บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพด (corn หรือ maize) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Panicoideae เป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีลักษณะลำต้นตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในฟ่ามคล้ายฟองน้ำ สูงประมาณ 1.4 เมตร มีปล้อง ใบเรียวยาวเป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตรติดอยู่กับต้นบริเวณปล้อง เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัดเจน ตรงขอบใบมีขนอ่อนๆ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้อยู่บริเวณส่วนยอดของลำต้น ช่อดอกตัวเมียอยู่ต่ำลงมาอยู่ระหว่างกาบของใบและลำต้น ฝักเกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อนจะมีสีเขียว พอแก่จะเป็นสีนวล (สมควร, 2542)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นธัญพืชที่มีประโยชน์ใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ มีความสำคัญรองจากข้าวสาลีและข้าว การผลิตโดยทั่วไปอยู่ในเขตอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้น และพื้นที่ราบเขตร้อน สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพค่อนข้างกว้าง เมล็ดข้าวโพดสามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิด ภายในเมล็ดมีแป้งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์ในหลายประเทศ เช่น เม็กซิโก อิตาลี แอฟริกาใต้ อินเดีย และอินโดนีเซีย แหล่งผลิตข้าวโพดที่สำคัญของ ประเทศไทยอยู่ในภาคเหนือซึ่งมีพื้นที่ปลูกประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ตามลำดับ จังหวัดที่ปลูกข้าวโพดมาก ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครราชสีมา เลย ลพบุรี นครสวรรค์ และปราจีนบุรี (ไสว, 2551)

ชนิดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การจำแนกชนิดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ

1) การจำแนกทางพฤกษศาสตร์ โดยอาศัยลักษณะของแป้งและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นหลัก จำแนกออกเป็น 7 กลุ่ม คือ (พิเชษฐ์ และสุรพงษ์, 2547; ไสว, 2551)

1.1) ข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (dent corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays indentata* เป็นข้าวโพดที่เมล็ดตอนบนมีรอยบุบสีขาว เนื่องจากตอนบนเป็นแป้งชนิดอ่อน (soft starch) และด้านข้างของเมล็ดเป็นแป้งชนิดแข็ง (corneous starch) เมื่อตากให้แห้งส่วนที่เป็นแป้งอ่อนจะหดยุบตัวและเกิดลักษณะหัวบุบดังกล่าว มีลำต้นสูงตั้งแต่ 2.5-4.5 เมตร ฝักยาวตั้งแต่ 15-30

เซนติเมตร และมีเมล็ดระหว่าง 8-24 แถว สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง หรือสีอื่นๆ แล้วแต่ชนิดของพันธุ์ นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา

1.2) ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (flint corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays indurata* เป็นข้าวโพดที่มีลักษณะเมล็ดค่อนข้างแข็งแรง กลม เรียบ หัวไม่บุบ เพราะมีแป้งชนิดอ่อนอยู่ตรงกลางแต่ด้านนอกถูกห่อหุ้มด้วยแป้งชนิดแข็งเมื่อตากให้แห้งจึงไม่หดตัว มีจำนวนฝักและจำนวนแถวน้อยกว่าชนิดหัวบุบ สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง สีม่วง หรือสีอื่นแล้วแต่ชนิดของพันธุ์ นิยมปลูกกันมากในยุโรป เอเชีย อเมริกากลางและอเมริกาใต้ ข้าวโพดไร่ของไทยที่นิยมปลูกกันอยู่เป็นชนิดหัวแข็งนี้ทั้งสิ้น ในประเทศไทยปลูกกันมาช้านาน ได้แก่ พันธุ์กัวเตมาลา ซึ่งตลาดต่างประเทศต้องการเป็นอาหารสัตว์

1.3) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays saccharata* เป็นข้าวโพดปลูกรับประทานฝักสดโดยเฉพาะ เมล็ดเมื่ออ่อนจะมีลักษณะใสโปร่งแสงและมีรสหวานเนื่องจากมีน้ำตาลมาก เมื่อเมล็ดแก่จะหดตัวและเหี่ยวย่น

1.4) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays everta* เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีแป้งประเภทแข็งอยู่ภายใน ภายนอกถูกห่อหุ้มด้วยสารที่ค่อนข้างเหนียวและยืดตัวได้ ฉะนั้นเมื่อเมล็ดที่มีความชื้นอยู่ภายในพอถูกความร้อนจะเกิดแรงดันภายในเมล็ดและเมื่อถึงขีดสุดก็จะระเบิดตัวออกมา โดยทั่วๆ ไปอาจแบ่งได้ตามรูปร่างเมล็ดอีก 2 พวก คือ พวกหัวแหลม rice pop corn และพวกเมล็ดกลม pearl popcorn เมล็ดมีสีต่างๆ กัน เช่น เหลือง ขาว ส้ม ม่วง ฝักมีขนาดต่างๆ กัน ตั้งแต่ 5-10 เซนติเมตร

1.5) ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays ceratina* มีลักษณะเมล็ดเหนียวคล้ายขี้ผึ้ง ซึ่งเป็นแป้งที่มีลักษณะคล้ายแป้งมันสำปะหลัง ปลูกกันเล็กน้อยในสหรัฐอเมริกาเพื่อใช้ทำแป้งที่มีลักษณะคล้ายแป้งมันดังกล่าว กล่าวกันว่าข้าวโพดพันธุ์นี้มีการค้นพบครั้งแรกในประเทศจีน

1.6) ข้าวโพดแป้ง (flour corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays amylacea* เมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมาก มีรูปร่างและลักษณะเมล็ดคล้ายข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็งมากแต่หัวไม่บุบหรือบุบเล็กน้อยโดยสม่ำเสมอทั่วเมล็ด มีเมล็ดประมาณ 8-12 แถว ปลูกมากในบางท้องที่ของอเมริกาใต้ อเมริกากลาง และสหรัฐอเมริกาทางภาคตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งค่อนข้างแห้งแล้ง

1.7) ข้าวโพดป่า (pod corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays tunicate* เป็นข้าวโพดที่มีลักษณะแปลกใกล้เคียงกับพืชป่า เมล็ดมีเปลือกหุ้มทุกเมล็ดและยังมีเปลือกฝังอีก

ชั้นหนึ่ง ส่วนเมล็ดมีลักษณะต่างๆ กัน คือ มีทั้งพวกหัวบุบ หัวแข็ง ข้าวโพดแป้ง ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว

2) การจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ จำแนกออกได้ 4 ประเภท คือ

2.1) ข้าวโพดใช้เมล็ดสุกแก่ เป็นข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวเมล็ดแก่มาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคทั้งมนุษย์และสัตว์ หรือใช้ในการผลิตแป้งและน้ำมัน

2.2) ใช้บริโภคฝักสด คือ ข้าวโพดที่ปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวฝักที่ยังอ่อนไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้แก่ข้าวโพดฝักอ่อน ข้าวโพดหวานและข้าวโพดข้าวเหนียว

2.3) ใช้เป็นอาหารสัตว์ คือ ปลูกข้าวโพดและตัดต้นในระยะก่อนแก่ เพื่อนำข้าวโพดทั้งต้นไปทำหญ้าสด (fodder) หญ้าหมัก (silage) หรือหญ้าแห้ง (hay)

2.4) ปลูกเพื่อใช้ฝักสำหรับประดับ เป็นข้าวโพดที่เมล็ดบนฝักเดียวกันมีหลายสี เนื่องจากมีการสะสมสารสีที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถนำไปประดับตกแต่งได้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542)

โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1) เปลือกหรือรำ (pericarp) เป็นส่วนของเปลือกหุ้มผล ซึ่งอยู่นอกสุดของเมล็ด ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่และแร่ธาตุต่างๆ ส่วนนี้จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 5-6 ของน้ำหนักเมล็ด

2) คัพภะ (germ) มีอยู่ประมาณร้อยละ 10-14 ของน้ำหนักเมล็ด คัพภะของข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้วสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ ใช้ในการประกอบอาหารหลายชนิด เช่น น้ำมันสลัด ทำขนม หรือใช้ทอดอาหารต่างๆ

3) เอนโดสเปิร์ม (endosperm) มีอยู่ประมาณร้อยละ 82 ของน้ำหนักเมล็ด องค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ สตาร์ชและกลูเทนหรือโปรตีน เอนโดสเปิร์มแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ฟลาวรี เอนโดสเปิร์ม (floury endosperm) แป้งมีลักษณะนุ่มและโปร่ง เซลล์มีขนาดใหญ่ เม็ดสตาร์ชมีขนาดใหญ่และกลม โปรตีนที่อยู่เป็นแบบเส้นใยโปรตีน และฮอร์นี เอนโดสเปิร์ม (horny endosperm) แป้งมีลักษณะแข็ง เส้นใยของโปรตีนหนากว่าและปริมาณโปรตีนสูงกว่าแบบแรก โปรตีนที่มีอยู่เป็นโปรตีนหลักหรือเซอิน

4) ขั้ว (tip cap) เป็นส่วนที่ติดกับฝักข้าวโพด มีประมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักเมล็ด

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าส่วนใหญ่เป็นแป้ง แต่มีโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบด้วย ในเอนโดสเปิร์มประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ แต่ในคัพภะจะมีโปรตีนและไขมันสูง องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ร้อยละ)

ส่วนของเมล็ด	ทั้งเมล็ด	แป้ง	โปรตีน	น้ำมัน	น้ำตาล	เถ้า
ทั้งหมด	100	73.5	9	4.3	1.9	1.5
เอนโดสเปิร์ม	82.6	87.6	7	0.83	0.62	0.33
คัพภะ	11.1	8.0	18.3	33.5	10.5	10.6
ขั้ว	6.2	7.0	4.3	1.4	-	0.9

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา (2542)

การใช้ประโยชน์จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในรูปของอาหาร

การนำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไปใช้ประโยชน์ในรูปของอาหาร มีหลายแบบ คือ (จันทรา และคณะ, 2551)

1) ข้าวโพดรับประทานฝักสด ในรูปของอาหารหวานหรืออาหารว่างระหว่างมื้ออาหาร โดยนำข้าวโพดที่เมล็ดยังไม่แก่เต็มที่มาต้ม นึ่ง หรือปิ้งให้สุก ใส่น้ำเกลือหรือเนยเพื่อเพิ่มรสชาติ สำหรับความนิยมในชนิดหรือพันธุ์อาจมีแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามคุณภาพและรสชาติความหวานของข้าวโพดรับประทานฝักสดจะขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาการบริโภคภายหลังการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา

2) ข้าวโพดฝักอ่อน นิยมนำมาประกอบอาหารบริโภคในรูปฝักสด เช่นเดียวกับหน่อไม้ฝรั่ง ต่างประเทศนิยมในรูปข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีหลายประเทศในยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และฮ่องกง ที่ซื้อข้าวโพดอ่อนบรรจุกระป๋องจากประเทศไทยเป็นสินค้าอีกชนิดหนึ่งที่นำมูลค่าส่งออกสูงให้ประเทศ

3) ข้าวโพดเมล็ดแห้ง ข้าวโพดจัดเป็นอาหารจำพวกแป้งเช่นเดียวกับข้าว คนในประเทศแถบทวีปแอฟริกานิยมนำเมล็ดข้าวโพดมาแช่น้ำและบดทั้งเมล็ดด้วยโม่หินหรือเครื่องบดบีบน้ำออกแล้วนำมานึ่งรับประทาน ส่วนประเทศแถบทวีปอเมริกากลางและใต้มีผลิตภัณฑ์ข้าวโพดที่นิยมบริโภคเป็นอาหารหลัก คือ ทอร์ทิลลา (tortilla) โดยใช้เมล็ดข้าวโพดแก่ทั้งเมล็ดแช่ในน้ำด่าง

นำมาบดบีบน้ำออก นำมารีดแล้วตัดเป็นแผ่นบางๆ ทิ้งให้หมาด นำมาทอดรับประทานกับถั่วบดผสมเนื้อและใส่เครื่องเทศ

4) แป้งข้าวโพด ได้จากการสกัดเอาแป้งจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว โดยการโม่แยกส่วนคัพพะและเปลือกออกเหลือเอนโดสเปอร์มซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแป้งไว้ แป้งข้าวโพดที่ได้มี 3 ลักษณะ คือ ชนิดหยาบ เรียกว่าคอร์นกริท (corn grit) ค่อนข้างละเอียด เรียกว่า คอร์นมิล (corn meal) และชนิดละเอียด เรียกว่าแป้งข้าวโพด (corn flour) นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวโพดในรูปแบบต่างๆ เช่น เป็นอาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมปังข้าวโพด ใช้เป็นแป้งชุบทอด ใช้เป็นน้ำซุปข้นราดบนอาหารหลายชนิด สำหรับประเทศไทยนิยมใช้แป้งข้าวโพดน้อยมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง สามารถใช้แป้งมันสำปะหลังที่มีราคาถูกกว่าในการประกอบอาหารที่ต้องการความข้นหนืดและเหนียวแทน ถึงแม้ว่าความหนืดจะไม่คงตัวหรือคืนตัวง่ายกว่าที่ใช้แป้งข้าวโพดก็ตาม

5) น้ำมันข้าวโพด เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้ว ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีกรดไขมันที่จำเป็น คือ กรดไลโนเลอิกปริมาณมาก น้ำมันข้าวโพดจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีและมีประโยชน์เหมาะแก่การบริโภคมากชนิดหนึ่ง ใช้ในการประกอบอาหารหลายชนิด เช่น ทำน้ำมันสลัด ทำขนม ใช้ทอดอาหารต่างๆ

6) น้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup) เป็นน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและขนมหวานต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติไม่ตกผลึกและคงรูป

2.2 โยเกิร์ต

Yoghurt มาจากคำว่า jugurt เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดหนึ่งที่มีการผลิตและบริโภคในประเทศตุรกี ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 289 (ภาคผนวก ง) โยเกิร์ต หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วย *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* หรือ *Lactobacillus* สายพันธุ์อื่น (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2552)

บุญจันทร์ (2530) ให้ความหมายโยเกิร์ตว่า เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดหนึ่ง มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ซึ่งอาจผลิตจากนมสด นมขาดมันเนย นมคืนรูปจากนมผงขาดมันเนย นมพร่องมันเนย หรือส่วนผสมของนมดังกล่าว นำมาผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้อนุภาคของไขมันเล็กลง

ทำการฆ่าเชื้อด้วยการพลาสเจอไรซ์หรือการสเตอริไลซ์แล้วหมักด้วยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกมาเฉพาะ ซึ่งอาจเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ หรือทั้งสองชนิดรวมกัน

ชนิดของโยเกิร์ต

ในประเทศที่มีการดื่มนมเป็นอาหารหลักมักจะมีการผลิตโยเกิร์ตด้วยกันทุกประเทศ โดยในแต่ละท้องถิ่นจะมีกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกันไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหลากหลาย การแบ่งชนิดของโยเกิร์ตอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

1) มาตรฐานกฎหมาย มาตรฐานกฎหมายของโยเกิร์ต ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมัน ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid-not-fat หรือ SNF) หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532) ตามมาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดให้แบ่งชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมันดังนี้ “full” (สูงกว่า 3.0%) “medium” (ประมาณ 3.0-0.5%) และ “low” (ต่ำกว่า 0.5%) (FAO/WHO, 1984)

2) กรรมวิธีการผลิต สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

2.1) โยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yoghurt) คือ โยเกิร์ตที่ผลิตขึ้นโดยการนำน้ำนมที่ผ่านกระบวนการปรับมาตรฐานการโฮโมจิไนซ์ การให้ความร้อน และการเพาะเชื้อเริ่มต้นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำมาบรรจุลงในภาชนะย่อยที่จะใช้จำหน่ายหรือการบริโภค แล้วนำมาหมักให้นมตกตะกอนในภาชนะนั้น หลังจากนั้นทำการแช่เย็นเพื่อเก็บรักษาโดยไม่มีการกวน ในการบริโภคผู้บริโภคต้องกวนหรือตักรับประทานทันทีก็ได้ โยเกิร์ตชนิดคงตัวจะมีลักษณะของโครงสร้างทางกายภาพของมวลที่ตกตะกอนเป็นเนื้อเดียวกันที่ต่อเนื่องและมีลักษณะแข็งกึ่งเหลว

2.2) โยเกิร์ตชนิดคน (stirred yoghurt) คือ โยเกิร์ตที่หมักให้นมตกตะกอนในถังหมักขนาดใหญ่เรียบร้อยแล้ว จึงนำโยเกิร์ตมาบรรจุในภาชนะที่จะใช้จำหน่ายหรือบริโภค (นวลนภา, 2546)

3) กลิ่นรส และการปรุงแต่ง แบ่งได้ 4 แบบ คือ (ศิริบุญ, 2552)

3.1) โยเกิร์ตแบบธรรมดา (plain หรือ natural yoghurt) เป็นโยเกิร์ตที่ผลิตได้ตามวิธีดั้งเดิม มีรสชาติเปรี้ยว ไม่มีการเติมกลิ่นหรือผลไม้ลงไป

3.2) โยเกิร์ตรสผลไม้ (fruit หรือ flavored yoghurt) อาจมีการเติมผลไม้และ สารให้ความหวาน หรือมีการเติมกลิ่นรสและสีแทนส่วนของผลไม้ แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบสวิส (swiss style) ซึ่งเป็นโยเกิร์ตที่มีเนื้อผลไม้ผสมรวมกระจายอยู่ในเนื้อโยเกิร์ต และแบบซันเด (sundae style)

ซึ่งมีเนื้อผลไม้อยู่บริเวณก้นภาชนะ เช่น ส้ม สับปะรด สตรอเบอรี เป็นต้น การเติมผลไม้ชนิดต่างๆ นอกจากเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคแล้ว ยังทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีปริมาณแร่ธาตุแตกต่างกันออกไป

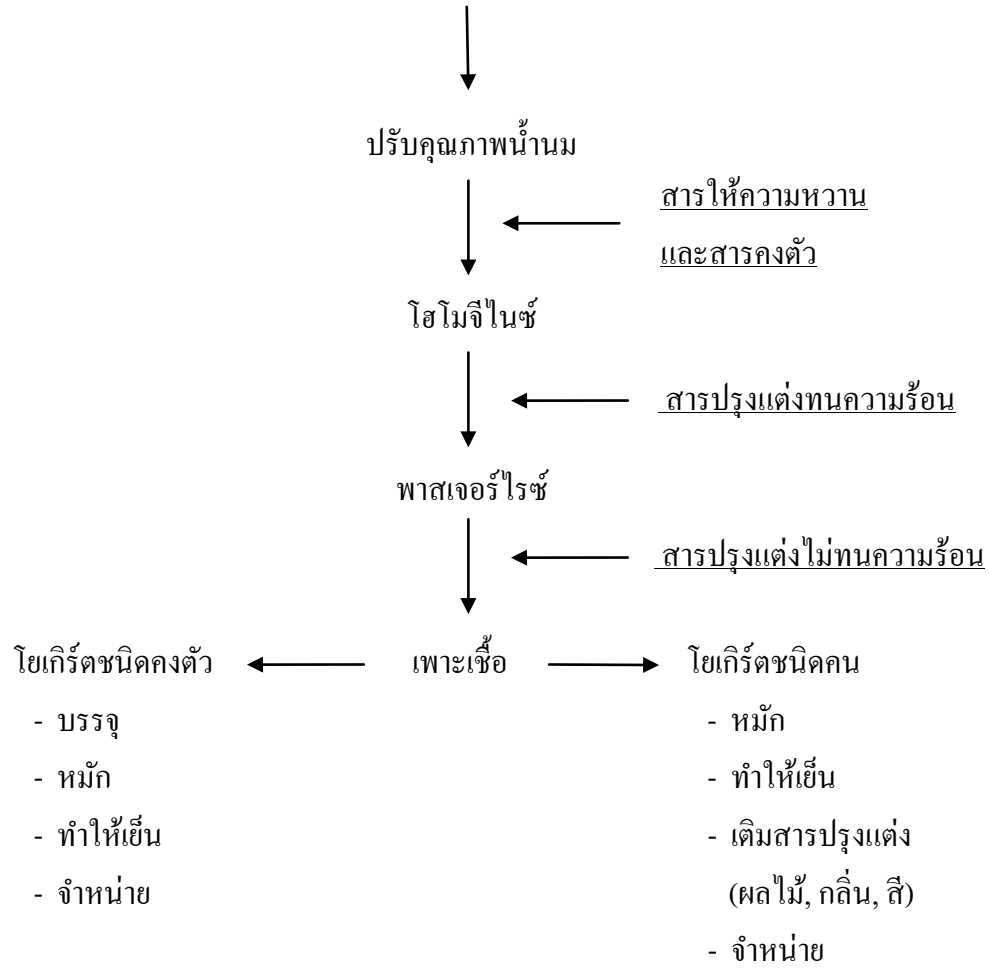
3.3) โยเกิร์ตที่ผสมน้ำตาล (sweetened yoghurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีน้ำตาลผสมอยู่ด้วย เพื่อให้เกิดรสหวานชวนรับประทาน

3.4) โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (drinking yoghurt) ได้จากการนำโยเกิร์ตผสมกับน้ำผลไม้ในอัตราส่วน 1:1 นำมาผ่านการฆ่าเชื้อ โยเกิร์ตชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นน้ำสะดวกต่อการดื่ม มีรสเปรี้ยวตามธรรมชาติ ส่วนสีและกลิ่นจะเป็นไปตามน้ำผลไม้ที่ผสมอยู่

4) กระบวนการหลังการหมัก เมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้นอาจนำโยเกิร์ตไปผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การให้ความร้อน การแช่แข็ง การทำให้แห้ง เป็นต้น ซึ่งสามารถเติมสารให้กลิ่นรส สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว และสีลงในผลิตภัณฑ์ได้ (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต

กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตโดยทั่วไปมีขั้นตอนหลักๆ คือ การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้นก่อนการหมักให้มีปริมาณของแข็งและไขมันตามต้องการ หลังจากนั้นทำการไล่อากาศด้วยเครื่องไล่อากาศ ในกรณีที่มีการใช้นมผงเป็นวัตถุดิบ ตามด้วยกระบวนการโฮโมจีไนซ์เซชั่นและพาสเจอร์ไรซ์ตามลำดับ แล้วเติมจุลินทรีย์สายพันธุ์เฉพาะลงไป น้ำตาลแลคโตสในน้ำนมจะถูกย่อยให้เป็นกรดแลคติก จนได้ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างตามต้องการ แล้วจึงทำการเติมกลิ่นรส ให้ความเย็นและบรรจุ สำหรับโยเกิร์ตที่ต้องการให้มีอายุการเก็บรักษานานจำเป็นต้องให้ความร้อนสูงหรือที่เรียกว่า UHT ก่อนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและชนิดคนแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและชนิดคน
ที่มา : วิษณุลักษณ์ (2550)

วราวุฒิ และรุ่งนภา (2532) ได้อธิบายกระบวนการผลิตโยเกิร์ต ดังนี้

1) การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น (preliminary ingredient preparation) โยเกิร์ตสามารถเตรียมได้จากน้ำนมหลายชนิด เมื่อนำมาผ่านการหมักจะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพแตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบที่ได้ของน้ำนมชนิดต่างๆ แตกต่างกัน เช่น เมื่อไขมันในน้ำนมมีปริมาณสูงจะทำให้โยเกิร์ตมีความเป็นครีมสูงตามไปด้วย นอกจากนี้น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในน้ำนมก็จะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์โยเกิร์ต ส่วนโปรตีนก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความหนืดและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำนมก่อนทำการหมัก ดังนี้

1.1) การปรับปริมาณไขมันในนม ไขมันมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของโยเกิร์ตในแง่ของความรู้สึกเมื่อรับประทาน ในการปรับปริมาณไขมันในน้ำนมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ตนี้จะใช้หลักการของเพียสันส์สแควร์ (pearsons square)

1.2) การปรับปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในน้ำนม ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในน้ำนมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ น้ำตาลแลคโตส โปรตีน และเกลือแร่ จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสของโยเกิร์ต โดยเฉพาะความหนืดและความสม่ำเสมอของโครงสร้างทางกายภาพของเนื้อโยเกิร์ต ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งในน้ำนม โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 15-16 แต่ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดมีมากกว่าร้อยละ 25 จะทำให้ความชื้นในส่วนผสมลดลงและมีผลต่อการเติบโตของเชื้อเริ่มต้น การเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมทำได้โดยการให้ความร้อน ใช้เมมเบรนแยกน้ำออกจากน้ำนม การเติมนมผง เคซีน (casein) เวย์ผง (whey powder) นมเนยผง (butter milk powder) เป็นต้น

1.3) การเติมสารคงตัว มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเคิร์ด และช่วยลดปัญหาการเกิด syneresis หรือการแยกตัวของของเหลวอิสระออกจากเคิร์ด นอกจากนี้สารคงตัวยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บและทำให้โยเกิร์ตมีความสม่ำเสมอ สารคงตัวที่ดีควรมีสมบัติดังนี้ คือ ไม่มีกลิ่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ และกระจายตัวได้ดีในอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักน้ำนม สารคงตัวที่ใช้ในการผลิต โยเกิร์ต เช่น แป้ง เจลาติน และเพคติน เป็นต้น สารคงตัวเหล่านี้อาจใช้เพียงสารประกอบชนิดเดียวหรือสารประกอบผสมหลายตัว ซึ่งสารประกอบแบบหลังจะเป็นที่นิยมทางการค้ามาก เนื่องจากสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้หลายชนิด

1.4) การเติมสารให้ความหวาน สารให้ความหวานหรือที่เรียกว่า sweetener มักเติมในการผลิต fruit yoghurt หรือใน sweetened yoghurt โดยอาศัยการเติมสารให้ความหวาน ลงไปในส่วนผสมโยเกิร์ตหรือเติมผลไม้ที่มีความหวานลงไป เพื่อลดความเปรี้ยวของโยเกิร์ต ปัจจัยที่มีผลต่อการเติมสารให้ความหวาน ได้แก่ ชนิดของสารให้ความหวานที่ใช้ ความชอบของผู้บริโภค ชนิดของผลไม้ที่ใช้ ผลที่อาจยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์โยเกิร์ต และมาตรฐานกฎหมาย เป็นต้น โดยทั่วไปปริมาณน้ำตาลที่เติมลงในโยเกิร์ตร้อยละ 10-12 มีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โยเกิร์ต ซึ่งเป็นผลมาจากความดันออสโมติกย้อนกลับ (adverse osmotic pressure) ของสารให้ความหวานในน้ำ

และปริมาณน้ำอิสระที่ลดลงในโยเกิร์ต (Tamine and Robinson, 1999) สารให้ความหวานที่นิยมใช้ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส กลูโคสไซรัป คอร์นไซรัป และกาแลคโตสไซรัป เป็นต้น

2) การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) หลังจากปรับส่วนผสมของนมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ตแล้ว การนำนมมาผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำนมในด้านการเป็นสารอิมัลชันที่เป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการให้นมผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความเร็วสูง โดยผ่านช่องเปิดเล็กๆ ภายใต้ความดันสูง ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมทางด้านกายภาพและเคมีในน้ำนมหลังผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังจากผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันจะมีผลทำให้โยเกิร์ตที่ได้หลังการหมักมีเนื้อสัมผัสที่เนียนมากขึ้น มีกลิ่นรสที่เป็นครีม และจะช่วยลดการเกิดครีมที่ผิวหน้าหรือการแยกชั้นของเวย์

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในน้ำนมหลังผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ผลหลังจากการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโยเกิร์ต
1. ความหนืดเพิ่มขึ้น	การลดขนาดลงของเม็ดไขมัน และเพิ่มการดูดซับกับอนุภาคของโปรตีนเคซีน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณอนุภาคแขวนลอย
2. ปริมาณของเอนไซม์แซนทินออกซิเดส (xanthin oxidase enzyme) เพิ่มขึ้น	เนื่องจากเกิดการถูกทำลายของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดนี้อยู่ประมาณครึ่งหนึ่งที่พบในน้ำนม
3. สีขาวขึ้น	ปริมาณของเม็ดไขมันที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการสะท้อนและกระจายของแสง
4. การเกิดลิโปไลซิส (lipolysis) เพิ่มขึ้น	เนื่องจากพื้นที่ผิวของไขมันที่สามารถเกิด ปฏิกิริยากับเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้น โดยเยื่อหุ้มของเม็ดไขมันที่ถูกทำลายไปจะส่งผลให้เกิดการแตกสลายของไขมันโดยหัวเชื้อมากขึ้น
5. การจับตัวรวมกันเพิ่มขึ้น	โดยเฉพาะน้ำนมที่มีนมผงเป็นส่วนผสม

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในน้ำนมหลังผ่านกระบวนการทำให้เป็น

เนื้อเดียวกัน (ต่อ)

ผลหลังจากการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโยเกิร์ต
6. ปริมาณของฟอสโฟลิปิดในนมผงขาดมันเนยเพิ่มขึ้น	ปริมาณของฟอสโฟลิปิดที่มีอยู่ที่เยื่อหุ้มเม็ดไขมันจะกระจายตัวอยู่ในนมผงขาดมันเนยมากขึ้นเนื่องจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นในการทำให้เป็น เนื้อเดียวกัน
7. การเกิดฟองง่ายขึ้น	เป็นผลจากปริมาณของฟอสโฟลิปิดในนมผง ขาดมันเนยเพิ่มขึ้นการปั้มนมที่จะทำโยเกิร์ตมาบ่มในถังบ่มจะก่อให้เกิดฟองง่ายขึ้น
8. ขนาดของเม็ดไขมันลดลง	ช่วยป้องกันการเกิดชั้นครีมในโยเกิร์ตระหว่างบ่ม
9. Oxidised flavour ลดลง	เนื่องจากปริมาณฟอสโฟลิปิดเพิ่มขึ้นของนมผงขาดมันเนย ประกอบกับการเกิดสารประกอบจำพวกซัลไฟด์ดิลซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบซัลไฟด์ดิลนี้อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของโปรตีนในนมผงขาดมันเนย
10. เสถียรภาพของโปรตีนลดลง	การเปลี่ยนแปลงแรงระหว่างโปรตีนกับโปรตีนมีผลจากการเสื่อมสภาพของโปรตีนและสมดุลของเกลือ
11. การรวมตัวและผลต่อการลอยตัวลดลง	เนื่องจากการดูดซับเม็ดไขมันด้วยโปรตีนเคซีน ส่งผลให้การรวมตัวของไขมันลดลง
12. เคซีนในชั้นนมผงขาดมันเนยลดลง	เกิดจากการเคลื่อนย้ายของเคซีนบางส่วนจาก นมผงขาดมันเนย จับตัวกับเยื่อหุ้มของเม็ดไขมันเล็กๆ ที่เกิดขึ้นจากการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน
13. การเกิด syneresis ลดลง	การเพิ่มความสามารถในการสร้างพันธะกับน้ำเนื่องจากแรงปฏิกิริยาของโปรตีนเคซีนที่เยื่อหุ้มของเม็ดไขมันและแรงปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน

ที่มา : Tamine and Robinson (1999)

3) การให้ความร้อน (heat treatment) การให้ความร้อนเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ต นอกจากจะมีผลในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมแล้วยังมีผลต่อส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตดังต่อไปนี้

3.1) ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหรือจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการ สำหรับตารางที่ 3 แสดงเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ให้ความร้อนแก่นมและส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ตต่างๆ กัน ซึ่งความร้อนที่ใช้มักเพียงพอต่อการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อยู่ในน้ำนมดิบเท่านั้น แต่สปอร์หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อนยังคงมีเหลืออยู่ในนม อย่างไรก็ตามน้ำนมที่ผ่านความร้อนจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตที่ดีของจุลินทรีย์โยเกิร์ต

ตารางที่ 3 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ต

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	กระบวนการ	ผลที่ได้
2-3 วินาที	< 65	Thermisation	ทำลายแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำได้
30 นาที	65	Batch pasteurisation	ทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีอยู่ในน้ำนมได้เกือบทั้งหมดและเซลล์บางส่วน
15 วินาที	72	Pasteurisation	
4-20 วินาที	85	High pasteurisation	ทำลายเซลล์ทั้งหมดแต่ไม่ทำลายสปอร์
30 นาที*	85		
5 นาที*	90-95		
40-20 นาที	110-120	In-container sterilization and autoclaving	ทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ได้ทั้งหมด
20-2 วินาที	135-150	UHT	

* เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต

ที่มา : Tamine and Robinson (1999)

3.2) กำจัดอากาศที่มีอยู่ในน้ำนม ซึ่งทำให้มีสภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โยเกิร์ตมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดนี้ต้องการอากาศในปริมาณน้อย (microaerophilic)

3.3) เปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนม โดยมีผลทำให้โปรตีนเวย์ที่มีอยู่ในนม ได้แก่ อัลบูมินและโกลบูมินที่เสียสภาพธรรมชาติ (denature) ตกตะกอน อีกทั้งยังก่อให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลเคซีนเกิดเป็นร่างแหในลักษณะสามมิติขึ้นมา โดยร่างแหนี้จะจับกับโปรตีนเวย์ ทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีความหนืดมากกว่าเดิม

3.4) มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์โยเกิร์ต เนื่องจากมีกิจกรรมหมักที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (40-45 องศาเซลเซียส)

3.5) ทำให้โปรตีนในนมถูกทำลายให้สารย่อยๆ ที่เป็นโมเลกุลเล็กลง ซึ่งอาจเป็นสารเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์โยเกิร์ต

4) กระบวนการหมัก (fermentation process) นมที่ผ่านการให้ความร้อนจะต้องทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วจึงส่งไปยังถังหมักเพื่อทำการหมักด้วยหัวเชื้อที่เตรียมต่อไป หัวเชื้อโยเกิร์ตจะประกอบไปด้วยหัวเชื้อสายพันธุ์ผสมของ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยทั่วไปหัวเชื้อจะใช้ประมาณร้อยละ 0.5-2.0 หลังการถ่ายเชื้อแล้วจะทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37-44 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง หรือที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของหัวเชื้อสายพันธุ์ผสมจะหมักที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนของการหมักจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ ในกรณีที่ผลิต set yoghurt จะเกิดการหมักในภาชนะที่บรรจุที่จะจำหน่ายปลีก หรือในกรณีของ stirred yoghurt จะเกิดการหมักขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วจึงนำไปบรรจุเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป อย่างไรก็ตามไม่ว่าลักษณะการผลิตโยเกิร์ตจะเป็นลักษณะใดก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการเกิดเจลจะมีลักษณะเหมือนกันจะแตกต่างกันเพียงคุณสมบัติของการไหลของ coagulum ซึ่งลักษณะเนื้อของโยเกิร์ตที่ได้จาก set yoghurt จะไม่ถูกรบกวน เจลที่ได้จึงเป็นมวลของแข็งกึ่งเหลวตลอดทั้งภาชนะบรรจุ ในขณะที่ stirred yoghurt จะเป็นเจลที่มีลักษณะแตกจากกันเมื่อสิ้นสุดการหมักก่อนทำให้เย็น

5) การให้ความเย็น (cooling) เนื่องจากการผลิตโยเกิร์ตเป็นกระบวนการทางชีวภาพ การทำให้เย็นจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์โยเกิร์ตและเอนไซม์ จะทำเมื่อโยเกิร์ตมีระดับความเป็นกรด-ด่างตามต้องการ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.6 หรือความเข้มข้นกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.9 หลักของการทำให้โครงสร้างทางกายภาพของมวลที่

ตกตะกอนเย็นลง คือ ลดอุณหภูมิจาก 30-45 องศาเซลเซียส ให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสหรือประมาณ 5 องศาเซลเซียสทันที เพื่อควบคุมความเป็นกรดสุดท้ายในผลิตภัณฑ์

6) การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี (addition of flavoring / colouring ingredients) การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสีลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะขึ้นอยู่กับชนิดของโยเกิร์ตที่ต้องการของผู้บริโภค สารที่ใช้เติมเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวในอุตสาหกรรมผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ผลไม้ สารให้กลิ่น สี และสารประกอบอื่นๆ เช่น น้ำผึ้ง ถั่วต่างๆ มะเขือเทศ กาแฟ เป็นต้น

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

โดยปกติโยเกิร์ตจะมีอายุการเก็บประมาณ 10 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของหัวเชื้อที่มีอยู่ในโยเกิร์ต แม้ว่ากิจกรรมของหัวเชื้อดังกล่าวจะต่ำมากก็ตาม ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสของโยเกิร์ตเปลี่ยนแปลงไปและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สุดท้ายหัวเชื้อที่มีอยู่ในโยเกิร์ตจะถูกทำลาย และโยเกิร์ตจะเกิดการแยกชั้นของเคิร์ดและเวย์ ซึ่งมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น ยีสต์และราเจริญได้ ดังนั้นในการผลิตโยเกิร์ตจึงควรระมัดระวังในเรื่องการปนเปื้อนของเชื้อราและยีสต์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตรวมทั้งในระหว่างการบรรจุด้วย (ศุภวัฒน์, 2541)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 289 กำหนดให้เก็บรักษาโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 8 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาหลังบรรจุจนถึงผู้บริโภค และระยะเวลาการบริโภคต้องไม่เกิน 30 วัน นับจากวันที่บรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่าย (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2552) ปัจจุบันอายุการเก็บอาจมากกว่าระยะเวลาที่กำหนดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บน้อย

ประโยชน์ของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตในผลิตภัณฑ์หลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต จุลินทรีย์โยเกิร์ตต้องยังคงมีชีวิตอยู่และสามารถดำเนินกิจกรรมต่อไปได้ ในสภาวะที่เหมาะสมจุลินทรีย์โยเกิร์ตสามารถทำหน้าที่และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของผู้บริโภค ประโยชน์ของโยเกิร์ตมีดังนี้ (นวลนภา, 2546)

1) คุณค่าทางโภชนาการ โยเกิร์ตเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่มีพลังงานและไขมันต่ำ (จำแนกตามปริมาณไขมันนม) อุดมด้วยแคลเซียมและโปรตีนนม คือ เคซีนและโปรตีนเวย์ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนอิสระหลายชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับ

น้ำนม พบว่าโยเกิร์ตมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าน้ำนมเนื่องจากส่วนประกอบที่เติมลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตหรือในโยเกิร์ตโดยตรง และผลอันเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในโยเกิร์ต

2) ความสามารถในการย่อย การบริโภคโยเกิร์ตแล้วพบว่าย่อยได้ง่ายกว่าน้ำนม เนื่องมาจากอนุภาคของเคิร์ดจะไปกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในการย่อยของต่อมน้ำลาย อีกทั้งในโยเกิร์ตมีปริมาณเบปไทด์ และกรดอะมิโนอิสระมากกว่าในน้ำนม เนื่องมาจากการย่อยของจุลินทรีย์โยเกิร์ตและผลจากการให้ความร้อน นอกจากนั้นในระหว่างกระบวนการผลิตจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ย่อยแลคโตสไปก่อนแล้วเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมดให้เป็นกรดแลคติก ส่วนที่เหลือจุลินทรีย์ก็ทำการย่อยแลคโตสต่อจนได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือกลูโคสและกาแลคโตส ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กได้

3) การใช้ทางด้านโภชนาการบำบัด การนำโยเกิร์ตมาใช้ในด้านโภชนาการ บำบัดมีหลายกรณี เช่น

3.1) การปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ แบคทีเรียกรดแลคติกมีส่วนช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยการลดแบคทีเรียที่ให้โทษซึ่งเป็นผลมาจากสารเมแทบอไลซ์ การผลิตสารยับยั้ง และการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของลำไส้ โดยกรดแลคติกจะลดและทำลายแบคทีเรียที่ไม่ทนกรดและแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Escherichia coli*, *Mycobacterium tuberculosis* และ *Salmonella* ซึ่งสามารถเจริญได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง และผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นของโยเกิร์ต เช่น บัลการิน (bulgarin) ซึ่งผลิตจาก *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* สามารถ ผลิตเมทานอลและอะซิโตนซึ่งยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella* และ *Pseudomonas* และช่วยส่งเสริมการแก่งแย่งและยึดติดกับผนังลำไส้ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น

3.2) ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ โยเกิร์ตมีผลป้องกันและรักษาโรคทั้งในคนและสัตว์ที่มีความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร เช่น ท้องร่วง ท้องผูก ระบบทางเดินอาหารอักเสบของเด็กทารก เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นอาหารที่ย่อยง่ายและเป็นผลมาจากการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้

3.3) โรคแพ้น้ำตาลแลคโตส ผู้ที่ขาดน้ำย่อยแลคเตสมาแต่กำเนิดหรือผู้ที่ไม่ได้ดื่มนมมาเป็นเวลานาน เมื่อดื่มนมทำให้เสี่ยงต่ออาการท้องแน่น ท้องเสีย แต่เมื่อบริโภคโยเกิร์ตแล้วอาการเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์โยเกิร์ตยังคงทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลแลคโตสต่อไป เมื่อเข้าถึงส่วนของลำไส้ปริมาณแลคโตสที่เหลืออยู่จึงมีปริมาณน้อยและลักษณะเคิร์ดของโยเกิร์ตยังอยู่อย่างสมบูรณ์หลังจากบริโภคแล้ว ทำให้การกระจายตัวของแลคโตสเข้าสู่ผนังลำไส้เป็นไปอย่าง

ช้าๆ ผลเสียหายที่เกิดขึ้นจากการย่อยแลคโตสจึงเกิดขึ้นน้อยถ้ามีก็ไม่รุนแรงมากนัก โยเกิร์ตจึงเป็นอาหารที่เหมาะกับกลุ่มคนที่แพ้น้ำตาลแลคโตสรวมถึงผู้ป่วยที่มีน้ำตาลในเลือดสูงด้วย แต่โยเกิร์ตนั้นต้องไม่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงมากหรือมีรสหวานจัด

3.4) โรคกระดูกพรุน โยเกิร์ตเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยคุณค่า ทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียม ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน โรคกระดูกเสื่อมในหญิงวัยหมดประจำเดือนและผู้สูงอายุ โดยเฉพาะแคลเซียมที่อยู่ในโยเกิร์ตจะถูกดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าในรูปอื่นๆ เนื่องจากการรับประทานโยเกิร์ตเป็นการเพิ่มกรดแลคติกเพื่อแทนที่กรดในกระเพาะอาหารที่ขาดไป ทำให้การย่อยอาหารดีขึ้นและช่วยให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้สูงขึ้น และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูกและฟันอีกด้วย

3.5) การลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งเป็นผลมาจากไฮดรอกซีเมทิลกลูทาเรต (hydroxyl methylglutarate) ที่จุลินทรีย์โยเกิร์ตสร้างขึ้น มีสมบัติในการยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย

3.6) การต่อต้านมะเร็ง สารในโยเกิร์ตที่ทำหน้าที่ต่อต้านมะเร็งสามารถแยกได้จากโยเกิร์ตส่วนที่เป็นของแข็งด้วยวิธีแยกลำดับส่วนบนเรซินแบบแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตหรือการเก็บโยเกิร์ต ซึ่งมีผลยับยั้งการเติบโตของมะเร็งในระยะเริ่มต้น

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตสามารถเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติกได้ เรียกว่า แบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) โดยเป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในที่มีออกซิเจนน้อย ลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ คือ ย้อมติดสีแกรมบวกไม่สร้างสปอร์ (มีจีนัสที่สร้างสปอร์ คือ *Sporolactobacillus* ส่วนใหญ่ไม่เคลื่อนที่) รูปร่างกลม หรือกึ่งแท่งกึ่งกลม ไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลส ยกเว้นบางสายพันธุ์สร้าง pseudo catalase ต้องการคาร์โบไฮเดรตในการเจริญ (บุญจันทร์, 2530)

จุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นในเกือบทุกประเทศ และอาจมีการใช้เชื้อยีสต์เป็นเชื้อหมักร่วมในผลิตภัณฑ์บางประเภทเพื่อช่วยในด้านคุณภาพ ความคงตัว และคุณค่าทางด้านโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยคุณลักษณะที่ดีของหัวเชื้อเริ่มต้นสำหรับทำ โยเกิร์ต คือ (วิษณุลักษณ์, 2550)

1) จะต้องสร้างกรดได้เร็วและมาก ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างเชื้อที่สร้างกรดแลคติก เช่น Streptococci จัดเป็นพวกโฮโมเฟอร์เมนเตทีฟ (homofermentative) สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติกได้ถึงร้อยละ 80-90 ส่วน *Leuconostoc* จัดเป็นพวกเฮทเธอโรเฟอร์เมนเตทีฟ (heterofermentative) ซึ่งนอกจากจะให้กรดแลคติกแล้ว ยังสามารถสร้างกรดอะซิติก เอธิลแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

2) ให้กลิ่นและรสที่ดี โดยกลิ่นและรสของโยเกิร์ตเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่มีต่อองค์ประกอบในน้ำนม

3) ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ หัวเชื้อเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ต โดยลักษณะที่ดีของหัวเชื้อโยเกิร์ต คือ ปลอดจากการปนเปื้อน เจริญได้ดีในส่วนผสมของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตให้กลิ่นรสที่ต้องการ โครงสร้างลักษณะเนื้อดี และต้านทานต่อ phages และสารปฏิชีวนะ ในการสร้างกลิ่นรส (flavor) และลักษณะของเนื้อสัมผัส (texture) ต้องใช้หัวเชื้อผสมของ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ปริมาณหัวเชื้อในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยแบคทีเรียทั้งสองนี้จะมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันเมื่อใช้ร่วมกันที่เรียกว่า symbiosis ดังนั้นในการผลิตโยเกิร์ตต้องควบคุมสภาวะเพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่สมดุลกัน

การพึ่งพาอาศัยกันของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตมีลักษณะการเจริญ คือ ที่อุณหภูมิในการหมัก 40 องศาเซลเซียส *S. thermophilus* จะเจริญได้ดีทำให้เชื้อเจริญขึ้นอย่างเด่นชัด สร้าง diacetyl และสารประกอบที่คล้ายกันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสที่ดีของโยเกิร์ต และ *S. thermophilus* ยังช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากนม ซึ่งถ้าหากมีออกซิเจนเหลืออยู่อาจก่อให้เกิดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ได้ การเจริญของ *S. thermophilus* จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.5 ซึ่งจะมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *L. bulgaricus* โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *L. bulgaricus* คือ 45 องศาเซลเซียส เมื่อ *L. bulgaricus* เจริญและมีปริมาณกรดแลคติกมากพอที่จะสร้าง acetaldehyde ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตได้ โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมีปริมาณ acetaldehyde ที่ประมาณ 23-41 พีพีเอ็ม แต่อย่างไรก็ตาม *S. thermophilus* ก็สามารถสร้างกลิ่นรสพวก acetaldehyde ได้ด้วย แต่มีปริมาณน้อยกว่า acetaldehyde ที่สร้างจาก *L. bulgaricus* (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

บทบาทของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

หัวเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในการผลิตโยเกิร์ต โดยมีบทบาทต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ดังนี้

1) การผลิตกรดแลคติก กรดแลคติกเป็นผลจากการหมักน้ำตาลแลคโตสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนของแบคทีเรียแลคติก ทำให้เคซีนไมเซลเปลี่ยนสภาพจากแขวนลอยในรูป calcium-caseinate-phosphate complex แตกตัวเป็น casein complex calciumlactate และ calcium- phosphate ซึ่งสามารถละลายเป็นส่วนประกอบของน้ำนม เมื่อปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม เคซีนไมเซลจะค่อยๆ สูญเสียแคลเซียม เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงถึง 4.6-4.7 เคซีนจะเสียสมดุลและเกิดการตกตะกอนมีลักษณะกึ่งแข็งที่เรียกว่า เคิร์ด (curd) นอกจากนี้กรดแลคติกยังมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะของโยเกิร์ต คือ มีความสดและมีกลิ่นรสที่เป็นกรด (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

2) การย่อยสลายโปรตีนและกรดไขมัน การย่อยโปรตีนและกรดไขมันให้เป็นสารโมเลกุลเล็กลงมีส่วนสร้างรสชาติและความหอมในโยเกิร์ต เช่น กรดอะมิโนซีรีน โฟรรีน วารีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ไทโรซีน และกรดกลูตามิก เป็นต้น และกรดไขมันที่ระเหยได้ เช่น กรดอะซีติก โพรพิโอนิค บิวทีริค และคาพริลิก เป็นต้น การย่อยสลายโปรตีนมีผลในการเพิ่มความแน่นเนื้อ ความคงตัว และความหนืดของโยเกิร์ต (วิษณุลักษณ์, 2550)

3) ผลิตสารประกอบที่ให้กลิ่นรส *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* จะสร้างสารให้กลิ่นรสในระหว่างการหมัก และระดับของสารต่างๆ ที่ได้จะขึ้นกับเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลจากองค์ประกอบที่มีอยู่ในนม ซึ่งองค์ประกอบของนมที่สำคัญในการสร้างอะเซตัลดีไฮด์ คือ น้ำตาลแลคโตส กรดอะมิโนพวกทริโอนีน และเมไทโอนีน (Tamime and Robinson, 1999)

4) การผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น สารที่จุลินทรีย์โยเกิร์ตสร้างและมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น ได้แก่ กรดแลคติก แบคเทอริโอซิน และไฮโดรเจนเพอออกไซด์ สารเหล่านี้จะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ลดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้การหมักเกิดได้ดีและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้นานขึ้น (วิษณุลักษณ์, 2550)

ในปัจจุบัน การผลิตโยเกิร์ตประสบกับปัญหาการผลิตและการตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาน้ำนมดิบของไทยที่มีราคาสูงกว่านมผงที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีผู้พยายามลดการนำเข้าของผลิตภัณฑ์นมโดยการนำวัตถุดิบอื่นมาทดแทน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตโยเกิร์ตจากวัตถุดิบอื่นมาแทนน้ำนม ดังนี้ เรณู (2523) ทำการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองโดยทำการหมักส่วนผสมของน้ำนมถั่วเหลือง กลูโคส และยีสต์สกัด ด้วยเชื้อ *L. bulgaricus* โยเกิร์ตที่ได้มีความเป็นกรดเพียงพอ และได้รับการยอมรับสูงกว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่หมักด้วยเชื้อ *S. thermophillus* หรือเชื้อผสมของเชื้อทั้งสอง และสามารถลดปริมาณเฮกซานัล ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นถั่ว

จารุวรรณ์ และคณะ (2543) ผลิตโยเกิร์ตจากกะทิ โดยใช้กะทิที่เตรียมจากมะพร้าวทึนทึกซึ่งแยกไขส่วนผิวหน้าออกไป หลังจากคั้นและเก็บในตู้เย็นนาน 2 ชั่วโมง ผสมกับสารละลายนมผงความเข้มข้นร้อยละ 15 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในอัตราส่วน 1:1.25 หมักด้วยหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 4 บ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโยเกิร์ตที่มีไขมันต่ำเนื้อสัมผัสเนียน มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับโยเกิร์ตที่ทำจากน้ำนมวัว ผู้บริโภคให้การยอมรับในโยเกิร์ตกะทิและโยเกิร์ตกะทิเติมเนื้อมะพร้าวอ่อนหรือธัญชาติ

อิศรา (2546) ได้พัฒนาโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติค โดยการหมักข้าวกล้องสุกด้วยหัวเชื้อโยเกิร์ตร่วมกับเชื้อโพรไบโอติค *Bifidobacterium longum* Bb-46 หมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่พัฒนาได้ มีค่าความหนืด 2,377 เซนติพอยส์ มีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 1.09 และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.27 ผู้บริโภคยอมรับโยเกิร์ตข้าวกล้องเติมเชื้อโพรไบโอติคในระดับที่ดี

นวลนภา (2546) ผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด โดยคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดหวานที่เหมาะสม 3 สายพันธุ์ คือ เอสทีเอส-2, ไฮบริก-10 และเอสทีเอส-5 พบว่า พันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมคือ เอสทีเอส-2 ซึ่งให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะสัมผัสและความหวานสูงสุด จากนั้นศึกษาสูตรในการผลิตพบว่า ประกอบด้วยน้ำนมข้าวโพด (อัตราส่วนข้าวโพดต่อน้ำเป็น 1:2) และนมผงขาดมันเนยปริมาณร้อยละ 88 และ 12 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ใช้หัวเชื้อโยเกิร์ต YC-350 ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก บ่มที่ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ทำการพัฒนาสูตรการผลิตโดยการเติมน้ำตาลและวุ้นมะพร้าว พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีปริมาณน้ำตาลและวุ้นมะพร้าวปริมาณร้อยละ 5 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ได้รับการยอมรับสูงสุด

โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าวที่ได้มีสีเหลืองอ่อน และมีกลิ่นหอมของข้าวโพด มีค่าการเกิด syneresis ร้อยละ 24.56 ค่าความหนืด 3,648 เซนติพอยส์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.45 ปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 1.16 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น โปรตีน และไขมันเท่ากับร้อยละ 20, 80, 4.91 และ 0.62 ตามลำดับ จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก และจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.31 x 10^8 และ 2.44 x 10^8 CFU/g ตามลำดับ จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 3 MPN/g และไม่พบยีสต์และรา ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าวในระดับชอบปานกลาง

จิรากร (2546) ได้พัฒนาโยเกิร์ตนมข้าวโพด โดยใช้น้ำนมข้าวโพดที่ได้จากการสกัดข้าวโพดหวานพันธุ์สองสีหมักด้วยหัวเชื้อโยเกิร์ต ศึกษาสูตรและกระบวนการผลิต พบว่า สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมข้าวโพดที่พัฒนาแล้ว ประกอบด้วยส่วนผสมหลัก ได้แก่ น้ำนมข้าวโพด นมผงขาดมันเนย น้ำตาลซูโครส เจลาตินและหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นร้อยละ 82.40, 7.50, 7.00, 0.10 และ 3.00 โดยน้ำหนักตามลำดับ สำหรับกระบวนการผลิตที่เหมาะสม คือ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และศึกษาการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมข้าวโพด เพื่อพัฒนาเป็นนมเปรี้ยวพร้อมดื่มจากนมข้าวโพดผสมสมุนไพร พบว่าคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มจากนมข้าวโพดผสมสมุนไพรไม่มีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไป

Farnworth และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตที่ใช้น้ำนมวัวกับน้ำนมถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ โดยใช้ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* เป็นหัวเชื้อ และทำการเติมแบคทีเรียโปรไบโอติก *L. rhamnosus* และ *L. johnsonii* ในระหว่างการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างของในระหว่างการหมักของน้ำนมถั่วเหลืองลดลงเร็วกว่าน้ำนมวัว แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากัน แบคทีเรียโปรไบโอติกสามารถเจริญได้โดยไม่มีผลกระทบต่อหัวเชื้อโยเกิร์ตได้

2.3 สาโท

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาโท (มผช. 3/2546) ได้กำหนดไว้ว่า สาโท หมายถึง สุราแช่ชนิดหนึ่งที่ทำจากการนำข้าวมาผ่านกรรมวิธีการผลิตสาโทแล้วมีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี/ร้อยละโดยปริมาตร ซึ่งสุราแช่ หมายถึง สุราที่ไม่ได้กลั่นและให้หมายรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี/ร้อยละโดยปริมาตร

สาโทเป็นเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ชนิดไวน์ข้าว (rice wine) ที่ไม่ผ่านกระบวนการกลั่น นิยมผลิตกันในประเทศแถบภูมิภาคเอเชีย โดยจะมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น สาเกในประเทศญี่ปุ่น shao-shin-chu ในจีน Tapuy ในประเทศฟิลิปปินส์ Takju ในประเทศเกาหลี ส่วนในประเทศไทย ไวน์ข้าวจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น ได้แก่ น้ำขาว ข้าวแช่ สาโท อุ เป็นต้น นิยมผลิตสาโทเพื่อเป็นเครื่องดื่มในเทศกาล งานเลี้ยงต่างๆ ซึ่งสาโทที่ผลิตจะมีรสหวาน เพราะกระบวนการหมักยังไม่สิ้นสุด และจะเก็บไว้ไม่ได้นาน แต่บางพื้นที่จะหมักจนน้ำใสและมีตะกอน ซึ่งจะได้แรงแอลกอฮอล์สูงขึ้นจนสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้นหรือนำไปกลั่นเป็นเหล้าขาว (ยุพกนิษฐ์, 2552)

กระบวนการผลิตสาโท

กระบวนการผลิตสาโทแบบดั้งเดิมจะอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยการหมักข้าวเหนียวด้วยลูกแป้งหรือหัวเชื้อสุรา ซึ่งลูกแป้งและหัวเชื้อสุราเป็นแหล่งที่สำคัญของจุลินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะกลุ่มของรา ยีสต์และแบคทีเรียบางชนิดที่มีประโยชน์ในกระบวนการหมัก อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจพบจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์ปะปนอยู่ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของลูกแป้งที่นำมาใช้ในการหมัก คุณภาพสาโทจึงไม่คงที่ กระบวนการผลิตสาโทประกอบด้วย

1) การเตรียมหัวเชื้อ จากกระบวนการผลิตในปัจจุบันสามารถแบ่งลักษณะของหัวเชื้อออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ลูกแป้ง และการใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ (ยุพกนิษฐ์, 2552)

1.1) การใช้ลูกแป้ง ลูกแป้ง หมายถึง เชื้อสุรา แป้งเชื้อสุรา แป้งข้าวหมัก หรือเชื้อใด เมื่อหมักกับวัตถุหรือของเหลวอื่นๆแล้วสามารถทำ ให้เกิดแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำสุราได้ ลูกแป้งอาจผสมสมุนไพรหรือเครื่องเทศด้วยหรือไม่ก็ได้ การผลิตลูกแป้งมีสูตรต่างกันหลาย ตำหรับ ผู้ผลิตมักสงวนไว้เป็นความลับแต่องค์ประกอบที่สำคัญ คือ ปลายข้าวดิบหรือข้าวสารบดละเอียด ซึ่งใช้ได้ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า หัวเชื้อลูกแป้ง นำมาผสมกับเครื่องเทศสมุนไพรต่างๆ เครื่องเทศเหล่านี้บางตำหรับใช้ในลักษณะเป็นผง แต่บางตำหรับก็ใช้ในรูปของสารสกัดในน้ำเดือด ในเครื่องเทศสมุนไพรจะมีสารส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดจำเป็น เช่น เป็นแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน วิตามิน เกลือแร่ ที่ช่วยส่งเสริมการการเจริญเติบโตและกระบวนการ

หมักของราและยีสต์ เช่น รากหวาย มีน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนอบเชย ตดหมา นอกจากจะให้กลิ่นหอมในสาโทแล้ว ยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุสำคัญสำหรับการหมัก และสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดไม่จำเป็น เช่น essential oil และสารระเหย เช่น กานพลู มีสารยับยั้งแบคทีเรียแลคติกและราหลายชนิดที่ไม่ต้องการ

บัญญัติ (2527) ได้รายงานถึงปริมาณการใช้และผลการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเครื่องเทศสมุนไพรไทยไว้หลายชนิด เช่น กานพลูปริมาณที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแลคติกและราหลายชนิดให้ได้ผลนั้นจะต้องใช้ถึงร้อยละ 30 ซึ่งในความเป็นจริงผู้ผลิตลูกแป้งจะไม่ใช้เครื่องเทศสมุนไพรอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงชนิดเดียวในปริมาณมาก แต่จะใช้หลายชนิดอย่างละนิดอย่างละหน่อยผสมกันเพื่อเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน

การผลิตลูกแป้งโดยผสมข้าวกับเครื่องเทศแล้วก็ปั้นเป็นก้อน โรยด้วยผงลูกแป้งเก่า แล้วนำไปบ่มในที่ควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เป็นเวลา 2-3 วัน ในระหว่างนี้จะสังเกตเห็นการเจริญของเส้นใยราปกคลุมทั่วลูกแป้ง จากนั้นลดระดับความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งทำได้โดยการเปิดผ้าคลุมออกและผึ่งลมหรือตากแดดจนเห็นว่าลูกแป้งแห้งและมีน้ำหนักเบา (ไพบูลย์และพัฒนา 2548)

ในการผลิตสาโทแบบดั้งเดิมใช้ลูกแป้งชนิดที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลและเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปเรียกลูกแป้งชนิดนี้ว่า ลูกแป้งเล็กหรือลูกแป้งกลางโดยเรียกตามขนาดของลูกแป้ง แต่ชาวบ้านมักจะเรียกว่า ลูกแป้งเหล้า ลูกแป้งนี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมสุราพื้นบ้านเป็นอย่างมากเพราะสามารถเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล และเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ได้โดยที่มีการเติมเชื้อเพียงครั้งเดียว สุราที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบผลิตมักใช้ลูกแป้งชนิดนี้เช่นกัน

การทำสาโทของไทยเป็นวิธีที่อาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลูกแป้ง คุณภาพจึงไม่คงที่แตกต่างจากสาเกที่ใช้เชื้อราและยีสต์ที่บริสุทธิ์ (ลูกจันทร์, 2534) ปัญหาที่พบอยู่เสมอในการหมัก คือ คุณภาพของผลผลิตที่ได้ไม่แน่นอน เช่น มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงไปหรือต่ำไป หรืออาจมีกลิ่นรสไม่ชวนดื่ม สาเหตุสำคัญเกิดจากจุลินทรีย์ในลูกแป้งที่ไม่จำเป็นต่อการหมักทำให้คุณภาพไวน์เสื่อมลง การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและจำเป็นต่อการหมัก มาใช้ในการหมักแทนลูกแป้งจะช่วยขจัดหรือลดปัญหาดังกล่าวได้ (มณชัย, 2546)

ลูกแป้งที่ดีควรมีลักษณะดังนี้คือ ลักษณะโปร่ง มีน้ำหนักเบา สีขาวนวล ไม่มีรอยแตกร้าว ก้อนแป้งเป็นรูพรุนซึ่งเกิดจากการฟูของแป้งขณะบ่ม มีกลิ่นหอม บี้ดูจะเห็นเส้นใยของรากระจายทั่ว หากชิมดูจะมีรสหวาน ไม่เหม็นเปรี้ยว (ไพบูลย์และพัฒนา , 2548)

จุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งที่ใช้ในการผลิตสาโท มีทั้งเชื้อราและยีสต์ที่มีบทบาทในการหมัก รวมทั้งจุลินทรีย์ปนเปื้อนมากับกระบวนการผลิตลูกแป้ง ซึ่งลักษณะที่ต้องการและไม่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 4 บทบาทที่สำคัญของจุลินทรีย์ในลูกแป้งที่เกี่ยวข้องกับการหมักมี 2 ประเภท คือ เปลี่ยนแป้งในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์อะไมเลส คือ เชื้อรา และการหมักน้ำตาลที่เกิดขึ้นให้เป็นเอทานอลกับคาร์บอนไดออกไซด์โดยยีสต์ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียแลคติกในลูกแป้ง ประโยชน์คือสร้างกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ และมีผลให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนอื่นๆ เจริญได้น้อยลง Rittiplang และคณะ (2007) ทำการแยกแบคทีเรีย แลคติกจากลูกแป้งสาโทในเขตภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อทำการจัดจำแนกโดย API 50 Kit พบว่าอยู่ในจีนัส *Pediococcus*, *Lactobacillus* และ *Lactococcus* ซึ่งแบคทีเรียแลกติคที่พบในลูกแป้งมีบทบาทในการสร้างกลิ่นรสของสาโท

ชัยวัฒน์ (2520) และพิไลพรรณ (2523) รายงานว่าจุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งมีทั้งราและยีสต์ ราส่วนใหญ่อยู่ใน order Mucorales ได้แก่ *Amylomyces*, *Rhizopus* และ *Mucor* นอกจากนี้ยังพบพวก Imperfect fungi เช่น *Aspergillus, Penicillium* และ *Hyalodendion*

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างลักษณะที่ต้องการและไม่ต้องการจากจุลินทรีย์ในลูกแป้งที่ใช้หมักสาโท

สมบัติของจุลินทรีย์ชนิดดี / จำเป็น และให้ประโยชน์ต่อการหมักสาโท	สมบัติของจุลินทรีย์ปนเปื้อน /ไม่จำเป็นและไม่ให้ประโยชน์ต่อการหมักสาโท
ราสร้าง fermentable sugar ● สร้างเส้นใยมากและเร็ว ● ให้กลิ่นรสที่ดีในข้าวหมาก ยีสต์สร้างและทนแอลกอฮอล์สูง ● สร้างกลิ่นหอม(อะโรมาติกเอสเทอร์) ● สร้างรสชาติ ● ให้ความฝาดขม ● ให้ความเปรี้ยว(จากแลคติก) ● ให้ตัวตน ● ให้ความกลมกล่อม ● หมักดีที่อุณหภูมิห้อง ● หมักเสร็จแล้วตกตะกอนดี ● ไม่ให้กลิ่นก๊าซไข่เน่า	รา + ยีสต์ + แบคทีเรีย ชนิดปนเปื้อน ● สร้างกรดน้ำส้ม (กรดอะซิติก) ● สร้างกลิ่นบูด ● สร้างความขุ่น ● สร้างสี ● สร้างยางเหนียว ● สร้างก๊าซจำนวนมาก CO_2 , H_2 ● สร้างกลิ่นยีสต์ ● สร้างเอนไซม์เร่งการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนไปเป็นฟูเซลออยล์ ● สร้างเอนไซม์ไลเปส ● สร้างและสะสมสารเอทิลคาร์บาเมต ● ออกซิไดซ์แอลกอออล์ ● ออกซิไดซ์กรดอินทรีย์

ที่มา : ยุพกนิษฐ์ (2552)

1.2) การใช้เชื้อบริสุทธิ์ เป็นการเลี้ยงเชื้อราบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือก และมีความเหมาะสมต่อชนิดของข้าวที่ใช้ทำสาโทบนข้าวนึ่งสุกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 50-60 โดยการถ่ายสปอร์และเส้นใยเชื้อราสายพันธุ์ที่ต้องการบนข้าวนึ่ง จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง (34-36 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5-6 วัน เชื้อราจะเจริญปกคลุมเมล็ดข้าว หลังจากนั้นทำการขยายกล้าเชื้อ โดยเตรียมข้าวนึ่งสุกตามปริมาณที่ต้องการแล้วทิ้งให้เย็น ที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายหัวเชื้อที่เตรียมไว้ลงไปบนข้าวนึ่ง คลุกเคล้าให้เข้ากัน บ่มทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน ในช่วงเวลานี้ให้คลุกเคล้าเป็นระยะๆ เพื่อให้ราเจริญได้ทั่ว โดยสังเกตเห็นเส้นใยสีขาวเจริญปกคลุมอยู่เต็มเมล็ดข้าว ซึ่งในระหว่างนี้ อุณหภูมิจะขึ้นสูงจนถึง 42 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการบ่มกล้าเชื้อที่ได้จะมีเอนไซม์ กรดอินทรีย์บางชนิดรวมทั้งวิตามินและสารอาหารที่มีประโยชน์สำหรับการเจริญของยีสต์ในขั้นตอนการหมัก จากนั้นให้ถ่ายยีสต์ที่เจริญเต็มที่ ที่มีปริมาณเซลล์เริ่มต้น 10^6 cell/g ลงไปและบ่มทิ้งไว้ประมาณ 3 วันในระหว่างนี้ ให้คนกล้าเชื้อเป็นระยะๆ เพื่อให้ยีสต์เจริญเติบโตเพิ่ม

จำนวนมากขึ้น กล้าเชื้อที่เตรียมได้นี้จะใช้สำหรับการหมักสาโทในถังหมักขนาดใหญ่ต่อไป อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการใช้กล้าเชื้ออยู่ที่ 5-7 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณข้าวที่ต้องการหมัก (ไพบูลย์และพัฒนา, 2548)

2) วัตถุดิบ

2.1) ข้าว

ข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบที่มากที่สุด ส่วนประกอบอื่น เช่น ซูโครส ฟรุกโทส และกลูโคส พบในปริมาณน้อย โดยองค์ประกอบของสตาร์ชจะมีอะมิโลสและอะมิโลเปคติน ซึ่งมีผลต่อการผลิตและคุณภาพของสาโทที่ได้โดยเฉพาะกลิ่น เนื่องจากเป็นข้าวที่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์และให้น้ำตาลสูง

2.2) น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตสาโทข้าวเพราะในสาโทข้าวมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 80 โดยปริมาตร น้ำช่วยในการละลายเอนไซม์และสารอื่นๆ ในข้าว เกลือแร่บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำ เช่น เช่น โปตัสเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราในสาโทและยีสต์ ส่วนแคลเซียมมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ย่อยแป้ง น้ำที่นำมาใช้ผลิตสาโทจะต้องไม่มีกลิ่น สีและรสเจือปน มีความเป็นกลาง มีปริมาณเหล็กน้อยกว่า 0.02 ส่วนในล้านส่วน มีแร่ธาตุรวมทั้งสารอินทรีย์ปะปนในปริมาณน้อยหรือไม่มีเลย และไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สำหรับการผลิตสาโทของไทยมักใช้น้ำฝน น้ำประปาหรือน้ำบ่อที่สะอาด ซึ่งไม่มีการบำบัดน้ำก่อนใช้ ดังนั้นสาโทที่ผลิตอาจมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของสาโทได้ (กรรณิการ์, 2549)

3) ขั้นตอนการผลิต

ไพบูลย์ และ พัฒนา (2548) ได้กล่าวถึงวิธีการหมักแบบดั้งเดิมโดยใช้ข้าวเหนียวนึ่งสุกผสมลูกแป้ง จากนั้นกดข้าวเหนียวลงในภาชนะให้แน่นพอสมควร ปิดด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้นแล้วปิดด้วยผ้าหลวมๆ ตั้งบ่มทิ้งไว้อุณหภูมิห้องประมาณ 3-5 วัน สังเกตเห็นการเจริญของเชื้อราบนเมล็ดข้าวเหนียวและมีน้ำต้อย ขั้นตอนนี้ราจะย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลจากนั้นเติมน้ำสะอาดบ่มทิ้งไว้ 5-14 วัน เพื่อให้ยีสต์ในลูกแป้งเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ดังแสดงในภาพที่ 2

ยุพกนิษฐ์ (2552) ได้ทำการศึกษาการผลิตสาโทข้าวเหนียวในอุตสาหกรรมโดยหมักในถังใหญ่ กระบวนการหมักเริ่มจากเติมข้าวนึ่งสุก และหัวเชื้อที่เตรียมไว้ ลงในถังหมักทิ้งไว้

3 วัน เพื่อให้เชื้อราและยีสต์เจริญเติบโต ในระยะนี้นับจำนวนเซลล์ (total count) ในอาหารกลูโคสคลอแรมอาการ์ ได้ประมาณ 10^8- 10^{12} cell/g ค่าความเป็นกรดด่างจะลดลง มาอยู่ที่ประมาณ 4.0 พบว่าเป็นระยะที่ได้น้ำต้อยสูงสุด วัดบริกซ์ได้ประมาณ 37-47 องศาบริกซ์ จากนั้นเติมน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อและมีคุณภาพน้ำบริโภค เพื่อไปเจือจางความหวานหรือเพื่อปรับค่าบริกซ์ให้มีค่าประมาณ 20-22 องศาบริกซ์ และปล่อยให้กระบวนการหมักดำเนินต่อไปอีก 4 -7 วัน หรือเมื่อวัดระดับแอลกอฮอล์ได้ประมาณร้อยละ 10-12 ให้ถ่ายเอาเฉพาะส่วนน้ำสาโทออกจากถังหมักไปเก็บในถังพักที่เติมสารเพื่อฆ่าเชื้อและหยุดการทำงานของจุลินทรีย์

4) การฆ่าเชื้อ การฆ่าเชื้อสาโททำ ได้ 3 วิธี คือ

4.1) การใช้สารเคมี

การเติมสารเคมีเพื่อ "น็อคเชื้อ" วิธีนี้ เป็นที่นิยมมากจากผู้ผลิตสาโทในประเทศไทย เพราะเป็นวิธีที่สะดวกง่ายดาย รวดเร็วทันใจ และถูกที่สุด สารเคมีที่อนุญาตให้ใส่ได้ มี 3 ชนิด โดยปริมาณที่ตกค้างในสาโทบรรจุขวดจำหน่าย จะต้องมีปริมาณสารเหล่านี้ ไม่เกินค่ามาตรฐานของ มอก.ไวน์ 2089-2544 ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 300 พีพีเอ็ม กรดซอร์บิก ไม่เกิน 200 พีพีเอ็ม และกรดเบนโซอิก ไม่เกิน 250 พีพีเอ็ม ซึ่งปัญหาที่พบในปัจจุบัน คือ ผู้ผลิตบางรายใส่โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ในปริมาณที่มากเกินไป และไม่รู้เทคนิควิธีใส่อย่างถูกต้อง เพราะไม่ต้องการถูก reject สินค้าเนื่องจากการระเบิดของขวด ก่อให้เกิดอาการแพ้กำมะถันอย่างรุนแรงในผู้บริโภค

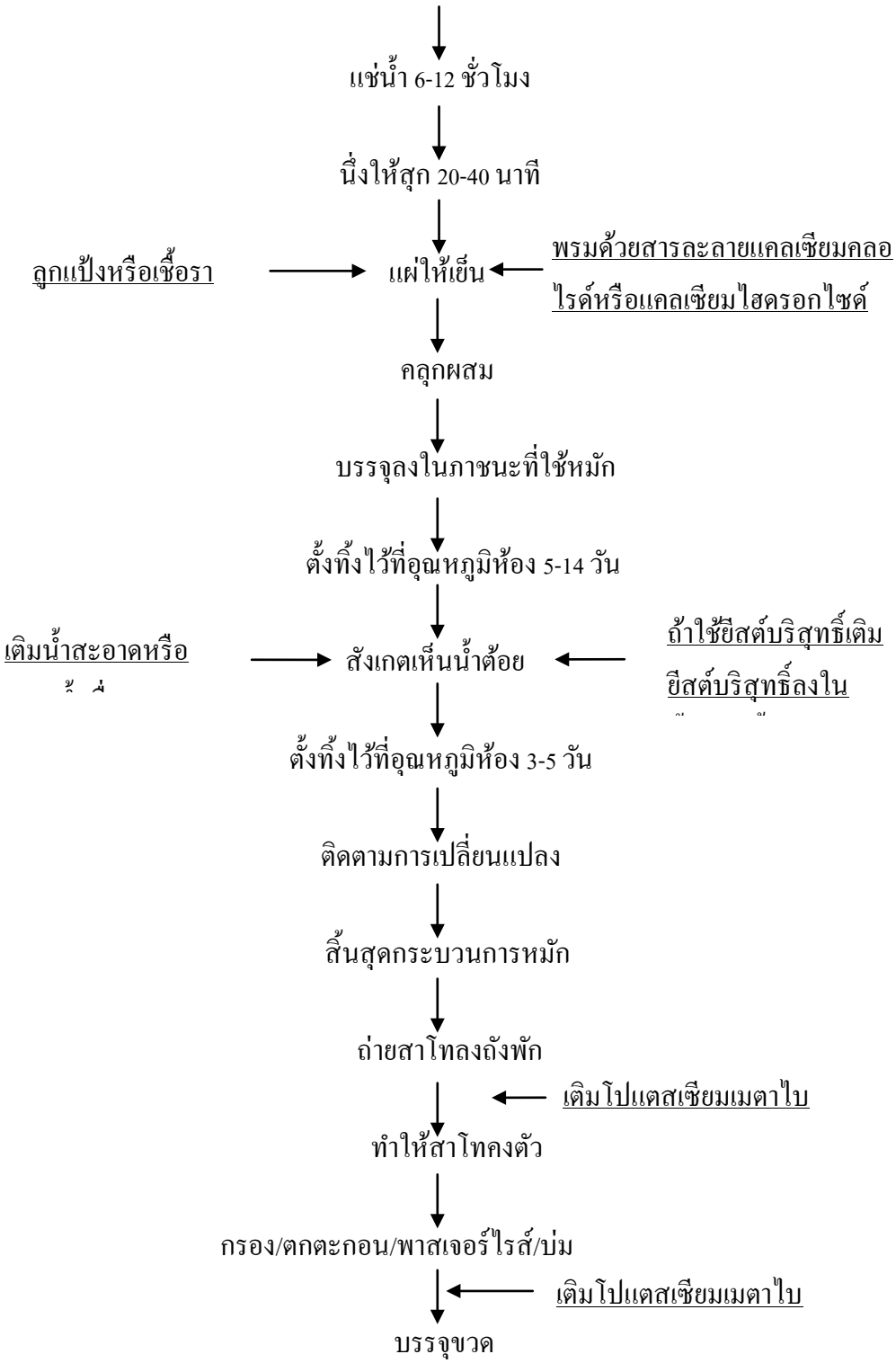
4.2) การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์

การใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หรือ 65 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที นอกจาจะฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักได้หมดแล้ว ยังสามารถฆ่าจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ปนเปื้อนอื่นที่เป็นอันตรายด้วย นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังสามารถหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ และทำลายเอนไซม์ได้ อย่างไรก็ตามการเลือกเวลา

ข้าวเหนียว

↓

ล้างทำความสะอาด



ภาพที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตสาโทโดยทั่วไป
ที่มา : ไพบูลย์และพัฒนา (2548)

ในก
น้ำสาโทด้วย เพราะประสิทธิ
นทรีย์ที่อยู่ใน
อฮอล์ที่ได้จาก

กระบวนการหมักอาจไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของยีสต์ที่ไม่ต้องการ และแบคทีเรียกรดอะซิติกที่ปะปนในระหว่างกระบวนการหมักได้

4.3) การกรองไร้เชื้อ (sterile filtrate)

การกรองโดยใช้เยื่อกรองขนาด 0.2 ไมครอนสามารถแยกจุลินทรีย์ทุกชนิดออกจากน้ำสาโท วิธีนี้สาโทจะไม่สูญเสียกลิ่นรส เนื่องจากไม่เกี่ยวข้องกับความร้อน ผลิตภัณฑ์ไม่มีการเจือปนสารเคมีใดๆ วิธีนี้น่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่มีข้อจำกัด คือ ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์มีราคาสูง (ยุพกนิษฐ์, 2552)

คุณภาพของสาโท

ไพบูลย์ และพัฒนา (2548) กล่าวไว้ว่าในการผลิตสาโทให้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ จำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิต ตั้งแต่ชนิดและคุณภาพของข้าวเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ลูกแป้งที่ใช้ตลอดจนคุณภาพในการปลอดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค คุณภาพน้ำที่ใช้ การแช่ข้าวและการนึ่งข้าว การหมัก การวัด และติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก การทำให้สาโทคงตัวและใส ตลอดจนการบรรจุขวดที่ถูกสุขลักษณะ โดยมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1) แรงแอลกอฮอล□ต□องไม□เกิน 15 ดีกรี/ร□อยละโดยปริมาตร และมีเกณฑ□ความคลาดเคลื่อนจากที่ระบุไว□ที่ฉลากได□ไม□เกิน ± 1 ดีกรี/ร□อยละโดยปริมาตร

2) เมทิลแอลกอฮอล□ ต□องไม□เกิน 420 มิลลิกรัมต□อลิตร

3) ซัลเฟอร□ไดออกไซด□ทั้งหมด ต□องไม□เกิน 300 มิลลิกรัมต□อลิตร

4) กรดซอร□บิกหรือเกลือของกรดซอร□บิก (คำนวณเป□นกรดซอร□บิก) ต□องไม□เกิน 200 มิลลิกรัมต□อลิตร

5) กรดเบนโซอิกหรือเกลือของกรดเบนโซอิก (คำนวณเป□นกรดเบนโซอิก) ต□องไม□เกิน 250 มิลลิกรัมต□อลิตร

6) ทองแดง ต□องไม□เกิน 5 มิลลิกรัมต□อลิตร

7) เหล็ก ต□องไม□เกิน 15 มิลลิกรัมต□อลิตร

8) ตะกั่ว ต□องไม□เกิน 0.2 มิลลิกรัมต□อลิตร

9) สารหนู ต□องไม□เกิน 0.1 มิลลิกรัมต□อลิตร

10) เฟอร□โรไซยาไนด□ ต□องไม□พบ

11) ความใส/ขุ่น ให□เป□นไปตามลักษณะการผลิตเฉพาะของสาโทที่ผลิตได

□

12) สี มีสีเป□นไปตามธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช□ทำ และเป□นไปตามที่ระบุไว□ที่ฉลาก

13) กลิ่น มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช□ทำ

14) รสชาติกลมกล□อมตามธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช□ทำ

15) คุณภาพโดยรวมของสาโทมีความใส/ขุ่น สี กลิ่น และรสชาติ เป□นที่ยอมรับ

16) สิ่งแปลกปลอม ต□องไม□พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม□ใช□วัตถุดิบที่ใช□ทำ

17) ความเสถียร ต้□องไม□ปรากฏฟองในภาชนะบรรจุอันเนื่องมาจากการหมักช้า

ปัญหาหลักเกี่ยวกับการผลิตและคุณภาพของสาโท

ถึงแม้ว่าผลิตสาโทจัดอยู่ในประเภทของกระบวนการแบบกึ่งปลอดเชื้อ แต่การผลิตโดยทั่วไปยังมีปัญหาในด้านของสุขลักษณะ และยังขาดการปฏิบัติที่ดีในการผลิตและอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การขาดหลักการด้านสุขาภิบาลที่ดีในกระบวนการผลิต

2) ลูกแป้งที่นำมาใช้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและมักมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนที่ไม่พึงประสงค์

3) สาโทที่ผลิตขึ้นมักมีคุณภาพไม่คงตัว ในแง่ของความขุ่น การหมักซ้ำในขวด มีรสเปรี้ยว และกลิ่นไม่ดี มีสารเคมีเกินกำหนด

4) มีรสหวานเกินไป

5) มีจุลินทรีย์ก่อโรคปนเปื้อน

6) มีแอลกอฮอล์ค่อนข้างต่ำ

7) มีอายุการเก็บรักษาสั้น

ไพบูลย์ และพัฒนา (2548) กล่าวไว้ว่า คุณภาพของสาโทที่บรรจุขวดแล้วควรมีคุณภาพในแง่ของความคงตัว ดังนี้ ไม่มีการเจริญของยีสต์หรือจุลินทรีย์อื่นระหว่างเก็บรักษาและรอจำหน่าย ไม่มีการตกตะกอนของโปรตีนหรือแป้ง ไม่มีการเกิดออกซิเดชั่นรุนแรง จนกลิ่นรสเปลี่ยนไป ไม่มีการเปลี่ยนสีจนเป็นสีน้ำตาลหรือคล้ำ ไม่มีเพคตินโมเลกุลใหญ่ตกตะกอนลงมา และไม่มีจุลินทรีย์ก่อโรค

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักสาโท

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตสาโทประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ เชื้อราและยีสต์ (ไพบูลย์และพัฒนา, 2548 ; ยุพกนิษฐ์, 2552)

1) จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราจะทำหน้าที่เปลี่ยนแป้งที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เรียกปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า แซคคาริฟิเคชั่น (saccharification) โดยเชื้อราที่เกี่ยวข้องเป็นกลุ่มที่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ในกลุ่มอะไมโลไลติกเอนไซม์ (amylolytic enzyme) เอนไซม์จะส่งออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายแป้ง เอนไซม์หลักในกลุ่มอะไมโลไลติกเอนไซม์ ได้แก่ แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) และกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) หรือ อะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) ซึ่งสามารถย่อยพันธะแอลฟา -1,4- และพันธะแอลฟา -1,6- ไกลโคซิดิค (α-1,4 และ α-1,6-glycosidic) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส นอกจากเชื้อราจะเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลแล้วรายังผลิตสารประกอบที่ให้กลิ่นและรสชาติในสาโทด้วย

เชื้อราที่มีบทบาทสำคัญและสร้างเอนไซม์ในปริมาณมาก ได้แก่ เชื้อราใน Class Zygomycetes เชื้อราที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ *Rhizopus, Mucor* และ *Amylomyces* และเชื้อราใน Class Deuteromycetes ซึ่งเชื้อราที่สำคัญคือ *Aspergillus* เชื้อราในกลุ่มแรกสามารถสร้างเอนไซม์ที่มีกิจกรรมสูง และสร้างกรดอินทรีย์บางชนิดที่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในสาโท เช่น กรดซิตริก กรดแลคติก และกรดฟูมาลิก แต่ราในกลุ่มนี้มีข้อเสียคือการย่อยแป้งจะเกิดไม่สมบูรณ์ นั่นคือเมื่อย่อยแล้วจะให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่าเชื้อราในกลุ่มที่สอง ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวในสาโท

2) จุลินทรีย์กลุ่มยีสต์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งโดยราให้เป็นแอลกอฮอล์โดยผ่านกระบวนการหมักที่เรียกว่า กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) กิจกรรมหลักของยีสต์นั้น จะเปลี่ยนน้ำตาล 1 โมเลกุลให้ได้เป็นเอทานอล 2 โมเลกุล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล และพลังงาน ซึ่งปฏิกิริยาที่แสดงนี้เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทุกชนิด

ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีในสภาวะที่ไร้อากาศ ยีสต์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ ยีสต์ใน Class Ascomycetes ซึ่งยีสต์ที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ *Saccharomyces, Endomycopsis* และ *Hensenula* เหมาะสำหรับใช้ในการหมักสาโท เพราะเจริญได้เร็ว ทนต่อความเป็นกรด ความเข้มข้นของน้ำตาลและแอลกอฮอล์ได้ดี

นอกเหนือจากจุลินทรีย์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในบางครั้งอาจพบจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ในลูกแป้ง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการในสาโท จุลินทรีย์เหล่านี้ได้แก่ *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Bacillus*, *Fusarium* และ *Pichia* เป็นต้น ดังนั้นบางครั้งอาจมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลูกแป้งเป็นครั้งคราว ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ยังมีอยู่ในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ปนเปื้อน

กรรณิการ์ (2549) กล่าวไว้ว่าการหมักสาโท ต้องอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลูกแป้งที่มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์อะไมเลส และการหมักจะใช้น้ำตาลที่เกิดขึ้นให้เป็นแอลกอฮอล์โดยยีสต์พวก *Saccharomyces* กิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันตลอดระยะเวลาการหมักประมาณ 1-2 สัปดาห์ จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำขาวมาดื่ม เนื่องจากไม่มีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จึงทำให้เก็บน้ำขาวได้ไม่นาน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโท

มนตรี (2521) วิเคราะห์องค์ประกอบของสาโทขณะที่ยังมีการหมักจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์สาโท 11 ตัวอย่างในประเทศไทย ผลการทดลองพบว่าสาโทมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.4-4.7 กรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติกมีค่าร้อยละ 0.29-0.93 กรดระเหย (volatile acids) ซึ่งวัดในรูปกรดอะซีติกมีค่าร้อยละ 0.001-0.061 ของแข็งละลายได้ทั้งหมดมีค่า 5.2-13.8 องศาบริกซ์ น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) มีค่าร้อยละ 0.15-5.95 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และแอลกอฮอล์มีค่าร้อยละ 3.0-11.0 โดยปริมาตร นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสาโท 5 ตัวอย่างที่ปล่อยให้เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.17-4.0 กรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติกมีค่าร้อยละ 1.18-4.23 กรดระเหยซึ่งวัดในรูปกรดอะซีติคมีค่าร้อยละ 0.026-2.43 ของแข็งละลายได้ทั้งหมดมีค่า 7.8-15.6 องศาบริกซ์ น้ำตาลรีดิวซ์มีค่าร้อยละ 0-7.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และแอลกอฮอล์มีค่าร้อยละ 6.8-14.8 โดยปริมาตร

ไกรศร และถาวร (2542) ศึกษาการผลิตสาโทจากลูกเดือย ผลการทดลองพบว่าปริมาณของลูกแป้งมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดโดยรวม และพบว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปใน

การผลิตสาโทมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และปริมาณกรดโดยรวม นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มลูกเดือยมีผลต่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และปริมาณกรดโดยรวมด้วย

ชัยยัณต์ และวีระวุทธิ์ (2544) ศึกษาการผลิตสาโทจากข้าวเหนียวดำ เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสาโท โดยในการทดลองได้ผลิตสาโท 3 สูตร แต่ละสูตรแปรผันอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ (โดยปริมาตร) โดยสูตรที่ 1, 2, และ 3 มีอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำเป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสาโทจาก ข้าวเหนียวดำ คือ 1:2 โดยสูตรดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ มีความเป็นกรด-ด่าง 2.85 กรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดทาร์ทาริก) ร้อยละ 0.43 ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด 12.5 องศาบริกซ์ และปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 6.61 โดยปริมาตร

ดาระณี (2533) ศึกษาการหมักแอลกอฮอล์จากแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 20 % (W/V) โดยใช้โคจิเอนไซม์จากเชื้อรา *Aspergillus kawachi* และ *Rhizopus* sp. ร่วมกับเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* SC 90 พบว่าสามารถหมักได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 6.38 และ 5.26 ตามลำดับ