บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาทางเทคโนโลยีชีวภาพได้เข้ามามีบทบาท และนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยเทคโนโลยีนี้นำเอาจุลินทรีย์ เซลล์ หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต มาใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้งทางด้านการแพทย์ การเกษตร อาหาร การผลิตสารเคมี และการจัดการกับสิ่งแวดล้อมตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ ผลพวงดังกล่าวทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายพร้อมกับกระบวนการใหม่ๆ ที่ใช้เป็นทางเลือกในการผลิตอาหาร ยา และอุตสาหกรรม (สุพัฒน์ อรรถธรรม, 2543) ซึ่งคาดการณ์กันว่าตลาดของเทคโนโลยีชีวภาพทั่วโลกจะเติบโตถึงร้อยละ 12-20 ต่อปี (Biotechnology Australia, 1999) ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม (Genetic Engineering Technology) หรืออีกชื่อหนึ่งว่า เทคโนโลยีรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ (recombinant DNA technology) ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ที่นำเอาความรู้พื้นฐานทางชีวเคมี พันธุศาสตร์ เกษตรศาสตร์ เข้ามามีบทบาทในการศึกษาและพัฒนาเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ผ่านการตัดต่อ ตกแต่ง และถ่ายโอนสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชหรือสัตว์ให้อยู่ในแนวทางที่ต้องการ เช่น การปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีผลผลิตสูง ต้านท้านโรคและแมลง (ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), 2542) หรือควบคุมการแสดงออกลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตให้มีคุณลักษณะที่ดีกว่าเดิม เช่น การตัดต่อยีนหรือสารพันธุกรรมจากพืชด้วยกัน หรือจากแบคทีเรียเข้าสู่พืช ทำให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่หรือพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะการประยุกต์ใช้ที่ไม่เคยมีมาก่อน ตัวอย่างเช่น การถ่ายยีนสร้างสารพิษฆ่าแมลงจากแบคทีเรียเข้าไปในพืช ทำให้พืชสร้างสารพิษฆ่าแมลง ลดการใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ (สุพัฒน์ อรรถธรรม, 2543) เทคโนโลยีทางพันธุวิศวกรรมนี้มีความสำคัญ และมีคุณค่ามากจนมีผู้ขนานนามให้เทคโนโลยีนี้คือเทคโนโลยีที่จะมาปฏิวัติโฉมหน้าใหม่ของโลก เป็นยุคของการปฏิวัติพันธุกรรม (Gene Revolution) หลังจากที่เคยมียุคของการปฏิวัติเขียว (Green Revolution) ที่พาโลกไปสู่อุตสาหกรรมการเกษตรมาแล้ว (สาโรจน์ เกษมสุขโชติกุล, 2543)

สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่เกิดขึ้นใหม่โดยมีการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมที่ใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ GMOs (Genetically Modified Organisms) ตามราชบัณฑิตยสถานได้บัญญัติศัพท์ของคำว่า “Genetically Modified Organisms” เป็นภาษาไทยว่า “สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม” ซึ่งหมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ได้จากกระบวนการปรับปรุงทาง

พันธุกรรมหรือได้รับการตัดแต่งยีนโดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม เพื่อเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของพืช และสัตว์ ให้มีคุณสมบัติเพิ่มเติมจากธรรมชาติตามที่มนุษย์ต้องการ

ลักษณะและคุณสมบัติของพืชที่ได้รับการดัดแปรพันธุกรรม เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณลักษณะของพืชตามที่มนุษย์ต้องการ เช่น

1. พืชที่ต้านทานโรคพืช เช่น โรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา
2. พืชที่ต้านทานต่อแมลงศัตรูพืช ยากำจัดวัชพืช
3. พืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ภาวะแห้งแล้ง ดินเค็ม หรือเป็นกรด
4. พืชที่สามารถชะลอการสุกได้ เช่น ผลไม้ที่สุกช้า
5. พืชที่มีสารอาหารในลักษณะและปริมาณตามที่ต้องการเพื่อสุขภาพ เช่น ไขมัน โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และคาร์โบไฮเดรต หรือเปลี่ยนให้อาหารกลายเป็นยา เช่น การผลิตกล้วยที่มีวัคซีนป้องกันโรค
6. พืชที่ถูกลดสารที่เป็น allergen (สารที่ให้เกิดภูมิแพ้) เช่น สารที่มีอยู่ในนม ถั่ว และธัญพืช

ส่วนอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนประกอบที่ได้จากสิ่งมีชีวิต GMOs หรือใช้ GMOs เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตจะเรียกว่า GMF (Genetically Modified Food)หรือ GM Food (สุชาต อุดมโสภกิจ และไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2543) อันได้แก่

1. พืชดัดแปรพันธุกรรมที่สามารถบริโภคเป็นอาหารได้โดยตรง เช่น มะเขือเทศ มะละกอ ข้าว ข้าวโพด

2. อาหารและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตหรือแปรรูปจากพืชดัดแปรพันธุกรรม เช่น เต้าหู้และเต้าเจี้ยวที่ผลิตจากถั่วเหลืองดัดแปรพันธุกรรม แป้งข้าวโพดที่ผลิตจากข้าวโพดดัดแปรพันธุกรรม

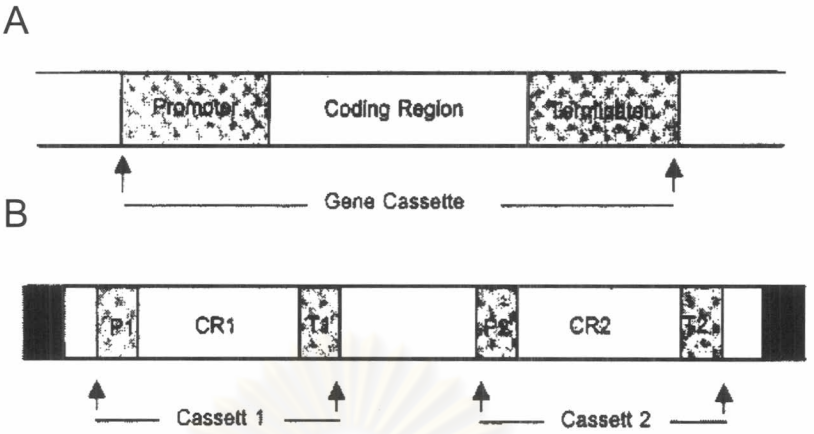
3. อาหารและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชดัดแปรพันธุกรรม หรือมีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปพืชดัดแปรพันธุกรรม เช่น อาหารที่มีแป้งข้าวโพดที่ผลิตจากข้าวโพดดัดแปรพันธุกรรมเป็นส่วนประกอบหลัก น้ำอัดลมที่มีส่วนผสมของน้ำตาลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปข้าวโพด GMOs อีกต่อหนึ่ง

ในทางปฏิบัติพืชดัดแปรพันธุกรรมหรือ พืช GMOs เหล่านี้มีขั้นตอนการสร้างดังนี้ (สุพัฒน์ อรรถธรรม, 2543)

1. การเตรียมพืชสำหรับการถ่ายยีน
2. การเตรียมยีน
3. การถ่ายยีน
4. การตรวจสอบการแสดงออกของยีน
5. การเพิ่มปริมาณพืชดัดแปรพันธุกรรม

การเตรียมพืชเพื่อการถ่ายยีนมักจะถูกกำหนดโดยวิธีการถ่ายยีน เช่นในกรณีที่มีการถ่ายยีนด้วยวิธีการทางชีววิทยา สามารถใช้ชิ้นส่วนของใบ ยอด ลำต้น ราก เนื้อเยื่อได้ อย่างไรก็ดีการเลือกใช้ชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อของใบ ราก ลำต้นนั้นขึ้นกับประสิทธิภาพในการเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นให้เจริญเป็นต้น หรือในกรณีที่มีการถ่ายยีนด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าอาจจะต้องใช้เซลล์เดี่ยวๆ หรือโปรโตพลาสต์ เป็นหลัก (Draper และ Scott, 1991)

การเตรียมยีนเป็นส่วนที่ต้องอาศัยความรู้และทักษะด้านพันธุวิศวกรรมเป็นอย่างยิ่ง โดยจะต้องเตรียมชิ้นส่วนของยีนให้อยู่ในโครงสร้างที่เหมาะสม ซึ่งปกติจะอยู่ในชุดของยีน (gene cassette) (ปิยะศักดิ์ ชอุ่มพฤกษ์, 2543) (รูปที่ 1) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ควบคุมการทำงานของยีนให้มีการเริ่มต้นในการแสดงออก เรียกส่วนควบคุมนี้ว่า โปรโมเตอร์ (promoter) ส่วนสร้างโปรตีนหรือตัวยีนที่ให้ผลลัพธ์ที่ต้องการ และส่วนสุดท้ายคือส่วนควบคุมการหยุดกระบวนการสร้างโปรตีน เรียกส่วนนี้ว่า เทอร์มิเนเตอร์ (terminator) (ศรัณพร ชวนเกริกกุล, 2544) และโดยปกติจะต้องมีชุดของยีน 2 ชุดในพืชดัดแปรพันธุกรรม คือ ชุดแรกสำหรับลักษณะที่ต้องการให้แสดงออก และอีกชุดสำหรับบ่งชี้การปรากฏอยู่ของชุดยีนสำหรับติดตามหรือสะกดรอยชุดของยีนภายหลังจากการถ่ายทอดยีนแล้ว โดยการตรวจหาสัญญาณจากตัวบ่งชี้การปรากฏของยีน ตัวบ่งชี้นี้ช่วยให้สามารถคัดแยกเซลล์พืชหรือต้นพืชที่ได้รับชุดของยีนออกจากพวกที่ไม่ได้รับชุดของยีนได้ด้วย ยีนที่ใช้ในการติดตาม (reporter gene) และยีนที่ใช้ในการคัดเลือกเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืช (selectable marker gene) ซึ่งมักจะเป็นยีนที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะเป็นหลัก



รูปที่ 1 ชุดของยีน (gene cassette) ซึ่งประกอบด้วยโปรโมเตอร์, ยีน (coding region) และเทอร์มิเนเตอร์ (A) โดยปกติการถ่ายทอดยีนเข้าสู่พืชจะมีชุดของยีน 2 ชุดขึ้นไป ซึ่งได้แก่ยีนเป้าหมาย (cassette 1) และ ยีนที่ใช้ในการคัดเลือกเซลล์ (cassette 2) (B)

ตัวอย่างโปรโมเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น 35S promoter, *ocs* promoter, *nos* promoter , T_R1' promoter (Jones และคณะ, 1992) และ PEPC promoter (Koziel และคณะ, 1993) เทอร์มิเนเตอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น *nos* terminator (Depicker และคณะ, 1982) *ocs* terminator (De Greve และคณะ, 1983) *nptII* terminator (Beck และคณะ, 1982) *bar* terminator (Thompson และคณะ, 1987) ขณะที่ยีนเป้าหมายนั้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับจุดประสงค์ว่าตัดต่อพันธุกรรมไปเพื่ออะไร เช่น ตัดต่อเพื่อให้พืชมีความต้านทานต่อยาปราบวัชพืช ได้แก่ *bar/ pat*, mutant *als*, mutant *psbA* และยีนที่ใช้ในการติดตามที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เช่น *gus, lux/luc, c1b/c1r, cat, lacZ* (Draper และ Scott, 1991; Flavell และคณะ , 1992; Kok และคณะ, 1994; และ McElroy และ Brettel, 1994)

การถ่ายยีนจัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ที่กำหนดว่าการสร้างพืชดัดแปรพันธุกรรมจะประสบความสำเร็จหรือไม่ วิธีการที่นิยมใช้ในขณะนี้ ได้แก่ Agrobacterium-mediated transformation, particle gun bombardment และการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นเซลล์ (electroporation) ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป (Draper และ Scott, 1991)

ภายหลังการถ่ายยีนแล้ว ขั้นตอนต่อมาที่สำคัญคือการตรวจสอบการแสดงออกของยีนเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่า พืชหรือส่วนของพืชได้รับยีนที่ต้องการเข้าไปจริง อาจทำได้โดยการตรวจสอบการแสดงออกของยีนที่ใช้ในการติดตาม เช่น ยีน *GUS* ที่สร้างเอนไซม์ beta-glucuronidase โดยการแสดงออกของยีนนี้ทำให้สารที่เป็นสับสเตรทบางชนิดเกิดสีที่สามารถ

มองเห็นได้ในเซลล์ หรือเนื้อเยื่อที่ได้รับยีนนี้อย่างชัดเจน หรือตรวจสอบจากยีนที่ใช้ในการคัดเลือกที่แสดงออกในลักษณะของความต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ เช่น กานามัยซิน (kanamycin) ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารที่มีส่วนผสมของสารปฏิชีวนะดังกล่าวในปริมาณที่สูงพอที่เนื้อเยื่อปกติไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่เนื้อเยื่อที่ได้รับการถ่ายยีนสามารถเจริญได้ตามปกติ และในกรณีของการตรวจหายีนเป้าหมายนั้นกระทำได้โดยใช้ดีเอ็นเอตัวตรวจ (DNA probe) เพื่อตรวจหายีน และการใช้เทคนิคทางชีวเคมีหรือวิทยาภูมิคุ้มในการตรวจสอบการแสดงออกของยีนในลักษณะของโปรตีนหรือเอนไซม์ที่ต้องการ

การเพิ่มปริมาณพืชดัดแปรพันธุกรรม ทำได้โดยการนำเนื้อเยื่อหรือชิ้นส่วนพืชที่ได้รับการตรวจสอบแล้วว่าได้รับการถ่ายยีนที่ต้องการไปเพิ่มปริมาณ โดยอาศัยระบบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นหลัก เมื่อได้ต้นพืชที่สมบูรณ์แล้วจึงทำการย้ายปลูกเพื่อให้พืชนั้นๆ เติบโต หากพืชนั้นมีดอกหรือเมล็ด เมล็ดที่ได้ต้องนำมาทดสอบยีนและการแสดงออกของยีนเพื่อให้แน่ใจว่าลักษณะดังกล่าวถ่ายทอดไปสู่เมล็ด และกำจัดเมล็ดที่ไม่ได้รับยีนอันเนื่องมาจากการกระจายของลักษณะทางพันธุกรรมตามหลักพันธุศาสตร์

การทดลองวิจัยที่เกี่ยวกับการตัดต่อยีนเริ่มขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกามาตั้งแต่ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 70 จนกระทั่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีความก้าวหน้ามากขึ้นโดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการทดสอบภาคสนาม และเริ่มมีผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตัดต่อยีนออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรกตั้งแต่ปี 2537 พืชที่มีการตัดต่อยีนเป็นครั้งแรกคือ มะเขือเทศพันธุ์สุกช้า ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Flavar Savar พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทคาลยีน (Calgene) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นพันธุ์ที่มีการตัดต่อยีน *PG* ที่สร้างเอนไซม์ polygalacturonase ที่ทำให้มะเขือเทศสุกช้า มีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้นกว่าปกติ และภายหลังจากนั้น 2 ปี มะเขือเทศเข้มข้นซึ่งผลิตจากมะเขือเทศพันธุ์ดังกล่าวก็เริ่มเข้าสู่ตลาดประเทศอังกฤษ ตามมาด้วยพืช GMOs ชนิดอื่นๆ อย่างเช่น ถั่วเหลือง และฝ้ายตัดต่อยีนของบริษัท มอนซานโต ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มเข้าสู่ตลาดและมีการนำไปปลูกโดยเกษตรกรชาวอเมริกัน รวมทั้งมีการส่งออกสู่ประเทศอื่นๆ ในเวลาต่อมา (สาโรจน์ เกษมสุขโชติกุล, 2543)

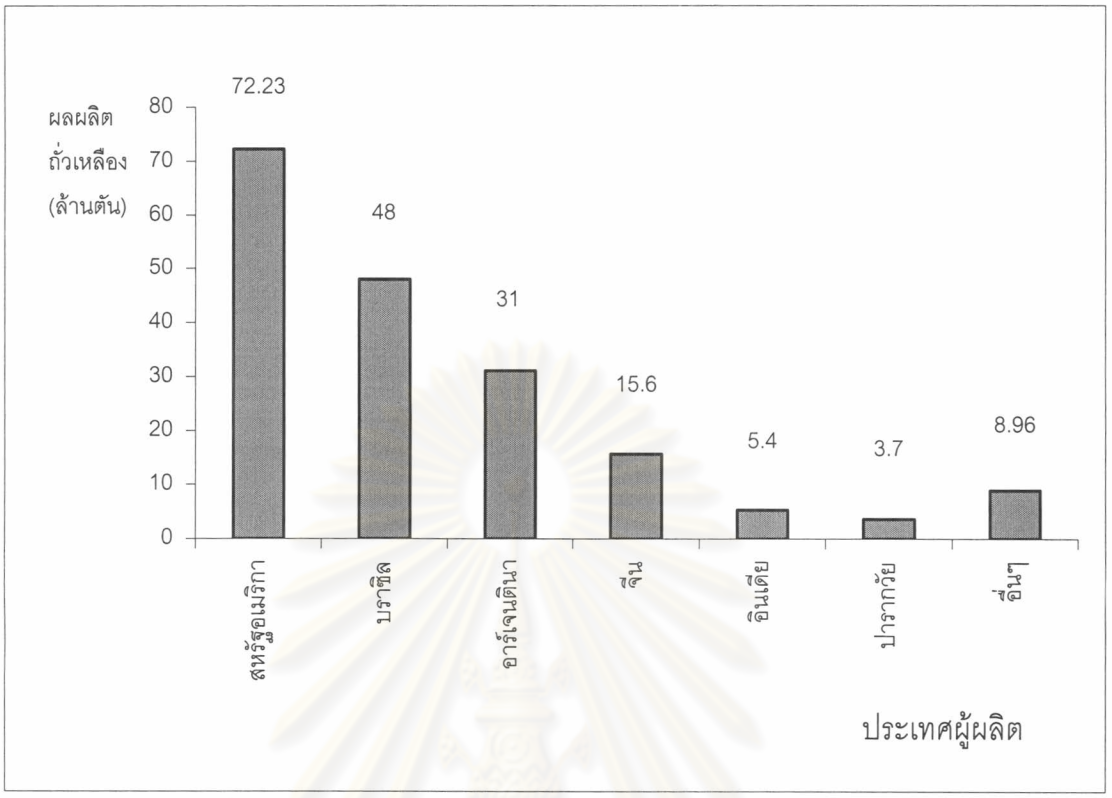
ปัจจุบันมีพืชอาหาร GMOs 5 ชนิด ที่ยอมรับกันว่าปลอดภัยสำหรับการบริโภคและอนุญาตให้นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป สวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งได้แก่

- เรพ (เมล็ดพืชน้ำมัน) ที่ทนทานต่อสารกำจัดวัชพืช
- ข้าวโพด ที่ต้านทานแมลง และทนทานต่อสารกำจัดวัชพืช
- มันฝรั่ง ถั่วเหลือง ที่ต้านทานแมลง และทนทานต่อสารกำจัดวัชพืช
- มะเขือเทศที่สุกช้า

ข้อมูลจากกระทรวงเกษตรของสหรัฐรายงานว่าในปี 2542 มีประเทศที่ปลูกพืช GMOs แล้วถึง 12 ประเทศ คิดเป็นพื้นที่ 249 ล้านไร่ และในปี 2543 มีพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช GMOs สูงถึง 277.9 ล้านไร่ โดยสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่มีพื้นที่เพาะปลูกพืช GMOs มากที่สุดคือ 187.5 ล้านไร่ รองลงมาได้แก่ อาร์เจนตินา แคนาดา ออสเตรเลีย และเม็กซิโก ตามลำดับ พืช GMOs ที่ปลูกมากที่สุด คือ ถั่วเหลืองต้านทานสารกำจัดวัชพืช 161.25 ล้านไร่ รองลงมาคือ ข้าวโพดบีที (ต้านทานแมลง) 42.5 ล้านไร่ (เมธินี ศรีวัฒนกุล, 2544) และเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าพืช GMOs ที่ปลูกส่วนใหญ่ร้อยละ 71 จะเป็นพืชดัดแปรพันธุกรรมเพื่อต้านทานสารกำจัดวัชพืช รองลงมาร้อยละ 28 เป็นพืชดัดแปรพันธุกรรมต้านทานแมลงศัตรูพืช ส่วนอีกร้อยละ 1 จะเป็นพืชดัดแปรพันธุกรรมต้านทานโรคพืชที่เกิดจากไวรัส (สัมพันธ์ คัมภิรานนท์, 2543)

จากรายงานของตลาดการค้าโลกพบว่าในปัจจุบันโลกผลิตถั่วเหลืองได้ประมาณ 190 ล้านตัน โดยในปี 2545 นี้ประเทศสหรัฐอเมริกามีการผลิตถั่วเหลืองได้ประมาณครึ่งของที่ผลิตได้ทั้งโลก รองลงมาคือ บราซิล อาร์เจนตินา และจีน ตามลำดับ และจากข้อมูลของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาได้ประมาณการผลผลิตถั่วเหลืองโลกปี 2545/46 ประจำเดือนตุลาคมไว้ว่ามีประมาณ 184.49 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา 0.71 ล้านตัน ดังรูปที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา: Oilseeds: World Markets and trade; October 20

รูปที่ 2 ผลผลิตถั่วเหลืองของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญในปี 2545/46

สำหรับประเทศไทยนั้นการผลิตถั่วเหลืองไม่เพียงพอต่อความต้องการในการบริโภคและแปรรูปตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา อีกทั้งรัฐบาลอนุมัติให้นำเข้าถั่วเหลืองเสรีตั้งแต่ปี 2540 ทำให้ปริมาณการนำเข้าเท่ากับ 1.3 ล้านตัน ในปี 2543 เพิ่มขึ้นจากปี 2542 จำนวนประมาณ 3 แสนตัน และในปี 2544/45 คาดว่าความต้องการใช้ถั่วเหลืองมีสูงถึง 1.8 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนประมาณ 2 แสนตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.93 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , 2546) ดังตารางที่ 1 เนื่องจากความต้องการใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งที่ใช้ในประเทศและส่งออก เช่น นำมาสกัดน้ำมัน เป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารเพื่อบริโภค เช่น เต้าหู้ น้ำเต้าหู้ ซีอิ้ว ฯลฯ และเป็นอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 3 (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก., 2540) ปัจจุบันจึงเป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงไม่ให้ GMOs ปะปนเข้ามาสู่ตลาดไทยได้

ตารางที่ 1 บัญชีสมดุลถั่วเหลืองของประเทศไทย

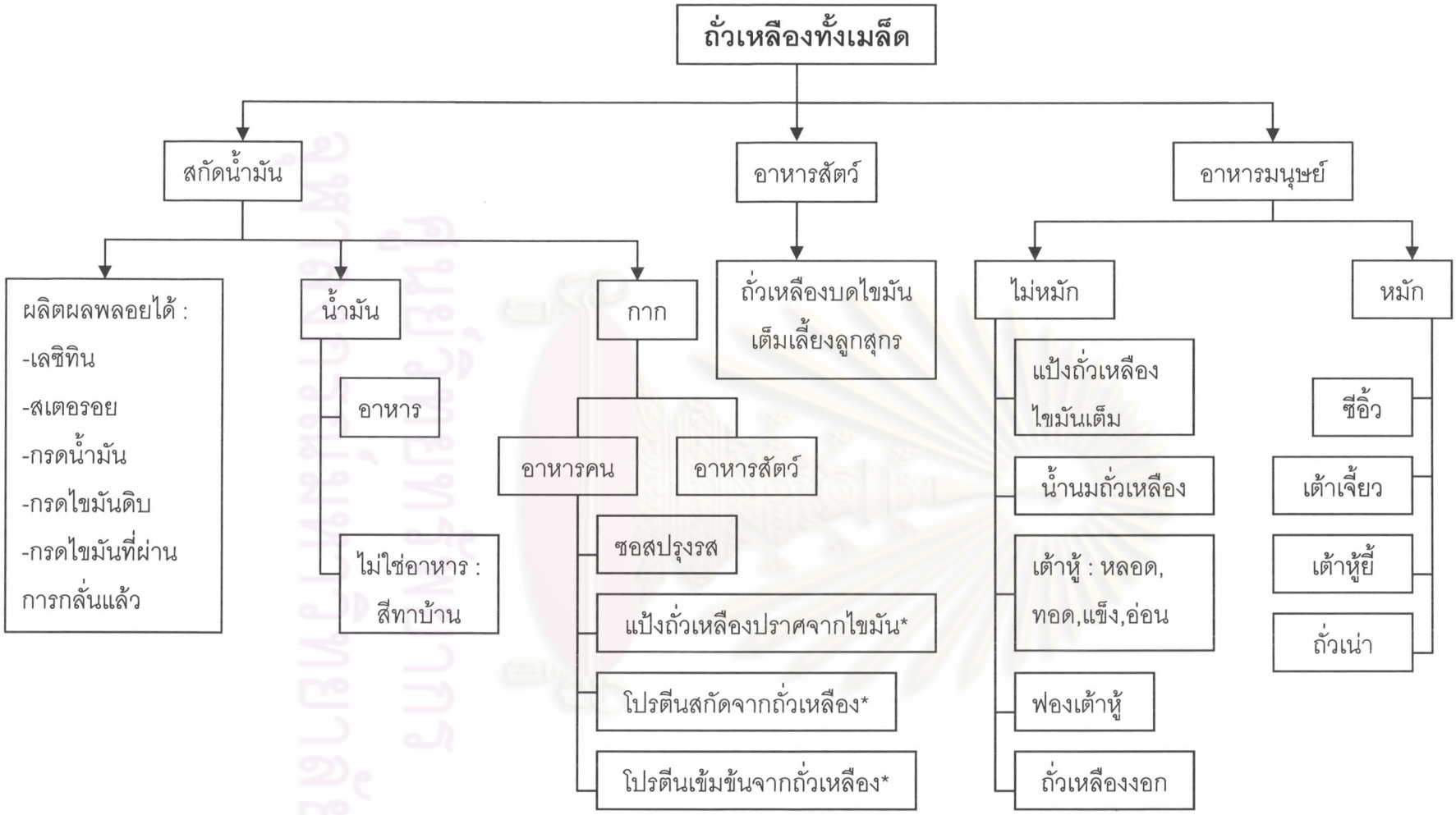
ปี	ผลผลิต	นำเข้า	ใช้ในประเทศ	ส่งออก
2535/36	480.15	123.54	602.93	0.76
2536/37	513.10	97.99	610.88	0.21
2537/38	527.58	166.36	693.51	0.43
2538/39	385.56	425.65	810.91	0.30
2539/40	359.09	672.35	1,246.20	0.17
2540/41	337.79	574.24	912.03	0.37
2541/42	321.24	924.96	1,246.20	1.00
2542/43	319.02	1,078.95	1,397.96	0.77
2543/44*	324.06	1,300.00	1,624.06	0.70
2544/45*	330.95	1,500.00	1,830.95	0.70

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร หน่วย: ล้านตัน

หมายเหตุ * ตัวเลขประมาณการ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหาในการส่งสินค้าออกไปยังตลาดสหภาพยุโรป เนื่องจากมีมาตรการเกี่ยวกับมาตรฐานและสุขอนามัยเพื่อควบคุมมาตรฐานสินค้า โดยในบางทีอาจแอบแฝงการกีดกันการค้าด้วย โดยมาตรการและการแสดงฉลาก GMOs ของประเทศต่างๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* ยังไม่มีการผลิตในประเทศ

ที่มา: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก.

รูปที่ 3 ลักษณะการใช้ประโยชน์จากเมล็ดถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2 มาตรการและการแสดงฉลาก GMOs ของประเทศต่างๆ

ประเทศ	วันบังคับใช้	มาตรการ
สหรัฐอเมริกา	-	- ไม่มีการกำหนดให้อาหาร GMOs ต้องปิดฉลาก แต่ในกรณีที่ผลผลิตที่ได้จาก GMOs มีความแตกต่างทางโครงสร้างมากก็กำหนดให้ติดฉลากระบุประเด็นที่แตกต่าง โดยไม่ต้องระบุว่าเป็นสินค้า GMOs
แคนาดา	-	- อนุญาตให้จำหน่ายสินค้า GMOs ได้โดยให้การติดฉลากขึ้นกับความสมัครใจของผู้ผลิตเพื่อเป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภค
บราซิล	-	- การนำเข้าสินค้า GMOs หรือที่เรียกว่า Transgenic Product ต้องได้รับอนุมัติจากกระทรวงเกษตร กระทรวงสาธารณสุข และกระทรวงสิ่งแวดล้อม โดยจะอนุญาตให้นำเข้าเฉพาะเพื่อการวิจัย
อาร์เจนตินา	-	- ไม่ต้องการให้มีข้อกำหนดทางการค้า GMOs ระหว่างประเทศที่เข้มงวดเกินไป
สหภาพยุโรป	11 ม.ค. 2543	- กำหนดให้ติดฉลากอาหารรวมทั้งสารปรุงแต่งที่มีส่วนผสมของ GMOs เกินกว่า 1 % - อนุญาตให้วางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ GMOs ได้แล้ว 18 รายการ
เบลเยี่ยม	2541 เม.ย. 2543	- กำหนดให้ติดฉลากอาหาร GMOs หรือที่มีส่วนผสม GMOs - กำหนดให้ติดฉลากอาหารสัตว์
โปรตุเกส	ม.ค. 2543	- ยึดแนวทางตามสหภาพยุโรปและกำหนดให้สินค้าที่มีส่วนประกอบจาก GMOs เกิน 1 % ต้องติดฉลาก
นอร์เวย์	1 ม.ค. 2542	- การจำหน่ายหรือเสนอสินค้าอาหาร GMOs ต้องได้รับอนุมัติจาก Norwegian Food Authority โดยมีข้อกำหนดว่าอาหาร ที่มีส่วนผสม GMOs เกินกว่า 2% ต้องติดฉลาก
สวิตเซอร์แลนด์	1 ธ.ค. 2539	- การนำเข้าสินค้าอาหาร GMOs จะต้องได้รับอนุญาตจาก Federal Office of Public Health และสินค้าที่มีส่วนผสม GMOs เกินกว่า 1% ต้องติดฉลาก

ตารางที่ 2 (ต่อ) มาตรการและการแสดงฉลาก GMOs ของประเทศต่างๆ

ประเทศ	วันบังคับใช้	มาตรการ
	1 ก.ค. 2542	- การนำเข้าสินค้าเกษตรที่มีส่วนผสม GMOs เช่น ยาฆ่าแมลง เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย อาหารสัตว์ วัคซีน ต้องปฏิบัติตาม Federal Office of Government and Landscape Agency เพื่อคุ้มครอง ผู้บริโภคและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
	1 ม.ค. 2543	- การนำเข้ายารักษาโรคที่มีส่วนผสมของ GMOs จะต้องติดฉลากและได้รับอนุญาตจาก International Office for the Control Medicines Agency
ฮังการี	1 ม.ค. 2542	- กำหนดให้ติดฉลากผลิตภัณฑ์ทุกชนิดที่มีส่วนผสมของ GMOs หรือปรุงแต่งจากผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจาก GMOs
ญี่ปุ่น	1 เม.ย. 2543	- กำหนดให้สินค้าอาหารที่มี GMOs ผสมอยู่เกินกว่า 5% ต้องติดฉลาก ซึ่งมีสินค้าที่กำหนดให้แสดงฉลากจำนวน 24 รายการ ได้แก่ ถั่วเหลือง เต้าหู้ ซีอิ้ว ข้าวโพดและผลิตภัณฑ์จากข้าวโพด เป็นต้น
เกาหลี	13 ก.ค. 2544	- กำหนดให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมหรือมีวัตถุดิบในการผลิตที่เป็น GMOs เกินกว่า 3% ต้องติดฉลาก ซึ่งมีรายการสินค้าที่กำหนดต้องแสดงฉลากจำนวน 27 รายการ ได้แก่ผลิตภัณฑ์จากข้าวโพด ถั่วเหลืองและถั่ว ข้าวและธัญพืชเลี้ยงทารก เป็นต้น - ผู้ผลิตหรือนำเข้าอาหารหรือผลิตภัณฑ์ GMOs ต้องยื่นข้อมูลรายละเอียดส่วนผสม วิธีการผลิต การใช้ ฯลฯ ตามแบบฟอร์มที่กำหนด เพื่อขออนุญาตต่อสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเกาหลี (KFDA) ก่อนการนำเข้า - ผู้ผลิตอาหารที่ทำจาก Recombinant Organism ต้องยื่นขออนุญาต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 (ต่อ) มาตรการและการแสดงฉลาก GMOs ของประเทศต่างๆ

ประเทศ	วันบังคับใช้	มาตรการ
ไต้หวัน	-	- อยู่ระหว่างร่างระเบียบมาตรการสินค้า GMOs
ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์	(7 ธ.ค.2544)	- ห้ามจำหน่ายสินค้าGMOsที่ มีผสมอยู่เกิน 1% (ยกเว้นอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านขบวนการผลิตขั้นสูงที่ novel DNA หรือ protein หมดไปแล้วและสารปรุงแต่งอาหารที่มี GMOs ไม่เกิน 1%)
ซาอุดิอาระเบีย	(1 ธ.ค.2544)	- ห้ามนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกสัตว์ GMOs - กำหนดให้ติดฉลากผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกพืชที่ผ่านกระบวนการตัดต่อพันธุกรรม (GMOs) ข้อความในฉลากให้เขียนด้วยตัวอักษรที่ชัดเจนง่ายต่อการอ่านด้วยภาษาอาหรับและภาษอังกฤษและใช้สีตัวอักษรที่แตกต่างจากสีของป้ายตามแบบที่ทางการซาอุดิฯได้เตรียมไว้ - อาหาร GMOs ที่จะส่งออกไปยังซาอุดิฯต้องเป็นอาหารที่บริโภคได้ในประเทศผู้ผลิตอาหารดังกล่าว โดยต้องมีหนังสือรับรองเป็นทางการ และต้องเป็นอาหารที่ถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด
อินโดนีเซีย	7 พ.ย.2544	- อนุญาตให้ปลูกฝ้าย BT ในประเทศโดยจำกัดพื้นที่เพาะปลูกเฉพาะในแคว้นสุลาเวสีเท่านั้น และเมล็ดหรือผลผลิตที่ได้จะยังไม่ให้ใช้เป็นอาหารคนหรืออาหารสัตว์ - ยังไม่มีข้อกำหนดเรื่องฉลาก
ฟิลิปปินส์	-	- ยังไม่มีมาตรการเกี่ยวกับการนำเข้าและส่งออก GMOs โดยขณะยังอยู่ระหว่างการศึกษาของ University of Philippines, Los Banos
จีน	23 ก.ค.2544	- กำหนดให้มีการควบคุมการวิจัย/พัฒนา การผลิตและการค้าผลิตภัณฑ์ GMOs อย่างเข้มงวด ต้องประเมินความปลอดภัยและติดฉลากกำกับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 (ต่อ) มาตรการและการแสดงฉลาก GMOs ของประเทศต่างๆ

ประเทศ	วันบังคับใช้	มาตรการ
ไทย	มีผลบังคับใช้ภายใน 1 ปี นับตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา (10 พ.ค. 2546)	- ผู้ที่จะทำธุรกิจเกี่ยวกับ GMOs ทั้งด้านการผลิตและแปรรูปจะต้องได้รับอนุมัติจาก Agriculture Department ทั้งในระดับรัฐและมณฑลและต้องติดฉลากผลิตภัณฑ์ GMOs อย่างถูกต้องก่อนวางจำหน่าย - กิจการร่วมมือร่วมทุนหรือการลงทุนของต่างชาติหากจะดำเนินการทดลองด้าน GMOs จะต้องได้รับอนุมัติจาก Agricultural Administration Department of the State Council(AAD)ซึ่งมีหน้าที่อนุมัติการนำเข้า GMOs จากต่างประเทศรวมทั้งมีอำนาจในการห้ามการผลิตและแปรรูปหรือการจำหน่ายสินค้า GMOs ที่เป็นอันตราย - การส่งออกสินค้า GMOs ไปยังจีน ประเทศผู้ส่งออกต้องให้การรับรองว่าสินค้า GMOs ดังกล่าวมีการวางจำหน่ายในประเทศนั้นแล้ว - กระทรวงสาธารณสุขได้ออกประกาศ ฉบับที่ 251 พ.ศ. 2545 ลงวันที่ 8 เมษายน 2545 กำหนดให้ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ข้าวโพดและผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดที่ได้จากเทคนิคการดัดแปรพันธุกรรม (Genetic Modification) หรือพันธุวิศวกรรม (Genetic Engineering) ที่มีสารพันธุกรรม (DNA) หรือโปรตีนที่มีผลจากการดัดแปรพันธุกรรมนั้นอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 5 ของแต่ละส่วนประกอบดังกล่าวนั้นมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์เป็นสินค้าที่ต้องแสดงฉลาก ทั้งนี้ไม่ใช้บังคับกับผู้ผลิตรายย่อยที่จำหน่ายแก่ผู้บริโภคโดยตรง

ที่มา: ศูนย์ประสานงานแก้ไขปัญหาการส่งออก-นำเข้าสินค้า

ในช่วงปี 2541-2543 สถานการณ์การยอมรับ GMOs ของประเทศคู่ค้าต่างๆ เลวร้ายขึ้น เนื่องจากกระแสวิตกกังวลเกี่ยวกับการบริโภคอาหาร GMOs ที่มีขึ้น และมีการเรียกร้องให้มีการติดฉลากสินค้ากับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของ GMOs การตรวจสอบ

GMOs ในอาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นมาตรการรองรับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเพียงมาตรการเดียวที่สามารถทำได้เพื่อให้เกิดความอุ่นใจ และเพื่อป้องกันการสูญเสียจากการปฏิเสธสินค้าและมาตรการการกีดกั้นทางการค้าในระยะยาว

การตรวจวิเคราะห์ GMOs ซึ่งในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ แยกตามโมเลกุลเป้าหมายที่ใช้ในการทดสอบ วิธีแรกเป็นการทดสอบหาความจำเพาะต่อโปรตีนเป้าหมาย ที่เรียกว่า Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) และวิธีที่สองเป็นการตรวจสอบหายีนหรือลำดับของเบสบนดีเอ็นเอที่ตัดต่อเข้าไปในพืชดัดแปรพันธุกรรมโดยตรง โดยใช้เทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) (ปิยะศักดิ์ ชอุ่มพฤกษ์, 2543)

Popping (2001) ได้สรุปโดยอ้างอิงถึงผลของการวิจัยในห้องปฏิบัติการจำนวนมากไว้ว่าวิธีการตรวจสอบหายีนหรือลำดับของเบสบนดีเอ็นเอที่ตัดต่อเข้าไปในพืชดัดแปรพันธุกรรมโดยตรง จะให้ผลที่มีความไวกว่าการตรวจสอบทางโปรตีน ทำให้วิธีการตรวจวิเคราะห์ทางดีเอ็นเอโดยวิธี PCR ได้เริ่มมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในการวิเคราะห์อาหาร (Meyer และคณะ, 1996; Allmann และคณะ, 1993)

ดังนั้นวิธีตรวจสอบ GMOs ในอาหารและผลิตภัณฑ์โดยเทคนิค PCR มีขั้นตอนหลักอยู่ 4 ขั้นตอนคือ

1. การสุ่มตัวอย่างและขนาดของตัวอย่างที่จะใช้เป็นตัวแทนของการตรวจสอบ
2. การสกัดดีเอ็นเอ
3. ตรวจสอบดีเอ็นเอตัวอย่างที่สกัดได้โดยการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR
4. ตรวจสอบผลจาก PCR โดยใช้เทคนิคอะกาโรสเจลอิเล็กโทรฟอเรซิส เพื่อประเมินวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ว่าเป็น GMOs หรือไม่ โดยผลของการตรวจสอบจะให้ผลในลักษณะเป็นบวกหรือลบ รวมทั้งยังสามารถอ่านผลได้ในระดับปริมาณด้วย

การสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้การตรวจวิเคราะห์ GMOs ในห้องปฏิบัติการมีโอกาสที่จะผิดพลาดได้น้อย

การสกัดดีเอ็นเอจากอาหารเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะของเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน และผ่านกระบวนการแปรรูปที่มีความ

เฉพาะแตกต่างกันออกไปจึงเป็นขั้นตอนที่ยาก การสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ CTAB buffer เป็นวิธีมาตรฐานของรัฐบาลเยอรมัน (Meyer, 1999) และการใช้ Wizard® Resin เป็นวิธีมาตรฐานของรัฐบาลสวิตเซอร์แลนด์ (Spoth และ Strauss, 2001) ทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

Matsuoka และคณะ (1999) ชี้ให้เห็นว่าวิธีการสกัดดีเอ็นเอโดยวิธี CTAB เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการสกัดดีเอ็นเอจากถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปโดยสรุปจากผลของการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ได้

Vollenhofer และคณะ (1999) ได้ทำการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแต่ละตัวอย่างเปรียบเทียบโดยใช้วิธี CTAB ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานและชุดตรวจสอบชนิดต่างๆ พบว่าการใช้ชุดตรวจสอบชนิดต่างๆ เป็นวิธีที่มีต้นทุนสูงและไม่สามารถใช้ได้กับตัวอย่างอาหารที่มีปริมาณดีเอ็นเอที่น้อยมาก เช่นผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปที่ซับซ้อนได้ ขณะที่วิธี CTAB นั้นสามารถสกัดดีเอ็นเอได้ดีกว่าและด้วยค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า

การตรวจสอบดีเอ็นเอตัวอย่างที่สกัดได้โดยการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR นั้นเป็นที่นิยมใช้ในการตรวจสอบ GMOs ในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ เนื่องจากดีเอ็นเอมีความเสถียร คงทนกว่าโมเลกุลชนิดอื่น เช่น โปรตีน แม้ว่าจะผ่านกระบวนการแปรรูปแบบใดก็ตาม รวมทั้งเทคนิค PCR นี้ยังมีความไวสูง ไม่ยุ่งยาก และมีความจำเพาะต่อดีเอ็นเอเป้าหมายที่จะตรวจ จึงมักใช้ในการประกันคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร (Allmann และคณะ ,1993; Candrian, 1995)

ในปี 1995 ได้มีการนำเทคนิค PCR มาใช้เป็นครั้งแรก โดย Meyer ได้นำเทคนิค PCR มาทำการตรวจสอบมะเขือเทศ Flavr Savr™ ซึ่งเป็นมะเขือเทศที่มีการดัดแปรพันธุกรรม พบว่าเป็นวิธีการตรวจสอบที่มีความจำเพาะที่สามารถนำมาพัฒนาใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์พืชเศรษฐกิจที่ถูกดัดแปรพันธุกรรมได้ และในปี 1996 Meyer และคณะ ได้ทำการตรวจสอบถั่วเหลือง (*Glycine max*) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปโดยใช้เทคนิคนี้มาพัฒนาใช้ในการตรวจสอบโดยใช้ยีน *lectin Le*1 เป็นไพรเมอร์ในการเพิ่มปริมาณ พบว่าสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปที่มีถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบอยู่ได้ในระดับร้อยละ 1

อย่างไรก็ตามสภาพของดีเอ็นเอที่ใช้ในการตรวจสอบก็มีส่วนสำคัญ เนื่องจากถ้าหากดีเอ็นเอที่เกิดการแตกหัก (DNA degradation) เช่นในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ผ่าน

กระบวนการผลิตหลายขั้นตอนและหลายรูปแบบและอยู่ภายใต้ภาวะที่รุนแรง ในรูปของความร้อน เช่น การอบแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมคบเคี้ยว แรงดัน เช่น การนึ่งความดันในกระบวนการของการทำให้ปลอดเชื้อ และ pH ที่สูงหรือต่ำ เช่น การหมัก ที่พบในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารก่อนที่จะผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งภาวะของการแปรรูปเหล่านี้มีผลต่อการตรวจสอบดีเอ็นเอในผลิตภัณฑ์ได้ และจะทำให้ความสามารถการตรวจพบดีเอ็นเอจากตัวอย่างด้วยเทคนิคทาง PCR ลดลงด้วย

Hemmer (1997); Hupfer และคณะ (1998); Pauli และคณะ (1998); และ Parkes (1999) อธิบายการแตกหักของดีเอ็นเอในกระบวนการผลิตของอาหารไว้ว่าเกิดจากปัจจัยที่ซับซ้อน เช่นทางเคมี ได้แก่การอยู่ในภาวะที่เป็นกรดของผลิตภัณฑ์อาหารพวก tomato puree tomato ketchup เป็นต้น ทางกายภาพได้แก่การให้ความร้อนในระยะเวลาที่ยาวนาน และทางชีวภาพได้แก่เอนไซม์พวกนิวคลีเอส ที่มักเกิดขึ้นในกรณีที่ผลิตภัณฑ์อาหารมีการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานๆ

Vollenhofer และคณะ (1999) ได้ทำการตรวจสอบ GMOs ในตัวอย่างอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว เช่น hazelnut-nougat-cream soya protein soya drink toast ham เป็นต้น พบว่าสามารถสกัดดีเอ็นเอได้ในความเข้มข้นที่มากน้อยแตกต่างกันออกไปจากตัวอย่างของอาหารเหล่านั้น และสามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้โดยเทคนิค PCR อย่างไรก็ดีกระบวนการในการผลิตอาหารแต่ละชนิด ในแต่ละประเทศก็มีรายละเอียดปลีกย่อยที่ต่างกันไป

Ryan และ Ho (2001) ได้ทำการทดสอบระดับของการแตกหักของดีเอ็นเอในอาหารสัตว์ภายใต้ภาวะการผลิตต่าง ๆ โดยใช้ตัวอย่างอาหารสัตว์จากบริษัท 5 แหล่งๆ ละ 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างใบข้าวโพดสด และ maize silage ได้จากฟาร์ม ซังข้าวโพดสด และเมล็ดข้าวโพดได้จากซุปเปอร์มาร์เกต พบว่าในใบข้าวโพดสด และ maize silage ดีเอ็นเอยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์ภายใต้ภาวะที่จำลองในสภาพห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิมากกว่า 95°ซ เวลา 5 นาที เป็นภาวะที่ทำให้ดีเอ็นเอแตกหักไม่สามารถตรวจสอบได้

การตรวจสอบ GMOs ในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิค PCR นั้น จึงควรที่จะมีการศึกษาการออกแบบคู่ไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบดีเอ็นเอเป้าหมายให้มีช่วงขนาดที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปในรูปแบบต่างๆ ก่อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบจริงในระดับอุตสาหกรรม โดยช่วงขนาดของไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบ GMOs ในอาหารและผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค PCR นั้นจะอยู่ในช่วง

ขนาด 150-300 นิวคลีโอไทด์ (http://www.bats.ch.) อีกทั้งการออกแบบไพรเมอร์นั้นจะต้องมีความเหมาะสมกับชนิดของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ GMOs นั้นๆ เช่น ในกรณีของข้าวโพดสามารถออกแบบไพรเมอร์ในส่วนของยีน *zein* (Hupfer และคณะ, 1997; Chiueh และคณะ, 2002) หรือในกรณีของถั่วเหลือง สามารถออกแบบไพรเมอร์ในส่วนของยีน *lectin* (Meyer และคณะ, 1996) ซึ่งทั้งยีน *zein* และยีน *lectin* นั้นเป็นยีนที่พบในธรรมชาติหรือเป็น house keeping gene ของข้าวโพดและถั่วเหลืองตามลำดับ

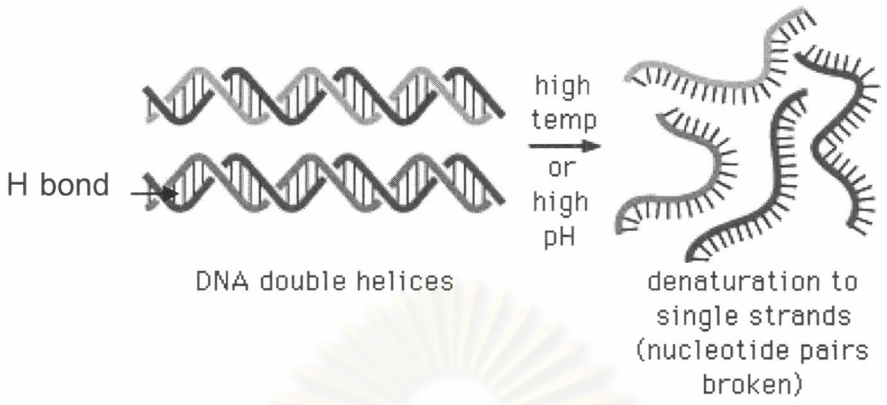
Marguet และ Forterre (1998) ได้กล่าวไว้ว่า ปกติในภาวะที่มีความร้อนดีเอ็นเอจะเกิด denaturation และในภาวะที่อยู่ในระดับ hyperthermophiles คือ อุณหภูมิสูงกว่า 90-110°ซ โมเลกุลของดีเอ็นเอมีโอกาสได้รับแรงเค้นอันเนื่องจากอุณหภูมิและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ และความร้อนจะกระทำต่อเบสพิวรีนทำให้พิวรีนถูกทำลายโดยการเกิด depurination ก่อให้เกิดการแตกหักของสายดีเอ็นเอในเวลาต่อมา

Lindahl (1993); Marguet และ Forterre (1998) ได้กล่าวไว้ว่า ในทางปฏิบัติความร้อนจะมีผลต่อการเกิด hydrolysis ของ N-glycosidic bond ที่อยู่ระหว่างน้ำตาลกับเบส การเกิด hydrolytic deamination ของหมู่เบส และสุดท้ายจะส่งผลต่อการสลายตัวของ phosphodiester bond ตามมาด้วย

Lindahl และ Nyberg (1972) กล่าวไว้ว่า อัตราการเกิด depurination ของดีเอ็นเอสายเดี่ยวง่ายกว่าดีเอ็นเอสายคู่ถึง 4 เท่า โดยดีเอ็นเอที่มีรูปร่างเป็นโครงสร้าง close circular จะมีความทนทานมากกว่า single strand

การอธิบายการแตกหักของดีเอ็นเอเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่นทางกายภาพ ได้แก่การให้ความร้อน ทางเคมี ได้แก่การอยู่ในภาวะที่เป็นกรด ด่างของผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถสรุปกลไกการเกิดการแตกหักของดีเอ็นเอแม่แบบในเนื้ออาหารได้ดังนี้

1. การเกิดการแตกสลายของสายดีเอ็นเอแม่แบบ (DNA denaturation) นั่นคือเมื่อให้อุณหภูมิสูงหรือที่ภาวะที่เป็นด่างสูงจะเกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนของดีเอ็นเอสายคู่ตรงบริเวณคู่ของนิวคลีโอไทด์ เกิดการแตกสายเป็นดีเอ็นเอสายเดี่ยว (Doty และคณะ, 1960) (รูปที่ 4)



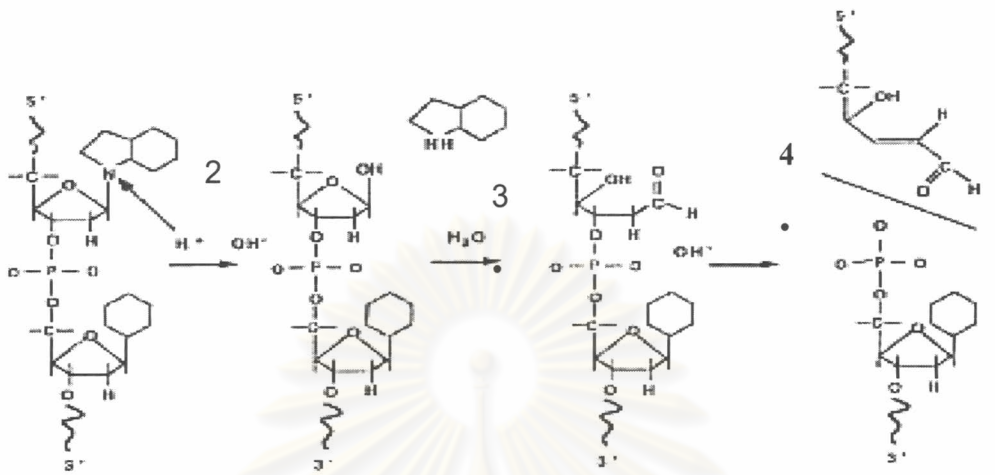
รูปที่ 4 การแตกหักของพันธะไฮโดรเจนของดีเอ็นเอสายคู่เป็นดีเอ็นเอสายเดี่ยวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงและอยู่ในภาวะที่เป็นด่าง

2. การกำจัดเอาหมู่เบสพิวรีนออกจากโครงสร้างดีเอ็นเอ (Depurination) (Suzuki และคณะ, 1994)(รูปที่ 5)

3. เกิด Hydrolysis ตรงบริเวณพันธะ glycosidic ของโมเลกุลน้ำตาลในโครงสร้างดีเอ็นเอ (Suzuki และคณะ, 1994) (รูปที่ 5)

4. เกิดการแตกหักที่บริเวณพันธะ phosphodiester ของหมู่ฟอสเฟต (Suzuki และคณะ, 1994) (รูปที่ 5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 กลไกการเกิด depurination hydrolysis และการแตกหักที่บริเวณพันธะ phosphodiester

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย