บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัยและการวิจารณ์ผล

4.1 องค์ประกอบของผักโขม

4.1.1 proximate composition

ผักโขมที่ซื้อมาจากตลาดสด ต้องล้างกำจัดเศษดินที่ติดมากับรากออก จากนั้นบรรจุทั้งต้นลงในถุงพลาสติกที่มีรูระบายอากาศ มีอายุการเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 8°C ประมาณ 2 สัปดาห์

ส่วนประกอบของต้นผักโขมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ส่วนของใบ, ก้านใบ และยอดอ่อน ส่วนที่ไม่ใช้ คือ ส่วนของลำต้นทั้งหมด เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นนั้นพบว่าลำต้นของผักโขมนั้นจะมีปริมาณ fiber อยู่ค่อนข้างมาก จึงทำให้ลำต้นมีลักษณะแข็งและเหนียว รับประทานได้ยาก ผักโขมที่ใช้ในงานวิจัยจะมีค่าของส่วนที่บริโภคได้ (edible portion) อยู่ที่ประมาณ 60-70% ทั้งนี้ผักที่มีอายุมากกว่าจะมีส่วนของลำต้นมากกว่า จึงมีส่วนที่บริโภคได้ต่ำกว่าผักที่มีอายุน้อยกว่า แต่ค่าที่ได้นี้จะต่ำกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยของ Wills และคณะ (1984) ซึ่งอยู่ที่ 89% เนื่องจากรวมการใช้ลำต้นส่วนบนมาบริโภคด้วย แต่ค่าก็อยู่ในช่วงที่ Teutonico และ Knorr (1985) กล่าวไว้ในงานวิจัย คือ 50-80%

เมื่อนำส่วนประกอบของต้นผักโขมส่วนที่นำมาบริโภคได้ คือ ใบ, ก้านใบ และยอดอ่อน มาวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญ จะได้ผลดังตารางที่ 4.1 สำหรับปริมาณไขมัน, คาร์โบไฮเดรต และเถ้า เนื่องจากมีค่าต่ำมาก (Teutonico and Knorr, 1985) จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบที่สำคัญในผักโขมส่วนที่นำมาบริโภคได้ (ต่อน้ำหนักสด 100 g)

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น (g)	90.06 ± 0.91
โปรตีน (g)	2.55 ± 0.04
crude fiber (g)	1.07 ± 0.04
calcium (mg)	226.0 ± 9.9
วิตามินเอ; β-carotene (μg)	2240.0 ± 48.1

จากผลการทดลองพบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของผักโขม คือ ความชื้น ซึ่งจะมีค่าสูงถึง 90.06% ปริมาณความชื้นที่ได้มีค่าใกล้เคียงผลการวิจัยของ Wills และคณะ (1984), Teutonico และ Knorr (1985) และสมชาย ชคตระการ (2541) ที่ 91.7, 85.7 และ 86.9% ตามลำดับ ซึ่งการแปรผันของปริมาณความชื้นนี้เป็นเรื่องปกติ ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในผักโขมจะมีการเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรต่างๆ เช่น ฤดูกาล, อาหารที่พืชได้รับ, วิธีการเพาะปลูก, พันธุ์ปลูก (cultivar) ฯลฯ โดยอาจแปรผันได้ตั้งแต่ 70-94% (Bressani, 1993)

องค์ประกอบที่มีมากเป็นอันดับสองในผักโขม คือ โปรตีน จึงถือได้ว่าผักโขมนั้นเป็นผักที่มีโปรตีนสูง เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน ซึ่งจากการทดลองพบว่าผักโขมมีปริมาณโปรตีน 2.55% โดยน้ำหนักสด หรือสูงถึง 25.65% โดยน้ำหนักแห้ง ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยของ Wills และคณะ (1984) และ Teutonico และ Knorr (1985) คือ 34.9 และ 32.7% โดยน้ำหนักแห้ง แต่ใกล้เคียงกับของสมชาย ชคตระการ (2541) คือ 26.7% โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผักที่ใช้เป็นพันธุ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยเป็นพันธุ์ที่พบในประเทศไทย และมีสภาพพื้นที่ปลูกคล้ายคลึงกัน

องค์ประกอบที่สำคัญอันดับที่สามในผักโขม คือ fiber ซึ่งจากการทดลองพบว่าผักโขมมีปริมาณ fiber 1.07% โดยน้ำหนักสด หรือ 10.76% โดยน้ำหนักแห้ง สูงกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยของ Teutonico และ Knorr (1985) และสมชาย ชคตระการ (2541) ที่ 7.0 และ 9.9% อย่างไรก็ดี ปริมาณ fiber ในผักโขมก็มีการแปรผันมากเช่นเดียวกับความชื้น โดยอาจมีค่าได้ตั้งแต่ 5.4-24.6% ขึ้นกับอายุและส่วนของผักบนต้น (Bressani, 1993)

แร่ธาตุสำคัญในผักโขม คือ calcium โดยจะมีปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับผักชนิดอื่น จากการทดลองพบว่าผักโขมมีปริมาณ calcium 226 mg / น้ำหนักสด 100 g หรือ 2.27 g / น้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยของ Wills และคณะ (1984) และสมชาย ชคตระการ (2541) ที่ 1.3 และ 2.0 g / น้ำหนักแห้ง 100 g แต่ต่ำกว่าค่าของ Teutonico และ Knorr (1985) ที่ 3.5 g / น้ำหนักแห้ง 100 g อย่างไรก็ตาม calcium บางส่วนอาจอยู่ในรูปของ calcium oxalate ที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงต้องมีการพิจารณาเทียบกับปริมาณ oxalate ที่มีในผักโขม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

สำหรับวิตามินที่สำคัญและมีมากในผักโขม คือ วิตามินเอ โดยส่วนมากอยู่ในรูปของ β-carotene ซึ่งให้ pro-vitamin A activity สูงที่สุด จากการทดลองพบว่าผักโขมมีปริมาณ β-carotene 2240 μg / น้ำหนักสด 100 g หรือ 1344 IU / น้ำหนักสด 100 g (วิตามินเอ 1 IU มีค่าประมาณ 0.6 μg ของ β-carotene) ซึ่งสูงกว่าค่าของ Wills และคณะ (1984) ที่ 1710 μg / น้ำหนักสด 100 g และเช่นเดียวกับองค์ประกอบอื่นๆ ในผักโขม ปริมาณ β-carotene ในผักโขมก็มีการแปรผันเช่นกัน ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ (Fennema, 1996)

4.1.2 ปริมาณ oxalate และ nitrate

ปริมาณ oxalate และ nitrate ในผักโขมนั้นมีความสำคัญ เนื่องจากผักโขมมีปริมาณสารทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่สูงกว่าผักชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถส่งผลเสียต่อร่างกายได้ โดย oxalate นั้นเป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง รวมทั้งขัดขวางไม่ให้ร่างกายนำ calcium ไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วน nitrate ก็เป็นสารที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารในกลุ่ม N-nitroso compound ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ จากการวิเคราะห์ปริมาณ oxalate และ nitrate ในผักโขม ด้วยวิธีของ Baker (1952) และ Heisler (1973) ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ oxalate และ nitrate ในผักโขม

ปริมาณ	ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	mg / น้ำหนักสด 100 g	mg / น้ำหนักแห้ง 100 g	mg / น้ำหนักสด 100 g	mg / น้ำหนักแห้ง 100 g
oxalate				
total	450.5 – 492.7	4532.2 – 4956.7	471.6 ± 29.8	4744.5 ± 300.2
soluble	295.6 – 323.8	2973.8 – 3257.5	309.7 ± 19.9	3115.6 ± 200.6
insoluble*	154.9 – 168.9	1558.4 – 1699.2	161.9 ± 9.9	1628.8 ± 99.6
nitrate	152.6 – 163.8	1535.0 – 1647.4	158.2 ± 7.9	1591.2 ± 79.5

* ปริมาณ insoluble oxalate คำนวณจากปริมาณ total oxalate ลบด้วย soluble oxalate

ปริมาณ total oxalate ในผักโขมที่ได้จากการทดลองมีค่าเป็น 0.47% โดยน้ำหนักสด ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิจัยของ Der Marderosian และคณะ (1980) และ Meena และคณะ (1987) ที่ 0.34-1.82 และ 0.60-0.73% โดยน้ำหนักสด ซึ่ง oxalate สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ oxalate ที่ละลายน้ำได้ 65.67% และ oxalate ที่ไม่ละลายน้ำ 34.33% โดยปริมาณ soluble oxalate นี้จะสูงกว่าปริมาณที่ได้จากการวิจัยของ Meena และคณะ (1987) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 37-52% การที่ผักโขมมีปริมาณ soluble oxalate สูง แสดงให้เห็นว่าผักโขมน่าจะมีปริมาณ sodium และ potassium สูงเช่นกัน เนื่องจาก soluble oxalate จะอยู่ในรูปเกลือของ sodium และ potassium (Singh and Saxena, 1972) และการมีปริมาณ soluble oxalate สูงยังส่งผลดีในแง่ของการกำจัด oxalate ในผักโขม ทั้งนี้เนื่องจาก oxalate ส่วนที่ละลายน้ำได้นี้สามารถถูกกำจัดได้ด้วยการต้มในน้ำ (สมชาย ชคตระการ, 2537)

ปริมาณ insoluble oxalate นั้น จะส่งผลต่อปริมาณ calcium ในผักโขมที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจาก insoluble oxalate จะอยู่ในรูปเกลือของ calcium และ magnesium (Singh and Saxena, 1972) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ร่างกายจึงดูดซึมแร่ธาตุส่วนนี้ไม่ได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าผักโขมจะมีปริมาณ calcium สูงก็ตาม แต่ร่างกายก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ซึ่งในการกล่าวอ้างถึงประโยชน์ของผักโขมในรายงานหลายฉบับไม่ได้กล่าวถึงข้อเสียในส่วนนี้เลย โดยจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของปริมาณ calcium ต่อ insoluble oxalate จะอยู่ที่ประมาณ 1.4 : 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามี calcium บางส่วนในผักโขมเท่านั้นที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คิดเป็นประมาณ 64.1 mg ต่อน้ำหนักสด 100 g หรือ 28% ของ calcium ที่มีอยู่ทั้งหมด โดยค่าจริงจะสูงกว่านี้เนื่องจากการคิดปริมาณ calcium นี้กำหนดว่า insoluble oxalate ทั้งหมดนั้น อยู่ในรูปของ calcium oxalate (บางส่วนน่าจะอยู่ในรูปของ magnesium oxalate)

จะสังเกตได้ว่าปริมาณ oxalate ที่ได้จากการทดลองนั้นมีช่วงค่าค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้เนื่องมาจากการแปรผันของปริมาณ oxalate ในแต่ละช่วงของปี โดยในช่วงหน้าแล้งนั้นปริมาณ oxalate จะเพิ่มสูงขึ้น ส่วนในหน้าฝนที่ผักได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ปริมาณ oxalate จะลดลง (National Research Council, 1984) ปัจจัยด้านอายุของผักก็มีผลเช่นกัน โดยผักที่ใช้จะมีอายุอยู่ในช่วง 15-30 วัน ซึ่งปริมาณ oxalate ในผักที่มีอายุมากกว่าจะมีค่าสูงกว่า (Singh and Saxena, 1972)

ปริมาณ nitrate ในผักโขมที่ได้จากการทดลองก็ถือว่ามีค่าสูงเช่นกัน โดยมีค่าเป็น 0.16% โดยน้ำหนักสด ซึ่งก็มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวิจัยของ Der Marderosian และคณะ (1980) คือ 0.05-0.19% โดยน้ำหนักสด ปริมาณ nitrate ก็คล้ายกับ oxalate คือ มีการแปรผันของค่าเช่นกัน เนื่องจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในการปลูกผักที่ต่างกัน (Bressani, 1993) รวมทั้งปัจจัยหลักคือ ปริมาณการใช้ปุ๋ย nitrogen ที่ต่างกันด้วย (Der Marderosian et al., 1980)

4.2 การกำจัด nitrate และ oxalate ในผักโขม

การกำจัด oxalate ในผักโขมใช้วิธีการต้มในน้ำเดือดแล้วทิ้งน้ำที่ต้มไป สภาวะที่ใช้ คือ ปริมาณน้ำ 15 เท่าของน้ำหนักผักที่จะต้ม และใช้เวลาในการต้มนาน 15 นาที ตามวิธีของ Pingle และ Ramasastri (1978) ผักที่ต้มแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณ oxalate ทั้ง total, soluble และ insoluble oxalate เพื่อเปรียบเทียบกับผักสด ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ oxalate (mg ต่อน้ำหนักสด 100 g) ในผักโขมก่อน และหลังต้มในน้ำเดือดปริมาณ 15 เท่าของน้ำหนักผัก นาน 15 นาที

oxalate	ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าที่ลดลง
	ก่อนต้ม	หลังต้ม	ก่อนต้ม	หลังต้ม	(%)
total	450.5 – 492.7	168.1 – 183.9	471.6 ± 29.8^{a}	176.0 ± 11.2^{b}	62.68
soluble	295.6 – 323.8	10.1 – 11.1	309.7 ± 19.9^{b}	10.6 ± 0.7^{b}	96.58
insoluble*	154.9 – 168.9	158.0 – 172.8	161.9 ± 9.9^{ns}	165.4 ± 10.5^{ns}	-

* ปริมาณ insoluble oxalate คำนวณจากปริมาณ total oxalate ลบด้วย soluble oxalate

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b ต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.01$)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ total oxalate และ soluble oxalate ในผักสดและผักที่ผ่านการต้มแล้วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยปริมาณ total oxalate ลดลง 62.68% และปริมาณ soluble oxalate ซึ่งเป็น oxalate ส่วนที่ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย และขัดขวางไม่ให้ร่างกายนำแคลเซียมไปใช้ประโยชน์นั้นลดลงถึง 96.58% ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ Pingle และ Ramasastri (1978) ที่ปริมาณ soluble oxalate ลดลง 93% สำหรับปริมาณ insoluble oxalate ในผักสดและผักที่ต้มแล้วนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.01$) ซึ่งก็ตรงกับผลการวิจัยของ Pingle และ Ramasastri (1978) เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ดี insoluble oxalate ที่เหลืออยู่นั้นไม่ใช่ oxalate ส่วนที่ส่งผลเสียต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายจะไม่ดูดซึมเข้าไป (Hill and Rawate, 1982)

ดังนั้น oxalate ในผักที่ต้มแล้วจะประกอบด้วย soluble oxalate เพียง 6.02% และ insoluble oxalate 93.98% เทียบกับในผักสดที่มี soluble oxalate สูงถึง 65.67% สำหรับ soluble oxalate ที่เหลืออยู่ปริมาณ 10.6 mg ต่อน้ำหนักผักสด 100 g นั้น ก็ยังต่ำกว่าระดับที่เป็นอันตราย (toxic level) สำหรับคนอยู่มาก โดยระดับอันตรายจะอยู่ที่ 2-5 g ต่อวัน (Bressani, 1993) และถึงแม้ว่าจะคิดเทียบกับปริมาณ total oxalate ซึ่งอยู่ที่ 176.0 mg ต่อน้ำหนักผักสด 100 g ค่าก็ยังต่ำกว่ามากเช่นเดิม

การลดลงของปริมาณ soluble oxalate นี้ เกิดขึ้นเนื่องจาก soluble oxalate เป็น oxalate ที่เกิดจากการจับกันของ oxalic acid และโลหะ monovalent เช่น sodium หรือ potassium แล้วได้เป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ง่าย (Marais, 1997) ดังนั้นเมื่อนำผักโขมมาต้มในน้ำ soluble oxalate

จะแตกตัวออกเป็น oxalic acid และละลายอยู่ในน้ำที่ต้ม (สมชาย ชดตระการ, 2537) ซึ่งจากการทดลองก็พบว่าค่า pH ของน้ำที่ใช้ต้มผัก ก่อนและหลังต้มนั้นต่างกัน โดยค่า pH ของน้ำที่ต้มผักแล้วมีค่าลดลงจาก 7.15 เป็น 6.94 ทั้งนี้ก็น่าจะมาจากปริมาณ oxalic acid ในน้ำที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

สำหรับการกำจัด nitrate ในผักโขม ก็อาศัยการต้มในน้ำ แล้วทิ้งน้ำที่ต้ม เช่นเดียวกันกับการกำจัด oxalate อย่างไรก็ดีสภาวะที่ใช้ในการต้มจะต่างออกไปจากการกำจัด oxalate ตามวิธีของ Pingle และ Ramasastri (1978) โดยในงานวิจัยของ Hill และ Rawate (1982) จะใช้การต้มในน้ำเดือดและใช้เวลาในการต้มนาน 15 นาที แต่ปริมาณน้ำจะเป็นเพียง 7 เท่าของน้ำหนักผักที่จะต้ม ซึ่งน้อยกว่าวิธีการกำจัด oxalate ที่เป็น 15 เท่า ดังนั้นเพื่อจะกำจัดทั้ง oxalate และ nitrate ไปพร้อมกัน จึงเลือกวิธีของ Pingle และ Ramasastri (1978) มาใช้ในการกำจัด nitrate ในผักโขมด้วย สำหรับผักที่ต้มแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณ nitrate เพื่อเปรียบเทียบกับผักสด ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ nitrate (mg ต่อน้ำหนักสด 100 g) ในผักโขมก่อนและหลังต้มในน้ำเดือด ปริมาณ 15 เท่าของน้ำหนักผัก นาน 15 นาที

ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ค่าที่ลดลง (%)
ก่อนต้ม	หลังต้ม	ก่อนต้ม	หลังต้ม	
152.6 – 163.8	44.1 – 51.3	158.2 ± 7.9^{a}	47.7 ± 5.1^{b}	69.86

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b ต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ nitrate ในผักโขมก่อนและหลังต้ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยมีค่าลดลง 69.68% เหลือเพียง 47.7 mg ต่อน้ำหนักผักสด 100 g หรือ 479.6 mg ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยของ Hill และ Rawate (1982) คือ 150-270 mg ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g อย่างไรก็ดีชนิดของผักโขมที่ใช้นั้นต่างกันโดยในงานของ Hill และ Rawate (1982) ใช้ผักโขมชนิด *A. hybridus* และ *A. retroflexus* รวมทั้งสภาวะในการปลูกก็ต่างกัน ปริมาณ nitrate ในผักโขมก่อนการต้มจึงต่างกัน รวมทั้งในงานวิจัยดังกล่าวก็ไม่ได้มีรายงานถึงปริมาณ nitrate ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ nitrate ที่เหลืออยู่ในผักโขมที่ผ่านการต้มแล้ว กับปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ในอาหาร ซึ่งกำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของไทย ที่ 500 ppm (กระทรวงสาธารณสุข, 2527) ก็พบว่ามีค่าต่ำกว่า โดยอยู่ที่ 477 ppm การจะลดปริมาณ nitrate ในผักโขมลงได้อีกนั้น จะต้องปรับปรุงที่วิธีการในการเพาะปลูกผัก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ nitrate ในผักโขมนั้น จะขึ้น

กับปริมาณการใช้ปุ๋ยประเภท nitrogen มากกว่าปัจจัยอื่นๆ (Der Marderosian et al., 1980) ซึ่งเกษตรกรมักจะใช้ปุ๋ยประเภทนี้อย่างฟุ่มเฟือยและมากเกินไปอยู่เสมอในการเพาะปลูกผัก เพื่อเร่งให้ผักนั้นมีใบขนาดใหญ่และจำนวนใบมากๆ ซึ่งส่งผลให้ผักมีปริมาณ nitrate สะสมที่สูงมากกว่าปกติ (ลักขณา อมรสิน, 2540)

การลดลงของ nitrate ในผักโขมเมื่อนำไปต้มนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากเหตุผลคล้ายกับกรณีของ soluble oxalate โดย nitrate ในผักโขมนั้นจะอยู่ในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำไปต้มในน้ำ nitrate ที่มีอยู่จะละลายลงไปในน้ำที่ต้ม และถูกกำจัดไปเมื่อทิ้งน้ำที่ต้ม (Bressani, 1993)

นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าการต้มผักโขมเพื่อกำจัด oxalate และ nitrate ไม่มีผลต่อสีของผักโขมแต่อย่างใด โดยทำการวัดค่าสีของผักก่อนและหลังต้ม ด้วยเครื่อง chromameter (Minolta, CR-300) ในระบบ CIE L*a*b ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สีของผักโขมก่อนและหลังการต้มในน้ำเดือด ปริมาณ 15 เท่าของน้ำหนักผัก นาน 15 นาที

ผักโขม	ค่าสีเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
ก่อนต้ม	51.05 ± 0.85^{ns}	-16.39 ± 0.43^{ns}	30.68 ± 2.13^{ns}
หลังต้ม	49.63 ± 0.52^{ns}	-15.87 ± 0.88^{ns}	29.09 ± 2.60^{ns}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จะเห็นว่าสีของผักก่อนและหลังต้มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผักที่ผ่านการต้มแล้วยังคงมีสีเขียวเช่นเดิม (น้ำที่ใช้ต้มจะมีสีออกเหลืองเล็กน้อย) ถึงแม้ว่าการต้มผักโดยทั่วไปนั้น chlorophyll มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น pheophytin ที่ให้สีน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนสูงจากการต้ม ที่ระยะเวลานานก็ตาม (Fennema, 1996) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในผักโขมนั้นมีปริมาณ chlorophyll สูงกว่าผักอื่นๆ มาก (Teutonico and Knorr, 1985) จึงยังสามารถรักษาสีเขียวเอาไว้ได้ นอกจากนี้ผักโขมยังมีปริมาณ magnesium สูง (Will et al., 1984) ซึ่ง magnesium จะช่วยรักษาโครงสร้าง chlorophyll เอาไว้ ไม่ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ pheophytin (Fennema, 1996)

รวมทั้งยังพบว่าการต้มผักนี้หากต้มในภาชนะปิดแล้วจะทำให้สีของผักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทันที ในขณะที่การต้มในภาชนะเปิดจะไม่พบการเปลี่ยนสีนี้เลย การเปลี่ยนสีนี้น่าจะมาจาก

การเปลี่ยน chlorophyll เป็น pheophytin เช่นกัน แต่การต้มในภาชนะปิดนั้นจะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงให้มากขึ้นจากการเพิ่มความเป็นกรดในน้ำที่ต้ม เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย (volatile organic acid) ในผักโขมนั้นจะระเหยออกมาเมื่อได้รับความร้อน (Fennema, 1996) การใช้ภาชนะเปิดกรดจะระเหยไปในบรรยากาศ ทำให้น้ำที่ต้มมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดน้อยกว่า โดยที่ค่า pH ของน้ำหลังจากต้มผักแล้วจะมีค่าเป็น 6.94 ซึ่งมีความเป็นกรดเพียงเล็กน้อย

4.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งที่จะทำการพัฒนาต่อไปนั้น จะมีลักษณะคล้ายกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายอยู่ทั่วไป และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมาแล้ว ดังนั้นจึงควรมีการเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกับผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง จากการพิจารณาพบว่าสมบัติที่แสดงลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งนั้น ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น, ค่า water activity, adsorption isotherm, สี, ความหนาของแผ่น และค่า tensile strength

สำหรับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่เลือกมาใช้ในการวิเคราะห์นี้จะเป็นชนิดที่ใช้สำหรับบริโภคเป็นขนมขบเคี้ยวเท่านั้น ไม่รวมชนิดที่ใช้โรยหน้าข้าวและใช้ประกอบอาหาร และมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ไม่รวมแบบที่เป็นเส้น ซึ่งพบว่ามีอยู่ทั้งหมด 6 ชนิด ที่มีวางขายอยู่ทั่วไป เป็นชนิดที่นำเข้าจากต่างประเทศ 5 ชนิด คือ จากประเทศจีน 3 ชนิด, ประเทศสิงคโปร์และเกาหลีอย่างละ 1 ชนิด และผลิตในประเทศ 1 ชนิด เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าปัจจุบันไม่มีผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ที่นำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นอีก และเริ่มมีผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศมากขึ้น โดยเป็นการนำเข้าสาหร่ายแห้งจากต่างประเทศ แล้วนำมาปรุงรสและแบ่งบรรจุขายอีกทอดหนึ่ง

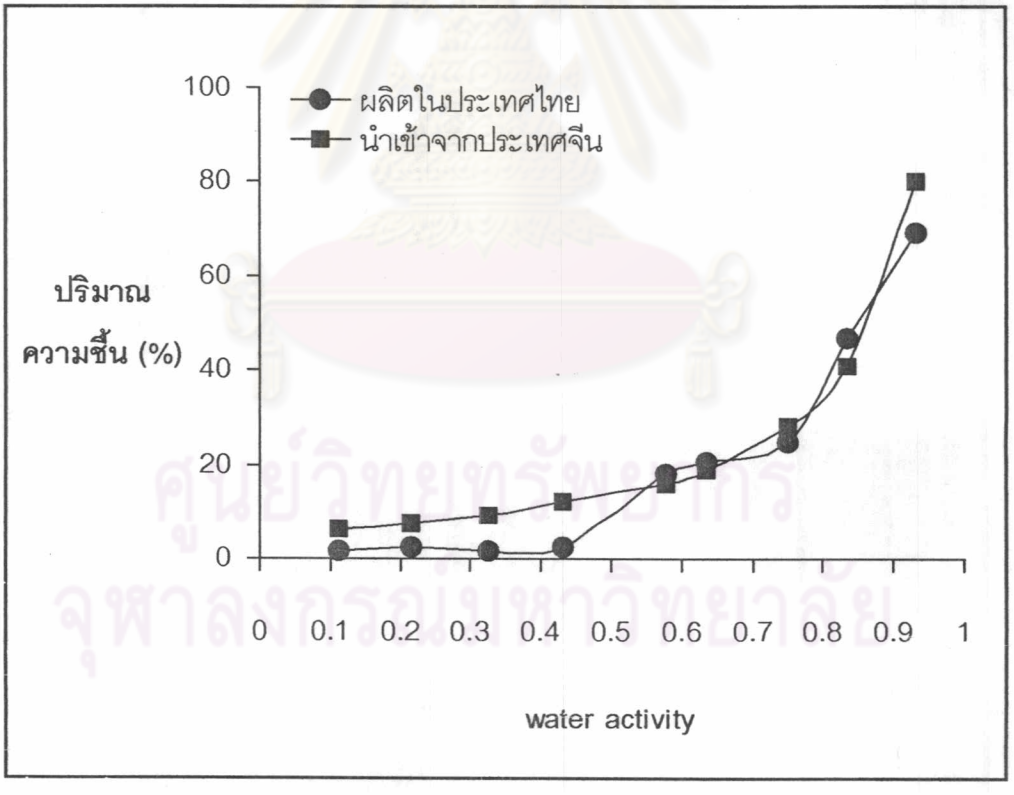
4.3.1 ปริมาณความชื้น, water activity และ adsorption isotherm

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) และการวัดค่า water activity ด้วยเครื่องวัด a_w ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไปทั้ง 6 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ส่วนการหา adsorption isotherm ด้วยวิธี gravimetric method ของ McLaughlin และ Magee (1998) ซึ่งใช้การวางตัวอย่างไว้ในบรรยากาศของสารละลายเกลืออิ่มตัวที่มีค่า water activity ต่างๆ กันจำนวน 9 ค่า จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 30°C ได้ผลดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้น และค่า water activity ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 6 ชนิด

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง)	water activity (a_w)
นำเข้าจากประเทศจีน ชนิดที่ 1	4.23 ± 0.09	0.350 ± 0.004
ชนิดที่ 2	4.67 ± 0.01	0.346 ± 0.003
ชนิดที่ 3	4.98 ± 0.01	0.493 ± 0.017
นำเข้าจากประเทศสิงคโปร์	6.86 ± 0.04	0.386 ± 0.006
นำเข้าจากประเทศเกาหลี	2.68 ± 0.01	0.402 ± 0.003
ผลิตในประเทศไทย	2.07 ± 0.02	0.367 ± 0.005



รูปที่ 4.1 adsorption isotherm ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 2.07-6.86% โดยมีเพียงชนิดเดียวที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า 5% ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์ผักอบแห้ง (Fellows, 2000) และมี 2 ชนิดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 3% โดยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะผิวหน้าที่ดูแห้งกว่า และมีความมันวาวน้อยกว่าชนิดอื่นๆ สำหรับค่า water activity จะอยู่ในช่วง 0.346-0.493 ซึ่งก็สูงกว่าค่าปกติสำหรับผลิตภัณฑ์ผักอบแห้งที่ 0.200 และจากการสังเกตพบว่าค่า water activity จะไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นเสมอไป โดยตัวอย่างที่มีค่า water activity สูง ไม่จำเป็นที่จะต้องมีปริมาณความชื้นสูง และในทางตรงข้ามก็เช่นเดียวกัน ทั้งนี้น่าจะขึ้นกับปริมาณและสูตรของเครื่องปรุงที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

สำหรับ adsorption isotherm ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง จะมีรูปทรงแบบ exponential shape ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไปที่มักจะมีรูปทรงแบบ sigmoidal shape (Fellows, 2000) โดยในช่วงค่า water activity ต่ำกว่า 0.7 ผลิตภัณฑ์จะยังสามารถรักษาปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับต่ำได้ แต่ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่า water activity สูงเกิน 0.7

4.3.2 สี, ความหนาของแผ่น และค่า tensile strength

ค่าสีในระบบ L*a*b ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งทั้ง 6 ชนิด ที่วัดโดยใช้เครื่อง chromameter ได้ผลดังตารางที่ 4.7 ส่วนความหนาซึ่งวัดด้วย vernier และค่า tensile strength ซึ่งวัดด้วยเครื่อง texturometer ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 สีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 6 ชนิด

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง	ค่าสีเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
นำเข้าจากประเทศจีน ชนิดที่ 1	33.87 ± 1.89	-0.22 ± 0.19	2.04 ± 0.50
ชนิดที่ 2	39.38 ± 0.21	-3.74 ± 0.42	5.66 ± 0.26
ชนิดที่ 3	36.05 ± 0.71	-0.88 ± 0.15	5.29 ± 0.29
นำเข้าจากประเทศสิงคโปร์	35.03 ± 0.24	0.06 ± 0.21	0.57 ± 0.24
นำเข้าจากประเทศเกาหลี	39.80 ± 1.51	-3.01 ± 0.28	7.87 ± 0.36
ผลิตในประเทศไทย	29.94 ± 0.24	-3.03 ± 0.24	5.45 ± 0.54

สีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งจะเป็นสีเขียวปนเหลือง สังเกตได้จากค่า a ซึ่งมีค่าเป็นลบ ที่แสดงถึงสีเขียว และค่า b ซึ่งมีค่าเป็นบวก ที่แสดงถึงสีเหลือง ค่า a ของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง –3.74 ถึง 0.06 จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง –3.74 ถึง –3.01 จำนวน 3 ชนิด และกลุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง –0.88 ถึง 0.06 อีก 3 ชนิด ซึ่งกลุ่มแรกจะมีสีเขียวเข้มกว่ากลุ่มที่สองซึ่งมีแนวโน้มไปทางสีแดงมากกว่า ส่วนค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.57 ถึง 7.87 โดยมี 2 ชนิด ที่มีค่าต่ำ คือ 0.57 และ 2.04 ส่วนอีก 4 ชนิดมีค่ามากกว่าในช่วง 5.29 ถึง 7.87 ซึ่ง 4 ชนิดหลังนี้จะมีสีเหลืองที่มากกว่า สำหรับค่าความสว่าง (L) ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 29.94 ถึง 39.80 อย่างไรก็ดีค่าสีทั้ง 3 ค่า จะมีความแปรผันค่อนข้างมากในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน เนื่องจากลักษณะของแผ่นสาหร่ายจะมีความหนาแน่นของเนื้อสาหร่ายไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าแผ่นจะมีลักษณะเรียบก็ตาม โดยในส่วนที่เนื้อสาหร่ายมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะมีสีเข้มกว่า นอกจากนี้สีของสาหร่ายเองก็ยังไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น โดยบางส่วนอาจเป็นสีเขียว บางส่วนเป็นสีเขียวปนเหลือง บางส่วนเป็นสีออกเหลือง ซึ่งอาจจะมาจากการใช้สาหร่ายต่างชนิดกัน ดังนั้นในการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งจึงจำเป็นต้องวัดในหลายๆ จุดบนแผ่น แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง

ตารางที่ 4.8 ความหนาและค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 6 ชนิด

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความหนา (mm)	ค่า tensile strength (g)
นำเข้าจากประเทศจีน ชนิดที่ 1	0.23 ± 0.04	1183.8 ± 62.6
ชนิดที่ 2	0.21 ± 0.02	1425.8 ± 12.1
ชนิดที่ 3	0.21 ± 0.03	1897.8 ± 36.7
นำเข้าจากประเทศสิงคโปร์	0.36 ± 0.01	1209.5 ± 8.6
นำเข้าจากประเทศเกาหลี	0.19 ± 0.02	2251.9 ± 27.7
ผลิตในประเทศไทย	0.80 ± 1.06	892.1 ± 14.0

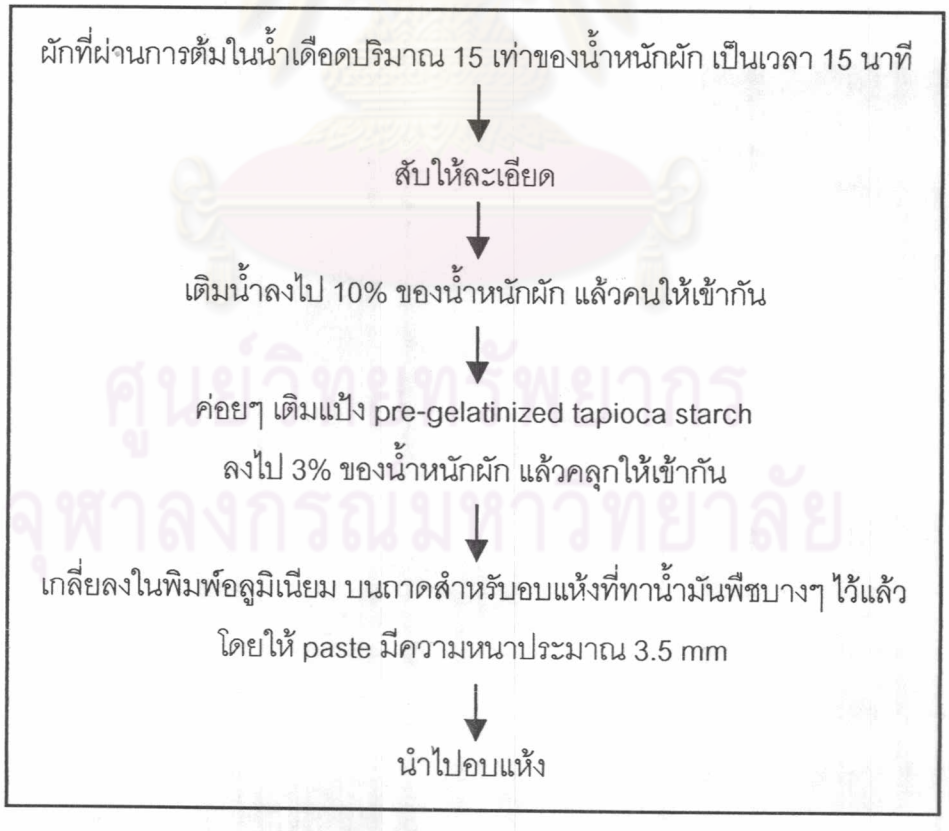
ความหนาของแผ่นของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งจะอยู่ในช่วง 0.19-0.80 mm โดยจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ จะมีความหนาของแผ่นที่น้อยกว่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.36 mm และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ ซึ่งมีความหนาของแผ่นมากกว่ามาก คือ 0.80 mm ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์กลุ่มหลังนี้จะมีลักษณะของแผ่นที่ไม่เรียบ แผ่นจะบิดและเป็นลอนไม่สม่ำเสมอกัน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กลุ่มแรก แผ่นจะมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอกันโดยตลอด

สำหรับค่า tensile strength ซึ่งบอกความเหนียวของแผ่นนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 892.1 ถึง 2251.9 g โดยแผ่นที่มีลักษณะกรอบและแตกง่ายจะมีค่าที่ต่ำกว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอด ส่วนแผ่นที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้บ้างจะมีค่า tensile strength สูงกว่า คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งใช้การย่าง (roast) อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่าค่าที่วัดได้จะมีการแปรผันอยู่พอสมควร ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าลักษณะของแผ่นสาหร่ายนั้น จะมีความหนาแน่นของเนื้อสาหร่ายไม่เท่ากัน จึงส่งผลต่อค่าที่วัดได้ โดยแผ่นที่มีความหนาแน่นของเนื้อสาหร่ายมากกว่าก็จะมีค่า tensile strength สูงกว่า เพราะ จะมีเนื้อของสาหร่ายยึดเกาะกันมากกว่า จึงต้องการแรงในการดึงแผ่นให้ขาดออกจากกันมากกว่า

4.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์

4.4.1 การขึ้นรูปเป็นแผ่น

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนแรกจะเป็นการพัฒนาขั้นตอนและวิธีการในการขึ้นรูปผักโขมให้อยู่ในลักษณะของแผ่นที่เมื่ออบแห้งแล้ว มีความหนาใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง และแผ่นมีลักษณะยึดติดกันได้ดี ไม่ขาดง่าย มีความยืดหยุ่นพอสมควร รวมทั้งไม่เปราะและแตกเป็นเศษเล็กๆ ได้ง่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมจะเป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นผักโขมก่อนการอบแห้ง

ขั้นตอนการขึ้นรูปเริ่มจากนำผักโขมที่ผ่านการต้มเพื่อกำจัด oxalate และ nitrate มาแล้วตามสภาวะที่ได้จากข้อ 4.2 มาสะเด็ดน้ำออกจนกระทั่งไม่มีน้ำไหลออกมาจากเนื้อผักอีก จากนั้นนำมาสับให้ละเอียดโดยใช้มีดสับธรรมดา การใช้ blender ปั่นผักนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากผักจะมีลักษณะชิ้นเล็กเกินไป และเละเป็นน้ำ ทำให้ขึ้นรูปได้ยาก และเมื่ออบแห้งแล้วจะมีลักษณะเนื้อผักในแผ่นละเอียดเกินไป ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าผู้บริโภคนิยมที่จะยังเห็นเศษของผักเป็นชิ้นเล็กๆ อยู่ในแผ่น ซึ่งคล้ายกับลักษณะของสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งมากกว่า

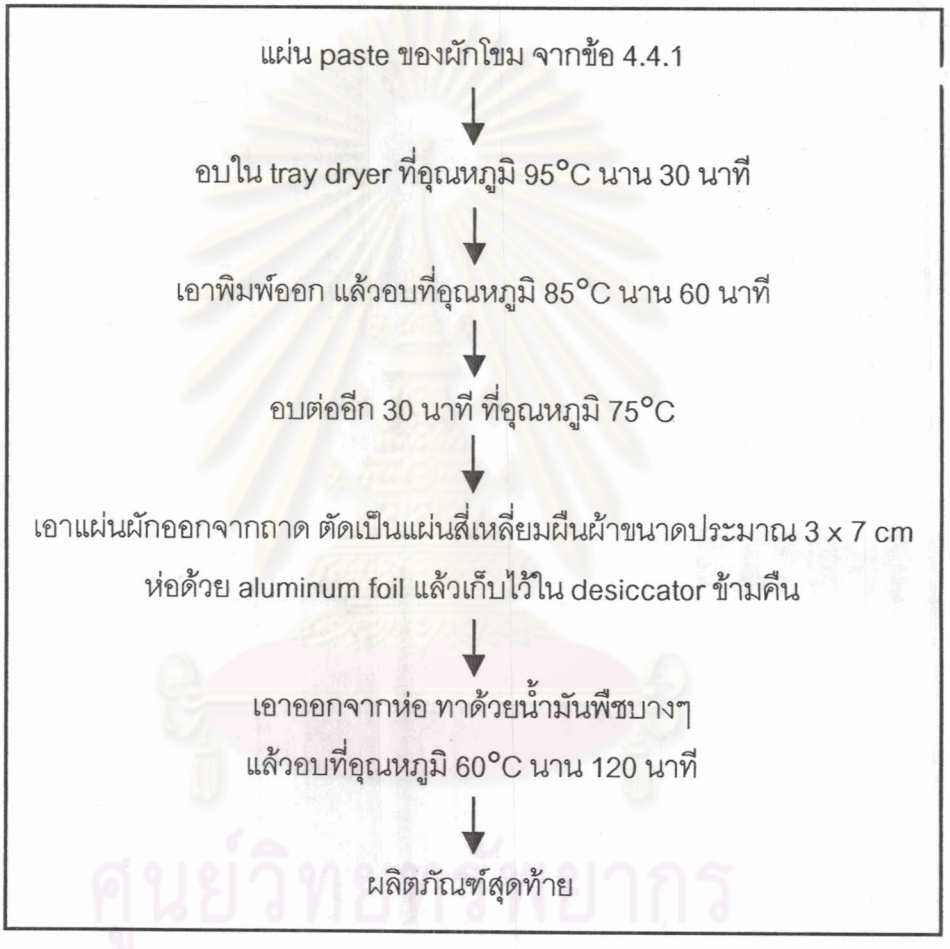
จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการอบแห้งผักที่ไม่ผสมอะไรลงไปเลยนั้น ผักจะขาดออกจากกันได้ง่าย เมื่อความหนาของแผ่นน้อยลง จนไม่สามารถทำให้แผ่นผักมีความหนาตามต้องการได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารบางชนิดลงไป เพื่อทำหน้าที่เป็น binding agent ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้ modified starch คือ pre-gelatinized tapioca starch มีความเหมาะสมในการใช้งานเป็น binding agent ได้ดีกว่า modified starch แบบอื่น เช่น pre-gelatinized cross-linked stabilized tapioca starch โดยจะช่วยให้เนื้อผักเกาะติดกันได้ดีขึ้นเมื่ออบแห้งแล้ว และทำให้แผ่นมีความยืดหยุ่นไม่เปราะแตกง่าย สามารถปรับให้แผ่นมีความหนาตามต้องการได้ รวมทั้งใช้งานได้ง่าย เนื่องจากอยู่ในรูปของ pre-gelatinized starch จึงสามารถเติมลงไปในผักและเกิดเป็นเจลแป้งได้ทันที และพบว่าปริมาณของ pre-gelatinized tapioca starch ที่เหมาะสม คือ 3% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว การเติม starch มากเกินกว่านี้จะทำให้แผ่นผักมีความแข็งเกินไป และแตกหักได้ง่าย ทั้งไม่มีความยืดหยุ่นเพียงพอ รวมทั้งยังพบอีกว่าการเติม starch จะต้องค่อยๆ เติมลงไปครั้งละปริมาณไม่มาก จากนั้นคนให้เข้ากับเนื้อผักก่อน แล้วจึงค่อยเติมลงไปอีก การเติมลงไปครั้งละมากๆ จะทำให้การกระจายตัวของ starch ไม่สม่ำเสมอ เจลที่เกิดขึ้นจะเป็นมีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งเมื่ออบแห้งแล้ว จะเป็นก้อนแข็ง และทำให้รับประทานได้ยาก

การเติมน้ำลงไป 10% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับให้ผักโขมที่สับละเอียดแล้ว อยู่ในลักษณะของ paste และช่วยลดความเหนียวจากการเติม starch ช่วยให้การเกลี่ยลงบนถาดทำได้ง่ายขึ้น การเกลี่ยลงบนถาดจะทำในพิมพ์อลูมิเนียมขนาด 15.5 x 21 cm ซึ่งเมื่อใช้ปริมาณผักที่ต้มแล้ว 100 g จะสามารถเกลี่ยลงในพิมพ์ให้มีความหนา 3.5 mm ได้พอดี และแผ่นผักที่อบแล้วจะมีความหนาใกล้เคียงกับแผ่นของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง

ถาดและพิมพ์ที่ใช้จะต้องทาน้ำมันพืชไว้บางๆ ก่อนที่จะเท paste ของผักลงไป เพื่อให้สามารถแกะแผ่นผักออกได้เมื่ออบแห้งแล้ว

4.4.2 การอบแห้ง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่สอง คือ การพัฒนาขั้นตอนและวิธีการ รวมถึงสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง paste ของผักโขมที่ผ่านการขึ้นรูปมาแล้วจากข้อ 4.4.1 โดยใช้การอบแห้งใน tray dryer ให้ได้เป็นแผ่นผักโขมแห้งที่มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ และมีปริมาณความชื้น, ค่า water activity รวมทั้งค่า tensile strength ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าขั้นตอนการอบแห้งที่เหมาะสมจะเป็นดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการอบแห้งแผ่นผักโขม

การอบแห้งในช่วงแรกจะอบที่สภาวะต่างกันเป็น 3 ช่วง โดยเริ่มจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ คือ จาก 95, 85 และ 75°C นาน 30, 60 และ 30 นาที ตามลำดับ การอบแห้งในลักษณะเช่นนี้จะช่วยให้แผ่นผักเกิดการแห้งแบบสม่ำเสมอทั้งที่ผิวด้านบนซึ่งสัมผัสกับลมร้อนภายในตู้อบโดยตรง และเนื้อผักด้านในซึ่งไม่สัมผัสกับลมร้อน การอบโดยใช้อุณหภูมิสูงตลอด จะทำให้ผิวด้านหน้าแห้งไปก่อนที่เนื้อด้านในจะแห้ง ผิวด้านหน้าจะแข็งและแตกเป็นชิ้นๆ (cracking) ในขณะที่ด้านในยังเปียกอยู่เช่นเดิม ในทางตรงข้ามการอบโดยใช้อุณหภูมิต่ำ จะทำให้การแห้งเกิดขึ้น

อย่างสม่ำเสมอแต่จะกินเวลานานกว่ามาก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งการอบแห้งแบบเป็นช่วงๆ (multi-stage drying) จะแก้ปัญหาดังกล่าวได้

หลังจากอบแห้งในช่วงแรกแล้ว แผ่นผักจะยังไม่แห้งสนิทดี การอบต่อไปในทันทีจะทำให้ผักแห้งจนเกินไป จนแกะออกจากถาดอบได้ยากและจะทำให้แผ่นแตกออกเป็นชิ้นๆ การแกะแผ่นผักออกจากถาดก่อน แล้วจึงอบต่อไปจนได้ความชื้นที่ต้องการจะช่วยแก้ปัญหาได้

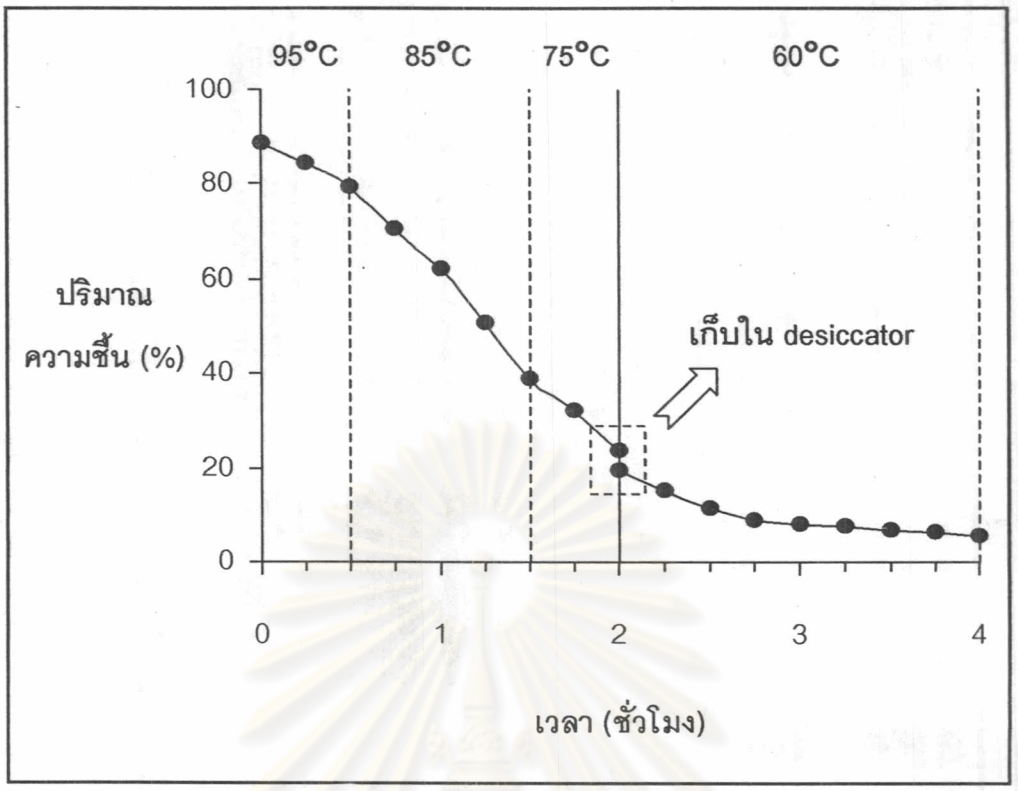
อย่างไรก็ดีแผ่นผักที่แกะออกมานี้ แม้ว่าจะผ่านการอบโดยลดอุณหภูมิเป็นช่วงๆ มาแล้วในตอนแรก บริเวณด้านล่างของแผ่นผักที่ติดกับถาดก็ยังคงมีความชื้นสูงกว่าผิวด้านบนอยู่ การอบต่อไปทันที ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิต่ำในระดับ 50-60°C ก็ตาม ด้านบนและล่างของแผ่นผักก็ยังมีอัตราการอบแห้งไม่เท่ากัน จนทำให้แผ่นผักมีลักษณะบิดงอเป็นลอน ไม่เรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแผ่น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การนำแผ่นผักมาตัดแบ่งให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นเก็บในdesiccator 1 คืน ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) เพื่อ equilibrate แผ่นผัก ให้มีความชื้นสม่ำเสมอกันทั้งด้านบนและล่าง แล้วจึงนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 60°C นาน 120 นาที สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ สำหรับขนาดของแผ่นผักที่เลือก คือ ขนาด 3 x 7 cm ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไป

การทำให้ผิวหน้าของแผ่นผักมีลักษณะเป็นมันวาวเพื่อให้ดูน่ารับประทานทำได้โดยการทาน้ำมันพืชบางๆ ลงบนผิวด้านบนของแผ่นผัก ก่อนการอบในช่วงสุดท้าย การทาน้ำมันก่อนหน้านี้จะทำให้แผ่นผักเกิดกลิ่นหืนได้ เนื่องจากในช่วงแรกๆ แผ่นผักยังมีความชื้นและค่า water activity สูงกว่า รวมทั้งระหว่างการ equilibrate ก็ไม่ได้ปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ จึงไม่สามารถป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอากาศได้ จึงเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของน้ำมันที่ทาลงไปบนผิว นอกจากนี้น้ำมันที่ใช้ยังเป็นน้ำมันถั่วเหลืองที่เกิดกลิ่นหืนได้ง่ายด้วย (Fennema, 1996)

ทั้งนี้การใช้ปริมาณผักที่ต้มแล้ว 100 g จะได้แผ่นผักที่อบแห้งแล้ว ขนาด 3 x 7 cm จำนวน 8 แผ่นพอดี

นอกจากนี้เพื่อศึกษาลักษณะการแห้งของแผ่นผัก จึงได้ทดลองหา drying curve ของแผ่นผักโขม โดยอบแห้งแผ่น paste ของผักโขมจากข้อ 4.4.1 ตามขั้นตอนในรูปที่ 4.3 เก็บตัวอย่างผักทุกๆ 15 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและระยะเวลาการอบแห้ง จะได้ drying curve ดังรูปที่ 4.4

จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแผ่น paste ผักโขมก่อนนำไปอบแห้ง มีค่าเป็น 88.4% โดยน้ำหนักสด ส่วนปริมาณความชื้นของแผ่นผักที่อบแห้งแล้วจะมีค่าเป็น 5.6% โดยน้ำหนักสด คิดเป็นปริมาณน้ำที่จะต้องกำจัดออกไป 82.8 g ต่อน้ำหนัก paste เริ่มต้น 100 g ดังนั้นเมื่อทราบเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ก็สามารถคำนวณปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการอบแห้ง สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับการผลิตที่ใหญ่ขึ้นต่อไปได้



รูปที่ 4.4 drying curve ของการอบแห้งแผ่นผักโขม

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าในช่วง 30 นาที หลังจากเริ่มการอบแห้ง ปริมาณความชื้นของแผ่นผักจะลดลงด้วยอัตราเกือบคงที่ โดยในช่วงนี้ใช้อุณหภูมิในการอบที่ 95°C หลังจาก 30 นาทีไปแล้ว อุณหภูมิในการอบจะเป็น 85°C แต่กลับพบว่าอัตราการอบแห้ง (rate of drying) เพิ่มขึ้น สังเกตจากเส้นกราฟที่มีความชันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงแรก เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงเร็วกว่า จนกระทั่ง 1 ชั่วโมงครึ่ง เมื่อลดอุณหภูมิลงมาที่ 75°C อัตราการอบแห้งก็จะต่ำลงอีกครั้ง

สาเหตุที่การอบแห้งในช่วง 30 นาทีแรก มีอัตราเร็วที่ต่ำกว่าในช่วง 1 ชั่วโมงถัดไป ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิในการอบที่สูงกว่าก็ตาม น่าจะมาจากการที่ในช่วงแรกๆ อุณหภูมิที่ผิวของแผ่นผักยังไม่สูงขึ้นจนเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบ (Geankoplis, 1993) โดยที่แผ่น paste ผักโขมก่อนอบมีอุณหภูมิประมาณ 30°C ทำให้อัตราการอบแห้งไม่สูงมากเมื่อเทียบกับช่วง 1 ชั่วโมงถัดไป ซึ่งในช่วงนั้นอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นผักน่าจะมีค่าสมดุลกับอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบที่ 85°C แล้ว จึงทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิตู้อบลงมาที่ 75°C อัตราการอบแห้งก็จะต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และจะพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 85 และ 75°C นั้น การลดลงของความชื้นจะเป็นไปแบบค่อนข้างสม่ำเสมอในแต่ละช่วงของอุณหภูมิ

หลังจากอบแห้งในช่วงแรกนาน 2 ชั่วโมงแล้ว แผ่นผักจะถูกนำไป equilibrate ข้ามคืนใน desiccator ซึ่งจะทำให้แผ่นผักมีปริมาณความชื้นสม่ำเสมอทั่วกันทั้งแผ่น โดยปริมาณความชื้น

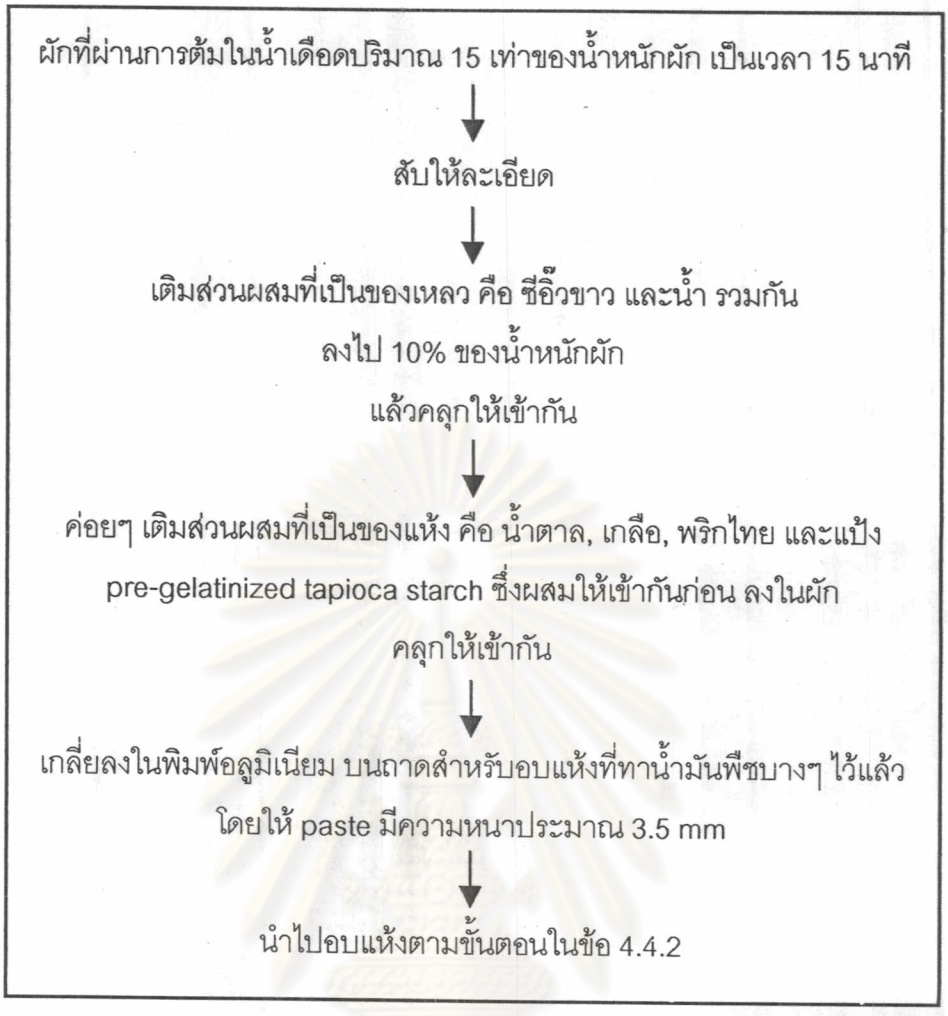
ก่อนและหลังนำไป equilibrate จะเป็น 23.7% และ 19.3% โดยน้ำหนักสด ทั้งนี้การลดลงของความชื้นน่าจะมาจากการที่ความชื้นของแผ่นผักบางส่วนถูกสารดูดความชื้น คือ silica gel ใน desiccator ดูดซับเอาไว้ ถึงแม้ว่าแผ่นผักจะห่อด้วย aluminum foil ก็ตาม แต่ก็ห่อไว้เพียงชั้นเดียว และไม่ได้มีการปิดผนึกแต่อย่างใด ความชื้นจึงสามารถซึมผ่านออกไปได้ สำหรับการอบแห้งในช่วง 2 ชั่วโมงสุดท้ายจะใช้อุณหภูมิ 60°C ในช่วง 45 นาทีแรก อัตราการอบแห้งจะมีค่าเกือบคงที่ จากปริมาณความชื้นที่ลดลงสม่ำเสมอ เนื่องจากแผ่นผักมีความชื้นกระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่น แต่หลังจากนั้นเมื่อความชื้นที่ผิวและด้านบนของแผ่นลดลง จากการที่ความชื้นภายในแผ่นด้านล่างไม่สามารถแพร่ขึ้นมายังผิวได้ด้วยอัตราเร็วที่มากพอ อัตราการอบแห้งก็จะลดลง (Geankoplis, 1993) โดยช่วงนี้ความชื้นของแผ่นผักจะอยู่ที่ 9.0% โดยน้ำหนักสด จนกระทั่งถึงความชื้นสุดท้ายที่ 5.6% โดยน้ำหนักสด หรือ 5.9% โดยน้ำหนักแห้ง

4.4.3 การปรุงรส

ขั้นตอนสุดท้ายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ ขั้นตอนการปรุงรส วัตถุประสงค์ก็เพื่อการหาสูตรและปริมาณของเครื่องปรุงที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์แล้วผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำในลำดับหลังสุดของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจะต้องหาวิธีในการแปรรูปผักโขมให้เป็นแผ่นอบแห้งที่มีลักษณะตามต้องการให้ได้ก่อน แล้วจึงทดลองแปรสูตรและปริมาณเครื่องปรุงในภายหลัง เพื่อให้มีผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้

การเติมเครื่องปรุงลงในผลิตภัณฑ์ จะเติมในช่วงการขึ้นรูปแผ่นผัก คือ หลังจากสับผักให้ละเอียดแล้ว ดังรูปที่ 4.5 เครื่องปรุงที่เติมลงไปจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลว และส่วนที่เป็นของแห้ง โดยส่วนของเหลวจะเป็นซีอิ๊วขาวซึ่งจะเติมลงไปพร้อมกับน้ำ ปริมาณน้ำในซีอิ๊วขาวและน้ำที่เติมลงไปต่างหาก รวมกันจะต้องเป็น 10% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว เท่ากับปริมาณที่ได้จากการทดลองการขึ้นรูปในข้อ 4.4.1 เพื่อให้ paste ของผักมีปริมาณน้ำคงที่ สำหรับเครื่องปรุงส่วนที่เป็นของแห้ง ประกอบด้วยน้ำตาล, เกลือ และพริกไทย จะเติมลงไปพร้อมกับ pre-gelatinized tapioca starch โดยผสมเครื่องปรุงกับ starch ให้เข้ากันก่อน แล้วจึงค่อยๆ เติมลงไปในลักษณะเดียวกับการเติม starch ที่ได้กล่าวไปแล้วในข้อ 4.4.1 เพื่อให้เครื่องปรุงและ starch มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอใน paste ของผัก

การทดลองเพื่อพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะมี 2 ช่วง โดยในช่วงแรกจะเป็นการหาสูตรและปริมาณเครื่องปรุงรส 3 ชนิด คือ น้ำตาล, เกลือ และซีอิ๊วขาว (ข้อ 4.4.3.1) และเมื่อได้สูตรและปริมาณเครื่องปรุงรสรวมทั้ง 3 ชนิดแล้ว จึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นทดลองต่อในช่วงหลัง (ข้อ 4.4.3.2) ซึ่งเป็นการหาปริมาณของพริกไทยที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ต่อไป



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปและการปรุงรสแผ่นผักโขมก่อนการอบแห้ง

4.4.3.1 การหาปริมาณและสูตรของเครื่องปรุงรส (น้ำตาล, เกลือ และซีอิ๊วขาว)

ขึ้นรูปและปรุงรสแผ่นผักตามวิธีในข้อ 4.4.3 จากนั้นนำไปอบแห้งตามวิธีในข้อ 4.4.2 การปรุงรสเติมเครื่องปรุงรสลงไป 3 ชนิด คือ น้ำตาล 38-58%, เกลือ 4-10% และซีอิ๊วขาว 38-52% โดยยังไม่เติมพริกไทย แปรสูตรของเครื่องปรุงทั้ง 3 ชนิด ด้วย mixture design เลือกมา 4 สูตร สำหรับการทดลองตามตารางที่ 3.2 และแปรปริมาณเครื่องปรุงรสรวมที่จะเติมลงไปเป็น 5 และ 10% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว การผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับแต่ละสูตร จะใช้ปริมาณผักที่ต้มแล้ว 100 g ซึ่งพอดีกับพิมพ์ขนาด 15.5 x 21 cm โดยปริมาณเครื่องปรุงรสทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.9

ผลิตภัณฑ์ที่ได้แต่ละสูตร นำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Affective test โดยใช้ hedonic scale แบบ 5-point ด้วยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ปริมาณเครื่องปรุงรสต่างๆ สำหรับการทดลองหาปริมาณ และสูตรของเครื่องปรุงรสที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ (ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g)

ปริมาณเครื่องปรุงรสรวม (% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว)	สูตรที่	ปริมาณเครื่องปรุงรสแต่ละชนิด (g)		
		น้ำตาล	เกลือ	ซีอิ๊วขาว
5	1	2.9	0.2	1.9
	2	2.2	0.2	2.6
	3	1.9	0.5	2.6
	4	2.6	0.5	1.9
10	1	5.8	0.4	3.8
	2	4.4	0.4	5.2
	3	3.8	1.0	5.2
	4	5.2	1.0	3.8

ตารางที่ 4.10 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดลองแปรปริมาณ และสูตรของเครื่องปรุงรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)

ปริมาณเครื่องปรุงรสรวม (% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว)	สูตรที่	คะแนนความชอบเฉลี่ย ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		รสหวาน	รสเค็ม	กลิ่นหอมของซีอิ๊วขาว	ความพอใจโดยรวม
5	1	3.6 ± 0.5^{d}	2.8 ± 0.6^{b}	1.6 ± 0.6^{a}	1.2 ± 0.4^{a}
	2	4.3 ± 0.7^{e}	3.0 ± 0.7^{b}	4.5 ± 0.5^{c}	4.6 ± 0.6^{c}
	3	4.6 ± 0.6^{ef}	4.8 ± 0.4^{d}	4.6 ± 0.5^{c}	4.9 ± 0.4^{c}
	4	4.0 ± 0.4^{e}	4.7 ± 0.5^{cd}	1.8 ± 0.6^{ab}	4.7 ± 0.5^{c}
10	1	1.4 ± 0.5^{a}	4.4 ± 0.6^{cd}	4.2 ± 0.8^{c}	3.7 ± 0.7^{b}
	2	2.1 ± 0.9^{b}	4.3 ± 0.6^{c}	1.7 ± 0.9^{ab}	4.0 ± 0.8^{b}
	3	3.1 ± 0.8^{c}	1.2 ± 0.4^{a}	2.1 ± 1.0^{b}	1.2 ± 0.4^{a}
	4	1.9 ± 0.7^{b}	1.2 ± 0.4^{a}	4.3 ± 0.7^{c}	1.4 ± 0.5^{a}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b,... ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่ได้คะแนนความชอบในด้านรสหวานมากที่สุด คือ สูตรที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลเป็น 1.9, 2.2 และ 2.6 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g ในด้านรสเค็ม คือ สูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีปริมาณเกลือเป็น 0.4 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g และสูตรที่ 5 และ 6 ซึ่งมีปริมาณเกลือเป็น 0.5 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g สำหรับในด้านกลิ่นของ ซีอิ๊วขาว คือ สูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณซีอิ้วขาวเป็น 2.6 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g และสูตรที่ 5 และ 8 ซึ่งมีปริมาณซีอิ๊วขาวเป็น 3.8 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g ส่วนความพอใจโดยรวมที่ผู้ทดสอบมีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าสูตรที่ได้คะแนนความพอใจโดยรวมสูงที่สุดมี 3 สูตรด้วยกัน คือ สูตรที่ 2, 3 และ 4

ดังนั้นสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด คือ สูตรที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล 1.9 g, เกลือ 0.5 g และซีอิ๊วขาว 2.6 g ต่อน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว 100 g หรือคิดเป็นปริมาณเครื่องปรุงรสรวมเท่ากับ 5% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว โดยประกอบด้วยน้ำตาล 38%, เกลือ 10% และซีอิ๊วขาว 52%

4.4.3.2 การหาปริมาณพริกไทยในสูตร

ขึ้นรูปและปรุงรสแผ่นผักตามวิธีในข้อ 4.4.3 จากนั้นนำไปอบแห้งตามวิธีในข้อ 4.4.2 การปรุงรสใช้สูตรและปริมาณเครื่องปรุงรสรวมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4.3.2 จากนั้นแปรปริมาณพริกไทยที่เติมลงไปเป็น 3 ระดับที่ 0.2, 0.4 และ 0.6% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้แต่ละระดับของปริมาณพริกไทย นำไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Affective test โดยใช้ hedonic scale แบบ 5-point ด้วยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากการทดลองแปรปริมาณพริกไทยที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)

ปริมาณพริกไทย (% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	กลิ่นหอมของพริกไทย	ความพอใจโดยรวม
0.2	3.7 ± 0.7^{b}	4.2 ± 0.5^{b}
0.4	4.5 ± 0.5^{c}	4.7 ± 0.5^{c}
0.6	3.1 ± 1.3^{a}	3.6 ± 0.9^{a}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b,... ต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณพริกไทยที่ได้รับคะแนนความชอบในด้านกลิ่นของพริกไทยมากที่สุด คือ ที่ 0.4% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว เช่นเดียวกับคะแนนความพอใจโดยรวมที่ผู้ทดสอบมีต่อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเลือกปริมาณพริกไทยที่จะเติมเป็น 0.4% ของน้ำหนักผักที่ต้มแล้ว

4.5 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

4.5.1 ปริมาณโปรตีน, crude fiber, calcium และวิตามินเอ ในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในผักโขมสด ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบที่สำคัญในผักโขม และผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง (ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g)

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์
โปรตีน (g)	25.66 ± 0.43^{ns}	26.47 ± 0.65^{ns}
crude fiber (g)	10.77 ± 0.43^{ns}	10.61 ± 0.13^{ns}
calcium (g)	2.27 ± 0.10^{ns}	2.15 ± 0.08^{ns}
วิตามินเอ; β-carotene (mg)	22.54 ± 0.49^{a}	16.45 ± 0.35^{b}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b ต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีน, fiber และ calcium ในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง และในผักโขมที่เป็นวัตถุดิบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงว่ากระบวนการแปรรูปผักโขมสดให้เป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรสอบแห้งนั้นไม่ส่งผลต่อปริมาณองค์ประกอบทั้ง 3 ชนิด

ส่วนปริมาณ β-carotene ในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งและในผักโขมสด จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยในผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงจากในวัตถุดิบ 27% การลดลงของปริมาณ β-carotene นั้น น่าจะเกิดในขั้นตอนการอบแห้งมากกว่าในขั้นตอนการต้มเพื่อกำจัด oxalate และ nitrate เนื่องจากในผลการวิจัยของ Pingle และ Ramasastri (1978) พบว่าความร้อนจากการต้มผักโขมที่สภาวะสำหรับการกำจัด oxalate และ nitrate นั้น ไม่ส่งผลต่อปริมาณ β-carotene ในผักโขมแต่อย่างใด ในทางตรงข้ามการอบแห้งผักโขมนั้นกลับส่งผลต่อปริมาณ β-

carotene ดังผลการวิจัยของ Lakshmi และ Vimala (2000) ที่พบว่าการอบแห้งผักโขมที่อุณหภูมิ 60-70°C จะทำให้ปริมาณ β-carotene ในผักโขมลดลง 16% ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่ 27% อย่างไรก็ดีในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่า และการสูญเสีย β-carotene นั้นก็มีผลมาจากความร้อนโดยตรง ยิ่งมีการใช้ปริมาณความร้อนมากขึ้น การสูญเสียของ β-carotene ก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นไปด้วย (Fennema, 1996)

การพิจารณาคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง จะใช้การเปรียบเทียบกับค่าปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน สำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (ค่า Thai RDI) ซึ่งกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการ (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนด 1 หน่วยบริโภคของผลิตภัณฑ์ขึ้นก่อน ซึ่งจะกำหนดตาม 1 หน่วยบริโภคอ้างอิงในประกาศกระทรวงฯ แต่เนื่องจากไม่มีการกำหนด 1 หน่วยบริโภคอ้างอิงสำหรับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งหรือผักอบแห้ง จึงต้องใช้ผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง คือ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหรือผลไม้อบแห้ง ซึ่งกำหนด 1 หน่วยบริโภคอ้างอิง เท่ากับ 30 g โดยปัจจุบันผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไปและมีการแสดงฉลากโภชนาการเอาไว้ก็จะใช้ปริมาณของ 1 หน่วยบริโภคเป็น 30 g เช่นกัน

ผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง 1 หน่วยบริโภค หรือ 30 g จะได้จากชิ้นผลิตภัณฑ์ขนาด 3 x 7 cm จำนวน 32 ชิ้น โดยใช้ผักโขมสด 400 g อบในพิมพ์ขนาด 15.5 x 21 cm จำนวน 4 พิมพ์พอดี ส่วนจำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุจะมีค่าเป็น 1 เนื่องจากชิ้นผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นนั้นมีน้ำหนักไม่ถึง 50% ของปริมาณ 1 หน่วยบริโภคอ้างอิง (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารที่สำคัญในผลิตภัณฑ์กับค่า Thai RDI แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสารอาหารที่สำคัญ ในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง 1 หน่วยบริโภค (ต่อน้ำหนัก 30 g) เมื่อเทียบกับปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน

องค์ประกอบ	ปริมาณ	ค่า Thai RDI	% เทียบกับ Thai RDI
โปรตีน (g)	7	50	15
fiber (g)	3	25	12
calcium* (mg)	170	800	21
วิตามินเอ (IU)	2786	2664	105

* คิดเฉพาะปริมาณ calcium ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้

จากตารางจะพบว่าปริมาณวิตามินเอในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งนั้นสูงมาก โดยมีค่าถึง 105% ของ RDI จึงสามารถอ้างได้ว่าผลิตภัณฑ์นี้มีวิตามินเอสูงหรือ high vitamin A เนื่องจากมีปริมาณวิตามินเอเกินกว่าร้อยละ 20 RDI ต่อปริมาณ 1 หน่วยบริโภค (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) สำหรับปริมาณ calcium มีค่าเป็น 21% ของ RDI ซึ่งค่านี้ถือว่าเป็นค่าน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ เนื่องจากกำหนดให้ insoluble oxalate ในผลิตภัณฑ์ทั้งหมด อยู่ในรูปของ calcium oxalate แต่ในความเป็นจริง insoluble oxalate บางส่วนจะอยู่ในรูปของ magnesium oxalate ด้วย ดังนั้น ปริมาณ calcium ที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในผลิตภัณฑ์จึงควรจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.12 พอสมควร ถึงกระนั้นค่าในตารางก็สูงกว่าร้อยละ 20 ของ RDI ต่อปริมาณ 1 หน่วยบริโภค จึงอ้างได้ว่าผลิตภัณฑ์นี้มี calcium สูง หรือ high calcium เช่นเดียวกับวิตามินเอ ส่วนปริมาณโปรตีนและ fiber อยู่ในระดับ 15 และ 12% ของ RDI ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 10 ของ RDI ต่อปริมาณ 1 หน่วยบริโภค (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) จึงสามารถอ้างได้อีกว่าผลิตภัณฑ์นี้เป็นแหล่งของโปรตีนและ fiber หรือ contains protein and fiber

นอกจากนี้ยังได้มีการเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งกับผลิตภัณฑ์ประเภทที่ใกล้เคียงกัน คือ ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง โดยพิจารณาเฉพาะสารอาหารที่สำคัญ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารอาหารที่สำคัญ ในผลิตภัณฑ์ผักโขม และผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 1 หน่วยบริโภค (ต่อน้ำหนัก 30 g) เมื่อเทียบกับปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน

องค์ประกอบ	ผักโขมปรุงรสอบแห้ง		สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง	
	ปริมาณ	% เทียบกับ Thai RDI	ปริมาณ	% เทียบกับ Thai RDI
โปรตีน (g)	7	15	6 – 9	12 – 18
fiber (g)	3	12	6 – 12	24 – 48
calcium* (mg)	170	21	48 – 104	6 – 13
วิตามินเอ (IU)	2786	105	0	0

* ในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง คิดเฉพาะปริมาณ calcium ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้

จากตาราง 4.14 เมื่อเทียบปริมาณโปรตีนและ fiber ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งกับค่า Thai RDI จะพบว่าสามารถอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนและ fiber เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง แต่ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งจะมีปริมาณ fiber สูงกว่า ประมาณ 2-4 เท่า ส่วนปริมาณโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ดีปริมาณ calcium ใน

ผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งก็มีค่าไม่สูงพอที่จะอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มี calcium สูง เหมือนกับในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง โดยสามารถอ้างได้เพียงว่าเป็นแหล่งของ calcium เท่านั้น สำหรับปริมาณวิตามินเอในผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งนั้นมีอยู่น้อยมากจนไม่สามารถเทียบกับค่า Thai RDI ได้ (แสดงเป็นค่า 0%) ในทางตรงข้ามผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งจะมีปริมาณวิตามินเอสูงกว่ามาก จนสามารถอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีวิตามินเอสูง ดังนั้นหากมองในแง่ของคุณค่าทางอาหารแล้ว ผลิตภัณฑ์ผักโขมจะดีกว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งในด้านที่มีปริมาณ calcium ที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณวิตามินเอที่สูงกว่า

4.5.2 ปริมาณ oxalate และ nitrate ในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 นำมาวิเคราะห์ปริมาณ oxalate ทั้ง total, soluble และ insoluble oxalate และปริมาณ nitrate เพื่อเปรียบเทียบกับผักที่ต้มแล้ว ได้ผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณ oxalate และ nitrate (mg ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) ในผักโขมที่ผ่านการต้มในน้ำเดือด ปริมาณ 15 เท่าของน้ำหนักผัก นาน 15 นาที และในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง

	ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ผักที่ต้มแล้ว	ผลิตภัณฑ์	ผักที่ต้มแล้ว	ผลิตภัณฑ์
oxalate				
total	1691.1 – 1850.1	1593.3 – 1774.7	1770.9 ± 113.5^{ns}	1684.0 ± 128.3^{ns}
soluble	101.6 – 111.7	95.3 – 107.3	106.6 ± 7.0^{ns}	101.3 ± 8.5^{ns}
insoluble*	1589.5 – 1738.4	1498.0 – 1667.4	1664.3 ± 106.5^{ns}	1582.7 ± 119.8^{ns}
nitrate	444.7 – 516.1	439.3 – 474.7	479.6 ± 24.0^{ns}	457.0 ± 25.0^{ns}

* ปริมาณ insoluble oxalate คำนวณจากปริมาณ total oxalate ลบด้วย soluble oxalate

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ oxalate และ nitrate ในผักโขมที่ผ่านการต้มแล้ว และในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งหมายถึงว่าขั้นตอนในการแปรรูปจากผักที่ต้มแล้ว ไปเป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรสอบแห้ง ไม่มีผลต่อปริมาณสารทั้ง 2 ชนิดแต่อย่างใด โดยเฉพาะในขั้นตอนการอบแห้งซึ่งน่าจะเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อปริมาณสารดังกล่าว ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Baker (1952) ที่พบว่าการอบแห้งใบผักโขมที่อุณหภูมิ

100°C นาน 24 ชั่วโมง มีผลต่อปริมาณของ oxalate น้อยมาก รวมทั้งงานวิจัยของ Der Marderosian และคณะ (1980) ที่กล่าวว่าการอบแห้งผักโขมที่อุณหภูมิ 60-70°C จนน้ำหนักคงที่นั้น ไม่ส่งผลต่อปริมาณ oxalate และ nitrate

สำหรับการบริโภคผลิตภัณฑ์ 1 หน่วยบริโภค หรือ 30 g (ชิ้นขนาด 3 x 7 cm จำนวน 32 ชิ้น) จะได้รับปริมาณ nitrate 129 mg ซึ่งต่ำกว่าปริมาณการบริโภคสูงสุดที่ยอมรับได้ต่อวัน (ADI) ที่กำหนดโดย Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) ที่ 3.7 mg ต่อน้ำหนักตัว 1 kg (WHO, 1995) หรือประมาณ 260 mg ต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักตัว 70 kg ส่วนปริมาณ oxalate จะได้รับ 0.5 g หรือถ้าคิดเฉพาะ soluble oxalate จะได้รับเพียง 0.04 g ซึ่งต่ำกว่าระดับอันตรายที่ 2-5 g ต่อวัน (Bressani, 1993) มาก

4.5.3 ปริมาณความชื้น, water activity และ adsorption isotherm ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์จากการทดลองในข้อ 4.4 นำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995) และวัดค่า water activity ด้วยเครื่องวัด a_w เปรียบเทียบกับค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไป 6 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4.16 และหา adsorption isotherm ตามวิธีของ McLaughlin และ Magee (1998) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไป 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 30°C ได้ผลดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.16 ปริมาณความชื้น และค่า water activity ของผลิตภัณฑ์สาหร่าย และผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์ปรุงรสอบแห้ง	ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความชื้น (% โดย นน.แห้ง)	water activity (a_w)	ความชื้น (% โดย นน.แห้ง)	water activity (a_w)
สาหร่าย*	2.07 – 6.86	0.346 – 0.493	4.25 ± 1.72^{ns}	0.391 ± 0.054^{ns}
ผักโขม	-	-	5.94 ± 0.02^{ns}	0.438 ± 0.001^{ns}

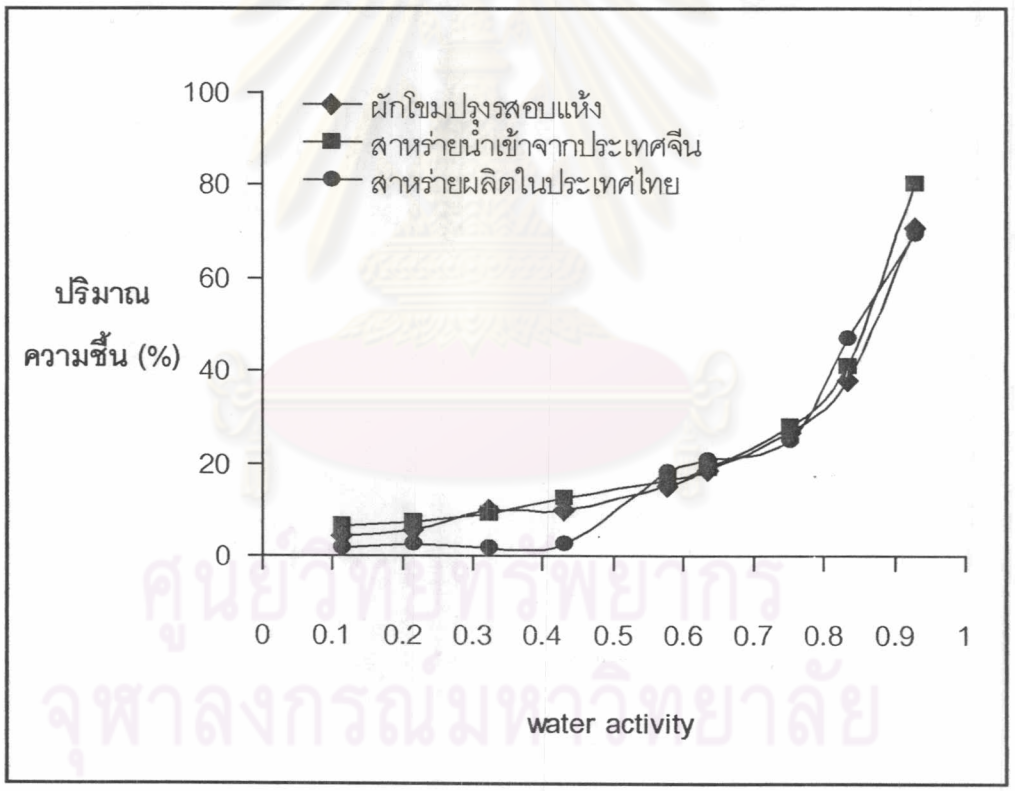
* ได้จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 6 ชนิด (ตารางที่ 4.6)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งมีค่าเป็น 5.94% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง ที่อยู่ในช่วง 2.07-6.86% สำหรับค่า water activity มีค่าเป็น 0.438 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งเช่นเดียวกัน โดยค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายจะอยู่ในช่วง 0.346-0.493

ส่วน adsorption isotherm ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ก็มีลักษณะรูปแบบเป็น exponential เช่นเดียวกับของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งทั้ง 2 ชนิด โดยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศจีนนั้น พบว่าเส้น isotherm มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก จนเกือบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน จากเส้น isotherm พบว่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากที่ค่า water activity สูงกว่า 0.7 ส่วนที่ค่า water activity ต่ำกว่า 0.7 นั้น ปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 20% การที่ผลิตภัณฑ์ผักโขมและสาหร่ายปรุงรสอบแห้งมี adsorption isotherm ที่คล้ายคลึงกันนั้น แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะการดูดน้ำจากภายนอกเข้าสู่เนื้อของผลิตภัณฑ์ในอัตราและรูปแบบเดียวกัน ส่งผลให้ความรู้สึกในปากเมื่อรับประทานผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก



รูปที่ 4.6 adsorption isotherm ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 2 ชนิด และของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 30°C

4.5.4 สี, ความหนาของแผ่น และค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 นำมาวัดสีด้วยเครื่อง chromameter เปรียบเทียบกับค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งที่มีขายทั่วไป 6 ชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายและผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์ ปรุงรสอบแห้ง	ช่วง		
	L	a	b
สาหร่าย*	29.94 – 39.80	-3.74 – 0.06	0.57 – 7.87
ผักโขม	29.33 – 32.61	-4.15 – -3.05	4.45 – 6.93
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
สาหร่าย*	35.55 ± 3.50^{ns}	-1.80 ± 1.65^{ns}	4.48 ± 2.67^{ns}
ผักโขม	30.97 ± 2.32^{ns}	-3.60 ± 0.78^{ns}	5.69 ± 1.75^{ns}

* ได้จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง 6 ชนิด (ตารางที่ 4.7)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการทดลองพบว่าสีของผลิตภัณฑ์ผักโขมและสาหร่ายปรุงรสอบแห้งนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งค่า L, a และ b สีของผลิตภัณฑ์เป็นสีเขียวปนเหลือง โดยค่า a มีค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงถึงสีเขียว ส่วนค่า b นั้นมีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงถึงสีเหลือง ส่วนที่แสดงสีเขียว คือ ส่วนของใบและยอดอ่อนของผักโขมในแผ่นผลิตภัณฑ์ สำหรับส่วนที่แสดงสีเหลือง คือ ส่วนของก้านใบ ดังนั้น ค่าสีจึงมีความแปรผันอยู่พอสมควร เนื่องจากการกระจายตัวของส่วนประกอบของต้นผักโขมทั้ง 2 ส่วนที่มีสีต่างกันนั้น ไม่สม่ำเสมอ การวัดสีจึงต้องทำการวัดในหลายๆ จุดบนแผ่นผลิตภัณฑ์ แล้วนำมาเฉลี่ยกันอีกครั้งในภายหลัง เช่นเดียวกับการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง

ขั้นต่อไปนำผลิตภัณฑ์ไปวัดความหนาของแผ่นด้วย vernier และค่า tensile strength ด้วยเครื่อง texturometer เปรียบเทียบกับค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งเช่นกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.18 โดยค่าความหนาเปรียบเทียบเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น (5 ชนิด) ไม่รวมที่ผลิตในประเทศซึ่งมีลักษณะแผ่นไม่เรียบ และมีความหนาของแผ่นมาก

ตารางที่ 4.18 ความหนา และค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์สาหร่าย และผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์ปรุงรสอบแห้ง	ช่วง		ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความหนา (mm)	ค่า tensile strength (g)	ความหนา (mm)	ค่า tensile strength (g)
สาหร่าย	0.19 – 0.36*	892.1 – 2251.9**	0.24 ± 0.07^{ns}	1476.8 ± 505.9^{ns}
ผักโขม	-	-	0.34 ± 0.06^{ns}	2122.0 ± 67.1^{ns}

* ได้จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้ง ชนิดที่ 1-5 (ตารางที่ 4.8)

* * ได้จากค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายปรุงรสอบแห้งทั้ง 6 ชนิด (ตารางที่ 4.8)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ถึงแม้ว่าความหนาของแผ่นและค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งก็มีความหนาของแผ่นเฉลี่ยสูงกว่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่นำเข้าจากต่างประเทศ (5 ชนิด) แต่จะน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่ผลิตในประเทศ ซึ่งมีค่าเป็น 0.80 mm มาก รวมทั้งแผ่นจะมีลักษณะเรียบเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์นำเข้า ค่า tensile strength เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งก็สูงกว่าค่าของผลิตภัณฑ์สาหร่ายเช่นกัน แต่ยังอยู่ในช่วงของผลิตภัณฑ์สาหร่ายทั้ง 6 ชนิด ซึ่งค่าที่สูงกว่านี้ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการที่แผ่นผักโขมนั้นมีความหนาเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นสาหร่าย (ดังตารางที่ 4.18) ทำให้ค่าแรงที่จะต้องใช้ดึงแผ่นให้ขาดนั้นสูงกว่า รวมทั้งอาจมีผลมาจากลักษณะการจัดเรียงตัวที่ต่างกันของชิ้นผักโขมและสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะติดกันขึ้นมาเป็นแผ่นผลิตภัณฑ์อีกด้วย

4.5.5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 4.4 ไปวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ FDA BAM (1998) ได้ผลดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง

ปริมาณ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	640 ±20
ยีสต์และรา (CFU/g)	< 10

จากผลการทดลองจะพบว่าผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ โดยมีค่าต่ำกว่า 1,000 CFU/g เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในประเภทที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด (ปัจจุบัน มอก. สำหรับผลิตภัณฑ์ผักอบแห้ง ยังไม่ได้มีการประกาศใช้) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่เกิน 10,000 CFU/g สำหรับปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง มีค่าต่ำกว่า 10 CFU/g ซึ่งก็ต่ำกว่าค่าใน มอก. ที่กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 100 CFU/g การที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่ำ เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ประเภทอบแห้ง จะมีปริมาณความชื้น และค่า water activity ต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย, ยีสต์ หรือรา จะสามารถเจริญได้ (Fellow, 2000) รวมทั้งสุขลักษณะในการผลิตที่ดี ยังทำให้โอกาสการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมมีอยู่น้อย

4.6 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งที่ได้จากข้อ 4.4 จะนำไปบรรจุในถุง laminate ซึ่งทำจาก OPP 20 / PE 20 / Aluminum / PE 35 (เรียงจากด้านนอกไปด้านใน) ขนาด 75 x 100 mm โดยใน 1 ถุง จะบรรจุผลิตภัณฑ์ขนาด 3 x 7 cm ได้ 4 แผ่น จากนั้นจะบรรจุในถุง PP ขนาด 5 x 8 นิ้ว อีกชั้นหนึ่ง โดยใน 1 ถุง จะใส่ถุง laminate ลงไป 8 ถุง รวมทั้ง silica gel pack ขนาด 2 g เพื่อทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น (desiccant) เก็บถุงไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) จากนั้นสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทุกๆ 15 วัน มาทำการวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญด้านต่างๆ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 3 เดือน

สำหรับการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่ใช้นั้น พิจารณาจากความต้องการในการเป็น moisture barrier เป็นหลัก เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นประเภทผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ไวต่อการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ และจะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพได้ถ้าหากมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะในแง่ของด้านเนื้อสัมผัสหรือการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ นอกจากนี้หากบรรจุภัณฑ์สามารถป้องกันแสงและออกซิเจนได้ ก็จะเป็นผลดีในแง่ของการลดกลิ่นหืนซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีน้ำมันถั่วเหลืองที่ง่ายต่อการเกิดกลิ่นหืนเป็นส่วนประกอบอยู่บ้างบางส่วน แต่ก็ไม่มากในระดับที่จำเป็นต้องเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทสุญญากาศ โดยถ้าหากมีความจำเป็นการใช้สารดูดออกซิเจน (oxygen absorber) เข้ามาเสริมก็น่าจะเพียงพอ สำหรับป้องกันการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากออกซิเจนในอากาศ

aluminum foil จัดเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ดีในแง่ของการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศ รวมทั้งการป้องกันแสง โดยเฉพาะรังสี ultraviolet สำหรับ oriented polypropylene (OPP) ก็มีอัตราการซึมผ่านของความชื้นและอากาศที่ต่ำมากเช่นกัน และยังทนต่อไขมันและน้ำมัน

ได้ดี แต่ข้อด้อยของวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ ไม่สามารถปิดผนึก (seal) ได้ และไม่สามารถเชื่อมติดกันในลักษณะซ้อนกันเป็นชั้นๆ ในการทำบรรจุภัณฑ์แบบ laminate ดังนั้นจึงต้องอาศัย polyethylene (PE) เข้ามาช่วยในการเชื่อมติดและการปิดผนึก เนื่องจาก PE มีข้อดีในด้านราคาที่ถูก และมี sealing temperature ต่ำ (Robertson, 1993) ดังนั้นถุง laminate ที่ประกอบด้วย aluminum foil, OPP และ PE จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

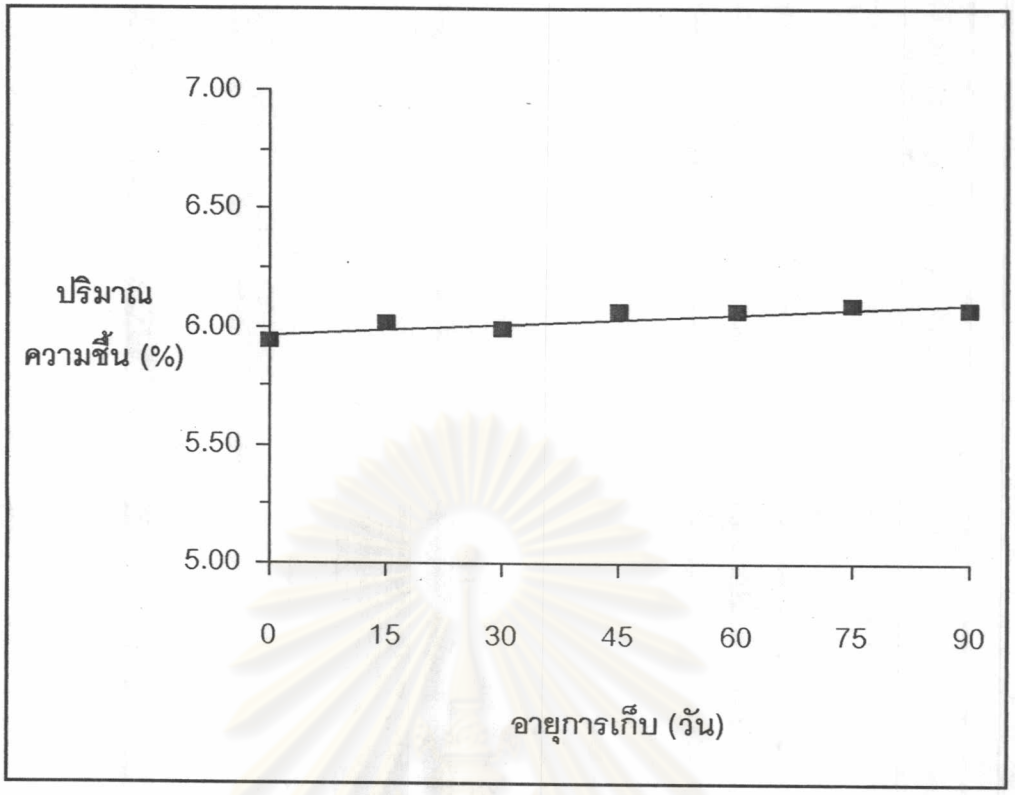
4.6.1 ปริมาณความชื้น, water activity, ค่า tensile strength และสี ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

นำผลิตภัณฑ์ที่สุ่มเก็บทุกๆ 15 วัน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995), วัดค่า water activity ด้วยเครื่องวัด a_w และวัดค่า tensile strength ด้วยเครื่อง texturometer ได้ผลดังตารางที่ 4.20 สำหรับรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น, ค่า water activity และค่า tensile strength ตามลำดับ

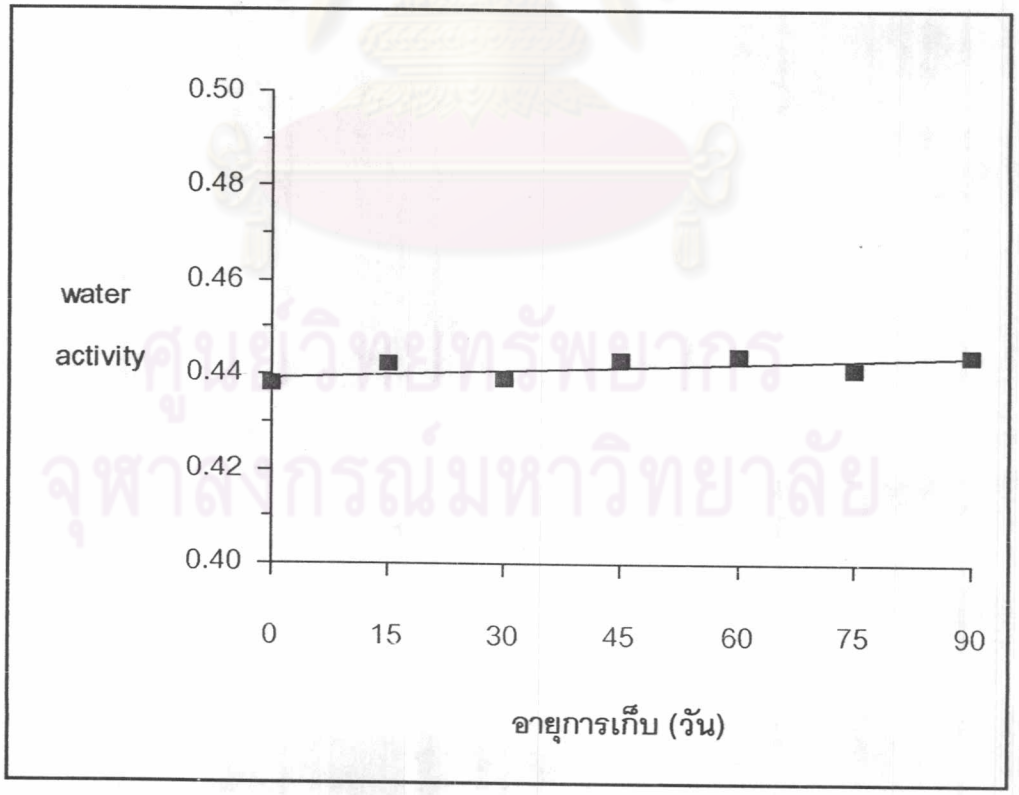
ตารางที่ 4.20 ความชื้น, ค่า water activity และค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

อายุการเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชื้น (% โดย นน.แห้ง)	water activity (a_w)	ค่า tensile strength (g)
0	5.94 ± 0.02^{ns}	0.438 ± 0.001^{ns}	2122.0 ± 67.1^{ns}
15	6.01 ± 0.05^{ns}	0.442 ± 0.004^{ns}	2137.3 ± 55.8^{ns}
30	5.99 ± 0.05^{ns}	0.439 ± 0.002^{ns}	2155.3 ± 58.8^{ns}
45	6.06 ± 0.06^{ns}	0.443 ± 0.004^{ns}	2112.7 ± 36.7^{ns}
60	6.06 ± 0.05^{ns}	0.444 ± 0.002^{ns}	2162.0 ± 55.9^{ns}
75	6.09 ± 0.03^{ns}	0.441 ± 0.003^{ns}	2143.7 ± 39.6^{ns}
90	6.07 ± 0.06^{ns}	0.444 ± 0.003^{ns}	2173.0 ± 48.1^{ns}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

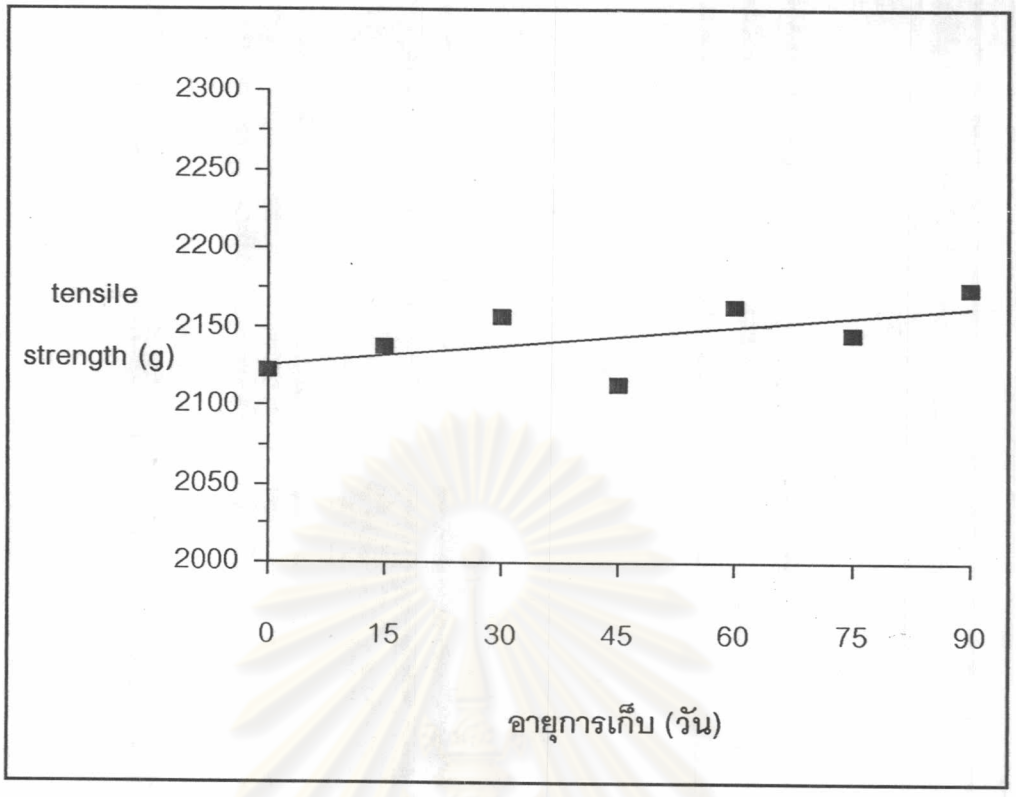


รูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน



รูปที่ 4.8 ค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นและค่า water activity ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน ส่วนแนวโน้มของค่าทั้งสองก็เกือบไม่เพิ่มขึ้นเลย โดยความชื้นเพิ่มขึ้นเพียง 0.11% ส่วน water activity ก็เพิ่มขึ้น 0.006 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มีความเหมาะสมในการรักษาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้คงอยู่ในระดับเดิมได้ดีมาก ซึ่งการที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เพิ่มขึ้นนั้น จะส่งผลดีในด้านของการป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในกลุ่มยีสต์และรา ที่สามารถเจริญได้ที่ระดับความชื้นต่ำ

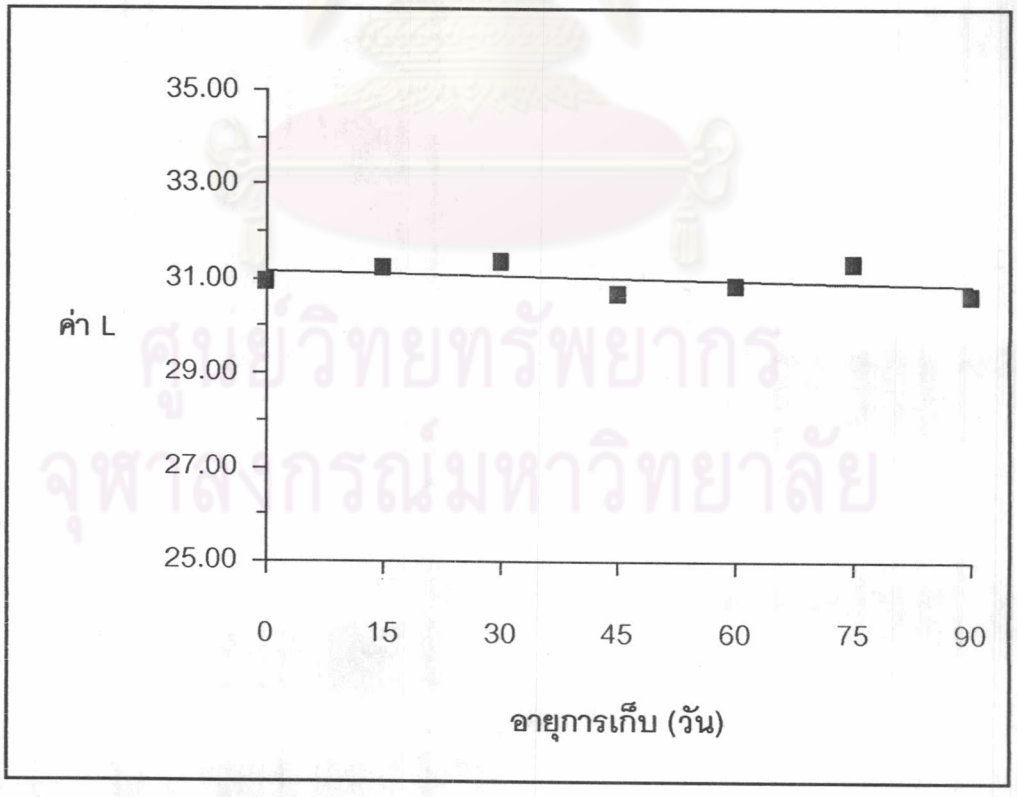
นอกจากนี้การที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เพิ่มขึ้น ยังส่งผลดีอย่างเห็นได้ชัดต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ อันเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของผลิตภัณฑ์ทั้งสาหร่ายและผักโขมปรุงรสอบแห้ง เนื่องจากเนื้อสัมผัสจะมีความอ่อนไหวต่อปริมาณความชื้นเป็นอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของความชื้นเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้ค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามไปทันที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียว ขาดยาก และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยจากผลการทดลองถึงแม้ว่าค่า tensile strength ของผลิตภัณฑ์ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน ก็ตาม แต่ก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (เพิ่มขึ้น 51.0 g) ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น

ผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ยังได้มีการนำไปวัดสีซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.21 ส่วนรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ตามค่า L, a และ b ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 สีของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

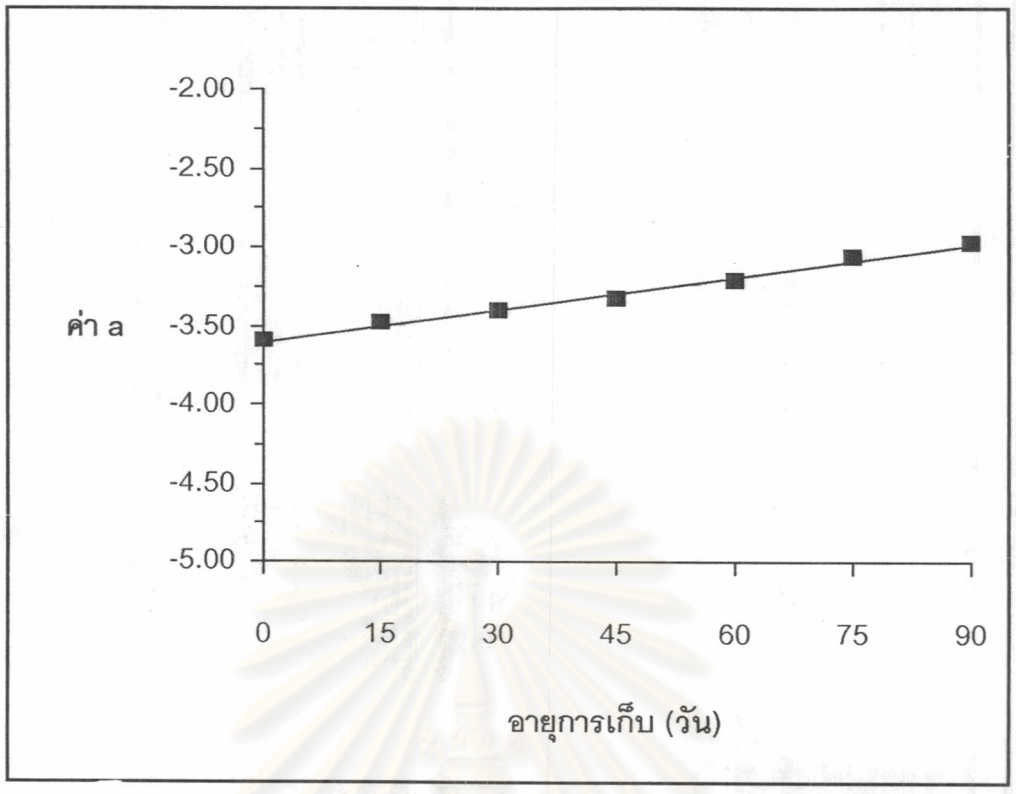
อายุการเก็บ (วัน)	ค่าสีเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L	a	b
0	30.97 ± 2.32^{ns}	-3.60 ± 0.78^{ns}	5.69 ± 1.75^{ns}
15	31.23 ± 3.81^{ns}	-3.48 ± 0.38^{ns}	5.71 ± 1.50^{ns}
30	31.36 ± 4.27^{ns}	-3.41 ± 0.23^{ns}	5.74 ± 1.14^{ns}
45	30.68 ± 3.35^{ns}	-3.33 ± 0.18^{ns}	5.76 ± 1.66^{ns}
60	30.87 ± 2.85^{ns}	-3.21 ± 0.48^{ns}	5.74 ± 1.57^{ns}
75	31.33 ± 4.56^{ns}	-3.06 ± 0.39^{ns}	5.78 ± 1.51^{ns}
90	30.64 ± 3.16^{ns}	-2.98 ± 0.37^{ns}	5.79 ± 1.58^{ns}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

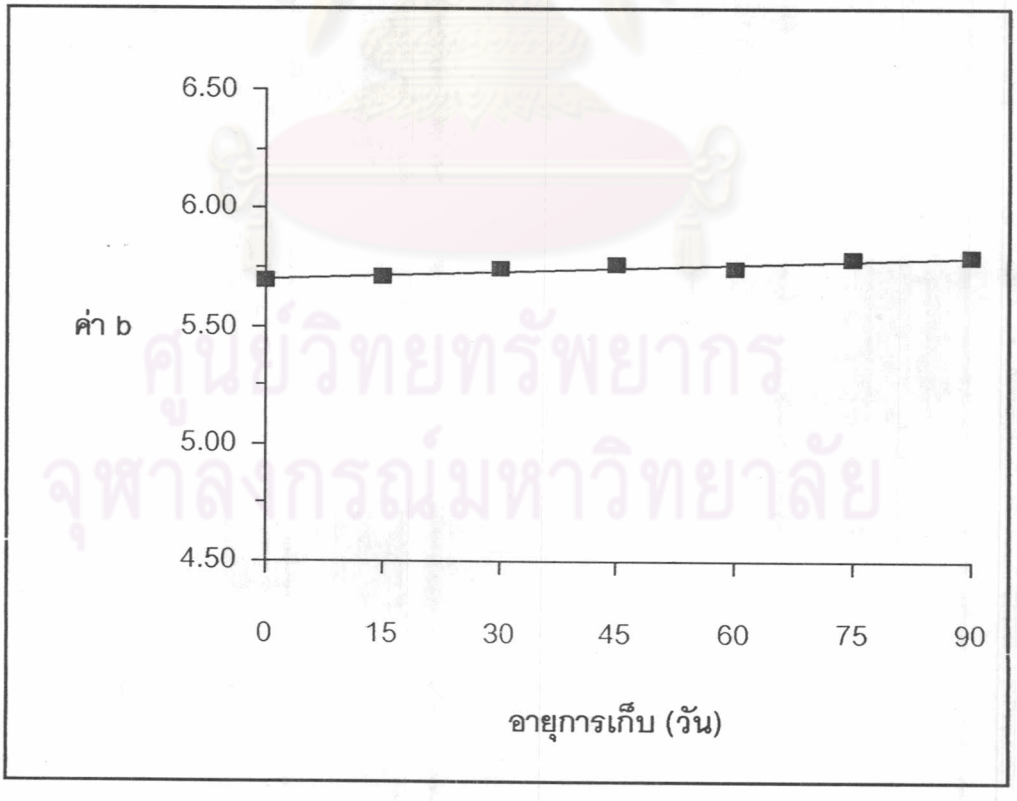


รูปที่ 4.10 ค่า L ในระบบสี L*a*b ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ค่า a ในระบบสี L*a*b ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน



รูปที่ 4.12 ค่า b ในระบบสี L*a*b ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองพบว่าค่า L, a และ b ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน การพิจารณาแนวโน้มพบว่า ค่า L ที่แสดงความสว่างลดลงน้อยมาก ค่า b ที่แสดงสีเหลืองเพิ่มขึ้นน้อยมากเช่นกัน สำหรับค่า a ที่แสดงสีเขียวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ค่า a ที่เพิ่มขึ้น หมายถึง สีเขียวที่อ่อนลง) การที่ค่า L ลดลง แต่ a และ b เพิ่มขึ้น อาจมาจากการเกิดสีน้ำตาล (browning) จากปฏิกิริยาระหว่าง reducing sugar และกรดอะมิโน (Fennema, 1996) สารทั้งสองชนิด เป็นส่วนประกอบในเครื่องปรุงรสในผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาล และซีอิ๊วขาว ตามลำดับ สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงทำให้ความสว่างลดลงและสีเขียวอ่อนลง ในขณะที่สีเหลืองเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงของสีก็ไม่มากพอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

4.6.2 สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

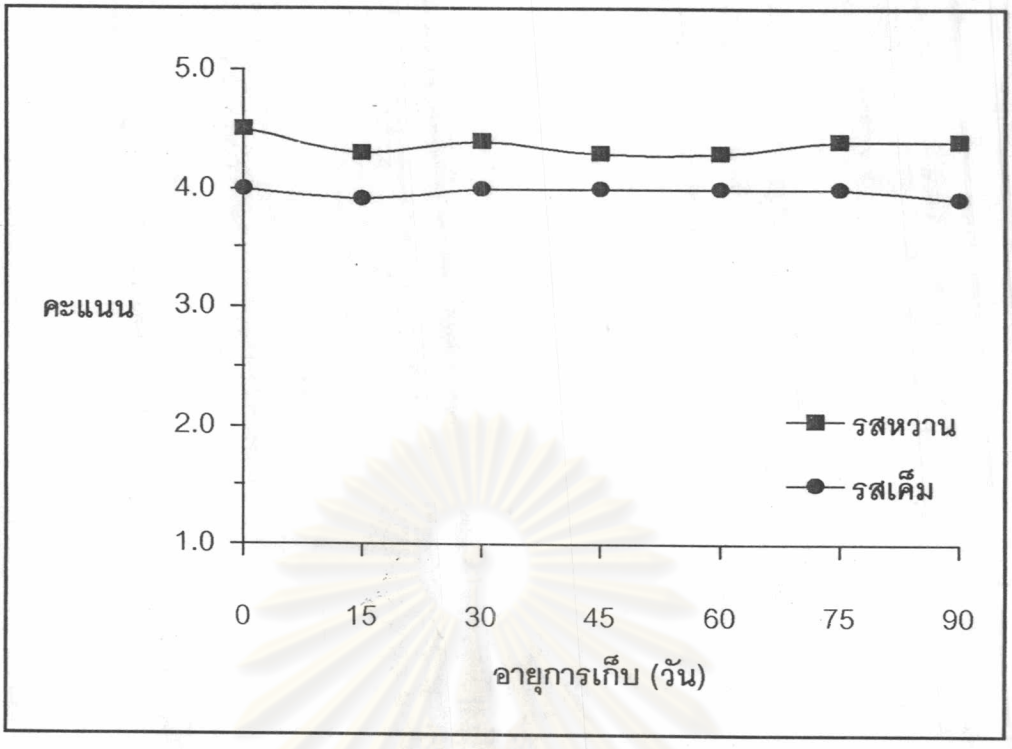
นำผลิตภัณฑ์ที่สุ่มเก็บทุกๆ 15 วัน มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Affective test โดยใช้ hedonic scale แบบ 5-point ด้วยผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.22 ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ, กลิ่น และความพอใจโดยรวม แสดงไว้ในรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน (คะแนนเต็ม 5 คะแนน)

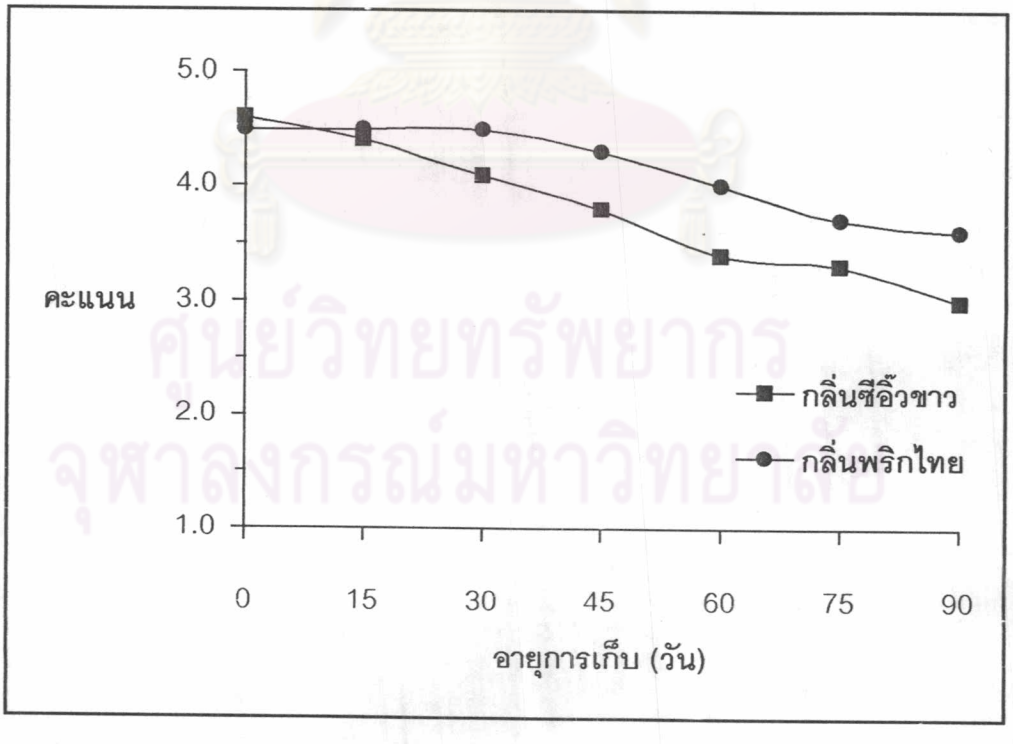
อายุการเก็บ (วัน)	คะแนนความชอบเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	รสหวาน	รสเค็ม	กลิ่นหอมของซีอิ๊วขาว	กลิ่นหอมของพริกไทย	ความพอใจโดยรวม
0	4.5 ± 0.6^{ns}	4.0 ± 0.8^{ns}	4.6 ± 0.2^{a}	4.5 ± 0.5^{a}	4.4 ± 0.6^{a}
15	4.3 ± 0.5^{ns}	3.9 ± 0.4^{ns}	4.4 ± 0.3^{b}	4.5 ± 0.5^{a}	4.3 ± 0.6^{ab}
30	4.4 ± 0.4^{ns}	4.0 ± 0.7^{ns}	4.1 ± 0.6^{b}	4.5 ± 0.5^{a}	4.1 ± 0.6^{abc}
45	4.3 ± 0.2^{ns}	4.0 ± 0.7^{ns}	3.8 ± 0.3^{c}	4.3 ± 0.7^{ab}	3.9 ± 0.5^{bcd}
60	4.3 ± 0.5^{ns}	4.0 ± 0.8^{ns}	3.4 ± 0.4^{d}	4.0 ± 0.5^{bc}	3.7 ± 0.6^{cd}
75	4.4 ± 0.6^{ns}	4.0 ± 0.1^{ns}	3.3 ± 0.3^{e}	3.7 ± 0.4^{c}	3.5 ± 0.6^{d}
90	4.4 ± 0.4^{ns}	3.9 ± 0.5^{ns}	3.0 ± 0.2^{f}	3.6 ± 0.5^{c}	3.4 ± 0.6^{d}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a, b,... ต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ NS ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

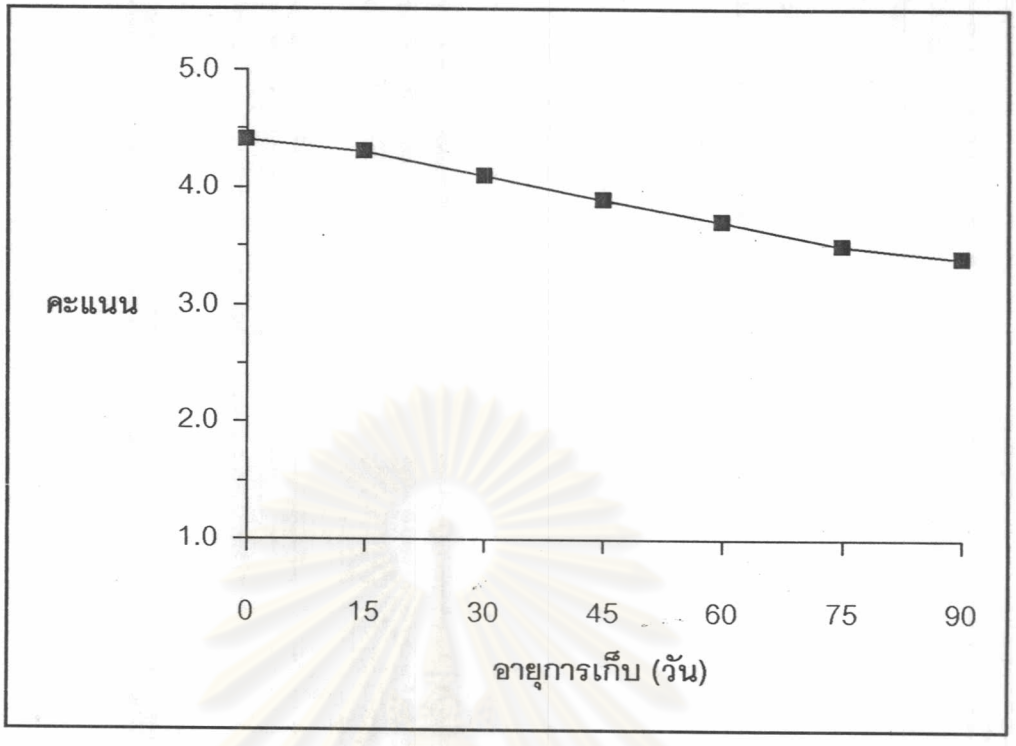


รูปที่ 4.13 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน



รูปที่ 4.14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความพอใจโดยรวมของผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

จากตารางที่ 4.21 จะเห็นว่าคะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ คือ รสหวานและเค็ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการทดสอบด้านรสชาติอาจจะไม่มีความจำเป็นเท่าใดนัก อย่างไรก็ดีการทดสอบก็สามารถใช้บ่งบอกถึงรสผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเก็บได้

ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน คะแนนในด้านกลิ่น คือ กลิ่นของซีอิ๊วขาวและพริกไทย และคะแนนความพอใจโดยรวม จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.14 จะได้ว่า กลิ่นของซีอิ๊วขาวและพริกไทยจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนความพอใจโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ก็ลดลงเช่นกัน (ดังรูปที่ 4.15) ในขณะที่รสชาติของผลิตภัณฑ์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง (ดังรูปที่ 4.13) กลิ่นของซีอิ๊วขาวจะลดลงมากกว่ากลิ่นพริกไทย โดยจะเริ่มลดลงตั้งแต่ช่วงเดือนแรก และลดลงอย่างต่อเนื่องจนครบระยะเวลา 3 เดือน ส่วนกลิ่นพริกไทยนั้นจะคงอยู่ได้นานกว่า โดยจะเริ่มลดลงในเดือนที่ 2 แต่ก็เริ่มคงที่อีกครั้งในช่วงครึ่งเดือนสุดท้าย การลดลงของกลิ่นนี้ทำให้ความพอใจโดยรวมที่มีต่อ ผลิตภัณฑ์ลดลงตามไป โดยเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนแรก พร้อมๆ กับกลิ่นของซีอิ๊วขาว แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของซีอิ๊วขาวนั้นส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมากกว่าปัจจัยอื่น

การลดลงของกลิ่นของพริกไทยและซีอิ้วขาวในช่วงเดือนหลังๆ นั้น จากการทดลองจะพบว่ากลิ่นที่อยู่บริเวณผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์จะเป็นส่วนที่หายไปมากกว่า คือ เมื่อดมดูพบว่ากลิ่นจะมีน้อย แต่เมื่อรับประทานเข้าไปกลิ่นก็ยังคงมีอยู่ แต่ก็น้อยลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่พึ่งทำเสร็จใหม่ๆ เนื่องจากที่ผิวมีกลิ่นน้อยกว่าเดิม กลิ่นโดยรวมจึงน้อยลง ทำให้มีกลิ่นเหม็นเขียวของผักออกมามากขึ้น ความพอใจของผู้บริโภคจึงลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ดีรสชาติของผลิตภัณฑ์ก็ยังคงเหมือนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งไม่มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน เกิดขึ้นแต่อย่างใด

การลดลงของกลิ่นที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ น่าจะเกิดขึ้นจากลักษณะการเติมเครื่องปรุงที่เป็นการเติมลงไปผสมในเนื้อของผลิตภัณฑ์ บริเวณผิวที่สัมผัสกับบรรยากาศจึงสูญเสียกลิ่นไปเร็วกว่าบริเวณเนื้อในผลิตภัณฑ์ แนวทางหนึ่งที่อาจแก้ปัญหานี้ได้ คือ การเคลือบเครื่องปรุงรสลงไปบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์หลังจากทำการอบแห้งเรียบร้อยแล้ว โดยวิธีการอาจเป็นการจุ่มแผ่นผลิตภัณฑ์ลงในน้ำเครื่องปรุงรส จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่ออีกระยะหนึ่งเพื่อให้ผิวหน้าแห้ง เครื่องปรุงที่เคลือบลงไปจะให้กลิ่นรสที่มากขึ้นกว่าเดิม และทำให้กลิ่นรสที่ผิวคงอยู่ได้นานขึ้น

4.6.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, ยีสต์และรา ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ

นำผลิตภัณฑ์ที่สุ่มเก็บทุกๆ 15 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ FDA BAM (1998) ได้ผลดังตารางที่ 4.23

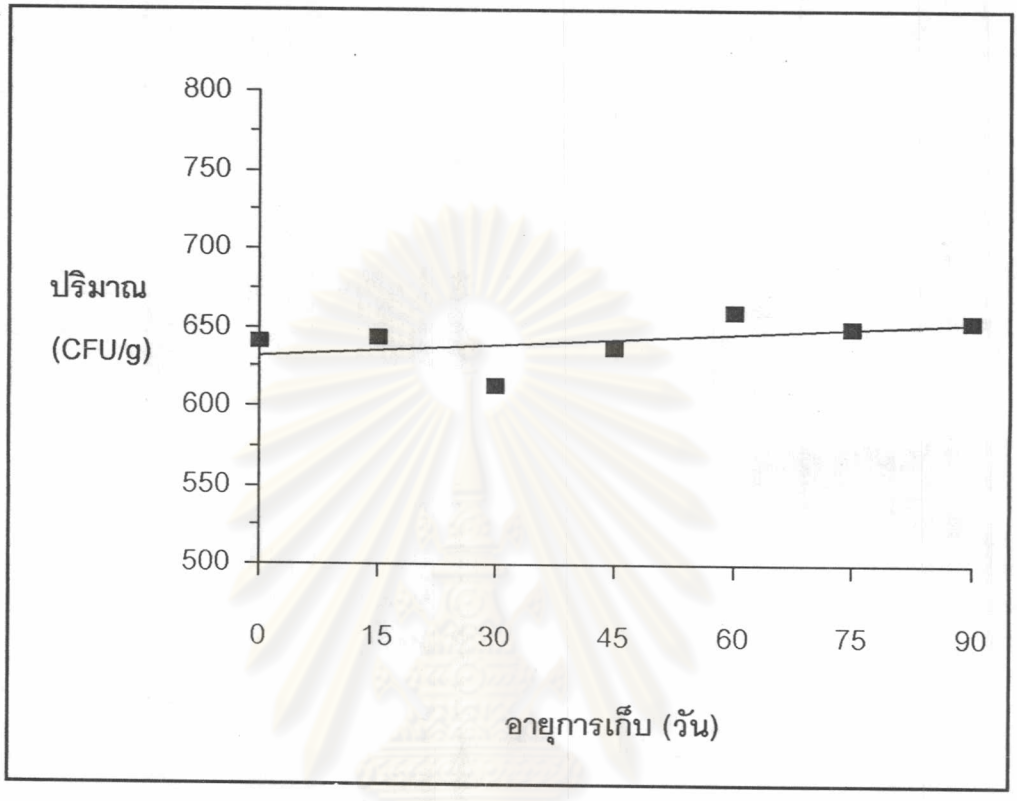
ตารางที่ 4.23 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้งในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

อายุการเก็บ (วัน)	ปริมาณเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ยีสต์และรา (CFU/g)
0	640 ± 20^{ns}	< 10
15	643 ± 15^{ns}	< 10
30	613 ± 15^{ns}	< 10
45	637 ± 21^{ns}	< 10
60	660 ± 36^{ns}	< 10
75	650 ± 30^{ns}	< 10
90	653 ± 47^{ns}	< 10

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ ns ในสดมภ์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากปริมาณยีสต์และรามีค่าต่ำมาก และไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงไม่ได้แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาไว้ ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ผักโขมปรุงรสอบแห้ง ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน

จากผลการทดลองจะพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในช่วงอายุการเก็บ 3 เดือน และมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 10,000 CFU/g สำหรับปริมาณยีสต์และราก็มีค่าไม่เกิน 10 CFU/g (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532) ตลอดช่วง 3 เดือน และต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 100 CFU/g เช่นกัน การที่ปริมาณจุลินทรีย์มีค่าคงที่นั้น เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ยังคงมีปริมาณความชื้นและค่า water activity ที่ต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ตลอดช่วงอายุการเก็บ (Fellows, 2000) ดังผลการทดลองในข้อ 4.6.1 โดยบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยรักษาปริมาณความชื้นและค่า water activity ของผลิตภัณฑ์เอาไว้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ไม่มีการปนเปื้อนซ้ำ (recontamination) จากจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด