บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้หาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ใช้เป็นอาหารบางชนิดและในพืชที่มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินซึ่งได้ผ่านการปรุงอาหารโดยวิธีการต่างๆ โดยใช้วิธีของ Liu และ Markakis (1989) เป็นวิธีใหม่ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของRackis(1966) โดยมีการปรับปรุงสภาวะของการวิเคราะห์ตลอดจนเปลี่ยนแปลงสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้เหมาะสมยิ่งขึ้นดังนี้คือ

1. ใช้พอร์ไซน์ทริปซิน (Porcine trypsin) แทนโบไวน์ทริปซิน (Bovine trypsin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่จะเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น คือ เบนโซอิล-ดีแอล-อาร์จินีน-พารา-ไนโตรอะนิลีด-ไฮโดรคลอไรด์(Benzoyl-DL-arginine-4-nitroanilide hydrochloride (BAPA)) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ คือพารา-ไนโตรอะนิลีน (p-Nitroaniline)ซึ่งมีสีเหลือง สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร เนื่องจากพอร์ไซน์ทริปซินมีความไว (Sensitivity) ต่อสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินมากกว่าโบไวน์ทริปซิน นอกจากนี้พอร์ไซน์ทริปซินยังมีความคงตัวมากกว่า เนื่องจากเกิดการย่อยตัวเองได้ยากกว่า

2. ใช้น้ำกลั่น (พีเอช 6.5) เป็นสารสกัดเอาสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินออกจากตัวอย่างแทนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 นอร์แมล (พีเอช 10.0)เนื่องจากน้ำกลั่นสามารถสกัดเอาสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินออกจากตัวอย่างได้ในปริมาณสูงกว่าการใช้ 0.1 นอร์แมลโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวสกัด

3. กำหนดให้ปริมาตรสุดท้ายของการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองเป็น 4 มิลลิลิตร ซึ่งจะสามารถให้ค่าการยับยั้งของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินสูงกว่าวิธีเก่า ซึ่งมีปริมาตรสุดท้ายของการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองเป็น 8 มิลลิลิตร

4. ทำการกรองสารละลาย ซึ่งได้จากการสกัดเอาสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินออกจากตัวอย่างให้ใสก่อนการทำปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะให้สีชัดเจนกว่าวิธีเก่า ซึ่งทำการกรองหลังจากเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้เนื่องจากการกรองหลังทำปฏิกิริยา จะทำให้ผลิตภัณฑ์สีเหลืองที่เกิดขึ้นถูกดูดซับไว้บนกระดาษกรอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืช 93 รายการ ตรวจพบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน 28 รายการ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 8 ส่วนอีก 65 รายการไม่พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9 ซึ่งพบว่าถั่วเหลืองมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่ปริมาณสูงสุดคือ 182.40±0.03 TUI/มิลลิกรัม โดยพบว่าพืชวงศ์ถั่วจะมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่ในปริมาณสูงกว่าพืชวงศ์อื่นๆ

เมื่อพิจารณาจากส่วนต่างๆของพืชที่นิยมใช้บริโภค พบว่าส่วนของพืชที่เป็นเมล็ด และเมล็ดงอกเป็นส่วนที่พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 88.2 ของจำนวนตัวอย่างที่เป็นเมล็ดและเมล็ดงอกทั้งหมดที่ได้นำมาวิเคราะห์ และคิดเป็นร้อยละ 53.6 ของจำนวนตัวอย่างพืชทั้งหมดที่พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ทั้งนี้พบว่าในส่วนอื่นๆ ของพืชก็อาจพบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้เช่นกัน โดยอาจพบได้ใน ใบ, หัว, หน่อ, ผล, ฝัก และดอก ขึ้นกับชนิดของพืช

การพิจารณาปริมาณโปรตีนในพืชที่นำมาวิจัย โดยใช้ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทย (กองโภชนาการ กรมอนามัย,2530) เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มที่อาจทำให้พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่นำมาบริโภค พบว่าพืชที่มีโปรตีนสูงบางชนิด เช่น ลูกเดือย(มีโปรตีน 12.0 กรัมต่อส่วนที่กินได้ 100 กรัม) ปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ในขณะที่มันฝรั่ง ซึ่งมีโปรตีนต่ำ (2.0 กรัม ต่อส่วนที่กินได้100กรัม)มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในปริมาณสูงถึง 9.07 TUI/ม.ก. (ตารางที่ 9)

เมื่อนำเอาพืชที่พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน มาผ่านการปรุงอาหารโดยวิธีต่างๆ คือ

- แช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 3,6,12,24 และ 48 ชั่วโมง
- ต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่างๆ คือ 5, 10,20,30 และ 60 นาที
- นึ่งในหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5,10,20,30 และ 60 นาที
- อบแห้งในตู้อบร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,10,20,30 และ 60 นาที

ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 10 ถึงตารางที่ 44 ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาตามความแตกต่างของแต่ละวิธีการปรุงอาหาร สามารถจำแนกปัจจัย ซึ่งมีผลต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชเมื่อผ่านการปรุงอาหารได้ 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ความชื้น

ความชื้นในการปรุงอาหารทั้ง 4 วิธี พบว่ามีความแตกต่างกันดังนี้

1.1 วิธีการปรุงอาหารโดยใช้ความชื้นได้แก่ วิธีแช่น้ำ วิธีต้ม และวิธีนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอ

1.2 วิธีการปรุงอาหารโดยไม่ใช้ความชื้น ได้แก่ วิธีอบแห้งในตู้อบร้อน

เมื่อพิจารณาความสำคัญของปัจจัยดังกล่าวต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชเมื่อผ่านการปรุงอาหาร โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการต้ม และผ่านการอบแห้ง ซึ่งใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเช่นกัน พบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการต้ม จะต่ำกว่าในพืชชนิดเดียวกันที่ผ่านการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 70 และ 71) ทั้งนี้การทดลองของ Mendel และ Lan (1990) ซึ่งนำเมล็ดพืช *Ipomoea tricolor* มาให้ความร้อนโดยใช้ความร้อนแห้ง และความร้อนชื้น

(วิธีอบในตู้อบไมโครเวฟ และวิธีนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอตามลำดับ) ได้ผลการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของความชื้นในการปรุงอาหารในทำนองเดียวกับผลการวิจัยนี้

2. อุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 4 วิธี พบว่าอุณหภูมิที่ใช้แตกต่างกัน 3 ระดับคือ อุณหภูมิห้อง 100 องศาเซลเซียส และ 121 องศาเซลเซียส ซึ่งได้แก่ วิธีแช่น้ำ วิธีต้มหรืออบแห้ง และวิธีนึ่งใน หม้อนึ่งอัดไอ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการต้มที่ 100 องศาเซลเซียส และพืชที่ผ่านการนึ่งที่ 121 องศาเซลเซียส พบว่า พืชบางชนิด เช่น ชะอม กระถิน ข้าวโพด ดอกกะหล่ำ บรอคโคลี่ สะตอ ลูกเหรียง ฝักกระถิน ถั่วพู หน่อไม้ มันเทศ มันฝรั่ง และเผือก การต้มและการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมดภายในเวลาเพียง 5 นาที จึงทำให้ไม่สามารถบอกความแตกต่างของวิธีทั้งสองได้ (ตารางที่ 11, 12, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 43 และ 44 ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพืชชนิดอื่นๆ เช่น ใบตำลึง ถั่วเหลือง ถั่วแดงหลวง ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วปากอ้า ถั่วลิสง ถั่วลันเตา ถั่วงอก ถั่วงอกหัวโต เมล็ดขนุน มะระขี้นก และถั่วฝักยาว การนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากกว่าวิธีต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 48, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 65, 66, 67, 68 และ 69) เช่นเดียวกับการทดลองของ Perkins และ Toledo (1982) ซึ่งให้ความร้อนชื้น(Retort)แก่ถั่วลิสงโดยใช้อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียสและพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น การทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินจะเพิ่มขึ้น

3. ระยะเวลา

จากการนำพืชที่มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินมาปรุงอาหาร โดยวิธีการต้ม นึ่งในหม้อนึ่งอัดไอ และอบแห้ง ในระยะเวลาต่างๆ คือ 5,10,20,30 และ 60 นาที พบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการปรุงอาหารโดยวิธีใดวิธีหนึ่งที่ระยะเวลาต่างๆกัน

จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 48-71) โดยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินจะลดลง ซึ่งข้อสรุปนี้ สรุปได้เช่นเดียวกับที่มีผู้เคยทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ซึ่งทำการศึกษาในถั่ว *Phaseolus vulgaris* โดยใช้วิธีการต้ม (Tsukamoto และคณะ,1983) และทำการศึกษาในถั่วลิสงโดยใช้วิธีนึ่งอัดไอ (Retort) ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินจะลดลง (Perkins และ Toledo, 1982)

เมื่อพิจารณาผลของวิธีการปรุงอาหารต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินพบว่า

1. การต้ม

จากการวิจัยพบว่า การต้มสามารถลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ ในพืชทุกชนิดที่นำมาวิจัย ทั้งนี้ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินจะลดลงได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่มีอยู่เดิม ชนิดของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ลักษณะของพืชและระยะเวลาในการต้ม พบว่าในถั่วเมล็ดแห้ง ต้องใช้เวลาในการต้มไม่ต่ำกว่า 20 นาที จึงจะทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด (ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Collin และ Beaty (1980) และการศึกษาของ Kakade (1974) ซึ่งศึกษาในถั่วเหลืองเช่นเดียวกัน) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของพืชมีเยื่อหุ้มเมล็ด จึงทำให้ความชื้น และความร้อนแทรกเข้าเมล็ดพืชได้ยาก นอกจากนี้ในถั่วยังมีปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่สูง จึงยากต่อการทำลาย ส่วนในพืชสดจะมีความชื้นอยู่สูง ทำให้การต้มสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ในเวลารวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนและความชื้นสามารถแทรกตัวเข้าไปในพืชได้ง่าย ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Wang และ Chang (1988) ซึ่งพบว่าความร้อนชื้นสามารถแทรกตัวเข้าไปทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่ว *Phaseolus vulgaris* ได้ดีกว่าความร้อนแห้ง และสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากกว่า สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชแต่ละชนิดอาจถูกทำลายให้หมดไปได้โดยวิธีต้ม ซึ่งอาจใช้เวลาในการต้มต่างกันไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 45

2. การในหม้อนึ่งอัดไอ

จากการวิจัยพบว่า การนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอสามารถลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ในพืชทุกชนิดที่นำมาวิจัย โดยพบว่าในพืชที่มีความชื้นสูง หรือถั่วที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดบาง เช่น ถั่วลิสง ถั่วลันเตา ไอน้ำและความร้อน จากการนึ่งจะสามารถแทรกเข้าไปในพืชได้ง่าย ทำให้สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินถูกทำลายให้หมดไปได้ในเวลารวดเร็ว ในขณะที่ถั่วซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดหนา เช่น ถั่วดำ ถั่วแดงหลวง ความร้อน และความชื้นแทรกเข้าไปในเมล็ดพืชได้น้อย ทำให้สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินถูกทำลายได้ยาก ดังนั้นสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืช แต่ละชนิดอาจถูกทำลายให้หมดไปได้โดยการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอที่ระยะเวลาต่างๆ กัน (ตารางที่ 45) ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนพืชที่สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินถูกทำลายให้หมดไปภายในเวลา 5 นาทีนั้นมีจำนวนมากกว่าวิธีต้ม ทั้งนี้เนื่องจากวิธีนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอนั้นใช้อุณหภูมิสูงกว่าทำให้สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากกว่าการต้มหรืออบแห้งซึ่งผลที่ได้นี้เป็นไปในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Mendel และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าการนำเอาเมล็ด *Ipomoea tricolor* มาให้ความร้อน พบว่าการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอ จะทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากกว่าการใช้เตาอบธรรมดา และเตาไมโครเวฟ ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำกว่า

อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ลดลง เนื่องจากการนำพืชมานึ่งในหม้อนึ่งอัดไอจากการวิจัยครั้งนี้ อาจลดลงได้จากการให้ความร้อน เพื่อรอให้มีความดันในหม้อนึ่งอัดไอเป็น 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว จึงทำให้ปริมารสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินถูกทำลายได้เร็วยิ่งขึ้นกว่าวิธีอื่น

3. การอบแห้งในตู้อบร้อน (Hot air oven)

จากการวิจัยพบว่า การอบแห้งในตู้อบร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชให้หมดไปได้ ทั้งนี้การอบแห้งสามารถลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้เพียงเล็กน้อย โดยปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการอบแห้ง จะสูงกว่าในพืชที่ผ่านการต้มหรือนึ่งในหม้อนึ่งอัดไออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 70และ71)

4. การแช่น้ำ

จากการวิจัยพบว่า การนำพืชไปแช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 3,6,12,24 และ 48 ชั่วโมง จะทำให้พืชมีความชื้นเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินลดลง เมื่อวิเคราะห์ทั้งในหน่วย TUI/มิลลิกรัมตัวอย่างและ TUI/มิลลิกรัมตัวอย่างแห้ง โดยปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเป็นต่อน้ำหนักแห้ง จะต่ำกว่าในพืชที่ไม่ผ่านการแช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62 และ 64) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ลดลงนี้ไม่สัมพันธ์กับเวลา เนื่องจากปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาต่างๆ นั้นมิได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62 และ 64) ดังนั้นการลดลงของปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินนี้จึงอาจเกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีนที่อยู่ในพืชถูกละลายออกมาในระหว่างการแช่น้ำ ดังที่ Collins และ Sanders (1976) ได้ทำการศึกษาพบว่าการล้างถั่วเหลืองดิบจะทำให้ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินลดลงถึงร้อยละ 10.2 อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Chompreeda และ Field(1984) พบว่าการหมักข้าวโพดเป็นเวลา 4 วัน จะทำให้ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินลดลง ดังนั้นสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ลดลง ในการแช่น้ำจากการวิจัยนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแช่น้ำมีผลทำให้เกิดการหมัก(Fermentation)เกิดขึ้น

การศึกษาถึงผลการแปรรูปถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ ต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินโดยนำเอาถั่วเหลืองมาผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ คือน้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าฮวย และฟองเต้าหู้ แล้วนำมาหาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ได้ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 46 และตารางที่ 47 ซึ่งอาจนำมาสรุปได้ดังนี้

1. น้ำนมถั่วเหลือง

การเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยวิธีต่างๆกัน 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 เตรียมจากถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่น้ำค้างคืน

วิธีที่ 2 เตรียมจากถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่ในน้ำร้อน (80 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองทั้งสองวิธี ซึ่งได้จากวัตถุดิบคือถั่วเหลือง 100 กรัม จะมีปริมาณต่ำกว่าในวัตถุดิบที่มีปริมาณ 100 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 72) (ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในน้ำนมถั่วเหลืองวิธีที่ 1, วิธีที่ 2 และในถั่วเหลืองดิบมีค่าเท่ากับ 3.35×10^6, 3.28×10^6 และ 18.24×10^6 TUI/100 กรัมวัตถุดิบตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินบางส่วนอยู่ในกากถั่วเหลืองที่ทิ้งไป นอกจากนี้สารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในน้ำนมถั่วเหลืองอาจถูกทำลายในขณะที่นำมาต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการต้มน้ำนมถั่วเหลืองจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที ไม่สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด โดยจะยังมีเหลืออยู่ ร้อยละ 18.4 และร้อยละ 17.9 ของปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในวัตถุดิบ เมื่อเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 46) ทั้งนี้พบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีเตรียม คือการแช่ในน้ำค้างคืน และการแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงนั้น ต่างมีผลต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วเหลืองน้อยมาก โดยอุณหภูมิดังกล่าวไม่สูงเพียงพอที่จะทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วเหลืองได้ ดังที่ได้ทำการวิจัยในส่วนต้น ซึ่งพบว่าการแช่น้ำสามารถลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วเหลืองได้เพียงเล็กน้อย และแม้จะต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก็ไม่สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วเหลืองได้หมด (ตารางที่ 13 และ 14)

2. เต้าหู้ขาวชนิดแข็งและเต้าฮวย

จากการเตรียมเต้าหู้ขาวชนิดแข็ง และเต้าฮวย ซึ่งใช้สารตกตะกอนโปรตีนต่างชนิดกันคือ ใช้แมกนีเซียมซัลเฟตในการเตรียมเต้าหู้ และใช้แคลเซียมซัลเฟตในการเตรียมเต้าฮวย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะแตกต่างกัน โดยโปรตีนที่ตกตะกอนด้วยแมกนีเซียม-ซัลเฟตหรือเต้าหู้จะมีลักษณะหยาบกว่าเต้าฮวยซึ่งตกตะกอนโดยแคลเซียมซัลเฟต โดยตะกอนที่ได้จากแคลเซียมซัลเฟตจะสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากกว่า จึงทำให้เต้าฮวยมีปริมาณความชื้นสูงกว่าเต้าหู้ ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในเต้าฮวยจะต่ำกว่าในเต้าหู้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความชื้นซึ่งแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในผลิตภัณฑ์ทั้งสอง ซึ่งได้จากวัตถุดิบในปริมาณเท่ากัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการใช้แมกนีเซียมซัลเฟต หรือแคลเซียมซัลเฟตในการตกตะกอนโปรตีนจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินไม่แตกต่างกันแต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในผลิตภัณฑ์ทั้งสองจะต่ำกว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 73) ทำนองเดียวกับการศึกษาของชุติมาที่ทำการสกัดโปรตีนจากเมล็ดกระถิน ฝักกระถิน และเมล็ดฟักทอง ซึ่งจะพบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในโปรตีนสกัดจะลดลงต่ำกว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ชุติมา, 2532)

3. ฟองเต้าหู้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในฟองเต้าหู้ พบว่ามีปริมาณต่ำกว่าในถั่วเหลืองดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ 73) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมฟองเต้าหู้ต้องผ่านกรรมวิธีให้ความร้อน ซึ่งจะช่วยทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในฟองเต้าหู้ เต้าหู้และเต้าฮวย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำฟองเต้าหู้ ต้องนำน้ำนมถั่วเหลืองมาต้มเป็นเวลานาน จึงอาจมีผลให้ปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินลดลงได้ใกล้เคียงกับการใช้เกลือเพื่อตกตะกอนโปรตีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรุงอาหารเพื่อลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชผัก ตามบริโภคนิยมของคนไทย

จากการวิจัยพบว่าพืชผักหลายชนิดที่คนไทยนิยมบริโภค มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ดังนั้น ในชีวิตประจำวันของคนไทยจึงอาจได้รับสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินจากอาหารในปริมาณไม่มากก็น้อย แต่อย่างไรก็ตามการปรุงอาหารมีส่วนช่วยในการลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินลงได้ และหากผู้บริโภคใช้วิธีการปรุงอาหารที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้ ทำให้สามารถบริโภคอาหารได้อย่างมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของการปรุงอาหาร ต่อปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ในพืชที่ใช้เป็นอาหารบางชนิด และอาจประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการปรุงอาหารเพื่อนำพืชผักต่างๆมาบริโภค โดยมีปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่ในปริมาณต่ำ หรือไม่มีอยู่เลย ซึ่งอาจกล่าวจำแนกเป็นประเภทต่างๆดังนี้

พืชผักที่นิยมบริโภคแบบดิบ หรือลวกในน้ำเดือด

คนไทยนิยมบริโภคพืชผักบางชนิดโดยบริโภคแบบดิบ หรือลวกน้ำเดือดโดยเฉพาะผักที่ใช้รับประทานกับน้ำพริก เช่น ถั่วฝักยาว ถั่วพู ใบกระถิน ฝักกระถิน และมะระขี้นก จากการวิจัยพบว่า พืชผักดังกล่าวมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในปริมาณต่างๆกัน (ตารางที่ 8) ซึ่งสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วพู ใบกระถิน ฝักกระถิน ลูกเหรียง และสะตอ จะถูกทำลายให้หมดไปได้โดยใช้วิธีการต้มในน้ำเดือดเพียง 5 นาที ดังนั้นหากนำมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงนำมาบริโภคจะทำให้พืชผักที่รับประทานปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน แต่พบว่าการลดปริมาณสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วงอก และถั่วงอกหัวโต โดยใช้วิธีต้ม จะต้องใช้เวลานานถึง 30 และ 60 นาทีตามลำดับ จึงจะทำให้ปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน หากใช้วิธีการนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอ จะสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วงอก และถั่วงอกหัวโต ให้หมดไปได้ โดยใช้เวลาเพียง 20 และ 5 นาทีตามลำดับ (ตารางที่ 29 และ 30)

พืชผักที่นิยมนำมาต้ม หรือทำแกงจืด

พืชผักที่นิยมนำมาทำแกงจืด ได้แก่ ใบตำลึง ซึ่งปัจจุบันได้มีการรณรงค์ให้นำมาบริโภคเพื่อเป็นแหล่งของวิตามินเอ แต่จากการวิจัยนี้ พบว่าในใบตำลึงมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน 0.9 TUI/ม.ก. การต้มในน้ำเดือด หรือนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอเป็นเวลา 10 นาที สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด ดังนั้นเพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการดีขึ้น ในการปรุงอาหารจึงควรต้มใบตำลึงประมาณ 10 นาทีจึงนำมาบริโภค สำหรับพืชที่สามารถใช้เป็นแหล่งที่ดีของวิตามิน เอ คือฟักทอง ซึ่งพบว่าในฟักทองมีวิตามินเอ อยู่ในประมาณสูง (กองโภชนาการ กรมอนามัย,2530)และไม่พบสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน จึงอาจนำมาใช้เป็นแหล่งของวิตามินเอได้

สำหรับพืชที่นิยมนำมาต้มรับประทานได้แก่ เผือก มันฝรั่ง และมันเทศ พบว่าสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินใน มันเทศ มันฝรั่ง และเผือก จะถูกทำลายได้หมดเมื่อต้ม หรือนึ่งในหม้อนึ่งอัดไอ โดยใช้เวลาเพียง 5 นาที (ตารางที่ 42,43 และ44) ซึ่งตามบริโภคนิยมของคนไทย นิยมนำพืชเหล่านี้มาทำให้สุกก่อนที่จะนำมาบริโภค เช่นมันเทศต้มน้ำตาล ชุบมันฝรั่ง และเผือกต้ม เป็นต้น ดังนั้นปัญหาจากการบริโภคสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในพืชดังกล่าว จึงเกิดขึ้นได้ยาก ยกเว้นการนำพืชเหล่านั้นมาปรุงโดยวิธีอบแห้ง ซึ่งพบว่า มันฝรั่ง และเผือกที่อบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยังคงมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน หลงเหลืออยู่(ตารางที่ 43 และ 44) แต่อย่างไรก็ตามจากการวิจัยพบว่ามันฝรั่ง และเผือกที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีลักษณะที่ยังไม่สามารถบริโภคได้ เนื่องจากยังมีความชื้นสูง ดังนั้นมันฝรั่ง และเผือกที่อบจนแห้งกรอบตามบริโภคนิยม จึงอาจต้องใช้ระยะเวลาในการอบมากกว่า 1 ชั่วโมง และอาจสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้มากกว่า ทั้งนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งควรที่จะมีการศึกษาต่อไป

พืชพวกถั่วเมล็ดแห้ง

การปรุงอาหารจากถั่วเมล็ดแห้ง อาจทำได้หลายวิธี เช่น การต้ม การอบแห้ง การทำขนมหวานจากถั่วเช่น ถั่วเขียวต้มน้ำตาล สาคูถั่วดำ ถั่วแดงต้มน้ำตาล

จากการวิจัยพบว่าพืชวงศ์ถั่วจะมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่ในปริมาณสูง และมีปริมาณแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของถั่ว(ตารางที่ 8) การทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินให้หมดไปก็ใช้เวลามากน้อยแตกต่างกัน เช่น ถั่วเขียว ต้องใช้เวลาในการต้ม 20 นาที ดังนั้นถั่วเขียวต้มน้ำตาลจะปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน เนื่องจากการต้มถั่วเขียวจะต้องใช้เวลานานกว่า 20 นาที การทำสาคูถั่วดำ ควรต้มถั่วดำในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจึงจะทำให้ปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน(ตารางที่ 21) ซึ่งในระยะเวลาดังกล่าว ถั่วดำที่ได้จะมีความนิ่มพอเหมาะตามบริโภคนิยม การต้มถั่วแดงหลวงในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด ในขณะที่การต้ม 1 ชั่วโมง ไม่สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในถั่วแดงให้หมดลงได้ (ตารางที่15 และ17) ดังนั้นการบริโภคถั่วแดงต้ม จึงยังคงได้รับสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินอยู่บ้าง(0.38 TUI/ม.ก.)

คนไทยนิยมบริโภคถั่วอบ โดยเฉพาะถั่วลิสง จากการวิจัยพบว่าถั่วลิสงอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยังคงมีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเหลืออยู่ 4.80 TUI/มก. ดังนั้นการอบถั่วลิสง ถ้าจะให้ปลอดจากสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินต้องใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง ซึ่งน่าสนใจทำการศึกษาต่อไป ทั้งนี้จากการวิจัยพบว่า การต้มถั่วลิสงในน้ำเดือดจะใช้เวลาเพียงครึ่งชั่วโมงก็สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด (ตารางที่ 25)

พืชที่มีสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ทำลายได้ยาก

จากการวิจัยพบว่าสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในเมล็ดขนุนสามารถทนต่อความร้อนได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น โดยพบว่าการต้มในน้ำเดือดถึง 60 นาที ก็ยังไม่สามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซินได้หมด (ตารางที่ 31) เช่นเดียวกับ มะระจี้นก (ตารางที่ 37) ดังนั้น

การบริโภคอาหารเหล่านี้ ถึงแม้จะนำมาต้มจนสุกตามที่นิยมรับประทาน ก็ยังมีปัญหาของสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ซึ่งถ้าผู้บริโภคมีฐานะยากจน และได้รับอาหารโปรตีนในปริมาณไม่เพียงพอ การได้รับสารยับยั้งเอมไซม์ทริปซินจาก เมล็ดขนุน หรือมะระขี้นก อาจส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดโปรตีนได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย