บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการวิจัยประเภทการพัฒนาทดลอง (experimental development) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่ถั่วเหลืองเพาะงอกสำหรับผู้สูงอายุ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากเอกสารงานวิจัย หนังสือ และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง
2. เยลลี่
3. ผู้สูงอายุ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน family Leguminosae, sub – family Papalionoideae และ tribe phaseoleae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merrill สามารถจัดจำแนกถั่วเหลืองตามขั้นตอนทางพฤกษศาสตร์ได้ ดังนี้ (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

Kingdom	Plant Kingdom
Subkingdom	Cormobionta
Division	Spermatophyta
Subdivision	Angiospermae
Class	Dicotyledoneae
Subclass	Archichlamydae
Order	Polypetalae
Suborder	Leguminosinae
Family	Leguminosae
Subfamily	Papalionoideae
Tribe	Phaseoleae
Subtribe	Glycininae
Genus	Glycine
Subgenus	Soja
Species	*max*

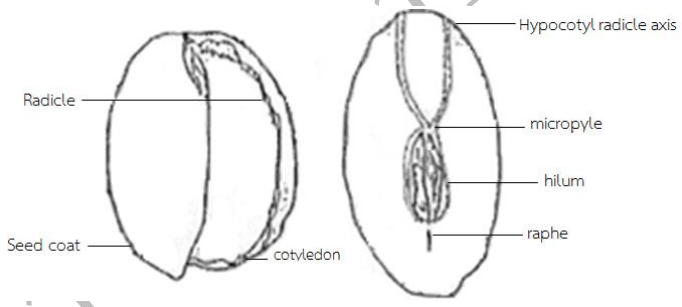
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองเกิดขึ้นในฝัก ซึ่งฝักหนึ่งจะมีเมล็ดไม่เกิน 3 เมล็ด เมล็ดถั่วเหลืองมีลักษณะกลมรีคล้ายไต และหนักประมาณ 120-180 มิลลิกรัมต่อเมล็ด เมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่มีสีเหลืองฟาง มองจากภายนอกเมล็ด จะเห็นรอยแผลเป็น เรียกว่า ตา หรือขั้วเมล็ด หรือ hilum ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดติดกับฝัก และมีรูเล็ก ๆ ที่เป็นจุดที่เชื้อตัวผู้เข้าผสมกับไข่ เรียกว่า micropyle ถัดไปจะเป็นรอยนูน

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ของ hypocotyl-radicle axis ปลายอีกด้านหนึ่งของ hilum จะเป็นร่องเล็ก ๆ เรียกว่า raphe ซึ่งจะขยายยาวไปถึง chalaza ซึ่งเป็นจุดที่ integument ติดกับ ovule (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

เมล็ดถั่วเหลืองประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน ด้วยกัน ได้แก่ เปลือกเมล็ด (seed coat) ต้นอ่อน (embryo) และเนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (storage tissue หรือ supporting tissue) เปลือกเมล็ดเป็นส่วนนอกสุด ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนประกอบภายในให้คงรูปเป็นเมล็ด เปลือกเมล็ดถั่วเหลืองเจริญมาจากส่วนของ integument ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อห่อหุ้ม ovule นอกจากเปลือกเมล็ดจะทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดส่วนที่อยู่ภายในแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับส่วนที่อยู่ภายใน เช่น ใบเลี้ยงและต้นอ่อน มิให้ถูกทำลายโดยเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย หากเปลือกเมล็ดชำรุด หรือถูกทำลาย โอกาสการงอกของเมล็ดก็จะเป็นไปโดยยากลำบาก ส่วนที่สองของเมล็ดถั่วเหลือง ได้แก่ ต้นอ่อน (embryo) ต้นอ่อนของถั่วเหลือง ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ epicotyl hypocotyl และ radicle radicle เป็นส่วนที่เจริญเติบโตไปเป็นราก hypocotyl จะยืดออกเมื่อเมล็ดงอก ทำหน้าที่ชูใบเลี้ยงขึ้นเหนือผิวดิน สำหรับ epicotyl จะกลายเป็นส่วนแรกของลำต้น และประกอบไปด้วยจุดเจริญ (growing point) ซึ่งจะเติบโตเป็นต้นถั่วเหลืองอีกทีหนึ่ง ส่วนที่สามที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของถั่วเหลือง ได้แก่ เนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (storage tissue หรือ supporting tissue) เนื้อเยื่อดังกล่าว ได้แก่ ใบเลี้ยง (cotyledon) ซึ่งทำหน้าที่เก็บและจ่ายอาหารตลอดจนผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ ให้แก่ต้นอ่อน ในลักษณะเดียวกันกับ endosperm ในเมล็ดข้าวโพด (อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง
ที่มา: อภิพรรณ พุกภักดี (2546)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด (Chemistry of seed)

เมล็ดพืชทุกชนิดมีอาหารเก็บสะสมไว้ในเมล็ด สำหรับต้นอ่อนที่จะงอกเป็นต้นกล้าใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนา จนกว่าต้นกล้าที่งอกสามารถสังเคราะห์แสงเองได้ ชนิดและปริมาณอาหารที่เก็บสะสมไว้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช พันธุ์และสถานที่ปลูก อาหารที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ ไขมัน แป้งหรือคาร์โบไฮเดรต โปรตีน สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ สารชนิดต่าง ๆ ในเมล็ดธัญพืชและพืชตระกูลหญ้า อาหารที่พบในเมล็ดส่วนใหญ่คือ แป้งในรูปของสตาร์ช (starch) ส่วนเมล็ดพืชน้ำมันมีไขมันในรูปของกลีเซอไรด์ (glycerides) สูง ขณะเดียวกันก็มีโปรตีนสูงด้วย อาหารที่สะสมไว้ในเมล็ดส่วนใหญ่เก็บสะสมไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร ซึ่งอาจเป็นใบเลี้ยง เอนโดสเปิร์ม หรือเพอริสเปิร์ม เมล็ดพืชชนิดใดที่มีแป้งในเมล็ดสูง มักมีไขมันและโปรตีนต่ำ ส่วนเมล็ดที่มีไขมันและโปรตีนสูง จะมีแป้งน้อย แป้งและไขมันที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดพันธุ์พืชนั้น มี

ความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ อาหารส่วนใหญ่ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดได้แก่

(ก) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่พบในเมล็ดคือสตาร์ชและเฮมิเซลลูโลส สำหรับสตาร์ช พบมากในเมล็ดพืชพวกธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นต้น สตาร์ชที่พบในเมล็ดมี 2 ชนิดคือ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกติน (amylopectin) ในแอมิโลส ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส (glucose) ประมาณ 300 ถึง 400 โมเลกุลต่อกันเป็นสายยาว ส่วนแอมิโลเพกตินมีกลูโคสมาต่อกันแบบมีการแตกกิ่งก้านสาขา สตาร์ชทั้งสองชนิดนี้พบใน sub-cellular bodies เรียกว่าเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ กัน ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นวงหรือ shell ปรากฏให้เห็นในพืชบางชนิด คาร์โบไฮเดรตอีกชนิดที่พบคือ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ในพืชบางชนิดอาจพบเฮมิเซลลูโลส ในเอนโดสเปิร์มและใบเลี้ยงในรูปของอาหารที่เก็บสะสมไว้ นอกจากสตาร์ชและเฮมิเซลลูโลสแล้วในเมล็ดยังมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นในปริมาณน้อย อาทิ มิวซิเลจ (mucilages) สารประกอบพวกเพกติน (pectin) และน้ำตาลในรูปอื่น ๆ เช่น สตาร์ซีโอส (starchyose) ซูโครส (sucrose) และราฟฟิโนส (raffinose) เป็นต้น

(ข) ไขมัน (fat)

ไขมันที่สะสมในเมล็ดอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ซึ่งเป็นเอสเทอร์ (ester) ของกลีเซอรอลและกรดไขมัน ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่พบทั่วไป ได้แก่ กรดโอลีอิค กรดลิโนลีอิค (linoleic) และกรดลิโนลีนิค (linolenic) เป็นต้น ไขมันที่พบในเมล็ดมีทั้งที่ fat และ oil นอกจากนี้ยังมีไขมันในรูปอื่น ๆ เช่น ฟอสโฟลิปิด แอลกอฮอล์ และแวคส์ (wax) เป็นต้น เมล็ดพืชที่มีไขมันสูง ได้แก่ พืชตระกูลถั่วชนิดต่าง ๆ โดยทั่วไปเมล็ดพืชที่มีไขมันสูง มักมีโปรตีนสูงด้วย

(ค) โปรตีน (protein)

โปรตีนที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นพวก เมตะโบลิค อินแอคทีฟ (metabolic inactive) ในขณะเดียวกันอาจพบพวกเมติโบลิค แอคทีฟ (metabolic active) อยู่บ้าง เช่น เอนไซม์ และนิวคลิโอโปรตีน (nucleoprotein) โปรตีนในเมล็ดสะสมอยู่ในโปรตีน บอดี้ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างคล้ายกับเม็ดแป้ง โปรตีนในเมล็ดพืชมีอยู่ 4 ชนิด คือ อัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) ซึ่งเป็นพวกเมตะโบลิค แอคทีฟ ส่วนอีกสองชนิดคือ กลูเตลิน (glutelin) และโพรลามิน (prolamin) เป็นพวกเมตะโบลิค อินแอคทีฟ ชนิดของโปรตีนที่พบในเมล็ดพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เช่น เมล็ดพืชมีโพรลามินอยู่มาก แต่ในพืชชนิดอื่นอาจพบน้อย ในเมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่มักพบโกลบูลินในปริมาณมาก ปริมาณแป้ง ไขมัน และโปรตีน ในเมล็ดพืชต่างชนิดกัน ต่างพันธุ์กัน และเมล็ดสุกที่แก่ต่างกันจะแตกต่างกัน

นอกจากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีนซึ่งพบในปริมาณมากแล้ว เมล็ดยังประกอบด้วยสารประกอบชนิดอื่น ๆ หลายชนิด แต่พบในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารกลุ่มดังกล่าว สารประกอบเหล่านี้ ได้แก่

(ง) สารเร่งการเจริญเติบโตของพืช (growth regulators)

สารเร่งการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ฮอร์โมน ออกซิน จิบเบอเรลลินส์ ไซโตคินิน และพวกสารยับยั้งการเจริญเติบโต ชนิดและปริมาณที่พบในเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช พันธุ์ อายุ และการสุกแก่ของเมล็ด

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

(จ) วิตามิน (vitamin)

วิตามินที่พบในเมล็ดมีหลายชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น

(ฉ) เม็ดสี (pigment)

เม็ดสีที่พบในเมล็ดได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีน และฟลาโวนอยด์ ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดมักมีเมล็ดสีพวกแอนโธไซยานิน (anthocyanin) หรือลิวโคแอนโธไซยานิน (leucoanthocyanin) นอกจากนี้ยังมีเม็ดสีที่พบเฉพาะในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น ในเมล็ดฝ้ายมีต่อมกอสซิพอล ซึ่งเป็นเม็ดสีสีเหลืองบนส่วนของเมล็ด เป็นต้น

(ช) แทนนิน (tannin)

เมล็ดพืชบางชนิด มีแทนนินอยู่บนส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด หรือเปลือกของผล เช่น แทนนินบนเปลือกของผลในเมล็ดข้าวฟ่าง และบนเยื่อหุ้มเมล็ดของโกโก้ และพืชตระกูลถั่วบางชนิด

(ซ) สารประกอบพวกอัลคาลอยด์ (alkaloids)

เมล็ดพืชบางชนิดมีสารอัลคาลอยด์บางอย่างในปริมาณที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น มอร์ฟีนจากเมล็ดหรือผลของฝิ่น คาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟ เป็นต้น

(ฌ) แร่ธาตุอาหารอื่น ๆ

ชนิดของธาตุอาหารที่พบในเมล็ดคล้ายคลึงกับที่พบบนส่วนอื่น ๆ ของพืช ธาตุอาหารเหล่านี้ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นธาตุอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส โบรอนและอื่น ๆ เป็นต้น

2.1.3 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529)

การงอกของเมล็ด หมายถึง ขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด เป็นผลให้มีการเจริญเติบโตของต้นอ่อน การที่เมล็ดพันธุ์จะงอกได้ จำต้องได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด เพื่อให้ขบวนการต่าง ๆ ของการงอกเกิดขึ้น ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิที่พอเหมาะ นอกจากนี้เมล็ดพืชบางชนิดยังต้องการแสงเป็นปัจจัยที่สี่สำหรับการงอกด้วย โดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์พืชไร่และพืชสวนไม่ต้องการแสงในการงอก เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ฝ้าย งา ถั่วเขียว เป็นต้น ส่วนเมล็ดพันธุ์พืชที่ต้องการแสงในการงอก ได้แก่ ผักกาดขาวปลี พริก และมะเขือเทศ เป็นต้น

(ก) น้ำหรือความชื้น

น้ำเป็นปัจจัยแรกที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอก เพื่อละลายโปรโตพลาสซึม น้ำจะทำให้อาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดในรูปโมเลกุลใหญ่ ๆ แตกย่อยออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญ เช่น โปรตีนจะถูกย่อยเป็นโมเลกุลของกรดแอมิโน แป้งแตกออกเป็นกลูโคส และซูโครส เป็นต้น เมล็ดพันธุ์ในสภาพที่แห้ง โดยทั่วไปมีความชื้นประมาณ 6-14 เปอร์เซ็นต์ แต่การที่เมล็ดจะงอกได้นั้น เมล็ดต้องมีความชื้นสูงประมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง มากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เช่น ถั่วเหลือง (*Glycie max*) ต้องมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์

หน้าที่ของน้ำที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดพันธุ์

- น้ำทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

- น้ำช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปสู่ภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดมีการหายใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อผนังเซลล์ดูดน้ำเข้าไปแล้ว ผนังเซลล์จะอ่อนนุ่ม ทำให้การดูดซึมออกซิเจนเข้าไปภายในเมล็ดสะดวกขึ้น

- น้ำเป็นตัวละลายโปรโตพลาสซึม มีผลทำให้กิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ด ซึ่งเคยหยุดนิ่งหรือเกิดขึ้นช้า ๆ นั้น มีกิจกรรมมากขึ้น และมีอัตราสูงขึ้น มีการย่อยและนำแร่ธาตุอาหารจากส่วนที่เก็บสะสมไว้ไปยังจุดเจริญ

- น้ำเป็นพาหะและช่วยในการขนย้ายถ่ายเทอาหารต่าง ๆ ที่เมล็ดเก็บสะสมไว้ ทำให้สามารถถูกนำไปใช้ได้รวดเร็วขึ้น

น้ำจึงจำเป็นอย่างยิ่งต่อการงอกของเมล็ด เมล็ดพันธุ์ที่แห้งจะดูดน้ำโดยขบวนการที่เรียกว่า อิมบิบิชั่น (imbibition) ประกอบด้วย แอดซอร์พชั่น (adsorption) และแอบซอร์พชั่น (absorption) adsorption หมายถึง การที่โมเลกุลของน้ำมาสัมผัสเมล็ดเฉพาะผิวนอกเท่านั้น absorption หมายถึง การที่โมเลกุลของน้ำมาสัมผัสที่ผิวนอกของเมล็ด และเข้าไปสู่ส่วนภายในของเมล็ดด้วย ดังนั้น การงอกของเมล็ด absorption จึงมีความสำคัญ

อัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการซึมซาบ (permeability) ของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ด เมล็ดพันธุ์ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดบางหรือเปลือกหุ้มเมล็ดยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่าย มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มหนาหรือเปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ด เช่น เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีอัตราการดูดน้ำสูงกว่าเมล็ดข้าวโอ๊ต เนื่องจากถั่วเหลืองมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง จึงยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไปสู่ภายในเมล็ดได้ง่าย ส่วนเมล็ดข้าวโอ๊ตมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนา ส่วนของเปลือกมีเลมมา (lemma) และเพาเลีย (palea) หุ้มอยู่ด้วย จึงทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ช้า ความเข้มข้นของน้ำ (concentration of water) ถ้าน้ำมีความเข้มข้นสูง อัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดย่อมเร็วกว่าน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ น้ำบริสุทธิ์จึงมีผลทำให้เมล็ดมีอัตราการดูดน้ำสูงกว่าน้ำที่มีสารละลายเจือปนอยู่

(ข) อุณหภูมิ

ระดับของอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างชัดเจนต่อการดูดซึมน้ำของเมล็ด อุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ด โดยปกติเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดจะสูงขึ้นอีกหนึ่งเท่า

(ค) องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน อัตราการดูดซึมน้ำของเมล็ดย่อมต่างกัน เมล็ดพืชที่มีอาหารพวกโปรตีนสูง มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่า เมล็ดพืชที่มีอาหารในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นแป้งและไขมัน เช่น เมล็ดถั่วเหลือง มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนในเมล็ดสูงถึง 37 เปอร์เซนต์ ส่วนข้าวโพดมีโปรตีนเพียง 11 เปอร์เซนต์

(ง) อายุของเมล็ดพันธุ์หรือความเก่าใหม่ของเมล็ดพันธุ์ (seed age)

เมล็ดพันธุ์เก่าหรือเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้นาน ย่อมดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เก่า เมมเบรนต่าง ๆ ภายเมล็ดมีความสามารถในการเก็บกักสารต่ำ น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่ายกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ ๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

(จ) การสุกแก่ของเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพันธุ์ที่มีการสุกแก่ต่างกัน มีอัตราการดูดซึมน้ำต่างกัน เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวที่ระยะน้ำนม ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดยังไม่สุกแก่ทางสรีรวิทยา เมื่อนำไปเพาะทันที มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวที่ระยะสุกทางสรีรวิทยา

(ฉ) ออกซิเจน

การงอกของเมล็ดเป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตที่ต้องใช้พลังงาน จึงต้องใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารให้ได้มาซึ่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการงอก โดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์พืชงอกในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซนต์ ถ้าบรรยากาศรอบ ๆ เมล็ดมีออกซิเจนมากขึ้น อัตราการงอกจะเพิ่มขึ้น ในบรรยากาศทั่ว ๆ ไปมีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเพียงพอที่เมล็ดพันธุ์พืชจะงอกได้ นอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดพันธุ์ ปกติเมล็ดจะงอกได้ดี ถ้าบรรยากาศรอบ ๆ เมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 เปอร์เซนต์ ถ้าบรรยากาศรอบ ๆ เมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง และถ้ามีในปริมาณที่สูงมาก ๆ จะทำให้ไม่งอกเลย

อุณหภูมิที่พอเหมาะเมล็ดพันธุ์พืชต่างชนิดกัน สามารถงอกได้ในช่วงหรือระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดไม่งอก ปกติเมล็ดพันธุ์พืชทั่วไป สามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิ ระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส โดยถั่วเหลืองอุณหภูมิที่พอเหมาะสำหรับการงอก อุณหภูมิต่ำสุดคือ 8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 20-35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดคือ 40 องศาเซลเซียส

(ช) แสง

เมล็ดพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ไม่ต้องการแสงในการงอก แต่มีเมล็ดพันธุ์พืชอีกจำนวนมากที่ต้องการแสงเป็นปัจจัยพิเศษ นอกเหนือไปจากน้ำ ออกซิเจนและอุณหภูมิที่เหมาะสม ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พืชที่ต้องการแสงในการงอก เมล็ดพืชบางชนิดต้องการแสงเพียงพอเพื่อกระตุ้นการงอกในระยะใดระยะหนึ่งเท่านั้น แต่เมล็ดพืชบางชนิดต้องการแสงตลอดระยะเวลาของการงอก แสงจะมีผลในการกระตุ้นให้เมล็ดงอกหรือยับยั้งไม่ให้เมล็ดงอกนั้น เมล็ดจะต้องมีการดูดน้ำเสียก่อน ฉะนั้นเมล็ดที่แห้งหรือเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ จึงไม่สามารถใช้แสงกระตุ้นให้งอกได้ เมล็ดที่มีความชื้นสูง จึงตอบสนองต่อการกระตุ้นของแสงได้ดีกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ ความต้องการแสงในการงอกนี้อาจทดแทนด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น จิบเบอเรลลิน หรือกรดจิบเบอเรลลิก

2.1.4 ขบวนการต่าง ๆ ในการงอกของเมล็ด (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529)

การที่เมล็ดงอก หมายถึง เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่ (mature seed) ซึ่งอยู่ในระยะพักผ่อน (resting) เปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นกล้า เพื่อเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป ในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ มีขบวนการที่เกิดต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่เมล็ดที่อยู่ในสภาพของเมล็ดแห้ง (dry seed) มีการดูดน้ำภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสม ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ดเกิดการเติบโตและเปลี่ยนแปลงเป็นต้นอ่อนหรือคัพภะของเมล็ด

(ก) การดูดน้ำของเมล็ด (rehydration หรือ water absorption หรือ imbibition)

เมล็ดพืชโดยทั่วไปมีความชื้นต่ำประมาณ 8-13 เปอร์เซ็นต์ การที่เมล็ดจะงอกเมล็ดต้องได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการงอกอย่างเพียงพอ นั่นคือการดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่พอเพียงต่อการเกิดขบวนการต่าง ๆ สำหรับการงอก ในระหว่างการดูดน้ำของเมล็ด เมล็ดจะดูดน้ำอย่างรวดเร็วแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ลักษณะของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด ขนาดของเมล็ด และอุณหภูมิในขณะนั้น ปริมาณความชื้นในเมล็ดที่จะทำให้ขบวนการงอกเกิดขึ้นได้ แตกต่างกันในเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ เมล็ดพืชต้องดูดซับน้ำจนถึงจุดวิกฤต ขบวนการงอกจึงจะเกิดขึ้น

(ข) การย่อยสลายอาหารและการหายใจ (digestion and respiration)

เมื่อน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ดในปริมาณที่เพียงพอแล้ว น้ำจะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ของเมล็ด ขณะเดียวกันน้ำก็จะช่วยละลายโปรโตพลาสซึมและช่วยให้ออกซิเจน เข้าไปสู่ภายในเมล็ด ทำให้มีการย่อยสลายอาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดในส่วนของเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหารให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในรูปที่ละลายน้ำ และเคลื่อนย้ายได้ ส่งไปเลี้ยงส่วนของคัพภะที่จุดเจริญ ขณะเดียวกันในการย่อยสลายอาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกใช้ไปในการเคลื่อนย้ายและสร้างอาหารโดยส่วนของคัพภะต่อไป

(ค) การเคลื่อนย้ายและขนส่งอาหาร (food mobilization and transportation)

เมื่ออาหารต่าง ๆ ที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในรูปที่ละลายน้ำก็จะเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ เพื่อสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่อไป

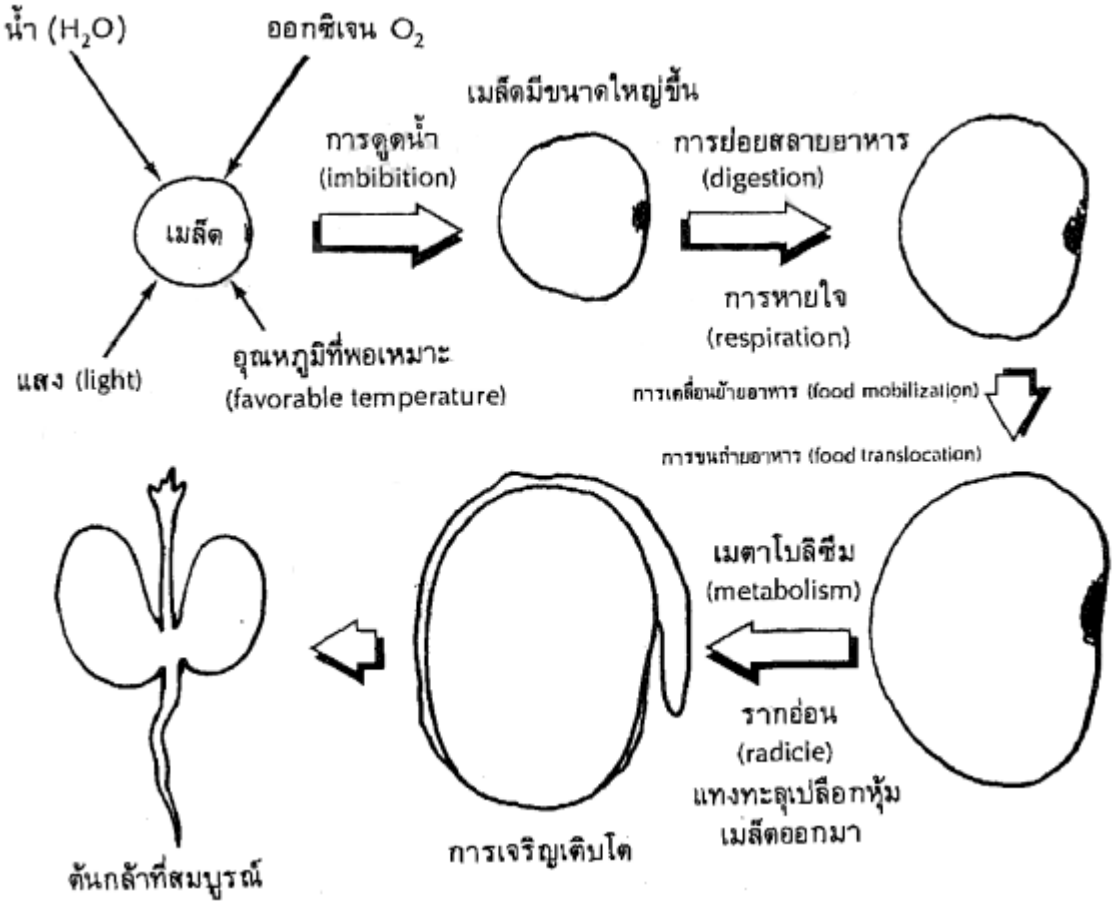
(ง) เมตาโบลิซึม (metabolism หรือ biosynthesis)

เมื่อส่วนของต้นอ่อน หรือจุดเจริญในเมล็ดได้รับพลังงานที่เกิดจากขบวนการหายใจและได้รับแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ส่งมาจากส่วนของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่เก็บสะสมอาหาร ต้นอ่อนก็จะเริ่มมีการสร้างหรือสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต

(จ) การเจริญเติบโต (resumption of growth)

หลังจากที่ส่วนของต้นอ่อน (embryonic axis) มีการสังเคราะห์อาหารขึ้นมาใหม่ให้พอเพียงต่อการเจริญเติบโตแล้ว ปรากฏการณ์ที่จะเห็นได้ชัดคือ การยืดตัว (intrusion) ของจุดเจริญซึ่งเกิดขึ้น เนื่องจากการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ (cell division and elongation) โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อน (radicle) จะมีการเจริญเติบโตปรากฏให้เห็นก่อน ส่วนของลำต้น (shoot) หรือยอดอ่อน (plumule) ดังนั้นการเจริญเติบโตที่เห็นได้ชัดคือ การที่รากอ่อน โผล่ออกมาจากเปลือกที่หุ้มเมล็ดทางไมโครไพล์ (micropyle) โดยดันให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตกออก ตามด้วยการเจริญของลำต้นหรือยอดอ่อนจนได้ต้นกล้า (seedling) ที่เจริญเติบโตเต็มที่ พร้อมที่จะเจริญไปเป็นต้นพืชต่อไป

การงอกเป็นกระบวนการทางชีวภาพซึ่งจะชักนำการทำกิจกรรมของเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอ็นไซม์ และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดในระหว่างการงอก กระบวนการงอกจะทำให้เมล็ดมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเกิดกระบวนการเมแทบอลิก (metabolic) การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้ในเมล็ดที่เพาะงอกจะพบสารที่มีบทบาททางชีวภาพสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเพาะงอก เช่น พบกรดแกมมา-อะมิโนบิวทิริก (γ-aminobutyric acid) หรือกาบ้า (GABA) ซึ่งเป็นสารที่สังเคราะห์ในระหว่างการงอกของเมล็ด (Cho and Lim, 2016)



ภาพที่ 2.2 ขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการงอกของเมล็ด
ที่มา: จวงจันทร์ ดวงพัตรา (2529)

2.2 เยลลี่ (Jelly)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แบ่งเยลลี่ออกเป็น 3 ชนิด คือ เยลลี่เหลว เยลลี่อ่อน และเยลลี่แห้ง

เยลลี่เหลว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติหรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะเหลว อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดได้สนิท (มผช. 518/2547)

เยลลี่อ่อน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติหรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดได้สนิท (มผช. 519/2547)

เยลลี่แห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้น ในปริมาณที่

เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะแห้งและเหนียว อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี่ยวให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ อาจเทใส่พิมพ์หรือตัดเป็นชิ้น หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้วอาจคลุกด้วยน้ำตาลหรือแป้งบริโภค (มผช. 520/2547)

2.2.1 สารทำให้เกิดเจลที่ใช้ในการทำเยลลี่ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

สารทำให้เกิดเจล เป็นสารที่ช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เยลลี่ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และคงรูปได้ สารทำให้เกิดเจลที่นิยมใช้ในการผลิตเยลลี่ ได้แก่ สารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ กัมบางชนิด เช่น แอลจิเนต เพกติน เจลาติน และคาราจีแนน เป็นต้น

(ก) แอลจิเนต (alginate)

แอลจิเนตเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) แอลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนนูโรนิก (1,4-β-D-mannuronic acid) และกรดกูลูโรนิก (l-guluronic acid) ได้เป็นพอลิยูโรไนด์ (polyuronide) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 32,000–200,000 ดาลตัน มี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 180-930 โมเลกุลแอลจิเนตประกอบด้วย homopolymeric regions ของกรดกูลูโรนิก (G) และ กรดแมนนูโรนิก (M) ที่เรียกว่า G- และ M-blocks และยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของแอลจิเนต ถ้าโพลีเมอร์มี G ในปริมาณที่สูง จะมีสมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) ถ้าโพลิเมอร์มี M ปริมาณสูง จะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า แอลจิเนตที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ของเกลือ Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH_4^{+} และยังผลิตในรูปของ propylene glycol alginate ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของ alginic acid กับ propylene oxide ภายใต้ความดัน อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายแอลจิเนตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก แอลจิเนตจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายโพลิเมอร์ คุณสมบัติที่ดีของแอลจิเนต คือ ทำให้เกิด Irreversible gel ในน้ำเย็นเมื่อมี Ca^{2+} รวมอยู่ด้วย แอลจิเนตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้งการเกิด syneresis ตัวอย่างเช่น propylene glycol alginate ใช้ในน้ำสลัด (salad dressing) และเบียร์ เพราะมีความสามารถละลายได้สูงที่ pH ต่ำ

(ข) เพกติน (pectin)

เพกตินได้จากการ breakdown ของ protopectin ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช ประกอบไปด้วย neutral sugars หลายชนิด เช่น rhamnose, galactose, arabinose และน้ำตาลอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อย เพกตินเป็น heterpolysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของ D-galacturonic acid (ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) เป็นสายหลักหรือที่เรียกว่า smooth regions และมีกิ่งแขนง (hair regions) อาจเป็น arabinose, galactose, rhamnose และบางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ที่ D-galacturonic acid จะถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่เมทธิล (-CH_3) เป็นเมทธิลเอสเทอร์และมี degree of methylation (DM) แตกต่างกัน จึงทำให้เพกตินจากวัตถุดิบแต่ละแหล่งมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน และเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก DM คืออัตราส่วนของ

หมู่ methylated galacturonic acid ต่อกับหมู่ galacturonic acid ทั้งหมดที่มีอยู่ในโมเลกุลของเพกติน จึงทำให้แบ่งประเภทของเพกตินตามค่า DM ได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิด Low methoxyl (LM) ซึ่งจะมีค่า DM น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และชนิด high methoxyl (HM) ซึ่งมีค่า DM มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพกตินที่สกัดได้จากธรรมชาติจะเป็นชนิด HM ที่มีค่า DM สูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาทำให้เกิดปฏิกิริยา de-esterification จะได้เพกตินชนิด LM เพกตินทั้งชนิด LM และ HM จะมีสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน เพกตินชนิด LM สามารถเกิดเจลโดยมีปริมาณของ Ca^{2+} และมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตั้งแต่ 10-80 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH ช่วงกว้างตั้งแต่ 2.9-5.5 เจลที่ได้จะเป็นชนิด thermoreverible ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพกตินชนิด HM หรืออะการ์ เพกตินชนิด HM ใช้กับอาหารที่มี pH 2.0-3.5 และต้องมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ถึงจะเกิดเจลได้ เพกตินชนิดนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็นอีก 3 ชนิดตามเวลาการเกิดเจล (gelling time) คือ เกิดเจลได้ช้า (slow set) ปานกลาง (medium set) และรวดเร็ว (rapid set) ซึ่งจะแตกต่างกันที่ค่า DM เช่น ชนิดเกิดเจลได้ช้าจะมีค่า DM ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และชนิดเกิดเจลได้เร็วมีค่า DM ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ การนำเพกตินมาใช้ประโยชน์จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร

(ค) เจลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นสารทำให้เกิดเจลประเภทโปรตีน ได้มาจากการสลายคอลลาเจนของเนื้อเยื่อในหนัง เอ็นและกระดูก โดยการใช้กรดหรือด่างและสกัดด้วยน้ำร้อน วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเจลาตินในระดับอุตสาหกรรม มักใช้กระดูกและหนังจากโค กระบือและสุกร เนื่องจากจะให้เจลาตินที่มีคุณภาพดี ส่วนการผลิตเจลาตินจากปลาไม่ค่อยมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากเจลาตินจากปลา มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวและให้ค่าความแข็งของเจลที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เจลาตินที่ผลิตจากคอลลาเจนจากแหล่งที่แตกต่างกันจะให้ความแข็งของเจลที่ต่างกันด้วย ซึ่งความแข็งของเจลจะเกี่ยวข้องกับปริมาณของกรดแอมิโนโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีน ซึ่งโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนเป็นกรดแอมิโนสำคัญที่ช่วยให้เกิดความแข็งของเจล โดยที่โพรลีนทำให้โครงสร้าง triple helix เสถียร ส่วนไฮดรอกซีโพรลีนช่วยทำให้โมเลกุลคอลลาเจนเสถียร เจลาตินที่มีปริมาณกรดแอมิโนโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนต่ำจะเสียสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่าเจลาตินที่มีกรดแอมิโนโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนสูง สีของเจลาตินควรจะไม่มีสีจนถึงสีสว่างอำพันหรือสีเหลืองจาง ๆ ความขุ่นของเจลาตินมักเกิดเนื่องจากใช้กระบวนการผลิตไม่ดีหรือมีวัตถุเจือปนอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย เจลาตินละลายได้เพียงบางส่วนในน้ำเย็น การละลายเจลาตินต้องทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งหากสูงกว่านี้จะทำให้โครงสร้างของเจลาตินถูกทำลาย เมื่อปล่อยสารละลายเจลาตินให้เย็นตัวลง สารละลายจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและเกิดเจลในที่สุด แต่ทั้งนี้การเกิดเจลของเจลาตินจะเร็วหรือจะช้าต้องขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเจลาตินที่ใช้ เจลาตินปลาที่ความเข้มข้นร้อยละ 6.67 มีอุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ในช่วง 8-25 องศาเซลเซียส เจลาตินถูกมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร เครื่องดื่ม โยเกิร์ต เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์

(ง) คาราจีแนน (carrageenan)

คาราจีแนนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซัลเฟตที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) มีโครงสร้างหลักเป็น galactose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage และเป็น sulphated polysaccharides คาราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและ

ตำแหน่งของกลุ่ม ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ Kappa, Iota และ Lambda ซึ่ง carrageenan ทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำ ๆ กันหลายหน่วย

Kappa carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6 AG) โดยมีสารตั้งต้นเป็น mu-carrageenan ถ้ามีปริมาณ anhydride จากการปิดวงเป็น 3,6 anhydride มากถึง 28-35 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้ไวต่อโปแตสเซียมและมีความสามารถในการเกิดเจล

Iota carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น nu-carrageenan ความแตกต่างระหว่าง anhydride ในคาราจีแนนชนิด kappa และ iota คือ จำนวนกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 1,4-linked galactoside ของ Iota จะมีมากกว่า kappa ประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ความไวต่อโปแตสเซียมลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ได้เจลที่อ่อนนุ่ม แต่ถ้ามี sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ จะไวต่อแคลเซียม

Lambda carrageenan ประกอบด้วย 1,3-linked galactose ซึ่งมีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณ 70 เปอร์เซนต์ และ 1,4-linked galactose มีกลุ่ม sulphate ที่ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งคาราจีแนนชนิดนี้จะไม่เกิดการปิดวงเป็น 3,6 AG จึงมีผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

คาราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน คาราจีแนนชนิด Kappa และ Iota ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70 องศาเซลเซียส สามารถที่จะเกิดเจลได้เมื่อสารละลายของคาราจีแนนเย็นตัวลง ซึ่งเจลเหล่านี้จะเป็น thermoreversible aqueous gel คือ สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง เมื่อคาราจีแนนละลายน้ำจะเกิดเจล เนื่องจากเกิดการ form เป็น double helix ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเจล อุณหภูมิและการปั่นกวนจะสามารถทำให้ helices คลายตัวเป็น random coil เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการสร้าง polymer net work 3 มิติ แต่ละสายของโพลิเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของ junction point มากขึ้น ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล คาราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่ pH เป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ถ้า pH ต่ำจะเกิดการ hydrolysis ของ glycosidic linkage มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจล การเติมโลหะอิออนจะมีผลต่อการเกิดเจล โดย Kappa carrageenan เมื่อเติม K^+ จะเกิด elastic gel ถ้าเติม Ca^{2+} จะเกิด rigid gelIota carrageenan เมื่อเติม Ca^{2+} จะเกิด elastic gel ถ้าผสมคาราจีแนนชนิด Kappa กับ Iota เข้าด้วยกันจะทำให้มีสมบัติในการเกิดเจลได้มากขึ้น เจลที่ได้มี elastic เพิ่มขึ้นและเกิด syneresis น้อยลง และนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น dessert gels, whipped topping และ fluid milk products การนำคาราจีแนนไปใช้ในอุตสาหกรรมต้องคำนึงถึง Ionic content ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ด้วย เช่น ใช้คาราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาราจีแนน จะทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ การนำคาราจีแนนไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์นม เช่น Calcium fortified milk, Chocolate milk ซึ่งจะเติมคาราจีแนนลงในส่วนผสมเพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัว ช่วยให้ส่วนผสมผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกมา (whey off) ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังนำไปใช้ใน Water-based food systems เช่น Fruits in gel, Fruit beverages เป็นต้น

2.3 ผู้สูงอายุ (Older people)

ผู้สูงอายุ หรือบางคนเรียกว่า ผู้สูงวัย เป็นคำที่บ่งบอกถึงตัวเลขของอายุว่ามีอายุมาก โดยนิยมนับตามอายุตั้งแต่แรกเกิด (chronological age) หรือทั่วไปเรียกว่า คนแก่ หรือคนชรา โดยพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ให้ความหมายของคำว่า คนแก่ คือ มีอายุมาก หรืออยู่ในวัยชรา และให้ความหมายของคำว่า ชรา คือ แก่ด้วยอายุ ชำรุดทรุดโทรม ส่วนองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) และองค์การสหประชาชาติ (United Nations, UN) ใช้คำในภาษาอังกฤษของ ผู้สูงอายุว่า older person หรือ elderly person

ประเทศไทย "ผู้สูงอายุ" ตามพระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 หมายความว่า บุคคลซึ่งมีอายุเกินกว่าหกสิบปีบริบูรณ์ขึ้นไป และมีสัญชาติไทย องค์การสหประชาชาติ ได้ให้นิยามว่า "ผู้สูงอายุ" คือ ประชากรทั้งเพศชาย และเพศหญิง ซึ่งมีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป (60+) โดยเป็นการนิยามนับตั้งแต่อายุเกิด ส่วนองค์การอนามัยโลก ยังไม่มีการให้นิยามผู้สูงอายุ โดยมีเหตุผลว่าประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมีการนิยามผู้สูงอายุต่างกัน ทั้งนิยามตามอายุเกิด ตามสังคม (social) วัฒนธรรม (culture) และสภาพร่างกาย (functional markers) เช่น ในประเทศที่เจริญแล้วมักจัดผู้สูงอายุ นับจากอายุ 65 ปีขึ้นไป หรือบางประเทศอาจนิยามผู้สูงอายุ ตามอายุกำหนดให้เกษียณงาน (อายุ 50 หรือ 60 หรือ 65 ปี) หรือนิยามตามสภาพของร่างกาย โดยผู้หญิงสูงอายุอยู่ในช่วง 45 - 55 ปี ส่วนชายสูงอายุอยู่ในช่วง 55 - 75 ปี องค์การสหประชาชาติ ยังได้แแบ่งสังคมผู้สูงอายุ ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Ageing society หรือ Aging society) ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) และระดับ Super - aged society โดยให้นิยามของระดับต่าง ๆ ซึ่งทั้งประเทศไทยและรวมทั้งประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ใช้ความหมายเดียวกันในนิยามของทุกระดับของสังคมผู้สูงอายุ (ชมพูนุท พรหมภักดิ์, 2556)

(ก) การก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ คือ การมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป รวมทั้งเพศชายและเพศหญิง มากกว่า 10 เปอร์เซนต์ ของประชากรทั้งประเทศ หรือมีประชากรอายุตั้งแต่ 65 ปี เกิน 7 เปอร์เซนต์ ของประชากรทั้งประเทศ

(ข) สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ คือ เมื่อประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป เพิ่มขึ้นเป็น 20 เปอร์เซนต์ หรือ ประชากรอายุ 65 ปี เพิ่มเป็น 14 เปอร์เซนต์ ของประชากรโดยรวมทั้งหมดของทั้งประเทศ

(ค) Super - aged society คือ สังคมที่มีประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไป มากกว่า 20 เปอร์เซนต์ ของประชากรทั้งประเทศ อย่างไรก็ตาม ทุกประเทศทั่วโลกมีการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุในช่วงเวลาแตกต่างกันตามความเจริญมั่งคั่ง ซึ่งมีผลต่อสุขภาพและการมีอายุยืนของประชาชน

ผู้สูงอายุ มีการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายเป็นไปในด้านเสื่อมสลาย มากกว่าการสร้างเสริม เมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุการทำงานของระบบประสาทจะด้อยลง ผู้สูงอายุมีปัญหาต่อมน้ำลายหลั่งสารน้ำลายน้อยลง มีผลทำให้การบดเคี้ยวอาหารภายในปากเป็นไปได้ไม่ดี เมื่ออาหารมาถึงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กมีปัญหาการย่อยและการดูดซึมเพราะน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กมีน้อยลง อาหารที่ย่อยไม่ได้เมื่อผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่ก็จะเกิดการสะสม เกิดเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่และปล่อยก๊าซออกมาทำให้ท้องอืดได้ การเคลื่อนไหวของลำไส้ก็มีน้อยกว่าวัยหนุ่มสาว ทำให้เกิดอาการท้องผูกได้ อาหารจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะผู้สูงอายุยังคงมีความต้องการพลังงานและสารอาหารที่มีคุณภาพสูงเพื่อการดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพ จึงควรกินอาหารให้ครบทั้ง 5 หมู่เพียงพอ และเหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย (ฝ่ายโภชนาการ โรงพยาบาลศิริราช, 2561)

2.3.1 ความต้องการสารอาหารและพลังงาน

เนื่องจากวัยสูงอายุมีการเปลี่ยนแปลงทั้งกายวิภาค สรีระและพยาธิสภาพ รวมทั้งกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลง อีกทั้งยังมีโรคที่เกิดจากความเสื่อมของวัย ทำให้มีความต้องการสารอาหารเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

(ก) พลังงาน

ผู้สูงอายุมีความต้องการพลังงานลดลง เนื่องจากการอัตราการเผาผลาญในเซลล์ทั่วร่างกายจะลดลงตามอายุที่มากขึ้น และยังมีกิจกรรมทางกายน้อยลงเนื่องจากมีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวร่างกายน้อยลง อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของมวลกล้ามเนื้อและมวลไขมัน พบว่าผู้สูงอายุมีมวลกล้ามเนื้อลดลงแต่มวลไขมันเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักคงเดิม ผู้สูงอายุควรได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ คือ วันละ 1,500-2,000 กิโลแคลอรี (โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, 2561) แบ่งสัดส่วนความต้องการพลังงานคือ คาร์โบไฮเดรต 55-60 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 10-12 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และคอเลสเตอรอลน้อยกว่า 300 มิลลิกรัมต่อวัน

(ข) โปรตีน

ปริมาณโปรตีนที่ควรได้รับผู้สูงอายุควรได้รับโปรตีน 1 กรัมต่อน้ำหนักตัวกิโลกรัมต่อวัน เพื่อรักษามวลกล้ามเนื้อให้แข็งแรง ป้องกันภาวะกล้ามเนื้อลีบ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย (โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, 2561) หากผู้สูงอายุได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดพยาธิสภาพหลายอย่าง อาทิ อ่อนเพลีย ภูมิต้านทานลดลง และยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ (sarcopenia) ในผู้สูงอายุ การลดลงของกล้ามเนื้อจะทำให้มีการเกิดพยาธิสภาพของร่างกาย การเกิดโรคเรื้อรัง เพิ่มการดื้อต่ออินซูลิน ความอ่อนล้า การพลัดตกหกล้ม

โปรตีนที่เหมาะสำหรับผู้สูงอายุ ควรเป็นโปรตีนคุณภาพที่มีกรดแอมิโนครบถ้วน เคี้ยวง่ายย่อยง่าย ตัวอย่างอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ไม่ติดมัน เนื้อปลาและไข่ และไม่ควรได้รับโปรตีนสูงเกินไป เนื่องจากทำให้เกิดการย่อยและดูดซึมอาหารไม่ดีจากการทำงานของต่อมที่ผลิตน้ำย่อยทำงานลดลงทำให้ท้องอืดง่าย และเนื่องจากผู้สูงอายุก็มีการทำงานของไตลดลง ทำให้การขับถ่ายไนโตรเจนซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการเมตาบอลิซึมโปรตีนที่ต้องขับถ่ายออกทางไตเป็นหลักต้องรับภาระมากเกินไป จึงไม่ควรรับประทานโปรตีนเกินความต้องการ ดังนั้นการได้รับอาหารโปรตีนคุณภาพที่เพียงพอในผู้สูงอายุจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการรักษาสภาพปกติของร่างกาย

(ค) คาร์โบไฮเดรต

เนื่องจากวัยนี้มีความต้องการพลังงานลดลง อีกทั้งปัญหาของผู้สูงอายุที่มีดัชนีมวลกายที่สูงกว่าเกณฑ์และโรคเบาหวาน ดังนั้นจึงต้องจัดสัดส่วนพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต 55-60 เปอร์เซ็นต์ โดยคาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี อาหารประเภทแป้ง 1 ส่วนให้พลังงาน 80 กิโลแคลอรี ดังนั้นใน 1 วันควรได้รับอาหารประมาณ 880 กิโลแคลอรี และควรเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (low glycemic index) เนื่องจากย่อยช้าและมีใยอาหารผสมอยู่ค่อนข้างสูง เช่น ข้าวกล้องธัญพืช แต่การรับประทานธัญพืชที่ผ่านการขัดสีน้อยจะมีสารไฟเตทอยู่ด้วย ทำให้ขัดขวางการดูดซึมสารอาหารพวกแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม เหล็ก ดังนั้นควรสลับกับการรับประทานข้าวขาวบางตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

(ง) ใยอาหาร

ผู้สูงอายุมีภาวะท้องผูกเรื้อรังที่มีผลมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาททำงานลดลง อีกทั้งการได้รับอาหารที่มีกากใยน้อยเนื่องจากมีปัญหาการเคี้ยวผักและผลไม้ที่มีความเหนียวแข็ง เคี้ยวยาก การได้รับอาหารในกลุ่มใยอาหารให้เพียงพอเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดปัญหาท้องผูกช่วยให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ตามปกติ และป้องกันปัญหาเกี่ยวกับลำไส้ที่อาจเกิดขึ้นได้ การบริโภคเส้นใยอาหารที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันร่างกายจากโรคหัวใจ เบาหวาน และมะเร็งบางชนิด ซึ่งอาหารที่มีเส้นใยสูงมักพบได้ในผัก ผลไม้ และถั่วเปลือกแข็ง ผู้สูงอายุจึงควรรับประทานผักและผลไม้ทุกมื้ออาหารเป็นประจำ เน้นผักและผลไม้ที่นิ่มเคี้ยวง่าย ผักใบที่มีแคลอรีต่ำ เช่น ผักกาดขาว ผักกวางตุ้งที่ปรุงสุกจนนิ่ม สำหรับผลไม้ควรระมัดระวังเรื่องน้ำตาล ควรเลือกชนิดที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ปริมาณใยอาหารที่ควรรับประทานต่อวันประมาณ 25-30 กรัม

(จ) แคลเซียม

ผู้สูงอายุมีความต้องการแคลเซียมสูงขึ้นจากผู้ใหญ่ปกติที่ต้องการวันละ 800 มิลลิกรัม เพิ่มขึ้นเป็นวันละ 1,000 มิลลิกรัม เพื่อป้องกันภาวะกระดูกพรุน เนื่องจากวัยนี้มีการลดลงของฮอร์โมนเอสโตรเจน ทำให้มีปัญหาเรื่องมวลกระดูกที่ลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลต่อการเปราะหักของกระดูกได้ง่ายเมื่อมีการพลัดตกหกล้ม อาหารที่มีแคลเซียมสูง ได้แก่ นมและผลิตภัณฑ์จากนม กระดูกอ่อนของปลา เช่น ปลาซาร์ดีน ปลาเกล็ดขาว ปลาไส้ตัน กุ้งแห้ง กุ้งฝอย ส่วนผักใบเขียว ได้แก่ ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักกาดเขียวปลี ผักกาด ตำลึง บัวบก ขี้เหล็ก ถั่วพู สะเดา เป็นผักที่มีแคลเซียมสูงและไม่มีออกซาเลต ร่างกายจึงดูดซึมได้ดีและไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงในการเกิดนิ่ว

(ฉ) ธาตุเหล็ก

ผู้สูงอายุจะมีปัญหาภาวะโลหิตจาง เนื่องจากรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กไม่เพียงพอและประสิทธิภาพของการดูดซึมธาตุเหล็กลดลง การขาดธาตุเหล็กเนื่องจากรับประทานอาหารประเภทเนื้อสัตว์สีแดง เช่น เนื้อหมู เนื้อวัว น้อยลงเพราะความสามารถในการเคี้ยวอาหารที่มีความเหนียวได้ลดลง ทำให้เกิดภาวะซีด โลหิตจาง และอาการเหนื่อยง่าย จึงจำเป็นต้องได้รับธาตุเหล็กให้เพียงพอ โดยอาหารอาหารที่มีธาตุเหล็กสูง ได้แก่ เนื้อสัตว์สีแดง (เช่น สันในหมู เนื้อวัว) ผักใบเขียว กะหล่ำปลี ดอกกะหล่ำ ถั่วเขียว ถั่วแดง งาดำ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฏยา คนซื่อ และ ปิยาภรณ์ เชื่อมชัยตระกูล (2547) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นสารทำให้เกิดเจลต่อคุณสมบัติของเยลลี่ขิง ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ บุกและคาราจีแนน โดยแปรปริมาณบุก 0.1 0.015 0.05 และ 0.085 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาราจีแนน 0.1 0.115 0.15 0.185 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณบุกและคาราจีแนนมีผลต่อคุณสมบัติของเยลลี่ขิงที่แตกต่างกัน โดยปริมาณคาราจีแนน 0.12 เปอร์เซ็นต์ และบุก 0.0052 เปอร์เซนต์ มีค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการยอมรับใกล้เคียง 1 มากที่สุด เมื่อใช้โปรแกรม Mathcad 7.0 professional ในการวิเคราะห์ ดังนั้น สูตรที่เหมาะสมสำหรับเยลลี่ขิงพร้อมดื่มมีส่วนผสมของขิง 2.695 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลฟรุคโตส 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลซูโครส 14 เปอร์เซ็นต์ คาราจีแนน 0.12 เปอร์เซ็นต์ บุก 0.0052 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริก 0.08 เปอร์เซนต์

Paucar-Menacho *et. al.* (2010) ศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเพาะงอกต่อองค์ประกอบและความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก พบว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเพาะงอก มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแป้งถั่วเหลืองเพาะงอก โดยเมื่อทำการเพาะงอกเป็นเวลา 42 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีโปรตีนที่ละลายน้ำได้ คือ ลูนาซิน (lunasin) เพิ่มขึ้น และกิจกรรมของเอนไซม์ lypoxygenase จะลดลง 70 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเพาะงอกเป็นเวลา 63 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะพบการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ สารไอโซฟลาโวนในถั่วเหลืองมากขึ้น

กรุณา วงษ์กระจ่าง และคณะ (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะงอกถั่วเหลืองที่มีปริมาณสาร Gamma Amino Butyric acid (GABA) สูงที่สุด โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแช่น้ำและวิธีการแช่-บ่ม ที่ระยะเวลา 0 6 12 และ 24 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบระหว่างการเพาะงอกที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า วิธีการเพาะงอกและอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนกรดกลูตามิคเป็น GABA โดยวิธีการแช่น้ำ (soaking treatment) ทำให้เกิดกระบวนการดังกล่าว และเพิ่มปริมาณสาร GABA ได้เร็วกว่าวิธีการแช่-บ่ม ถั่วเหลืองที่แช่น้ำจะมีปริมาณ GABA ในระหว่างการงอก มีผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นสูงกว่าถั่วเหลืองแช่-บ่ม ถั่วเหลืองที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณ GABA สูงอย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลาเพาะงอก 24 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณ GABA ปริมาณไอโซฟลาโวน และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะงอกถั่วเหลือง ได้แก่ สภาวะการเพาะงอกด้วยวิธีการแช่น้ำ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แม้ว่าสภาวะการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณ GABA สูงสุด แต่การควบคุมอุณหภูมิคงที่เช่นนั้น ไม่สะดวกในทางปฏิบัติ และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณไอโซฟลาโวน เปรียบเทียบระหว่างการแช่น้ำถั่วเหลืองที่เวลา 6 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดและปริมาณไอโซฟลาโวนในถั่วเหลืองแช่น้ำ 12 ชั่วโมง มีค่าลดลง แม้ว่าปริมาณ GABA สูงขึ้นก็ตาม ดังนั้น สภาวะการเพาะงอกถั่วเหลืองที่เหมาะสม คือการใช้วิธีการแช่น้ำถั่วเหลืองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ ณัฐพัฒน์ วัฒนกฤษฎา ผาณิต ไทยยันโต และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์ (2554) พัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผัก โดยแปรปริมาณน้ำสกัดจากผักมะเขือเทศ แครอท และฟักทอง 15 20 และ 25 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก น้ำสกัดจากกระหล่ำปลีม่วงปริมาณ 5 10 และ 15 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก และปริมาณคาราจีแนน 0.6 0.8 และ 1.0 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ผลการประเมินความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัส พบว่า เยลลี่คาราจีแนนสูตรน้ำผักที่มีปริมาณคาราจีแนนปริมาณ 1 เปอร์เซนต์ น้ำมะเขือเทศ หรือ น้ำแครอท หรือ น้ำฟักทองปริมาณ 25 เปอร์เซนต์ น้ำกะหล่ำปลีม่วงปริมาณ 5 เปอร์เซนต์ มีค่าความยืดหยุ่น (springiness) และความสามารถในการเกาะกันของเนื้อเยลลี่ (cohesiveness) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในเยลลี่สูตรน้ำผักแต่ละชนิด ($p<0.05$) เมื่อศึกษาผลการเก็บรักษาเยลลี่สูตรน้ำผักไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า เนื้อสัมผัสทุกค่ามีแนวโน้มลดลงในทุกผลิตภัณฑ์ และมีโอกาสเกิดซินเนอรีซีส

(syneresis) เนื่องจากโครงร่างของเจลของแคปปาคาราจีแนนมีการจัดเรียงตัวที่เข้ามาใกล้ชิดกันมากขึ้น ทำให้แยกโมเลกุลของน้ำออกเกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น

ยุวดี ขุนภักดี และคณะ (2555) ศึกษาปริมาณคาราจีแนนที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่คาราจีแนนผสมเนื้อลูกจาก โดยแปรปริมาณคาราจีแนน 5 ระดับ คือ 1.8 2.0 2.3 2.5 และ 2.7 เปอร์เซนต์ ผลการทดลอง พบว่า เยลลี่ผสมเนื้อลูกจากที่ใช้ปริมาณคาราจีแนน 1.8 กรัม ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านที่ทดสอบสูงที่สุด ซึ่งกลไกของคาราจีแนนในการเกิดเจลคือการที่โครงสร้างของคาราจีแนนซึ่งเป็นพอลิเมอร์พวกโพลีแซคคาไรด์ (น้ำตาลกาแลคโตส) เมื่อเกิดการเย็นตัวจะจับกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) ทำให้เยลลี่เกิดเป็นเจลได้ ดังนั้น การใช้คาราจีแนนในปริมาณที่สูงเกินไป จะทำให้มีจำนวนของการจับตัวกันของน้ำตาลกาแล็คโตสมากขึ้น ทำให้เนื้อเยลลี่ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับในผู้บริโภค

Kayemb and Jansen van Rensburg (2013) ศึกษาผลของกระบวนการที่ใช้ในการผลิตถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน เถ้า ไขมัน สตาร์ช วิตามิน และปัจจัยที่มีผลต่อการต้านหรือลดการทำงานของสารอาหาร ได้แก่ เอนไซม์ยับยั้งการทำงานของโปรตีน (trypsin inhibitor) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และ condensed tannins ทำการศึกษาทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ การแช่น้ำ (ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง) และเพาะงอกถั่วเหลือง (แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมาทำการเพาะงอก โดยเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 – 120 ชั่วโมง และรดน้ำวันละครั้งเพื่อให้ความชื้นสำหรับการงอกของถั่วเหลือง) พบว่า ถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่น้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ปริมาณเถ้าและสตาร์ชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองดิบ การแช่น้ำยังมีผลต่อการลดกิจกรรมของ trypsin inhibitor และ condensed tannins ด้วย ผลของกระบวนการเพาะงอกถั่วเหลือง เป็นเวลา 1-6 วัน พบว่า ปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน สตาร์ช และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการเพาะงอก โดยพบว่าวันที่ 6 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กิจกรรมของ trypsin inhibitor และ condensed tannins จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กระบวนการ พบว่าปริมาณกรดแอมิโน aspartic acid glutamic acid serine histidine arginine threonine alannine proline tyrosine valine methionine cysteine isoleucine leucine phenylalanine มีปริมาณไม่แตกต่างกัน ยกเว้น lysine และ glycine จะพบการเพิ่มปริมาณขึ้นเล็กน้อยในกระบวนการแช่น้ำ จึงสรุปว่าระยะเวลาในการเพาะงอกที่เหมาะสมคือเวลา 3 วัน เนื่องจากที่เวลาดังกล่าว จะพบว่าปริมาณสารอาหารต่าง ๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้น และช่วยลดระดับของสาร condensed tannins และ trpysin inhibitor ได้

ดวงกมล ตั้งสถิตพร ธันย์ชนก จรเสมอ และ ชิดชนก เอมอมร (2558) ศึกษาสูตรและกรรมวิธีในการเสริมเส้นใยอาหารจากแกนสับปะรดเหลือทิ้งในผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มและชาภูฟ้า โดยศึกษาปริมาณคาราจีแนน 3 ระดับ ได้แก่ 0.5 1.5 และ 2.5 กรัม ผลการทดลอง พบว่า คุณภาพทางกายภาพของเยลลี่สูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ที่ใช้ปริมาณคาราจีแนนที่ต่างกัน มีค่า water activity (A_w) แตกต่างกัน เนื่องจากคาราจีแนนจัดเป็นใยอาหารชนิดหนึ่ง มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นพวกพอลิ

แซคคาไรด์ (คาร์โบไฮเดรต) ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เมื่อปริมาณคาราจีแนนเพิ่มขึ้น จึงให้ค่า water activity เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณคาราจีแนนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์เยลลี่ เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบสูตรที่ 2 ที่มีปริมาณคาราจีแนน 1.5 กรัม มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รสหวาน เนื้อสัมผัส (ความนุ่มของเจล) ความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งมีความแตกต่างจากสูตรที่ 1 และ 3 ($p \leq 0.05$) ที่ใส่ปริมาณคาราจีแนน 0.5 และ 2.5 กรัม ตามลำดับ โดยสูตรที่ใส่คาราจีแนน 0.5 กรัม เยลลี่พร้อมดื่มมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหลวเป็นน้ำไม่มีความคงตัว เนื่องจากใส่ปริมาณคาราจีแนนที่น้อยเกินไป เพราะคาราจีแนนมีคุณสมบัติที่ช่วยในการเกิดเจล ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัว ซึ่งคาราจีแนนที่น้อยเกินไปส่งผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเหลวเป็นน้ำ และสูตรที่ใส่ปริมาณคาราจีแนน 2.5 กรัม เยลลี่พร้อมดื่มมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็ง ต้องใช้แรงมากในการดูด ดังนั้นจึงเลือกปริมาณคาราจีแนน 1.5 กรัม เนื่องจากเยลลี่พร้อมดื่มที่ได้มีความยืดหยุ่น อ่อนนุ่มกำลังดี เนื้อสัมผัสมีความละเอียดคงตัว โดยสูตรผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มที่ดีที่สุดจากการทดลองนี้ มีปริมาณคาราจีแนน 1.5 กรัม น้ำแกนสับปะรด 275 กรัม ไซลิทอล 40 กรัม น้ำมะนาว 7 กรัม และ น้ำเปล่า 196.5 กรัม

โปรดปราน ทาศิริ (2558) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอรี่ การศึกษานี้ใช้เยลลี่สูตรที่ใช้กะทิธัญพืช มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุดเป็นสูตรควบคุม แล้วแปรขนาดอนุภาคแป้งข้าวเท่ากับ 80 100 และ 120 เมช พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคแป้งข้าวเล็กลงไม่มีผลต่อค่าสีของเยลลี่ ($p>0.05$) เยลลี่ที่ใช้แป้งข้าวขนาด 80 เมช มีค่าความแข็ง ความเกาะติดกัน และความเหนียวติดสูงที่สุด ($p\leq0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดอนุภาคแป้งข้าวลดลง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ORAC และ FRAP ของเยลลี่มีค่าสูงขึ้น ($p\leq0.05$) แต่ขนาดอนุภาคแป้งข้าวไม่มีผลต่อคะแนนความหวาน ความสาก สี กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวม ($p>0.05$) ของผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้าวไรซ์เบอรี่

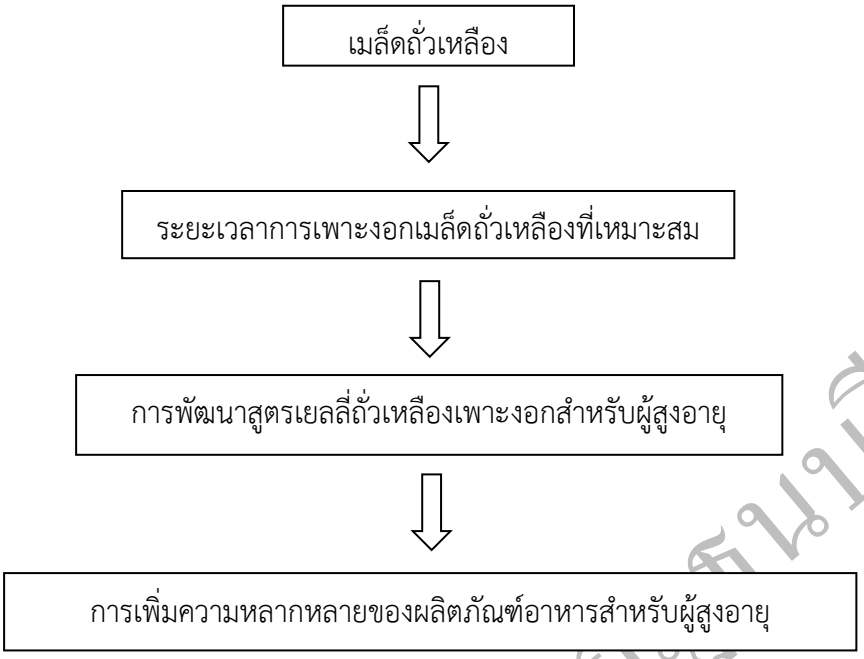
กุสุมา ทินกร ณ อยุธยา และ นัทมน พุฒดวง (2559) ศึกษาปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจลที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่ธัญพืช (ธัญพืช 4 ชนิด ได้แก่ จมูกข้าวเจ้า ลูกเดือยข้าวโพด และงาขาว) โดยสารที่ทำให้เกิดเจลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ คาราจีแนนและกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วน 9:1 แปรปริมาณสารดังกล่าวเป็น 3 ระดับ คือ ที่ความเข้มข้น 0.8 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาอัตราส่วนของสารที่ทำให้เกิดเจลที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบคือ เยลลี่คาราจีแนนตราริชเชส (Richeese) ซึ่งมีค่าเนื้อสัมผัสเมื่อวัดด้วยเครื่อง texture analyzer มีค่าความแข็งของเจล ความเหนียว และความยืดหยุ่น เท่ากับ 5.11 นิวตัน 4.19 นิวตัน วินาที และ 0.48 นิวตัน/วินาที ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชที่เติมสารที่ทำให้เกิดเจลที่ระดับร้อยละ 1.0 มีค่าความแข็งของเจล ความเหนียว และความยืดหยุ่นของอาหารไม่ต่างจากผลิตภัณฑ์ต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจล จะส่งผลให้ค่าความแข็งของเจล ความเหนียว และความยืดหยุ่นของอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากเจลที่เกิดขึ้นในระบบจะเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างพันธะคู่ (double helices) ของคาราจีแนนที่ดูดซับสายกลูโคแมนแนนไว้ที่บริเวณผิวหน้า ส่งผลให้พันธะคู่ที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลในการเตรียมผลิตภัณฑ์ จึงทำให้พันธะคู่ที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรง และมีความคงตัวมากขึ้น ในขณะที่ค่าการแยกตัวของน้ำลดลง เนื่องจากเจลที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดีจึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนของคาราจีแนนผสมกับกลูโคแมนแนนในการผลิตเยลลี่ธัญพืช โดยปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลที่ระดับร้อยละ 1.0 นำมาแปรปริมาณอัตราส่วนคาราจีแนนต่อกลูโคแมนแนนเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 30:70 พบว่ามี 2 อัตราส่วนที่ไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบคือ ที่ระดับ 70:30 และ 50:50 ($p>0.05$) โดยมีความแข็งของเจลอยู่ในช่วง 3.13-3.90 นิวตัน การลดอัตราส่วนของคาราจีแนน และเพิ่มอัตราส่วนของกลูโคแมนแนนมีผลทำให้ค่าความแข็งของเจลและความเหนียวลดลง เนื่องจากเมื่อคาราจีแนนที่เติมลงไปมีระดับต่ำลง โมเลกุลของกลูโคแมนแนนจะไม่สามารถอุ้มของเหลวไว้ได้หมด ลักษณะเจลที่ได้จะอ่อนลง เพราะความเข้มข้นของคาราจีแนนที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนโครงร่างสามมิติ (junction zones) เพิ่มขึ้น เจลจึงมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของคาราจีแนนลดลงจึงทำให้เจลที่ได้มีลักษณะค่าความแข็งของเจลค่าพลังงานยืดเกาะในอาหารลดลง เจลที่มีความแข็งจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในเจลได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลง เมื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากสารผสมที่อัตราส่วน 70:30 ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติและความชอบโดยรวมสูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังนั้นผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืชที่เตรียมจากสารผสมระหว่างคาราจีแนนและกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วน 70:30 ที่ระดับร้อยละ 1.0 จึงเป็นสูตรที่ดีที่สุด

เกวลี ปารมีกาศ และคณะ (2559) ศึกษาปริมาณสารทำให้เกิดเจล ได้แก่ เจลาติน คาราจีแนน คอลลาเจน ที่มีต่อสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน ซึ่งแปรปริมาณสารทำให้เกิดเจล ดังนี้ 10:0:0 7:3:0 7:0:3 8:1:1 9:0.5:0.5 7.5:2:0.5 7.5:0.5:2 และ 8:1:1 โดยมีส่วนผสมของน้ำตาล 10.46 เปอร์เซ็นต์ กรดซิตริก 0.17 เปอร์เซ็นต์ ผงฟักข้าว 0.87 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 78.50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง พบว่า สัดส่วนระหว่างเจลาติน คอลลาเจน คาราจีแนน จะมีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลของผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน ทั้งค่า hardness cohesiveness springiness gumminess และ chewiness แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของคอลลาเจนมากขึ้นจะทำให้ค่า hardness และ gumminess ลดลง เนื่องจากคอลลาเจนมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เกิดโครงสร้างแบบเจล แต่อยู่ในรูป active form เมื่อเข้าไปในส่วนผสมที่มีการเกิดเจล จะเกิดเป็นโครงสร้างลักษณะ swollen network โดยตัวคอลลาเจนจะเข้าไปแทรกตัวในโครงข่าย (network) ของเจลาติน และคาราจีแนน เกิดระยะห่างในการเกาะกันของร่างแห ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะลดลง ขณะที่ปริมาณคาราจีแนนมีผลต่อค่า cohesiveness เนื่องจากคาราจีแนนส่วนใหญ่จะคงตัวที่ pH เป็นกลางถึงเป็นด่าง ในขณะที่ pH ต่ำจะเกิดการ hydrolysis ของ glycosidic linkage มีผลทำให้สูญเสียความหนืดและการเกิดเจล เมื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารทำให้เกิดเจลกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า คือเยลลี่ปีโป้ พบว่าเยลลี่ปีโป้จะใช้สัดส่วนเจลาติน:คอลลาเจน:คาราจีแนน ในอัตราส่วน 0.73:0.02:0.25 แต่ผลิตภัณฑ์เยลลี่ฟักข้าวเสริมคอลลาเจน สูตรที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดจะใช้สัดส่วนเจลาติน:คอลลาเจน:คาราจีแนน ในอัตราส่วน 0.78:0.07:0.15

2.5 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี