บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 บัวบกและสรรพคุณ

บัวบก หรือ ผักหนอก ชื่อวิทยาศาสตร์ *Centella asiatica* ชื่ออังกฤษ Pennywort เป็นพืชเลื้อยคลานไปตามพื้นดิน มีรากงอกตามข้อของลำต้น ใบคล้ายรูปไต ปลายใบกลม ก้านใบยาว ใบมีกลิ่นหอม เป็นพืชเมืองร้อน ชอบที่ชื้นแฉะ (รูปที่ 2.1) บัวบกใช้บริโภคสดๆ เป็นอาหารโดยทานกับหมี่กรอบ ก๋วยเตี๋ยว ผัดไทย ฯลฯ น้ำคั้นจากใบใช้ทำเครื่องดื่ม บัวบกมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังตารางที่ 2.1 และมีสรรพคุณทางยา ได้แก่ แก้ร้อนในกระหายน้ำ ช่วยบำรุงสมอง เนื่องจากบัวบกมีปริมาณวิตามินบี1 ซึ่งเป็นอาหารสมอง และมีปริมาณสูงกว่าผักหลายๆ ชนิด บัวบกช่วยบำรุงหัวใจ ลดความดันโลหิตสูง สร้างกล้ามเนื้อให้แข็งแรง บำรุงผิวพรรณ รักษาแผลสด แผลอักเสบ มีหนอง ดับพิษไข้ แก้ปวดท้อง รักษาอาการเป็นบิด ดีซ่าน แก้อาเจียนเป็นเลือด รักษาอาการตาแดง แก้เจ็บคอ ช่วยขับปัสสาวะ รักษากามโรค โรคเรื้อน แก้อาการอ่อนเพลีย และป้องกันมะเร็งได้

รูปที่ 2.1 ลักษณะใบและก้านของบัวบก

นอกจากนี้สารสกัดจากบัวบกยังมีสรรพคุณบรรเทาแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวก แผลฝีหนอก หรือแผลสด เนื่องจากมีสารกลุ่ม triterpenes ได้แก่ สารที่มีชื่อ asiaticoside, madecassic acid (รูปที่ 2.2) ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และสาร triterpenoids ก็ยังมีฤทธิ์กล่อมประสาท และบางตัวมีฤทธิ์กดประสาทอย่างอ่อนทำให้ช่วยแก้ปวดได้อีกด้วย ในด้านเครื่องสำอางนั้นมักใช้บัวบกมาเป็นสารสำคัญเพื่อช่วยลดอาการนูนและแดงของแผลที่แข็งเป็นไต ช่วยให้แผลที่แข็งนุ่มลง ช่วยในการลดริ้วรอยเนื่องจากสารถกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนของผิว อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้รักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โรคที่เกิดจากการเสื่อมประสิทธิภาพของหลอดเลือดดำ (venous insufficiency) และหน้าท้องลาย (striae gravidarum) นอกจากนั้นยังพบว่าบัวบกมีประสิทธิภาพในการสมานแผล (wound healing) ปัจจุบันมีข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองและในหลอดทดลองสนับสนุนว่าบัวบกมีฤทธิ์ในการสมานแผล กระตุ้นการสร้างไขมันและโปรตีนที่จำเป็นต่อผิวหนัง ป้องการเกิดแผลเปื่อย (ulcer-protective) ฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัส กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (immunomodulatory effect) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) มีฤทธิ์ต่อจิตประสาท (psychoneuropharmacological effect) ปกป้องเซลล์ประสาท (neuroprotective effect) และเพิ่มการเรียนรู้และความเข้าใจอีกด้วย (จุรีรัตน์, 2549)

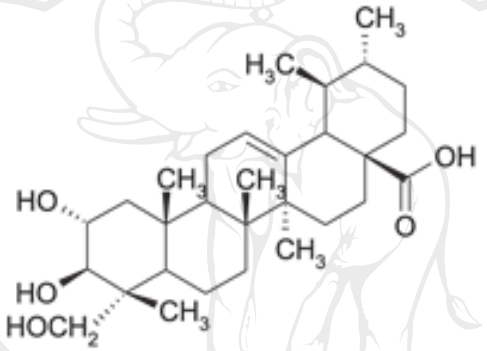
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของบัวบกในสัดส่วน 100 กรัม (สมพร, 2542)

คุณค่าทางโภชนาการ	**ปริมาณ**	
พลังงาน	44.00	แคลอรี่
ความชื้น	86.00	กรัม
โปรตีน	1.80	กรัม
ไขมัน	0.90	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.10	กรัม
เส้นใยอาหาร	2.60	กรัม
แคลเซียม	146.00	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	30.00	มิลลิกรัม
เหล็ก	3.90	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	10,962.00	หน่วย
วิตามินบี1 (ธัยอะมีน)	0.24	มิลลิกรัม
วิตามินบี2 (ไรโบฟลาวิน)	0.09	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	0.80	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	4.00	มิลลิกรัม
เบต้า-แคโรทีน	238.23	RE (ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล)

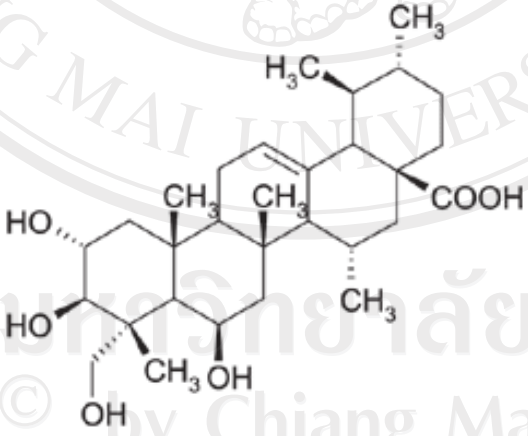
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเทศมาเลย์และมาดากาสการ์ใช้บัวบกในการรักษาโรคเรื้อน จีนใช้ใบรักษาโรคระดูขาว และโรคไข้เป็นพิษ (toxic fever) มาเลเซียกินเพื่อช่วยในเรื่องความจำและสภาพจิตใจที่อ่อนล้า หรือกังวลและโรคผิวหนังอักเสบ

Cheng and Koo *et al.* (2000) ได้ศึกษาสารสกัดจากบัวบก พบว่าสามารถยับยั้งแผลในกระเพาะอาหารของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสารในบัวบกช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเยื่อบุในกระเพาะอาหาร ลดการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากอนุมูลอิสระนั้นเอง ในศตวรรษที่ 19 บริษัทร่วมทางด้านเภสัชตำรับของอินเดีย ได้แสดงให้เห็นถึงสรรพคุณในการช่วยรักษาโรคผิวหนังของบัวบก เช่น รักษาโรคแผลผุพองและโรคเรื้อนที่ขาของผู้ป่วย โดยเป็นมาจากบัวบกช่วยเพิ่มปริมาณสาร collagen ให้กับผิวหนัง และเพิ่มแรงต้านการยืดหด (tensile strength) ของบาดแผลได้



a)



b)

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ a) asiatic acid และ b) madecassic acid

ถึงแม้ว่ามันจะมีข้อดีมากมายดังกล่าว แต่ก็ยังไม่มีใครอธิบายถึงกลไกการทำงานได้อย่างชัดเจน หรืออาจจะเป็นผลมาจาก antioxidative ในธรรมชาติ

Chang *et al.* (1977) ได้ทำการทดลองและพบว่า ethanol เป็น solvent ที่สามารถสกัดสาร antioxidative compound ได้มากที่สุดเพราะ ethanol มีสภาพความเป็นขั้วที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับ antioxidative compound ในบัวบก และแม้ว่า ethanol จะสกัดได้ดีที่สุด แต่น้ำก็สามารถสกัดได้สาร antioxidant ได้มากเช่นกัน หมายความว่าคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของบัวบกสามารถละลายน้ำได้

Hamid *et al*. (2002) รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (30-50°C) จะทำให้ antioxidative activities มีค่าลดลง ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า สาร antioxidant จะสามารถสกัดได้มากที่ pH เท่ากับ 7

ด้วยสรรพคุณที่มากมายของบัวบกนี้เอง ทำให้มีการนำบัวบกมาแปรรูปเพื่ออุปโภคบริโภคทั้งในรูปของยาสมุนไพร เครื่องสำอาง และ อาหาร ซึ่งโดยเฉพาะนำมาผลิตเป็นน้ำใบบัวบกพร้อมดื่ม และแบบชนิดผง ประเทศไทยเราเองก็ได้สนับสนุนผลิตภัณฑ์จากบัวบกเป็นอย่างดี โดยได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (OTOP) ว่าด้วยเรื่องใบบัวบกผงชงดื่ม มผช.167/2546 และ น้ำใบบัวบก มผช.163/2546 อีกทั้งปัจจุบันมีการบริโภคน้ำสมุนไพรอย่างแพร่หลาย รวมถึงค่านิยมของการบริโภคเครื่องดื่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงไป ผู้ผลิตเครื่องดื่มหันมาผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (healthy refreshment) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมดังกล่าว โดยนำสมุนไพรตลอดจนผลิตผลต่างๆ ของพืชผักมาทำเป็นเครื่องดื่มรูปแบบต่างๆ คาดว่าตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (ไม่รวมผลิตภัณฑ์นม) เช่น น้ำขิง น้ำใบบัวบก น้ำว่านหางจระเข้ เป็นต้น จะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในอนาคต

2.2 การแปรรูปน้ำผักผลไม้

ผักและผลไม้หลายชนิดนิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำผักและน้ำผลไม้ หลายแบบ เช่น น้ำผัก น้ำผลไม้แท้ แบบใสและแบบพิวเร (puree) น้ำผักน้ำผลไม้เข้มข้น น้ำผักน้ำผลไม้แห้ง (dehydrated fruit juice) และน้ำผักน้ำผลไม้ชนิดพร้อมดื่ม ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผักน้ำผลไม้แท้ที่อาจมีการปรุงแต่งด้วย น้ำ น้ำตาล เกลือ กรด สารเพิ่มความหนืด สี และ กลิ่นสังเคราะห์ ในกรณีที่เจือจางด้วยน้ำจะต้องมีน้ำผัก-น้ำผลไม้แท้เป็นส่วนประกอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214, 2543)

แต่ข้อควรระวังในระหว่างการสกัดน้ำผักและน้ำผลไม้ จะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ อย่างเหมาะสม มิเช่นนั้นอาจทำให้ความขุ่นใส เนื้อสัมผัส ตลอดจนรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่ต้องการเป็นอย่างมาก เนื่องจากในผักและผลไม้ จะมีเอนไซม์ในกลุ่มเพกทิเนส เช่น pectinesterase (demethylating enzyme), polygalacturonase (depolymerization enzyme) อยู่ด้วย ซึ่งเมื่อทำกิจกรรม จะทำให้สารประกอบเพกทินที่มีในผักผลไม้นั้น มีขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

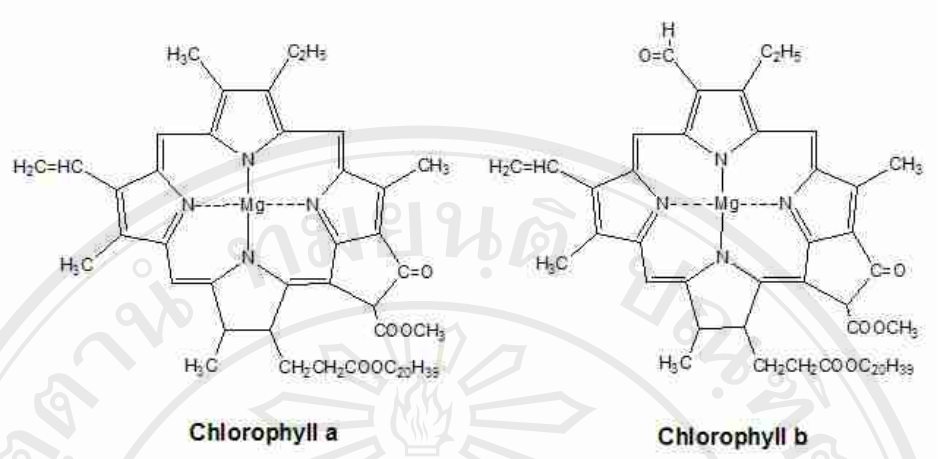
โมเลกุลเล็กลง ละลายน้ำได้ง่ายยิ่งขึ้นและสามารถรวมตัวเป็นเจลได้เมื่อมีน้ำตาลและกรดอยู่ด้วย ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความข้นสูง และไม่ต้องการเปลี่ยนสภาพเป็นเจล หรือเป็นเมือก นั้นจำเป็นจะต้องยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทิเนสอย่างรวดเร็ว วิธีการที่นิยมใช้หยุดการทำงานของเพกทิเนส คือการใช้ความร้อนซึ่งทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของผักผลไม้ทั้งหมดขึ้นจนสามารถทำลายกิจกรรมของเอนไซม์เพกทิเนส ก่อนที่จะไปสกัดน้ำ (hot break) หรือการนำเนื้อ-น้ำของผักผลไม้ที่ได้ไปสัมผัสความเย็นทันทีหลังจากสกัด (cold break)

ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้ใสนั้น อาจจำเป็นต้องกำจัดอนุภาคแขวนลอย หรืออนุภาคที่ไม่ละลายน้ำออกให้มากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกรอง ใช้ระบบความเย็น ใช้เอนไซม์ ใช้สารช่วยตกตะกอน ปั่นเหวี่ยงและการกลั่น เป็นต้น

นอกจากนี้ในระหว่างการแปรรูปรงควัตถุก็เปลี่ยนแปลง เช่นกัน โดยสารสีที่มีสีเขียว ที่พบมากในส่วนใบและก้านของผักและเปลือกผลไม้ดิบ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ แอลกอฮอล์และอาจละลายได้บ้างในน้ำ เมื่อกลุ่มไฟทอล (phytol) หรือกลุ่มไฟทิล (phytyll) ถูกแยกออกจากโครงสร้าง คลอโรฟิลล์ที่พบในผักตามธรรมชาติมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) และ คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) ซึ่งคลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดจะมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกันคือ ประกอบไปด้วย pyrrole ring 4 ชุด (tetrapyrrole) ที่ถูกยึดรวมกันด้วยอะตอมแมกนีเซียมที่อยู่ตรงกลางของโมเลกุล (รูปที่ 2.3)

ในระหว่างการแปรรูปและถนอมรักษานั้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า pH อุณหภูมิ กิจกรรมของเอ็นไซม์ และการปนเปื้อนของอนุมูลโลหะบางชนิดนั้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเขียวของผักหรือผลไม้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง จะมีผลต่อสีของคลอโรฟิลล์เป็นอย่างมากกล่าวคือ ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน แมกนีเซียมที่อยู่กลางโครงสร้างของคลอโรฟิลล์จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน ทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอฟัยติน (pheophytin) หรือคลอโรฟิลล์ไร้แมกนีเซียม (magnesium free chlorophyll) ที่มีสีเขียวปนดำ หรือ สีเขียวปนน้ำตาล ในสภาวะที่เป็นกรดแก่ อนุมูลไฮโดรเจนจากกรดสามารถเข้าแทนที่ทั้งแมกนีเซียมและกลุ่มไฟทอลที่มีอยู่ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ทำให้คลอโรฟิลล์นั้นเปลี่ยนไปเป็นฟีโอฟอร์บายด์ (pheophorbide) ซึ่งมีสีเขียวดำ สำหรับในสภาะที่เป็นด่าง กลุ่มไฟทอลในโครงสร้างคลอโรฟิลล์จะถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดคลอโรฟิลลิน (chlorophyllin) ที่มีสีเขียวสดใส สามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อหุงต้มผักหรือผลไม้ที่มีสีเขียวในระยะเริ่มแรกผักหรือผลไม้นั้นจะมีสีเขียวที่สดใสขึ้น เนื่องจากแก๊สที่มีอยู่ภายในเนื้อเยื่อถูกกำจัดออกไปและน้ำที่ใช้หุงต้มเข้าไปแทนที่ แต่ถ้าต้มผักนั้นต่อไปเป็นเวลานานๆ สีเขียวของผักจะคล้ำลงตามลำดับ จนกระทั่งเป็นสีเขียวคล้ำในที่สุด ทั้งนี่เนื่องจากความร้อนสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติของพลาสติด ทำให้กรดอินทรีย์ที่มีใน Cell sap ของแวคิวโอ ผ่านเข้าไปในคลอโรพลาสต์เข้าสัมผัสกับคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายใน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอฟัยตินในที่สุด นอกจากนี้แล้วในเซลล์ของผักและผลไม้จะมีกรดที่ระเหยง่าย (volatile acid) อยู่ด้วย เช่น กรดแอซีติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ค่า pH ของน้ำที่ใช้หุงต้มลดต่ำลง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้การเกิดฟีโอไฟตินรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้น ในการหุงต้มผักจึงมีการแนะนำให้เปิดฝาภาชนะที่ใช้ เพื่อให้กรดที่ระเหยได้นั้นระเหยออกไปบ้าง ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ลดลง นอกจากนี้การหุงต้มผักและผลไม้ด้วยอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานนั้นพบว่า คลอโรฟิลล์จะถูกทำลายได้มาก การถูกทำลายโดยความร้อนของคลอโรฟิลล์นี้จะสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสภาพความเป็นกรดของน้ำที่ใช้หุงต้ม กล่าวคือ คลอโรฟิลล์จะถูกทำลายอย่างรวดเร็วเมื่อถูกต้มในน้ำที่มีสภาพเป็นกรด

แต่อย่างไรก็ตามการเติมด่างลงในน้ำต้มผักเพื่อมุ่งผลในการคงสีของคลอโรฟิลล์นั้นไม่ควรกระทำ เพราะถ้าด่างมีอนุมูลโซเดียมหรือโพแทสเซียมอยู่จะไปสลายเซลลูโลส ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ อีกทั้งยังทำลายวิตามินบีหนึ่ง และวิตามินซี ที่มีอยู่ในผักและผลไม้ได้ด้วยเหตุต่างๆ เหล่านี้การหุงต้มผักและผลไม้จึงควรใช้ระยะเวลาที่สั้นที่สุดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophylase activety) ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ตามธรรมชาติจะมีเอนไซม์คลอโรฟิลเลสอยู่ด้วย การทำกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้จะทำให้กลุ่มไฟทอลถูกแยกออกจากโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลลายด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(chlorophyllide) และถ้ามีการสูญเสียอะตอมของแมกนีเซียมติดตามมาแล้ว คลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอฟอร์ไบด์ได้ในที่สุด การเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์ในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและในระหว่างการหมักดองนั้น นิยมอธิบายด้วยกิจกรรมของคลอโรฟิลเลส เป็นสำคัญ

การปนเปื้อนของอนุมูลโลหะ คลอโรฟิลล์สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลของโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และได้สารประกอบที่มีสีเขียวสดใส ทั้งนี้เพราะอนุมูลของโลหะเหล่านี้สามารถเข้าแทนที่อนุมูลโฮโดรเจนในโมเลกุลของฟีโอฟัยตินได้ ดังนั้นในการแปรรูปผักและผลไม้ที่มีคลอโรฟิลล์สูงนั้น จึงอาจเติมเกลือของโลหะเหล่านี้เพื่อช่วยในการคงสีของผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันอาหารแปรรูปต่ำ (minimally processed food, pre-cut, lightly processed, fresh-cut) จำพวกผลิตภัณฑ์จากผักผลไม้กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพราะผักและผลไม้แปรรูปต่ำเป็นอาหารในกลุ่มของอาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้ลดน้ำหนัก และมีความคล้ายคลึงกับอาหารสดมาก ในเรื่องคุณค่าทางอาหารจะมีความใกล้เคียงกันกับของสดหรือมากกว่าด้วยซ้ำเพราะอาหารแปรรูปต่ำมีการควบคุมคุณภาพตั้งแต่จากสวนจนถึงจัดจำหน่าย ทำให้คุณค่าทางโภชนาการหายไปน้อยมากต่างจากผักผลไม้สดที่ไม่ได้มีการควบคุมคุณภาพทำให้คุณค่าทางโภชนาการหายไป ผักและผลไม้แปรรูปต่ำสามารถที่จะรับประทานได้โดยไม่ต้องเตรียมให้ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียก็คือเป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายมาก ถือได้ว่าเป็นอาหาร highly perishable food ซึ่งจำเป็นต้องมีการบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น

และด้วยเหตุผลที่ผู้บริโภคต้องการบริโภคอาหารที่ผ่านกระบวนการน้อยๆ (minimum processed foods) แต่ว่าต้องปลอดภัยนี้เอง ผู้ผลิตอาหารจึงได้พยายามคิดค้นพัฒนาเทคนิควิธีการแปรรูปอาหารแบบใหม่ เพื่อถนอมอาหารให้มีคุณภาพดีคล้ายอาหารสด แต่สามารถเก็บรักษาได้นานส่งผลดีต่อสุขภาพ และปลอดภัยเมื่อบริโภค เทคนิควิธีการต่างๆ ได้แก่ food radiation, Microwave processing, electrical resistance heating of foods, high-voltage pulse techniques, and Hydrostatic pressure treatment (Gould, 1995)

โดยเทคนิคความดันสูงยิ่งนี้เป็นเทคนิคที่น่าสนใจ และเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารของญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และสเปน (Houska *et al*., 2005) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความดันสูงยิ่งระดับอุตสาหกรรม เช่น golden oysters โดยมีวัตถุประสงค์ใช้ความดันสูงยิ่งเพื่อยับยั้งเชื้อ *Vibrio cholera* ในหอยแมลงภู่ ทำให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเปิดกินง่าย (easy open) นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น น้ำส้ม, ซอสอาโวคาโด, แฮมพร้อมน้ำสตูบรรจุเสร็จ (strewed packed ham) ข้าวสวย (cooked rice), ข้าวผสมธัญพืช cooked rice mixtures) และ เนื้อไก่ปรุงสำเร็จ (marinated chicken meat) ฯลฯ โดยอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกิน 21 วัน นอกจากนี้ยังได้มีการนำระบบมาตรฐาน HACCP มาใช้ในการควบคุมผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความดันสูงยิ่งอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบอาหารแปรรูปต่ำกับอาหารชนิดอื่น

กระบวนการแปรรูปอาหาร	อาหารสดยังไม่ผ่านการแปรรูป	อาหารแปรรูปต่ำ	อาหารแช่เย็น	อาหารฉายรังสี	อาหารทำแห้ง	อาหารที่ให้ความร้อน
คุณภาพของอาหาร	สด	เหมือนสด	มีการเปลี่ยนแปลงความสดเล็กน้อย	มีการเปลี่ยนแปลงความสดเล็กน้อย	มีการเปลี่ยนแปลงมาก	มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด
กระบวนการแปรรูปและถนอมอาหาร	ไม่มีการแปรรูปและถนอมอาหาร	ได้รับการแปรรูปที่เบื้องต้น	ได้รับการแปรรูปและถนอมอาหารโดยใช้ความเย็นหรือแช่แข็ง	ได้รับการแปรรูปโดยการใช้รังสีและถนอมอาหารโดยวิธีพาสเจอร์ไรซ์	แปรรูปโดยการดึงน้ำออก	แปรรูปโดยการให้ความร้อน
การเก็บรักษา	อาจเก็บในตู้เย็นหรือไม่เก็บก็ได้	ต้องเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น	ได้รับการแช่เย็นหรือเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น	ได้รับการแช่เย็นหรือเก็บที่อุณหภูมิห้อง	เสถียรที่อุณหภูมิห้อง	เสถียรที่อุณหภูมิห้อง
การบรรจุ	อาจบรรจุหรือไม่บรรจุก็ได้	ต้องมีการบรรจุ	ต้องมีการบรรจุ	ต้องมีการบรรจุ	ต้องมีการบรรจุ	การบรรจุโดยมีการปิดแนบ (sealed)

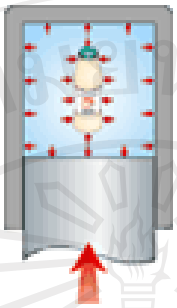
การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงยิ่งเป็นเทคนิคที่รับประกันถึงคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส วิตามิน ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะทางประสาทสัมผัสรวมถึงสารประกอบต่างๆ ที่มีประโยชน์เทียบเท่า/ใกล้เคียงกับวัตถุดิบสด (Cheftel, 1992)

2.3 เทคนิคความดันสูงยิ่ง

เทคนิคความดันสูงยิ่ง อาศัยหลักการอัดของเหลวให้มีปริมาตรเล็กลง โดยความดันสูงยิ่งจะส่งผ่านเข้าผลิตภัณฑ์เท่าๆ กัน ทุกๆ ส่วน ในเวลาเดียวกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ไม่ขึ้นกับขนาด รูปร่าง และส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (อรุณี, 2547) ดังรูปที่ 2.4 หลักการของ Le Chatelier กล่าวว่า เมื่อระบบอยู่ในสมดุลถ้าทำให้สภาวะของระบบเปลี่ยนไป (เช่นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเปลี่ยนเฟส หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล) ร่วมกับการลดปริมาตรลงจะทำให้ความดันสูงยิ่งเพิ่มขึ้น (Leadley and Williams, 1997) กระบวนการความดันสูงยิ่งทำให้อาหารมีปริมาตรลดลง อย่างไรก็ตาม การส่งผ่านความดันสูงยิ่งอย่างรวดเร็วจะไม่สามารถทำได้ถ้ามีฟองอากาศเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ การเพิ่มความดันจะเป็นการทำให้ระดับการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จัดเรียงตัวของสารเพิ่มขึ้น (Heremans, 1992) นอกจากนี้การใช้ที่ความดันสูงยิ่ง 500 MPa มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ความร้อนถึง 100°C



รูปที่ 2.4 แรงดันของตัวกลางที่กระทำต่ออาหารภายใต้ความดันสูงยิ่ง

ปัจจุบันมีการพัฒนาการใช้เทคนิคนี้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเภสัชกรรม และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น (Houska *et al*., 2005) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร ความดันสูงยิ่งเป็นเทคนิคที่ไม่เพียงแต่ใช้แปรรูปอาหารโดยไม่ผ่านความร้อนเท่านั้น ยังใช้ในการ thawing หรือใช้ในขั้นตอนการแปรรูปอาหารก่อนการแช่เยือกแข็งสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนและความเย็นอีกด้วย

การใช้กระบวนการความดันสูงยิ่งในการผลิตอาหาร อาหารจะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่มีความยืดหยุ่น เช่น ถุงหรือขวดที่มีความทนทานต่อความดันสูงยิ่ง แล้วนำไปใส่ในช่องของเครื่องความดันสูงยิ่ง ที่มีของเหลวซึ่งใช้เป็นตัวส่งผ่านความดันสูงยิ่งบรรจุอยู่ ของเหลวที่ใช้เป็นตัวส่งผ่านความดันสูงยิ่งจะอยู่ในช่องที่ใช้เครื่องสูบ (pump) เป็นตัวอัดความดันสูงยิ่งแล้วความดันสูงยิ่งจะถูกส่งผ่านไปยังอาหารอย่างสม่ำเสมอเท่าๆ กันในทุกๆ ทิศทาง ฉะนั้น ขนาดและรูปร่างอาหารจึงไม่มีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีนี้ ทำให้อาหารยังคงรูปร่างเดิมของมันไว้ได้ และเนื่องจากไม่มีการใช้ความร้อนจึงทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารยังคงอยู่และมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่งในปัจจุบัน ถือว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่ใช้ความร้อนในกระบวนการเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น Guacamole ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกา และแฮมในยุโรป โรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะใช้ความดันน้อยกว่า 600 MPa ที่อุณหภูมิห้องเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (food spoilage) และเอนไซม์เพื่อคงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัส แต่ว่าเนื่องจากสปอร์ของแบคทีเรียบางชนิด และเอนไซม์บางชนิดมีความต้านทานต่อความดันสูงยิ่ง จึงต้องมีการใช้ความร้อนและเวลาร่วมด้วย และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึงแม้ว่าความดันสูงยิ่งจะมีข้อดีมากมายในเรื่องคุณภาพที่ดีต่อการบริโภค แต่ต้นทุนก็สูงตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากต้องสร้างเครื่องมือที่ทนต่อความดันที่สูงยิ่งนี้

2.4 การใช้ความดันสูงยิ่งในการถนอมอาหาร

การถนอมอาหารด้วยเทคโนโลยีความดันสูงยิ่ง ได้รับการพัฒนาขึ้นและอาจเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูป เนื่องจากมีข้อดีที่สำคัญหลายประการ อาทิ

1. ยับยั้งปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และเอนไซม์
2. รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ใกล้เคียงกับของสด เช่น สี รสชาติ กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส
3. ไม่มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร
4. ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์
5. ไม่จำเป็นต้องใส่สารกันเสีย จึงหลีกเลี่ยงกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้
6. แรงดันที่ส่งผ่านไปยังอาหารเป็นไปอย่างสม่ำเสมออาหารจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
7. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์
8. เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ก่อให้เกิดของเสีย
9. ลดเวลาในกระบวนการผลิต เนื่องจากไม่มีขั้นตอนหรือช่วงเวลาให้ความร้อนและทำให้เย็น
10. ลดการถูกทำลายเนื่องจากความร้อน

ซึ่งข้อดีดังกล่าวนี้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด เพื่อที่จะรักษาคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากความดันสูงยิ่งยิ่งทำให้โมเลกุลใหญ่และเซลล์เสียสภาพธรรมชาติและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแต่ไม่มีผลต่อโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน วิตามิน กลิ่นรส และสารสี (อรุณี, 2547)

2.4.1 ผลของความดันสูงยิ่งต่อคุณค่าทางโภชนาการ

การใช้ความดันสูงยิ่งจะส่งผลต่อการสลายพันธะเคมีบางประเภท แต่โดยทั่วไปจะไม่ส่งผลต่อพันธะโควาเลนท์ จึงไม่ทำให้เกิดการเสื่อมลงของวิตามินที่จำเป็น องค์ประกอบทางเคมีของพืชและส่วนประกอบของกลิ่น เป็นต้น โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพอย่างย้อนกลับได้หรือไม่ได้ขึ้นกับธรรมชาติของโปรตีนนั้นรวมทั้งค่าความดันสูงยิ่งที่ได้รับ ทั้งนี้เนื่องจากพันธะนอนโควาเลนท์ (พันธะไฮโดรเจน พันธะอิออนิกและพันธะไฮโดรโฟบิก) จะถูกทำลายลงหรือมีการสร้างพันธะขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการที่ระบบมีปริมาตรลดลง ส่วนพันธะโควาเลนท์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะดังกล่าว โครงสร้างของสารประกอบขนาดใหญ่ เช่น กรดนิวคลีอิก แป้งโพลิแซคคาไรด์ และไขมัน ซึ่งมีพันธะนอนโควาเลนท์เป็นองค์ประกอบจะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่ความดันสูงยิ่ง เช่น เกิดการเสียสภาพ ตกตะกอน เกิดเจล ในขณะที่สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งไม่มีพันธะโควาเลนท์ เช่น วิตามิน กลิ่นรส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ

2.4.2 ผลของความดันสูงยิ่งต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส

เนื่องจากเทคนิคความดันสูงยิ่งเป็นเทคนิคที่ใช้อุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยความดันสูงยิ่งในการถนอมอาหาร อีกทั้งยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ ด้วยเหตุนี้เองผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการจึงยังคงความสดใหม่ ทำให้ลักษณะสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งได้แก่ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส รวมถึงความชอบ การยอมรับจากผู้บริโภค ทั้งนี้ทั้งนั้น หลังจากผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่งแล้ว ต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น (4°C) เพื่อคงคุณค่าที่ดีในทุกๆ ด้านของผลิตภัณฑ์

2.4.3 ผลของความดันสูงยิ่งต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงยิ่งที่มีต่อจุลินทรีย์โดยไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการซึมผ่านเข้าออกของสาร เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันสูงยิ่งและการลดลงของอุณหภูมิจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยประสิทธิภาพการต้านทานต่อความดันสูงยิ่งที่แตกต่างของคาร์โบไฮเดรตภายในเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้ความดันสูงยิ่งยังมีผลต่อ DNA และ RNA โดยเมื่อเพิ่มความดันสูงยิ่งมีผลทำให้ DNA และ RNA เกิดการแยกตัว อีกทั้งการใช้ความร้อนร่วมกับความดันสูงยิ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในหารทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วย

โดยทั่วไปแบคทีเรียแกรมบวกมักจะต่อต้าน ความร้อน และ ความดันสูงยิ่ง ได้มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มีความแตกต่างกัน และจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในช่วง exponential phase มีความต้านทานต่อความดันสูงยิ่งน้อยกว่าจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในช่วง stationary phase มากไปกว่านั้นยังพบว่าความดันสูงยิ่งระหว่าง 200-300 MPa สามารถทำลายยีสต์และรา และทำลายได้ง่ายที่ความดันสูงยิ่งประมาณ 400 MPa (Heremans, 1995) ถึงแม้ว่าความดันสูงยิ่งสามารถยืดอายุการรับประทานได้ก็จริง แต่ก็ยังต้องการการแช่เย็น เนื่องจากความดันสูงยิ่งไม่ทำให้สปอร์หยุดทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 การประยุกต์ใช้ความดันสูงยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์	ความดันสูงยิ่ง (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพของความดันสูงยิ่งต่อผลิตภัณฑ์	ที่มา
น้ำ Agelica Keiskei	558	-	7	- คงลักษณะทางประสาทสัมผัส - ลดเชื้อ *Pseudomonas* spp., *E. coli* และโคลิฟอร์ม	Dong *et al.* (1996)
น้ำแอบเปิ้ลผสมบร็อคโคลี่	500	-	10	- คงวิตามินซี - คงคุณค่าทางโภชนาการ - ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา *E.coli*, โคลิฟอร์ม และ *Salmonella* spp.	Houska *et al.* (2005)
น้ำฝรั่งเข้มข้น	600	88-90	0.4	- ลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ - ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์	Gow *et al.* (1996)
น้ำส้มแมนดาริน	600	23	10	- ลดกิจกรรม peroxidase	Seyderhelm *et al*. (1996)
น้ำส้ม	200	5	25	- ยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและอาหารเน่าเสีย	Tahiri *et al.* (2006)
น้ำส้ม	500	-	<2	- ลดเชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่นและลดจำนวนเซลล์ของ *S.cerevisiase*	Parish and Olsson (1994)
น้ำส้ม	600	20	1	- คงปริมาณกรดแอสคอร์บิค - คงปริมาณเบต้า-แคโรทีน - ไม่พบจุลินทรีย์	Bull *et al.* (2004)
น้ำฝรั่งเข้มข้น	600	25	15	- คงลักษณะของสี	Yen and Lin (1996)
น้ำอโวคาโดเข้มข้น	345-689	-	10-30	- คงลักษณะของสี	Lopez-Malo *et al.* (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 การประยุกต์ใช้ความดันสูงยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหาร (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพของความดันสูงยิ่งต่อผลิตภัณฑ์	อ้างอิง
น้ำผักผลไม้สด	500	-	10	- ยับยั้งจุลินทรีย์และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ *Salmonella* spp.	Houska *et al.* (2005)
น้ำผักผลไม้ เช่น บีท แครอท กะหล่ำดอก ผักขม มะเขือเทศ กะหล่ำปลี ผลไม้จำพวกส้ม และสตอเบอรี่	400 และ 600	30	10	- คงคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค	Tewari *et al.* (1999)
แครอท มะเขือเทศ และบร็อคโคลี	>600	-	-	- คงคุณค่าของวิตามินซี - คงสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant)	Butz *et al.* (2003)
แยมสตอเบอรี่	294	-	20	- คงคุณค่าด้านรสชาติ - คงปริมาณวิตามินซี - กำจัด *S. cerevisiae, Z .rouxii, Staphylococcus* spp., *Salmonella* spp. และโคลิฟอร์ม	Horie *et al.* (1991)
ส้มวาเลนเซีย	500-700	-	-	- คงคุณค่าด้านรสชาติ	Parish (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันมีผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่งมากมาย เช่น บริษัท Flow International corporation ในสหรัฐอเมริกา มีเครื่องมือที่ใช้ได้กับหอยนางรม เนื้อ และน้ำแอปเปิ้ล บริษัท Guacamole อาจจะประสบผลสำเร็จสูงสุด ในการสร้างกระบวนการแปรรูปที่ใช้สภาวะไฮโดรสแตติกสูง เพราะอะโวกาโดรมีสีคล้ำอย่างรวดเร็วเมื่อถูกอากาศหรือความร้อน มีการแปรรูปในประเทศเม็กซิโกและส่งจำหน่ายในสภาพแช่เย็น Salsa ก็เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการคาดหวังสูง เพราะ Salsa “สด” เป็นที่นิยมอย่างมากเมื่อเทียบกับ Salsa ที่บรรจุร้อนและมีอายุการรับประทานยาวนานจากกระบวนการแปรรูปอย่างสูง ประเทศญี่ปุ่น และประเทศแถบยุโรป

ผลิตภัณฑ์น้ำผักและผลไม้รายใหญ่ นอกจากนี้ บริษัท Pokka ยังผลิตน้ำผลไม้จำพวกส้ม ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยวิธีความดันสูงยิ่ง ในเชิงการค้าที่ช่วงความดันสูงยิ่ง 120-400 MPa ในอัตราการผลิต 6000 ลิตร/ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงปลอดเชื้อ (aseptically packaged) ซึ่งเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง สำหรับอาหารประเภท high acid food

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved