บทนำ

(Introduction)

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี ค.ศ. 1963 มีพื้นที่ปลูก 1,315,000 เฮกตาร์ มีปริมาณการผลิต 18,337,000 เมตริกตัน และได้ผลผลิต 13.9 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (FAO, FAOSTAT,1996) มันสำปะหลังนิยมนำไปแปรรูปเป็นอาหารในรูปมันเส้นและมันอัดเม็ด เพื่อการส่งออกมากกว่าการบริโภคภายในประเทศ ตลาดรับซื้อผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือ สมาพันธ์ยุโรป (European Union, EU)

ทวีปเอเชียมีปริมาณการผลิตรวมของมันสำปะหลังมากเป็นอันดับสองของโลก และประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมันเส้นและมันอัดเม็ดเป็นอันดับหนึ่งของทวีปเอเชีย ในช่วงที่ผ่านมามีการจำกัดโควต้าการส่งออกของมันเส้นและมันอัดเม็ด และมีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเกษตรร่วม (Common Agriculture Policy) ของสมาพันธ์ยุโรป ที่จะกีดกันธัญชาติและพืชตระกูลหัวจากประเทศอื่นๆ โดยควบคุมการนำเข้าในปริมาณที่จำกัด ทำให้เกิดภาวะมันสำปะหลังล้นตลาดและราคาตกต่ำ ซึ่งมีผลต่อรายได้ของเกษตรกรเป็นอย่างมาก (Henry et. al.. 1997) ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากประเทศไทยใช้มันสำปะหลังผลิตอาหารในรูปมันเส้นและมันอัดเม็ดมากกว่าแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอย่างอื่น ดังเห็นได้จากสถิติการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังใน
ปี พ.ศ. 2525 ซึ่งการใช้ประโยชน์ในรูปของมันเส้นและมันอัดเม็ดคิดเป็นร้อยละ 88 แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแป้ง (Starch) ร้อยละ 12 และในปี พ.ศ. 2535 การใช้ประโยชน์ในรูปของมันเส้นและมันอัดเม็ดคิดเป็นร้อยละ 70 แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแป้งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 28 และเริ่มมีการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified starch) ร้อยละ 2

จากการสำรวจข้อมูลของ Henry et. al., 1997 ราคามันสำปะหลังที่ส่งออกในช่วงปี พ.ศ. 2535-2538 ในรูปหัวมันสด ราคา 28.67 เหรียญสหรัฐต่อเมตริกตัน ราคามันเส้น 85.70 เหรียญสหรัฐต่อเมตริกตัน ราคาแป้ง 233.34 เหรียญสหรัฐต่อเมตริกตัน เมื่อเปรียบเทียบราคาของมันสด มันเส้น และแป้ง ทำให้มองเห็นชัดเจนว่าการนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สามารถเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้ (Value added) 8.14 เท่าของราคาหัวมันสด ถึงแม้ว่าการส่งออกมันเส้นและมันอัดเม็ดของไทยจะไม่ค่อยแจ่มใส แต่ก็ยังสามารถเปิดตลาดการแปรรูปมันสำปะหลังให้เป็นแป้งมารองรับได้ ภาวะเช่นนี้พบได้ในประเทศ อินโดนีเซีย และ จีน (Henry et. al., 1997)

อนาคตของการพัฒนามันสำปะหลังในประเทศไทยจะขึ้นอยู่กับอุตสาหกรรมการแปรรูปแป้ง Henry et. al., 1994c ได้คาดคะเนการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในประเทศไทยไว้ว่า ในปี พ.ศ. 2544 การผลิตภายในประเทศจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 132 และการส่งออกจะเพิ่มขึ้น ร้อยละ 100 ถึง

แม้ว่าการขยายตัวดังกล่าวจะเป็นการขยายตัวของแป้งดิบ แต่การขยายตัวของแป้งดัดแปรก็จะมากขึ้นตามปริมาณการผลิตแป้งดิบที่กำลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการขยายกำลังการผลิตของโรงงานขนาดใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย คาดคะเนว่าการขยายตัวของแป้งดัดแปรจะเป็นไปได้มากเพราะมีการเปิดตลาดในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศที่มีอุปสงค์ของการใช้แป้งค่อนข้างมาก (Henry et. al., 1997)

เนื่องจากปัญหาการส่งออกของผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังและคุณสมบัติเฉพาะของแป้งมันสำปะหลัง จึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ ให้ตรงตามความต้องการที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์แต่ละอย่าง โดยทำการผลิตในรูปแป้งดัดแปร (Modified starch) ซึ่งมีมูลค่าสูงกว่ามันเส้นและมันอัดเม็ดที่ส่งออก

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง ได้มีการศึกษาทดลองด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของแป้งให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่นการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยอาศัยวิธีการปรับปรุงพันธุ์ การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยวิธี Conversion วิธี Derivatization วิธีทางฟิสิกส์ และวิธี Cross-linking ซึ่งช่วยปรับปรุงให้แป้งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (Thickening agent) และสารให้ความคงตัว (Stabilizer)

การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยวิธี Cross-linking นั้น เป็นการช่วยให้แป้งมีความคงตัวดีขึ้น โดยการใช้สารประกอบต่างๆ เช่น mixed anhydrides ของ acetic acid, citric acid, adipic acid, metaphosphates, phosphorus oxychloride และ epichlorohydrin เป็นต้น ซึ่งเป็นสาร Cross-linking reagent โดยสาร Cross-linking reagent จะทำปฏิกิริยากับ hydroxyl group ของโมเลกุลของแป้ง 2 โมเลกุลที่ต่างกัน เกิดพันธะที่ช่วยให้ starch granule มีความคงตัวดีขึ้น ปกติแล้วการมี Cross-link เพียงไม่กี่ Cross-link ก็เพียงพอในการช่วยให้แป้งมีความคงตัวดีขึ้น จากการทดลองพบว่า การมี Cross-link เพียง Cross-link เดียวต่อกับโมเลกุลของกลูโคส 2000 หน่วย ก็เพียงพอแล้ว เพราะฉะนั้นจึงมีการใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อยมาก และเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดสารเคมีที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะถูกแยกออกโดยการล้าง จากนั้นก็กรองแป้งออกและนำมาทำให้แห้ง

การใช้แป้งดัดแปรในผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำสลัดและน้ำสลัด เพื่อเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งจะเป็นตัวช่วยให้น้ำและน้ำมันผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยปกติในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะใช้ไข่เป็นสารอีมัลซิไฟเออร์ ต่อมามีการทดลองใช้แป้ง (Starch) เป็นอีมัลซิไฟเออร์ ปรากฏว่าแป้งให้อีมัลชั่น (Emulsion) ที่คงตัว เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไข่ เพียงแต่ต้องเลือกใช้ชนิดของแป้งให้เหมาะสมรวมทั้งการเลือกกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม (ศิวาพร ศิวเวชช , 2529) ส่วนการใช้แป้งดัดแปรในซอสต่างๆเป็นวัตถุเจือปนอาหารซึ่งจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้มีความข้นหนืด (Thickener) และมีความคงตัว (Stabilizer) แป้งที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวฟ่าง และ โมดิ

หรือแป้งฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ ส่วนแป้งไดสตาร์ชฟอสเฟต เป็นแป้งดัดแปรด้วย phosphorus oxychloride หรือ sodium trimetaphosphate เกิดเป็นพันธะฟอสเฟตไดเอสเทอร์ ได้แป้งไดสตาร์ชฟอสเฟต หรือแป้งฟอสเฟตไดเอสเทอร์ (ปฏิกิริยาที่ 1 - 2)

Sodium Tripolyphosphate :

$$STOH + Na_5P_3O_{10} \longrightarrow STO\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{\underset{\underset{\displaystyle ONa}{|}}{P}}ONa + Na_3HP_2O_7 \qquad \text{(ปฏิกิริยาที่ 5)}$$

Sodium Orthophosphate :

$$STOH + NaH_2PO_4 \longrightarrow STO\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{\underset{\underset{\displaystyle ONa}{|}}{P}}OH + H_2O \qquad \text{(ปฏิกิริยาที่ 6)}$$

แป้งที่มีระดับการเชื่อมขวางต่างกันจะมีสมบัติของแป้งเปียกใน heating - cooling cycle แตกต่างกัน จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าการสร้างพันธะเชื่อมขวางโมเลกุลแป้งข้าวโพดระดับที่ 1 พันธะเชื่อมขวางต่อ 1,300 AGU มีผลต่ออัตราการเกิด gelatinization เริ่มต้นเพียงเล็กน้อย แต่มีผลให้ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น และไม่ลดลงในช่วงรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส ส่วนที่ระดับ 1 พันธะเชื่อมขวางต่อ 440 AGU มีผลให้ความหนืดลดลงมากกว่าแป้งข้าวโพดธรรมชาติ เพราะการกำจัดการพองตัวของเม็ดแป้งมีมากขึ้น ที่ระดับ 1 พันธะเชื่อมขวางต่อ 440 AGU มีผลให้ความหนืดลดลงมากกว่าแป้งข้าวโพดธรรมชาติ เพราะการจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้งมีมากขึ้น ที่ระดับ 1 พันธะเชื่อมขวางต่อ 100 AGU เม็ดแป้งจะรัดตัวมาก ทำให้ไม่เกิดการพองตัวและไม่เป็นเจล

การสร้างพันธะเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลแป้งจะเป็นผลดีโดยเฉพาะกับแป้งชนิด waxy และแป้งที่ได้จากรากหรือหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น (18) เนื่องจากแป้งธรรมชาติเหล่านี้ไวต่อความร้อนและกรด แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) ที่มีระดับการเชื่อมขวาง 1 พันธะเชื่อมขวางต่อ 1,330 AGU (รูปที่ 4) จะทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้สามารถทนต่อภาวะที่เป็นกรด และสามารถทนต่อความร้อนได้

ฟายค์สตาร์ช การที่จะให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีความข้นหนืดสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันในทุกรุ่นการผลิตนั้น มิใช่จะกระทำได้ง่ายๆ ด้วยกรรมวิธีการแปรรูปอาหารธรรมดาเท่านั้น การใช้วัตถุเจือปนอาหารประเภทแป้งดัดแปร เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ การใช้แป้งดัดแปรนิยมใช้กันมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ซึ่งแป้งดัดแปรที่ใช้นั้นมีการดัดแปลงโดยวิธีการทางกายภาพและเคมี (Branen et al. , 1990 และ ศิวาพร ศิวเวชช , 2535)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งดัดแปรสำหรับการผลิตน้ำสลัดและซอสมะเขือเทศ
2. ศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในระดับอุตสาหกรรม
3. ศึกษาต้นทุนการผลิตและความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ขอบเขตของการวิจัย

นำแป้งดัดแปรโดยวิธี Cross – linking ที่ได้รับการคัดเลือก 5 สภาวะ คือ แป้งดัดแปรตราแมวแดงที่สภาวะสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.8 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส pH 8 และ 9 แป้งดัดแปรตรานิวเกรดที่สภาวะสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.3 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส pH 8 และ 9 แป้งดัดแปรตราปลาที่สภาวะสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.8 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส pH 9 มาใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์แทนไข่ในน้ำสลัดปัจจัยละ 3 ระดับคือ ร้อยละ 30 40 และ 50 และใช้เป็นสารให้ความหนืดในซอสมะเขือเทศปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 – point hedinic scale เพื่อทำการคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม ศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในระดับอุตสาหกรรม และศึกษาต้นทุนการผลิตและความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรทั้ง 5 ชนิด สำหรับผลิตน้ำสลัด ชนิดละ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30 40 และ 50
2. ทำการคัดเลือกโดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส
3. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรทั้ง 5 ชนิด สำหรับผลิตซอสมะเขือเทศ ชนิดละ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5
4. ทำการคัดเลือกโดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

5. ศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรในระดับอุตสาหกรรม
6. ศึกษาต้นทุนการผลิตและความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดของแป้งมันสำปะหลัง และสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังสำหรับใช้ในการผลิตน้ำสลัดและซอสมะเขือเทศ
2. ทราบอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่เหมาะสม ในการผลิตน้ำสลัดและซอสมะเขือเทศ ตลอดจนทราบต้นทุนการผลิต และความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้ส่งออก
4. เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ทดแทนสารอื่น
5. เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างโรงงานต้นแบบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

วารสารปริทัศน์

1. แป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อเรียกทั่วไปว่า cassava ส่วนชื่อที่เรียกในภาษาอื่นๆ มี yuca , manioc และ mandioca เมื่อนำมาทำเป็นแป้งเรียกว่า tapioca starch ส่วนชื่อวิทยาศาสตร์ที่ถือว่าถูกต้องและใช้ในปัจจุบันคือ Manihot esculenta Crantz

ลักษณะสำคัญทางกายภาพและเคมี

แป้งประกอบด้วยโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน อะไมโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์แบบสายตรงประกอบด้วย anhydroglucose unit (AGU) ประมาณ 200 – 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - D – (1 → 4) glucosidic สามารถดูดความชื้นและกระจายตัว (disperse) ในน้ำได้ เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ โมเลกุลอะไมโลสจะละลายออกมาจากเม็ดแป้ง และเมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลอะไมโลสจะรวมตัวกัน โดยเมื่อสารละลายแป้งมีความเข้มข้นของแป้งมาก การรวมตัวกันของอะไมโลสจะทำให้เกิดเจล (gelling)

ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์แบบแยกเป็นสาขา แต่ละสาขาประกอบไปด้วย AGU 15 – 25 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - D – (1 → 4) glucosidic ส่วนจุดที่แยกเป็นสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - D – (1 → 6) glucosidic เนื่องจากอะไมโลเพคตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ และมีกิ่งก้านสาขามากมาย ดังนั้นโอกาศที่โมเลกุลจะจับกันเองจะน้อยลง เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง แป้งเปียกที่ได้จะใส มีเสถียรภาพเพราะเกิดการคืนตัวน้อย

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งธรรมชาติชนิดต่างๆ จะเห็นว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติจะประกอบด้วย อะไมโลสเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 17 มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ประมาณ 2.10×10^5 และ 3×10^6 ตามลำดับ (10) เม็ดแป้งมีขนาดเป็นรูปกลม - ไข่ ปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัด ขนาดของเม็ดอยู่ในช่วง 5 – 35 ไมครอน แต่ขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 20 ไมครอน

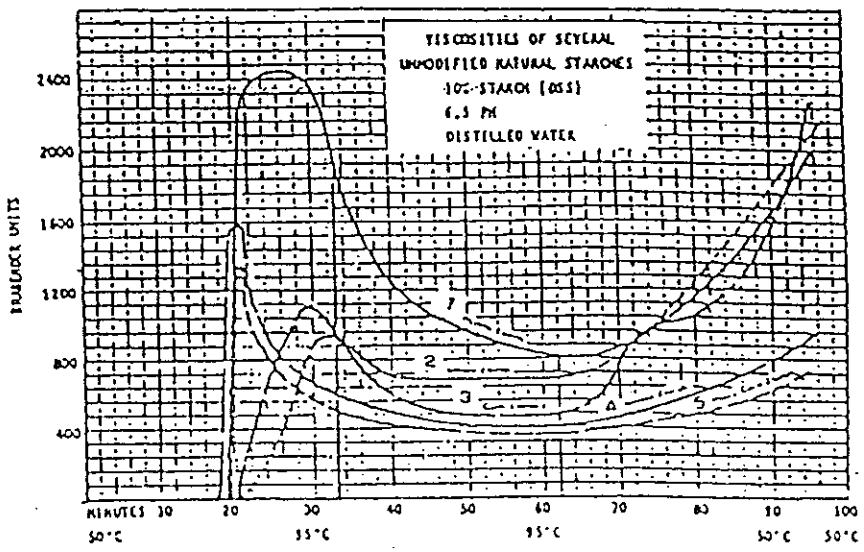
แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature range) เท่ากับ 52 – 64 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) ในช่วงนี้เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำ และเกิดการพองตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการสุกของแป้ง (gelatinization) ความหนืดของแป้งเปียกของมันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดความหนืดสูงสุด (peak viscosity) (รูปที่ 1) เมื่อให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งที่พองตัวเต็มที่จะมีพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างอยู่จะมีกำลัง

อ่อนที่สุด เมื่อได้รับความร้อนและการกวนต่อ โครงสร้างเม็ดแป้งจะ Break down ได้ง่ายทำให้ความหนืดของแป้งเปียกลดลงมาก แต่ในช่วงรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ความหนืดจะลดลงเล็กน้อย ส่วนในช่วง cooling ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากเกิดการคืนตัวของแป้ง ส่วนแป้งข้าวโพดมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลเท่ากับ 62 – 72 องศาเซลเซียส เนื่องจากแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสมาก พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งจึงทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมาก ดังนั้นความหนืดของแป้งเปียกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดความหนืดสูงที่สุดอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนและกวนต่อไป เม็ดแป้งจะเกิดการ break down น้อยเมื่อเทียบแป้งมันสำปะหลัง และในช่วง cooling แป้งข้าวโพดจะเกิดการคืนตัวมาก ทำให้เกิดความหนืดในช่วงนี้เพิ่มขึ้นมาก

โดยทั่วไปแป้งจากพืชจำพวกหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง จะเกิดการคืนตัวน้อยกว่าแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวจ้าว เนื่องจากแป้วมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสน้อย ดังนั้นแนวโน้มที่อะไมโลสจะรวมตัวกันเองและอะไมโลเพคตินมีน้อย สำหรับแป้ง waxy maize มีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 1.0 จะเกิดการคืนตัวน้อยมาก (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งธรรมชาติชนิดต่างๆ

starch	Granule size (μm)		Amylose (%)	Swelling power (at 95 C)	Solubility at 95 C (%)	Gelatinization Range (C)	Source	Taste	General description of granule
Barley	2 – 35	20	22	-	-	59 – 64	Cereal	Low	Round , cliptical
Corn									
Regular	5 – 25	15	26	24	25	62 – 72	Cereal	Low	Round , polygonal
Waxy	5 – 25	15	1	64	23	63 – 72	Cereal	Low	Round , oval indentations
High amylose	-	15	up to 80	6	12	85 – 87	Cereal	Low	Round
Potato	15 – 100	33	24	1000	82	56 – 69	Tuber	Slight	Egg – like , oyster indentations
Rice	3 – 8	5	17	19	-	61 – 78	Cereal	Low	Polygonal clusters
Rye	2 – 35	-	23	-	-	57 – 70	Cereal	Low	Eliptical , lenticular
Sago	20 – 60	-	27	97	-	60 – 72	Pith	Low	Egg – like , some truncate forms
Sorghum	5 – 25	15	26	22	22	68 – 75	Cereal	Low	Round , polygonal
Tapioca (cassava)	5 – 35	20	17	71	48	52 – 64	Root	Fruity	Round – oval , truncated on side
Wheat	2 – 35	-	25	21	41	62 – 75	Cereal	Low	Round , cliptical
Oats	-	25	27	-	-	-	Cereal	Low	Round



รูปที่ 1 กราฟ Brabender ของแป้งธรรมชาติชนิดต่างๆ

1. แป้งมันฝรั่ง
2. แป้งสาลี
3. แป้งข้าวโพด
4. แป้งมันสำปะหลัง
5. แป้ง waxy corn

ที่มา : Hann (1969)

ตารางที่ 2 Characteristics of Gelatinized and Cooled Starch Dispersions

Starch	Hot – Paste viscosity	Texture	Clarity	Stability to retrograde
Corn	Medium	Short – stiff	Opaque	Low
Waxy – maize	Medium – high	Soft – cohesive	Clear	High
Potato	Very – high	Long – cohesive	Clear	Medium
Rice	Medium – low	Short – stiff	Slightly opaque	Low
Sago	Medium – high	Long – cohesive	Clear – translucent	Medium
Tapioca	High	Long – cohesive	Clear – translucent	Medium
Wheat	Medium - low	Soft - short	Slightly opaque	Low

ที่มา : Pomeranz (1985)

2. การเกิดเจลาติไนเซชั่น

โมเลกุลของแป้งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นจำนวนมากและยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อนำไปทำให้แห้งก็จะมีลักษณะเหมือนเดิม (Leach และคณะ ,1959) แต่เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งในน้ำ จะทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวอย่างถาวร ทำให้ส่วนผสมนั้นมีความหนืดและใสขึ้น ปรากฏการณ์นี้คือ การสุกหรือการเกิดเจลาติไนเซชั่น (Rutenberg , 1980) ระดับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนของแป้งจะแตกต่างกันไปในแต่ละแป้งแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่เช่น สัดส่วนของปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวโมเลกุลในเม็ดแป้ง (Wurzburg , 1986) และะเนื่องจากการจัดเรียงตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งมีขนาดต่างกันรวมกันอยู่ จึงทำให้เกิดการเจลาติไนเซชั่นไม่ได้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 – 12 องศาเซลเซียส โดยที่แป้งมันสำปะหลัง มีอุณหภูมิเจลาติไนซ์อยู่ในช่วง 50 – 70 องศาเซลเซียส (Schoch และ Maywald , 1950)

3. การเกิดรีโทรเกรเดชั่น

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชั่นแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีการพองตัวเต็มที่และแตกออกในที่สุด (Blanshard , 1976) โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้ง และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น โดยโมเลกุลของอะไมโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวใกล้ๆ กัน และเกาะเกี่ยวกันเองเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุล ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ ส่วนที่เป็นอิสระไม่ถูกดูดซึมโดยเม็ดแป้งไว้ได้อีก จึงทำให้กลับมีความข้นหนืดที่คงตัวมากขึ้น เป็นลักษณะเจล (gel) แต่ถ้าเป็นส่วนผสมที่มีแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำมากจะไม่เกิดเจล แต่จะรวมตัวกันตกตะกอน (precipitate) การเกิดเจลของแป้งสุกเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีกและตั้งทิ้งไว้นานขึ้น ลักษณะการเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างดังกล่าวยิ่งแน่นมากขึ้น ทำให้โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมานอกเจล (synerisis) และเจลมีลักษณะขาวขุ่น แป้งสุกไม่สามารถรักษรความหนืดเอาไว้ได้ ในสภาวะดังกล่าว ปรากฏการณ์นี้ คือการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Smith , 1979) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการคืนตัวได้แก่ ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่างของระบบ ปริมาณและขนาดอะไมโลสและอะไมโลเพคตินรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง (Swinkels , 1985)

4. การศึกษาความหนืดของแป้งสุก

การพองตัวของเม็ดแป้งทำให้ส่วนผสมมีความข้นหนืดเกิดขึ้น การศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งหรือการตรวจสอบ การตรวจสอบความหนืดของแป้งนิยมใช้เครื่องวัดความหนืดบราเบนเดอร์ ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง ในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงและแสดงผลออกมา ในรูปของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป รูปแบบของกราฟที่ได้ จะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง (William และ kelth , 1980)

ขั้นตอนคือ เตรียมน้ำแป้งในถ้วยทรงกระบอก ที่มีการหมุนด้วยความเร็วคงที่ และในขณะเดียวกันก็เพิ่มอุณหภูมิหรือให้ความร้อนแก่น้ำแป้งในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส จะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 10 – 15 นาที โดยที่มีการหมุนตลอดเวลา จากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงในอัตราเท่ากันจนถึง 50 องศาเซลเซียส และทำการรักษาระดับอุณหภูมินี้ไว้นานประมาณครึ่งชั่วโมง ในสภาวะดังกล่าวเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน มีการพองตัวเกิดขึ้น ทำให้เกิดความหนืดและแรงต้านบน metal pin ที่จุ่มอยู่ แรงนี้จะถูกทำให้สมดุลด้วยสปริงในส่วนของ cartridge ซึ่งจะต่อเชื่อมกันโดยแกนในตัวเครื่อง และมีเข็มบันทึกค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดการวัด (Redley , 1976)

Mazurs (1957) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดและชี้ให้เห็นถึงค่าความหนืดที่สำคัญดังรูปที่ 2 คือ

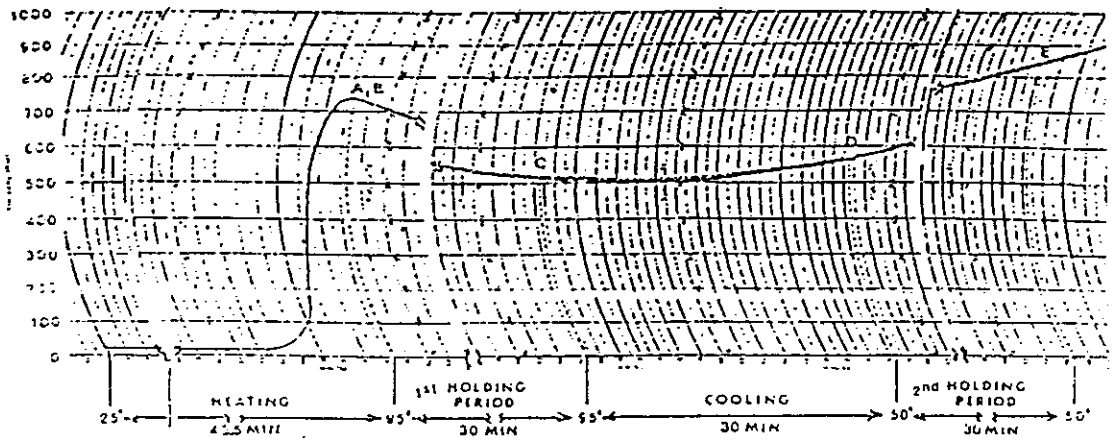
จุด A = ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นความหนืดสูงสุดในช่วงให้ความร้อน

จุด B = ความหนืดเริ่มต้นของอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ชี้ให้เห็นความยากง่ายในการหุงต้ม

จุด C = ความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ชี้ให้เห็นความคงตัวของเม็ดแป้งระหว่างการหุงต้ม

จุด D = ความหนืดเริ่มต้นของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสชี้ให้เห็นถึงการรีโทรเกรเดชั่นเนื่องจากการทำให้เย็น

จุด E = ความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชี้ให้เห็นความคงตัวของน้ำแป้งสุกที่ผ่านการหุงต้มและทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว



รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งโดยใช้เครื่องอะไมโลกราฟ แสดงให้เห็นความหนืดที่สำคัญ 5 จุด

ที่มา : Mazurs และคณะ (1957)

เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น ขณะเดียวกันน้ำที่เหลืออยู่รอบๆ เหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ทำให้เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืดขึ้นเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีก จะมีการรบกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โครงสร้างภายในจะแตกออกทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อลดอุณหภูมิลงเกิดการรีโทรเกรเดชั่นทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการจัดเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง

อรวรรณ (2529) ได้ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องวัดความหนืดบราเบนเดอร์ พบว่าเม็ดแป้งพองตัวได้มาก มีความหนืดสูงเมื่อพองตัวเต็มที่แล้วมีการแตกตัวมาก และไม่คงทนต่อการกวนที่อุณหภูมิหุงต้ม การคืนตัวของแป้งสุกน้อย ซึ่งมีผลมาจากเม็ดแป้งพองตัวมาก แตกเร็ว ในช่วงให้ความร้อน เมื่อผ่านการหุงต้มโมเลกุลแป้งยิ่งห่าง และกระจัดกระจายมากขึ้น ทำให้โอกาสที่โมเลกุลอิสระเคลื่อนที่มาจับกันเป็นไปได้ยาก ลักษณะของแป้งสุกเมื่อเย็นจนถึงอุณหภูมิห้องมีลักษณะเป็นของเหลวข้นไหลได้ใสยึดเกาะติดกัน เหนียวยืดเป็นสาย

5. การดัดแปรแป้ง (Modification of Starch)

แป้งเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี และนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ และมีสมบัติหลายประการที่มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร โดยแป้งจะมีหน้าที่ต่างๆ กันดังนี้ คือ เป็นตัวช่วยให้อาหารเข้มข้นขึ้น เช่นในผลิตภัณฑ์ซอส ซุป ไส้พาย เป็นตัวช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว เช่นในผลิตภัณฑ์สลัด เป็นตัวช่วยให้ส่วนผสมจับกันได้ดี (binding agent) และเป็นตัวดูดความชื้นในน้ำตาล icing เป็นต้น ดังนั้นแป้งที่เติมลงไปในอาหารจะเป็นการช่วยเพิ่มลักษณะปรากฏเนื้อสัมผัส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น แต่ในกระบวนการผลิตอาหารอาจต้องผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนสูง ซึ่งมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งอ่อนตัวลง เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จึงอาจเกิด break down ทำให้ความหนืดลดลงได้ สำหรับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ เมื่อได้รับความร้อนจะสุกง่าย (gelatinization temperature อยู่ในช่วง 52 – 64 องศาเซลเซียส) มีการพองตัวอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มที่เม็ดแป้งจะ break down สูงมาก (รูปที่ 1) ทำให้แป้งเปียกเหลว แต่แป้งเปียกที่ได้จะใส และเกิดการคืนตัวต่ำ (ตารางที่ 2)

การดัดแปรแป้งโดยวิธีทางเคมีสามารถช่วยควบคุมความหนืด การละลาย กำลังการพองตัว การคืนตัวของแป้ง และอื่นๆ ได้ เช่นการดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยา cross – linking จะช่วยเสริมโครงสร้างของเม็ดแป้งให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งสามารถทนความร้อน การผสมที่รุนแรง และ/หรือภาวะที่เป็นกรด ส่วนการดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยา oxidation จะทำให้แรงยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งน้อยลง ช่วยอุณหภูมิแป้งสุกลดลง แป้งละลายน้ำได้ง่ายขึ้น แป้งเปียกจะใสและเกิดการคืนตัวน้อย การดัดแปรแป้งข้าวโพดธรรมชาติด้วยปฏิกิริยา cross – linking และ oxidation จะได้แป้งข้าวโพดดัดแปรที่มีความหนืดที่ต้องการและเสถียรใน heating – cooling cycle

modified starch จะมีค่า peak viscosity ที่อุณหภูมิ 30 – 95 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแป้งธรรมชาติ และเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงกว่าเดิม (กระทรวงอุตสาหกรรม , 2535)

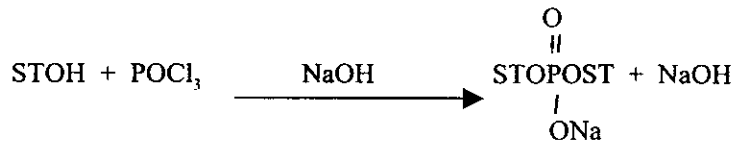
การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยา cross – linking

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยา cross – linking เป็นการสร้างพันธะเชื่อมขวาง (cross – linking) ชนิดโคเวเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งสองสาย จึงทำให้ช่วยเสริมโครงสร้างของเม็ดแป้งให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ความหนืดของแป้งเปียกมีเสถียรภาพดีขึ้นในภาวะการผลิตที่ใช้ความร้อน มีการผสมรุนแรง และ / หรือ มีภาวะที่เป็นกรด

สารเคมีที่ใช้ในการสร้างพันธะเชื่อมขวางที่ใช้กันมากคือ phosphorus oxychloride ($POCl_3$) , sodium trimetaphosphate ($Na_3P_3O_5$) , epicholorohydrin (C_3H_6OCl) , adipic – acetic

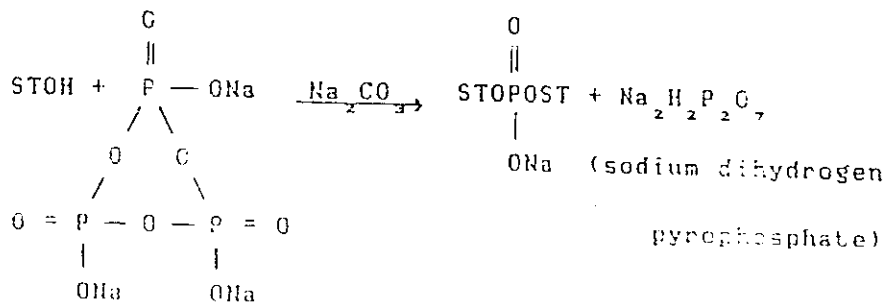
abhydride ($C_{10}H_{14}O_6$) ดังปฏิกิริยาที่แสดงในรูปที่ 2 และแป้งเชื่อมขวางที่ใช้ในอาหารต้องมีสมบัติตามข้อกำหนดดังตารางที่ 3

phosphorus Oxycholoride :



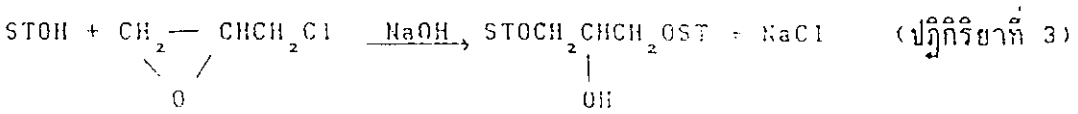
(ปฏิกิริยาที่ 1)

Sodium Trimetaphosphate :



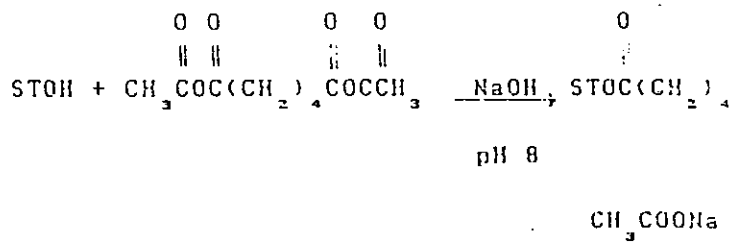
(ปฏิกิริยาที่ 2)

Epichlorohydrin :



(ปฏิกิริยาที่ 3)

Adipic - Acetic Anhydride :



(ปฏิกิริยาที่ 4)

รูปที่ 3 ปฏิกิริยา cross – linking โมเลกุลแป้ง

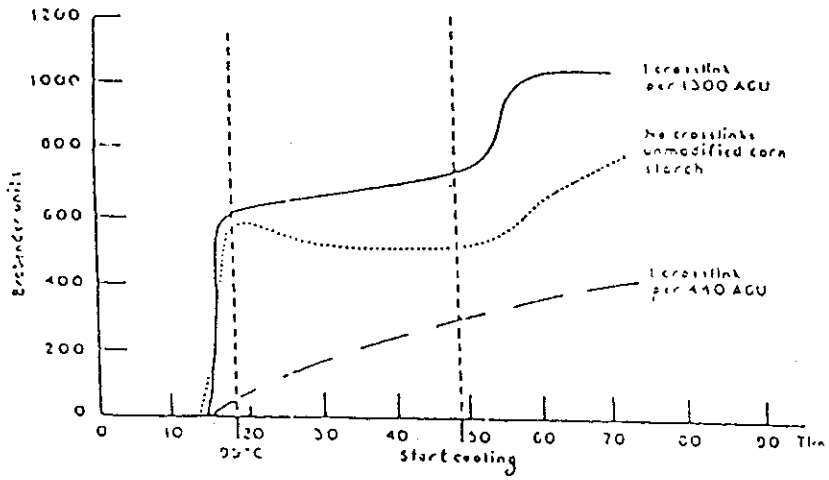
ตารางที่ 3 ประเภทแป้งดัดแปรซึ่งเกิดการเชื่อมขวางที่อนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร

ประเภทแป้งดัดแปร	สารเคมีที่ใช้	ข้อกำหนด
อะเซททิลเลตไดสตาร์ชอะดิเพต (acetylated distarch adipate)	Acetic anhydride และ adipic anhydride ไม่เกินร้อยละ 0.12	หมู่อะเซตทิลไม่เกินร้อยละ 2.5 และหมู่อะดิเพต ไม่เกินร้อยละ 0.135
ไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate)	Sodium trimetaphosphate หรือ phosphorus oxychloride	ฟอสเฟตตกค้างคำนวณในรูปฟอสฟอรัสไม่เกินร้อยละ 0.04
ไดสตาร์ชกลีเซอรอล (distarch glycerol)	epichlorohydrin ไม่เกินร้อยละ 0.3	

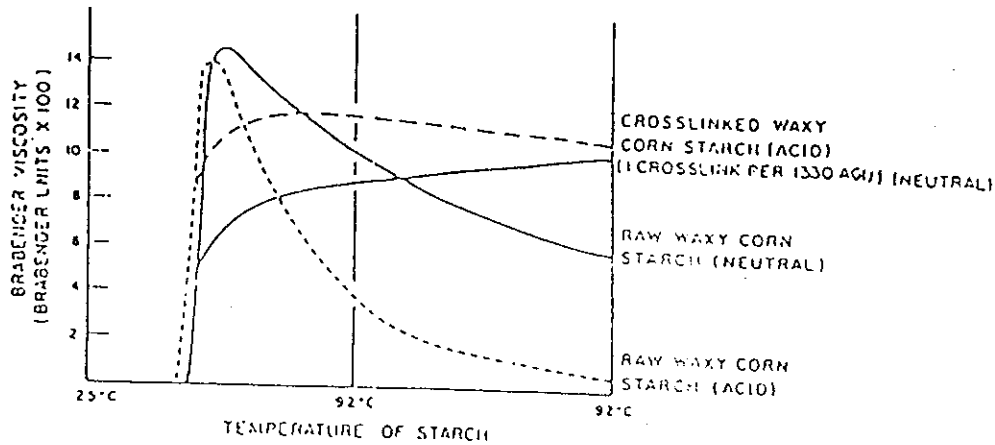
การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยา cross – linking อาจเกิดจากปฏิกิริยาประเภท esterification หรือปฏิกิริยาประเภท etherification การสร้างพันธะเชื่อมขวางในโมเลกุลแป้งด้วย epichlohydrin จะเป็นปฏิกิริยาประเภท esterification ซึ่งจะได้แป้งไดสตาร์ชกลีเซอรอล แต่อนุมูลคลอโรไฮดรินที่ตกค้างในแป้งไดสตาร์ชกลีเซอรอล พบว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง ดังนั้นในปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้แป้งไดสตาร์ชกลีเซอรอลในอุตสาหกรรมอาหาร

การดัดแปรแป้งสร้างด้วยสารพวกฟอสเฟตจะเกิดปฏิกิริยาประเภท esterification ได้แป้งดัดแปร 2 ชนิด คือแป้งโมโนสตาร์ชฟอสเฟต และแป้งไดสตาร์ชฟอสเฟต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารฟอสเฟตที่ใช้และภาวะที่เกิดปฏิกิริยา

แป้งโมโนสตาร์ชฟอสเฟตเป็นแป้งดัดแปรสารพวก ortho , pyro หรือ tripolyphosphoric acid เกิดปฏิกิริยาประเภท esterification ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งกับกลุ่มกรดฟอสฟอริค (ปฏิกิริยาที่ 5 และปฏิกิริยาที่ 6) ได้แป้งโมโนสตาร์ชฟอสเฟต



รูปที่ 4 กราฟ Brabender ของแป้งข้าวโพดธรรมชาติ และแป้งข้าวโพดเชื่อมขวางวัดที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 5



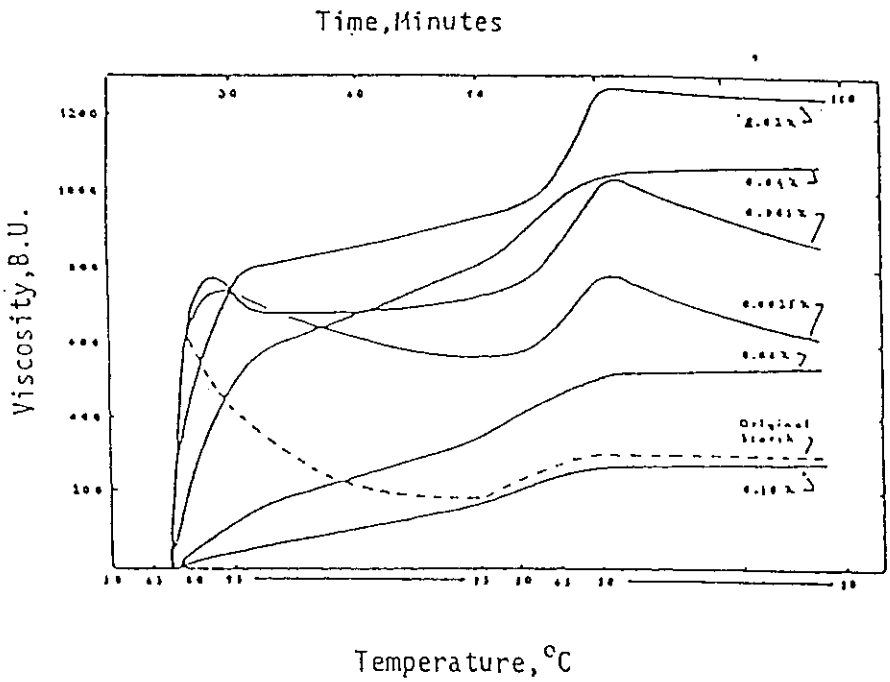
รูปที่ 5 กราฟ Brabender ของแป้ง waxy corn ธรรมชาติ และแป้ง waxy corn เชื่อมขวาง ที่ pH 3 และ 5

ปัจจัยที่มีผลต่อแป้งซึ่งดัดแปรด้วยปฏิกิริยา cross – linking โดยใช้ $Na_3P_3O_9$

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อแป้งซึ่งดัดแปรด้วยปฏิกิริยา cross – linking ได้แก่ความเข้มข้นของ $Na_3P_3O_9$ เวลา อุณหภูมิ และ pH

Kite (1971) ได้ดัดแปรแป้ง waxy sorghum ด้วยปฏิกิริยา cross – linking โดยใช้ $Na_3P_3O_9$ ที่ระดับต่างๆ ที่ภาวะสารละลายแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 (น้ำหนักแป้งแห้ง) ที่ pH 10.00 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าแป้ง waxy sorghum ที่ดัดแปรด้วย $Na_3P_3O_9$ ที่ระดับความเข้มข้นของ $Na_3P_3O_9$ ร้อยละ 0.0025 – 0.0050 แป้ง waxy sorghum ดัดแปรจะมี peak viscosity สูงขึ้น และความหนืดมีการลดลงเล็กน้อยในช่วง heating เมื่อเทียบกับแป้ง waxy sorghum ในธรรมชาติ (รูปที่ 5) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของ $Na_3P_3O_9$ ร้อยละ 0.02 – 0.10

แป้ง waxy sorghum ดัดแปรจะให้ความหนืดเสถียรสูงในช่วง heating โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการ break down ของแป้งเปียกในช่วงนี้ ทั้งนี้ระดับความหนืดจะลดลงตามปริมาณของ $Na_3P_3O_9$



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกใน heating – cooling cycle ของแป้ง waxy sorghum ธรรมชาติ และแป้ง waxy sorghum เชื่อมขวางที่ระดับความเข้มข้นของ $Na_3P_3O_9$ ร้อยละ 0.0025 – 0.1000 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)

การใช้ประโยชน์จากแป้งดัดแปรแบบครอสลิงกิง

การดัดแปรแบบครอสลิงกิงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงแก่โครงสร้างของแป้งให้มีความคงทนต่อการถูกทำลาย จากสภาวะของการหุงต้มเป็นเวลานาน ทนต่อแรงเฉือน และกรด ทำให้แป้งสุก หรือเจลเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติในการไหล (Wurzburg , 1986) แป้งดัดแปรแบบครอสลิงกิงจะให้ความข้นหนืด ที่มีความคงตัวและความหนืดสูง ในสภาวะเหล่านี้และสามารถใช้ร่วมกับการดัดแปรแบบอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ (Lualen , 1985)

Rutenburg และ Solarek (1984) สรุปประโยชน์ของแป้งดัดแปรแบบครอสลิงกิง ที่ใช้ในอาหาร ได้แก่ อาหารที่มีกรดสูง เช่น น้ำสลัด ซอส เพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืดและแป้งดัดแปรจะไม่สูญเสีความหนืดที่พีเอชต่ำ สามารถใช้ได้กับเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่ปั่นอาหารด้วยความเร็วสูงได้ ในอาหารที่ต้องให้ความร้อนสูง เช่น อาหารกระป๋อง เนื่องจากแป้งดัดแปรมีอัตราการพองตัวและการเกิดเจลาติไนซ์ลดลง จึงเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องต้องการให้ความหนืดต่ำในช่วงแรก ซึ่งมีผลให้การนำความร้อนในกระป๋องเป็นไปได้อย่างรวดเร็วจึงใช้เวลาในการฆ่าเชื้อน้อยลง แต่ผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดตามต้องการเมื่อเย็นตัวลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณพร ศิริโรจน์ (2528) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและ pH ที่มีต่อการทำปฏิกิริยา Cross-linking ของแป้งมันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 45 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส pH 10 พบว่าปริมาณของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และเวลาของปฏิกิริยาที่ใช้มีผลต่อระดับการเกิด Cross-linking คือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารและเวลาในการทำปฏิกิริยาระดับของการเกิด Cross-linking จะสูงขึ้นด้วย ระดับการเกิด Cross-linking นี้ติดตามได้จากเสถียรภาพของความหนืดระหว่าง Heating cycleของPasteของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพ และเสถียรภาพของความหนืดของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพจะเพิ่มขึ้นตามระดับการเกิด Cross-linking นอกจากนี้ยังเป็นผลทำให้อุณหภูมิของแป้งสูงขึ้นด้วย ปริมาณของโซเดียมไตรเมตาฟอตเฟสที่เหมาะสมที่ทำให้ Paste มีความหนืดสูงสุด โดยไม่มีการลดลงของความหนืดระหว่าง Heating cycle คือร้อยละ 1.4 และเวลาของปฏิกิริยาคือ 16 ชั่วโมง การศึกษาสมบัติต่างๆ ของแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพพบว่าเมื่อระดับการ Cross-linking สูงขึ้น ปริมาณฟอสเฟตตกค้างและความหนืดของสารละลายแป้งที่ระดับ pH 3.0-5.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 36 นาที จะเพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งลดลงและลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่าง Heating-colding cycle ที่ระดับความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 8 ใกล้เคียงกับแป้งถั่วมาก

ชุติมา สุรรัตน์เดชา และฐิตาภา เขียวขจี (2530) ได้ศึกษาการแปรสภาพแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปใช้ในการทำน้ำสลัดชนิดข้น โดยปรับปรุงความหนืดของแป้งด้วยวิธีเชื่อมข้าม (cross link) โดยใช้สารโซเดียมเมตาฟอสเฟต ทำการศึกษาที่ pH คงที่ (pH 9) ใช้อุณหภูมิ เวลาและความเข้มข้นของสารต่างกัน พบว่าภาวะแป้งที่เหมาะสมในการทำน้ำสลัดข้น คือ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นของสารร้อยละ 1.8 และยังพบว่าปริมาณแป้งดัดแปรที่ใช้ในช่วงร้อยละ 3-4 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหนืดที่เหมาะสม

สุวิมล สร้อยทองสุก และอภิญญา นาระโพธิ์ (2533) ได้ศึกษาการแปรสภาพแป้งมันสำปะหลังแบบ Cross-linking โดยกำหนดภาวะที่อุณหภูมิ 40 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และ 50 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ

0.2, 0.3 และ 0.4 พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ความหนืดของPaste และความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งมีค่าต่ำลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันสำปะหลังแปรสรูปที่ภาวะอุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส เวลา 4 และ 6 ชั่วโมง ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ส่งผลให้แป้งมีความหนืดต่ำ ทนต่อความร้อนและสภาพความเป็นกรดสูงได้ดี น่าจะมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อาหารเด็กอ่อน และซอส

ชัยสง่า แต้รัตนะชัย และคณะ (2532) ได้ศึกษาปฏิกิริยาแบบ Cross-linking สำหรับแปรสภาพแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตวุ้นเส้น โดยได้ทำการศึกษาชนิดของสารเชื่อมข้ามต่างๆ ความเข้มข้นของสารและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิ บัฟเฟอร์ pH และกำลังของ ion เพื่อให้ได้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่มีคุณสมบัติทาง รีโอโลจิกัล ที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นเส้น

สร้อยลัดดา รอดปาน (2532) ได้ทำการศึกษาการใช้แป้งมันสำปะหลังแปรสภาพในการทำขนมชั้นด้วยวิธี Cross-linking โดยใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักแป้ง เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าแป้งมันสำปะหลังยังคงลักษณะเดิม แต่ความหนืดลดลงและทนความร้อนสูงได้ดี เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังไปทำให้สุก (Pregelatized starch) พบว่าเม็ดแป้งมันสำปะหลังสุกจากแป้งมันสำปะหลัง Cross- linking 2 ชั่วโมง เม็ดแป้งแตกหมด ส่วนแป้งมันสำปะหลังสุกจากแป้งมันสำปะหลัง Cross-linking 4 และ 6 ชั่วโมง เม็ดแป้งแตกเพียงบางส่วน นอกจากนี้ยังพบว่าขนมชั้นที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง cross-linking 2 และ 4 ชั่วโมง ร้อยละ 15 และ 30 และแป้งมันสำปะหลัง Cross-linking 6 ชั่วโมง ร้อยละ 16 มีคุณภาพเป็นที่นิยมของผู้บริโภค มีความมันพอดี แต่ละชิ้นเกาะกันน้อย และลอกง่าย

สมเกียรติ เกียรติกิตติกุล (2533) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีสร้างพันธะเชื่อมขวาง และออกซิไดซ์ โดยใช้สารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ภาวะ pH 11 ± 0.10 และอุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและเวลาของปฏิกิริยาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความหนืด คือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.2-0.3 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) กับเวลาของปฏิกิริยา 4-6 ชั่วโมง ความหนืด การละลายและการพองตัวของแป้งจะลดลง ทำให้มีเสถียรภาพของความหนืดมากขึ้น

ดวงใจ ถิรธรรมถาวร (2536) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังแบบ Cross-linking เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.03 และ 0.09 (โดยน้ำหนัก / น้ำหนัก) โซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 1, 2 และ 3 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ในอัตราส่วนต่างๆ กันที่อุณหภูมิ 50 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยา Cross-linking เพิ่มขึ้น ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีเมื่อใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในระดับสูงและ

เวลาในการทำปฏิกิริยา มันสำปะหลังที่เหมาะสมในการดัดแปลงสภาพของแป้งให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดและซอส รวมทั้งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในแต่ละผลิตภัณฑ์ ศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งดัดแปรในระดับอุตสาหกรรม ของเสียในกระบวนการผลิต วิธีป้องกันและกำจัดของเสียที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

จำเริญ อัจฉราภิรักษ์ (2537) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีทางเคมีและกายภาพ โดยวิธีการแปรสภาพทางเคมีและกายภาพแบบเชื่อมข้าม (Cross – linking) ร่วมกับวิธีอะซิทิลเลชั่น (Acetylation) และพรีเจลาติไนเซชั่น (Pregelatinization) พบว่า การดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงมีสภาวะเหมาะสมที่ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.2 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง ที่พีเอช 11.0 แป้งดัดแปรที่ได้จะมีความหนืดและมีเสถียรภาพของความหนืดมากที่สุด ส่วนการดัดแปรโดยวิธีอะซิทิลเลชั่น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ความหนืดของแป้งดัดแปรสูงสุด คือที่ความเข้มข้นของไวนิลอะวิเตตร้อยละ 5 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ที่พีเอช 8.5 นอกจากนี้ การดัดแปรโดยทั้งสองวิธีร่วมกันที่สภาวะเหมาะสมของแต่ละวิธีทำให้ได้แป้งดัดแปรที่มีความหนืดสูงขึ้นกว่า และมีเสถียรภาพของความหนืดเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในแต่ละวิธี ในการทำขนมปังจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยวิธีต่างๆ พบว่าขนมปังที่ได้จากการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงนั้นมีลักษณะที่ดีที่สุด และมีปริมาตรจำเพาะมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงแทนที่แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 ในการทำขนมปังจะได้ขนมปังที่มีลักษณะดีที่สุด

น้ำสลัด

สูตรของน้ำสลัดโดยทั่วไป จะเป็นดังตารางที่ 4 ซึ่งน้ำสลัดจะใช้ปริมาณน้ำมันในการทำน้อยกว่ามายองเนส คือมายองเนสมีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 75-84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำสลัดมีปริมาณอยู่ในช่วง 30-60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประกอบแต่ละอย่างจะมีหน้าที่เฉพาะตัว ปริมาณที่ใช้ในแต่ละตัวมีผลต่อคุณลักษณะที่ดีตามที่ผู้ผลิตต้องการ อัตราส่วนที่สมดุลย์ของน้ำมันและไข่ที่ใช้มีผลต่อโครงสร้าง ความหนืด และเนื้อสัมผัสของสลัด และเครื่องมือกับผู้ผลิตก็มีผลต่อลักษณะเหล่านี้เช่นกัน การใช้เกลือ น้ำตาล น้ำส้มสายชู และเครื่องเทศที่เหมาะสมจะช่วยในด้านความเนียนและรสชาติของสลัด ซึ่งลักษณะอิมัลชันของสลัดมีผลต่อการรับรู้ถึงกลิ่นรสด้วย กล่าวคือ อิมัลชันที่หนืดเหนียว ทำให้รู้สึกถึงรสชาติที่อ่อนลง และสภาพอิมัลชันที่อ่อนทำให้รู้สึกถึงความหวาน กลิ่นรสของกรดน้ำส้ม และความเค็มได้ชัดเจนขึ้น ดังนั้น จึงต้องทำให้กลิ่นรสเหล่านี้ผสมกลมกลืนกันให้ดี

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของน้ำสลัด

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก (ร้อยละ)
น้ำมันสลัด	30.0-60.0
ไข่แดงเหลว[a]	5.3-5.8
น้ำส้มสายชู	2.8-4.5
เกลือ	1.2-1.8
น้ำตาล	1.0-2.5
มัสตาร์ด[b]	0.2-0.8
น้ำมันหอมระเหยจากพริก[c] กระเทียม , หอม , เครื่องเทศ[b]	
เติมน้ำจนครบ 100 ส่วน	

[a] ไข่แดงเหลว ต้องมีปริมาณไข่แดงร้อยละ 43 อาจใช้จากไข่ทั้งฟอง , เหลวหรือผงก็ได้

[b] อาจใช้น้ำมันเครื่องเทศหรือน้ำมันหอมระเหยแทนก็ได้

[c] อาจเพิ่มเข้ามาเพื่อต้องการสีก็ได้

ที่มา : Weiss (1983)

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัด

1. น้ำมัน (Oil)

น้ำมันเป็นแหล่งของไขมัน ซึ่งเป็นอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุด มีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ชนิดคือ กรดไขมันที่อิ่มตัวและกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว แต่กรดไขมันที่มีความสำคัญทางโภชนาการคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยสังเกตดูง่ายๆ คือ กรดไขมันที่อิ่มตัวจะมีลักษณะเป็นมันแข็ง (Fat) เช่น ไขมันที่ได้จากสัตว์ น้ำมันหมู ส่วนกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีลักษณะเป็นน้ำมัน (Oil) คือ น้ำมันพืชทุกชนิด

น้ำมันที่ใช้ควรเป็นน้ำมันสลัด ซึ่งทำจากน้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน หรือน้ำมันโอลีฟก็ได้ น้ำมันพวกนี้จะไม่ตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำจึงไม่เกิดปัญหาการแตกตัวของสลัดเมื่อเก็บไว้ในตู้เย็น เนื่องจากสลัดเนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เม็ดน้ำมันจะกระจัดกระจายอยู่ในสารละลายที่ประกอบด้วย น้ำ ไข่ น้ำส้ม น้ำตาล ฯลฯ

ด้วยเหตุนี้ความหนืดของอิมัลชันจึงขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดและปริมาณน้ำมัน ถ้าเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กและมีปริมาณมาก สลัดจะแข็งตัวมาก โดยปกติถ้าใช้น้ำมันปริมาณร้อยละ 77 – 82 สลัดจะมีความหนืดดี แต่ถ้าใช้น้ำมันต่ำกว่าร้อยละ 65 สลัดจะเหลวเกินไป ในทางตรงข้ามถ้าใช้น้ำมันร้อยละ 82 หรือมากกว่านั้น จะได้สลัดที่ข้นมาก ซึ่งจะเหมาะสำหรับทาขนมปังแซนด์วิช เพราะจะไม่ทำให้ขนมปังดูดน้ำมากเกินไปและไม่ไหล ถ้าใช้น้ำมันถึง ร้อยละ 84 เม็ดน้ำมันจะอัดตัวแน่นมากและผนังที่อยู่ระหว่างเม็ดน้ำมันจะบางมาก ทำให้สลัดไม่ค่อยอยู่ตัว โดยเฉพาะเมื่อได้รับแรงกระเทือนมาก (ณรงค์ , 2528)

Woolhn (1969) กล่าวว่า น้ำมันที่ใช้ในการทำน้ำสลัดควรผ่านกระบวนการ winterization ซึ่งเป็นกระบวนการแยกไตรกลีเซอไรด์ที่หลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงออกจากน้ำมันที่แช่เย็น ทำให้น้ำมันที่ได้ใสเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น ทำให้อิมัลชันไม่เสียสภาพเมื่อเก็บไว้ในตู้เย็น น้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้น้ำสลัดข้นหนืด และยังช่วยให้มีความรู้สึกในปากลื่นขึ้นและดีขึ้น การเติมสารที่เป็นกรดและเครื่องเทศเพื่อช่วยกลบกลิ่นที่ไม่ดี แต่ถ้าน้ำมันเริ่มหืนแล้วสารที่เติมลงไปจะช่วยให้เกิดกลิ่นที่ผิดปกติมากยิ่งขึ้น (Thomas , 1975)

ปัจจุบันน้ำมันที่นิยมนำมาใช้ทำน้ำมันสลัดคือ น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน เนื่องจากมีบทบาทลดระดับโคเลสเตอรอลในไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lopoprotein Cholesterol : LDL – C) ในเลือด จากการศึกษาของ Hui (1996) พบว่าน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองมาก ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้สามารถช่วยได้ และน้ำมันแต่ละชนิดมีกรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid) คือ ไลโนเลอิก (linoleic) และไลโนเลนิก (linolenic) ที่ร่างการสร้างไม่ได้ จำเป็นต้องได้รับจากการบริโภค

2. ไข่ (egg)

ปริมาณแลซนิดของไข่จะมีผลต่ออิมัลชั่น ความหนืด และความคงตัว โดยไข่แดงจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ Matz (1972) กล่าวว่า ไข่แดง ประกอบด้วยกลีเซอไรด์ (Glyceride) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) ในอัตราส่วนประมาณ 2 : 1 ร้อยละ 30 เป็นกรดไขมันในกลีเซอไรด์ที่อิ่มตัว ส่วนฟอสโฟไลปิด ที่ทำให้ไข่แดงมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ประกอบขึ้นด้วยเลซิทิน (Lecithin) ร้อยละ 60 เซฟฟาลิน (Cephalin) ร้อยละ 25 และอื่นๆ อีกร้อยละ 15 ไข่ขาวจะช่วยให้เกิดอิมัลชั่น โดยเกิดโครงสร้างของของแข็ง ซึ่งจับตัวกันเนื่องจากกรด (Fluckiyer , 1966) ในทางอุตสาหกรรมเมื่อต่อยไข่แล้วก็แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว ไข่แดงมีของแข็งร้อยละ 43 แต่เป็นการยากมากที่จะแยกไข่ขาวออกจากไข่แดงได้ทั้งหมด การใช้ไข่ทั้งฟองมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อความหนืด เมื่อปริมาณของแข็งเท่ากัน เนื้อ

สัมผัสของการใช้ไข่ทั้งฟองจะต่างจากการใช้เฉพาะไข่แดงคือ เมื่อใช้ไข่ขาวจะให้ลักษณะเนื้ออ่อนเป็นปุย (Weiss , 1983)

ไข่ที่ใช้อาจจะเป็นไข่สด ไข่แช่แข็ง หรือไข่ผงก็ได้ ไข่สดมักจะทำให้น้ำสลัดเหลวเกินไป แต่จะแข็งตัวเมื่อเก็บไว้นานขึ้น (Kilgore , 1935) ไข่ที่เก็บไว้ 2 – 4 สัปดาห์จะเกิดเจลได้ยาก ไข่ผงใช้ได้ดีมาก น้ำสลัดที่ได้จะมีความเข้มข้นมากเมื่อเทียบกับการใช้ไข่แบบอื่นๆ ไข่แดงที่ใหม่และสดจะทำให้อิมัลชันคงตัวได้ดีกว่าไข่เก่า (ปรียา , 2509) โปรตีนของไข่แดงจะเป็นวุ้นเมื่อถูกแช่แข็ง การเกิดวุ้นจะสูงสุดเมื่อแช่ไว้ 2 – 4 สัปดาห์ ปรากฏการณ์จะเกิดเร็วขึ้นถ้าแช่ไข่ไว้ที่อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และเปลี่ยนเป็น – 18 องศาเซลเซียส ในเวลาที่เท่ากัน เวลาที่แช่ไข่แล้วจะเกิดลักษณะเป็นวุ้นจับตัวกัน เป็นผลมาจากลิปโพโปรตีน ที่มีเลซิติน มีคุณสมบัติสามารถช่วยให้น้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกับของเหลวอื่นได้ (ศิริลักษณ์ , 2522) การเกิดวุ้นของไข่แดงจะไม่กลับคืนเมื่อแช่แข็งและไม่สามารถกระจายได้ดี โดยจะมีลักษณะเนื้อคล้ายยาง การละลายเกลือร้อยละ 10 น้ำตาลร้อยละ 10 และไข่ขาวลงในสารละลายไข่ จะทำให้การเกิดวุ้นมีเพียงบางส่วน และยังช่วยป้องกันการเสื่อเสียจากจุลินทรีย์ขณะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอีกด้วย (Raynolds และ Harris , 1932)

ไข่แดงจะเป็นแหล่งที่ให้สีเหลืองแก่ผลิตภัณฑ์ สีของไข่แดงจะขึ้นอยู่กับอาหารที่ให้แก่ไก่ ดังนั้น สีของไข่จึงเปลี่ยนไปตามฤดูกาล แหล่ง วิธีการเลี้ยง และอื่นๆ ถ้าต้องการให้ไข่เหลือง ผู้เลี้ยงอาจจะให้แซนโทฟิล (xanthophylls) ผสมในอาหารไก่ (Matz , 1972)

3. กรดอินทรีย์ (Organic acid)

กรดอินทรีย์เป็นส่วนสำคัญที่ป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำส้มสายชูกลั่น น้ำส้มสายชูกลั่นเป็นกรดอินทรีย์ที่มีราคาถูก ซึ่งนิยมใช้กันที่ความเข้มข้นอยู่ระหว่างร้อยละ 4.5 – 10.0 และถ้ามีการเติมปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2.5 จะทำให้เชื้อ Salmonella ที่ปนเปื้อนมามีความสามารถในการต้านทานความร้อนลดลง แต่ก็จะมีข้อเสียคือ ทำให้คุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไข่แดงเสียไปในระหว่างการฆ่าเชื้อ (ศิวาพร , 2535) การใช้น้ำส้มสายชูควรมีการกำจัดโลหะหนักในน้ำส้มสายชูออก เพราะจะเป็นตัวเร่งการออกซิไดซ์ (oxidised) ของน้ำมัน (จันทร์สุดา , 2520) น้ำสลัดบางยี่ห้อใช้มะนาว เพื่อให้กลิ่นรสมะนาวหรือบางส่วนเพื่อเหตุผลในการโฆษณา น้ำส้มสายชูไซเดอร์ (cider vinegar) น้ำส้มสายชูมอลต์ (malt vinegar) และน้ำส้มสายชูไวน์มีราคาแพงกว่า น้ำส้มสายชูเหล่านี้จะมีสีคล้ำ เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะมีสีคล้ำด้วย อาจจะแก้ไขโดยใช้ถ่านกรองเพื่อฟอกสี แต่ก็จะทำให้กลิ่นที่ดีถูกดูดไปด้วย

4. มัสตาร์ด (Mustard)

18 ส.ค. 2545
4511001

มัสตาร์ดมีคุณสมบัติที่จะช่วยให้ไขมันรวมตัวกับน้ำได้ดีขึ้น โดยเฉพาะตำรับที่ใช้ไข่มาก มัสตาร์ดจะช่วยได้มาก แต่ตำรับที่ใช้ไข่มาก ความสำคัญของมัสตาร์ดจะน้อยลง แต่อย่างไรก็ดี มัสตาร์ดก็ให้กลิ่นแรงมากเมื่อสัมผัสน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำมัน allyl isothiocyanate เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอ็นไซม์ glucosidase การเก็บไว้นานจะทำให้กลิ่นลดลง การทำลายเอ็นไซม์ ดดยนำมัสตาร์ดไปแช่น้ำส้มสายชูก่อนนำไปใช้จะช่วยให้รักษากลิ่นไว้ได้นานขึ้น การใช้มัสตาร์ดมากเกินไปจะทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดคิดว่าใส่ไข่มาก

นอกจากจะใช้มัสตาร์ดโดยตรงแล้วอาจใช้น้ำมัน allyl isothiocyanate แทนก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่นมัสตาร์ดแรง และไม่มีจุดดำเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้อย่างน้อย 3 เดือนโดยไม่ทำให้กลิ่นเสียไป นอกจากส่วนผสมที่ได้กล่าวมาแล้ว ก็มีการใส่เกลือและน้ำตาลลงไปในน้ำสลัดด้วย แต่ปริมาณไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำอยู่ในน้ำสลัดเพียงร้อยละ 20 เท่านั้น การใส่เกลือและน้ำตาลเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ความเข้มข้นของสาละลายสูงมาก และช่วยลดค่า a_w ในน้ำสลัดให้มีค่าประมาณ 0.92 เพราะสารทั้งสองนี้ละลายในน้ำเท่านั้น ส่วนเครื่องเทศอื่นๆ ที่ใช้กันคือ กระเทียมผง หอมผง และอบเชยผง (ณรงค์ , 2528)

5. แซนแทนกัม (Xanthan gum)

แซนแทนกัมเป็นกัมที่ผลิตขึ้นจากเชื้อรา แซนโทโมนาส แคมเพสทริส (Xanthomonas campestris) ซึ่งดีกว่ากัมที่ผลิตจากพืช สูตรโครงสร้างประกอบด้วย D – glucose : D – mannose : D – glucoronic acid ในอัตราส่วน 3 : 3 : 1 มี O – acetyl groups ร้อยละ 4.7 และ Pyruvic acid ร้อยละ 3.0 – 3.5 กัมเป็นทั้งสาร Emulsifier และ Thickening agent มีอนุภาคที่กระจายได้ในน้ำและที่ไม่ละลายในส่วนของน้ำมัน และช่วยป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยตกตะกอน และช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดไขมันจับกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการลดโคเลสเตอรอลด้วย เพราะสามารถลดปริมาณไข่แดงที่จะต้องใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ได้ และในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดแคลอรี่ต่ำ กัมยังมีส่วนช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัสด้วย (ศิวาพร , 2535) ปริมาณที่แนะนำให้ใช้กับน้ำสลัดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้คือ ประมาณร้อยละ 0.2 – 0.3 สำหรับสูตรที่มีน้ำมันร้อยละ 50 – 60 แลบะร้อยละ 0.3 – 0.4 สำหรับสูตรที่มีน้ำมันร้อยละ 30 , ร้อยละ 0.4 – 0.6 สำหรับสูตรที่มีน้ำมันร้อยละ 10 – 20 (Imeson , 1992)

6. เลซิติน (Lecithin)

เลซิติน เป็นฟอสโฟลิปิดที่ชื่อ phosphatidyl choline ในโมเลกุลมีกลีเซอรอลเป็นแกนมีกรดไขมันอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 เช่น palmitic acid และ oleic acid และฟอสเฟตที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 เอสเตอริไฟด์กับ hydroxyl group ของแอลกอฮอล์ choline เลซิตินสามารถสกัดได้จากวัตถุดิบซึ่งเป็นพืชและสัตว์ที่มีปริมาณฟอสโฟลิปิดสูง เช่น ไข่ไก่

ถั่วเหลือง มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ คือผสมน้ำให้เข้ากับน้ำมันได้ เลซิติน เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในน้ำสลัด และมายองเนส เพื่อช่วยให้อิมัลชั่นคงตัว (ศิวาพร , 2535)

3. กรรมวิธีการผลิตน้ำสลัด

ณรงค์ (2528) กล่าวถึงวิธีการผลิตน้ำสลัดที่นิยมกันโดยทั่วไปว่ามี 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ผลสกรดกับไข่แดงและเครื่องเทศเข้าด้วยกันก่อนใส่น้ำมัน การผสมแบบนี้นิยมกันมาก เพราะจะทำให้เกิดอิมัลชั่นได้รวดเร็ว และสามารถเติมน้ำมันได้มากในระยะแรก แต่การกระจายของไขมัน มีลักษณะเม็ดใหญ่เมื่อเทียบกับการผสมแบบตีไข่กับน้ำและน้ำมันก่อนเติมกรด กรดที่จะใช้จะทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้น กรดจึงทำให้น้ำสลัดเหลวขึ้น การผสมแบบนี้ต้องใช้น้ำมันน้อยๆ ก่อน โดยเฉพาะ 2 – 3 ครั้งแรก และการเติมน้ำมันแต่ละครั้งจะต้องตีให้น้ำมันรวมตัวเป็นอิมัลชันแล้วจึงเติมน้ำมันครั้งต่อไป หลังจากนั้นเพิ่มปริมาณน้ำมันให้มากขึ้น แต่น้ำมันที่เติมครั้งต่อไปไม่ควรมากกว่าอิมัลชั่นที่เกิดขึ้นแล้ว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วของการตี การตีอย่างรุนแรงและอย่างทั่วถึงหลังจากเติมน้ำมันครั้งแรกมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้น้ำสลัดเหนียวข้นและไม่แตกตัว การตีอาจทำอย่างต่อเนื่องหรือหยุดเป็นครั้งคราวก็ได้ ผู้ผลิตบางคนกล่าวว่า การหยุดเป็นครั้งคราวจะทำให้เม็ดน้ำมันมีโอกาสสัมผัสกับสารช่วยกระจายไขมันมากขึ้น

วิธีที่ 2 ใส่กรดกับน้ำมันสลับกันลงไปในส่วนผสมอื่น วิธีนี้ผสมไข่กับส่วนผสมแห้งให้เข้ากันก่อน แล้วจึงเติมน้ำมันอย่างช้าๆ สลับกับกรด ถ้าใส่น้ำมันเร็วเกินไปจะทำให้น้ำมันจับตัวกันและเกิดการแตกตัว น้ำสลัดที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเหลว ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมเหลวเกินไป ไม่สามารถทำให้น้ำมันกระจายเป็นเม็ดเล็กๆ และอยู่ตัวได้

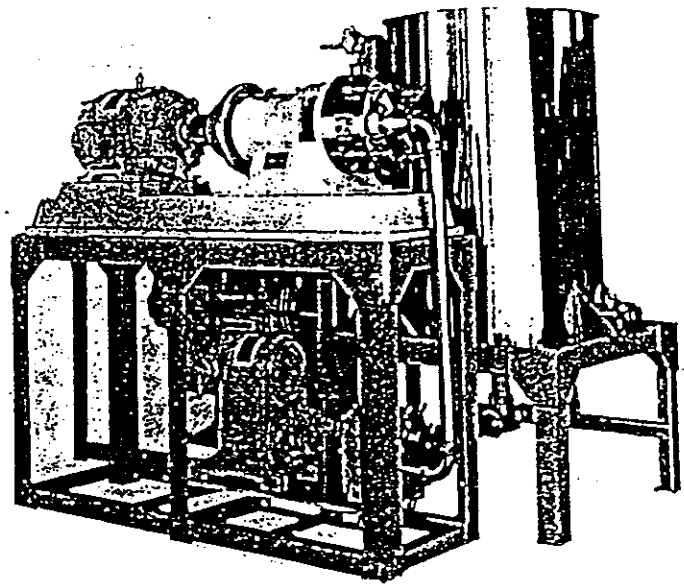
วิธีที่ 3 ใส่กรดหลังจากตีน้ำมันกับไข่แดงแล้ว เป็นวิธีการที่ได้ปรับปรุงให้ดีขึ้น เป็นวิธีที่ผสมน้ำมันกับไข่แดงก่อนแล้วจึงใส่กรดลงไป น้ำสลัดที่ได้มีลักษณะข้นกว่าใส่กรดสลับกับน้ำมัน ในการผสมต้องให้ส่วนผสมแข็งตัว จะต้องใส่น้ำมันน้อยๆ ในระยะแรก และเมื่อตีเข้ากันดีแล้วจึงใส่ให้มากขึ้น ไม่ควรปล่อยให้ส่วนผสมแข็งตัว จะต้องตีน้ำมันให้รวมตัวก่อนที่จะใส่น้ำมันลงไปอีก หลังจากใส่น้ำมันจนหมดแล้วจึงเริ่มใส่กรด ปริมาณกรดที่ใส่แต่ละครั้งจะไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำสลัดมากนัก แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรใส่กรดมากจนเกินไป การผลิตน้ำสลัดแบบนี้ให้น้ำสลัดที่ข้นมาก แต่ถ้าต้องการลดความเข้มข้นให้น้อยลง ให้เปลี่ยนมาใช้วิธีผสมแบบใส่กรดสลับกับน้ำมันบ้าง ในระหว่างการผสมถ้าน้ำสลัดมีลักษณะเหนียวข้นมากให้เติมกรดน้ำส้มลงไปเล็กน้อย

4. เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัดและมายองเนส

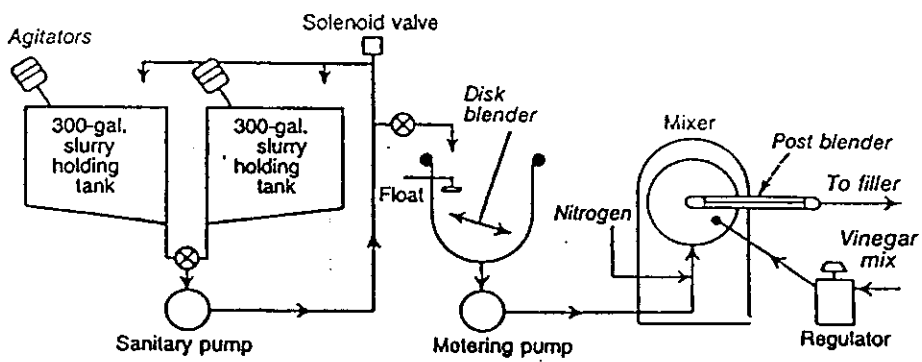
Weiss (1983) กล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัดและมายองเนส ที่รู้จักกันโดนทั่วไปว่ามีอยู่ 2 ระบบ ก็คือ

1. Dixie – Chalotte System ประกอบด้วย เครื่องผสมดิซี (Dixie mixer) ซึ่งเป็นถังทรงกระบอกสูง ก้นถังมีแกนติดใบพัดตามแนวนอนที่ปรับความเร็วในการหมุนได้ และเครื่องบดแบบชาลอตต์ (Chalotte Colloid mill) ซึ่งเป็นเครื่องบดแบบจาน จานหนึ่งหมุน อีกจานหนึ่งอยู่กับที่ จานทั้งสองมีปุ่มแหลมปลายตัดสับหว่างกัน ปรับระยะห่างระหว่างจานบดทั้งสอง ทั้งนี้เนื่องจากความละเอียดของอิมัลชั่นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจานบด โดยระยะที่เหมาะสมคือ 25 – 40 มิล (1 มิล เท่ากับ 1/1000 นิ้ว) จะหมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 3,600 รอบต่อนาทีอย่างคงที่ ความหนืดของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องบดชาลอตต์ (Weiss , 1983) การทำงานของระบบ Dixie – Chalotte เป็นระบบกึ่งต่อเนื่อง คือผสมส่วนผสมสลับกัน 2 เครื่อง และพร้อมที่จะส่งเข้าบดสลับกัน (รูปที่ 7)

2. AMF System ประกอบด้วย ถังผสมเริ่มต้น (premix feed tank) และการผสม 2 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 8 ในถังผสมเริ่มต้น จะมีการกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ส่วนผสมของไข่แดงกับน้ำมันและส่วนผสมที่แห้งละลายเข้าด้วยกัน ขั้นตอนการเกิดอิมัลชั่นจะต่อเนื่องกันไปโดยที่ขั้นตอนแรกของ AMF ชามขนาดเล็กที่ติดใบพัดหมุนด้วยความเร็ว 875 รอบต่อนาที นำส่วนผสมทั้งหมดจากถังเริ่มต้นและน้ำส้มสายชูที่ใช้ร้อยละ 20 ผสมลงไป ทำให้ข้นและมีอนุภาคอิมัลชั่นขนาดใหญ่เกิดขึ้นในการผสมขั้นแรกนี้ จากนั้นส่งต่อไปยังเครื่องผสมขั้นที่ 2 เรียกว่า Oakes type mixer ในขั้นนี้เองจะเติมน้ำส้มสายชูที่เหลือลงไป เครื่องผสมจะหมุนด้วยควมเร็วประมาณ 475 รอบต่อนาที ซึ่งจะช้ากว่าคอลลอยด์มิล ทั้งนี้เพราะซี่ของเครื่องผสมจะอยู่ติดกันมาก อนุภาคของน้ำมันที่ได้จากการผลิตระบบนี้ จะมีขนาดเดียวกันและเล็กกว่าการใช้ Dixie – Chalotte System และการใช้ AMF System นี้จะได้น้ำสลัดที่มีลักษณะปรากฏและความคงตัวของอิมัลชั่นดีกว่าระบบอื่นๆ



รูปที่ 7 ระบบการผลิตน้ำสลัดและมายองเนสแบบ Dixie – Chalotte
ที่มา : Balanowsli (1976)



รูปที่ 8 ระบบการผลิตน้ำสลัดและมายองเนสแบบ AMF โดยใช้ Oakes Mixer
ที่มา : lowler (1953)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำสลัดและมายองเนส

Hughes (1953) กล่าวถึง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตและความคงตัวน้ำสลัดและมายองเนสดังนี้

1. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เป็นหยดเล็กๆ ได้ยาก และการเกิดอิมัลชั่นจะช้า อุณหภูมิขณะที่ทำการผสมที่เหมาะสมคือ 16 – 21 องศาเซลเซียส (Mattil , 1964) ถ้าผสมที่อุณหภูมิสูง การขยายตัวของน้ำกับน้ำมันจะไม่เท่ากัน ทำให้ไม่เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

2. ส่วนผสมและอัตราส่วนที่ใช้

ไข่แดงเป็นส่วนผสมที่สำคัญเนื่องจากเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้น้ำมัน กรดน้ำส้ม และส่วนผสมอื่นๆ ผสมกันเป็นอิมัลชั่น ไข่ที่แช่แข็งเมื่อผ่านการละลายน้ำแข็งออกจะมีความหนืดมากกว่าไข่สด ไข่แช่แข็งจึงเหมาะสำหรับระยะแรกของการผสมเท่านั้น เพราะทำให้เกิดสภาพอิมัลชั่นเร็ว ส่วนผสมอื่นๆ เช่น เกลือ และเครื่องเทศต่างๆ นอกจากจะเป็นตัวให้กลิ่นรสแล้วยังมีหน้าที่ช่วยรักษาสภาพอิมัลชั่นด้วย

3. เครื่องมือที่ใช้

ในการผลิตถ้าใช้เครื่องกระจายไขมัน จะทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ได้ดี แต่ถ้าใช้เครื่องมือตีผสมไฟฟ้าเข้าช่วยทำให้สะดวกและเร็วขึ้น ภาชนะที่ใช้ผสมจะต้องมีลักษณะกลมและมีขนาดเหมาะสมกับเครื่องตี ก้นภาชนะควรมีขนาดเล็กกว่าปากเล็กน้อย เพื่อให้การผสมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การชักนำให้เกิดอิมัลชันทำโดยการใส่น้ำสลัดลงไปเล็กน้อยขณะทำการตีครั้งแรกจะช่วยให้เกิดอิมัลชั่นได้ง่าย และทำให้น้ำสลัดมีความหนืดมากขึ้น ถึงแม้จะใส่ไข่แดงเล็กน้อย

6. การแยกชั้นและการเสื่อมสภาพของน้ำสลัดและมายองเนส

Allen และคณะ (1982) กล่าวว่า น้ำสลัดและมายองเนสจัดเป็นอาหารประเภทที่เสื่อมคุณภาพได้ปานกลาง (Semiperishable product) จึงเก็บไว้ได้นานพอสมควรโดยไม่ต้องใส่ตู้เย็น Grey (1972) ได้ศึกษาการเสียสภาพของน้ำสลัดเนื่องจากอัตราส่วนของน้ำและน้ำมันไม่สมดุลย์กัน และสรุปว่า การเสียสภาพอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุคือ

1. การใส่น้ำมันเร็วเกินไป

เมื่อหยดน้ำมันหยดเล็กๆ รวมตัวกันมากๆ จะทำให้เกิดการแยกชั้น ถ้าเกิดในขณะกำลังผสมแสดงว่าการเติมน้ำมันเติมเร็วเกินไป หรือมีอัตราส่วนของน้ำมันต่ออิมัลซิไฟเออร์สูงเกินไป

2. ไม่มีการตีอย่างสม่ำเสมอในขณะที่ทำให้เกิดอิมัลชั่น

การตีไม่สม่ำเสมอ หรือมีส่วนผสมของน้ำเกินกว่าร้อยละ 15 เมื่อตั้งน้ำสลัดและมายองเนสไว้นานอาจเกิดการแยกชั้นได้ โดยเฉพาะที่อยู่ส่วนล่างของขวด

3. อุณหภูมิในการเก็บสูงเกินไป

ถ้าเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงเกินไป น้ำสลัดและมายองเนสจะเกิดการแยกชั้นเนื่องมาจากอัตราการขยายตัวของน้ำกับน้ำมันไม่เท่ากัน

4. มีการเขย่าระหว่างการขนส่ง

เมื่อภาชนะบรรจุได้รับแรงสะเทือนมาก ทำให้เม็ดน้ำมันรวมตัวกันได้ง่าย และเกิดการแยกชั้น โดยเฉพาะเมื่อทำการขนส่งเป็นระยะทางไกลๆ

นอกจากนี้การแช่แข็งผลิตภัณฑ์น้ำสลัดและมายองเนสจะทำให้ฟิล์มของอิมัลซิไฟเออร์แตก ทำให้หยดน้ำมันรวมตัวตัวกันทำให้เกิดการแยกชั้น และถ้าปิดฝาภาชนะบรรจุไม่สนิททำให้น้ำระเหยออกไปมาก ทำให้ความเข้มข้นของน้ำมันต่ออิมัลซิไฟด์เพิ่มขึ้น จนเกิดการแยกชั้น (ณรงค์ , 2528) การคืนสภาพของน้ำสลัดและมายองเนส ทำได้โดยใช้ไข่แดง 1 ฟองพร้อมด้วยน้ำ น้ำส้มสายชูประมาณ 2 ช้อนโต๊ะ ค่อยๆ เติมลงในน้ำสลัดและมายองเนสที่แยกชั้นทีละน้อย สลับกับการตีให้เข้ากัน

7. การป้องกันการเสื่อมเสียและการควบคุมคุณภาพน้ำสลัดและมายองเนส

ความคงตัวของอิมัลชั่นมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตน้ำสลัดและมายองเนส เนื่องจากความคงตัวของอิมัลชั่นเป็นสิ่งชี้บ่งความสำเร็จในการแยกหยดน้ำมัน (Oil droplet) อิมัลชั่นที่ดีของน้ำสลัดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำมันใหญ่ที่สุดไม่ควรเกิน 6 – 8 ไมครอน โดยทั่วไปจะอยู่ในระหว่าง 2 – 4 ไมครอน ในอิมัลชั่นที่ไม่ดีเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำมันส่วนใหญ่จะเป็น 10 ไมครอนหรือใหญ่กว่า และทั่วไปจะมีอากาศประมาณร้อยละ 10 – 12 โดยปริมาตร อยู่ในอิมัลชั่นระหว่างการผสม (Daniel , 1945)

การเกิดกลิ่นหืนเป็นสาเหตุการเสื่อมคุณภาพของน้ำสลัดและมายองเนส เนื่องจากมีน้ำมันพืชและไข่ การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์พบว่ามีน้อยมาก เนื่องจากน้ำสลัดมีส่วนประกอบของกรดอินทรีย์ในปริมาณที่มาก แต่อย่างไรก็ตาม รา ยีสต์ และแลคโตบาซิลไลย ก็อาจพบได้ในบางครั้ง (Smith , 1977) การเลือกใช้น้ำมันพืชก็ต้องเลือกที่มีคุณภาพดี น้ำมันที่มีคุณภาพไม่ดีก็อาจทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ไข่ต้องสะอาดไม่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อน ซึ่งส่วนผสมทั้งสองอย่างจะมีผลต่อกลิ่นรส และความคงตัวของอิมัลชั่น ผงมัสตาร์ดต้องไม่มีสิ่งปนเปื้อน การรักษาความสะอาด วัตถุดิบ การผลิต มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลำดับขั้นตอนในการใส่ส่วนผสมและเวลาที่ใช้ในการผสมมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอิมัลชั่นที่คงตัว (McKenzie และ