บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ถั่วเหลืองฝักสด

ถั่วเหลืองฝักสด (Vegetable soybean) หรือ Green soybean ชื่อวิทยาศาสตร์ *Glycine max* (L.) Merrill อยู่ในตระกูล Leguminosae คนไทยเรียก "ถั่วแระ" คนญี่ปุ่นเรียก "Edamame" คนจีนเรียกว่า "Mautou" เป็นถั่วเหลืองที่นำฝักมาบริโภคในระยะก่อนถั่วจะแก่ โดยฝักจะเต่งเต็มที่ เมล็ดยังมีสีเขียว

ถั่วเหลืองฝักสดเป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไปในหมู่ประชาชนในเอเชียโดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวญี่ปุ่น เนื่องจากถั่วเหลืองฝักสดเป็นแหล่งอาหารโปรตีน วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี (Masuda cited in Shanmugasundarm1991: 92-102)

สำหรับประเทศไทยทางภาคกลาง นิยมบริโภคกันมานานแล้ว โดยไม่พิถีพิถันเกี่ยวกับขนาด สีสัน และรสชาติมากนัก แต่ในช่วง 7 – 8 ปีที่ผ่านมา ถั่วเหลืองฝักสดได้เริ่มเข้ามามีบทบาทอย่างมากในแง่ของพืชอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก ทั้งนี้เนื่องจากประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญที่สุด คือ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งสั่งเข้าในรูปของถั่วเหลืองฝักสดแช่เยือกแข็ง ดังนั้นถั่วเหลืองฝักสดเพื่อการส่งออก หรือเพื่ออุตสาหกรรมต้องมีขนาดฝักใหญ่ เมล็ดโต ขนสีขาว เมล็ดนุ่ม รสชาติหวานมัน ฝักสีเขียวสดหลังจากต้มแล้ว ดังนั้นการตัดหรือเก็บเกี่ยวต้องเป็นระยะที่ฝักเต่งเต็มที่ (เอนก โชติญาณวงษ์ และ พิมพร โชติญาณวงษ์, 2535) ซึ่งพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดที่ใช้ปลูกเพื่อการส่งออกล้วนแต่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น โดยนำมาปรับปรุงพันธุ์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย และได้ผลผลิตออกมาดังที่ต้องการ และพันธุ์ที่แนะนำให้เกษตรกรปลูกในขณะนี้มีอยู่ 2 – 3 พันธุ์ คือ TVB1 (Thai vegetable soybean1) พันธุ์ กพส. 292 (กำแพงแสน 292) และพันธุ์ ซูรุโนโกะ (Tzurunoko) เป็นต้น พันธุ์เหล่านี้มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศญี่ปุ่นและไต้หวันทั้งหมดสำหรับสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยใช้พันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์TVB1

2.1.1 **สายพันธุ์และลักษณะที่สำคัญ**

ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1 คัดเลือกมาจากพันธุ์ VESOY # 4 ซึ่งนำเข้ามาจากประเทศไต้หวัน เมื่อปี พ.ศ. 2524 ทำการปลูกศึกษาคัดเลือกตั้งแต่ปี 2524 - 2529 และนำพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ปลูกเปรียบเทียบผลผลิตตามขั้นตอนต่างๆ กับพันธุ์ถั่วเหลืองรับประทานฝักสดในท้องที่ (Vegetable soybean location trials) ร่วมกับพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดอื่นๆอีก 17 พันธุ์ ที่ได้รับจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักแห่งเอเชีย (AVRDC) ตั้งแต่ปี 2529 – 2531 คัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และมีลักษณะตามที่ต้องการได้ หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบและทดสอบพันธุ์ในไร่กสิกรตั้งแต่ปี 2531 – 2535 พบว่าพันธุ์เชียงใหม่ 1 ให้ผลผลิตต้นและฝักสดสูงกว่าพันธุ์นครสวรรค์ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วเหลืองมีขนาดฝักโตที่สุดในขณะนั้นที่ทางราชการแนะนำให้กสิกรทำการเพาะปลูก

ลักษณะประจำพันธุ์

1. สีดอกและสีโคนต้น	ม่วง
2. สีขน	ขาว
3. สีฝักสด	เขียวเข้ม
4. สีฝักแก่	น้ำตาลอ่อน
5. สีเมล็ดแห้ง	เหลือง
6. สีตาเมล็ด (hilum)	น้ำตาลอ่อน
7. ลักษณะเมล็ดเมื่อแก่	กลม
8. ลักษณะใบ (กว้าง : ยาว)	3 : 4
9. ลักษณะทรงต้น	ไม่ทอดยอด
10. อายุออกดอกหลังจากงอก	33 วัน
11. อายุเก็บเกี่ยวฝักสดหลังจากงอก	75 วัน
12. ความสูงเมื่อเก็บเกี่ยว	36 เซนติเมตร
13. จำนวนข้อ	9.6 ข้อ / ต้น
14. จำนวนกิ่ง	2.1 กิ่ง / ต้น
15. จำนวนฝักสด	2.5 ฝัก / ต้น
16. ผลผลิตต้น + ฝักสด	1,653 กก. / ไร่
17. ผลผลิตฝักสด	1,121 กก. / ไร่
18. น้ำหนัก 100 เมล็ดสด	55.9 กรัม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19. น้ำหนักฝักสด 100 ฝัก	216 กรัม
20. น้ำหนักเมล็ดสดต่อฝัก 1 กิโลกรัม	542 กรัม
21. เปอร์เซ็นต์น้ำมัน	9.56 %
22. เปอร์เซ็นต์โปรตีน	11.19 %
23. คุณภาพหลังจากต้มในน้ำเดือด 5 นาที	ฝักสีเขียวสด เมล็ดนิ่ม รสหวานเล็กน้อย

ลักษณะดีเด่น

1. ขนาดฝักใหญ่ เมล็ดโต มีเนื้อมาก และผลผลิตต้น + ฝักสด มากกว่าพันธุ์นครสรรค์ 1
2. สามารถปลูกได้ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน แต่ปลูกในฤดูฝนจะให้ผลผลิตมากกว่าฤดูแล้ง
3. รสชาติดีเป็นที่นิยมของผู้บริโภค

ข้อจำกัด

เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อโรคราน้ำค้างดังนั้นในแหล่งที่มีโรคนี้ระบาดรุนแรงควรป้องกันโรคนี้ด้วยการใช้สารเคมีคลุกเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก

ข้อแนะนำ

1. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราส่วน 1 ตัน / ไร่ จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและขนาดเมล็ดโตขึ้นด้วย
2. เหมาะสำหรับใช้บริโภคภายในประเทศเนื่องจากเปลือกฝักบาง ไม่เหมาะสมสำหรับการแช่แข็ง
3. ปลูกได้ทั่วไปทั้งเขตชลประทานและเขตเกษตรน้ำฝนที่ฝนตกสม่ำเสมอ

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ถั่วเหลืองฝักสดเป็นที่นิยมบริโภคกันมานานแล้วสำหรับชาวจีนและญี่ปุ่นเนื่องจากเป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วและผลิตภัณฑ์อาหารถั่วอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองฝักสดและถั่วชนิดอื่น ๆ ในส่วนที่บริโภคได้ 100g

Composition	Nattou	Momen tofu	Vegetable soybean	Pea	Green pea
Energy (Kcal / 100 g)	200	77	582	30	96
Water	59.5	86.8	71.1	90.3	75.7
Protein (g / 100 g)	16.5	6.8	11.4	2.9	7.3
Lipid (g / 100 g)	10.0	5.0	6.6	0.1	0.2
Nonfibrous carbohydrates(g / 100 g)	9.8	0.8	7.4	5.4	13.0
Fiber (g / 100)	2.3	0	1.9	0.8	2.9
Dietary fiber * (g / 100)			15.6		6.3
Ash (g / 100 g)	1.9	0.6	1.6	0.5	0.6
Calcium (mg / 100 g)	90	120	70	55	28
Phosphorus (mg / 100 g)	190	85	140	60	70
Iron (mg / 100 g)	3.3	1.4	1.7	0.8	1.9
Sodium (mg / 100 g)	2	3	1	1	3
Potassium (mg / 100 g)	660	85	140	60	70
Carotene (mg / 100 g)	0	0	100	620	360
Vitamin B 1 (mg / 100 g)	0.07	0.07	0.27	0.12	0.25
Vitamin B 2 (mg / 100 g)	0.56	0.03	0.14	0.10	0.12
Niacin (mg / 100 g)	1.1	0.1	1.0	0.6	1.9
Ascorbic acid (mg / 100 g)	0	0	27	34	18

ที่มา : Masuda cited in Shanmugasundarm,1991

2.1.2 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองฝักสดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดที่ได้เพื่อให้ตรงกับความต้องการของโรงงานที่รับซื้อส่งผลไปถึงรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในต่างประเทศ ดังนั้นเมื่อจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ คุณภาพของสินค้าจะได้มาตรฐานและปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้นทำให้ได้เงินตราเข้าประเทศมากขึ้น

อายุการเก็บเกี่ยว

จะต้องเก็บเกี่ยวขณะที่ฝักไม่แก่หรืออ่อนเกินไป โดยปกติจะเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 28–30 วัน หลังจากดอกบาน ฝักมีสีเขียวสดและเต่งเต็มที่ เมื่อส่องดูกับแสงแดดจะเห็นเมล็ดชนกัน อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองฝักสดแต่ละพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวไม่เท่ากัน และยังแปรปรวนตามสภาพแวดล้อมและการดูแลรักษา เช่น อุณหภูมิต่ำอากาศเย็น ถั่วเหลืองฝักสดจะแก่ล่าช้าออกไปจากปกติ การขาดน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ฝักแก่เร็วขึ้น และทำให้คุณภาพของฝักลดลง

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหาร สีของฝักจะเป็นปัจจัยที่สำคัญโดยเฉพาะฝักที่มีสีเขียว จะเป็นที่ต้องการมาก ส่วนฝักที่มีสีเหลืองบ่งบอกถึงการลดลงของความสด และปริมาณกรดแอสคอร์บิค ในการบริโภคนั้นผู้บริโภคจะดูรูปร่างสีสรรก่อนเป็นอันดับแรก ส่วนรสชาตินั้นรองลงมา รสชาติของถั่วเหลืองฝักสดมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลซูโครส (Sucrose) และกรดอะมิโน (Amino acid) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดกลูตามิค (Glutamic acid) และอะลานีน (Alanine) นอกจากนั้น กลิ่นและความนุ่มหรือแข็งของเมล็ด มีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผู้บริโภคด้วย

เมื่อฝักมีขนาดเล็กปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส (Fructose) และกลูโคส (Glucose) จะมีมาก แต่เมื่อฝักขยายใหญ่ขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งสองชนิดดังกล่าวจะลดลง และน้ำตาลซูโครส (Sucrose) จะเพิ่มมากขึ้น ส่วนกรดอะมิโนโดยเฉพาะกรดแอสปาติก (Aspartic acid) ฮีสติดิน (Histidine) และกลูตามีน (Glutamine) ในระยะเริ่มแรกจะมีปริมาณมาก และจะลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อเมล็ดโตขึ้น (Masuda, cited in Shanmugasundarm, 1991: 92 -102) Chiba, cited in Shanmugasnndranm (1991 : 108 – 112) ได้ศึกษาถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ Sapporomidori พบว่าช่วงก่อน 35 วัน หลังจากออกดอกถั่วเหลืองฝักสด จะมีปริมาณน้ำตาลต่ำและจะเพิ่มขึ้นหลังจาก 35 วันไปแล้ว

วิธีเก็บเกี่ยวดูจากสีและความเต่งของฝัก การเก็บเกี่ยวช้าทำให้ฝักหนาและเต่งขึ้น แต่คุณภาพไม่ดี เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนและสีเขียวของฝักจะลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นช่วงเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองฝักสดที่เหมาะสมมีความจำกัด เพียง 2 - 3 วัน เท่านั้น ความสัมพันธ์ของคุณภาพของถั่วกับจำนวนวันหลังออกดอก แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันหลังออกดอกกับคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสด

Days after flowering	30	40	50
Taste			
Free amino acids	Good	Normal	Bad
Sugars	Bad	Good	Good
Pod color	Good	Good	Bad
Degree of pod expansion	Bad	Normal	Good

ที่มา : Chiba cited in Shanmugasundarm, 1991

ถั่วเหลืองฝักสดหลังจากการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3 กรดอะมิโนลดลงเช่นเดียวโดยเฉพาะอย่างยิ่งอะลานีน และกรดกลูตามิคจะลดลง 2/3 และ 1/2 เท่าเมื่อฝักถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 26 $\pm$ 2 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 66% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และในขณะเดียวกันรสชาติและความหวานจะลดลงหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว 10 ชั่วโมง ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณน้ำตาลแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อปริมาณน้ำตาลของถั่วเหลืองฝักสด

Storage	After harvest				7 day
Temp (^{0} C)	8 hours	24 hours	48 hours	4 day	
0	98*	100	100	83	76
20	82	68	48	27	25
28	85	59	36	25	-

ที่มา : Chiba cited in Shanmugasundarm,1991

* Values are indicated as the percentage of total sugar content relative to the 0 time harvest (2.26 g /100 g FW)

Tsay and Sheu, cited in Shanmugasundaranm (1991 : 113 - 119) ได้ศึกษาผลของ Cold storage และ Precooling ต่อคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดโดยพบว่าถั่วเหลืองฝักสดที่ Precooling ด้วยน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 ^{0}C และบรรจุด้วย PE bags with ethylene

absorbent เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 ^{0}C จะรักษาคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดได้ดีที่สุด โดยเกิดการสูญเสียน้ำหนัก วิตามินซี การเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

การคัดเลือกฝักหรือแยกเกรด แบ่งเป็น 4 เกรด

เกรดเอ (A) ลักษณะฝักมีเมล็ดข้างในสมบูรณ์ตั้งแต่ 2 เมล็ดขึ้นไปเมล็ดมีความเต่งดี ฝักไม่มีตำหนิจากโรค แมลง หรือรอยขีดข่วนจากหนู ความยาวของฝักตั้งแต่ 4.5 ซม. ขึ้นไป ไม่มีพันธุ์อื่นปลอมปน เมล็ดหายไป 1 เมล็ดแต่อีก 2 เมล็ดที่เหลืออยู่ชิดกันสมบูรณ์ ฝักสีเขียวสด 150 - 175 ฝักต่อน้ำหนัก 500 กรัม

เกรดบี (B) ฝักมีเมล็ดข้างในสมบูรณ์ หรือมี 2 เมล็ดลีบไป 1 เมล็ด หรือมี 3 เมล็ดลีบไป 2 เมล็ด น้ำหนักต่อฝักตั้งแต่ 1.7 กรัม

เกรดซี (C) ฝักมีตำหนิหรือเสียหายเล็กน้อยแต่ภายนอกฝักมีลักษณะบิดงอหรือมีรูปร่างผิดปกติจนทำให้เมล็ดข้างในบิดงอเสียหายเนื่องจากเส้นสันฝักฉีกมากกว่า 1/3 % ของฝัก ฝักแตกหรือเมล็ดเสียหาย 1 เมล็ด ฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย

เกรดดี (D) ฝักเสียหายหนัก คือ ฝักแตกทำให้เห็นเมล็ดข้างในทั้งฝัก ฝักมีสีเหลืองจัด เมล็ดลีบ ฝักอ่อนเกินไป แมลงหรือหนูเจาะ ทำให้เมล็ดเสียหายทุกเมล็ดของฝัก

ปกติโรงงานจะรับซื้อเฉพาะเกรด เอ และบี เท่านั้น เพื่อแข่งขันส่งขายต่างประเทศ มาตรฐานของถั่วเหลืองฝักสดที่ตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะญี่ปุ่นนั้นต้องการความยาวของฝักไม่น้อยกว่า 4.5 ซม. ความกว้างของฝักไม่น้อยกว่า 1.4 ซม. ฝักมี 2 เมล็ดขึ้นไป มีสีเขียวสด ไม่มีตำหนิของโรคและแมลงที่ฝัก ขนมีสีขาวหรือเทาหรือน้ำตาลอ่อน หลังจากต้มน้ำเดือดประมาณ 3 นาทีแล้ว รสชาติของเมล็ดจะหวานเล็กน้อยจำนวนฝักไม่เกิน 175 ฝัก ต่อ 500 กรัม

การปลูกถั่วเหลืองฝักสดเพื่อการส่งออกจะต้องพิถีพิถันตั้งแต่การคัดเลือกพันธุ์ การปฏิบัติดูแลรักษาในระหว่างการปลูก การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี

การแปรรูปถั่วเหลืองฝักสดในอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกจะอยู่ในลักษณะแข่เยือกแข็งทั้งสิ้นแต่มีข้อจำกัดมากมาย เช่น พันธุ์ มาตรฐานการส่งออก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นจะมีมาตรฐานของสินค้าสูงส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน ก็จะโดนหักราคาหรือขายไม่ได้จึงน่าจะมีทางเลือกอื่น เช่น นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดบรรจุกระป๋อง เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าและรายได้ให้แก่เกษตรกร

2.2 การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน (Thermal processing)

การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนเป็นการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อทำลายสารพิษ เชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ พยาธิ และพวกแมลงต่างๆ ที่ไม่สามารถทนต่อความร้อนได้ ส่วนเลิศศักดิ์ หล่อจิตต์เสียง (2530) แบ่งการใช้ความร้อนเพื่อการถนอมอาหารออกเป็น

1.<u>การลวก</u> (Blanching) การลวกคือการให้ความร้อนแก่เนื้อเยื่อก่อนที่นำไปแช่แข็ง (Freezing) ทำแห้ง (Drying) หรือบรรจุกระป๋อง จุดประสงค์ของการลวกขึ้นอยู่กับกระบวนการที่จะทำต่อไป เช่น การลวกก่อนนำไปแช่แข็ง หรือทำแห้ง เป็นการทำเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ ถ้าไม่ผ่านการลวกก่อน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี รสชาติ และคุณค่าทางอาหารภายหลังได้

เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และคะตะเลส (Catalase) เป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนและกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อ สามารถใช้เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก โดยถือว่าถ้าสามารถหยุดการทำงานของเอนไซม์ทั้ง 2 นี้ได้ เอนไซม์ที่สำคัญอื่นๆ ก็จะไม่สามารถทำงานได้เวลาที่จะใช้ในการหยุดการทำงานของเอนไซม์นี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและ ผลไม้ วิธีในการให้ความร้อน ขนาดของผักและผลไม้ และอุณหภูมิของตัวกลางที่ถ่ายเทความร้อนซึ่งปกติก็จะใช้น้ำไอน้ำ น้ำร้อน และไมโครเวฟ

การลวกก่อนการบรรจุอาหารกระป๋องมีจุดประสงค์ที่สำคัญหลายประการ เช่น ไล่อากาศและก๊าซออกจากเนื้อเยื่อ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเนื้อเยื่อ ทำความสะอาดเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อเยื่อนิ่มง่ายต่อการบรรจุ และเพื่อกระตุ้นหรือหยุดการทำงานของเอนไซม์บางชนิด อย่างไรก็ตามการไล่อากาศเป็นจุดประสงค์ที่สำคัญมาก เพราะจะทำให้เกิดสุญญากาศมากขึ้นในกระป๋องซึ่งจะทำให้ยืดอายุการเก็บได้มากขึ้น

2. <u>การพาสเจอร์ไรซ์</u> (Pasteurization) เพื่อจะให้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์บางส่วนที่มีอยู่ในอาหารและจะต้องเก็บอาหารนั้นไว้ในสภาพจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้น้อยที่สุดในหลาย ๆ กรณี จุดประสงค์หลักของการพาสเจอร์ไรซ์คือ การทำลายจุลินทรีย์บางชนิดที่ทำให้เกิดโรค หลังจากนั้นก็จะต้องใช้วิธีการถนอมอาหารอย่างอื่นควบคู่ไปด้วย เช่น

1. การแช่เย็น
2. การเติมสารเคมีบางชนิดซึ่งจะมีผลทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การเติมน้ำตาลในนมข้นหวาน
3. การบรรจุ เช่น การคงสภาพไร้อากาศในขวดเบียร์
4. การหมักด้วยจุลินทรีย์ที่เหมาะสม

3.การทำไร้เชื้อ (Sterilization) คือการทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อพบกับสภาวะที่เหมาะสม แต่เนื่องจากสปอร์ของจุลินทรีย์สามารถทนต่อความร้อนได้มากกว่าเซลล์ธรรมดามาก นั่นคือในอาหารนั้นอาจจะมีจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนแต่ไม่ก่อให้เกิดโรค (จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคถูกทำลายหมดแล้ว) แต่ในสภาวะเช่นนั้นจุลินทรีย์เหล่านั้นไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ เราจึงเรียกอาหารที่ผ่านกระบวนการเช่นนี้ว่าเป็นอาหารพวกที่ผ่านการทำไร้เชื้อเชิงการค้า (Commercially sterile)

Bigelow (1920) กล่าวว่า สภาวะความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ความเป็นกรด - ด่างของอาหาร
2. อุณหภูมิของการเก็บอาหารหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้ว
3. ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์หรือสปอร์
4. การถ่ายเทความร้อนของอาหาร ของกระป๋อง และของตัวกลางถ่ายเทความร้อน
5. ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในอาหาร

ค่าความเป็นกรด – ด่าง (พีเอช) ของอาหาร มีความสำคัญต่อการแปรรูปอาหาร โดยใช้ความร้อนสูง เนื่องจากจะมีผลต่อการเจริญและขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ชนิดทนความร้อนและจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ถ้าอาหารมีค่าพีเอช ต่ำ เวลาที่ใช้ฆ่าเชื้อจะน้อย

Fennema (1975) แบ่งประเภทของอาหารตามระดับพีเอชได้ดังต่อไปนี้

1. อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low acid food) ซึ่งมีพีเอช 5.0 ถึง 6.8 ได้แก่ อาหารจำพวก เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก สัตว์น้ำ ผลิตภัณฑ์นม และผลิตภัณฑ์ผักบางชนิด

2. อาหารที่มีความเป็นกรดปานกลาง (Medium acid food) ซึ่งมีพีเอช ระหว่าง 4.5 ถึง 5.0 ได้แก่ อาหารจำพวกซุปผลิตภัณฑ์จากเส้นหมี่ เป็นต้น

3. อาหารที่เป็นกรด (Acid food) จะมีพีเอช ระหว่าง 3.7 ถึง 4.5 ได้แก่ อาหารจำพวกสับปะรด มะเขือเทศ ส้ม ลูกท้อ และน้ำผลไม้ เป็นต้น

4. อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (High acid food) ซึ่งมีพีเอช ตั้งแต่ 3.7 ลงมา ได้แก่ อาหารจำพวกหมักดอง แยม เจลลี และน้ำผลไม้บางชนิด

การแบ่งกลุ่มอาหารออกเป็น 4 กลุ่มเพื่อความสะดวกในการกำหนดอุณหภูมิของความร้อนที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ อาหารในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิในการทำลาย 121.1 ^{0}C หรือ 115 ^{0}C ภายใต้ความดัน 10-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอาหารในกลุ่มที่ 3 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิในการทำลาย 100 ^{0}C (น้ำเดือด) ภายใต้ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่า ส่วนอาหารในกลุ่มที่ 4 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิ 85 ^{0}C อย่างไรก็ตามเพื่อง่ายต่อการปฏิบัติที่พีเอช 4.5 จะเป็นค่าพีเอช ที่นักวิชาการใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาชนิดของอาหารกระป๋องที่ต้องผ่านการทำลายจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 115 หรือ 121.1 ^{0}C หรือใช้อุณหภูมิ 100 ^{0}C อาหารชนิดใดมีพีเอช 4.5 หรือสูงกว่า อาหารบรรจุกระป๋องนั้นต้องใช้อุณหภูมิ 115 หรือ 121.1 ^{0}C ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนอาหารที่มีพีเอช ต่ำกว่า 4.5 ให้เลือกใช้อุณหภูมิ100 ^{0}C ทั้งนี้เพราะที่ 4.5 หรือสูงกว่าเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียโดยเฉพาะ *Clostridium botulinum* การเติมสารในอาหารเพื่อให้อาหารมีสภาพเป็นกรดจะช่วยหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนสูงและเวลานานในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ (อัญชลี ศิริโชติ, 2531)

2.2.1 การทำอาหารกระป๋อง (Canning)

เป็นการให้ความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรซ์ (Sterillization) อาหารที่อยู่ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์จากภายนอก(Desrosier and Desrosier, 1997)

สินธนา สุคันธา (2536) กล่าวว่า หลักการที่สำคัญในการผลิตอาหารกระป๋อง คือ อาหารต้องได้รับความร้อนเพียงพอ และนานพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

จิระพันธ์ ห้วยแสน (2542) กล่าวว่าการโอนถ่ายความร้อนกระป๋อง จะมีผลต่อระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ จึงแบ่งประเภทอาหารตามลักษณะของความร้อน ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. <u>อาหารที่ถ่ายโอนความร้อนแบบการนำ</u> (Conductive heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายโอนในทุกทิศทางผ่านผนังกระป๋อง แล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุด จะอยู่จุดกึ่งกลางของกระป๋อง(Cold point)

2. อาหารที่ถ่ายโอนความร้อนแบบการพา (Convective heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายโอนไปที่โมเลกุลของอาหารที่เคลื่อนที่ไปด้วย เช่น อาหารเหลวที่มีความข้นหนืดต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นอาหารขนาดเล็กในน้ำเกลือ สำหรับกระป๋องขนาดเล็กจุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุดอยู่ประมาณ ¾ นิ้วจากด้านล่างของกระป๋อง ถ้ากระป๋องขนาดใหญ่ อยู่ที่ประมาณ 1 ½ นิ้วจากด้านล่างของกระป๋อง

3. อาหารที่ถ่ายโอนความร้อนแบบผสม (Complex heating packs) เช่นอาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด ในช่วงแรกเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาและเมื่อให้ความร้อนต่อไป อาหารที่ความข้นหนืดมากขึ้น และการถ่ายโอนความร้อนเปลี่ยนเป็นการนำ จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุด อยู่ระหว่างจุดของอาหารที่มีการโอนความร้อนแบบการนำและการพา

ซึ่งอัตราการส่งผ่านความร้อนขึ้นกับปัจจัยต่างๆได้แก่ (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย, 2535)

1. อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อ (Retort temperature) กระป๋องในเครื่องฆ่าเชื้อที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนเร็วกว่ากระป๋องในเครื่องฆ่าเชื้อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเช่น อาหารกระป๋องที่อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อเป็น 121.1 ^{0}C จะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนเร็วกว่าอาหารกระป๋องที่ใช้อุณหภูมิเครื่องฆ่าเชื้อเป็น 115.5 ^{0}C

2. อุณหภูมิของอาหารที่บรรจุในกระป๋องก่อนนำเข้าเครื่องฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง (Initial temperature) ผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าในกระป๋องที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิมีมาก แต่ในกระบวนการผลิตที่ใช้เวลา เท่ากัน ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (Processing temperature) กระป๋องที่อุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่าจะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิอาหารภายในกระป๋องจะถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อได้เร็วกว่า ทำให้มีผลต่อการฆ่าเชื้อได้มากกว่ากระป๋องที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ

3. การจัดวางกระป๋องในเครื่องฆ่าเชื้อ กระป๋องที่จัดวางอย่างเป็นระเบียบในเครื่องฆ่าเชื้อจะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนที่แตกต่างจากกระป๋องที่ไม่ได้จัดวางอย่างเป็นระเบียบ เนื่องจากการจัดวางกระป๋องอย่างเป็นระเบียบจะมีการซ้อนทับของกระป๋องทำให้เหลือพื้นผิวสัมผัส แลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำในเครื่องฆ่าเชื้อน้อยกว่าการจัดว่างกระป๋องอย่างไม่เป็นระเบียบ และ

ในกรณีที่การจัดวางกระป๋องไม่เป็นระเบียบอาจเกิดการเรียงซ้อนต่อกันเป็นชั้น (Nesting) ได้ซึ่งจะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้าลง

4. ชนิด รูปร่าง และขนาดของภาชนะบรรจุ ภาชนะที่ต่างชนิดกันจะมีค่าการนำความร้อนที่ไม่เท่ากัน เช่น กระป๋องทำจากโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูงกว่ากระป๋องที่ทำจากพลาสติก รูปร่างและขนาดของภาชนะบรรจุ จะมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนที่จุดเย็นที่สุด โดยกระป๋องขนาดเล็กอาหารภายในจะร้อนเร็วกว่ากระป๋องขนาดใหญ่

5.น้ำหนักบรรจุและอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว จะมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนในขณะทำการฆ่าเชื้อจะเป็นแบบการนำหรือการพาหรือทั้งสองแบบ โดยอาหารกระป๋องที่มีอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวสูงมีแนวโน้มที่การส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้ากว่าอาหารที่มีอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวต่ำกว่า

6. ช่องว่างเหนืออาหาร มีผลต่อตำแหน่งของจุดเย็นที่สุดของกระป๋องโดยกระป๋องที่มีช่องว่างเหนืออาหารมากกว่าโดยทั่วไปแล้วจะมีตำแหน่งจุดเย็นที่สุดของกระป๋องขณะส่งผ่านความร้อนอยู่ต่ำกว่ากระป๋องที่มีช่องว่างเหนือกระป๋องน้อย

7. ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีช่องว่างให้อากาศแทรกการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ช้ากว่าผลิตภัณฑ์ที่มีของเหลวแทรก หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นเหลวจะมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่าพวกที่มีลักษณะข้นหนืด รูปแบบของผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อการส่งผ่านความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อแตกต่างกัน โดยข้าวโพดครีมจะมีการส่งผ่านความร้อนที่ช้า เนื่องจากเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinized) ของแป้งที่มีอยู่ในข้าวโพดครีม ซึ่งการส่งผ่านความร้อนในข้าวโพดครีมจะเป็นแบบการนำความร้อน (Conduction) ส่วนข้าวโพดหวานทั้งเมล็ดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องนั้น ขณะที่อยู่ในเครื่องฆ่าเชื้อนั้นของเหลว (น้ำเกลือ) ในกระป๋องจะกลายเป็นไอเป็นผลให้การส่งผ่านความร้อน โดยกระแสการพาความร้อน (Steam convection current) เกิดขึ้นได้เร็ว (Cruess, 1958) การแปรรูปข้าวโพดหวานทั้งเมล็ดบรรจุกระป๋องจะมีรูปแบบการส่งผ่านความร้อนทั้งสองแบบโดยการส่งผ่านความร้อนในช่วงแรกจะเกิดได้เร็ว (การพา) และจะช้าลง (การนำ) ในช่วงเวลาต่อมา ความเร็วในการส่งผ่านความร้อนจึงอยู่ระหว่างการพาและการนำ (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2524) ซึ่งทำให้เกิดกราฟการส่งผ่านความร้อนภายในกระป๋องเป็นแบบสองช่วง (Broken heating curve)

8. ขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวของชิ้นอาหาร ถ้าชิ้นอาหารเรียงตัวหรือบรรจุแน่น จะทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลง อาหารที่มีขนาดชิ้นเล็กมากจะมีการอัดแน่นมากกว่าอาหารที่มีชิ้นใหญ่ ทำให้มีช่องว่างระหว่างชิ้นอาหารน้อยกว่าเป็นผลให้การส่งผ่านความร้อนเกิดขึ้นได้ช้า

9. สารที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์ เช่นเกลือ น้ำตาล น้ำมัน และแป้ง พบว่าการเติมเกลือลงไปในผลิตภัณฑ์ไม่ทำให้การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปจากผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องโดยปกติ แม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นสูง ส่วนน้ำตาลนั้น พบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 10 ไม่ทำให้การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่านี้จะทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลง โดยเฉพาะในตอนทำให้เย็น (Cooling) เพราะที่อุณหภูมิต่ำสารละลายน้ำเชื่อมมีความหนืดมากกว่าที่อุณหภูมิ ส่วนการเติมแป้งนั้นพบว่าทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลง แต่เมื่อเติมแป้งในครีมข้าวโพดมากกว่าร้อยละ 6 พบว่าการถ่ายเทความร้อนไม่ต่างจากการเติมแป้งร้อยละ 6 (ละอองวรรณ เหมจินดา, 2530)

10. ลักษณะของเครื่องฆ่าเชื้อ เครื่องฆ่าเชื้อแบบหมุนได้ (Rotary retort) จะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูงกว่าแบบอยู่กับที่ (Still retort) เนื่องจากมีการคลุกเคล้าของอาหารภายในกระป๋อง ช่วยให้ความร้อนเข้าสู่จุดเย็นที่สุดของกระป๋องได้เร็วยิ่งขึ้น

11. ความเป็นสุญญากาศภายในกระป๋อง อาหารกระป๋องที่มีความเป็นสุญญากาศภายในสูง จะมีอัตราการส่งผ่านความร้อนได้ดีกว่ากระป๋องที่มีความเป็นสุญญากาศภายในต่ำ เนื่องจากส่วนที่เป็นของเหลวภายในกระป๋องจะสามารถเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำ

2.2.2 ค่า Fo

เป็นค่าของการทำลาย (Lethal value) ใช้เปรียบเทียบความสามารถในการทำลายสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นสปอร์ที่สามารถทนความร้อนสูงได้ การกำหนดค่า Fo ขึ้นอยู่กับการทดลองเพราะว่าจะต้องมีปัจจัยอื่นๆ เกี่ยวข้องด้วย ในกระบวนการแปรรูปอาหารกระป๋องซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่า Fo ได้แก่ จำนวนจุลทรีย์เริ่มต้นของวัตถุดิบ จำวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเตรียม คุณลักษณะที่ต้องการ ดังนั้น ค่า Fo จะแปรเปลี่ยนจากอาหารหนึ่งกับอาหารชนิดหนึ่ง ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินชี้ขาดค่า Fo ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ตารางที่ 2.4 ค่า Fo ของผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดที่ใช้กันทั่วไป

ค่าผลิตภัณฑ์	ขนาดกระป๋อง	ค่า Fo
อาหารเค้ก	202 x 308	3 – 5
ถั่วในซอสมะเขือเทศ	ทุกขนาด	4 – 6
ถั่วลันเตาในน้ำเกลือ	307 x 409 หรือเล็กกว่า	6
	307 x 409 ถึง 603 x 700	6 – 8
แครอท	ทุกขนาด	3 – 4
ถั่วแขกในน้ำเกลือ	307 x 409 หรือเล็กกว่า	4 – 6
เห็ดในน้ำเกลือ	300 x 410	8 – 10
เนื้อในน้ำแกรวี	ทุกขนาด	12 – 15
ไส้กรอกในน้ำมัน	300 x 410 และเล็กกว่า	4 – 6
ไส้กรอกในน้ำเกลือ	300 x 410 และเล็กกว่า	3 – 4
แกงเนื้อใส่ผัก	300 x 410 และเล็กกว่า	8 –12
ไก่ทั้งชิ้นในน้ำเกลือ	401 x 411 ถึง 603 x 700	15 – 18
ปลาในซอสมะเขือเทศ	300 x 410 และเล็กกว่า	10
ซุปมะเขือเทศ	ทุกขนาด	3
อาหารสัตว์เลี้ยง	300 x 410	15 – 18
ซุปข้าวโพด	307 x 409	5 – 6
หน่อไม้ฝรั่ง	ทุกขนาด	2 – 4
ข้าวโพดอ่อนในน้ำเกลือ	307 x 409	9

ที่มา : ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก (2532)

2.2.3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการผลิตอาหารกระป๋อง

ในวงการอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง *Clostridium botulinum* เป็นแบคทีเรียชนิดที่สำคัญที่สุด เพราะสามารถก่อให้เกิดอาหารกระป๋องเป็นพิษ

1. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปแท่ง มีสปอร์
2. สปอร์สามารถทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดีมาก และทนความร้อนได้สูง
3. เจริญได้เฉพาะในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น

4. เจริญได้ในอาหารที่มีค่าพีเอช มากกว่า 4.6 และ Aw น้อยกว่า 0.93
5. เจริญไม่ได้ในอาหารที่มีรสเปรี้ยว หรือค่าพีเอช น้อยกว่า 4.6
6. เจริญได้ดีที่อุณหภูมิช่วง 30 – 37 ^{0}C
7 สามารถอยู่รอดและเจริญได้ที่อุณหภูมิตู้เย็นและอุณหภูมิต่ำถึง3.3 ^{0}C
8. น้ำทะเลและดินเป็นแหล่งอาศัยที่ดีของเชื้อนี้ ดังนั้นวัตถุดิบที่มาจากทะเล เช่น กุ้ง ปู ปลา หรือ อาหารสด ผลิตผลทางการเกษตรจากสวน ไร่ จึงมีโอกาสปนเปื้อนเชื้อนี้
9. สร้างสารพิษที่ร้ายแรงมาก
10. สารพิษถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 2 – 3 นาที เท่านั้น

สารพิษของ *Clostridium botulinum* มีอันตรายร้ายแรงมาก ผู้ที่บริโภคอาหารที่มีสารพิษนี้ปนอยู่ด้วยจะแสดงอาการภายในเวลา 12 – 36 ชั่วโมง โดยมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ปวดหัว หน้ามืด ตาพร่าเห็นภาพซ้อน กลืนอาหารลำบาก พูดไม่ออก ปากและคอแห้ง เป็นอัมพาต และจะเสียชีวิตภายใน 3 – 6 วัน สารพิษจากเชื้อนี้มีพิษสูงมาก พบว่าปริมาณเพียง 1 มิลลิกรัม สามารถทำลายชีวิติคนได้ถึง 5 แสนคน

2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักและผลไม้กระป๋อง

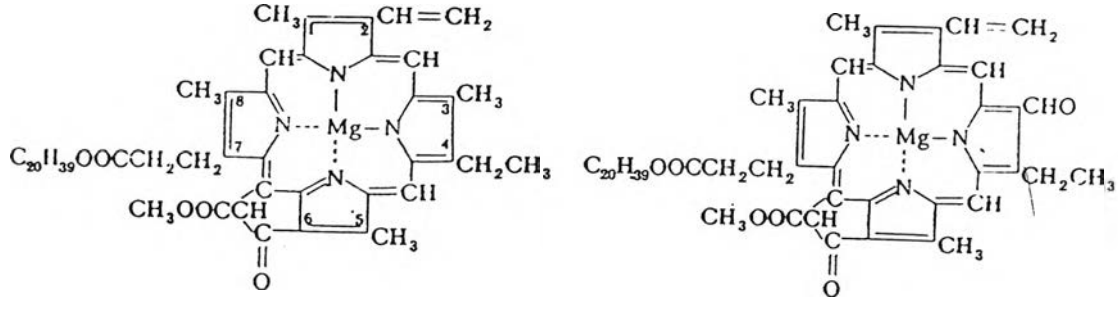
2.3.1 การเปลี่ยนแปลงสี

การใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี สีที่พบในถั่วเหลืองฝักสดส่วนใหญ่เกิดจากรงควัตถุจำพวกคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ จะประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และแมกนีเซียม ในหนึ่งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะประกอบไปด้วยวงแหวนไพรอล (Pyrrole ring) 4 หน่วยมาประกอบกันเรียก ฟอร์ไฟรีน (Porphyrin ring) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สำคัญ โดยวงแหวนไพรอลจะมาต่อกันด้วยกลุ่มมีเธน (Methane -carbon, - CH =) แล้วจับเป็นโมเลกุลใหญ่ที่แบนราบ มีแมกนีเซียมอยู่ โมเลกุลยึดด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) จับกับไนโตรเจนจากฟอร์ไฟรีน 2 กลุ่ม ส่วนอีก 2 กลุ่ม ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปแลกเปลี่ยนอิเลกตรอน (Share electron) แมกนีเซียมเกิดเป็นพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ (Coordinate covalent bond) ดังนั้นในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จึงเป็น Magnesium– porphyrin complex นอกจากนี้ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ยังมีส่วนของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเรียงตัวกันค่อนข้างยาว หมู่ไฟทอล (Phytol tail) จะพบคลอโรฟิลล์ทั้งในรูป

อิสระและเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยอยู่ร่วมกับไขมัน โปรตีน และไลโปโปรตีน โดยที่ไขมันจะจับกับบริเวณหางของหมู่ไฟทอลส่วนโปรตีนจะจับกับหมู่ฟอร์ไฟรินในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ในพืชชั้นสูงจะประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี โดยอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอ ต่อคลอโรฟิลล์บีในพืชสีเขียว ส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 3 ต่อ1ทั้งนี้ คลอโรฟิลล์บีจะแตกต่างจากคลอโรฟิลล์เอตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 โดยคลอโรฟิลล์บีจะมีหมู่อัลดิไฮด์ (-CHO) แทนหมู่เมทธิล (- CH_3) ดังภาพที่ 2.1

ในกระบวนการประกอบอาหาร การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ที่พบบ่อยที่สุด คือฟีโอไฟทิไนเซชั่น (Pheophytinization) ซึ่งเป็นการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ไปเป็นสีเขียวมะกอกของฟีโอไฟติน (Pheophytin) สำหรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟทิน ดังภาพที่ 2.2

นอกจากนี้ยังมีการแตกออกของโซ่ไฟทอล(Phytol chain) โดยเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส(Chlorophylase)ซึ่งมีอยู่ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ตามธรรมชาติ การทำกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้ทำให้กลุ่มไฟทอล ถูกแยกออกจากโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ทำให้เกิดคลอโรฟิลล์ไลด์ (Chlorophyllides) โดยคลอโรฟิลล์ไลด์มีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์แต่ละลายน้ำได้ดีกว่า และถ้าแมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ไลด์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจน จะได้ฟีโอฟอร์ไบด์ (Pheophobides) ซึ่งมีสีเดียวกับฟีโอไฟทิน

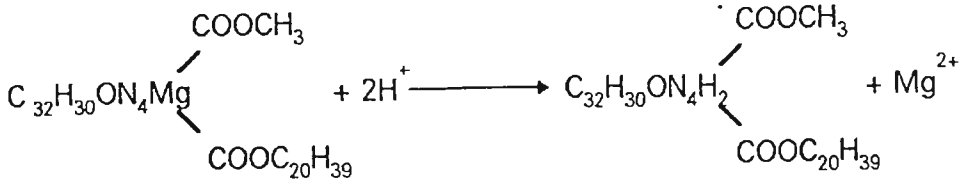


Chlorophyll a

Chlorophyll b

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เอ และ บี

ที่มา : (Schwartz and Lorenzo, 1990)



คลอโรฟิลล์ ฟีโอไฟติน

ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟทิน
ที่มา : John (1980)

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

ในการแปรรูปอาหารประเภทผักและผลไม้มักจะพบว่า หลังการแปรรูปแล้วลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่เลวลง เช่น นิ่มหรือแตก เนื่องจากการให้ความร้อนกับเนื้อเยื่อพืชมักจะทำให้เนื้อเยื่ออ่อนตัว เพราะการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสในระหว่างการแปรรูปผักและผลไม้ด้วยความร้อน เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนัง(Cell wall) และมิดเดลลาเมลลา (Middle lamella) โดยเฉพาะสารเพคติกซึ่งมีอยู่ค่อนข้างสูง จะให้ความแข็งแรงกับเซลล์และเป็นตัวยึดเซลล์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน สารเพคติกจะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าสารประกอบตัวอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลและมิดเดลลาเมลลา

เมื่อให้ความร้อนกับผักและผลไม้ พบว่าปริมาณสารเพคติกและโปรโตเพคตินจะลดลง ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของเพกติน โดยเฉพาะในชั้นมิดเดลลาเมลาจะบางลง ถ้าให้เซลล์แยกตัวจากกันความแข็งกรอบของผักและผลไม้จะลดลง ดังนั้นการเติมสารเพิ่มความแข็งกรอบในรูปของ

เกลือแคลเซียม จะช่วยให้โครงสร้างเซลล์คงรูปอยู่ได้ โดยทำให้สารเพคตินที่เชื่อมเซลล์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน อยู่ในรูปที่ไม่ละลายของแคลเซียมเพคเตตและเพคติเนต

Van Baren (1968) ได้ศึกษาผลการเติมแคลเซียมอิออนในช่วงต่าง ๆ ของการแปรรูปที่มีต่อลักษณะเนื้อและการหลุดลอกของถั่วแขก พบว่า การเติมแคลเซียมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและแคลเซียมที่เติมลงไปก่อนการลวกจะมีผลดีกว่าพวกที่เติมหลังลวก

Labelle (1971) ศึกษาระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ และเวลาในการแช่ที่มีต่อผลเซอรี่บรรจุกระป๋อง พบว่าเซอรี่ที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่า และในระยะเวลาที่นานกว่าจะมีลักษณะเนื้อแน่นกว่าเซอรี่ที่แช่แคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นต่ำกว่า และในระยะเวลาที่สั้นกว่า

Luh , Wang และ Daoud (1975) พบว่า สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของถั่วไลมา (Lima beans) บรรจุกระป๋องได้โดย การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในระหว่างการแช่และเติมน้ำเกลือในขั้นตอนการบรรจุกระป๋อง

Mccurdy และคณะ (1983) ได้ศึกษาความแน่นเนื้อของถั่วสันเตาบรรจุกระป๋องโดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ กรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำที่ใช้ในการแช่และเติมไปในน้ำเกลือในระหว่างขั้นตอนการบรรจุกระป๋อง พบว่าการเติมแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากที่สุด

Drake และ Muehlbauer (1985) ได้นำแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% มาเติมในน้ำเกลือในการผลิตถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องเพื่อช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของถั่ว

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ในกรรมวิธีการแปรรูป

คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ไม่คงตัวเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อเซลมีชีวิตถูกทำลายหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีในเซล ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงได้แก่ ความร้อน แสง เอนไซม์ ค่าพีเอช อุณหภูมิและเวลา อนุมูลโลหะ รังสีแกมมา และค่า Water activity (Aw) เป็นต้น (Buckle and Edwards,1970b ; Lajolo and Marquez,1982)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1 เอนไซม์

เอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) เอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสีและเนื้อสัมผัส จากขั้นตอนการผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไป จะต้องทำการลวกวัตถุดิบก่อนการบรรจุกระป๋องเพื่อยับยั้งเอนไซม์ ในผักและผลไม้จะพิจารณาเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ซึ่งถือเป็นเอนไซม์ที่ทนที่สุดเป็นตัวชี้ถึงความพอเพียงในการลวก

จากการทดลองของ Buckle และ Edwards (1970b) พบว่าเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส จะทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดไขมัน (Lipid oxidation) ให้เปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะส่งผลถึงการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะในถั่วลันเตา (Green peas) ที่ไม่ผ่านการลวก หรือทำการลวกแต่ไม่เพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ได้ ในช่วงการเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง

เอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) เป็นเอนไซม์ที่พบในพืชทุกชนิด เอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมดีในช่วงอุณหภูมิ 65-75 ^{0}C และสูงสุดที่อุณหภูมิ 68-69 ^{0}C จะมีบทบาทในการดึงหรือเติมหมู่ไฟทอล ในกระบวนการสร้างหรือสลายคลอโรฟิลล์ โดยเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ ให้อยู่ในรูปของคลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีความตัวดีกว่าคลอโรฟิลล์ Clydesdale และ Francis (1968) พยายาม ให้เกิดคลอโรฟิลไลด์มากที่สุด เพราะจะสามารถให้สีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์ และมีความคงตัวมากกว่า จึงทำการลวกผักปวยเหล็ง (Spinach) ที่อุณหภูมิ 68 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที ร่วมกับการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 8.5 ด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต จะกระตุ้นให้เอนไซม์คลอโรฟิลเลสทำงานได้ดีสามารถเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ให้อยู่ในรูปคลอโรฟิลไลด์ได้ โดยพบว่าจะมีความคงตัวมากกว่าคลอโรฟิลล์และให้สีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์แต่สามารถละลายน้ำได้มากกว่า จึงทำให้ไม่สามารถรักษาสีเขียวไว้ได้ในช่วงการทำให้สุกหรือการบรรจุกระป๋องโดยจะเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวปนน้ำตาลของฟีโอไฟตินแทน เพราะไฮโดรเจนอิออนจะแลกเปลี่ยนกับแมกนีเซียมอิออน ในโมเลกุลของคลอโรฟิลไลด์จะง่ายขึ้น หรือเร็วขึ้นเนื่องจากไม่มีส่วนของโซ่ไฟทอลและไขมันมาขัดขวางปฏิกริยา

2.4.2 ค่าพีเอช

การใช้สารเคมีพวกที่มีฤทธิ์เป็นด่างเป็นตัวเพิ่มค่าพีเอชของผัก จะทำให้คลอโรฟิลล์มีความคงตัวขึ้น เนื่องจากแมกนีเซียมไม่ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนจากกรด ความเข้มข้นของกรดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเขียวของคลอโรฟิลล์มาก เนื่องจากแมกนีเซียมในอะตอมของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชมาก ยิ่งค่าพีเอชต่ำ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะ

เกิดได้เร็วมากขึ้น จากการทดลองของ Lajolo และ Marquez (1982) ทำการลวกผักปวยเหล็ง (Spinach) เมื่อกำหนดค่าพีเอชเท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 38.6 ^{0}C พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปอยู่ในรูปของฟีโอไฟทินถึง 85% นอกจากนี้ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ส่วนของหมู่ไฟทอลจะเป็นส่วนที่ละลายในไขมัน และส่วนของหมู่ไฟรอลจะละลายในน้ำ ซึ่งทำให้โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ง่ายต่อการรับโปรตอนและแยกแมกนีเซียมออก

การรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ ของถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องในระหว่างการแปรรูป โดยการแช่วัตถุดิบในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 2% เป็นเวลา 30-60 นาที แล้วลวกในแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.005 โมล และช่วงการบรรจุกระป๋องเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 0.02-0.025 โมล ซึ่งวิธีนี้สามารถรักษาสีของคลอโรฟิลล์ไว้ได้ถึง 60 % ในช่วงผ่านความร้อนระดับฆ่าเชื้อ แต่พบว่าในช่วงการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเร็วมาก ถ้าไม่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ (Luh and Woodroof,1975) Sweeney และ martin (1961) แนะนำให้ลวกโดยใช้ ซิเตรด-ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ค่าพีเอชเท่ากับ 6.2 - 7.0 สำหรับช่วงบรรจุกระป๋องมีการใช้สารประกอบไฮดรอกไซด์อิออน หรือ คาร์บอเนตอิออน ของแมกนีเซียม โซเดียม และแคลเซียม โดยพบว่าสารประกอบของแมกนีเซียมให้ผลดีที่สุด ในการรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์ หรือการใช้เกลือของโลหะทรานซิชันพวกซิงค์คลอไรด์ คอปเปอร์คลอไรด์ ซิงค์อะซิเตต (Segner et al ,1984)

2.4.3 อุณหภูมิและเวลา

เมื่อทำการลวกผักสีเขียวในน้ำเดือด ความร้อนที่ใช้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีทันที โดยจะให้ผักสีเขียวมีลักษณะเขียวสดขึ้นชั่วขณะหนึ่ง เนื่องจากความร้อนทำให้อากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเซลร้อนขึ้นและจะถูกดันออกมา เราจึงสามารถเห็นสีเขียวของคลอโรฟิลล์ชัดขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานในการแปรรูป จะมีผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์

Lajolo และ Marquez (1982) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการลวกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหลือในผักปวยเหล็ง พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง ความร้อนจะมีผลทำให้เซลเมมเบรนของคลอโรพลาสต์อ่อนตัว และมีการหดเข้ามาอยู่รวมกันตรงกลางเซล โดยที่คลอโรฟิลล์ยังคงอยู่ภายในเม็ดคลอโรพลาสต์ แต่เนื้อเยื่อที่หุ้มไม่สามารถเก็บรักษาของเหลวที่อยู่ภายในเซลไว้ได้ จึงเกิดการสูญเสียน้ำโดยแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeable membrane) และไม่สามารถป้องกันกรดได้ ทำให้กรดในเซลซึ่งอยู่ในแวคิวโอล์ (vacuole) และคลอโรฟิลล์มาสัมผัสและทำปฏิกริยากันได้ สีเขียวของคลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปสีเขียวปนน้ำตาลของฟีโอไฟทิน (Charley,1982) แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น จะสามารถรักษาความคงตัวของ

คลอโรฟิลล์ไว้ได้ดีกว่า เนื่องจากการใช้ช่วงเวลาสั้น โอกาสที่กรดในเซลจะทำปฏิกริยากับคลอโรฟิลล์จะน้อยลง Sweeny และ Martin (1961) ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในบร๊อคโคลี เมื่อผ่านการลวกที่ 5,10,15 และ 20 นาที พบว่าคลอโรฟิลล์เอ จะลดลงรวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บี โดยที่ 5นาทีแรกผ่านไปคลอโรฟิลล์เอจะเหลือประมาณ 80% คลอโรฟิลล์บีจะเหลือประมาณ 90% และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที คลอโรฟิลล์เอจะเหลือประมาณ 45% คลอโรฟิลล์บีเหลือประมาณ 87% Schwartz และ Von Elbe (1983) ศึกษาการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งช่วงการลวกและการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 ^{0}C ที่เวลาต่าง ๆ กันพบว่าคลอโรฟิลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟทินและฟีโอไฟทินจะเปลี่ยนไปเป็นไพโรฟีโอไฟทินในขั้นที่ 2 และพีเอชจะลดลงเมื่อเวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้น การเกิดไพโรฟีโอไฟทินมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการฆ่าเชื้อ ไพโรฟีโอไฟทินจะเกิดมากในผักสีเขียวที่มีการส่งผ่านความร้อนแบบการนำความร้อน เช่น พิวเรปวยเหล็งบรรจุกระป๋อง ส่วนในถั่วลันเตาบรรจุกระป๋อง มีการส่งผ่านความร้อนแบบพาความร้อน ดังนั้นไพโรฟีโอไฟทินจึงเกิดได้น้อยกว่า Tan และ Francis (1962) พบว่าการฆ่าเชื้อพิวเรปวยเหล็งบรรจุกระป๋อง เมื่อกำหนด F_0 เท่ากับ 4.9 ที่อุณหภูมิ 280 ^{0}F (137.8 ^{0}C) จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีเหลือถึง 55.5 และ 80.3 % ตามลำดับ แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 240 ^{0}F (115.5 ^{0}C) จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี เหลือเพียง 8.0 และ 20.2 % เท่านั้น

2.4.4 Water activity (Aw)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Aw และปริมาณคลอโรฟิลล์ในพิวเรปวยเหล็งพบว่าที่ค่า Aw ต่ำ ๆ สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟีลล์ไว้ได้มาก พบว่าที่ Aw ต่ำกว่า 0.32 คลอโรฟิลล์ไปอยู่ในรูปฟีโอไฟทินอย่างช้า ๆ เมื่อ Aw มากกว่า 0.32 ที่อุณหภูมิ 37 ^{0}C จะทำให้คลอโรฟิลล์เอ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปอื่นได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์บีถึง 2.5 เท่า และเมื่อค่า Aw มากขึ้น การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ก็จะเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อาจพิจารณาจากค่าพลังงานกระตุ้น พบว่าที่ค่า Aw เท่ากับ 0.75 ค่าพลังงานกระตุ้นของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีเป็น 19 และ 20 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล ที่ Aw เท่ากับ 0.62 ค่าพลังงานกระตุ้นของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีเป็น 21 และ 23 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล แสดงว่าที่ค่า Aw สูง (0.75) ค่าพลังงานกระตุ้นจะต่ำกว่า เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปอยู่ในรูปอื่นได้เร็วกว่า เมื่อค่า Aw ต่ำ (0.62) โดยที่คลอโรฟิลล์เอ สามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บี (Lajolo and Marquez , 1982)

2.4.5 อนุมูลโลหะ

เนื่องจากแมกนีเซียม จะสามารถหลุดออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ง่ายภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเติมเกลือของโลหะพวก ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก(Fe) มงกานีส (Mn) โครเมียม(Cr) โคบอล(Co) นิเกล(Ni) อลูมิเนียม(Al) แคดเมียม(Cd) ร่วมในสารละลายที่ใช้ในการลวก พบว่าเกลือของทองแดง(Cu) และสังกะสี(Zn) จะสามารถแทนที่แมกนีเซียม และให้สีเขียวคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด การเติมอิออนของโลหะร่วมในสารละลายที่ใช้ในการลวกนิยมใช้ประมาณ 50-500 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ถึงแม้ว่าสังกะสีและทองแดงเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดพิษ(Non-toxic) แต่ยังมีอีกหลายประเทศ ที่ไม่ยอมรับอาหารที่มีการเติมโลหะเพื่อรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์(Segner et al ,1984) จึงทำให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้

2. 5 การรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวของคลองโรฟิลล์ไปเป็นสีเขียวมะกอกของฟีโอไฟติน ตามปฏิกิริยาฟีโอไฟตินไนเซชันในผักเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีนี้อาจอาจทำให้เกิดน้อยลงหรือทำให้ไม่เกิดเลยโดย

1. <u>การเปลี่ยนคลอโรฟิลล์</u> ให้อยู่ในรูปคลอโรฟิลไลด์ด้วยเอนไซม์คลอโรฟิลเลสเพราะว่าคลอโรฟิลไลด์มีความตงคัวดีกว่าคลอโรฟิลล์และมีสีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์ เอนไซม์คลอโรฟิลเลสจะพบตามธรรมชาติในพืชและมีกิจกรรมสูงที่อุณหภูมิ 65-75 ^{0}C ดังนั้นการลวกผักที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถรักษาสีเขียวของผักได้ดีกว่า เพราะมีการเปลี่ยนจากคลอโรฟิลล์ไปเป็นคลอโรฟิลไลด์ที่มีความคงตัวมากกว่า

2. <u>การเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง</u> เพื่อลดความเป็นกรดลงทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจาก Porphyrin ring โดยด่างที่นิยมใช้ได้แก่ $Mg(OH)_2$ และ $MgCO_3$ Meyer, 1978) อย่างไรก็ตาม Gupte และ Francis (1964) พบว่า การใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวปรับค่าพีเอช ให้สูงขึ้นใน Spinach puree ช่วยให้คลอโรฟิลล์คงอยู่ในช่วงแรกและปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเรื่อยๆในระหว่างการเก็บรักษา

3. การเติม Metallic ions เช่น Zn^{2+}, Cu^{2+} หรือ Fe^{2+} ซึ่งไปทำปฏิกิริยากับฟีโอไฟติน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Pheophytin metal ion complex) มีสีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์ หลังจากการเติมเกลือของโลหะเหล่านี้และระยะเวลาหนึ่ง เกลือ Zn และ Cuที่นิยมใช้ คือ $ZnCl_2$หรือ $CuSO_4.5H_2O$ (Meyer,1978) Jones และคณะ (1977) พบว่าระดับความเข้มข้นของ Zn^{2+} และ Cu^{2+} มีค่าเท่ากับ 10 และ 1 Umol/Umol ของรงควัตถุที่พบใน Heated spinach slurry หรือเท่ากับ 120 และ 12 ppm ตามลำดับ จะช่วยให้ Spinach slurry มีสีเขียวสดหลังจากเติม $ZnCl_2$ และ $CuSO_4$ แล้วผ่านการให้ความร้อนที่ 100 ^{o}C นาน 60 และ 20 นาที ตามลำดับ

4. การใช้กระบวนการ High temperature short time (HTST) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้นมาก ทำให้คลอโรฟิลล์โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์เอ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฟีโอไฟตินได้น้อย สีเขียวของผลิตภัณฑ์ส่วนมากจึงยังคงเหลืออยู่ (Gupte and Franis,1964) Luh และคณะ (1964) พบว่ากระบวนการ HTST มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ และสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ

Buckle และ Edwards (1970a) พบว่า การปรับ พีเอช ของ Pea puree ให้สูงขึ้นเป็น 8.45 ด้วย แมกนีเซียมคาร์บอเนต และผ่านความร้อนด้วยระบบ H.T.S.T. ใช้ระยะเวลาสั้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ และเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงจากคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟตินน้อยกว่า Pea puree ที่มี พีเอช ปกติ คือเท่ากับ 6.95 ทั้งก่อนให้ความร้อนและหลังจากการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ