บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ตัวอย่างวัชพืชที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างวัชพืชแห้งจำนวน 8 ชนิด โดยมีวัชพืชในวงศ์ Poaceae (Gramineae, วงศ์ไผ่และหญ้า) จำนวน 7 ชนิด และวัชพืชในวงศ์ Typhaceae (วงศ์ธูปฤาษี) อีก 1 ชนิด คือ ธูปฤาษี ดังแสดงในภาคผนวก ก

4.2 การหาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืชและปริมาณเถ้า

จากการศึกษาองค์ประกอบของชีวมวลพืชซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเทียบจากน้ำหนักแห้งของพืชพบว่า ปริมาณเซลลูโลสในวัชพืชทั้ง 8 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.05 โดยวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด คือ เลา มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 42.50 และวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ธูปฤาษี มีปริมาณเซลลูโลสร้อยละ 32.10

ปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่พบในวัชพืชทั้ง 8 ชนิด อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 27.00 ถึง 34.47 โดยวัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด คือ ลำเอียก รองลงมา คือ กลุ่มของวัชพืชซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) ได้แก่ เลา และหญ้าคา มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 32.10 และ 31.93 ตามลำดับ และมีวัชพืชอีก 2 ชนิดที่มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ธูปฤาษี และหญ้าขจรจบดอกเล็ก มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 27.66 และ 27.49 ตามลำดับ

ปริมาณลิกนินในวัชพืชทั้ง 8 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยก๋ง เป็นวัชพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงที่สุด คือ ร้อยละ 14.57 และลำเอียกเป็นวัชพืชที่มีปริมาณลิกนินต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 6.23

ส่วนปริมาณเถ้าในวัชพืชแต่ละชนิด พบว่า วัชพืชที่มีปริมาณเถ้าสูงสุด คือ ธูปฤาษี มีปริมาณเถ้าร้อยละ 11.06 และมีกลุ่มของวัชพืชซึ่งมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) ได้แก่ แขม และลำเอียก มีปริมาณเถ้าร้อยละ 7.52 และ 7.33 ตามลำดับ ส่วนวัชพืชที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด คือ เลา มีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.91 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้าของวัชพืช

ชนิดวัชพืช	ร้อยละปริมาณองค์ประกอบชีวมวล			ร้อยละปริมาณเถ้า
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	
กก	41.00[b]	27.00[f]	14.57[a]	5.48[f]
แขม	37.87[d]	30.50[c]	11.01[b]	7.52[d]
ธูปฤาษี	32.10[h]	27.66[e]	10.31[c]	11.06[a]
เลา	42.5[a]	32.10[b]	8.49[d]	4.91[g]
ลำเอียก	33.43[g]	34.47[a]	6.23[g]	7.33[d]
หญ้าขจรจบดอกเล็ก	38.67[c]	27.49[e]	10.73[b]	8.45[c]
หญ้าคา	36.85[e]	31.93[b]	8.13[e]	6.31[e]
หญ้าเนเปียร์	35.53[f]	28.90[d]	6.90[f]	10.20[b]

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรแตกต่างกัน (เปรียบเทียบกันในแนวคอลัมน์) แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.05

4.3 การผลิตเยื่อเซลลูโลสละเอียด

เยื่อเซลลูโลสละเอียดที่เตรียมได้จากวัชพืชทั้ง 8 ชนิด มีลักษณะเป็นเยื่อละเอียด ฟู มีน้ำหนักเบา และมีสีค่อนข้างขาว ใกล้เคียงกับ α-cellulose, fibrous ของ Sigma ดังแสดงในรูปที่ 7 ถึง 15 หากพิจารณาถึงความคุ้มค่าและความเหมาะสมในการผลิตเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืช สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิต คือ การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณของวัชพืชเริ่มต้นและปริมาณของเยื่อเซลลูโลสละเอียดที่ผลิตได้ในลักษณะร้อยละ

รูปที่ 7 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากลำเอียก

รูปที่ 8 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าคา

รูปที่ 9 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าขจรจบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 10 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์

รูปที่ 11 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากแขม

รูปที่ 12 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 13 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากกง

รูปที่ 14 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากธูปฤาษี

รูปที่ 15 เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากแอลฟา-เซลลูโลส

4.4 การหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตและปริมาณความชื้นของวัชพืช

เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของการผลิตเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืชทั้ง 8 ชนิดนี้ อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 23.60 ถึง 35.20 โดย กก มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงที่สุด คือ ร้อยละ 35.20 ซึ่งมีกลุ่มของวัชพืชซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) ได้แก่ แขม และหญ้าขจรจบดอกเล็ก คือ มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตร้อยละ 29.50 และ 29.05 ตามลำดับ ส่วนหญ้าคามีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 23.60

เยื่อเซลลูโลสละเอียดของวัชพืชทั้ง 8 ชนิด มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.85 ถึง 8.55 โดยเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา และธูปฤาษี มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 8.55 และ 8.42 ตามลำดับ รองลงมาเป็นกลุ่มของเยื่อเซลลูโลสละเอียดซึ่งมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน ได้แก่ หญ้าคา กก และแขม มีปริมาณ

ความชื้นร้อยละ 8.19 8.18 และ 8.14 ตามลำดับ ส่วนเยื่อเซลลูโลสละเอียดที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าขจรจบดอกเล็ก คือ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.85 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตและปริมาณความชื้นของวัชพืช

ชนิดวัชพืช	เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%w /dry w)	ร้อยละปริมาณความชื้นของเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืช
กก	35.20[a]	8.18[b]
แขม	29.50[d]	8.14[b]
ธูปฤาษี	26.05[f]	8.42[a]
เลา	30.75[c]	8.55[a]
ลำเอียก	26.90[e]	5.68[d]
หญ้าขจรจบดอกเล็ก	29.05[d]	2.85[e]
หญ้าคา	23.60[g]	8.20[b]
หญ้าเนเปียร์	33.80[b]	7.92[c]

4.5 การหาปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส เบต้า-เซลลูโลส และแกมม่า-เซลลูโลส

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสในเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืชทั้ง 8 ชนิด พบว่าเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากลำเอียก มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 57.36 รองลงมา คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากกก มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสร้อยละ 54.97 ส่วนเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา และธูปฤาษี มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 50.27 และ 49.03 ตามลำดับ นอกจากนั้นเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าคาและหญ้าขจรจบดอกเล็ก มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 46.70 และ 45.53 ตามลำดับ ส่วนเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากแขม และหญ้าเนเปียร์ มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสต่ำที่สุดใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 41.01 และ 39.72 ตามลำดับ

ปริมาณเบต้า-เซลลูโลสพบมากที่สุดในเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากแขม คือ ร้อยละ 65.98 รองลงมา คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสร้อยละ 58.23 กลุ่มของเยื่อ

เซลลูโลสละเอียดจากธูปฤาษี หญ้าคา และหญ้าเนเปียร์ มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 52.43 51.32 และ 50.76 ตามลำดับ รองลงมา คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าขจรจบดอกเล็ก มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสร้อยละ 44.77 ส่วนเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากลำเอียกและกก มีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสต่ำที่สุดใกล้เคียงกัน(ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 39.42 และ 38.25 ตามลำดับ

เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าขจรจบดอกเล็ก มีปริมาณแกมม่า-เซลลูโลสสูงที่สุด คือ ร้อยละ 14.23 รองลงมาเป็นกลุ่มของเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ และลำเอียก ซึ่งมีปริมาณเบต้า-เซลลูโลสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ ร้อยละ 9.36 และ 8.67 ตามลำดับ และเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าคา มีปริมาณแกมม่า-เซลลูโลสต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.13 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส เบต้า-เซลลูโลส และแกมม่า-เซลลูโลสของเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืช

เยื่อเซลลูโลสละเอียด	ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส	ร้อยละเบต้า-เซลลูโลส	ร้อยละแกมม่า-เซลลูโลส
กก	54.97^{c}	38.25^{e}	7.03^{c}
แขม	41.01^{f}	65.98^{a}	5.71^{c-d}
ธูปฤาษี	49.03^{d}	52.43^{c}	4.01^{e}
เลา	50.27^{d}	58.23^{b}	5.18^{d-e}
ลำเอียก	57.36^{b}	39.42^{e}	8.67^{b}
หญ้าขจรจบดอกเล็ก	45.53^{e}	44.77^{d}	14.23^{a}
หญ้าคา	46.70^{e}	51.32^{c}	2.13^{f}
หญ้าเนเปียร์	39.72^{f}	50.76^{c}	9.36^{b}
แอลฟา-เซลลูโลส	86.33^{a}	9.74^{f}	3.80^{e}

4.6 แอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสและปริมาณโปรตีน

เชื้อราที่ใช้ในงานวิจัย คือ *T. reesei* Rut C-30 เป็นเชื้อราในชั้น Deuteromycetes ซึ่งลักษณะของเส้นใยและก้านชูคอนิเดียมีผนังกั้น แตกกิ่งก้านสาขามากมาย มีคอนิเดียรูปไข่ สีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 24

ก. ข.

รูปที่ 16 เชื้อรา *T. reesei* Rut C-30

ก. ลักษณะของเชื้อราที่เจริญบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารสูตร PDA

ข. ลักษณะของเส้นใยและสปอร์ของเชื้อรา

ในการผลิตเซลลูเลส โดยการเลี้ยงเชื้อราในอาหารสูตร Production ที่มี α-cellulose 3%(w/v) เป็นแหล่งคาร์บอน เปรียบเทียบกับอาหารสูตร Production ที่มีวัชพืช 8 ชนิด เป็นแหล่งคาร์บอน และอาหารสูตร Production ที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืช 8 ชนิด เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวัดค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส (exoglucanase) เอนโดกลูคาเนส (endoglucanase) และเบต้า-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) จากนั้นคำนวณหาค่า unit of enzyme จากสูตรมาตรฐาน ดังแสดงในภาคผนวก ง จะได้เป็นยูนิตต่อมิลลิลิตร (U/ml) แล้วหารด้วยปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) จะได้เป็นค่าแอคติวิตีจำเพาะ (specific activity) ของเอนไซม์ ในหน่วยยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน (U/mg protein) พบว่า เอนไซม์ซึ่งผลิตได้จากการใช้อาหารสูตร Production ที่มีวัชพืช 8 ชนิดเป็นแหล่งคาร์บอนนั้น มีค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสและปริมาณโปรตีน ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยเมื่อพิจารณาค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนสและเอนโดกลูคาเนส พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.05 ส่วนค่าแอคติวิตีของเบต้า-กลูโคซิเดสมีค่าใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) เมื่อใช้แหล่งคาร์บอนจากหญ้าเนเปียร์ และก๋ง คือ 0.313 และ 0.307 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ส่วนเอนไซม์ซึ่งผลิตได้จากการใช้อาหารสูตร Production ที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดของวัชพืช 8 ชนิดเป็นแหล่งคาร์บอนนั้น มีค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสและปริมาณโปรตีน ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยพบว่าค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนสสูงที่สุด เมื่อใช้เยื่อ

เซลลูโลสละเอียดของเลา เป็นแหล่งคาร์บอน คือ 2.349 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน รองลงมา คือ 2.187 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน จากการใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนเมื่อใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของหญ้าขจรจบดอกเล็ก หญ้าคา และก๋ง เป็นแหล่งคาร์บอน มีค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ 1.844 1.826 และ 1.819 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ และเมื่อใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของธูปฤาษี และลำเอียก เป็นแหล่งคาร์บอน มีค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนสใกล้เคียงกัน (ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) คือ 1.665 และ 1.552 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ตามลำดับ ส่วนเมื่อใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของแขม เป็นแหล่งคาร์บอนพบว่า มีค่าแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนสต่ำที่สุด คือ 1.388 ยูนิตต่อมิลลิกรัมของโปรตีน ส่วนค่าแอคติวิตีของเอนโดกลูคาเนสและเบต้า-กลูโคซิเดส พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 ค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสและปริมาณโปรตีนที่ใช้วัชพืชเป็นแหล่งคาร์บอน

ชนิดวัชพืช	เอกโซกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เอนโดกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เบต้า-กลูโคซิเดส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	ปริมาณโปรตีน (มก./มล.)
ก๋ง	1.857	25.539	0.307	0.703
แขม	2.932	43.024	0.233	0.321
ธูปฤาษี	2.619	33.043	0.379	0.574
เลา	0.079	0.281	0.006	0.546
ลำเอียก	1.174	16.685	0.216	0.996
หญ้าขจรจบดอกเล็ก	0.391	5.183	0.082	0.45
หญ้าคา	0.515	7.382	0.064	0.898
หญ้าเนเปียร์	2.005	25.178	0.313	0.785

ตารางที่ 5 ค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสและปริมาณโปรตีนที่ใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของวัชพืชเป็นแหล่งคาร์บอน

เยื่อเซลลูโลสละเอียด	เอกโซกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เอนโดกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เบต้า-กลูโคซิเดส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	ปริมาณโปรตีน (มก./มล.)
กก	1.819	30.604	0.141	0.709
แขม	1.388	9.728	0.107	1.874
ธูปฤาษี	1.665	25.575	0.039	0.81
เลา	2.349	24.624	0.267	0.85
ลำเอียก	1.552	23.675	0.029	0.875
หญ้าขจรจบดอกเล็ก	1.844	27.752	0.161	0.867
หญ้าคา	1.826	28.185	0.152	0.588
หญ้าเนเปียร์	2.187	34.906	0.241	0.546
แอลฟา-เซลลูโลส	1.753	24.602	0.026	0.746

4.7 การหมักและย่อยสลายแบบต่อเนื่อง

จากผลการทดลองในข้อ 4.6 ทำให้สามารถเลือกว่าได้เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืชชนิดใด เป็นแหล่งของคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูเลสโดยเชื้อรา *T. reesei* Rut C-30 คือ มีแอคติวิตีของเซลลูเลสทั้ง 3 กลุ่มดี เหมาะที่จะใช้ในกระบวนการ SSF โดยเลือกผลิตเซลลูเลสด้วยการใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากวัชพืชจำนวน 2 ชนิด คือ เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา และเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งของคาร์บอนในอาหารสูตร Production ซึ่งได้ค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลส ดังแสดงในตารางที่ 6

การหมักแบบ SSF ในระดับฟลาสก์ โดยการใช้เซลลูเลสที่มีแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตร Production แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ เซลลูเลสที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตร Production และเซลลูเลสที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสูตรเดียวกัน และใช้วัชพืช 3 ชนิด คือ แขม ธูปฤาษี และหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งของเซลลูโลสสำหรับการหมักนั้น พบว่า ได้ปริมาณเอทานอล ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และกากที่เหลือจากการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยพบว่ามีปริมาณเอทานอลสูงที่สุด เมื่อใช้

เซลลูเลสที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา เป็นแหล่งคาร์บอน ในอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์และใช้วัชพืชธูปฤาษี เป็นแหล่งของเซลลูโลส คือ มีปริมาณเอทานอล 0.26 กรัมต่อลิตร รองลงมา คือ เซลลูเลสที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์ และใช้ธูปฤาษี เป็นแหล่งของเซลลูโลส คือ มีปริมาณเอทานอล 0.20 กรัมต่อลิตร ส่วนกลุ่มที่เหลือ พบว่า มีปริมาณเอทานอลค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมัก และกากที่เหลือหลังการหมักพบว่า ในการหมักแบบ SSF ซึ่งใช้เซลลูเลสที่มีเยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์ และธูปฤาษี เป็นแหล่งของเซลลูโลสนั้น มีปริมาณน้ำตาลที่เหลือในน้ำหมัก และจำนวนกากที่เหลือหลังการหมักน้อยที่สุด คือ 0.071 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 0.55 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ค่าแอคติวิตีจำเพาะของเซลลูเลสสำหรับใช้ในการหมักแบบ SSF

แหล่งคาร์บอน	ค่าแอคติวิตีจำเพาะ		
	เบต้า-กลูโคซิเดส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เอกโซกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)	เอนโดกลูคาเนส (ยูนิต/มก.โปรตีน)
เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากเลา	0.23	2.00	20.05
เยื่อเซลลูโลสละเอียดจากหญ้าเนเปียร์	0.12	1.84	28.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ปริมาณเอทานอล ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ และกากที่เหลือจากการหมักในระดับฟลาสก์

เซลลูเลส	ชนิดวัชพืช	ผลผลิตเอทานอล (กรัม/ลิตร)	ผลผลิตเอทานอล (กรัม/กรัมสับสเตรท)	ปริมาณน้ำตาลที่เหลือ (มก./มล.)	ปริมาณกากที่เหลือ (กรัม)
การใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของเลาเป็นแหล่งคาร์บอน	แขม	0.17	0.28	0.108	0.85
	ธูปฤาษี	0.26	0.43	0.071	0.55
	หญ้าเนเปียร์	0.05	0.08	0.133	1.40
การใช้เยื่อเซลลูโลสละเอียดของหญ้าเนเปียร์เป็นแหล่งคาร์บอน	แขม	0.11	0.18	0.112	0.70
	ธูปฤาษี	0.20	0.33	0.089	0.65
	หญ้าเนเปียร์	0.02	0.03	0.135	1.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย