

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดงและปลาตาหวานตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)	
	<i>Nemipterus hexodon</i>	<i>Priacanthus tayenus</i>
ความชื้น	77.09 ± 1.71	78.77 ± 1.95
โปรตีน	17.77 ± 1.52	16.75 ± 1.76
- fish water soluble protein (% of total protein)	16.26	13.26
ไขมัน	4.07 ± 0.27	3.53 ± 0.18
เถ้า	1.01 ± 0.02	0.90 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต	0.06 ± 0.88	0.05 ± 0.97

#### 4.2 การสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)

จากการทดลองสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลา และทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ได้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกมาในลักษณะเป็นผงสีขาวนวล น้ำหนักเบา คิดเป็น 1.14% ของปลาทรายแดงทั้งตัว (หนัก 203.41 ± 18.69 กรัม) และ 0.54% ของปลาตาหวานทั้งตัว (หนัก 90.95 ± 7.045 กรัม) จากนั้นเก็บโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และเมื่อจะนำโปรตีนที่สกัดได้ข้างต้นมาผลิตเป็นฟิล์มบริโคมได้จำเป็นต้องทราบปริมาณโปรตีนในโปรตีนผงที่สกัด เพื่อนำมาคำนวณความเข้มข้นของโปรตีน 3% ในการผลิตฟิล์มที่บริโคม

โดยการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในโปรตีนผงที่สกัดได้ด้วยวิธี Biuret assay (Copeland, 1994) พบว่า ต้องใช้ปริมาณโปรตีน 3.04 กรัมในการผลิตฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง และปริมาณโปรตีน 3.05 กรัมในการผลิตฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวาน

#### 4.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)

จากการวิเคราะห์กรดอะมิโนของโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงและปลาตาหวานตามวิธี AccQ.Tag ของ Waters (Liu et al., 1995) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนของโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*)

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (mg/g)	
	ปลาทรายแดง	ปลาตาหวาน
Aspartic acid	103.4	108.7
Serine	38.0	35.9
Glutamic acid	103.7	107.2
Glycine	49.4	46.6
Histidine	29.3	25.3
Arginine	57.2	50.4
Threonine	41.0	39.0
Alanine	52.2	58.4
Proline	30.3	26.8
Tyrosine	30.8	26.9
Valine	46.8	42.7
Lysine	84.2	86.9
Isoleucine	36.5	35.8
Leucine	75.4	71.3
Phenylalanine	47.5	44.8

จากการวิเคราะห์กรดอะมิโนของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) และปลาตาหวาน (*Priacanthus tayenus*) พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนทุกชนิดที่ตรวจได้ของปลาทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณใกล้เคียงกัน

#### 4.4 การศึกษาผลของปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชและ pH ที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของการตัดแปรฟิล์มบรีโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช

##### 4.4.1. การผลิตฟิล์มบรีโคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงมาละลายในน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มี pH โดยเฉลี่ยเป็น  $6.32 \pm 0.17$

แผ่นฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอยแยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลือง โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งแรง มีความยืดหยุ่นพอสมควร

เมื่อปรับ pH ของสารละลายโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 8, 9, 10, 11 และ 12 และนำมาขึ้นรูป พบว่า ที่ pH เท่ากับ 8 ไม่สามารถนำสารละลายมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ เนื่องจากเมื่อนำสารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม (film-forming solution) ไปให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส สารละลาย จะตกตะกอนเป็นขุยสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อนำมาขึ้นรูป แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะแตกร่อน ไม่ติดกันเป็นแผ่น และไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆได้

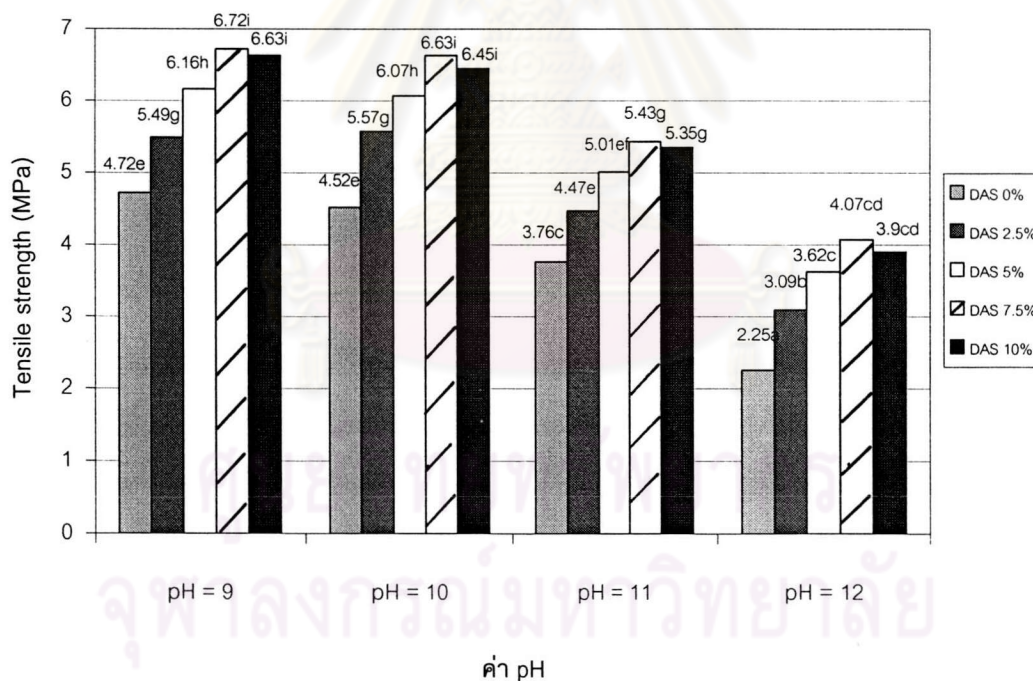
การตัดแปรโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช เมื่อเติมไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณมากกว่า 10% ของปริมาณโปรตีน สารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม จะมีตะกอนสีขาวขุ่นของไดอัลดีไฮด์สตาร์ชตกตะกอนอยู่ในสารละลาย เมื่อนำมาให้ความร้อนและขึ้นรูป แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถตัดแปรฟิล์มบรีโคได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาทรายแดงด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชได้ที่ pH เท่ากับ 9, 10, 11, 12 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10% ของปริมาณโปรตีน

#### 4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้ pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างกัน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกลของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% โดยแปร pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างกัน ได้ผลดังรูปที่ 14 – 15

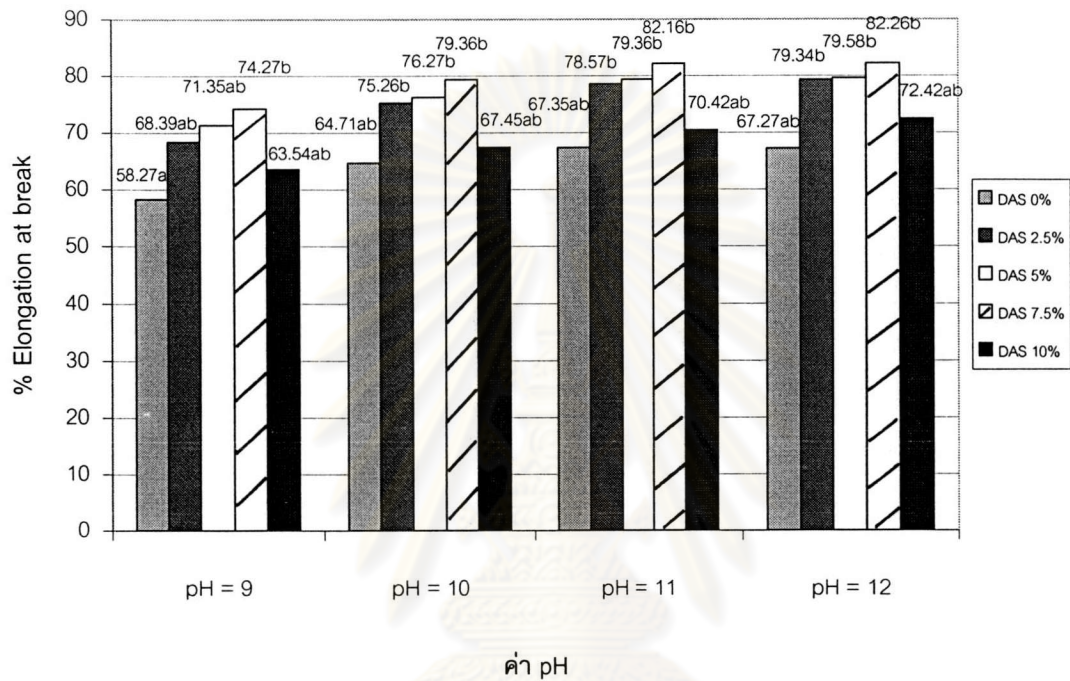
เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0-5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้น ในทุกๆค่าของ pH ของ film-forming solution แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะคงที่ เมื่อพิจารณาค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่า ภาวะที่ pH 9 และ 10 จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าภาวะที่ pH 11 และ 12 ในทุกปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด คือ ภาวะที่มีค่า pH 9 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% ของปริมาณโปรตีนปลาที่ละลายน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

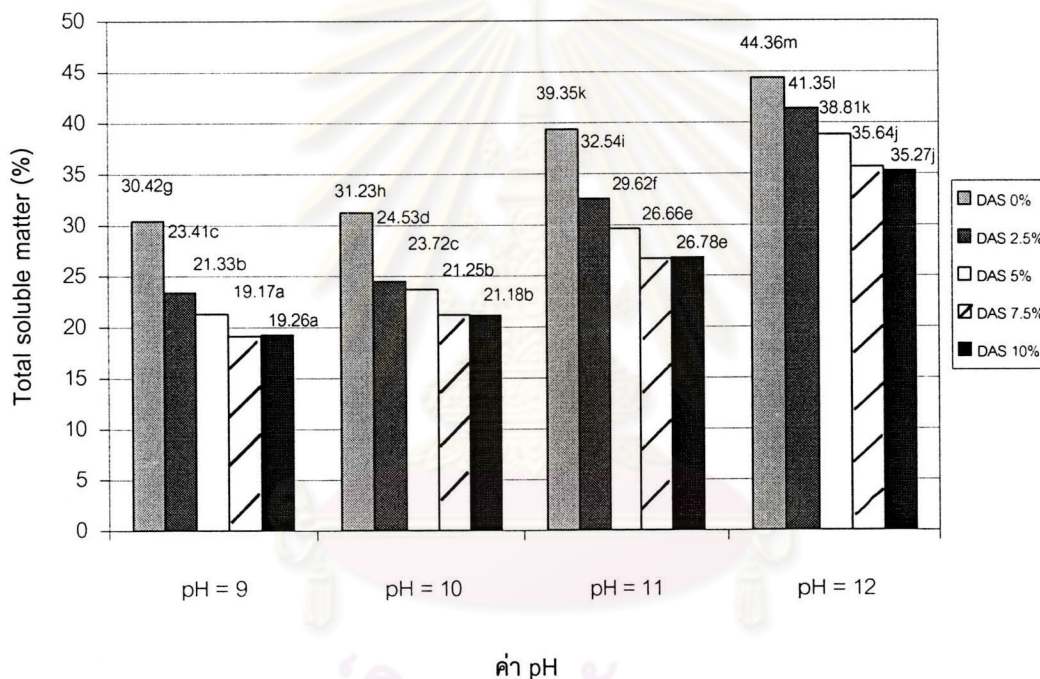
เมื่อสารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์มมี pH สูงขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  โดยเมื่อปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นทุกค่า pH ของสารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

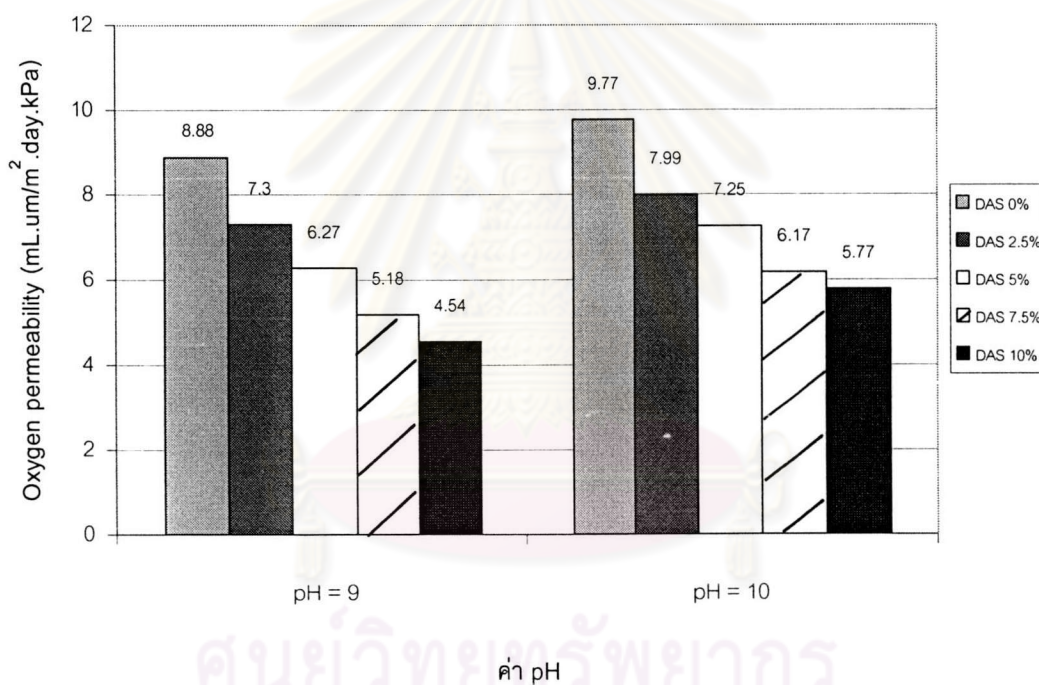
a, b....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0 - 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะลดลง ในทุกๆค่าของ pH ของ film-forming solution แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะคงที่ เมื่อพิจารณาค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ pH 12 จะให้ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มสูงกว่าภาวะที่ pH 9, 10 และ 11 ในทุกปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และพบว่าภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มต่ำที่สุด คือ ภาวะที่มีค่า pH 9 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% ของปริมาณโปรตีนปลาที่ละลายน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ  
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

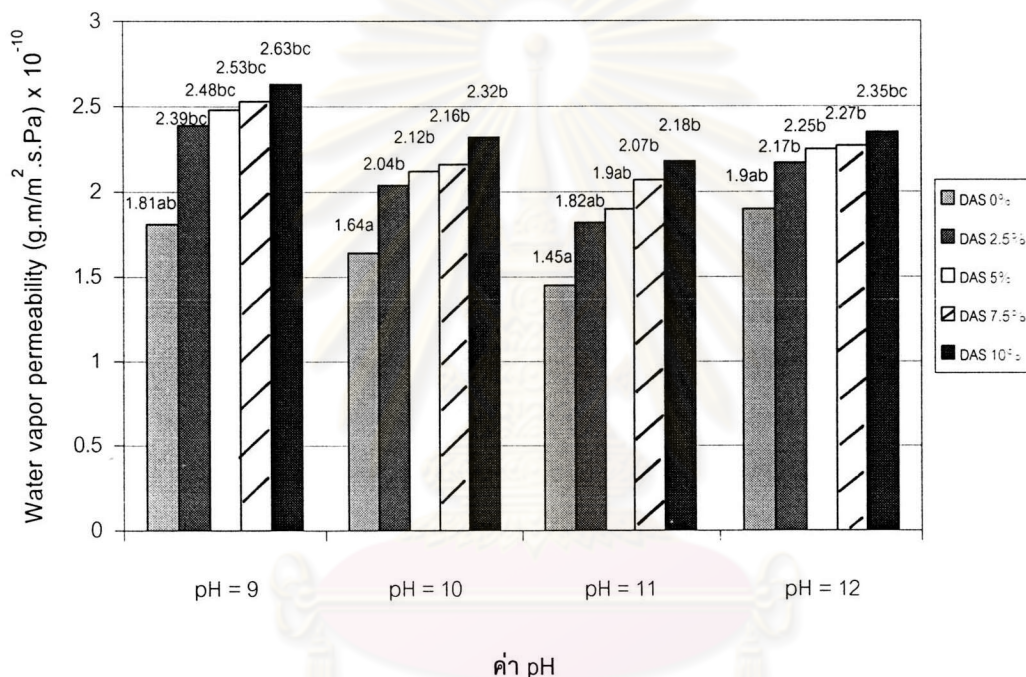
จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่างๆกัน พบว่า ไม่สามารถวัดค่าได้ในหลายๆภาวะการผลิต โดยเฉพาะภาวะการผลิตที่ pH 11 และ 12 เนื่องจากฟิล์มบริโคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมาก จึงไม่สามารถทนสภาวะที่มีการดูดอากาศออกเพียงด้านเดียวของแผ่นฟิล์มโดยเครื่อง OX-TRAN 1000 ได้ แผ่นฟิล์มจะขาดก่อนการวัดค่าต่างๆ โดยเครื่อง OX-TRAN 1000 จะเสร็จจึ้น แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากสารละลายที่ pH 9 และ 10 เท่านั้นที่สามารถวัดค่าได้ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณ 0-7.5%ของปริมาณโปรตีน ที่ภาวะ pH 9 และ 10 พบว่า ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนลดลงมาก และจะลดลงน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช (2.5 – 10% ของปริมาณโปรตีน) ในการผลิตฟิล์ม จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการซึมผ่านไอน้ำน้อยมาก อย่างไรก็ตาม ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมไดอัลดีไฮด์สตาร์ช ทุกค่า pH ที่ศึกษา โดยภาวะการผลิตที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด คือ ที่ภาวะ pH 9 ใส่ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% ของปริมาณโปรตีน (รูปที่ 18)



รูปที่ 18 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และ ไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$



จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มบรีโคลิกได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆกัน

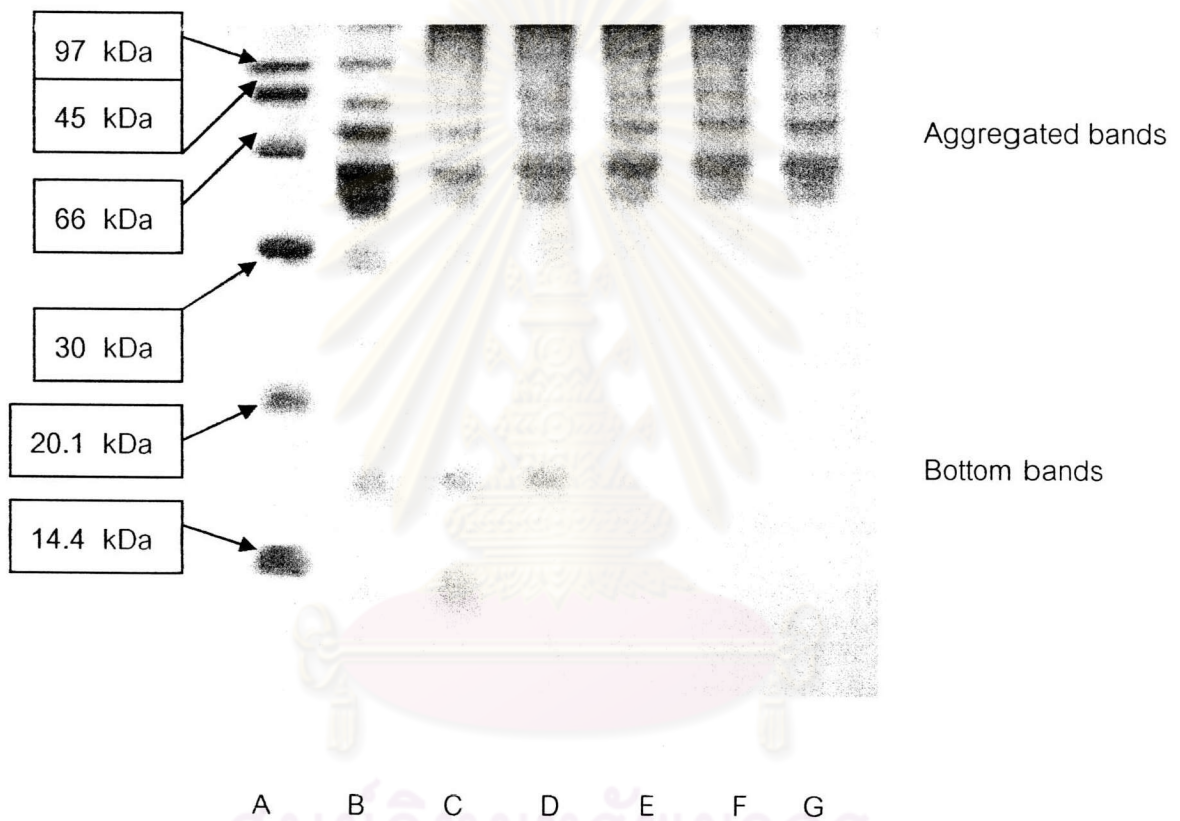
Treatment		ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
pH	%DAS	L	a	b	$\Delta E$
9	0	93.28 $\pm$ 0.21d	-1.12 $\pm$ 0.25a	+6.73 $\pm$ 0.17a	6.04 $\pm$ 0.21 a
9	2.5	91.23 $\pm$ 0.17c	-3.45 $\pm$ 0.23b	+18.04 $\pm$ 0.20b	17.35 $\pm$ 0.20 b
9	5	90.16 $\pm$ 0.22b	-3.93 $\pm$ 0.18bc	+26.38 $\pm$ 0.15c	25.59 $\pm$ 0.19 c
9	7.5	89.39 $\pm$ 0.16ab	-4.48 $\pm$ 0.17c	+29.46 $\pm$ 0.12d	28.81 $\pm$ 0.15 d
9	10	89.07 $\pm$ 0.24ab	-4.35 $\pm$ 0.15c	+30.99 $\pm$ 0.21d	30.34 $\pm$ 0.21 d
10	0	92.81 $\pm$ 0.25d	-1.08 $\pm$ 0.25a	+7.36 $\pm$ 0.23a	6.81 $\pm$ 0.24a
10	2.5	90.52 $\pm$ 0.23b	-2.43 $\pm$ 0.26ab	+20.24 $\pm$ 0.24b	19.47 $\pm$ 0.24bc
10	5	89.24 $\pm$ 0.16ab	-2.71 $\pm$ 0.19b	+28.81 $\pm$ 0.16c	28.01 $\pm$ 0.17cd
10	7.5	88.61 $\pm$ 0.18a	-3.13 $\pm$ 0.25bc	+31.84 $\pm$ 0.21d	31.12 $\pm$ 0.21d
10	10	88.25 $\pm$ 0.17a	-3.31 $\pm$ 0.17bc	+31.72 $\pm$ 0.18d	31.13 $\pm$ 0.17d
11	0	92.81 $\pm$ 0.25d	-0.87 $\pm$ 0.26a	+8.26 $\pm$ 0.17a	7.51 $\pm$ 0.23a
11	2.5	90.26 $\pm$ 0.18b	-2.15 $\pm$ 0.19ab	+21.05 $\pm$ 0.15b	20.28 $\pm$ 0.17bc
11	5	89.61 $\pm$ 0.27ab	-2.43 $\pm$ 0.16ab	+29.71 $\pm$ 0.25c	28.75 $\pm$ 0.21d
11	7.5	88.32 $\pm$ 0.16a	-2.94 $\pm$ 0.24b	+31.43 $\pm$ 0.14d	30.79 $\pm$ 0.19de
11	10	88.07 $\pm$ 0.24a	-2.80 $\pm$ 0.16b	+31.69 $\pm$ 0.23d	31.10 $\pm$ 0.21de
12	0	93.24 $\pm$ 0.18d	-1.25 $\pm$ 0.26a	+6.43 $\pm$ 0.23a	5.86 $\pm$ 0.23a
12	2.5	91.45 $\pm$ 0.26c	-3.43 $\pm$ 0.25b	+17.45 $\pm$ 0.17b	16.73 $\pm$ 0.23b
12	5	90.26 $\pm$ 0.25b	-3.13 $\pm$ 0.15bc	+25.35 $\pm$ 0.18c	24.47 $\pm$ 0.19c
12	7.5	89.53 $\pm$ 0.16ab	-4.48 $\pm$ 0.23c	+28.36 $\pm$ 0.21d	27.73 $\pm$ 0.19cd
12	10	89.37 $\pm$ 0.25ab	-4.18 $\pm$ 0.18c	+30.08 $\pm$ 0.23d	29.37 $\pm$ 0.21cd

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0 - 7.5% ของปริมาณโปรตีน ทำให้ค่า  $\Delta E$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  ในทุกๆค่าของ pH โดยเฉพาะค่า +b (yellowness) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงมาก แสดงว่าแผ่นฟิล์มมีสีเหลืองมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่า L, a, b และ  $\Delta E$  ของแผ่นฟิล์มจะไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.4.3 การติดตามผลการเกิดเชื่อมขวางของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช โดยวิธี SDS-PAGE

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ถูกตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชโดยใช้วิธี SDS-PAGE ตามวิธีของ Leammli (1970) ซึ่งปรับปรุงโดย Iwata และคณะ (2000) ในการทดลองใช้ 12.5% separating gel และ 4% stacking gel ได้ผลดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แบบแผนการแยกโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ pH 9 และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างๆกัน

- A : low molecular weight standard proteins
- B : sarcoplasmic proteins
- C : film at pH 9, with dialdehyde starch 0%
- D : film at pH 9, with dialdehyde starch 2.5%
- E : film at pH 9, with dialdehyde starch 5%
- F : film at pH 9, with dialdehyde starch 7.5%
- G : film at pH 9, with dialdehyde starch 10%

การวิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนในฟิล์มโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาทราายแดง ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชที่ปรับ pH เป็น 9 โดยใช้ 12.5% separating gel และ 4% stacking gel กระแสไฟ 100V และใช้โปรตีนมาตรฐานที่มีมวลโมเลกุล 97 66 45 30 20.1 และ 14.4 kDa พบว่า เมื่อปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชเพิ่มขึ้น intensity ของ bottom bands จะลดลง และ aggregated bands จะมี intensity เพิ่มขึ้น

#### 4.5 การศึกษาผลของการเติมไขมันที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทราายแดง

##### 4.5.1 การผลิตฟิล์มบริโภาคได้จากสารละลายอีมีลชันของโปรตีนละลายน้ำจากปลาทราายแดง ไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และไขมัน

จากการทดลองผลิตฟิล์มบริโภาคได้จากสารละลายอีมีลชันของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทราายแดง ไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และไขมัน พบว่า แผ่นฟิล์มมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอยแยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลือง โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งแรง มีความยืดหยุ่นได้ดีพอสมควร

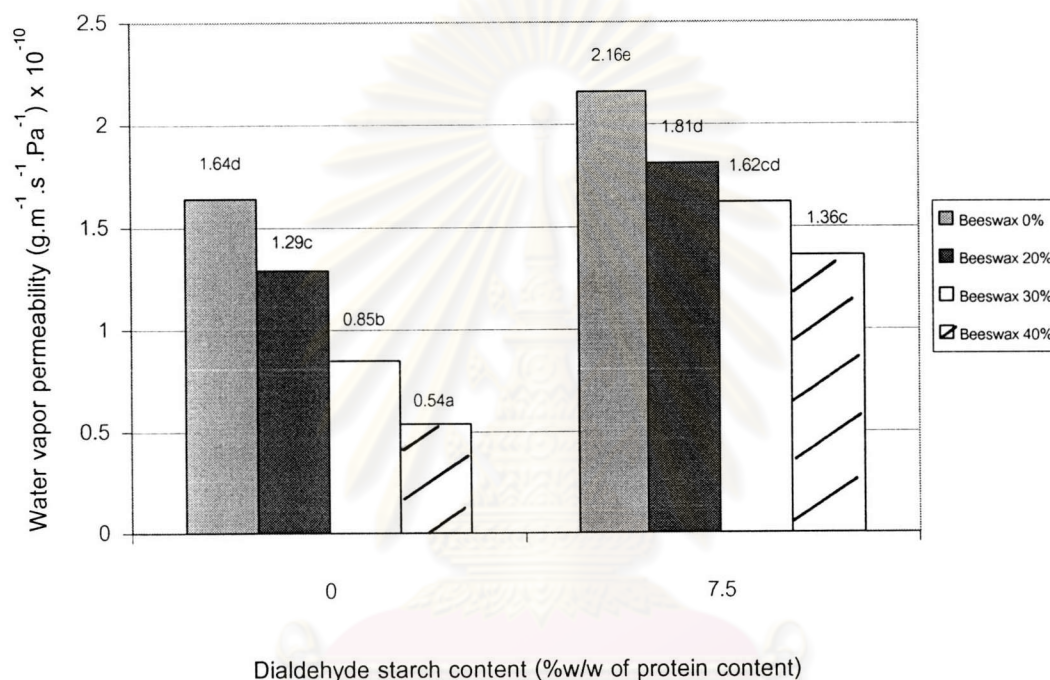
แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยสารละลายอีมีลชันของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทราายแดง และไขมันจะมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืดหยุ่นได้ดีพอสมควร ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

##### 4.5.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้ที่ผลิตโดยใช้ปริมาณไขมันต่างๆกัน

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทราายแดง ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH ให้เป็น 9 ใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% และใช้ไขมันปริมาณต่างๆกัน ได้ผลดังรูปที่ 20-23 และ ตารางที่ 4-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ตัดแปรรูปและตัดแปรรูปด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  โดยภาวะที่ตัดแปรรูปด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ตัดแปรรูปด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มบริเวณที่ได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 0 และ 7.5% ของปริมาณโปรตีน และไขมันปริมาณต่างๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 4

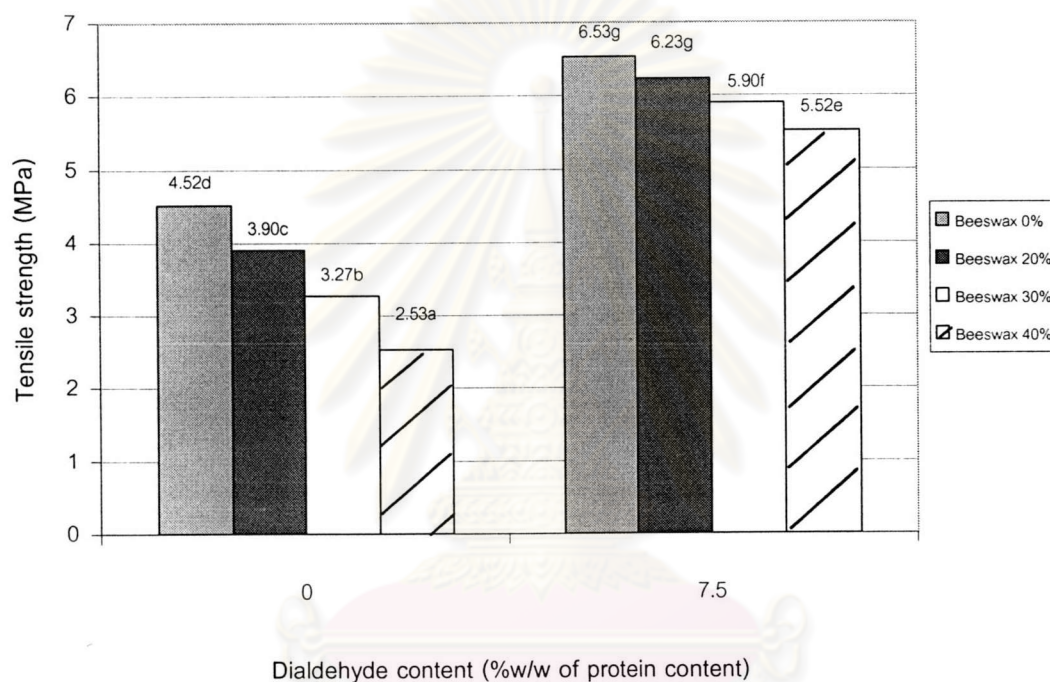
ตารางที่ 4 ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ปริมาณไขมันต่างๆกัน

Treatment		ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
%DAS	%Beeswax	L	a	b	$\Delta E$
0	0	95.28 $\pm$ 0.25e	-1.12 $\pm$ 0.25ab	+6.73 $\pm$ 0.16a	6.04 $\pm$ 0.21a
0	20	94.35 $\pm$ 0.15d	-0.93 $\pm$ 0.18a	+8.96 $\pm$ 0.24b	7.46 $\pm$ 0.20b
0	30	94.59 $\pm$ 0.18d	-0.82 $\pm$ 0.17a	+10.25 $\pm$ 0.15c	8.60 $\pm$ 0.17c
0	40	94.79 $\pm$ 0.23d	-0.76 $\pm$ 0.20a	+10.70 $\pm$ 0.25c	8.98 $\pm$ 0.23d
7.5	0	89.39 $\pm$ 0.16c	-4.35 $\pm$ 0.17d	+29.46 $\pm$ 0.25d	28.79 $\pm$ 0.21e
7.5	20	84.62 $\pm$ 0.24b	-2.07 $\pm$ 0.23c	+37.25 $\pm$ 0.23e	37.38 $\pm$ 0.23f
7.5	30	83.45 $\pm$ 0.17b	-1.59 $\pm$ 0.25c	+38.61 $\pm$ 0.14e	39.03 $\pm$ 0.19g
7.5	40	82.72 $\pm$ 0.23a	-1.26 $\pm$ 0.15b	+39.53 $\pm$ 0.18ef	40.13 $\pm$ 0.20h

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไขมันจาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ทำให้ค่า  $\Delta E$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  โดยค่า L (lightness) ที่ลดลง แสดงว่าฟิล์มมีความสว่างน้อยลง ส่วนค่า b (yellowness) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าแผ่นฟิล์มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่า L a b และ  $\Delta E$  สูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในทุกปริมาณไขมันที่ใช้

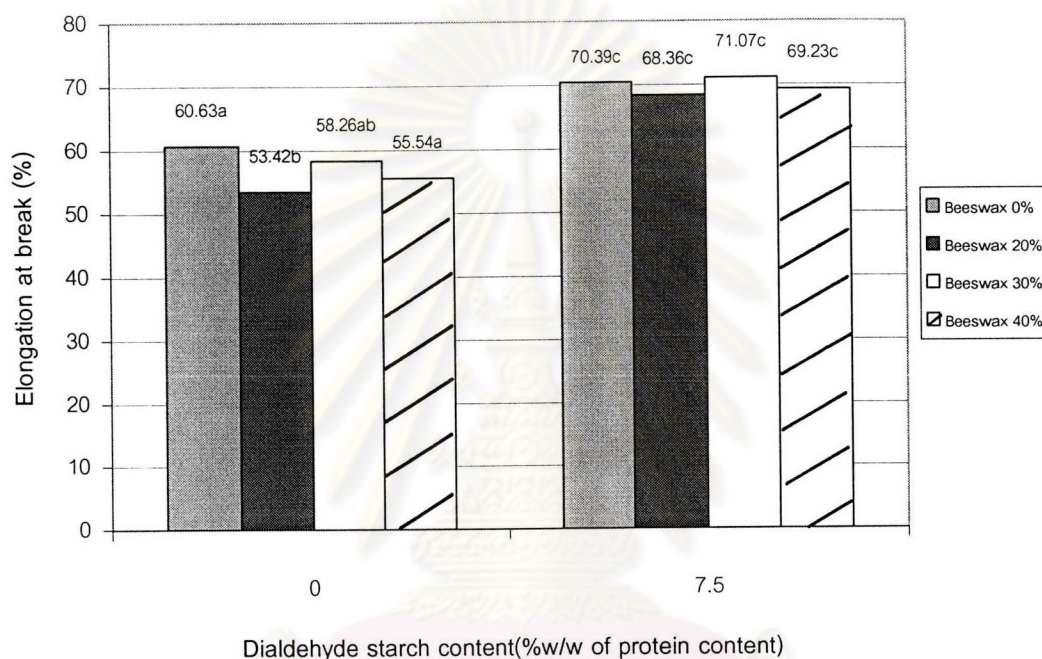
เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ตัดแปรรและตัดแปรรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  โดยภาวะที่ตัดแปรรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ตัดแปรรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

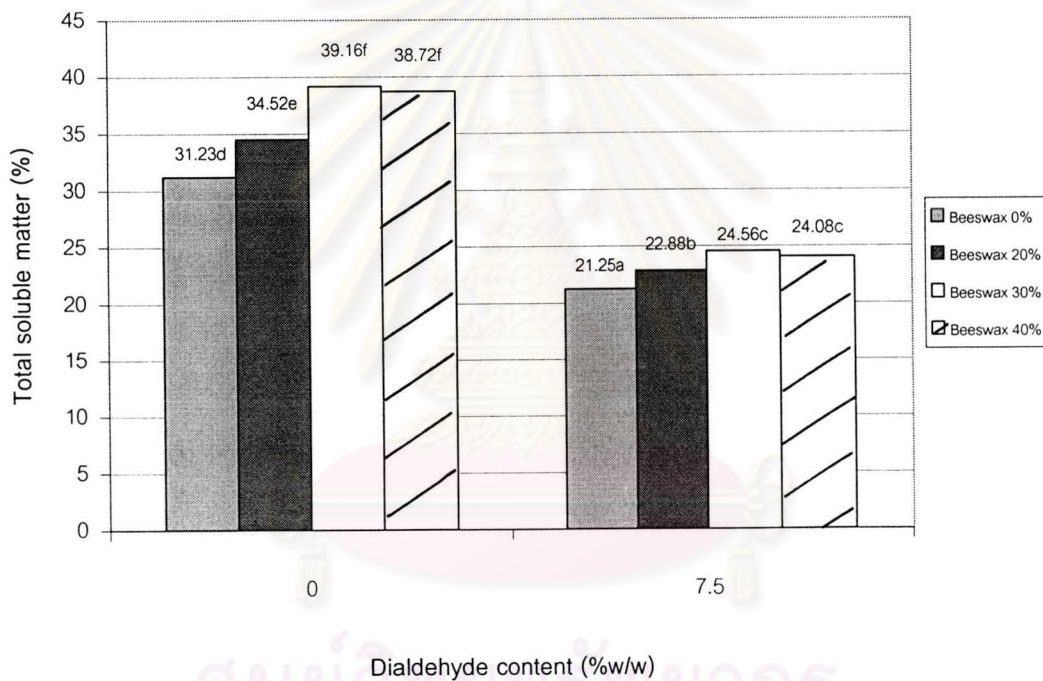
เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรและดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดง

a, b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการการละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  อย่างไรก็ตาม แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์ สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ มีค่าการละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่ม ปริมาณไขผึ้ง โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ ค่าการละลายทั้งหมดสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ ดัง แสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลาย น้ำได้จากปลาทรายแดง

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$



จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ไม่ตัดแปรและตัดแปรด้วยไดอัลติไฮด์สตาร์ช และไขผึ้งก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่างๆกัน พบว่า ไม่สามารถวัดค่าได้ในภาวะการผลิตฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาทรายแดงที่ตัดแปรด้วยไขผึ้งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมาก จึงไม่สามารถทนสภาวะที่มีการดูดอากาศออกเพียงด้านเดียวของแผ่นฟิล์มโดยเครื่อง OX-TRAN 1000 ได้ แผ่นฟิล์มจะขาดก่อนการวัดค่าต่างๆ โดยเครื่อง OX-TRAN 1000 จะเสร็จสิ้น แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากการตัดแปรด้วยไดอัลติไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนเท่านั้นที่สามารถวัดค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ปริมาณไดอัลติไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีน และไขผึ้งปริมาณต่างๆกัน

Beeswax (% ของโปรตีนปลา)	การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (mL.µm/m <sup>2</sup> .day.kPa)
0	5.18
20	7.55
30	8.59
40	9.67

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไขผึ้งจาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ในแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาทรายแดงที่ตัดแปรด้วยไดอัลติไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีน พบว่า ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น

4.6 การศึกษาผลของปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชและ pH ที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของการตัดแปร์ฟิล์มบิโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาตาหวานด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช จากการทดลองพบว่า เมื่อนำโปรตีนละลายน้ำจากปลาตาหวานมาละลายในน้ำกลั่น จะได้สารละลายที่มี pH โดยเฉลี่ยเป็น  $6.30 \pm 0.17$

แผ่นฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอยแยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืดหยุ่นเล็กน้อย ฉีกขาดและดึงให้ขาดได้ง่าย

เมื่อทำการปรับ pH ของสารละลายโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานเป็น 8, 9, 10, 11 และ 12 และนำมาขึ้นรูป พบว่า ที่ pH เท่ากับ 8 และ 9 ไม่สามารถนำสารละลายมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ เนื่องจากเมื่อนำ film-forming solution ไปให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส สารละลาย จะตกตะกอนเป็นขุยสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อนำมาขึ้นรูป แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะแตกร่อน ไม่ติดกันเป็นแผ่น และไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆได้

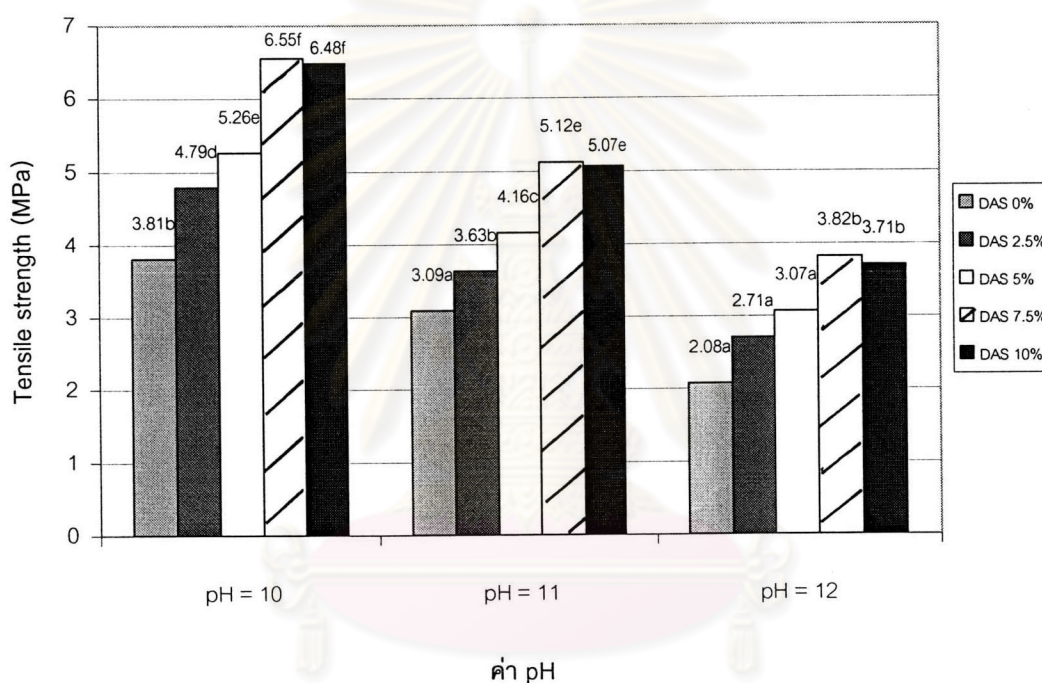
การตัดแปร์โปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช เมื่อเติมไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณมากกว่า 10% ของปริมาณโปรตีน film-forming solution จะมีตะกอนสีขาวขุ่นของไดอัลดีไฮด์สตาร์ชตกตะกอนอยู่ในสารละลาย เมื่อนำมาให้ความร้อนและขึ้นรูป แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถตัดแปร์ฟิล์มบิโภาคได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาตาหวานด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชได้ที่ pH เท่ากับ 10, 11, 12 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10% ของปริมาณโปรตีน

4.6.1 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบิโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาตาหวานที่ผลิตโดยใช้ pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างๆกัน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกล ของฟิล์มบิโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานตัดแปร์ด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% โดยแปร pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างๆกัน ได้ผลดังรูปที่ 24-25

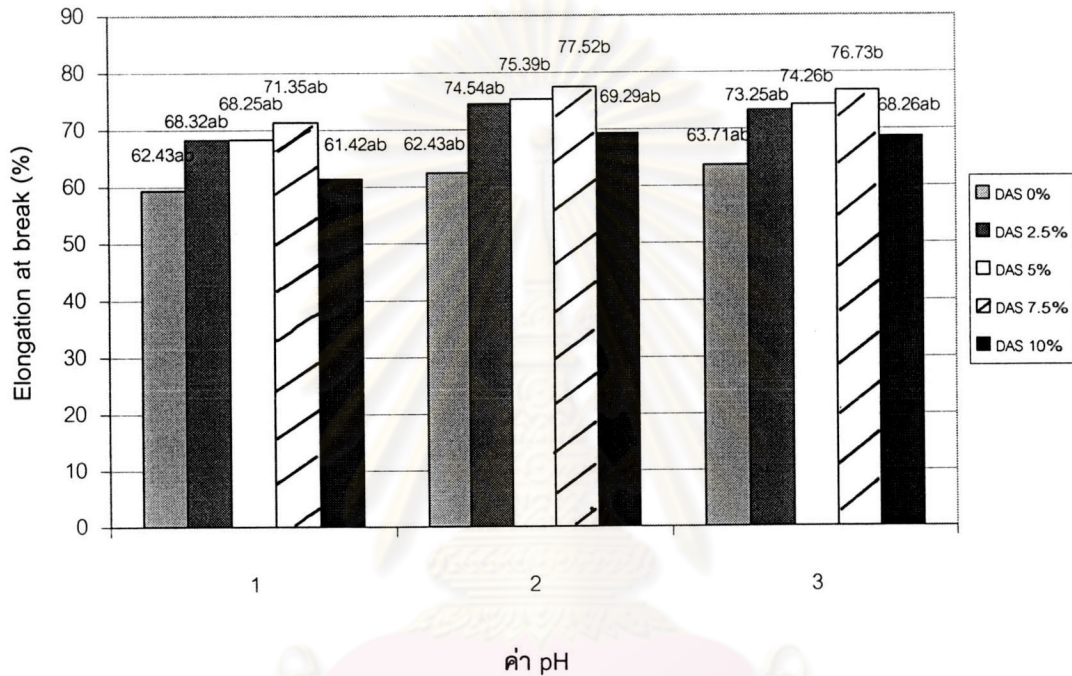
เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0-7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะเพิ่มขึ้น ในทุกๆค่าของ pH ของ film-forming solution แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการต้านทานแรงดึงขาดจะคงที่ เมื่อพิจารณาค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่า ภาวะที่ pH 10 จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าภาวะที่ pH 11 และ 12 ในทุกปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด คือ ภาวะที่มีค่า pH 10 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% ของปริมาณโปรตีนปลาที่ละลายน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 24



รูปที่ 24 ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อสารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์มมี pH สูงขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไร้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  โดยเมื่อปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นทุกค่า pH ของสารละลายสำหรับขึ้นรูปฟิล์ม ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 25

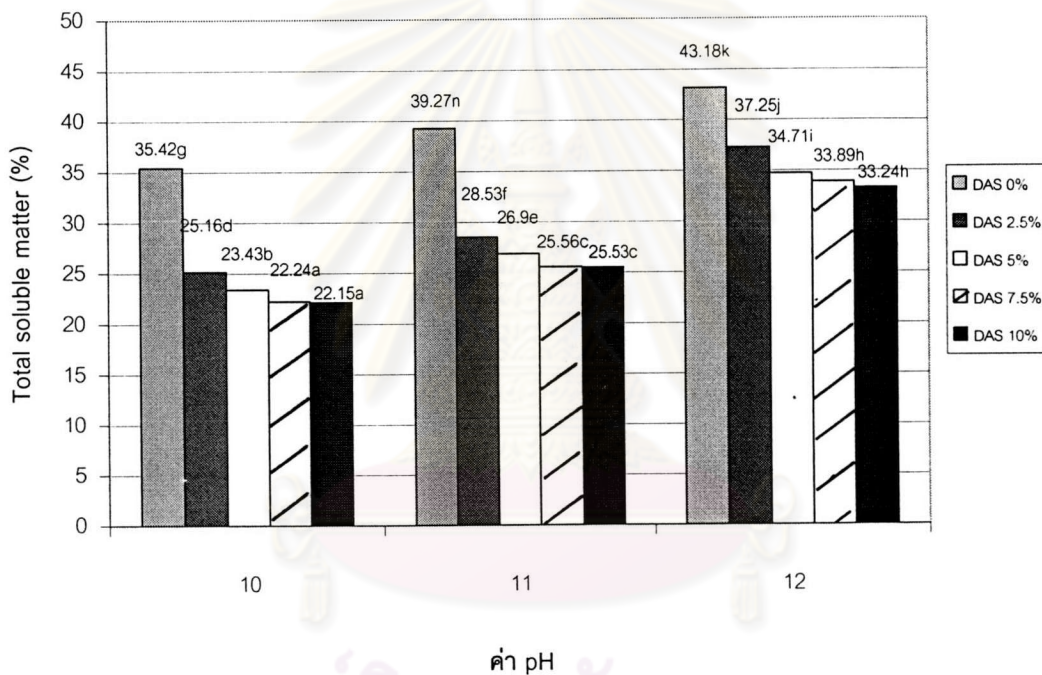


รูปที่ 25 ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0 - 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะลดลง ในทุกๆค่าของ pH ของ film-forming solution แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มจะคงที่ เมื่อพิจารณาค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ pH 12 จะให้ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มสูงกว่าภาวะที่ pH 10 และ 11 ในทุกปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และพบว่าภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มต่ำที่สุด คือ ภาวะที่มีค่า pH 10 และใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% ของปริมาณโปรตีนปลาที่ละลายน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 ค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ  
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบรีโกลด์ได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มต่างๆกัน พบว่า ไม่สามารถวัดค่าได้ในหลายๆภาวะการผลิต โดยเฉพาะภาวะการผลิตที่ pH 11 และ 12 เนื่องจากฟิล์มบรีโกลด์ได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาตาหวานที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนมาก จึงไม่สามารถทนสภาวะที่มีการดูดอากาศออกเพียงด้านเดียวของแผ่นฟิล์มโดยเครื่อง OX-TRAN 1000 ได้ แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากสารละลายที่ pH 10 เท่านั้นที่สามารถวัดค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 6

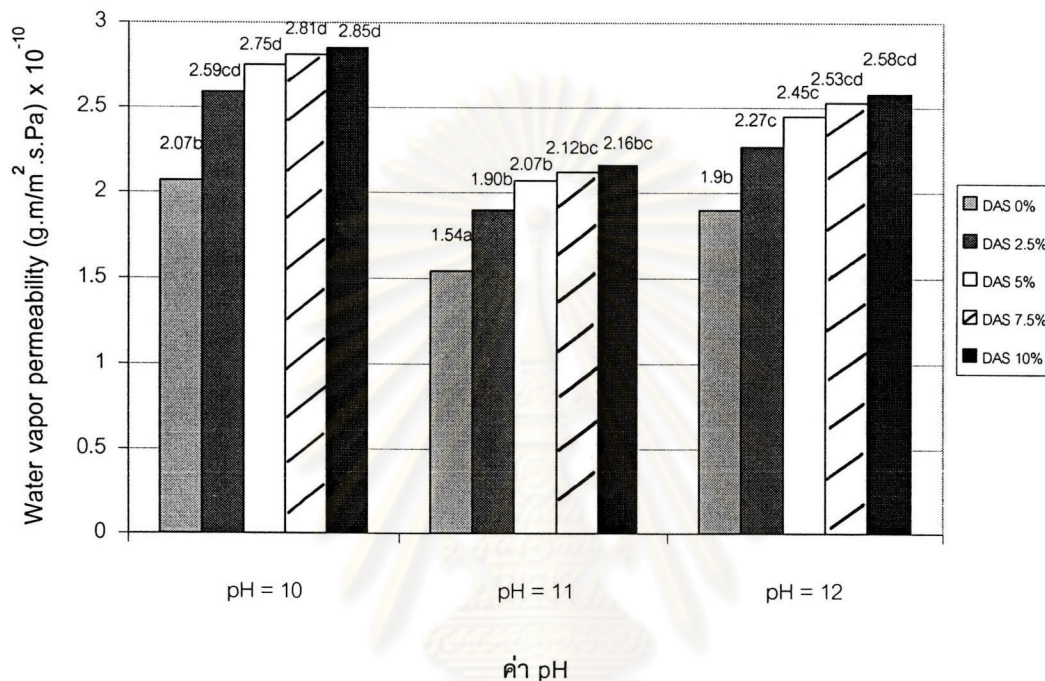
ตารางที่ 6 ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH เป็น 10 และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆกัน

DAS (% ของโปรตีนปลา)	การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (mL.µm/m <sup>2</sup> .day.kPa)
0	7.50
2.5	6.29
5	5.28
7.5	4.19
10	3.85

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณ 0-7.5%ของปริมาณโปรตีน ที่ภาวะ pH 9 และ 10 พบว่า ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นมาก และจะเพิ่มขึ้นน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณมากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อมีการเติมไดอัลดีไฮด์สตาร์ช จะทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น ทุกค่า pH ที่ศึกษา โดยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชจาก 2.5 ถึง 10% ของปริมาณโปรตีน ค่าการซึมผ่านไอน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH และไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆ

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มบริโภคน้ำได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาตาหวานที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH และปริมาณไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ pH และปริมาณไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน

Treatment		ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
pH	%DAS	L	a	b	$\Delta E$
10	0	95.34 $\pm$ 0.35d	-1.09 $\pm$ 0.45a	+8.26 $\pm$ 1.15a	6.54 $\pm$ 1.16a
10	2.5	91.35 $\pm$ 0.26bc	-2.17 $\pm$ 0.36b	+18.07 $\pm$ 1.16b	17.13 $\pm$ 1.24b
10	5	89.81 $\pm$ 0.32b	-2.43 $\pm$ 0.34c	+28.81 $\pm$ 1.23c	27.68 $\pm$ 1.27c
10	7.5	85.36 $\pm$ 0.21a	-3.07 $\pm$ 0.18d	+32.54 $\pm$ 1.27d	32.49 $\pm$ 1.25d
10	10	85.09 $\pm$ 0.24a	-3.24 $\pm$ 0.24d	+32.43 $\pm$ 1.34d	32.43 $\pm$ 1.29d
11	0	96.71 $\pm$ 0.32d	-1.07 $\pm$ 0.23a	+8.90 $\pm$ 1.16a	6.99 $\pm$ 1.16a
11	2.5	92.35 $\pm$ 0.24c	-1.81 $\pm$ 0.34b	+21.43 $\pm$ 1.23bc	20.04 $\pm$ 1.24bc
11	5	89.62 $\pm$ 0.26b	-2.35 $\pm$ 0.25c	+29.09 $\pm$ 1.24c	29.99 $\pm$ 1.27c
11	7.5	85.25 $\pm$ 0.18a	-2.93 $\pm$ 0.21d	+34.15 $\pm$ 1.42d	34.04 $\pm$ 1.36d
11	10	85.18 $\pm$ 0.35a	-2.90 $\pm$ 0.26d	+34.63 $\pm$ 1.19d	34.52 $\pm$ 1.29d
12	0	96.45 $\pm$ 0.26d	-1.17 $\pm$ 0.32a	+8.35 $\pm$ 1.18a	6.48 $\pm$ 1.16a
12	2.5	92.77 $\pm$ 0.24c	-2.16 $\pm$ 0.24b	+19.23 $\pm$ 1.24b	17.85 $\pm$ 1.24b
12	5	89.34 $\pm$ 0.34b	-2.52 $\pm$ 0.23c	+27.54 $\pm$ 1.17c	26.56 $\pm$ 1.27c
12	7.5	85.23 $\pm$ 0.26a	-2.94 $\pm$ 0.24d	+33.26 $\pm$ 1.34d	33.20 $\pm$ 1.26d
12	10	85.19 $\pm$ 0.27a	-3.17 $\pm$ 0.27d	+33.52 $\pm$ 1.25d	33.48 $\pm$ 1.29d

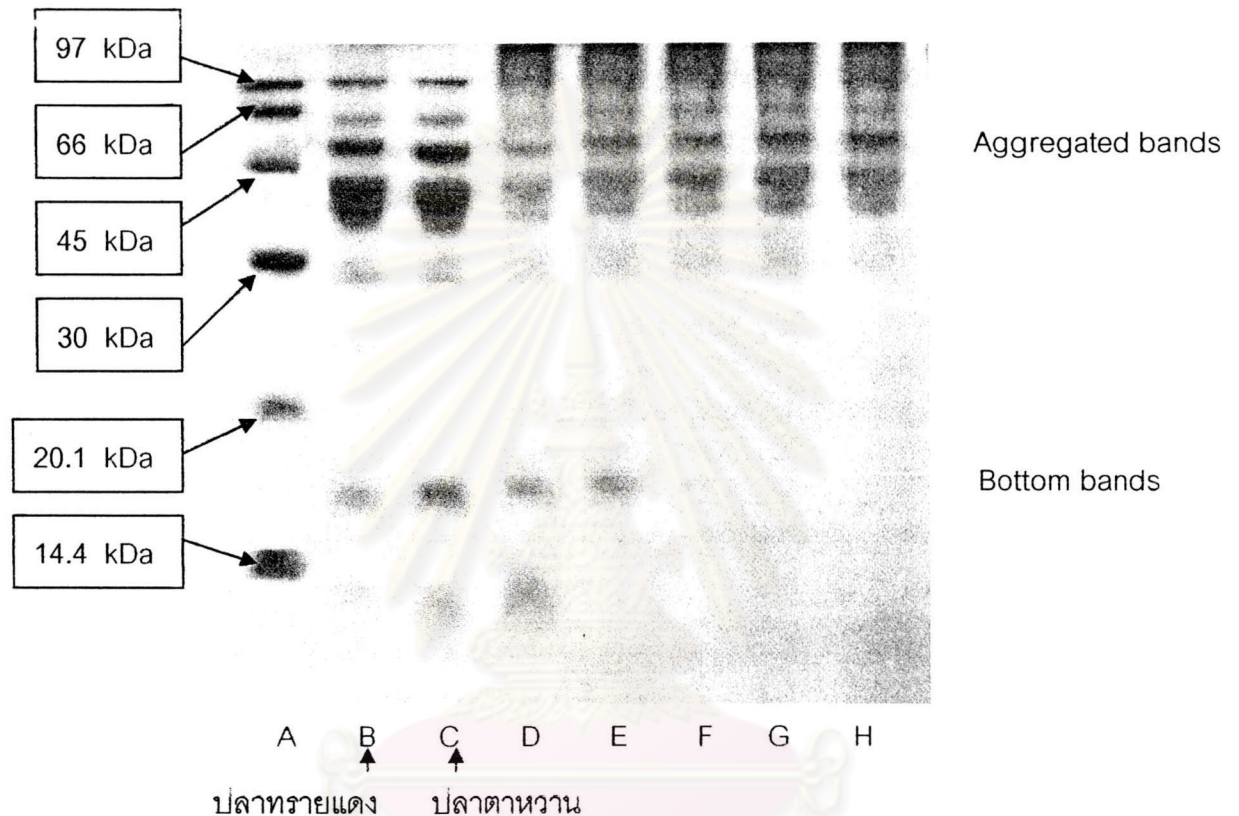
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์ในช่วงแรก คือ ปริมาณ 0 - 7.5% ของปริมาณโปรตีน ทำให้ค่า  $\Delta E$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  ในทุกๆค่าของ pH โดยเฉพาะค่า b (yellowness) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงมาก แสดงว่าแผ่นฟิล์มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์มากกว่า 7.5% ของปริมาณโปรตีน ค่า L, a, b และ  $\Delta E$  ของแผ่นฟิล์มจะไม่เปลี่ยนแปลง



#### 4.6.2 การติดตามผลการเกิดเชื่อมขวางของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช โดยวิธี SDS-PAGE

ติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ใช้ในการดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชโดยใช้วิธี SDS-PAGE ตามวิธีของ Leammli (1970) ซึ่งปรับปรุงโดย Iwata และคณะ (2000) ในการทดลองใช้ 12.5% separating gel และ 4% stacking gel ได้ผลดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 แบบแผนการแยกโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวาน ที่ pH 10 และปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ชต่างๆกัน

A : low molecular weight standard proteins

B : sarcoplasmic proteins from *Nemipterus hexodon*

C : sarcoplasmic proteins from *Priacanthus tayenus*

D : film at pH 9, with dialdehyde starch 0%

E : film at pH 9, with dialdehyde starch 2.5%

F : film at pH 9, with dialdehyde starch 5%

G : film at pH 9, with dialdehyde starch 7.5%

H : film at pH 9, with dialdehyde starch 10%

การวิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนในโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวานดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชที่ปรับ pH เป็น 10 โดยใช้ 12.5% separating gel และ 4% stacking gel กระแสไฟ 100V และใช้โปรตีนมาตรฐานที่มีมวลโมเลกุล 97 66 45 30 20.1 และ 14.4 kDa เมื่อพิจารณาส่วนของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวาน (ช่อง B) เปรียบเทียบกับปลาดาทาหวาน (ช่อง B) พบว่า ช่อง C เกิดแถบที่เด่นชัดกว่าช่อง B ที่โปรตีนมาตรฐานที่มีมวลโมเลกุล 20.1-14.4 kDa และเมื่อพิจารณาฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวานที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชปริมาณต่างๆกัน พบว่า เมื่อเติมไดอัลดีไฮด์สตาร์ชเพิ่มขึ้น จะทำให้ intensity ของ bottom bands ลดลง เนื่องจาก mobile protein fraction สูงขึ้น และ intensity ของ aggregate bands จะเพิ่มขึ้น

#### 4.7 การศึกษาผลของการเติมไขมันที่มีต่อสมบัติด้านต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำจากปลาดาทาหวาน

##### 4.7.1 การผลิตฟิล์มบริโภาคได้จากสารละลายอิมัลชันของโปรตีนละลายน้ำจากปลาดาทาหวาน ไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และไขมัน

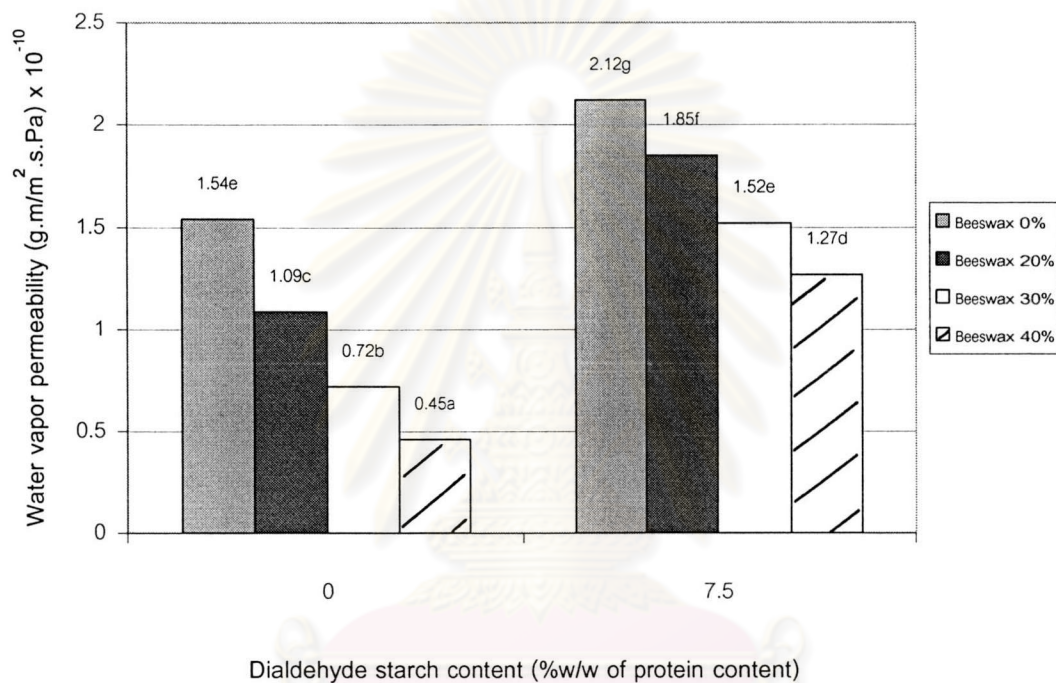
จากการทดลองผลิตฟิล์มบริโภาคได้จากสารละลายอิมัลชันของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวาน ไดอัลดีไฮด์สตาร์ช และไขมัน พบว่า แผ่นฟิล์มมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรูพรุนหรือรอยแยกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีสีเหลือง โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งแรง มีความยืดหยุ่นได้ดีพอสมควร

แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยสารละลายอิมัลชันของโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวาน และไขมันเพียงอย่างเดียวจะมีลักษณะโดยทั่วไป คือ เป็นแผ่นที่มีพื้นผิวต่อเนื่องกันตลอดทั้งแผ่น มีสีเหลืองอ่อนๆ โปร่งแสง ลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อน ยืดหยุ่นได้ดีพอสมควร

##### 4.7.2 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบริโภาคได้ที่ผลิตโดยใช้ปริมาณไขมันต่างๆกัน

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของฟิล์มบริโภาคที่ได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาดาทาหวาน ที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปรับ pH ให้เป็น 9 ใช้ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% และใช้ไขมันปริมาณต่างๆกัน ได้ผลดังรูปที่ 29-32 และตารางที่ 8-9

เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรและดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ (รูปที่ 29)



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวาน

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

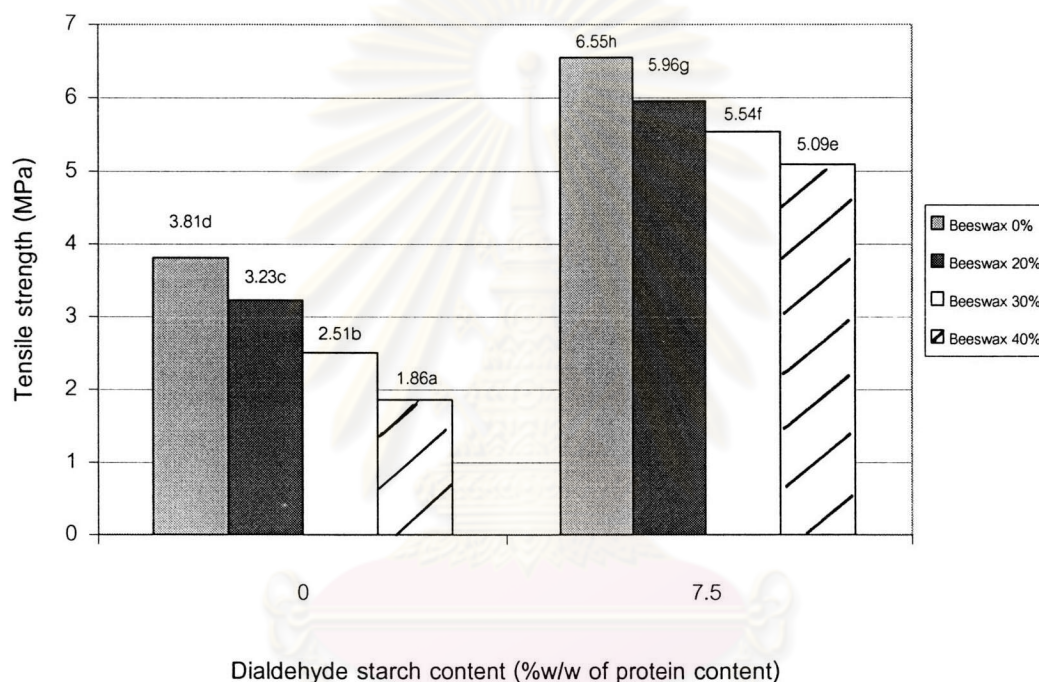
จากการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มบริโภคน้ำได้จากโปรตีนที่ละลายน้ำจากปลาตาหวานที่ผลิตโดยใช้สารละลายโปรตีนเข้มข้น 3% ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 0 และ 7.5% และไขมันปริมาณต่างๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าสีในระบบ Hunter L a b ของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวานที่ปริมาณไขมันต่างๆกัน

Treatment		ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
%DAS	%Beeswax	L	a	b	$\Delta E$
0	0	95.34 $\pm$ 0.35e	-1.09 $\pm$ 0.45a	+8.26 $\pm$ 1.15a	6.54 $\pm$ 1.18a
0	20	96.45 $\pm$ 0.17f	-0.86 $\pm$ 0.26a	+10.54 $\pm$ 1.35b	8.60 $\pm$ 1.24b
0	30	96.36 $\pm$ 0.26f	-0.73 $\pm$ 0.37a	+12.18 $\pm$ 1.42c	10.23 $\pm$ 1.32c
0	40	96.51 $\pm$ 0.23f	-0.65 $\pm$ 0.36a	+12.25 $\pm$ 1.35c	10.29 $\pm$ 1.25c
7.5	0	85.36 $\pm$ 0.21d	-3.07 $\pm$ 0.18c	+37.54 $\pm$ 1.27d	37.49 $\pm$ 1.24d
7.5	20	81.53 $\pm$ 0.16c	-1.90 $\pm$ 0.27b	+43.71 $\pm$ 1.36g	44.49 $\pm$ 1.25g
7.5	30	80.23 $\pm$ 0.26b	-1.33 $\pm$ 0.24a	+42.16 $\pm$ 1.26f	43.50 $\pm$ 1.21f
7.5	40	79.19 $\pm$ 0.24a	-1.06 $\pm$ 0.17a	+41.25 $\pm$ 1.34e	43.07 $\pm$ 1.27e

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไขมันจาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ ทำให้ค่า  $\Delta E$  มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$  โดยค่า L (lightness) ที่ลดลง แสดงว่าฟิล์มมีความสว่างน้อยลง ส่วนค่า b (yellowness) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าแผ่นฟิล์มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยภาวะที่ตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่า L a b และ  $\Delta E$  สูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ตัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชในทุกปริมาณไขมันที่ใช้

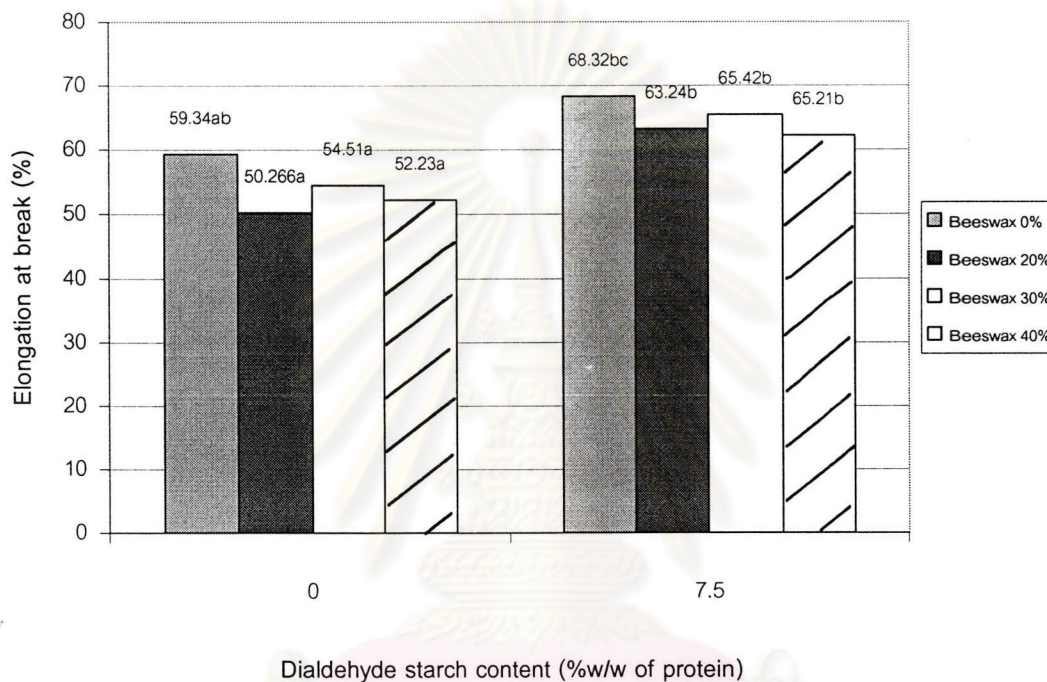
เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรและดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาดสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 30



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการต้านทานแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวาน

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

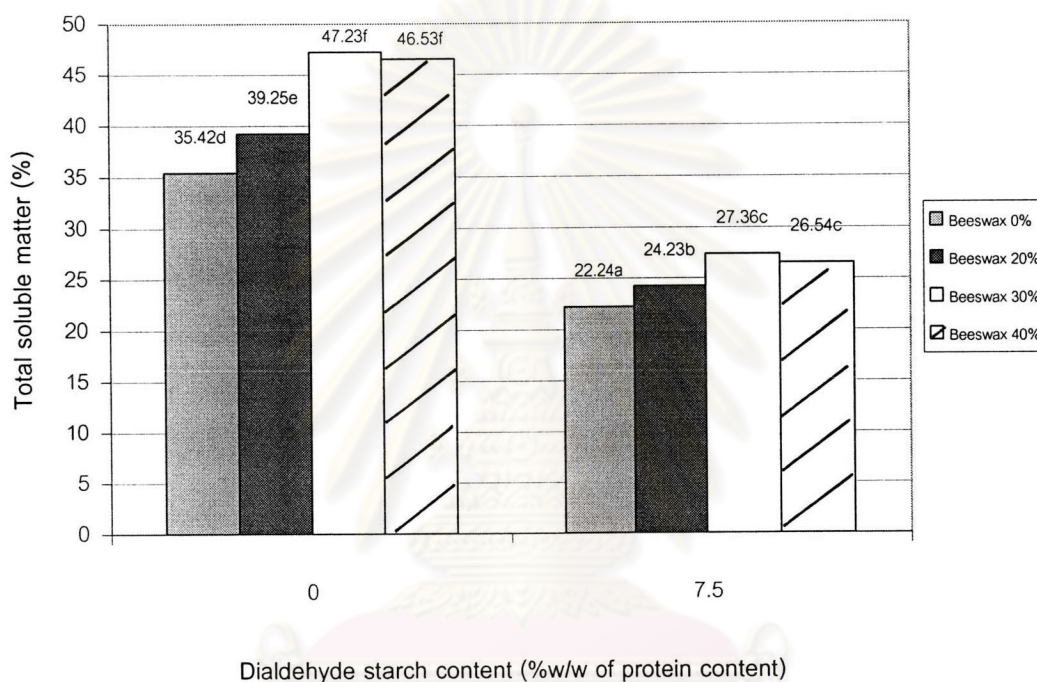
เมื่อเติมไขผึ้ง จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดลดลงเล็กน้อย โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดสูงกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ชทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 31



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาหวาน

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

เมื่อเพิ่มปริมาณไขผึ้งที่ใช้จาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช มีค่าการการละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p \leq 0.05$  โดยภาวะที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดย น้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ จะให้ค่าการละลายทั้งหมดต่ำกว่าภาวะที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์ สตาร์ชในทุกปริมาณไขผึ้งที่ใช้ (รูปที่ 32)



รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขผึ้งกับค่าการละลายทั้งหมดของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลาย น้ำได้จากปลาตาหวาน

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่  $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มบรีโภาคได้จากโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาทหวนที่ผลิตโดยไม่ดัดแปรและดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5 % ของปริมาณโปรตีน และไขมันปริมาณต่างๆกัน ก่อนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม พบว่า ไม่สามารถวัดค่าได้ในภาวะการผลิตที่ไม่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช เนื่องจากฟิล์มบรีโภาคได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม จึงไม่สามารถทนสภาวะที่มีการดูดอากาศออกเพียงด้านเดียวของแผ่นฟิล์มโดยเครื่อง OX-TRAN 1000 ได้ แผ่นฟิล์มที่ผลิตได้จากการดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนเท่านั้นที่สามารถวัดค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาทหวนที่ปริมาณไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีนและไขมันปริมาณต่างๆกัน

Beeswax (% ของโปรตีนปลา)	การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (mL.µm/m <sup>2</sup> .day.kPa)
0	4.19
20	6.66
30	7.75
40	8.78

เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไขมันจาก 20 เป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนักของโปรตีนที่ใช้ในแผ่นฟิล์มโปรตีนละลายน้ำได้จากปลาตาทหวนที่ดัดแปรด้วยไดอัลดีไฮด์สตาร์ช 7.5% โดยน้ำหนักของโปรตีน พบว่า ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย