รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงค่าพลังงานความร้อนและกระบวนการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุ

Calorific Value and Pellet Production Improvement of Oil Palm Trunk Pretreated by Decay Fungi

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัญญัติ เฉิดฉิ้ม

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2560 รหัสโครงการ SIT600734S

ชื่อ โครงการ/งาน การปรับปรุงค่าพลังงานความร้อนและกระบวนการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุ

ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการ

กระทรวงศึกษาธิการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัญญัติ เฉิดฉิ้ม

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
บทคัดย่อ	2
Abstract	3
1. บทนำ	4
2. วัตถุประสงค์	6
3. การตรวจเอกสาร	6
3.1 ปาล์มน้ำมัน	6
3.2 การผลิตเม็ดพลังงาน	15
3.3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเชื้อราทำลายไม้ (Wood Decay Fungi)	17
3.4 ศักยภาพของปาล์มน้ำมันในอุตสาหกรรม	18
4. วิธีการทดลอง	19
4.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบไม้ปาล์มน้ำมัน	19
4.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนอัดเม็ด	20
4.3 การเตรียมไม้ปาล์มน้ำมันเพื่อการทำ Pretreatment ด้วยเชื้อราผุ	21
4.4 การวิเคราะห์ผลการเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อรา	22
4.5 การวัดองค์ประกอบทางเคมีของไม้ปาล์มน้ำมัน	23

ศูนย์
เลขหมู่ TP339 ...
Bib Key 133120

4.6 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) 23

5. ผลการทดลองและวิจารณ์ 23

6. สรุปผลการทดลอง 39

7. เอกสารอ้างอิง 41

8. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป 42

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงค่าพลังงานความร้อนและกระบวนการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุ ได้รับการอุดหนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภททุน Super Clusters ประจำปีงบประมาณ 2560 สัญญาเลขที่ SIT56000734S ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ไชยประพัทธ์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้คำแนะนำเพื่อวางแผนการเขียนโครงร่างเพื่อขอทุน ขอขอบคุณนางสาววิชุดา ไทยาพงศ์สกุล นายอรรถวุฒิ ศรีสว่าง นางสาวญาดา สุดวรรณ์ นางสาวอุรารัตน์ ศรีสุขโชติ นางสาวกิตติ์ลภัส เผ่าสูง และ นางสาวปาริชาต ระหาร นักศึกษาสาขาวิชาย่อยอุตสาหกรรมไม้ยางพาราและผลิตภัณฑ์ ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย การเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง รวมทั้งหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไม้ ที่ให้ใช้สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ ต่างๆ ในการทำวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีไม้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการทำวิจัยตลอดระยะเวลาโครงการ

บัญญัติ เฉิดฉิ้ม

พฤษภาคม 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของไม้ปาล์มน้ำมันทั้งก่อนและหลังปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว (White Rot) และเชื้อราผุสีน้ำตาล (Brown Rot) เป็นระยะเวลา 1-4 สัปดาห์ซึ่งทำการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ ประกอบไปด้วย ความชื้น (Moisture) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ขี้เถ้า (Ash) ไอระเหย (Volatile matter) คาร์บอนเสถียร (Fixed carbon) ปริมาณธาตุองค์ประกอบ CHNS ของเม็ดพลังงานด้วยเครื่อง CHNS analyzer และศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าค่าความชื้นของเม็ดพลังงานที่ผลิตจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ปรับสภาพมีค่าความชื้น 8 % ส่วนไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุทั้งสองชนิดมีค่าความชื้น 6 % ซึ่งต่ำกว่าไม้ปกติประมาณ 2 % ความหนาแน่นของไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพและไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ปรับสภาพ มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอยู่ที่ 0.8 g/cm^3 ไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพมีปริมาณเถ้า 2-3 % ไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณเถ้า 3-4 % ซึ่งมากกว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพ ไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุทั้งสองชนิดมีค่าปริมาณไอระเหย 77-80 % ซึ่งมีค่ามากกว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพที่มีค่าปริมาณไอระเหย 76-77 % ไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพมีปริมาณคาร์บอนเสถียร 10 % ไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ปรับสภาพมีปริมาณคาร์บอนเสถียร 7-9 % จากการศึกษาค่า C ,H ,N ,S ในไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพมีค่า C อยู่ที่ 39.45 – 44.15 % ค่า H 5.75-6.31 % ค่า N 0.26-0.47 % และค่า S 0.06-0.15 % ไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรามีค่า C อยู่ที่ 42.00-43.92 % ค่า H อยู่ที่ 5.80 % ค่า N อยู่ที่ 0.37-0.54 % และพบว่าค่า N และ S ในไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพต่ำกว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อตรวจสอบลักษณะสัณฐานทางวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพพบการเข้าทำลายสารประกอบของเซลล์ในไม้ทำให้น้ำหนักของไม้ลดลงเล็กน้อยซึ่งพบการสูญเสียมวลมากที่สุดประมาณ 10 % และเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพพบว่าบริเวณผิวหน้าเรียบและอัดแน่นไม่พบช่องว่างระหว่างอนุภาค เมื่อเทียบกับไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันส่วนโคนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.9 mg/ml น้ำเลี้ยงส่วนกลางมีปริมาณสูงสุดอยู่ที่ 0.4 mg/ml และในไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออกในส่วนโคน 2.5 mg/ml ส่วนกลาง 2.4 mg/ml และส่วนปลาย 1.7 mg/ml หลังจากปรับสภาพไม้ด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณแป้งลดลงตามระยะเวลาที่ปรับสภาพในการปรับสภาพด้วย *T. versicolor* โดยเฉลี่ย 1 สัปดาห์อยู่ที่ 3.3 mg/ml 2 สัปดาห์ 2.1 mg/ml 3 สัปดาห์ 1.7 mg/ml และ 4 สัปดาห์ 1.1 mg/ml ส่วนการปรับสภาพด้วย *G. straintum* โดยเฉลี่ย 1 สัปดาห์ มีค่า 2.8 mg/ml 2 สัปดาห์ 2.7 mg/ml 3 สัปดาห์ 2.2 mg/ml และ 4 สัปดาห์ 1.8 mg/ml และจากการศึกษาปริมาณน้ำตาลพบว่าในไม้ปาล์มน้ำมันส่วนกลางมีค่าสูงสุดที่ 49.1 mg/ml ในน้ำเลี้ยงมีปริมาณน้ำตาลจากส่วนโคนสูงสุดที่ 379.8 mg/ml และในไม้ปาล์มที่บีบน้ำเลี้ยงออกในส่วนปลายมีค่า 41.3 mg/ml ส่วนกลาง 39.2 mg/ml และส่วนโคน 31.1 mg/ml สำหรับไม้ปาล์มน้ำมันหลังจากปรับสภาพด้วย *T. versicolor* ที่ 1 สัปดาห์มีปริมาณน้ำตาลลดลงจาก 116.5 mg/ml ที่3สัปดาห์ 74.4 mg/ml 2 สัปดาห์ 72.2 mg/ml และ4 สัปดาห์ 60.6 mg/ml ส่วนการปรับสภาพด้วย *G. straintum* ลดลงจาก 1 สัปดาห์ 105.8 mg/ml 4 สัปดาห์ 86.6 mg/ml 3 สัปดาห์ 80.4 mg/ml และ 2 สัปดาห์ 58.8 mg/ml และการวิเคราะห์ผลการทำลายไม้ด้วยเชื้อราผุ พบว่าการเข้าทำลายไม้ปาล์มน้ำมันส่วนปลายด้วย *T. versicolor* และ *G. straintum* ที่ 3 สัปดาห์ มีค่า 20.96 % และ 23.45 % ตามลำดับ

Abstract

This research study on the fundamental property of oil palm trunk (OPT) prior and after decay fungal; white rot and brown rot pretreatment for 1 to 4 weeks of incubation. The study was analyzed moisture content, specific gravity, ash content, volatile matter, fixed carbon, C H N S by CHNS analyzer, and study of morphology by scanning electron microscope. The results on moisture content of untreated OPT is about 8%, decay fungal pretreatment of OPT was decreased about 2% comparing to untreated. The density of treated OPT and untreated OPT is no difference about 0.8 g/cm^3. Treated OPT was earned the ash content about 2-3% that lower that untreated OPT of about 3-4 %. Treated OPT was earned the volatile matter of 77-80 % that higher than untreated OPT of 76-77 %. The fixed carbon of treated OPT was earned about 10% in comparable to untreated OPT of 7-9%. The C, H, N, S of treated OPT was earned of 39.45-44.15 %, 5.75-6.31 %, 0.26-0.47 %, and 0.067-0.15 %, respectively. The untreated OPT was earned of C, H, N about 42-43 %, 5.80 %, and 0.3-0.54 %, respectively. From this results found that N and S content in treated OPT is lower than untreated. The Scanning Electron Microscope; SEM was observed on treated OPT and found that the fungal mycelium were penetrated into the wood cells and caused on wood mass then appeared on loss of mass. Treated OPT was loss in mass less than 10%. The treated OPT pellet surface was appeared on smoothly and dense; no spaces between the particles comparing to that untreated OPT. The starch content in bottom of OPT was highest of 3.9 mg/ml, oil palm sap from middle of trunk was obtained about 0.4 mg/ml. The bottom of trunk of OPT without sap (removed sap out) was earned highest of 2.5 mg/ml. Treated OPT with decay fungi in 1, 2, 3 and 4 weeks is decreased weekly of starch content by *T. versicolor* (3.3 mg/ml, 2.1 mg/ml, 1.7 mg/ml and 1.1 mg/ml, respectively) and by *G. straintum* 2.8 mg/ml, 2.7 mg/ml, 2.2 mg/ml and 1.8 mg/ml, respectively. Sugar content in OPT was obtained highest in middle of trunk of 49.1 mg/ml. Oil palm sap from bottom of trunk was obtained highest sugar content of 379.8 mg/ml. In the OPT without sap of top of trunk was obtained 41.3 mg/ml, middle of trunk of 39.2 mg/ml and bottom of trunk of 31.1 mg/ml. Treated OPT with *T. versicolor* and *G. straintum* for 1 week was obtained highest of 116.5 mg/ml and 1 week with *G. straintum* was highest of 105.8 mg/ml. The most seriously was obtained from the top of trunk that caused by *T. versicolor* and *G. straintum* was appeared within 3 weeks of mass loss of 20.96% and 23.45%, respectively.

1. บทนำ

จากผลกระทบของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตจากฟอสซิลมีราคาสูงขึ้น และมีปริมาณลดลงจนไม่เพียงพอเพื่อนำมาใช้ในการขับเคลื่อนภาคส่วนต่าง ๆ ของการพัฒนาประเทศได้ การใช้พลังงานทดแทน จึงเป็นหนทางหนึ่งที่ช่วยให้ประเทศไทยมีความมั่นคงทางพลังงาน พลังงานทดแทนที่สามารถสร้างหรือผลิตได้จากพืช จึงเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถสร้างได้อย่างไม่จำกัด เพราะมนุษย์สามารถเพาะปลูกพืชทดแทนได้ตลอดเวลา ปาล์มน้ำมันเป็นพืชพลังงานทดแทนที่มีการใช้ประโยชน์จากผลผลิตน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำมันดีเซล ขณะที่วัสดุเศษเหลือชนิดอื่นๆ เช่น ทะลายเปล่า หรือเศษกะลา มีการใช้ในการเผาไหม้เพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าเท่านั้น และยังมีวัสดุเศษเหลือจากปาล์มน้ำมันอีกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมหาศาล และยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เริ่มมีวัสดุดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น และมีมากอย่างต่อเนื่อง นั่นคือต้นปาล์มน้ำมันที่หมดอายุการให้ผลผลิต องค์ประกอบหลักทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังนั้นต้นปาล์มน้ำมัน จึงเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนได้หลายชนิด เช่นก๊าซชีวภาพ และเอทานอล รวมถึงเม็ดพลังงาน (Wood pellet) พลังงานทดแทนดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนได้โดยตรง การใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม และยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนได้อีกด้วย กระบวนการผลิตเม็ดพลังงานจากต้นปาล์มน้ำมัน จึงเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญที่ช่วยให้ระบบพลังงานของประเทศไทยมีความมั่นคงมากขึ้น ทั้งนี้ กระบวนการดังกล่าว ต้องดำเนินงานภายใต้แนวความคิดที่ว่า ขนาดระบบผลิตที่เหมาะสม ขนาดและลักษณะวัตถุดิบที่เหมาะสม ระยะเวลาและส่วนประกอบเสริมสำหรับการอัดเม็ดพลังงานที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เม็ดพลังงานที่มีค่าความร้อน (Calorific value) มากที่สุด มีค่าความเป็นเถ้า (Ash value) ต่ำที่สุด เป็นต้น เพื่อให้กระบวนการศึกษาเรื่องการผลิตเม็ดพลังงานจากต้นปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราทำลายไม้นี้ประสบผลสำเร็จ จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยระบบตั้งแต่กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้วิธีทางชีวภาพ และกระบวนการการผลิตเพื่อปรับปรุงไม้ปาล์มน้ำมันให้มีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มค่าพลังงานความร้อน ซึ่งในธรรมชาติไม้ปาล์มน้ำมันมีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีข้อด้อยในการนำมาผลิตเป็นเม็ดพลังงาน คือมีค่าความชื้นในลำต้นที่สูงกว่าไม้โดยทั่วไป ซึ่งในการพัฒนากระบวนการผลิตจะลดข้อด้วยดังกล่าวของไม้ปาล์มน้ำมันให้หมดไป หากโครงการนี้ได้ดำเนินการจะเป็นตัวอย่างการเพิ่มมูลค่าให้กับต้นปาล์มน้ำมันที่ปัจจุบันเกษตรกรต้องจ่ายค่ากำจัดต้นปาล์มในสวนถึงประมาณ 150-200 บาทต่อต้น เพื่อปลูกทดแทน และช่วยให้ระบบการสร้างพลังงานทดแทนของประเทศไทย ประสบผลสำเร็จอย่างยั่งยืน ต่อไป

ไม้ปาล์มน้ำมันถือเป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่ที่เพียงพอในการสนับสนุนกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ ซึ่งภาคใต้ของประเทศไทยถือว่าเป็นภูมิภาคที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด ด้วยสภาวะความต้องการในการบริโภคปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นและนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นฐานในการพัฒนาโครงสร้างขั้นพื้นฐาน เมื่อพิจารณาจากพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันของทั้งประเทศจะมีเศษเหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมัน เช่น ทางใบ กะลาปาล์ม ทลายปาล์ม หรือต้นปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดโค่นเมื่อไม่สามารถให้ผลผลิตผลปาล์มได้ในปริมาณมหาศาล ซึ่งการจัดการของเกษตรกรในปัจจุบัน คือ

ล้มต้นปาล์ม ตัดให้เป็นแผ่นบางๆ แล้วปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ หรือเผาทิ้ง หรือใช้สารเคมีเพื่อให้ต้นปาล์มตายยืนต้น ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างไร้ค่า และไม่เกิดประโยชน์ ปัจจุบันนักวิจัยพยายามนำไม้ปาล์มมาผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบของถ่านเชื้อเพลิง หรือไม้แปรรูป เช่น Particleboard, plywood, wood base panel และ fiberboard แต่ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่น วัสดุเศษเหลือจากปาล์มน้ำมันจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นเม็ดพลังงานจากไม้ (รัตนา ชูหว่าง, 2555) ดังนั้นเมื่อรัฐบาลมีนโยบายให้เพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มเพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงภาคขนส่ง จึงเป็นเหตุผลทำให้มีเศษเหลือจากการผลิตน้ำมันปาล์มในปริมาณมาก เช่นต้นปาล์มน้ำมัน ที่มีปริมาณในการทำลายทิ้งหลายตันในแต่ละวัน ดังนั้นจึงควรที่จะสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากต้นปาล์มเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม และหุงต้มในครัวเรือน ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และส่งผลให้ระบบการบริหารพลังงานของประเทศไทยมีความยั่งยืนต่อไป

เม็ดพลังงาน เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ทำจากไม้ โดยทั่วไปจะผลิตจากขี้เลื่อยหรือเศษวัสดุจากการผลิตไม้แปรรูป หรือเศษไม้ที่เหลือใช้จากโรงงานผลิตไม้แปรรูป ฟางข้าว ข้าวโพด แกลบ และยังรวมถึงไม้จากการโค่นต้นไม้ที่ไม่จำเป็นหรือยืนต้นตาย เป็นต้น เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีการผลิตในหลากหลายรูปแบบและยังมีคุณภาพสินค้าที่หลากหลายขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ ทั้งที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีความหนาแน่นสูงจากกระบวนการผลิตและจากกระบวนการให้ความร้อนสูง ทำให้มีความชื้นต่ำ (ต่ำกว่า ร้อยละ 10) ซึ่งช่วยให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด สามารถที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูง นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดยังมีข้อดีต่างๆ อีกมากมาย เช่น สะดวกในการขนส่งและประหยัดค่าขนส่งเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นสามารถความคุมปริมาณการใช้ได้ง่ายเพราะมีขนาดที่เท่าๆ กัน มีขี้เถ้าน้อยกว่าชีวมวลประเภทอื่น ให้ความร้อนมากกว่าชีวมวลประเภทอื่น เป็นต้น และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า เมื่อนำไม้ปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลมาทำเป็นเม็ดพลังงานและหาค่าพลังงานของเม็ดพลังงานที่ผลิตพบว่า ค่าพลังงานที่ได้มีค่าพลังงานความร้อนมากกว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยเชื้อราและมีค่าพลังงานใกล้เคียงกับเม็ดพลังงานที่ผลิตจากไม้ยางพารา ดังนั้นจึงมีการคิดโครงการวิจัยเพื่อทำการทดลองต่อไปโดยการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว คือ *Trametes versicolore* และปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล คือ *Gloeophyllum straintum* และเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราแต่ละชนิด และร่วมงานกับโรงงานผลิตเชื้อเพลิงจากชีวมวลไม้เพื่อผลิตเครื่องต้นแบบในการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ (1) ระบบปรับสภาพชิ้นไม้ปาล์มด้วยเชื้อราผุ (Decay fungi pretreatment chamber) (2) เครื่องบดไม้ปาล์มน้ำมัน (High-speed grinder) และ (3) เครื่องอัดเม็ดพลังงาน (Pelletizing machine) การทดสอบเม็ดพลังงานจะทำการทดสอบค่า heating value, specific density, moisture content, volatile matter, ash content และ fixed carbon เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเม็ดพลังงานจากไม้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงค่าความร้อนของเม็ดพลังงานที่ผลิตจากไม้ปาล์มน้ำมัน
2. เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมัน
3. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนจากเม็ดพลังงานที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเชื้อราผุสีขาวและราผุสีน้ำตาลของไม้ปาล์มน้ำมัน

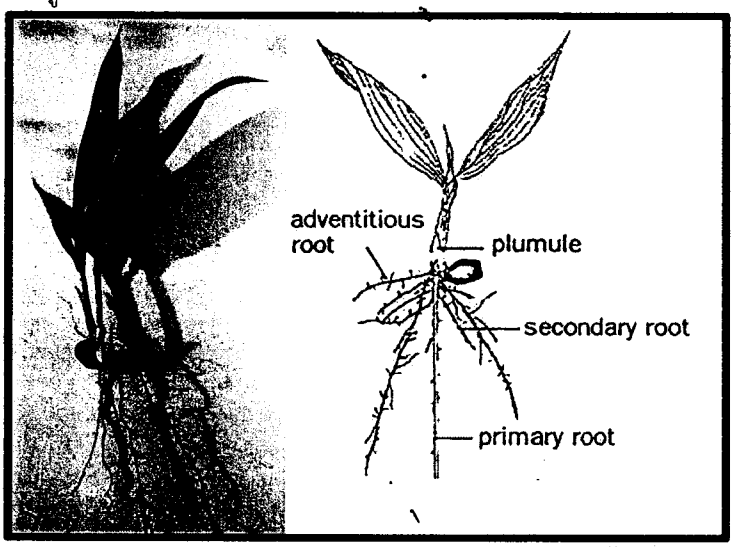
3. การตรวจเอกสาร

3.1 ปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวที่จัดอยู่ในวงศ์ Palmae คลาส Angiospermae มีดอกเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกันแต่มีช่วงเวลาของการออกดอกไม่พร้อมกันการติดผลของปาล์มน้ำมันจึงต้องอาศัยการผสมเกสรตัวผู้จากต้นอื่น โดยส่วนประกอบของต้นปาล์มน้ำมันได้แก่

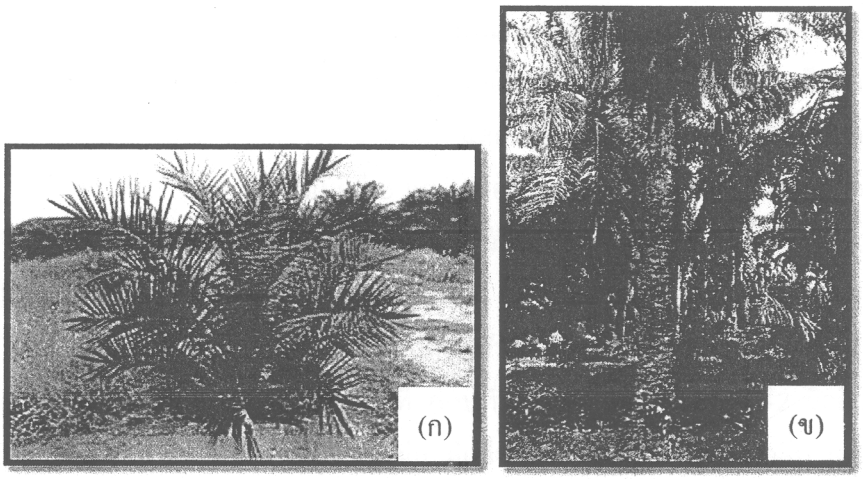
1) ราก ปาล์มน้ำมันเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) โดยรากอ่อนจะงอกออกจากเมล็ดเป็นอันดับแรก (รูปที่ 1) เมื่อต้นกล้าอายุได้ประมาณ 2-4 เดือน รากอ่อนจะหยุดเจริญเติบโตและกลายเป็นระบบรากจริงที่จะงอกออกจากส่วนฐานของลำต้น ต้นปาล์มน้ำมันที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีระบบรากที่สานกันอย่างหนาแน่นอยู่บริเวณผิวดินลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร



รูปที่ 1 ลักษณะและองค์ประกอบของรากของปาล์มน้ำมัน

ที่มา: เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541

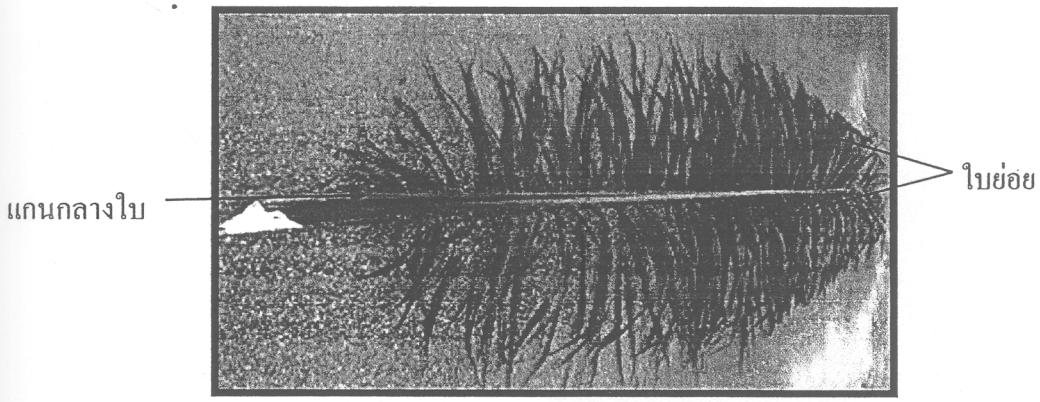
2) ลำต้น ปาล์มน้ำมันมีขนาดลำต้นประมาณ 30-50 เซนติเมตร เมื่อมีอายุประมาณ 1-3 ปี (รูปที่ 2 ก) ลำต้นของปาล์มน้ำมันจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้นโคนกาบใบจะหลุดร่วง (รูปที่ 2 ข) ลำต้นของปาล์มน้ำมันสูง 15-18 เมตร ส่วนโคนมีลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำ เรียกว่า bole ส่วนลำต้นเหนือดินเป็นทรงกระบอก เรียกว่า trunk ผิวของลำต้นคล้ายต้นตาล



รูปที่ 2 ต้นปาล์มน้ำมัน (ก) อายุ 3 ปี (ข) อายุ 20-25 ปี

ที่มา: เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541

3) ใบ ปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) มีส่วนของทางใบ (leaf stalk) ที่ประกอบด้วย แกนกลางใบ (rachis) ที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง และก้านใบ (petiole) ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรก และมีหนามสั้นๆ อยู่ทั้ง 2 ข้าง แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือหนามที่เกิดจากส่วนฐานของเส้นใยของกาบใบ (fiber spine) และหนามที่เกิดจากเส้นกลางใบของใบย่อย (midrib spine) แต่ละทางมีใบย่อย 100-160 คู่ แต่ละใบย่อยยาว 100-120 เซนติเมตร กว้าง 4-6 เซนติเมตร แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแกนกลาง และส่วนก้านทางใบ (รูปที่ 3)

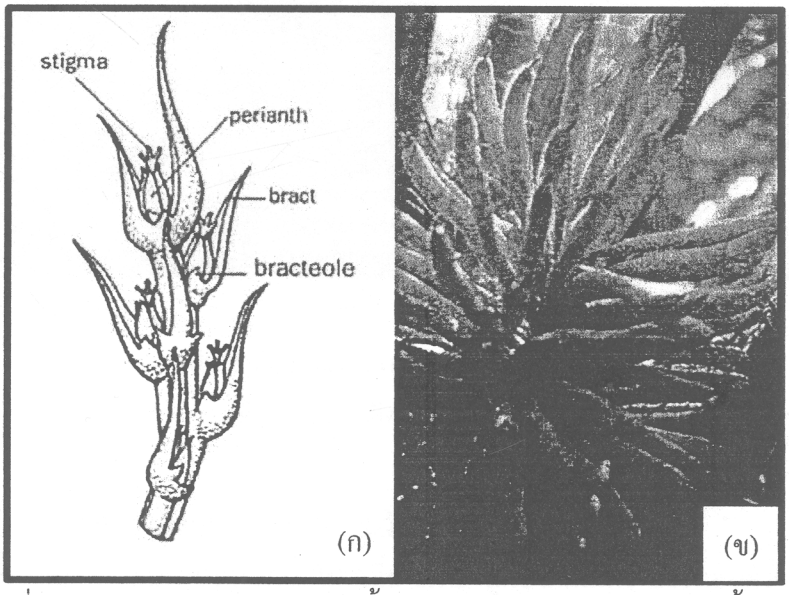


รูปที่ 3 ลักษณะใบของปาล์มน้ำมัน

ที่มา: เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541

4) ช่อดอกและดอก ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้ามดอกโดยมีดอกเพศเมียและดอกเพศผู้แยกช่อภายในต้นเดียวกัน (monoecious) ที่ตำแหน่งของทางใบมีตาดอก 1 ตา อาจจะพัฒนาเป็นช่อดอกเพศผู้หรือเพศเมีย บางครั้งจะพบว่ามีช่อดอกกะเทยซึ่งมีทั้งดอกเพศผู้และเพศเมียอยู่รวมกัน (hermaphrodite) การบานของดอกปาล์มน้ำมันแต่ละดอกไม่พร้อมกัน การพัฒนาจากระยะตาดอกจนถึงดอกบานพร้อมที่จะรับการผสม (anthesis) ใช้เวลาประมาณ 33-34 วัน การเปลี่ยนเพศของตาดอก (sex differentiation) จะ

เกิดขึ้นในช่วง 20 วัน ก่อนดอกบาน ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ช่อดอกจะพัฒนาเป็นช่อดอกเพศเมียเป็นส่วนใหญ่ หลังจากการผสมเกสร 5-6 วัน ช่อดอกตัวเมียจะพัฒนาไปเป็นทะลาย ดอกตัวเมียมีกาบหุ้ม (bract) เจริญเป็นหนามยาว 1 อัน กาบรอง (bractiole) 2 แผ่น และมีกลีบดอก (perianth) 2 ชั้น ชั้นละ 3 กลีบ ในรูปที่ 4 ก. ห่อหุ้มรังไข่ 3 พูไว้ ยอดเกสรตัวเมียมี 3 แฉก เมื่อดอกบานแฉกนี้จะโค้งเปิดออก วันแรกกลีบดอกเป็นสีขาว (รูปที่ 4 ข) ตรงกลางมีต่อมผลิตของเหลวเหนียว วันต่อมาเปลี่ยนเป็นสีชมพู วันที่ 2-3 ของการบานของดอกจะเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผสมพันธุ์ หลังจากผสมเกสรแล้ว ยอดเกสรตัวเมียจะเปลี่ยนเป็นสีดำและแข็ง ปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่แล้วช่อดอกตัวเมียมีช่อดอกย่อย ประมาณ 110 ช่อ และมีดอกตัวเมียประมาณ 4,000 ดอก ดอกตัวผู้ที่เจริญเต็มที่ ก่อนที่จะบานมีขนาดกว้าง 1.5-2 มิลลิเมตร ยาว 3-4 มิลลิเมตร ถูกห่อหุ้มด้วยกาบหุ้มรูปสามเหลี่ยม1 แผ่น มีกลีบดอก 2 ชั้น ชั้นละ 3 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 6 อัน รวมกันอยู่เป็นท่อตรงกลางดอก อับเกสรตัวผู้มี 2 พู ละอองเกสรจะหลุดจากช่อดอกทั้งหมดภายในเวลา 3 วัน ถ้าอากาศชื้นจะใช้เวลามากขึ้น ละอองเกสรจะมีชีวิตอยู่ได้ 7 วัน แต่หลังจากวันที่ 4 ความมีชีวิตจะต่ำลง เมื่อดอกเจริญเต็มที่ช่อดอกย่อยตัวผู้มีขนาดยาว 10-20 เซนติเมตร หนา 0.8-1.5 เซนติเมตร มีลักษณะคล้ายนิ้วมือ ต้นปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่ช่อดอกตัวผู้ 1 ดอก ให้ละอองเกสรมีน้ำหนักประมาณ 30-50 กรัม



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของดอกปาล์มน้ำมัน (ก) และลักษณะดอกปาล์มน้ำมัน (ข)
ที่มา: เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541

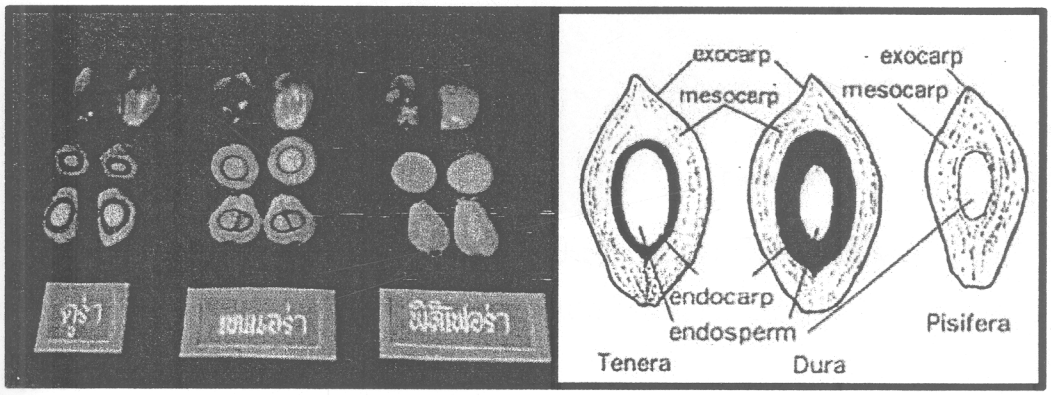
5) ผลและเมล็ด ผลปาล์มน้ำมันไม่มีก้านผล รูปร่างมีหลายแบบ ตั้งแต่รูปเรียวแหลมจนถึงรูปไข่หรือรูปยาวรี (รูปที่ 5) ความยาวผลอยู่ระหว่าง 2-5 เซนติเมตร น้ำหนักผลมีตั้งแต่ 3 กรัม จนถึงประมาณ 30 กรัม ประกอบด้วย ผิวเปลือกนอก กะลาและเนื้อใน ชั้นเปลือกนอกเป็นเนื้อเยื่อเส้นใย เมื่อสุกจะมีสีส้มแดง

และมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเพื่อการค้าโดยทั่วไปมีลักษณะของผลต่างกันตามยีนควบคุมความหนาของกะลา 1 คู่ (single gene) สามารถจำแนกลักษณะผล (fruit type) ได้ 3 แบบ ดังนี้

ก. ดูร่า (dura) มีกะลาหนา 2-8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบางคิดเป็นร้อยละ 35-60 ของน้ำหนักผล

ข. เทเนอร่า (tenera) มีกะลาบาง ตั้งแต่ 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกมากคิดเป็นร้อยละ 60-90 ของน้ำหนักผล ลักษณะเทเนอร่า เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมกันระหว่างลักษณะดูร่ากับพิสิเฟอร่า

ค. พิสิเฟอร่า (pisifera) เป็นผลที่ไม่มีกะลาหรือมีกะลาบาง แต่มีข้อเสีย คือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตทะลายต่ำจึงไม่นิยมปลูกเพื่อการค้า



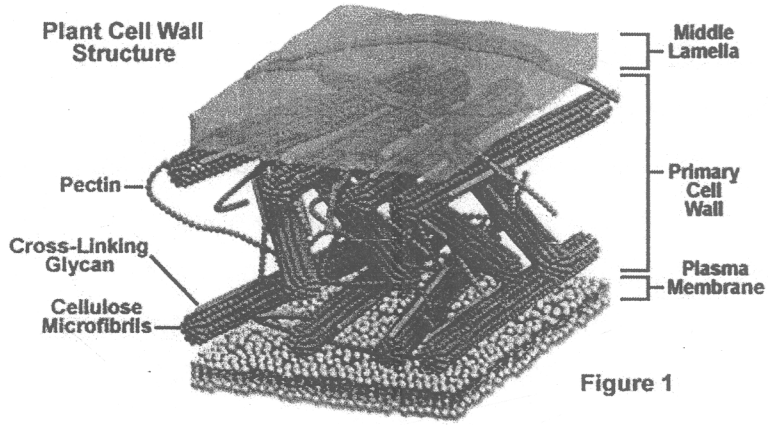
รูปที่ 5 ลักษณะผลและเมล็ดของปาล์มน้ำมัน
ที่มา: เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, 2541

ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ปาล์มน้ำมัน

ต้นปาล์มน้ำมัน 1 ต้นให้ปริมาณเนื้อไม้เฉลี่ย 1.72 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ 2 ชนิด ได้แก่ กลุ่มเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียง (vascular bundle) และกลุ่มเซลล์พาเรนคิมา (parenchyma) ซึ่งกลุ่มเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียงของไม้ปาล์มน้ำมันจะมีการกระจายตัวกันแบบลดหลั่นจากเปลือกเข้าสู่ใจกลางลำต้น อยู่ในกลุ่มเซลล์พาเรนคิมาทำให้ความหนาแน่นของไม้ปาล์มน้ำมันบริเวณใกล้เปลือกสูงกว่าบริเวณใจกลางลำต้นและลดลงเล็กน้อยจากโคนถึงปลาย อีกทั้งยังมีน้ำตาลอิสระที่กระจายอยู่ตลอดทั้งลำต้นมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 81.9 (รัตนา ชูหว่าง, 2554)

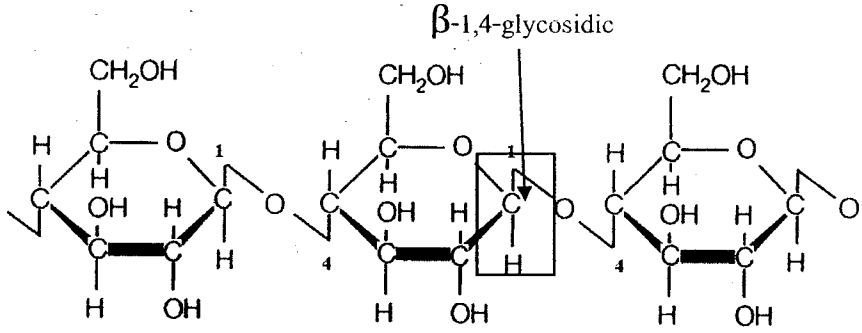
องค์ประกอบทางเคมีของไม้ปาล์มน้ำมัน

ไม้ปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส (รูปที่ 6) ชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน อีกทั้งยังมีองค์ประกอบรองเรียกว่า สารแทรก ซึ่งรวมพวกเรซิน (resin) แทนนิน (tannin) น้ำตาลอิสระ แป้งและสารอื่นๆ อยู่ด้วย และสารแทรกนี้เองที่ทำให้สมบัติบางประการของไม้เช่น สี กลิ่น รส รวมถึงการต้านทานศัตรูทำลายไม้ต่างกัน โดยทั่วไปไม้ปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 48 โฮโลเซลลูโลสประมาณร้อยละ 78 และลิกนินประมาณร้อยละ 18 และมีแป้งซึ่งอยู่ในกลุ่มเซลล์พาเรนคิมาร้อยละ 55 และอยู่ในกลุ่มเซลล์เส้นใยและท่อลำเลียงไม่เกินร้อยละ 3 (รัตนา ชูหว่าง, 2554)



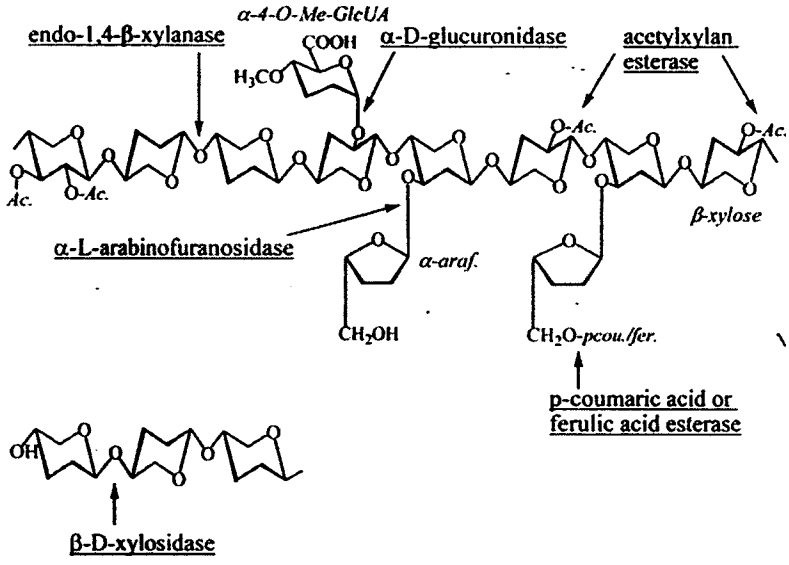
รูปที่ 6 โครงสร้างผนังเซลล์พืชที่มีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลสและแพกติน
ที่มา: http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html

เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างเป็นผลึก (crystalline) ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) ซึ่งเป็นน้ำตาลหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบเอทานอล (Mood *et al.*, 2013) เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวดังรูปที่ 7 ด้วยพันธะ β-1,4-glycosidic และมีการเชื่อมต่อระหว่างสายของเซลลูโลสด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นเส้นใย พบได้ในผนังเซลล์พืช รวมอยู่กับเฮมิเซลลูโลสและแพกติน (รูปที่ 6) ช่วยให้ความแข็งแรง ซึ่งเซลลูโลสละลายน้ำได้น้อย การย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสสามารถใช้วิธีทางเคมีโดยการใช้กรดในการตัดพันธะ หรือการใช้ตัวเร่งทางชีวภาพ (enzyme) อย่างเซลลูเลส (cellulase) ในการตัดพันธะได้ (Food network solution, 2015)



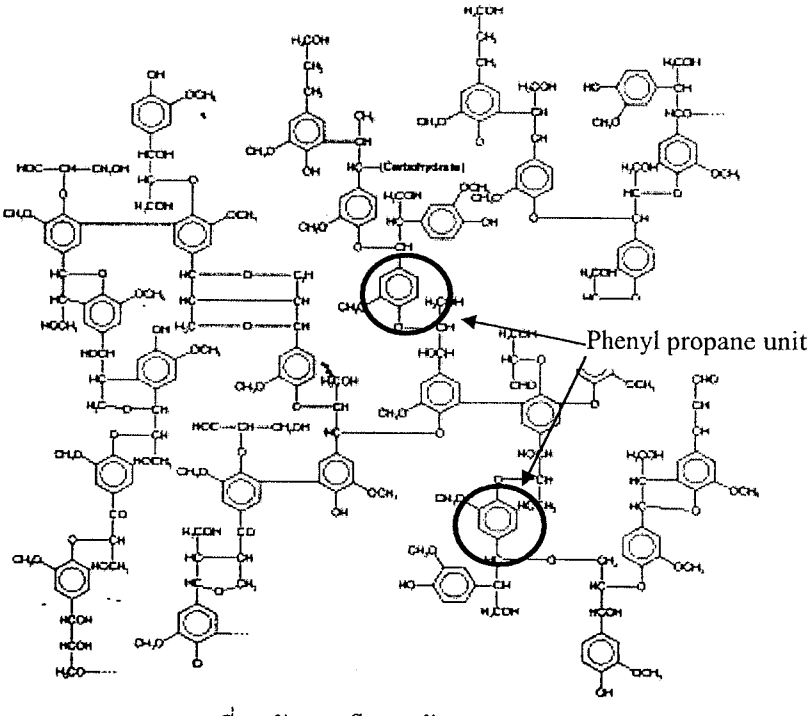
รูปที่ 7 การเชื่อมต่อโมเลกุลของกลูโคสในสายเซลลูโลสด้วยพันธะ β-1,4-glycosidic

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาล 5 คาร์บอนอะตอม และ 6 คาร์บอนอะตอม ต่อกันเป็นพอลิเมอร์สายสั้นและแตกกิ่งแขนงขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลแพนโตส (pentose) ต่อกันด้วยพันธะ β-D-xylose α-L-arabinose น้ำตาลแฮกโซส (hexose) ต่อกันด้วยพันธะ β-D-mannose β-D-glucose α-D-galactose ลักษณะโครงสร้างแบบอสัญฐาน (amorphous) มีความแข็งแรงต่ำว่าเซลลูโลส เมื่อเชื่อมต่อกับเซลลูโลสทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่สามารถย่อยสลายได้โดยใช้กรด เบส หรือเอนไซม์ (รูปที่ 8) การนำน้ำตาลในเฮมิเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไบเอทานอลจึงต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอทานอลโดยมีน้ำตาล 5 คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโต (Mood *et al.*, 2013)



รูปที่ 8 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและตำแหน่งการเข้าทำลายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ
ที่มา: Collins (2005)

ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีฟีนิลโพรเพน (phenylpropane; C_6-C_3) 3 หน่วยย่อย ประกอบกันได้แก่ พาราโควมาริลแอลกอฮอล์ (p-coumaryl alcohol) โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์ (coniferyl alcohol) และไซนิพริลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) ซึ่งจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (esther) มากกว่าสองพันธะ (รูปที่ 9) อีกทั้งยังมีพันธะเดี่ยวระหว่างอะตอมของคาร์บอนเชื่อมระหว่างโมเลกุลของสารประกอบภายในทำให้ลิกนินมีความเสถียรสูง สามารถย่อยสลายลิกนินได้โดยใช้กรดและเบส หรือการตัดพันธะเอสเทอร์ด้วยโมเลกุลของน้ำ ในธรรมชาติลิกนินจะช่วยห่อหุ้มป้องกันเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจากศัตรูทำลายไม้เนื่องจากลิกนินจะมีความเป็นพิษกับศัตรูทำลายไม้ อีกทั้งยังเป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงของผลึกลิกโนเซลลูโลส ดังนั้นจึงต้องทำการปรับสภาพไม้เพื่อลดปริมาณลิกนินก่อนการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นกลูโคส (Singh *et al.*, 2014)



รูปที่ 9 ลักษณะโครงสร้างของลิกนิน

ที่มา: Sjöström (1993)

สารแทรก (extractive) คือสารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ไม้ มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเป็นกลาง (สำหรับสารแทรกแบ่งเป็นสารที่สามารถละลายในน้ำร้อยละ 10.36 และละลายได้ในสารละลายรวมร้อยละ 23.24) เช่น สารไอโซพรีน เทอร์ฟีน เฮตเตอโรไซคลิก กรดเรซิน สารโพลีฟีนอลต่างๆ และอัลคาลอยด์ เป็นต้น เป็นสารประกอบที่เป็นสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด สารประกอบเหล่านี้จะทำให้ไม้แต่ละชนิดมีสี กลิ่น รสและความแข็งที่แตกต่างกัน สารแทรกมีประมาณร้อยละ 5-30 โดยมวล ซึ่งรวมไปถึงสารส่วนน้อย (Minor constituent) เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า ได้แก่ สารประกอบแคลเซียม โปแทสเซียม ฟอสเฟสและซิลิกา เป็นต้น สารพวกนี้มีประมาณร้อยละ 0.1-3 โดยมวล (Cherdchim, 2010) จากรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2553) ได้ทำการศึกษาน้ำคั้นจากน้ำเลี้ยง (sap) ลำต้นปาล์มน้ำมัน พบว่ามีน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ

ได้แก่ กลูโคส ซูโครส อะราบิโนส เป็นต้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธีฟีนอล-ซัลฟูริก (phenol-sulfuric method) ได้ 43.19 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลชนิดต่างๆ ในน้ำคั้นลำต้นปาล์มน้ำมัน

Sugar	Concentration (g/l)
Sucrose	9.30±1.94
Glucose	16.06±1.45
Xylose	7.48±0.40
Arabinose	7.29±0.33
Sucrose + Glucose + Xylose + Arabinose	40.13±4.12
Total sugar	43.19±3.32

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2553

องค์ประกอบทางเคมีของไม้ปาล์มในรูปของ Soluble sugar จะอยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครส ตามด้วยกลูโคสและฟรุคโตส แป้ง น้ำตาลพวกโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของกลูโคส กับไซโลสและฟรุคโตสบางชนิด ปริมาณของน้ำตาลที่พบยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งความสูงของลำต้น อายุ หรืออื่นๆ ในไม้ปาล์มอายุ 10 ปี พบว่ามีความสัมพันธ์ของปริมาณชีวมวลมากที่สุดเทียบกับทางใบอยู่ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง จากข้อมูลดังกล่าว ไม้ปาล์มจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่ที่ผลิตชีวมวลหรือ soluble sugar จากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากต้นปาล์มที่มีอายุต่างกันและระดับความสูงของลำต้นต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อต้นปาล์มอายุมากขึ้นจนถึงแปดปี ขณะที่แป้งและน้ำตาลโพลีแซคคาไรด์สูงสุดเมื่อปาล์มโตเต็มที่ และปริมาณน้ำตาลดังกล่าวจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณ free sugar เพิ่มขึ้นถึง 82% ตามอายุของต้นปาล์มจนถึงแปดปี ซึ่งความสัมพันธ์ตามความสูงยังพบว่าปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับ 4.6 เมตรพบปริมาณ soluble sugar สูงสุด 285 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของไม้ ขณะที่ความสูง 1.6 เมตรพบ soluble sugar เพียงแค่ 137 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของไม้ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลอิสระ แป้งและน้ำตาลโพลีแซคคาไรด์มีค่าแตกต่างกันตามตำแหน่งในเนื้อไม้แต่พบว่ามีปริมาณมากที่สุดตรงบริเวณความสูงกึ่งกลางของลำต้น ถ้าพิจารณาในแนวรัศมีของลำต้นพบว่ากึ่งกลางของลำต้นพบน้ำตาลอิสระ และ soluble sugar มากที่สุด และมีปริมาณน้อยลงจนถึงเปลือกนอกซึ่งแตกต่างกับแป้งและโพลีแซคคาไรด์ที่เพิ่มขึ้น สามารถพูดได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันตามอายุหรือปัจจัยอื่นๆ ของต้นปาล์ม (Henson *et al.*, 1999)

ลักษณะสัณฐานของต้นปาล์มน้ำมันคือ เป็นต้นเดี่ยวสูงถึง 20 เมตร ใบมีลักษณะแบบขนนกมีความยาวประมาณ 5 เมตร ลักษณะที่สำคัญของต้นปาล์มน้ำมันคือเป็นพืชเศรษฐกิจมีระยะเวลาในการออกผลนาน 25-30 ปี จะมีกลีบเลี้ยงขนาดเล็ก 3 กลีบและกลีบดอก 3 กลีบ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวคล้ายอ้อย ภายในประกอบด้วยเนื้อเยื่อพาเรงไคมาที่มีเส้นใยรวมกันเป็นมัด ไม้ปาล์มน้ำมันมีมัดท่อลำเลียงละเนื้อเยื่อพาเรงไคมาที่แต่ต่างจากไม้อื่นๆ ปาล์มน้ำมีลักษณะที่พิเศษคือสามารถเก็บความชื้นได้สูงกว่าไม้ทั่วไป โดยปกติจะมีความชื้น 40-50% บริเวณกระพี้ไม้ ประการที่ 2คือ มีเซลลูโลสและลิกนินในปริมาณปานกลาง และมีสารละลายในน้ำสูงและมีสารประกอบ NaOHสูงกว่าไม้ยางพาราและชานอ้อย ต้นปาล์มน้ำมันมี ลิกนิน 20.5%

เกือบเท่ากับไม้เนื้อแข็ง ตัวอย่างเช่น ไม้แอสเพน มีลิกนิน 18.1% และยูคาลิปตัสประมาณ 22% ลิกนินจะช่วยในส่วนของสมบัติเชิงกล เซลล์ภายในพืชทำให้พืชมีความสูงเพิ่มขึ้น ลิกนินจะอยู่ติดกับผนังเซลล์ต้านทานน้ำได้ดีคุณสมบัตินี้มีประโยชน์มากและทำให้สารเคมีเข้าไปในเส้นใยได้ง่ายลิกนินและเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ ซึ่งพอลิเมอร์ 2 ชนิดนี้จะมีอยู่มากในผนังเซลล์จึงทำให้สามารถต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อราได้ดี ประการที่ 3 ปาล์มจะไม่มีเนื้อเจริญด้านข้าง ดังนั้นจึงไม่สามารถเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางและอายุได้ ประเด็นสำคัญคือความแตกต่างของปาล์มน้ำมันและไม้ที่ไม่ใช่พืชใบเลี้ยงเดี่ยวอย่างชัดเจนคือท่อลำเลี้ยงจะมีเนื้อเยื่อพาเรงไคมาล้อมรอบต้นปาล์มน้ำมันมีโมโนเมอร์ของโพลิแซ็คคาไรด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะมีน้ำตาลกลูโคส ไซโลสและโมโนแซ็กคาไรด์อื่นๆประมาณ 6% ซึ่งจะกระจายในวงกว้าง คล้ายกับไม้เนื้อแข็ง ลักษณะของเนื้อเยื่อพาเรงไคมาจะไม่มีเส้นใยและสารเคมีจำนวนมาก ไม้ปาล์มน้ำมันจะมีความยาวของเส้นใยใกล้เคียงกับไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน (Singh *et al.*,2012)

ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันทำให้ชีวมวลได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นทรัพยากรทดแทนที่มีประโยชน์และสามารถลดปัญหาโลกร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีการผลิตเม็ดพลังงานเพื่อใช้แทนพลังงานฟอสซิล เม็ดพลังงานสามารถผลิตได้จากเศษเหลือ เช่น ขี้เลื่อย ขี้กบ เปลือกไม้เศษไม้ต่างๆและเศษเหลือทางการเกษตร (Kamikawa *et al.*, 2009) เม็ดพลังงานมีลักษณะแข็งเป็นรูปทรงกระบอก (มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 mm และความยาว 10-30 mm) ทำจากผงไม้โดยการบีบอัดได้รับการผลิตในเชิงพาณิชย์ทั่วโลก เมื่อเทียบกับไม้จริงจะมีข้อได้เปรียบมากกว่า เช่น มีความหนาแน่นของค่าพลังงานสูงกว่า เก็บความร้อนได้ดี (ความชื้นต่ำ) การเผาไหม้และการขนส่งดีขึ้นเพราะมีประสิทธิภาพและปริมาณที่ลดลงอย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลเม็ดพลังงานยังมีข้อเสียเรื่องความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่า ค่าใช้จ่ายสูง เป็นต้น (Kubojima and Yoshida, 2015)

ตารางที่ 1 ปริมาณชีวมวลที่เหลือยังไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์

ชนิดพืช	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณชีวมวลที่เหลือ [ล้านตันต่อปี]	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ,kTOE)
ข้าว	ฟางข้าว	15.70	12.33	4,623.78
	แกลบ	1.78	14.2	602.63
อ้อย	ใบและยอด	27.68	15.48	10,233.94
	ชานอ้อย	0.03	7.37	5.26
มันสำปะหลัง	ลำต้น	1.84	13.38	587.89
	เหง้ามัน	13.16	5.49	1,727.32
ข้าวโพด	ซัง	0.24	16.63	96.26
ปาล์มน้ำมัน	ทะลายปาล์มเปล่า	1.34	7.24	232.25
	ใยปาล์ม	0.00	11.8	-

	กะลาปาล์ม	0.00	16.9	-
	ทางปาล์ม	33.31	7.54	5,998.29
ยางพารา	เปลือก ปีกไม้ ปลายไม้	0.00	13.96	-
	ขี้เลื่อย	0.00	13.96	-
	ราก ตอ และกิ่ง	0.74	13.96	245.4
ยูคาลิปตัส	เปลือก ปลายไม้	6.00	6.3	902.84
			รวม	23,765.14

ที่มา : โครงการพัฒนาระบบฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย สานักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2555)

3.2 การผลิตเม็ดพลังงาน

เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบโดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากโรงเลื่อยนำไปตากแดดให้แห้งจนความชื้นสม่ำเสมอกัน (ความชื้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักแห้ง) เพราะอุณหภูมิที่สูงและแรงอัดในกระบวนการผลิตความชื้นส่วนเกินอาจทำให้เกิดปัญหาแต่ความชื้นต่ำยังเป็นหนึ่งในเหตุผลที่เม็ดพลังงานเผาผลาญได้ดี จากนั้นนำผงขี้เลื่อยที่แห้งแล้วใส่ลงในเครื่องอัดเม็ดพลังงานโดยการอัดหรือขึ้นรูปใช้แม่พิมพ์พิเศษแรงอัดสูง (45,000 PSI) และอุณหภูมิ (200 °C) ที่มีอุณหภูมิสูงเนื่องจากทำให้สารประกอบในไม้ (ลิกนิน) อ่อนตัวและจับตัวกันเป็นเม็ดเนื่องจากในกระบวนการอัดเม็ดจะไม่มีการเติมกาวเมื่ออัดเสร็จนำมาวางให้เย็นและนำไปเก็บในถุงเพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปในเม็ดพลังงาน (www.pelletheat.org)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลด้วยเครื่อง Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)

TGA เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์น้ำหนักของชีวมวลที่หายไประหว่างการสลายตัวทางความร้อน ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ (proximate analysis) ของเชื้อเพลิง สามารถตั้งโปรแกรมการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างชีวมวลได้ ดังต่อไปนี้

1. เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ถึง 110 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C ต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจนหรือแก๊สเฉื่อย
2. ให้อุณหภูมิคงที่ที่ 110 °C เป็นเวลา 10 นาที ในบรรยากาศไนโตรเจนหรือแก๊สเฉื่อย
3. เพิ่มอุณหภูมิจาก 110 ถึง 900 °C โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C ต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจนหรือแก๊สเฉื่อย
4. ให้อุณหภูมิคงที่ที่ 900 °C เป็นเวลา 3 นาที ในบรรยากาศไนโตรเจนหรือแก๊สเฉื่อย จากนั้นสับเปลี่ยนแก๊สเป็นอากาศที่อุณหภูมิ 900 °C

ข้อดีของการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณด้วยเครื่อง TGA

1) สะดวก รวดเร็ว
2) มีความแม่นยำสูง
3) ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย (5 - 10 มิลลิกรัม)
4) ทำซ้ำได้

5) สามารถวัดค่าคาร์บอนเสถียรได้โดยตรง

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ

ประกอบไปด้วย ความชื้น (moisture) เถ้า (ash) ไอระเหย (volatile matter) และคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) ซึ่งองค์ประกอบแต่ละประเภทมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

-ปริมาณความชื้น (Moisture, Content, MC)

ปริมาณความชื้นในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีปริมาณความชื้นมากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงเป็นอย่างมากดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในชีวมวลจึงมีความจำเป็นและสำคัญมาก

ปริมาณความชื้นในชีวมวลวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักที่หายไปหลังการอบชีวมวลให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียสโดยทั่วไปจะทำการอบชีวมวลในเตาอบไฟฟ้า จนกว่าชีวมวลจะแห้งหรือน้ำหนักของชีวมวลคงที่

น้ำหรือความชื้นจะระเหยออกมาจากชีวมวลระหว่างที่ทำการอบแห้งปริมาณความชื้น ในชีวมวลจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของชีวมวล ปริมาณความชื้นในชีวมวลประเภท ไม้มีตั้งแต่ร้อยละ 25 – 65 ในขณะที่เป็นชีวมวลประเภทกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (sludge) จะมีปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 90

- ปริมาณเถ้า (Ash, A)

ปริมาณเถ้าในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีปริมาณเถ้ามากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง ชีวมวลบางชนิด เช่น ทะลายปาล์มเปล่าซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในเถ้ามากจะก่อให้เกิดปัญหาเถ้าหลอม (slagging) ในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำได้

นอกจากนี้ในเถ้าของชีวมวลบางชนิด เช่น แกลบจะมีปริมาณซิลิกาเป็นจำนวนมาก ซึ่งซิลิกานี้จะไปทำให้ท่อน้ำร้อนในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำเกิดการฉีกขาดและผุกร่อน เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในชีวมวลจึงมีความจำเป็นและสำคัญมาก

ปริมาณเถ้าในชีวมวลวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ชีวมวลภายใต้บรรยากาศอากาศที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ส่วนประกอบอินทรีย์ในชีวมวลจะถูกเผาไหม้สมบูรณ์กลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในขณะที่ส่วนประกอบอนินทรีย์ในชีวมวลจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นสารประกอบออกไซด์เรียกว่าเถ้า

-ปริมาณไอระเหย (Volatile Matter, VM)

ปริมาณไอระเหยในชีวมวลเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวล ภายใต้สภาวะที่กำหนด คือ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยไม่ให้ชีวมวลสัมผัสกับอากาศ ไอระเหยจะเกิดขึ้นจากการกลั่นสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิส (Pyrolysis)

- ปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon, FC)

ปริมาณคาร์บอนเสถียร เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างชีวมวลหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ซึ่งปริมาณคาร์บอนเสถียรคำนวณได้จากผลต่าง ดังสมการต่อไปนี้ (นคร วรสุวรรณรักษ์, 2558)

$$\% FC = 100 - (\%M + \%A + \%VM)$$

การวิเคราะห์ค่าพลังงานด้วยเครื่องหาค่าพลังงาน (Bomb calorimeter)

เมื่อทำการผลิตเม็ดพลังงานเสร็จแล้วต้องการทราบค่าพลังงานต่างๆสามารถนำมาหาค่าพลังงานด้วย **เครื่องหาค่าพลังงาน** (Bomb calorimeter) **สามารถวัด**ค่าความร้อน (Ellaite and Dalmazzone , 2010) เครื่องวัดค่าพลังงานสามารถวัดค่าของความร้อนขนาดใหญ่ปล่อยออกมา (40-50 กิโลจูล) และมีความแม่นยำที่ค่อนข้างสูง (Vorobet *et al.*, 1997) หลักการทำงานของ bomb calorimeter จะใช้หลักของ Direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญเม็ดพลังงานที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เม็ดพลังงานถูกบรรจุใน chamber และ charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูงจากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิดเชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนประกอบของเม็ดพลังงานและออกซิเจนเนื่องจาก calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทไปสู่สภาวะแวดล้อมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนของน้ำทำให้ทราบความร้อนที่ปลดปล่อยจากเม็ดพลังงาน (http://e-book.ram.edu/e-book)

3.3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเชื้อราทำลายไม้ (Wood Decay Fungi)

เชื้อรา เป็นศัตรูสำคัญที่ทำให้ไม้ผุ เสื่อมสภาพ และเกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจเชื้อราที่สำคัญมี 3 ประเภท คือ

3.3.1 เชื้อราที่ทำให้ไม้ผุ (Decay Fungi)

เป็นเชื้อราที่เมื่อเข้าทำลายไม้แล้วจะทำให้เนื้อไม้ผุ-ยุ่ย แบ่งตามลักษณะที่ปรากฏบนไม้ภายหลังถูกทำลาย คือ

3.3.1.1 **ราผุสีน้ำตาล (Brown Rot)** อาหารของเชื้อราจำพวกนี้คือ cellulose ซึ่งสะสมอยู่ตามผนังเซลล์ของไม้ เมื่อเชื้อราชนิดนี้เข้าทำลายไม้แล้วเนื้อไม้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื้อไม้ยุบตัวลงและหักง่ายในทางขนานเสี้ยน

3.3.1.2 **ราผุสีขาว (White Rot)** ราจำพวกนี้จะย่อยสลายสารประกอบของเซลล์ในไม้ได้ทั้ง lignin และ cellulose ดังนั้นการทำลายในขั้นสุดท้ายพบว่าน้ำหนักของไม้อาจลดลงถึง 90 % และมีคุณสมบัติฟอกสีจะเห็นได้จากไม้ที่ถูกทำลายแล้วมีสีขาวซีด เนื้อไม้จะยุ่ยเป็นเส้นใย มองเห็นเป็นหย่อม ๆ หรือลายเส้นสีขาวสลับกันเนื้อไม้ที่ยังดีอยู่

3.3.1.3 **ราผุอ่อน (Soft Rot)** พบเกิดกับไม้ที่อยู่ในที่ชื้นมาก ๆ หรือเปียกน้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ เชื้อราจะทำลายรุนแรงบริเวณผิวนอกของไม้ มีการแตกขวางเสี้ยนคล้ายกับราผุสีน้ำตาลแต่มีขนาดเล็กกว่า บางครั้งอาจพบว่าเข้าทำลายลึกถึงเนื้อไม้ ส่วนที่ถูกทำลายจะอ่อนนุ่ม ส่วนที่ไม่ถูกทำลายจะแข็ง และขอบเขตของการทำลายเห็นได้ชัดเจน ถ้านำไม้ไปทำให้เปียก ส่วนที่ถูกทำลายจะเปื่อยยุ่ยสามารถใช้เล็บขูดออกได้ง่าย

3.3.2 **เชื้อราที่ทำให้ไม้เสียสี (Stain Fungi)**

เชื้อราประเภทนี้ไม่ทำให้ไม้ผุ แต่ทำให้ไม้มีสีผิดปกติไปจากเดิม ส่วนใหญ่เป็นสีที่ไม่พึงปรารถนา เช่น น้ำเงิน เหลือง เขียว ดำ เป็นบริเวณกว้างหรือเป็นจุดกระจาย ซึ่งการเปลี่ยนสีของไม้เกิดขึ้นเพราะเม็ดสี (pigment) ภายใน hyphae ของเชื้อรา เชื้อราเหล่านี้จะเข้าทำลายไม้หลังตัดฟันโดยสปอร์ปลิวมาตกบนไม้ แล้วจึงเจริญเข้าไปในเนื้อไม้ ถ้าความชื้นในบรรยากาศสูง ความชื้นที่หน้าไม้ยังไม่แห้งหรือชื้นอยู่ตลอดเวลา เชื้อราจะสร้างสปอร์และเส้นใยขึ้นที่ผิวหน้าไม้ ทำให้มองเห็นเป็นสีดำ ๆ แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศน้อยหรืออากาศแห้ง ซึ่งทำให้ผิวหน้าไม้แห้ง เส้นใยของเชื้อราจะเจริญเข้าไปในเนื้อไม้เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ดูลักษณะไม้ภายนอกไม่มีเชื้อราเข้าทำลาย เมื่อไม้เข้าสู่กระบวนการแปรรูปจึงจะเห็นเป็นสีของเชื้อราที่เข้าทำลายไม้ เชื้อราเหล่านี้ยังสามารถเข้าทำลายได้ในระยะที่แปรรูป และอยู่ในระหว่างรอพักเข้าอบเพื่อให้ความชื้นลดลง ถึงแม้จะจุ่มสารเคมีกันราแล้วก็ตาม เพราะยากันราสามารถป้องกันเชื้อราที่ตกลงบนผิวไม้เท่านั้น แต่ไม่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราที่อยู่ภายในได้

3.3.5 **เชื้อราผิวไม้** (Mold Fungi)

เชื้อราประเภทนี้จะเกิดบนผิวไม้เท่านั้น ไม่เจริญเติบโตเข้าไปในเนื้อไม้ ทำให้เห็นเป็นสีต่างๆ ซึ่งเกิดจากสปอร์และเส้นใยของเชื้อรา ทำให้เสียสีเฉพาะผิวนอก สามารถปัดหรือขัดออกได้ มักเกิดกับไม้ที่ไม่ได้ผึ่ง ไม้ที่ยังคงมีความชื้นอยู่ และไม้ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปียกหรืออับชื้น ทำให้ไม้เสียสีเฉพาะผิวนอก เชื้อราประเภทนี้หลายชนิดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคของระบบทางเดินหายใจสำหรับไม้ยางพาราที่ผิว ได้แก่ พวก *Aspergillus* และ *Penicillium* ซึ่งเชื้อราชนิดนี้ก่อให้เกิดเป็นขุยละเอียดสีต่างๆ เช่น ขาว เขียว เหลือง เทา บนพื้นไม้ ราชนิดนี้สามารถเช็ดหรือถูออกได้ แต่ไม้ที่เกิดเชื้อราผิวง่ายจะไม่นิยมนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ หรือเครื่องครัว เนื่องจากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดเชื้อราเหล่านี้

3.4 ศักยภาพของปาล์มน้ำมันในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันปาล์มน้ำมันมีการผลิตและส่งออกในหลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะในแอฟริกาและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากมีลักษณะภูมิอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและตามนโยบายขององค์การอาหารและการเกษตรโลก (UN Food and Agricultural Organization; FAO) พื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันในอดีตจนถึงปัจจุบันเพิ่มขึ้นมากว่าสี่เท่าจาก 3.6 ล้าน hectares ในปี 1961 เป็น 9.13 hectares ในปี 2007 (http://www.aftasources.com/news/show-1298.html) จนถึงขณะนี้มากกว่า 43 ประเทศปลูกปาล์มน้ำมันและมีพื้นที่กว่าหนึ่งในสิบของพื้นที่ทำการเกษตรของโลก และจากนี้มากกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะอินโดนีเซีย มาเลเซียและไทย (http://www.aftasources.com/news/show-1298.html) น้ำมันปาล์มสามารถสกัดได้จากสองส่วนของปาล์มน้ำมันคือจากผลปาล์ม (น้ำมันบริโภค) และส่วนของเนื้อใน (Kernel ; อาหารและอุตสาหกรรมประเภทสบู่) จากทุกๆ 100 กิโลกรัมของผลปาล์ม สามารถสกัดได้น้ำมัน 22 กิโลกรัม และ น้ำมัน Kernal ได้ 1.6 กิโลกรัม น้ำมันที่ผลิตได้ (ประมาณ 7,250 ลิตรต่อปี) ใช้ในการประกอบอาหารทั้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอฟริกาและเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารในทุกพื้นที่ทั่วโลกเนื่องจากราคาที่ถูก มีความเสถียรต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Matthäus, Bertrand, 2007) และมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบที่เป็นไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันที่ได้จากพืชน้ำมันอื่นๆ เช่น ข้าวโพด น้ำมันลินสีด น้ำมัน

ถั่วเหลือง น้ำมัน Safflower และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และด้วยข้อดีของน้ำมันปาล์มที่ให้ความร้อนสูงในการทอดและทนต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Che Man *et al.*, 1998)

โดยปกติปาล์มน้ำมันสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 25 ปี หลังจากนั้นจึงปลูกทดแทน ปาล์มน้ำมันที่ที่ตัดโค่นจะมีส่วนที่เป็นลำต้นอยู่ระหว่าง 7-13 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 45-65 เซนติเมตร (วัดที่ระดับอก) ในทุกๆ หนึ่งเฮกแตร์ สามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ 134 ต้น คิดเป็นปริมาตรไม้ประมาณ 1.6 ล้านลูกบาศก์เมตร เส้นใยประมาณ 54% และเศษเหลืออื่นๆ เช่น เปลือก 14% และองค์ประกอบที่เป็นพาเรนไคมา 32% ของน้ำหนักแห้ง จากชีวมวลจำนวนมากที่ได้จากปาล์มน้ำมันดังกล่าว เพียง 10% ที่เป็นผลผลิตน้ำมันปาล์ม ที่เหลือจะเป็นเศษเหลือที่อยู่ในรูปของ ผลปาล์มที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน ทลายปาล์ม ทางใบ และส่วนของลำต้น (http://www.bfdic.com/en/Features/Features/79.html) ปัจจุบันมีการวิจัยจำนวนมากที่จะนำเศษเหลือจากปาล์มน้ำมันดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงพานิชย์ ในบางประเทศนำเศษเหลือดังกล่าวมาผลิตเป็น MDF (Medium Density Fiberboard) แม้ว่า MDF ที่ผลิตส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบเป็นไม้ยางพารา ถึงแม้ว่าคุณสมบัติของบอร์ดที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าบอร์ดที่ผลิตจากไม้ยางพารา และเป็นงานวิจัยที่อยู่ในระดับ ห้องปฏิบัติการ ยังไม่ได้ผลิตในเชิงพานิชย์ แต่ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการใช้เป็นวัสดุสนับสนุนเพื่อให้มีความเพียงพอต่อการใช้ไม้ยางพาราในอุตสาหกรรม (http://www.bfdic.com/en/Features/Features/79.html) นอกจากนี้ไม้ปาล์มยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด อย่างไรก็ตามการตัดขนาดไม้จนไปถึงการปอกไม้ต้องใช้วิธีโดยเฉพาะเพราะความไม่คงที่ของส่วนที่เป็นกลุ่มเซลล์เส้นใยที่กระจายตัวอยู่ในลำต้น ซึ่งพบว่าความแข็งแรงทางกลศาสตร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่น มาตรฐานญี่ปุ่น (JAS 233:2003) จากงานวิจัยพบว่าไม้ปาล์มยังไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากข้อด้อยของคุณสมบัติต่างๆ ที่ยังไม่เหมาะสมอันเป็นผลมาจากความหนาแน่นที่ต่ำของไม้ เช่น ความสามารถในการดัดให้โค้งงอและความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับไม้ที่ใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ชนิดอื่น

4. วิธีการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบไม้ปาล์มน้ำมัน

1. ใช้รถแม็คโฮล้มต้นปาล์มน้ำมันจากสวนในอำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากนั้นใช้เลื่อยยนต์ตัดต้นปาล์มน้ำมันให้เป็นท่อนๆ
2. สับตัวอย่างต้นปาล์มน้ำมันให้เป็นชิ้นไม้สับ (Wood chip)
3. นำชิ้นไม้สับมาปรับสภาพด้วยเชื้อราผุขาว *Trametes versicolor* และราผุน้ำตาล *Gloeophyllum straintum*
4. นำชิ้นไม้สับที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราทุกๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์มาผึ่งแดดให้ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 12-15
5. บดชิ้นไม้สับด้วยเครื่องบดความเร็วสูง ร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาด 40 mesh
6. วัดค่าองค์ประกอบทางเคมี (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก) ของไม้ปาล์มน้ำมันตัวอย่าง

7. ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์ SEM

ขั้นตอนการเตรียมเชื้อราในจานเพาะเลี้ยงเชื้อ

1. เตรียมอาหารเทียม malt extract agar (2% malt , 1% agar)
2. ทำการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำความดัน 15 ปอนด์ / ตารางนิ้ว ระดับอุณหภูมิ 121 °C 20 นาที
3. เทอาหารเทียมใส่จานเลี้ยงเชื้อ ประมาณ 20 มิลลิลิตร ต่อจานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม.
4. เมื่ออาหารแข็งตัว ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อราผุ โดยตัดชิ้น inoculum จากเชื้อราในจาน Stock วางบนกึ่งกลางของอาหารที่เตรียมไว้
5. บ่มไว้ที่ระดับอุณหภูมิห้องจนกระทั่งเส้นใยของเชื้อราเจริญเต็มจานเพาะเลี้ยงเชื้อ (ประมาณ 1 สัปดาห์)

ขั้นตอนการเตรียมไม้ทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียมวลด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

1. เตรียมไม้ทดลองขนาด 3x3 เซนติเมตร
2. นำไม้ทดลองอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 102±3°C จนกระทั่งมวลคงที่ บันทึกน้ำหนักไม้ทดลองไว้
3. นำไม้ทดลองไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ ความดัน 15 ปอนด์ / ตารางนิ้ว นาน 25 นาที
4. นำไม้มาวางในจานเพาะเลี้ยงเชื้อ จำนวน 6 ชิ้น วางชิ้นไม้ให้สัมผัสกับเชื้อรามากที่สุด โดยไม่ให้สัมผัสกับอาหารโดยตรง (ใช้ตะแกรงวางคั่นระหว่างชิ้นไม้กับอาหารเลี้ยงเชื้อ) ปิดฝาจานทดลองแล้วพันด้วยพาราฟิล์ม
5. บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30°C , RH 65 % โดยเชื้อราที่ใช้แต่ละชนิด (เชื้อราผุขาว *T. versicolor* และราผุน้ำตาล *G. straintum*) ใช้จำนวน 4 ซ้ำ เป็นเวลา 4 สัปดาห์
6. ภายหลังสิ้นสุดการทดลอง นำไม้ออกจากจานเพาะเลี้ยงเชื้อ
7. ทำความสะอาดชิ้นไม้โดยการเอาเส้นใยของเชื้อราออกและอบแห้งที่อุณหภูมิ 102±3 °C แล้วชั่งหามวลคงที่ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวล โดยเปรียบเทียบกับมวลแห้งของไม้ก่อน ปรับสภาพด้วยเชื้อรา
8. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวล ทุกๆ 1 สัปดาห์ (รวม 4 สัปดาห์)

จากสูตร

$$\% \text{ Mass loss} = \frac{(W1-W2)}{W1} \times 100\ \%$$

เมื่อ W_1 = มวลไม้อบแห้งก่อนทดลอง

เมื่อ W_2= มวลไม้อบแห้งหลังทดลอง

4.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนอัดเม็ด

1. นำชิ้นไม้มาบดให้ละเอียด แล้วนำมาหาความชื้น ซึ่งปริมาณความชื้นควรอยู่ในช่วง 12 –15 % ถ้าความชื้นไม่ได้ตามต้องการ ต้องทำการปรับค่าความชื้น
2. นำผงไม้ปาล์มน้ำมันที่บดแล้วมาร่อนด้วยตะแกรง ให้ได้ขนาด 40- 60 mesh

ขั้นตอนการอัดเม็ดพลังงานเพื่อหาค่า heating value, specific density, moisture content, volatile matter, ash content และ fixed carbon ตามมาตรฐาน ASTM 3287-77

1. นำผงไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราและร่อนให้ได้ขนาดแล้วแล้วมาชั่งน้ำหนัก
2. นำผงไม้ปาล์มน้ำมันที่ชั่งแล้วใส่ลงในช่องของเครื่องอัดเม็ดเพื่อทำการอัด
3. เมื่อใส่ผงไม้ปาล์มน้ำมันลงไปแล้วทำการหมุนเครื่องอัดเม็ดจนแน่นจนได้เม็ดพลังงานสำหรับทดสอบ
4. วัดค่าพลังงานความร้อนของเม็ดพลังงานด้วยเครื่อง Bomb Calorimetor โดยใช้ความดันที่ 420 Mpa

ขั้นตอนการวัดค่าธาตุองค์ประกอบของไม้ปาล์มน้ำมัน

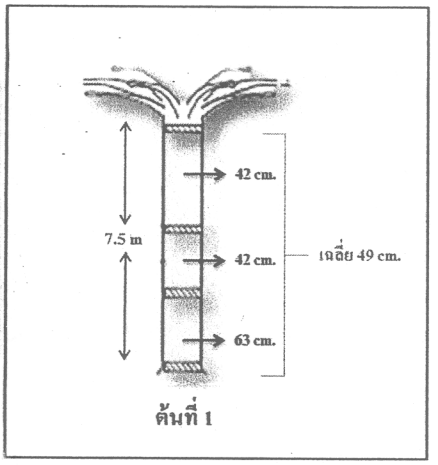
1. นำผงไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราและร่อนให้ได้ขนาดแล้วแล้วมาชั่งน้ำหนัก
2. วัดธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่อง CHNS analyzer (Model 628 Series, Leco, UK)

ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องต้นแบบการผลิตเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย

1. ระบบปรับสภาพชิ้นไม้ปาล์มด้วยเชื้อราผุ (Decay fungi pretreatment chamber) เป็นถังปรับสภาพไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราที่ผลิตจากสเตนเลสปลอดสนิม ความจุไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมไม้ปาล์มแห้ง
2. เครื่องบดไม้ปาล์มน้ำมัน (High-speed grinder) เป็นเครื่องบดความเร็วสูง บดไม้ให้ได้ขนาด 40-60 mesh
3. เครื่องอัดเม็ดพลังงาน (Pelletizing machine) ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส 3 KW ความเร็วรอบ 1440 rpm กระแสไฟฟ้า 15.5 A และความถี่ 50 Hz ผลิตเม็ดพลังงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ยาวประมาณ 1-4 ซม.

4.3 การเตรียมไม้ปาล์มน้ำมันเพื่อการทำ Pretreatment ด้วยเชื้อราผุ

1. ตัดต้นปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ต้น โดยแต่ละต้นตัดแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ โคน กลางและปลาย ในการตัดไม้แต่ละส่วน ต้องวัดจากโคนต้นขึ้นมา 1.5 เมตร วัดจากปลายลงมา 1.5 เมตรจากนั้นวัดส่วนกลางที่เหลือแล้วนำมาหาร 2 ทำการตัดไม้ทั้ง 3 ส่วนและจะได้ส่วนโคน กลาง และปลายของต้นปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 10 ตัดต้นปาล์มน้ำมัน แบ่งเป็น 3 ส่วน (ซ้าย) และตัวอย่างไดอะแกรมการตัดต้นปาล์มน้ำมันที่แบ่งเป็น 3 ส่วน (ขวา)

2. นำไม้ปาล์มน้ำมัน ไปตัดเป็นชิ้น ขนาด 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร
3. นำไม้ปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ต้น ใส่ในถุง โดยแต่ละต้นจะแยกออกเป็นส่วน โคน กลางและปลาย
4. นำไม้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในถัง เพื่อทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุจากนั้นนำไม้ไป Auto clave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที
5. รอให้ไม้เย็นตัวลง ปรับความชื้นของไม้ด้วยการเติมน้ำกลั่นให้ไม้มีความชื้นประมาณร้อยละ 30
6. ทำการเขี่ยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลลงในถัง ปิดฝาถังแล้วทำการเขย่าเพื่อให้เชื้อรากระจายอย่างทั่วถึง
7. พันฝาถังด้วยพาราฟิล์มให้แน่น โดยทำการปรับสภาพไม้เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์
8. หลังสิ้นสุดการปรับสภาพในแต่ละสัปดาห์นำไม้ปาล์มน้ำมันมา Auto clave เป็นเวลา 15 นาที

4.4 การวิเคราะห์ผลการเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อรา

ในการวิเคราะห์หาการสูญเสียมวลของไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพด้วยเชื้อรา มีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมชิ้นไม้ปาล์มน้ำมัน ขนาด 1 × 3 × 0.5 เซนติเมตร
2. นำไม้ไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 103±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่ามวลแห้ง
3. ทำการ Incubate เชื้อรากับชิ้นไม้ปาล์มน้ำมันตามมาตรฐาน EN 113 ไว้ที่อุณหภูมิ 30°C RH 65% เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์
4. เมื่อครบ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ นำชิ้นไม้มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 102±3 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหามวลเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวล โดยเปรียบเทียบกับมวลแห้งของไม้ก่อนปรับสภาพด้วยเชื้อรา จากสมการ

$$\% \text{ Massloss} = \frac{(w1-w2)}{w1} \times 100\ \%$$

เมื่อ W_1 = มวลไม้อบแห้งก่อนการปรับสภาพด้วยเชื้อรา

เมื่อ W_2= มวลไม้อบแห้งหลังการปรับสภาพด้วยเชื้อรา

4.5 การวัดองค์ประกอบทางเคมีของไม้ปาล์มน้ำมัน

วัดองค์ประกอบทางเคมีของไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพ ตามมาตรฐาน TAPPI คือ วัดปริมาณสารแทรกตามมาตรฐาน TAPPI T204-om88 วัดปริมาณลิกนินตามมาตรฐาน TAPPI T222-om88 วัดปริมาณโฮโลเซลลูโลสตามมาตรฐาน TAPPI Section, January 10, 1946 และวัดปริมาณเซลลูโลสตามมาตรฐาน TAPPI T203 cm-99 วัดปริมาณน้ำตาลโดยใช้สารละลายฟีนอลและวัดการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร วัดปริมาณแป้งตามวิธีของ F.R. Humphreys and J. Kelly ., 1960 วิเคราะห์หาค่า C, H, N และ S โดยใช้เครื่อง CHNS analyser

4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ

หาปริมาณขี้เถ้า (Ash content), ASTM D 3174 หาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter), ASTM D3175 หาปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed Carbon) โดยนำค่าปริมาณความชื้นที่คำนวณได้ปริมาณสารระเหยทีคำนวณได้และปริมาณเถ้าที่คำนวณได้ มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนเสถียร ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100-(%ความชื้น + %ปริมาณความชื้น + %ปริมาณสารระเหย)

4.6 การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)

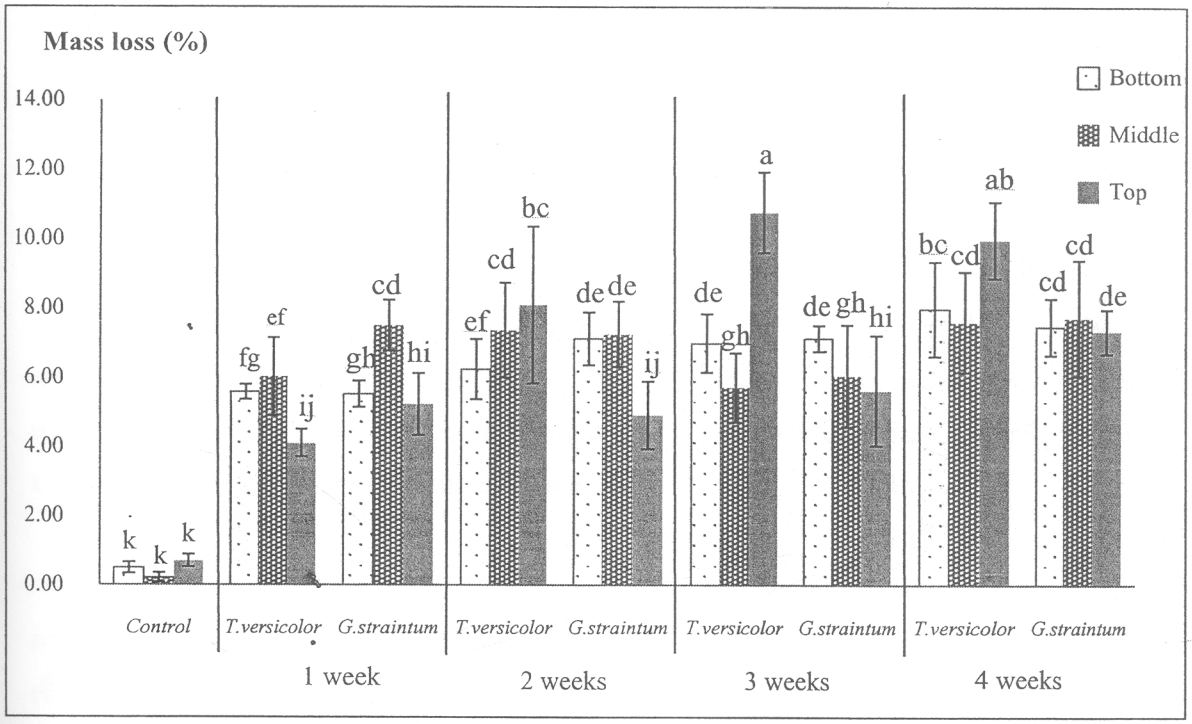
1. นำตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันและไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลทั้ง 4 สัปดาห์ ขนาด 5 มิลลิเมตร x 10มิลลิเมตร x 2 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxหนา)
2. นำ Stubs มาติดด้วยเทปกาวด้านหนึ่ง และอีกด้านหนึ่งเขียนชื่อตัวอย่างไว้ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาติดลงบน Stubs ในด้านที่ติดกาว
3. นำตัวอย่างที่ติดลงบน Stubs เรียบร้อยแล้วมาเข้าเครื่อง Sputter Cater
4. จากนั้นนำไปเคลือบทอง ประมาน 4 นาที
5. นำชิ้นตัวอย่างที่เคลือบทองแล้วมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ผลการเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อรา

จากผลการศึกษาการเข้าทำลายไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราผุสีขาว (*T. versicolor*) และเชื้อราผุสีน้ำตาล (*G. straintum*) ส่วนของ Bottom, Middle และ Top เป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ (รูปที่

11) จะเห็นได้ว่า การเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อราผุมีค่าการสูญเสียมวลพบได้สูงสุดที่ 10.77 % โดยในส่วนของ Bottom ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.58 – 7.99 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.52 – 7.48 % ส่วนของ Middle ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.72 – 7.61 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 6.06 – 7.73 % และในส่วนของ Top ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 4.10 – 10.77 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 4.92 – 7.34 %



รูปที่ 11 การเข้าทำลายไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลส่วน Bottom, Middle และ Top เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน 4 สัปดาห์

*** Control คือ ไม้ที่ไม่ผ่านปรับสภาพด้วยเชื้อรา

T. versicolor คือ ไม้ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว

G.straintum คือ ไม้ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล

Bottom คือ ส่วนโคนของต้นปาล์มน้ำมัน

Middle คือ ส่วนกลางลำต้นของต้นปาล์มน้ำมัน

Top คือ ส่วนปลายของต้นปาล์มน้ำมัน

จะเห็นได้ว่าในส่วนของ Bottom และ Middle มีค่าการสูญเสียมวลสูงสุดอยู่ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และในส่วนของ Top มีค่าการสูญเสียมวลสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 3 พบว่าค่าการสูญเสียมวลของไม้สูงสุดจะอยู่ในส่วนของ Top ที่เข้าทำลายด้วยเชื้อราผุสีขาว จึงทำให้ส่วนของ Bottom, Middle และ Top มีค่าการสูญเสียมวลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษางานของ Pooja และคณะ (2013) พบว่า เมื่อนำไม้ปาล์มน้ำมันมาตัดเป็นชิ้น เล็กๆ แล้วนำไปปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวเป็นระยะเวลา 28 วัน มีการสูญเสียมวล 8.45% และองค์ประกอบทางเคมีที่หายไปของไม้ปาล์มน้ำมันหลังจากที่ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวในส่วนของลิกนิน มีค่า 9.35% โฮโลเซลลูโลส มีค่า 7.20 % และเซลลูโลส มีค่า 4.58% โดยเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ปรับสภาพพบว่าค่าการสูญเสียมวลและค่าองค์ประกอบทางเคมี มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเชื้อราเข้าไปทำลายองค์ประกอบหลักของไม้ ทำให้เซลล์เสียรูปร่างและเอนไซม์ของเชื้อราที่หลั่งออกมา สามารถเปลี่ยนเซลล์ในไม้และเปลี่ยนโครงสร้างผนังเซลล์ ทำให้ไม้เกิดการสูญเสียมวลและทำให้สัดส่วนองค์ประกอบเคมีเปลี่ยนไป ซึ่งการทดลองสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่มีค่าการสูญเสียมวลโดยใช้เชื้อรา *T.versicolor* มีค่า 8.45 % ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้มีค่าการสูญเสียมวล 10.77 % (28 วัน) โดยมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าลิกนินและโฮโลเซลลูโลส พบว่ามีค่าลิกนินที่ 2.52 % และโฮโลเซลลูโลส 6.50 % ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ลิกนินมีค่าน้อยกว่าอาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัยของการทดลองที่แตกต่างกัน

การหาองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่หายไปหรือเพิ่มขึ้นของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราและไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรา ซึ่งมีการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นเวลา 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ จะมีปริมาณสารแทรกสูงสุด คือ 43.50 % และต่ำสุด 20.00 % ส่วนโฮโลเซลลูโลสสูงสุด คือ 80.32% และต่ำสุด 63.77 % ส่วนแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด คือ 68.18 % และต่ำสุด 30.43 % ส่วนเฮมิเซลลูโลสสูงสุด คือ 48.02 % และต่ำสุด 7.46 % และในส่วนของลิกนินสูงสุด คือ 19.31 % และต่ำสุด 9.36 %

ตารางที่ 2 อัตราการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการเข้าทำลายของเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

Type	Weeks	Weight loss (%)														
		Extractive			Holocellulose			Alpha Cellulose			Hemicellulose			Lignin		
		Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
Control	–	20.11	37.3	43.5	72.69	71.34	71.45	45	42.85	36.36	27.69	28.49	35.1	19.31	11.2	9.42
Trametes versicolor	1	21.94	24.87	29.5	77.78	77.08	69.66	57.14	47.62	39.13	12.52	29.47	38.7	14.79	13.76	12.4
	2	21.28	27.30	36.50	75.64	73.48	68.06	68.18	52.38	45.45	7.46	21.10	22.60	15.73	11.93	9.36
	3	20.32	22.15	36.4	80.32	78.61	70.21	61.9	43.48	42.86	18.42	27.36	35.1	16.84	12.01	10.1
	4	20.00	22.54	32.5	79.73	78.69	73.2	61.90	34.78	33.33	16.79	39.87	44.95	15.44	12.68	10.8
Gloeophyllum striantum	1	22.00	26.16	35.6	79.25	77.95	70.82	57.14	45.45	34.78	23.41	35.78	36.04	15.83	12.08	11.2
	2	22.29	27.89	38.6	76.80	75.29	63.77	65.00	47.83	45	11.80	15.95	30.3	15.99	11.91	10.9
	3	20.87	23.99	32.2	79.18	78.45	72.13	50.00	40.00	30.43	29.18	32.13	48.02	14.69	11.88	10.3
	4	21.22	25.00	33.6	77.62	73.15	71.80	50	41.67	40.00	21.83	31.49	37.62	15.05	12.16	9.38

จากผลการทดลองศึกษาปริมาณสารแทรกจากไม้ปาล์มน้ำมันไม่ที่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าปริมาณสารแทรกมีแนวโน้มเดียวกันเพิ่มขึ้นจากส่วนโคน กลาง และส่วนปลาย พบว่าหลังจากที่ทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นเวลา 1, 2, 3, 4 สัปดาห์ มีแนวโน้มคือที่ส่วนกลางและส่วนปลายมีปริมาณสารแทรกที่น้อยลงเมื่อเทียบกับ Control และในส่วนปลายก็ไม่แตกต่างกันแสดงว่าเชื้อรามีผลในการเข้าไปทำลายสารแทรกหรือนำสารแทรกไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตแต่ที่ส่วนโคนไม่เห็นผลชัดเจนและยังมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองศึกษาปริมาณโฮโลเซลลูโลสจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรามีแนวโน้มของปริมาณโฮโลเซลลูโลสลดลงจาก ส่วนโคน ส่วนกลาง ส่วนปลายของลำต้นตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Control ที่แต่ละส่วนของลำต้นที่มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน

การหาแอลฟาเซลลูโลสจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

จากผลการทดลองศึกษาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ (รูปที่ 49) จากการศึกษาผลการทดลองการปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันโดยการระเบิดด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยด่างของ (เกียรติพงษ์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่มีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น หลังจากทำการปรับสภาพซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าในส่วนของแอลฟาเซลลูโลสยังคงมีแนวโน้มเดียวกันกับโฮโลเซลลูโลสคือในส่วนโคนจะมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส หลังจากทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว1,

2, 3, 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเชื้อรามีการหลั่งเอนไซม์ออกมาและปรับสภาพโครงสร้างของไม้ โดยเชื้อราผุสีขาวจะมีสมบัติไปทำลายลิกนินเมื่อทำลายลิกนินแล้วเชื้อรายังสามารถเข้าไปปรับสภาพเซลลูโลสด้วยและเซลลูโลสเมื่อถูกปรับสภาพอาจทำให้สัดส่วนของเซลลูโลสต่อลิกนินในไม้หรือต่อองค์ประกอบอื่นๆในไม้เปลี่ยนไปจึงทำให้ค่าของแอลฟาเซลลูโลสที่วัดได้มีค่ามากขึ้นส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับส่วนโคนเนื่องจากเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลไปทำการปรับสภาพองค์ประกอบหลักของไม้ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนไปซึ่งมีผลทำให้มีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น

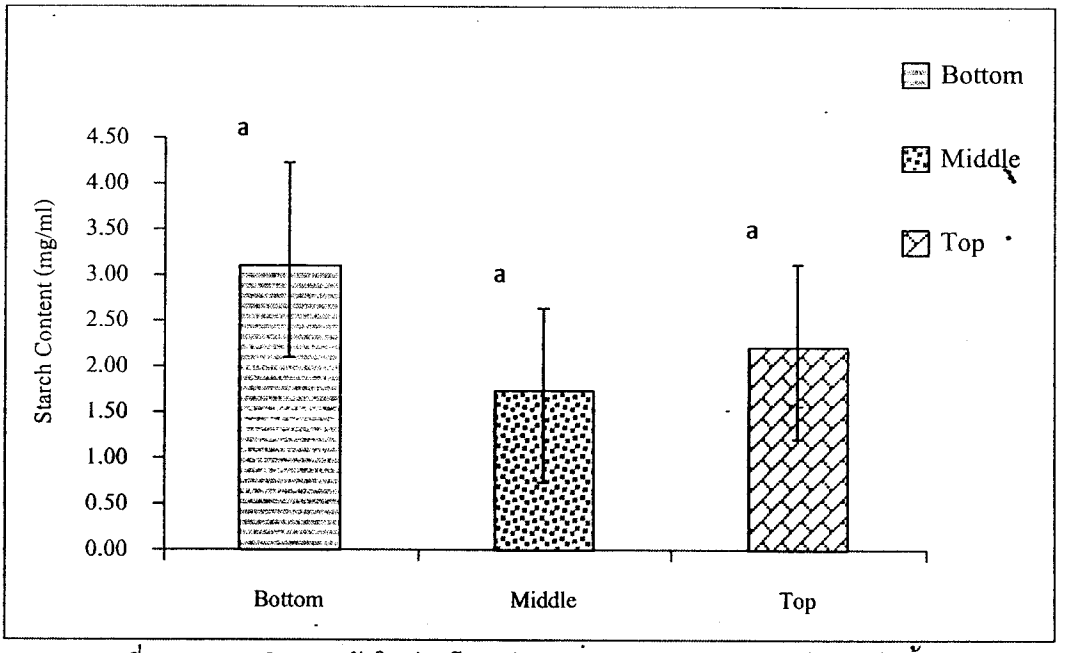
จากการศึกษางานของเกียรติพงษ์, 2554 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันโดยการปรับสภาพด้วยการระเบิดไอน้ำ การสกัดด้วยน้ำร้อน และการสกัดด้วยด่าง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของแอลฟาเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจาก 40.83% เป็น 87.14% เมื่อนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพทำให้ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุ *T.versicolor* ที่ 2 สัปดาห์ (68.18%) และ *G.straintum* (65.00%) เมื่อเทียบกับ Control (45%) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จากผลการทดลองศึกษาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าเชื้อราผุสีขาวจะเข้าไปทำลายองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นเฮมิเซลลูโลสในส่วนโคนมากที่สุดที่ 2 สัปดาห์ ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ 3 สัปดาห์เนื่องจากเชื้อราจะเข้าไปทำลายองค์ประกอบหลักของไม้ทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนไป จากผลการทดลองศึกษาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จากการศึกษาผลการทดลองการปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันโดยการระเบิดด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยด่างของ (เกียรติพงษ์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่มีปริมาณของลิกนินลดลงหลังจากทำการปรับสภาพ ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณลิกนินที่ส่วนโคนสูงอย่างเห็นได้ชัดแต่ส่วนปลายและส่วนกลางที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราหรือที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรามีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราจะเห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ ส่วนโคน ลิกนินถูกทำลายไปอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากเชื้อราจะเข้าไปทำลายลิกนินทำให้ค่าลดลงทุกค่าไม่ว่าจะเป็นเชื้อราผุสีขาวหรือเชื้อราผุสีน้ำตาลที่ปรับสภาพ 1, 2, 3, 4 สัปดาห์ แต่ในส่วนกลางกับส่วนปลายมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงได้ เพราะลิกนินยังมีค่าที่เป็นสัดส่วนที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่น จากการศึกษางานของเกียรติพงษ์, 2554 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันโดยการปรับสภาพด้วยการระเบิดไอน้ำ การสกัดด้วยน้ำร้อน และการสกัดด้วยด่าง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของลิกนินที่ลดลง โดยสัดส่วนของลิกนินลดลงจาก 21.64% เป็น 6.13% เมื่อนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพทำให้ปริมาณลิกนินลดลงสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่มีปริมาณลิกนินลดลงโดยสัดส่วนลิกนินลดลงสูงสุดเมื่อทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุ *T.versicolor* ที่ 2 สัปดาห์ (9.36%) เมื่อเทียบกับ Control (45%) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำตาลในต้นปาล์มน้ำมัน

จากผลการศึกษาโดยนำไม้ปาล์มน้ำมันจากตำบลสาคู อำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแป้ง ปริมาณน้ำตาล และค่าการสูญเสียมวลที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นเวลา 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำตาลสูงสุดอยู่ที่ 379.85 mg/ml ในน้ำเลี้ยงของส่วนโคน ส่วนปริมาณแป้งสูงสุดจากส่วนโคน คือ 3.87 mg/ml ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Hung *et al.*(2011) ในไม้ปาล์มน้ำมันมีปริมาณแป้งที่ 3-5 % ซึ่งแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันถือเป็นกาวธรรมชาติที่ช่วยให้เม็ดพลังงานอัดกันแน่นมากขึ้น น้ำตาลมีผลต่อการยึดติดของอนุภาคผงไม้ทำให้เม็ดพลังงานที่ได้มีความแน่นและมีความแข็งแรงมากขึ้น

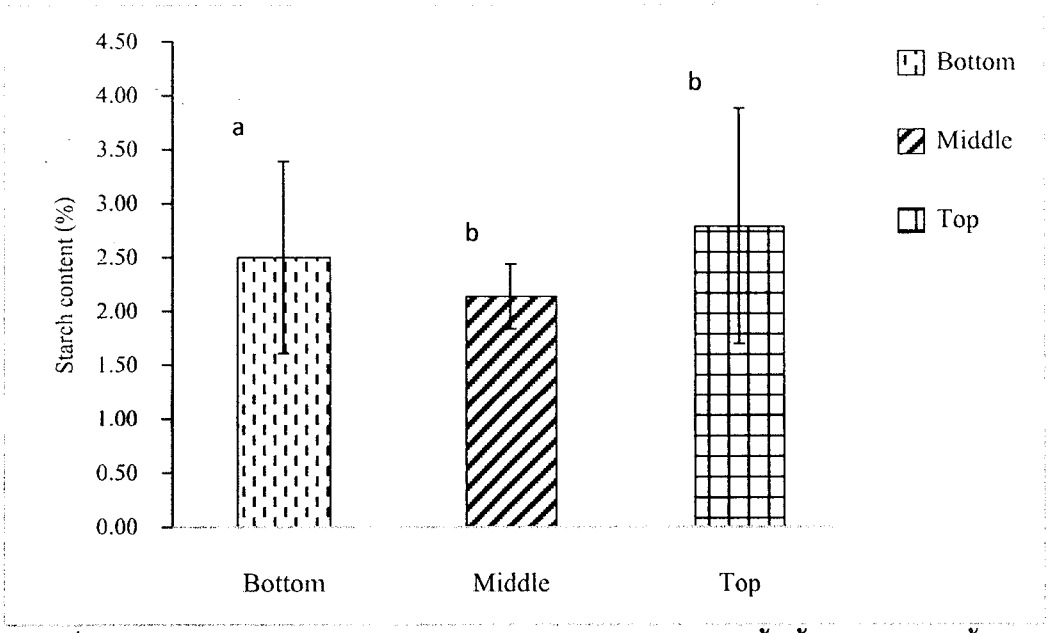
การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมัน

จากรูปที่ 12 สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณแป้งส่วนโคนในไม้ปาล์มน้ำมันมีปริมาณสูงที่สุด อยู่ที่ 3.87 mg/ml ส่วนปลาย 2.21 mg/ml และส่วนกลาง 1.9 mg/ml จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าการแสดงปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมัน ในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



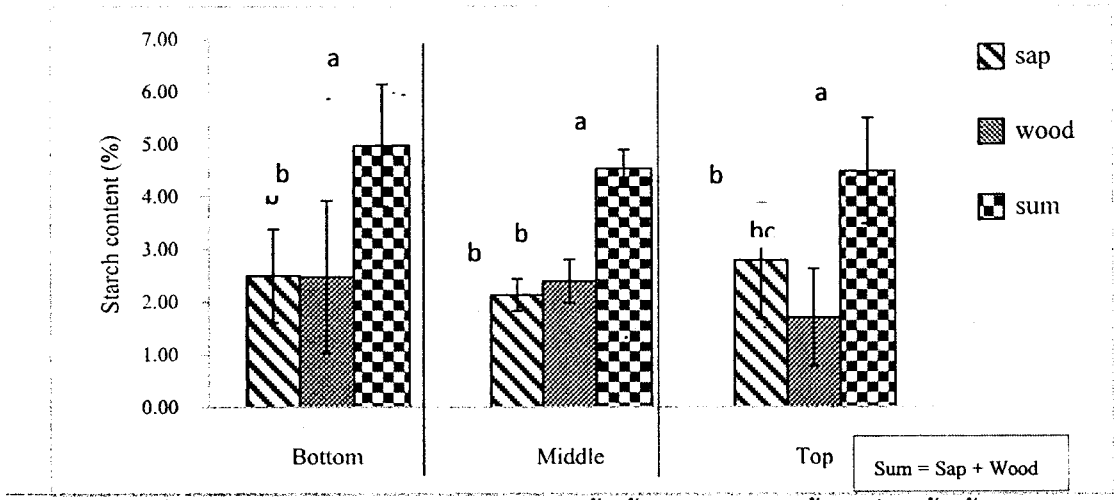
รูปที่ 12 แสดงปริมาณแป้งในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของไม้ปาล์มน้ำมัน

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 13 เห็นได้ว่า ปริมาณแป้งแต่ละส่วนในน้ำเลี้ยงปาล์มน้ำมันในส่วนโคน มีค่า 2.50 mg/ml ส่วนกลาง 2.14 mg/ml และส่วนปลาย 2.79 mg/ml และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณแป้งในน้ำเลี้ยงส่วนโคน ต่างกับส่วนกลาง และส่วนปลายของไม้ปาล์มน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 13 แสดงปริมาณแป้งในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายของน้ำเลี้ยงในต้นปาล์มน้ำมัน

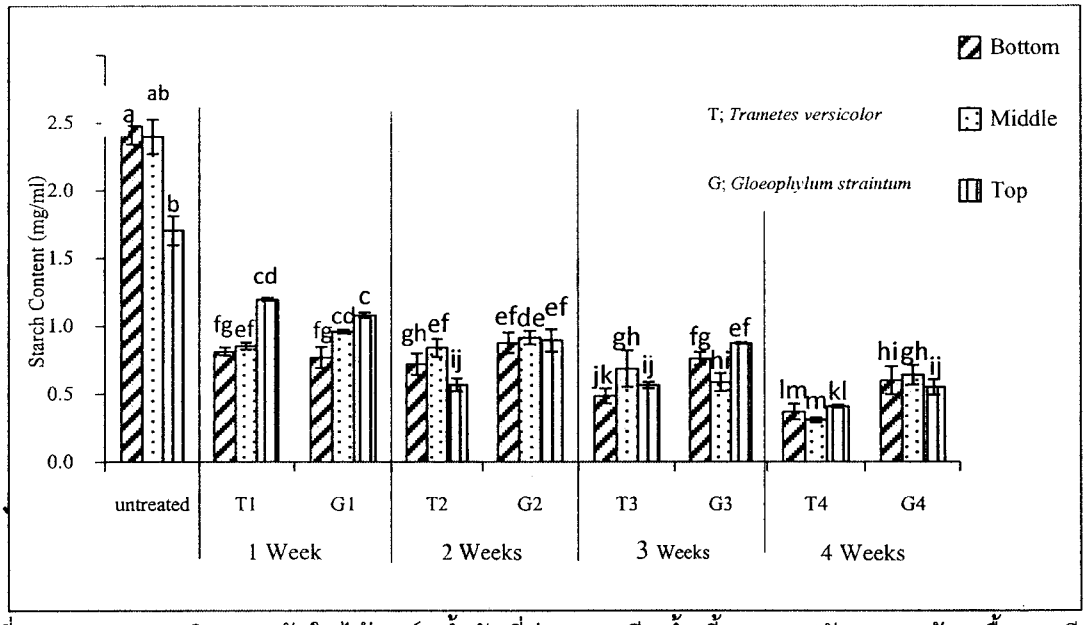
จากการศึกษาปริมาณแป้งของน้ำเลี้ยงต้นปาล์มน้ำมัน (รูปที่ 14) ในส่วนโคนมีปริมาณแป้งอยู่ที่ 0.50 mg/ml ส่วนกลาง 0.43 mg/ml และส่วนปลาย 0.42 mg/ml และในไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออก ในส่วนโคน มีค่า 2.48 mg/ml ส่วนกลาง 2.40 mg/ml และส่วนปลาย 1.71 mg/ml ซึ่งน้ำเลี้ยงของต้นปาล์มน้ำมันมีปริมาณแป้งที่น้อยกว่าปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณแป้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในการศึกษาปริมาณแป้งได้มีรายงานจาก Tay *et al.* (2013) พบปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมัน อยู่ที่ 3.61 %



รูปที่ 14 แสดงปริมาณแป้งในแต่ละส่วนของน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออก

จากการศึกษาปริมาณแป้ง (รูปที่ 15) พบว่าในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออก (untreated) และปรับสภาพด้วยเชื้อรา *T. versicolor* และ *G. straintum* มีปริมาณแป้งที่ลดลงหลังจากที่ไม้ผ่านการปรับ

สภาพด้วยเชื้อรา จากการปรับสภาพไม้ปาล์มน้ำมันที่มีการบีบน้ำเลี้ยงออกนำไปปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว และเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์



รูปที่ 15 แสดงปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว *T. versicolor* และเชื้อราผุสีน้ำตาล *G. straintum* ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์

พบว่า ในการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณแป้งลดลงอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละสัปดาห์โดยการปรับสภาพด้วย *T. versicolor* และ *G. straintum* (ในระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์) อาจเป็นผลมาจากเชื้อรามีการย่อยสลายแป้งและมีการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันลดลงเมื่อเทียบกับไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

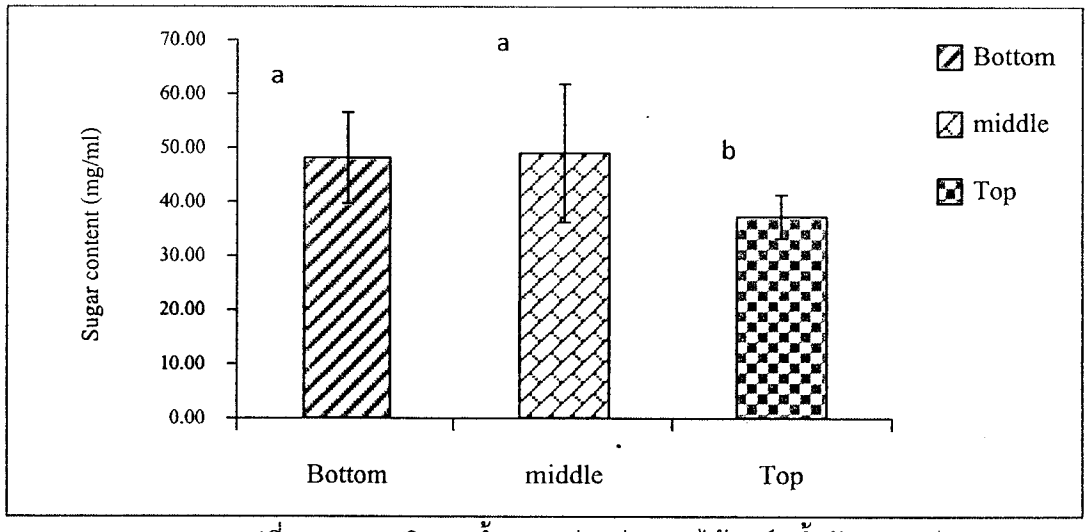
จากการศึกษาปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว *T. versicolor* และเชื้อราผุสีน้ำตาล *G. straintum* เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ สามารถทราบได้ว่าในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงมีปริมาณแป้งสูงที่สุดในส่วนโคน 2.48 mg/ml ส่วนกลาง 2.40 mg/ml และส่วนปลาย 1.71 mg/ml และไม้ปาล์มน้ำมันผ่านการบีบน้ำเลี้ยงปรับสภาพด้วย *T. versicolor* และ *G. straintum* มีปริมาณแป้งลดลงตามระยะเวลาที่ปรับสภาพ

ดังที่กล่าวไว้แล้วเบื้องต้นว่าแป้งมีหน้าที่เป็นกาวธรรมชาติที่ช่วยประสานให้อนุภาคของผงไม้ยึดติดกันได้ดีขึ้น ส่งผลต่อความแน่นของเม็ดพลังงาน ปกติการผลิตเม็ดพลังงานในเชิงพานิชผู้ประกอบการนิยมใส่แป้งมันลงไปในกระบวนอัดเม็ดพลังงานเพื่อให้เม็ดพลังงานอัดขึ้นรูปและอัดกันแน่นได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในกรณีของไม้ปาล์มน้ำมันที่มีแป้งตามธรรมชาติอยู่ในปริมาณมาก ถือเป็นผลดีต่อการอัดให้เป็นเม็ด และจากผลการวิจัยนี้พบว่าปริมาณแป้งในน้ำเลี้ยงของลำต้นไม่แตกต่างกัน และในส่วนลำต้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติของการเตรียมวัตถุดิบสามารถนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาใช้ได้ทั้งต้น จึงสามารถนำทุกส่วนของลำต้นมาผลิตเป็นเม็ดพลังงานได้

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมัน

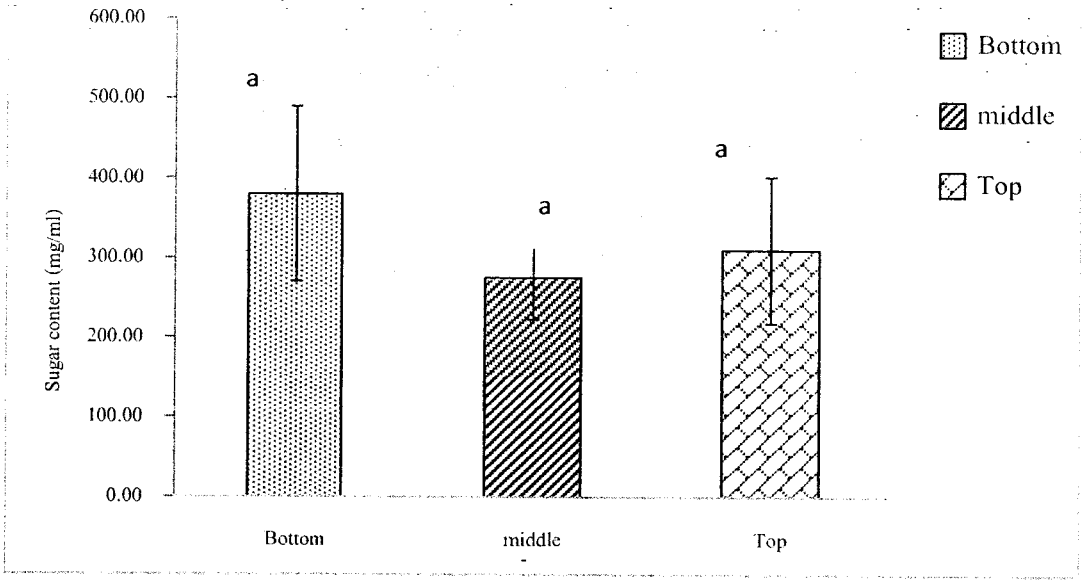
น้ำตาลถือเป็นหน่วยย่อยสุดของแป้ง น้ำตาลช่วยในการยึดติดโมเลกุลของไม้ ซึ่งจะไปจับกับหมู่ OH ขององค์ประกอบทางเคมีของไม้ เช่น ไปจับกับหมู่ OH ในโมเลกุลของกลูโคสในสายใยเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีมากกว่าร้อยละ 50 ในไม้ นอกจากนี้น้ำตาลยังสามารถป้องกันการดูดความชื้นของไม้ได้ด้วย เนื่องจากความชื้นหรือน้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ OH ดังกล่าวในไม้ที่ว่างอยู่ เช่น ในโมเลกุลของกลูโคสในสายใยของเซลลูโลสจะมีหมู่ OH ว่างอยู่ 3 ตำแหน่ง เมื่อน้ำตาลไปจับกับตำแหน่งที่ว่างดังกล่าวจนหมด โมเลกุลของน้ำก็ไม่สามารถมาจับกับตำแหน่งที่ว่างได้ มีผลทำให้ไม้ไม่สามารถดูดความชื้นเข้ามาเพิ่มได้ ในการผลิตเม็ดพลังงานเป็นที่ทราบกันว่าปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลเป็นอย่างมากต่อค่าความร้อน และการเผาไหม้ของเม็ดพลังงาน ถ้าปริมาณความชื้นสูงจะมีผลลบต่อค่าความร้อนและอัตราการเผาไหม้ ในการวิจัยครั้งนี้วัตถุดิบที่ใช้มีค่าน้ำตาลอิสระในปริมาณที่สูงว่าไม้ชนิดอื่นๆ จึงเป็นจุดเด่นต่อสมบัติทางความร้อนและการเผาไหม้ของเม็ดพลังงาน

การศึกษาปริมาณน้ำตาลของไม้ปาล์มน้ำมัน (รูปที่ 16) พบว่าส่วนโคนมีค่าอยู่ที่ 48.17 mg/ml ส่วนกลาง 49.06 mg/ml และส่วนปลาย 37.27 mg/ml เห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลในส่วนกลางสูงที่สุด และส่วนปลายมีปริมาณต่ำสุด และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณน้ำตาลของไม้ปาล์มน้ำมันในส่วนโคนและส่วนกลาง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนปลายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เทียบกับส่วนโคนและส่วนกลาง



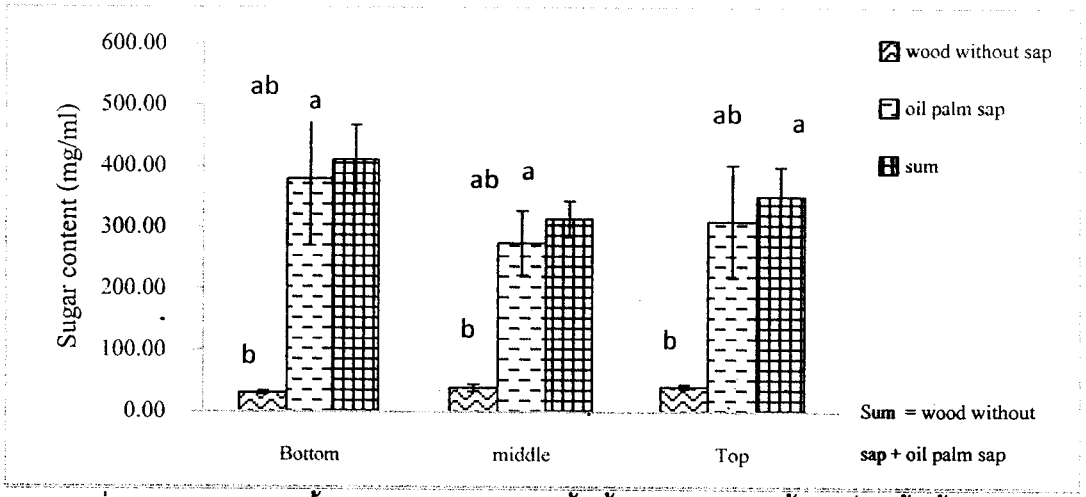
รูปที่ 16 แสดงปริมาณน้ำตาลแต่ละส่วนของไม้ปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาปริมาณน้ำตาลของต้นไม้ปาล์มน้ำมัน (รูปที่ 17) พบว่า น้ำเลี้ยงส่วนโคน มีค่า 379.85 mg/ml ส่วนกลาง 275.29 mg/ml และส่วนปลาย 310.10 mg/ml จากภาพที่ 20 เห็นได้ว่าส่วนโคนและส่วนกลางมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าส่วนปลาย และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณน้ำตาลในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



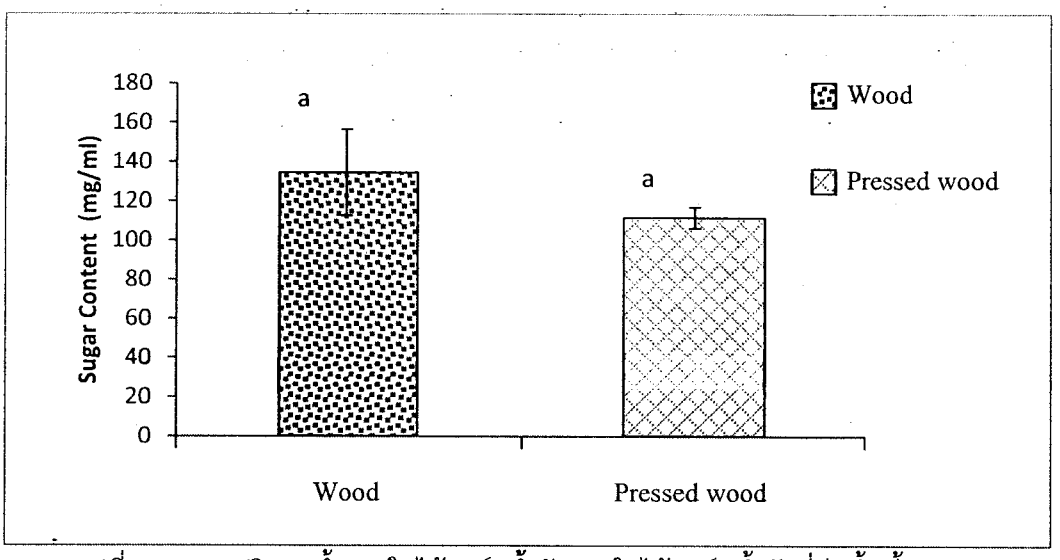
รูปที่ 17 แสดงปริมาณน้ำตาลแต่ละส่วนของน้ำเลี้ยงปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษาปริมาณน้ำตาลของน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออก (รูปที่ 18) พบว่า น้ำเลี้ยงในส่วนโคน มีค่าสูงสุดที่ 379.85 mg/ml เมื่อรวมกับส่วนโคนของไม้ปาล์มที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออก ทำให้ปริมาณน้ำตาลรวมของน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงมีปริมาณสูงที่สุด ที่ส่วนโคน ส่วนกลาง ละส่วนปลาย มีค่าอยู่ที่ 410.94 mg/ml, 314.5 mg/ml และ 351.41 mg/ml ตามลำดับ



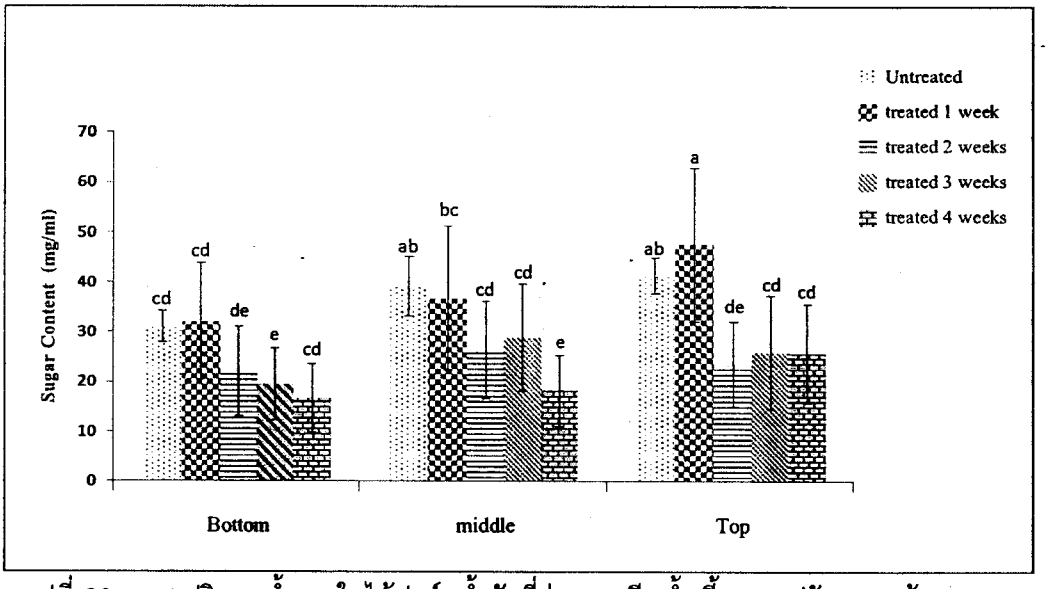
รูปที่ 18 แสดงปริมาณน้ำตาลในแต่ละส่วนของน้ำเลี้ยงและไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออก

จากรูปที่ 19 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ออกไปจากไม้ปาล์มน้ำมันเมื่อผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออก ทำให้ทราบว่าจากการบีบน้ำเลี้ยงออกมาปริมาณน้ำตาลได้ออกมาจากไม้ประมาณ 23 mg/ml และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในไม้ปาล์มน้ำมันและไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออกมา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 19 แสดงปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันและในไม้ปาล์มน้ำมันที่บีบน้ำเลี้ยงออก

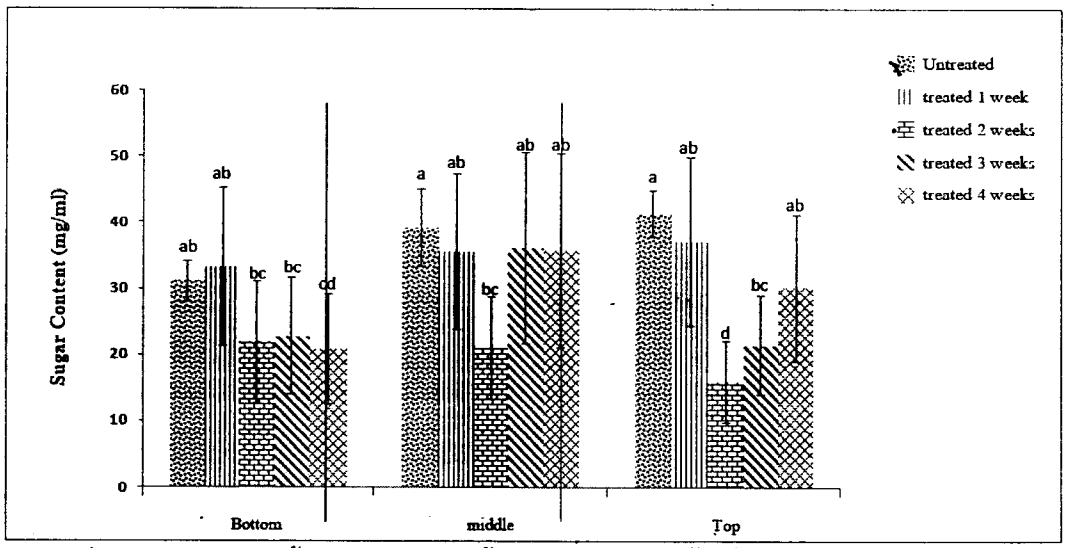
จากรูปที่ 20 และ 21 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออกที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล ซึ่งภาพที่ 20 แสดงปริมาณน้ำตาลไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว เห็นได้ว่าในส่วนโคนปริมาณน้ำตาลลดลงตามระยะเวลาที่ปรับสภาพจะลดลงทุกๆสัปดาห์ ในส่วนกลางปริมาณน้ำตาลในสัปดาห์ที่ 4 จะมีปริมาณน้อยที่สุด และส่วนปลาย ในสัปดาห์ที่ 3-4 ปริมาณน้ำตาลจะไม่มีความแตกต่างกันเท่าที่ควร และจากการวิเคราะห์ทางสถิติภาพที่ 20 และ ภาพที่ 21 จะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว และเชื้อราสีน้ำตาล ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 20 แสดงปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว *T. versicolor* ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์

จากรูปที่ 20 เป็นการศึกษาปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว *T. versicolor* ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยง ส่วนโคนมีปริมาณน้ำตาล 31.09 mg/ml ส่วนกลาง 39.21 mg/ml และส่วนปลาย 41.31 mg/ml และในไม้ปาล์มที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงที่ปรับสภาพด้วยเชื้อรา *T. versicolor* ส่วนโคนปริมาณน้ำตาลลดลงจากการปรับสภาพ เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มีค่าอยู่ที่ 32.10 mg/ml, 22.17 mg/ml, 19.50 mg/ml และ 16.68 mg/ml ตามลำดับ ในส่วนกลาง พบว่า ปริมาณน้ำตาลในการปรับสภาพเป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มีค่าอยู่ที่ 36.78 mg/ml, 26.43 mg/ml, 28.91 mg/ml และ 18.21 mg/ml ตามลำดับ และในส่วนปลายมีปริมาณน้ำตาลในการปรับสภาพระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ อยู่ที่ 47.59 mg/ml, 23.55 mg/ml, 25.98 mg/ml และ 25.72 mg/ml ตามลำดับ

จากรูปที่ 21 เป็นการศึกษาปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล *G. straintum* อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงที่ปรับสภาพด้วยเชื้อรา *G. straintum* ส่วนโคน มีปริมาณน้ำตาล ใน 1 สัปดาห์ มีค่า 33.23 mg/ml, 2 สัปดาห์ มีค่า 21.86 mg/ml, 3 สัปดาห์ 22.80 mg/ml และ 4 สัปดาห์ 20.74 mg/ml ส่วนกลาง 1 สัปดาห์ มีค่าอยู่ที่ 35.58 mg/ml, 2 สัปดาห์ 21.04 mg/ml, 36.13 mg/ml และ 4 สัปดาห์ 35.73 mg/ml และในส่วนปลายที่ 1 สัปดาห์ มีค่า 37.03 mg/ml, 2 สัปดาห์ 15.91 mg/ml, 3 สัปดาห์ 21.47 mg/ml และ 4 สัปดาห์ 30.12 mg/ml



รูปที่ 21 แสดงปริมาณน้ำตาลในไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล *G. straintum* ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์

การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบ C H N S

จากการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบ C, H, N, S (ตารางที่ 3) ในไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยเชื้อราผุทั้งสองชนิด พบว่าในไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรามีค่า C อยู่ที่ 42.00-43.92 % ค่า H อยู่ที่ 5.80 % ค่า N อยู่ที่ 0.37-0.54 % และไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุทั้งสองชนิด ในแต่ส่วน มีค่า C อยู่ที่ 39.45 – 44.15 % ค่า H 5.75-6.31 % ค่า N 0.26-0.47 % และค่า S

0.67-0.90 % (ไม้ปาล์มปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล) ซึ่งพบว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพมี ค่า C H N มากกว่าไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ถ้ามี C H ปริมาณมากจะช่วยให้ติดไฟง่ายขึ้น (สุวดี จางอิสระกุล และคณะ, 2552) เนื่องจาก เมื่อ S ทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน (O) จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นหากเม็ดพลังงาน มี S เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จะไม่เหมาะที่จะเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดมวลสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมากด้วย (นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล, 2557)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบ C H N S

ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว *T. versicolor*

Week	C%			H%			N%			S%		
	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
1	43.51	43.57	42.23	5.83	5.86	6.01	0.38	0.31	0.34	0.15	0.11	0.09
2	43.71	42.4	41.7	5.81	5.98	6.05	0.4	0.39	0.43	0.09	0.07	0.09
3	44.15	40.75	41.65	5.8	6.12	6.06	0.46	0.31	0.33	0.14	0.10	0.11
4	43.75	41.52	39.45	5.75	6.07	6.31	0.45	0.38	0.37	0.10	0.09	0.10

ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล *G. straintum*

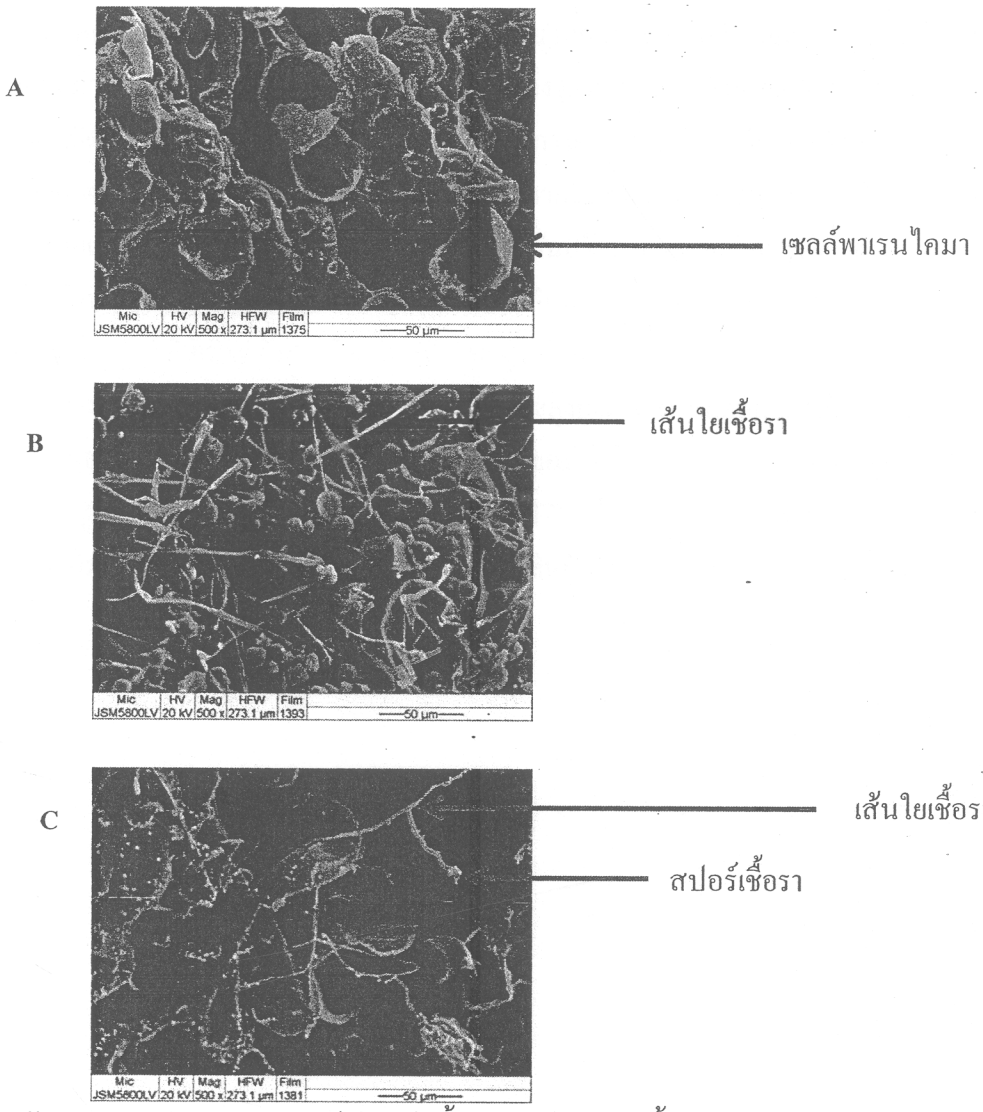
Week	C%			H%			N%			S%		
	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
1	43.91	43.4	42.53	5.84	5.99	6.08	0.32	0.33	0.35	0.08413	0.07682	0.07623
2	43.43	42.25	41.35	5.82	5.97	6.06	0.44	0.39	0.35	0.0867	0.06792	0.07913
3	43.07	42.18	41.13	5.8	6.07	6.12	0.45	0.37	0.31	0.09077	0.0677	0.06971
4	44.12	42.02	39.87	5.89	6.31	6.31	0.47	0.35	0.26	0.08245	0.06793	0.07368

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ไม้ปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและไม้ปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล

รูปที่ 22 แสดงลักษณะทางสัณฐานลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อ 2 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ยี่ห้อ JEOL,JSM-5800LV,Japan กำลังขยาย 500X เมื่อเปรียบเทียบการเข้าทำลายของเชื้อราผุในไม้ปาล์มน้ำมัน สังเกตเห็นการเสื่อมสภาพของไม้ปาล์มน้ำมันที่แตกต่างกัน โดยรูปที่ 22A สังเกตเห็นเซลล์พาเรนไคมาสมบูรณ์เพราะไม้ปาล์มไม่ถูกเชื้อราทำลายและ ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว (รูปที่ 22B) สังเกตเห็นในเนื้อไม้จะมีเส้นใยของเชื้อราผุสีขาวจำนวนมาก โดยราผุสีขาวจะย่อยสลายสารประกอบของเซลล์ในไม้ได้ทั้งลิกนินและเซลลูโลส ทำให้น้ำหนักของไม้ลดลงได้ (ยศนันท์ พรหมโชติกุลและอรุณี วีณิณ, 2549) ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล (รูปที่ 22C) สังเกตเห็นในเนื้อไม้จะพบสปอร์และเส้นใยของเชื้อราผุสีน้ำตาลอย่างเห็นได้ชัด เชื้อราผุสีน้ำตาลจะผลิตเอนไซม์มาย่อยผนังเซลล์จนทะลุเส้นใยจึงงอกเข้าไปในเซลล์ไม้ได้และยังสามารถทำให้รูขยายกว้างยิ่งขึ้นและทำให้เกิดการสูญเสียมวลมากขึ้น (ยศนันท์ พรหมโชติกุลและอรุณี วีณิณ, 2549) เนื่องจากอาหารของเชื้อราผุคือ เซลลูโลส แป้ง น้ำตาล และลิกนิน ที่อยู่ภายในเนื้อไม้ จากการวิเคราะห์ปริมาณแป้งพบว่าในส่วนโคน กลาง ปลาย มีค่า 3.87 mg/ml, 1.90 mg/ml และ 2.21 mg/ml ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลในส่วนโคน กลาง ปลาย มีค่าอยู่ที่ 48.17 mg/ml, 49.06 mg/ml และ 37.27 mg/ml ตามลำดับ พบว่าในไม้ปาล์มน้ำมันมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าปริมาณแป้งอย่างเห็นได้ชัด (ญาดา สุดวรรณ์ และอุรารัตน์ ศรีสุขโชติ, 2558) แม้ว่าในไม้ปาล์มน้ำมันจะมีอาหารของเชื้อราผุอยู่ปริมาณมากแต่เมื่อนำไม้ปาล์มน้ำมันไปปรับสภาพด้วยเชื้อราผุทั้ง 2 ชนิด ในระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีการสูญเสียมวลเพียงเล็กน้อย

วิชุดา ไทยาพงศ์สกุล และอถรรถวุฒิ ศรีสว่าง (2558) ได้ปรับสภาพไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้เชื้อรา *T.versicolorc* และ *G.straintum* ระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าการเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อราผุมีค่าการสูญเสียมวลพบได้สูงสุดที่ 10.77 % โดยในส่วนของ Bottom ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.58 – 7.99 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.52 – 7.48 % ส่วนของ Middle ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 5.72 – 7.61 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 6.06 – 7.73 % และในส่วนของ Top ของเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 4.10 – 10.77 % ส่วนเชื้อราผุสีน้ำตาลมีค่าการสูญเสียมวลอยู่ที่ 4.92 – 7.34 % สรุปได้ว่าการเข้าทำลายของเชื้อราผุสีน้ำตาลมีการสูญเสียมวลน้อยกว่าการเข้าทำลายของเชื้อราผุสีขาว ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละส่วนมีการสูญเสียมวลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้ค่าพลังงานความร้อนลดลง เนื่องจากเชื้อราผุสีน้ำตาลทำลายเซลลูโลสในไม้จะเหลือลิกนิน ซึ่งลิกนินจะทำให้ค่าพลังงานความร้อนสูง (วิชุดา ไทยาพงศ์สกุล และอรรถวุฒิ ศรีสว่าง, 2558) ทั้งนี้การเข้าทำลายของเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนของเม็ดพลังงานสูงขึ้นได้ทั้งสองกรณี เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบหลักทางเคมีในผนังเซลล์ไม้ที่เปลี่ยนไปทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่มีค่าความร้อนสูงมีสัดส่วนที่เด่นขึ้นก็ทำให้ค่าพลังงานความร้องสูงขึ้น



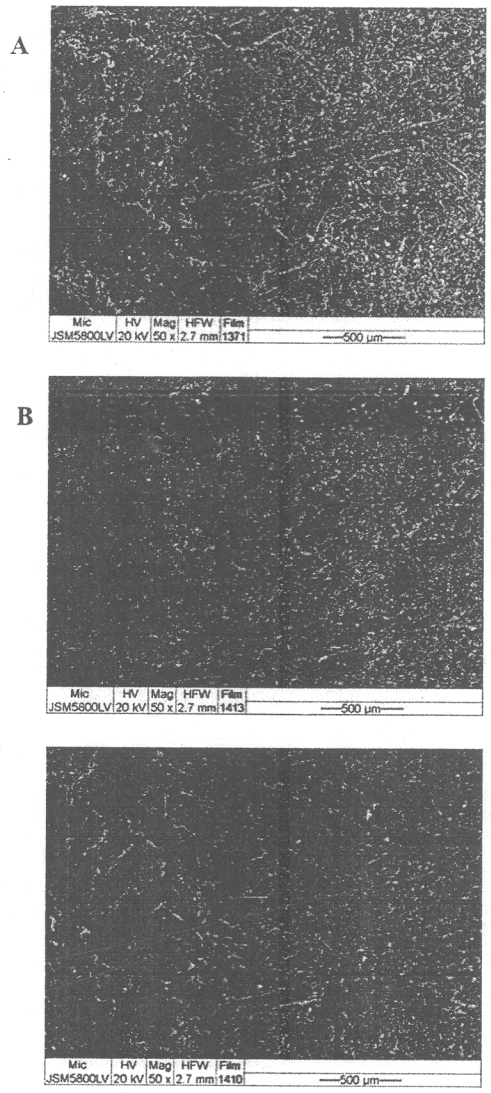
รูปที่ 22 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไม้ปาล์มน้ำมัน (A) ไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการปรับสภาพ (B) ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว (C) ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล

ซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้สามารถเพิ่มสมบัติทางความร้อน คือ ค่าพลังงานความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นของเม็ดพลังงาน อันเนื่องมาจากปริมาณความชื้นที่ลดลงจากผลของปริมาณแป้งและน้ำตาลในเม็ดพลังงานที่ช่วยป้องกันการดูดความชื้นของเม็ดพลังงาน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแน่นของเม็ดพลังงาน ถ้าเม็ดพลังงานมีความแน่นมากขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อค่าพลังงานความร้อนที่สูงขึ้น และอัตราการเผาไหม้ที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีของเม็ดพลังงาน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดพลังงาน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาล

รูปที่ 23 แสดงลักษณะทางสัณฐานลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดพลังงานไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อ 2 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 50X เมื่อเปรียบเทียบการการยึดติดของเม็ดพลังงานในไม้ปาล์มน้ำมัน สังเกตเห็นการการยึดติดของไม้ปาล์มที่แตกต่างกัน โดยภาพที่ 23A จากการสังเกตเห็นว่าที่บริเวณผิวหน้าของเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันไม่ปรับสภาพมีการยึดติดกันแน่น ปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว (รูปที่ 23B) และไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล (รูปที่ 23C) มีการอัดกันแน่นที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในไม้ปาล์มน้ำมัน มีลิกนินจะเป็นสารยึดติดระหว่างอนุภาคของไม้ (Soo Min Lee., 2013) ทำให้เม็ดพลังงานมีความหนาแน่นสูง ซึ่งสอดคล้องการผลการทดลองความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ ยิ่งมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะสูงยิ่งส่งผลให้เม็ดพลังงานมีความแข็งแรง ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของไม้ ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะสูงความแข็งแรงของเม็ดพลังงานจะสูงตามไปด้วย (สุชาดา สุทธิศรีศิลป์, 2547) ซึ่งถ้าเม็ดพลังงานมีโครงสร้างที่แข็งแรงก็สามารถที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงมาก (ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก, 255)



รูปที่ 23 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มที่ไม่ปรับสภาพด้วยเชื้อรา (A)ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาว (B) และ ไม้ปาล์มน้ำมันปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาล (C)

6. สรุปผลการทดลอง

การเข้าทำลายไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลส่วน Bottom, Middle และ Top เป็นระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า การเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อราผุสีขาวมีค่าการสูญเสียมวลพบได้สูงสุดอยู่ที่ 10.77 % ในส่วนของ Top ที่ 4 สัปดาห์ ส่วนการเข้าทำลายไม้ด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาลมีการสูญเสียมวลพบได้สูงสุดอยู่ที่ 7.73% ในส่วนของ Middle ในช่วง 4 สัปดาห์

ปริมาณความชื้นของลำต้นปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 271.65 % และความหนาแน่นของลำต้นปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 440 kg/m^3

ปริมาตรของลำต้นปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ย 1.04 m^3 มวลสดของลำต้นปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,610.40 kg

องค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่หายไปหรือเพิ่มขึ้นของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อราและที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเชื้อรา เมื่อปรับสภาพไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของไม้ปาล์มน้ำมันเปลี่ยนสามารถทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น ซึ่งในการปรับสภาพเชื้อราผุสีขาวและเชื้อราผุสีน้ำตาลเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ มีปริมาณสารแทรกสูงสุด คือ 43.50 % และต่ำสุด 20.00 % ส่วนโฮโลเซลลูโลสสูงสุด คือ 80.32% และต่ำสุด 63.77 % ส่วนแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด คือ 68.18 % และต่ำสุด 30.43 % ส่วนเฮมิเซลลูโลสสูงสุด คือ 48.02 % และต่ำสุด 7.46 % และในส่วนของลิกนินสูงสุด คือ 19.31 % และต่ำสุด 9.36 %

ลิกนินลดลงต่ำสุดเมื่อปรับสภาพไม้ด้วยเชื้อราผุสีน้ำตาลที่ 3 สัปดาห์ โดยมีสัดส่วนของลิกนินต่ำสุดคือ 9.36 %

เซลลูโลสสูงสุดที่ทำการปรับสภาพด้วยเชื้อราผุสีขาวที่ 2 สัปดาห์ โดยมีสัดส่วนของแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด คือ 68.18 %

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งจากน้ำเลี้ยง ในส่วนโคนมีค่า 0.50 mg/ml ส่วนกลาง 0.43 mg/ml และส่วนปลาย 0.42 mg/ml

ปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่า 3.87 mg/ml, 1.90 mg/ml และ 2.21 mg/ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเป็นร้อยละปริมาณแป้งในไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงมีค่า 0.48-0.97 %

ปริมาณแป้งรวม (น้ำเลี้ยง+ไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออก) พบว่า ในส่วนโคนมีค่า 2.98 mg/ml ส่วนกลาง 2.83 mg/ml และส่วนปลาย 2.13 mg/ml ซึ่งคิดเป็นร้อยละของปริมาณแป้ง ได้ว่า ส่วนโคนมีปริมาณแป้ง 0.75 % ส่วนกลาง 0.71 % และส่วนปลาย 0.53 %

ปริมาณน้ำตาลจากน้ำเลี้ยง ในส่วนโคนมีค่าอยู่ที่ 379.85 mg/ml ส่วนกลาง 275.29 mg/ml และส่วนปลาย 310.10 mg/ml และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาณน้ำตาลในน้ำเลี้ยงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณน้ำเลี้ยงในไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงในส่วนโคนมีค่า 48.17 mg/ml ส่วนกลาง 49.06 mg/ml และส่วนปลาย 37.27 mg/mlเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณน้ำตาลรวม (น้ำเลี้ยง+ ไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบีบน้ำเลี้ยงออก) พบว่า ในส่วนโคนมีค่า 410.94 mg/ml ส่วนกลาง 314.50 mg/ml และส่วนปลาย 351.41 mg/ml และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณน้ำตาลรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เม็ดพลังงานจากไม้ปาล์มน้ำมันที่ปรับสภาพพบว่าบริเวณผิวหน้าเรียบและอัดแน่นไม่พบช่องว่างระหว่างอนุภาค เมื่อเทียบกับไม้ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพซึ่งเป็นผลดีต่อค่าพลังงานความร้อนและอัตราการเผาไหม้ของเม็ดพลังงาน

7. เอกสารอ้างอิง

การอบรมเชิงปฏิบัติการ "เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสำหรับภาคอุตสาหกรรม" ประเภทและคุณสมบัติของชีวมวล โดย รศ.ดร. นคร วรสุวรรณรักษ์ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม 25 สิงหาคม 2558 (สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2559)

กระบวนการผลิตเม็ดพลังงาน www.pelletheat.org (สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2558)

กรมวิชาการเกษตร 2553. www .kehakaset .com

ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก.2015.วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.เม็ดเชื้อเพลิงจากไผ่ : พลังงานทดแทนมูลค่ามหาศาล. ฉบับที่1

นคร วรสุวรรณรักษ์. 2015. เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสำหรับภาคอุตสาหกรรม. การอบรมเชิงปฏิบัติการ

รัตนา ชูหว่าง. 2554. แนวทางการใช้ประโยชน์จากลำต้นปาล์มน้ำมัน. J Sci Technol MSU. หน้า 456-462

เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2541. ปาล์มน้ำมัน. พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 117-122

ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ. 2556. รายงานฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. หน้า 138-176

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577 (29 พฤษภาคม 2558)

http://e-book.ram.edu/e-book (สืบค้นเมื่อ12 ตุลาคม 2558)

http://www.foodnetworksolution.com

Balfas J. New approach to oil palm wood utilization for woodworking production part1:Basic properties. J Forest Res. 2006: 3(1) 55-65

Cherdchim B. 2010. Action of Lignocellulolytic enzymes on *Abies grandis* (grand fir) wood for application in biofuel production. Göttingen.

Erwinsyah. Improvement of oil palm wood properties using bioresin. Institit fur Forstntzung und Forsttechnik Fakultat fur Foest-,Geo- und Hydrowissenschaften, Technische Universitat Dresden. 2008

Chin Kl, H'ng PS, Wong LJ, Tey BT, and Paridah. Optimization study of ethanolic fermentation from w oil palm trunk, ruberwood and mixed hardwood hydrolysates using Saccharomyces cerevisiae. Bioresource Tech. 2010 10:3287-3291

Henson LE, Chang KC, Aishah MSN, Chai SH, Hasnuddin Y and Zakaria A. The oil palm as a carbohydrate reserve. J Oil palm Res. 1999 11(2): 98-113

Killmann H. and Hong LT. Rubberwood the success of an agricultural by product. Unasylva. 2000:51 (201) 66-72

Kamikawa, D,.Kuroda, K,.Inoue, M. Kubo, S. Yoshida, T,. 2009. Evaluation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter. J Wood Sci. 55, 453-457.

Krishna Kumar Pandey. Rapid characterisation of brown and white rot degraded chir pine and rubberwood byFTIRspectroscopy.2007 65: 477–481

Kubojima, Y. and Yoshida, T. 2015. Testing method for determining water resistance of wood pellets. Eur. J. Wood Prod. 73, 193-198

Pooja Singh, Othman Sulaiman, Rokiah Hashim, Leh Cheu Peng, Rajeev Pratap Singh,. 2013. Evaluating biopulping as an alternative application on oil palm trunk using the white-rot fungus Trametes versicolor. 82, 96-103.

Singh, P,.Sulaiman, O,.Hashim, R. Peng, L.C. and Singh, R.P,. 2013. Using biomass residues from oil palm industry as a raw material for pulp and paper industry: potential benefits and threat to the environment. Environ Dev. 15, 367-383.

Sjöström E. 1993. Wood chemistry: Fundamentals and applications. Academic press. Boston.

8. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

จากปัญหาและอุปสรรคจากกระบวนการปรับสภาพไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อราผุ อาจทำให้เสียเวลาในการเตรียมวัตถุดิบ ในเชิงพานิชจึงควรลดขั้นตอนบางส่วนหรือพัฒนากระบวนการในการจัดเจ็บไปพร้อมๆ กับการปรับสภาพด้วยเชื้อรา เพื่อลดต้นทุนและความยุ่งยากของกระบวนการ เช่น การ stock วัตถุดิบอาจทำไปพร้อมๆ กับการปรับสภาพ หรือการเพิ่มขั้นตอนการหีบน้ำเลี้ยงจากต้นปาล์มน้ำมันร่วมด้วย เพื่อใช้น้ำตาลอิสระเป็นผลผลิตเริ่มต้นในการหมักให้ได้เอทานอล นอกจากได้ใช้ประโยชน์จากน้ำตาลแล้ว ยังสามารถลดปริมาณความชื้นให้กับไม้ปาล์มน้ำมันให้เท่ากับไม้โดยทั่วไป ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการอัดเม็ดพลังงาน ส่วนน้ำตาลในเซลลูโลสจากการปรับสภาพด้วยวิธีธรรมชาตินี้ยังเป็นประโยชน์ในการนำไปเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพื่ออุตสาหกรรมไบโอเอทานอล หรือไบโอแก๊สได้ และในกระบวนการแปรรูปไม้ปาล์มน้ำมันควรหาเครื่องเลื่อยและเครื่องจักรที่มีความเหมาะสมต่อลักษะทางกายวิภาคไม้ เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพไม้ตามที่ต้องการ เช่นการใช้ใบเลื่อยแบบเคลือบคาร์ไบด์ เพื่อลดการสึกหรือของใบเลื่อยในขั้นตอนการตัดไม้ เป็นต้น