บทที่ 1

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชในสกุล (Genus) *Vigna* มีอยู่ทั้งสิ้น 7 subgenera ซึ่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ใน 3 ทวีป ได้แก่ ทวีปเอเชีย อาฟริกา และอเมริกา (Tomooka, T. et al, 1991) โดย subgenus ที่มีความสำคัญที่สุด ได้แก่ Ceratotropis อันประกอบด้วยถั่วเขียว (*Vigna radiata*) ถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna mungo*) ถั่วนิ้วนางแดง (*Vigna umbellata*) azuki bean (*Vigna angularis*) และ moth bean (*Vigna aconitifolia*) ใน subgenus นี้ ถั่วเขียว ถั่วเขียวผิวดำและถั่วนิ้วนางแดงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก

เอกสารทางวิชาการฉบับแรกที่กล่าวถึงการปลูกถั่วเขียวในประเทศไทย เรียบเรียงโดย ขุนเพ่งจีนานุเคราะห์ (ขุนเพงจีนานุเคราะห์, 2480) และขุนกสิกรพิศาล (ขุนกสิกรพิศาล, 2480) ในปี พ.ศ. 2480 แต่เอกสารที่กล่าวถึงพันธุ์ถั่วเขียวฉบับแรกเรียบเรียงโดย เคลื่อน บำรุงพล (เคลื่อน, 2500) ในอีก 20 ปีต่อมา พบว่ามีอยู่ 4 พวกคือ ถั่วเขียวเมล็ดเล็ก ถั่วทอง ถั่วเขียวมัน และถั่วเขียวอินเดีย (ถั่วเขียวผิวดำ) ซึ่งต่อมากองค้นคว้าทดลอง กรมกสิกรรม ก็ได้เปรียบเทียบพันธุ์ถั่วเขียวตั้งแต่ปี 2502 (กรมกสิกรรม, 2504) และมีรายงานผลติดต่อกันมาทุกปีนับแต่นั้น ที่น่าสนใจได้แก่การนำพันธุ์จากประเทศฟิลิปปินส์เข้ามาทดสอบตั้งแต่ปี 2512 ชื่อของพันธุ์เหล่านี้มักขึ้นต้นด้วยอักษร CES, MG หรือ BPI โดยสถานีที่ใช้ทดสอบได้แก่ สถานีกสิกรรมแม่โจ้ บ้านใหม่สำโรง จังหวัดชัยนาท และอู่ทอง ซึ่งในปี 2514 ได้มีการกล่าวถึงถั่วเขียวพันธุ์ M7A ที่นำเข้าจากมหาวิทยาลัยมิสซูรี สหรัฐอเมริกา ว่าให้ผลผลิตสูง จากการทดลองที่สถานีวิจัยพืชไร่ชัยนาท พันธุ์ M7A นี้ เมื่อศึกษาทรงต้น ลักษณะการติดฝัก และขนาดเมล็ด คาดว่าเป็นพันธุ์กลุ่ม CES ที่พัฒนาในประเทศฟิลิปปินส์ และเป็นที่น่าสังเกตว่า ในปี 2514 ถั่วเขียวผิวดำยังไม่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรและตลาดในขณะนั้นมากนัก ถึงแม้ว่าจะปลูกง่ายกว่าและให้ผลผลิตสูงกว่าถั่วเขียวผิวมันก็ตาม (พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์ และเจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, 2529)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515 เป็นต้นมา งานเปรียบเทียบพันธุ์ของกองพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร ได้ครอบคลุมพันธุกรรมอย่างกว้างขวาง เพื่อหาพันธุ์ถั่วเขียวผิวมันที่มีอายุสั้น ออกดอกติดฝักและฝักแก่พร้อมกันมากที่สุด เพื่อสะดวกในการเก็บเกี่ยว พันธุ์นำเข้าที่ให้ผลผลิตสูงในการทดสอบอยู่เสมอได้แก่ M7A และ CES 1D-21 ในปี พ.ศ. 2517 กองพืชไร่ได้เริ่มคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีการกระจายตัว ซึ่งได้รับจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเอเชีย (AVRDC) จำนวน 34 คู่ และในปีต่อมาก็ได้เริ่มนำพันธุ์ถั่วเขียวผิวดำจาก AVRDC เข้ามาทดสอบอย่างจริงจัง ภายใต้การสนับสนุนของสมาคมผู้นำเข้าถั่วเขียวเพื่อเพาะถั่วงอกของญี่ปุ่น (Japan Bean Sprout Importer's Association) งานปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียวของ

กรมวิชาการเกษตรภายใต้การนำของอาจารย์ ดร. อาวุธ ณ ลำปาง มีความก้าวหน้ามาโดยตลอด โดยในปี พ.ศ. 2518 ได้รวบรวมพันธุ์จำนวน 175 พันธุ์ บันทึกลักษณะประจำพันธุ์ แล้วเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท พบว่าพันธุ์ M7A ให้ผลผลิตสูงกว่า เมล็ดโตกว่าและอายุสั้นกว่าพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกอยู่ ฝักแก่สม่ำเสมอ สามารถเก็บเกี่ยวได้ในครั้งแรกกว่า 80% ของผลผลิต (กองพืชไร่, 2518) จึงได้นำเสนอต่อคณะกรรมการการวิจัยของกรมวิชาการเกษตรเพื่อให้ใช้เป็นพันธุ์มาตรฐาน ชื่อว่าพันธุ์ "อู่ทอง 1" ตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2519 (กองพืชไร่, 2523) พันธุ์นี้มีส่วนทำให้พื้นที่ปลูกถั่วเขียวในประเทศเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในช่วงดังกล่าว ประกอบกับประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกถั่วเขียวรายใหญ่ที่สุดของโลกมาก่อนหน้านั้นติดต่อกันหลายปี ทำให้การส่งออกถั่วเขียวของประเทศไทยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เกิดการขยายพื้นที่ปลูกถั่วเขียว จากไม่ถึง 1.4 ล้านไร่ในปี 2519 เป็นกว่า 2.7 ล้านไร่ในปี 2520 ซึ่งเป็นการเพิ่มถึงหนึ่งเท่าตัว (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2525) และพื้นที่ปลูกถั่วเขียวได้เพิ่มขึ้นโดยตลอดจนถึง 3 ล้านไร่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 เป็นต้นมา จากนั้นก็ลดลงเล็กน้อย และไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจนถึงปัจจุบัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2537) อย่างไรก็ตาม พันธุ์อู่ทอง 1 ก็ยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น ทรงต้นยังสูงใหญ่เกินไป ทำให้หักล้มง่าย ฝักไม่ชูขึ้นเหนือพุ่มใบเท่าที่ควร ทำให้ยังไม่สะดวกในการเก็บเกี่ยว ข้อเสียที่สำคัญคือ อ่อนแอต่อโรคใบจุดสีน้ำตาล (Cercospora leaf spot) และโรคราแป้ง (Powdery mildew) ซึ่งเป็นโรคของถั่วเขียวที่สำคัญที่สุดของประเทศ ดังนั้นหน่วยงานที่มีโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียวจึงได้แนะนำพันธุ์ถั่วเขียวผิวมันออกมาอย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจาก AVRDC แล้วนำมาปลูกทดสอบหรือคัดเลือกให้ได้สายพันธุ์ที่บริสุทธิ์ นำเข้าทดสอบผลผลิตในแปลงเกษตรกรจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ รวมเป็นพันธุ์ถั่วเขียวผิวมันที่ได้รับการรับรองในขณะนี้ 6 พันธุ์ เป็นพันธุ์ที่พัฒนาโดยกรมวิชาการเกษตร 3 พันธุ์ ได้แก่ อู่ทอง 1 ชัยนาท 60 และชัยนาท 36 พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2 พันธุ์ ได้แก่ กำแพงแสน 1 และกำแพงแสน 2 และพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 1 พันธุ์ ได้แก่ มอ-1 ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1.1

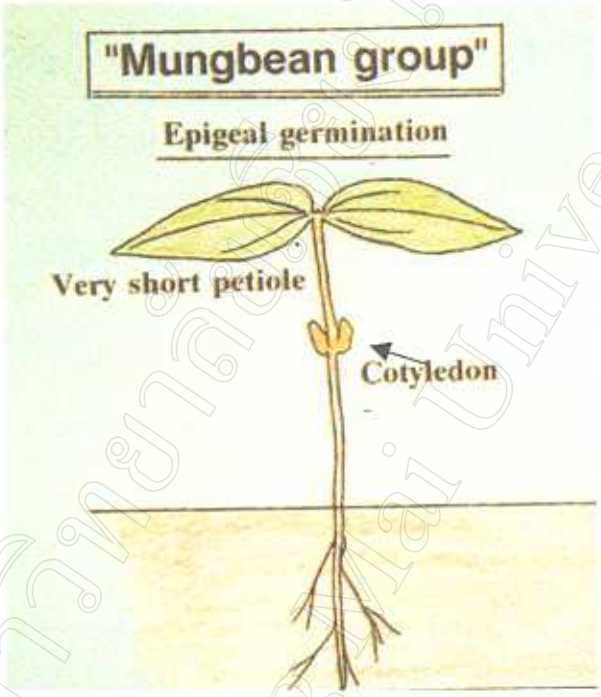
ตารางที่ 1.1 Mungbean varieties recommended by the Thai Department of Agriculture (สถาบันวิจัยพืชไร่ ,2536 ; Srinives P.,1990)

Varieties	Origin	Parents	Year of Release	Releasing Agencles	Remark
U-thong 1	Philippines	M7A (CES ?)	2519	Department of Agriculture	
U-thong 2	AVRDC	Acc. No.68/71	2521	Department of Agriculture	Blackgram
Kampangsaen 1	AVRDC	VC1973A	2529	Kasetsart University	recommended for the dry season
Kampangsaen 2	AVRDC	VC2778A	2529	Kasetsart University	recommended for the rainy season
Chainat 60	AVRDC	VC1178A	2530	Department of Agriculture	selected in the country
PSU-1	AVRDC	VC2768A	2531	Prince of Songkla University	resistant to water logging
Phitsanulok 2	India, AVRDC	P1288603, BC48	2533	Department of Agriculture	Blackgram
Chainat 36	AVRDC	VC1628A	2534	Department of Agriculture	

1.2 ลักษณะทั่วไปของถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชในตระกูลพืชล้มลุก ที่มีระบบรากแก้วและรากแขนงเช่นเดียวกับถั่วเหลือง เป็นพืชที่มีรากแขนงเจริญลงไปใต้ผิวดินได้ค่อนข้างลึกและแตกแขนงมาก จึงทำให้ถั่วเขียวสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความชื้นจำกัด และค่อนข้างจะทนแล้ง แต่ไม่ทนต่อน้ำขัง ถั่วเขียวมีลำต้นตั้งตรง ลักษณะเป็นพุ่ม บางพันธุ์มีลักษณะเลื้อยแตกกิ่งก้านได้ดี โดยแตกกิ่งก้านจากข้อข้างล่างขึ้นไปบน ลำต้นส่วนใหญ่จะมีขนปกคลุม แต่บางพันธุ์ไม่มีขนหรือมีน้อย มีทั้งสีเขียวและม่วงปนกัน มีความสูงตั้งแต่ 25-125 เซนติเมตร ใบปกติถั่วเขียวจะมีใบเลี้ยง 1 คู่ ใบเดี่ยว 1 คู่ นอกนั้นเป็นใบประกอบ ส่วนใหญ่มี 3

ใบประกอบ ใบประกอบจะหมุนสลับเวียนรอบต้น ลักษณะใบเขียวรูปไข่ ปลายใบแหลม โคนใบมน ก้านใบมีลักษณะยาวสีเขียวหรือเขียวปนม่วง ขนาดใบกว้าง 1.5-10 เซนติเมตร ยาว 2-15 เซนติเมตร ที่ฐานของใบมีหูใบ 2 อัน ใบย่อย ใบกลางจะมีหูใบย่อย 2 อัน ส่วนใบย่อยอีก 2 ใบ มีหูใบย่อยใบละ 1 อัน มีขนปกคลุมทั่วไป ขนมากน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์



รูปที่ 1.1 ต้นถั่วเขียวและส่วนประกอบต่างๆ

ถั่วเขียวมีดอกเกิดเป็นช่อ แต่ละช่อมีตั้งแต่ 10-25 ดอก บางครั้งสามารถออกดอกได้เรื่อย ๆ ในช่อเดียวกันถ้ามีการร่วงของดอกมาก ขนาดของก้านดอกยาว 2-15 เซนติเมตร ช่อดอกเกิดตามข้อโคนก้านใบ และมักจะมีช่อดอกตั้งแต่ข้อที่ 3-5 จนถึงยอด ดอกถั่วเขียวประกอบด้วย กลีบเลี้ยง 5 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ ชั้นนอกสุดมีขนาดใหญ่กลีบเดี่ยว เรียกว่า สแตนดาร์ด (standard) มีขนาดกว้าง 1.0-1.8 เซนติเมตร ชั้นสองมี 2 กลีบ เรียกว่า วิง (wing) ชั้นในสุดมีลักษณะม้วนคล้ายหลอดรูปโค้ง คล้ายเขาสัตว์ เรียกคีล (keel) เกสรตัวผู้มี 10 อัน โดยจะติดเป็นแผง 9 อัน และเป็นอิสระ 1 อัน สีของดอกมีตั้งแต่เขียวปนเหลืองไปจนถึงเหลืองเข้ม

รูปที่ 1.2 ดอกถั่วเขียว

ถั่วเขียวมีฝักเป็นรูปทรงกระบอกกลมยาว เรียว ฝักตรง ปลายโค้งงอ ฝักชี้ขึ้นหรือขนานกับพื้น หรือห้อยปลายลงแล้วแต่พันธุ์ ฝักอ่อนสีเขียว

รูปที่ 1.3 ฝักถั่วเขียว

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

เมื่อแก่จะเป็นสีดำ สีฟางข้าว หรือน้ำตาล ขึ้นอยู่กับพันธุ์ แต่ละฝักยาว 5-15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4-0.6 เซนติเมตร มีเมล็ดตั้งแต่ 8-20 เมล็ดต่อฝัก ฝักมีขนสีน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ มีบางพันธุ์ไม่ค่อยมีขน ส่วนมากออกฝักอยู่ในทรงพุ่ม แต่มีพันธุ์ลูกผสมใหม่ ๆ มีช่อฝักชูเหนือทรงพุ่ม เมล็ดมีลักษณะกลมทรงกระบอก มีทั้งเมล็ดมันและด้าน มีทั้งสีเขียว เขียวปนดำ น้ำตาล ลายดำเขียว เหลืองหรือดำ แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมปลูกเป็นสีเขียวและสีเหลือง รอบตะเข็บเป็นสีขาว ขนาดเมล็ด 15 กรัม ถึง 90 กรัม ต่อ 1,000 เมล็ด (เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม, 2531)

รูปที่ 1.4 เมล็ดถั่วเขียว

1.3 พันธุ์ถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทย

ถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ด้วยกัน และมักจะให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ในปัจจุบันนี้หน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรพยายามที่จะคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียว เพื่อให้มีผลผลิตสูงและต้านทานโรค เท่าที่ปลูกกันในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 1 จัดเป็นถั่วเขียวผิวมัน มีลักษณะทรงต้นเป็นพุ่มแตกกิ่งก้านสาขาดี โคนต้นมีสีม่วง แต่เมื่อโตขึ้นสีม่วงจะจางหายไป ตรงรอยต่อระหว่างใบจะปรากฏสีม่วงชัดเจน ลักษณะใบค่อนข้างใหญ่มีสีเขียวเข้ม ต้นสูง 50-75 เซนติเมตร เริ่มออกดอกเมื่อมีอายุประมาณ 35 วัน ออกดอกเป็น 3 ชุด ชุดแรกจะติดฝักภายในเวลา 5-7 วัน ดอกชุดที่สองจะเริ่มออกเมื่อฝักแรกเริ่มแก่ ลักษณะของฝักจะออกเป็นกระจุกที่ยอดประมาณยอดละ 5-8 ฝัก ติดฝักเมื่อออกดอกชุดแรกมากที่สุด เฉลี่ยต้นละ 15-25 ฝัก ฝักหนึ่งมี 8-18 เมล็ด ฝักอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่ฝักจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ฝักแก่ค่อนข้างเหนียว ทนทานไม่แตกง่าย ลักษณะของเมล็ดจะมีสีเขียว

เปลือกมันขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ดประมาณ 60-65 กรัม สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 65-70 วัน ผลผลิตสูงประมาณ 150-200 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดมีความงอกดี เก็บไว้ได้นานกว่า 1 ปี ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 1 มีลักษณะเด่นกว่าพันธุ์พื้นเมืองโดยทั่วไปคือ ออกดอกและติดฝักชุดแรกภายในเวลาเกือบพร้อมกัน และออกเป็นจำนวนมากประมาณ 80-85 เปอร์เซนต์ของทั้งต้น จึงทำให้ฝักแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ฝักที่แก่แล้วยังเหนียว ไม่แตกง่ายจึงสามารถเก็บเกี่ยวฝักทั้งหมดได้ไม่เกิน 2 ครั้ง สามารถเก็บเกี่ยวโดยตัดทั้งต้นสำหรับนำมาตากแดดและนวด เช่นเดียวกับการเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองได้ ซึ่งทำให้ลดแรงงานและเวลาเก็บเกี่ยวลงได้ ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 1 มีข้อเสียอยู่บ้างคือเนื่องจากมีทรงพุ่มที่สูงเกินไป จึงทำให้ต้นล้ม หักง่ายและใช้อัตราปลูกต่อไร่สูงไม่ได้

ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 2 จัดเป็นถั่วเขียวผิวดำ ลักษณะทรงต้นตั้งเป็นพุ่มสูงประมาณ 1 เมตร แตกกิ่งมากประมาณ 5-6 กิ่ง แต่ไม่ทอดยอด ลำต้นสีเขียวปกคลุมด้วยขนสีน้ำตาลหนาแน่น ใบสีเขียว ทั้งใบและก้านใบจะมีขนสีน้ำตาลปกคลุมอยู่ เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 32-45 วัน ดอกจะมีสีเหลืองออกเป็นกระจุกที่ข้อ ลักษณะของฝักเมื่อเป็นฝักอ่อนจะมีสีเขียวเข้มเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีดำ มีขนขึ้นปกคลุมหนาแน่น จำนวนฝักต่อต้นประมาณ 50-55 ฝัก ฝักละ 6-8 เมล็ด เมล็ดสีน้ำตาลปนดำ ขนาดใหญ่ น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด หนัก 50 กรัม ฝักแรกแก่เมื่ออายุ 70 วัน ฝักแก่และสามารถเก็บเกี่ยวทั้งหมดเมื่ออายุ 90 วัน ให้ผลเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 180 กิโลกรัม ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 2 มีลักษณะเด่นคือให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเมล็ดมีขนาดใหญ่จึงทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ

ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1 เป็นถั่วเขียวผิวมันพันธุ์ใหม่ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ขึ้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พร้อมกับพันธุ์กำแพงแสน 2 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีเขียวอ่อน ทรงพุ่มเล็กเหมาะสำหรับปลูกในระยะที่ปลูกถี่ ความสูงของต้นประมาณ 53 เซนติเมตร เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 37 วัน ออกฝักชุดแรกประมาณ 60-70 เปอร์เซนต์ของทั้งหมด ฝักชุดแรกจะมีขนาดใหญ่และแก่เมื่ออายุประมาณ 53 วัน จำนวนฝักต่อต้นประมาณ 14 ฝัก ใน 1 ฝักจะมีเมล็ดประมาณ 11 เมล็ด ลักษณะของเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นมัน ตาของเมล็ดมีสีเทา น้ำหนัก 1,000 เมล็ด หนัก 65.6 กรัม ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 202 กิโลกรัม ถั่วเขียวกำแพงแสน 1 มีลักษณะเด่น คือมีฝักชูขึ้นเหนือพุ่มใบ จึงทำให้เก็บเกี่ยวได้ง่าย

ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 มีลักษณะประจำพันธุ์คือ ทรงพุ่มเตี้ย พุ่มใบเล็ก เป็นกลุ่มแน่นกว่าพันธุ์อู่ทอง 1 ลักษณะลำต้นเขียวอ่อน ใบสีเขียว ความสูงของต้นประมาณ 50 เซนติเมตร อายุถึงวันออกดอกแรกประมาณ 37 วัน เมื่อมีการติดฝัก ฝักอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่สีดำ ขนาดของฝักจะสั้นกว่าพันธุ์อู่ทอง 1 เล็กน้อย ช่อฝักรวมกลุ่มพันทรงพุ่มจำนวนฝักต่อต้นประมาณ 13 ฝัก ฝักละ 11 เมล็ด เมล็ดมีสีเขียวเข้มเปลือกมัน ขนาดค่อนข้างเล็ก ตาสีเขียว น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ประมาณ 65 กรัม เก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 65-75 วัน สามารถเก็บเกี่ยวได้ไม่เกิน 2 ครั้ง ถั่วเขียวพันธุ์กำแพง

แสน 2 จะให้ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์กำแพงแสน 1 เล็กน้อย แต่เมล็ดมีสีเขียวเข้มกว่า จึงเป็นที่ต้องการของพ่อค้า มีความต้านทานต่อโรคราแป้งและใบจุดได้ดีกว่าพันธุ์กำแพงแสน 1 เล็กน้อย

ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 60 เป็นถั่วเขียวผิวมันพันธุ์ใหม่ที่ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ขึ้นที่สถานีทดลองพืชไร่ชัยนาท กรมวิชาการเกษตรได้รับรองพันธุ์เมื่อปี พ.ศ. 2530 มีทรงพุ่มแคบ เตี้ย ตั้งตรง ลำต้นแข็ง ใบและลำต้นสีเขียว ต้นสูงประมาณ 50.5 เซนติเมตร เริ่มออกดอกเมื่ออายุ 33 วัน มีจำนวนฝักต่อต้นประมาณ 11-12 ฝัก ฝักละ 9-10 เมล็ด ฝักแรกแก่เมื่ออายุประมาณ 47 วัน อายุจนถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 52 วัน ลักษณะของเมล็ดมีสีเขียว ตาจะมีสีขาว น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ประมาณ 61 กรัม ให้ผลผลิตสูงประมาณ 219.3 กิโลกรัม มีลักษณะเด่นคืออายุสั้นกว่าพันธุ์อู่ทอง 1 ประมาณ 7 วัน ช่อฝักอยู่เหนือทรงพุ่มเด่นชัด ให้ผลผลิตสูง มีความต้านทานต่อการหักล้มดีมาก เนื่องจากมีลักษณะต้นเตี้ยและทรงพุ่มแคบ จึงทำให้เหมาะสำหรับใช้ในระบบปลูกพืช แต่ไม่ค่อยต้านทานต่อโรคใบจุดและราแป้ง (เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม, 2531)

1.4 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียว

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของถั่ว การปลูกและสภาวะการเจริญเติบโต โดยทั่วไปจะประกอบด้วยโปรตีน 20-30 เปอร์เซนต์ ไขมัน 1-7 เปอร์เซนต์ ยกเว้นในถั่วเหลือง ถั่วลิสงและ wing bean ซึ่งจะมีไขมันสูง 18-20 เปอร์เซนต์ 48-50 เปอร์เซนต์ และ 15-20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ พบว่าอาหารจากเมล็ดถั่วจะเป็นอาหารที่มีไฟเบอร์และแร่ธาตุสูง มีแคลเซียม เหล็กและมีวิตามินที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูง เช่น thiamine riboflavin และ nicotinic acid ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญในประเทศที่กำลังพัฒนา (Mosse, J. and Pernollet, J.C., 1982)

อรอนงค์ และคณะ(2531) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ จากงานปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียวของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 Chemical compositions of 20 mungbean cultivars (28)

No.	Variety name of Pedigree	Country of Origin	% Composition (as dry basis)					
			% Moisture	Protein	Ash	Fat	Fiber	Carbohydrates
1	MG-50-10A(Y)xML-5	PhilippinesxIndia	8.82	19.7	4.40	1.04	1.74	64.3
2	MG-50-10A(Y)xPLM-448	PhilippinesxIndia	9.33	22.9	4.71	1.12	1.92	60.1
3	MG-50-10A(g)xML-15	PhilippinesxIndia	9.33	22.1	4.18	1.17	3.24	60.0
4	MG-50-10A(g)xML-3	PhilippinesxIndia	8.55	23.9	4.22	1.26	2.00	60.1
5	MG-50-10A(g)xCES-1d-21	Philippinesx Philippines	9.45	23.4	3.98	1.12	2.25	61.9
6	EG-MG-16xLM-6	PhilippinesxIndia	8.20	19.1	4.51	1.22	2.25	64.7

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)

No.	Variety name of Pedigree	Country of Origin	% Composition (as dry basis)					
			% Moisture	Protein	Ash	Fat	Fiber	Carbohydrates
7	CES-1D-21xML-5	PhilippinesxIndia	8.72	19.0	4.55	1.22	0.82	65.7
8	PHLV#18xML-3	PhilippinesxIndia	8.62	22.6	4.26	1.03	1.54	62.0
9	PHLV#18xML-5	PhilippinesxIndia	8.49	22.5	4.51	1.27	1.08	62.1
10	PHLV#18xCES-87	Philippines x Philippines	6.98	19.3	4.54	1.03	2.41	65.7
11	ML-3xLM-6	IndiaxIndia	9.19	19.9	4.34	1.21	1.71	63.6
12	VC, 2742	AVRDC, Taiwan	8.86	22.5	4.14	1.08	2.89	59.8
13	VC, 2745	AVRDC, Taiwan	8.87	23.3	4.04	1.23	2.83	60.5
14	VC, 2750	AVRDC, Taiwan	7.89	19.7	3.88	1.16	1.44	65.9
15	VC, 2755	AVRDC, Taiwan	8.27	20.9	4.16	1.34	1.22	64.1
16	VC, 2770	AVRDC, Taiwan	8.67	22.8	4.08	1.37	2.31	60.8
17	VC, 2781	AVRDC, Taiwan	8.26	24.2	4.12	1.25	1.49	60.5
18	VC, 2785	AVRDC, Taiwan	7.79	23.2	4.25	1.25	1.85	61.7
19	VC, 2790	AVRDC, Taiwan	8.42	20.9	4.09	1.21	2.65	62.7
20	U-Thong 1	Thailand	9.01	21.7	3.92	1.07	1.73	62.6
เฉลี่ย			8.59±0.59	21.7±1.7	4.24±0.23	1.18±1.01	1.97±0.64	62.5±2.1

จากตารางที่ 1.2 พบว่าถั่วเขียวมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 19 - 23.7 เปอร์เซนต์ มีเถ้าอยู่ระหว่าง 3.80 - 4.71 เปอร์เซนต์ ไขมัน 1.04 - 1.37 เปอร์เซนต์ เส้นใย 0.82 - 3.24 เปอร์เซนต์ และคาร์โบไฮเดรท 59.8 - 65.7 เปอร์เซนต์ และสามารถแบ่งถั่วเขียวออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีโปรตีนสูง แต่คาร์โบไฮเดรทต่ำ กลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทปานกลาง และกลุ่มที่มีโปรตีนต่ำและคาร์โบไฮเดรทสูง (อรอนงค์ และคณะ, 2531) และจากการศึกษาของ สมชัย ประภาวิต(1988) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวเมื่อเทียบกับถั่วเหลือง และในแป้งถั่วเขียว โดยพบว่ามีปริมาณโปรตีน 25.98 เปอร์เซนต์ ไขมัน 1.30 เปอร์เซนต์ เถ้า 3.80 เปอร์เซนต์ เส้นใย 4.79 เปอร์เซนต์ และคาร์โบไฮเดรท 64.12 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 Chemical Composition of Mung bean and Mung bean flour compared to soybean (69)

Nutrients	Mungbean	Soybean	Mungbean flour
Protein	25.98	40.00	25.4
Fat	1.30	21.04	2.52
Ash	3.80	4.79	3.16
Crude fiber	4.79	5.41	1.01
Crbohydrate	64.12	28.76	58.77
Starch	51.80	-	-

ซึ่งจากการหาองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวมาเปรียบเทียบกับถั่วเหลือง พบว่าปริมาณโปรตีนในองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองจะมีปริมาณสูงกว่าถั่วเขียว 10 เปอร์เซนต์ แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรทต่ำกว่าถั่วเขียวถึง 34 เปอร์เซนต์ แต่ถั่วเขียวจะมีปริมาณไขมันต่ำกว่าถั่วเหลืองมาก ซึ่ง Gupta Y.P.(1982)ได้ศึกษาองค์ประกอบโปรตีนของถั่วเขียวเมื่อเทียบกับถั่วชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 Protein Contents of Food Legumes (37)

Legume	Range (%)
Chickpea	14.9 - 29.6
French bean	21.1 - 39.4
Groundnut	23.5 - 33.5
Peas	21.2 - 32.9
Faba bean	22.9 - 38.5
Cowpea	20.9 - 34.6
Winged bean	29.8 - 37.4

ตารางที่ 1.4 (ต่อ)

Legume	Range (%)
Horse gram	18.5 - 28.5
Pigeon pea	18.8 - 28.5
Green gram (Mung bean)	20.8 - 33.1
Black gram	21.2 - 31.3
Lentil	20.4 - 30.5
Rice bean	18.4 - 27.0
Cluster bean	19.3 - 27.8
Soybean	33.2 - 45.2
Moth bean	21.0 - 31.3
Lathyrus	22.7 - 29.6

จากตารางที่ 1.4 จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนในถั่วเขียวอยู่ในช่วง 20.8-33.1 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีจัดอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับถั่วชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับถั่วเขียว โดยถั่วเขียวจะมีปริมาณของกรดอะมิโนลูซีน (leucine) และกรดอะมิโนไลซีน (lysine) ในปริมาณที่สูงมาก และจากการศึกษาพบว่าโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วจะขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ(Cystein และ methionine)และ tryptophan แต่จะมี lysine ในปริมาณสูง ซึ่งอาหารพวกธัญญพืชจะมีน้อย ปริมาณกรดอะมิโนในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1.5 (Leung H.K. and Salunkhe D.K., 1985)

ตารางที่ 1.5 Essential Amino Acid Composition (g/16 g N) of Different Legumes (53)

Legume	Lysine	Threo-nine	Valine	Leu-cine	Isoleu-Cine	Methio-nine	Trypto-phan	Phenyla-lanine	Arginine	Histidine
Bengal Gram	6.3	3.4	5.5	8.2	6.0	1.2	0.8	4.9	6.9	2.3
Pigeon pea	6.8	3.8	4.8	6.8	5.7	1.1	0.8	9.0	5.4	3.4
Lentil	5.1	3.0	5.1	5.5	5.8	0.6	0.6	4.0	7.0	2.1
Peas	8.9	4.2	6.5	9.5	7.4	1.3	0.7	4.6	13.4	2.7
French bean	6.8	3.3	5.4	8.9	6.0	1.0	1.0	5.5	9.2	2.8
Black gram	6.5	3.9	5.6	7.2	5.8	1.1	0.5	5.5	5.7	2.7
Green gram (mung bean)	7.3	3.4	6.9	7.7	6.3	1.5	0.4	5.3	6.9	2.7
Cowpea	6.7	4.1	5.2	7.4	4.9	1.3	1.0	5.7	6.9	3.1
Horse gram	8.3	3.8	5.4	7.9	6.7	0.8	0.6	8.5	5.4	3.0
Lathyrus	7.4	2.3	4.7	6.6	6.7	0.6	0.4	4.2	7.8	2.5
Soy bean	6.3	4.1	4.7	7.1	4.3	1.2	1.2	4.9	6.7	3.3
Winged bean	6.7	4.6	5.7	8.9	4.5	0.8	0.6	4.0	4.5	2.2
Moth bean	5.6	-	3.3	7.0	5.1	1.0	0.7	4.6	-	3.5
Lentil		3.4	5.1	6.3	3.3	0.08	1.00	4.3	6.4	2.1
Faba bean	6.6	3.3	3.9	8.3	4.3	0.7	1.0	4.2	10.5	2.6
Lupine	4.5	3.6	3.9	6.9	4.2	0.7	0.7	3.6	9.9	2.1
Groundnut	3.6	3.1	4.2	6.4	3.9	0.9	1.1	5.8	11.5	2.4
Rice bean	7.7	2.9	4.0	6.0	3.9	0.8	1.0	3.2	4.6	3.8
FAO/reference	4.2	2.8	4.2	4.8	4.2	2.2	1.4	2.8	-	-
Egg protein	7.2	5.2	7.4	7.8	6.8	3.4	1.5	5.8	6.7	2.4

เมล็ดถั่วจะมีปริมาณไขมันสูงกว่าในอาหารพวกธัญพืช ไขมันในเมล็ดถั่วจะประกอบด้วยไขมันหลายชนิด ได้แก่ กรดไขมันชนิด mono-, di และ triacylglycerols, phospholipids, sterols, sterol esters glycolipids และ lipoproteins โดยทั่วไปปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วจะอยู่ระหว่าง 1-7 เปอร์เซนต์ แต่ในเมล็ดถั่วเหลือง และถั่วลิสงจะมีปริมาณไขมันสูงถึง 20-40 เปอร์เซนต์ ส่วนถั่วเขียวจะมี 2.14 เปอร์เซนต์ ซึ่งกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็น Oleic acid, Linoleic acid และ Linolenic acid ดังแสดงในตารางที่ 1.6 (Pattee H.E. et al, 1982)แต่ อรอนงค์ และคณะ (2531) รายงานปริมาณไขมันของถั่วเขียวน้อยกว่านี้คือ1.18 ± 1.01 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 1.6 Lipid Contents in Food Legumes (66)

Food legume	Total lipid	
	%	Major fatty acids
Field bean	1.68	Linoleic acid
Black gram	1.64	Linolenic acid
Horse gram	2.20	Linoleic acid
Red gram	2.19	Linoleic acid
Cowpea	2.05	Linoleic acid, Linolenic acid
Peanut	49.70	Oleic acid, Linoleic acid
Chickpea	4.99	Oleic acid, Linoleic acid
Garden pea	2.41	Oleic acid, Linoleic acid
Soy bean	21.3	Oleic acid, Linoleic acid
Broad bean	1.6	Oleic acid, Linoleic acid
Common bean	1.48	Linoleic acid, Linolenic acid
Lima bean	1.41	Linoleic acid
Lentil	1.17	Oleic acid, Linoleic acid
Winged bean	15 – 16.8	-
Great Northern bean	3.0	Oleic acid, Linoleic acid
Kidney bean	1.9	Linoleic acid, Linolenic acid
Pinto bean	1.85	Linoleic acid, Linolenic acid
California small white bean	1.7	Linoleic acid, Linolenic acid
Black-eyed peas	1.5	Linoleic acid, Linolenic acid
Lathyrus	1.0	Linoleic acid

ตารางที่ 1.6 (ต่อ)

Food legume	Total lipid	
	%	Major fatty acids
Green gram (Mung bean)	2.14	Oleic acid, Linoleic acid Linolenic acid
Jack bean	2.6	-
Lupine	7.2	Oleic acid, Linoleic acid

กรดไขมันในเมล็ดพืชตระกูลถั่วมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณไม่เท่ากัน โดยในถั่วเขียวจะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว 27.70 เปอร์เซนต์ ซึ่งประกอบด้วย palmitic acid, stearic acid และ behenic acid และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 72.80 เปอร์เซนต์ ซึ่งประกอบด้วย oleic aicd, linoleic acid และ linolenic acid ดังแสดงในตารางที่ 1.7 (Lee F.A. and Mattick L.R., 1961)

ตารางที่ 1.7 Fatty Acid Composition of Important Legume Seeds (52)

Legume	Saturated fatty acids[a] (%)					Unsaturated fatty acid[b] (%)				
	16:0	18:0	20:0	22:0	Total	18:1	18:2	18:3	20:1	Total
Peanut	10.70	2.64	1.17	-	14.51	46.08	28.97	1.11	-	76.16
Peanut (Runner)	9.35	2.47	1.12	-	12.94	49.70	27.42	-	1.12	78.24
Peanut (Virginia)	9.37	2.92	1.07	-	13.36	50.63	25.63	-	1.09	77.35
Peanut (Spanish)	11.30	2.85	1.30	-	15.45	41.67	32.72	-	0.96	75.35
Soybean	10.80	3.62	-	-	14.42	20.80	50.23	7.65	-	78.68
Chickpea	9.22	1.20	-	-	10.42	21.84	43.29	2.00	-	67.13
Common bean	10.81	1.35	-	-	12.16	7.43	20.95	37.16	-	65.54
Broad bean	11.25	1.88	0.63	-	13.13	20.00	40.63	3.13	-	63.76
Lentil	12.82	0.85	0.85	-	14.52	16.24	36.75	8.55	0.85	62.39
Lima bean	19.86	2.13	-	-	21.99	9.22	31.21	14.89	-	55.32
Garden pea (dry)	12.92	2.08	-	-	15.00	15.42	36.25	6.67	-	58.34
Garden pea (raw)	12.35	2.47	-	-	14.82	16.05	37.04	6.17	-	59.26
Cowpea	23.50	5.60	0.60	2.20	31.90	8.40	34.00	25.70	-	68.10
Field bean	20.20	4.60	-	-	24.80	6.50	56.00	12.70	-	75.20
Red gram	20.50	6.90	0.80	-	28.20	10.50	56.30	5.00	-	71.80

ตารางที่ 1.7 (ต่อ)

Legume	Saturated fatty acids[a] (%)					Unsaturated fatty acid[b] (%)				
	16:0	18:0	20:0	22:0	Total	18:1	18:2	18:3	20:1	Total
Horse gram	27.10	1.70	-	-	28.80	13.00	44.55	13.65	-	71.20
Black gram	17.80	5.90	-	-	23.70	17.25	11.60	47.45	-	76.30
Graeen gram (Mung bean)	14.10	4.30	-	9.30	27.70	20.80	16.30	35.70	-	72.80
Lathyrus	25.00	2.00	-	-	27.00	1.00	67.00	3.00	-	71.00
Black-eyed bean	32.50	4.60	-	2.50	39.60	7.20	31.20	22.00	-	60.40
Pinto bean	14.70	1.00	-	-	15.70	7.00	28.10	49.20	-	84.30
Kidney bean	13.40	0.74	-	-	14.14	8.30	26.90	50.60	-	85.80
California small White bean	12.20	0.65	-	-	12.85	9.70	23.20	54.30	-	87.20
Lupine seed	17.10	1.90	2.70	0.25	21.95	35.70	28.00	13.30	0.30	77.30

[a] 16:0 = palmitic, 18:0 = stearic, 20:0 = arachidic, 22:0 = behenic

[b] 18:1 = oleic, 18:2 = linoleic, 18:3 = linolenic, 20:1 = eicosenoic

ปริมาณคาร์โบไฮเดรทในเมล็ดพืชตระกูลถั่ว มีปริมาณระหว่าง 24-68 เปอร์เซนต์ โดยคาร์โบไฮเดรทจะมีทั้ง mono และ oligosaccharides แป้ง และ polyseccharides ชนิดต่าง ๆ โดยในถั่วเขียวจะมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทสูง จากการศึกษาของ อรอนงค์ และคณะ (2531) และ สมชัย ประภาวิต (1988) พบว่าในองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวมีคาร์โบไฮเดรท 59.8-65.7 เปอร์เซนต์ และจากการศึกษาของ Reddy N.R. et al(1984) ได้พบว่าถั่วเขียวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรท 53.3 - 61.2 เปอร์เซนต์ โดย 37.0 - 53.6 เปอร์เซนต์ เป็น strach และ 13.8 - 35.0 เปอร์เซนต์ เป็น amylose ปริมาณคาร์โบไฮเดรทในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.8 (Reddy N.R., et al, 1984)

ตารางที่ 1.8 Carbohydrates of Food Legumes (70)

Food legumes	Carbohydrates (%)		
	Starch	Amylose	Total
Winged bean seeds	-	-	24.0 - 42.2
Smooth peas	36.9 - 48.6	23.5 -33.1	56.6
Wrinkled peas	24.0 - 36.6	62.8 - 65.8	-
Great Northern beans	44.0	10.2 - 30.3	61.2 - 61.5
California small white beans	57.8	29.1 - 32.6	-
Red kidney beans	31.9 - 47.0	17.5 - 37.2	56.3 - 60.5
Navy beans	27.0 - 52.7	22.1 - 36.0	58.4
Pinto beans	51.0 - 56.5	25.8	54.6 - 63.7
Pink beans	42.3	14.9 - 35.3	-
Black-eyed beans	41.2	15.8 - 38.3	-
Black gram	32.2 - 47.9	43.9	56.5 - 63.7
Bengal gram	37.2 - 50.0	31.8 - 45.8	60.1 - 61.2
Mung bean	37.0 - 53.6	13.8 - 35.0	53.3 - 61.2
Red gram	40.4 - 48.2	38.6	57.3-58.7
Soybean	0.2 - 0.9	15.0 - 20.0	25.4 - 33.5
Broad bean	41.2 - 52.7	22.0 - 35.0	57.3
Lentil	34.7 - 52.8	20.7 - 45.5	59.7
Cowpea	31.5 - 48.0	-	56.0 - 68.0
Lupine seeds	0.3 - 3.5	-	-

เมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณ crude Fiber 1.2 - 12.8 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลของ อรอนงค์ และคณะ (2531) โดยองค์ประกอบของเส้นใยจะประกอบด้วย lignin 2.2 - 7.2 เปอร์เซนต์, cellulose 2.5 - 4.6 เปอร์เซนต์ และ เฮมิเซลลูโลส 0.3 - 9.1 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 1.9 (Reddy N.R.,et al, 1984)

ตารางที่ 1.9 Crude Fiber (70)

Legume	Crude Fiber (%)			
	Lignin	Cellulose	Hemicelluloses	Total
Winged bean seeds	0.7 - 1.0	-	1.36	3.4 – 12.5
Smooth peas	0.5 - 0.9	0.9 - 4.9	1.0 - 5.1	4.6 - 7.0
Wrinkled peas	0.3 - 1.0	1.2 - 4.2	0.9 - 6.6	7.6
Great Northern beans	-	-	-	4.5 - 6.7
California samll white beans	-	-	-	-
Red kidney beans	2.7 - 3.1	2.5 - 5.9	0.3	3.7
Navy beans	0.1	3.2	0.5 - 4.9	3.4 - 6.6
Pinto beans	1.8 - 3.0	9.0	4.0	4.3 - 7.2
Pink beans	0.2	6.0	-	-
Black-eyed beans	0.1	4.9	-	3.1
Black gram	3.8	5.0	10.7	1.2 - 7.1
Bengal gram	2.9 - 7.1	1.1 - 13.7	0.6 - 8.4	1.2 – 13.5
Mung bean	2.2 - 7.2	2.5 - 4.6	0.3 - 9.1	1.2 – 12.8
Red gram	2.9	7.3	10.1	1.2 - 8.1
Soybean	-	-	7.6	2.4 - 5.5
Broad bean	0.7 - 1.1	1.0	4.0-4.6	8.0
Lentil	2.6	4.1	6.0	3.8 - 4.6
Cowpea	0.6 - 1.8	-	-	1.7 - 4.0
Lupine seeds	0.7 - 0.8	-	9.3 - 9.9	3.0

ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ โดยพบว่าในเมล็ดถั่วจะเป็นแหล่งแร่ธาตุที่ดี โดยพบ calcium, iron, copper, zinc, potassium และ magnesium โดยในถั่วเขียวจะมีปริมาณแร่ธาตุ potassium และ calcium สูงมาก ซึ่งมีประโยชน์ในคุณค่าของอาหาร ปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆ ในเมล็ดถั่ว ดังแสดงในตารางที่ 1.10 (Meiners C.R., et al, 1976)

ตารางที่ 1.10 Mineral Contents (mg/100 g) in Food Legumes (57)

Food legume	Ca	P	Fe	Mg	Cu	Na
Horse gram	105	310	11.9	172	5.5	37.3
Moth bean	120	320	9.6	225	1.1	11.5
Chickpea	114	387	6.2	168	2.3	29.5
Soybean	226	546	8.5	236	2.4	27.9
Winged bean	290	277	11.0	170	1.5	40.0
Black gram	154	385	9.1	185	0.72	39.8
Cowpea	77	414	5.9	230	0.75	23.2
Green gram (Mung bean)	124	326	7.3	171	0.97	28.0
Lathyrus	120	317	6.3	92	0.77	37.7
Lentil	69	293	4.8	94	0.66	40.1
Peas	75	298	5.1	124	0.85	20.4
French bean	260	410	5.8	195	0.95	15.0
Pigeon pea	124	304	5.8	133	1.25	28.4
Lima bean (baby)	76	397	6.79	164	0.64	3.76
Lima bean (large)	57	440	8.28	183	0.84	19.00

เมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ เป็นแหล่งอาหารที่มีปริมาณวิตามินสูง ได้แก่ thiamine, riboflavin และ niacin โดยในถั่วเขียวจะมีปริมาณของ carotene ถึง 94 µg/100 g, thiamine 0.47 mg/100 g, ribofiavin 0.27 mg/100 g และ niacin 2.3 mg/100 g ซึ่งเมื่อเทียบกับถั่วบางชนิดพบว่าถั่วเขียวมีปริมาณวิตามินที่สูงมาก เพราะในถั่วบางชนิดจะขาดวิตามินบางตัวไป ปริมาณวิตามินชนิดต่าง ๆ ในเมล็ดถั่ว แสดงในตารางที่ 1.11 (Fordhamn J.R., et al, 1975)

ตารางที่ 1.11 Vitamin Contents in Food Legumes (35)

Food legume	Carotene (µg/100 g)	Thiamine (mg/100 g)	Riboflavin (mg/100 g)	Niacin (mg/100 g)
Chickpea	189	0.30	0.15	2.9
Cowpea	12	0.51	0.20	1.3
Field bean	0	0.52	0.16	1.8
Green gram (**Mung bean**)	94	0.47	0.27	2.3
Horse gram	71	0.42	0.20	1.5
Lathyrus	120	0.39	0.17	2.9
Lentil	270	0.45	0.20	2.6
Moth bean	9	0.45	0.09	1.5
Peas	39	0.47	0.19	3.4
French bean	30	0.88	0.14	2.2
Pigeon pea	132	0.45	0.19	2.9
Soybean	426	0.73	0.39	3.2
Winged bean	-	0.75	0.18	2.2
Black gram	-	0.43	0.22	2.3
Groundnut	-	0.44	0.16	1.4
Faba bean	-	0.38	0.24	2.1

พืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีราคาถูก จากการศึกษาพบว่าในเมล็ดถั่วแต่ละชนิดมีคุณค่าทางอาหารต่างกัน ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และได้มีการพัฒนาในการใช้ประโยชน์จากเมล็ดถั่วเขียวในทางโภชนาการต่าง ๆ มากมาย

1.5 **การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว**

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยนำไปใช้ประโยชน์มากมาย โดยส่วนใหญ่จะมีประโยชน์ใช้ทำอาหารต่าง ๆ เช่น ใช้ทำขนม เพาะถั่วงอก ใช้ในอุตสาหกรรมทำวุ้นเส้น และแป้งถั่วเขียวหรือแป้งซาหริ่ม ส่วนกากใช้เป็นอาหารสัตว์ จากสถิติเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2535/36 พบว่าเนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตถั่วเขียวมีแนวโน้มลดลง โดยที่ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 1.12 (จินตนา อุปดิสสกุล และคณะ, 2538)

ตารางที่ 1.12 Mungbean production of Thailand (8)

Crop year	Planted area (1000 rai)	Yield per rai (kg)	Production (tons)
1983/84	3,022	103	288,000
1984/85	3,280	117	352,000
1985/86	3,426	98	323,000
1986/87	3,172	98	301,000
1987/88	2,900	98	267,000
1988/89	2,964	115	333,000
1989/90	3,205	115	356,000
1990/91	2,808	113	303,000
1991/92	2,754	117	304,000
1992/93	2,404	119	261,000

สำหรับปริมาณการส่งออกมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ขณะที่เปอร์เซนต์การใช้ประโยชน์ในประเทศเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.13 (จินตรา อุปดิสสกุล และคณะ, 2538)

ตารางที่ 1.13 Quantiity of Exports and Domestic Uses of Mungbean and Blackgram of Thailand (8)

Year	Quantity of export (tons)		% exports per production		% Domestic uses
	Mungbean	Black gram	Mungbean	Blackgram	
1983	84,804	72,056	29.44	25.02	45.54
1984	118,465	53,960	33.65	15.33	51.02
1985	144,548	88,976	44.75	27.55	27.70
1986	78,787	67,061	26.18	22.28	51.54
1987	94,718	102,392	35.48	38.35	26.17
1988	66,109	95,793	19.85	28.77	51.38
1989	62,786	44,996	17.64	12.64	69.72
1990	75,820	66,820	25.02	22.05	52.93
1991	37,360	71,363	12.29	23.47	64.24
1992	20,763	38,754	7.96	14.85	77.19

จะเห็นได้ว่าปริมาณการบริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันตลาดต่างประเทศยังคงต้องการถั่วเขียวเป็นปริมาณมาก จึงควรส่งเสริมให้มีการปลูกเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการบริโภคสูงขึ้นตามจำนวนการเพิ่มของประชากร โดยส่วนมากแล้วถั่วเขียวจะปลูกในจังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย แหล่งที่ปลูกถั่วเขียวรองลงมาคือภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดเพชรบูรณ์ปลูกถั่วเขียวมากที่สุด คือ 831,728 ไร่ รองลงมาได้แก่ จังหวัดสุโขทัย นครสวรรค์และกำแพงแพชร เนื้อที่ที่ใช้ปลูกถั่วเขียวของทั้ง 3 จังหวัด ประมาณ 249,723 ไร่ , 204,384 ไร่ และ 203,271 ไร่ ตามลำดับ เนื้อที่เพาะปลูกถั่วเขียวใน 4 จังหวัดนี้ ประมาณ 63 เปอร์เซนต์ ของเนื้อที่เพาะปลูกถั่วเขียวทั้งหมดของประเทศไทย ถั่วเขียวที่ผลิตได้ทั้งหมดนั้นคือ ผลผลิตของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวด้าน ประมาณ 70 เปอร์เซนต์ ส่วนอีก 30 เปอร์เซนต์ เป็นถั่วเขียวผิวดำ

ถั่วเขียวสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ขึ้นอยู่กับรูปร่าง ลักษณะของเมล็ด ดังนี้ 1. ถั่วเขียวธรรมดาหรือถั่วเขียวเมล็ดด้าน เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้ทำถั่วงอก วุ้นเส้นและส่งจำหน่ายยังต่างประเทศ ซึ่งได้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ คือ 300-350 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินที่อุดมสมบูรณ์และน้ำเพียงพอ 2. ถั่วทองหรือถั่วเขียวสีทอง เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเหลืองหรือสีทอง นิยมใช้ทำขนมเพราะเนื้อสีเหลือง น่ารับ

ประทาน 3. ถั่วเขียวมันเมล็ดใหญ่ เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเป็นมันและมีขนาดโตกว่าพันธุ์อื่น ได้ผลผลิตสูง อยู่ระหว่าง 250-300 กิโลกรัมต่อไร่ จำหน่ายให้แก่ประเทศไต้หวัน อินเดีย จีน สิงค์โปร์ ฮ่องกง มาเลเซีย อินโดนีเซีย อังกฤษ สหรัฐอเมริกา เกาหลีใต้ และอื่น ๆ 4. ถั่วเขียวผิวดำ เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดสีดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna mungo* ซึ่งเมื่อสมัยก่อน ๆ นี้มีปลูกในประเทศไทยไม่มากนัก เมื่อนำมาทำอาหารแล้วรสชาติไม่ดี เกษตรกรจึงมักใช้ทำอาหารสัตว์หรือถมที่ทำเป็นปุ๋ย ปัจจุบันใช้เพาะถั่วงอก โดยมีตลาดใหญ่คือ ประเทศญี่ปุ่น (จินตรา อุปดิสสกุล และคณะ, 2538)

การใช้ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเขียวมีข้อจำกัดเพราะยังขาดกรดอะมิโน ซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เมทไธโอนิน(methionine) และซีสติน(cysteine) จึงควรรับประทานถั่วเขียวร่วมกับโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น ข้าว งา เนื้อ สัตว์ต่าง ๆ นม เป็นต้น ซึ่งมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง จะทำให้โปรตีนจากถั่วเขียวกลายเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์เช่นเดียวกับโปรตีนที่ได้จากสัตว์ ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีปริมาณไขมันต่ำเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น จึงไม่สามารถใช้เป็นแหล่งของน้ำมันจากพืชได้ แต่ส่วนที่มีมากของถั่วเขียวคือคาร์โบไฮเดรต ทำให้เราใช้ถั่วเขียวเป็นแหล่งของแป้งและแป้งสตาร์ชได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบทางด้านโภชนาการอื่น ๆ ของถั่วเขียว ประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นปริมาณมาก เช่นเดียวกับถั่วเหลือง ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม ร่างกายของคนเราต้องการโปแตสเซียมในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อต่าง ๆ และทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง ธาตุฟอสฟอรัสจะช่วยบำรุงประสาทและสมอง ส่วนธาตุแคลเซียมนั้นสำคัญ จำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของกระดูกในร่างกาย ในแง่ของวิตามินต่าง ๆ ถั่วเขียวอุดมสมบูรณ์ไปด้วยวิตามิน เอ บี 1 ไนอาซินและวิตามินซี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ (อรอนงค์ นัยวิกุล และคณะ, 2531)

ปริมาณการใช้ถั่วเขียวในประเทศไทยใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ พบว่าเป็นถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำปริมาณครึ่งต่อครึ่ง ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะมีการแปรรูปเป็นแป้งถั่วเขียว (mung bean flour) แป้งสตาร์ชจากถั่วเขียว (Mung bean starch) โปรตีนสกัดจากถั่วเขียว (Mung bean protein isolate) และมีการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นขนมจีน สลิ่ม และผลิตโปรตีนเกษตรจากโปรตีนสกัดถั่วเขียว การผลิตขนมคุกกี้ และขนมขบเคี้ยวจากแป้งถั่วเขียว เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารและราคาของผลิตภัณฑ์ (Prabhavat S., 1987)

ศรีวัย สิงหะคเชนทร์ และคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาการผลิตซีอิ้วจากโปรตีนสกัดจากถั่วเขียว โดยนำไปผสมกับแป้งข้าวสาลีในอัตราส่วนโปรตีนถั่วเขียว 2 ส่วนต่อแป้งถั่วเขียว 1 ส่วน ทำการเลี้ยงเชื้อ โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus* และทำการหมักต่อในไหโดยใส่น้ำเกลือ พบว่าน้ำซีอิ๊วที่ได้มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม ซึ่งจะเห็นว่าโปรตีนจากถั่วเขียวมีคุณค่าทางอาหารและมีคุณสมบัติในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางอาหารเพื่อใช้ประโยชน์ได้ดี

1.6 การพัฒนางานวิจัยด้านถั่วเขียว

การพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับถั่วเขียว ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างแพร่หลายในด้านต่าง ๆ มากมาย

1.6.1 งานวิจัยทางด้านคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียว

Thirumaran S. และ Seralathan A. (1978) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารถั่วเขียวในประเทศอินเดีย โดยศึกษาคุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบระหว่างอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีถั่วเขียวเป็นองค์ประกอบในอาหารที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ กัน พบว่าที่การใช้ถั่วเขียวเป็นส่วนประกอบ 30 เปอร์เซนต์ในอาหารจะให้รสชาติและคุณค่าทางอาหารที่ดี และศึกษาถึงกรดอะมิโนในโปรตีนถั่วเขียว พบว่ามีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นสูง แต่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และซีสเตอีน ในปริมาณที่น้อย

Wongtong O. และคณะ (1988) ได้ศึกษาการใช้ถั่วเขียวในการเพิ่มคุณค่าทางอาหารในอาหารขบเคี้ยว โดยผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยศึกษาในเด็กก่อนวัยเรียน 72 คน แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม ในกลุ่มแรกให้อาหารส่วนผสมของจมูกข้าวล้วน ๆ กลุ่มต่อมาไม่มีส่วนผสมของจมูกข้าว และในกลุ่มสุดท้ายมีส่วนผสมของแป้งสาลีและถั่วเขียว จากการวิเคราะห์พบว่าอาหารผสมนี้มีโปรตีน 1.8-9.8 เปอร์เซนต์ ไขมัน 1.7-31.6 เปอร์เซนต์ และให้พลังงาน 137-499 แคลลอรี่ ต่อ 100 กรัม และพบว่ามีโปรตีนแคลลอรี่ที่รับเข้าไป 0.6-2.2 กรัม และมีพลังงาน 41.2-128.8 แคลลอรี่

Soliman M. และคณะ (1996) ได้ศึกษาการใช้แป้งถั่วเขียวและโปรตีนจากหางนมมาเพิ่มคุณค่าทางอาหารในซอส โดยเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเหลือง โดยทำการผสมในอัตราส่วน 30:0, 20:10, 10:20 และ 0:30 เปอร์เซนต์ พบว่าซอสที่มีถั่วเขียวเป็นส่วนผสม จะขาดกรดอะมิโนทริโอนีน (threonine) กรดอะมิโนไอโซลูซีน (isoleucine) กรดอะมิโนลูซีน (leucine) กรดอะมิโนทริปโตเฟน (tryptophane) และกรดอะมิโนไลซีน (lysine) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วเหลือง แต่คุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นเมื่อมีการเสริมโปรตีนจากหางนมร่วมกับแป้งถั่วเขียว จากผลการทดลองพบว่ากรดอะมิโนไลซีนมีปริมาณน้อยในทุกการทดลอง

Lee C. และคณะ (1997) ได้ศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในถั่วเขียว 9 พันธุ์ พบว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าเป็น 24.3, 0.67 และ 3.6 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณไขมันจะแปรผันแล้วแต่พันธุ์ของถั่วเขียว แต่โปรตีนและเถ้าจะค่อนข้างคงที่ อัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 60-67 เปอร์เซนต์ โดยประกอบด้วยกรดไขมันโอลิอิก (oleic) กรดไขมันไลโนเลอิก (linoleic) กรดไขมันไลโนเลนิก (linolenic) และกรดไขมันอราชิโดนิก (arachidonic) และปริมาณไขมันอิ่มตัวมี 33-40 เปอร์เซนต์ โดยมีกรดไขมัน

สเตียริก (stearic) กรดไขมันพาลมิติก (palmitic) กรดไขมันเบเฮนิก (behenic) และกรดไขมันลิกโนเซอริก (lignoceric) กรดไขมันหลักที่พบในถั่วเขียวคือกรดไขมันไลโนเลอิก กรดไขมันไลโนเลนิกและกรดไขมันพัลมิติก โดยมี 33.46, 21.87 และ 21.72 เปอร์เซนต์ตามลำดับ และพบกรดไขมันปริมาณ

เล็กน้อยคือ กรดไขมันโอเลอิก กรดไขมันสเตียริกและกรดไขมันอราชิโดนิก มี 5.98, 5.88 และ 4.87 เปอร์เซนต์

1.6.2 งานวิจัยเกี่ยวกับโปรตีนในถั่วเขียว

ทรง ภัครัชพันธุ์ (2529) ได้ศึกษาเพื่อนำถั่วเขียวและของเหลือจากโรงงานการแปรรูปที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบ คือโรงงานวุ้นเส้นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น และโปรตีนไอโซเลต โดยศึกษาถึงวิธีสกัดโปรตีนและกรรมวิธีการผลิต จากการวิเคราะห์โปรตีนในถั่วเขียวพบมีโปรตีนสูงถึง 24 เปอร์เซนต์ และในของเหลือจากกระบวนการผลิตวุ้นเส้นแล้วมีโปรตีนถึง 72 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักแห้ง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากถั่วเขียว โดยใช้น้ำในอัตราส่วนแป้งถั่วเขียวต่อน้ำ 1:30 พีเอช 9.5 คนให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ปรับพีเอชให้เป็นกลางแล้วตากแห้ง ส่วนของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้นทำการปรับ พีเอชเป็น 9.5 แล้วกรองแยกตะกอน จากนั้นปรับให้เป็นกลางตากแห้งเช่นกัน จากถั่วเขียวสามารถผลิตเป็นโปรตีนเข้มข้นได้ 35 เปอร์เซนต์ มีโปรตีน 73 เปอร์เซนต์ ส่วนจากโรงงานวุ้นเส้นได้ผลิตภัณฑ์ 3 เปอร์เซนต์ มีโปรตีน 73.5 เปอร์เซนต์เช่นกัน ส่วนการผลิตโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเขียวและของเหลือจากโรงงานวุ้นเส้นได้ 20 เปอร์เซนต์ มีโปรตีน 89.2 เปอร์เซนต์ และได้ 2.0 เปอร์เซนต์ มีโปรตีน 83.7 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ จากการศึกษาคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ปรากฏว่าโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเขียวมีความสามารถจับกับน้ำและการทำให้เกิดเจลได้ดี

Hirano H. และคณะ (1992) ได้ศึกษาการสกัดโปรตีนจากผลผลิตถั่วชนิดต่าง ๆ โดยพบว่าในการสกัดที่อุณหภูมิสูงพบโปรตีน basic 75 globulin (Bg) ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนขนาด 27000 และ 16000 subunits ต่อกันด้วย disulfide bonding พบในถั่วหลายชนิดได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง azuki-bean, cow bean และ winged-bean

Garg SK. และคณะ (1988) ได้ศึกษาการสกัดและคุณสมบัติทั่วไปของโปรตีนที่สกัดจากถั่วเขียว 2 พันธุ์ พบว่าหลังจากสกัดไขมันออกแล้วโปรตีนจะถูกสกัดออกมาสูงถึง 81-84 เปอร์เซนต์ในด่าง โดยโปรตีนทั้งหมดที่สกัดได้จะมี isoelectric point ในช่วงของกรด และตกตะกอนได้ในแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 70-90 เปอร์เซนต์ และจากการศึกษาขนาดของโปรตีนโดยใช้ SDS-polyacylamide gel electrophoresis พบว่ามีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วงที่กว้างมาก

Ko S. และคณะ (1994) ได้ศึกษาการนำโปรตีนจากถั่วเขียวในน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิตแป้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคนิค Ultrafiltration โดยพบว่าในวิธีการผลิตแป้งจากถั่วเขียวนั้นจะมีโปรตีนถึง 80 เปอร์เซนต์สูญเสียไปในน้ำทิ้ง จึงได้มีการศึกษาการใช้เทคนิค Ultrafiltration ในการนำโปรตีนกลับมาใช้ประโยชน์ โดยใช้แผ่นกรองที่มี Molecular weight cut off (MWCO) ที่ 30,000 และ 50,000 และนำโปรตีนที่ได้มาทำให้แห้งและใช้ประโยชน์ จะทำให้เป็นการลดปัญหามลภาวะเป็นพิษและเป็นการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสูงที่สุด

1.6.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการย่อยสลายถั่วเขียวด้วยเอนไซม์

Ostes C. (1991) ได้ทำศึกษาการย่อยแป้งถั่วเขียวด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (Bromelain) เอนไซม์อะไมเลส (amylase) และเอนไซม์ไอโซอะไมเลส (isoamylase) พบว่าการย่อยจะทำได้ดีต้องใช้เอนไซม์ร่วมกัน เนื่อยจากแป้งถั่วเขียวมีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยพบ amylopectin fraction ของแป้งถั่วเขียวซึ่งเสถียรอยู่ได้ด้วยพันธะเปปไทด์เชื่อมอยู่ จากการทำอิเลคโตรโฟลิซีสพบว่ามีสายโพลีเปปไทด์สองสาย ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสัมพันธ์กับ amylopectin fraction

Thirumarain S. และ Seralathan A. (1978) ศึกษาการย่อยสลายโปรตีนในถั่วเขียวด้วยเอนไซม์โปรติเอสชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เอนไซม์เปปซิน (pepsin) และเอนไซม์แพนครีเอติน (pancreatin) พบว่าเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถย่อยโปรตีนถั่วเขียวได้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยเคซีน (casein) โดยแพนครีเอตินมีความสามารถในการย่อยโปรตีนถั่วเขียวได้มากกว่าเปปซิน และพบว่าถ้าย่อยโปรตีนถั่วเขียวด้วยเปปซินและตามด้วยแพนครีเอตินจะให้ผลการย่อยสูงที่สุด

จากงานวิจัยถั่วเขียวที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาการย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเขียวโดยเอนไซม์หลายชนิด และโปรตีนจากถั่วเขียวเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ และมีกรดอะมิโนหลายชนิดซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังมีราคาถูก ถ้าได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากโปรตีนถั่วเขียวให้กว้างขวางขึ้นโดยการใช้เอนไซม์โปรติเอสจากแหล่งต่าง ๆ ทำการย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเขียวก็จะก่อให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด

1.7 กรรมวิธีการย่อยสลายโปรตีน

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมวลโมเลกุลสูงประมาณ ตั้งแต่ 5000 ถึงหลายล้านดาลตัน โดยโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยธาตุ C H N O และ S แต่ในบางโปรตีนมี P Re Zn และ Cu เพิ่มเข้ามา โดยโปรตีนสามารถถูกแยกออกเป็นหน่วยย่อยคือ กรดอะมิโน โดยการทำลายพันธะเปปไทด์ โดยใช้กรดด่างและเอนไซม์ย่อยโปรตีน (อาภัสรา ชมิดท์, 2537)

1.7.1 การย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดและด่าง

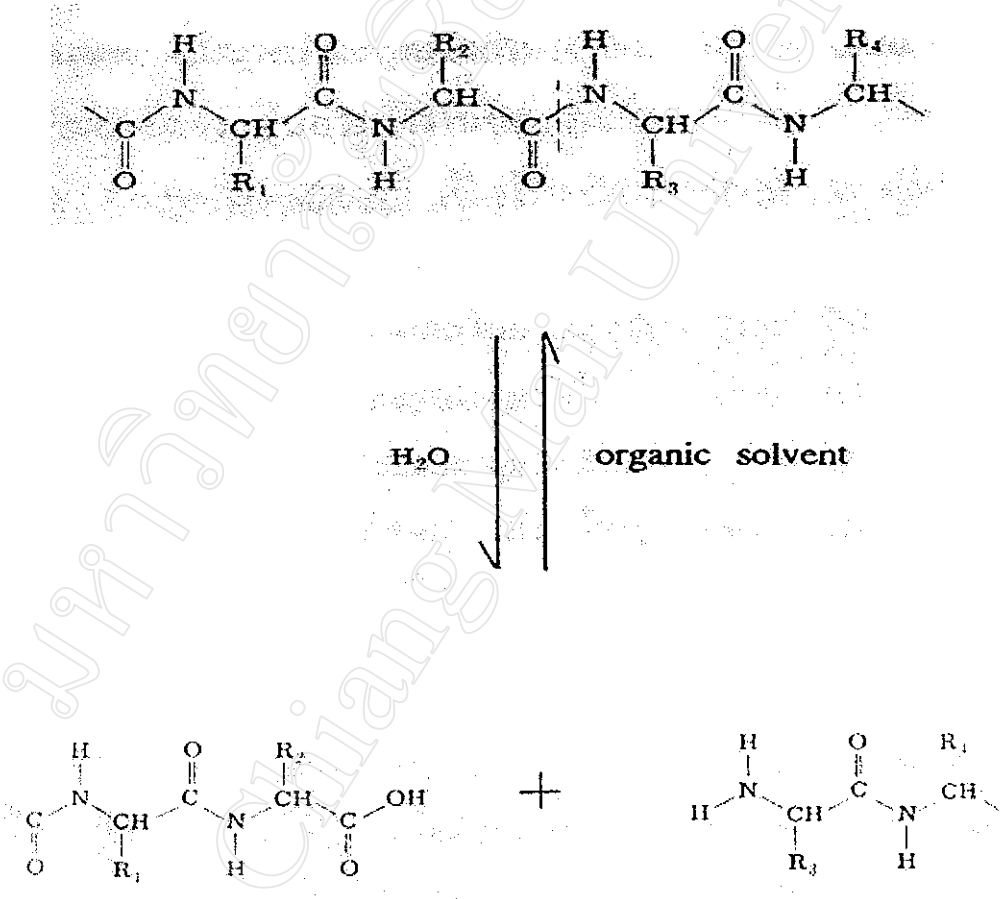
โปรตีนในพืชและสัตว์สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกรดเกลือเข้มข้น ถึงแม้ว่าการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดจะย่อยสลายโปรตีนได้กรดอะมิโนสมบูรณ์ แต่ก็ทำให้กรดอะมิโนบางชนิดเช่น กรดอะมิโนทริปโตเฟนถูกทำลาย แอสพาราจีน (asparagine) จะเปลี่ยนไปเป็นแอสพาเตท (aspartate) กลูตามีน (glutamine) เปลี่ยนไปเป็นกลูตาเมท (glutamate) ซึ่งในทางอุตสาหกรรมจะประหยัดต้นทุนการผลิตแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่นและรสชาติไม่ดี (วิเชียร ลีลาวัชรมาศ, 2522)

การย่อยสลายโปรตีนด้วยด่าง นิยมใช้แบเรียมไฮดรอกไซด์ (barium hydroxide) ในการย่อยสลาย แต่การย่อยสลายโปรตีนโดยด่างจะทำลาย กรดอะมิโนอาร์จินีน (arginine) ซีสเตอีน (cysteine) ซีสตีน (cystine) ซีรีน (serine) และ ทรีโอนีน (threonine) ในขณะที่กรดอะมิโนทริปโต

เฟนจะถูกทำลายน้อย (Elmore D.T., 1968) ซึ่งในการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดและด่างนั้น จะทำให้คุณค่าทางอาหารของโปรตีนลดลงโดยมีกรดอะมิโนบางชนิดถูกทำลายไป จึงมีการประยุกต์ใช้เอนไซม์ในการย่อยสลายมากกว่าวิธีย่อยสลายด้วยกรดและด่าง

1.7.2 การย่อยสลายโปรตีนโดยเอนไซม์โปรติเอส

เอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายโปรตีนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือเอนไซม์โปรติเอสเป็นเอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ในสารละลายของน้ำ (aqueous) และเร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะเปปไทด์ในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังสมการในรูป



รูปที่ 1.5 ปฏิกิริยาการสลายพันธะเปปไทด์ในสารละลายน้ำและปฏิกิริยาการสร้างพันธะเปปไทด์ในสารละลายอินทรีย์โดยโปรติเอส

เอนไซม์โปรติเอส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน พบทั้งในสัตว์, พืชและจุลินทรีย์ โดยโปรติเอสมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันทางด้าน

เอนไซม์โปรติเอส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน พบทั้งในสัตว์, พืชและจุลินทรีย์ โดยโปรติเอสมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันทางด้านความจำเพาะต่อสับสเตรท กลไกในการเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของบริเวณเร่งสารยับยั้ง และสารเร่งปฏิกิริยา ลำดับของกรดอะมิโนในโมเลกุล ช่วง pH อุณหภูมิในการทำงานและน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการจัดแบ่งกลุ่มของโปรติเอสไว้หลายวิธี เช่น จัดแบ่งตามแหล่งกำเนิดคือ จากสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ หรือจัดแบ่งตามลักษณะการย่อยสลาย พันธะเปปไทด์บนสายโพลีเปปไทด์ คือการย่อยสลายพันธะเปปไทด์จากปลายสาย (exopeptidase) และการย่อยสลายพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายโพลีเปปไทด์ (endopeptidase) หรือจัดแบ่งตามลักษณะของบริเวณเร่งเอนไซม์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

ก. เซอรีน โปรติเอส (serine protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโน เซอรีน และฮิสติดีน อยู่ที่บริเวณเร่ง นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยได้อีกคือ

1 อัลคาไลน์ โปรติเอส (alkaline protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นพวก endopeptidase มี pH ที่เหมาะสมในการทำงานที่ pH สูงกว่า 7 เช่น subtilisin เป็นต้น

2 โปรติเอสที่มีคุณสมบัติคล้ายทริปซิน (Trypsin-like protease) เช่น ทริปซิน และไคโมทริปซิน เป็นต้น

ข. เมทัลโล โปรติเอส (metello-protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีอิออนของโลหะอยู่ที่บริเวณเร่ง (active site) ตัวอย่าง เช่น thermolysin ซึ่งมีอิออนของสังกะสี (Zn^{2+}) ที่บริเวณเร่ง ดังนั้นเอนไซม์กลุ่มนี้จะถูกยับยั้งด้วยสารพวก metal chelating agent เช่น EDTA, 1,10 phenanthroline มี pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานในช่วง pH ที่เป็นกลาง (pH 6.5-7.5) นั่นคือ เป็นนิวทรัลโปรติเอส

ค. แอซิค โปรติเอส (acid protease) หรือแอสปาร์ติค โปรติเอส (aspartic protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโน แอสปาร์เทต อยู่ที่บริเวณเร่งและสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH 2-5 ตัวอย่างเช่น เรนนิน เปปซิน เป็นต้น

ง. ไทออล โปรติเอส (thiol protease) หรือ ซิสเตอิน โปรติเอส (cysteine protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโน ซิสเตอีน อยู่ที่บริเวณเร่ง ตัวอย่างเช่น ไฟซิน (ficin), โบรมิเลน (bromelain) และปาเปน (papain)

เอนไซม์โปรติเอสมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ในงานนั้น ๆ ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ผลผลิตที่ต้องการ ต้นทุนการผลิต เป็นต้น นอกจากการแบ่งโปรติเอสตามลักษณะของบริเวณเร่งเอนไซม์แล้วยังมีการแบ่งโปรติเอสจากแหล่งที่มา ซึ่งได้แก่ โปรติเอสจากพืช สัตว์ และจุลินทรย์ เป็นต้น

1.7.2.1 โปรติเอสจากพืช

โปรติเอสจากพืช (Plant proteolytic enzyme) เป็นเอนไซม์ที่พบทั้งในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่ เอนไซม์โปรติเอสที่ได้มีการศึกษาอย่างมากได้แก่ เอนไซม์ ปาเปนจากยางมะละกอ เอนไซม์ฟิซิน (ficin) เป็นเอนไซม์ที่พบในยางมะเดื่อ และเอนไซม์โบรมิเลนเป็นเอนไซม์ที่พบในผลสับปะรด เอนไซม์พวกนี้มีคุณสมบัติโดยทั่วไป คือสามารถจะทนต่อความร้อนได้ถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส และมีความสามารถที่จะย่อยสับสเตรทเป็นต้นว่า casein gelatin และ hemoglobin ได้ โดยเอนไซม์พวกนี้จะต้องมีหมู่ซัลไฟดิลที่เป็นอิสระ(free-SH group) อยู่ด้วย โดยเอนไซม์จากพืชมีประโยชน์อย่างมาก ในการแพทย์จะใช้เอนไซม์ช่วยในการแข็งตัวของเลือด ในอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมทำเบียร์ใช้เอนไซม์ทำให้เบียร์ใส ในอุตสาหกรรมเนื้อ ใช้เอนไซม์ทำให้เนื้อเปื่อยและยุ่ยเป็นต่าง (กัลยา วงศ์สินอุดม, 2520)

เอนไซม์ ปาเปน

เอนไซม์ ปาเปน(EC.3.4.4.10) เป็นสายโพลีเปปไทด์สายเดี่ยวที่เกิดขึ้นจากการเรียงตัวกันของกรดอะมิโน จำนวน 212 ตัว ซึ่งในจำนวนนั้นจะเป็นกรดอะมิโน ซิสเตอิน จำนวน 7 ตัว โดยที่กรดอะมิโนซิสเตอีนจำนวน 6 ตัว จะจับกันเป็นพันธะไดซัลไฟด์ 3 พันธะ และกรดอะมิโนซิสเตอีนอีกตัวจะอยู่ที่ตำแหน่ง 25 ซึ่งเป็นบริเวณเร่ง ปาเปนสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของโปรตีน เปปไทด์ เอไมด์ และเอสเทอร์ของกรดอะมิโน การทำงานของเอนไซม์ปาเปน เรียกว่า "thiol-imidazole system" โดยจะเป็นการทำงานร่วมกันของกรดอะมิโนซีสเตอีนที่ตำแหน่งที่ 25 (Cys-25) กับกรดอะมิโนฮิสติดีนที่ตำแหน่ง 159 (His-159) เอนไซม์ปาเปนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ คือ ใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ 75 เปอร์เซ็นต์ อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ 10 เปอร์เซนต์ อุตสาหกรรมปลา 5 เปอร์เซนต์ อุตสาหกรรมอาหารประเภทอื่น ๆ 5 เปอร์เซนต์ อุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ 2 เปอร์เซนต์ และอื่น ๆ อีก 3 เปอร์เซ็นต์ (ทวีศักดิ์ วุฒิเขียวธรรม, 2536)

เอนไซม์ โบรมิเลน

โบรมิเลน(EC.3.4.4.24)จัดเป็นพวกเอนไซม์ peptide hydrolases ที่มีหมู่ซัลไฟดริลของกรดอะมิโนซิสเตอีนอยู่ที่บริเวณเร่งของโมเลกุล (-SH proteinase) สามารถกระตุ้นได้ โดย cysteine, 2-mercaptoethanol และพวก cyanide ion ส่วนพวก inorganic mercuric ion, organic mercurial และ tetrathionate จะยับยั้งเอนไซม์นี้แบบทวนกลับ แต่ถ้าเป็น monoiodo-acetic acid และ 1,3-dibromoacetone จะยับยั้งแบบไม่ทวนกลับ เนื่องจากเกิด alkylate ที่บริเวณเร่ง และนอกจากโบรมิเลนจะสามารถย่อยพันธะเปปไทด์ได้แล้วยังสามารถย่อยพันธะเอไมด์ และเอสเทอร์ ได้ด้วย เอนไซม์โบรมิเลนใช้ในอุตสาหกรรมเช่นเดียวกับเอนไซม์ปาเปน ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มเดียวกัน (ศิวาพร อรรฐาเมศร์, 2525)

เอนไซม์ ไฟซิน

ficin(EC.3.4.4.12) เป็นเอนไซม์ที่ได้จากยางของต้นมะเดื่อ และสามารถ catalyzed hydrolysis ของ benzoyl-L-crginine emide เหมือนกับ trypsin น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 23,800-26,000 คุณสมบัติของ Ficin เหมือนกับเอนไซม์ ปาเปน คือสามารถ hydrolyzed substrate โดยเฉพาะที่เป็น peptide amide และ ester ได้ โดย Ficin มีพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีน คือที่พีเอช 7.0 (กัลยา วงศ์สินอุดม, 2520)

1.7.2.2 เอนไซม์โปรติเอสจากสัตว์

เอนไซม์โปรติเอสจากสัตว์เป็นที่รู้จักมานานแล้ว และมีการใช้ประโยนช์มากมาย เช่นเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) และทริปซิน(Trypsin) ใช้ในการฟอกหนังสัตว์เป็นต้น แต่เอนไซม์จากสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพราะมีต้นทุนการผลิตสูง และต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ในการผลิตคือพื้นที่ ระยะเวลาและฤดูกาล เป็นต้น(โชคชัย มนต์ประสาธน์, 2526)

1.7.2.3 เอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์

เอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อจุลินทรีย์ เป็นแหล่งของเอนไซม์ที่มีราคาถูก และมีหลากหลายในการเลือกใช้ โดยสามารถผลิตได้ในปริมาณสูง เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญได้อย่างรวดเร็ว ง่ายต่อการปรับปรุงสายพันธุ์ ใช้แหล่งวัตถุดิบได้หลายชนิด และในการเพาะจุลินทรีย์จะใช้พื้นที่น้อย ไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล (ดวงพร คันธโชติ, 2530) โดยโปรติเอสชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 1.14

ตารางที่ 1.14 เอนไซม์โปรติเอสชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ (10)

ชนิดของเอนไซม์	ความจำเพาะ	จุลินทรีย์ที่ผลิต
Serine		
Trypsinlike	Basic amino acid (aa)	*Streptomyces griseus*
	Residues at the carboxyl	*S. fradiaa*
	Side of the spliting point	*S. erythreus*
Alkaline	Aromatic or hydrophobic	*Bacillus subtilis*
	aa residue at the carboxyl	*Saccharomyces cerevisiae*
	side of the splittin point	*S. griseus*
		S. rectus
		Aspergillus oryzae
Myxobacter-y-lytic	Small aliphatic aa residue at	*Sporangium sp.*
	the carboxylic side of the	
	splitting point	
Staphylococcal	Aspartic or glutamic acid	*Staphylococcus aureus*
	residues at the carboxylic	
	side of the splitting point	

ตารางที่ 1.14 (ต่อ)

ชนิดของเอนไซม์	ความจำเพาะ	จุลินทรีย์ที่ผลิต
Thiol		
Clostripain	Basic aa residues at the carboxyl side of the spliting point	*Clostridium hystolyticum*
Streptococcai	Broad	*Group A streptococci*
Metal		
Neutral	Hydrophobic or bulky aa at The samio side of the splitting point	*Bacillus subtilis* *B. thermoproteolyticus* *B. cereus* *B. megaterium* *S. griseus* *A. oryzae* *Pseudomonas aaruginose* *C. hystolyticum* *B. amyloliquefaciens*
Alkaline	Broad	*Serratia sp.*
Myxobacter protease I	Low-molecular-weight aa Residues at either or both sides of the splitting point	*Sporangium sp.*
Myxobacter protease II	Lysine residue at the amino side of the splitting point	*Myxobacter AL-I*
Acid	Aromatic or hydrophobic aa residue at both sides of the splitting point	*A. oryzae* *A. niger* *Panicillium notatum* *Rhizopus chinensis* *Mucor pusillus* *M. miehei* *Endothia parasitica* *Candida albicans* *S. cerevisiae* *Rhodotorula glutinis*

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

1.8 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในระดับอุตสาหกรรม

เอนไซม์โปรติเอสมีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมมากมาย เช่น

1.8.1 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในอุตสาหกรรมเบียร์

อุตสาหกรรมเบียร์มีการใช้เอนไซม์ปาเปนจากมะละกอ โบรมิเลนจากสับปะรด และเปปซิน (pepsin) จากแกะ ในอุตสาหกรรมเบียร์มีการนำโปรติเอสมาย่อยตะกอนโปรตีนในเบียร์ทำให้เบียร์ใส ขึ้น โดยมีการใช้เอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อรา *Streptomyces fradiae* ขจัดความขุ่นของเบียร์ พบว่ามี ประสิทธิภาพดีกว่าเอนไซม์ปาเปนจากยางมะละกอ (Posada J. et al, 1981) และพบว่าถ้าใช้ เอนไซม์ cysteine protease ย่อยเบียร์จะทำให้เกิดแรงอัดทำให้เบียร์ล้นออกจากภาชนะที่เก็บ แต่ถ้า ย่อยเบียร์ด้วย acid protease จากเชื้อ *Aspergillus saitoi* เบียร์จะไม่เกิดการล้น แม้จะเก็บไว้นาน ถึง 4 เดือนก็ตาม (Horiuchi G.H. et al, 1980)

1.8.2 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในอุตสาหกรรมการผลิตเนยแข็ง

มีการใช้เอนไซม์โปรติเอสในอุตสาหกรรมการผลิตเนยแข็ง โดยให้เอนไซม์จากพืชและสัตว์ใน การช่วยผลิตเนยแข็ง พบว่าเอนไซม์เรนิน (renin) สามารถทำให้นมตกตะกอนได้ ในปัจจุบันได้ใช้ เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากจุลชีพหลายชนิดมาใช้ในการทำเนยแข็งแทนเอนไซม์เรนินจากสัตว์ มีการใช้ neutral protease จาก *Bacillus polymyxa* ผลิต Gouda cheese Mumag มีการใช้ neutral protease จาก *Bacillus messentericus* ในการผลิต Nachkaval cheese เป็นต้น (โชคชัย มนต์ ประสาธน์, 2536)

1.8.3 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในอุตสหกรรมการฟอกหนัง

การใช้เอนไซม์โปรติเอสในอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในการกำจัดขน สัตว์ และทำให้หนังสัตว์บางลงมานานกว่า 200 ปี ใช้เอนไซม์เปปซิน ทริปซิน โบรมิเลนจากสับปะรด ปาเปนจากมะละกอ มีการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์มากมาย โดยใช้โปรติเอสจาก *Bacillus erodiens, Bacillus messentericus, Bacillus subtilis* และจากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* เพื่อใช้ในการ ฟอกหนัง (Krall L., 1926) มีการพบว่าเอนไซม์โบรมิเลนจะใช้ได้ดีกว่าเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ในสภาพเป็น กรด (โชคชัย มนต์ประสาธน์, 2536)

1.8.4 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในผงซักฟอก

การศึกษาใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากจุลชีพผสมกับผงซักฟอกเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัด รอยเปื้อนที่เป็นโปรตีนได้ดีขึ้น โดยใช้เอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อ *Bacillus subtilis* ผสมในผงซักฟอก พบว่าผงซักฟอกนี้สามารถกำจัดรอยเปื้อนได้ดีที่สุดที่ pH 8-11 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Mouret G.M., 1972) พบว่ามีการใช้โปรติเอสจากจุลินทรีย์หลายชนิดในการผลิตผงซักฟอกได้แก่จาก เชื้อ *Actinomyces sp. Staphylococcus aureus, Aspergillus niger* เป็นต้น โดยการผสม

เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากจุลชีพลงในผงซักฟอก จะทำให้ประสิทธิภาพของผงซักฟอกในการกำจัดรอยเปื้อนเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่ทำให้อาการแพ้ผงซักฟอกได้ (โชคชัย มนต์ประสาธน์, 2536)

1.8.5 การใช้เอนไซม์โปรติเอสในการผลิตกรดอะมิโน

การใช้เอนไซม์ในการผลิตกรดอะมิโนในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.15 (ดวงพร คันธโชติ, 2530)

ตารางที่ 1.15 กรดอะมิโนที่ผลิตโดยวิธีการใช้เอนไซม์ (10)

Amino acids	Reaction[a]	Enzymes	Enzyme Sources	Product Concentration And yield (gm/ Liter)(yield,%)
L-Asp	Fumaric acid + NH_4^+ → L-Asp	Aspartase	*Escherichia Coli*	560 (99)
L-Ala	L-Asp → L-Aia + CO_2	Aspartate decarboxylase	*Pseudomonas dacunhae*	268 (100)
L-Tyr	Phenol + pyruvate + NH_4^+ → L-Tyr + H_2O	Tyrosinephenol-lyase	*Erwinia herbicola*	61 (94)
L-DOPA	Pyrocatechol + pyruvate + NH_4^+ → L-DOPA + H_2O	Tyrosinephenol-lyase	*Erwinia herbicola*	59 (95)
L-Trp	Indole + pyruvate + NH_4^+ → L-Trp + H_2O	Tryptophanase	*Proteus rettgeri*	63 (98)
5-(OH)-L-Trp	5-(OH)-Indole + pyruvate + NH_4^+ → 5-(OH)-L-Trp + H_2O	Tryptophanase	*Proteus rettgeri*	28 (60)
L-Trp	DL-Trp hydantoin + $2H_2O$ → L-Trp + CO_2 + NH_3	D-Trphydantoin racemase, L-Trp hydantoin hydrolase, *N*-carbamoyl-Trp hydrolase	*Flavobacterium aminogenes*	50 (100)
L-CysH	DL-ATC + 2 H_2O → L-Cysh + CO_2 + NH_3	D-ATC racemase, L-ATC hydrolase, S-carbamoyl-L-Cysh hydrolase	*Pseudomonas Thiazolino-philum*	30 (95)
L-CysH	β-Chloro-L-Ala + Na_2S → L-CysH + NaCl + NaOH	Cysteine desulthydrase	*Aerobacter aerogenes*	49 (89)

ตารางที่ 1.14 (ต่อ)

Amino acids	Reaction[a]	Enzymes	Enzyme Sources	Product Concentration And yield (gm/ Liter)(yield,%)
L-Phe	DL-Phe hydantoin + 2 H_2O → L-Phe + CO_2 + NH_3	D-Phe hydantoin racemase, L-Phe hydantoin hydrolase, *N*-carbamoyl-L-Phe hydrolase	*Flavobacterium aminogenes*	50 (100)
L-Lys	DL-Aminocaprolactam + H_2O → L-Lys	D-Caprolactam racemase L-Caprolactam hydrolase	*Achromobacter Obae* *Cryptococcus laurentii*	100 (100)

[a] L-DOPA, 3-(3,4-dihydroxphenyl)-L-alanine; DL-Trp hydantoin; DL-5-indolylmethyl-hydantoin; DL-ATC; DL-2-aminothiazoline-4-carboxylic acid, DL-Phe hydantoin; DL-5-benzyl-hydantoin; DL-aminocaprolactam; DL-α-amino-ε-caprolactam

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในงานด้านอื่น ๆ อีก โดยใช้เอนไซม์ปาเปน ในการทำให้เนื้อนุ่ม ใช้เอนไซม์โบรมิเลนทำให้เนื้อนุ่ม ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์มาทำให้เนื้อนุ่มแทนเอนไซม์จากพืชดังกล่าวมาแล้ว เช่น เอนไซม์จาก *Aspergillus oryzae, Bacillus subtilis* นอกจากนี้ยังอาจใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในการผลิตอาหารอื่น เช่น ผลิตน้ำปลา, protein hydrolysate (Yuguchi ho, 1982) มีการใช้ acid protease กำจัดตะกอนโปรตีนในไวน์ได้ถึง 15-30 เปอร์เซนต์ และกำจัด colloid ได้ถึง 20-30 เปอร์เซนต์ (Rokhlenko S.G. et al, 1980)

จะเห็นได้ว่าเอนไซม์โปรติเอสมีความสำคัญในอุตสาหกรรมมาก มีการใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด และพบว่าในปัจจุบันมีการหันมาใช้เอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์มากขึ้นเพาะมีราคาถูก ประหยัดต้นทุนการผลิตได้มาก ในขณะที่เอนไซม์จากพืชและสัตว์ต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง และต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ในการผลิตคือพื้นที่ ระยะเวลา และฤดูกาล เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาการย่อยสลายโปรตีนจากถั่วเขียวในงานวิจัยนี้ได้มีการทดลองใช้เอนไซม์จากพืชและจุลินทรีย์ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยโปรตีนจากถั่วเขียว โดยเปรียบเทียบกับการย่อยสลายด้วยกรด

1.9 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เนื่องจากโปรตีนจากถั่วเขียวเป็นโปรตีนที่มีราคาถูก และมีการปลูกถั่วเขียวมากในประเทศไทย แต่การนำถั่วเขียวมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยยังไม่กว้างขวาง ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น จึงควรมีการศึกษาการนำโปรตีนจากถั่วเขียวมาทำผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ได้ใช้กรดเกลือเข้มข้นย่อยสลายแป้งถั่วเขียวโดยตรงเพื่อให้ได้กรดอะมิโน และนำมาเปรียบเทียบกับการย่อยสลายแป้งถั่วเขียวด้วยเอนไซม์ โดยเอนไซม์ที่ใช้แยกเป็น 2 กลุ่มคือ เอนไซม์โปรติเอสจากพืชคือ ปาเปน และโบรมิเลน และเอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์ จากเชื้อ *Aspergillus* sp1 และ *Aspergillus* sp2 ผลิตเอนไซม์โปรติเอสและนำมาย่อยสลายแป้งถั่วเขียวโดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายแป้งถั่วเขียวโดยหาความเข้มข้นของเอนไซม์ ความเข้มข้นของแป้งถั่วเขียว ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิและช่วงเวลาในการย่อยสลาย หลังจากนั้นจึงใช้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเอนไซม์ย่อยสลายแป้งถั่วเขียว โดยขยายปริมาตรเป็นขนาด 3 ลิตร เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้ต่อไป

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University