ประสาท และฤทธิ์คลายกังวลอีกด้วย (กลุ่มงานเภสัชกรรม , 2551) ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของบัวบกในประเทศไทยในสัดส่วน 100 กรัม แสดงดังตาราง 2.1

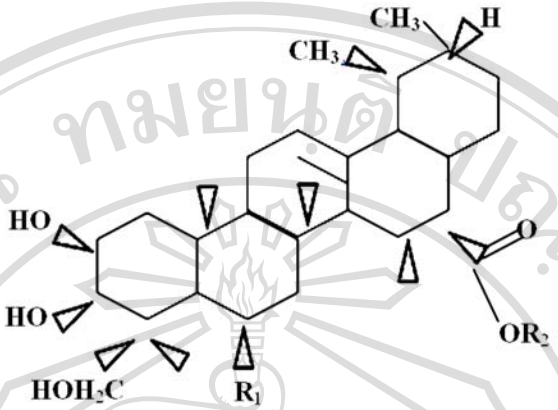
ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของบัวบกในประเทศไทยในสัดส่วน 100 กรัม

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

ที่มา : สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2550

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของ triterpene glycosides ดังรูป 2.2



รูป 2.2 โครงสร้างของ triterpene glycosides คือ asiatic acid(R_1:H, R_2:H) asiaticoside(R_1:H, R_2: - β-D-glc-(6-1)- β-D-glc-(4-1)--L-rha) Madecassic acid(R_1:OH, R_2:H) และ madecassoside (R_1:OH, R_2:- β -D-glc-(6-1)- β -D-glc-(4-1) --L-rha)

ที่มา : Brinkhaus *et al.,* 2000

2.1.2 สารเคมีที่สำคัญในบัวบก

สารเคมีที่พบส่วนใหญ่ของบัวบกจะเป็นสารกลุ่ม Triterpenoids แต่มีสารสำคัญอื่นๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ Steroid-like Compound ประกอบด้วย

Triterpenoid glycosides ได้แก่ asiaticoside, asiaticoside A, asiaticoside B, Madicassoside โดยจะมีปริมาณ 1.1-8 %

Other Triterpenoid ได้แก่ Oxyasiaticoside, Brahminoside, Brahnoside, Centelloside

Free acids ได้แก่ asiatic acid, Brahmic acid, Centellinic acid, Isobrahmic acid, Madecassic acid, Betulic acid

Volatile oils ได้แก่ Vallerin, Camphor, Cineole เป็นต้น

Glycerides of fatty acid

Plants sterol ได้แก่ Campesterol, Stigmasterol, Sitosterol, Various Polyacetylene compounds

Flavonoids ได้แก่ Kaempferol, Quercetin และ glycosides ของสารดังกล่าว เช่น 3-glucosylguercetin, 3-glucosylkaempferol

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบอื่นๆ ได้แก่ Alkaloid hydrocotylline, Myoinositol, amino acid, Resins, Tannins, Pectins, วิตามินบี วิตามินซี แร่ธาตุต่างๆ โดยแร่ธาตุที่พบมาก ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โปแทสเซียม กรดอะมิโน และเบต้าแคโรทีน (สิริลักษณ์, 2548; Brinkhaus *et al.,* 2000)

อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside)

โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี

asiaticoside ($C_{48}H_{78}O_{19}$) น้ำหนักโมเลกุล 959.13 เป็นสารประกอบพวก Triterpenoid glycosides ซึ่งเป็นสารสำคัญที่สามารถสกัดได้จากส่วนของใบ , ก้านใบ, และลำต้นของบัวบก โดยส่วนของใบบัวบกจะสามารถสกัดสาร asiaticoside ได้มากที่สุด asiaticoside มีชื่อทางเคมีว่า 2 α, 3 β, 23-trihydroxy-urs-12-en-28-oic acid *O*-α-L-rhamnopyranosyl-(1-4)- *O*- β-D- glucopyranosyl-(1-6)- *O* - β-D- glucopyranosyl ester (James and Dubery, 2009)

สาร asiaticoside มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีขาว มีจุดหลอมเหลวประมาณ 235-237 °ซ ละลายได้ดีในเอทานอล เมทานอล หรือตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำ และเอทานอล หรือเมทานอล และอาจตกผลึกโดยใช้อีเทอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) จะให้กรดอะเซียติก (asiatic acid), กลูโคส (glucose) และแรมโนส (rhamnose)

โครงสร้างทางเคมีของ asiaticoside ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนไกลโคนซึ่งประกอบด้วยแซคคาไรด์ชนิดกลูโคสจำนวน 2 หมู่ และแรมโนสจำนวน 1 หมู่ และส่วนอะไกลโคน (Sapogenin) เป็นพวกไตรเทอร์พีนอยด์ซึ่งจับกับส่วนที่เป็นน้ำตาล โดยผ่านทางพันธะกลัยโคไซด์ (glycoside bond) โดยหมู่รีดิวซิง (reducing group) ของน้ำตาลจะเชื่อมกับหมู่คาบอกซิล (carboxylic group) ของส่วนอะไกลโคน

ชนิดของแซคคาไรด์ในโครงสร้างไกลโคนของกลัยโคไซด์จะก่อให้เกิดความแตกต่างของจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (free hydroxyl group) ที่แตกต่างกันไป นั่นคือโมเลกุลของกลัยโคไซด์ซึ่งมีแซคคาไรด์ชนิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ก็ยิ่งมีสมบัติของความมีขั้วสูง ดังนั้นจะละลายได้ดีในตัวทำละลายชนิดมีขั้ว (polar solvents) ในทางกลับกัน หากโมเลกุลของแซคคาไรด์เป็นชนิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระอยู่จำนวนน้อย การละลายของกลัยโคไซด์ในตัวทำละลายชนิดมีขั้วก็จะละลายได้น้อยลงเช่นกัน ถ้าพิจารณาถึงโครงสร้างโมเลกุลของอะไกลโคนในโมเลกุลกลัยโคไซด์พบว่าหากในโครงสร้างโมเลกุลของอะไกลโคนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเป็นชนิดที่มีความมีขั้วสูง การละลายในตัวทำละลายชนิดมีขั้วก็จะมีมากเช่นกัน ยกเว้น อะไกลโคนอิสระที่ถูกไฮโดรไลซิสแล้วเท่านั้น จะละลายได้ดี ในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้อะเซียติโคไซด์ ยังแตกตัวได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด อาจจะเกิดการแตกตัวตรงส่วนของอะไกลโคนหรือส่วนไกลโคเจนก็ได้ ความรุนแรงของการแตกตัวจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับความแตกต่างของระดับความเป็นกรดของสารละลายแต่ละชนิด อะเซียติโคไซด์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การแยกอะเซียติโคไซด์จากพืชให้บริสุทธิ์จึงทำได้ยาก (สมจิตร, 2544)

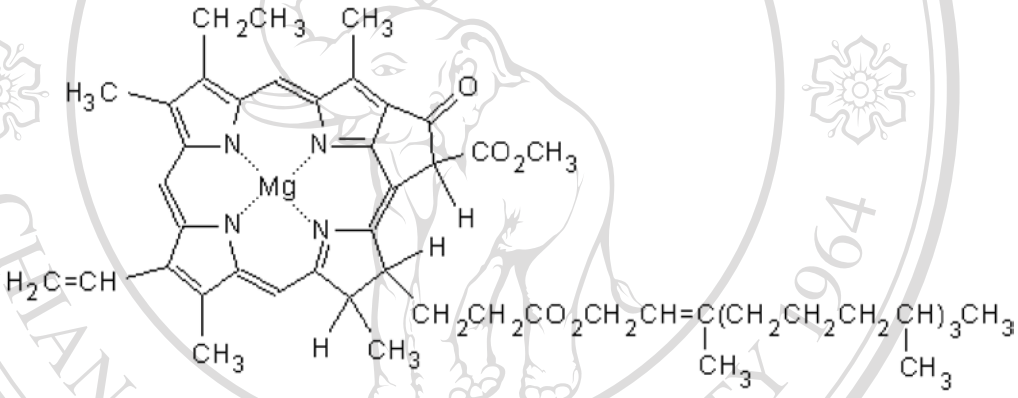
คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์ เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวในผักและผลไม้ สาหร่ายและแบ คทีเรียกลุ่มที่สังเคราะห์แสงได้ คลอโรฟิลล์ในผักเกิดการสลายตัวได้ โดยคลอโรฟิลล์จะสลายตัวและปรากฏเป็นสีเหลืองหรือสีแดงของแคโรทีนอยด์ โครงสร้างของคลอโรฟิลล์เป็นเตตราไพโรลประกอบด้วยวงแหวนพอร์ไฟริน และโลหะแมกนีเซียมเป็นตัวเชื่อมตรงกลาง ในธรรมชาติจะพบคล อโรฟิลล์อยู่ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี ในอัตราส่วน 3:1 โดยคลอโรฟิลล์ บี จะแตกต่างจากคลอโรฟิลล์ เอ ที่หมู่เมทิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 3 จะถูกแทนที่ด้วยหมู่แอลดีไฮด์ ดังรูป 2.3 คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นไดเอสเทอร์ (diester) คือ ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซีลิกแอซิด (- COOH) สองหมู่ ซึ่งสามารถเกิดเอสเทอร์กับเมทานอลหนึ่งหมู่ และไฟทิลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) อีกหนึ่งหมู่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 7 และ 10 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืชจะพบอยู่ในคลอโรพลาส (chloroplasts) โดยจับกับแคโรทีนอยด์ ไขมัน และลิ โพโปรตีน (liprotein) จะช่วยให้คลอโรฟิลล์เอในเยื่อพืชค่อนข้างคงตัว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของคลอโรฟิลล์มีผลต่อสีของคลอ โรฟิลล์และอาหาร การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ เช่น ความเป็นกรด ความร้อน โลหะและเอนไซม์คลอ โรฟิลล์เลส (chloropyhllase) เอนไซม์คลอ โรฟิลล์เลส เป็นเอนไซม์ที่พบตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อของพืช จะแยกหมู่ไฟทอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เกิดเป็นคลอโรฟิลล์ไลด์ (chiorophilide) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี โดยจะเกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิระหว่าง 60-82.2 °ซ ความสามารถในการทำงานของคลอโรฟิลล์เลสจะลดต่ำลง และถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 100 °ซ พบว่าคลอโรฟิลล์เลสจะทำงานดีที่สุดเมื่อผักผลไม้อยู่ในช่วงแก่จัด ความร้อนและกรด มีผลต่อโครงสร้างของคลอ โรฟิลล์โดยเฉพาะแมกนีเซียมตรงกลางของโครงสร้างเตตราไพโรล โดยคลอ โรฟิลล์ที่แมกนีเซียมยังคงอยู่จะมีสีเขียวแต่ถ้าเกิดการสูญเสียแมกนีเซียมออกจากโครงสร้างคลอ โรฟิลล์จะเปลี่ยน ฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งมีสีเขียวเข้มปน - น้ำตาล โลหะบางชนิดเช่น สังกะสี และทองแดง สามารถเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ นอกจากนั้นคลอโรฟิลล์ เอจะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์บี

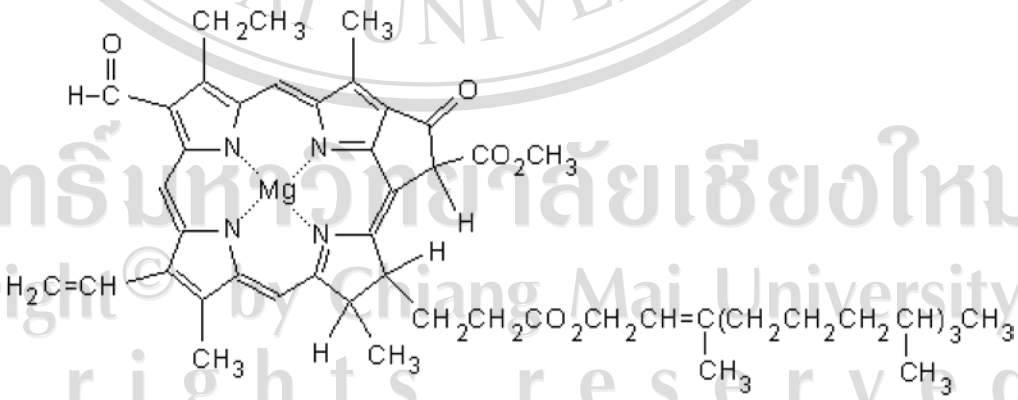
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พีเอช มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เนื่องจากความร้อน โดยการให้ความร้อน ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (pH 9.0) คลอโรฟิลล์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (pH 3.0) คลอโรฟิลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง

การให้ความร้อนกับผักจะมีผลต่อโครงสร้างของผนังเซลล์เมมเบรนและไฮโดรเจนจะซึมผ่านผนังเซลล์เมมเบรนเข้าไปภายในคลอโรพลาสมากขึ้น ไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมอะตอมในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ และคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินได้ง่าย ดังนั้น การเติมเกลือของโซเดียม แมกกานีส หรือแคลเซียมในน้ำที่ใช้ในการลวกผักจะสามารถช่วยลดการเกิดฟีโอไฟตินลงได้ โดยไอออนประจุบวกของเกลือดังกล่าวจะไปช่วยทำให้ประจุที่ผิวของผนังเซลล์เมมเบรนเป็นกลางและลดการซึมผ่านของไฮโดรเจนอิออนเข้าสู่เซลล์ (อรุณี, 2552)



คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a)



คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b)

รูป 2.3 โครงสร้างคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี

ที่มา : Wageningen, 2010

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แคโรทีนอยด์

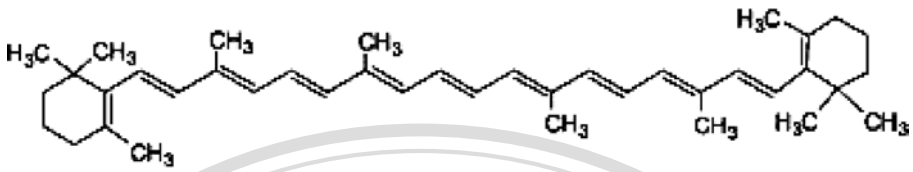
แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง สีส้มในพืช นอกจากนั้นยังพบสาหร่ายทะเลเป็นจำนวนมากที่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ แค โรทีนอยด์ในเซล ล์พืชส่วนใหญ่จะอยู่ในคลอโรพลาส และถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์ปิดบังไว้ จนกระทั่งคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัว สีเหลือง หรือสีส้มของแคโรทีนอยด์ ก็จะปรากฏออกมา เช่น ผลไม้จะเปลี่ยนสีเมื่อสุก แคโรทีนอยด์จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามิน เอ ที่ลำไส้ ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้น ในปัจจุบันยังพบว่าการบริโภคผักผลไม้ที่มีแคโรนอยด์มากขึ้นจะช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งได้

แคโรทีนอยด์แบ่งออกมาเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ คือ แคโรทีนอยด์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันประกอบด้วย ออกซิเจนในโมเลกุล เช่น หมู่ไฮดรอกซิล หมู่อีพอกซี หมู่แอลดีไฮด์และหมู่คีโตน โครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์จะประกอบด้วย ไอโซพรีน (isoprene) มาเชื่อมต่อกันด้ วยพันธะโควาเลนต์ เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสมมาตร อนุพันธ์ของไอโซพรีนอาจมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวน (β-ionone) ที่ปลายสุดทั้งสองข้างของโมเลกุล เช่น เบตาแคโรทีน (β-carotene) ดังรูป 2.4 หรือไม่มีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนในโมเลกุล เช่น ไลโคปีน (lycopene) เป็นต้น

แคโรทีนอยด์จะให้สีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง ขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล แคโรทีนอยด์ที่มีพันธะคู่น้อยที่สุด 7 พันธะจะให้เหลือง และจะมีความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น พันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจอยู่ทั้งในลักษณะซีส (cis) และทรานส์ (tran) ก็ได้ แต่ในธรรมชาติมักจะพบแคโรทีนที่อยู่ในลักษณะทรานส์ทั้งหมด และอาจพบอยู่ในลักษณะซีสได้ 1-2 ตำแหน่งบ้างเล็กน้อย แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้า งอยู่ในลักษณะทรานส์จะมีความเข้มของสีมากกว่าที่อยู่ในลักษณะซีส การเปลี่ยนโครงสร้างของแคโรทีนอยด์จากลักษณะทรานส์ไปเป็นซีส จะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญคือ แสง ความร้อน และกรด

แคโรทีนอยด์ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ มีความคงตัวต่อความร้อนปานกลาง แต่จะสลายตัวเนื่องจากเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลได้ง่าย และเกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์ จากทรานส์ไปเป็นซีสได้เนื่องจาก ความร้อน กรด และแสง นอกจากนั้นเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซัลไฟด์ และไอออนของโลหะจะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้เร็วขึ้นและมีผลทำให้สีของแคโรทีนอยด์ซีดจากลงได้ และเนื่องจากแคโรทีนอยด์มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันของสารอื่นได้ (อรุณี, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.4 โครงสร้างของเบตา-แคโรทีน

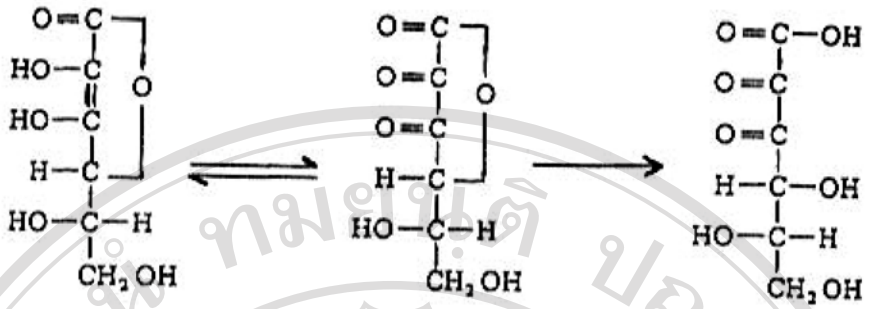
ที่มา : นิธิยา, 2549

วิตามินซี

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซน ละลายได้ดีในน้ำ จึงถูก ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย พบมากที่ต่อมอะดรีนาล และต่อมพิทูอิทารี ร่างกายต้องการวิตามินซีประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม วิตามินซี ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน และเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีนคอลลาเจน ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอ จะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน ผิดปกติมีผลต่อความแข็งแรงของหลอดเลือดต่างๆ ทั่วร่างกาย โดยเฉพาะเส้นเลือดฝอย จะเปราะและแตกได้ง่าย ดังนั้นเมื่อขาดวิตามินซีจึงเป็นโรคเลือดออกตามไรฟัน วิตามินซีพบมากในผักและผลไม้สด เช่น สตรอเบอรี เชอรี มะขามป้อม ฝรั่ง ส้ม มะนาว มันฝรั่ง และผักชนิดต่างๆ ผลไม้ส่วนใหญ่จะพบวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าในเนื้อ เช่น เปลือกแอปเปิลมีวิตามินซีมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ 2-3 เท่า

วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์อย่างแรง (strong reducing agent) ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน ส่วนโลหะหนัก เช่น ทองแดงไอออน และเหล็กไอออน จะเร่งสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น วิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid จะมีคุณค่าทางชีวภาพ แต่ถ้าเป็น D-ascorbic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพหรือไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย L-ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น dehydro-L-ascorbic acid ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนกลับไปมาได้ แต่ถ้า dehydro-L-ascorbic acid ถูกออกซิไดส์ต่อเป็น diketo-L-gulonic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ ดังรูป 2.5 นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของวิตามินซีได้ เช่น กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) ฟีนอลเลส ไซโทโครมออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดส เอนไซม์กรดแอสคอร์บิกออกซิเดสเร่งการสลายตัวของวิตามินซีโดยตรงแต่เอนไซม์ 3 ชนิดหลังเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของวิตามินซีทางอ้อม เช่น เอนไซม์ไซโทโครมออกซิเดส จะออกซิไดส์ไซโทโครมรูปรีดิวซ์ (reduce form) เป็นไซโทโครมรูปออกซิไดส์ (oxidized form) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับวิตามินซีได้ หรือเอนไซม์ฟีนอเลสจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโน และไดไฮดรอกซี -ฟีนอลเป็นควิโนน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับวิตามินซี ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดน้อยลงได้ (นิธิยา, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



L-ascorbic acid Dehydro- L-ascorbic acid Diketo-L-gulonic acid

รูป 2.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก

ที่มา : นิธิยา, 2549

สารประกอบฟีนอลิค (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิค คือสารที่สูตรโครงสร้างมี OH group บน aromatic ring ตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป สารในกลุ่มนี้จึงมีคุณสมบัติที่จะละลายน้ำได้ดี พบได้ในพืช ผักและ ผลไม้ทั่วไป อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) Simple phenols/phenolic acid และอนุพันธ์ เช่น gallic acid, ellagic acid, tannic acid, vanillin, catechol, resorcinol และ salicylic acid เป็นต้น สารกลุ่มนี้พบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น raspberry, blackberry เป็นต้น

2) Phenylpropanoids ได้แก่ phenolic compound ที่ aromatic ring มี three-carbon side chain เกาะอยู่ แยกย่อยออกได้หลายกลุ่มได้แก่ hydroxycinnamic acids (ferulic acid, caffeic acid หรือ coumaric acid), coumarins (umbelliferone, scopoletin, aesculetin หรือ psoralen), lignans (pinoresinol, eugenol หรือ myristicin) พบได้ใน แอปเปิล แพร์ และ กาแฟ

3) Flavonoids เป็นกลุ่มสำคัญของ phenolic compounds ได้แก่สารที่มีสูตรโครงสร้างเป็น C6-C3-C6 แยกย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่มได้แก่ catechins, proanthocyanins, anthocyanidins, flavones, flavonols, flavonones และ isoflavones จากการที่พบ flavonoids ได้อย่างกว้างขวางทั้งพืช ผัก ผลไม้รวมทั้งเครื่องดื่มที่เตรียมมาจากพืช เช่น ชา ซึ่งพบว่าในใบชาจะมี catechins อยู่ถึง 30% ของน้ำหนักแห้งและเชื่อว่าเป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์เป็น antioxidant และ chemoprevention anthocyanins เป็นสารที่มีสีในพืช ส่วนกลุ่ม flavones, flavonols และ isoflavones ก็จะพบได้ทั่วไปและเชื่อว่าเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (พิศมัย, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 สรรพคุณของใบบัวบก

1) มีสารต้านอนุมูลอิสระ และมีสารต้านมะเร็ง

2) สามารถรักษาโรคกระเพาะได้ โดยสามารถลดขนาดของแผลในกระเพาะอาหาร (ทดลองในหนู ผลที่ได้มีนัยสำคัญ บอกถึงศักยภาพที่อาจจะทดลองนำมาใช้ในคนได้)

3) ลดความเครียด

4) มีคุณประโยชน์ในผู้ป่วยเบาหวาน โดยเพิ่มการไหลเวียนของเส้นเลือดฝอย การแลกเปลี่ยนออกซิเจนต่อเนื้อเยื่อ ทำให้ลดความเสี่ยงของการบวม เส้นประสาทเสื่อม เหน็บชา อ่อนแรง ในเบาหวาน

5) เพิ่มการไหลเวียนของเส้นเลือดฝอย การแลกเปลี่ยนออกซิเจนต่อเนื้อเยื่อ ทำให้ลดความเสี่ยงของการบวมในผู้สูงอายุ ผู้ที่มีแรงดันในเส้นเลือดดำสูง หรือโรคเลือดคั่ง ขาบวมในผู้ที่เดินทางนานๆ ในรถหรือเครื่องบิน

6) อาจลดความเสี่ยงของ โรคริดสีดวง และ เส้นเลือดขอดที่ขา บำรุงสมอง (งานวิจัยในระดับสัตว์ทดลอง ว่า ทำให้มีความคิดอ่านและโรคอัลไซเมอร์ดีขึ้นได้) (บัวบก บำรุงสมอง, 2552)

นอกจากนี้ใบบัวบกสามารถช่วยรักษาแผลให้หายได้เร็วขึ้นและยังช่วยลดอาการอักเสบของแผลได้ดี เพราะมี madicassic acid, asiatic acid และ asiaticoside ยืนยันได้เพราะยาแผนปัจจุบันทำเป็นรูปครีมผงโรยแผล ยาเม็ดรับประทาน เพื่อใช้รักษาแผลสดและแผลผ่าตัด ไม่ว่าจะเป็นแผลไฟไหม้ หรือแผลฝีหนองหรือแผลสด โดยใช้ใบและต้นสดตำละเอียดคั้นน้ำทานวันละ 3 - 4 ครั้ง หรืออาจใช้กากพอกบริเวณแผลด้วยก็ดี (บัวบก, 2552) อีกทั้งมีการศึกษาผลของใบบัวบกที่มีต่อความทรงจำ และการเรียนรู้ของหนู ทดลอง ในหนูเพศผู้ 3 เดือน (Swiss albino mice) โดยฉีดสารสกัดของน้ำใบบัวบกในปริมาณที่ต่างกัน คือ 200, 500, 700 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าปริมาณสารสกัดของน้ำใบบัวบก จะส่งผลต่อระบบการทำงานของ acetylcholine esterase ที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีผลต่อระบบความทรงจำของหนูในสมองส่วน hippocampus และลักษณะเดนไดร ท์ในสมองที่มีการกระตุ้นให้เกิดการแตกแขนงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้จากบัวบก มีผลต่อระบบสมอง ช่วยกระตุ้นการเจริญของเดนไดรท์ ส่งผลให้หนูมีระบบทางด้านสมองที่ดีขึ้น (Rao *et al*., 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใบบัวบก

ผลการ ศึกษาส่วนประกอบทางเคมี และ สาร ต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบบัวบก โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่า ในน้ำใบบัวบกมีปริมาณของ madecassoside, asiaticoside, madecassic acid,

asiatic acid, วิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน เท่ากับ 3.80, 4.49, 1.66, 2.69, 4.77 และ 2.50 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อนำน้ำใบบัวบกผ่านกระบวนการ ฆ่าเชื้อโดยใช้ ความดันสูง พาสเจอไรซ์ และสเตอไรซ์ พบว่ามีปริมาณสารสกัดของ madecassoside, asiaticoside, วิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการผลิต ในการเก็บรักษาน้ำใบบัวบก พบว่า ปริมาณสาร madecassoside และ asiaticoside มีความคงตัว พอสมควร แต่ น้อยกว่าวิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน เมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Wongfhun *et al.*, 2008) จากการศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชัน และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Phenolic compound) ในบัวบก 4 สายพันธ์ ทดสอบทั้งราก ใบ และลำต้นของบัวบก ทำการสกัดโดยใช้วิธี ferric thiocyanate (FTC) ทดสอบโดย thiobarbituric acid (TBA) พบว่าสายพันธ์ CA 01 และ CA 05 จะมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ซึ่งพบมากทั้งรากและใบของบัวบก โดยในใบบัวบกมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 8.13-11.7 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม รองลงมาคือราก เท่ากับ 6.46-10.5 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ส่วนลำต้นพบว่ามีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 3.23-4.91 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (Zainol *et al.,* 2002) อีกทั้งยังพบ สารสำคัญในใบบัวบกคือ madecassoside, asiaticoside, madecassic acid และ asiatic acid โดยสกัด Soxhlet เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเครื่อง HPLC ผลการวิเคราะห์ พบว่า asiaticoside ในใบบัวบก มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.0–3.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ asiatic acid อยู่ในช่วง 0.5–2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า CV มี <3% ค่า LOD และ LOQ ของ asiaticoside ในใบบัวบก คือ 0.0113 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วน asiatic acid เท่ากับ 0.0023 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Rafamantanana *et al.,* 2009)

นอกจากนี้วิธีการทำแห้งของใบ ราก และลำต้นของบัวบก โดยใช้วิธีการทำแห้ง 3 วิธีคือ ทำแห้งด้วยลมร้อน ทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum) และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) วิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า favonoids จะพบในปริมาณสูงทั้งในใบ ราก และลำตันของบัวบก คือ กลุ่ม naringin (4688.8 ± 69, 3561.3 ± 205 และ 978.3 ± 96 ไมโครกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม), rutin (905.6 ± 123, 756.07 ± 95 และ 557.25 ± 58 ไมโครกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม), quercetin (3501.1 ± 107, 1086.31 ± 90 และ 947.63 ± 83 ไมโครกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม) และ catechin (915.87 ± 6.01, 400.6 ± 67 และ 250.56 ± 18 ไมโครกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม) ซึ่งบัวบกที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนพบว่ามีการเสื่อมสลายของสาร total favonoids มากที่สุด รองลงมาคือ การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งมี เปอร์เซ็นต์การสูญเสียคือ 97%, 87.6% และ 73% ตามลำดับ และ พบว่า Catechin และ rutin จะมีความคงตัวสูงที่สุด มีการสลายของสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

total favonoids เพียง 35%, 66% และ 76% ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนตามลำดับ Zainol *et al.* (2009)

ผลการศึกษาสารสกัดจากใบบัวบกที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารสกัดใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอลจะ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด พบได้ในส่วนของใบ ลำต้น และราก โดยส่วนของรากจะพบว่า มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าส่วนของใบ และลำต้น เมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 5 ,000 ส่วนในล้านส่วน มีผลช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ ที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ที่เป็นสารสกัดใบบัวบกด้วยเอทานอล จะมี สมบัติที่คล้ายคลึงกับ α-tocopherol จากผลการทดลองข้างต้น สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ จากใบบัวบกที่สกัดด้วยเอทานอล มีความคงตัวที่ ค่าความเป็นกรด -ด่างเท่ากับ 7 และเสถียรที่อุณหภูมิ 50 °ซ (Hamid *et al.*, 2002) ส่วนด้านคุณสมบัติของสารสกัดจากใบบัวบก บางชนิด ซึ่งได้แก่ asiatic acid และ asiaticoside ที่อยู่ในกลุ่ม triterpene มีสมบัติลดการอักเสบ และช่วยในการสมานแผล โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัด โดยใช้อุณหภูมิ 100 ถึง 250 °ซ และความดัน 10 ถึง 40 เมกะพาสคาล จากนั้นตรวจวัดสารสกัดจากใบบัวบกด้วยเทคนิค HPLC พบว่าปริมาณสารสกัด asiatic acid และ asiaticoside จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้อุณหภูมิ และความดันเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากใบบัวบกจะมีความ คงตัวที่อุณหภูมิ 250 °ซ ความดัน 40 เมกะพาสคาล ซึ่งจะสามารถสกัด asiatic acid และ asiaticoside จากใบบัวบก ได้สูงที่สุดคือ 7.8 และ 10 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สารสกัดใบบัวบกจากน้ำภายใต้อุณหภูมิ 250 °ซ ความดัน 40 เมกะพาสคาล มี คุณสมบัติสูงกว่าสารสกัดด้วยเมทานอล หรือเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง แต่มี คุณสมบัติต่ำกว่า เมทานอล หรือเอทานอล เมื่อสกัดที่อุณหภูมิน้ำเดือด (Kim *et al.*, 2008) นอกจากนั้นการ วิเคราะห์กลุ่ม triterpenoid คือ asiaticoside และ madecassoside ในใบบัวบกและราก ที่มีความแตกต่างกันของพันธุกรรมโดยการควบคุมของยีนส์ 2 ชนิด จากแหล่งที่มาจากประเทศมาเลเซีย ทำการสกัดสารสำคัญในใบบัวบกด้วยเมทานอลวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC พบว่าใบบัวบกที่มียีนส์แตกต่างกันคือใบบัวบกแบบฝอย และแบบเรียบ (มีปริมาณของเทอร์พีนอยด์ที่ต่างกัน โดยเทอร์พีนอยด์จะมีปริมาณมากที่สุดในใบ คือ asiaticoside เท่ากับ 0.79 ±0.03 และ 1.15 ±0.10% น้ำหนักแห้ง และ madecassoside เท่ากับ 0.97±0.06 และ 1.65±0.01% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนในรากใบบัวบกแบบฝอย จะมีปริมาณของ asiaticoside น้อยที่สุด คือ 0.12 ±0.01% น้ำหนักแห้ง ในขณะที่ลำต้นใบบัวบกแบบเรียบ มีปริมาณของ asiaticoside เทากับ 0.16 ±0.01% น้ำหนักแห้ง และ madecassoside เท่ากับ 0.18±0.14% น้ำหนักแห้ง น้อยที่สุด (Aziz. *et al* ., 2007)

ศึกษาผลของการแปรรูปต่อ คุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน ของตัวอย่างบัวบกอบแห้ง น้ำชาบัวบก น้ำบัวบกพาสเจอไรซ์ และบัวบกผงชงดื่ม พบว่าเมื่อตรวจสอบสมบัติ ในการเป็นสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Total phenol assay, 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay และ 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzo-6-thiazoline-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activity assay พบว่า บัวบกอบแห้งมีสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมา คือ บัวบกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง บัวบกทำแห้งแบบพ่นฝอย น้ำชาบัวบก และน้ำบัวบกพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ และเมื่อวัดสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay พบว่า น้ำชาบัวบกมีสารต้านออกซิเดชันทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ บัวบกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง บัวบกทำแห้งแบบพ่นฝอย และน้ำบัวบกพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ(นฤมล และ ศศิธร, 2550)

2.2 การทำชาสมุนไพร

สมุนไพร (Medicinal Plant หรือ Herb) เป็นพืชที่กำเนิดจากธรรมชาติ และนับเป็นเทคโนโลยีพื้นบ้านที่สำคัญ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น เป็นยารักษาโรค บริโภคเป็นอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ สีผสมอาหาร สีย้อม เครื่องสำอาง ตลอดจนนำมาทำเป็นเครื่องดื่มได้อีกด้วย โดยเฉพาะการนำสมุนไพรมา แปรรูป เป็นเครื่องดื่มที่ใช้รูปแบบในการบริโภคเช่นเดียวกับการชงชา การชงชาเป็นการสกัดสารที่เป็นตัวยาสำคัญด้วย ความร้อน ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อไม่ให้สารที่ไม่พึงประสงค์ถูกสกัดออกมา และเพื่อป้องกันไม่ให้สารที่ต้องการ ถูกทำลายด้วยความร้อนที่นานเกินไป รวมทั้ง การใช้ความร้อนในระยะสั้นยังช่วย รักษากลิ่น รส ที่ต้องการของสมุนไพรชนิดนั้นๆ เอาไว้ด้วย สมุนไพรที่ใช้ในการบริโภคเช่นเดียวกับชา มักจะเรียก ชาสมุนไพร โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นสมุนไพรที่มีกลิ่นที่ต้องการคงไว้ไม่ให้สูญเสียไปกับความร้อนที่มากเกินไป เช่น ผลมะตูม ดอกกระเจี๊ยบ ขิง ใบหม่อน ใบบัวบก ใบเตย ดอกเก๊กฮวย เป็นต้น ซึ่งการบริโภคชาสมุนไพรเหล่านี้ ให้ได้ประโยชน์และปลอดภัยจะต้องผลิตและบรรจุอย่างสะอาดและถูกสุขลักษณะ นอกจากจะได้คุณค่าทางยาจากสมุนไพรแล้ว ยังได้สัมผัสกลิ่นที่เกิดจากสมุนไพรด้วย แต่หากมีการเตรียมและผลิตโดยไม่ถูกสุข ลักษณะ ก็อาจมีการปนเปื้อนโดยเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดอันตรายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 ความหมายของชาสมุนไพร

ชาสมุนไพร คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช 15 ชนิด นำไปตากแดด อบแห้ง แล้วตัดสับ หรือบด โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปบริโภคโดยการต้มหรือชงกับน้ำ ซึ่งชาสมุนไพรจัดเป็นอาหารที่กำหนด คุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ.2547 เรื่อง ชาสมุนไพร จะต้องมีคุณภาพมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด รวมทั้งวิธี การผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร ภาชนะบรรจุ ตลอดจนฉลากได้ผ่านการ

ตรวจ สอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาว่ามีความถูกต้องเหมาะสม จึงจะสามารถผลิตหรือนำ เข้าเพื่อออกจำหน่ายได้

พืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับชาสมุนไพรทั้ง 15 ชนิด เป็นพืชที่สามารถหาได้ง่าย ยังมีคุณค่า และประโยชน์มากมาย ดังนี้

1. ชามะตูม ทำจากผลมะตูมแก่ บดเป็นผง ให้น้ำชาสีแดงออกน้ำตาล มีกลิ่นหอมหวานชวนดื่ม ส่วนใหญ่จะแต่งรสด้วยน้ำตาล เพื่อให้รสชาติที่ดีขึ้น มะตูมเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณบำรุงธาตุ ทำให้ขับถ่ายดี และเจริญอาหาร ขับเสมหะ แก้ร้อนใน

2. ชากระเจี๊ยบ ทำจากฐานรองดอกของกระเจี๊ยบแดง มีคุณสมบัติในการลดไขมันในเลือด ลดความดันโลหิตสูง ขับปัสสาวะ แก้กระหายน้ำทำให้ชุ่มคอชื่นใจ ชากระเจี๊ยบมีสีแดง รสเปรี้ยว มักเติมน้ำตาลเพื่อแต่งรส

3. ชาขิง ทำจากเหง้าขิงแก่ ที่มีน้ำมันหอมระเหย รสหวานเผ็ดร้อน มีสรรพคุณทางร้อน ช่วยบรรเทาหวัด แก้คลื่นไส้อาเจียน เมารถเมาเรือ ช่วยย่อยอาหาร แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ ขับลม

4. ชาข่า ทำจากเหง้าข่าแก่ มีสรรพคุณช่วยขับลมได้ดี เป็นการระบายลมออก มาจากลำไส้ ทำให้รู้สึกสบายท้องขึ้น แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ เรอเปรี้ยว ช่วยบรรเทาอาการหดเกร็งของกล้ามเนื้อท้องได้อีกด้วย

5. ชาตะไคร้ ทำจากเหง้า ต้นและใบตะไคร้อบให้แห้งแล้วบด ตระไคร้มีกลิ่นหอม เพราะมีน้ำมันหอมระเหย มีสรรพคุณช่วยย่อยอาหาร แก้ลมวิงเวียน ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะ แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด บำรุงธาตุ

6. ชาใบหม่อน ทำจากใบหม่อน มีสรรพคุณช่วยลดความดันโลหิตและช่วยลดไขมันในเส้นเลือด แก้ร้อนใน กระหายน้ำ แก้ไอและบำรุงธาตุให้แข็งแรง

7. ชาดอกคำฝอย ทำจากดอกคำฝอยแห้งมีสีแดงส้มชวนดื่ม กลิ่นหอมชื่นใจ มีสรรพคุณช่วยลด ไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิตสูง ขับเหงื่อ เป็นยาระบายอ่อน ๆ บำรุงเลือดสตรี ขับระดู ข้อควรระวังของชาดอกคำฝอย คือ ไม่ควรใช้ในสตรีมีครรภ์ เพราะดอกคำฝอยเป็นยาบำรุงเลือดและขับประจำเดือน ถ้าดื่ม มาก ๆ อาจแท้งได้

8. ชาใบบัวบก ทำจากใบบัวบก ที่มีวิตามินเอ บีหนึ่ง และแคลเซียมมาก รวม ทั้งยังมีสรรพคุณช่วยแก้ช้ำใน ทำให้หายฟกช้ำได้ดี แก้ร้อนในกระหายน้ำ ลดอาการปวดศีรษะข้างเดียว บำรุงสมอง บำรุงหัวใจ แก้อ่อนเพลียเมื่อยล้า

9. ชาใบเตย ทำจากใบเตยหอม อบ บดเป็นผง มีสีเขียวใบเตย มีกลิ่นหอมชื่นใจ ใบเตยมีสรรพคุณช่วยขับปัสสาวะ ช่วยลดน้ำตาลในเลือด ชาใบเตยจึงเหมาะกับคนที่เป็นโรค เบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง คนธรรมดาทั่วไปก็ดื่มได้ กลิ่นหอมของใบเตยชื่นใจ คลายเครียดได้ดีแท้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

10. ชาดอกเก็กฮวย ทำจากดอกเก็กฮวยแห้ง ให้น้ำชาสีเหลือง มีสรรพคุณดับร้อน รักษาอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ตาแดง บำรุงประสาทและสายตา

11. ชาหล่อฮังก้วย ทำจากผลหล่อฮังก้วย มีสรรพคุณขับเสมหะ ทำให้ชุ่มคอ

12. ชาเห็ดหลินจือ ทำจากเห็ดหลินจือแห้ง สารที่มีอยู่ในเห็ดหลินจือจะเข้าไปกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ให้ทำหน้าที่ปกติ สามารถต้านการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง ต้านการจับตัวของ ลิ่มเลือด ช่วยเสริมสร้างและบำรุงสุขภาพให้แข็งแรง บรรเทาอาการร้อนใน กระหายน้ำ

13. ชามะขามป้อม ทำจากผลมะขามป้อม มีสรรพคุณแก้ไอ ขับเสมหะ การที่เนื้อมะขามป้อม แก้ไอ ขับเสมหะได้ เพราะในเนื้อมีกรดอินทรีย์ และมีสารช่วยกระตุ้นให้น้ำลายออกช่วยละลายเสมหะ

14. ชาเจี่ยวกู้หลาน ทำจากใบและต้นเจี่ยวกู้หลาน มีสรรพคุณบำรุงร่างกาย ลดความดันโลหิต ลดน้ำตาลในเลือด ระงับประสาทช่วยให้นอนหลับ ลดความตื่นเต้น

15. ชาเปรียง ทำจากเถาวัลย์เปรียง มีสรรพคุณขับปัสสาวะ แก้อาการปวดเมื่อยตามร่างกาย แก้บิด แก้หวัด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา , 2547)

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชา

ผลการศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของใบ *Alipinia zerumbet, Etlingera elatior, Curcuma longa* และ *Kaempferia galangal* ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ คือ ไมโครเวฟ ตู้อบ - ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าสมุนไพรที่ผ่านการอบแห้งจะมีปริมาณของสารประกอบ - ฟีนอลทั้งหมด, ascorbic acid equivalent antioxidant (AEAC) และ Ferric-Reducing Ability Power (FRAP) ลดลง ในส่วนคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันจะมีความคงตัวสูงเมื่อผ่านการอบแห้ง Chan. *et al*. (2009) ส่วนกิจกรรมการต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และปริมาณแคโรทีน อยด์ของ สมุนไพรชนิดเลมอน ออริกาโน และใบมินต์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวและการทำแห้ง และพบว่าสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดจะมีกิจกรรมต้านออกซิเดชันในปริมาณมากถึง 90% และมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในปริมาณสูง แต่ภายหลังการอบแห้ง สารประกอบฟีนอลทั้งหมดของออริกาโน และใบมินต์ลดลง วิตามินซีมีปริมาณสูงในใบมินต์ และเลมอนสด ส่วนแคโรทีนจะมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าการทำแห้งมีผลต่อการสูญเสียองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ในปริมาณสูง (Capecka *et al*., 2005) รวมทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดใน ชาสมุนไพรในอินเดีย พบว่ามีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 786-5366 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม มีเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ Superoxide dismutase (SOD) อยู่ในช่วง 54.63-93.64 หน่วยต่อนาทีต่อมิลลิกรัม หลังจากเก็บรักษานาน 15 เดือนพบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจะคงตัวกว่าสารต้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แอนติออกซิแดนซ์ ทั้งนี้ชาสมุนไพรเหล่านี้ จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพเช่นมีฤทธิ์ต่อต้านภาวะเครียด (antistress) ฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกัน (immunomodulator) ชะลอความเสื่อมของอวัยวะภายใน (anti-aging), ระงับการทำลายเซลล์ (anti-inXammatory) เป็นต้น (Naithani *et al.*, 2006)

นอกจากการผลิตชาใบบัวบกผงชงดื่ม โดยทำการเตรียมใบบัวบกก่อนการอบแห้ง วิธีเตรียมที่เหมาะสมคือนำใบบัวบกมาล้างน้ำนวด 5 นาที ลวกด้วย 0.1 % $NaHCO_3$ ในน้ำร้อน 90 °ซ 60 วินาที แช่น้ำเย็นทันที 5 นาที สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปอบแห้ง บดเป็นผงแล้วนำไปวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ค่าความชื้น นำไปชงเป็นชา ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่ามีคะแนนความชอบมากที่สุด เท่ากับ 7.0 จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาการอบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ใบบัวบกที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °ซ ใช้เวลา 50 นาที ที่ 60 °ซ ใช้เวลา 45 นาที และที่ 70 °ซ ใช้เวลา 25 นาที (สุจินดา และ อิศรพงษ์ , 2547) รวมถึง สาวิตร (2551) ได้ศึกษากิจกรรมในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากชาเขียวใบหม่อน โดยทำการสกัดที่อุณหภูมิต่างๆ (60, 80 และ100 °ซ) เป็นระยะเวลาต่างกัน (5,10,15 และ 20 นาที) ด้วยจำนวนซ้ำต่างกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารต้านออกซิเดชันจากชาใบหม่อน คือการสกัดด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน (ผงชา :น้ำ) เท่ากับ 1:20 ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 5 นาที กิจกรรมในการต้านออกซิเดชัน และคุณสมบัติในการให้อิเลคตรอน ของสารสกัดจากชาเขียวใบหม่อน เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารสกัด (0-1500 ส่วนในล้านส่วน) ดังนั้นสารสกัดจากชาเขียวใบหม่อนจึงมีหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันชนิดปฐมภูมิ ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ สารสกัดแสดงกิจกรรมในการต้านออกซิเดชันในช่วงพีเอชที่เป็นกลางและด่าง ได้ดีกว่าช่วงพีเอชที่เป็นกรด

2.3 การทำแห้งอาหาร

การอบแห้งหมายถึง กระบวนการให้ความร้อนกับของแข็งที่มีของเหลว (โดยทั่วไปคือน้ำ) ประกอบอยู่ หรือการให้ความร้อนกับสารละลายเพื่อให้ของเหลวหรือตัวทำละลายนั้นระเหยออกไป กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามวิธีการให้ความร้อนหรือลักษณะก๊าซร้อนโดยรอบ (ตัวกลางส่งผ่านความร้อน โดยปกติคืออากาศ) อาทิ การอบแห้งแบบใช้ลมร้อนไหลสวนทาง เป็นการใช้ลมร้อนเป่าสวนทางกับทิศการเคลื่อนที่ของวัสดุ การอบแห้งแบบนำความร้อน เป็นการอบแห้งโดยใช้ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการสัมผัสวัสดุโดยตรงกับถาดร้อน การอบแห้งแบบแผ่รังสี เป็นการอบแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟราเรด (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นยาว) ไปยังพื้นผิวของวัสดุ การอบแห้งแบบกำเนิดความร้อนสม่ำเสมอ เป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อวัสดุเองโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น การอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นการอบแห้งในสุญญากาศโดยให้ความร้อนด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน การอบแห้งโดยไอน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยวดยิ่ง เป็นการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่ง (Superheater steam) เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังของเหลวหรือตัวทำละลายในวัสดุหนึ่ง ในกรณีที่ลดอุณหภูมิของวัสดุให้อยู่ในระดับ -30 °ซ แล้วจึงทำแห้งแบบสุญญากาศน้ำแข็งจะระเหิดเป็นไอออนไป เรียกว่า การทำแห้งแบบแช่แข็ง ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และยาที่ไม่เสถียร มีข้อด้อย คือค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่นๆ (วิวัฒน์, 2548)

กลไกการถ่ายเทน้ำของการทำแห้ง และความเร็วเชิงมวลในการทำแห้งนั้นแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ต้องการจะทำแห้ง ในกรณีของสารละลาย น้ำจะกลายเป็นไอหลังจากเคลื่อนย้ายมาที่พื้นผิวของวัสดุโดยการแพร่ ส่วนวัสดุของแข็งที่มีรูพรุนมาก น้ำอาจเคลื่อนย้ายมาที่พื้นผิวของวัสดุโดยการแพร่ของไอน้ำ หรือการไหลที่หนืดอย่างอิสระ (free viscous flow) ในกรณีที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากแขวนลอยในน้ำ ที่พื้นผิวอนุภาคจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะมีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างอนุภาค เรียกว่าแรงดึงดูดออสโมติก (osmotic) ซึ่งพบได้ในวัสดุที่มีอัตราส่วนความชื้นสูง นอกจากวัสดุจะประกอบด้วยน้ำที่ครอบครองไว้แล้ว ยังมีที่ก่อพันธะหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งน้ำที่ถูกดูดซับอีกด้วย (วิวัฒน์, 2548)

การกำจัดน้ำ หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และกิจกรรมของเอนไซม์ ดังตาราง 2.2 นอกจากนั้นยังช่วยลดน้ำหนัก และปริมาณของอาหาร ทำให้ลดค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษา และขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2545) ทั้งนี้ปริมาณน้ำอิสระ(free water) หรือน้ำที่ไม่ได้อยู่ในองค์ประกอบโมเลกุลของอาหาร (bound water) หรือน้ำถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้ได้ไม่นาน หรือเรียกว่าอายุการเก็บรักษา(shelf-life) สั้น ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า water activity (a_w) ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ลงจึงลดการเกิดสีน้ำตาล และการเหม็นหืน ดังนั้น อาหารที่มี ค่า a_w ต่ำ จึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่า a_w สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มี ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 อาหารที่จะทำแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่ไม่ไวต่อความชื้น (non-hygroscopic) ซึ่งหมายถึงอาหารที่มีค่าความดันย่อยของน้ำในอาหารมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำ และอาหารอีกพวกหนึ่งคือพวกที่มีความไวต่อความชื้น (hygroscopic) ซึ่งจะมีค่าความดันย่อยน้อยกว่าความดันไอของน้ำที่ความชื้นวิกฤตบางระดับ (ไพบูลย์, 2532)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารคือ น้ำที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมดามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหาร ชี้ให้เห็นว่ามีน้ำอยู่ 3 ประเภทคือ (1) โมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไอออนิก (ionic group) ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน (2) โมเลกุลน้ำที่ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิล และเอไมด์ ด้วยพันธะไฮโดรเจน (3) น้ำอิสระพบในช่องว่างอินเตอร์สทิเชียล (interstitial pores) ซึ่งแรงคาพิลลารี่ และองค์ประกอบที่ละลายอยู่ทำให้ความดันไอลดลงในระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้น ระดับความยากง่ายของการกำจัดน้ำออกไปจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าน้ำนั้นอยู่ในกลุ่มใด ซึ่งชนิดของน้ำที่กล่าวมานั้น ระดับความยากในการกำจัดความชื้นออกไปจะลดลงตามลำดับ และโอกาสที่น้ำถูกกำจัดออกไปเป็นปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ หมายความว่าน้ำอิสระจะระเหยและกำจัดออกไปในตอนแรก อาจจะใช้ปริมาณพลังงานที่แตกต่างกันในการกำจัดออกไป เนื่องจากความต้องการพลังงานในการกำจัดความชื้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และชนิดของน้ำ ดังนั้นการออกแบบเครื่องทำแห้ง จะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้มากที่สุด เท่าที่จะมากได้ ประสิทธิภาพของเครื่องที่ออกแบบขึ้นกับว่าสามารถกำจัดความชื้นตามที่ต้องการไดหรือไม่ นอกจากนั้นกลไกแตกต่างกันของน้ำที่ยึดติดกับของแข็ง ยังมีผลต่อลักษณะของคุณภาพอาหารระหว่างการเก็บอีกด้วย (รุ่งนภา, 2535)

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ประกอบด้วยความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของอาหาร (Unbound moisture) ซึ่งสามารถขจัดความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อนส่วนความชื้นที่เกาะอยู่ภายในผนังด้านใน Capillaries ที่อยู่ภายในเนื้ออาหาร (Bound moisture) ไม่สามารถไล่ความชื้นเหล่านั้นภายในอาหารนี้ได้หมด (วิไล, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ความสำคัญของค่ากิจกรรมของน้ำต่ออาหาร

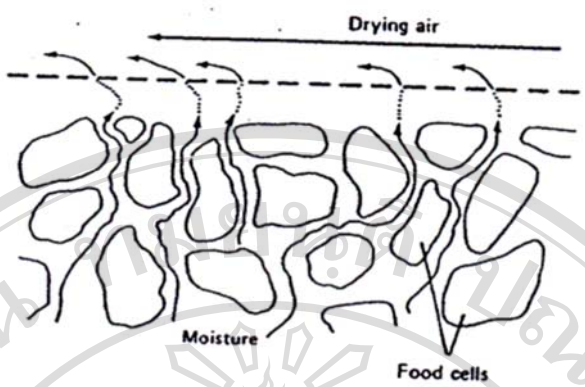
a_w	ปรากฏการณ์
0.95	ยับยั้งการเจริญของ *Pseudomonas,Bacillus,Clostridium perfringens* และยีสต์บางชนิด
0.90	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของแบคทีเรียทั่วไป เช่น *Salmonella, Lactobacillus Vibrio paraheamolyticus, Clostridium botulinum* รวมทั้งยีสต์และราบางชนิด
0.85	ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.80	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่และการเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่ *Staphylococcus aureus* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
0.75	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับแบคทีเรียฮาโลไฟต์ (Halophile)
0.70	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับเชื้อรา Xerophile ส่วนใหญ่
0.65	อัตราเร็วสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด
0.60	ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเจริญของยีสต์และราประเภท Osmophile หรือ Xerophile
0.55	เกิดความผิดปกติกับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับสิ่งมีชีวิต)
0.40	อัตราเร็วต่ำสุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
0.25	ความต้านทานสูงสุดของสปอร์แบคทีเรีย

ที่มา: วิไล (2545)

2.3.1 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ โดยลมร้อนที่เคลื่อนที่มาพัดพาไอน้ำไป ทำให้ความดันที่ผิวหน้าอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร จึงเกิดความแตกต่างของความดันไปอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ทำให้แรงขับเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร โดยน้ำมีการเคลื่อนที่ไปผิวหน้าด้วยกลไกดังรูป 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

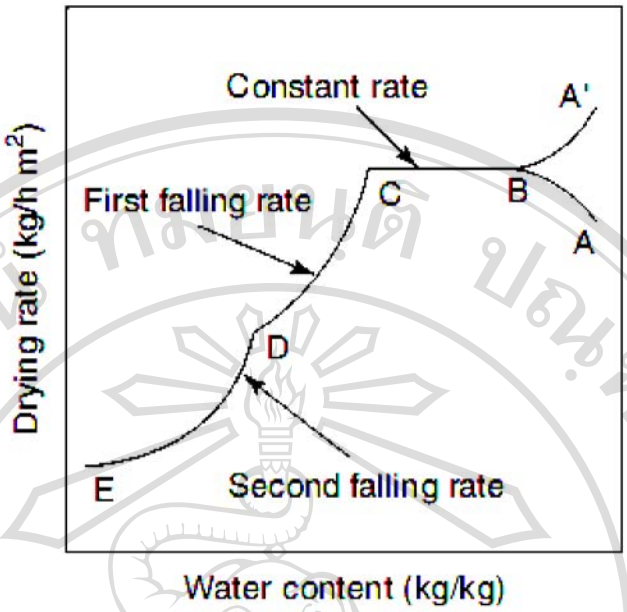


รูป 2.6 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง (วิไล, 2546)

- การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงซึมตามรูเล็ก (Capillary force)
- การแพร่ของของเหลว เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวทำละลายในอาหารส่วนต่างๆ
- การแพร่ของของเหลวถูกดูดซับ โดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
- ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร (วิไล, 2546)

การทำแห้งอาหารที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ความชื้นของอาหารมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของอาหาร จะมีน้ำเกาะอยู่จำนวนมาก เมื่อผ่านอากาศร้อนไปยังชิ้นอาหารน้ำจะระเหยออกจากอาหารไปยังอากาศ การถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นที่ผิวของอาหารเท่านั้น สำหรับช่วงอัตราการทำแห้งลดลงคือช่วงที่มีความชื้นของอาหารมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) น้ำจะเคลื่อนที่จากอาหารมาที่ผิวในลักษณะของอาหารเหลวและไอน้ำ หลังจากนั้นน้ำที่ผิวอาหารจึงระเหยออกไป แสดงความสัมพันธ์ดังรูป 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.7 เส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำแห้งอาหาร (Rahman and Perera, 2007)

จากรูป 2.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งอาหาร สามารถแบ่งช่วงออกได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วง AB หรือ A′B เป็นช่วงเริ่มต้นของการให้ความร้อนแก่ชิ้นอาหาร ในขณะทำแห้ง

ช่วง BC เรียกว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant-drying rate) ช่วงนี้ปริมาณความชื้นเริ่มลดลง แต่อัตราการทำแห้งยังคงที่ เพราะในช่วงนี้ผิวหน้าของอาหารจะอิ่มตัว อัตราการเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในไปสู่ผิวจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำจากผิวหน้าอาหารไปยังอากาศ การทำแห้งจะดำเนินไปด้วยอัตราคงที่

จุด C เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) คือจุดที่อัตราการระเหยของน้ำในอาหารเริ่มลดลง

ช่วง CD เรียกว่า อัตราการทำแห้งลดลงช่วงแรก (first falling-drying rate) โดยปริมาณน้ำในอาหารเริ่มลดลง ส่งผลให้อัตราการทำแห้งเริ่มลดลง โดยอัตราการทำแห้งจะลดลงเร็วกว่า ช่วง DE โดยในช่วง CD นี้ อัตราการเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในไปสู่ผิว ช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวออกไปสู่อากาศ ผิวหน้าอาหารจะแห้งไปเรื่อยๆ อัตราการดึงน้ำออกช่วงนี้จะช้ากว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ซึ่งน้ำในอาหารช่วงนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่ม bound water

ช่วง DE เรียกว่า อัตราการทำแห้งลดลงช่วงที่สอง (Secondary falling-drying rate) น้ำในอาหารส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่ม bound water ส่วน free water จะหมดไป ทำให้อัตราการดึงน้ำออกช่วงนี้ช้ามาก จนถึงจุด E เรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) เมื่อถึงจุดนี้จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่มีการลดลงของปริมาณความชื้นอีก ดังนั้นจึงถือว่ากระบวนการอบแห้งจะสิ้นสุดลง (Rahman and Perera, 2007)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งอาหาร มีดังนี้

1) ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น จึงแห้งเร็วกว่า อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า และอาหารที่มีการลวก นวด คลึง จะทำให้เซลล์แตกและแห้งได้เร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกันถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหย เกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมารอาหารต่อถาด มากเกินไป อาหารส่วนล่างจะไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรืออาจได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชิ้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7) ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกดังนั้น เมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที (สุคนธ์ชื่น, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.3 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

การอบแห้งมีผลต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ ดังนี้

1) คุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และถ้ามีการการอบแห้งโดยวิธีการตากแดดต่างจากการใช้เครื่องอบแห้งคือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นอากาศ แสงแดด อุณหภูมิได้

2) โปรตีน จะเสียคุณค่าไปมากหรือน้อยเพียงขึ้นกับวิธีการอบแห้งอาหาร ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

3) คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เกิดโดยกรดอะมิโนในผลไม้รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ทำให้เกิดสีน้ำตาลป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์

4) ไขมัน อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำ หรือใช้สารกันหืน (antioxidants) ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น BHT (Butylated hydroxyl toluene)

5) เอนไซม์ จะหยุดกิจกรรม เมื่อใช้ความร้อนถึง 100 °ซ เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทาน ดังนั้นการอบแห้งจึงต้องลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบ ตัวอย่างของเอนไซม์ที่มีผลต่ออาหารอบแห้ง คือ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) พบทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์บางชนิด โดยปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ สารที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อกับออกซิเจน และเกิดพอลิเมอไร-เซชันได้เป็น เมลานิน ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อที่ไม่พึงประสงค์ พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วงพีเอช 5-7 เอนไซม์นี้ไม่ค่อยคงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดแฮไลด์ (halides) กรดฟีนอลิกซัลไฟด์ และรีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO ไม่ให้เกิดขึ้นในผักบางชนิดทำได้โดยการลวก เพื่อยับยั้งเอนไซม์ PPO โดยเอนไซม์ PPO จะถูกทำลายสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 85 °ซ ขึ้นไป ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 °ซ ในการทำลายเอนไซม์ PPO และควรมีการศึกษาหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการทำลายเอนไซม์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

PPO ในผักหรือผลไม้แต่ละชนิด และภายหลังการลวกแล้วต้องทำให้ผักและผลไม้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารไว้ให้ดีที่สุด (นิธิยา, 2545)

6) จุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 เชื้อราจะเจริญได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นสูงกว่าร้อยละ 30 การอบแห้งนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดี ไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

7) เม็ดสีในอาหาร อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป สีของอาหารจะเปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จะซีดจางลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะฟอกสีอาหารให้จางลง ดังนั้น พวกผักและผลไม่จึงมีการ fixed สีก่อนอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อนจะทำให้สีผักผลไม้ไม่ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่อาจจะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น (กุลยา, 2540)

2.4 เครื่องอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลต

2.4.1 รังสีอัลตราไวโอเลต (UV radiation)

รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1.0×10^{-7} ถึง 3.8×10^{-7} เมตร หรือมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 นาโนเมตร คลื่นนี้เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าเดินทางผ่านตัวนำไฟฟ้า ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดของรังสีอัลตราไวโอเลต ที่สำคัญเมื่อรังสีอัลตราไวโอเลต จากดวงอาทิตย์มากระทบกับอะตอมของชั้นบรรยากาศ จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนขึ้นจำนวนมาก รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นประโยชน์ในการฆ่าจุลชีพ และใช้ในทางการแพทย์ การจัดกลุ่ม ของรังสีอัลตราไวโอเลตตามความยาวคลื่น แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่ง UV-A (320-380 นาโนเมตร) กลุ่มที่สอง UV-B (280-320 นาโนเมตร) และกลุ่มที่สาม UV-C (200-320 นาโนเมตร) (Wellmann, 1983) การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตช่วงความยาวคลื่น 250-270 นาโนเมตร (UV-C) มีประสิทธิภาพในการทำลายแบคทีเรีย และสปอร์ของแบคทีเรีย สำหรับเชื้อ *E. coli* ความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพมากทีที่สุดคือ 265 นาโนเมตร ส่วนกลไกของความเสื่อมเสียทางชีววิทยาจากรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น ขึ้นอยู่กับการดูดคลื่นพลังงานซึ่งก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้น และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากแสง (photochemical reactions) นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง และเนื้อเยื่อที่ถูกฉายแสง (Jagger ,1967)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประโยชน์และข้อจำกัดของการฉายรังสี

1. ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งรังสีมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย

2. รังสีทำลายจุลินทรีย์ แมลง ที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคได้ ทำให้อาหารมีคุณภาพดีและลดปัญหาจากการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของมนุษย์

3. สามารถควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงระยะบริบูรณ์ (mayuration) การชราภาพ (senescence) รวมทั้งการงอก (sprouting) ของผักและผลไม้สด

4. ทำให้องค์ประกอบทางเคมีบางอย่างของอาหารเปลี่ยนแปลง และช่วยปรับปรุงคุณภาพอาหารให้ดียิ่งขึ้น

5. ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในอาหาร

6. ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

7. ช่วยรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร หรือทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการถนอมอาหารโดยวิธีอื่นๆ

การฉายรังสี ยัง มีผลในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งโดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่โครโมโซม (chromosome) ซึ่งมี DNA ที่มีลักษณะโมเลกุลวงแหวนประกอบด้วยคู่เบส (base pairs) หลายล้านคู่ จากการศึกษาพบว่ารังสีทำให้ DNA เกิดการเปลี่ยนแปลง และไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามรังสียังมีผลต่อโมเลกุลอื่นๆ ที่ไม่ทนต่อรังสี (เช่นในเมมเบรน) ซึ่งอาจเป็นผลให้ จุลินทรีย์ถูกทำลายได้เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตจากการฉายรังสี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในตัวจุลินทรีย์ ระยะการเจริญปริมาณของรังสี รวมทั้งความสามารถในการซ่อมแซมตนเองการทนต่อรังสีของจุลินทรีย์แตกต่างไปตามสปีชีส์ (species) หรือสายพันธุ์ (strain) แบคทีเรียชนิดแกรมลบ รวมทั้งพวกที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย พวกที่อยู่ภายในช่องทางเดินอาหาร และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค จะทนต่อการฉายรังสีน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ในส่วนของสปอร์แบคทีเรียจะทนต่อรังสีมากกว่าเซลล์ปกติ (vegetative cells) ประมาณ 5-15 เท่า และโดยทั่วไปการทนต่อการฉายรังสีของเชื้อราจะใกล้เคียงกับเซลล์แบคทีเรียปกติ ส่วนยีสต์จะทนมากกว่าเชื้อราและแบคทีเรีย และไวรัสจะทนต่อการฉายรังสีมากที่สุดซึ่งรังสีปริมาณที่ใช้ทำลายแบคทีเรียจะไม่สามารถทำลายไวรัสได้ ประสิทธิภาพของรังสีในการทำลายแบคทีเรียชนิด และสปีชีส์ของแบคทีเรีย ปริมาณเริ่มต้นของเซลล์ (หรือสปอร์) สภาวะของเชื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาวะแวดล้อมของแบคทีเรีย เช่น ค่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารปริมาณของออกซิเจน และสภาวะทางกายภาพ (physical state) ของอาหารฉายรังสี

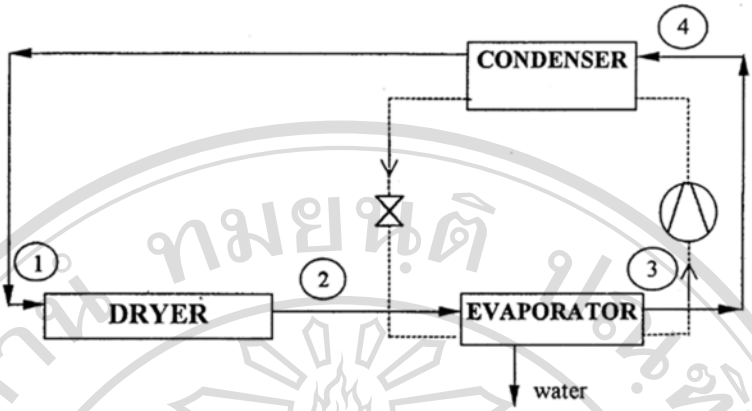
ในส่วนเชื้อรานั้น การฉายรังสีจะช่วยลดปริมาณเชื้อราในอาหาร แต่มีรายงานที่ยังไม่สรุปชัดเจนเกี่ยวกับผลจากการฉายรังสีที่ทำให้เชื้อราบางส่วนถูกทำลายแต่ในเชื้อราที่รอดชีวิตนั้นสามารถผลิตสารพิษขึ้นได้ภายหลัง ซึ่งการฉายรังสีอาจไปกระตุ้นหรือไม่มีผล หรือมีผลในการลดปริมาณสารพิษลง และการทำลายเชื้อจุลินทรีย์คู่แข่งชนิดอื่นจะทำให้เชื้อราสามารถผลิตสารพิษได้ในปริมาณมากกว่าในขณะที่มีเชื้ออื่นปะปนอยู่ในช่วงที่ยังไม่ฉายรังสี การรอดชีวิตของราหลังจากการฉายรังสีอาจทำให้เชื้อราเจริญได้รวดเร็ว กว่าในอาหารที่มีเชื้อราคู่แข่งชนิดอื่นๆ อยู่ด้วย (Adam และ Moss ,1995; สุมณฑา, 2545)

2.4.2 ทฤษฎีปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนเป็นชุดอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีการทำงานเป็นวัฏจักร ซึ่งอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน โดยดึงความร้อนจากแหล่งความร้อน (Heat Source) แล้วนำไปถ่ายเทให้กับแหล่งที่ต้องการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์หรือแหล่งรับความร้อน (Heat Sink) โดยปกติความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่สำหรับระบบทำความเย็นและระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีการรับความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็นในระบบ และพาความร้อนที่ได้รับไปยังแหล่งอุณหภูมิสูง โดยต้องมีการป้อนงานให้แก่ระบบ (ประธาน, 2539)

ระบบปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับพลังงานความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำมาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อนำไปใช้งาน (Gustavo, 1996) ระบบปั๊มความร้อนโดยทั่วไปเป็นแบบอัดไอประกอบด้วย เครื่องอัดไอ (compressor) เครื่องควบแน่น (condenser) เครื่องทำระเหย (evaporator)และวาล์วขยายตัว (expansion valve) (Mujumdar, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.8 ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน

_____ เส้นทางลม (air path) หมายเลข 1: ลมร้อนที่ออกจากคอยล์ร้อน , หมายเลข 2: ลมร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง, หมายเลข 3,4: ลมเย็นที่ออกจากคอยล์เย็น

---------- เส้นทางสารทำความเย็น (refrigerant path)

ที่มา : Mujumdar, 2000

จากรูป 2.8 คือลมร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Dryer) ที่จุด 1 เพื่อเข้าไปลดความชื้นของอาหารลง คือมีการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำภายในอาหารระเหยสู่อากาศ อากาศร้อนหลังจากอบแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำลง และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นออกจากจุด 2 อากาศหลังจากอบแห้งนี้ส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเครื่องทำระเหย (evaporator) เพื่อดึงความชื้นออกจากอากาศโดยการควบแน่นไอน้ำในอากาศเป็นหยดน้ำ ทำให้อากาศที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่จุด 3 หลังจากนั้นอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่จุด 4 ไหลผ่านเครื่องควบแน่น (condenser) เพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็นจนได้อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเข้าสู่ห้องอบแห้งต่อไป (Mujumdar, 2000)

ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เครื่องควบแน่น (condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำงานในระบบไปสู่แหล่งรับความร้อน
- เครื่องทำระเหย (evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากแหล่งความร้อนเข้าสู่สารทำงานในระบบ
- เครื่องอัดไอ (compressor) ทำหน้าที่อัดไอของสารทำงานให้มีความดันและอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิของสารทำงานในระบบจะสูงกว่าอุณหภูมิโดยรอบของชุดคอล์ยร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานออกสู่ภายนอกระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- วาล์วลดความดัน (expansion value) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงานให้ต่ำลง

ข้อดีของการอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนคือ สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากแทนที่อากาศร้อนชื้นหลังการอบแห้งจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศแต่สามารถดึงกลับคืนเข้าสู่ระบบที่เครื่อ งทำระเหยขณะเดียวกันก็ดึงน้ำออกจากอากาศร้อนชื้น ด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ได้ มีผลให้ด้านสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะใกล้เคียงสภาพเดิมอยู่ คงคุณค่าทางโภชนาการ และช่วยในการสกัดสารที่สำคัญ โดยกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อไม่ให้สารที่ไม่พึงประสงค์ถูกสกัดออกมา ซึ่งจะสามารถสกัดสารที่สำคัญได้ การใช้ความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ จะสามารถรักษากลิ่นรส ที่ต้องการเอาไว้ได้ นอกจากนี้สามารถใช้ได้กับสภาวะการอบแห้งที่กว้างได้ (-20 ถึง 100°ซ) และช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่กว้าง (15–80%) รวมทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดการใช้พลังงานลงจึงเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตอีกด้วย (Mujumdar, 2000)

2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน

ผลการ ศึกษาการอบแห้งแอปเปิล ด้วยวิธี ปั๊มความร้อน และตู้อบลมร้อนภายใต้อุณหภูมิ 45 และ 65 °ซ พบว่าแอปเปิลที่อบแห้งด้วยเทคนิคปั๊มความร้อน การเปลี่ยนแปลงด้านสี L *a** *b** มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ มีสีของวัตถุดิบคล้ายคลึงกับของสดมากกว่าตู้อบลมร้อน (Venkatesh , 2002) โดยมีแนวโน้มที่คล้ายกับการอบแห้งพริกหวานด้วยระบบปั๊มความร้อนโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 30 , 35 และ 40 °ซ เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 45 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 19 ถึงร้อยละ 55 พบว่า พริกหวานที่อบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า คือมี ปริมาณวิตามินซี และคลอโรฟิลล์ที่สูงกว่า รวมทั้ง การยอมรับ ทางประสาทสัมผัส ที่ดีกว่า เพราะพริกหวานยังคง สภาพเดิมอยู่ เนื่องจาก น้ำที่อยู่ในอาหารค่อยๆ ถูกดึงออก อย่างไรก็ตาม คุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีแนวโน้มลดลงถ้ามีการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น ดังนั้นพริกหวาน ที่อบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 35 °ซ มีความเหมาะสมที่สุด ต้นทุนต่ำกว่า และคุณภาพดีที่สุด (Pal *et al.,* 2008) นอกจากนี้ยังมีการการศึกษา การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่าการอบแห้งลำไยด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยลำไยแห้งที่ได้จะมีสีแดง และการหดตัวน้อยกว่า ในขณะที่การคืนตัวได้มากกว่าลำไยแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว (พรศิกาณฐ์ , 2549) และมีการศึกษาถึงการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

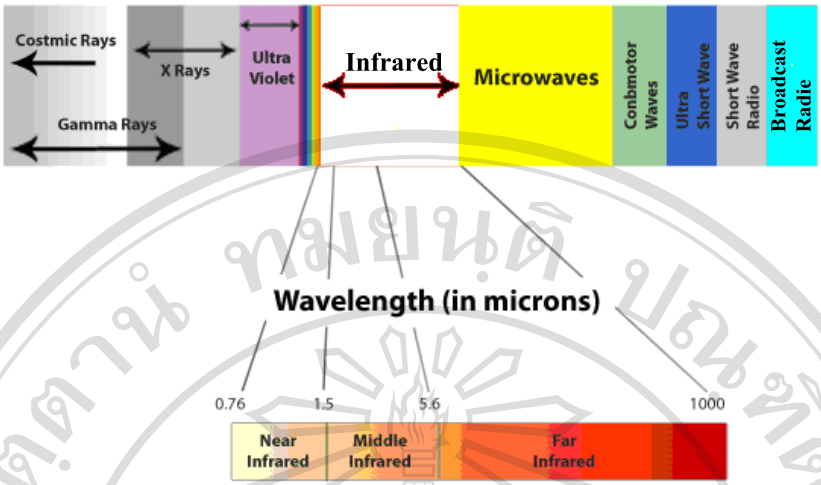
ผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับอินฟราเรด ระบบไกล(FIR) พบว่า รังสีอินฟราเรดช่วยลดเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นเริ่มต้นสูง ช่วยให้การกระจายตัวของความชื้นของผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งมีความสม่ำเสมอและคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้ยังพบว่า เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล มีระยะเวลาการคืนทุนเร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียวประมาณ 2 เดือน (ศรีมา, 2546) รวมทั้งมีการประยุกต์ระบบปั๊มความร้อน ร่วมกับการใช้ก๊าซเฉื่อย (ก๊าซไนโตรเจน หรือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) เปรียบเทียบกับการอบแห้ง ด้วยลมร้อน ด้วยระบบสุญญากาศ และแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับการใช้ก๊าซเฉื่อย (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) สามารถแผ่กระจายความร้อนในมันฝรั่ง ได้ถึง 44% และในมะละกอ 16.34% โดยที่ไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล คืนรูปได้เร็ว และมีปริมาณวิตามินซีคงเหลือค่อนข้างสูงในผลิตภัณฑ์สุดท้ายซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปรับอากาศหรือลมร้อนในการอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนมีศักย ภาพสูงเหมาะกับอุตสาหกรรมอบแห้งอาหารอย่างยิ่ง (Hawlader *et al*., 2006)

2.5 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ(Vacuum Infrared Dryer)

2.5.1 การแผ่รังสีอินฟราเรด

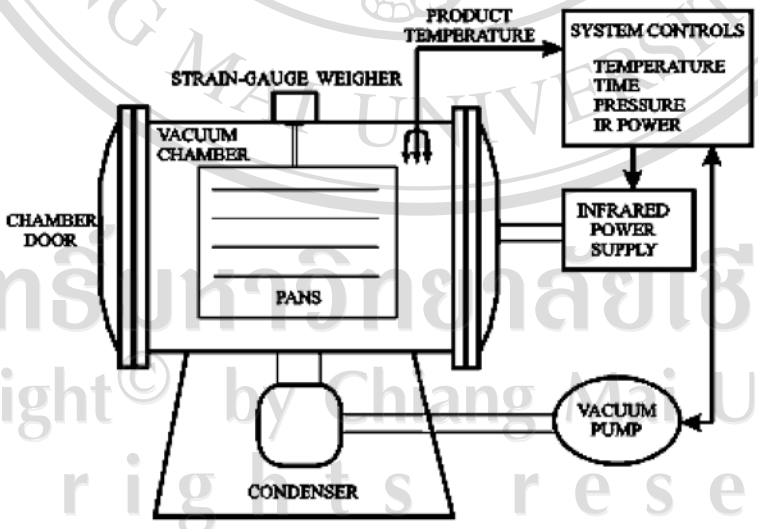
รังสีอินฟราเรด (infrared) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75-1000 μm ความยาวคลื่นช่วงนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ระดับ ตามความยาวคลื่นคือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared , NIR) จะมีความยาวคลื่นสั้น อยู่ในช่วง 0.75-1.4 μm รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle infrared, mid-IR) มีความยาวคลื่นปานกลาง 1.4-3 μm และอินฟราเรดไกล (Far-infrared, FIR) มีความยาวคลื่นมากที่สุด 3-1000 μm (Kathiravan *et al.*, 2008) ดังรูป 2.9 พลังงานอินฟราเรดเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแผ่ออกมาโดยวัตถุร้อน วัตถุจะดูดซับพลังงานจากรังสี และทำให้วัตถุร้อนขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นกับ 1. อุณหภูมิผิวหน้าของวัตถุที่ให้ความร้อน และรับความร้อน 2. สมบัติผิวหน้าของวัตถุทั้งสอง 3. รูปร่างของวัตถุที่แผ่และรับรังสี (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.9 แสดงรังสีอินฟราเรดโดยมีความยาวคลื่น 3 ระดับ คือ (Near infrared ; NIR, Middle infrared, mid-IR และ Far-infrared; FIR)
ที่มา : Sauna, 2008

ลักษณะของเครื่องมือจะมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ตู้ระเหยน้ำ (vacuum chamber) ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เครื่องกำเนิดรังสีอินฟราเรด (infrared power supply) และถาดใส่ตัวอย่าง (tray) ซึ่งปั๊มจะทำให้ตู้ระเหยน้ำมีความดันต่ำลงประมาณ 10 มิลลิเมตรปรอท และพลังงานอินฟราเรดจะทำให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงขึ้นไม่เกิน 55 ถึง 65 ^{o}ซ (Paulo, 2004) ดังรูป 2.10



รูป 2.10 แผนผังกระบวนการระเหยน้ำด้วยระบบอินฟราเรดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ศรุณี, 2551)

หลักการระเหยน้ำของระบบอินฟราเรด คือ รังสีจะผ่านทะลุเนื้ออาหารทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึงมากกว่ารังสีไมโครเวฟ ดังนั้น น้ำจึงถูกเปลี่ยนเป็นไอน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ด้วยอัตราเร็วสูงทำให้ใช้เวลาในการระเหยน้ำจากอาหารน้อย ลง แต่ไอน้ำส่วนนี้ จะต้องระบายออกจากตู้ระเหยน้ำอย่างรวดเร็วเช่นกันแสดงว่าจะต้องมีระบบระเหยน้ำออกจากตู้ควบคู่กับการให้ความร้อนโดยพลังงานอินฟราเรด เพื่อให้การระเหยน้ำออกจากอาหารอย่างมีประสิทธิภาพสูง ระบบการระเหยน้ำออกนี้อาจกระทำโดยใช้ลมร้อน ในงานวิจัย นี้จะใช้วิธีให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดควบคู่กับการดูดไอน้ำออกจากอาหารด้วยระบบสุญญากาศดังนั้นจึงสามารถระบายไอน้ำออกจากระบบได้เร็ว และนอกจากนั้นน้ำในอาหารจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ (40°ซ) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สูญเสียคุณภาพทางโภชนาการรวมทั้งรวม กลิ่น รส และสีของอาหาร แต่จุลินทรีย์บางส่วนถูกทำลายไปจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บได้นานโดยไม่เสื่อมคุณภาพ (Paulo, 2004) รวมทั้งการอบแห้งอาหารแบบสุญญากาศนั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ทำแห้งด้วยลมร้อน นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดมีการพัฒนาใช้กับเตาอบสมุนไพรแบบกึ่งสุญญากาศโดยการใช้ความร้อนจากแสงอินฟราเรดในสภาวะแวดล้อมภายในเตาที่เป็นแบบกึ่งสุญญากาศ ทำให้สามารถควบคุมปริมาณของอากาศ และความชื้นภายในเตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ความชื้นภายในเตามีค่าลดลง และทำให้วัตถุดิบสมุนไพรสามารถปลดปล่อยความชื้นได้รวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังลดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ภายในสมุนไพรด้วย โดยขบวนการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบการแผ่ความร้อน ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกึ่งสุญญากาศ อีกทั้งขบวนการแผ่ความร้อนยังสามารถแผ่ความร้อนไปยังวัสดุที่จะนำมาอบได้อย่างรวดเร็ว สามารถทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ (บวรโชค, 2547) ทั้งนี้การอบแห้งแบบสุญญากาศนี้จะเป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยการอบแห้งที่ระบบความดันต่ำนั้น จุดเดือดของน้ำจะต่ำกว่า 100 °ซ โดยการลดความดันถ้าลดความดันบรรยากาศให้ต่ำลงเท่ากับ 0.6107 กิโลพาสคาล จุดเดือดของน้ำจะเป็น 0 °ซ

2.5.2 ข้อดีของการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

1) พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว

2) หลอดรังสีอินฟราเรดให้ฟลักซ์ความร้อน (heat flux) สูง ดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็กทำให้สามารถออกแบบเครื่องมือทำแห้งที่มีขนาดกะทัดรัดได้ดี

3) การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ และต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถใช้พัดลมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการลดทั้งต้นทุนอุปกรณ์และค่าพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่าย เนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย และระบบไม่มีความซับซ้อนมากนัก

5) การทำแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีในการทำแห้ง และมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

6) การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นการใช้พลังงานที่สะอาด เนื่องจากระบบจะไม่เกิดของเสียที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนและก่อมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก (พัตสลา, 2552)

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ผลการศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยกล้วยหอมหั่นบางมีความชื้นเริ่มต้นที่ 300 % dry basis อบแห้งจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้าย 7 % dry basis จากการศึกษาพบว่า ความดันสุญญากาศ อุณหภูมิ และความหนามีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง รวมทั้งส่งผลต่อ คุณภาพของกล้วยอบแห้งทางด้านสี ความแข็ง และการหดตัว ด้วย โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด คือ อุณหภูมิ 50 °ซ ความดัน 5 กิโลพาสคาล และความหนาผลิตภัณฑ์ 2 มิลลิเมตร (Swasdisevi *et al.*, 2007) และอบแห้งแครอท และมันฝรั่งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนเปรียบเทียบกับลมร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที สามารถลดเวลาในการอบแห้งลง 48 %และลดการใช้พลังงานลง 63% เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว หรือให้ผลดีกว่าการใช้รังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว (Hebbar *et al.*, 2004) และการอบแห้งแอปเปิลแผ่นด้วยรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 1 ,200 นาโนเมตร ร่วมกับลมร้อนพบว่า เวลาของการอบแห้งขึ้นอยู่กับระยะระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับอาหาร และความเร็วของลมภายในตู้อบ โดยผิวด้านบนที่สัมผัสกับรังสีอินฟราเรดมีอัตราการระเหยของน้ำสูงกว่าด้านล่าง เมื่อน้ำระเหยออกไปเกิน 80 % อัตราการระเหยของน้ำทั้งสองด้านจะไม่แตกต่างกัน (Nowak *et al.*, 2004) และการอบแห้งองุ่นด้วยระบบสุญญากาศ พบว่าองุ่นอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 °ซ ด้วยระบบสุญญากาศ 500 mmHg สามารถถนอมคุณค่าทางโภชนาการ วิตามิน และสารที่ระเหยในองุ่นไว้ได้ถึงร้อยละ 95 (Kutovoye *et al.*, 2005) นอกจากนี้ การอบแห้งด้วยลมร้อน ระบบสุญญากาศ และแบบแช่เยือกแข็ง ของใบ ราก และลำต้นของบัวบกต่อปริมาณสาระสำคัญในบัวบก โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่าการทำแห้งมีผลต่อการลดลงของ favonoids ในใบ ราก และลำต้นของบัวบก ซึ่งพบว่าการทำแห้งระบบสุญญากาศ จะมีการสูญเสียของสารน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน คือ 87.6% และ 97% ตามลำดับ (Zainol *et al.*, 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการศึกษาการอบแห้งสมุนไพรด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ พบว่า การอบแห้งสมุนไพรที่ความดัน 5 KPa และอุณหภูมิ 55 °ซ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด โดยความดันต่ำลงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลง ข่าที่อบแห้งที่ความดัน 15 KPa อุณหภูมิ 55 °ซ และใบมะกรูดที่อบแห้งที่ความดัน 5 KPa อุณหภูมิ 45 °ซ มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (พีระพงษ์ และนัฏฐกันยา, 2550) และศึกษาการอบแห้งน้ำลิ้นจี่ผงด้วยโดยใช้อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 45-50 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ความดัน 900-50 มิลลิบาร์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่ากิจกรรมของน้ำ 0.212 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า กรดอินทรีย์ (กรดมาลิก กรดซัคซินิค และกรดซิตริค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกรดแอสคอร์บิกและกรดอะมิโนไลซีนลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (พันธ์ลพ , 2552) นอกจากนี้ศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งที่มีต่อโฟมน้ำส้มหลังการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรด โดยผันแปรอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 40 หรือ 60 °ซ ผันแปรความดัน 3 ระดับ คือ 0.1, 0.5 หรือ 1.0 บาร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 60 °ซ และความดัน 0.1 บาร์ เป็นสภาวะทำแห้งซึ่งทำให้ได้น้ำส้มผงที่มีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.411 มีค่าสี L* และค่าสี *b** เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง (พัตสลา , 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved