บทที่ 4

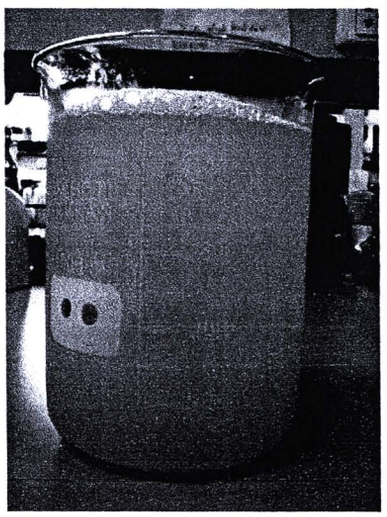
ผลการวิจัย

4.1 ตรวจสอบคุณภาพน้ำเวย์เต้าหู้

น้ำเวย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นของเหลวสีเหลืองเข้ม(ภาพ 5) มีความหนืดเล็กน้อย มีเศษเต้าหู้ปะปนอยู่ประปราย แต่การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำเวย์ จะเลือกเอาแต่เฉพาะส่วนใสของน้ำเวย์ไปวิเคราะห์เท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างน้ำเวย์ที่นำไปทดสอบ มีปริมาณโปรตีนทั้งหมดร้อยละ 0.71 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 0.36 โดยน้ำหนัก คิดเป็นฟรุคโตสร้อยละ 0.11 และ มอลโตสร้อยละ 0.25 มี pH อยู่ในช่วง 4.1-4.5 (ตาราง 3)

ตาราง 3 องค์ประกอบของน้ำเวย์เต้าหู้

องค์ประกอบ	ปริมาณที่วัดได้ (% w/w)
โปรตีน	0.71
ปริมาณน้ำตาล (ทั้งหมด)	0.36
- ฟรุคโตส	0.11
- มอลโตส	0.25
- กลูโคส	≤ 0.001
- แลคโตส	≤ 0.001
- ซูโครส	≤ 0.001



ภาพ 5 ตัวอย่างน้ำเวย์เต้าหู้ที่ใช้ในการทดลอง

4.2 อายุ และปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเซลลูโลส จาก *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

ในการหาอายุ และปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเซลลูโลส จาก *A. xylinum* Agr 60 นั้น ได้ผันแปรอายุของเชื้อตั้งต้นที่ 7, 10 และ 14 วัน ปริมาณของเชื้อเริ่มต้นผันแปรที่ 5, 7 และ 10% ของปริมาณอาหารเลี้ยงเชื้อ ในน้ำเวย์เต้าหู้ที่สภาวะนิ่ง (Static culture) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 14 วัน

จากผลการทดลองพบว่า เชื้อตั้งต้นที่อายุ 7 และ 10 วันให้ความหนา และผลผลิตเซลลูโลสที่ใกล้เคียงกัน โดยเชื้อเริ่มต้นอายุ 10 วัน ที่ 5% ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้ความหนาของเซลลูโลสสูงที่สุด และน้ำหนักเซลลูโลสสูงที่สุด รองลงมาคือ เชื้อเริ่มต้นอายุ 10 วัน ที่ 7% ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อเริ่มต้นอายุ 14 วัน ที่ 5% ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้ความหนาของแผ่นเซลลูโลส และน้ำหนักของเซลลูโลสต่ำที่สุด (ตาราง 4) สอดคล้องกับความหนาของเซลลูโลสในแต่ละวันของการทดลอง พบว่า เชื้อตั้งต้นอายุ 10 วันที่ 5% ของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้ความหนาของเซลลูโลสที่สูงที่สุดตั้งแต่วันที่ 6 ของการทดลอง (ภาพ 6)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial Design in CRD เพื่อหาความสัมพันธ์ของสองปัจจัย คือ อายุ และปริมาณเชื้อตั้งต้นที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์ ที่ส่งผลต่อความหนา และน้ำหนักเซลลูโลสที่ผลิตขึ้นได้ ในด้านความหนาของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตขึ้น พบว่า อายุ

และปริมาณของหัวเชื้อตั้งต้น ส่งผลกระทบต่อความหนาของเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ โดยเชื้อที่อายุ 7 และ 10 วันให้ความหนาของเซลลูโลสที่มากกว่าเชื้ออายุ 14 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 5) ในขณะที่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ปริมาณเชื้อตั้งต้นที่ 5% ให้ความหนาของเซลลูโลสที่ไม่แตกต่างไปจากการใส่เชื้อตั้งต้นที่ 7% แสดงให้เห็นว่า การใช้ปริมาณของเชื้อตั้งต้นที่ระดับต่ำ(5%) ไม่กระทบต่อความหนาของเซลลูโลสที่ได้ (ตาราง 6)

ในปัจจัยน้ำหนักของเซลลูโลส พบว่า อายุของหัวเชื้อเริ่มต้นเท่านั้น ที่ส่งผลต่อความหนาของเซลลูโลสที่เชื้อผลิตขึ้น โดยเชื้อตั้งต้นอายุ 10 วัน จะให้น้ำหนักเซลลูโลสสูงสุด และเชื้อตั้งต้นอายุ 14 วัน ให้น้ำหนักเซลลูโลสที่ต่ำที่สุด (ตาราง 5 และ ตาราง 6)

จากข้อมูลดังกล่าว จึงเลือกใช้เชื้อเริ่มต้นอายุ 10 วัน ปริมาณ 5% ของปริมาตรน้ำเวย์ที่ใช้เลี้ยง ในการทดลองลำดับต่อไป

ตาราง 4 อายุ และปริมาณเชื้อเริ่มต้น ที่ส่งผลต่อความหนา และน้ำหนักของเซลลูโลส จาก *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

อายุเชื้อ(วัน)	ปริมาณเชื้อ (%)	ความหนาแผ่นเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g/L)
7	5	3.43±0.35	312.52±25.64
	7	3.57±0.40	323.12±23.68
	10	3.03±0.12	286.41±23.63
10	5	3.60±0.10	348.62±52.18
	7	3.50±0.44	348.62±40.85
	10	3.00±0.20	321.95±42.41
14	5	2.63±0.15	223.09±26.38
	7	2.67±0.21	237.29±18.71
	10	2.70±0.20	251.70±15.75

ตาราง 5 อายุของเชื้อตั้งต้นที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของเซลลูโลส ที่ผลิตขึ้นจาก *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

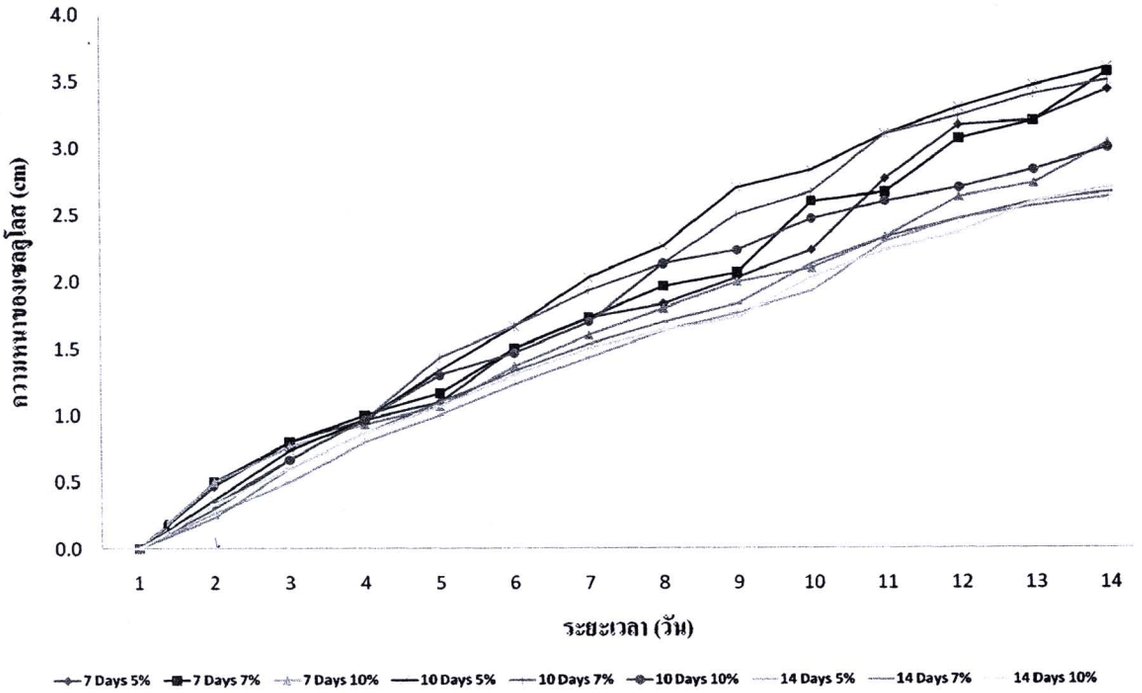
อายุเชื้อ (วัน)	ความหนาแผ่นเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g/L)
7	3.34±0.28[b]	276.10±49.62[b]
10	3.37±0.32[b]	339.73±41.54[b]
14	2.67±0.04[a]	237.36±21.84[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตาราง 6 ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้นที่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักของเซลลูโลส ที่ผลิตขึ้นจาก *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

ปริมาณเชื้อตั้งต้น (%)	ความหนาแผ่นเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g/L)
5	3.22±0.52[ab]	294.74±64.43[a]
7	3.25±0.50[b]	303.01±56.54[a]
10	2.91±0.18[a]	286.69±39.71[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)



ภาพ 6 ความหนาของเซลลูโลสเมื่อหมักนาน 14 วัน

4.3 ปริมาณน้ำตาล และช่วง pH ที่เหมาะสม ในการผลิตเซลลูโลสจาก *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

4.3.1 ความเข้มข้นซูโครสที่เหมาะสม

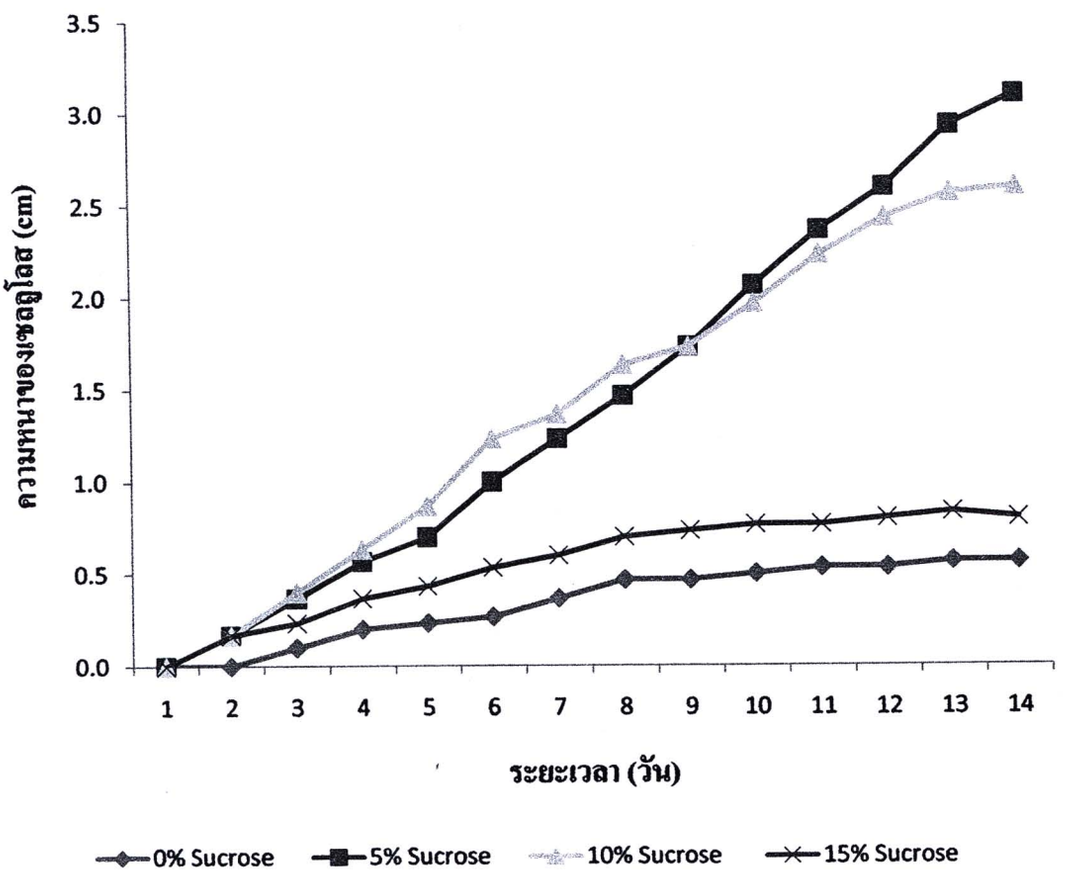
ผลการทดลองพบว่า ซูโครสที่ความเข้มข้น 5% ให้ความหนาของเซลลูโลส และน้ำหนักของเซลลูโลสสูงที่สุด รองลงมาคือซูโครสที่ความเข้มข้น 10% ส่วนความเข้มข้นซูโครส 15% ให้ปริมาณเซลลูโลสต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 5% และ 10% (ตาราง 7) สอดคล้องกับการวัดการเจริญของเซลลูโลสตลอดการทดลอง ที่ความเข้มข้นน้ำตาล 5% จะให้ความหนาของเซลลูโลสที่มากกว่าที่ความเข้มข้นน้ำตาลในระดับอื่น ตั้งแต่วันที่ 10 ของการทดลอง (ภาพ 7)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และค่า pH พบว่า ที่ความเข้มข้นน้ำตาล 15% ให้ปริมาณกรดที่สูงที่สุด และpH ที่ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 10% 5% และ 0% ตามลำดับ ระดับ pH หลังการเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* Agr60 ในอาหารที่มีความเข้มข้นซูโครส 5% และ 10% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า pH ต่ำกว่าอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ไม่ได้เติมน้ำตาลซูโครสเพิ่มเติม (ตาราง 7)

ตาราง 7 ความหนาและน้ำหนักของเซลลูโลส ปริมาณกรด และ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากการเลี้ยง *A. xylinum* Agr 60 ในน้ำเวย์เต้าหู้ ที่ผันแปรความเข้มข้นของซูโครส

ความเข้มข้นซูโครส	ความหนาเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g/L)	ปริมาณกรด (%)	pH
0%	0.6±0.1^{a}	34.78±3.46^{a}	0.29±0.04^{a}	4.27±0.04^{c}
5%	3.1±0.4^{b}	265.69±11.27^{c}	0.37±0.03^{b}	4.14±0.02^{ab}
10%	2.6±0.2^{b}	199.92±4.07^{b}	0.49±0.01^{c}	4.16±0.03^{bc}
15%	0.8±0.2^{a}	18.29±3.29^{a}	0.67±0.03^{d}	4.04±0.04^{a}

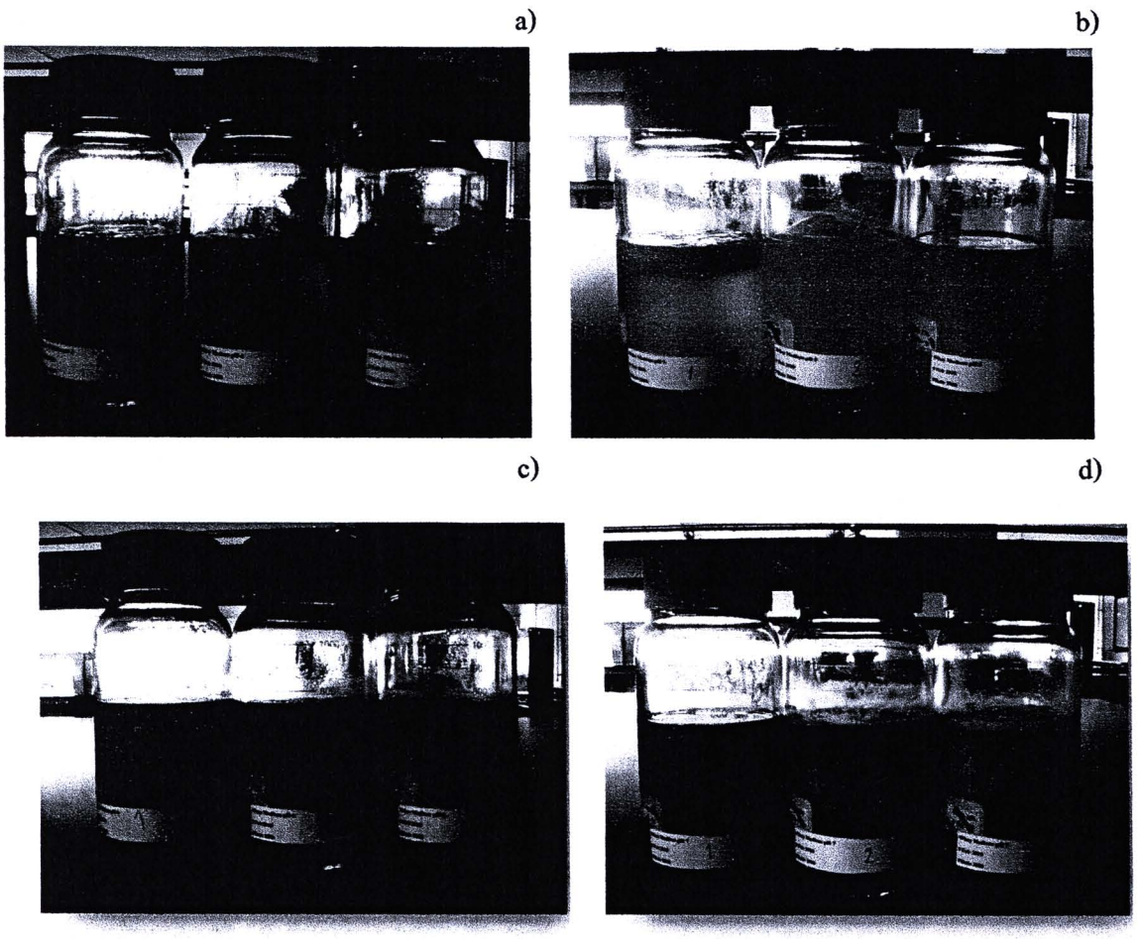
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)



ภาพ 7 ความหนาของเซลลูโลส ที่ความแตกต่างของความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส

4.3.2 pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม

จากการทดลอง พบว่า เชื้อ *A. xylinum* Agr60 สามารถเจริญเติบโต และสร้างเซลลูโลสที่ pH 4 และ 5 ส่วนในอาหารเลี้ยงเชื้อ สำหรับที่ pH 6 และ 7 นั้นพบว่าที่ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยในอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ปรับ pH 6 มีฟองก๊าซเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง เช่นเดียวกับในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับ pH 7 พบว่าในวันที่ 6 ของการทดลอง ผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อมีฟอง และมีสีเขียว (ภาพ 8) ทั้งนี้ สังเกตพบว่า การปรับ pH ด้วย 5M NaOH นั้น ทำให้น้ำเวย์หลังการปรับมีสภาพเปลี่ยนไป โดยสีของน้ำเวย์จะมีสีเข้มกว่าปกติ และมีกลิ่นเหม็น อาจเกิดขึ้นจากการเสียสภาพของโปรตีนที่อยู่ในน้ำเวย์เต้าหู้ จนทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อไม่เหมาะสมกับการเจริญของ *A. xylinum*



ภาพ 8 ผลของ pH ต่อการผลิตเซลลูโลสของแบคทีเรีย ในน้ำเวย์เต้าหู้

a) pH 4 b) pH 5 c) pH 6 d) pH 7

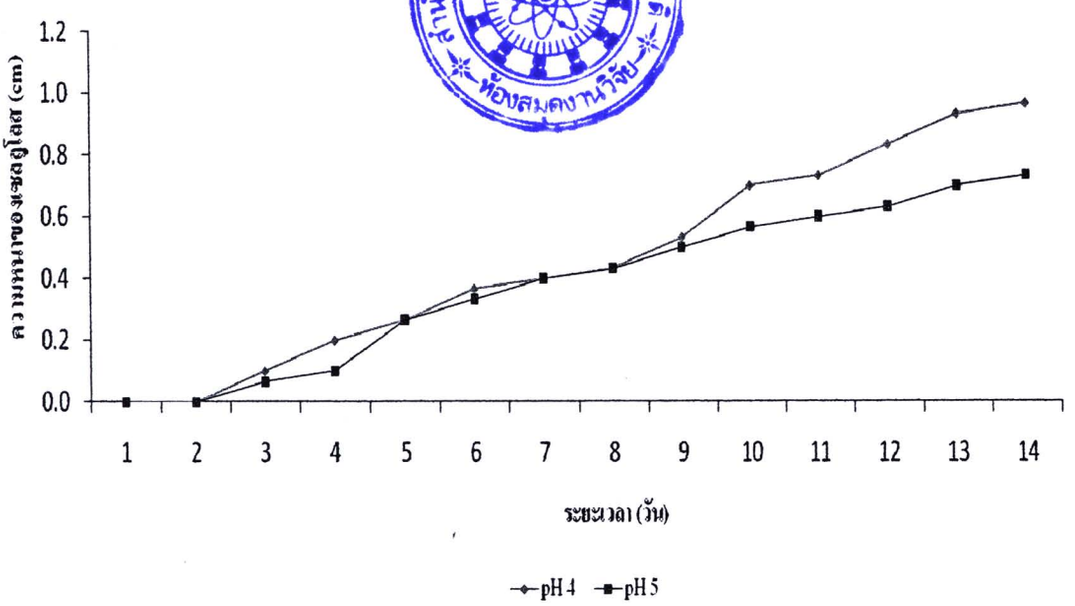
เมื่อพิจารณาเฉพาะ อาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ pH 4 และ 5 พบว่า ที่ pH 4 ให้ความหนาของเซลลูโลส และน้ำหนักของเซลลูโลสสูงกว่าที่ pH 5 เล็กน้อย (ภาพ 9) มีปริมาณกรดที่ต่ำกว่าและ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่สูงกว่าใน *A. xylinum* ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ pH 5 อีกด้วย (ตาราง 8)

ตาราง 8 ความหนาและน้ำหนักของเซลลูโลส ปริมาณกรด และ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ หลังจากการเลี้ยง *A. xylinum* Agr 60 ในน้ำเวย์เต้าหู้ ที่ผันแปร pH ของน้ำเวย์ที่ใช้เลี้ยงเชื้อ

pH	ความหนาเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g/L)	ปริมาณกรด (%)	pH
4	1.37±0.06[a]	139.78±13.70[a]	0.89±0.07[a]	4.72±0.01[a]
5	0.83±0.92[a]	108.06±6.34[a]	1.04±0.10[a]	4.67±0.23[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพ 9 ความหนาของเซลลูโลส ที่ความแตกต่างของ pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อ

4.4 ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง *Acetobacter xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า กล่องพลาสติกขนาด 18x24 cm ที่มีความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อ 10 cm ให้ผลผลิตเซลลูโลสที่ดีที่สุด รองลงมาคือ กล่องพลาสติกขนาด 18x24 cm ที่มีความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อ 6 cm ของปริมาตรภาชนะ ในขณะที่กล่องพลาสติกขนาด 13x27 cm ที่มีความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อ 6 cm ของปริมาตรภาชนะให้ผลผลิตเซลลูโลส ที่ต่ำที่สุด เมื่อแยกพิจารณาถึงพื้นที่ผิวของภาชนะ และความสูงของปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่มีต่อความหนาของเซลลูโลส และน้ำหนักของเซลลูโลสที่ได้ พบว่า พื้นที่ผิวของภาชนะ ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักของเซลลูโลสที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกล่องพลาสติกที่มีพื้นที่ขนาด 18x24 cm จะให้ผลผลิตของเซลลูโลสที่สูงกว่า (ตาราง 9)

ตาราง 9 ความหนาและน้ำหนักของเซลลูโลส จากการเพาะเลี้ยง *Acetobacter xylinum* Agr 60 ในน้ำเวย์เต้าหู้ เมื่อใช้ภาชนะ และระดับความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ต่างกัน

มิติกว้างยาวของภาชนะ (cm)	ระดับของอาหารเลี้ยงเชื้อ (cm)	ความหนา (cm)	น้ำหนัก (g)
13x27	6	2.1±0.1[a]	608.90±49.87[a]
	10	2.9±0.2[b]	747.27±37.04[b]
18x24	6	2.0±0.1[a]	776.64±20.28[b]
	10	2.6±0.1[b]	869.02±17.07[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ถึงแต่ละปัจจัย พบว่าในด้านมิติพื้นที่ผิวของภาชนะเลี้ยงเชื้อ พบว่า ภาชนะเลี้ยงที่มีมิติ 18x24 cm จะให้น้ำหนักของเซลลูโลสที่สูงกว่าภาชนะที่มีมิติ 13x27 cm (ตาราง 10) สำหรับปัจจัยความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าที่ระดับความสูงของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 10 cm จะให้ทั้งความหนาของเซลลูโลส และน้ำหนักของเซลลูโลสที่มากกว่า อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความสูง 6 cm (ตาราง 11)

ตาราง 10 ผลของมิติของภาชนะเลี้ยงเชื้อ ที่มีต่อ น้ำหนัก และความหนาของเซลลูโลสที่ผลิตจาก *A. xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

มิติกว้างยาวของภาชนะ (cm)	ความหนาแผ่นเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g)
13x27	2.5±0.5[a]	678.09±85.36[a]
18x24	2.3±0.3[a]	822.83±53.30[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ตาราง 11 ผลของความลึกของอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่มีต่อ น้ำหนัก และความหนาของเซลลูโลสที่ผลิตจาก *A. xylinum* Agr 60 ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้

ระดับของอาหารเลี้ยงเชื้อ (cm)	ความหนาแผ่นเซลลูโลส (cm)	น้ำหนักเซลลูโลส (g)
6	2.1±0.1[a]	692.77±97.98[a]
10	2.8±0.2[b]	808.15±71.50[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

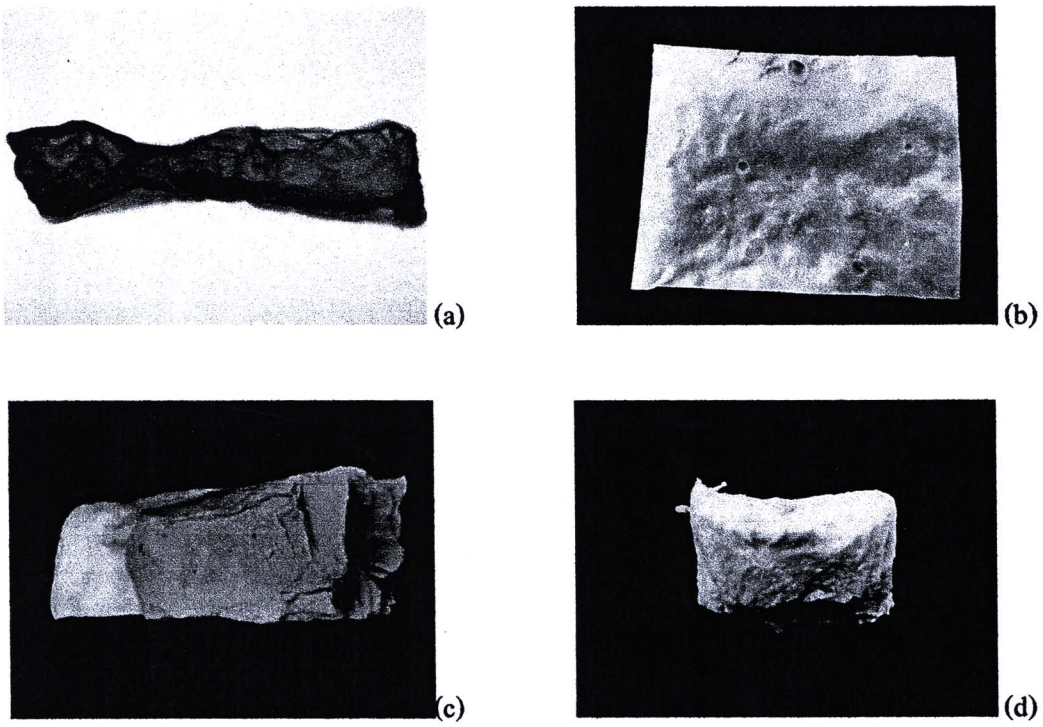
4.5 การประยุกต์ใช้เซลลูโลสแบคทีเรีย

4.5.1 การอบแห้งเซลลูโลส

การเตรียมเซลลูโลสทั้งแบบชั้น และบดละเอียด ก่อนนำไปผ่านกระบวนการอบลมร้อน หรือกระบวนการอบแห้งแช่แข็งนั้น เซลลูโลสแห้งที่ได้มีลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันออกไป

ตัวอย่างชิ้นเซลลูโลส ที่อบแห้งที่ 100°C นั้น ชิ้นตัวอย่างมีสีน้ำตาล ตัวอย่างมีความแข็ง กรอบเปราะ สามารถใช้มือหักได้ แผ่นเซลลูโลสโปร่งแสง ผิวตัวอย่างไม่เรียบ (ภาพ 10(a)) ในตัวอย่างที่ได้จากเซลลูโลสบด และอบแห้งที่ 100°C พบว่าเซลลูโลสที่ได้ เป็นแผ่นเรียบบาง คล้ายกระดาษ เซลลูโลสมีความเหนียว ฉีกยาก แผ่นเซลลูโลสค่อนข้างทึบแสง (ภาพ 10 (b))

ลักษณะของเซลลูโลสแบบชิ้น ในการทำแห้งเซลลูโลสด้วยวิธีการ Free-drying มีสีขาว รูปร่างคล้ายกับเซลลูโลสสด ที่ผิวหน้ามีสีน้ำตาลเล็กน้อย เซลลูโลสมีน้ำหนักเบา เนื้อสัมผัสคล้ายฟองน้ำแห้ง (ภาพ 10 (c)) ในขณะที่ลักษณะของเซลลูโลสบด มีลักษณะที่แตกต่างออกไป คือ เซลลูโลสที่ได้ มีรูปร่างตามภาชนะที่ใช้ในการ Free-drying เซลลูโลสมีเนื้อพรุนคล้ายฟองน้ำ เนื้อสัมผัสแน่น มีสีขาว (ภาพ 10(d))



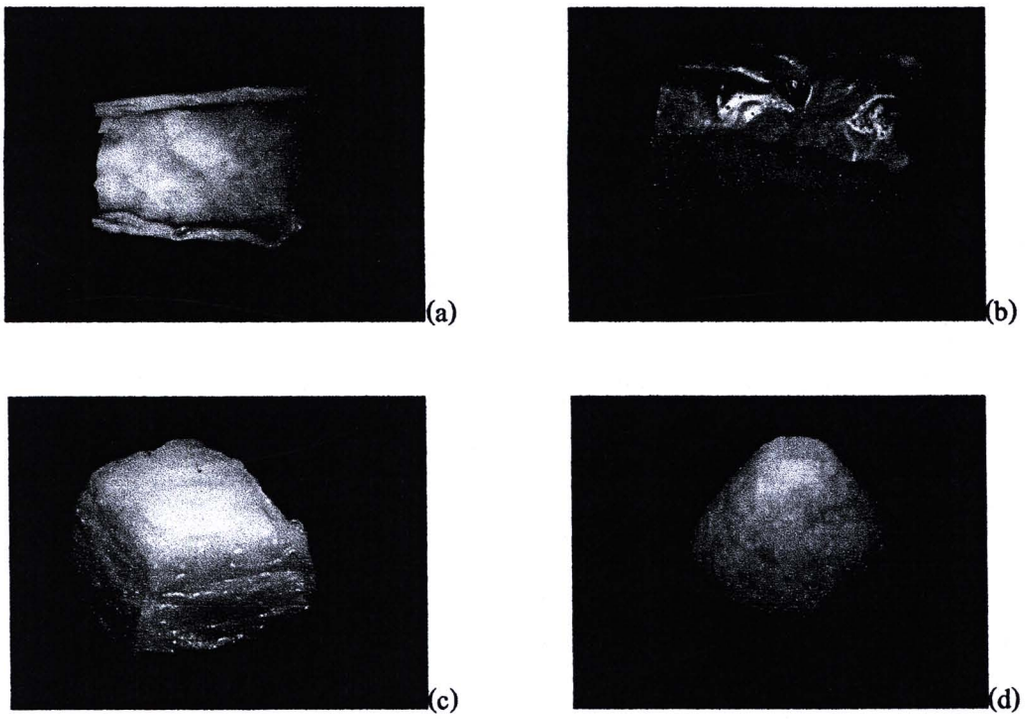
ภาพ 10 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้ง

(a) เซลลูโลสทั้งชิ้นอบลมร้อน (b) เซลลูโลสบดละเอียด อบลมร้อน

(c) เซลลูโลสทั้งชิ้นอบแห้งแช่เย็น (d) เซลลูโลสบดละเอียดอบแห้งแช่เย็น

เมื่อนำเซลลูโลสแห้ง ทั้ง 4 ตัวอย่างไปทดสอบการคืนตัว โดยการแช่ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า เซลลูโลสแบบชิ้น ที่อบแห้งที่ 100°C บวมขึ้นเล็กน้อย เซลลูโลสมีสีขาวออกเหลือง มีความเหนียว ดูดน้ำเล็กน้อย (ภาพ 11 (a)) ในเซลลูโลสที่บด และอบแห้งที่ 100 °C พบว่า เซลลูโลสไม่เปลี่ยนแปลงทั้งรูปร่าง และสีของเซลลูโลสหลังการแช่น้ำ เซลลูโลสมีความเหนียวเช่นเดิม ใกล้เคียงกับเซลลูโลสอบแห้งก่อนแช่น้ำ (ภาพ 11(b))

การคืนตัวของเซลลูโลส ที่ผ่านกระบวนการ Freeze drying เซลลูโลสทั้งชิ้นมีการคืนตัวได้รูปร่าง และสี ใกล้เคียงกับเซลลูโลสก่อนอบแห้ง (ภาพ 11(c)) เซลลูโลสมีเนื้อนุ่ม และพองคล้ายกับเซลลูโลสสด มีสีขาวเหลือง สำหรับเซลลูโลสแบบบด ที่ผ่านการ Freeze drying นั้น เซลลูโลสดูดซึมน้ำได้ทันที ที่แช่เซลลูโลสในน้ำกลั่น เซลลูโลสมีลักษณะคล้ายคลึงกับเซลลูโลสก่อนแช่ (ภาพ 11(d)) เซลลูโลสบดละเอียด ที่อบแห้งโดยการ Freeze drying นี้จะสามารถดูดน้ำได้มากที่สุด (ตาราง 12)



ภาพ 11 ลักษณะเซลลูโลสหลังจากแช่น้ำ

(a) เซลลูโลสทั้งชิ้นอบลมร้อน (b) เซลลูโลสบดละเอียด อบลมร้อน

(c) เซลลูโลสทั้งชิ้นอบแห้งแช่แข็ง (d) เซลลูโลสบดละเอียดอบแห้งแช่แข็ง

เมื่อเปรียบเทียบ % การอุ้มน้ำแล้ว พบว่า กระบวนการ freeze dry จะทำให้เซลลูโลสสามารถคืนตัวได้ดีที่สุด โดยแบบบด ผ่านกระบวนการแบบ Freeze dry จะให้ % การอุ้มน้ำ ที่มากที่สุด รองลงมาคือ อบแห้งแบบชิ้น ด้วยวิธีการ Freeze dry เซลลูโลสบดที่ทำแห้ง แบบอบลมร้อน 100°C จะให้ % การอุ้มน้ำที่ต่ำที่สุด (ตาราง 12)

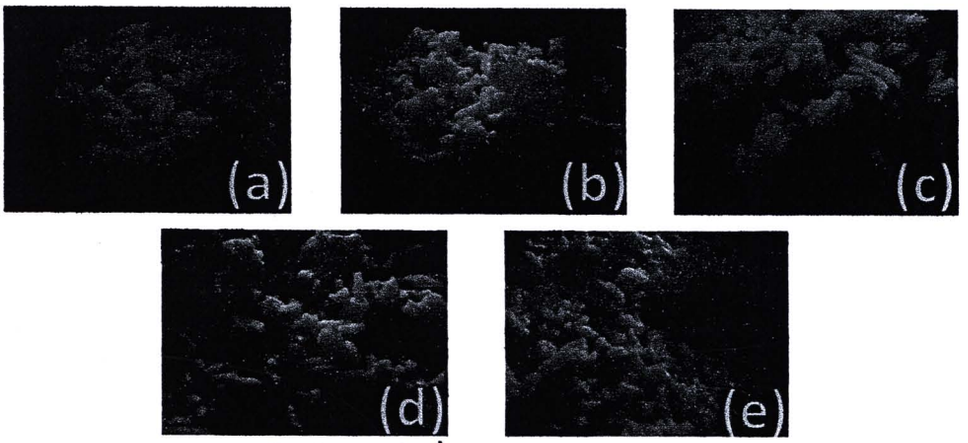
ตาราง 12 เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับคืนของเซลลูโลสแต่ละชนิด

สิ่งทดลอง	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	ร้อยละการดูดน้ำกลับคืน
เซลลูโลสทั้งชิ้น อบลมร้อน	0.2855 ± 0.0648	0.9880± 0.2077	347.3045± 27.0159
เซลลูโลสบดละเอียด อบลมร้อน	0.0941± 0.0545	0.1937± 0.1147	214.4648± 67.4883
เซลลูโลสทั้งชิ้น อบแห้งแช่เย็น	0.3353± 0.0392	4.8943± 2.6973	1981.0912 ± 322.8741
เซลลูโลสบดละเอียด อบแห้งแช่เย็น	0.2219± 0.1500	6.0948± 1.2755	4616.2220±4152.1728

4.5.2 การประยุกต์ใช้เซลลูโลสแบคทีเรีย เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสข้าว

4.5.2.1 การหาปริมาณเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับในการเพิ่มเนื้อสัมผัสของข้าว

เมื่อทดสอบการเติมเซลลูโลสลงในข้าว 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวพิจิตรแข็ง ข้าวหอมมะลิสีนิล และข้าวกล้องดอย ที่อัตราส่วน ข้าว: เซลลูโลส ที่ 1:0.1, 1:0.5, 1:1 และ 1:2 ผลการทดลองที่ได้เป็นไปดังตาราง ต่อไปนี้

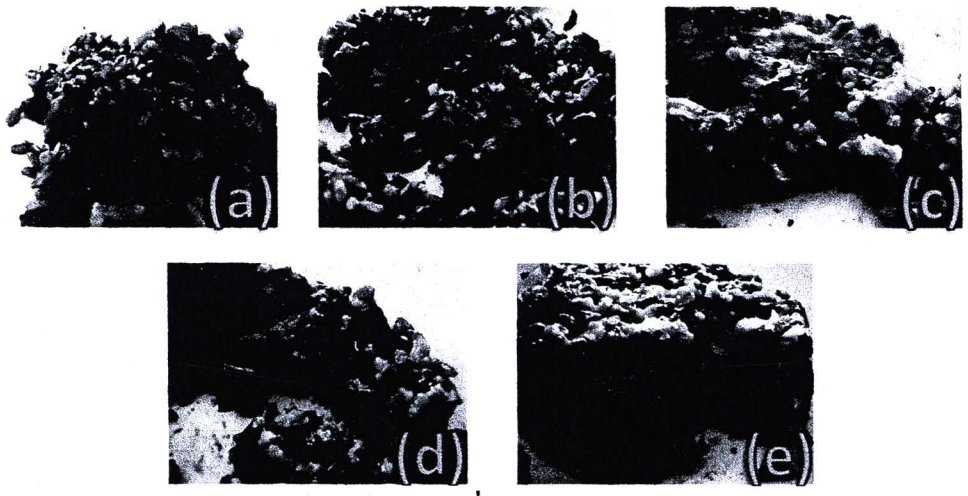


ภาพ 12 ข้าวพิจิตรแข็ง ที่ผสมเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างกัน

ข้าว: เซลลูโลส 1:0(a) 1:0.1(b) 1: 0.5(c) 1:1.0(d) 1:2.0(e)

ตาราง 13 ลักษณะปรากฏของข้าวสุก เมื่อเติมเซลลูโลสลงในข้าวพิจิตรแข็ง

การทดลอง	ลักษณะปรากฏ	ภาพ
ข้าว:เซลลูโลส 1:0	ข้าวแข็ง ร่วนเป็นเม็ด	12(a)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.1	ข้าวร่วนเป็นเม็ด มีเส้นใยเซลลูโลสลอยบนผิวหน้า ในข้าว มีเซลลูโลสปนอยู่เล็กน้อย	12(b)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.5	ข้าวจับกันเป็นก้อน มีเส้นใยเซลลูโลสแทรกอยู่ระหว่างข้าว	12(c)
ข้าว:เซลลูโลส 1:1	ข้าวเหนียวมากขึ้น มีลักษณะเป็นก้อน เซลลูโลสแทรกตัวกระจายอยู่ในข้าว	12(d)
ข้าว:เซลลูโลส 1:2	ข้าวเป็นก้อนมากขึ้น ข้าวนุ่มลงอย่างชัดเจน เนื่องจากมีเซลลูโลสอยู่ในข้าวเป็นจำนวนมาก เซลลูโลสในข้าวสามารถรู้สึกได้อย่างชัดเจน	12(e)

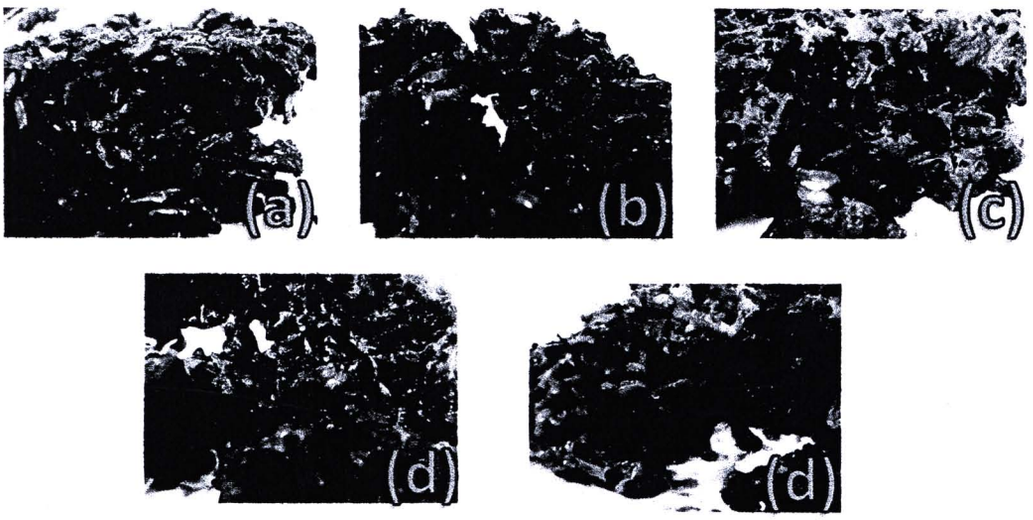


ภาพ 13 ข้าวกล้องสีนิล ที่ผสมเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างกัน

ข้าว: เซลลูโลส1:0(a) 1:0.1(b) 1: 0.5(c) 1:1.0(d) 1:2.0(e)

ตาราง 14 ลักษณะปรากฏของข้าวสุก เมื่อเติมเซลลูโลสลงในข้าวกล้องสีนิล

การทดลอง	ผลการทดลอง	ภาพ
ข้าว:เซลลูโลส 1:0	ข้าวแข็ง เป็นเม็ด จับตัวเป็นก้อน	13(a)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.1	ข้าวเป็นเม็ด พบเซลลูโลสกระจายอยู่รอบๆข้าวเล็กน้อย	13(b)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.5	ข้าวเป็นก้อน พบเซลลูโลสลอยอยู่บนผิวหน้า และแทรกตัวอยู่ในเนื้อข้าวด้วย	13(c)
ข้าว:เซลลูโลส 1:1	ข้าวจับตัวเป็นก้อน พบเซลลูโลสกระจาย อยู่ในข้าวโดยทั่ว ข้าวมีสีอ่อนลงกว่าข้าวที่เติมเซลลูโลสน้อยกว่า	13(d)
ข้าว:เซลลูโลส 1:2	เซลลูโลสกระจายอยู่ในข้าวอย่างชัดเจน ข้าวสีอ่อนลงกว่าข้าวที่เติมเซลลูโลส 1:1ของน้ำหนักข้าว	13(e)



ภาพ 14 ข้าวก่ำคอย ที่ผสมเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างกัน

ข้าว: เซลลูโลสอ1:0 (a) 1:0.1(b) 1: 0.5(c) 1:1.0(d) 1:2.0(e)

ตาราง 15 ลักษณะปรากฏของข้าวสุก เมื่อเติมเซลลูโลสลงในข้าวก่ำคอย

การทดลอง	ผลการทดลอง	ภาพ
ข้าว:เซลลูโลส 1:0	ข้าวมีสีม่วงดำ มีความเหนียว ข้าวมีลักษณะเป็นก้อน ข้าวแข็งเล็กน้อย	14 (a)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.1	ข้าวจับตัวเป็นก้อน เซลลูโลสจับกับข้าวเป็นเนื้อเดียวกัน พบเซลลูโลสเล็กน้อย ข้าวนุ่มเหนียว	14(b)
ข้าว:เซลลูโลส 1:0.5	พบเซลลูโลสลอยอยู่หน้าข้าวเล็กน้อย และแทรกตัวอยู่ในเนื้อข้าว ข้าวเหนียวนุ่ม จับตัวเป็นก้อน	14(c)
ข้าว:เซลลูโลส 1:1	ข้าวมีสีอ่อนลง เซลลูโลสกระจายอยู่ในข้าว สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ข้าวนุ่มขึ้น มีความเหนียว รู้สึกได้ถึงเซลลูโลส	14(d)
ข้าว:เซลลูโลส 1:2	ข้าวมีสีม่วงอ่อนกว่าข้าวที่เติมปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่า ข้าวนุ่ม จับตัวกันเป็นก้อน แต่ข้าวเละ เซลลูโลสพองตัวแน่นในข้าว พบเซลลูโลสในข้าวได้ชัดเจน	14(e)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากการทดลอง สำหรับข้าวพิจิตรแข็ง พบว่าข้าวที่เติมเซลลูโลสลงไปในอัตราส่วน ข้าว: เซลลูโลส สูงกว่า 1:0.5 เซลลูโลสแยกตัวออกจากข้าว และที่การเติมเซลลูโลสบดละเอียดในอัตราส่วน 1:2 ข้าวหุงที่ได้ จะมีลักษณะที่แฉะมาก ข้าวและเซลลูโลสแยกตัวจากันอย่างชัดเจน ในข้าวกล้องสีนิล ที่อัตราส่วนสูงกว่า 1:0.5 ข้าวหุงที่ได้จะมีอ่อนลง ข้าวและเซลลูโลสแยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน ที่อัตราส่วน 1:2 ลักษณะปรากฏที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และข้าวแฉะมาก ในข้าวก่ำดอย ที่การเติมเซลลูโลสในอัตราส่วนที่สูงกว่า 1:0.5 จะทำให้ข้าวแฉะ เละ ซึ่งจะทำให้การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวนั้นลดลงไปด้วย

จากผลดังกล่าว จึงได้เลือกการผสมข้าวกับเซลลูโลสบดละเอียดที่อัตราส่วน 1:0.1 และต่ำกว่า มาศึกษาถึงการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

4.5.1.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ที่มีต่อข้าวปรับปรุงคุณภาพด้วยเซลลูโลส

ในการศึกษาปริมาณเซลลูโลสบดละเอียดที่เหมาะสมในข้าวก่ำดอย โดยใช้อัตราส่วน ข้าว: เซลลูโลส 1:0.075 และ 1:0.1เปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้เติมเซลลูโลส

ผลการศึกษา พบว่าผู้ชิมชอบตัวอย่างข้าวที่เติมเซลลูโลส 1:0.1 มากที่สุด (ตาราง 16)

ตาราง 16 ความชอบของข้าวก่ำดอยที่ผสมเซลลูโลสในอัตราส่วนต่างๆ

คุณลักษณะ	อัตราส่วน ข้าว: เซลลูโลส		
	1:0	**1:0.075**	**1:0.1**
ลักษณะของข้าวที่ปรากฏ	3.6±0.9[a]	3.3±1.0[a]	3.6±1.0[a]
ความนุ่มของข้าว	3.6±1.0[a]	3.6±0.9[a]	3.7±1.0[a]
ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้าวกับเซลลูโลส	3.5±0.7[a]	3.4±0.7[a]	3.6±0.9[a]
ความรู้สึกถึงเซลลูโลสหลังกลืนข้าว	3.2±0.9[a]	3.3±0.8[a]	3.5±0.9[a]
ความชอบโดยรวม	3.5±1.0[a]	3.5±0.8[a]	3.9±0.8[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกัน ภายในแถวเดียวกัน แสดงถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ในการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวก่ำดอยผสมเซลลูโลสนั้น จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า คุณลักษณะด้าน ลักษณะปรากฏของข้าว ความนุ่ม ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้าวกับเซลลูโลส และความรู้สึกถึงเซลลูโลสหลังกลืนข้าวนั้น ผู้บริโภคให้คะแนนที่ไม่ต่างกันในเชิงสถิติ แต่เมื่อพิจารณาถึงคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะข้างต้น ของข้าวในแต่ละสูตรแล้วนั้น จะพบว่า สูตรที่อัตราส่วน 1:0.1 ให้คะแนนความชอบเฉลี่ย ที่สูงกว่าอีกสองสูตร (ตาราง 16)

สำหรับความชอบโดยรวมนั้น พบว่าสูตรที่การเติมเซลลูโลสบดละเอียดลงไปในข้าว ในอัตราส่วน 1:0.1 ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคสูงกว่าข้าวก่ำดอยสูตรที่ไม่ได้เติมเซลลูโลส และสูตรข้าวก่ำดอยที่เติมเซลลูโลสลงไปในข้าวในอัตราส่วน 1:0.075 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 16)