บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาหา % starter ที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 21 ตารางที่ 9 และ 10 จะเห็นว่าค่า pH เฉลี่ยของโยเกิตลดลงเมื่อใช้ % starter เพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกันค่า TA เฉลี่ยของโยเกิตลดลงเมื่อใช้ % starter เพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่มากกว่าสามารถผลิตกรดได้มากกว่าในเวลาเท่า ๆ กัน เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การใช้ starter ในระดับต่างกันทำให้ค่า pH และ TA เฉลี่ยที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่ใช้ starter 1% ให้ค่า pH เฉลี่ยต่างกับการใช้ starter 3%, 4% และ 5% การใช้ starter 2%, 3% และ 4% ให้ผลไม่ต่างกัน ส่วนการใช้ starter 1% กับ 2% และ 4% กับ 5% นั้น ก็ให้ผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาค่า pH เฉลี่ยในตารางที่ 9 จะพบว่าการใช้ starter 2-5% นั้นให้ค่า pH เฉลี่ยของโยเกิตอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือไม่เกิน 4.80 ยกเว้นการใช้ starter 1% ในการทดลองซ้ำที่ 2 และที่ 4 ซึ่งให้ค่า pH เฉลี่ยเป็น 4.86 และ 4.87 ซึ่งเป็นค่าสูงเกินค่าที่ต้องการ ทั้งนี้ Dennien (10) กล่าวว่า การตกตะกอน (coagulation) และการผลิตกลิ่น (aroma) ในโยเกิตจะเกิดอย่างสมบูรณ์เมื่อ pH ลดลงมาถึง 4.70 และแนะนำว่า ในการผลิตควรทำ cooling ที่ pH 7.0 หรือต่ำกว่านี้ ดังนั้นการใช้ starter 1% ในการ inoculate ให้ค่า pH เฉลี่ยในโยเกิตสูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้การตกตะกอนและการผลิตกลิ่นยังไม่สมบูรณ์ดี ค่า pH ที่สูงไปนี้ยังทำให้รสเปรี้ยวในโยเกิตอ่อนไปด้วย เห็นได้จากตารางที่ 10 ว่า คะแนนเฉลี่ยด้านรสเปรี้ยวต่ำกว่าการยอมรับคือ 3.73 (ซึ่งกำหนดให้มีการยอมรับตั้งแต่ 4 ขึ้นไป) แต่การใช้ในระดับ 2-5% ให้รสเปรี้ยวเป็นที่ยอมรับ แต่คะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยังไม่เป็นที่พอใจ ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้ทดสอบยังไม่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์เท่าที่ควร ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่า pH, TA และผลทาง subjective test แล้ว starter ที่ใช้ควรใช้มากกว่า 1%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า IF ของโยเกิตที่ใช้ starter ในระดับต่างกันแปรอยู่ในช่วงประมาณ 37-43 mm^{-1} เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ค่า IF เฉลี่ยของโยเกิตที่ได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกับทาง subjective test ส่วนค่า syneresis ของโยเกิตก็แปรอยู่ในช่วงประมาณ 35-37% ซึ่งใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นผลการวิเคราะห์ทางสถิติจึงพบว่า การใช้ starter 1%, 2%, 3%, 4%, 5% ทำให้ค่า syneresis เฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่พบว่าค่า IF และ syneresis เฉลี่ยของโยเกิตที่ใช้ starter 1%, 2%, 3%, 4%, 5% ได้ค่าไม่ต่างกันนั้น เป็นเพราะว่า น้ำนมที่ใช้ทำโยเกิตเป็นประเภทเดียวกัน ผ่านการให้ความร้อนมาเหมือนกัน ซึ่งการใช้ % starter ต่างกันในระดับ 1-5% มีผลต่อเนื้อสัมผัส และ syneresis ของโยเกิตน้อยกว่า กระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำนม

จากผลการตรวจสอบคุณลักษณะด้าน pH, TA, IF และ syneresis รวมทั้ง organoleptic properties บางประการ สามารถสรุปผลการหา % starter ที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติได้ดังนี้คือ

1. การใช้ starter 1-5% นั้น ทำให้โยเกิตที่ได้มีคุณลักษณะด้าน IF และ syneresis ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้ค่า pH, TA และ subjective test ในการตัดสิน

2. % starter ที่เหมาะสมควรจะเป็น 2% เพราะการใช้ starter 1% อาจทำให้ค่า pH ในโยเกิตสูงไปซึ่งอาจทำให้ การเกิดตะกอนและการผลิตกลิ่นเกิดไม่สมบูรณ์ รวมทั้งยังทำให้รสเปรี้ยวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ซึ่งการใช้ starter 2% นั้น แม้ว่าจะให้คุณสมบัติด้าน pH และ TA ต่างกับการใช้ starter 5% แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ และไม่แตกต่างกับการใช้ starter 3% และ 4%

3. การใช้ starter คนละขวดกันในแต่ละซ้ำของการทดลอง จะมีผลทำให้ค่า pH, TA และ IF ในแต่ละซ้ำต่างกัน ส่วนค่า syneresis พบว่าไม่ต่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การหาประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ

การทดลองขั้นนี้ใช้ผลการทดลองที่แล้วมาคือ ใช้ starter 2% ส่วนน้ำนมทั้ง 5 ประเภทที่นำมาศึกษาทำโยเกิตนั้น เป็นน้ำนมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยทั่วไปแต่ละประเภทผ่านกระบวนการให้ความร้อนมาแตกต่างกันคือ นมพาสเจอไรซ์ผ่านการให้ความร้อนที่ 74-81 องศาเซลเซียส 16 วินาที นมยูเอชทีผ่านการให้ความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียส 3 วินาที นมคืนรูปได้จากนมผงที่ผ่านการระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศให้ได้ total solid 45-55% แล้วจึงพาสเจอไรซ์ แล้วนำไป spray dry โดยใช้ hot air ในช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส ส่วนนมสเตอริไลซ์ผ่านการให้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส 6 นาที และนมข้นจืดผ่านการให้ความร้อนที่ 110-120 องศาเซลเซียส 15-20 นาที น้ำนมทั้ง 5 ประเภทนี้เมื่อนำมาทำโยเกิตแล้ว ทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันซึ่งตรวจสอบโดยใช้ Macbeth Munsell Disc Colorimeter พบว่าน้ำนมยิ่งผ่านการให้ความร้อนสูงในเวลานาน จะมีสีเข้มขึ้นทั้งนี้ เนื่องจากปฏิกริยา browning จากการ caramelize ของน้ำตาลและ จากปฏิกริยาระหว่างแลคโตสและโปรตีน ได้สารประกอบสีน้ำตาล (2) ซึ่งเมื่อนำมาตรวจสอบแล้วพบว่าถ้าสีเข้มขึ้นจะมี % สีไข่ไก่สูงขึ้น % สีขาวและ % สีเหลืองลดลง ส่วน % สีเขียว สีเทาไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง จะเห็นได้จากตารางที่ 11 ว่า นมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ และนมยูเอชที มี % สีไข่ไก่ในระดับต่ำอยู่ในช่วง 5-8% ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับ subjective test แล้วพบว่าผู้ทดสอบยอมรับ ส่วนนมสเตอริไลซ์และนมข้นจืดมี % สีไข่ไก่สูงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยสูงถึงประมาณ 36-37% ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ควรมี % สีไข่ไก่ต่ำ เช่น อยู่ในช่วง 5-8% เป็นต้น แต่ถ้ามี % สีไข่ไก่อยู่ในช่วง 9-35% แล้วในการทดลองขั้นนี้ยังไม่ทราบว่า ผู้ทดสอบยอมรับหรือไม่

นอกจากนี้น้ำนมที่ผ่านการให้ความร้อนสูง เป็นเวลานาน ยังมี cooked flavor ที่รุนแรงซึ่งเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ แล้วให้ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านกลิ่น ปรากฏว่าโยเกิตจากนมสเตอริไลซ์ให้ค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำ คือ 4.05 ซึ่งเป็นระดับคะแนนที่พอดีผ่าน และกลิ่นของโยเกิตจากนมข้นจืดไม่เป็นที่ยอมรับ ในขณะที่กลิ่นของโยเกิตจากนมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ และนมยูเอชที เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำนมต่างประเภทกันนี้ทำให้โยเกิดที่ได้มีค่า pH, TA, IF และ syneresis เฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก จ ตารางที่ 7-10) โยเกิดจากนมพาสเจอไรซ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มมีค่า pH สูงสุด และ TA ต่ำสุด (ดูผลในรูปที่ 22 ตารางที่ 12, 13) เนื่องจากน้ำนมพาสเจอไรซ์นั้นมี total viable plate count เริ่มต้นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมประเภทอื่น (ดูตารางที่ 8) จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมนี้สามารถเจริญแข่งกับจุลินทรีย์ที่ใช้เป็น starter ได้จึงทำให้อัตราการผลิตกรดช้า เมื่อให้ความร้อนเพิ่มแก่น้ำนมพาสเจอไรซ์ ที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ก่อนนำไปทำโยเกิด จุลินทรีย์เดิมที่มีในน้ำนมลดลง ทั้งนี้ Davies (20) กล่าวว่า การให้ความร้อนแก่น้ำนมที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที หรือใกล้เคียง สามารถฆ่าเซลล์แบคทีเรีย และสปอร์ทั้งหมด ยกเว้นพวก heat resistant นอกจากนี้การให้ความร้อนระดับนี้หรือใกล้เคียงยังสร้าง growth factor สำหรับ lactobacilli และเป็นการไล่ O_2 ออกซึ่งเป็นสภาวะที่ starter ชอบมากกว่า ดังนั้นจึงเป็นผลให้ starter เจริญและผลิตกรดได้เร็วกว่า ทำให้โยเกิดที่ได้มีค่า pH เฉลี่ยลดลง และ TA เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนในน้ำนมประเภทอื่น ๆ คือ นมคืนรูป นมยูเอชที นมสเตอริไลซ์ และนมข้นจืด การให้ความร้อนเพิ่มไม่ทำให้ค่า pH และ TA เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเหมือนกับนมพาสเจอไรซ์ เพราะว่าน้ำนมเหล่านี้มี total viable plate count เริ่มต้นต่ำอยู่แล้ว

เมื่อพิจารณาผลทาง subjective ในด้านรสเปรี้ยวปรากฏว่าผู้ทดสอบยอมรับโยเกิดจากน้ำนมทุกประเภทยกเว้นนมข้นจืด เพราะว่ารสชาติเปรี้ยวของโยเกิดไม่เข้ากันกับ cooked flavor ซึ่งมีมากที่สุดในนมข้นจืด

ในด้านเนื้อสัมผัส หรือค่า IF พบว่ายิ่งน้ำนมได้รับการให้ความร้อนที่สูงมากขึ้น เวลานานขึ้นจะยิ่งมีค่า IF สูงขึ้น คือเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น เพราะว่าการตกตะกอน whey protein คือ albumin และ globulin เกิดมากขึ้น (20) whey protein นี้เมื่อสูญเสียสภาพทางธรรมชาติแล้วจะมีผลต่อ consistency ของโยเกิดโดยจะเป็นตัวกั้นการตกตะกอนของ casein โดยกรด ทำให้ตะกอนที่ได้มีความแน่นต่างกัน (23) ในกรณีนมข้นจืดได้รับความร้อนสูงสุด แต่กลับให้ค่า IF ต่ำสุด ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ เพราะว่า นมข้นจืดผ่านการให้ความร้อนที่สูง เป็นเวลานาน ซึ่งทำให้ casein เสียหายมาก แล้วมีผลให้ไม่สามารถดูดน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และรวมกับน้ำได้ดีขณะเกิด gel (20) จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสเละ ดังนั้นการให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ก็จะไม่ช่วยทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้นได้อีก

ในน้ำนมพาสเจอไรซ์ นมยูเอชที และนมสเตอริไลซ์ การให้ความร้อนเพิ่มทำให้ค่า IF เพิ่มขึ้น เพราะเกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของ whey protein มากขึ้น เมื่อนำผลการตรวจสอบค่า IF มาพิจารณาร่วมกับผลทาง subjective test พบว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับตัวอย่างโยเกิตที่ทำจากน้ำนมพาสเจอไรซ์ ที่ไม่ให้ความร้อนเพิ่ม โยเกิตจากนมข้นจืดทั้งที่ให้ความร้อนเพิ่ม และไม่ให้ความร้อนเพิ่ม ทำให้สามารถกำหนดค่า IF ที่เป็นเกณฑ์ต่ำสุด คือ 34 mm^{-1}

การเกิด syneresis ในโยเกิตจะสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของโยเกิตโดยพบว่า ถ้ามีเนื้อสัมผัสแน่น จะเกิด syneresis น้อย ถ้ามีเนื้อสัมผัสเหลวจะเกิด syneresis มาก ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิตที่มีเนื้อสัมผัสแน่นนั้น ได้จากการให้ความร้อนที่เหมาะสม (ประมาณ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที) ซึ่งจะทำให้ whey protein สูญเสียสภาพทางธรรมชาติ ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้บางส่วน และยังเกิดการ swelling ถาวร ทำให้เกิด syneresis น้อย (23) ดังนั้น gel ของโปรตีนจึงอุ้มน้ำไว้ได้ดีกว่า

ในโยเกิตที่ทำจากน้ำนมที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนอย่างเหมาะสม ตัวอย่างนี้เห็นได้ชัดในโยเกิตจากน้ำนมพาสเจอไรซ์ ซึ่งมีค่า syneresis เฉลี่ยสูงสุด เพราะผ่านการให้ความร้อนเพียงครั้งเดียวในกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้ whey protein สูญเสียสภาพทางธรรมชาติไม่เพียงพอ จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำนมพาสเจอไรซ์ที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที มาทำโยเกิต ค่า syneresis ลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในกรณีโยเกิตจากนมข้นจืดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มมาก แต่กลับเกิด syneresis ใกล้เคียงกับโยเกิตจากน้ำนมประเภทอื่น สันนิษฐานว่าเกิดจากผลของ stabilizer ที่มีอยู่ในน้ำนมประเภทนี้ ทำให้น้ำไม่แยกจากส่วนที่เป็น gel โดยอยู่ในสภาพเป็นของเหลวร่วมกัน และเมื่อนำผลมาพิจารณาร่วมกับทาง subjective test พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้าน syneresis ของโยเกิตจาก นมพาสเจอไรซ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม และโยเกิตจากนมข้นจืดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มในระดับต่ำ คือประมาณ 4.1 โยเกิตจากน้ำนมประเภทอื่นนอกเหนือจากนี้ รวมทั้งโยเกิตจากนมพาสเจอไรซ์ที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม คะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับทั้งหมด (5.57-6.37)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลทางสถิติจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในภาคผนวก จ ตารางที่ 7-10 พบว่า อิทธิพลของความเกี่ยวข้อง (interaction) ระหว่างประเภทของน้ำนม กับการให้และไม่ให้ความร้อนเพิ่มจะให้ค่า pH, TA, IF และ syneresis ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าการให้ความร้อนเพิ่มทำให้ค่า pH, TA และ syneresis เฉลี่ยในโยเกิตรสธรรมชาติจากน้ำนมต่างประเภทไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่การให้ความร้อนเพิ่มทำให้ค่า IF ในโยเกิตที่ได้แตกต่างกัน

นอกจากนี้ พบว่าการใช้ starter คนละขวดกันในแต่ละซ้ำของการทดลอง จะมีผลทำให้ค่า pH, TA ในแต่ละซ้ำต่างกัน ส่วนค่า IF และ syneresis พบว่าไม่ต่าง

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของโยเกิตทาง objective และ subjective พบว่า

1. นมคืนรูป นมยูเอชที ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม ให้โยเกิตที่มีคุณสมบัติดีด้านpH, TA, IF และ syneresis รวมทั้ง organoleptic properties เช่น สี กลิ่น รสเปรี้ยว เนื้อสัมผัส และ syneresis

2. นมพาสเจอไรซ์เมื่อนำมาทำโยเกิต โดยไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม จะให้โยเกิตที่มีค่า IF ต่ำ และเกิด syneresis สูง โดยที่เมื่อพิจารณาด้าน subjective test ก็พบว่าได้คะแนนเฉลี่ยต่ำ คือ ประมาณ 4.1 ดังนั้นควรนำมาให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาทีก่อน ซึ่งจะทำให้ได้โยเกิตที่มีคุณสมบัติดีทั้ง pH, TA, IF และ syneresis รวมทั้ง organoleptic properties ด้วย

3. นมสเตอริไลซ์ที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มให้โยเกิตที่มีคุณสมบัติดีด้าน pH, TA, IF และ syneresis ส่วน organoleptic properties พบว่าคะแนนเฉลี่ยด้านรสเปรี้ยว เนื้อสัมผัส และ syneresis ได้คะแนนเฉลี่ยระดับสูง แต่ผู้ทดสอบจะไม่ยอมรับในเรื่องสีและกลิ่น

4. นมข้นจืดให้โยเกิตที่มีคุณสมบัติด้าน IF ไม่ดีคือ ให้โยเกิตที่มีเนื้อสัมผัสเหลว ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ รวมทั้งสี กลิ่น รสเปรี้ยว ของโยเกิตจากน้ำนมประเภทนี้ ไม่เป็นที่ยอมรับเพราะการมีสีเข้ม และมี cooked flavor ที่ไม่เข้ากันกับลักษณะของผลิตภัณฑ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น น้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิดรสธรรมชาติ คือ นมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ และนมยูเอชที โดยที่นมพาสเจอไรซ์ต้องนำมาให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ก่อนนำไปทำโยเกิด ส่วนอีก 2 ประเภทสามารถใช้ได้เลย

นอกเหนือจากผลการตรวจสอบคุณสมบัติของโยเกิดทั้งทาง objective และ subjective test แล้ว ผลการตรวจสอบตัวอย่างทางกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอน (TEM) ยังให้เหตุผลสนับสนุนผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นด้วย ผลแสดงในรูปที่ 27 ซึ่งแสดง micelle ของน้ำนมประเภทต่าง ๆ คือ นมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ นมยูเอชที นมสเตอริไลซ์ และนมข้นจืด จะเห็นว่า micelle ของน้ำนมทุกประเภทยกเว้นนมพาสเจอไรซ์มีผิวขรุขระ ที่ผิวมีลักษณะเหมือนแขนขาที่เป็นเส้นใยยื่นออกมาแบบไม่สม่ำเสมอ (filamentous appendages) ซึ่ง Davies (26) พบว่า appendage ที่เกาะรอบ ๆ casein micelle คือ β-lg ที่สูญเสียสภาพทางธรรมชาติที่เกาะกับ K-casein ใน micelle การรวมตัวกันทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน และ filamentous appendage ทำให้ micelle มีการกระจายตัวมากขึ้น ช่วยไม่ให้ micelle เข้าใกล้กัน เพื่อหลอมรวมตัวกันเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น จึงเป็นการป้องกันไม่ให้เกิด syneresis หรือเกิดเพียงเล็กน้อยในโยเกิดที่ผ่านการให้ความร้อนอย่างเพียงพอ ดังนั้นจากผลการทดลองทาง TEM ทำให้ทราบว่านมคืนรูป นมยูเอชที นมสเตอริไลซ์ และนมข้นจืด ผ่านการให้ความร้อนมาเพียงพอที่จะให้โยเกิดที่มีเนื้อสัมผัสดี และเกิด syneresis ต่ำ เพราะน้ำนมทั้งหมดมี filamentous appendage แต่ในนมข้นจืดให้เนื้อสัมผัสที่ไม่ดี เพราะว่าผ่านการให้ความร้อนสูง ในเวลานาน ซึ่งจะเห็นได้จากรูปว่า micelle มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำนมประเภทอื่น ในกำลังขยายเท่า ๆ กัน ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกันคำกล่าวของ Morr (44) ที่ว่า กระบวนการให้ความร้อนที่น้ำนมได้รับในการทำนมข้นจืดจะเหนี่ยวนำให้ casein micelle เกิดรวมตัวกันเองได้ขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิด gelation ในนมข้นจืด ดังนั้นผู้ผลิตนมข้นจืดจึงต้องใส่ stabilizer ในกระบวนการผลิต

ในรูปที่ 27 c-d จะเห็นว่า micelle ของน้ำนมพาสเจอไรซ์ มีขอบเรียบไม่เกิด filamentous appendage เหมือนกับในนมประเภทอื่น ผลอันนี้และที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นผลสนับสนุน ผลการทดลองหาประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิดรสธรรมชาติที่ว่า นม-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คืนรูป นมยูเอชที สามารถใช้ทำโยเกิต ได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนเพิ่ม แต่น้ำนมพาสเจอไรซ์ต้องนำมาให้ความร้อนเพิ่ม

นอกจากนี้รูปที่ 29- a_1, a_2 เป็นรูปแสดง gel โยเกิตรสธรรมชาติจากนมคืนรูป จะเห็นว่าในการเกิด gel ของโยเกิต micelle จะเข้าใกล้กันมากขึ้น รวมตัวกันเป็นก้อนแน่นขึ้น (เปรียบเทียบกับในรูปที่ 27-a,b จะเห็นว่า micelle ของนมคืนรูปอยู่ห่างกันมากกว่าที่กำลังขยายเท่ากัน) แล้วเกิดโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ โดยมี filamentous appendage เป็นตัวเชื่อมระหว่าง micelle ไม่ให้ micelle หลอมรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งผลนี้ทำให้มีลักษณะการอุ้มน้ำดีกว่าทำให้เนื้อสัมผัสโยเกิตที่ได้แน่นกว่า และเกิด syneresisน้อยกว่าด้วย (27)

5.3 <u>การหา</u> % <u>นมถั่วเหลืองทดแทนที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ</u>

พบว่า เมื่อใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนในระดับ 25% และ 50% เทียบกับ control (0%) นั้น % สีไข่ไก่เพิ่มสูงขึ้นตาม % นมถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น แต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับโดยผู้ทดสอบ โดยมี % สีไข่ไก่ประมาณ 13-14% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองหาประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติที่ผ่านมา พบว่า % สีไข่ไก่ 5-8% เป็นระดับที่ยอมรับ ส่วนในระดับ 36-37% ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ในการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า % สีไข่ไก่ในระดับ 13-14% ก็ยังเป็นที่ยอมรับเช่นกัน และจากผลในตารางที่ 15 พบว่า การใช้นมถั่วเหลืองทดแทนนมคืนรูปในการทำโยเกิต ทำให้โยเกิตที่ได้ มีค่า pH ลดลง ทำนองเดียวกันค่า TA เพิ่มขึ้น ค่า IF เพิ่มขึ้นและเกิดsyneresisน้อยลง เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับทาง subjective test แล้วพบว่า การใช้ทดแทนในระดับ 50% ทำให้โยเกิตที่ได้มีเนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง (ค่า IF ประมาณ 190 mm^{-1}) และมีกลิ่นถั่วรุนแรงมาก ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ส่วนการใช้นมถั่วเหลืองทดแทนในระดับ 25% ให้เนื้อสัมผัสที่ผู้ทดสอบยอมรับ แต่ยังมีกลิ่นถั่วรุนแรง ดังนั้นจึงสามารถใช้นมถั่วเหลือทดแทนได้ไม่เกิน 25% ต่อมาจึงทดลองแปรปริมาณนมถั่วเหลืองทดแทนในระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% แล้ววางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบล็อค ทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลด้านสี (ในตารางที่ 16) เช่นเดียวกับที่ผ่านมาคือ เมื่อใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนมากขึ้น % สีไข่ไก่จะสูงขึ้น แต่เมื่อเทียบกับผลทาง subjective test ในตารางที่ 18 พบว่า % สีไข่ไก่ในระดับนี้เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทั้งหมด และ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คะแนนอยู่ในระดับสูง ส่วนในด้านกลิ่นนั้น ผู้ทดสอบยอมรับโยเกิดที่ใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทน 5-20% ส่วนการใช้แทนในระดับ 25% นั้น ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 23 และตารางที่ 17, 18 พบว่าเมื่อใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนเพิ่มขึ้น pH มีแนวโน้มลดลง ทำนองเดียวกัน TA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า IF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งทำให้ syneresis มีแนวโน้มลดลง

การที่ใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนเพิ่มขึ้น แล้วทำให้ pH ในโยเกิดลดลง หรือ TA เพิ่มขึ้นเป็นเพราะว่านมถั่วเหลือง (ซึ่งการเตรียมโดยไม่ได้ผ่าน solvent extration) มีน้ำตาลชั้นเดียวคือ glucose, raffinose และ stachyose ซึ่ง starter สามารถนำไปใช้ได้เลย (15) จึงผลิตกรดได้เร็วกว่าในนมวัว ซึ่งมีแต่น้ำตาล lactose ซึ่งเป็นน้ำตาล 2 ชั้น starter จำเป็นต้องผลิตเอนไซม์ lactase เพื่อย่อยให้เป็น glucose และ galactose ก่อนจึงนำไปใช้ได้

ส่วนการที่ใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนสูงขึ้น แล้วทำให้โยเกิดที่ได้มีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น และเกิด syneresis น้อยลงนั้น เนื่องจากการเพิ่ม % นมถั่วเหลืองทดแทนสูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์หรือน้ำนมผสมมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น เห็นได้จากตารางที่ 28 โดยที่ Davies (20) กล่าวว่า เมื่อโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ตะกอนโยเกิดที่ได้แน่นกว่า และการตกตะกอนเกิดดีกว่า นอกจากนี้การเพิ่ม % นมถั่วเหลืองยังเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนชนิดที่แตกต่างกับโปรตีนของนมวัว กล่าวคือ โปรตีนของนมวัวประกอบด้วย casein เป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 80%) ที่เหลือเป็น whey protein (2) ส่วนโปรตีนของนมถั่วเหลือง ประกอบด้วย globulin ประมาณ 85% ที่เหลือเป็น albumin, proteose และพวก conjugated protein (12) โปรตีนที่ต่างกันของนมถั่วเหลืองกับนมวัวนี้ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัมผัสของโยเกิดที่ได้มีความแน่นต่างกัน โดยพบว่าโปรตีนในนมถั่วเหลืองให้ลักษณะเนื้อที่แน่นกว่าโปรตีนของน้ำนมวัว และทำให้เกิด syneresis ต่ำด้วย

ผลทางสถิติจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในภาคผนวก จ ตารางที่ 16-20 พบว่าการใช้ starter คนละขวดกันในแต่ละซ้ำของการทดลองมีผลทำให้ค่า pH, TA ในแต่ละซ้ำต่างกัน ส่วนค่า IF และ syneresis ไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% และยังพบว่าเมื่อใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนต่างกัน ทำให้ค่า pH, IF และ syneresis เฉลี่ยต่างกัน แต่ไม่ทำให้ค่า TA เฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แม้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่าง แต่เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับผลทาง subjective test พบว่า ผู้ทดสอบยอมรับทั้งหมดในด้าน สี รส-เปรี้ยว เนื้อสัมผัส และ syneresis ยกเว้นในด้านกลิ่นผู้ทดสอบไม่ยอมรับการใช้ทดแทนในระดับ 25% โดยให้คะแนนต่ำกว่าระดับที่ยอมรับ ดังนั้นเราจึงสรุปว่าสามารถใช้นมถั่วเหลืองทดแทนนมคืนรูปได้ 20% ในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ

และเมื่อนำโยเกิตรสธรรมชาติจากนมผสมระหว่างนมคืนรูปและนมถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80 : 20 ไปตรวจสอบทางกล้องจุลทัศน์อิเลคตรอน ผลแสดงดังรูปที่ 29 -b_1, b_2 พบว่า gel ที่ได้มีเม็ดกลมขอบเรียบที่ติดสีอ่อนกว่า micelle ของน้ำนมรวมอยู่ด้วย ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นโปรตีนของนมถั่วเหลือง ซึ่งผลอันนี้สนับสนุนโดยรูปที่ 28 ซึ่งเป็นรูปถ่ายจากกล้องจุลทัศน์-อิเลคตรอนแบบ TEM ของนมถั่วเหลือง จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นเม็ดกลม ที่มีสีอ่อนกว่าของน้ำนม ซึ่งเม็ดกลมนี้ไปปรากฏอยู่ใน gel ของโยเกิตรสธรรมชาติจากนมผสม และจะเห็นได้ว่าการเกิด gel นั้น ลักษณะการจัดตัวให้เป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ เหมือนกันในโยเกิตรสธรรมชาติจากนมคืนรูป

5.4 <u>การหา % starter และ % น้ำตาลที่เหมาะสมร่วมกันในการทำโยเกิตรสหวาน</u>

จะเห็นว่าเมื่อใช้ starter สูงขึ้น ค่า pH ลดลงเนื่องจากมีจำนวน starter มากขึ้นสามารถผลิตกรดได้มากขึ้น ทำนองเดียวกับค่า TA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า IF ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงทำให้ค่า syneresis มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้น้ำตาลต่างกันในระดับ 4% กับ 5% การใช้น้ำตาลต่ำกว่าจะให้ค่า pH ในโยเกิตต่ำกว่า เพราะว่าการมีปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ต่ำกว่าเป็นสภาวะที่ starter เจริญได้ดีกว่า (45) และยังให้ค่า IF ที่สูงกว่าเพราะว่าโมเลกุลของน้ำตาลไปแทรกอยู่ใน gel น้อยกว่า ทำให้เกิด syneresis ต่ำกว่าด้วย

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ ในตารางที่ 26-29 ในภาคผนวก จ พบว่าเมื่อใช้ % starter ต่างกันในระดับ 3%, 4% และ 5% ทำให้ค่า pH, TA แตกต่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่ค่า IF และ syneresis ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การใช้ starter 3% ทำให้ pH ในโยเกิตต่างกับการใช้ starter 4% และ 5% ส่วนการใช้ starter 4% กับ 5% นั้นให้ผลไม่ต่างกัน ส่วนผลการตรวจสอบ TA ให้ผลสอดคล้องกันกับการตรวจสอบ pH และเมื่อนำค่านี้มาพิจารณาร่วมกับ Subjective test แล้วพบว่าผู้ทดสอบชอบโยเกิตที่มีค่า pH ต่ำมากกว่า คือ พบว่าคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติของการใช้ starter 4% และ 5% มีค่าใกล้เคียงกัน และสูงกว่าการใช้ starter 3% นอกจากนี้การใช้ starter ต่างกันในระดับ 3%, 4% และ 5% ให้ค่า IF และ syneresis ในโยเกิตไม่ต่างกัน เป็นเพราะเหตุผลเดียวกันกับใน ผลการหา % starter ที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ กล่าวคือ การใช้ starter 1-5%ไม่ทำให้ค่า IF และ syneresis แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพราะว่าน้ำนมที่ใช้ทำโยเกิตเป็นประเภทเดียวกัน ซึ่งเดิมผ่านกระบวนการผลิตที่ให้ความร้อนมาเหมือนกัน ซึ่งการใช้ starter ต่างกันในระดับนี้มีผลต่อค่า IF และ syneresisน้อยกว่ากระบวนการให้ความร้อนที่น้ำนมได้รับในขั้นตอนการผลิต

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของการใช้ % น้ำตาลต่างกันในระดับ 4% และ 5% พบว่า ทำให้ค่า pH, TA และ syneresisในโยเกิตไม่แตกต่าง แต่ทำให้ค่า IF แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่การใช้น้ำตาล 4% ให้ค่า IF ในโยเกิตที่สูงกว่าซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับผลทาง subjective testแล้วปรากฏว่าผู้ทดสอบชอบมากกว่า

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติยังพบว่า อิทธิพลของความเกี่ยวข้องระหว่าง % starter และ% น้ำตาล จะทำให้ค่า pH, TA, IF และ syneresis ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนการใช้ starterคนละขวดกันในแต่ละซ้ำของการทดลอง จะมีผลทำให้ค่า pH, TA, IF และsyneresisในแต่ละซ้ำต่างกัน

จากผลการตรวจสอบทั้งทาง objective และ subjective สามารถสรุปได้ว่าในการที่โยเกิตรสหวานนั้นจะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เลือกใช้น้ำตาล 4% เพราะให้ค่า pH, TA และsyneresisเฉลี่ยไม่แตกต่างกับการใช้น้ำตาล 5% แต่ทำให้ค่า IF เฉลี่ยแตกต่างโดยให้ค่า IF ที่สูงกว่า ซึ่งผู้ทดสอบชอบมากกว่า

2. เลือกใช้ starter 4% เพราะให้ค่า pH, TA, IF,sysneresisเฉลี่ยไม่แตกต่างกับการใช้ 5% แต่ทำให้ pH แตกต่างกับการใช้ starter 3% และให้รสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากกว่า

5.5 <u>การหาประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสหวาน</u>

น้ำนมทั้ง 5 ประเภท เมื่อนำมาทำโยเกิตรสหวาน แล้วทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อตรวจสอบโดยใช้ Macbeth Munsell Disc Colorimeter แตกต่างกัน ซึ่งได้ผลเหมือนกับในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ จึงแสดงผลไว้ในตารางเดียวกันคือตารางที่ 11 ทำให้ทราบว่าการเติมน้ำตาลลงไป 4% ของน้ำนมไม่ทำให้สีในโยเกิตที่ได้เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการตรวจสอบสีนี้จึงให้ผลเช่นเดียวกัน คือ โยเกิตรสหวานจากนมสเตอริไลซ์ และนมข้นจืด ให้สีที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ส่วนโยเกิตจากนมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ และนมยูเอชที ให้สีที่ผู้ทดสอบยอมรับ ในด้านกลิ่นที่ทำเฉพาะ subjective test ปรากฏว่าโยเกิตจากนมสเตอริไลซ์ได้คำคะแนนเฉลี่ยในระดับต่ำคือ ประมาณ 4.5 และ โยเกิตจากนมข้นจืดให้ค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า คือ 4.0 (ดูในตารางที่ 24)

จากผลการทดลองในรูปที่ 25 ตารางที่ 23 และ 24 และจากผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในภาคผนวก จ ตารางที่ 36 -40 พบว่า การใช้น้ำนมต่างประเภททำให้โยเกิตที่ได้มีค่า pH, TA, IF และ syneresis เฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าโยเกิตจากนมข้นจืดให้ค่า pH เฉลี่ยสูงสุด รองลงมาเป็นโยเกิตจากนมพาสเจอไรซ์ นมสเตอริไลซ์ นมยูเอชที และนมคืนรูป ตามลำดับ การที่นมข้นจืดให้ค่า pH เฉลี่ยสูงสุด เนื่องจาก การให้ความร้อนที่สูง และเวลานาน จะทำลายวิตามิน และ bacteria growth factor ซึ่งทำให้ starter เจริญผลิตกรดได้ช้า (20) นอกจาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นี้นมทุกประเภท เมื่อนำมาทำโยเกิตรสหวานโดยไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม จะทำให้ค่า pH ในโยเกิตที่สูงกว่าการนำมาทำโยเกิตโดยผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม ซึ่งจะเห็นได้ชัดในน้ำนมพาส-เจอไรซ์ ทั้งนี้เนื่องจาก total yiable plate count เริ่มต้นในน้ำนมประเภทนี้มีอยู่สูงกว่าน้ำนมประเภทอื่น ดังนั้นเมื่อนำมาให้ความร้อนเพิ่ม ความร้อนนี้จะทำลายแบคทีเรียที่มีตั้ง-เดิมรวมทั้งที่อาจปนเปื้อนกับน้ำตาลที่เติม จึงทำให้ starter เจริญและผลิตกรดได้ดีกว่า ส่วนในน้ำนมประเภทอื่นก็เช่นกันที่พบว่าให้ความร้อนเพิ่มแล้ว ทำให้ค่า pH ลดลงหรือค่า TA เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำลายแบคทีเรียซึ่งอาจปนเปื้อนมากับน้ำตาล ซึ่งสามารถเจริญแข่งกับ starter ที่ใช้ inoculate นอกจากนี้การให้ความร้อนเพิ่มยังเป็นการช่วยไล่ก๊าซออกซิเจนออกซึ่งเป็นสภาวะที่พวก Lactobacilli ชอบมากกว่า (20) เมื่อนำผลทางด้าน pH และ TA มาพิจารณาร่วมกับผลทาง subjective ในด้านรสชาติแล้วพบว่า โยเกิตจากนมข้นจืดและนมสเตอริไลซ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ และยังพบอีกว่า การให้ความร้อนเพิ่มแก่น้ำนมก่อนนำมาทำโยเกิต ทำให้ค่าคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติของโยเกิตเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับโยเกิตที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม และเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า การให้ความร้อนเพิ่มแก่น้ำนม ในการทำโยเกิตรสหวานทำให้ค่าคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า อิทธิพลของความเกี่ยวข้อง (interaction) ระหว่างประเภทของน้ำนมกับการให้และไม่ให้ความร้อนเพิ่ม จะทำให้ค่า pH, TA, IF, syneresis ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และการใช้ starter คนละขวดกันในแต่ละซ้ำของการทดลองจะมีผลทำให้ค่า pH, TA, IF ในแต่ละซ้ำต่างกัน ส่วนค่า syneresis พบว่าไม่ต่าง

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้าน index of firmness และ syneresis พบว่าค่า IF เฉลี่ยของโยเกิตที่ทำจากน้ำนมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มแตกต่างกับโยเกิตที่ทำจากน้ำ-นมที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่าการให้ความร้อนแก่น้ำนมเพิ่มจะทำให้ค่า IF เฉลี่ยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการเพิ่ม denatured whey protein ทำให้ gel ที่ได้แน่นขึ้น (23)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โยเกิดจากนมข้นจืดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม และโยเกิดจากนมพาส-เจอไรซ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มมีค่า IF ต่ำมากไม่สามารถวัดได้ จึงไม่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 25 ทั้งนี้เนื่องจากถ้วยที่บรรจุโยเกิดสูงเพียง 40 มิลลิเมตร ในการวัดค่า IF ได้ทำการจับเวลาที่หัวเข็มสามารถเคลื่อนที่ผ่านเนื้อโยเกิดเป็นเวลา 5วินาที ซึ่งในกรณีนี้ไม่สามารถวัดได้เพราะหัวเข็มเคลื่อนที่ลงมาสุดถ้วยก่อนเวลา 5 วินาที ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้ค่า IF สูงสุดที่เป็นไปได้คือ 25 mm^{-1}(x) โดยคิดจากสูตรคือ ถ้าหัวเข็มเคลื่อนที่ได้ระยะทาง $\geqslant$ 40 mm จะคำนวณค่า IF ได้ $\leqslant$ 25 mm^{-1}

การที่โยเกิดจากนมพาสเจอไรซ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มให้ค่า IF ต่ำมากจนไม่สามารถวัดได้เนื่องจากผ่านการให้ความร้อนที่ในเวลาสิ้นไปคือที่ 74-81 องศาเซลเซียส 16 วินาที ทำให้ whey protein สูญเสียสภาพไม่เพียงพอที่จะตกตะกอนลงมา และรวมตัวกับ casein ทั้งยังมีผลของน้ำตาลที่เติมลงไปที่ไปแทรกอยู่ใน gel ซึ่งทำให้gel ที่ได้นิ่มมากขึ้น ส่วนโยเกิดจากนมข้นจืดให้ค่า IF ต่ำเนื่องจากนมข้นจืดผ่านการให้ความร้อนสูง ในเวลานานคือประมาณ 110-120 องศาเซลเซียส 15-20 นาที ความร้อนนี้จะไปทำลาย casein ทำให้ casein สูญเสียคุณสมบัติในการ swell และรวมกับน้ำ ขณะเกิด gel (20) รวมทั้งยังมีผลจากการเติมน้ำตาลอีกด้วย

ส่วนผลทางด้าน syneresis ก็สอดคล้องกับทาง IF โดยพบว่าโยเกิดที่มีค่า IF สูงจะเกิด syneresis ต่ำ อันนี้ยกเว้นในนมข้นจืดอีกเช่นกันที่มีค่า IF ต่ำ ซึ่งควรเกิด syneresis สูงแต่กลับเกิด syneresis ใกล้เคียงกับโยเกิดจากน้ำนมประเภทอื่น ทั้งนี้เนื่องจากผลของstabilizer ที่มีอยู่ในน้ำนมประเภทนี้ ทำให้น้ำไม่แยกจากส่วนที่เป็น gel โดยอยู่ในสภาพเป็นของเหลวร่วมกันซึ่งเมื่อนำผลทางด้าน IF และsyneresisนี้มาพิจารณาร่วมกับ subjective test จะพบว่า ผู้ทดสอบไม่ยอมรับโยเกิดที่ทำจากนมพาสเจอไรซ์ ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม และโยเกิดจากนมข้นจืดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม และยังพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสโยเกิดที่ทำจากน้ำนมที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มมากกว่าโยเกิดที่ทำจากน้ำนมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนผลทาง subjective test ด้าน syneresisให้ผลสอดคล้องกับด้านเนื้อสัมผัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการตรวจสอบทาง objective test และ subjective test สรุปได้ว่า

1. ประเภทของน้ำนมที่ให้โยเกิตรสหวานโดยใช้ starter 4% และน้ำตาล 4% ที่มีคุณสมบัติดี และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ คือ นมคืนรูป นมพาสเจอไรซ์ และนมยูเอชที โดยต้องนำมาให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ก่อนนำมาทำโยเกิต

2. นมสเตอริไลซ์ให้โยเกิตที่มีคุณสมบัติดีด้าน เนื้อสัมผัส syneresis แต่มีคุณ-สมบัติด้านสี กลิ่น รสชาติ ไม่ดี ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

3. นมข้นจืด ให้โยเกิตที่มีคุณสมบัติด้าน สีกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ไม่ดีไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

นอกจากการตรวจสอบทาง objective และ subjective test แล้วยังตรวจสอบตัวอย่างโยเกิตรสหวานจากนมคืนรูป ทางกล้องจุลทัศน์อีเลคตรอนอีกด้วย พบว่าการเกิด gel ให้ลักษณะเช่นเดียวกันกับโยเกิตรสธรรมชาติจากนมคืนรูป และนมผสมระหว่างนมคืนรูปและนมถั่วเหลือง แต่ gel ที่ได้มีที่ว่างมากกว่าในโยเกิตรสธรรมชาติ ซึ่งสันนิษฐานว่ามีโยเลกุลบางอย่างมาแทรกอยู่ ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลซูโครส

5.6 <u>การหา % นมถั่วเหลืองทดแทนที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสหวาน</u>

การใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทน 5 ระดับนี้ ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่างกัน เมื่อตรวจสอบโดยใช้ Macbeth Munsell Disc Colorimeter ซึ่งได้ผลเหมือนกันกับในการหา % นมถั่วเหลืองทดแทนในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ จึงแสดงผลได้ในตารางเดียวกันคือตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาผลทาง subjective test พบว่า สีของโยเกิตรสหวานที่ใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนในระดับ 0-25% ผู้ทดสอบยอมรับทั้งหมด ส่วนในด้านกลิ่นก็ยอมรับทั้งหมดเช่นกัน แต่พบว่ายิ่งถ้าใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนสูงขึ้นค่าคะแนนเฉลี่ยจะลดลงตามลำดับ

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 26 ตารางที่ 26 และ 27 พบว่า ค่า pH, TA, IF และ syneresis เฉลี่ยของโยเกิตจากนมผสมที่ใช้นมถั่วเหลืองทดแทนสูงขึ้นค่า IF มีแนวโน้มสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า syneresis มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า การเพิ่ม % นมถั่วเหลืองทดแทนเป็นการเพิ่ม % โปรตีนซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสในโยเกิตสุดท้ายแน่นขึ้น (20) และยัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นการเพิ่ม % โปรตีนของนมถั่วเหลือง ซึ่งแตกต่างจากนมวัว ซึ่งพบในการทดลองนี้ว่าโปรตีนของนมถั่วเหลืองให้ลักษณะเนื้อโยเกิตที่แน่นกว่า เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วพบว่าการใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนในระดับ 5%, 10% 15%, 20% และ 25% ทำให้ค่า pH, TA, IF และ syneresis เฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลอันนี้แตกต่างกับในการทดลองหา % นมถั่วเหลืองทดแทนที่เหมาะสมในการทำโยเกิตรสธรรมชาติที่พบว่า การใช้ % นมถั่วเหลืองทดแทนต่างกัน ทำให้ค่า pH, IF และ syneresis เฉลี่ยต่างกัน ผลที่ต่างกันนี้สันนิษฐานว่า เกิดจากการเติมน้ำตาลซูโครส ลงในน้ำนมผสมเป็นผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำนมผสมที่มีนมถั่วเหลืองทดแทนอยู่ต่างกัน (5-25%) เป็นไปเหมือนกันตลอดระยะเวลาการบ่ม และการใช้ starter คนละชุดกันในแต่ละซ้ำของการทดลองทำให้ค่า pH และ TA ในแต่ละซ้ำต่างกัน ส่วนค่า IF และ syneresis ในแต่ละซ้ำไม่ต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ดังนั้นในการทดลองขั้นนี้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้นมถั่วเหลืองทดแทนได้ 25% ในการทำโยเกิตรสหวานและไม่ต้องให้ความร้อนเพิ่ม และเมื่อเปรียบเทียบกับผลในโยเกิตรสธรรมชาติแล้วพบว่า ใช้ % ถั่วเหลืองทดแทนได้สูงขึ้นเนื่องจากมีการเติมน้ำตาลลงไปจึงทำให้รสชาติดีกว่า ซึ่งจะช่วยให้ผู้ทดสอบยอมรับในด้านกลิ่นมากขึ้น

นอกจากนี้ยังทำการศึกษา gel ของโยเกิตรสหวานจากนมผสมระหว่างนมคืนรูปและนมถั่วเหลืองในอัตราส่วน 75:25 แสดงดังรูปที่ 28 -d_1, d_2 พบว่าให้ลักษณะ gel ที่คล้ายกับในโยเกิตรสหวานจากนมคืนรูป แต่แตกต่างตรงที่มีเม็ดกลมของเรียบที่สันนิษฐานว่าเป็นโปรตีนในนมถั่วเหลืองแทรกอยู่ใน gel ด้วย

เมื่อนำโยเกิตจากนมวัวที่ทำการทดลองแล้วพบว่ามีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทั้งรสธรรมชาติ และรสหวาน มาพิจารณาเปรียบเทียบกับโยเกิตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและเป็นที่นิยมได้แก่ โยเกิตตราไฟร์โบสต์ ในด้านคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น pH, TA, IF, syneresis, สี และ total viable plate count ได้ผลดังแสดงในตารางหน้าถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าตรวจสอบ	โยเกิดรสธรรมชาติจาก					โยเกิดรสหวานจาก			โยเกิดตราไฟร์โบลด์ *
	นมคืนรูปที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมคืนรูปที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมพาสเจอไรซ์ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมยูเอชทีไม่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมยูเอชทีผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมคืนรูปผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมพาสเจอไรซ์ผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	นมยูเอชทีผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม	
pH	4.28+0.15	4.28+0.13	4.27+0.08	4.15+0.09	4.22+0.03	4.20+0.05	4.28+0.08	4.30+0.10	3.94+0.22
TA (% lactic acid)	1.09+0.12	1.13+0.17	1.13+0.12	1.16+0.10	1.10+0.07	1.23+0.11	1.08+0.08	1.10+0.12	1.38+0.07
IF (mm^{-1})	56.57+13.80	47.84+1.38	55.24+6.22	44.14+1.97	55.37+19.22	59.86+27.32	76.57+40.41	45.77+14.74	31.18+8.50
Syneresis (%)	37.85+2.76	39.22+2.07	39.37+1.58	36.71+2.42	37.98+0.82	37.76+1.31	38.74+2.46	36.53+3.68	39.26+5.09
% สีไข่ไก่	8	8	5	7.5	7.5	8	5	7.5	7.5
Total viable plate count (โคโลนี/กรัม)	1.0×10^8	-	-	-	-	1.2×10^8	-	-	6.7×10^8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ไม่ได้ตรวจสอบ

* ผลจากการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบ 6 ซ้ำ

จะเห็นว่าโยเกิตที่ทำขึ้นมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 4.1-4.3 ซึ่งเป็นค่าสูงกว่าโยเกิตของไฟรไมสต์ ซึ่งมีค่า pH เฉลี่ยเป็น 3.94 เล็กน้อย ทำนองเดียวกับ TA มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.00-1.23 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่า TA ของโยเกิตดราไฟร์ไมสต์ ส่วนค่า IF พบว่า ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 45-60 mm^{-1} โดยที่โยเกิตของไฟร์ไมสต์มีค่า IF ประมาณ 31 mm^{-1} ซึ่งค่านี้อาจเปรียบเทียบกันไม่ได้ แม้ว่าจะใช้หัวเข็ม penetrometer เดียวกันในการวัด เนื่องจากใช้ภาชนะคนละขนาด ภาชนะที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 2.5 ออนซ์ ส่วนภาชนะของไฟร์ไมสต์มีขนาด 6 ออนซ์ ซึ่งทำให้หัวเข็มสามารถ penetrate ได้ในระยะทางที่ยาวกว่า และแรงต้านจาก gel อาจจะไม่เท่ากันเนื่องจากแรงต้านจากขอบถ้วยที่มีระยะไม่เท่ากันจะต่างกัน ในด้าน syneresis โยเกิตดราไฟร์ไมสต์มีค่าประมาณ 39% ส่วนโยเกิตที่ทำขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 36-40% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โยเกิตที่ทำขึ้นไม่ได้ใส่ stabilizer แต่การผลิตในอุตสาหกรรมอาจต้องใช้ stabilizer ช่วยด้วย เนื่องจากในการลำเลียงและขนส่งอาจเกิดการกระแทกกระทั้นต่อ gel การใส่ stabilizer จะช่วยลดการเกิด syneresis ได้

ในด้านสีพบว่าโยเกิตทั้งหมดมี % สีไปในทางใกล้เคียงกัน ซึ่งระดับนี้จากการทดลองพบว่าผู้ทดสอบยอมรับทั้งหมด และผลการตรวจสอบ total viable plate count ของโยเกิตบางตัวอย่างที่ทำขึ้น ปรากฏว่าให้ผลใกล้เคียงกับโยเกิตของไฟร์ไมสต์ โดยพบว่ามีจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 10^8 เซล/กรัม

นอกจากนี้การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ จุลินทรีย์ กับองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิต 4 ชนิด ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 28 จะเห็นว่า คุณสมบัติของโยเกิตทั้ง 4 ในด้าน pH และ TA มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า IF และ syneresis ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่พบว่าโยเกิตจากนมผสมที่มีการใช้นมถั่วเหลืองทดแทน (ตัวอย่าง B และ D) จะเกิด syneresis ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของโยเกิตทั้ง 4 เช่น total solid, ไขมัน, โปรตีน, น้ำตาล และเถ้า เกิดเนื่องจากน้ำนมเริ่มต้นที่ใช้ผลิตต่างกัน รวมทั้งมีการเติมน้ำตาลลงในโยเกิตรสหวาน และเมื่อพิจารณาเทียบกับมาตรฐานนมเปรี้ยวของกระทรวงสาธารณสุข (24) แล้ว พบว่าโยเกิตที่ทำขึ้นได้มาตรฐานทุกด้าน รวมทั้งมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ที่กำหนดว่าต้องมีจุลินทรีย์ (starter) หลงเหลือจากการหมัก และปราศจาก E. coli ใน 0.1 กรัม ในการตรวจสอบโยเกิตทั้ง 4 พบว่า มีจุลินทรีย์ (starter) อยู่ประมาณ 10^8 เซล/กรัม และตรวจไม่พบ E. coli ในอาหาร 1 กรัม รวมทั้งในการทำโยเกิตทั้งหมดไม่มีการใส่วัตถุกันเสีย และสารให้ความหวานแทนน้ำตาลด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า

1. % starter ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำโยเกิดรสธรรมชาติคือ 2% ซึ่งอาจใช้ได้มากกว่านี้ตามความเหมาะสม เช่นถ้า activity ของ starter ต่ำก็ใช้ในระดับที่สูงขึ้น

2. ประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิดรสธรรมชาติ คือนมคืนรูป นมพาส-เจอไรซ์ และนมยูเอชที โดยที่นมพาสเจอไรซ์ต้องให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที

3. % นมถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการใช้ทดแทนนมคืนรูป ในการทำโยเกิดรสธรรมชาติคือ 20% ถ้านมถั่วเหลืองเริ่มต้นผ่านกระบวนการขจัดกลิ่นที่ทำให้กลิ่นถั่วลดลงแล้ว % ที่ใช้ทดแทนอาจทำได้สูงกว่านี้

4. % starter และ % น้ำตาลที่เหมาะสมร่วมกันในการทำโยเกิดรสหวานคืออย่างละ 4% ของน้ำหนักนม

5. ประเภทของน้ำนมที่เหมาะสมในการทำโยเกิดรสหวาน คือ นมคืนรูป นมพาส-เจอไรซ์ และนมยูเอชที ทั้งหมดต้องให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ก่อนนำมาทำโยเกิด

6. % นมถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการใช้ทดแทนนมคืนรูปในการทำโยเกิดรสหวานคือ 25% โดยไม่ต้องผ่านการให้ความร้อนเพิ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำโยเกิตรสธรรมชาติ ถ้าเป็นในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้นมคืนรูปก็ควรให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ด้วย เพราะน้ำที่ใช้ผสม และปริมาณที่มากอาจทำให้มีการปนเปื้อนได้ง่าย ผลการทดลองที่ได้นี้ ทำในห้องทดลองซึ่งใช้น้ำกลั่นในการผสมคืนรูป ซึ่งในสภาวะจริงในอุตสาหกรรมนั้นอาจแตกต่างกันในห้องทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนไปขัดขวางการเจริญของ starter ควรให้ความร้อนเพิ่มที่ 85 องศาเซลเซียส 30 นาที ส่วนนมยูเอชทีในโรงงาน ถ้านำมาใช้ทำโยเกิตก็ไม่มีปัญหาเรื่องจุลินทรีย์อยู่แล้ว

2. เมื่อพิจารณาจากแง่คุณประโยชน์ของโยเกิตและกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากแล้ว น่าจะมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากโยเกิต เช่น drinking yogurt, soft ice cream จากโยเกิต เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย