



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การประเมินศักยภาพพืชพลังงาน 7 สายพันธุ์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
Potential Evaluation of Crop Energy for produce Bio gas

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556
จำนวน 100,000 บาท

หัวหน้าโครงการ
ผู้ร่วมโครงการ

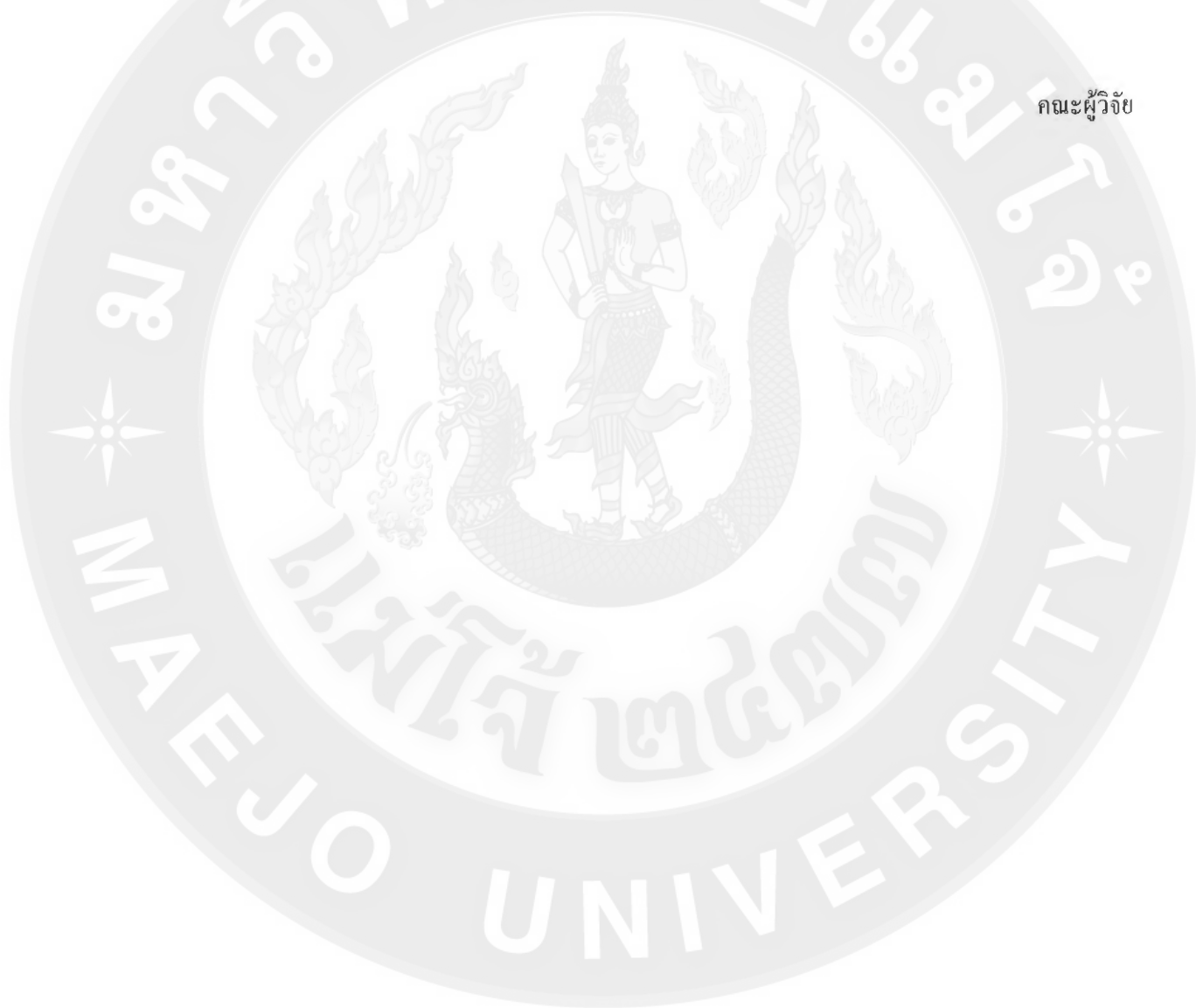
นายชินรต ศรีศิริ
นายนกรบ กัดกกลีบ
นางสาวภัทรสุดา วงศ์จักร

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
30 มิถุนายน 2557

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การประเมินศักยภาพพืชพลังงาน 7 สายพันธุ์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2556 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งทำให้การดำเนินโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	1
คำนำ	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	31
ผลการวิจัย	52
วิจารณ์ผลการวิจัย	64
สรุปผลการวิจัย	65
เอกสารอ้างอิง	66

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและผลผลิตโปรตีน (กิโลกรัมต่อไร่) ของหญ้าเมื่อใช้สายพันธุ์เนเปียร์และระยะการตัดหญ้าแตกต่างกัน	7
ตารางที่ 2	คุณสมบัติของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1, หญ้าภูชี, หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าแพงโกล่า	15
ตารางที่ 3	การรวบรวมข้อมูลในการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในหญ้าชนิดต่างๆ	19
ตารางที่ 4	สัดส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพ	30
ตารางที่ 5	คุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ	30
ตารางที่ 6	การดำเนินการทดลอง	50
ตารางที่ 7	ค่าคุณสมบัติของดินในแปลงปลูกหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ	52
ตารางที่ 8	ผลการวิเคราะห์ค่าของหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ ในส่วนของการปลูกในกระถางทดลอง	52
ตารางที่ 9	คุณสมบัติของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง เนเปียร์ยักษ์ และบาน่าในแปลงปลูก	53

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	โครงการก๊าซชีวภาพอัดความดันสูงโดยอาศัยหญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่	3
ภาพที่ 2	หญ้าเนเปียร์	5
ภาพที่ 3	หญ้าแพงโกล่า	7
ภาพที่ 4	หญ้านิสนี้สีม่วง	9
ภาพที่ 5	หญ้าเนเปียร์แคระ	11
ภาพที่ 6	หญ้าเนเปียร์แคระ(Mott)	11
ภาพที่ 7	หญ้างิงส์เนเปียร์	12
ภาพที่ 8	หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1	13
ภาพที่ 9	หญ้าบาน่า	14
ภาพที่ 10	ลำดับขั้นสายพันธุ์ของหญ้าเนเปียร์ชนิดต่างๆ	15
ภาพที่ 11	Scanning electron microscopy image for the obtained materials	16
ภาพที่ 12	Scanning electron micrographs of grass pea starches	17
ภาพที่ 13	Scanning electron micrograms of Napier grass fibers	18
ภาพที่ 14	Photographs of (a) Napier grass and (b) extracted grass fibers	18
ภาพที่ 15	Scanning electron micrographs of the cross section of Napier grass fibers	18
ภาพที่ 16	จุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่ผลิตเอนไซม์ในการย่อยสลายวัสดุชีวมวล	24
ภาพที่ 17	การย่อยสลายสารอาหารชนิดต่างๆของจุลินทรีย์	24
ภาพที่ 18	การผลิตกรดของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ	25
ภาพที่ 19	การย่อยสลายในขั้นตอน Acetogenesis	25
ภาพที่ 20	กระบวนการผลิตไฮโดรเจนสำหรับปฏิกิริยาการร่วมตัวกับ Acetate	26
ภาพที่ 21	ปฏิกิริยาในการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ	27
ภาพที่ 22	ขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบแอนแอโรบิก	27
ภาพที่ 23	กระบวนการผลิตแก๊สมีเทน	28
ภาพที่ 24	การทดลองปลูกในกระถางโดยการเพาะเมล็ด	32
ภาพที่ 25	ลักษณะของหญ้าที่ปลูกในกระถางตามขอบเขตของการทดลองที่ได้วางไว้	33
ภาพที่ 26	ลักษณะของรากหญ้าที่กระจุกด้วยกัน	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 27	ลักษณะของหญ้าที่เจริญเติบโตภายในกระถาง	34
ภาพที่ 28	ลักษณะของท่อนพันธุ์ที่ใช้ในการปลูกในแปลงปลูก	34
ภาพที่ 29	ลักษณะของแปลงที่ใช้ปลูก	35
ภาพที่ 30	การทดลองปลูกหญ้าในแปลงปลูก	35
ภาพที่ 31	ลักษณะของหญ้าที่เกิดขึ้นในแปลงปลูก	36
ภาพที่ 32	ลักษณะของโรคพืชที่เกิดขึ้นกับหญ้าในแปลง	36
ภาพที่ 33	ลักษณะของชุดผลิตแก๊สชีวภาพ	37
ภาพที่ 34	ลักษณะของการประกอบชุดผลิตแก๊สชีวภาพ	39
ภาพที่ 35	การเริ่มงอกของต้นหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ	40
ภาพที่ 36	สภาพอากาศที่หนาวจัดในช่วงต้นปีมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้า	40
ภาพที่ 37	การเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม – มีนาคม 2557	40
ภาพที่ 38	การบดย่อยหญ้าที่ใช้ในการทดลอง	45
ภาพที่ 39	การเติมน้ำให้แกหญ้า	46
ภาพที่ 40	การเตรียมตู้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในโครงการ	46
ภาพที่ 41	การดำเนินการสร้างโครงเหล็กในการทดลอง	47
ภาพที่ 42	การทำหญ้าหมักก่อนใส่ลงในชุดผลิตแก๊สชีวภาพ	47
ภาพที่ 43	ถังผลิตแก๊สชีวภาพขนาด 200 ลิตร	48
ภาพที่ 44	ลักษณะของหญ้าในถังผลิตกรด	49
ภาพที่ 45	แผนผังการทดลอง	51
ภาพที่ 46	ลักษณะของต้นหญ้าที่ทำการแกะเปลือกเพื่อดูปริมาณน้ำในลำต้น	53
ภาพที่ 47	ค่า Total solid ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหญ้างาม	54
ภาพที่ 48	ค่า Volatile solid (mg/L) ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ และหญ้างาม	55
ภาพที่ 49	ค่า Volatile Fatty Acid (mg/L) หญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ และหญ้างาม	55
ภาพที่ 50	ค่า Alkalinity ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหญ้างาม	56
ภาพที่ 51	ค่า pH หญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหญ้างาม	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 52	ปริมาณ COD ของหุ้มน้ำเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหุ้มน้ำ	57
ภาพที่ 53	ปริมาณแก๊สของหุ้มน้ำเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่เกิดขึ้นต่อวัน	58
ภาพที่ 54	ปริมาณแก๊สของหุ้มน้ำเนเปียร์ยักษ์ ที่เกิดขึ้นต่อวัน	58
ภาพที่ 55	ปริมาณแก๊สของหุ้มน้ำเนเปียร์ยักษ์ ที่เกิดขึ้นต่อวัน	59
ภาพที่ 56	ถังผลิตแก๊สชีวภาพในกระบวนการทดลอง	59
ภาพที่ 57	การตรวจวัดการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ได้จากกระบวนการทดลอง	60
ภาพที่ 58	การวัดเปอร์เซ็นต์ของแก๊สชีวภาพ	62
ภาพที่ 59	การเก็บแก๊สชีวภาพโดยใช้ถุงเก็บแก๊ส	63

การประเมินศักยภาพพืชพลังงาน 7 สายพันธุ์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
Potential Evaluation of seven Energy Crop for Bio gas production

ชิโนรส ศรีศิริ¹ นักรบ กัดกลีบ¹ และภัทรสุดา วงศ์จักร²

Shinorod Sresiri,¹ Nakrob Kradkreb¹ and Patarasuda wongjak²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การทดลองในครั้งนี้ ได้ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ของหญ้าที่ให้ลักษณะของการเจริญเติบโตที่สูง ทนต่อสภาวะขาดแคลนน้ำ และให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผ่านการย่อยสลายเซลลูโลสของจุลินทรีย์ในอากาศชนิดผลิตกรด ซึ่งจะมีผลต่อการส่งต่อกรดอินทรีย์และเชื้อเมทาโนเจนที่สามารถที่จะนำเอาสารอะซิเตด ไปผลิตเป็นแก๊สมีเทนในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยหญ้าที่มีลักษณะทางกายภาพที่โตเร็วและให้ปริมาณเซลลูโลสที่สูง คือหญ้านาเนเปียร์ปากช่อง 1, หญ้านาเนเปียร์ยักษ์หรือคิงส์เนเปียร์ และหญ้านานา ซึ่งจะทำให้การตัดในช่วงการเจริญเติบโตที่ 60 วัน พบว่าหญ้านาเนเปียร์มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 50.2, หญ้านาเนเปียร์ยักษ์หรือคิงส์เนเปียร์มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 48.7 และหญ้านานามีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 46.7 ตามลำดับ
คำสำคัญ: เมทาโนเจน, น้ำตาลรีดิวซ์, สารอะซิเตด, เซลลูโลส

Abstract

The experiment has selected types of grass that has a high growth rate in the drought for insufficient water and they can give reducing sugar form degradation cellulose by airborne acid bacteria. It has effected to organic acids to Methanogenic bacteria that can used acetate from acetic acid to methane in anaerobic condition. Remarkably, a physical characteristic of a high growth rate and a high cellulose grass is Napier Pakchong1, King Napier and Bana. The cutting intervals at 60 days, it showed that Napier Pakchong1 has 50.2% Methane, King Napier has 48.7% Methane, and Bana has 46.7% Methane, respectively

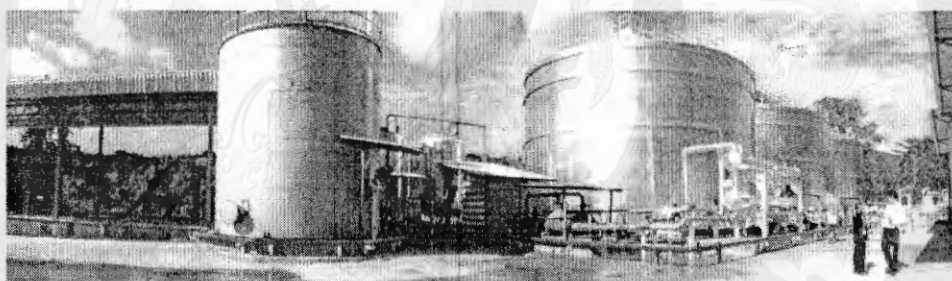
Keywords: Methane, Reducing sugar, Acetate, Cellulose

คำนำ

การพัฒนาประเทศไทยในปัจจุบันเน้นด้านพลังงานทดแทนเป็นส่วนใหญ่ การประยุกต์ใช้ชีวมวล โดยเฉพาะไบโอแก๊สหรือแก๊สชีวภาพ ที่สามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนสะอาดในระดับครัวเรือนได้ การทดลองในครั้งนี้ได้นำเอาหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ เพราะสามารถที่จะทนต่อสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยได้ โดยวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ เพื่อศึกษาองค์ประกอบต่างๆของหญ้า (ปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส แป้ง น้ำตาล ไขมัน และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน) ที่มีผลต่อการศึกษาภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ และเพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการปลูก และเพิ่มมูลค่าให้กับพืชพลังงาน โดยในอนาคตถ้ามีการต่อยอดและส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาปลูกหญ้า เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพไว้สำหรับใช้ในครัวเรือน ก็น่าจะเป็นการแก้ไขปัญหของการขาดแคลนพลังงานความร้อนในระดับครัวเรือนได้เป็นอย่างดี โดยทางคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าในอนาคตจะเป็นอีกหนึ่งแรงหนึ่งในการพัฒนาต่อยอดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพให้ดียิ่งๆขึ้นไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปัจจุบันพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานถือเป็นพลังงานทางเลือกได้รับความนิยมอย่างมาก ในปัจจุบัน การประเมินของกระทรวงพลังงานพบว่า การปลูกพืชพลังงานจำพวกหญ้าเนเปียร์ (Napier Grass: Pennisetum purpureum) 1 พันไร่ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 เมกะวัตต์ ใช้เงินลงทุน ประมาณ 100 ล้านบาท ทำให้กระทรวงพลังงานมีเป้าหมายที่จะตั้งกองทุน สนับสนุนด้านการเงิน ให้กับองค์การบริหารส่วนตำบล สหกรณ์การเกษตร และเกษตรกรรายย่อย โดยมีเป้าหมาย แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้เพิ่มเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ใน 10 ปี (2555-2564) โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์จะเพิ่มขึ้น ในเบื้องต้นจะส่งเสริมให้ผลิตไฟฟ้า ให้ได้ถึง 7 พันเมกะวัตต์ ปัจจุบันได้มีการตั้งโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์นำร่องแล้วที่ จังหวัดเชียงใหม่ คาดว่าการส่งเสริมให้ผลิตไฟฟ้าจากหญ้าเนเปียร์นี้ จะสร้างรายได้ที่ยั่งยืนให้กับ เกษตรกร และสร้างความมั่นคงทางไฟฟ้าให้กับประเทศชาติ การศึกษาปัจจัยในการปลูกพืช พลังงานจึงจัดเป็นแนวทางหนึ่งที่ตอบสนองการแก้ไขในวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน



ภาพที่ 1 แสดงโครงการก๊าซชีวภาพอัดความดันสูงโดยอาศัยหญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับการ ผลิตก๊าซชีวภาพระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่

จากองค์ประกอบด้านต่างๆ จึงทำให้ งานวิจัยนี้มีความต้องการที่จะศึกษา ดังรายละเอียด คือ

- เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อไร่ในระดับแปลงสาธิต การปลูก
- เพื่อศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของหญ้า (ปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส แป้ง น้ำตาล ไขมัน และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน) ที่มีผลต่อการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ
- เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการปลูก และการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชพลังงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบศักยภาพของหญ้าที่จะนำมาผลิตแก๊สชีวภาพ
2. เป็นการส่งเสริมการปลูกหญ้าที่เกษตรกรสามารถเข้ามามีส่วนร่วมได้
3. พัฒนางานวิจัยด้านการผลิตแก๊สชีวภาพโดยอาศัยการหมักร่วม
4. เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ วารสาร และบทความทั่วไป เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้สนใจต่อไป
5. เทิดพระเกียรติพระอัจฉริยภาพของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยขยายผลงานวิจัยตามแนวพระราชดำรินางานด้านพลังงานทดแทน

การตรวจเอกสาร

1. หญ้าเนเปียร์



ภาพที่ 2 แสดงหญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pennisetum purpureum* เป็นพืชดั้งเดิมของแอฟริกาเขตร้อน สามารถใช้น้ำชลประทานได้ในช่วงแล้ง ให้ผลตอบแทนสูงกว่าหญ้าจัมโบ้ ซอกัมแดง และหญ้าไข่มุก ผลผลิตน้ำหนักแห้งประมาณ 23 - 35 ตันต่อไร่ต่อปี มีโปรตีนอยู่ประมาณ 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การจัดการปลูกดูแลรักษา ปริมาณและการแพร่กระจายของฝน รวมทั้งการตัดนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีความสำคัญไม่น้อย เนื่องจากการตัดส่วนของต้นและใบพืชไปใช้ ทำให้พื้นที่สังเคราะห์แสงของพืช ลดลง และมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตน้อยลงด้วยการตัดหญ้าแต่ละครั้งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงักประมาณ 6 - 18 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และถ้าตัดหญ้าบ่อยครั้งเกินไป อาจมีผลทำให้หญ้านั้นตายได้ รายงานว่าการตัดหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ ในพื้นที่ชลประทานจังหวัดชัยนาท เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี ควรตัดทุก ๆ 30 วัน โดยการตัดที่ระดับความสูง 7.5 - 15 เซนติเมตร จะได้ผลดีกว่าการตัดที่ระดับชิดดิน แม้ว่าการตัดหญ้าบ่อยครั้ง จะทำให้ผลผลิตของพืชอาหารสัตว์ลดลง แต่จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มขึ้น และสารเยื่อใยลดลง อย่างไรก็ตามความถี่ของการตัดจะมีผลต่อปริมาณโปรตีนและเยื่อใยในหญ้ามากกว่าระดับความสูงของการตัด

จากการศึกษาของวิรัช (2542) พบว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นในตารางที่ 1 จากการทดลองทั้ง 2 ปี หญ้าเนเปียร์ หญ้าเนเปียร์แกระ และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2 ปี ใกล้เคียงกัน คือ 1725.0, 1664.1 และ 1661.3 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีตามลำดับ เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีลำต้นสูงกว่า แต่มีความหนาแน่นของต้นต่อตารางเมตรต่ำกว่าหญ้าเนเปียร์อีก 2 สายพันธุ์

ช่วงระยะเวลาการตัดหญ้าจะมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือของหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ต่าง ๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 กล่าวคือ ในการทดลองปีที่ 1 นั้น การตัดหญ้า 30 40 และ 50 วัน ไม่มีผลทำให้ ผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือของหญ้าในปีที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การตัดหญ้าทุก 40 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือของหญ้าในปีที่ 2 สูงกว่า การตัดหญ้าทุก 30 และ 50 วัน เนื่องจากในการทดลองปีที่ 2 นั้น หญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ที่ตัดทุก 40 วัน มีความหนาแน่นของต้นเฉลี่ยสูงกว่าการตัดทุก 50 วัน เมื่อพิจารณาผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือจากการทดลอง 2 ปีของหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ จะเห็นได้ว่าการตัดหญ้าทุก 40 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือ 1747.8 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าการตัดหญ้าทุก 30 และ 50 วัน ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือของหญ้าเฉลี่ย 1674.6 และ 1628.0 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าการตัดหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์ทุก 30 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนักร้างเหลือของหญ้าเฉลี่ย สูงกว่าการตัดหญ้าทุก 40 และ 50 วัน เนื่องจากพื้นที่ดินบริเวณแปลงทดลองของศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ชัชนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และสามารถให้น้ำชลประทานได้ตลอดปี ทำให้หญ้ามีการแตกกอ เจริญเติบโต และสะสมน้ำหนักร้างได้เร็วกว่าการทดลองนี้ซึ่งอยู่นอกเขตชลประทาน และภายในสภาพพื้นที่ชลประทานจังหวัดชัชนาพื้นที่ การปล่อยให้หญ้าเจริญเติบโตไปจนถึง 40 และ 50 วัน จะเกิดการแย่งแสงแดดและปัจจัยที่จำเป็นอื่น ๆ ระหว่างหญ้าด้วยกันเอง ทำให้อัตราการคายของแขนงเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักร้างของหญ้านลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดหญ้าทุก 30 วัน

ตารางที่ 1 แสดงผลผลิตน้ำหนักแห้งและผลผลิตโปรตีน(กิโลกรัมต่อไร่) ของหญ้าเมื่อใช้สายพันธุ์เนเปียร์และระยะการตัดหญ้าแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กก. ต่อไร่)			ผลผลิตโปรตีน เฉลี่ย (กก.ต่อไร่)
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	เฉลี่ย	
สายพันธุ์หญ้า				
หญ้านเนเปียร์	1721.7	1711.1	1725.0	194.1
หญ้านเนเปียร์แคระ	1788.9	1539.3	1664.1	178.6
หญ้านเนเปียร์ยักษ์	1698.2	1624.4	1661.3	177.2
CV. (%)	21.2	10.2	10.9	13.4
ระยะเวลาตัด (วัน)				
30	1771.3	1577.9 ^b	1674.6 ^b	201.6 ^a
40	1741.2	1737.1 ^a	1747.8 ^a	195.0 ^a
50	1696.2	1559.8 ^b	1628.0 ^b	153.1 ^b
CV. (%)	5.3	10.0	4.3	8.4
พันธุ์หญ้า x ระยะเวลาตัด	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ

- ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันกำกับอยู่ในแนวดัง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย DMRT

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- NS หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ที่มา: วิรัช สุขสราญ, 2542

2. หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*)



ภาพที่ 3 แสดงหญ้าแพงโกล่า

ลักษณะโดยทั่วไป เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี ต้นกึ่งตั้งกึ่งเลื้อย ลำต้นเล็ก ไม่มีขน ใบเล็กเรียวยาว ใบคอกอ่อนนุ่ม เหมาะสำหรับการทำหญ้าแห้ง ทนน้ำท่วมขัง เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะสำหรับปลูกในเขตชลประทาน ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 5.0 – 7.0 ตันต่อไร่ต่อปี มีโปรตีน 7-11 เปอร์เซ็นต์

การปลูก ใช้ท่อนพันธุ์อัตรา 250 – 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพื้นที่ลุ่ม ทำเทือกแบบนาหว่านน้ำตาม ปรับระดับน้ำให้สูง 10 -15 เซนติเมตร หว่านท่อนพันธุ์ให้ทั่วแปลงแล้ว นานบกดท่อนพันธุ์ให้จมน้ำ แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วระบายน้ำออกจากแปลง ส่วนพื้นที่ดอน หลังจากไถพรวนแล้ว ชักร่องห่างกัน 30 ซม. ลึกประมาณ 10 ซม. วางท่อนพันธุ์เรียงกันเป็นแถว ใช้ดินกลบให้แน่นพอสมควร ในพื้นที่ที่ไม่สามารถปล่อยน้ำเข้าแปลงได้ ควรให้น้ำโดยระบบน้ำฝอย (สปริงเกอร์) ทุกๆ 3-5 วัน ในขณะที่ฝนทิ้งช่วงหรือในฤดูแล้ง

การใส่ปุ๋ย ก่อนปลูกควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้น และควรใส่ปุ๋ยคอกร่วมด้วย ในแต่ละรอบของการตัดควรใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 2 ครั้ง ครั้งละ 10 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งแรกหลังตัด 1 วัน และครั้งที่ 2 หลังตัด 10 – 15 วัน

การกำจัดวัชพืช ถ้าพบวัชพืชขึ้นแต่ไม่มากนักให้ทำการตัดปรับเมื่อหญ้ามีอายุ 60 วัน วัชพืชส่วนใหญ่จะถูกแฉกโกล่าปกคลุม ในแปลงที่มีวัชพืชขึ้นรุนแรงควรใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดใบกว้างเช่น 2,4-D (Disodium salt) อัตรา 150 กรัม/ไร่ ในขณะที่ดินมีความชื้นแต่น้ำไม่ท่วมขังแปลง ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 3 วัน จึงให้น้ำได้

การใช้ประโยชน์ การตัดหญ้าแฉกโกล่าไปใช้เลี้ยงสัตว์ ควรตัดหญ้าครั้งแรก 60 วัน และตัดครั้งต่อไปทุกๆ 40 วัน โดยตัดสูงจากพื้นดิน 5-10 ซม. การปล่อยสัตว์เข้าแทะเล็มครั้งแรก ควรปล่อยเมื่ออายุ 90 วัน หญ้าแฉกโกล่าเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงโค กระบือ ในรูปหญ้าสด หญ้าแห้ง หรือหญ้าหมัก

คุณค่าทางโภชนา แฉกโกล่าที่อายุการตัดทุก 45 วัน มีโปรตีนหยาบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 29 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 8.15 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 46 เปอร์เซ็นต์ และโภชนาย่อยได้ทั้งหมด (TDN) 59 เปอร์เซ็นต์

การผลิตหญ้าแห้ง หญ้าแฉกโกล่ามีลำต้นและใบเล็ก จึงทำแห้งได้ง่าย เมื่อแห้งมีกลิ่นหอม อ่อนนุ่ม สัตว์ชอบกิน จึงเหมาะสำหรับผลิตหญ้าแห้งคุณภาพดีจะต้องมีแสงแดดดี ท้องฟ้าเปิด โดยตัดหญ้าอายุ 40-45 วัน การผึ่งหญ้าที่ตัดแล้วในแปลงให้กระจายหญ้าทุกวัน วันละ 2-3 ครั้ง เพื่อให้หญ้าได้รับแดดเต็มที่และแห้งไว หญ้าที่เหมาะสมสำหรับการอัดฟ่อนความชื้นไม่ควรเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ การอัดหญ้าสามารถใช้แรงงานคนโดยอัดหญ้าในลังไม้ขนาด 35x70x35 ซม.

3. หญ้ากินนีสีม่วง (Purple Guinea Grass) *Panicum maximum* TD58



ภาพที่ 4 แสดงหญ้ากินนีสีม่วง

หญ้ากินนีสีม่วง เป็นหญ้าที่เจริญเติบโตดีในสภาพอากาศร้อนชื้นเจริญเติบโตแบบกอตั้ง ลำต้นแตกแขนงเป็นกอล้ายกอดตะไคร้ มีความสูง 2-3 เมตร มีใบขนาดใหญ่ ดอก อ่อน นุ่ม ส่วนของข้อปล้อง ข้อดอกและเมล็ดมีสีม่วงอมเขียว ต่างจากหญ้ากินนีพันธุ์อื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีสีเขียวอย่างเด่นชัด ขนาดของเมล็ดใหญ่กว่ากินนีธรรมดา

มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและร้อนชื้นของทวีปแอฟริกา อเมริกากลางและอเมริกาใต้ ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกโดยเจ้าพระยาสุรวงศ์ เมื่อปี พ.ศ.2444 โดยนำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย (ตรีพล, 2527) และต่อมาในปี พ.ศ.2472 Mr. Jones ก็นำเข้ามาปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์อีกครั้ง

หญ้ากินนีสีม่วงมีลักษณะทั่วไปเหมือนหญ้ากินนีธรรมดา แต่มีลำต้นสูงใหญ่ ใบใหญ่ ดอกและอ่อนนุ่ม ผลผลิตสูงกว่า ติดเมล็ดง่าย การเจริญเติบโตแบบอายุหลายปี และมีลักษณะที่โดดเด่นคือ ทนต่อความแห้งแล้ง ในผลผลิตสูงและสัตว์ชอบกิน ทนต่อการเหยียบย่ำ ทนต่อการเผาไหม้ ตอบสนองต่อการให้น้ำและปุ๋ยในโตรเจนได้ดี เหมาะสำหรับนำมาทำหญ้าแห้งหรือหญ้าหมัก กินนีสีม่วง สามารถปลูกได้เกือบทุกสภาพพื้นที่ ซึ่งเป็นที่ดอนตั้งแต่ดินเหนียว จนถึงดินทรายที่มีการระบายน้ำดี ทนต่อสภาพดินที่ค่อนข้างเค็มได้ดี ทนร่มเงา และเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 900 มิลลิเมตรต่อปี มีอัตราการติดเมล็ดดีกว่าซึ่งผลผลิตเมล็ดได้มากถึง 1.7-3.1 ล้านเมล็ดต่อกิโลกรัม เมล็ดที่ผลิตได้มีความงอกดีกว่ากินนีทั่วไป

การปลูกใช้เมล็ดพันธุ์หรือหว่านหรือโรยเป็นแถวในอัตรา 0.5-1.0 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปลูกโดยการแยกกอ นำไปปักดำที่ระยะปลูก 1-2 เมตร สามารถให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งได้สูงถึง 6.0-8.0 ตันต่อไร่ต่อปี มีปริมาณโปรตีน 8-10% หญ้ากินนีสีม่วงสามารถปลูกร่วมกับถั่วลายและกระถินได้ดี

การตัดหญ้ากินนี้สีม่วงไปใช้เลี้ยงสัตว์ ควรจะตัดครั้งแรก 60 วันหลังปลูกและตัดครั้งต่อไปทุกๆ 30-40 วันในช่วงฤดูฝนหญ้าโตเร็วสามารถตัดได้ทุก 20-30 วันโดยสูงจากพื้นดิน 10-15 เซนติเมตร หญ้ากินนี้สีม่วงเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงโค กระบือ ในรูปหญ้าสด หญ้าแห้งหรือจะปล่อยสัตว์เข้าแทะเล็มก็ได้

4. หญ้าเนเปียร์แกระพันธุ์ม่วงเหล็ก (dwarf napier, *Pennisetum purpureum* cv.

Mott)

หญ้าเนเปียร์แกระ พันธุ์ม่วงเหล็ก เป็นหญ้าเนเปียร์แกระสายพันธุ์หนึ่งที่ ดร. Staple แห่งมหาวิทยาลัยฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำมามอบไว้ให้องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย โดยไม่ได้ระบุชื่อสายพันธุ์ไว้ในปี 2531 และนำไปปลูกครั้งแรกที่บริเวณฟาร์มองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี แต่ไม่ได้มีการศึกษารายละเอียดแต่ประการใด ต่อมาในปี 2533 ดร.สาธิต หัตถศรี ได้คัดเลือกหน่อพันธุ์ที่ดีที่เลือกจากการถูกแทะเล็มของสัตว์ นำไปปลูกขยายพันธุ์ที่สถานีวิจัยสุวรรณสาวกสิกิจ อำเภอปากช่อง และวิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม และมีการศึกษาเปรียบเทียบกับหญ้าสายพันธุ์อื่นที่ใช้ในปัจจุบันในสภาพการจัดการที่แตกต่างกับ พบว่า หญ้าเนเปียร์ม่วงเหล็กให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา (common napier, *P. purpureum*) หญ้ากินนี้สีม่วง (purple guinea, *Panicum maximum*) และหญ้าขน (para, *Brachiaria mutica*) จึงได้ตั้งชื่อว่า หญ้าเนเปียร์แกระพันธุ์ม่วงเหล็ก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ประเภท	พืชยืนต้นมีอายุหลายปี วงศ์หญ้า
ต้น	หญ้าประเภทอวบ ความสูงขณะออกดอก 150-170 เซนติเมตร ลำต้นมีข้อถี่และปล้องสั้น ยึดปล้องเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุมากขึ้น มีการแตกหน่อได้ดิน
ใบ	ใบมีสีเขียวเข้ม ใบดก มีขนาดใหญ่ ปลายชี้ตรงทำให้ทรงพุ่มชี้ตรง และมีขนเล็กน้อยที่บริเวณบนใบ
ดอก	ออกดอกปลายเดือนพฤศจิกายน-ต้นธันวาคม ช่อดอกแบบ Spike ยาว 10-22 เซนติเมตร
เมล็ด	เมล็ดมีขนาดเล็กมาก เมล็ดมีความงอก 10-20% แต่มีความแปรปรวนสูงในด้านรูปทรงของต้นพืชที่ปลูกด้วยเมล็ด ดังนั้นจึงแนะนำให้ขยายพันธุ์ด้วยท่อนพันธุ์หรือการแยกกอเท่านั้น

ลักษณะอื่นๆ ผลผลิตน้ำหนักแห้ง 400-600 กิโลกรัมต่อไร่การตัดหนึ่งครั้งมีปริมาณ โปรตีนที่ตัด
อายุ 30 วัน 12-14%

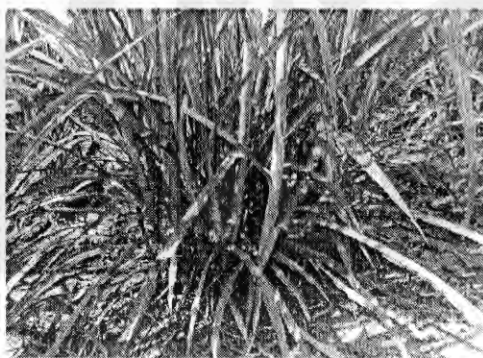
ลักษณะเด่นพิเศษ

1. มีสัดส่วนของใบสูงกว่าลำต้น แม้หญ้าจะอายุเพิ่มมากขึ้น ทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลง
ช้าเมื่อเทียบกับหญ้าชนิดอื่นๆ
2. ทนต่อความแห้งแล้งดีมาก
3. ออกดอกช้า ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น
4. ข้อถี่ ปล้องสั้น ยึดปล้องน้อย ทำให้ผลผลิตประกอบด้วยใบเป็นส่วนใหญ่
5. มีการแตกกอดีกว่าหญ้านาเปียร์ธรรมดา



ภาพที่ 5 แสดงหญ้านาเปียร์แคระ (Dwarf napier, *Pennisetum purpureum* cv. Mott)

5. นาเปียร์แคระ(*Pennisetum purpureum* cv. Mott) (นิรนาม. 2556)



ภาพที่ 6 แสดงหญ้านาเปียร์แคระ

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mott Dwarf Elephantgrass มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *P. purpureum* cv.Mott. นายวิฑูรย์ กำเนิดเพชร นำเข้ามาจากมหาวิทยาลัยแห่งรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อพฤษภาคม 2532 เป็นหญ้าที่ดอกไม่ติดเมล็ด จึงไม่เป็นปัญหาการเป็นวัชพืช เกษตรกรปลูกไว้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีผลผลิตสูงเฉลี่ย 40 – 80 ตันสดต่อไร่ต่อปี และมีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นพืชชอบแสงเต็มที่ ดินดี มีน้ำเพียงพอแต่ไม่ท่วมขัง การเตรียมดินและการปลูกเหมือนการปลูกอ้อย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 6 – 7 ปี

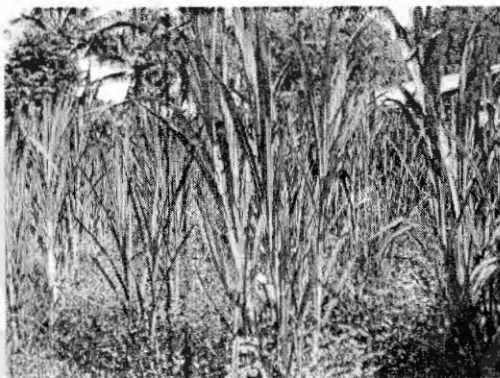
6. กิงส์เนเปียร์ (*Pennisetum purpureum* x *P. glaucum* cv. King grass) (นิรนาม, 2556)



ภาพที่ 7 แสดงหญ้ากิงส์เนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ยักษ์ (King grass) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *P. purpureum* cv. King grass นำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย โดยนายชาญชัย มณีคุลย์ เมื่อมกราคม 2533 หญ้าเนเปียร์และหญ้าเนเปียร์ยักษ์มีทรงต้นเป็นกอค่อนข้างตั้งตรงคล้ายอ้อย หญ้าเนเปียร์ยักษ์มีลำต้นสูงใหญ่กว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา กล่าวคือหญ้าเนเปียร์ยักษ์เมื่อโตเต็มที่จะสูงประมาณ 3.80 เมตร ขณะที่หญ้าเนเปียร์สูงประมาณ 3 เมตร ส่วนหญ้าเนเปียร์แคะมีลักษณะทรงต้นเป็นพุ่มค่อนข้างตั้ง (bunch type) สูงประมาณ 1.60 เมตร มีสัดส่วนของใบต่อดัน และแตกกอดีกว่าหญ้าเนเปียร์อีกสองสายพันธุ์

7. เนเปียร์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum* x *P. glaucum* Pakchong 1)



ภาพที่ 8 แสดงหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เป็นหญ้าลูกผสมเนเปียร์สายพันธุ์หนึ่ง ซึ่งเกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าไข่มุก เป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพสูงทั้งในแง่การให้ผลผลิต และมีคุณค่าทางอาหารสัตว์ดีตามที่สัตว์ต้องการ เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคเนื้อ โคนม โคนือ กระบือ แพะ และแกะ ลักษณะเด่นเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตต่อไร่สูง โปรตีนสูง มีความน่ากินสูง สัตว์ชอบกินตอบสนองต่อการให้น้ำและปุ๋ยดี แดกกอดี แก่ช้า ทนแล้ง ในฤดูหนาวยังเติบโตได้ดีไม่ชะงักไม่มีระยะพักตัว ใบและลำต้นอ่อนนุ่ม ขอบใบไม่คมไม่มีขน ที่ทำให้เกิดอาการคันคายระคายเคืองออกดอกสั้น ไม่ติดเมล็ด ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี มีปริมาณน้ำตาลในใบและลำต้นสูงทำเป็นหญ้าหมักโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเสริมใดๆ ปรับตัวได้ดีในดินหลายสภาพ ไม่มีโรคและแมลงรบกวน เก็บเกี่ยวง่าย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 6-7 ปี เหมาะกับเกษตรกรที่มีพื้นที่จำกัด

ปลูกได้ทั่วประเทศของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีในดินหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียว หรือดินลูกรัง ชอบดินที่มีการระบายน้ำดีและมีความอุดมสมบูรณ์ ทนแล้ง แต่ไม่ทนน้ำท่วมขัง ต้องการน้ำฝน ประมาณ 1,000 มิลลิเมตร/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยที่ต้องการน้ำฝน 1,200-1,500 มิลลิเมตร/ปี

จุดเด่นของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

1. ตอบสนองต่อการให้น้ำและปุ๋ยดี
2. มีปริมาณน้ำตาลในใบและลำต้นที่สูง
3. แดกกอดี แก่ช้า และทนแล้ง

8. บานา (*Pennisetum purpureum* x *P.glaucum* cv. Bana grass)



ภาพที่ 9 แสดงหญ้าบานา

หญ้าบานา คือหญ้า เนเปียร์ลูกผสม (*Pennisetum purpureum* + *Pennisetum americanum* hybrid) ลักษณะเป็นกอใหญ่ลำต้นเป็นข้อ และปล้องคล้ายอ้อย ใบใหญ่ยาว มีขนเจริญเติบโตได้ดีในดินที่อุดมสมบูรณ์ให้ผลผลิตสูงไม่ชอบน้ำท่วมขัง เหมาะสมที่จะใช้ตัดสดเลี้ยงสัตว์

ผลผลิต

ผลผลิตไร่ละ 8 ตัน หรือ 40 ตัน/ไร่/ปี

อายุการตัดหญ้าจำหน่าย

เมื่อหญ้ามียายุอยู่ระหว่าง 60 - 70 วัน (ตัด 5-6 ครั้ง/ปี) จะได้หญ้าที่ตัดระยะนี้มีเชื้อใยเหมาะสม และมีรสหวานเหมาะที่จะนำไปเลี้ยงช้าง

ราคาขาย (เป็นอาหารช้าง)

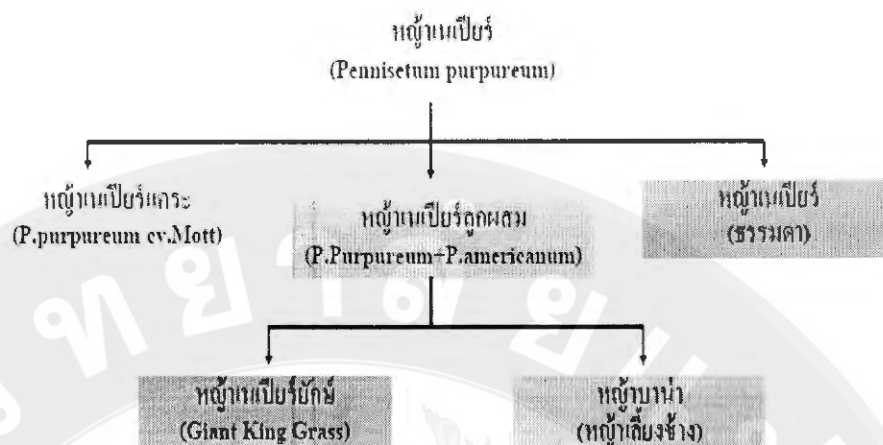
กิโลกรัมละ 1.20 บาท เกษตรกรจะมีรายได้ จากการจำหน่ายปีละ 48,000 บาทต่อไร่

ผลิตพลังงาน

อัตราการเกิด Biogas 160-190 ลูกบาศก์เมตร/หญ้าสด 1 ตัน

ผลิตไฟฟ้าจาก Biogas 1 MW ใช้พื้นที่ปลูก 438 ไร่

ผลิตไฟฟ้าจาก Biomass 1 MW ใช้พื้นที่ปลูก 312.5 ไร่



ภาพที่ 10 แสดงลำดับชั้นสายพันธุ์ของหญ้าเนเปียร์ชนิดต่างๆ

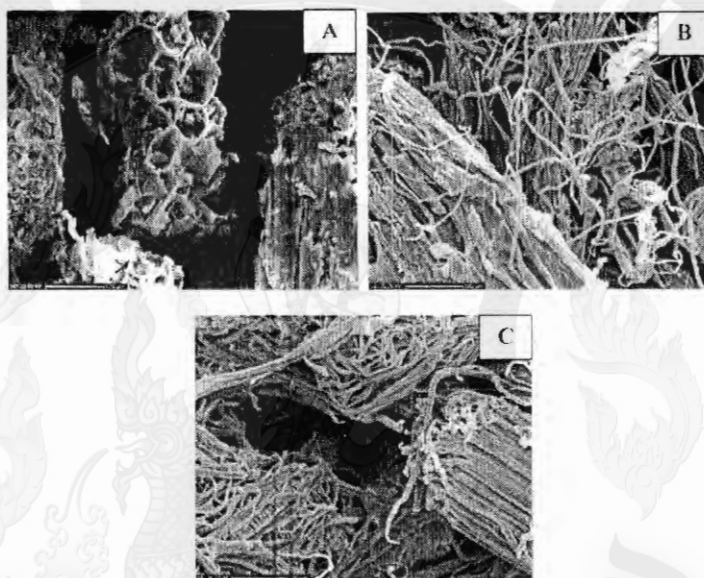
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1, หญ้ารุชี, หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าแพงโกล่า (นิรนาม, 2556)

รายการ	วัตถุแห้ง (%)	% วัตถุแห้ง				
		โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใยรวม	เถ้า	คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้
เนเปียร์ปากช่อง 1						
ตัดที่ 45 วัน	14.9	15.9	1.3	35.8	14.5	36.5
ตัดที่ 60 วัน	18.3	12.6	1.2	42.6	12.3	33.3
รุชี						
ตัดที่ 45 วัน	21.2	8.6	1.8	30.0	8.8	50.8
ตัดที่ 60 วัน	25.6	6.6	1.4	31.9	9.0	51.1
กินนีสีม่วง						
ตัดที่ 45 วัน	22.6	7.9	1.2	35.5	10.7	44.7
ตัดที่ 60 วัน	24.6	7.1	1.2	33.4	10	48.3
แพงโกล่า						
ตัดที่ 45 วัน	25.2	7.8	1.6	32.3	8.1	50.2
ตัดที่ 60 วัน	27.9	7.5	1.6	35.1	8.8	47.0

จากตารางที่ 2 หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่ตัดที่อายุ 60 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ อยู่ที่ 15.9, 1.3, 35.8, 14.5 และ 36.5 % ตามลำดับ ในส่วนของหญ้ารุชี ตัดที่อายุ 60 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ อยู่ที่ 6.6, 1.4, 31.9, 9.0 และ 51.1 % ตามลำดับ ในส่วนของหญ้ากินนีสีม่วงที่ตัดที่

อายุ 60 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ อยู่ที่ 7.1, 1.2, 33.4, 10.0 และ 48.3 % ตามลำดับ และในส่วนของหญ้าแพงโกล่าที่ตัดที่อายุ 60 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยรวม เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ อยู่ที่ 7.5, 1.6, 35.1, 8.8 และ 47.0 % ตามลำดับ

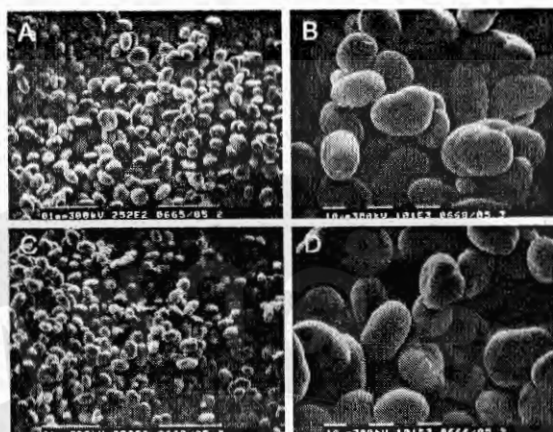
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 11 แสดง Scanning electron microscopy image for the obtained materials: (A) starting material, (B) material after pulping, and (C) material after pulping + bleaching.

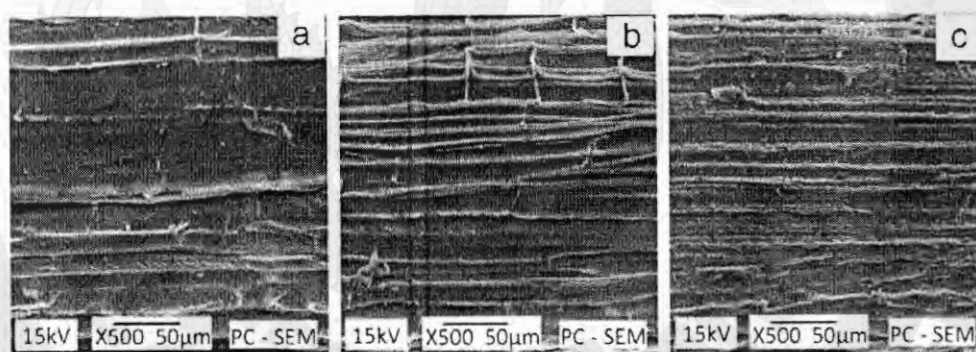
(Andreia et.al., (2013)

จากภาพที่ 11 เป็นภาพถ่ายของโครงสร้างหญ้าเนเปียร์ที่มีการใช้ CaO และ H_2O_2 ในการผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งจากการทดลอง พบว่า การใช้ 9% CaO นั้นจะสามารถให้ปริมาณของ เซลลูโลส อยู่ที่ 66.58% จากภาพ (a) เป็นการเริ่มต้นกระบวนการในการใช้สารเคมี ซึ่งจะเห็นเป็นลักษณะที่ยังมีโครงสร้างที่แข็งแรงอยู่ ส่วนภาพ (b) จะเป็นลักษณะของโครงสร้างที่เปลี่ยนไปเมื่อมีกระบวนการใช้สารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะเห็นเป็นเส้นใยต่างๆรวมตัวกันอยู่ และภาพ (c) จะเป็นการตัดเส้นใยต่างๆภายหลังการใช้สารเคมี



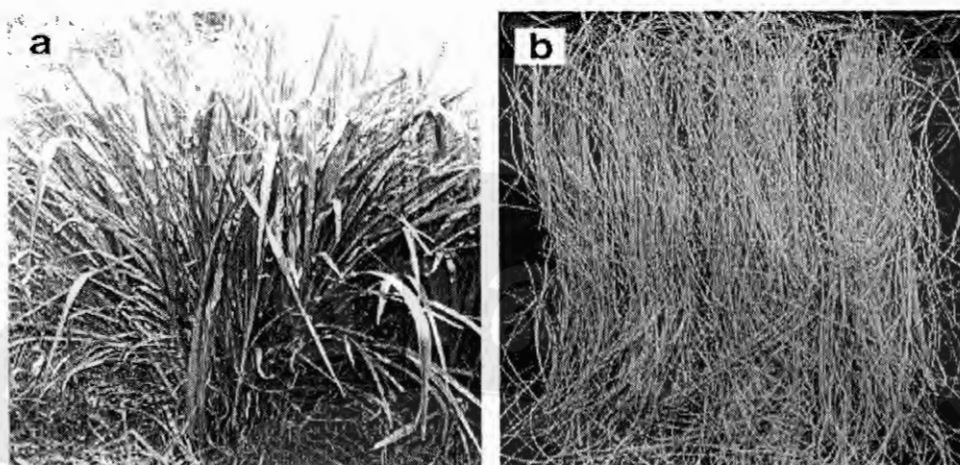
ภาพที่ 12 แสดง Scanning electron micrographs of grass pea starches: A and B (NC8A97), C and D Lath 96, A and C (300), B and D (1000). (Jayakody, 2007)

จากภาพที่ 12 เป็นลักษณะของเม็ดแป้งใน Pea grass ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดรูปร่างกลมมีการเกาะกลุ่มกันอยู่อย่างหนาแน่น



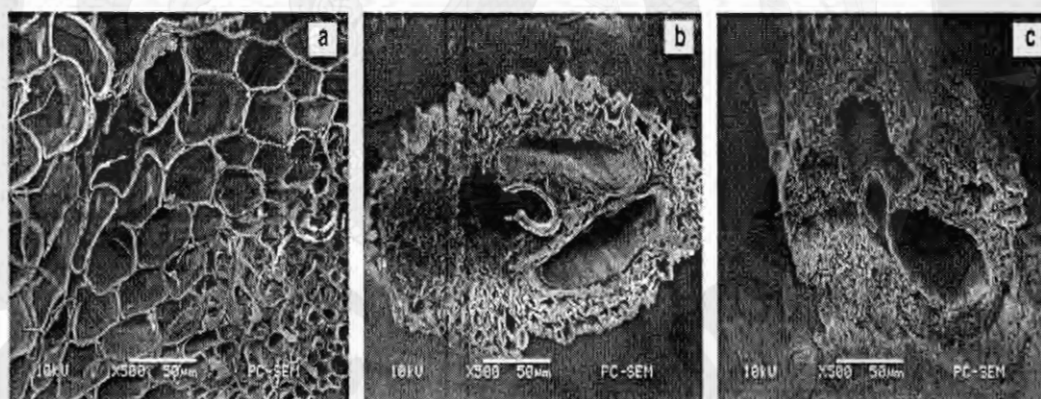
ภาพที่ 13 แสดง Scanning electron micrograms of Napier grass fibers (a) untreated, (b) 2% alkali-treated and (c) 5% alkali treated (Reddy Obi, 2009)

จากการทดลองของ Reddy และคณะ (2009) ได้ทำการทดลองใช้สารเคมีในการทำสลายโครงสร้างทางกายภาพของหญ้าเนเปียร์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยพบว่า ที่ความเข้มข้น 2 – 5 % จะสามารถสลายและย่อยสลายปริมาณเซลลูโลสให้ออกจากผนังเซลล์จนเหลือแต่ปริมาณลิกนินได้ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 14 แสดง Photographs of (a) Napier grass and (b) extracted grass fibers. (Reddy, 2012)

จากภาพที่ 14 (a) เป็นภาพของหญ้าเนเปียร์ก่อนผ่านกระบวนการสกัดให้เหลือเฉพาะไฟเบอร์ ส่วนภาพ (b) เป็นลักษณะของไฟเบอร์ที่สกัดได้จากหญ้าเนเปียร์ ซึ่งจะมีลักษณะสีทองเป็นเส้นยาว มีความเหนียว ทนแรงดึงได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 15 แสดง Scanning electron micrographs of the cross section of Napier grass fibers (a) untreated (b) 2% alkali treated and (c) 5% alkali treated (Reddy, 2012)

จากภาพที่ 15 เป็นการส่องกล้องดูลักษณะโครงสร้างของไฟเบอร์ โดยใช้ NaOH ความเข้มข้น 2% และ 5% ในการ Pre treatment เพื่อหาปริมาณ Cellulose โดยภาพ (a) เป็นลักษณะของไฟเบอร์ที่ไม่มีการ Pre treatment ส่วนภาพ (b) เป็นลักษณะของไฟเบอร์ที่ถูก Pre treatment ด้วย 2% NaOH ส่วนภาพ (c) เป็นลักษณะของไฟเบอร์ที่ถูก Pre treatment ด้วย 5% NaOH ซึ่งจะมีลักษณะที่เปื่อยยุ่ย ชัดเจนกว่าการ Pre treatment ด้วย 2% NaOH

ตารางที่ 3 แสดงการรวบรวมข้อมูลในการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในหญ้าชนิดต่างๆ

ชื่อ reference	สายพันธุ์หญ้า	การโปรไฮเทรต ที่ละลายน้ำได้ (% WSC)	อายุการตัด (วัน)	ชนิดกรดที่ เกิดขึ้น	ผลการทดลองใน กระบวนการหมัก	อื่นๆ
จันทกานต์ และ คณะ (2550)	เนเปียร์ลูกผสม	11.9	60	แลคติก	กระบวนการหมัก เกิดขึ้นเร็วและสมบูรณ์	-
สตุดิและคณะ (2551)	เนเปียร์ลูกผสม	12.02	60	-	หญ้าหมักคุณภาพดี มากทั้งทางกายภาพ และเคมี	-
Skeman and Riveros (1990)	พืชหมัก	-	-	-	อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ของพืชหมักที่ดี คือค่า pH = 3.57 – 4.02	ค่ามาตรฐาน ของพืชหมักคือ pH = 4.02
สายนธ์ (2547)	พืชหมัก	-	-	แลคติก (Lactic acid)	มีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย สูง คือ 9.65 – 10.47 % เนื่องจากมี WSC สูง จึงทำให้จุลินทรีย์ผลิต กรดเจริญได้อย่าง รวดเร็ว	พืชทั่วไปมีกรด แลคติกอยู่ใน ช่วง 3 - 13 %
Zimmerman (2009)	พืชหมัก	-	-	อะซิติก (Acetic acid)	พบปริมาณกรด อะซิติกอยู่ในช่วง 1.69 – 2.01 % ของวัตถุดิบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากพืชมีวัตถุดิบ แห้งต่ำกว่า 25 %	โดยปกติวัตถุ แห้งมี % กรดอะซิติกอยู่ใน ช่วง 0.5 – 0.8 %
ศศิพร คุณา พงษ์กิตติ และ คณะ (2547)	หญ้าหมัก	2.93 – 6.19	30 - 75	บิวทิริกและ แอมโมเนีย ไนโตรเจน	พืชที่มีความชื้นสูงมาก เมื่อนำไปหมักจะเสีย คุณค่าทางโภชนาได้ เนื่องจากเชื้อ <i>Clostridium</i> sp.	บิวทิริกและ แอมโมเนีย ไนโตรเจน มี กลิ่นฉุนสัตว์ไม่ ชอบกิน
ม.ป.ป	หญ้า	-	-	-	โครงสร้างหลักของ หญ้ามีเซลลูโลสและ เฮมิเซลลูโลสเป็น องค์ประกอบหลัก 60 – 70 เปอร์เซ็นต์	หากคิด ประสิทธิภาพ การผลิตน้ำตาล ที่ 80% จะ สามารถผลิตได้ 46,375,599 – 54,104,865 กก.

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ reference	สายพันธุ์หญ้า	คาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้ (% WSC)	อายุการตัด (วัน)	ชนิดกรดที่ เกิดขึ้น	ผลการทดสอบใน กระบวนการหมัก	อื่นๆ
สุภัทร ภักธรกิจ โสภณ (2551)	หญ้านเนเปียร์ รูซี่ กีนีสีม่วง และแพนโกล่า	-	-	-	จากการเปลี่ยนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส พบว่าได้ปริมาณน้ำตาล เท่ากับ 74.15, 58.37, 54.28, 65.95 % ตามลำดับ	-
เมธิวรรณ เกียรติกระจ่าง (2550)	หญ้านเนเปียร์	2.4 – 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม วัตถุดิบแห้ง	60	กรดแลกติก กรดอะซิติก และ แอมโมเนีย ไนโตรเจน	การใช้เอนไซม์ย่อย สลายเป็นสารเสริม ร่วมกับแบคทีเรียกรด แลกติกสามารถเพิ่ม น้ำตาลรีดิวส์ในไซเลจ ให้สูงกว่าชุดควบคุมที่ ไวเอนไซม์ 21.76 และ 33.98 %	-
จินดาพร สืบ ข้าเพชร (2552)	หญ้านเนเปียร์ ถูกผสม	-	60	-	การใช้น้ำคั้นจาก หญ้านเนเปียร์ จะให้ ปริมาณความเข้มข้น ของน้ำตาลรีดิวส์สูงสุด	-
จักรพันธ์ หมื่น จี (2553)	หญ้านเนเปียร์ ร่วมกับเศษ อาหาร	-	60	-	ไม่เกิดการสะสมตัว ของกรดไขมันระเหย ง่ายในระบบ การหมัก ร่วมระหว่างน้ำเสีย ฟาร์มสุกรกับหญ้าน เนเปียร์ให้ประสิทธิภาพ สูง ในการกำจัด สารอินทรีย์และการ เพิ่มผลผลิตก๊าซ ชีวภาพสูงสุด	ค่า pH อยู่ ในช่วง 7.01- 7.38
Lee, Al. et (2003)	Ryegrass	-	-	Acetate and Propionate	การเพิ่มขึ้นของ Acetate และ Propionate มีผลต่อ การเพิ่มของ คาร์โบไฮเดรตที่ละลาย น้ำได้	คาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้ จะมีผลต่อการ เพิ่มปริมาณ ของ เชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ reference	สายพันธุ์หญ้า	การโบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้ (% WSC)	อายุการตัด (วัน)	ชนิดกรดที่เกิดขึ้น	ผลการทดลองใน กระบวนการหมัก	อื่นๆ
Shekhar et. al. (2011)	Ryegrass	-	-	Amino Acid เช่น Arginin, Aspartic acid	มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส Saccharide และ Sucrose อยู่ที่ 2.2, 1.9, 3.5 ตามลำดับ (England)	-
Heinritz et. al. (2012)	Brachiaria grass	-	-	Lactic acid Butyric acid	ผลการทดลองพบว่า จะต้องมีการเลือกวัสดุตั้งต้นที่มีความเหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์ Lactic acid bacteria นั้นๆ เพื่อให้ได้ปริมาณกรดที่มีคุณภาพ เหมาะแก่การทำ Silage ต่อไป	การเพิ่มขึ้นของ Lactic Acid จะทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าของ $\text{NH}_3\text{-N}$
Staerfl et. al. (2012)	Ryegrass	High % WSC	-	-	พบว่าได้ปริมาณมีเทน 63 KJ/M สำหรับ dry grass จาก %WSC 158 – 258 g/kg dry matter	-
Xu et. al. (2006)	Ryegrass and cocksfoot	-	-	Uronic Acid	ตรวจพบ Four alkaline peroxide – soluble, Hemicellulose เช่น Xylose, Uronic Acid and Rhamnose แต่มีปริมาณที่ต่ำกว่า Glucose, Galactose และ Mannose	-
Methacanon et.al. (2003)	Vertiver grass (หญ้าแฝก)	-	-	-	ตรวจพบ ปริมาณ Hemicellulose อยู่ที่ 38%, Cellulose อยู่ที่ 27% และลิกนิน อยู่ที่ 10%	พบว่า NaOH 4 M สามารถที่จะสลายโมเลกุลของ Hemicellulose ได้ % Yield เท่ากับ 35 %

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ reference	สายพันธุ์หญ้า	คาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้ (% WSC)	อายุการ ตัด (วัน)	ชนิดกรด ที่เกิดขึ้น	ผลการทดลองใน กระบวนการหมัก	อื่นๆ
Andreia et.al., (2013)	เนเปียร์	-	-	-	จากการทดลองใช้ H_2O_2 ความเข้มข้น 4.2 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลสเท่ากับ 99.21%	-
Adele Muscolo (2003)	Kikuyu grass	-	-	-	ผลการทดลองพบว่า หญ้า Kikuyu มีความ ทนทานความเค็มได้ สูงถึง 100 mM โดยมี มีความเค็มสูงขึ้น จะ สังเกตพบการสะสม ของ Hexoses	แต่จะพบกิจกรรมที่ลดลง ของ Glucokinase, phosphoglucose isomerase และ pyruvate kinase
Gray et.al. (2012)	Natural Grass	-	-	-	Review : Phenylpropanoid pathway เป็น กระบวนการในการ สร้าง lignin ซึ่งเป็น องค์ประกอบพื้นฐาน ในพืช	การเพิ่มขึ้นของ Biomass และการลดลงของการ สะสม Phenolic จะเป็น การดีสำหรับ กระบวนการผลิต Polysaccharide ซึ่ง เหมาะสำหรับในการทำ Biofuel production
Jayakody et.al. (2007)	Pea grass (<i>Lathyrus sativus</i> L.)	37.95 – 38.30 % Amylose	-	-	จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งของ Pea grass มีอิทธิพล ต่อความยาวระหว่าง Starch chain ของ จำนวนผลึก อย่างเห็น ได้ชัด	-
สำราญ และ พรชัย (2011)	หญ้านเนเปียร์ ยักษ์	-	35 – 45	-	จากการทดลองพบว่า ควรตัดหญ้านเนเปียร์ ยักษ์ในช่วง 35 – 45 วัน ซึ่งจะได้ผลผลิต ทั้งปริมาณและ คุณภาพที่สูงขึ้น	การเพิ่มอายุการตัด หญ้านเนเปียร์ยักษ์ ทำให้ ผลผลิตน้ำหมักแห้ง รวม (TDMV) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

การเกิดแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ คือ กลุ่มแก๊สที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ เช่น คน สัตว์ พืชและสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ที่ตายลงแล้วถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ กลุ่มหนึ่ง โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ดำรงชีวิตโดยไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งในขณะที่ทำการย่อยสลายนั้นจะเกิดแก๊สขึ้นกลุ่มหนึ่ง โดยมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สชนิดอื่นๆ โดยที่แก๊สมีเทนจะมีมากที่สุด มีคุณสมบัติไม่มีสีไม่มีกลิ่นและติดไฟได้

การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ หมายถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ โดยสารอินทรีย์จะถูกใช้ในการออกซิเดชัน ภายในเซลล์จุลินทรีย์โดยกระบวนการนี้จะมีการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งไปเป็นเซลล์ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงต้องลดขนาดสารอินทรีย์และเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ก่อนที่จุลินทรีย์จะย่อยสลายให้เป็นก๊าซชีวภาพ (มีเทน+คาร์บอนไดออกไซด์)

จุดเด่นของการบำบัดด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

1. ได้ผลผลิตคือ “ก๊าซชีวภาพ” ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้
2. ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการเดินระบบ
3. รองรับอัตราการบรรทุกทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate) ได้มากกว่า
4. มีความต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ต่ำกว่า
5. ทนต่อภาวะ Shock load และการผันแปรของอัตราการไหลได้ดีกว่า
6. มีตะกอนส่วนเกินที่จะต้องกำจัดน้อยกว่าแบบใช้อากาศ

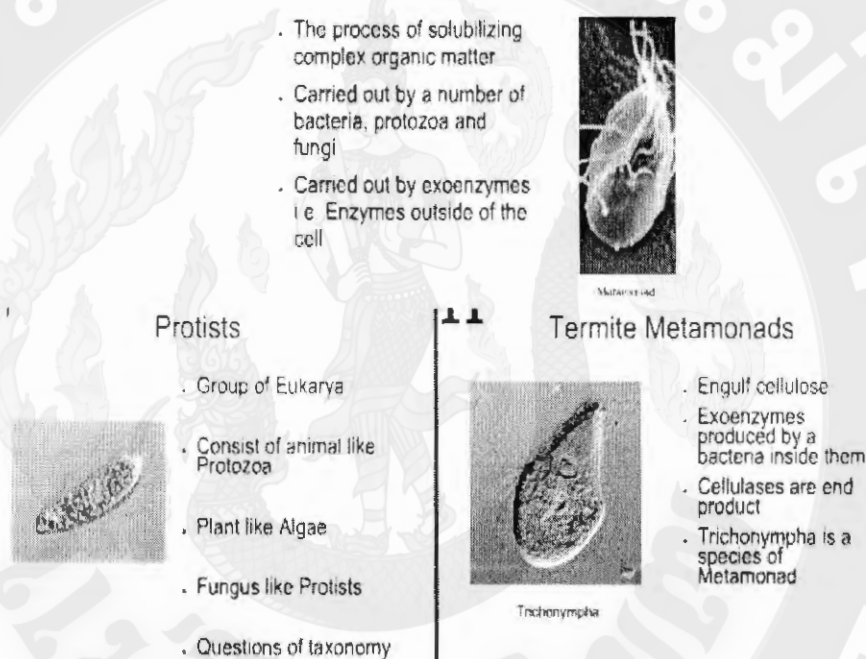
จุดด้อยของการบำบัดด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

1. จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลาอยู่ในระบบนาน ทำให้ถึงปฏิกิริยาต้องมีปริมาตรมากกว่า และใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากกว่า
2. การเริ่มเดินระบบ (Start – up) ก่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ
3. น้ำที่บำบัดแล้ว ยังคงเหลือความสกปรกสูงเกินกว่าที่จะทิ้งลงแม่น้ำ จำเป็นต้องได้รับการบำบัดเพิ่มเติม เพื่อให้คุณภาพน้ำทั้งตามมาตรฐาน
4. ถึงปฏิกิริยา ภาชนะ และท่อต้องใช่วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน
5. มีปัญหากลิ่นเหม็นจากก๊าซ H_2S (ก๊าซไข่เน่า)

ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวภาพของจุลินทรีย์

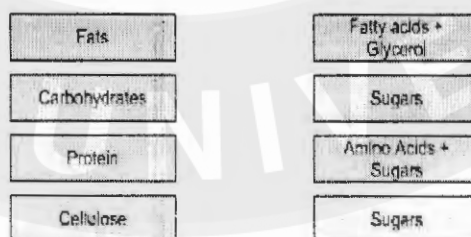
1. Hydrolysis เป็นปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้นเพื่อสลายอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีมักจะไม่สามารถละลายน้ำให้แตกตัวเป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวที่เป็นอนุโมลเริ่มต้น (Building blocks) ของชีวโมเลกุลต่าง ๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องอาศัยการขับ Exocellular enzymes จากจุลินทรีย์หลายชนิดที่อยู่ร่วมกันในระบบ และโดยที่เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลงทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น และสามารถถูกดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ประเภท saprophytes ได้ บางครั้งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า Solubilization

Hydrolysis



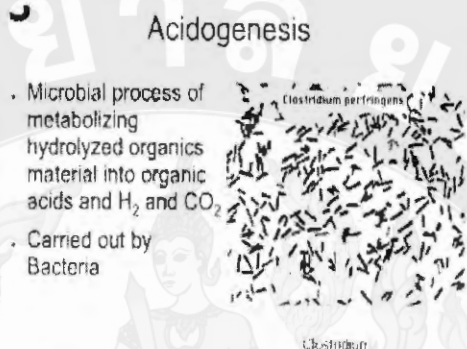
ภาพที่ 16 แสดงจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่ผลิตเอนไซม์ในการย่อยสลายวัสดุชีวมวล

Hydrolysis Intermediates

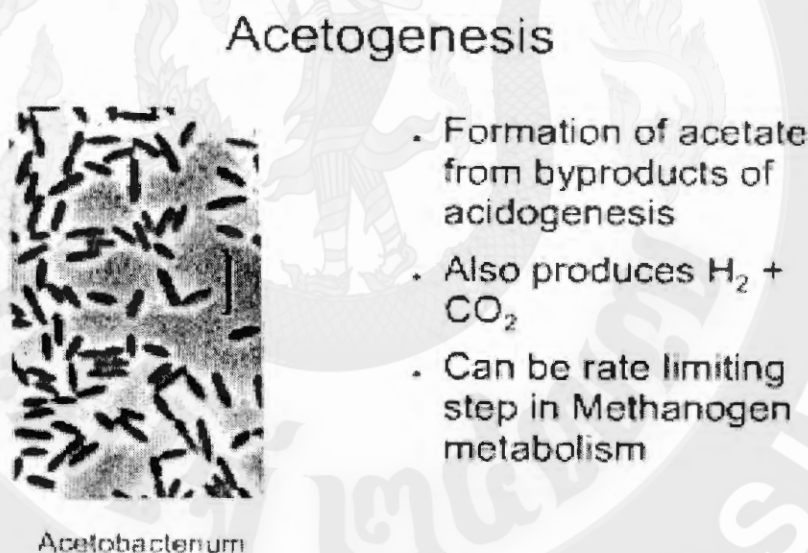


ภาพที่ 17 แสดงการย่อยสลายสารอาหารชนิดต่างๆของจุลินทรีย์

2. Acidogenesis หรือปฏิกิริยาการสร้างกรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (acid forming bacteria) จะย่อยสลายสารละลายอินทรีย์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้น ๆ ที่ระเหยได้ง่าย หรือ Volatile fatty acid (VFA) เช่น Valeric acid, Butyric acid, Propionic acid เป็นต้น จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มมาย่อยสลายกรดอินทรีย์ เหล่านี้ได้เป็น Acetic acid, Formic acid, H_2 และ CO_2



ภาพที่ 18 แสดงการผลิตกรดของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ



ภาพที่ 19 แสดงการย่อยสลายในขั้นตอน Acetogenesis

3. Methanogenesis หรือปฏิกิริยาการสร้างมีเทนเกิดจากการทำงานของเมทาโนเจน (Methanogen) ซึ่งเป็น Strictly anaerobic bacteria คือ แบคทีเรียไร้อากาศอย่างแท้จริง ดังนั้น ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้จะต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เมทาโนเจนจะใช้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจาก Acidogenesis มาเปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ลำดับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแสดงในภาพที่ 21

ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความสกปรกมากๆ หรือมีค่าบีโอดี หรือซีโอดีสูง ๆ (มีค่าเป็นพัน มก./ลิตร ขึ้นไป) และเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่เป็น Mesophilic microorganisms จึงเหมาะกับการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียในเขตร้อน อีกทั้งไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการเดินระบบเหมือนระบบแอโรบิกที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อเติมอากาศ นอกจากนี้ยังได้มีเทนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอีกด้วย จึงเป็นที่นิยมกันมากในประเทศไทย โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีค่าบีโอดีสูงและบางชนิดมีโปรตีนอยู่น้อย เช่น น้ำเสียจากโรงงานแป้ง โรงงานกระดาษ เป็นต้น

การจะนำระบบบำบัดแบบไร้อากาศไปใช้กับน้ำเสียจากกิจกรรมใด ๆ ก็จะต้องทำการทดสอบค่า BMP (Biochemical Methane Potential) หรือ SMA (Specific Methanogenic Activity) เพื่อประเมินความเป็นไปได้หรือศักยภาพของระบบรวมทั้งประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อน

Hydrogen Producing Oxidation

- A soluble organic is oxidized in an anaerobic environment and produces H_2 as a byproduct
- The fermentation requires the reduction of NAD to NADH
- NADH cannot be regenerated in the presence of hydrogen
- The thermodynamic yield is negative in the presence of hydrogen. Positive when hydrogen is no longer present

H_2 Producing Oxidation

- Only favorable kinetics in concert with uptake of $H_2 + CO_2$
- Low energy yield
- Ethanol + $H_2O \rightarrow H_2$ + acetate -19.36 kJ
- $H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ 130.69 kJ

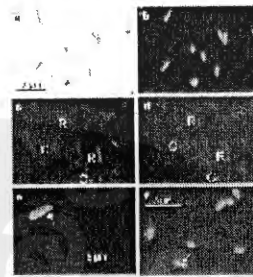
H_2 Producing Oxidation

- Only favorable kinetics in concert with uptake of $H_2 + CO_2$
- Low energy yield
- Ethanol + $H_2O \rightarrow H_2$ + acetate -19.36 kJ
- $H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ 130.69 kJ

ภาพที่ 20 แสดงกระบวนการผลิตไฮโดรเจนสำหรับปฏิกิริยาการร่วมตัวกับ Acetate

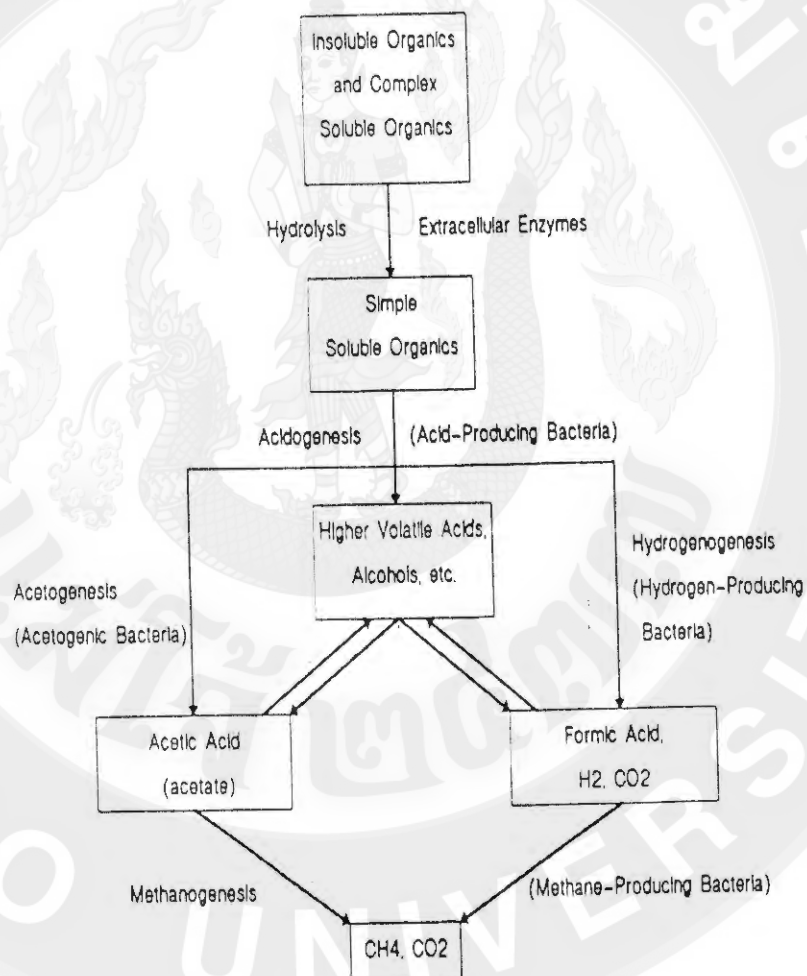
Methanogens

- Obligate Anaerobes from the Domain Archaea
- Divided into Hydrogenotrophic, Acetoclastic, and Methyltrophic depending on substrate
- Optimum pH is around neutral (7)



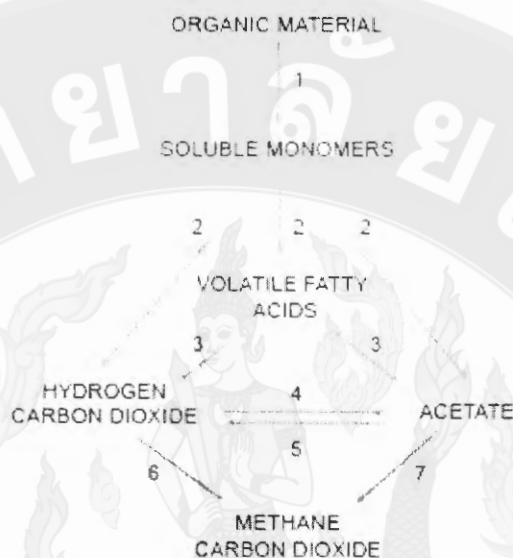
Various Methanogens

ภาพที่ 21 แสดงปฏิกิริยาในการผลิตมีเทนของจุลินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศ



ภาพที่ 22 แสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบแอนแอโรบิก

จากภาพที่ 22 และ 23 เป็นขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการเกิดแก๊สมีเทน โดย Methanogen bacteria ซึ่งลำดับของการย่อยสลายจะถึงขั้นได้ กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก Methanogen bacteria ถึงจะสามารถเปลี่ยนไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้



ภาพที่ 23 แสดงกระบวนการผลิตแก๊สมีเทน (Maria, 2012)

ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตแก๊สชีวภาพ (ธนศ, 2528)

1. Fermentative bacteria ย่อยสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท โพรพิโอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล
2. Hydrogen – producing acetogenic bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลาย อะซิเตท โพรพิโอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล ได้เป็นกรดอะซิติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
3. Homoacetogenic bacteria ได้แก่ *Butyribacterium methylophilum* จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก ถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น แลคเตท ไพรูเวท และเฮกโซส ผลผลิตที่ได้เป็นกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก
4. Methanogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ cell envelop ของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก Obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7 – 7.8 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่

สร้างมีเทน ซึ่งโดยเฉลี่ยต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-5 วัน ที่ 35 องศาเซลเซียส ถึงวันที่ 10 ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ได้แก่แบคทีเรียในกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria หรือ Acetate splitting bacteria

5. Non – Methanogenic bacteria แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่เป็น Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยรับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตที่พีเอช 4 – 6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี แบ่งตัวได้ 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง ได้แก่แบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic bacteria และ Acetogenic bacteria

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

- การกวนผสม

จะต้องมีการกวนผสมที่เหมาะสม ซึ่งอาจใช้เครื่องกล ใช้รูปแบบการไหล หรือ การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในการกวนก็ได้ขึ้นอยู่กับระบบ และชนิดของที่ใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อระบบ

- สารเคมี

เช่น ยาฆ่าเชื้อ ยาปฏิชีวนะ ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี หรือ สารเคมีอื่นๆ ที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายของเสียในบ่อ ทำให้จุลินทรีย์หยุดทำงานและไม่มีก๊าซเกิดขึ้น จึงไม่ควรปล่อยให้สารเคมีเหล่านั้นลงไปบ่อก๊าซชีวภาพ

- อุณหภูมิ

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 35 – 37 °C (Mesophilic) หรือ 50 – 55 °C (thermophilic) ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตไม่ดีนัก

- ความเป็นกรดด่าง

ค่าความเหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 ถ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าในช่วงที่เหมาะสม จะทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพลดลง

ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพ (นิรนาม, 2553)

แก๊ส	เปอร์เซ็นต์
มีเทน (CH_4)	60 - 70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30 - 40
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	1,500 - 2,500 ppm
แก๊สอื่นๆ	1 - 2 %

โดยแก๊สชีวภาพจะมีเปอร์เซ็นต์ของมีเทนสูงสุดเท่ากับ 60 - 70 % รองลงมา คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 30 - 40% ไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สอื่นๆ ประมาณ 1-2%

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ (อุเทน, 2554)

คุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ	ปริมาณ
ค่าความร้อน	21 MJ/m^3 (CH_4 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19 $\text{m}^3\text{a/m}^3\text{g}$
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4	600 C
ค่าความจุความร้อน (C_p)	1.6 $\text{kJ/m}^3\text{C}$
ความหนาแน่น (P)	1.15 kg/m^3

จากตารางที่ 5 ค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพเท่ากับ 21 MJ/m^3 ความเร็วของเปลวไฟเท่ากับ 25 cm/s อัตรา A/F ในทางทฤษฎีเท่ากับ 6.19 $\text{m}^3\text{a/m}^3\text{g}$ อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศเท่ากับ 650 C อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4 เท่ากับ 600 องศาเซลเซียส ค่าความจุความร้อน (C_p) เท่ากับ 1.6 $\text{kJ/m}^3\text{C}$ และความหนาแน่น เท่ากับ 1.15 kg/m^3 (ชีवालและคณะ, 2550)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินโครงการ

- ❖ กิจกรรมที่ รวบรวมข้อมูลและงานวิจัยการปลูกหญ้าสายพันธุ์ต่างๆในประเทศไทย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลการปลูกหญ้าสายพันธุ์ต่างๆในประเทศไทย

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาข้อมูลการปลูกหญ้าในประเทศไทย ทั้งที่เป็นเอกสารทางวิชาการ เพื่อให้ทราบข้อมูลภาพรวมของการปลูกหญ้าในปัจจุบันของประเทศไทย

- ❖ กิจกรรมที่ นำหญ้าแต่ละชนิดมาทดลองปลูก

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินปริมาณองค์ประกอบที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น ปริมาณ

เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาล ภายหลังกระบวนการเก็บเกี่ยว

สำหรับหญ้าที่จะนำมาเพาะปลูกนั้นมี 7 ชนิด คือ หญ้าพันธุ์บ้านนา, พันธุ์ปากช่อง 1, พันธุ์กิ่งเนเปียร์, พันธุ์มวกเหล็ก, พันธุ์กินนีสีม่วง, พันธุ์ Mott และพันธุ์แพงโกล่า โดยจะทำการดูปัจจัยในด้านต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการผลิตปริมาณเซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลที่สูง เช่น การใส่ธาตุอาหารต่างๆ ปริมาณน้ำที่ได้รับ และสายพันธุ์ของหญ้าที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Random Complete Block Design) และวิเคราะห์ผลด้วย Two way Analysis of Variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Excel 2010 ในการวิเคราะห์ผล

การดำเนินการทดลองปลูกในกระถางตามแนวทางที่ได้ออกแบบการทดลองไว้



ภาพที่ 24 แสดงการทดลองปลูกในกระถางโดยการเพาะเมล็ด

จากภาพที่ 24 จะเป็นการลงมือเพาะต้นกล้าของหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ ตามขอบเขตการทดลองที่ได้วางไว้ โดยสาเหตุที่ทำการเพาะลงในกระถาง เพื่อต้องการลดความแปรปรวนของปัจจัยภายนอกที่จะมารบกวนการเจริญเติบโตของหญ้าภายในกระถาง



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะของหญ้าที่ปลูกลงในกระถางตามขอบเขตของการทดลองที่ได้วางไว้

จากภาพที่ 25 ลักษณะของหญ้าที่เจริญเติบโตในกระถาง ซึ่งจะมีลักษณะที่เจริญเติบโตไม่เต็มที่ ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าส่วนหนึ่งมาจากการที่รากของหญ้ากระจุกตัวอยู่เพียงภายในกระถางไม่สามารถที่จะขยายปลายรากไปหาธาตุอาหารได้ โดยลักษณะของรากหญ้าเมื่อปลูกมาแล้วเป็นเวลา 2-3 เดือน ดังภาพที่ 26 จึงมีผลทำให้ตามลำต้นของหญ้านั้นไม่มีความฉ่ำน้ำ เมื่อทำการตัดตามขวาง

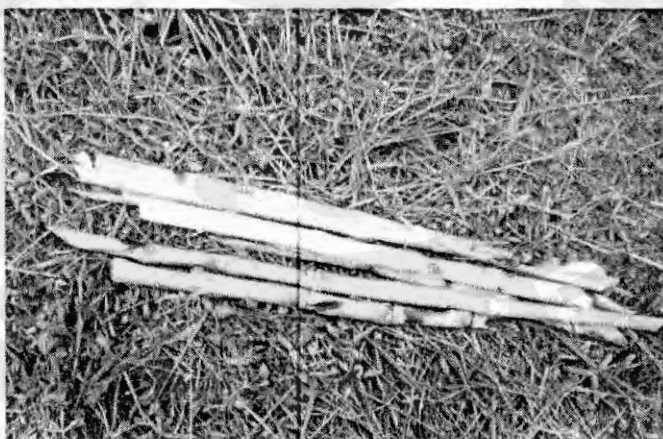


ภาพที่ 26 แสดงลักษณะของรากหญ้าที่กระจุกตัวกัน



ภาพที่ 27 แสดงลักษณะของหนุ้าที่เจริญเติบโตภายในกระถาง

จากภาพที่ 27 เมื่อทำการปลูกหนุ้าในระยะเวลา 2-3 เดือน การเจริญเติบโตของหนุ้าค่อนข้างช้า รวมถึงลักษณะทางกายภาพในการผลิตเซลลูโลสนั้น สายพันธุ์ แพงโกล่า กิณีสีม่วง เนเปียร์แกระ และเนเปียร์ม่วงเหล็ก ลำต้นเล็กอย่างเห็นได้ชัด มีปริมาณน้ำตาลและเซลลูโลสน้อย ทางคณะผู้ทดลองจึงได้ปรึกษาหารือ เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของหนุ้าที่ไม่ตรงตามเป้าประสงค์ที่ต้องการ ผลสรุปคือต้องนำสายพันธุ์ที่เป็นลักษณะของลำต้นใหญ่ โตเร็ว และแข็งแรงในทุกสภาวะ สามสายพันธุ์ โดยไม่ต้องนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพราะทั้งสามสายพันธุ์ที่นำมาปลูก คือ เนเปียร์ยักษ์ เนเปียร์ปากช่อง 1 และบาน่า มีลักษณะทางกายภาพที่เด่นชัดในเรื่องของลำต้นที่โตและมีความฉ่ำน้ำอย่างเห็นได้ชัด ปลูกในแปลงที่ได้มีการเตรียมแปลงไว้แล้วในครั้งที่สอง โดยใช้ท่อนพันธุ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ลำปาง อ.ห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

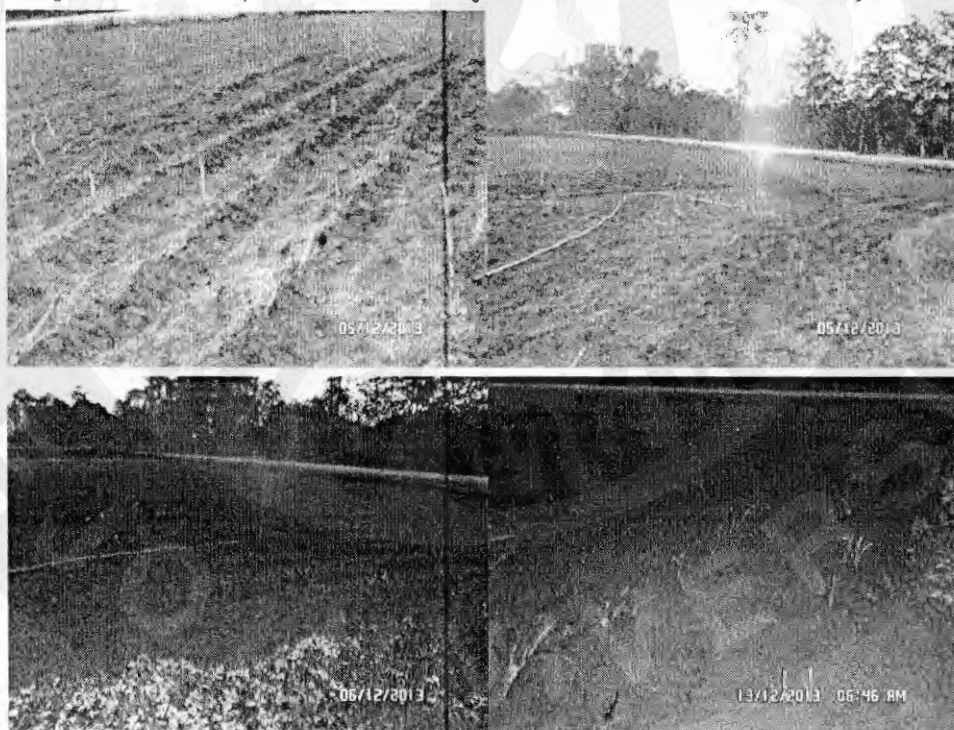


ภาพที่ 28 แสดงลักษณะของท่อนพันธุ์ที่ใช้ในการปลูกในแปลงปลูก



ภาพที่ 29 แสดงลักษณะของแปลงที่ใช้ปลูก

จากภาพที่ 29 พบว่าลักษณะของพื้นที่ในแปลงปลูกจะมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายไม่อุ้มน้ำ ซึ่งก่อนหน้านี้ทางคณะผู้ทดลองได้ทำการปรับปรุงสภาพดินด้วยปุ๋ยคอก เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกาะตัวกันของดินและเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งจะมีผลดีต่อหญ้าที่นำมาปลูก เพราะหญ้าทั้งสามสายพันธุ์ชอบดินที่มีความชื้นสูง และมีผลต่อการผลิตน้ำตาลในหญ้า



ภาพที่ 30 แสดงการทดลองปลูกหญ้าในแปลงปลูก



ภาพที่ 31 แสดงลักษณะของหญ้าที่เกิดขึ้นแปลงปลูก

จากภาพที่ 31 พบว่าในช่วงการปลูกท้ายปี 2556 ถึงช่วงต้นปี 2557 นั้นมีสภาพอากาศที่หนาวจัดและแปรปรวน จึงส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของหญ้าทั้งสามสายพันธุ์ ทำให้มีการเจริญเติบโตที่ช้า



ภาพที่ 32 แสดงลักษณะของโรคพืชที่เกิดขึ้นกับหญ้าในแปลง

จากภาพที่ 32 เป็นลักษณะของโรคพืชที่เกิดขึ้นในแปลงหญ้าในช่วงที่มีอากาศแปรปรวน

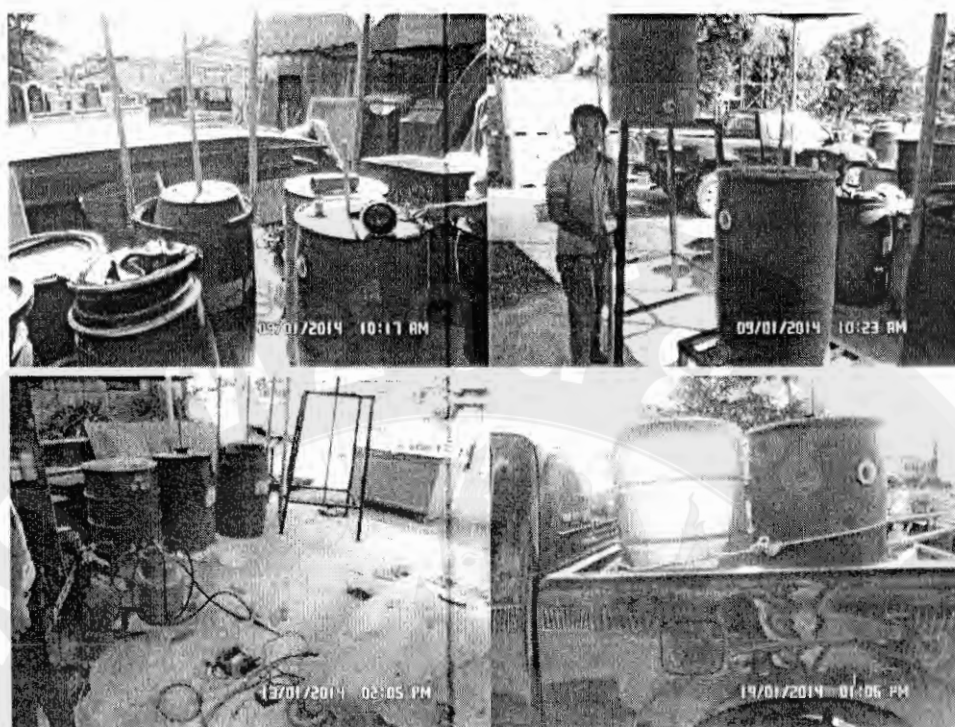
การสร้างชุดผลิตแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 33 แสดงลักษณะของชุดผลิตแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 33 แสดงลักษณะของชุดผลิตแก๊สชีวภาพ (ต่อ)



ภาพที่ 34 แสดงลักษณะของการประกอบชุดผลิตแก๊สชีวภาพ

จากภาพที่ 34 เป็นการจัดชุดประกอบสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งจะใช้ถังพลาสติกที่มีความหนาและมีความคงทนต่อการกด

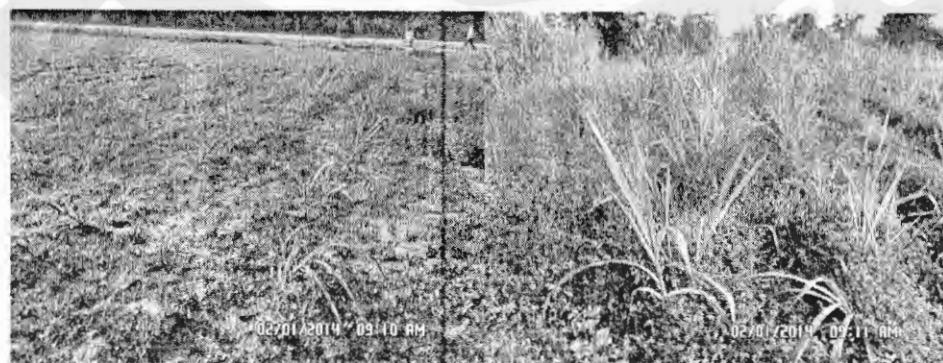
การดำเนินการปลูกหญ้าทั้ง 3 สายพันธุ์



ภาพที่ 35 แสดงการเริ่มงอกของต้นหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ



ภาพที่ 36 แสดงสภาพอากาศที่หนาวจัดในช่วงต้นปีมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้า



ภาพที่ 37 แสดงการเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม - มีนาคม 2557



ภาพที่ 37 แสดงการเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม – มีนาคม 2557 (ต่อ)



ภาพที่ 37 แสดงการเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม – มีนาคม 2557 (ต่อ)



ภาพที่ 37 แสดงการเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม – มีนาคม 2557 (ต่อ)



ภาพที่ 37 แสดงการเริ่มเจริญเติบโตของหญ้าในช่วงต้นเดือนมกราคม – มีนาคม 2557 (ต่อ)

การดำเนินการก่อนเข้าสู่ระบบผลิตแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 38 แสดงการบดย่อยหญ้าที่ใช้ในการทดลอง

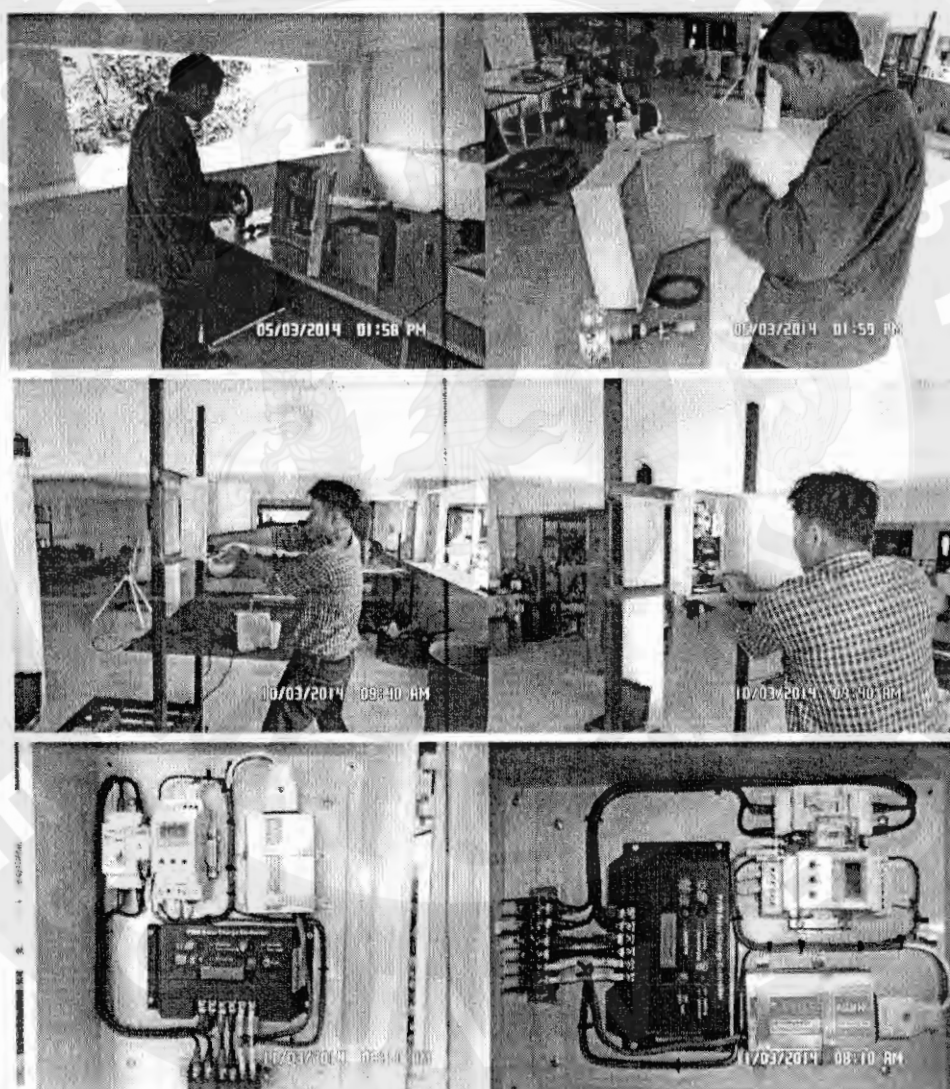
จากภาพที่ 38 จะเป็นการบดหญ้า เพื่อที่จะนำมาทำหญ้าหมัก ก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ



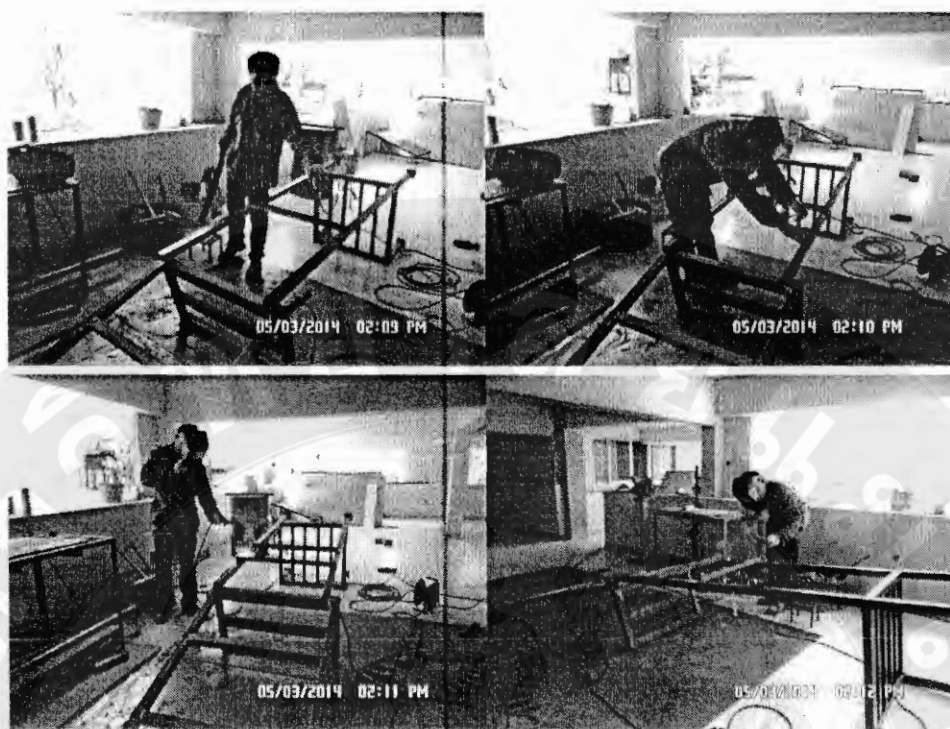
ภาพที่ 38 แสดงการบดย่อยหญ้าที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)



ภาพที่ 39 แสดงการเติมปุ๋ยให้แก่หญ้า



ภาพที่ 40 แสดงการเตรียมตู้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในโครงการ

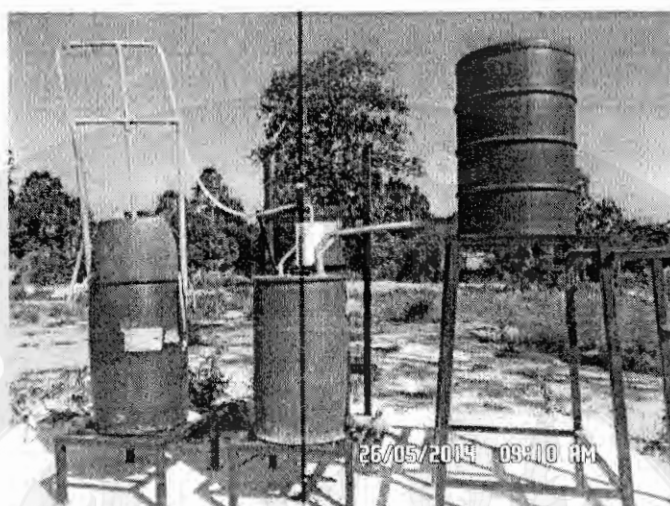


ภาพที่ 41 แสดงการดำเนินการสร้างโครงเหล็กในการทดลอง



ภาพที่ 42 แสดงการทำหมักก่อนใส่ลงในชุดผลิตแก๊สชีวภาพ

การนำหญ้าที่หมักได้เข้าสู่ระบบผลิตแก๊สชีวภาพ

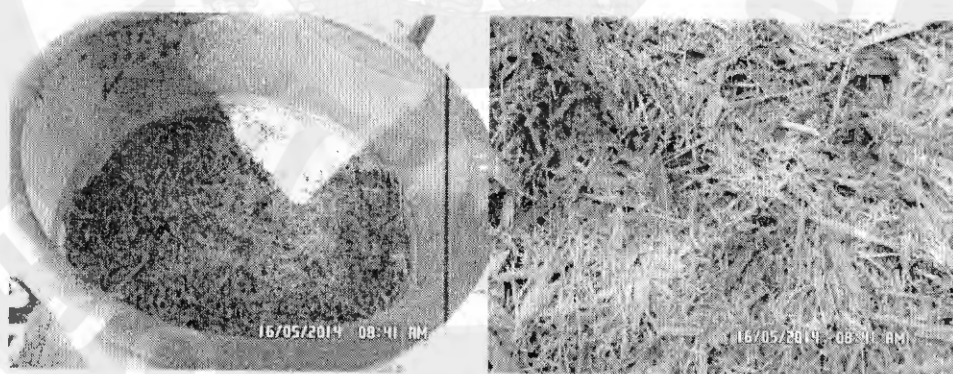


ภาพที่ 43 แสดงถังผลิตแก๊สชีวภาพขนาด 200 ลิตร ที่มี 3 ส่วนประกอบ คือ ถังผลิตกรด ถังผลิตแก๊สมีเทน และถังเก็บแก๊ส มีการควบคุมการกวนด้วยระบบโซลาร์เซลล์ โดยจะทำการกวนทุก ๆ 30 นาที ทำการกวน 10 วินาทีต่อครั้ง

จากภาพที่ 43 เป็นระบบผลิตแก๊สชีวภาพ ที่ได้ทำการจำลองตามสถานะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ซึ่งได้มีการออกแบบให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการที่จะจัดการกับระบบการกวน เพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับสารอาหารมากขึ้น และสามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้สูง

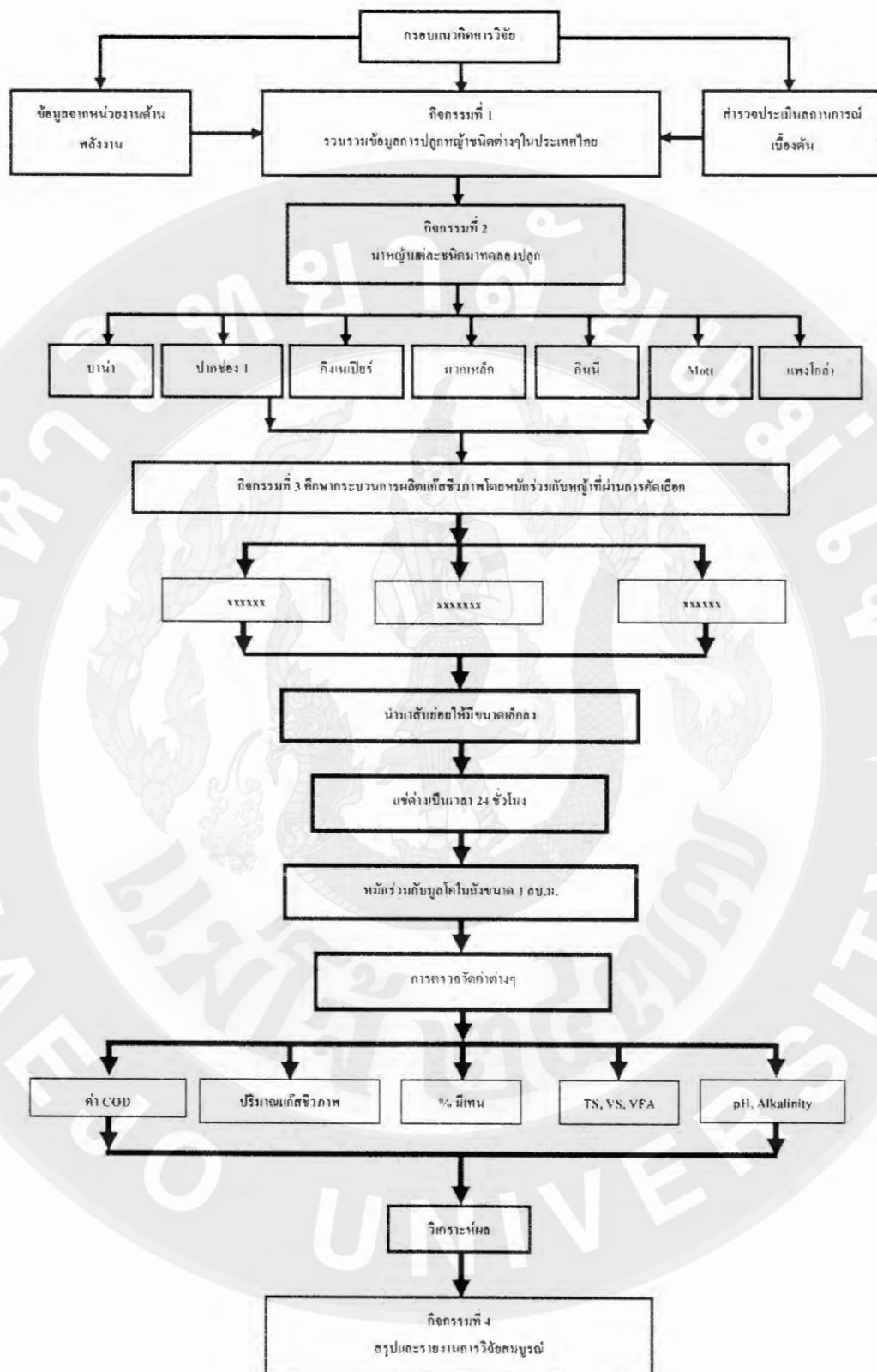


ภาพที่ 43 แสดงถึงผลิตแก๊สชีวภาพขนาด 200 ลิตร ที่มี 3 ส่วนประกอบ คือ ถังผลิตกรด ถังผลิตแก๊สมีเทน และถังเก็บแก๊ส มีการควบคุมการกวนด้วยระบบโซลาร์เซลล์ โดยจะทำการกวนทุก ๆ 30 นาที ทำการกวน 10 วินาทีต่อครั้ง (ต่อ)



ภาพที่ 44 แสดงลักษณะของหญ้าในถังผลิตกรด

จากภาพที่ 44 พบว่า สภาพของหญ้าในถังผลิตกรดนั้น จะมีลักษณะสีขาวซีด มีความเป็นกรดสูง โดยหญ้าสามารถที่จะย่อยสลายได้ดีในสภาวะที่ร้อนขึ้น ซึ่งอุณหภูมิในถังสูงสุดจะอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียสในคอนเทียจวันจนถึง ช่วงบ่าย ซึ่งจะเอื้อประโยชน์ให้จุลินทรีย์สามารถที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ออกมาได้สูง



ภาพที่ 45 แสดงแผนผังการทดลอง

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณภาพดินในแปลงปลูก

ตารางที่ 7 แสดงค่าคุณสมบัติของดินในแปลงปลูกหญ้าสามสายพันธุ์

ตัวอย่างดิน	pH	%OM	%N	Available P (ppm)	Extractable forms (ppm)		
					K	Ca	Mg
ดินในแปลงปลูก	4.34	0.17	0.009	8.60	136	296	154

จากตารางที่ 7 คุณสมบัติของดินในแปลงปลูกมีดังนี้ ค่า pH อยู่ที่ 4.34 ค่าอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) อยู่ที่ 0.17% ปริมาณไนโตรเจน อยู่ที่ 0.009% ปริมาณฟอสฟอรัส อยู่ที่ 8.60 ppm. ในส่วนของ ปริมาณโพแทสเซียม อยู่ที่ 136 ppm. ปริมาณแคลเซียม อยู่ที่ 296 ppm. และปริมาณแมกนีเซียม อยู่ที่ 154 ppm. ตามลำดับ

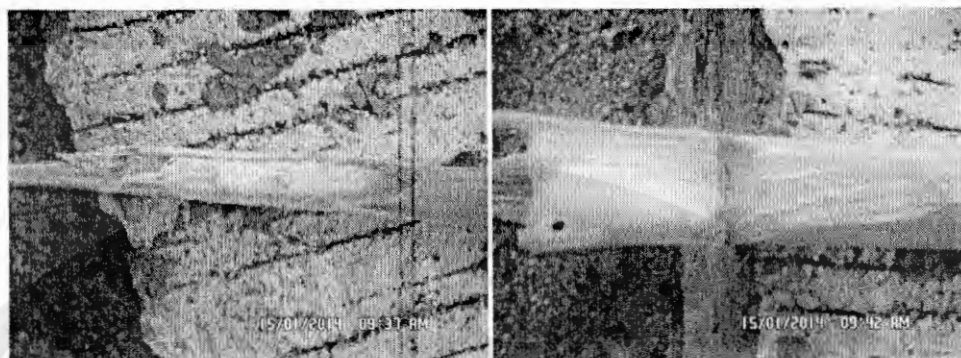
การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆของหญ้าแต่ละชนิด

จากตารางที่ 8 พบว่าหญ้านานา หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และเนเปียร์ยักษ์ มีค่าเปอร์เซ็นต์เซลลูโลส และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในช่วงที่สูงสุด ซึ่งเหมาะแก่การที่จะนำไปปลูกในแปลง ที่ได้จัดเตรียมไว้

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ค่าของหญ้าสายพันธุ์ต่างๆ ในส่วนของการปลูกในกระถางทดลอง

สายพันธุ์	การตรวจวิเคราะห์				
	น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/L)	ความชื้น (%)	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
นานา	47.9	38.7	45.5	34.6	20
ปากช่อง 1	52.3	37.48	43.3	37.9	19
คิงเนเปียร์	55.8	39.07	45.9	40.2	14
มวกเหล็ก	40.1	35.2	33.7	39.6	27
กินนี	33.2	35.14	26.4	39.2	34
Mott	36.7	36.56	30.3	40.5	29
แพงโกล่า	29.9	30.78	25.5	38.8	36

จากภาพที่ 46 พบว่าลำต้นของหญ้าไม่ฉ่ำน้ำ เมื่อทำการผ่าเพื่อดูปริมาณน้ำในลำต้น พบว่ามีปริมาณที่น้อยมาก อาจจะมีสาเหตุมาจาก ดินเพาะปลูกเป็นดินทรายส่วนใหญ่ ไม่อุ้มน้ำ และไม่มี ความชื้น ทำให้หญ้าที่ปลูกไม่สามารถที่จะดูดซึมน้ำเอาไว้ได้



ภาพที่ 46 แสดงลักษณะของต้นหญ้าที่ทำการแกะเปลือกเพื่อดูปริมาณน้ำในลำต้น

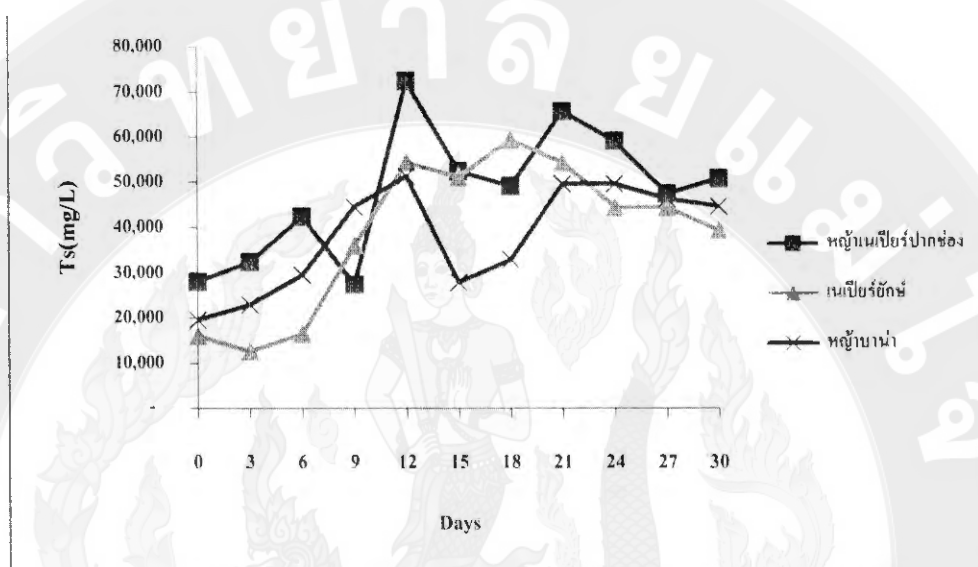
ตารางที่ 9 แสดงคุณสมบัติของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง เนเปียร์ยักษ์ และขนานในแปลงปลูก

การตรวจวัด	เนเปียร์ยักษ์	เนเปียร์ปากช่อง 1	ขนาน
น้ำตาลรีดิวซ์	57.8	55.4	56.6
% เซลลูโลส	46.4	48.5	45.5
% Brix	10	11	13

จากตารางที่ 9 พบว่าหญ้าทั้งสามสายพันธุ์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อยู่ในช่วง 55.4 – 57.8 mg/L เปอร์เซ็นต์เซลลูโลสอยู่ในช่วง 45.5 – 48.5 และเปอร์เซ็นต์ Brix อยู่ในช่วง 10 – 13 Brix

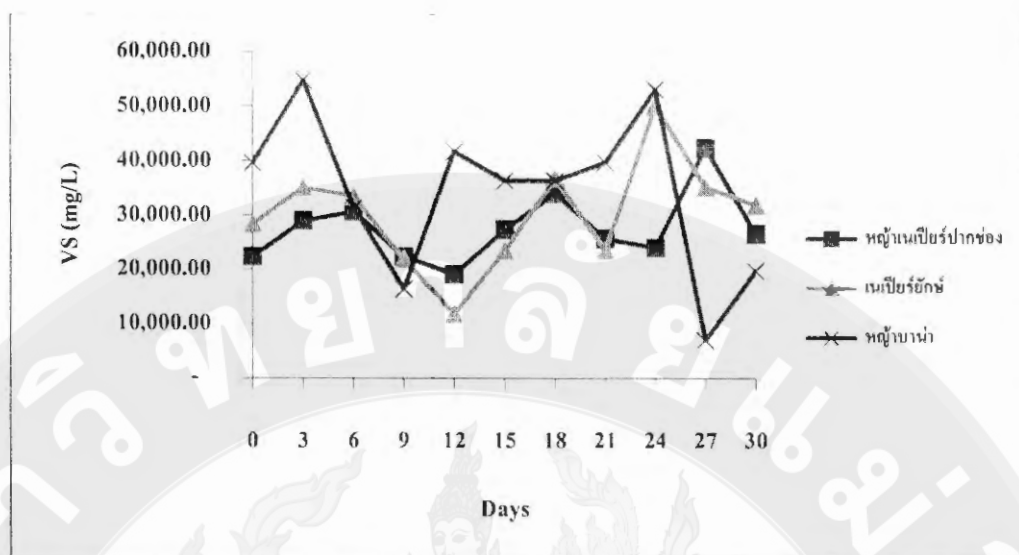
การวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

ในกระบวนการทดลองนั้นจะใช้หญ้าหมักจำนวน 50 กก. ต่อน้ำ 150 ลิตร ซึ่งจะมีค่า pH เริ่มต้นอยู่ที่ 6.2 ในถังผลิตกรด ทำการหมักหญ้าสดเป็นเวลา 60 วัน และหมักในระบบของถังผลิตกรดอีก 30 วัน รวมระยะเวลา 90 วัน



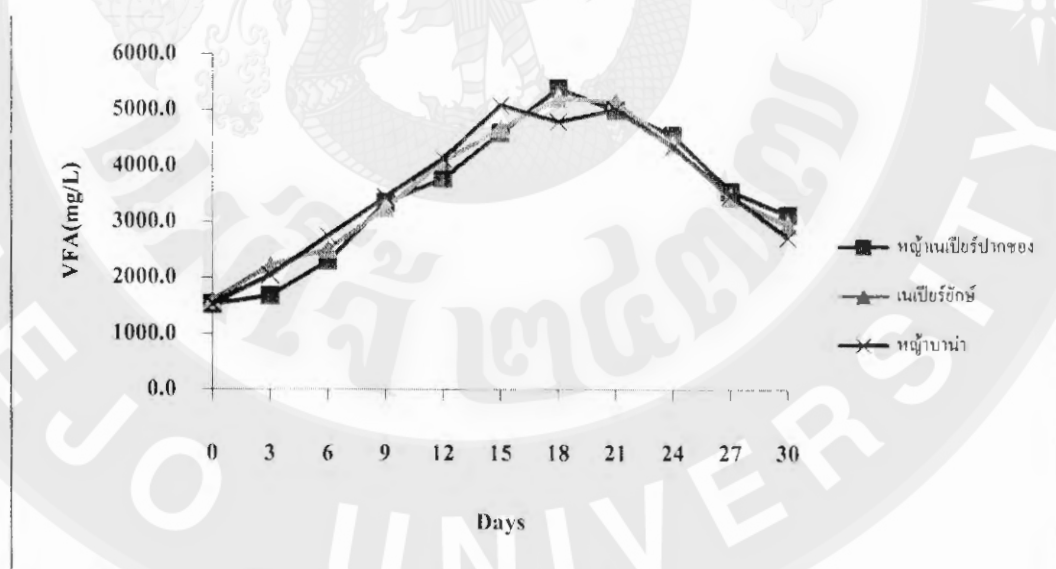
ภาพที่ 47 แสดงค่า Total solid ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหญ้านานา

จากภาพที่ 47 เป็นค่าของการย่อยสลายของแข็งที่ได้จากกระบวนการหมักหญ้า ในขั้นตอนของกระบวนการผลิตกรด ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสามารถในการย่อยสลายและการนำไปใช้ของจุลินทรีย์พวก Acid bacteria ซึ่งจากภาพ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระยะเวลา 30 วัน



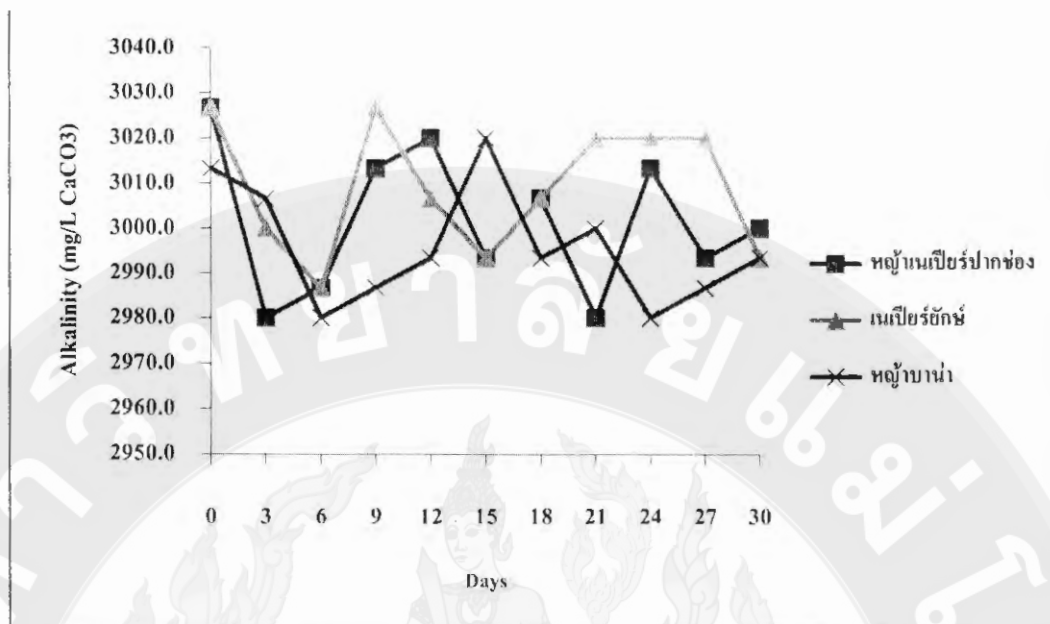
ภาพที่ 48 แสดงค่า Volatile solid (mg/L) ของหุ้ยนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหุ้ยนานา

จากภาพที่ 48 เป็นการวัดปริมาณของแข็งระเหยง่ายของหุ้ยนหมักในถังผลิตรวด ซึ่งจากภาพจะมีลักษณะที่ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ชอบความเป็นกรด และสามารถที่จะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นเองได้



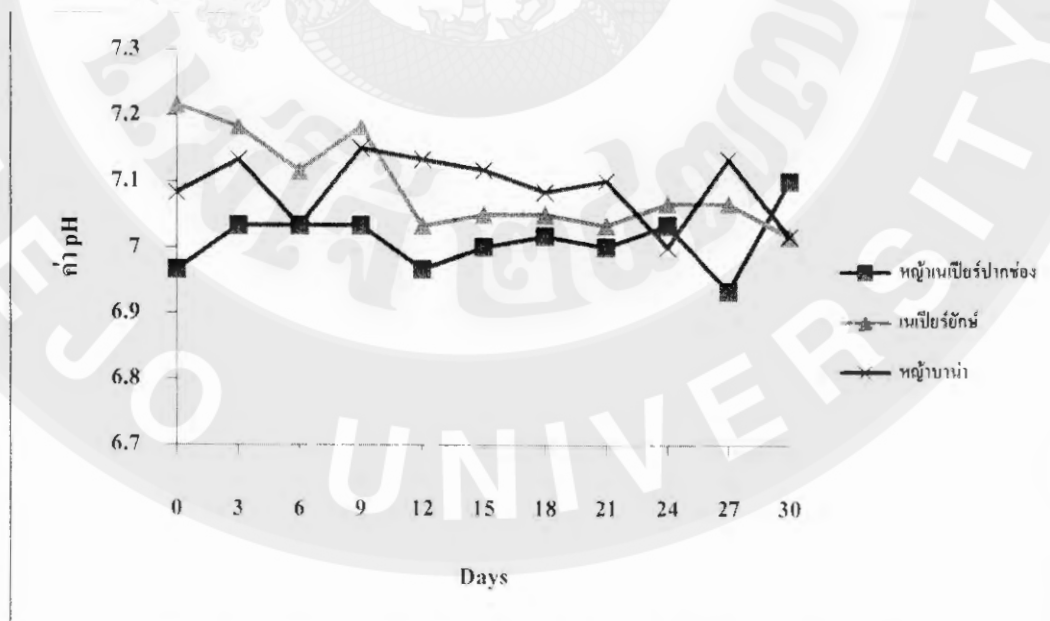
ภาพที่ 49 แสดงค่า Volatile Fatty Acid หุ้ยนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหุ้ยนานา

จากภาพที่ 49 พบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายของหุ้ยนทั้งสามชนิดมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 18 วันแรก และจะเริ่มลดปริมาณลงในช่วงวันที่ 21 ของการทดลอง



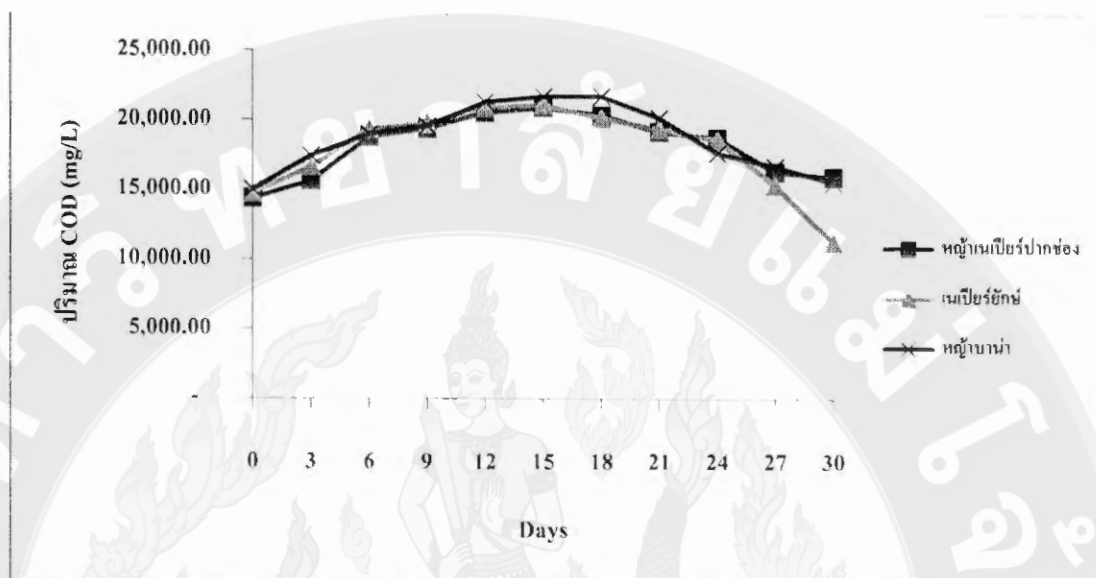
ภาพที่ 50 แสดงค่า Alkalinity ของหewan เปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยิกซ์ , และหewan นา

จากภาพที่ 50 พบว่า ค่า Alkalinity ของหewan ทั้งสามสายพันธุ์มีค่าอยู่ในช่วง 2980 – 3040 mg/L CaCO₃, ซึ่งค่า Alkalinity จะเป็นตัวบ่งบอกการควบคุมสมดุลของค่ากรดและด่างในน้ำ มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพของเชื้อเมทาโนเจน โดยน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอแก๊สเป็นน้ำที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ



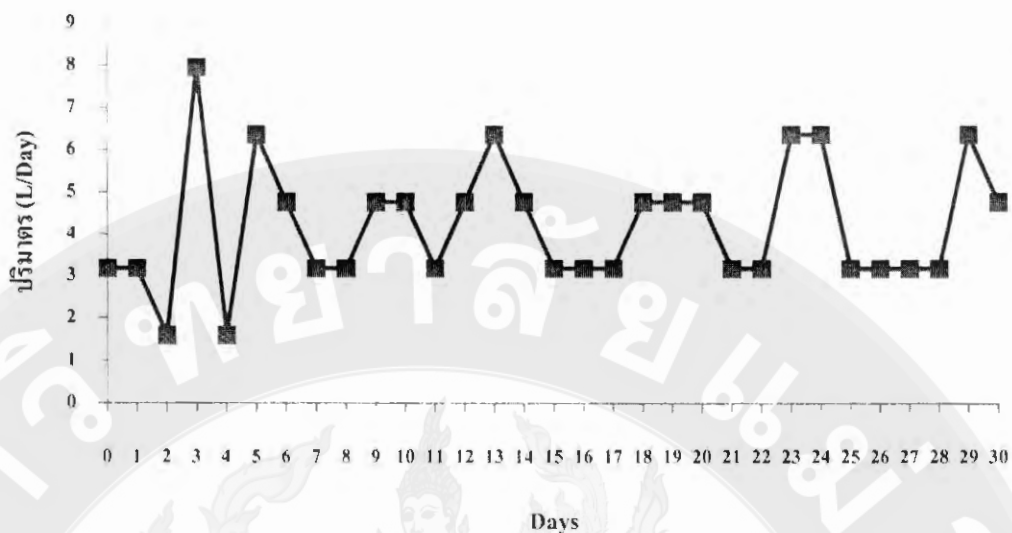
ภาพที่ 51 แสดงค่า pH หewan เปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยิกซ์ , และหewan นา

จากภาพที่ 51 เป็นค่าพีเอชที่อยู่ภายในถังผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เชื้อเมทาโนเจน สามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยไม่มีการหยุดชะงัก



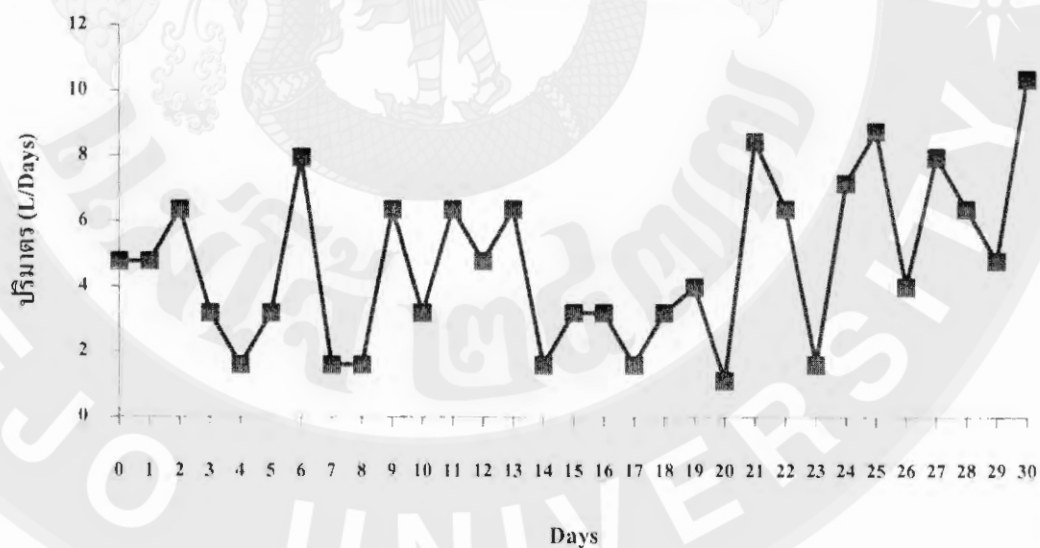
ภาพที่ 52 แสดงปริมาณ COD ของหมักเนเปียร์ปากช่อง , เนเปียร์ยักษ์ , และหญ้าเนเปียร์

จากภาพที่ 52 ค่า COD ของหมักทั้งสามชนิดนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก เพราะเป็นช่วงของกระบวนการย่อยสลายของเชื้อบางกลุ่ม และจะลดลงในช่วงหลังวันที่ 21 ของการทดลอง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากสารอินทรีย์บางตัว ถูกจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ใช้ไปในการดำเนินกิจกรรมผลิตแก๊สชีวภาพ



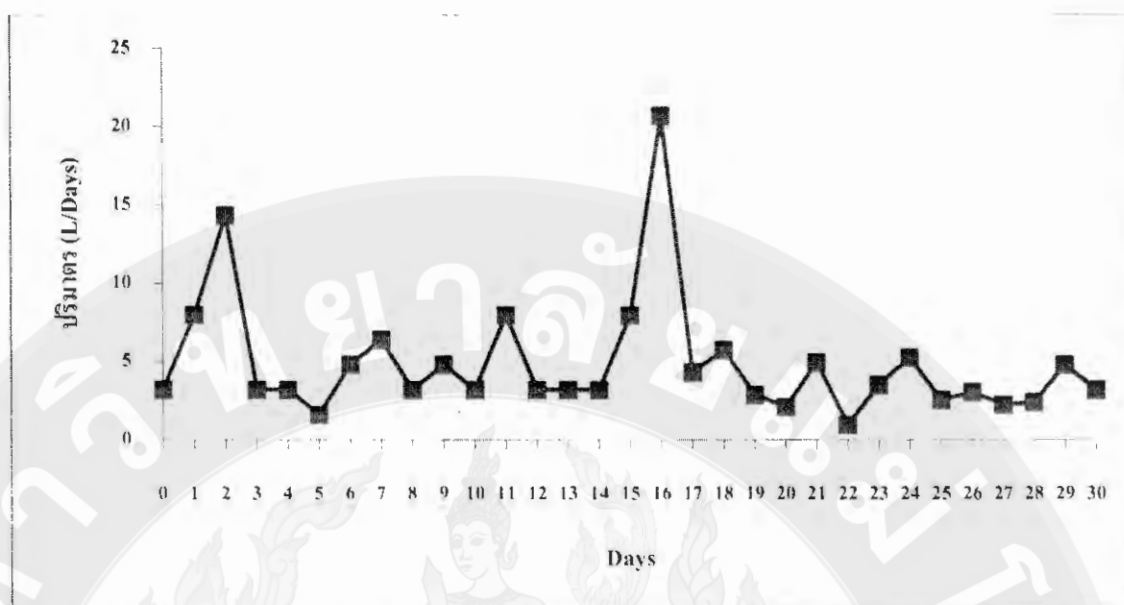
ภาพที่ 53 แสดงปริมาณแก๊สของหมักเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่เกิดขึ้นต่อวัน

จากภาพที่ 53 พบว่า จากหมักเนเปียร์ปากช่อง 1 จำนวน 50 กก. สามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพในช่วงระยะเวลา 30 วัน จะอยู่ที่ 150.54 ลิตร หรือเฉลี่ยเท่ากับ 5.018 ลิตร/วัน



ภาพที่ 54 แสดงปริมาณแก๊สของหมักเนเปียร์ชัยภักดิ์ ที่เกิดขึ้นต่อวัน

จากภาพที่ 54 พบว่า จากหมักเนเปียร์ชัยภักดิ์ จำนวน 50 กก. สามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพในช่วงระยะเวลา 30 วัน จะอยู่ที่ 145.45 ลิตร หรือเฉลี่ยเท่ากับ 4.84 ลิตร/วัน



ภาพที่ 55 แสดงปริมาณแก๊สของหญ้าบาน่าที่เกิดขึ้นต่อวัน

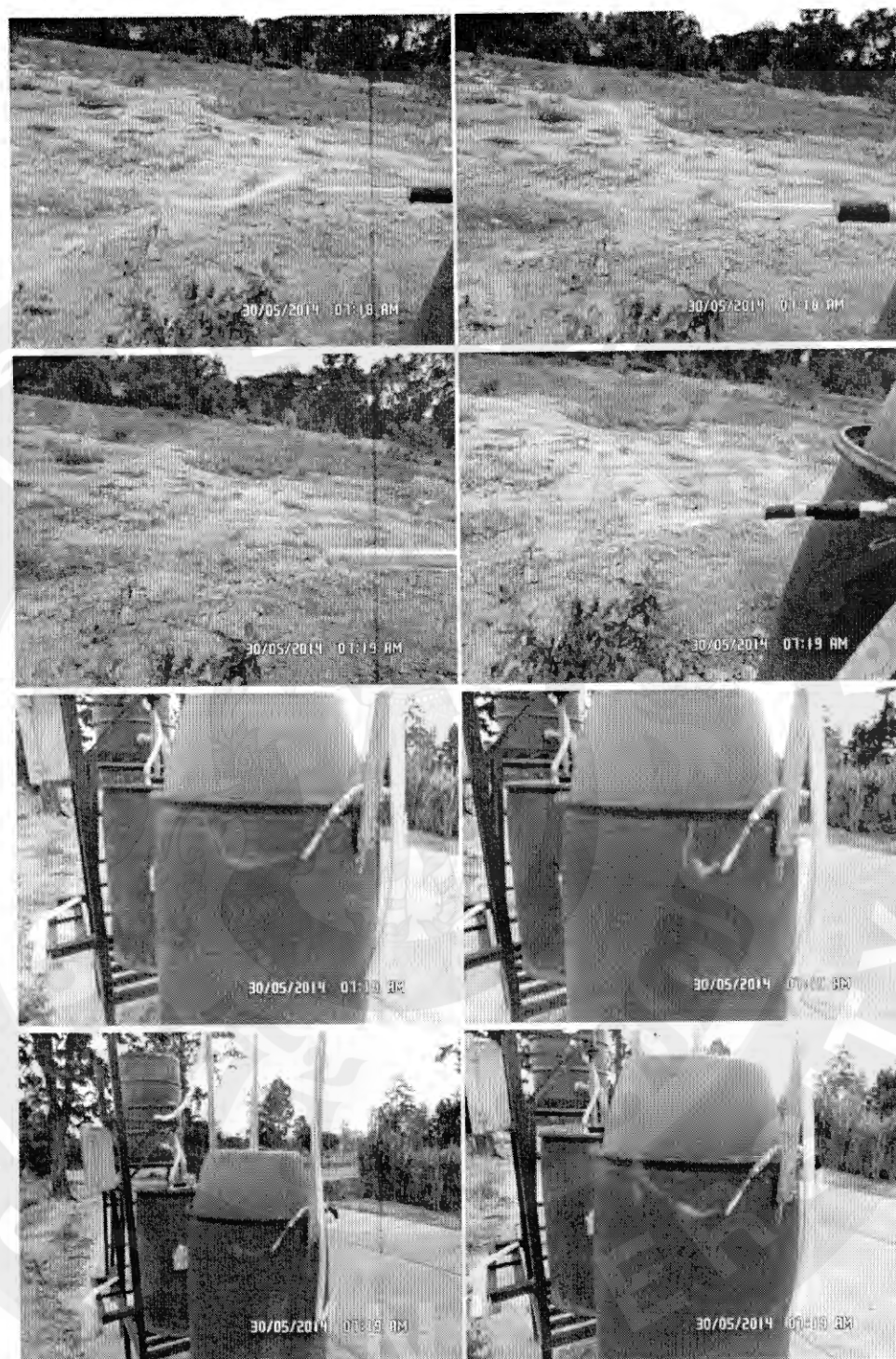
จากภาพที่ 55 พบว่า จากหญ้าบาน่า จำนวน 50 กก. สามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพ ในช่วงระยะเวลา 30 วัน จะอยู่ที่ 149.42 ลิตร หรือเฉลี่ยเท่ากับ 4.98 ลิตร/วัน ซึ่งจากภาพที่ 53 – 55 ปริมาณแก๊สของหญ้าทั้งสามชนิดนั้น จะอยู่ในช่วง 145.45 – 150.54 ลิตร



ภาพที่ 56 แสดงถังผลิตแก๊สชีวภาพในกระบวนการทดลอง



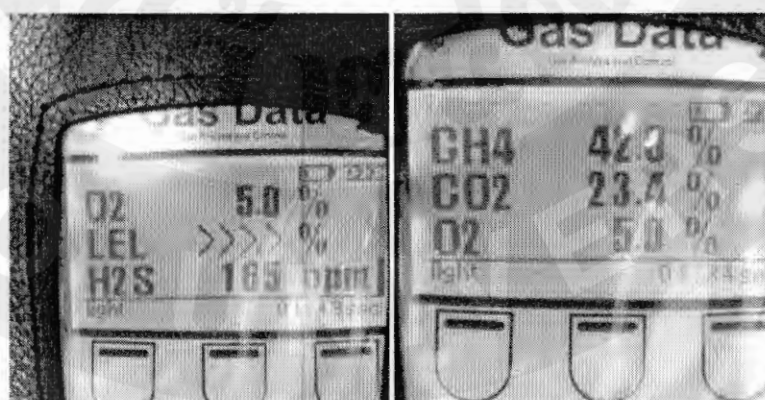
ภาพที่ 57 แสดงการตรวจวัดการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ได้จากกระบวนการทดลอง
จากภาพที่ 57 พบว่าเปลวไฟที่ได้มีสีฟ้าอมส้ม และมีการติดอย่างต่อเนื่องไม่มีขาดตอน
สามารถที่จะทำให้ให้น้ำ 500 มล. เดือดได้ภายใน 10 นาที



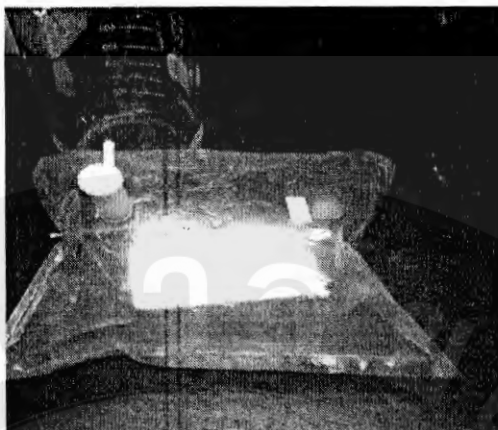
ภาพที่ 57 แสดงการตรวจวัดการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ได้จากระบวนการทดลอง (ต่อ)



ภาพที่ 57 แสดงการตรวจวัดการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ได้จากกระบวนการทดลอง (ต่อ)



ภาพที่ 58 แสดงลักษณะของเครื่องตรวจวัดแก๊สชีวภาพที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 59 แสดงการเก็บแก๊สชีวภาพโดยใช้ถุงเก็บแก๊ส

จากภาพที่ 59 เป็นการเก็บแก๊สชีวภาพจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพ โดยใช้ถุงเก็บแก๊ส พบว่า
 หน่วยงานเปียร์มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 50.2 หน่วยงานเปียร์ยักษ์หรือคิงส์เนเปียร์มีเปอร์เซ็นต์
 แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 48.7 และหน่วยงานมีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 46.7 ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการดำเนินการทดลองที่ผ่านมา ในส่วนของหญ้าที่มีลักษณะทางกายภาพที่โตเร็วและให้ปริมาณเซลลูโลสที่สูง คือหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หญ้าเนเปียร์ยักษ์หรือคิงส์เนเปียร์ และหญ้านา ná ซึ่งจะทำให้การตัดในช่วงการเจริญเติบโตที่ 60 วัน พบว่าหญ้าเนเปียร์มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 50.2 หญ้าเนเปียร์ยักษ์หรือคิงส์เนเปียร์มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 48.7 และหญ้านา ná มีเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 46.7 ซึ่งจะสังเกตเห็นแปลวไฟเป็นสีส้ม ในช่วงกลางวัน โดยลักษณะการติดไฟจะติดอย่างต่อเนื่อง และมีความร้อนสูง ไม่มีอาการที่ติดๆดับๆ เพราะมีความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง ในส่วนของกระบวนการและปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สมีเทน พบว่า การที่จุลินทรีย์ได้รับแหล่งคาร์บอนประเภทน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่นกลูโคส ซึ่งสามารถพบได้ คือ ในชีวมวลทั่วไป รวมถึงที่เป็นองค์ประกอบของหญ้า จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของกรดอินทรีย์ไปเป็นสาร Acetate โดยเมื่อไปรวมตัวกับไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนของ Methanogenesis โดยเชื้อเมทาโนเจนซึ่งก็จะผลิตแก๊สมีเทนออกมา ทั้งนี้ในกระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาตินั้น ถ้าใช้หญ้าแก่ กระบวนการย่อยสลายจะยาวนานขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสจะเริ่มก่อตัวกันเป็นเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะมีความแข็งแรงสูงกว่าเซลลูโลส แต่ถ้าใช้หญ้าในช่วงที่อ่อน คือประมาณ 45 วัน น่าจะให้ผลผลิตแก๊สมีเทนที่สูงขึ้น และระยะเวลาในกระบวนการย่อยสลายก็จะสั้นลง สองปัจจัยนี้น่าจะไปส่งเสริมให้เกิดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพที่สมบูรณ์ โดยอาจจะมีปริมาณมีเทนสูงสุดอยู่ในช่วง 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ อีกปัจจัยที่สำคัญที่เป็นปัญหาของกระบวนการปลูกหญ้าทั้งสามสายพันธุ์ คือ สภาพของความแปรปรวนของอากาศ และการขาดน้ำ ซึ่งในช่วงปีที่ผ่านมา นั้น อากาศเย็นจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หญ้าทั้งสามชนิดเจริญเติบโตช้า เพราะหญ้าทั้งสามชนิดชอบสภาพอากาศในลักษณะที่ร้อนชื้น และมีน้ำอย่างทั่วถึง ฉะนั้นในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้ ลักษณะลำต้นของหญ้าทั้งสามชนิดที่ปลูกจึงไม่มีความฉ่ำน้ำเท่าที่ควร ลำต้นมีลักษณะไม่โตเต็มที่ ซึ่งถ้าในกระบวนการดำเนินการทดลองในครั้งต่อไป ควรที่จะมีการจัดการระบบน้ำอย่างทั่วถึง เพราะจะทำให้หญ้าไม่เกิดการขาดน้ำ ระบบการเจริญเติบโตไม่หยุดชะงัก ส่งผลต่อปริมาณเซลลูโลสสะสมที่สูง และอาจทำให้จุลินทรีย์สามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตแก๊สมีเทนที่สูงขึ้นได้

สรุปผลการวิจัย

ในกระบวนการดำเนินการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพจากหญ้าทั้ง 7 สายพันธุ์ ลักษณะสำคัญที่จะเป็นตัวบ่งบอกปริมาณสารตั้งต้นและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ลักษณะทางกายภาพของสายพันธุ์หญ้า เพราะในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพนี้ ต้องการหญ้าที่โตเร็ว ลำต้นใหญ่ และแข็งแรง สามารถทนกับสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวนได้ เพราะการผลิตแก๊สชีวภาพให้ได้ผลดีนั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณเซลลูโลสที่จะถูกย่อยสลายไปเป็นน้ำตาล ซึ่งปริมาณน้ำตาลนี้ก็จะถูกจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นกรด Acetic โดยในขั้นตอนสุดท้าย เชื้อจุลินทรีย์ประเภทเมทาโนเจน สามารถที่จะทำการเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทน ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน โดยจะต้องมีการควบคุมสภาวะของกรดเบสให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7 ในถึงผลิตแก๊ส ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้ต่อเนื่อง และให้ปริมาณและความเข้มข้นของแก๊สมีเทนที่สูงได้

เอกสารอ้างอิง

- จันทกานต์ อรุณนันท์, สุรนันท์ น้อยอุทัย และอุดร ศรีแสง. 2550. การปรับปรุงพันธุ์หญ้านเปียร์
แกระ โดยการผสมเปิด(1) องค์ประกอบทางเคมีและผลผลิตของรุ่นลูกชั่วที่ 1 (F1) ที่ได้
จากการผสมเปิดของหญ้านเปียร์แกระ. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2550. กองอาหารสัตว์
กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 10-22.
- จินดาพร สืบจำเพชร. 2552. การผลิตเอทานอลจากหญ้านเปียร์ถูกผสม โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์
Saccharomyces Cereviceae. การศึกษาอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จักรพันธ์ หมั่นจี. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยการย่อยสลายร่วมกับหญ้าน
เปียร์และเศษอาหารโดยถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชัชวาล คำวงศ์, ญัฐวิทย์ พงศ์พันธุ์, นุศุลกิจ ทุนกาศ, วิลาวัลย์ ปิ่นอินและวิไลวรรณ ลินะกุล.
2550.โครงการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางยุทธศาสตร์
พลังงานของประเทศ. เอกสารเผยแพร่. สถาบันพัฒนาวิจัยและพลังงานจังหวัดเชียงใหม่.
- ธนศ อุทิศธรรม. 2528. การผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากของเสียในโรงงานสับปะรด
กระป๋อง. ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิรนาม. 2553. ก๊าซชีวภาพ. จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ>. [10 กรกฎาคม 2556].
- นิรนาม. 2556. หญ้านเปียร์ใหญ่. จาก http://www.biogang.net/biodiversity_view.ph. [2 สิงหาคม
2556].
- นิรนาม. 2556. หญ้านเปียร์พลังงานสีเขียว. จาก webkc.dede.go.th/webmax/ หญ้านเปียร์%20พืช
พลังงานสีเขียว. [2 สิงหาคม 2556].
- นิรนาม. 2556. หญ้านเปียร์ปากช่อง 1. จาก <http://www.buakhawfarm.com/หญ้านเปียร์>.
[5 สิงหาคม 2556].
- นิรนาม. 2556. หญ้าแพงโกล่า. จาก
http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/FORAGE/Digitaria_eriantha.htm.
[15 สิงหาคม 2556].

- นิรนาม. 2556. หล้ากินนีสีม่วง. จาก http://www.dld.go.th/nsys_yst/index.php?option [15 สิงหาคม 2556].
- นิรนาม. 2556. หล้าบาน่า. จาก www.thaienergynews/uploads/news/407077245571759.pdf [19 สิงหาคม 2556].
- นิรนาม. 2556. หล้าเนเปียร์ปากช่อง 1. จาก www.index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=91 [15 สิงหาคม 2556].
- เมธีวรรณ เกียรติกระจ่าย. 2550. การเตรียมและทดสอบเอนไซม์ย่อยสลายจาก *Bacillus subtilis* GN 156 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไซเลทหล้าเนเปียร์. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิรัช สุขสรอายุ. 2542. ผลผลิตและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์. เอกสารเผยแพร่. จาก researchprofiles.herts.ac.uk/portal/files/7078010/Higgs_2014.pdf [4 ธันวาคม 2556].
- ศศิธร คุณากิตติพงษ์ จริบา บุญจรัสชะ และสุวรรณณี เกศกมลასน์. 2547. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำกับค่าความหวานของน้ำในต้นพืชอาหารสัตว์ที่อายุต่าง ๆ กัน. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547. 380 – 398. กรุงเทพมหานคร กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สดุดี พงษ์เพียรจันทร์, จันทกานต์ อรณันท์ และสมพล ไวปัญญา. 2551. การเพิ่มคุณภาพหล้าเนเปียร์หมักโดยใช้สารเสริมชนิดต่างๆ. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2551. 86-97. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สาเย็นท์ ทัดศรี. 2547. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 534 น.
- สุภัทร ภักติกงโสภณ. 2551. การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลหล้ากินนีสีม่วง หล้าเนเปียร์ยักษ์ หล้าแพนโกล่า และหล้ารูซี่ โดยใช้กรดซัลฟูริกและการฉายรังสี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตำราญ วิจิตรพันธ์ และ พรชัย ลือวิสัย. 2011. อิทธิพลของอายุการตัดที่มีต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาของหล้าเนเปียร์ยักษ์ ภายใต้การให้น้ำชลประทาน. *KKU Research Journal*. 16 (3).
- อุเทน กันทา. 2554. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน. จาก <http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents.php>. [10 กรกฎาคม 2556].

- Andreia de Araujo Morandim-Giannetti, Tiago Santos Albuquerque, Renata Kobal Campos de Carvalho, Ramires Menezes Silva Araujo and Rodrigo Magnabosco. 2013. Study of “napier grass” Delignification for production of cellulosic derivatives. **J. Carbohydrate Polymers**. 92 : 849 – 855.
- Gray John, Caparros-Ruiz David and Grotewold Erich. 2012. Grass phenylpropanoids : Regulate before using. **Plant Science**. pp. 184. 112 – 120.
- Heinritz N. Sonja, Martens D. Siriwan, Avila Patricia and Hoedtke Sandra. 2010. The effect of inoculants and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. **Animal Feed Science and Technology**. pp. 174. 201 – 210.
- Jayakody L., Lan H., Hoover R., Chang P., Liu Q. and Donner E. 2007. Composition, molecular structure, and physiochemical properties of starches from two grass pea (*Lathrus sativus* L.) cultivars grown in Canada. **J. Food Chemistry**. 105 : 116 – 125.
- Jerry Murphy, Rudolf Braun, Arthur Welliner and Peter Weiland. 2011. Biogas from crop digestion. **IEA Bioenergy aims**. 24 P.
- Lee M.R.F., Merry R.J., Davies D.R., Moorby J.M., Humphreys M.O., Theodorou M.K., MacRae J.C. and Scollan N.D. 2003. Effect of increasing availability of water – soluble carbohydrates on in vitro rumen fermentation. **Animal Feed Science and Technology**. pp. 104. 59 – 70
- Maria Westerholm. 2012. **Biogas Production through the Syntrophic Acetate-Oxidising Pathway**. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala.
- Methacanon Pawadee, Chaikumpollert Oraphin, Thavorniti Parjaree and Suchiva Krisda. 2003. Hemicellulosic polymer from Vetiver grass and its physicochemical properties. **J. Carbohydrate Polymers**. 54 : 335 – 342.
- Muscolo Adele, Panuccio Rosaria Maria and Sidari Maria. 2003. Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass. **Plant Science**. 164 : 1103 – 1110.
- Obi Reddy K., Uma Maheswari C., Jeevan Prasad Reddy D., and A. Varada Rajulu. 2009. Thermal properties of Napier grass fibers. **J. Materials Letters**. 63: 2390–2392.

- Reddy Obi K., Maheswari Uma C., Shukla M. and Rajulu Varada A. 2012. Chemical composition and structural characterization of Napier grass fibers. **J. Materials Letter**. 67 : 35 – 38.
- Shekhar H.S., Lyons Gary and McRoberts Colin. 2011. Biorefining of perennial grasses : A potential sustainable option for Northern Ireland grassland production. **J.Chemical Engineering Research and Design**. pp. 2309 – 2321.
- Skerman , P.J., and F , Riveros. 1990. Tropical Grass. **Food and Agriculture. Organization of the United Nation**. Rome. Italy. 832 p.
- Staerfl S.M., Amelchanka S.L., Kalber T., Soliva C.R., Kreuzer M. and ZeitZ J.O. 2012. Effect of feeding dried high – sugar ryegrass ('AberMagic') on methane and urinary nitrogen emission of primiparous cows. **J. Livestock Science**. 150 : 293 – 301.