บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วเหลืองฝักสด (*Glycine max* (L.) Merr.) เป็นพืชใน family Leguminoceae และ sub-family Papilionoideae เช่นเดียวกับถั่วเหลืองทั่วไป มีลักษณะลำต้นตรง มีความสูงแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 15-200 เซนติเมตร ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้อง บนข้อเป็นที่เกิดของใบและกิ่งแขนง

ใบของถั่วเหลืองเป็นแบบใบประกอบแบบขนนกมีสามใบย่อย (pinnately trifoliolate) ยกเว้นใบจริงคู่แรก การแตกกิ่งแขนงจะเกิดจากตาข้าง (auxillary bud) ตรงโคนใบของลำต้น

ช่อดอกของถั่วเหลืองเป็นแบบช่อกระจะ (raceme) มีสีขาวหรือสีม่วง เกิดจากตาข้างและตายอดตรงข้อของลำต้น และกิ่งแขนง จำนวนดอกไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมหลังจากปฏิสนธิแล้วรังไข่จะพัฒนาไปเป็นฝัก แต่ละข้อจะมีฝัก 0-5 ฝัก ซึ่งอายุเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533)

การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

Fehr & Caviness (1977) ได้แบ่งระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ตั้งแต่เริ่มงอกโผล่พ้นดิน จนกระทั่งถั่วแก่ ออกเป็น 2 ระยะ คือ

1. **ระยะการเจริญเติบทางลำต้น** (Vegetative stage หรือ V-stage) เริ่มนับตั้งแต่ต้นโผล่พ้นดินจนกระทั่งถั่วเหลืองเริ่มออกดอกโดยใช้ลำดับข้อเป็นเกณฑ์ ได้แก่

1.1 ระยะโผล่พ้นดิน (VE หรือ emergence) ใบเลี้ยงของถั่วเหลืองเริ่มโผล่และอยู่เหนือดิน

1.2 ระยะใบเลี้ยง (VC หรือ cotyledon) ใบประกอบเริ่มคลี่กางและขอบใบประกอบไม่แตะกัน

1.3 ระยะข้อที่ 1 (V_1 หรือ first node) ใบประกอบคลี่กางเต็มที่ในข้อที่ 1

1.4 ระยะข้อที่ 2 (V_2 หรือ second node) ใบจริงที่ 1 คลี่กางออกในข้อที่ 2

1.5 ระยะข้อที่ 3 (V_3 หรือ third node) ต้นถั่วเหลืองมี 3 ข้อ บนลำต้นและในข้อที่ 3 มีใบจริงที่ 2 คลี่กางออก

1.6 ระยะข้อที่ n (V_n หรือ n- node) เท่ากับลำดับข้อบนลำต้นที่มีใบจริงคลี่กางเต็มที่

2. **ระยะเจริญพันธุ์** (Reproductive stage หรือ R-stage) เริ่มตั้งแต่ถั่วเหลืองเริ่มออกดอกติดฝักและเมล็ดมีการพัฒนา ตลอดจนการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดและการแก่ ได้แก่

2.1 ระยะเริ่มออกดอก (R_1 หรือ beginning bloom) ถั่วเหลืองมีดอกบาน 1 ดอกบนข้อใดๆ ก็ตามบนลำต้น

2.2 ระยะออกดอกเต็มที่ (R_2 หรือ full bloom) ถั่วเหลืองมีดอกบานที่ข้อใดข้อหนึ่งบนข้อบนสุด 2 ข้อ

2.3 ระยะเริ่มติดฝัก (R_3 หรือ beginning pod) มีฝักยาวขนาด 0.5 มิลลิเมตร ปรากฏขึ้นบนข้อใดข้อหนึ่งบนสุด 4 ข้อ

2.4 ระยะติดฝักเต็มที่ (R_4 หรือ full pod) มีฝักยาวขนาด 2 ซม. ปรากฏขึ้นบนข้อใดข้อหนึ่งบนสุด 4 ข้อ

2.5 ระยะติดเมล็ด (R_5 หรือ beginning seed) มีเมล็ดยาว 3 มิลลิเมตร ในฝักที่ติดอยู่บนข้อใดข้อหนึ่งบนสุด 4 ข้อ

2.6 ระยะเมล็ดพัฒนาเต็มที่ (R_6 หรือ full seed) ฝักมีเมล็ดสีเขียวเจริญเติบโตเต็มช่องว่างของฝัก ปรากฏบนข้อใดข้อหนึ่งบนสุด 4 ข้อ

2.7 ระยะเริ่มแก่ (R_7 หรือ beginning maturity) ฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำหรือน้ำตาลไหม้

การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ดังนั้นลักษณะการพัฒนาได้แก่วันออกดอก วันสิ้นสุดการออกดอก วันสุกแก่ ความสูงของลำต้น พื้นที่ใบ การสะสมน้ำหนักแห้ง ผลผลิต และอื่น ๆ ผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละฤดูกาล สถานที่และปี ถั่วเหลืองที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันเป็นพืชฤดูเดียว (Norman, 1978) การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะก่อนออกดอกเป็นการเจริญเติบโตเพื่อสร้างอาหารนำไปใช้ในการสร้างใบ กิ่ง ลำต้นและสะสมไว้สร้างดอก ฝักและเมล็ด ซึ่งการเจริญเติบโตในระยะนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ถั่วเหลืองได้รับ นอกจากนี้สภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองระยะหลังออกดอก เช่น การสร้างดอก ฝัก การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด รวมทั้งการสุกแก่ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533) ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลเด่นชัดต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วเหลือง ได้แก่ ช่วงแสง อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราปลูก (Lawn & Williams, 1986) สภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกที่ใช้ในการพิจารณาการปลูกพืชได้แก่ ลมฟ้าอากาศ โดยเฉพาะลมฟ้าอากาศที่อยู่ใกล้ระดับผิวดินสูงไม่เกิน 2 เมตร ซึ่งเรียกว่า Microclimate ซึ่งเป็นระดับที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก (เยาวลักษณ์ ฐิตวัฒนกุล, 2518)

อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วเหลือง

แสงสว่าง (light) แสงสว่างมีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม พลังงานแสงที่สองลงมายังพื้นโลกจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีและถูกเก็บสะสมไว้ในรูปต่าง ๆ เช่นในรูปของคาร์โบไฮเดรตโดยพืช ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์และสัตว์อีกต่อหนึ่ง ดังนั้นพลังงานจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช ขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และขบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์บอนต่าง ๆ ในพืชตระกูลถั่วเป็นขบวนการที่มีความสำคัญและเป็นแหล่งของการผลิตพลังงาน เพื่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว ทั้งสิ้นขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นขบวนการที่ผลิตอาหารให้แก่พืชซึ่งเป็นอาหารมนุษย์ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533)

เฉลิมพล แซมเพชร (2535) กล่าวไว้ว่า แสงเป็นปัจจัยที่พืชมีประสิทธิภาพการใช้ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากตัวพืชเองมีข้อจำกัดในการรับแสงและใช้แสงอยู่หลายประการ นอกเหนือไปจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีส่วนทำให้พืชใช้แสงได้ไม่เต็มที่ เช่นดินขาดความอุดมสมบูรณ์หรือขาดน้ำ หรืออุณหภูมิไม่เหมาะสม พืชมีโครงสร้างของทรงพุ่มและรวมทั้งการสะสมพื้นที่ใบที่ยังไม่เอื้ออำนวยต่อการรับแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อิทธิพลของช่วงแสง มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองเป็นอย่างยิ่ง ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วซึ่งจัดเป็นพืชวันสั้น (short day plant) การออกดอกได้รับอิทธิพลจากช่วงแสงแบบการตอบสนองแบบไม่เด่นชัด (facultive response) และถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ย่อมตอบสนองต่อช่วงแสงแตกต่างกันออกไป เนื่องจากมีช่วงแสงวิกฤต (critical daylength) แตกต่างกัน (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533)

Major และคณะ (1975) ได้อธิบายถึงอิทธิพลของช่วงแสงต่อการออกดอกในถั่วเหลืองว่า การออกดอกของถั่วเหลืองนั้นขึ้นอยู่กับช่วงแสงวิกฤต (critical daylength) ซึ่งได้แก่ความต้องการของช่วงแสงช่วงหนึ่งในถั่วแต่ละพันธุ์ หากช่วงแสงของบริเวณที่ถั่วเหลืองปลูกอยู่มากกว่า ช่วงแสงวิกฤตถั่วเหลืองจะออกดอกล่าช้าออกไป ในทางตรงกันข้ามหากช่วงแสงในพื้นที่ ๆ ปลูกถั่วเหลืองน้อยกว่าช่วงแสงวิกฤต ถั่วเหลืองก็จะออกดอกในเวลาน้อยที่สุด ซึ่งได้แก่ 30 วัน อภิพรรณ พุกภักดี (2533) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าเมื่อช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกสามารถทำให้ถั่วเหลืองออกดอกเร็วหรือช้าได้ ดังนั้นการเจริญเติบโตในระยะก่อนออกดอกก็ย่อมได้รับอิทธิพลของช่วงแสงได้เช่นกัน เมื่อการออก

ดอกล่าไปพืชก็จะมีเวลานานสำหรับการสร้างน้ำหนักแห้ง จึงทำให้ความสูง พื้นที่ใบ ตลอดจนกิ่งก้านสาขาเพิ่มขึ้นด้วย

อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช เมื่ออุณหภูมิผันแปรไปไม่ว่าจะต่ำกว่าหรือสูงกว่าอุณหภูมิเหมาะสม (optimum temperature) สำหรับพืชนั้น ๆ ก็จะส่งผลทำให้อัตราการเจริญและการพัฒนาของพืชนั้นลดลง อุณหภูมิไม่เหมาะสมนั้นจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการตรึงไนโตรเจน การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์และการสร้างละอองเกสรเพศผู้ เป็นต้น และอุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อผลผลิตโดยผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจได้เช่นกัน อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นในขณะที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่สูงขึ้น ในกรณีเช่นนี้ทำให้ผลผลิตลดลง (เฉลิมพล แซมเพชร, 2535)

อภิพรรณ พุกภักดี (2533) กล่าวไว้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิมีส่วนต่อการออกดอกของพืชตระกูลถั่วอีกด้วย หลังจากที่พืชได้รับการกระตุ้นจนสามารถสร้างดอกได้แล้วการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อจากนั้นจะทำให้อัตราการพัฒนาของดอกช้าลงจนถึงศูนย์หรือไม่มีการออกดอกเลย ถั่วเหลืองสามารถเจริญได้ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นเป็นพืชที่ทนต่ออุณหภูมิสูงและต่ำแต่อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสก็อาจจะทำให้โปรตีนเสื่อมลงไปได้เนื่องจากผลของความร้อนที่เกิดขึ้น อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมี และปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่างๆ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงเกินไปก็จะเกิดความร้อนกลับทำลายเอนไซม์เองได้

อุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ เช่น 10 องศาเซลเซียส จะทำให้การเจริญเติบโตช้าลง อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส ทำให้การออกดอกล่าช้าออกไป และทุก 0.5 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิที่ลดลงจะทำให้ออกดอกล่าช้าออกไป 2-3 วัน ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะได้เมล็ดขนาดใหญ่สุด และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสอัตราการพัฒนาจะสูงสุดมีจำนวนฝักต่อต้นสูงสุด ส่วนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอัตราการสร้างข้อและปล้องลดลง หรือที่อุณหภูมิระหว่าง 40-46 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงและถ้าติดฝักฝักจะร่วง นอกจากนี้อุณหภูมิสูงยังมีผลให้อัตราการหายใจสูงด้วยอาหารถูกเผาพลาญทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง เช่น น้ำหนักของเมล็ดลดลง 0.03 0.04 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 21 29 และ 31 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิสูงมากผลผลิตก็จะลดลงไปด้วย (Norman, 1978)

อิทธิพลระหว่างช่วงแสงและอุณหภูมิ ในพืชตระกูลถั่วการตอบสนองต่อช่วงแสงมักจะมีอิทธิพลของอุณหภูมิแทรกอยู่เสมอ ความเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่มีผลต่อการพัฒนาของพืชตระกูล

ถั่ว จึงเป็นผลเนื่องมาจากช่วงแสงและอุณหภูมิร่วมกัน อิทธิพลของช่วงแสงและอุณหภูมิมักจะแยกกันไม่ค่อยออก (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533) ในเขตอบอุ่นพบว่าถ้าช่วงแสงสั้นร่วมกับอุณหภูมิกลางคืนสูงจะเร่งการออกดอกแต่ถ้าวันยาวและอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ออกดอกช้า ช่วงแสงและอุณหภูมินอกจากจะมีอิทธิพลต่อการออกดอกแล้วยังมีอิทธิพลต่อการแก่ของเมล็ดด้วย กล่าวคือถ้าช่วงแสงสั้นและอุณหภูมิต่ำเมล็ดจะแก่เร็ว แต่ถ้าช่วงแสงยาวและอุณหภูมิสูงเมล็ดจะแก่ช้าลง (Whigham, Minor & Garmer, 1978)

หฤษฎี ภัทรดิลก (2534) พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 เมื่อปลูกเดือนพฤษภาคม ที่มีช่วงแสงยาวและอุณหภูมิสูง การออกดอกจะล่าช้าออกไปเป็น 42 วัน และเมื่อปลูกในเดือนธันวาคมที่มีช่วงแสงสั้นและอุณหภูมิต่ำจะออกดอกเมื่ออายุ 36.5 วัน แสดงว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ซึ่งเป็นพันธุ์เขตร้อนตอบสนองต่อช่วงแสงและอุณหภูมิโดยช่วงแสงยาวจะทำให้การออกดอกล่าช้าออกไป ส่วนอุณหภูมิสูงจะทำให้การออกดอกเร็วขึ้นและอุณหภูมิต่ำจะทำให้การออกดอกยืดยาวออกไป (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533)

น้ำและความชื้น (water and moisture) อิทธิพลของน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (available water) จะเกิดขึ้นได้เมื่อรากพืชจะเจริญไปในดินบริเวณที่มีความชื้นและดูดน้ำจนกระทั่งศักยภาพของน้ำในดินนั้นลดลง ส่วนของน้ำในดินที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ได้นี้เรียกว่า น้ำที่เป็นประโยชน์ (available water) ซึ่งอยู่ในระดับความชื้นในดินที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน (field capacity ; FC) และจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point ; PWP) (เฉลิมพล แซมเพชร, 2535)

เฉลิมพล แซมเพชร (2535) กล่าวว่า พืชแต่ละชนิดตอบสนองต่อการเกิดความเครียดน้ำไม่เหมือนกัน การเจริญของเซลล์จะไวต่อความเครียดน้ำมากที่สุดนั่นคือเมื่อพืชขาดน้ำ (water deficit) การเจริญของเซลล์จะได้รับการกระทบกระเทือนก่อน เมื่อขาดน้ำรุนแรงอีกจะนำไปสู่การสังเคราะห์โปรตีน ปฏิกิริยาของเอนไซม์ การสร้างคลอโรฟิลล์และการแบ่งตัวการขยายของเซลล์ลดลงทำให้ขบวนการสังเคราะห์แสงลดลงอันเป็นผลมาจากพืชมีแรงต้านทานของปากใบเพิ่มขึ้นและเซลล์ชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll) ก็มีแรงต้านต่อการไหลผ่านของ CO_2 เข้าสู่ศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงลดลง

น้ำเป็นปัจจัยแรกที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอก เมล็ดถั่วเหลืองจะงอกได้นั้นเมล็ดต้องมีความชื้นสูงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529) หลังจากเมล็ดงอกและต้นกล้าตั้งตัวได้แล้วจะกระทั่วเริ่มออกดอกจะทนแล้งได้พอสมควรโดยที่ผลผลิตไม่ต่ำลงแต่หลังจากออกดอกแล้วจะต้องการน้ำมากเพราะน้ำจะช่วยให้การติดฝักและการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดดีขึ้น (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533) ถ้าขาดน้ำในระยะการเจริญทางกิ่ง ก้าน ใบ จะทำให้อัตราการ

เจริญเติบโตขบวนการสังเคราะห์แสงและขบวนการสรีรวิทยาอื่นๆ ลดลงใบมีขนาดเล็กและต้นเตี้ยลง และถ้าเกิดภาวะขาดน้ำในระยะที่เมล็ดเต่ง (pod filling) จะทำให้ผลผลิตลดลง ซึ่งการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ พันธุ์ที่แก่เร็วจะปรับตัวในสภาพน้ำน้อยได้ดีกว่าพันธุ์ที่แก่ช้า (Norman, 1978) หรือถ้าดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงและมีความชื้นมากเกินไป เช่นในสภาพที่ฝนตกชุก ดินมีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชลงลงมีผลให้ปากใบปิดทำให้ปริมาณออกซิเจนในอาณาเขตของรากพืชลดลง (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533) ซึ่งในช่วงระยะก่อนออกดอกรากจะทนทานต่อสภาพระดับน้ำใต้ดินสูงแต่ในช่วงหลังการออกดอกพบว่ามีรากเพียงส่วนน้อยที่ทนได้ แต่ถ้าหลังจากช่วงติดฝักแล้วรากจะอ่อนแอต่อสภาพระดับน้ำใต้ดินสูง ดังนั้นถ้าเกิดน้ำท่วมขังในระยะหลังออกดอกจะมีผลทำให้ผลผลิตลดลง (Stanley et al., 1980)

อิทธิพลของอัตราปลูกต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต

อภิพรรณ พุกภักดี (2533) กล่าวว่าผลผลิตของถั่วเหลืองขึ้นกับองค์ประกอบของผลผลิต ซึ่งประกอบด้วย จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักหรือขนาดของเมล็ด องค์ประกอบดังกล่าวได้รับอิทธิพลมาจากพันธุกรรม สภาพแวดล้อมและการจัดการ โดยมีจำนวนเมล็ดต่อฝักและขนาดของเมล็ดถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมมากกว่าสภาพแวดล้อมส่วนจำนวนฝักต่อต้นถูกควบคุมโดยสภาพแวดล้อม หฤษฎี ภัทรดิลก (2534) และอดิศักดิ์ สุวิทวัส (2535) ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราปลูกสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นที่มีมากกว่าการลดลงของผลผลิตต่อต้น เอ็จ สโรบล (2521) อธิบายว่าการเพิ่มอัตราปลูกทำให้น้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นแต่จำนวนฝักต่อต้นลดลงซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราปลูกไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักของเมล็ดแต่มีแนวโน้มว่าถ้าให้อัตราปลูกเพิ่มขึ้นจะทำให้ฝักลีบและและความสูงต้นถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น พร้อมกันนี้ได้เสนอว่าอัตราปลูกที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยควรเป็น 362,000 ต้นต่อเฮกตาร์ หรือประมาณ 40 ต้นต่อตารางเมตร แต่สำหรับพันธุ์ สจ.4 สามารถปลูกได้ 424,000 ต้นต่อเฮกตาร์ หรือประมาณ 50 ต้นต่อตารางเมตร และในทำนองเดียวกัน อรุณวรรณ วงศ์มณีโรจน์ (2534) ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 และ นว.1 ปลูกที่อำเภอปากช่อง และกำแพงแสนพบว่าการเพิ่มอัตราปลูกจาก 200,000 เป็น 400,000 ต้นต่อเฮกตาร์ มีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอัตราปลูกจาก 400,000 เป็น 600,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ไม่ทำให้ผลผลิตเปลี่ยนแปลง จึงแนะนำให้ใช้อัตราปลูก 400,000 ต้นต่อเฮกตาร์ Beaver & Johnson (1981) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองที่มีการเจริญเติบโตแบบ determinate และ indeterminate พบว่าผลผลิตเมล็ดของถั่วเหลืองทั้งสองแบบเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เมื่อระยะระหว่างแถวแคบลงจาก 80 เซนติเมตร แต่ผลผลิตของระยะปลูกระหว่างแถว 20 และ 50 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกัน สำหรับพันธุ์ Elf ซึ่งมีการเจริญแบบ determinate สามารถ

ใช้อัตราปลูก 279,000-400,000 ต้นต่อเฮกตาร์ หฤษฎี ภัทรดิลก (2534) และอดิศักดิ์ สุวิทวัส (2535) พบว่า การเพิ่มอัตราปลูกถั่วเหลืองจากอัตรา 200,000 เป็น 400,000 และ 800,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ผลผลิตเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

Duncan (1986) ได้ทำการตรวจเอกสารย้อนหลัง 50 ปี และเสนอความคิดว่าการแบ่งอัตราปลูกออกเป็น 3 ระดับ คือ อัตราต่ำ (น้อยกว่า 3 ต้นต่อตารางเมตร) อัตรานี้จะไม่มีการแข่งขันเกิดขึ้นต้นถั่วเหลืองเจริญเติบโตเต็มที่ อัตราปานกลาง (3-32 ต้นต่อตารางเมตร) อัตราปลูกระดับนี้ทรงพุ่มมีการรับแสงและมีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามอัตราปลูกและอัตราปลูกที่สามคืออัตราสูง (มากกว่า 32 ต้นต่อตารางเมตร) มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตไม่มากนักถ้าเปลี่ยนแปลงอัตราปลูก

ความแตกต่างระหว่างถั่วแระญี่ปุ่นกับถั่วเหลืองไร่

ถั่วแระญี่ปุ่นเป็นถั่วเหลืองที่มีฝักขนาดใหญ่ บริโภคเมล็ดในระยะเมล็ดเต่งเต็มที่แต่ฝักยังมีสีเขียวอยู่ อายุเก็บเกี่ยวฝักสดประมาณ 65 วัน หลังจากหยอดเมล็ด ฝักที่ได้มาตรฐานส่งตลาดญี่ปุ่นจะต้องมีเมล็ดตั้งแต่ 2 เมล็ดขึ้นไป ความยาวฝักไม่น้อยกว่า 4.5 ซม. ฝัก 1 กิโลกรัมมีจำนวนฝักไม่เกิน 350 ฝัก และไม่มีรอยตำหนิใด ๆ บนฝัก ลำต้นเป็นพุ่มเตี้ย มี 7-10 ข้อ และแขนง 2-3 แขนง เมล็ดพันธุ์มีขนาดใหญ่ โดยเมล็ด 100 เมล็ดจะมีน้ำหนักประมาณ 25-35 กรัม ส่วนใหญ่บริโภคฝักสดเป็นอาหารว่าง โดยต้มทั้งฝักในน้ำเดือดใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 5-6 นาที โรยเกลือเล็กน้อยเพื่อเพิ่มรสชาติ หรือแกะเมล็ดออกจากฝักนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น ผัดกับกุ้ง แกงส้ม ข้าวผัด และใช้แทนถั่วลันเตากระป๋องได้เป็นอย่างดี

ถั่วเหลืองไร่ เป็นถั่วเหลืองที่มีฝักขนาดเล็ก เมล็ด 100 เมล็ดหนักเพียง 12-18 กรัม ลำต้นตั้งตรง มักเป็นลำต้นเดี่ยวไม่มีแขนง ใช้ประโยชน์จากเมล็ดแห้ง เช่น นำไปสกัดน้ำมันหรือแปรรูปเป็นอาหารโปรตีนต่าง ๆ (กรุง สีตะธนีและ สิริกุล วะสี, 2538)

พันธุ์ปลูกที่เหมาะสม

พันธุ์ถั่วแระญี่ปุ่นส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ในประเทศญี่ปุ่น โดยบริษัทผลิตเมล็ดพันธุ์ของเอกชนและหน่วยงานของรัฐ ผู้บริโภคต้องการฝักสดคุณภาพดี มีขนาดใหญ่ รสชาติหวานมัน เมล็ดนุ่ม สีฝักเขียว ส่วนผู้ปลูกต้องการพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง อายุเก็บเกี่ยวสั้นเพื่อให้สามารถส่งผลผลิตสู่ตลาดได้ก่อน ต้านทานโรค เป็นต้น การปรับปรุงพันธุ์ถั่วแระในประเทศญี่ปุ่น จึงมักมุ่งเน้นให้ได้พันธุ์ที่สามารถปลูกได้ดีในแต่ละท้องถิ่น เพราะภูมิประเทศของญี่ปุ่นเป็นเกาะค่อนข้าง

ยาวต่อเนื่องกันระหว่าง 25-45 องศาละติจูดเหนือ ทำให้สภาพแวดล้อมในแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันอย่างมากมาย โดยเฉพาะช่วงแสงและอุณหภูมิแม้ว่าถั่วเหลืองเป็นพืชวันสั้นแต่ในแหล่งปลูกทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่นพันธุ์ปลูกจะตอบสนองต่ออุณหภูมิสูง เมื่ออากาศอบอุ่นขึ้นจนถึงระดับที่พอเพียงจึงจะเริ่มเกิดตาดอก ส่วนในแหล่งปลูกทางตอนใต้หรือในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน พันธุ์ถั่วแระที่ให้ผลผลิตดีเป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อวันสั้น แต่ไม่ตอบสนองต่ออุณหภูมิสูง (28 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นการปรับตัวของพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสามารถอยู่รอดได้จากการทดสอบพันธุ์ถั่วแระที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นมากกว่า 30 พันธุ์ ณ ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน พบว่า ทุกพันธุ์ออกดอกได้ แต่มีเพียง 3-4 พันธุ์เท่านั้นที่ให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ พันธุ์ที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดีที่สุด ให้ผลผลิตเฉลี่ยในฤดูกาลต่างๆ สูงสุด และฝักสดมีคุณลักษณะตามความต้องการของตลาดญี่ปุ่นคือ พันธุ์ AGS 292 จึงได้รับการตั้งชื่อใหม่ว่า กพส. 292 หรือ KPS 292 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักแห่งเอเชีย (AVRDC) ไต้หวัน ทดสอบแล้วได้ผลดีเช่นเดียวกัน มีการปลูกอย่างแพร่หลายในไต้หวันถึง 80% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดและใช้ชื่อพันธุ์ว่า "เกาชุง#1" (Kaohsiung#1) พันธุ์ดั้งเดิมของพันธุ์ AGS 292 คือ พันธุ์ Taichoshiroge จากประเทศญี่ปุ่นมีลักษณะประจำพันธุ์ดังนี้ (กรุง สีตะธนีและ สิริกุล วะสี, 2538)

1. กลีบดอกสีม่วง
2. อายุดอกบานสะพรั่ง ประมาณ 28-32 วันหลังจากหยอดเมล็ด
3. จำนวนข้อ ประมาณ 9-10 ข้อ
4. จำนวนแขนง ประมาณ 3-4 แขนง
5. ความสูง ประมาณ 50-60 ซม.
6. ขนที่ฝักสีขาว
7. น้ำหนักฝัก 2 เมล็ด เฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 2.7 กรัม/ฝัก
8. ความยาวฝัก 2 เมล็ด ประมาณ 4.5-5 ซม.
9. อายุเก็บเกี่ยวฝักสด 62-65 วันหลังจากหยอดเมล็ด
10. ผลผลิตฝักสดเฉลี่ย 800-1,000 กก./ไร่
11. ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ 250 กก./ไร่

สำหรับพันธุ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับพันธุ์ KPS 292 แต่ให้ผลผลิตรองลงมาคือ พันธุ์ Shironomai นอกจากนี้ยังมีพันธุ์อื่น ๆ อีกหลายพันธุ์เช่น White Lion, Oofurisode Tengamine, Karitea ให้ผลผลิตสูงในฤดูหนาว ส่วนในฤดูร้อนผลผลิตต่ำมาก แต่รสชาติของเมล็ดหวานมันอร่อยกว่าพันธุ์ KPS 292 เหมาะสำหรับการปลูกเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศ

ฤดูปลูกและแหล่งปลูก

การปลูกถั่วแระญี่ปุ่น โดยใช้พันธุ์ KPS 292 สามารถปลูกได้ดีเกือบตลอดทั้งปี ยกเว้นฤดูร้อนช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงที่ปลูกถั่วเหลืองฝักสดแล้วได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ เพราะดอกจะทยอยบานต่อเนื่องเป็นเวลานาน กว่า 14 วัน ทำให้การแก่ของฝักไม่พร้อมกัน ยากแก่การกำหนดวันเก็บเกี่ยว และอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้อัตราการเกิดฝักที่มีเมล็ดลีบทั้งฝัก และฝักที่มีเมล็ดลีบบางเมล็ดสูงขึ้น ฝักมีขนาดเล็กลงทำให้จำนวนฝักตกเกรดมีมากขึ้น เป็นผลให้ผลผลิตต่ำ จึงควรหลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงที่อากาศร้อนจัด สำหรับแหล่งปลูกเพื่อการส่งออกไม่ควรอยู่ห่างจากโรงงานแช่แข็งมากนัก ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกในการรวบรวมผลผลิต และใช้เวลาขนส่งสั้น สามารถรักษาคุณภาพผลผลิตหลังจากเก็บเกี่ยวจนกระทั่งเข้าสู่โรงงานได้ดี อย่างไรก็ดีแหล่งปลูกที่ดีจะต้องมีแหล่งน้ำชลประทานเพียงพอตลอดอายุปลูก

การเตรียมแปลงและการปลูก

การเตรียมแปลงปลูกทำเช่นเดียวกับการปลูกผักทั่ว ๆ ไป โดยไถพรวน 2 ครั้ง เพื่อให้ดินร่วนและเป็นการกำจัดวัชพืชจากนั้นจึงยกร่อง ซึ่งระยะระหว่างร่องขึ้นกับระบบการให้น้ำ ถ้าปรับพื้นที่สำหรับให้น้ำแบบปล่อยตามร่อง ควรยกร่องห่างกันประมาณ 1-1.2 เมตร มีพื้นที่สันแปลงประมาณ 50-60 ซม. ปลูกได้ 2 แถว ตามขอบแปลง ถ้าสภาพแปลงปลูกไม่ค่อยสม่ำเสมอ หลักจากยกร่องแล้วควรปล่อยน้ำลงในร่องก่อนปลูก จะเห็นรอยระดับน้ำตลอดแนวร่อง เมื่อดินหมาดจึงแซะเปิดหน้าดินหยอดเมล็ดเหนือรอยระดับน้ำเล็กน้อยถ้าดินชื้นดีอาจไม่ต้องให้น้ำอีกแต่ถ้าดินแห้งควรให้น้ำอีกครั้งเท่ากับระดับที่เคยให้น้ำมาก่อน วิธีนี้ทำให้เมล็ดถั่วเหลืองฝักสดได้รับความชื้นพอเหมาะเป็นผลให้เมล็ดงอกพร้อมกันและเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง ระยะปลูกระหว่างแถวขึ้นกับความกว้างของร่อง ส่วนระยะระหว่างต้นประมาณ 15-20 ซม. หยอดเมล็ด 2-3 เมล็ดต่อหลุม ซึ่งจำนวนต้นต่อพื้นที่ที่เหมาะสมคือ 20-25 ต้น/ตารางเมตรโดยใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 12-15 กก./ไร่ ถ้าระบบให้น้ำเป็นแบบฉีดพ่อฝอยควรยกแปลงกว้าง 3-4 เมตรหรือตามระยะฉีดของหัวพ่นฝอย หยอดเมล็ดบนแปลงเป็นแถวเช่นกันแต่ใช้ระยะปลูกแคบลงเป็น 20x25 ซม. ให้มีจำนวน 1-2 ต้น/หลุม สำหรับการปลูกถั่วแระในนาข้าวหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วสามารถหยอดเมล็ดลงแปลงปลูก โดยไม่ต้องไถพรวนก็ได้ ถ้าดินแห้งควรปล่อยน้ำท่วมแปลงปลูกก่อนประมาณ 3-4 วันแล้วจึงปลูก และเมื่อต้นถั่วอายุ 15-20 วัน ควรใส่ปุ๋ย พรวนดิน ถากหญ้า พูนโคน พร้อมกันไปจะทำให้ร่องที่เกิดขึ้นระหว่างแถวถั่วกลายเป็นร่องสำหรับให้น้ำต่อไป การใช้ระยะปลูกแคบมีแนวโน้มที่จะได้ผลผลิตมากขึ้นแต่ระยะปลูกที่แคบเกินไปทำให้สิ้นเปลืองเมล็ดพันธุ์มากขึ้นและการปฏิบัติดูแลรักษาทำได้ยากขึ้นด้วย

การดูแลรักษา

1. **การให้ปุ๋ย** ให้ปุ๋ยเคมี 3 ครั้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

รองก้นหลุมก่อนปลูกด้วยปุ๋ยสูตร 0-46-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 15-15-15 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่

หลังปลูกประมาณ 25 วัน หว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วพรวนดินกลบ

หลังปลูกประมาณ 45 วัน หว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 13-13-21 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ ระหว่างแถวบนสันร่องหลังให้น้ำ

2. **การให้น้ำ**

ในฤดูแล้ง ควรให้น้ำตามร่องก่อนหยอดเมล็ด สูงประมาณเศษ 3 ส่วน 4 ของร่อง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินมีความชื้น เมล็ดจะงอกสม่ำเสมอ

ควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ 7-10 วันต่อครั้ง และควรให้น้ำหลังให้ปุ๋ยทุกครั้ง

ต้องไม่ให้ถั่วเหลืองฝักสดขาดน้ำในระยะติดฝัก เพราะจะได้ฝักและเมล็ดที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ถั่วเหลืองฝักสดต้องการน้ำมากน้อยตามระยะการเจริญเติบโตดังนี้ (กรุง สีตะธนีและ สิริกุลวะสี, 2538)

ระยะก่อนเมล็ดงอก หลังจากหยอดเมล็ดลงแปลงปลูกเมล็ดต้องการความชื้นพอสมควรแต่ไม่มากจนแฉะ เพราะขณะที่เมล็ดงอกเมล็ดต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นถ้าสภาพแปลงปลูกแฉะเกินไปจะเกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์และเป็นผลให้ขบวนการงอกไม่สมบูรณ์เมล็ดมักจะเน่าเสียหาย หรือถ้างอกได้จะเจริญเติบโตช้าต้นแคระแกร็น

ระยะออกดอกจนถึงฝักเต่ง อายุประมาณ 25-65 วัน เป็นระยะที่ต้นถั่วแระญี่ปุ่นต้องการน้ำมากกว่าระยะต้นกล้าและถ้ามีการขาดน้ำในช่วงนี้มักจะทำให้ผลผลิตตกต่ำ ดังนั้นจึงควรให้น้ำสม่ำเสมอและพอเพียงจนถึงวันเก็บเกี่ยว และการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอนี้ช่วยให้สีฝักแก่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองช้าลง เป็นการยืดอายุเก็บเกี่ยวออกไปได้อีก 2-3 วันผลผลิตจะสูงขึ้นอีกเล็กน้อย

การเก็บเกี่ยว (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

1. **ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม**

เก็บเกี่ยวตามอายุของพันธุ์ที่ปลูก (ประมาณ 62-65 วัน) หรือระยะเมล็ดเต็มฝักประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของต้นโดยฝักยังมีสีเขียวอยู่

2. **วิธีการเก็บเกี่ยว**

ใช้กรรไกรตัดติดขั้วฝักเฉพาะฝักที่ได้มาตรฐานในแปลงปลูก หรือใช้เคียวเกี่ยวต้น นำเข้าโรงเรือน วางบนแคร่ยกพื้นหรือผ้าใบที่สะอาด แล้วใช้กรรไกรตัดติดขั้วฝักเฉพาะฝักที่ได้มาตรฐาน

ภาชนะที่ใช้บรรจุถั่วเหลืองฝักสด ต้องสะอาดและต้องไม่เป็นภาชนะที่ใช้ใส่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทุกชนิด

ต้น ใบ ที่ปลิดออกและฝักถั่วเหลืองที่ไม่ได้มาตรฐานควรไถกลบบำรุงดิน ทำให้พืชที่ปลูกตามมามีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น

วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

1. **การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว** คัดเฉพาะฝักสีเขียวสด ไม่มีรอยตำหนิ ปราศจากการทำลายของโรคและแมลง มีขนาดตรงตามมาตรฐานเพื่อการส่งออก คือ มี 2-3 เมล็ดต่อฝัก ยาวไม่น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และกว้างไม่น้อยกว่า 1.5 เซนติเมตร

บรรจุฝักในถุงตาข่ายไนลอนที่สะอาด ถุงละ 30-50 กิโลกรัม

ควรวางถุงบรรจุถั่วเหลืองฝักสดไว้ในที่ร่ม ไม่ให้ถูกแสงแดด ขณะรอการขนส่งสู่ตลาดเพื่อจำหน่าย

2. **การขนส่ง** เตรียมการเรื่องผู้รับซื้อและยานพาหนะในการขนส่งไว้ล่วงหน้า ก่อนการเก็บเกี่ยว

รถบรรทุกต้องสะอาด และเหมาะสมกับปริมาณถั่วเหลืองฝักสด ไม่ควรเป็นรถที่ใช้บรรทุกดิน สัตว์ มูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เพราะอาจมีการปนเปื้อน ยกเว้นจะมีการทำความสะอาดที่เหมาะสมก่อนนำมาบรรทุก

ถั่วเหลืองฝักสดที่จะนำไปจำหน่าย ต้องส่งให้ถึงตลาดภายใน 6 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพด้านรสชาติ

คุณค่าถั่วเหลืองฝักสดและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ถั่วเหลืองฝักสด (vegetable soybean) หรือ green soybean หรือ “branched bean” คือ ถั่วที่มีการแตกกิ่งก้านสาขา คนจีนเรียกว่า Matou หมายถึง “hairy bean” เป็นถั่วที่มีขนรสชาติหวาน เนื้อสัมผัสนิ่มและความสามารถในการย่อยดีกว่าถั่วเหลืองไร่ ปกติถั่วเหลืองฝักสดจะวางขายทั่วไปในลักษณะแกะฝักแล้วนำไปแช่แข็ง การยอมรับของผู้บริโภคในญี่ปุ่นจะเน้นคุณ 3 ลักษณะที่สำคัญได้แก่ รสชาติ ความหวาน และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยนักผสมพันธุ์พืชซึ่งจะมีการคัดเลือกถั่วที่มีคุณภาพ ในลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ โดยรสชาติ จะมีการทดสอบน้ำตาลซูโครส กรดกลูตามิคและอะลานีน กลิ่นรสมีกลิ่นหอมคล้ายดอกไม้ และมีกลิ่นถั่วนำ (Konovsky et. al., 1994)

ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเลือกถั่วที่มีความหวาน ในช่วง 8.5-12.0 บริกซ์ แต่จะต้องทำการลวกถั่วนาน 5-7 นาทีในน้ำร้อนที่เติมเกลือ หลังจากนั้นนำมาสะเด็ดน้ำ นำไปเสริฟในสภาพร้อนหรือเย็นก็ได้ (Masuda, 1991) โดยถั่วที่ผ่านการลวกนี้จะเป็นแหล่งของวิตามินซี วิตามินอี และเยื่อใย มีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องคือ เอนไซม์ทริปซินถูกยับยั้งในระหว่างการให้ความร้อนรวมถึงสารต้านทานคุณค่าทางโภชนาการในถั่วเหลืองฝักสด

ส่วนคนไทยเรียกถั่วชนิดนี้ว่า “ถั่วแระ” คนญี่ปุ่นเรียก “Edamame” หรือจีนเรียกว่า “Matou” มีการเพาะปลูกในแถบเอเชียตะวันออก เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี (สุวิมล กาตะกูล, 2543)

ถั่วชนิดนี้จะนำฝักมาบริโภคในระยะก่อนถั่วจะแก่ โดยฝักจะเต่งเต็มที่ เมล็ดยังมีสีเขียว ปัจจุบันชาวญี่ปุ่นบริโภคถั่วเหลืองฝักสดปีละประมาณ 150,000 ตัน แต่ต้นทุนการผลิตสูง จึงนำเข้าจากต่างประเทศร้อยละ 50 ของความต้องการบริโภคภายในประเทศ โดยมีจีน ไต้หวัน ประเทศไทย และอินโดนีเซียเป็นผู้ส่งออกที่สำคัญ

แหล่งปลูกถั่วเหลืองของไทยกระจายอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ ทางภาคเหนือ เช่น กำแพงเพชร เชียงราย เชียงใหม่ น่าน แพร่ พิจิตร ลำปาง พิษณุโลก เพชรบูรณ์ และอุทัยธานี ที่นิยมบริโภคภายในประเทศเป็นพันธุ์เชียงใหม่ 1 ปลูกมากในเพชรบุรี นครสวรรค์ สระบุรี และกาญจนบุรี แต่ปลูกยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากเมล็ดหายากและราคาแพง (www.namjai.com, 20/10/47)

ในปี 2547 กรมส่งเสริมการเกษตร ได้ทำโครงการปลูกถั่วเหลืองฝักสดเพื่อส่งเสริมการปลูกถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์เชียงใหม่ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์สำหรับบริโภคสด เพราะเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนสูง และคนไทยส่วนใหญ่ยังไม่ค่อยรู้จักถั่วเหลืองฝักสด และยังไม่รู้จักข้อมูลเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองฝักสดที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นอย่างมาก เพราะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูก เมื่อเทียบกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์ มีวิตามิน เอ บี ซี มีแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการ เช่นเหล็ก แคลเซียม รวมทั้งใยอาหาร (Masuda cite in Shanmugasundarm, 1991) มีไอโซฟลาโวน ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยง

ต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ลดความเสี่ยงเป็นมะเร็งต่อมลูกหมาก ลดอาการมือชา เท้าชา และอาการอื่น ๆ ในสตรีวัยหมดประจำเดือน มีการรณณรงค์ให้ประชาชนบริโภคถั่วเหลืองฝักสด ในรูปอาหารหลักและอาหารว่าง เช่น อาหารหลักนำมาทำไข่เจียวถั่วเหลืองฝักสด แกงถั่วเหลืองฝักสด น้ำพริก ส่วนอาหารว่างนำมาทำข้าวเหนียวเปียกถั่วเหลืองฝักสด ไอศกรีม ซึ่งต้องพัฒนาสูตรง่าย ๆ เพื่อให้รสชาติอร่อย

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ถั่วเหลืองฝักสดนี้ผู้บริโภค มักจะเรียกว่าถั่วที่มีสีเขียวสด ฝักยังไม่แก่เต็มที่จะวางขายในซุปเปอร์มาเก็ตเป็นส่วนใหญ่ มักจะเป็นลักษณะถั่วเหลืองฝักสดที่แข่แข็ง ได้มีการกล่าวขานกันว่าจัดเป็นถั่วที่มหัศจรรย์ เพราะถั่วชนิดนี้มีกรดอะมิโนทั้งหมด 9 ชนิด เป็นแหล่งโปรตีนที่อุดมสมบูรณ์ เปรียบเทียบได้กับไข่ ในการบริโภคประชาชนมักนิยมแกะเมล็ดออกจากฝัก ในเอเชียตะวันออก ผู้บริโภคนิยมนำมาบริโภคในรูปของสแนค (Snack) หรือขนมขบเคี้ยวหรืออาจจะรับประทานโดย นำถั่วมาแปรรูปเป็น ซุป หรือนำมาแปรรูปเป็นอาหารชนิดอื่น ๆ และมีการเติมน้ำตาลเพื่อปรุงรส หรือมีการทำน้ำสลัด ทำลูกกวาด เป็นต้น

คุณภาพของถั่วเหลืองฝักสด และการเก็บเกี่ยว

ถั่วชนิดนี้มีเอนไซม์ ทริปซิน (Trypsin) ค่อนข้างต่ำ มีความสามารถในการย่อย น้ำตาล (โอลิโกแซคคาไรด์) ได้น้อย แต่มีน้ำมันมากมาย เมล็ดถั่วชนิดนี้ใหญ่กว่าเมล็ดถั่วเหลืองไร่ สามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่าง ๆ ได้มากมาย มีรสชาติหวานเล็กน้อย รสชาติอ่อนนุ่ม มีเนื้อสัมผัสคล้ายผลไม้ สามารถบดให้ละเอียดได้ง่าย เนื่องจากมีเยื่อหุ้มเปลือกบาง ปัจจัยที่สำคัญในรสชาติขึ้นอยู่กับความหวานและความเปรี้ยว โดยความหวานจะวัดหรือทดสอบหาบริมาณน้ำตาลซูโครส และความเปรี้ยวจะทดสอบปริมาณกรดกลูตามิค รสชาติของถั่วจะดีหรือไม่ดีนั้น ขึ้นอยู่กับพันธุ์, การใส่ปุ๋ย, ระยะปลูก, วิธีการเก็บเกี่ยว และวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม การคัดเลือกพันธุ์ (Masuda, 1989) มีรายงานวิจัยกล่าวว่า ถั่วเหลืองฝักสดที่เมล็ดใหญ่จะมีปริมาณน้ำมันสูง และปริมาณโปรตีนน้อยกว่าเมล็ดถั่วเหลืองฝักสดที่มีเมล็ดขนาดเล็ก และยังพบอีกว่าในถั่วเหลืองฝักสด ที่โปรตีนสูงจะมีรสชาติไม่หวาน การยอมรับการบริโภคของถั่วเหลืองฝักสดนี้ โดยทั่วไปผู้บริโภคจะยอมรับในลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และลักษณะความนุ่ม หลังจากนำมาแปรรูปแล้ว นอกจากนี้ ถั่วเหลืองฝักสดจะให้รสหวานในระยะที่แก่เต็มที่ ให้บริมาณสารอาหารที่ได้สูงสุดมาก เช่น (Z)-3-hexenyl acetate, linalool, acetophenone และ cis-jasmone (Sugawara et al., 1988)

ข้อแตกต่างของถั่วเหลืองไร่กับถั่วเหลืองฝักสด ที่สำคัญได้แก่ ถั่วเหลืองฝักสดจะมีเมล็ดใหญ่กว่า รสชาติของเมล็ดหวานกว่า และความสามารถในการย่อยได้ดีกว่า (Konnovsky et al., 1994)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดประกอบด้วย ลักษณะ ปรากฏ รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัสและคุณค่าทางอาหาร สีของฝักจะเป็นปัจจัยที่สำคัญโดยเฉพาะฝักที่มีสีเขียว จะเป็นที่ต้องการมาก ส่วนฝักที่มีสีเหลือง บ่งบอกถึงการลดลงของความสด และปริมาณกรดแอสคอร์บิค ผู้บริโภคโดยทั่วไปจะดูรูปร่าง สีสรรก่อนอันดับแรก ส่วนรสชาติรองลงมา รสชาติของถั่วเหลืองฝักสดมีความสัมพันธ์กับน้ำตาลซูโครส และกรดอะมิโน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดกลูตามิค และอะลานีน นอกจากนั้นกลิ่นและความนุ่มหรือแข็งของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับการยอมรับของผู้บริโภคด้วย

โดยทั่วไปในการเก็บเกี่ยว ฝักถั่วเหลืองฝักสดจะดูจากสีและความเต่งของฝัก การเก็บเกี่ยวช้าทำให้ฝักหนาและเต่งขึ้น แต่คุณภาพไม่ดี เนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนและสีเขียวของฝักจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นต้องเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองฝักสดที่เหมาะสม มีความจำกัดเพียง 2-3 วัน เท่านั้น หลังจากการเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองฝักสด น้ำตาลจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น และกรดอะมิโนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อะลานีนและกรดกลูตามิค จะลดลง 2/3 และ 1/2 เท่า เมื่อฝักถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 26 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 66% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และในขณะเดียวกันรสชาติและความหวานจะลดลงหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว 10 ชั่วโมง

การคัดเลือกฝักหรือแยกเกรด

การคัดเลือกฝักหรือแยกเกรด มักจะทำเพื่อสะดวกในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคและเพื่อนำส่งโรงงานแปรรูป โดยมีการแบ่งเกรด 4 เกรด (สุวิมล กาตะกูล, 2543) คือ

เกรดเอ (A) ลักษณะฝักมีเมล็ดข้างในสมบูรณ์ตั้งแต่ 2 เมล็ดขึ้นไปเมล็ดมีความเต่งดีฝักไม่มีตำหนิจากโรค 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) ฝักมีตำหนิหรือเสียหายเล็กน้อยแต่ภายนอกฝักมีลักษณะบิดงอหรือมีรูปร่างผิดปกติจนทำให้เมล็ดข้างในบิดงดเสียหายเนื่องจากเส้นสันฝักฉีกมากกว่า 1/3 % ของฝัก ฝักแตกหรือเมล็ดเสียหาย 1 เมล็ด ฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย

เกรดดี (D) ฝักเสียหายหนัก คือ ฝักแตกทำให้เห็นเมล็ดข้างในทั้งฝัก ฝักมีสีเหลืองจัดเมล็ดลีบฝักอ่อนเกินไป แมลงหรือหนูเจาะ ทำให้เมล็ดเสียหายทุกเมล็ดของฝัก

ปกติโรงงานจะรับซื้อเฉพาะเกรด เอ และบี เท่านั้น เพื่อแช่แข็งส่งขายต่างประเทศ 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

การแปรรูปถั่วเหลืองฝักสดในอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกจะอยู่ในลักษณะแช่เยือกแข็งทั้งสิ้น แต่มีข้อจำกัดมากมาย เช่น พันธุ์ มาตรฐานการส่งออก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นจะมีมาตรฐานของสินค้าสูงส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน ก็จะโดนหักราคาหรือขายไม่ได้จึงน่าจะมีทางเลือกอื่น เช่น นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองฝักสดบรรจุกระป๋อง เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าและรายได้ให้แก่เกษตรกร (สุวิมล กาตะกูล, 2543)

การแปรรูปถั่วเหลืองฝักสด

ตลาดของถั่วเหลืองฝักสดขายในรูปของสด และแช่แข็ง ที่วางขายในท้องตลาดจะบรรจุใส่ถุงพลาสติก 2 กิโลกรัม ในถุงต้องใส่อากาศให้เต็มในอัตราส่วน 20:80 CO_2 และ N_2 และ 40:60 CO_2 : N_2 และนำไปเก็บที่ 3-5 องศาเซลเซียส แต่ละตัวอย่างเก็บได้ 2 วัน แต่ถ้าในทางธุรการค้า ถั่วชนิดนี้สามารถเก็บได้ 10-14 วัน โดยที่ไม่สูญเสียคุณภาพ โดยมักเก็บถั่วแช่แข็งในระบบ IQF ซึ่งมีข้อสังเกตว่า ชาวอเมริกันชอบถั่วที่แก่เต็มที่ ส่วนชาวญี่ปุ่นบางเมืองชอบถั่วต้มรสหวาน, เนื้อสัมผัสดีกรอบ มีกลิ่นคล้ายดอกไม้ (Johnson et al., 1999)

ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองฝักสดที่นิยมบริโภคและมีประโยชน์ต่อร่างกาย

1. น้ำนมถั่วเหลืองฝักสด โดยทั่วไปเรียกว่า น้ำเต้าหู้ มีประชาชนนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง เพราะประชาชนเกิดความรู้ความเข้าใจในคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมถั่วเหลืองมากขึ้น ใช้เป็นอาหารเสริมมาแทนนมวัวได้ดี ในทางการค้ามักจะใส่สาหร่ายทะเลเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ใส่ข้าวมอลต์เพื่อเพิ่มความหวาน หรืออาจจะมีการเติมกลิ่นวานิลลา โดยทั่วไปในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบปลอดเชื้อจะเก็บได้นานเป็นปี แต่ถ้าเปิดกล่องน้ำนมออกเก็บได้ประมาณ 1 อาทิตย์ ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการของนมถั่วเหลืองฝัดสด ต่อ 1 ถ้วยมีคุณภาพดังนี้ คือ ให้คาลอรี่ 81 ปริมาณไขมันทั้งหมด 4.7 กรัม กรดไขมันอิ่มตัว 0.5 กรัม ไขมันไม่อิ่มตัวโมโน 0.8 กรัม กรดไขมันไม่อิ่มตัว 2 กรัม เยื่อใย 3.2 กรัม โปรตีน 7 กรัม คาร์โบไฮเดรต 4 กรัม โคเลสเตอรอล 0 มิลลิกรัม

โซเดียม 29 มิลลิกรัม ไทอามีน 0.4 มิลลิกรัม ทองแดง 0.3 มิลลิกรัม แมงกานีส 0.4 มิลลิกรัม เป็นต้น (www.wholehealth.com : soymilk 20/8/47)

2. ถั่วเหลืองฝักสดต้ม มักจะใช้ต้มในน้ำผสมเกลือ ถั่วปอกเปลือกลวกในน้ำเดือด 10-15 นาที ทำให้รสชาติดีและเหนี่ยวนำการสร้างสารฟูแรนและคีโตน (Furans and Ketones) ซึ่งจะทำให้ถั่วมีกลิ่นหอมฟุ้ง (http://www.hort.purdue.edu) และยังให้คุณค่าทางอาหารดังนี้ คาลอรี่ 127 ปริมาณไขมันทั้งหมด 5 กรัม กรดไขมันอิ่มตัว 0.7 กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดเดียว 1.1 กรดไขมันอิ่มตัวแบบโพลี 2.7 กรัม เยื่อใย 3.8 กรัม โปรตีน 11 คาร์โบไฮเดรท 10 กรัม โคเลสเตอรอล 0 มิลลิกรัม โซเดียม 13 มิลลิกรัม ไทอะมีน 0.2 มิลลิกรัม วิตามินซี 15 มิลลิกรัม แคลเซียม 131 มิลลิกรัม ไอรอน 2.3 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 54 มิลลิกรัม และโปตัสเซียม 48 มิลลิกรัม

คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองฝักสด

ถั่วเหลืองฝักสด จัดเป็นพืชที่ชาวจีนบริโภคมานานแล้ว มีสรรพคุณทางอาหารและยา โดยเฉพาะมนุษย์ มักจะนิยมบริโภค มากกว่าถั่วเหลืองไร่ เพราะถั่วเหลืองฝักสด ให้รสหวาน สามารถบริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยว ซึ่งนำมาคั่วและโรยเกลือคล้าย ๆ กับเมล็ดถั่วลิสงทอดกรอบ สำหรับถั่วเหลืองฝักสด และชนิดที่นำไปแช่แข็งมักจะนำไปแปรรูปได้ ยังให้รสหวานเช่นเดิม และพืชชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวคือ

ถั่วเหลืองฝักสดให้โปรตีนสูงถึง ร้อยละ 35-38 (คิดจากน้ำหนักแห้ง) มีไขมัน ร้อยละ 5-7 (น้ำหนักเปียก) ยังเป็นแหล่งของที่ดีของ Isoflavones (78-220 มิลลิกรัม/กรัม) และวิตามิน อี อยู่ในช่วง 84-128 ไมโครกรัม/กรัม (Mohamed et al., 2001) โดยคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1

สำหรับแร่ธาตุที่พบมากในถั่วเหลืองฝักสดได้แก่ แคลเซี่ยมมีมากกว่าร้อยละ 60 และฟอสฟอรัส และโปตัสเซี่ยม มีในปริมาณมากกว่าหลายเท่าของถั่วทั่ว ๆ ไป ในขณะเดียวกันคือ โซเดียม และคาโรทีน จะมีปริมาณ 1/3 ของถั่วเขียว นอกจากนั้นยังพบ ธาตุไอรอน, วิตามินบี 1 และบี 2 มีวิตามินซีสูง โฟเลท, เลซิติน, แมกนีเซียม, วิตามินบี 2 (www.wholehealth.com) แต่ไนอะซินมีปริมาณค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองฝักสดและถั่วชนิดอื่น ๆ ในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

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/100g)	16.5	6.8	11.4	2.9	7.3
Lipid (g/100g)	10.0	5.0	6.6	0.1	0.2
Nonfibrous carbohydrates (g/100g)	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/100g)	1.9	0.6	1.6	0.5	0.6
Calcium (mg/100g)	90	120	70	55	28
Phosphorus (mg/100g)	190	85	140	60	70
Iron (mg/100g)	3.3	1.4	1.7	0.8	1.9
Sodium (mg/100g)	2	3	1	1	3
Potassium (mg/100g)	660	85	140	60	70
Carotene (mg/100g)	0	0	100	620	360
Vitamin B1 (mg/100g)	0.07	0.07	0.27	0.12	0.25
Vitamin B2 (mg/100g)	0.56	0.03	0.14	0.10	0.12
Niacin (mg/100g)	1.1	0.1	1.0	0.6	1.9
Ascorbic acid (mg/100g)	0	0	27	331	18

ที่มา : Masuda cited in Shanmugasundarm, 1991 (อ้างโดยสุวิมล กะตากูล , 2543)

การแปรรูปถั่วเหลืองฝักสดในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

คุณลักษณะที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพส่วนหนึ่งสามารถประเมินได้จาก สี ความแน่นเนื้อ และความใสของน้ำเกลือเช่นเดียวกับถั่วเหลืองฝักสดที่จะนำมาทอดกรอบหรือเป็นส่วนประกอบของข้าวผัดอเมริกัน ต้องมีสีเขียวใกล้เคียงกับถั่วสดมากที่สุดถึงจะเป็นที่ต้องการของตลาด ส่วนถั่วเหลืองฝักสดที่ใช้ผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจะนำมาลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ช่วยรักษาสีเขียวและกำจัดกลิ่นถั่ว การพยายามหาวิธีการที่จะรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์ผักไว้ให้ได้ เช่น การใช้สารละลายด่าง หรือการใช้กระบวนการ HTST

(อุณหภูมิสูง ช่วงเวลาสั้น) ในการหุงต้มผัก จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เฉพาะช่วงที่ผลิตอาหารเสร็จใหม่ ๆ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง (Fennema, 1996)

การแช่ถั่วด้วยแคลเซียมคลอไรด์ สำหรับบรรจุกระป๋องสามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไว้ได้มากที่สุด คือ 2.78 mg/l แต่เมื่อมาพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนักกับที่แช่ด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.78 และ 2.73 mg/l ตามลำดับ งานวิจัยของ Van Buran และคณะ (1990) ซึ่งศึกษาผลของเกลือต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วแขก (Snap bean) พบว่า น้ำเกลือพวกโมโนวาเลนต์ (Monovalent) เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะมีผลในการลดความแน่นเนื้อ ขณะทีเกลือพวกไดวาเลนต์ (Divalent) เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ มีคะแนนความแน่นเนื้อคือ 6.77 และที่แช่ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต มีคะแนนความแน่นเนื้อต่ำสุดคือ 2.64 แต่คะแนนการยอมรับรวมของถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ จะมีคะแนนสูงสุดคือ 8.25 ซึ่งมากกว่าการแช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากถั่วที่แช่ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวมากเกินไป จึงทำให้มีคะแนนการยอมรับรวมที่ต่ำ

สุวิมล กะตากูล (2543) พบว่าการแช่เมล็ดถั่วเหลืองฝักสด ในแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w เป็นเวลา 60 นาที ก่อนที่จะนำมาลวกและบรรจุกระป๋อง โดยนำมาเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองฝักสด ที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% w/w ในน้ำเกลือ ในขั้นตอนการบรรจุกระป๋อง ประเมินผลโดยวัดค่าสี พีเอช น้ำหนักเนื้อ ความแน่นเนื้อ ความใสของน้ำเกลือ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ปรากฏว่าถั่วที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% จะมีความแน่นเนื้อและความใสของน้ำเกลือมากที่สุด แต่ไม่ต่างจากถั่วที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.3% และเมื่อนำมาลวกโดยใช้ไอน้ำเป็นเวลา 2 นาที บรรจุในกระป๋อง C – enamel ขนาด 300 x 407 โดยมีน้ำหนักถั่ว 233 กรัม ต่อน้ำเกลือ 192 กรัม ซึ่งประกอบด้วยเกลือ 1.25% น้ำตาล 1.56% และแคลเซียมคลอไรด์ 0.3% (w / w) เหลือบรรจุให้เหลือ Head space 10 / 32 นิ้ว ไล่อากาศใน Steam exhauster เป็นเวลา 5 นาที และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ให้ความแน่นเนื้อและ ความใสของน้ำเกลือดีกว่า

สินธนา สุคันธา (2535) พบว่าการลวกสามารถทำได้หลายวิธีคือการใช้ไอน้ำ การใช้น้ำร้อน และการใช้ไมโครเวฟ ในระบบอุตสาหกรรมทั่วไป นิยมลวกผักโดยใช้ไอน้ำ ทั้งนี้เพราะไอน้ำสามารถให้พลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนัก ได้สูงกว่าน้ำเดือด กล่าวคือ ไอน้ำมีพลังงานความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอสูงถึง 540 แคลอรีต่อกรัม ในขณะที่น้ำเดือด 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีพลังงานความร้อนเพียง 100 แคลอรี ดังนั้น ไอน้ำจึงมีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ได้ดีกว่าน้ำเดือด อีกทั้งยังป้องกันการสูญเสียสารอาหาร ที่ละลายไปกับน้ำที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าเช่นกัน

Nordstrom แล Sistrunk (1979) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการลวกถั่วด้วยไอน้ำและน้ำร้อนพบว่าการลวกด้วยไอน้ำ จะได้ถั่วที่มีความแน่นเนื้อมากกว่า เพราะไอน้ำมีความสามารถในการถ่ายเท

ความร้อน เข้าสู่เนื้อเยื่อของถั่วได้รวดเร็ว จึงใช้เวลาสั้นในการลวกและยับยั้งเอนไซม์ทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อน้อย จึงทำให้แป้ง และเพคติน ละลายออกมาน้อย โมเลกุลยังจับกันแน่น ทำให้ถั่วที่ลวกด้วยไอน้ำมีความแน่นเนื้อมากกว่า และมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่มากกว่า

เนื่องจากในระหว่างการฆ่าเชื้อที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงแคลเซียมคลอไรด์สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้ง่ายกว่า จึงทำให้ถั่วเหลืองฝักสดบรรจุกระป๋อง ที่ได้จากการแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีค่าพีเอช 6.15 มีความแน่นเนื้อน้อยกว่าถั่วที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ที่มีค่าพีเอช 5.82 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Brandt และคณะ (1984) ที่ศึกษาถึงผลการทำให้สุกของผักในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ ต่อปริมาณเส้นใย พบว่าเพคตินจะไม่คงตัวในสภาพสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง โดยความแน่นเนื้อจะลดลงเมื่อค่าพีเอชมากขึ้น ช่วงค่าพีเอชที่ลดลงจาก 8-4.5 จะทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น (Van Buran et al., 1990)

เมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้เมล็ดถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น เนื่องจาก Ca^{2+} จะไปจับกับ Carboxyl group ของ Poly-galacturonic unit ทำให้โมเลกุลเกิด Cross-linkage และเกิดแคลเซียมเพ็กตินเนท (Calcium pectinate) และแคลเซียมเพ็กเตต (Calcium pectate) ที่ไม่ละลายน้ำและทนความร้อนสูง ทำให้โครงสร้างของเซลล์มีความแข็งแรง จึงทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากขึ้น และทำให้เมล็ดถั่วมีการแตกน้อยและมีการดูดซึมน้ำได้น้อย จึงมีผลทำให้เมล็ดถั่วมีปริมาณน้ำหนักเนื้อลดลงเช่นเดียวกัน (He et al., 1989)

อัญชลี ศิริโชติ (2531) ได้แบ่งกลุ่มอาหารออกเป็น 4 กลุ่มเพื่อความสะดวกในการกำหนดอุณหภูมิของความร้อนที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ อาหารในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิในการทำลาย 121.1 องศาเซลเซียส หรือ 115 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 10-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอาหารในกลุ่มที่ 3 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิในการทำลาย 100 องศาเซลเซียส (น้ำเดือด) ภายใต้ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่า ส่วนอาหารในกลุ่มที่ 4 ถ้านำไปบรรจุกระป๋องต้องใช้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเพื่อง่ายต่อการปฏิบัติที่พีเอช 4.5 จะเป็นค่าพีเอช ที่นักวิชาการใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาชนิดของอาหารกระป๋องที่ต้องผ่านการทำลายจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 115 หรือ 121.1 องศาเซลเซียส หรือใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อาหารชนิดใดมีพีเอช 4.5 หรือสูงกว่า อาหารบรรจุกระป๋องนั้นต้องใช้อุณหภูมิ 115 หรือ 121.1 องศาเซลเซียส ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนอาหารที่มีพีเอช ต่ำกว่า 4.5 ให้เลือกใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะที่ 4.5 หรือสูงกว่าเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียโดยเฉพาะ Clostridium botulinum การเติมสารในอาหารเพื่อให้อาหารมีสภาพเป็นกรดจะช่วยหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนสูงและเวลานานในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้

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

สินธนา สุคันธา (2536) กล่าวว่า หลักการที่สำคัญในการผลิตอาหารกระป๋อง คือ อาหารต้องได้รับความร้อนเพียงพอ และนานพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

จิระพันธ์ ห้วยแสน (2542) กล่าวว่า การโอนถ่ายความร้อนกระป๋อง จะมีผลต่อระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ จึงแบ่งประเภทอาหารตามลักษณะของความร้อนได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. อาหารที่ถ่ายโอนความร้อนแบบการนำ (Conductive heating packs) ความร้อนจะถูกถ่ายโอนในทุกทิศทางผ่านผนังกระป๋อง แล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุดจะอยู่จุดกึ่งกลางของกระป๋อง (Cold point)

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

3. อาหารที่ถ่ายโอนความร้อนแบบผสม (Complex heating packs) เช่นอาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด ในช่วงแรกเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาและเมื่อให้ความร้อนต่อไปอาหารที่ความข้นหนืดมากขึ้นและการถ่ายโอนความร้อนเปลี่ยนเป็นการนำ จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุดอยู่ระหว่างจุดของอาหารที่มีการโอนความร้อนแบบการนำและการพา

Labelle (1971) ศึกษาระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และเวลาในการแช่ที่มีต่อผลเซอรี่บรรจุกระป๋อง พบว่า เซอรี่ที่แช่ในแคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่า และในระยะเวลาที่นานกว่าจะมีลักษณะเนื้อแน่นกว่าเซอรี่ที่แช่แคลเซียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นต่ำกว่าและในระยะเวลาที่สั้นกว่า

Mccurdy และคณะ (1983) ได้ศึกษาความแน่นเนื้อของถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องโดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ กรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำที่ใช้ในการแช่ และเติมไปในน้ำเกลือในระหว่างขั้นตอนการบรรจุกระป๋อง พบว่า การเติมแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ถั่วมีความแน่นเนื้อมากที่สุด

Drake และ Muehlbauer (1985) ได้นำแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5% มาเติมในน้ำเกลือในการผลิตถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องเพื่อช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของถั่ว

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

จากการทดลองของ Lajolo และ Marquez (1982) ทำการลวกผักปวยเหล็ง (Spinach) เมื่อกำหนดค่าพีเอชเท่ากับ 3 ที่อุณหภูมิ 38.6 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปอยู่ในรูปของฟีโอไฟตินถึง 85% นอกจากนี้ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ส่วนของหมู่ไฟทอลจะเป็นส่วนที่ละลายในไขมัน และส่วนของหมู่ไฟรอลจะละลายในน้ำ ซึ่งทำให้โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ง่ายต่อการรับโปรตอนและแยกแมกนีเซียมออก

การรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ ของถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องในระหว่างการแปรรูปโดยการแช่วัตถุดิบในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 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 ซิเตรดฟอสเฟต บัฟเฟอร์ค่าพีเอชเท่ากับ 6.2-7.0 สำหรับช่วงบรรจุกระป๋องมีการใช้สารประกอบไฮดรอกไซด์อิออน หรือคาร์บอเนตอิออน ของแมกนีเซียม โซเดียม และแคลเซียม โดยพบว่าสารประกอบของ แมกนีเซียมให้ผลดีที่สุด ในการรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์ หรือการใช้เกลือของโลหะทรานซิชันพวกซิงค์คลอไรด์ คอปเปอร์คลอไรด์ ซิงค์อะซิเตต (Segner et al.,1984)

เมื่อทำการลวกผักสีเขียวในน้ำเดือด ความร้อนที่ใช้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีทันที โดยจะให้ผักสีเขียวมีลักษณะเขียวสดขึ้นชั่วขณะหนึ่ง เนื่องจากความร้อนทำให้อากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ร้อนขึ้นและจะถูกดันออกมา เราจึงสามารถเห็นสีเขียวของคลอโรฟิลล์ชัดขึ้น การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานในการแปรรูปจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์

Lajolo และ Marquez (1982) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการลวกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหลือในผักปวยเหล็ง พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลง ความร้อนจะมีผลทำให้เซลล์เมมเบรนของคลอโรพลาสต์อ่อนตัว และมีการหดเข้ามาอยู่รวมกันตรงกลางของเซลล์โดยที่คลอโรฟิลล์ยังคงอยู่ภายในเม็ดคลอโรพลาสต์ แต่เนื้อเยื่อที่หุ้มไม่สามารถเก็บรักษาของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ไว้ได้ จึงเกิดการสูญเสียน้ำโดยแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeable membrane) และไม่สามารถป้องกันกรดได้ ทำให้กรดในเซลล์ซึ่งอยู่ในแวคิวโอล์ (vacuole) และคลอโรฟิลล์มาสัมผัสและทำปฏิกริยากันได้ สีเขียวของคลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปสีเขียวปนน้ำตาลของฟีโอไฟติน

Charley (1982) พบว่าใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น จะสามารถรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ไว้ได้ดีกว่า เนื่องจากการใช้ช่วงเวลาสั้น โอกาสที่กรดในเซลล์จะทำปฏิกิริยากับคลอโรฟิลล์จะน้อยลง ในขณะที่ Sweeny และ Martin (1961) ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี ในบร๊อคโคลี

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

เมื่อผ่านการลวกที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่าคลอโรฟิลล์เอ จะลดลงรวดเร็วกว่าคลอโรฟิลล์บี โดยที่ 5 นาทีแรกผ่านคลอโรฟิลล์เอจะเหลือประมาณ 80% คลอโรฟิลล์บีจะเหลือประมาณ 90% และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที คลอโรฟิลล์เอจะเหลือประมาณ 45% คลอโรฟิลล์บีเหลือประมาณ 87% Schwartz และ Von Elbe (1983) ศึกษาการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งช่วงการลวกและการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ กันพบว่าคลอโรฟิลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน และฟีโอไฟตินจะเปลี่ยนไปเป็นไพโรฟีโอไฟตินในขั้นที่ 2 และพีเอชจะลดลงเมื่อเวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้น การเกิดไพโรฟีโอไฟตินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของผักและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการฆ่าเชื้อ ไพโรฟีโอไฟตินจะเกิดมากในผักสีเขียวที่มีการส่งผ่านความร้อนแบบการนำความร้อน เช่น พิวเรปวยเหล็งบรรจุกระป๋อง ส่วนในถั่วลันเตาบรรจุกระป๋องมีการส่งผ่านความร้อนแบบพาความร้อน ดังนั้นไพโรฟีโอไฟตินจึงเกิดได้น้อยกว่า F_0 เท่ากับ 4.9 ที่อุณหภูมิ 280°F (137.8 องศาเซลเซียส) จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีเหลือถึง 55.5 และ 80.3% ตามลำดับ แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 240°F (115.5 องศาเซลเซียส) จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี เหลือเพียง 8.0 และ 20.2% เท่านั้น

การเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อลดความเป็นกรดลงทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจาก Porphyrin ring โดยด่างที่นิยมใช้ได้แก่ $Mg(OH)_2$ และ $MgCO_3$ (Meyer,1978) อย่างไรก็ตาม Gupte และ Francis (1964) พบว่า การใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวปรับค่าพีเอชให้สูงขึ้นใน Spinach puree ช่วยให้คลอโรฟิลล์คงอยู่ในช่วงแรกและปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเรื่อย ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

การเติม Metallic ions เช่น Zn^{2+}, Cu^{2+}, Fe ซึ่งไปทำปฏิกิริยากับฟีโอไฟตินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Pheophytin metal ion complex) มีสีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์ หลังการเติมเกลือของโลหะเหล่านี้และระยะเวลาหนึ่ง เกลือ Zn และ Cu ที่นิยมใช้ คือ $ZnCl_2$ หรือ $CuSO_4.5H_2O$ Jones และคณะ (1977) พบว่า ระดับความเข้มข้นของ Zn^{2+} และ Cu^{2+} มีค่าเท่ากับ 10 และ 1 Umol/Umol ของรงควัตถุที่พบใน Heated spinach slurry หรือ เท่ากับ 120 และ 12 ppm ตามลำดับ จะช่วยให้ Spinach slurry มีสีเขียวสดหลังจากเติม $ZnCl_2$ และ $CuSO_4$ แล้วผ่านการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 และ 20 นาที ตามลำดับ

Gupte and Francis (1964); Luh และคณะ (1964) พบว่าการใช้กระบวนการ High temperature short time (HTST) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้นมาก ทำให้คลอโรฟิลล์โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์เอ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฟีโอไฟตินได้น้อย สีเขียวของผลิตภัณฑ์ส่วนมากจึงยังคงเหลืออยู่ กระบวนการ HTST มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ

ก
635.65
ศ๔๗ร
ค.3
135589

Buclke และ Edwards (1970a) พบว่า การปรับพีเอช ของ Pea puree ให้สูงขึ้นเป็น 8.45 ด้วย แมกนีเซียมคาร์บอเนตและผ่านความร้อนด้วยระบบ HTSTใช้ระยะเวลาสั้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์และเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงจากคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟตินน้อยกว่า Pea puree ที่มี พีเอช ปกติ คือ เท่ากับ 6.95 ทั้งก่อนและหลังให้ความร้อน

คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง (ถั่วเหลืองไร่)

โปรตีนจากถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง เมื่อคัดเปรียบเทียบทางด้านน้ำหนักอาหารประเภทอื่น เช่น เทียบกับเนื้อสดที่มีปริมาณสูงกว่า 2 เท่า เทียบกับไข่ไก่ และข้าวสารมีปริมาณสูงกว่าหลายเท่า โปรตีน ในถั่วเหลืองจะถูกสะสมในเซลล์ของเนื้อในร่างกาย เป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็นของร่างกายซึ่งจะพบในผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองชนิดต่าง ๆ (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง (กรัม/100 กรัม)

Amino acids	Raw soybean	Defatted flour	Protein concentrate	Protein isolates
Tryptophan (g)	0.53	0.68	0.83	1.11
Threonine (g)	1.58	2.04	2.47	3.13
Isoleucine (g)	1.77	2.28	2.94	4.25
Leucine (g)	2.97	3.82	4.91	6.78
Lysine (g)	2.42	3.12	3.92	5.32
Methionine (g)	0.49	0.63	0.81	1.13
Cystine (g)	0.58	0.75	0.88	1.04
Phenylalanine (g)	1.90	2.45	3.27	4.59
Tyrosine (g)	1.38	1.77	2.30	3.22
Valine (g)	1.82	2.36	3.06	4.10
Arginine (g)	2.83	3.64	4.64	6.67
Histidine (g)	0.98	1.26	1.57	2.30
Alanine (g)	1.71	2.21	2.68	3.59
Aspartic acid (g)	4.58	5.91	7.24	10.20
Glutamic acid (g)	7.06	9.10	12.01	17.45
Glycine (g)	2.13	2.75	3.29	4.96
Proline (g)	2.13	2.75	3.29	4.96
Serine (g)	2.11	2.72	3.36	4.59

ที่มา : USDA (1986)

ไวตามิน (Soybean Vitamins)

โดยทั่วไปแล้วการบริโภคถั่วเหลืองจะเป็นการบริโภคร่วมกับอาหารชนิดอื่น ๆ และถั่วเหลืองก็ถือว่าเป็นแหล่งของไวตามินแหล่งหนึ่งของอาหาร ซึ่งอาจมีไม่ครบถ้วนตามความต้องการของร่างกาย จากตารางของส่วนประกอบของไวตามินที่พบในถั่วเหลือง จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองเป็นแหล่งของไวตามินบีรวมที่ค่อนข้างสูง ในการทำเป็นอาหารสัตว์พบว่าถ้าผสมถั่วเหลืองให้ได้มีโปรตีนจากถั่วเหลืองอยู่ในระดับ 10% ก็จะสามารถได้ไวตามินบีรวมพอเพียงกับความต้องการของสัตว์ทดลอง (หนู) และจากการทดลองของนักวิจัยพบว่าในคนผู้ใหญ่ที่บริโภคโปรตีนให้เป็นไปตามความต้องการของร่างกายต่อวันโดยที่ครึ่งหนึ่งของโปรตีนมาจากถั่วเหลือง (อาจในรูปของแป้งถั่วเหลือง) แล้วปริมาณประมาณ 1/3 ถึง 1/5 ของความต้องการ Thiamine. Riboflavin และ Nicotinic acid จะได้รับมาจากถั่วเหลือง (ดังตารางที่ 3)

ในส่วนของไวตามินที่ละลายได้ในไขมัน (Fat soluble vitamins) พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณของ B-carotene อยู่ในเมล็ดถั่วเหลืองอ่อนอยู่ 2-7 ไมโครกรัม/กรัม แต่ถ้าถั่วเหลืองแก่ปริมาณจะลดลงเหลืออยู่เพียง 0.2-2.4 ไมโครกรัม/กรัม และแคโรทีนใน Blood Plasma ลดลงมาก ซึ่งข้อสันนิษฐานยังไม่เป็นที่ยืนยันอาจเป็นไปได้ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2527)

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของวิตามินที่พบในถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์

ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์	B-carotene	Thiamine	Riboflavin	Niacin	Pantothenic	Pyridoxine	Biotin	Folic acid	Inositol	Choline	Ascorbic acid
	microgram/g								mg/g		
ถั่วอ่อน	2-7	6.7	3.5	-	12	3.5	0.5	1.3	-	3.0-3.3	0.2
ถั่วแก่	0.2-2.4	11.0-17.5	2.3	20.0-25.9	12	6.4	0.6	2.3	1.9-2.6	3.4	0.2
ถั่วงอกหัวโต	-	11.9-21.9	4.8-7.0	29.9-48.0	18.8-34.4	14.1-17.7	1.1-1.7	3.7	2.5-3.9	-	0.4
ากถั่วเหลืองสกัดไขมันแล้ว	-	12-44	2.9-3.7	19-40	43.3-16.0	8.8	0.2	4.0-4.9	1.8-2.1	3.5-3.8	-
เต้าหู้	-	3.9	3.7	5.5							21.6
นมถั่วเหลือง	7.5	0.8	1.1	2.5							
เต้าเจี้ยว	-	1.3	1.4								

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2527

ไขมันจากถั่วเหลือง

ไขมันเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณรองลงมาจากโปรตีน การสะสมปริมาณของไขมันในถั่วเหลืองปริมาณด้านส่วนประกอบของ กรดไขมันในไขมันถั่วเหลืองเป็นผลมาจากคุณสมบัติของพันธุ์ถั่วเหลือง นั้น ๆ สิ่งแวดล้อมในช่วงของการสะสมไขมันในเมล็ด โดยเฉลี่ยแล้ว ถั่วเหลืองของไทยจะมีไขมัน 16-18 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าฝักแห้งและถั่วเหลืองไม่เจริญงอกงามก็จะมีปริมาณของไขมันลดลงเหลือ 14-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองของสหรัฐอเมริกามี ไขมัน 18-20 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณของกรดไขมันที่พบ ถั่วเหลืองจะประกอบด้วยไขมัน อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และมักจะมีอัตราค่อนข้างคงที่คือประมาณ 15 ต่อ 85 ในกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวนี้พบว่ามีไขมันชนิดที่ดีและมีประโยชน์ต่อการบริโภค (essential fatty acids) มีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง คือ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะเป็น กรดลิโนลีอิก และ กรดลิโนลีนิค เป็นต้น ในส่วนของไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณนั้นประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอนจำนวน 18 ตัวอยู่และมีจำนวนของพันธะคู่ (double bond) อยู่มากจึงมีผลต่อการออกซิเดชันได้ง่าย อันจะยังให้เกิดผลิตภัณฑ์ในลักษณะ ที่มีกลิ่นเหม็นหืนหรือกลิ่น rancid ดังที่เราพบกับอยู่ทั่วจากปฏิกิริยา ออกซิเดชันนี้จึงนำมาใช้ในการควบคุมเพื่อป้องกันในช่วงของการเก็บถั่วเหลืองในรูปของเมล็ดหรือน้ำมันถั่วเหลืองหรือแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์ จากถั่วเหลือง โดยที่ต้องกำหนดอุณหภูมิในการเก็บ

นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังประกอบไปด้วยสารที่เรียกว่า phospholipid หรือ phosphatides ซึ่งเป็นไขมันที่มีไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย

คาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลือง

สารคาร์โบไฮเดรตที่พบในถั่วเหลืองอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrates) ส่วนใหญ่ก็จะได้แก่น้ำตาล เช่น disaccharide ได้แก่ sucrose Trisaccharide ได้แก่ raffinose tetrasaccharide ได้แก่ stachyose

2. คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ (water insoluble carbohydrate) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำใบเลี้ยง ได้แก่ Arabinan, Arabinogalactan และอาจรวมถึง สารในกลุ่ม pectic

เถ้าและแร่ธาตุในถั่วเหลือง

แร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบเป็นประเภทโปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกเนเซียม แคลเซี่ยม โซเดียม และซัลเฟอร์ เป็นต้น

ปริมาณของธาตุแต่ละตัวมีโดยประมาณดังนี้

โปแตสเซียม 1.83%

ฟอสฟอรัส 0.78%

แมกเนเซียม 0.31%

แคลเซียม 0.24%

โซเดียม 0.24%

ซัลเฟอร์ 0.24%

ส่วนแร่ธาตุอื่น ๆ ที่พบอยู่ในปริมาณที่น้อยมากได้แก่ คลอไรด์ โบรอน แมงกานีส เหล็ก ทองแดง แบเรียม และสังกะสี

ส่วนประกอบย่อยของสารอินทรีย์อื่น ๆ

ถั่วเหลืองมีสารเคมีพวก Isoflavone phytoestrogens ซึ่งเป็นสารที่ช่วยป้องกันการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัวและมะเร็งในบางอวัยวะ สารในกลุ่มนี้ที่พบมากคือ genistein และ daidzein เป็นสารต้านออกซิเดชั่น (อรอนงค์ กังสดาลอำไพ, 2543) และสารไอโซฟลาโวนและเจนิสเตอีน มีบทบาท 3 ประการคือ

1. ป้องกันสารอุดตันของหลอดเลือด จึงป้องกันโรคหัวใจหลอดเลือดได้

2. ออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน จึงช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน ป้องกันอาการไม่พึงประสงค์เวลาใกล้หมดประจำเดือน

3. ยับยั้งการเกิดมะเร็งของอวัยวะสืบพันธุ์ (บรรจง ชุณหสวัสดิกุล และจิรพรรณ มัธยมจันทร์, 2543)

phenolic acid สารนี้พบในพืชทั่วไปและปริมาณไม่มาก นัก บทบาทของสารนี้คือเป็นสารร่วมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในแป้งถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองอื่น ๆ

สารให้กลิ่นอื่น ๆ ส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับสารให้ กลิ่นในถั่วเหลือง และสารที่เกิดขึ้นในช่วงของการแปรรูปถั่วเหลืองหรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของ Natural enzyme เช่น Lipoxidase ยากในการแยกออกมาเป็นสารที่แน่ชัด

ถั่วเหลืองและประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย

การนำถั่วเหลืองจากใช้ประโยชน์แก่มนุษย์ พบว่าปัจจุบันนี้มีมากมาย มีงานวิจัยออกมามากมายเกี่ยวกับถั่วเหลือง เช่น

ใช้เป็นอาหาร ทำอาหารมังสวิรัติ เพื่อทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ทำขนม ทำอาหารคาน้ำมัน ใช่ประกอบอาหาร

ใช้เป็นยา ดอกสดรักษาต้อกระจก ใบใช้ใบสดมาตำพอกรักษาคนที่ถูกงูกัด เมล็ดใช้เมล็ดแห้งต้มกิน เป็นยาบำรุงม้าม ขับปัสสาวะ บดเป็นผงทา หรือต้มน้ำ แก้อาการคันต่าง ๆ ขาบวม ลมพิษ และเป็นแผลฝีเรื้อรัง

ลดโคเรสเตอรอล ลดระดับน้ำตาลในเลือด และเพิ่มฮอร์โมนแก่สตรีวัยหมดประจำเดือน

ถั่วเหลืองมีสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกระดูก เพราะในถั่วเหลืองมีสารประกอบที่เรียกว่าไอโซฟลาโวน ซึ่งพบมากเฉพาะในถั่วเหลือง ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดคือ เจนีสทีน และไดเซ็น ช่วยป้องกันการสลายของกระดูก พบว่า หญิงที่บริโภคอาหารจากถั่วเหลือง เป็นประจำ มีภาวะโรคกระดูกบางต่ำ และควรลดการบริโภคอาหารเค็มจัด อาหารที่มีคาเฟอีนสูง และออกกำลังกายสม่ำเสมอจะช่วยให้กระดูกแข็งแรง

การรักษาแผลที่เกิดจากฝีดาษ ใช้ถั่วเหลืองเผาแล้วบดเป็นผลผสมน้ำมันหอมทาบริเวณที่เป็นแผลมีหนองเรื้อรัง นำถั่วเหลืองมาแช่น้ำให้พอง แล้วพอกบริเวณที่แผลเป็น

ลดอาการร้อนวูบวาบ ในสตรีวัยทอง และจะได้รับไอโซโฟลาโวนเสริมสามารถบรรเทา อาการร้อนวูบวาบได้

งูกัด ใช้ใบสดตำพอกเปลี่ยนยาวันละ 3 ครั้ง

ผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ที่ทำจากถั่วเหลืองฝักสดและถั่วเหลืองไร่

โตฟู : ถั่วตกตะกอน มีลักษณะอ่อนนุ่ม ใช้บริโภคแทน เนื้อสัตว์หรือนมโค มักจะใช้ดีเกลือตกตะกอน (แคลเซียม ซัลเฟต) เป็นแหล่งอาหารที่ดีของแคลเซียม

นมถั่วเหลืองฝักสด : มีโปรตีนจากถั่วเหลืองสูง อาจจะเพิ่มรสชาติโดยการเติมช็อกโกเลตวานิลลา ดื่มทดแทนจากนมโค สามารถดื่มใส่ในชา, กาแฟ หรือธัญญพืช มีแคลเซียมสูงเช่นเดียวกัน

ไอศกรีมถั่วเหลืองฝักสด, ข้าวผัดอเมริกันฝักสด, แกงไตปลา, คุ้กกี้ถั่วเหลือง, ไข่เจียวถั่วเหลืองฝักสด, ถั่วเหลืองฝักสดทอดกรอบ, สาคูถั่วเหลืองฝักสด, มายองเนสถั่วเหลือง, ขนมปังถั่วเหลืองฝักสด, เค้กถั่วเหลืองฝักสด เป็นต้น (http://www.dailynews.co.th/agriculture/each.asp'newsid=36442)