



ความหลากหลายของวัชพืชสำหรับการผลิตเอทานอลในเขต อำเภอเมือง จังหวัดตาก
Diversity of Weed for Ethanol Production in Muang District Area, Tak Province

บุญชริก รอดบำรุง

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

E-mail: boondarick@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของวัชพืช ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณเถ้า (Ash content) ปริมาณลิกนิน (Lignin content) ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose content) และปริมาณเซลลูโลส (Cellulose content) รวมถึงผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี (Theoretical ethanol yield) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำวัชพืชไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน จากผลการสำรวจพบวัชพืช 35 ชนิด จัดอยู่ใน 33 สกุล 19 วงศ์ วงศ์ Fabaceae พบวัชพืชมากที่สุด 7 ชนิด การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณลิกนิน ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และปริมาณเซลลูโลส พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 4.51-24.18, 4.33-22.22, 4.52-16.94, 4.83-27.05 และ 13.41-44.69 % ตามลำดับ และจากการประมาณค่าผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีของวัชพืชพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 131.99-480.41 ลิตรต่อตัน ซึ่งวัชพืชส่วนใหญ่มีปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณลิกนิน และ ปริมาณเฮมิเซลลูโลสค่อนข้างต่ำและมีปริมาณเซลลูโลสปานกลางถึงสูง จากผลการวิจัยพบว่า หญ้าแฉะเป็นวัชพืชที่มีความเหมาะสมและมีศักยภาพสูงสุดสำหรับการผลิตเอทานอล โดยให้ปริมาณเซลลูโลสและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุด ($44.69 \pm 0.32\%$, 480.41 ± 0.05 ลิตรต่อตัน) แต่ให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและปริมาณลิกนินค่อนข้างต่ำ ($21.60 \pm 0.30\%$, $12.75 \pm 0.47\%$)

คำสำคัญ: วัชพืช ความชื้น เถ้า ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส เอทานอล

Received: September 19, 2019

Revised: December 11, 2019

Accepted: December 30, 2019

Abstract

The objectives of this research were to survey of weeds distributed in Mueang District, Tak Province, to determine the chemical compositions of weeds including moisture content, ash content, lignin content, hemicellulose content and cellulose content and to determine theoretical ethanol yield. The studies aimed at establishing fundamental information on utilization of weeds for energy purposes. The result revealed that there are 35 weed species in 33 genera and 19 families. Fabaceae was the families with the largest number of weeds in this area (7 species). The chemical compositions analysis of moisture content, ash content, lignin content, hemicellulose content and cellulose content were 4.51-24.18, 4.33-22.22, 4.52-16.94, 4.83-27.05 and 13.41-44.69 %, respectively. The theoretical ethanol yield was 131.99-480.41 litres per ton. The studies also showed that moisture content, ash content, lignin content and hemicellulose content of the majority weeds were low while cellulose content was moderate to high. The results showed that *Phragmites vallatoria* weeds is suitable and highest potential for ethanol production. It produced highest amount of cellulose content and theoretical ethanol yield ($44.69 \pm 0.32\%$, 480.41 ± 0.05 litres per ton), whereas hemicellulose and lignin content are low ($21.60 \pm 0.30\%$, $12.75 \pm 0.47\%$).

Keywords: Weed, Moisture, Ash, Lignin, Hemicellulose, Cellulose, Ethanol

1. บทนำ

ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยพืชเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมีสะสมอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรตภายในเนื้อเยื่อ [1] เมื่อคาร์โบไฮเดรตผ่านขั้นตอนการสลายพันธะด้วยกระบวนการต่าง ๆ จะได้พลังงานออกมา โดยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักของพืชมีอยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาผลิตไบโอเอทานอล ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) คือ น้ำตาลเพนโตส (Pentose, $n = 5$, ไฮโลส) และ น้ำตาลเฮกโซส (Hexose, $n = 6$, กลูโคส) เป็นน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) และ โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) สำหรับการผลิตไบโอเอทานอลจากพืชประเภทแป้ง

และพืชประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงและลิกโนเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นไบโอเอทานอล [2,3]

ปัจจุบันไบโอเอทานอลผลิตได้จากการนำพืชอาหาร (Edible Crop) สำหรับมนุษย์และสัตว์ เช่น อ้อย ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง มาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิง ทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอเอทานอลสูงขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวทำให้หลายประเทศนำพืชประเภทลิกโนเซลลูโลสมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอลแทน ตัวอย่างพืชที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบและนำมาผลิตไบโอเอทานอล ได้แก่ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชานอ้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด และวัชพืช

[4], [5] งานวิจัยนี้สนใจศึกษาวัชพืช (Weed) ซึ่งเป็นชีวมวลอีกประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอลได้ เพราะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ โตเร็ว และขยายพันธุ์ง่าย ซึ่งพืชตระกูลหญ้ามีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบประมาณ 25-40, 25-50 และ 10-30 % ตามลำดับ [6] วัชพืชที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล ได้แก่ หญ้าสวิตช์กราส (Switchgrass) หญ้ามิสแคนทัส (Miscanthus) และหญ้า Big Bluestem เป็นต้น [7], [8] โดยม้งานวิจัยในการนำวัชพืชมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ดังกล่าวต่อไปนี้ การผลิตเอทานอลจากหญ้าสวิตช์กราส ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอล 11.8 กรัมต่อลิตร [9] การผลิตเอทานอลจากหญ้ามิสแคนทัส ด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอล 59.20 กรัมต่อลิตร [10] การผลิตเอทานอลจากหญ้า Big Bluestem ด้วยยีสต์แห้ง (Dry Yeast) ที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอล 9.4 กรัมต่อลิตร [11] การผลิตเอทานอลด้วยไมไ่ฝ ไม้อย่างพารา หญ้ามิสแคนทัส สาบเสือ และเปลือกมะพร้าวมาผลิตเอทานอลด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 144 ชั่วโมง พบว่าหญ้ามิสแคนทัสให้ผลผลิตน้ำตาลกลูโคสและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุด 57.80 % และ 65.10 % ตามลำดับ [12] การผลิตเอทานอลด้วยหญ้าแซมจากกระบวนการทำให้เป็นน้ำตาลรวมกับการหมัก (Simultaneous Saccharification and Fermentation; SSF) พบว่าให้ผลผลิตเอทานอล 16.56 กรัมเอทานอลต่อ 100 กรัมสับสเตรท [13] จากการหาสถานะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ในการเปลี่ยนแปลงรูปถ่ายไปเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อการ

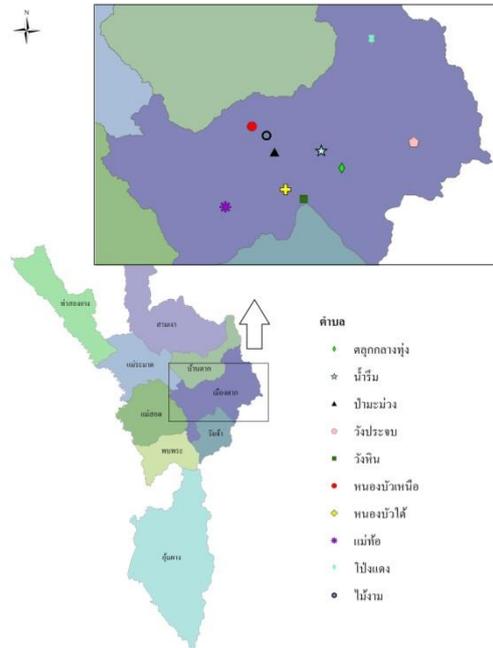
ผลิตเอทานอล พบว่าต้องใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 17.5 FPU/g substrate และเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส 0 U/g substrate ที่อุณหภูมิ 55 °C จะได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลไซโลส 413.25 mg/g substrate และ 75.48 mg/g substrate ตามลำดับ [14] การผลิตเอทานอลจากหญ้าจวบจากจังหวัดตากด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5596 ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอล 16.0 กรัมต่อลิตร [15] จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าวัชพืชสามารถนำมาผลิตเป็นไบโอเอทานอลได้ อีกทั้งผู้วิจัยได้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดตากประกอบด้วยป่าไม้และเทือกเขา ทำให้มีความหลากหลายทางชีวภาพ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความหลากหลายของวัชพืชในเขตจังหวัดตาก โดยเกณฑ์การพิจารณาศักยภาพของวัชพืชประเมินจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในวัชพืช

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การสำรวจวัชพืช

สำรวจและเก็บตัวอย่างวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก ดังแสดงในรูปที่ 1 ละติจูด 16 องศา 52 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 99 องศา 7 ลิปดาตะวันออก ระหว่างเดือนตุลาคม 2557-มีนาคม 2558 โดยทำการเก็บตัวอย่างวัชพืชทุกตำบลบริเวณอำเภอเมืองรวมทั้งหมด 10 ตำบล 30 หมู่บ้าน และใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่าง (Sampling Techniques) แบบวางแปลง (Quadrat Sampling Method) ด้วยการสุ่มวางแปลงตัวอย่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดแปลง 1x1 ตารางเมตร และสุ่มเก็บตัวอย่างวัชพืช 3 แปลงในแต่ละพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่าง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างวัชพืชที่มีความสูงเหนือพื้นดินตั้งแต่หรือ

มากกว่า 0.5 เมตร และทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ



รูปที่ 1 แผนที่แสดงบริเวณการสำรวจและเก็บตัวอย่าง วัชพืช 10 ตำบลในเขตอำเภอเมืองจังหวัดตาก

2.2 การจัดจำแนกวัชพืช

ทำการจัดจำแนก (Classification) และระบุ (Identification) ชนิดของวัชพืชจากสัณฐานวิทยา (Morphology) ของพืช โดยนำตัวอย่างวัชพืชสดที่มีส่วนของลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ดมาเทียบเคียงกับคู่มือการจัดจำแนกวัชพืช [16, 17] สำหรับตัวอย่างวัชพืชที่ไม่สามารถทำการจัดจำแนกได้ ทำการส่งตัวอย่างวัชพืชไปจัดจำแนกที่หน่วยวิจัยการฟื้นฟูป่า ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.3 การเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัชพืช

นำตัวอย่างวัชพืชแต่ละชนิดมาทำการตัดหรือสับ ให้มีขนาดเล็กกลงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไป

บด นำวัชพืชที่ผ่านการตัดหรือสับ ไปตากให้แห้งเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นทำการบดตัวอย่างวัชพืชแต่ละชนิดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (Cutting Mill) ตัวอย่างวัชพืชที่ผ่านการบด และผ่านตะแกรงของเครื่องบดตัวอย่างมีขนาดประมาณ 0.25 มิลลิเมตร นำตัวอย่างวัชพืชแต่ละชนิดที่ผ่านการบดมาอย่างละ 1 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่ 135°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณความชื้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างวัชพืชแต่ละชนิดที่ผ่านการบดตัวอย่างทั้งหมดส่งไปทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบวิธีดีเทอร์เจนท์ (Detergent Method หรือ Forage Fiber Analysis) [18] ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างวัชพืชแต่ละชนิดอย่างน้อยจำนวน 2 ซ้ำ เนื่องจากค่าจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 ซ้ำใกล้เคียงกัน [19] จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หามาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีจากวัชพืช

การประมาณค่าผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีจากวัชพืชทำได้โดยการคำนวณจากปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในวัชพืช ผงเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็นเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ตามลำดับ [20] เมื่อทำการย่อยสลายผนังเซลล์พืชด้วยกรดซัลฟิวริก เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายและปลดปล่อยน้ำตาลเฮกโซส (HEXT) และน้ำตาลเพนโทส (PENT) ออกมาตามลำดับ กระบวนการย่อยสลายจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวให้คิดเป็น 100% ตามทฤษฎี ดังนั้นปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส ผลผลิตเอทานอลตาม

ทฤษฎีที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลเฮกโซส (HEXTEL) และน้ำตาลเพนโทส (PENTEL) ให้คิดเป็น 100% ตามทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการนำน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเพนโทสมาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณ ดังนั้นการคำนวณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสามารถคำนวณตามสมการของ Premjet *et al.* [19]

$$\text{HEXT} = b \times Y_h \times \text{HEX} \quad \text{Kg/Ton (วัตถุดิบ)}(1)$$

$$\text{PENT} = b \times Y_p \times \text{PEN} \quad \text{Kg/Ton} \quad (2)$$

$$\text{HEXTEL} = \text{HEXT} \times Y_{eh} \quad \text{Kg/Ton} \quad (3)$$

$$\text{PENTEL} = \text{PENT} \times Y_{ep} \quad \text{Kg/Ton} \quad (4)$$

$$\text{ETOHTLT} = (\text{HEXTEL} + \text{PENTEL})/d \quad \text{L/Ton} (5)$$

อธิบายสัญลักษณ์

HEX หมายถึง ผลผลิตน้ำตาลเฮกโซส หรือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยสลายเซลลูโลสตามทฤษฎี (1.111)

PEN หมายถึง ผลผลิตน้ำตาลเพนโทส หรือน้ำตาลไซโลส ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสตามทฤษฎี (1.136)

b หมายถึง น้ำหนักของวัตถุดิบ (1,000 กิโลกรัม)

Y_h หมายถึง เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสในตัวอย่างวัชพืช

Y_p หมายถึง เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสในตัวอย่างวัชพืช

Y_{eh} หมายถึง ผลผลิตเอทานอลที่ได้จากน้ำตาลกลูโคสตามทฤษฎี (0.511)

Y_{ep} หมายถึง ผลผลิตเอทานอลที่ได้จากน้ำตาลไซโลสตามทฤษฎี (0.511)

d หมายถึง ความหนาแน่นของเอทานอล (0.789 กิโลกรัม/ลิตร)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 การสำรวจวัชพืช

วัชพืชที่พบบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก มีจำนวน 35 ชนิด จัดอยู่ใน 33 สกุล 19 วงศ์ โดยแสดงในตารางที่ 1 วงศ์พืชที่พบวัชพืชมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ วงศ์ Fabaceae พบ 7 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ Amaranthaceae และ Euphorbiaceae พบวงศ์ละ 4 ชนิด และ วงศ์ Malvaceae พบ 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2

จากการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตากจำนวน 10 ตำบล 30 หมู่บ้าน สามารถเก็บรวบรวมตัวอย่างวัชพืชได้จำนวน 90 ตัวอย่าง จากบริเวณพื้นที่ที่แตกต่างกัน เป็นพื้นที่รกร้างจำนวน 45 ตัวอย่าง พื้นที่ริมถนนจำนวน 33 ตัวอย่าง พื้นที่บริเวณที่อยู่อาศัยจำนวน 9 ตัวอย่าง และพื้นที่นาจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยพบวัชพืชจากบริเวณตำบลวังประจวบ ตำบลหนองบัวใต้ และตำบลไม้งาม ตำบลละ 9 ชนิด ตำบลแม่ท้อ ตำบลตลุกกลางทุ่ง ตำบลป่ามะม่วง และตำบลโป่งแดงตำบลละ 8 ชนิด ตำบลบ้านน้ำร้อนและตำบลหนองบัวเหนือตำบลละ 7 ชนิด และตำบลวังหินจำนวน 6 ชนิด วัชพืชที่พบเป็นวัชพืชใบกว้าง (Broadleaf Weed) 31 ชนิด (88.57%) วัชพืชใบแคบ (Narrowleaf Weed) 4 ชนิด (11.43%) วัชพืชฤดูเดียว (Annual Weed) 15 ชนิด (42.86%) และวัชพืชหลายฤดู (Perennial Weed) 20 ชนิด (57.14%) พบวัชพืชชนิดร้ายแรง (Noxious Weed) 3 ชนิด (8.57%) คือ ผักขมหนาม แมงลักคา และธูปฤาษี นอกจากนี้ยังพบวัชพืชที่เป็นชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว

รายการที่ 1 มี 6 ชนิด (17.14%) ได้แก่ หงอนไก่ไทย สาบเสือ กระจงดิน ไมยราบยักษ์ แมงลักคา และ ผกากรอง วัชพืชที่เป็นชนิดพันธุ์ต่างถิ่นมีแนวโน้ม รุกรานรายการที่ 2 มี 1 ชนิด (2.86%) ได้แก่ ผักขม หนาม ตามประกาศมาตรการป้องกันควบคุมและ กำจัดชนิดพันธุ์ต่างถิ่น ปี 2552 [17], [21], [22] จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก พบว่าวัชพืชที่มีการกระจายพันธุ์เกือบ ทุกตำบล ได้แก่ สาบเสือ กระจงดิน และแมงลักคา ซึ่ง วัชพืชดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานใน รูปแบบอื่นได้ เช่น ถ่านชีวภาพ (Bio-Char) และ แท่งเชื้อเพลิง (Fuel Briquette) เป็นต้น นอกจากนี้ยัง พบว่าวัชพืชที่ได้จากการสำรวจ ได้แก่ สาบเสือ หญ้าแฉม ฐปถายี ผกากรอง และพืชตระกูลกก สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ได้ [12, 13, 14, 23, 24]

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ วัชพืชและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและ ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี เพื่อพิจารณาสัณฐานภาพ ของวัชพืชแต่ละชนิด สำหรับใช้เป็นแนวทางในการ เลือกว่าวัชพืชเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล สามารถพิจารณาได้จากปริมาณเซลลูโลสและ ลิกนินเป็นหลัก โดยวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง และลิกนินต่ำเป็นวัชพืชที่มีความเหมาะสมสำหรับ นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล [25] สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางเคมี 5 ประเภท ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณ เถ้า ปริมาณลิกนิน ปริมาณเฮมิเซลลูโลส และ ปริมาณเซลลูโลส รวมถึงการคำนวณผลผลิต เอทานอลตามทฤษฎีดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อให้ ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีโดยรวมของวัชพืช

สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำวัชพืชไปใช้ ประโยชน์

ปริมาณความชื้นของวัชพืช

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นพบว่าวัชพืช มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 4.51-24.18 % วัชพืช ที่มีปริมาณความชื้นสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ โทงเทง บอนคัน และต้อยตุง ซึ่งมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 24.18 ± 0.32 , 16.88 ± 0.71 และ 14.87 ± 0.72 % ตามลำดับ สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุด ได้แก่ ฐปถายี พบว่ามีปริมาณความชื้นเท่ากับ 4.51 ± 0.57 % ปริมาณความชื้นในชีวมวลหมายถึง ปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบภายในชีวมวล ซึ่งมี ผลโดยตรงต่อกระบวนการเผาไหม้ ชีวมวลที่มี ปริมาณความชื้นสูงเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้จะ ทำให้ได้ผลผลิตที่เป็นของแข็ง คือ คาร์บอนและ แก๊สต่ำ ในขณะที่จะได้ผลผลิตที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมัน และทาร์สูง ชีวมวล เช่น เปลือกถั่วลันเตา และ เปลือกอัลมอนต์ มีความเหมาะสมในการนำมาผลิต ถ่านชีวภาพ เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำ (3.00-12.00 %) [26, 27, 28] จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ ความชื้น พบวัชพืช 19 ชนิด ที่มีปริมาณความชื้นอยู่ ระหว่าง 4.51-11.87 % ได้แก่ ฐปถายี หญ้าแฉม โสน อินเดีย กกสามเหลี่ยมเล็ก ถั่วฮามาต้า สาบม่วง กระจงดิน หญ้าขัดใบยาว กรดน้ำ เป็ดลำมูก หิงเม่น พันงูขาว ผักขมหิน จีครอก ปอสา ไมยราบยักษ์ ผักเสี้ยนผี หญ้าห้วนเกล้า และครอบจักรวาล ซึ่ง วัชพืช 4 ชนิดจาก 19 ชนิด ได้แก่ ฐปถายี หญ้าแฉม โสนอินเดีย และกกสามเหลี่ยมเล็ก มีปริมาณ ความชื้นค่อนข้างต่ำ (4.51-5.99 %) เมื่อเทียบกับ ปริมาณความชื้นของเปลือกถั่วลันเตาและเปลือก อัลมอนต์ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงนำวัชพืช เหล่านี้ไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพได้ ในการนำชีวมวล

ไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพ จะต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นต่ำเป็นสำคัญ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาและขั้นตอนของกระบวนการได้ความชื้น

ปริมาณเถ้าของวัชพืช

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าพบว่าวัชพืชมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 4.33-22.22 % วัชพืชที่มีปริมาณเถ้าสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ โทงเทง ค้อยติ่ง ผักขมหนาม และปอสา ซึ่งมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 22.22±0.57, 19.70±0.65, 17.15±0.74 และ 17.15±0.32 % ตามลำดับ โดยพบว่าผักขมหนามและปอสาปริมาณเถ้าเท่ากัน สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณเถ้าต่ำสุดได้แก่ หังเม่น พบว่ามีปริมาณเถ้าเท่ากับ 4.33±0.29 % เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป โดยปกติเนื้อไม้ไม่มีปริมาณเถ้าน้อยกว่า 2.00 % ในขณะที่วัสดุทางการเกษตรมีปริมาณเถ้า 5.00-10.00 % ชีวมวลที่มีเถ้าในปริมาณมากจะก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นชีวมวลที่นำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงไม่ควรมียปริมาณเถ้าเกิน 20.00 % ตัวอย่างชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ช้างข้าวโพด ไม้ยราบยักษ์ ฟางข้าว ต้นถั่วเหลือง แกลบ และต้นผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 2.10, 3.70, 7.30, 8.40, 20.00 และ 25.80 % ตามลำดับ [29], [30] จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าพบวัชพืช 12 ชนิด ที่มีปริมาณเถ้าอยู่ในระหว่าง 4.33-9.78 % ได้แก่ หังเม่น หญ้าห้วนเกล้า ถั่วฮามาต้า ไม้ยราบยักษ์ ครามป่า กอกสามเหลี่ยมเล็ก ฐปฤยาณี ผลการองหญ้าแฉม โสนอินเดีย กระถิน และหงอนไก่ไทย ซึ่งมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับชีวมวลที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงตามรายงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นวัชพืชเหล่านี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน

ปริมาณลิกนินของวัชพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน พบว่าวัชพืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่ระหว่าง 4.52-16.94 % วัชพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ กระถิน กรดน้ำ และหญ้าแฉม ซึ่งมีปริมาณลิกนินเท่ากับ 16.94±0.44, 12.89±0.28 และ 12.75±0.47 % ตามลำดับ สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณลิกนินต่ำสุดได้แก่ ค้อยติ่ง พบว่ามีปริมาณลิกนินเท่ากับ 4.52±0.59% ลิกนินเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชมีปริมาณมากเป็นอันดับสามรองจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำหน้าที่ห่อหุ้มเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์พืช ทำให้ลูลินทรีย์และเอนไซม์เข้าทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์พืชได้ยาก จึงเป็นอุปสรรคต่อเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยสลายเซลลูโลส อีกทั้งยังไม่มีกระบวนการใดที่เปลี่ยนแปลงลิกนินไปเป็นเอทานอลได้ [31, 32] ด้วยเหตุนี้ลิกนินจึงเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอล ปริมาณลิกนินมีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด เช่น เปลือกมะนาว เปลือกส้ม ช้างข้าวโพด และชานอ้อย มีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบ 1.73, 2.10, 15.00 และ 25.00 % ตามลำดับ สำหรับวัชพืช เช่น หญ้าเบอร์มิวดาและหญ้าสวีตชกราส มีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบ 6.00 และ 12.00 % ตามลำดับ [33, 34] จากผลการวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน พบว่าค้อยติ่ง (4.52±0.59 %) พันงูขาว (4.87±0.57 %) ปอสา (4.88±0.34 %) และซี่ครอก (5.19±0.30 %) มีปริมาณลิกนินต่ำกว่าหญ้าเบอร์มิวดา แต่สูงกว่าเปลือกมะนาว และเปลือกส้ม นอกจากนี้ยังพบว่าวัชพืชทุกชนิดมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าชานอ้อย ซึ่งมีการนำชานอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล [4] ดังนั้นวัชพืช

ทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าชานอ้อย สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้

ปริมาณเฮมิเซลลูโลสของวัชพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลสพบว่าวัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 4.83-27.05% วัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ กกสามเหลี่ยมเล็ก หิงเม่น และพันงูขาว ซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 27.05 ± 0.25 , 22.33 ± 0.33 และ $22.11 \pm 0.42\%$ ตามลำดับ สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำสุด ได้แก่ หางกระรอกแดง พบว่ามีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ $4.83 \pm 0.17\%$ เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชที่มีปริมาณเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยอยู่ล้อมรอบเซลลูโลส จึงเป็นอุปสรรคทางกายภาพต่อการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยสลายเซลลูโลสเพื่อเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคส [34, 35] ดังนั้นชีวมวลที่มีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อการผลิตเอทานอล เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด (35.00 %) ฟางข้าวสาลี (50.00 %) ฟางข้าว (25.00 %) และชานอ้อย (24.00%) รวมถึงวัชพืช เช่น หญ้าเบอร์มิวดา (35.00 %) และหญ้าสวิตช์กราส (30.00 %) [34] กับปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากวัชพืชที่ได้จากการสำรวจ พบว่าวัชพืชส่วนใหญ่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่ามาก ยกเว้น หญ้าแฉม ($21.60 \pm 0.30\%$) พันงูขาว ($22.11 \pm 0.42\%$) หิงเม่น ($22.33 \pm 0.33\%$) และกกสามเหลี่ยมเล็ก (27.05 ± 0.25) ที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียงกับชานอ้อย และฟางข้าว ในขณะที่หางกระรอกแดง ($4.83 \pm 0.17\%$) ละหุ่ง

($5.77 \pm 0.23\%$) สาบเสือ ($5.81 \pm 0.23\%$) ไมยราบยักษ์ ($5.94 \pm 0.02\%$) และแมงลักคา ($6.42 \pm 0.40\%$) มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสค่อนข้างต่ำ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกมะนาว (5.30%) และเปลือกส้ม (6.10%) [33] ซึ่งมีการนำชานอ้อย ชังข้าวโพด และหญ้าสวิตช์กราสไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล [4, 9] ดังนั้นวัชพืชทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจ (ยกเว้น กกสามเหลี่ยมเล็ก และหิงเม่น) ซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าชานอ้อย ชังข้าวโพด และหญ้าสวิตช์กราส สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้

ปริมาณเซลลูโลสของวัชพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสพบว่าวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 13.41-44.69% วัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ หญ้าแฉม ฐูปญาณี และหญ้าห้วนเกล้า ซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ 44.69 ± 0.32 , 42.06 ± 0.15 และ $41.49 \pm 0.13\%$ ตามลำดับ สำหรับวัชพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำสุด ได้แก่ หางกระรอกแดง พบว่ามีปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ $13.41 \pm 0.29\%$ เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารประกอบลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-glycosidic bonds เมื่อเซลลูโลสผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด เบส หรือเอนไซม์ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือ กลูโคส ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานในรูปแบบของเอทานอล [36] เอทานอลที่ผลิตได้จากเซลลูโลส เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด และวัชพืช มีสมบัติและลักษณะทางเคมีเช่นเดียวกับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลและแป้ง ซึ่งโดยปกติแล้วปริมาณ

เซลลูโลสจะมีความแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ และการเจริญเติบโตของพืชนั้น ๆ [37] เช่น ฟางข้าว มีปริมาณเซลลูโลส 35.00 % ชานอ้อยมีปริมาณเซลลูโลส 40.00 % และชังข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลส 45.00 % เป็นต้น [34] นอกจากนี้ยังมีพืชอีกหลายชนิดที่มีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับชังข้าวโพด ฟางข้าว และชานอ้อยที่สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลได้ เช่น หญ้าเบอร์มิวดา หญ้าสวิตซ์กราส และหญ้ามิสแคนทัส มีปริมาณเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบโดยมีค่าเท่ากับ 32.36, 42.00 และ 47.59 % ตามลำดับ [38, 14, 39, 40] ในขณะที่พืชส่วนใหญ่ที่ได้จากการสำรวจมีปริมาณเซลลูโลสปานกลางถึงสูง โดยพบว่าถั่วสามาด้า สาบเสือ พันงูขาว และผกากรองมีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับฟางข้าว และหญ้าเบอร์มิวดาคือ 30.41 ± 0.35 , 33.04 ± 0.17 , 33.23 ± 0.33 และ $33.39 \pm 0.13\%$ ตามลำดับ สำหรับหญ้าขัดใบยาว หญ้าห้วนเกล้า และรูปฤาษีมีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับชานอ้อยและหญ้าสวิตซ์กราส คือ 40.82 ± 0.13 , 41.49 ± 0.13 และ 42.06 ± 0.15 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าแอมมีปริมาณเซลลูโลส (44.69 ± 0.32 %) ใกล้เคียงกับชังข้าวโพด แต่ต่ำกว่าหญ้ามิสแคนทัส ดังนั้นพืชที่ได้จากการสำรวจที่มีปริมาณเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 33.04-44.69% ได้แก่ หญ้าแอม รูปฤาษี หังเม่น พันงูขาว หญ้าห้วนเกล้า หญ้าขัดใบยาว ผกากรอง กระจิน และสาบเสือ สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้กล่าวมา

ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี

การคำนวณผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีตามสมการของ Premjet *et al.* [19] จากปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกเข้า

ทำการย่อยสลายเซลลูโลส (น้ำตาลเฮกโซส, HEXT) และเฮมิเซลลูโลส (น้ำตาลเพนโทส, PENT และน้ำตาลเฮกโซส, HEXT) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในพืชพืช จากการคำนวณพบว่าพืชที่ได้จากการสำรวจให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีอยู่ระหว่าง 131.99-480.41 ลิตรต่อตันพืชที่ให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ หญ้าแอม รูปฤาษี และหังเม่น ซึ่งมีปริมาณของผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีเท่ากับ 480.41 ± 0.05 , 432.46 ± 5.44 และ 422.61 ± 1.37 ลิตรต่อตัน ตามลำดับ สำหรับพืชที่ให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีต่ำสุด ได้แก่ หางกระรอกแดง พบว่าให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีเท่ากับ 131.99 ± 0.84 ลิตรต่อตัน พลังงานจากเอทานอลหรือพลังงานทดแทนจากพืชชีวมวลได้มาจากพืชน้ำตาลและพืชที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ สำหรับพืชที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดิบได้ดีกว่าพืชน้ำตาล เนื่องจากไม่มีการแข่งขันทางด้านราคาของวัตถุดิบ ซึ่งในปี ค.ศ.1990 University States Department of Energy (USA) ได้ใช้หญ้าสวิตซ์ กราสเป็นต้นแบบสำหรับการผลิตเอทานอล [41] รวมถึงมีรายงานการวิจัยการนำพืชชนิดต่างๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลดังกล่าวต่อไปนี้ การผลิตเอทานอลจากหญ้าสวิตซ์กราสได้ผลผลิตเอทานอลเท่ากับ 11.8 กรัมต่อลิตร [9] การผลิตเอทานอลจากหญ้ามิสแคนทัสได้ผลผลิตเอทานอลเท่ากับ 59.20 กรัมต่อลิตร [10] และการผลิตเอทานอลจากหญ้า Big Bluestem ได้ผลผลิตเอทานอลเท่ากับ 9.4 กรัมต่อลิตร [11] นอกจากนี้ในประเทศบราซิลได้นำชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศ โดยนำชานอ้อยที่มีองค์ประกอบของ

เซลลูโลส (32.00-44.00 %) และเฮมิเซลลูโลส (27.00-32.00%) ไปผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดและนำน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายไปหมักเป็นเอทานอลได้ผลผลิตเอทานอลประมาณ 280-330 ลิตรต่อตัน [42] เมื่อเปรียบเทียบกับวัชพืชที่ได้จากการสำรวจ พบว่าสาบเสือ (280.52±2.94 ลิตรต่อตัน) ครามป่า (291.39±4.89 ลิตรต่อตัน) จี๋ครอก (293.01±2.31 ลิตรต่อตัน) กระจับปี่ (297.38±2.16 ลิตรต่อตัน) ถั่วสามตา (305.89±2.70 ลิตรต่อตัน) และกระถิน (333.09±0.46 ลิตรต่อตัน) ให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีใกล้เคียงกับขานอ้อย และพบวัชพืชอีก 8 ชนิด ได้แก่ ผกากรอง (346.50±2.52 ลิตรต่อตัน) หญ้าห้วนเกล้า (352.21±2.15 ลิตรต่อตัน) หญ้าขัดใบยาว (394.85±0.18 ลิตรต่อตัน) กกสามเหลี่ยมเล็ก (399.84±3.40 ลิตรต่อตัน) พันงูขาว (401.85±0.68 ลิตรต่อตัน) หิงเม่น (422.61±1.37 ลิตรต่อตัน) รูปถาญี (432.46±5.44 ลิตรต่อตัน) และหญ้าแฉ่ม (480.41±0.05 ลิตรต่อตัน) ให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงกว่าขานอ้อย จากงานวิจัยพบว่าหญ้าแฉ่มเป็นวัชพืชที่มีศักยภาพสูงสุดในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล เนื่องจากให้ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีสูงสุด ซึ่งการนำวัชพืชชนิดนี้ไปใช้ในการผลิตเอทานอลจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล รวมถึงส่งเสริมการปลูกให้เพียงพอ

สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการศึกษาถึงการเจริญเติบโต การวางแผนการปลูก และการปรับปรุงพันธุ์หญ้าสวิตซ์กราส เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลในเชิงพาณิชย์มาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ก่อนจะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศ [43]

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจและหาลงค์ประกอบทางเคมีของวัชพืช รวมถึงผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี จากการสำรวจวัชพืชบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก พบวัชพืชทั้งหมดจำนวน 35 ชนิด วัชพืชที่มีศักยภาพสูงสุดในการผลิตเอทานอล คือ หญ้าแฉ่ม โดยพิจารณาจากปริมาณเซลลูโลส (44.69±0.32 %) และผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี (480.41±0.05 ลิตรต่อตัน) ซึ่งการนำหญ้าแฉ่มไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในอนาคตสามารถทำได้ หากแต่ต้องทำการศึกษาเรื่องการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) และการหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) สำหรับการผลิตเอทานอล

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 ตัวอย่างวัชพืช ก. หญ้าแฉวม (*Phragmites vallatoria*) ข. ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) ค. หึ่งमें (*Crotalaria striata*) ง. พันงูขาว (*Achyranth esaspera*) จ. กกสามเหลี่ยมเล็ก (*Cyperus spilosus*) ฉ. หญ้าขี้ไต้ใบยาว (*Sida acuta*) ช. สาบม่วง (*Praxelis clematidea*) ซ. เปล้าส้มลูก (*Croton hirtus* L'Her) ฅ. สบู่แดง (*Jatropha gossypifolia*) ญ. บอนทัน (*Colocasia esculenta*) ฎ. ต้นรักดอกขาว (*Calotropis procera*) ฏ. ครอบจักรวาล (*Abutilon indicum*)

ตารางที่ 1 รายชื่อวัชพืชจากการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก

ชื่อวงศ์/ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวัชพืช	พื้นที่ ¹⁾	อายุ ²⁾	ใบ ³⁾	การรุกราน/ความรุนแรง ⁴⁾
Acanthaceae					
1. <i>Ruellia tuberosa</i>	ด้อยคิ่ง	1	หลายฤดู	กว้าง	-
Amaranthaceae					
2. <i>Celosia argentea</i>	หงอนไก่ไทย	2, 3	ฤดูเดียว	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ¹⁾
3. <i>Achyroanthus anthespera</i>	พันงูขาว	1, 2	ฤดูเดียว	กว้าง	-
4. <i>Amaranthus viridis</i>	ผักขม	1, 4, 5	ฤดูเดียว	กว้าง	-
5. <i>Amaranthus spinosus</i>	ผักขมหนาม	4, 5	ฤดูเดียว	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่มีแนวโน้มรุกราน ¹⁾ , วัชพืชชนิดร้ายแรง ⁴⁾
Araceae					
6. <i>Colocasia esculenta</i>	บอนคัน	6	หลายฤดู	แคบ	-
Asclepiadaceae					
7. <i>Calotropis procera</i>	ต้นรักดอกขาว	4, 6, 7, 8	หลายฤดู	กว้าง	-
Capparaceae					
8. <i>Cleome gynandra</i>	ผักเสี้ยนดอกขาว	1, 4	ฤดูเดียว	กว้าง	-
9. <i>Cleome viscosa</i>	ผักเสี้ยนผี	3, 4, 5, 8	ฤดูเดียว	กว้าง	-
Asteraceae					
10. <i>Chromolaena odorata</i>	สามเสือ	1, 2, 5, 6, 7, 9, 10	หลายฤดู	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ¹⁾
11. <i>Praxelis clematidea</i>	สามม่วง	3, 9	หลายฤดู	กว้าง	-
Cyperaceae					
12. <i>Cyperus spilosus</i>	กกสามเหลี่ยมเล็ก	8	หลายฤดู	แคบ	-
Euphorbiaceae					
13. <i>Acalypha indica</i>	หางกระรอกแดง	1, 4	ฤดูเดียว	กว้าง	-
14. <i>Croton hirtus</i> L'Her	เปล้าส้มลูก	7	ฤดูเดียว	กว้าง	-
15. <i>Jatropha gossypifolia</i>	สนับแดง	6, 10	หลายฤดู	กว้าง	-
16. <i>Ricinus communis</i> L.	ละหุ่ง	9	หลายฤดู	กว้าง	-
Fabaceae					
17. <i>Cassia occidentalis</i>	ขุมเห็ดเล็ก	8	ฤดูเดียว	กว้าง	-
18. <i>Stylosanthes hamata</i>	ถั่วสามตา	6	หลายฤดู	กว้าง	-
19. <i>Leucaena leucocephala</i>	กระถิน	1, 3, 4, 5, 7, 8, 10	หลายฤดู	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ^{1, 4)}
20. <i>Mimosa pigra</i>	ไมยราพยักษ์	8	หลายฤดู	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ^{1, 4)}
21. <i>Sesbania javaiica</i> Mig.	โสนอินเดีย	3, 6, 7	ฤดูเดียว	กว้าง	-
22. <i>Crotalaria striata</i>	หิ้งมัน	2, 7, 10	ฤดูเดียว	กว้าง	-
23. <i>Tephrosia purpurea</i>	ครามป่า	2, 7, 10	ฤดูเดียว	กว้าง	-
Labiatae					
24. <i>Hyptis suaveolens</i>	แมงลักคา	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10	ฤดูเดียว	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ¹⁾ , วัชพืชชนิดร้ายแรง ⁴⁾
Malvaceae					
25. <i>Abutilon indicum</i>	ครอบจักรวาล	2, 4	หลายฤดู	กว้าง	-
26. <i>Sida acuta</i>	หญ้าขัดใบยาว	7, 9, 10	หลายฤดู	กว้าง	-
27. <i>Urena lobata</i>	จีครอก	8	หลายฤดู	กว้าง	-
Moraceae					
28. <i>Broussonetia papyrifera</i>	ปอสา	9, 10	หลายฤดู	กว้าง	-

ตารางที่ 1 รายชื่อวัชพืชจากการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดตาก (ต่อ)

ชื่อวงศ์/ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวัชพืช	พื้นที่ ¹	อายุ ²	ใบ ³	การรุกราน/ความรุนแรง ⁴
Nyctaginaceae					
29. <i>Boerhavia diffusa</i>	ผักขมหิน	1, 5	หลายฤดู	กว้าง	-
Poaceae					
30. <i>Phragmites vallatoria</i>	หญ้าแฉม	9	หลายฤดู	แคบ	-
Scrophulariaceae					
31. <i>Scoparia dulcis</i>	กรคน้ำ	8, 9	ฤดูเดียว	กว้าง	-
Solanaceae					
32. <i>Physalis minima</i>	โถงเทง	9	ฤดูเดียว	กว้าง	-
Sterculiaceae					
33. <i>Waltheria Americana</i>	หญ้าห้วนเกล้า	7	หลายฤดู	กว้าง	-
Typhaceae					
34. <i>Typha angustifolia</i>	ธูปฤาษี	2	หลายฤดู	แคบ	วัชพืชชนิดร้ายแรง ⁵
Verbeceae					
35. <i>Lantana camara</i> L.	ผกากรอง	6, 9, 10	หลายฤดู	กว้าง	ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ⁶

หมายเหตุ: ¹พื้นที่ = พื้นที่ทำการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างวัชพืช; 1 = ต.แม่ท้อ, 2 = ต.บ้านน้ำร้อน, 3 = ต.วังหิน, 4 = ต.ไม้งาม, 5 = ต.หนองบัวเหนือ, 6 = ต.ตลุกกลางทุ่ง, 7 = ต.โป่งแดง, 8 = ต.วังประจวบ, 9 = ต.หนองบัวใต้, 10 = ต.ป่ามะม่วง, ²อายุ = จำนวนปีของชีพจักรพืช, ³ใบ = ลักษณะตามสัณฐานวิทยาของใบ, ⁴การรุกราน/ความรุนแรง = การรุกรานของชนิดพันธุ์ต่างถิ่น/วัชพืชชนิดร้ายแรง, ⁵[21], ⁶[22], ⁷[17]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีของวัชพืชที่ได้จากการสุ่มสำรวจและเก็บตัวอย่างบริเวณ อำเภอเมือง จังหวัดตาก

ชื่อสามัญ	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณลิกนิน (%)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (%)	ปริมาณเซลลูโลส (%)	ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี (ลิตร/ตัน)
หญ้าแฉม	5.77±0.54	8.71±0.44	12.75±0.47	21.60±0.30	44.69±0.32	480.41±0.05
ธูปฤาษี	4.51±0.57	8.58±0.61	10.63±0.64	17.66±0.59	42.06±0.15	432.46±5.44
หึ่งเม่น	11.12±0.19	4.33±0.29	11.24±0.58	22.33±0.33	35.90±0.52	422.61±1.37
พญางูขาว	11.18±0.46	11.73±0.50	4.87±0.57	22.11±0.42	33.23±0.33	401.85±0.68
กกสามเหลี่ยมเล็ก	5.99±0.21	7.77±0.35	8.07±0.30	27.05±0.25	27.91±0.21	399.84±3.40
หญ้าขี้ดใบยาว	11.03±0.78	10.99±0.96	9.21±0.87	13.75±0.15	40.82±0.13	394.85±0.18
หญ้าห้วนเกล้า	11.86±0.93	4.66±0.51	6.32±0.63	7.29±0.42	41.49±0.13	352.21±2.15
ผกากรอง	12.22±0.47	8.61±0.58	12.57±0.73	14.45±0.47	33.39±0.13	346.50±2.52
กระถิน	10.79±0.62	9.17±0.35	16.94±0.44	8.08±0.34	38.03±0.28	333.09±0.46
ถั่วสามาด้า	10.20±0.63	7.03±0.36	10.27±0.57	11.85±0.02	30.41±0.35	305.89±2.70
กรคน้ำ	11.07±0.26	11.03±0.22	12.89±0.28	13.72±0.11	27.31±0.18	297.38±2.16

ตารางที่ 2 องค์ประกอบและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีของวัชพืชที่ได้จากการสุ่มสำรวจและเก็บตัวอย่าง
บริเวณ อำเภอเมือง จังหวัดตาก (ต่อ)

ชื่อสามัญ	ปริมาณ ความชื้น (%)	ปริมาณ เถ้า (%)	ปริมาณ ลิกนิน (%)	ปริมาณ เฮมิเซลลูโลส (%)	ปริมาณ เซลลูโลส (%)	ผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎี (ลิตร/ตัน)
ขี้ครอก	11.33±0.65	11.22±0.33	5.19±0.30	11.86±0.14	28.60±0.18	293.01±2.31
ครามป่า	12.22±0.34	7.38±0.37	10.09±0.79	12.95±0.34	27.25±0.33	291.39±4.89
สามเสือ	12.09±0.47	11.00±0.35	9.75±0.62	5.81±0.23	33.04±0.17	280.52±2.94
ต้อยติ่ง	14.87±0.72	19.70±0.65	4.52±0.59	16.20±0.32	20.65±0.21	267.81±3.87
ครอบจักรวาล	11.87±0.87	13.08±0.23	5.87±0.67	11.49±0.43	25.18±0.37	265.64±0.48
ผักขมหิน	11.28±0.45	15.86±0.45	7.74±0.40	13.40±0.24	23.21±0.00	265.60±1.77
ผักขม	12.79±0.29	17.11±0.76	6.84±0.28	17.70±0.08	17.84±0.35	258.70±1.97
โสนอินเดีย	5.78±0.25	8.78±0.49	12.70±0.46	9.80±0.25	25.52±0.01	255.77±1.92
เป่าส้มลูก	11.07±0.44	13.19±0.49	7.16±0.54	6.81±0.03	27.46±0.22	247.73±1.37
ละหุ่ง	14.45±0.33	11.37±0.56	6.99±0.35	5.77±0.23	27.75±0.29	242.16±3.75
ผักเสี้ยนดอก ขาว	12.64±0.45	13.86±0.38	6.54±0.82	7.25±0.60	25.90±0.06	239.67±4.02
กระเพราควาย	12.93±0.25	10.82±0.78	9.03±0.25	6.42±0.40	24.05±0.02	220.28±3.12
โทงเทง	24.18±0.32	22.22±0.57	7.45±0.73	7.70±0.47	22.62±0.43	219.45±0.33
ต้นรักดอกขาว	12.55±0.80	14.08±0.27	8.37±0.77	7.50±0.40	22.26±0.06	215.35±2.51
หอนไก่ไทย	12.86±0.14	9.78±0.18	7.88±0.19	6.80±0.20	22.54±0.45	212.55±4.66
สนับแดง	12.65±0.41	12.71±0.52	12.64±0.52	10.52±0.59	18.48±0.23	210.37±2.64
ไมยราบยักษ์	11.64±0.47	7.06±0.37	8.79±0.57	5.94±0.02	22.54±0.16	205.96±1.22
ชุมเห็ดเล็ก	13.18±0.31	11.41±0.38	6.09±1.26	9.58±0.01	17.80±0.40	198.53±2.80
สามม่วง	10.56±0.28	10.53±0.42	9.15±0.36	7.39±0.40	19.73±0.24	196.37±4.70
ผักขมหนาม	13.23±0.61	17.15±0.74	8.54±0.60	10.79±0.09	16.09±0.06	195.16±0.22
ปอสา	11.63±0.50	17.15±0.32	4.88±0.34	9.33±0.26	16.90±0.23	190.28±3.55
ผักเสี้ยนผี	11.67±0.45	12.35±0.18	9.63±0.29	6.72±0.21	18.23±0.03	180.65±1.71
บอนคัน	16.88±0.71	15.28±0.52	7.86±0.29	6.91±0.46	14.16±0.15	152.65±2.31
หางกระรอก แดง	13.00±0.32	14.93±0.28	7.25±0.55	4.83±0.17	13.41±0.29	131.99±0.84

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย, n=2, ±SD

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chang J., Leung D.Y.C., Wu C.Z. and Yuan Z.H. A review on the energy production, consumption and prospect of renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2003. 7: 453-468.
- [2] Gnansounou E. and Dauriat A. Ethanol fuel from biomass: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2005. 64: 809-821.
- [3] Escobar J.C., Lora E.S., Venturini O.J., Yanez E.E., Castillo E.F. and Almazan O. Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. 13: 1275-1287.
- [4] Seungdo K. and Bruce E.D. Global potential bioethanol production from wasted crops and cropresidues. *Biomass and Bioenergy*. 2004. 26: 361-375.
- [5] Abbasi T. and Abbasi S.A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. 14: 919-937.
- [6] Betts W.B., Dart R.K., Ball A.S. and Pedlar S.L. Biosynthesis and structure of lignocellulose. In: Betts W.B., editor. *Biodegradation: natural and synthetic materials*. Springer, Berlin, Germany. 1991: 139-155.
- [7] Sannigrahi P., Ragauskas A.J. and Tuskan G.A. Poplar as a feedstock for biofuels: A review of compositional characteristics. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2010. 4: 209-226.
- [8] DoKyoung L., Vance N.O., Boe A. and Jeranyama P. *Composition of herbaceous biomass feedstocks*. North Central Sun Grant Center. South Dakota State University. 2007.
- [9] Wang X., Feng H. and Li Z. Pretreatment of switchgrass with electrolyzed water and a two-stagemethod for bioethanol production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2012. 17: 624-633.
- [10] Han M., Choi G., Kim Y. and K B. Bioethanol production by Miscanthus as a lignocellulosic biomass: focus on high efficiency conversion to glucose and ethanol. *Bioresources*. 2011. 6(2): 1939-1953.
- [11] Zhang K., Johnson L. Prasad P.V.V., Pei Z., Yuan W. and Wang D. Comparison of big bluestem with other native grasses: Chemical composition and biofuel yield. *Energy*. 2015. 83: 358-365.
- [12] Bensah E.C., Kadar Z. and Mensah, M.Y. Ethanol production from hydrothermally-treaded biomass from west Africa. *Bioresources*. 2015. 10(4): 6522-6537.

- [13] Cotana F., Cavalaglio G., Pisello A.L., Gelosia M., Ingles D. and Pompili E. Sustainable ethanol production from common reed (*Phragmites australis*) through simultaneous saccharification and fermentation. *Sustainability*. 2015. 7: 12149-12163.
- [14] Sopajarn A. and Sangwichien C. Optimization of enzymatic saccharification of alkali pretreated *Typha angustifolia* for glucose production. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2015. 6(4): 232-236.
- [15] Prasertwasu S., Khumsupan D., Komolwanich T., Chaisuwan T., Luengnaruemitcha A. and Wongkasemjit S. Efficient process for ethanol production from Thai Mission grass (*Pennisetum polystachion*). *Bioresource Technology*. 2014. 163: 152-159.
- [16] Noda K., Teerawatsakul M., Prakongvongs C. and Chaiwiratnukul L. *Project Manual no.1 Major Weeds in Thailand: illustrated by color*. 3rd ed. Bangkok, Bangkok, Thailand. 1994.
- [17] ชัชชัยรัตน์ชเลศ และเจมส์ เอฟ แมกซ์เวล. รายชื่อวัชพืชที่มีรายงานพบในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. 2540.
- [18] Goering H.K. and Soest P.J.V. Forage Fiber Analyses (apparatus, reagent, procedures and some application). In: *Agriculture Handbook No. 379*, United State Department of Agriculture Research Service, Washington, D.C. 1970.
- [19] Premjet S., Pumira B. and Premjet D. Determining the potential of inedible weed biomass for bio-energy and ethanol production. *Bioresources*. 2013. 8(1): 701-716.
- [20] Sousa L.C., Chundawat S.P.S., Balan V. and Dale B.E. 'Cradle-to-grave' assessment of existing lignocelluloses pretreatment technologies. *Current Opinion in Biotechnology*. 2009. 20: 339-347.
- [21] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. *มาตรการป้องกันควบคุมและกำจัดชนิดพันธุ์ต่างถิ่น. บริษัทอินทีเกรเต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด. กรุงเทพมหานคร. 2552.*
- [22] Zungsontiporn S. Global invasive plants in Thailand and its status and a case study of *Hydrocotyle umbellata* L. *Proceedings of International Workshop on Development of Database (APASD) for Biological Invasion*. Taichung, Taiwan. 18-22 September 2006; 1-17.
- [23] Raj K.S., Aarti C., Damani A., Begoor S. and Jayashree D.R. In vitro study on production of bioethanol from *Lantana camara* leaves. *International Journal for Research and Development in Technology*. 2015.3(6): 1-10.
- [24] Ramaraj R. and Unpaprom Y. Optimization of pretreatment condition for ethanol production from *Cyperus difformis* by

- response surface methodology. *3 Biotech.* 2019. 9(218): 1-9.
- [25] Raud M., Tutt M., Olt J. and Kikas T. Effect of lignin content of lignocellulosic material on hydrolysis efficiency. *Agronomy Research.* 2015. 13(2): 405-412.
- [26] Mohammad I.J., Mohammad G.R., Ashfaq A.C. and Nanjappa A. Biofuels production through biomass pyrolysis-A technological review. *Energies.* 2012. 5: 4952-5001.
- [27] Ragab K., Zhongli P., Atungulu G.G., Thompson J.F. and Dongyan S. Size and moisture distribution characteristics of walnuts and their components. *Food and Bioprocess Technology.* 2011. 6 (3): 771-782.
- [28] Gonzalez J.F., Ramiro A., Gonzalez-Garcia C.M., Ganan J., Encinar J.M., Sabio E. and Rubiales J. Pyrolysis of almond shells. Energy applications of fractions. *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 2005. 44: 3003-3012.
- [29] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด. กรุงเทพมหานคร. 2555.
- [30] Adrian K.J., Ronald W.T., Helle S. and Harpuneet S.G. Ash management review- Applications of biomass bottom ash. *Energies.* 2012. 5: 3856-3873.
- [31] Agbor V.B., Cicek N., Sparling R., Berlin A. and Levin D.B. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances.* 2011. 29: 675-685.
- [32] Houghton J., Weatherwax S., and Ferrell J. Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: *A Joint Research Agenda. A research roadmap resulting from the biomass to biofuels workshop sponsored by the U.S. Department of Energy.* Rockville, Maryland. December 7-9 2005; 38-56.
- [33] Ververis C., Georghiou K., Danielidis D., Hatzinikolaou D.G., Santas P., Santas R. and Corleti V. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology.* 2007. 98: 296-301.
- [34] Saha B.C. Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiol and Biotechnology.* 2003. 30: 279-291.
- [35] Yoshida M., Liu Y., Uchida S., Kawarada K., Ukagami Y., Ichinose H., Kaneko S. and Fukuda K. Effects of cellulose crystallinity, hemicellulose and lignin on the enzymatic hydrolysis of *Miscanthus sinensis* to monosaccharides. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry.* 2008. 72(3): 805-810.
- [36] Taherzadeh M.J. and Keikhosro K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *Bioresources.* 2007. 2(3): 472-499.

- [37] กระทรวงพลังงาน. โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์. 2555. (ออนไลน์): แหล่งที่มา : <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/239/>. 2 กุมภาพันธ์ 2560.
- [38] Sun Y. and Cheng J.J. Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production. *Bioresource Technology*. 2005. 96: 1599-1606.
- [39] Isci A., Himmelsbach J.N., Pometto III A.L., Raman D.R. and Anex R.P. Aqueous ammonia soaking of switchgrass followed by simultaneous saccharification and fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2008. 144: 69-77.
- [40] Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q. and Ragauskas A. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels Bioproduct and Biorefining*. 2012. 1-19. DOI: 10.1002/bbb.1353.
- [41] Piscioneri I., Pignatelli V., Palazzo S. and Sharma N. Switchgrass production and establishment in the southern Italy climatic conditions. *Energy Conversion and Management*. 2001. 42: 2071-2082.
- [42] Karp S.G., Woiciechowski A.L., Soccol V.T. and Soccol C.R. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: A review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2013. 56(4): 679-689.
- [43] Sanderson M.A., Adler P.R., Boateng A.A., Casler M.D. and Sarath G. Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. 86: 1315-1325.