

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field corn)

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวโพดเป็นพืชจำพวกหญ้า มีลำต้นตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในฟามคล้ายฟองน้ำมีสูงประมาณ 1.4 เมตร ใบจะเป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 ซม. เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัด ตรงขอบใบมีขนอ่อนๆ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น ช่อดอกตัวเมียอยู่ต่ำลงมาอยู่ระหว่างกาบของใบ และลำต้นของฝักเกิดจากดอกของตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อนจะมีสีเขียว พอแก่เป็นสีนวล ที่รู้จักในปัจจุบันเช่น ข้าวโพดหัวนุ่ม (dent corn) และข้าวโพดหัวแข็ง (flint corn) ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะเมล็ดข้าวโพดหัวนุ่มหรือ หัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้ง สีขาวภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลือง เรียกว่า สารคริปโตแซนทีน (cryptoxanthin) สารนี้เมื่อร่างกายรับจะเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอ ช่วยให้ไข่มุกมีสีแดงเข้ม ช่วยให้ไก่มีผิวหนัง ปาก เนื้อ และแข้งมีสีเหลืองเข้มขึ้น

1.2 องค์ประกอบที่สำคัญ

ข้าวโพด 1 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตมีประมาณร้อยละ 72 ให้พลังงาน 4 แคลอรี ไขมันร้อยละ 4 โปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ เพราะจากกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายคือไลซีนและทริปโตฟาน อุดมด้วยวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 รวมไปถึงเกลือแร่ และน้ำมันข้าวโพด

1.3 ชนิดของข้าวโพด โดยทั่วไปข้าวโพดจัดออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1) **ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดไร่ (Field Corn)** ลักษณะเมล็ดข้าวโพดหัวนุ่มหรือหัวบุบ ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อเมล็ดแห้งแล้วตรงส่วนหัวบนสุดจะมีรอยบุ๋มลงไป ซึ่งเป็นส่วนของแป้งสีขาว ข้าวโพดชนิดนี้สำคัญมากและนิยมปลูกกันมากใน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะทางแถบคอร์เนลเบลท์ สีของเมล็ดมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลือง เนื่องจากมีหลายสายพันธุ์มีโปรตีนน้อยกว่าพวกข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดหัวแข็ง ข้าวโพดพันธุ์นี้ส่วนบนสุดของเมล็ดมักมีสีเหลืองจัดและเมื่อแห้งจะแข็งมาก ภายในเมล็ดมีสารที่ทำให้ข้าวโพดมีสีเหลืองจัด

2) **ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn)** เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดมักจะใสและเขียวเมื่อแก่เต็มที่ เพราะมีน้ำตาลมาก ก่อนที่จะสุกจะมีรสหวานมากกว่าชนิดอื่น ๆ จึงเรียกข้าวโพดหวาน มีหลายสายพันธุ์

3) **ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn)** เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน ไม่มีการแปรรูป เมล็ดค่อนข้างแข็ง สีและขนาดแตกต่างกัน สำหรับต่างประเทศ ถ้าเมล็ดมีลักษณะแหลมเรียกว่า ข้าวโพดข้าว (Rice Corn) ถ้าเมล็ดกลม เรียกว่า ข้าวโพดไข่มุก (Pearl Corn)

4) **ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn)** เมล็ดมีสีหลายชนิด เช่น ขาว (ขุ่น ๆ หรือปนเหลืองนิด ๆ) หรือสีน้ำเงินคล้ำ หรือมีทั้งสีขาวและสีน้ำเงินคล้ำในฝักเดียวกัน เนื่องจากกลายพันธุ์ พวกที่มีเมล็ดสีคล้ำและพวกกลายพันธุ์เรียกว่าข้าวโพดอินเดียนแดง (Squaw Corn) หรือเรียกได้อีกชื่อว่า ข้าวโพดพันธุ์พื้นเมือง (Native Corn) พวกข้าวโพดสีคล้ำนี้จะมีในอาซิซ สูงกว่าข้าวโพดที่มีแป้งสีขาว

5) **ข้าวโพดเทียน (Waxy Corn)** เป็นข้าวโพดที่คนใช้รับประทาน จะมีแป้งที่มีลักษณะเฉพาะคือ นุ่มเหนียว เพราะในเนื้อแป้งจะประกอบด้วยแป้งพวกอะไมโลเพกติน (Amylopectin) ส่วนข้าวโพดอื่น ๆ มีแป้งอะไมโลส (Amylose) ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้แป้งค่อนข้างแข็ง

2. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ที่นิยมปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์แก้วเตมาลา พีบี 12(Rep.1) แก้วเตมาลา พีบี 12(Rep.2) พีบี 5 ข้าวโพดเหนียว และโอเปก-2 มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลืองไปจนถึงสีแดง ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ซม. ก่อนนำมาเลี้ยงสัตว์จึงต้องบดก่อนเพื่อช่วยให้การย่อยและการผสมได้ผลดีขึ้น ที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 1-8 มม. พันธุ์ส่งเสริมลักษณะประจำพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวของหน่วยงานราชการ ชื่อพันธุ์สุวรรณ 3601 ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวของบริษัทเอกชน เช่น ชื่อพันธุ์รอยัล 1, ชื่อพันธุ์ U-9, ชื่อพันธุ์แปซิฟิก 328, ชื่อพันธุ์ไฟโอเนีย 3012, ชื่อพันธุ์ซีพี.ดี.เค.888, ชื่อพันธุ์บีที 919

สถานการณ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรี ปีการผลิต 2550/51(30 ส.ค. 50) พื้นที่ปลูก 375,705 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาร้อยละ 8.06 พื้นที่เสียหาย 57,582 ไร่ พื้นที่คงเหลือ 318,123 ไร่ เก็บเกี่ยวแล้ว 72,767 ไร่ ผลผลิตรวม 40,711 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 559 กก./ไร่ ราคาเฉลี่ย ข้าวโพดเบอร์ 2 หน้าโรงงานอาหารสัตว์ 7.08 บาท/กก. เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาร้อยละ 22.03 (สำนักงานพาณิชย์จังหวัด ลพบุรี, 2552)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ซึ่งการส่งออกในรูปแบบเนื้อสัตว์จะมีมูลค่าเพิ่มมากกว่าการส่งออกในรูปแบบข้าวโพดเมล็ดและความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากหลังจากที่มีการขยายการเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี 2535 เป็นผลให้การส่งออกลดลงตามลำดับ ปัจจุบันการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีไม่เพียงพอต่อความ

ต้องการใช้ภายในและมีปริมาณไม่แน่นอนเนื่องจากการผลิตขึ้นกับดินฟ้าอากาศ ทำให้มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความแห้งแล้งมาก และพื้นที่ปลูกต้องแข่งขันกับพืชเศรษฐกิจอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าในระยะ 4 - 5 ปี ที่ผ่านมามีประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้าเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการการใช้ภายในทั้ง ๆ ที่ในอดีตไทยเคยเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่อันดับหนึ่งของโลกและไทยมีศักยภาพด้านการผลิตการตลาดที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ ดังนั้นจึงควรเร่งการผลิตภายในประเทศให้เพิ่มขึ้นทันกับความต้องการใช้และมีเหลือส่งออก ในต่างประเทศนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ในหลายประเทศ เช่น อเมริกา ออสเตรเลีย เดนมาร์ก สำหรับประเทศที่มีพลเมืองหนาแน่นทำให้ไม่มีพื้นที่ว่างพอที่จะปลูกข้าวโพด แต่ต้องการเนื้อสัตว์มากจึงจำเป็นต้องสั่งเมล็ดข้าวโพดจากประเทศที่ปลูกข้าวโพดได้มากเพื่อเอาไปเลี้ยงสัตว์ประเทศเหล่านี้ ได้แก่ ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ใต้หวัน และประเทศทางตะวันออกกลาง เป็นต้น สำหรับประเทศที่ปลูกข้าวโพดเองสามารถใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในรูปแบบต่าง ๆ กันคือ เมล็ด ชัง ต้นสด ต้นแก่ และผลพลอยได้อื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมข้าวโพด ได้แก่ เปลือกเมล็ด กาก และรำ เป็นต้น ในประเทศไทยปัจจุบันมีโรงงานอาหารสัตว์ได้ใช้ข้าวโพดเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของอาหารสัตว์

แหล่งผลิตในประเทศที่สำคัญ ภาคเหนือ ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิจิตร อุตรดิตถ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ศรีสะเกษ ภาคกลาง ได้แก่ สระบุรี ลพบุรี ภาคตะวันตก ได้แก่ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ภาคตะวันออก ได้แก่ สระแก้ว จันทบุรี

ข้าวโพดจัดเป็นอาหารจำพวกแป้งเช่นเดียวกับข้าว ประกอบด้วยสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เพียงพอ แต่มีปริมาณสารอาหารโปรตีนต่ำ ข้าวโพดมีวิตามินบีต่าง ๆ เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอะซินในปริมาณต่ำ รวมทั้งปริมาณแคลเซียมและเหล็กด้วย และพบว่าวิตามินเอ มีเฉพาะในข้าวโพดสีเหลือง

3. การใช้ประโยชน์ของข้าวโพดในรูปของอาหาร

1) ข้าวโพดรับประทานฝักสด คนไทยส่วนใหญ่บริโภคข้าวโพดในรูปอาหารหวานหรืออาหารว่างระหว่างมื้ออาหาร โดยนำข้าวโพดที่เมล็ดยังไม่แก่เต็มที่มาต้ม นึ่ง หรือปิ้งให้สุก ใส่ น้ำเกลือบ้าง ใส่เนยบ้าง เพื่อเพิ่มรสชาติ สำหรับความนิยมในชนิดหรือพันธุ์อาจมีแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามคุณภาพและรสชาติ ความหวานของข้าวโพด จึงมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย

สวามิณี นวลเชกุล (2547) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดเส้นใยอาหาร เพื่อเพิ่มเส้นใยอาหารผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดที่พัฒนาได้ ประกอบด้วย น้ำนมข้าวโพด ร้อยละ 79.43, น้ำตาล ร้อยละ 8, โปรตีนถั่วเหลือง ร้อยละ 0.8, เส้นใยอาหารข้าวโพด ร้อยละ 11.73, และ คาราจีแนน ร้อยละ 0.04 เมื่อพลาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 63 °C เป็นเวลา 30 นาที สามารถเก็บ

ไว้ได้ 16 วัน ที่อุณหภูมิ 0-4 °C ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดเสริมเส้นใยอาหาร ร้อยละ 99.2 โดยให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลาง

2) **ข้าวโพดฝักอ่อน** คนไทยนิยมนำมาประกอบอาหารบริโภคในรูปฝักสด เช่นเดียวกับหน่อไม้ฝรั่ง ต่างประเทศนิยมในรูปข้าวโพดฝักอ่อน บรรจุกระป๋อง ซึ่งมีหลายประเทศในยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และฮ่องกง ที่ซื้อข้าวโพดอ่อนบรรจุกระป๋องจากประเทศไทย เป็นสินค้าอีกชนิดหนึ่งที่นำมูลค่าส่งออกสูงให้ประเทศ

วรรณภา วงศ์แสงธรรม (2547) ได้ศึกษาการใช้ศักยภาพข้าวโพดที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตข้าวโพดกระป๋องที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นผลิตภัณฑ์ธัญชาติชนิดแห้งทอดแบบน้ำมันท่วมและผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผลิตภัณฑ์ธัญชาติชนิดแห้งประกอบด้วยน้ำตาลปีบร้อยละ 45 กะทิร้อยละ 45 แป้งแซร์ร้อยละ 9 และเกลือร้อยละ 1 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

3) **ข้าวโพดเมล็ดแห้ง** ข้าวโพดจัดเป็นอาหารจำพวกแป้งเช่นเดียวกับข้าว คนในประเทศแถบทวีปแอฟริกา นิยมนำเมล็ดข้าวโพดมาแช่น้ำ และบดทั้งเมล็ด ด้วยไม้หินหรือเครื่องบด บิบน้ำออกแล้วนำมานึ่งรับประทาน ส่วนประเทศแถบทวีปอเมริกาและใต้มีผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่นิยมบริโภคเป็นอาหารหลักคือ ทอร์ทิลลา (Tortilla) โดยใช้เมล็ดข้าวโพดแก่ทั้งเมล็ดแช่น้ำค้าง นำมาบดบิบน้ำออก นำมารีดแล้วตัดเป็นแผ่นบาง ๆ ทิ้งให้หมาด นำมาทอด รับประทานกับถั่วบดผสมเนื้อและใส่เครื่องเทศ และยังมีนำมาทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวได้หลากหลาย ดัง

4) **แป้งข้าวโพด** ได้จากการสกัดเอาแป้งจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้วโดยการไม่แยกส่วนคัพพะและเปลือกออกเหลือเอน โดสเปอร์ม ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแป้งไว้ แป้งข้าวโพดที่ได้มี 3 ลักษณะคือ ชนิดหยาบเรียกคอร์นกริท (corn grit) ค่อนข้างละเอียดเรียกว่า คอร์นเมิล (corn meal) และชนิดละเอียดเรียกแป้งข้าวโพด (corn flour) นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวโพดในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เป็นอาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมปังข้าวโพด ใช้เป็นแป้งชุบทอด ใช้เป็นน้ำชุบชั้นราคาบนอาหารหลายชนิดสำหรับประเทศไทย นิยมใช้แป้งข้าวโพดน้อยมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง สามารถใช้แป้งมันสำปะหลังที่มีราคาถูกกว่า ในการประกอบอาหารที่ต้องการความข้นหนืดและเหนียวแทน ถึงแม้ว่าความหนืดจะไม่คงตัวหรือคืนตัวง่ายกว่าที่ใช้แป้งข้าวโพดก็ตาม

วรรณวรางค์ วัชรานานันท์ (2546) ได้ทำการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้พันธุ์สุวรรณ 1 บดผสมกับโซเดียม ไบคาร์บอเนตพบว่าร้อยละ 1.5 และเกลือร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าวโพดทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความพองกรอบแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำเมื่อทำการแยก คั้นอ่อนของข้าวโพดและไม่แยกคั้นอ่อนผลิตภัณฑ์มีความกรอบเหมือนกันแต่ข้าวโพดบดที่แยก คั้น

อ่อนจะมีสีคล้ำกว่า ผลิตภัณฑ์ผสมผงปรุงรสบาร์บีคิวทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

5) **น้ำมันข้าวโพด** เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีกรดไขมันที่จำเป็น คือกรดไลโนเลอิกอยู่มาก น้ำมันข้าวโพดจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีและมีประโยชน์เหมาะแก่การบริโภคมากชนิดหนึ่งใช้ในการประกอบอาหารหลายชนิด เช่น ทำน้ำมันสลัด ทำขนม ใช้ทอดอาหารต่าง ๆ

6) **น้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup)** เป็นน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและขนมหวานต่าง ๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ตกผลึกและคงรูป

ขจร ทองอำไพ (2516) ได้เปรียบเทียบปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันหรือน้ำมัน กาก เถ้า ความชื้น กับข้าวโพดไร่ ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง จะเห็นว่าองค์ประกอบของข้าวโพดมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่า ข้าวเจ้าและข้าวฟ่าง แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณค่าของอาหารระหว่างข้าวโพดไร่ ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง

องค์ประกอบ	ข้าวโพดไร่	ข้าวเจ้า	ข้าวฟ่าง
โปรตีน	8.75	7.69	9.73
คาร์โบไฮเดรต	68.36	75.47	74.43
ไขมันหรือน้ำมัน	5.08	2.39	0.68
กาก	0.63	0.61	1.57
เถ้า	0.53	0.69	1.28
ความชื้น	14.58	13.15	12.81

4. การแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารและการใช้ประโยชน์อื่น ๆ

การใช้ประโยชน์ของข้าวโพดในรูปของอาหารแล้ว ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องอุปโภคหลายชนิด เช่น ทำสบู่ น้ำมันใส่ผม น้ำหอม กระดาษ ยา ผ้า เป็นต้น นอกจากนี้ ผัก ใบบลัดดัน ยังอาจนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้อีกหลายอย่างเช่น ปุ๋ย วัตถุฉนวนไฟฟ้า ชั่งข้าวโพดแห้งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรม แป้งข้าวโพดเป็นแป้งที่มีคุณภาพดีและนิยมใช้เป็นอุตสาหกรรมในการประกอบอาหารในรูปแบบต่าง ๆ ได้มากมายหลายชนิด สำหรับผลพลอยได้จากเมล็ดข้าวโพดได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น น้ำมัน น้ำตาล น้ำเชื่อม แอลกอฮอล์ น้ำส้ม เวชภัณฑ์ น้ำหอม น้ำมันใส่ผม แบคเตอรีอุปกรณ์กันความร้อน เครื่องเคลือบ สี ย้อมหมึก พรหม น้ำมันน้ำยาซักเงา สารแทนพวกยาง สารเคมี สารระเบิด อุตสาหกรรมกระดาษแผ่นใยอัดแน่น ซึ่งใช้ทำจุกก๊อกและกล้องสูบยา วัตถุฉนวนไฟฟ้า อาหารแห้ง อาหารกระป๋อง อาหารสัตว์

การใช้ข้าวโพดไร่เพื่อเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งฉัฐชนก อมรเทวภัทร และเสกสม อาตมางกูร (2550) ได้ศึกษาผลของกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในข้าวโพด และระดับการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งโดยการผลิตในสุกรอนุบาล พบว่า สุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรข้าวโพดเอกซ์ทรูชันมีอัตราการโตและการกินได้ต่อวันสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นของข้าวโพดเอกซ์ทรูชันที่ใช้ในสูตรอาหารมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตและการย่อยของสารอาหารในสุกรอนุบาลสูงขึ้น

ประโยชน์ข้าวโพดไร่โดยมากมักทำเป็นอาหารสัตว์ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวโพดไร่เพื่อเป็นอาหารว่าง หรืออาหารรับประทานในระหว่างวันยังไม่แพร่หลายมากนัก ได้มีผู้ทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดไร่ ได้ดังนี้

4.1 ข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก อาจมีส่วนประกอบของเนื้อสัตว์หรือผัก หรือผลไม้ เช่น ปลา กุ้ง พริกทอง เผือก มันเทศ งาดำ งาขาว ขนุน มะละกอ สับปะรด บดผสมให้เข้ากับเครื่องปรุงรส แล้วทำให้เป็นรูปทรงตามต้องการ ปล่อยให้สุก ตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ นำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดดหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม อาจทอดก่อนบรรจุหรือไม่ก็ได้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546)

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีหลากหลาย มักใช้วัตถุดิบจากธัญพืช พืช ผักต่างๆ เช่น พริกทอง แครอท กุ้ง เศรษฐศิลปี อัมมวรรณ และคณะ (2540) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเสริมคุณค่าโดยนำพืชต่างๆ ที่เหมาะสม และหาได้ในท้องถิ่น 4 ชนิด คือ พริกทอง กล้วยน้ำว่า ถั่วเหลือง และ เผือก เสริมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ในปริมาณ ร้อยละ 0-100 ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเสริมพริกทองคือ ร้อยละ 70 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงาน 267.6 แคลอรีต่อ 100 กรัม ไขมัน 1142 หน่วยสากลต่อ 100 กรัม โปรตีน ร้อยละ 2.4 ข้าวเกรียบเสริมกล้วยน้ำว่า ร้อยละ 30 ในผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ซึ่งมีพลังงาน 304.3 แคลอรีต่อ 100 กรัม ไขมัน 75 หน่วยสากลต่อ 100 กรัม โปรตีน ร้อยละ 2.0 ข้าวเกรียบเสริมถั่ว

เหลืองอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 60 ซึ่งให้พลังงาน 280.2 แคลอรีต่อ 100 กรัม โปรตีน ร้อยละ 5.1 ไขมัน ร้อยละ 2.3 ส่วนข้าวเกรียบเสริมเปลือกไม่ได้ช่วยในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการเลย เพียงแต่เป็นตัวช่วยให้มีกลิ่นรสเท่านั้น

สมชาย ประภาวัตและคณะ (2549) ได้ศึกษาการทำข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลัง ปรากฏว่าข้าวเกรียบทอดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังเสริมโปรตีนด้วยแป้งผสม เป็นที่ยอมรับในการบริโภคต่อลักษณะปรากฏต่างๆดังกล่าวดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีข้าวเกรียบที่ทำจากเนื้อปลา พันธุ์รงค์ จันทรแสงศรี (2534) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสมุนไพร โดยใช้สมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการกันหืนได้แก่ จิง ข่า และขมิ้นนั้นมีส่วนประกอบที่เหมาะสมแป้งมัน 100 กรัม แป้งสาลี 15 กรัม เนื้อปลา 35 กรัม สมุนไพรแยกตามชนิดของข้าวเกรียบ 10 กรัม พริกไทย 5 กรัม กระเทียม 10 กรัม น้ำตาลทราย 10 กรัม เกลือ 4 กรัม น้ำปลา 5 กรัม วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีโปรตีน ร้อยละ 5.625 ไขมัน ร้อยละ 24.69 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 68.89 ใยอาหาร ร้อยละ 0.315 ความชื้น ร้อยละ 6.77 และเถ้า ร้อยละ 0.40

4.2 ข้าวตัง

ข้าวตังทอดทำมาจากข้าวที่หุงสุกติดกระทะหรือหม้อนำมาแฉะออกให้เป็นแผ่นบางๆ ผึ่งแดดให้แห้ง ตัดเป็นแผ่น นำไปทอดให้พองฟู ข้าวตังตามความหมายของโบราณคือข้าวที่ติดกันกระทะหรือหม้อแล้วแฉะเอามาตากแห้ง เก็บไว้ทานได้นานๆ

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวตังหน้าตั้ง สำหรับบุคคลในกลุ่มที่ต้องการพลังงานวันละ 1,600 กิโลแคลอรี (เด็ก หญิงวัยทำงาน ผู้สูงอายุ) จัดว่าให้ปริมาณพลังงานและไขมันค่อนข้างมากคือ 1 หน่วยการกินให้พลังงานประมาณ 228 กิโลแคลอรี โดยเป็นพลังงานที่มาจาก ไขมันถึงร้อยละ 61 ของพลังงานทั้งหมด หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 29 ของความต้องการไขมันต่อหนึ่งวัน ไขมันส่วนใหญ่มาจากน้ำมันที่ใช้ในการทอดข้าวตังและกะทิที่เป็นส่วนประกอบในหน้าตั้ง โดยจะเป็นไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการกินไขมันอิ่มตัวมากเกินไป อาจเพิ่มโคเลสเตอรอลในเลือดได้ ดังนั้น ถ้าวันไหนที่กินข้าวตังหน้าตั้ง ในมื้อถัดไปควรลดหรืองดอาหารที่มีไขมันสูงและมีกะทิเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ อาหารประเภทผัด ทอด รวมทั้งแกงและขนมหวานที่ใส่กะทิ ทั้งนี้เพื่อเป็นการปรับปริมาณพลังงานและไขมันให้มีความสมดุลมากขึ้นในวันนั้น และเนื่องจากข้าวตังหน้าตั้งเป็นของว่างที่มี ใยอาหารน้อยมาก จึงควรกินผักและผลไม้ให้มากขึ้นด้วย (หมอชาวบ้าน, 2553)

สุชาติ สังขพันธุ์ (2541) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังหน้าตั้งสำเร็จรูปจากเทมเป้ข้าว ถั่วลิสง และงา สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ในส่วนหน้าตั้งประกอบด้วย เทมเป้ถั่วลิสงร้อยละ 28.6 เทมเป้ งาขาวร้อยละ 12.3 โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ข้าวตังทอดจากเทมเป้กับน้ำตาลร้อยละ 10.5

น้ำปลา ร้อยละ 6.5 โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น 5 ชั่วโมง ผลผลิตขั้นสุดท้ายมีค่าสี L^* a^* b^* เท่ากับ 50.7 9.8 และ 25.2 ตามลำดับ ค่าแรงกด 39.67 นิวตัน ค่า a_w 0.341 ความชื้นร้อยละ 4.08 โปรตีน ร้อยละ 12.42 ไขมัน ร้อยละ 26.33 เกลือ ร้อยละ 2.34 เยื่อใย ร้อยละ 1.49 ให้ค่าพลังงาน ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นมากกว่า ร้อยละ 10 ของปริมาณที่แนะนำในแต่ละวัน ตามที่กำหนดไว้ที่ปริมาณการบริโภค 60 กรัม ปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์และรา น้อยกว่า 250 โคโลนีต่อกรัม

ผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายข้าวแต๋นทำมาจากวัตถุดิบหลักที่ต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต แต่ข้าวแต๋นมีการใช้วัตถุดิบผสมระหว่างข้าวเจ้ากับข้าวเหนียว หรือใช้ข้าวเจ้าล้วนในการผลิต อุบลรัตน์ พรหมพิง (2549) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋นเสริมใยอาหารจากสับปะรดโดยใช้กากสับปะรดจากอุตสาหกรรมน้ำสับปะรดมาผ่านขั้นตอนการสกัด อบแห้งและบดให้มีอนุภาคขนาด 18 ไมครอน ได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 1.47 โดยมี ปริมาณ โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เกลือ และความชื้น ร้อยละ 3.04 0.85 80.60 2.21 และ 7.41 ตามลำดับ ปริมาณของใยอาหารจากสับปะรดมากที่สุดที่สามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น ที่ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ยอมรับที่ระดับ ร้อยละ 7 ของน้ำหนักข้าวเหนียว โดยมี สูตรส่วนผสมประกอบด้วย ข้าวกข6 1 กิโลกรัม ใยอาหารจากสับปะรด 70 กรัม น้ำสับปะรด 225 กรัม น้ำตาลปี๊บ 130 กรัม เกลือป่น 10 กรัม และงาดำ 38 กรัม ข้าวแต๋นที่ได้มีใยอาหารจากสับปะรดมีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้น 2 เท่า ของสูตรต้นแบบ มีต้นแบบในการผลิต 2.06 ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (9 ชิ้น น้ำหนัก 40 กรัม)

4.3 น้ำพริกป่นแห้ง

น้ำพริกเป็นอาหารพื้นบ้านที่มีบันทึกทางประวัติศาสตร์เมื่อปี 2054 สมัยอยุธยา ระบุว่าสมเด็จพระนเรศวรมหาราชได้ต้อนรับคณะทูตชาวโปรตุเกส ซึ่งเข้ามาเจริญสัมพันธไมตรี นับเป็นครั้งแรกที่พระเจ้าแผ่นดินไทยในสมัยนั้น ในสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช พริก ซึ่งเป็นพืชดั้งเดิมของทวีปอเมริกาจึงถูกนำเข้ามายังประเทศไทยโดยบาทหลวงชาวสเปนและโปรตุเกส ซึ่งเข้าไปเผยแพร่ศาสนาแก่ชาวอินเดียพื้นเมือง และเก็บมาปลูกที่บ้านเมืองตน เมื่อบาทหลวงเหล่านี้เข้ามาในเมืองไทยก็นำมาด้วย แล้วแจกจ่ายให้คนไทยได้ทดลองปลูกรับประทาน พริกจึงแพร่หลายไปทั่วประเทศและกลายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในอาหารไทย (นิรมล ขุนบุญชัย และคณะ, 2548)

1) น้ำพริกแต่ละภาค

- (1) น้ำพริกภาคเหนือ เช่น น้ำพริกหนุ่ม, น้ำพริกแดง, น้ำพริกน้ำปู, น้ำพริกอ่อน, น้ำพริกปลาจี่, น้ำพริกอีเก, น้ำพริกข่า, น้ำพริกแคบหมูน้ำพริกฮ้า (ปลาร้า)
- (2) น้ำพริกภาคกลาง เช่น น้ำพริกกะปิ, น้ำพริกลงเรือ, น้ำพริกเผา, น้ำพริกปลาร้า, น้ำพริกมะอึก, น้ำพริกมะคั้น, น้ำพริกกระท้ำ, น้ำพริกปลาเค็ม, น้ำพริกนรก,
- (3) น้ำพริกภาคอีสาน เช่น น้ำพริกปลาร้า, แจ่วบอง, ปลาร้าสับ, ฯลฯ
- (4) น้ำพริกภาคใต้ เช่น น้ำพริกบูกู, น้ำพริกไข่ปู, คั่วแห้ง, น้ำพริกโตปลาแห้ง, น้ำพริกกุ้งเสียบ ฯลฯ

พชณี รัตนสมบัติ (2545) ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเสริม โปรตีนและวิตามิน B 12 จากถั่วเหลืองหมัก ได้ทำการศึกษการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเสริม โปรตีนและวิตามิน B 12 จากถั่วเหลืองหมักพบว่าจากการคัดเลือกสูตรของผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเพื่อใช้เป็นสูตรพื้นฐานจากทั้งหมด 4 สูตร ผู้บริโภคให้การยอมรับสูตรที่ดัดแปลงจากจันทร์ ทศานนท์ มากที่สุด และเมื่อนำสูตรดังกล่าวใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเสริม โปรตีนและวิตามิน B 12 โดยการใช้ถั่วเหลือง หรือ เทมเป้ เข้าไปทดแทนการใช้กุ้งแห้ง ในอัตราส่วนกุ้งแห้งต่อถั่วเหลืองในระดับต่างๆ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ของน้ำพริกเผาที่มีการเติมกุ้งแห้งต่อถั่วเหลือง, การเติมกุ้งแห้งต่อเทมเป้ และสูตรที่มีการเติมกุ้งแห้ง ในอัตราส่วน 75:25

ชมพูนุช โสมาลี (2545) ได้ทำการพัฒนาสูตรน้ำพริกสวรรค์ปลาและการเก็บรักษา ศึกษาการพัฒนาสูตรน้ำพริกสวรรค์ปลา โดยใช้ปลา 3 ชนิด คือ ปลาโอ ปลาทรายแดง ปลาลัง พบว่าปลาทรายแดงมีคะแนนการยอมรับสูงสุด แล้วบรรจุใส่ภาชนะ 3 ชนิด เพื่อทำการศึกษาอายุการเก็บรักษา ได้แก่ ขวดแก้ว กระปุกพลาสติก ถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพทางเคมีพบว่า ค่า A_w จะเริ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คุณภาพทางจุลินทรีย์ ขวดแก้วสามารถเก็บไว้โดยพบปริมาณจุลินทรีย์น้อยสุด คุณภาพทางประสาทสัมผัส กระปุกพลาสติกได้คะแนนการยอมรับสูงสุด น้ำพริกสวรรค์ปลาสูตรยอมรับมีคุณค่าทางอาหาร คือ ความชื้นร้อยละ 28.80 เถ้าร้อยละ 4.5 โปรตีนร้อยละ 6.14

ศูนย์ประสานงานพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์สุขภาพชุมชน (2546) ศึกษาอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์น้ำพริกจากชุมชน การเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพที่แตกต่างกันของส่วนประกอบของน้ำพริกแต่ละประเภททำให้อายุการเก็บรักษาของน้ำพริก แตกต่างกันไปพบว่า ตัวอย่างของน้ำพริก ร้อยละ 81.67 มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์เกินกว่ามาตรฐาน และมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 1 สัปดาห์ เนื่องจากส่วนประกอบของน้ำพริกอุดมไปด้วยสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

5. การเปลี่ยนแปลงของอาหาร

อาหารเน่าเสียมักเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรือเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งทำให้คุณสมบัติของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม เน่า หรือมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ การเน่าเสียของอาหารเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการ

1) การเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดจากสาเหตุทางเคมี

อาหารมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ มีสาเหตุจากเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารตามธรรมชาติภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการแปรรูปอาหารต่างๆ ที่ไม่มีการทำลายปฏิกิริยาของเอนไซม์จะมีผลนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

2) การเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ช่วยขยายให้เห็นลักษณะรูปร่าง พบกระจายกระจายทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหาร และอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบอาหาร รวมทั้งตามมือ และทางเดินอาหารของคน และสัตว์ จุลินทรีย์จำแนกออกได้เป็น 6 ชนิด คือ แบคทีเรีย ยีสต์ รา โปรโตซัว สาหร่าย และไวรัส

5.1 ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์กับอาหาร จุลินทรีย์เมื่อปนเปื้อนในอาหาร ก่อให้เกิดผลต่ออาหารจำแนกออกได้เป็น 3 ประการ

1) ทำให้อาหารเน่าเสีย

จุลินทรีย์เป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุด ในการทำให้อาหารเน่าเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องนำเอาอาหารไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ และการขยายพันธุ์ โดยการเปลี่ยนแปลงของอาหารเกิดขึ้นจากการกระทำของเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ เป็นผลให้อาหารมีกลิ่นรสและลักษณะเปลี่ยนไปในทางที่ไม่ต้องการ เพราะมีการสลายตัวหรือการสังเคราะห์สารประกอบเกิดขึ้น ทำให้อาหารเสียได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น อาหารประเภทโปรตีน ได้แก่กุ้งปลาและเนื้อสัตว์จะมีกลิ่นเหม็น ส่วนสารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญจะมีกลิ่นหมักและรสเปรี้ยว เพื่อป้องกันมิให้อาหารเปลี่ยนสภาพไป จึงต้องพยายามป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนกับอาหาร หรือขจัดจุลินทรีย์ออกจากอาหารให้ได้มากที่สุดหรืออย่างน้อยที่สุดทำให้สภาพของอาหารไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนมา ซึ่งทำให้สามารถเก็บอาหารได้นานยิ่งขึ้น (สุมาลี เหลืองสกุล, 2545 ; คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546

2) ทำให้เกิดโรค

จุลินทรีย์บางชนิดเมื่อปนเปื้อนมากับอาหาร อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดโรคต่างๆ ได้ โดยเฉพาะแบคทีเรีย เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปเจริญในอาหาร (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

3) ผลิตอาหาร

เป็นการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น การใช้จุลินทรีย์เพื่อผลิตอาหาร ผลิตสารปฏิชีวนะ ชีวสารต่างๆ ใช้ในทางพันธุกรรม และย่อยสลายมลสารต่างๆ ทั้งที่เป็นพิษและที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

5.2.1 ปัจจัยภายใน (intrinsic factors) ปัจจัยภายในเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์โดยตรง

1) สารอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโตและในการสืบพันธุ์ สารอาหารทำให้เกิดพลังงานที่สิ่งมีชีวิตต้องการในการดำรงชีวิต จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสังเคราะห์แหล่งพลังงานจากสารอนินทรีย์ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่จุลินทรีย์ส่วนมากต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะน้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน รวมทั้งวิตามินต่างๆ เป็นต้น (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

2) ความชื้นของอาหาร

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีความจำเป็นต่อการขนส่งสารอาหารและของเสีย รวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ปริมาณของน้ำที่จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการจะแตกต่างกันออกไป น้ำในที่นี้หมายถึงน้ำที่เป็นอิสระในอาหารซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ว่า a_w (สุมาลี, ม.ป.พ.) ซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการ a_w ในการเจริญเติบโตสูงกว่าราและยีสต์แม้แต่ในกลุ่มแบคทีเรียด้วยกันก็ยังคงต้องการ a_w ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน คือ แบคทีเรียแกรมลบต้องการ a_w สูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสียส่วนมากจะไม่เจริญถ้า a_w ต่ำกว่า 0.91 ในขณะที่ราสามารถเจริญได้ที่ a_w ประมาณ 0.80 (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

3) ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หมายถึง ในสถานะที่เป็นสารละลาย สารที่แตกตัวให้ H^+ เรียกว่า กรด และสารที่แตกตัวให้ OH^- เรียกว่า ด่าง หรือเบส ตามปกติอาหารที่มีสภาพ pH เป็นกลาง(ประมาณ6.5-7.5) จุลินทรีย์มักจะเจริญได้ดี

ความเป็นกรด-ด่างของสิ่งแวดล้อม จะมีผลต่อกิจกรรม และความคงตัวของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น เอนไซม์ ซึ่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต้องอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยและการดูดซึมของสารอาหารเพื่อจะผลิตพลังงาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า pH มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญได้ดีในช่วง pH 6.0-8.0 ยีสต์

เจริญได้ดีในช่วง pH 4.5-6.0 ส่วนเชื้อราที่สร้างเส้นใยเจริญได้ดีในช่วง pH 3.5-4.0 แต่มีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญได้ดีที่ pH ต่ำกว่าปกติที่แบคทีเรียอื่นๆ เจริญ (pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.0-6.0) เช่น แบคทีเรียที่ให้กรด

ความเป็นกรดของอาหารขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอน (H^+) เมื่อละลายน้ำ อาหารที่แตกตัวให้ H^+ น้อย จะมี pH สูง อาหารประเภทนี้จุลินทรีย์จะเจริญได้ดี ส่วนอาหารที่แตกตัวให้ H^+ มาก จะมี pH ต่ำ อาหารประเภทนี้จุลินทรีย์จะเจริญได้ไม่ดี

(สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

4) การถ่ายทอดอิเล็กตรอนของอาหาร

การให้และการรับอิเล็กตรอนของสารในอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยน้ำในอาหารนับว่าสำคัญมาก เนื่องจากทำให้เกิดระบบสารละลายของไอออนต่างๆ และเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น ปฏิกิริยานี้วัดออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ เรียกว่า redox potential (Eh) มีหน่วยเป็นมิลลิโวลท์ (mV)

แบคทีเรียบางชนิดต้องการสภาวะรีดิวซ์ (Eh เป็นลบ) ในการเจริญเติบโต ได้แก่ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ ขณะที่แบคทีเรียบางชนิดต้องการสภาวะออกซิไดซ์ (Eh เป็นบวก) ได้แก่ แบคทีเรียที่ต้องการอากาศ นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญเติบโตได้ในสภาวะรีดิวซ์เล็กน้อย เช่น มีอากาศประมาณร้อยละ 5 คือ แบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่มไมโครแอโรฟิลล์ และยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญได้ทั้งในสภาวะรีดิวซ์และสภาวะออกซิไดซ์ คือ สภาวะที่มีหรือไม่มีอากาศก็สามารถเจริญได้ ได้แก่ แบคทีเรียจำพวกแฟลคคัลเททีฟอะนาโรบส์ สำหรับยีสต์และราส่วนมากชอบสภาวะที่มีอากาศ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

5) สารยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหาร

สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่พบมากมาจาก 3 แหล่งดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

(1) สารยับยั้งชนิดที่แบคทีเรียสร้างขึ้นเองในระหว่างที่เจริญ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ เช่น สารปฏิชีวนะ เป็นต้น

(2) สารยับยั้งที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เช่น ไลโซไซม์ (lysozyme) และคอลลอยด์ลูมิน (conalbumin) ซึ่งมีอยู่ในส่วนประกอบของไข่ขาว

(3) สารยับยั้งที่เติมลงในอาหาร เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการ เช่น โพรพิโอนัตและเกลือซอร์เบต เป็นต้น (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

5.2.2. ปัจจัยภายนอก (extrinsic factors) เป็นปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลทางอ้อมต่อการเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์

1) อุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเพิ่มจำนวน ทำให้สามารถจำแนกจุลินทรีย์ออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

- 1) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ
- 2) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง
- 3) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลาง
- 4) จุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิสูง

ยีสต์ รา และแบคทีเรียส่วนมากเจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสียและแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (สุมนฉา วัฒนสินธุ์, 2545)

2) ความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาอาหาร

ความชื้นในบรรยากาศรอบควบคุมของความชื้นในอาหาร เพราะความชื้นในบรรยากาศมีค่าเป็น 100 เท่าของ a_w ถ้าหากความชื้นในบรรยากาศต่ำ จะมีผลทำให้น้ำในอาหารเกิดการเคลื่อนที่ออกสู่บรรยากาศ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ a_w ในอาหารลดลง (Frazier & Westhoff, 1978)

3) ก๊าซในสภาพบรรยากาศ

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสีย และอาหารเป็นพิษ จะเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการเจริญ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการปริมาณออกซิเจนที่ต่างกัน ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

- (1) Aerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญ
- (2) Anaerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน
- (3) Facultative bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

6. โปรแกรมเชิงเส้นตรง linear programming

โปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming) หรือที่เรียกสั้นๆว่า LP เป็นเทคนิคที่สำคัญและนิยมใช้กันมากในบรรดาโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ โปรแกรมเชิงเส้นจะถูกนำมาช่วยในการแก้ปัญหาที่เราไม่สามารถแก้ได้ด้วยตัวเอง เพราะเสียเวลานาน และยุ่งยากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ผิดพลาดได้ง่าย LP จะมีประโยชน์ในการแก้ปัญหาที่มีทางเลือกมากมายแต่การเกิดขึ้นของทางเลือก

เหล่านั้นอยู่ภายใต้สภาวะที่แน่นอน การใช้เทคนิค LP จึงจำเป็นต้องเรียนรู้ถึงลักษณะปัญหาที่ใช้ LP และวิธีการแก้ปัญหานั้นเพื่อให้ได้ทางเลือกที่ดีที่สุด (ระวี สุวรรณเดโชไช, 2553)

ปัจจุบันประเทศที่มีความเจริญทางวิชาการ นิยมใช้ LP กับปัญหาทางด้านธุรกิจ อุตสาหกรรม และองค์การของรัฐอย่างกว้างขวาง เช่น ปัญหาเกี่ยวกับการขนส่ง การคมนาคม การวางแผนเกี่ยวกับการผลิตและสต็อกสินค้า การวางแผนพัฒนาการเกษตร การทหาร การจัดการทางด้านโภชนาการ การจัดงบประมาณ การให้บริการชุมชน เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้มีการจำกัดของทรัพยากร ผู้วิเคราะห์หรือผู้รับผิดชอบจะต้องศึกษาลักษณะของปัญหาและข้อจำกัด แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อแสวงหาคำตอบที่ดีที่สุดต่อปัญหา ให้บรรลุถึงเป้าหมายที่วางไว้

6.1 รูปแบบแทนระบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming model) มีโครงสร้างดังนี้

1) มีสมการกำหนดเป้าหมาย (objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร ฯลฯ เพื่อให้กำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด

2) มีสมการแสดงของข้อจำกัด (constraints) ซึ่งแสดงความจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปสมการหรืออสมการ

3) ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการต่างๆ ของรูปแบบแทนระบบต้องมีลักษณะเชิงเส้นตรง (linear form) คือตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของข้อจำกัดจะต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นกำลังเดียวกัน

4) ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (all positive value)

จากรูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้นตรงนี้ จะเห็นได้ว่าตัวค่าวัดผลการดำเนินงานจะได้จากสมการกำหนดเป้าหมายซึ่งเราจะต้องพยายามหาค่าเป็นไปตามเป้าหมายโดยเทคนิคที่มีอยู่ ตัวแปรต่างๆ จะเป็นตัวแทนจำนวนปริมาณหรือค่าของปัจจัยที่มีอยู่จำกัดโดยการกำหนดของสมการหรืออสมการ ในข้อจำกัดของปัญหา ผลการวิเคราะห์จะได้เป็นค่าตัวแปรที่จะนำไปตัดสินใจเพื่อดำเนินการให้ได้ตามเป้าหมาย เช่น

กำหนดให้สินค้าต้องใช้วัสดุชนิดหนึ่ง ปริมาณที่มีอยู่จำกัดในจำนวน 10 ตัน จะได้สมการข้อจำกัดเป็น “น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ตัน สำหรับปริมาณวัสดุที่ใช้ชิ้นๆ หรือกำหนดว่าปริมาณการขายสำหรับสินค้าชนิดนั้นต่ำสุดเป็น 20,000 ชิ้น ทำให้เกิดอสมการ “มากกว่าหรือเท่ากับ 20,000 ชิ้น” สำหรับปริมาณการขาย เป็นต้น

ตัวอย่างรูปแบบแทนระบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อให้หาค่าของตัวแปร เช่น X_1, X_2, \dots, X_n ที่ทำให้ผลการดำเนินงานที่มีค่าสูงสุดตามสมการเป้าหมายดังนี้

สมการเป้าหมาย $\text{Max. } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$

$$\begin{aligned}
 \text{สมการหรืออสมการข้อ } i & a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n \leq b_i \\
 & a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \\
 & \dots\dots\dots \\
 & a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \\
 X_i & \geq 0 ; i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

โดยมี $Z = F(X_i)$ เป็นสมการเป้าหมาย

- X_i เป็นค่าตัวแปรที่แทนค่าของปัจจัย
- a_{ij}, C_j เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่มีค่าคงที่
- b_j เป็นปริมาณทรัพยากรที่จะนำมาใช้ในแต่ละกิจการซึ่งมีค่าคงที่

การใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming) ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภททั้งด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ได้มีผู้ที่ได้ใช้โปรแกรมเพื่อพัฒนาให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการ

วารสาร จักรูชนเนศกุล (2533) นำวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิดมาคำนวณหาสูตรอาหารเสริมที่เหมาะสมสำหรับทารกโดยโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear programming) โดยสูตรที่ได้ต้องมีปริมาณสารอาหารที่ศึกษาซึ่งได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น วิตามินเอ บีหนึ่ง บีสอง ธาตุเหล็ก และฟอสฟอรัสเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องอาหารเสริมสำหรับเด็ก สูตรที่ยอมรับมากที่สุดคือสูตรที่ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า 55.02 เปอร์เซ็นต์ ไข่ไก่ 18.96 เปอร์เซ็นต์ แครอท 3.34 เปอร์เซ็นต์ นมผงขาดมันเนย 3.14 เปอร์เซ็นต์ และแป้งถั่วเหลือง 20.0 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ทุกตัวที่ศึกษามีปริมาณเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ยกเว้นวิตามินเอที่มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกเดือนในระยะเวลาเก็บ 3 เดือน พบว่าวิตามินบีหนึ่ง มีปริมาณลดลง แต่ผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

สุชาดา สังขพันธุ์ (2541) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังหน้าตั้งสำเร็จรูปจากนมเปี้ยว ถั่วลิสง และงา สูตรที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming) เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณ โปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย และได้พลังงานตามที่ต้องการสูงสุดของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายที่มีทั้งหญิงและผู้ชายในช่วงอายุตั้งแต่ 16-30 ปี ได้สูตรที่เหมาะสม โดยใช้นมเปี้ยวลิสงร้อยละ 25.15 และนมเปี้ยว ร้อยละ 21.0 ทดแทนเนื้อสัตว์ ซึ่งจะได้สารอาหารตามต้องการมีคุณค่าทางโภชนาการ