

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 ตัวอย่างวัชพืชที่ใช้ในงานวิจัย

จากการเลือกเก็บตัวอย่างวัชพืชจำนวน 8 ชนิด ที่มีลักษณะต้นสูงมากกว่า 1 เมตร เพื่อใช้ในการผลิตเป็นเยื่อเซลลูโลสละเอียด สำหรับใช้ในการผลิตเซลลูเลสและเอทานอลนั้น พบว่าวัชพืชส่วนใหญ่เป็นวัชพืชอายุหลายปี ยกเว้น หญ้าฯจรจบดอกเล็ก ซึ่งเป็นวัชพืชอายุสั้นปีเดียว

#### 6.2 องค์ประกอบของชีวมวล เถา และการผลิตเยื่อเซลลูโลสละเอียดของวัชพืช

วัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด คือ เลา โดยมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 42.50 และวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ฐุภาษี ซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 32.10

วัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด คือ ลำเอียง โดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 34.47 และวัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุด คือ กัง ซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 27.00

วัชพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงที่สุด คือ กัง โดยมีปริมาณลิกนินร้อยละ 14.57 และวัชพืชที่มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุด คือ ลำเอียง ซึ่งมีปริมาณลิกนินร้อยละ 6.23

วัชพืชที่มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด คือ ฐุภาษี โดยมีปริมาณเถ้าร้อยละ 11.06 และวัชพืชที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด คือ เลา ซึ่งมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.91

กัง มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของการผลิตเป็นเยื่อเซลลูโลสละเอียดสูงที่สุด คือ ร้อยละ 35.20 ส่วนหญ้าคา มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของการผลิตเป็นเยื่อเซลลูโลสละเอียดต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 23.60

นอกจากนี้ หากพิจารณาในส่วนของวิธีการผลิตเยื่อเซลลูโลสละเอียด พบว่า ในขั้นตอน soda process น่าจะมีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆแล้วเปรียบเทียบกับปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และลดต้นทุนในการผลิต ส่วนการฟอกเยื่อนั้น หากลดปริมาณการใช้สารละลายประเภทคลอรีนหรือพัฒนาเป็นกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากคลอรีน เช่น การใช้โอโซนหรือการฟอกแบบชีวภาพ จะช่วยลดต้นทุนในการฟอกและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

#### 6.3 ปริมาณความชื้นและปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส เบต้า-เซลลูโลส และแกมมา-เซลลูโลสในเยื่อเซลลูโลสละเอียดที่ผลิตได้

เยื่อเซลลูโลสละเอียดที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา ซึ่งมี

ปริมาณความชื้นร้อยละ 8.55 และเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ เยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากหญ้าขจรจบดอกเล็ก ซึ่งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.85

เยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากลำเจียก มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 57.36 และเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากหญ้าเนเปียร์ มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 39.72

เยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากแวม มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 65.98 และเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากกก มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 38.25

เยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากหญ้าขจรจบดอกเล็ก มีปริมาณแกมมา-เซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 14.23 และเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากหญ้าคา มีปริมาณแกมมา-เซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.13

#### 6.4 การผลิตเซลลูเลส

การผลิตเซลลูเลสโดยการเลี้ยงเชื้อรา *T. reesei* Rut C-30 ในอาหารสูตร Production ที่มี  $\alpha$ -cellulose 3%(w/v) เป็นแหล่งคาร์บอน เปรียบเทียบกับอาหารสูตร Production ที่มีวัชพืช 8 ชนิด เป็นแหล่งคาร์บอน และอาหารสูตร Production ที่มีเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดจากวัชพืช 8 ชนิด เป็นแหล่งคาร์บอน แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการคำนวณ เป็นค่าแอกติวิตีจำเพาะของเอนไซม์ ซึ่งประกอบด้วย เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส พบว่าเอนไซม์ซึ่งผลิตได้จากการใช้อาหารสูตร Production ที่มีแวมเป็นแหล่งคาร์บอนนั้น มีค่าแอกติวิตีจำเพาะของเอกโซกลูคาเนส และเอนโดกลูคาเนสสูงที่สุด คือ 2.932 และ 43.024 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ส่วนเมื่อใช้ธูปฤาษีเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่ามีค่าแอกติวิตีจำเพาะของเบต้า-กลูโคซิเดสสูงที่สุด คือ 0.379 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ดังนั้น แวมและธูปฤาษี จึงเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

เอนไซม์ซึ่งผลิตได้จากการใช้อาหารสูตร Production ที่มีเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดของเลาเป็นแหล่งคาร์บอนนั้น มีค่าแอกติวิตีจำเพาะของเอกโซกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดสสูงที่สุด คือ 2.349 และ 0.267 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ส่วนเมื่อใช้เยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดของหญ้าเนเปียร์เป็นแหล่งคาร์บอนพบว่า มีค่าแอกติวิตีจำเพาะของเอนโดกลูคาเนสสูงที่สุด คือ 34.906 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ดังนั้นเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดของเลา และเยื่อเซลลูโลสละลายเย็ดของหญ้าเนเปียร์ จึงเป็นแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม

## 6.5 การหมักและย่อยสลายแบบต่อเนื่อง

การหมักแบบ SSF ในระดับฟลอสก์ โดยเลือกใช้เซลล์ูเลสที่มีแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตร Production แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ เซลล์ูเลสที่มีเยื่อเซลล์ูโลสละเอียดจากเลา เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตร Production และเซลล์ูเลสที่มีเยื่อเซลล์ูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตรเดียวกัน และใช้วัชพืช 3 ชนิด คือ แชม ฐูปฤาษี และหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งของเซลล์ูโลสสำหรับการหมักนั้น พบว่า เมื่อใช้เซลล์ูเลสที่มีเยื่อเซลล์ูโลสละเอียดจากเลาเป็นแหล่งคาร์บอน ในอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์ และใช้ฐูปฤาษี เป็นแหล่งของเซลล์ูโลส จะมีปริมาณเอทานอลสูงที่สุด คือ 0.26 กรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 0.43 กรัมต่อกรัมสับสเตรท มีปริมาณน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมัก และจำนวนกากที่เหลือหลังการหมักน้อยที่สุด คือ 0.071 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 0.55 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อใช้ฐูปฤาษี เป็นแหล่งของเซลล์ูโลส และใช้เซลล์ูเลสที่มีเยื่อเซลล์ูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์ ยังคงพบว่าปริมาณเอทานอลสูงที่สุดซึ่งมากกว่าการใช้แชม และหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งของเซลล์ูโลส ดังนั้น ฐูปฤาษีจึงเป็นวัชพืชที่น่าสนใจสำหรับการหมักแบบ SSF ในระดับถึงหมักต่อไป