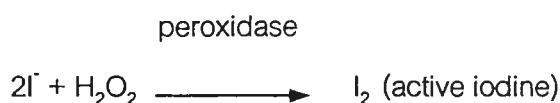


บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 ความสำคัญของธาตุไอโอดีน

ไอโอดีนเป็นธาตุอโลหะ มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidize) ที่ดี ไม่พบอยู่ในรูปอิสระตามธรรมชาติ แต่พบอยู่ในรูปสารประกอบของไอโอไดด์ (I^-) และไอโอเดท (IO_3^-) อยู่บนเปลือกโลกและในน้ำทะเล และไอโอดีนเป็นจุลธาตุแรกๆ ที่ถือว่าจำเป็นต่อมนุษย์และสัตว์ (Ensminger et al., 1994)

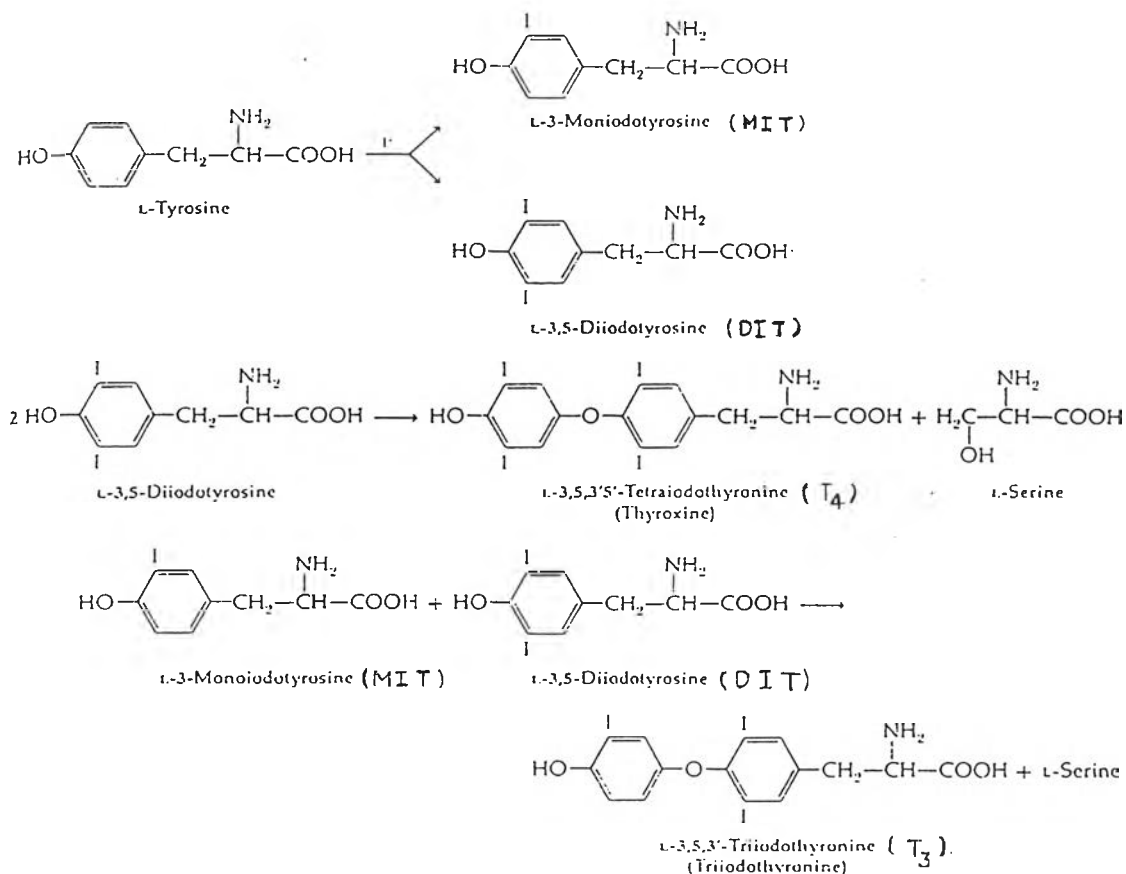
ในร่างกายคนมีไอโอดีนประมาณ 20-50 มิลลิกรัม ไอโอดีนประมาณร้อยละ 70-80 อยู่ในต่อมธัยรอยด์ ซึ่งต่อมธัยรอยด์ในคนหนัก 30 กรัม มีไอโอดีนประมาณ 10 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และในเลือด 100 มิลลิลิตร มีไอโอไดด์ 0.5 ไมโครกรัม (Orten and Neuhaus, 1975) เมื่อร่างกายได้รับไอโอดีนจากอาหารทะเล ไอโอดีนจากอาหารจะถูกดูดซึมในลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดในรูปของไอโอไดด์ (I^-) ต่อมธัยรอยด์จะจับไอโอไดด์ไว้เพื่อผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมน ภายในต่อมธัยรอยด์ ไอโอไดด์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ thyroid peroxidase และ hydrogen peroxide เป็นไอโอดีนดังสมการ



ไอโอดีนที่ร่างกายจะนำไปสร้างฮอร์โมน thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน tyrosine กลไกการสร้างฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยไอโอดีนจะจับกับ tyrosine residue ที่รวมอยู่กับ thyroglobulin (ซึ่งเป็น glycoprotein เฉพาะของต่อมธัยรอยด์) กลายเป็น mono- และ diiodotyrosine (MIT และ DIT) โดย MIT และ DIT จะรวมกันได้เป็น triiodothyronine และ DIT จะรวมกันเองได้ tetraiodothyronine ซึ่งเป็น active form ของธัยรอยด์ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine (White et al., 1973)

ฮอร์โมน thyroxine และ triiodothyronine มีหน้าที่ควบคุมการเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย และเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะโครงสร้างของร่างกาย ระบบประสาท และสมอง เมื่อขาดสารไอโอดีน ทำให้ร่างกายลดการผลิตธัยรอยด์

ฮอร์โมนลง การลดระดับ thyroxine จะไปกระตุ้นต่อม pituitary ที่ควบคุมการผลิตฮอร์โมน thyroxine ให้เพิ่มปริมาณการผลิต เป็นผลให้ต่อมธัยรอยด์ทำงานหนักมากขึ้น และมีลักษณะโตขึ้น ซึ่งเรียกว่า คอพอก (Goiter) การขาดสารไอโอดีนเกิดได้ในทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะในหญิงมีครรภ์ จะทำให้เกิดการแท้งได้ อัตราการตายของทารกและมารดาจากการคลอดสูง และทารกอาจมีความพิการมาแต่กำเนิด เช่น หูหนวก เป็นใบ้ เมื่อเด็กเจริญเติบโตขึ้นจะมีรูปร่างเตี้ยแคระ ปัญญาอ่อน พุงย่น หลังแอ่น หน้าผากแคบ และจุกบาน ซึ่งเรียกว่า ภาวะเครติน (cretinism) (ปราณีต ผ่องแผ้ว, 2539; Ensminger et al., 1994; Hurrell, 1997)



รูปที่ 2.1 Formation of Iodotyrosines, Thyroxine and Triiodothyronine in the Thyroid gland

(White et al., 1973)

2.2 ความต้องการและแหล่งของไอโอดีนในอาหาร

ตามข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน และแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย กระทรวงสาธารณสุข (2532) กำหนดว่า คนไทยควรได้รับสารไอโอดีนใน 1 วัน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งความต้องการสารไอโอดีนของร่างกายขึ้นอยู่กับช่วงอายุ และสภาพร่างกาย แต่เมื่อเทียบกับปริมาณไอโอดีนที่ได้รับทั้งหมดต่อปริมาณไอโอดีนที่ถูกขับออกมากับปัสสาวะ ร่างกายจะมีความต้องการไอโอดีนในปริมาณต่ำสุด 50 ไมโครกรัม และปริมาณมากที่สุด 1,000 ไมโครกรัม (Ranganathan and Reddy, 1995) โดยปริมาณไอโอดีน 50-75 ไมโครกรัมต่อวัน เพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดคอพอกในผู้ใหญ่ แต่เพื่อให้ได้ปริมาณเพียงพอกับความต้องการของร่างกายในกรณีที่ได้รับสาร goitrogens ซึ่งสามารถยับยั้งการดูดซึมไอโอดีนได้ วัยรุ่น และผู้ใหญ่ทั้งสองเพศจึงควรได้รับไอโอดีนประมาณ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (กระทรวงสาธารณสุข, 2532)

ไอโอดีนมีมากบนผิวน้ำดินในรูปไอโอดาต์ และดูดซึมโดยพืช ปริมาณไอโอดีนที่มนุษย์ต้องการในแต่ละวัน ประมาณร้อยละ 90 ได้จากอาหาร และร้อยละ 10 ได้จากน้ำ โดยปริมาณไอโอดีนในเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และปริมาณไอโอดีนในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ใช้เพาะปลูก (สิริพันธุ์ จุลรังคะ, 2542) แหล่งไอโอดีนในอาหารจำแนกตามปริมาณไอโอดีนดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไอโอดีนที่ควรได้รับในแต่ละวันสำหรับคนไทย (กระทรวงสาธารณสุข, 2532)

สถานภาพ	อายุ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัม)
เด็กแรกเกิด	ต่ำกว่า 3 เดือน	4	55	ตามที่ได้รับจากนมแม่
	3-5	6	59	40
	6-8	7	67	50
	9-11	8	70	50
เด็กอายุ (ปี)	1-3	12	84	70
	4-6	16	106	90
	7-9	22	121	120
เด็กผู้ชาย	10-12	29	135	150
	13-15	42	154	150
	16-19	54	166	150
เด็กผู้หญิง	10-12	31	138	150
	13-15	44	152	150
	16-19	48	155	150
ผู้ใหญ่ (ชาย)	20-29	58	166	150
	30-39	58	166	150
	40-49	58	166	150
	50-59	58	166	150
	60 ⁺	58	166	150
ผู้ใหญ่ (หญิง)	20-29	50	155	150
	30-39	50	155	150
	40-49	50	155	150
	50-59	50	155	150
	60 ⁺	50	155	150
หญิงมีครรภ์				+25
หญิงให้นมบุตร 0-5 เดือน				+50
6 ⁺ เดือน				+50

ตารางที่ 2.2 แหล่งไอโอดีนในอาหาร (Kutsky, 1981)

Iodine Concentrations (mg/100g)	Dietary Sources
High (30-500)	<p>Seafood—Cod, oysters, clams, haddock, lobster, shrimp, flounder, halibut, herring</p> <p>Nuts/Seeds—Sunflower seeds</p> <p>Miscellaneous—Kelp, Irish moss, cod-liver oil, mushrooms</p>
Medium (10-50)	<p>Seafood—Eel, catfish, sea bass, sardines, tuna, mackerel, abalone, crab, sea trout, salmon, perch, sole, bluefish</p> <p>Meat/Organs—Eggs, beef liver</p> <p>Nuts/Seeds—Peanuts</p> <p>Fruits—Pineapple</p> <p>Vegetables—Spinach, turnip greens, chard, pickles, asparagus</p> <p>Dairy products—Cheddar cheese</p> <p>Miscellaneous—Chocolate, bone meal, iodized salt, mayonnaise</p>
Low (1-10)	<p>Seafood—Carp, river bass, lake trout, river perch</p> <p>Nuts/Seeds—Walnuts, almonds, cashews</p> <p>Grains—Rice, wheat, barley, oats, rye, wheat germ</p> <p>Fruits—Raisins, pears, apples, cranberries, bananas, cantaloupe, grapefruit, lemons, peaches</p> <p>Vegetables—Soybeans, carrots, turnips, potatoes, cabbage, peas, beans, tomatoes, green peppers, corn, squash, sweet potatoes, pumpkin, cauliflower, beets, onions, cucumber, lettuce, avocados, broccoli, collards, mustard greens</p> <p>Dairy products—Milk, cheese (cheddar, cottage), butter</p> <p>Miscellaneous—Honey, margarine, molasses</p>

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของร่างกายที่ดูดซึมไอโอดีนไปใช้ (Iodine bioavailability)

ความสามารถของร่างกายที่ดูดซึมไอโอดีนไปใช้ (Iodine Bioavailability) หมายถึง อัตราส่วนของไอโอดีนที่ดูดซึมได้จากอาหารต่อปริมาณไอโอดีนที่ใช้ผลิตฮอร์โมนไทรอยด์ (Hurrell, 1998)

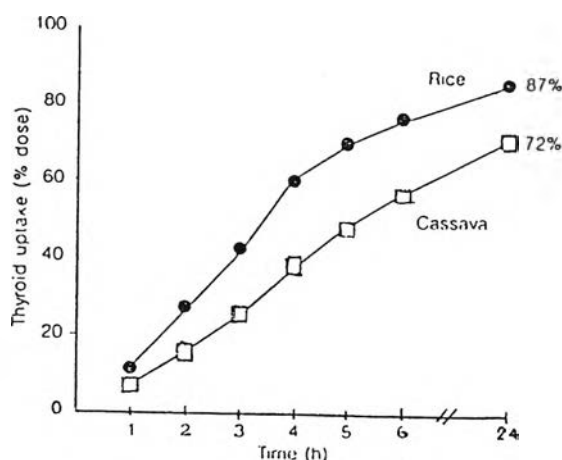
แม้ว่าองค์ประกอบบางชนิดของอาหารไม่มีผลต่อการดูดซึมไอโอดีน แต่สามารถขัดขวางการใช้ไอโอดีนในการผลิตฮอร์โมนไทรอยด์ องค์ประกอบเหล่านี้ ได้แก่ สารพวก goitrogens หรือ precursors ที่มีอยู่ทั่วไปในอาหารที่เราบริโภค โดยเฉพาะพืชตระกูล Brassica species (เช่น ผักกะหล่ำ) และตระกูล Brussels sprouts (เช่น หัวผักกาด) รวมทั้งพบในมันสำปะหลัง และข้าวฟ่าง ซึ่งเป็นอาหารหลักด้วย สาร goitrogens หลักในพืช คือ glucosides ที่มี sulphur (glucosinolates) (Fenwick and Heaney, 1983) พวก glucosinolates มีอยู่ 2 ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ thiocyanate (R-S-CN) ซึ่งจะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนย้ายไอโอดีนเข้าสู่ต่อมไทรอยด์ อีกชนิดคือ oxazolidine-2-thiones ซึ่งยับยั้งการ iodization ของ thyroglobulin และจะเข้าจับกับ iodotyrosine residues ขัดขวางการสร้าง thyroxine (Fenwick and Heaney, 1983)

พืชที่มีสารที่ทำให้เกิดคอพอก (Goitrogens) ได้แก่ หัวผักกาด พืช แพร่ สตรอบเบอร์ แครอท ส่วนพืชที่สงสัยว่าอาจจะมีสารพวกนี้ได้แก่ องุ่น ขึ้นฉ่าย พริกสด ส้มเขียวหวาน ถั่วลิสง ถั่วลิ้นเต่า ถั่วฝักยาว แตงไทย กะหล่ำปลี ผักกาดหอม หอยนางรม นมสด ตับ และอาหารที่ไม่พบสารนี้เลย ได้แก่ เนื้อโค เนยแข็ง ไอศกรีม กุ้ง เห็ด สับปะรด แตงกวา ข้าว ข้าวโพด ถั่วดำ ถั่วแดง หอม ลูกมะกอก อัลต์มอน แอปเปิ้ล กล้วย มันฝรั่ง มะเขือเทศ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542)

สารประกอบพวก phenolics บางชนิดในถั่วลิสง ถั่วเหลือง และข้าวฟ่าง ก็อาจเป็นสาร goitrogens หรือสารพวก resorcinol ที่พบในน้ำดื่มสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ thyroperoxidase ได้ (Gaitan, 1990)

Delange และ Ermans (1971) ได้ศึกษา bioavailability ของเด็กอายุ 7-14 ปี โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารพวกมันสำปะหลัง และอีกกลุ่มที่ได้รับอาหารพวกข้าว พบว่า bioavailability และ thyroid uptake หลังจาก 24 ชั่วโมงของเด็กกลุ่มที่ได้รับข้าวเป็นอาหารคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อีกกลุ่มซึ่งได้รับมันสำปะหลังเป็นอาหารมี bioavailability และ

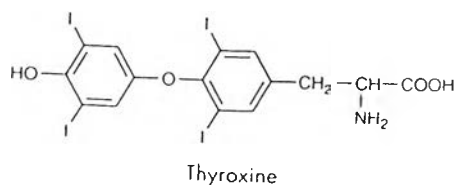
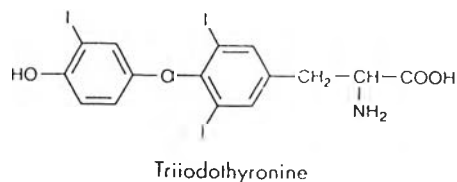
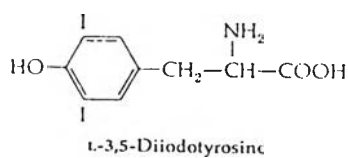
thyroid uptake เพียง 72 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2.2 และพบว่า cyanide ที่เกิดจาก linamarin ในมันสำปะหลังไม่ถูกทำลายหรือสลายหายด้วยการหุงต้มได้อย่างสมบูรณ์ และจะเปลี่ยนเป็น thiocyanate ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการใช้ไอโอดีนของร่างกาย



รูปที่ 2.2 Iodine bioavailability ของเด็กที่ได้รับข้าวและมันสำปะหลังเป็นอาหาร
(Delange and Ermans, 1971)

2.4 การดูดซึมและการเก็บสารไอโอดีนในร่างกาย

ไอโอดีนที่อยู่ในอาหารหรือน้ำจะถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วจากระบบทางเดินอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ของไอโอดีน ไอโอดีนที่ถูกดูดซึมจะผ่านเข้ากระแสโลหิตแล้วเข้าสู่ต่อมธัยรอยด์ ส่วนที่เกินความต้องการจะถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะภายใน 24-48 ชั่วโมง ภายในต่อมธัยรอยด์นี้ ไอโอดีนจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นไอโอดีน แล้วจับกับ tyrosine สร้างเป็น diiodotyrosine, triiodothyronine และ thyroxine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีไอโอดีนอยู่ (สูตรโครงสร้างของ diiodotyrosine, triiodothyronine และ thyroxine แสดงดังรูปที่ 2.3) ต่อมาธัยรอยด์จะไปจับกับโกลบูลินเป็น thyroglobulin ซึ่งเป็นรูปที่ถูกเก็บสะสมไว้ในต่อมธัยรอยด์ (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542)



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ diiodotyrosine, triiodothyronine และ thyroxine

(White et al., 1973; Rosenfeld, 2000)

2.5 รูปแบบของไอโอดีนที่ใช้ในอาหาร

โดยปกติแล้วไอโอดีนมีคุณสมบัติระเหยเป็นไอได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับแสงแดดและความร้อน (McDowell, 1992) ดังนั้นการนำไอโอดีนมาใช้ประโยชน์ในอาหารคนจึงใช้ในรูปแบบของสารประกอบของไอโอดีนซึ่งมี 2 รูปแบบที่สำคัญ คือ อัลคาไลด์ไอโอไดด์ และ อัลคาไลด์ไอโอเดท แต่ในประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนชื้น ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบของไอโอดีนที่จะนำมาใช้จึงมีความสำคัญทั้งในแง่ของปริมาณการใช้และความคงตัวต่อสภาพอากาศที่ร้อนชื้นดังกล่าวเพื่อลดการสูญเสียไอโอดีน (ฉัตรชัย เจนการวณิช, 2542) โดยอัลคาไลด์ไอโอเดทมีความคงตัวต่อสภาพที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าอัลคาไลด์ไอโอไดด์โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้น (oxidizing condition) อัลคาไลด์ไอโอเดท มักอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของเกลือและมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าอัลคาไลด์ไอโอไดด์ และเกลือไอโอเดทไม่ระเหยง่ายเหมือนกับเกลือไอโอไดด์ จึงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของไอโอดีนในอาหารคนได้โดยไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม (กุลยา จันทรอรุณ, 2533; George and Gessner, 1966; McDowell, 1992)

ไอโอดีนในรูปแบบต่างกันมีสมบัติ เช่น เปอร์เซ็นต์ของไอโอดีนและความสามารถในการละลายในของเหลวที่อุณหภูมิต่างๆแตกต่างกันดังตารางที่ 2.3 และสารประกอบไอโอดีนมีสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายน้ำของไอโอดีนและสารประกอบไอโอดีนที่อุณหภูมิ
ต่างๆ (Demaeyer et al., 1979 อ้างถึงในรำไพพร มฤคทัต, 2536)

แหล่งของไอโอดีน	มวลโมเลกุล	เปอร์เซ็นต์ไอโอดีน	ความสามารถในการละลายน้ำ (g/L)				
			0°C	20°C	30°C	40°C	60°C
Iodine	254	100	-	2.29	0.40	0.56	-
Calcium Iodide	294	86.5	646	676	690	708	740
Calcium Iodate	390	65.0	1.0	-	4.20	6.10	13.60
Potassium Iodide	166	76.5	1280	1440	1520	1600	1760
Potassium Iodate	214	59.5	43.7	81.3	117	128	185
Sodium Iodide	150	850	1590	1790	1900	2050	2570
Sodium Iodate	198	640	25.0	90.0	-	150	210

หมายเหตุ Calcium Iodide very soluble in water

Calcium Iodate 0.1 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ

Calcium Iodate 0.95 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่ 100 องศาเซลเซียส

Potassium Iodide 1 กรัม ละลายในน้ำ 0.70 มิลลิลิตร หรือ 0.50 มิลลิลิตร ในน้ำเดือด

Sodium Iodide 1 กรัม ละลายในน้ำ 0.50 มิลลิลิตร

Sodium Iodate 1 ส่วน ละลายในน้ำ 11 ส่วน

ข้อมูลจาก The Merck Index (1983)

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน (Kutsky, 1981)

I ₂ Compounds	Reactions			Solubility			Density	MW	MP	XL form	Color	Appearance		%Element
	Heat (°C)	Air	water	H ₂ O (g/100cc.)	Alc.	Eth.						Acid	XL/Powd.	
NaI	BP 1304 ⁰	deliq.	alk. pH8-9	184	S	NA	NA	3.67	-149.9	651 ⁰	cubic	col./wh.	C, G	-84.7
KI	BP 1330 ⁰	deliq.	alk. pH7-9	144	S	SS	NA	3.12	-166.0	686 ⁰	cubic hex.	col./wh.	C, G, P	-76.5
KIO ₃	d. > 100 ⁰	NA	NA	8.5	I	NA	NA	3.89	-214.0	560 ⁰	monocl.	col./wh.	C, P	-18.3

อักษรย่อ: deliq. = deliquesces; Alc. = alcohol; Eth. = ether; I = insoluble; SS = slightly soluble; S = soluble; hyd. = hydrous; anh. = anhydrous; d. = decomposes; XL = crystal; Powd. = powder; col. = colored; wh. = white; C = crystalline; G = granular; P = powder; MW = molecular weight; MP = melting point; NA = not available; alk. = alkaline; hex. = hexagonal; monocl. = monoclinic; BP = boiling point

จากสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ที่อุณหภูมิต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ไอโอดีนของสารประกอบไอโอดีนข้างต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารประกอบไอโอดีนในรูปของโปตัสเซียมไอโอเดทเป็นสารเสริมไอโอดีนในข้าว เนื่องจากมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งไอโอดีนในอาหารคนได้โดยไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย (กุลยา, 2533; George and Gessner, 1966; McDowell, 1992)

2.6 การเสริมไอโอดีนในอาหาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมไอโอดีนในอาหาร มีดังนี้

Eltom และคณะ (1995) ศึกษาการใช้น้ำตาลเป็นตัวกลางในการเสริมสารไอโอดีน โดยนำน้ำตาลดิบ 1 ตัน ละลายในน้ำร้อนจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมโปตัสเซียมไอโอไดด์ลงไปประมาณ 0.003 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายน้ำตาล และให้ความร้อนต่อ (100 องศาเซลเซียส) แล้วทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออก เติมผงชูโครสเพื่อเป็นตัวล่อให้เกิดการตกผลึก จากนั้นทำให้เย็นที่ 25 องศาเซลเซียส แยกผลึกน้ำตาลโดยการเหวี่ยงแยก (centrifuge) และอบแห้งจนน้ำตาลมีความชื้น 0.06-0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าตัวอย่างน้ำตาลที่สุ่มมา 10 ตัวอย่าง มีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 21.0-28.3 ppm. (หนึ่งส่วนในล้านส่วน) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.0 ± 2.3 ppm. และนำน้ำตาลเสริมไอโอดีนไปใช้ในพื้นที่ที่เป็นโรคขาดสารไอโอดีนในประเทศชูดาน โดยใช้ผู้ทดสอบ 95 คน (ซึ่งในบัสสาวะของผู้ทดสอบทั้ง 95 คน มีปริมาณไอโอดีนโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 5.1 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร) บริโภคน้ำตาลเสริมไอโอดีน โดยการเติมน้ำตาลในเครื่องต้มเป็นเวลา 1 เดือน และเก็บตัวอย่างบัสสาวะก่อนและหลังการใช้น้ำตาลมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน พบว่า ปริมาณไอโอดีนในบัสสาวะของผู้ทดสอบก่อนใช้น้ำตาลเสริมไอโอดีนส่วนใหญ่จะมีน้อยกว่าปริมาณไอโอดีนในบัสสาวะของผู้ทดสอบหลังใช้น้ำตาลเสริมไอโอดีนเป็นเวลา 1 เดือน แสดงว่า น้ำตาลสามารถใช้เป็นตัวกลางในการเสริมไอโอดีนและร่างกายก็สามารถนำไอโอดีนที่เสริมในน้ำตาลไปใช้ได้

Ranganathan และ คณะ (1996) ศึกษาการผลิตเกลือเสริมเหล็กและไอโอดีน (Double-fortified salt) โดยผสมเหล็กและไอโอดีนในเกลือ 2 วิธี คือ spray mixing และ dry mixing การผสมแบบ spray mixing ทำโดยนำสารละลายผสมของ KI, KIO_3 , Sodium hexametaphosphate (SHMP) และ ferrous sulphate heptahydrate (FSHH) ที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 ppm.

และเหล็ก 1,000 ppm. ฉีดพ่นบนเกลือ (common salt) 100 kg และผสมในอ่างผสมที่มีใบพาย (ribbon blender) จนสารละลายกระจายอย่างทั่วถึง ส่วนการผสมแบบ dry mixing ทำโดยขั้นแรก นำสารเคมีพวก KI, KIO_3 , SHMP และ FSHH (ในปริมาณที่ทำให้มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 ppm. และเหล็ก 1,000 ppm.) มาผสมกับเกลือ 1 kg ก่อน จากนั้นนำไปผสมกับเกลือที่เหลือ (99 kg) พบว่า การผลิตเกลือเสริมเหล็กและไอโอดีนแบบ spray mixing เกลือที่ได้มีไอโอดีน 1-2 ppm. มีลักษณะเปียกและเยิ้มติดกัน เพราะการเติมเหล็กและไอโอดีนในรูปของสารละลายทำให้เกลือมีความชื้นเพิ่มขึ้นและเกาะตัวกัน จึงต้องลดความชื้นในเกลือโดยการระเหยน้ำออก ทำให้สูญเสียไอโอดีนในระหว่างการระเหยน้ำ 95-98 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก ferrous sulphate จะถูก hydrolyse เมื่อละลายน้ำ ทำให้สารละลายมีความเป็นกรด KI ถูกรีดิวซ์ กลายเป็นไอโอดีนอิสระและระเหยออกไปได้ง่าย และเกลือมีสีน้ำตาลอ่อน เนื่องจาก ferrous iron เมื่อละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยา oxidation กลายเป็น ferric iron ซึ่งให้สีน้ำตาล ส่วนการผสมแบบ dry mixing จะให้เกลือที่มีลักษณะดีและไม่มีการสูญเสียไอโอดีน

การเสริมไอโอดีนในไข่ ที่อาศัยหลักการแพร่ (diffusion) โดยนำไข่แช่ในสารละลาย KI เมื่อ KI ละลายน้ำจะแตกตัวให้ไอโอดด์ (I^-) ที่มีประจุลบ ทำให้ในสารละลายมีความเข้มข้นไอโอดด์สูงกว่าในไข่ จึงเกิดการแพร่ของไอโอดด์ (I^-) จากสารละลายผ่านเปลือกเข้าไปในไข่ได้ แต่ใช้เวลานานกว่าจะได้ปริมาณไอโอดีนตามที่ต้องการ ดังนั้นพระเจ้าวรวงศ์เธอ พระองค์เจ้าโสมสวลีฯ และคณะ (2541) เสนอว่า ถ้ามีการให้กระแสไฟฟ้าในสารละลาย โดยต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับขั้ว electrode ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย KI แล้วสารละลายจะเกิดสนามไฟฟ้าสถิตขึ้น ทำให้สารไอโอดีนแตกตัวเป็นประจุแทรกซึมผ่านเปลือกไข่ได้ดี และสามารถเสริมไอโอดีนเข้าไปในไข่ได้มากถึง 250 ไมโครกรัมต่อฟอง เมื่อแช่ไข่ในสารละลาย KI (เข้มข้น 50%) นาน 5 นาที

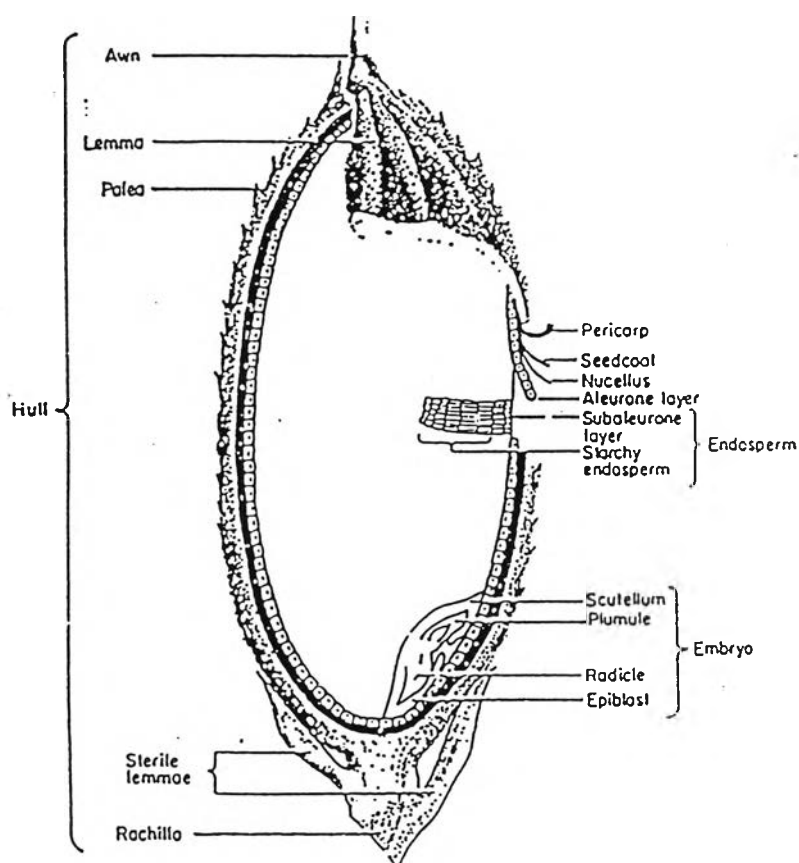
จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ามีความพยายามที่จะเสริมจุลธาตุไอโอดีนในอาหารที่มักจะมีบริโภคกันเป็นประจำ หรือหาบริโภคได้ง่าย และเป็นอาหารที่มีคุณค่าต่อร่างกาย และร่างกายสามารถนำไอโอดีนไปใช้ได้ แต่ไม่พบว่ามี การเสริมไอโอดีนในข้าว ดังนั้นการทดลองเสริมไอโอดีนในข้าวโดยการจัดการเสริมจุลธาตุไอโอดีนในระดับแปลงเพาะปลูก และการเสริมจุลธาตุไอโอดีนโดยการเคลือบเมล็ดข้าว จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ และประชากรไทยทั่วประเทศมักบริโภคข้าวกันมาก ทั้งที่เป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของการเสริมไอโอดีนในข้าวเจ้า และข้าวเหนียว เพื่อเป็นแหล่งของไอโอดีนสำหรับผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง

2.7 ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (semi-aquatic grass plant) ใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ใน genus *Oryza* เติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่บริโภคกันทั่วไปมี 2 species คือ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima* Steud. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกา แต่ข้าวซึ่งเป็นที่รู้จักและยอมรับกันอย่างกว้างขวาง และทำการผลิตและจำหน่ายกันในท้องตลาด คือ *Oryza sativa* L. (Juliano et al., 1990)

2.7.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 (Juliano, 1985)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1985)

2.7.1.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ด มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) สูงถึงร้อยละ 25 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 30 เพนโทแซน (pentosans) ร้อยละ 15 และปริมาณเถ้าร้อยละ 21 (Hoseney, 1994)

2.7.1.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ด มีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังเซลล์บางอยู่ชั้นนอกสุด ผนังเซลล์ของเปลือกหุ้มผลมีความหนา 2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงสร้าง เช่น เซลลูโลส ฮีมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ (Hoseney, 1994) เมื่อแกะเปลือกนอกของเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าวที่เราเรียกว่า ข้าวกล้อง ซึ่งมีสีต่างๆ กันตั้งแต่ขาว น้ำตาลอ่อนจนถึงแดง สีเหล่านั้นคือ สีของเนื้อเยื่อชั้นเพอริคาร์พนั่นเอง

2.7.1.3 เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

- เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วย ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสู่เนื้อเมล็ด (Hoseney, 1994)

- ชั้นเยื่อโปร่งใส (nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส และมีสารให้สีเป็นส่วนประกอบ

- ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของส่วนที่เป็นแป้ง จำนวนชั้นของเนื้อเยื่ออะลูโรนขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและสิ่งแวดล้อม ชั้นของอะลูโรนมีธาตุฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปตัสเซียมอยู่มาก

- คัพภะ (embryo) คือส่วนที่เรียกว่า จมูกข้าว เป็นตำแหน่งของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวต้นใหม่ คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) ส่วนที่จะงอกเป็นรากแรกกำเนิด (radicle) ทั้งสองส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมากเรียกว่า มีโซคอทิล (mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มด้วยลักษณะที่คล้ายใบ เรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ส่วนของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นเนื้อเยื่ออะลูโรน

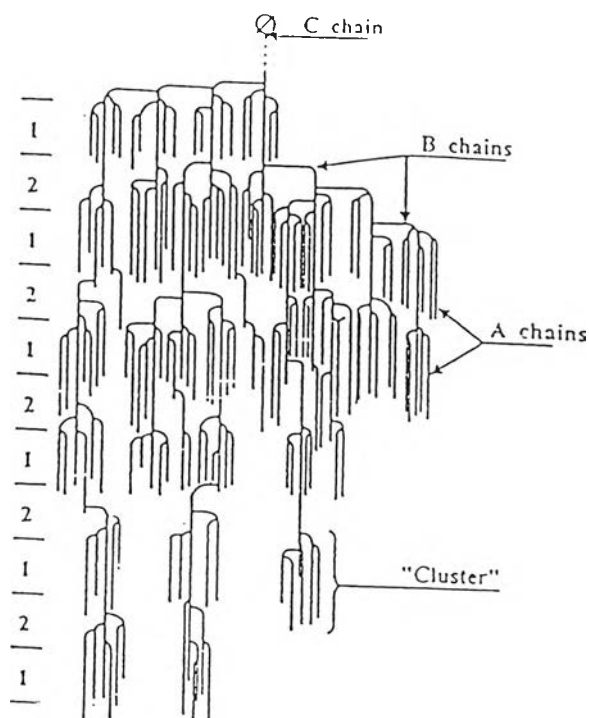
- เนื้อเมล็ด (starchy endosperm) คือ ส่วนที่เป็นแป้งและนิยมใช้บริโภคเป็นอาหาร แป้งนี้ประกอบด้วยเซลล์เม็ดแป้งและโปรตีน แป้งเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อของพืชและอยู่ในลักษณะเม็ดแข็ง(starch granule) ภายในลิวโคพลาสต์ (leucoplast) เซลล์แป้งเป็นโมเลกุลใหญ่จัดอยู่ในจำพวกน้ำตาลหลายชั้น ส่วนโปรตีนจะอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ชโดยโปรตีนเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่ ภายในเมล็ดข้าวสารมีสตาร์ชที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสอยู่ 2 ชนิด คือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin)

อะมิโลส (amylose)

ประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสเพียงอย่างเดียวประมาณ 200-2000 หน่วยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-4 ไกลโคซิดิก (Smith, 1982) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือด แล้วทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนรูปแข็งตัว (retrogradation) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในข้าวเจ้า (non-glutinous rice, non-sticky rice, non-waxy rice) ประกอบด้วยแป้งอะมิโลส 15-31 % จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แป้งที่เหลือจะเป็นอะมิโลเพกติน ส่วนข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky rice, waxy rice) ประกอบด้วยแป้งอะมิโลเพกติน ถึง 95 % มีแป้งประเภทอะมิโลสน้อยมาก หรือบางพันธุ์ไม่มีเลย เมื่อหุงจึงสุกง่ายและอ่อนนุ่มกว่าข้าวเจ้า

อะมิโลเพกติน (amylopectin)

เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีทั้งส่วนที่เป็นสายตรงและกิ่งก้าน ส่วนที่เป็นเส้นตรงประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส 25-30 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-4 ไกลโคซิดิก (Smith, 1982) ส่วนจุดแยกเป็นกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-6 ไกลโคซิดิก เมื่อย้อมสีด้วยยาไอโอดีนจะให้สีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุก (gelatinized) ในน้ำเดือด paste ที่ได้จะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน โครงสร้างของอะมิโลเพกติน แสดงดังรูปที่ 2.5 ข้าวเหนียวและข้าวเจ้ามีปริมาณของอะมิโลเพกตินต่างกันมีผลทำให้คุณภาพของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าต่างกัน เช่น การเกาะกันของเมล็ดข้าว หรือความนุ่มของเมล็ดข้าวสุก



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสัณฐาน (2)
(Robin et al., 1974)

2.7.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

ข้าวเป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงาน โปรตีน เกลือแร่ และวิตามินของชาวเอเชีย (ดังตารางที่ 2.5) เนื่องจากชาวเอเชียบริโภคข้าวเป็นจำนวนมาก (Juliano, 1993) โดยส่วนใหญ่ ข้าวมีคาร์โบไฮเดรต อยู่ระหว่างร้อยละ 70-80 ซึ่งเป็นแป้ง (starch) เกือบทั้งหมด ในข้าวขัดขาว จะมีคาร์โบไฮเดรตมากกว่าข้าวกล้อง (Juliano, 1993) ส่วนเด็กซ์ตรินและซูโครสมีอยู่เพียงเล็กน้อย คาร์โบไฮเดรตในข้าวเป็นแหล่งสำคัญของพลังงาน

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาว (Grist, 1975; Juliano, 1993)

คุณค่าทางโภชนาการ (ต่อข้าว100กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ความชื้น (กรัม)	14.0	14.0
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	363-385	349-373
โปรตีน (กรัมไนโตรเจน x 5.95)	7.1-8.3	6.3-7.1
ไขมัน (กรัม)	1.6-2.8	0.3-0.5
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	73.0-87.0	77.0-89.0
เส้นใย (กรัม)	0.6-0.1	0.2-0.5
เถ้า (กรัม)	1.0-1.5	0.3-0.8
โทอะมิน (มิลลิกรัม)	0.3-0.6	0.02-0.11
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.04-0.14	0.02-0.06
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	3.5-5.3	1.3-2.4
ไพรีดอกซิน (มิลลิกรัม)	0.5-0.9	0.04-0.12
วิตามินเอ (มิลลิกรัม)	0.8-2.5	0.01-0.03
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	10.0-50.0	10.0-30.0
ฟอสฟอรัส (กรัม)	0.17-0.43	0.08-0.15
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.20-5.2	0.2-2.8
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.6-2.8	0.6-2.3

โปรตีน ข้าวมีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 11 ข้าวไทยมีโปรตีนร้อยละ 7 โปรตีนในข้าวเป็นโปรตีนไม่สมบูรณ์ (incomplete protein) โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่รอบนอกใกล้ๆกับชั้นในของชั้นอะลูโลน ส่วนเซลล์เม็ดแป้งจะอยู่เข้าไป ฉะนั้นในการสีข้าวจะขัดเอาชั้นอะลูโลนออกไปมาก ซึ่งทำให้สีน้ำตาลหรือสีแดงของข้าวกล้องถูกขัดออกไปหมด ทำให้โปรตีนถูกขัดออกไปด้วย โดยทั่วไปข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อขัดให้ขาวจนเป็นข้าวสารแล้วจะมีโปรตีนเหลืออยู่เพียง 6-7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ไขมัน ข้าวมีไขมันเพียงเล็กน้อยในจมูกข้าว ไขมันในข้าวจะอยู่ในรูปกรดไขมัน คือ กรดโอเลอิกและกรดไลโนลินิก และเลกซิทิน ข้าวที่ขัดสีทำให้จมูกข้าวซึ่งมีไขมันมากหลุดออกไป ข้าวขัดขาวจึงมีปริมาณไขมันเล็กน้อย (ตารางที่ 2.5)

วิตามินและเกลือแร่ ข้าวเป็นแหล่งของวิตามินบี และมีแร่ธาตุต่างๆ (ตารางที่ 2.6) วิตามินและเกลือแร่ส่วนใหญ่อยู่ที่คัพภะและมिवนอกเมล็ดมากกว่าในเอนโดสเปิร์ม ดังนั้นข้าวกล้องจึงมีปริมาณวิตามินและเกลือแร่สูงกว่าข้าวขัดขาว

ตารางที่ 2.6 Mineral content of husked and polished rice (percentage) (Grist, 1975)

Mineral	Husked	Polished
Chlorine	0.2863	0.048
Phosphorus	0.393	0.380
Calcium	0.0927	0.014
Magnesium	0.0778	0.036
Sodium	0.0542	0.022
Potash	0.1421	0.074
Sulphur	0.0024	0.0038
Iron	0.003177	0.00102
Copper	2.3 µg/100g	1.3 µg/100g
Manganese	15.7 µg/100g	13.8 µg/100g
Iodine	3.88 µg/100g	2.67 µg/100g

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเหนียว (parboiled rice) ที่หุงสุกต่อ
หนึ่งหน่วยน้ำหนักที่บริโภคได้ แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ข้าวสาร และข้าวเหนียว (parboiled rice) ที่หุงสุก
(Guthrie, 1986)

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวเหนียว
น้ำหนัก (กรัม)	195	205	175
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	70	73	73
พลังงาน (แคลอรี)	230	225	184
โปรตีน (กรัม)	5	4	4
ไขมัน (กรัม)	1	มีน้อยมาก	มีน้อยมาก
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	50	50	41
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	0	0	0
ไทอะมิน (มิลลิกรัม)	0.18	0.23	0.19
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.04	0.02	0.02
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	2.7	2.1	2.1
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	23	21	33
ฟอสฟอรัส (กรัม)	142	57	100
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1	1.8	1.4
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	137	0	0

2.7.3 การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าวมีหลายสาเหตุ ได้แก่

2.7.3.1 การขัดขาวข้าว (milling) เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานข้าวสาร (ข้าวขัดขาว) มากกว่าข้าวกล้อง การขัดสีข้าวทำให้สูญเสียสารอาหารที่อยู่ในส่วนของจมูกข้าวและสารที่เคลือบอยู่บนผิวนอกของข้าว ซึ่งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่สูงกว่าในส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) โดยเฉพาะพวกวิตามินบี ที่มีอยู่ในข้าวกล้องจะลดลงมากเมื่อผ่านการสีเป็นข้าวสาร (Juliano, 1993) ซึ่งการสูญเสียโทอะมิน คิดเป็นร้อยละ 82 ไบโอฟลาเวินร้อยละ 57 และไนอะซินร้อยละ 55

2.7.3.2 การล้างข้าว โดยปกติผู้บริโภคนิยมล้างข้าวก่อนนำไปหุงต้ม เพื่อทำความสะอาดข้าว และกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น ฝุ่น แมลง และสิ่งเจือปนอื่นๆ ผลของการล้างและการหุงต้มทำให้สูญเสียเกลือแร่หนึ่งในสาม และปริมาณวิตามินที่ละลายน้ำเกือบครึ่ง (Malakar and Bannerjee, 1959) Grist (1975) รายงานว่า ปริมาณสารอาหารที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการล้างและปริมาณน้ำล้างที่ใช้ เนื่องจากการล้างจะละลายสารอาหารบางส่วนออกจากเมล็ดข้าว

2.7.3.3 การหุงต้ม Houston และ Kohler (1970) พบว่า การหุงข้าวแบบนึ่ง (ไม่รินน้ำทิ้ง) จะช่วยลดการสูญเสียสารอาหารได้ (ตารางที่ 2.8) ส่วน Chieht และคณะ (1978) รายงานว่า ข้าวจะสูญเสียสารอาหารได้มาก เมื่อนำไปหุงแบบเช็ดน้ำ (รินน้ำทิ้ง) เพราะทำให้สูญเสียโทอะมิน ไบโอฟลาเวิน และไนอะซิน ร้อยละ 32-54, 18-36 และ 31-41 ตามลำดับ สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาการสูญเสียไอโอดีนในระหว่างการประกอบอาหารด้วยวิธีต่างๆ (ตารางที่ 2.9) ของ Goindi และคณะ (1995) พบว่า การประกอบอาหารด้วยความดันทำให้สูญเสียไอโอดีนไป 20 เปอร์เซ็นต์ การต้ม 37 เปอร์เซ็นต์ การทอดด้วยน้ำมันน้อย 27 เปอร์เซ็นต์ การทอดในน้ำมันท่วม (deep frying) 20 เปอร์เซ็นต์ การย่าง 6 เปอร์เซ็นต์ และการนึ่ง 20 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.10)

2.7.3.4 การเก็บรักษา การสูญเสียวิตามินในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าว ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการเก็บ Kik (1945) ทดลองเก็บข้าวสารไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 2 และ 6 เดือน พบว่า การสูญเสียวิตามินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการเก็บรักษา เมล็ดข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลานานเท่ากันทำให้สูญเสียโทอะมิน ไบโอฟลาเวิน และไนอะซิน ร้อยละ 24.9, 5.3 และ 3.9 ตามลำดับ Furtur และคณะ (1946) พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ และข้าวเสริม วิตามินที่เก็บในกล่อง กระจกและแก้วที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ ซึ่งเก็บโดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 45 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 21 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 24 ± 4 องศาเซลเซียส เก็บได้นานถึง 12 เดือน โดยที่ระดับวิตามินไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก Cort และคณะ (1976) พบว่า ข้าวพรีมิกซ์ หลังจากเก็บรักษาไว้ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียวิตามินเอ ร้อยละ 4 กรดโฟลิก และไพริดอกซิน ร้อยละ 10

ตารางที่ 2.8 การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าวที่ผ่านการหุงต้มข้าวแบบแช่คั่วและ ไม่แช่คั่ว (Houston and Kohler, 1970)

ชนิดของข้าว และวิธีการหุงต้ม	โทอะมิน		ไบโอฟลาเวิน		ไนอะซิน	
	ปริมาณที่มี ($\mu\text{g/g}$)	การสูญเสีย (%)	ปริมาณที่มี ($\mu\text{g/g}$)	การสูญเสีย (%)	ปริมาณที่มี ($\mu\text{g/g}$)	การสูญเสีย (%)
ข้าวกล้อง						
ไม่แช่คั่ว	4.40	9.00	0.81	6.20	54.00	4.00
แช่คั่ว	4.40	32.20	0.81	26.00	54.00	31.00
ข้าวสาร						
ไม่แช่คั่ว	0.65	1.30	0.27	7.40	20.60	3.40
แช่คั่ว	0.65	54.00	0.27	18.20	20.60	41.00

ตารางที่ 2.9 การสูญเสียไอโอดีนในระหว่างการประกอบอาหาร (Goindi et al., 1995)

Methods of cooking	Mean I ₂ content		%Change (loss) of I ₂ content
	Uncooked	Cooked	
Pressure cooking			
Mutton	15.0	14.5	3.33
Round gourd	6.6	5.6	15.15
Chola	8.5	7.0	17.64
Bottle gourd	5.5	4.5	18.18
Moong dal	5.5	4.5	18.18
Tori	5.25	4.25	19.04
Dal makhani	5.0	4.0	20.0
Masoor dal	6.0	4.75	20.83
Pumpkin	4.5	3.5	22.22
Arhar dal	3.6	2.75	23.61
Channa dal	6.0	4.5	25.0
Rajmah	7.9	5.9	25.3
Lobia	7.6	3.3	56.5
Boiling			
Chicken	12.5	9.0	28.0
Peas	9.2	6.4	30.43
Noodles	5.8	4.0	31.03
Potatoes	5.4	3.7	31.48
Rice	5.0	3.4	32.0
Kadhi	2.4	0.8	66.66
Shallow frying			
Scrambled egg	18.0	17.25	4.16
Peas curry	9.0	8.0	11.11
Uppama	6.0	5.2	13.33
Lady's finger	8.5	7.0	17.64
Makhana	8.5	7.0	17.64
Potato chips	5.2	4.2	19.23
Capsicum	5.0	4.0	20.0
Dosa	4.0	3.0	25.0
Cabbage	5.0	3.7	26.0
Vegetable biryani	5.0	3.7	26.0
Bitter gourd	4.5	3.0	33.33
Noodles	6.0	4.0	33.33
Brinjal	4.1	2.7	34.14
Beans	4.0	2.2	45.0
Carrot	2.0	1.0	50.0

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

Methods of cooking	Mean I ₂ content		%Change (loss) of I ₂ content
	Uncooked	Cooked	
Spinach	5.0	2.4	52.0
Deep frying			
Kachori	12.75	10.75	15.68
Shahi Paneer	11.5	9.5	17.39
Vada	3.5	2.83	19.14
Lauki Kofta	6.25	5.0	20.0
Paneer Kofta	12.5	10.0	20.0
Vegetable Pakora	5.6	4.4	21.4
Mathi	7.5	5.75	23.3
Roasting			
Mutton seekh kabab	15.25	14.75	3.27
Mutton tikka	14.75	14.15	4.06
Chicken seekh kabab	16.0	15.0	6.25
Paneer tikka	11.25	10.45	7.1
Chicken tikka	17.5	16.25	7.14
Chicken	12.75	11.75	7.84
Steaming			
Dhokla	11.0	9.0	18.18
Idli	2.6	2.0	23.07

ตารางที่ 2.10 ปริมาณไอโอดีนที่สูญเสียไปในระหว่างการประกอบอาหารด้วยวิธีต่างๆ

(Goindi et al.,1995)

Type of cooking procedure	Mean I ₂ content of uncooked sample (µg/g)	Mean I ₂ content of cooked sample (µg/g)
Pressure cooking	6.68±2.85	5.31±2.98
Boiling	6.71±3.57	4.55±2.81
Shallow frying	5.74±3.89	4.89±3.80
Deep frying	8.51±3.70	6.89±3.13
Roasting	14.58±2.25	13.72±2.18
Steaming	6.80±5.93	5.50±4.94

2.7.4 การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

Bramall (1986) เสนอว่า วิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวขัดขาว (ข้าวสาร) อาจทำได้ 3 วิธี คือ การขัดสีข้าวให้ชั้นรำข้าวออกไปน้อยลง การทำเป็นข้าวหนึ่ง การเติมวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าว

การขัดสีข้าวให้ชั้นรำข้าวออกไปน้อยลง (undermilling) เป็นการรักษาคคุณค่าทางโภชนาการที่มีอยู่ในชั้นรำข้าว เช่น วิตามินบีพวกไทอะมิน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินให้เหลืออยู่ได้มากกว่าข้าวที่มีการขัดสีชั้นรำข้าวออกไปมาก (Bramall, 1986) แต่ข้าวที่มีการขัดสีชั้นรำข้าวออกไปน้อยจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากมีไขมันเหลืออยู่มากในชั้นรำข้าวที่ขัดสีออกไปต่ำ เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเกิดการหืนขึ้น ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืน และมีสีขาวน้อยกว่าข้าวสารปกติทำให้ไม่น่ารับประทาน (Grist, 1975; Juliano, 1993)

ข้าวหนึ่ง (parboiled rice) คือ ข้าวที่ได้จากการนำข้าวเปลือกไปนึ่ง หรืออบไอน้ำร้อนก่อน แล้วนำมาทำให้แห้งจากนั้นจึงนำมาสีเป็นข้าวสารเพื่อการบริโภคต่อไป (อัมมารตยามวาลา และวิโรจน์ ฤ วรรณง, 2533) การทำข้าวหนึ่งสามารถ ทำได้โดยแช่ข้าวเปลือกในถึงน้ำเป็นเวลา 1-3 วัน ขึ้นกับพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่ข้าว (อุณหภูมิอยู่ในช่วง 60-82 องศาเซลเซียส) แล้วนำมาตากแดดหรืออบให้แห้ง จากนั้นนำมาขัดสีเอาเปลือกออก ข้าวหนึ่งจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวสารธรรมดา เพราะการนึ่งทำให้สารอาหารในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาตีไนเซชัน ทำให้สารอาหารต่างๆกระจายเข้าไปในเมล็ดและคงอยู่ในข้าวสารเมื่อผ่านการขัดสี (Grist, 1975) แต่ข้าวหนึ่งมีข้อเสีย คือ ความร้อนที่ใช้ในการนึ่งข้าวจะทำลายสารกันหืน (antioxidant) ที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกตามธรรมชาติ ทำให้ข้าวหนึ่งมีกลิ่นหืน และมีกลิ่นหมักข้าวมีสีเหลืองทอง ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Bramall, 1986)

การเติมวิตามินและเกลือแร่จากการสังเคราะห์ลงในข้าวสาร สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างเมล็ดข้าวเทียม การเคลือบสารอาหารลงบนเมล็ดข้าว และการแพร่สารอาหารเข้าไปในเมล็ดแล้วทำการครอสลิงสตาร์ช (Misaki and Yasumatsu, 1985; Hoffpauer, 1992) Bramall (1986) อธิบายถึง ข้าวพรีมิกซ์ ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูง เพื่อนำไปผสมกับข้าวสารปกติในอัตราส่วนที่เหมาะสม และได้ข้าวที่มีปริมาณสารอาหารที่ต้องการใกล้เคียงกับข้าวกล้อง จุดประสงค์ของการเพิ่มหรือเสริมสารอาหารลงในข้าว ก็เพื่อให้ข้าวสารมีปริมาณวิตามินบี และเกลือแร่ เท่ากับที่สูญเสียไปในระหว่างการขัดสี (Juliano, 1993)

2.7.5 กรรมวิธีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่

2.7.5.1 การทำเมล็ดข้าวเทียม (simulated rice) ทำได้โดยผสมแป้งสาธิตกับแป้งข้าวเจ้าแล้วเติมสารอาหารลงไป จากนั้นเติมน้ำและนวดให้เป็นโด(dough) แล้วนำโดผ่านเข้าเครื่องเอ็กทูดเดอร์ (extruder) ภายใต้ความดัน ตัดเป็นชิ้นๆขนาดเท่าเมล็ดข้าว แล้วนำไปทำแห้ง ได้เป็นเมล็ดข้าวเทียมที่มีสารอาหารสูง เนื่องจากแป้งข้าวสาธิตจะทำหน้าที่เป็นตัวจับสารอาหารและให้อยู่เป็นเมล็ดข้าวได้ ส่วนมากนิยมนำเมล็ดข้าวเทียมนี้มาผสมกับข้าวสารในอัตราส่วน 1 ต่อ 200 (Bauernfeind and Cort, 1974; Misaki and Yasumatsu, 1985)

2.7.5.2 การเคลือบสารเคมีที่มีคุณค่าทางอาหารบนเมล็ดข้าวสาร

Cort และคณะ (1976) รายงานว่า การผสมสารอาหารที่เป็นผงละเอียดโดยตรงลงในข้าวสารไม่เป็นผลดี เนื่องจากการผสมจะไม่สม่ำเสมอและมักสูญเสียเมื่อมีการล้างข้าวก่อนหุงต้ม Misaki และ Yasumatsu (1985) ทดลองเคลือบข้าวโดยใช้สารเคลือบ เคลือบลงบนข้าวที่เคลือบวิตามิน สารเคลือบที่ใช้มีสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย เอทานอลหรือไอโซพรอปานอล 31 มิลลิลิตร เซอีน (zein) 4.3 กรัม กรดพาล์มมิก (palmitic) หรือกรดสเตียริก (stearic) 3.4 กรัม กรดอะบิติก (abietic acid) 2.9 กรัม และน้ำ 1.8 มิลลิลิตร พบว่า สารเคลือบนี้สามารถป้องกันการสูญเสียวิตามินในระหว่างการล้างข้าวได้ ส่วน Kester และ Fennema (1986) รายงานว่า การเคลือบสารอาหารบางชนิดลงบนเมล็ดข้าวจะใช้สารละลายผสมของสารอาหารที่ต้องการเคลือบกับสารที่มีสมบัติเกิดเป็นฟิล์มได้รวมกัน การเคลือบสารหรืออนุภาคมีหลายแบบ ได้แก่ การห่อหุ้ม (wrapping) การแช่ (immersing) การแปรง (brushing) การพ่นเป็นละอองฝอย (spraying) การทำให้สารแขวนลอยในอากาศ (air suspension coating) หรือ แม้แต่การห่อหุ้มสารเคลือบในลักษณะแคปซูล (encapsulation) (Gennadios and Weller, 1990) Marshall และ Wadsworth (1994) รายงานว่า กรรมวิธีการเสริมสารอาหารในข้าวโดยการเคลือบเมล็ด (Coated Kernel Enrichment) เป็นการใส่ powder-blended enrichment ผสมกับข้าวสาร และเคลือบด้วยฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำทำให้รักษาวิตามินและเกลือแร่ไว้ได้ในระหว่างการล้าง ซึ่งเมล็ดข้าวที่ได้จะมีสีเหมือนปกติ วิตามินและเกลือแร่มีความคงตัวไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆในอาหาร และง่ายต่อการตรวจวิเคราะห์ สารอาหารที่เสริมลงไปผลิตภัณฑที่สุดท้าย ส่วนการเสริมในรูปผง (Powder Enrichment) แม้ว่าจะทำได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่มีข้อเสียคือ พวกผงวิตามินและเกลือแร่ที่เติมอาจทำให้สีของข้าวเปลี่ยนไป เช่น ไรโบฟลาวิน และเหล็กจะทำให้สีของข้าวเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง ซึ่ง

ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค วิตามินและเกลือแร่ที่เติมในรูปผงมีความคงตัวน้อย เมื่อนำข้าวมาล้างจะทำให้สูญเสียสารเหล่านี้ไป 20-100 เปอร์เซ็นต์ของการเติม (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและเวลาที่ใช้ในการล้าง) การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่เสริมลงไปในผลิตภัณฑ์สุดท้ายทำได้ยาก และสารอาหารที่เติมสามารถทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆในอาหารได้ (Marshall and Wadsworth, 1994)

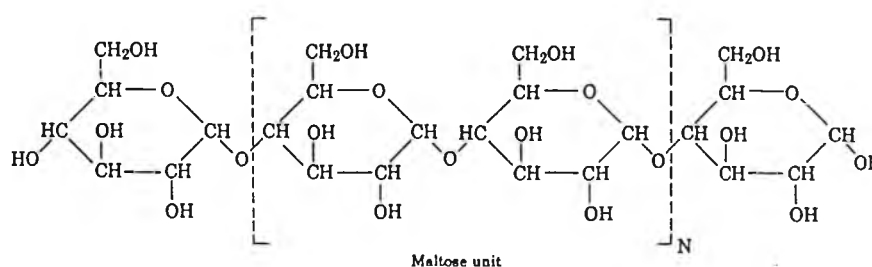
ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการเคลือบสารอาหารลงบนผิวเมล็ดข้าวด้วยสารพอลิเมอร์พวกเซลลูโลสซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Peil และคณะ (1982) เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่หาได้ง่ายและเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ผลิตได้เองในประเทศไทย เพื่อเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวสาร

2.8 สมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบในงานวิจัยนี้

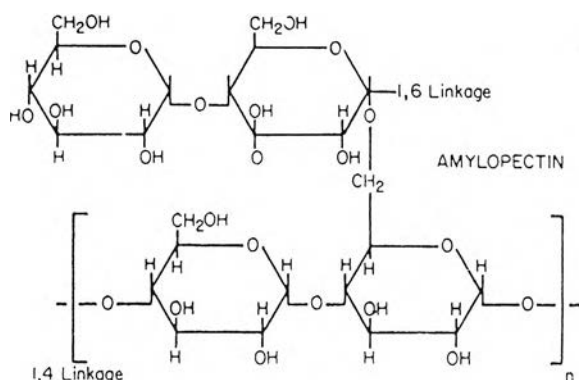
พอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเคลือบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และสารพอลิเมอร์พวกเซลลูโลส (Hydroxypropylmethylcellulose ร่วมกับ methylcellulose)

2.8.1 แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว มีคุณสมบัติหลายประการที่มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ช่วยให้อาหารข้น ช่วยให้อาหารคงตัว ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร นอกจากนี้ ยังมีส่วนช่วยให้กรรมวิธีการผลิตอาหารทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น และแป้งมีราคาค่อนข้างถูก

โดยทั่วไปแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) (ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7)

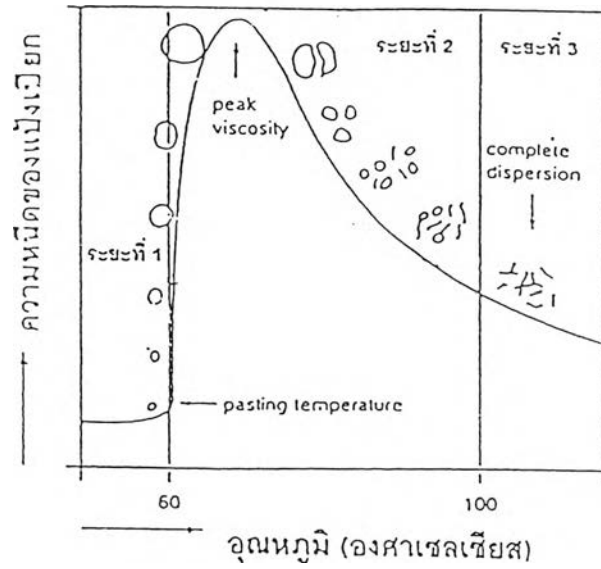


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะมิโลส (Osman, 1972)

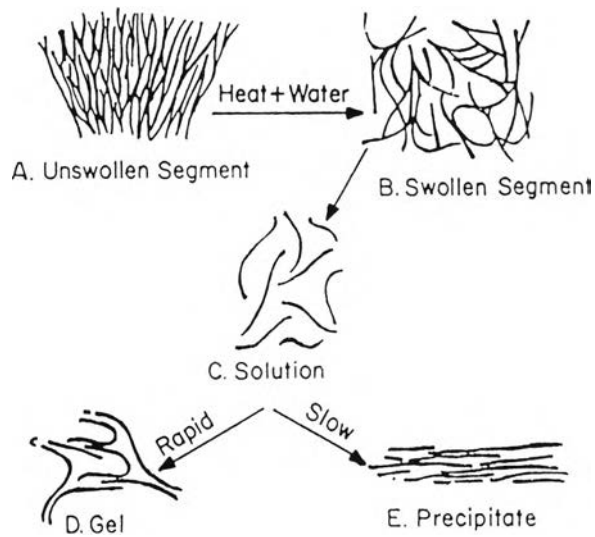


รูปที่ 2.7 โครงสร้างอะมิโลเพกติน (Heckman, 1977)

สมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง คือ ความหนืด ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน โดยโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxy group) จำนวนมาก มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห micelles ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายโดยเริ่มในส่วนออสซิลลูมก่อน เม็ดแป้งจึงดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้นและโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง จึงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปฏิกิริยาการนี้จะเป็นแบบผันกลับไม่ได้ เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล เม็ดแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ (peak viscosity) ซึ่งจุดนี้เม็ดแป้งจะอ่อนแอที่สุดและสามารถแตกออกเมื่อมีแรงกระทำ (ดังรูปที่ 2.8) เป็นผลให้ความหนืดลดลง โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กในเม็ดแป้งจะกระจัดกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้เย็นตัว (จาก 90°C ถึง 50°C) โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถกักน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก starch paste จะมีความหนืดและขุ่น (opaque) มากขึ้น อาจเกิดลักษณะคล้ายฟิล์มบนผิวหน้า เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (ดังรูปที่ 2.9) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนเจลาติไนเซชัน ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.8 ระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง (Sanders, 1996)



รูปที่ 2.9 กลไกการพองตัวและการคืนตัวของแป้ง (Heckman, 1977)

เจลอะมิโลส สามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และสารละลายอะมิโลสที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า จะเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่สารละลายอะมิโลสเข้มข้นต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดการตกตะกอน (Dea, 1993)

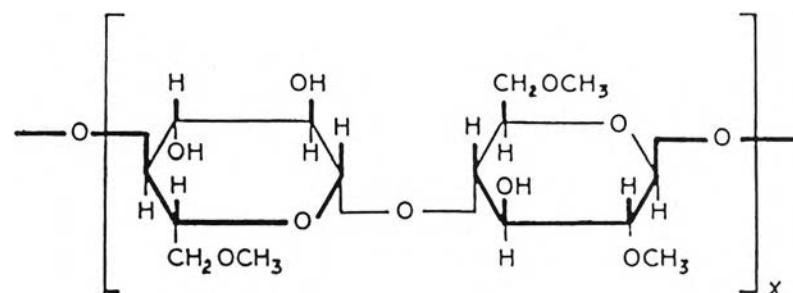
Reddy และคณะ (1994) ศึกษาสมบัติด้านความหนืด (viscoelastic properties) ของแป้งข้าว (rice-flour paste) 15 พันธุ์ โดยให้ความร้อนกับน้ำแป้งถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 40 นาที เมื่ออุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียสจึงนำแป้งข้าวมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนที่เหลือนำมาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ viscoelastic properties พบว่า แป้งข้าวเจ้า มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวจะมีลักษณะอ่อนแอ

2.8.2 Methylcellulose และ Hydroxypropylmethylcellulose

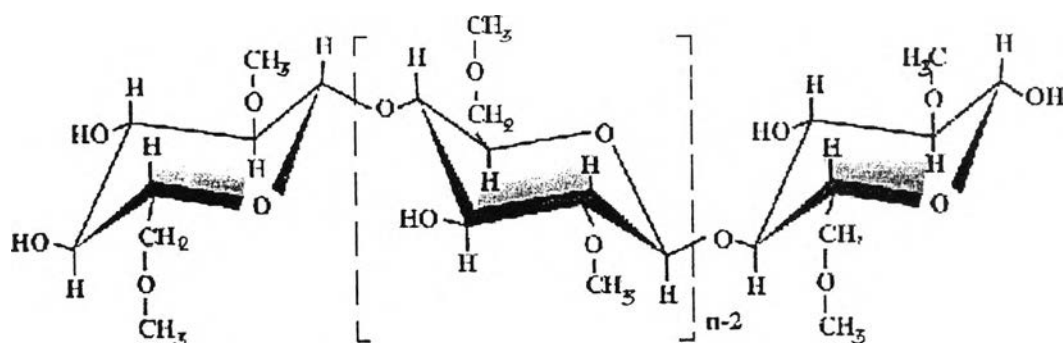
Methylcellulose เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ที่ได้จากปฏิกิริยาของ alkali cellulose กับ methyl chloride ดังสมการ



methylcellulose ที่มีระดับการแทนที่ต่ำสามารถละลายในน้ำได้เพียงอย่างเดียว ส่วน methylcellulose ที่มีระดับการแทนที่สูง จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วได้ (Ganz, 1977) สูตรโครงสร้างของ methylcellulose แสดงดังรูปที่ 2.10 และ 2.11 (สูตรโครงสร้างของ methylcellulose ทางการค้าชนิด Methocel[®]A จากบริษัท Dow Chemical)

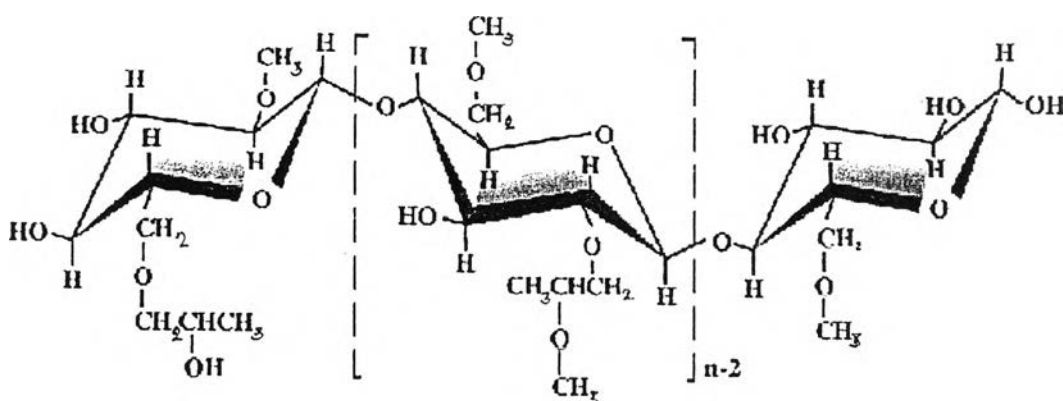


รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของ methylcellulose (Ganz, 1977)



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของ Methocel*A (Dow Chemical)

ส่วน Hydroxypropylmethylcellulose ได้จากปฏิกิริยาของ alkali cellulose กับ methyl chloride และ propylene oxide สูตรโครงสร้างของ hydroxypropylmethylcellulose ทางการค้าชนิด Methocel*F จากบริษัท Dow Chemical แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างของ Methocel*F (Dow Chemical)

methylcellulose และ hydroxypropylmethylcellulose ละลายได้ดีในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อน ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นและจะเกิดเจลที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเจลสามารถเพิ่มให้สูงขึ้นได้ ถ้ามีการเพิ่มหมู่ hydroxypropyl ในเซลลูโลส ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของ methylcellulose และ hydroxypropylmethylcellulose แสดงดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 Chemical compositions of methylcellulose and hydroxypropylmethyl cellulose (Ganz, 1977)

Methoxy (%)	Hydroxypropoxyl (%)	Soluble in	Nominal Gel Temperature (°C)
27.5-32.0	0	Water	54-56
26-30	7-12	Water and organic solvents	60
27-29	4.0-7.5	Water	65
19-24	4-12	Water	70-90

Peil และคณะ (1982) ศึกษาการใช้สารพอลิเมอร์เคลือบข้าวเพื่อรักษาสารอาหารที่เติมในข้าวให้คงอยู่ในระหว่างการหุงแบบรินน้ำทิ้ง โดยเบื้องต้นศึกษาหาระบบของสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการเคลือบ พบว่าการใช้สารละลายเจลที่ประกอบด้วย methylcellulose (Methocel*A15) ผสมกับ hydroxypropylmethylcellulose (Methocel*F50) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 ซึ่งละลายในน้ำกับเอทานอล 95% ในสัดส่วน 70 ต่อ 30 จะรักษาปริมาณไทอะมินที่เติมลงไปให้คงอยู่หลังการหุงได้มากที่สุด (38 ± 3.0 เปอร์เซ็นต์) จึงนำระบบของสารละลายเจลนี้มาใช้ในการเคลือบข้าวเพื่อเสริมสารอาหารพวกวิตามินและเกลือแร่ต่อไป พบว่าการเสริมสารอาหารโดยการเคลือบข้าวด้วยสารพอลิเมอร์จะช่วยรักษาปริมาณสารอาหารให้คงอยู่หลังจากการหุงข้าวได้ โดยเฉพาะเหล็กและวิตามินเอ มีปริมาณที่คงอยู่หลังจากการหุงข้าวสูงถึง 100 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารเคลือบพวกเซลลูโลสซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Peil และคณะ (1982) เพื่อเสริมไอโอดีนในเมล็ดข้าวโดยการเคลือบต่อไป