



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญญา

พืชไร่

สาขา

พืชไร่นา

ภาควิชา

เรื่อง ผลผลิตชีวมวล และองค์ประกอบทางเคมีของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ปลูกใน
ดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล
Biomass Yield and Chemical Composition of Ten Leucaena Varieties/Lines
Planted on Sandy Soil in Northeastern Thailand for Bioenergy

นามผู้วิจัย นางสาวมนทกานต์ กันแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์สายันท์ ทัดศรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ประภา ศรีพิจิตต์, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุวิช บุญโปร่ง, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลผลิตชีวมวล และองค์ประกอบทางเคมีของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ปลูกในดินทราย
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล

Biomass Yield and Chemical Composition of Ten Leucaena Varieties/Lines Planted on
Sandy Soil in Northeastern Thailand for Bioenergy

โดย

นางสาวมนทกานต์ กันแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มนทกานต์ กันแก้ว 2556: ผลผลิตชีวมวล และองค์ประกอบทางเคมีของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ปลูกในดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์สาธิต ทัดศรี, Ph.D. 126 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ศักยภาพการให้ผลผลิตรวมถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติที่เหมาะสมของเนื้อไม้สำหรับการนำไปใช้เป็นพลังงานของกระถินจำนวน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์คันทันแถม ทารัมบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และ KU56 ที่ปลูกในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน ดำเนินการวิจัยที่สถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างเดือนมีนาคม 2554 ถึงมีนาคม 2556 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกแบบสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ใช้ระยะปลูก 1x0.5 เมตร

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตในด้านความสูง และขนาดลำต้นของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ไม่แตกต่างกันในทางสถิติทั้ง 2 ปีที่ศึกษา กระถินพันธุ์ทารัมบ้ามีความสูงและขนาดลำต้นมากที่สุด ในขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 มีขนาดลำต้นน้อยที่สุดทั้งสองปี ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU56 มีความสูงน้อยที่สุดในปีหนึ่ง และพันธุ์คันทันแถมมีความสูงน้อยที่สุดในปีที่สอง ในด้านการให้ผลผลิต ในปีแรกกระถินพันธุ์ทารัมบ้าให้ผลผลิตชีวมวลรวม และผลผลิตลำต้น (น้ำหนักแห้ง) มากที่สุด (1.4 ตันต่อไร่ และ 1.0 ตันต่อไร่ ตามลำดับ) รองมาคือกระถินสายพันธุ์ KU3 และ KU45 ในปีที่สอง กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ผลผลิตชีวมวลสูงสุด 4.9 ตันต่อไร่ รองมาคือกระถินสายพันธุ์ KU45 ในขณะที่กระถินพันธุ์ทารัมบ้าให้ผลผลิตลำต้นสูงสุด 3.9 ตันต่อไร่ ในด้านคุณภาพของเนื้อไม้ ค่าพลังงานความร้อนและความหนาแน่นเนื้อไม้ของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยกระถินสายพันธุ์ KU3 มีค่าพลังงานความร้อนสูงสุด และสายพันธุ์ KU56 มีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงสุด องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้มีความแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์/สายพันธุ์ของกระถินยกเว้น ปริมาณไฮโดรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม NDF ADF เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และเถ้า

Montakan Kunkaew 2013: Biomass Yield and Chemical Composition of Ten *Leucaena* Varieties/Lines Planted on Sandy Soil in Northeastern Thailand for Bioenergy. Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy.
Thesis Advisor: Professor Sayan Tudsri, Ph.D. 126 pages.

The objectives of this study were to compare the growth, biomass yield, chemical composition and properties of wood suitable for bioenergy utilization of the 10 *leucaena* (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) varieties/lines (Cunningham, Tarramba, KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 and KU56) which were planted on sandy soil with low fertility in northeastern part of Thailand for renewable energy. The field experiment was carried out at the Buri Ram Livestock Testing Research Station, Pakham district, Buri Ram province from March 2011 to March 2013. A randomized complete block design was used with four replications. Plant spacing of 1x0.5 meters was used.

The results indicated that there were no significant differences in the plant height and stem diameter of 10 varieties/lines for both years. However, Tarramba exhibited the highest in both plant height and stem diameter, while KU 48 had the lowest stem diameter for both years. KU 56 was found to be the lowest in plant height in the first year and Cunningham was the lowest in plant height in the second year. In term of biomass yield, Tarramba achieved the highest total biomass yield and stem yield (1.4 and 1.0 ton/rai dry matter, respectively), followed by KU3 and KU45, respectively in the first year. In the second year, KU3 generated the highest biomass yield (4.9 ton/rai) followed by KU45, while Tarramba gave the highest stem yield of 3.9 ton/rai. For wood quality, there were significant differences in heating value and wood density among the tested varieties/lines. KU3 reached the highest in heating value (4.37 Kcal/g) and KU 56 was the highest in wood density. Chemical composition of the wood were significant differences among the varieties/lines of *leucaena* except hydrogen, phosphorus, potassium, NDF, ADF, hemicellulose, cellulose and ash content.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สาธิต หัตถ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำทั้งในด้านการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้โอกาส และประสบการณ์ที่ดีในเรื่องต่างๆ ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประภา ศรีพิจิตต์ และ ดร.สุวิษ บุญโปรง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาในการเรียนตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอ็จ สโรบล ประธานในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภายในภาควิชาพืชไร่นา ภาควิชาสัตวบาล และภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้ และให้คำปรึกษาในด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณหัวหน้าสถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ กรมปศุสัตว์ นายพิชิต ชุ่มเจริญ ในความอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในงานทดลอง และเจ้าหน้าที่ของสถานีฯ สำหรับการช่วยเหลือดูแลแปลงทดลองเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการกลางคณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเทคนิคต่างๆ ในทางห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ นายสุพล นพแก้ว นายทรงยศ โชติขุติมา นายพิชัย เทพคำ และคนงานทุกท่านที่ช่วยดูแลแปลงทดลอง และช่วยเก็บข้อมูลต่างๆ ทำให้งานทดลองครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี รวมถึงขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องๆ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและกำลังใจ นอกจากนี้ ใคร่ขอขอบพระคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญเรือง และคุณแม่ขันแก้ว กันแก้ว ผู้ที่ให้ชีวิตโอกาส และกำลังใจที่ตีมาโดยตลอด รวมทั้งบุคคลในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่มีค่ามากที่สุดสำหรับข้าพเจ้าตลอดมา ความดีหรือประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ครู-อาจารย์และผู้มีพระคุณของข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

มนทกานต์ กันแก้ว

กันยายน 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	39
ผล	39
วิจารณ์	81
สรุปและข้อเสนอแนะ	102
สรุป	102
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	104
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	126

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองระหว่างปี 2554-2556 ณ สถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอบัวชุม จังหวัดบุรีรัมย์	40
2 จำนวนใบประกอบย่อย ใบย่อย และขนาดใบย่อยของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์	46
3 ขนาดฝัก และเมล็ด (เซนติเมตร) น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) ของกระถิน 10 พันธุ์/ สายพันธุ์	54
4 การเจริญเติบโตทางด้านความสูง (เซนติเมตร) ของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์	56
5 อัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูง (เซนติเมตรต่อวัน) ของกระถิน 10 พันธุ์/ สายพันธุ์ ในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่เก็บข้อมูล	59
6 การเจริญเติบโตทางด้านขนาดของลำต้น (เซนติเมตร) ของกระถิน 10 พันธุ์/ สายพันธุ์	61
7 จำนวนกิ่งใหม่หรือลำต้นที่เจริญเติบโตขึ้นใหม่จากตอเดิมของกระถินภายหลังการ ตัด (หน่อต่อตอ)	64
8 ผลผลิตน้ำหนักสด และองค์ประกอบผลผลิตของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ (กิโลกรัมต่อไร่)	66
9 ผลผลิตน้ำหนักแห้ง และองค์ประกอบผลผลิตของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ (กิโลกรัมต่อไร่)	70
10 ความหนาแน่น ค่าพลังงานความร้อน ผลผลิตค่าพลังงานความร้อน และปริมาณ เถ้าของไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ เฉพาะปีที่ 1	74
11 องค์ประกอบทางเคมีของไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์	76
12 องค์ประกอบทางเคมีในด้านเยื่อใยของไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์	77
13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตชีวมวลรวมแห้ง และขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางลำต้นกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของใบ กิ่งก้าน ลำต้น และความสูงของไม้ กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์	80
14 จำนวนกระถินที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 9 ตารางเมตร	90
15 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ในพื้นที่ดินทราย	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	แผนผังแสดงระยะการปลูกกระถินในงานทดลอง ขนาดแปลงย่อย 5x5 เมตร (1) แผนผังแปลงทั้งหมดในงานทดลอง โดยในกรอบ  คือแปลงย่อย และ (2) แสดงการปลูกกระถินแบบแถวเดี่ยว จำนวนต้นกระถินที่ปลูก ระยะปลูกและ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละแปลงย่อย พื้นที่เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ● = ตำแหน่งต้นกระถินที่ปลูกในแปลงย่อย	30
2	การฟื้นตัวของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ภายหลังการตัด (1) ภายหลังการตัดในปีแรก 1 เดือน (19 เมษายน 2555) (2) ภายหลังการตัดปีที่ 2 เมื่อกระถินมีอายุ 2 เดือน (25 พฤษภาคม 2556) และ (3-4) ลักษณะการแตกหน่อของกระถินหลังตัด ในปี ที่ 1 และ ปีที่ 2	42
3	การเข้าทำลายกระถินจากศัตรูพืช (1) การเข้าทำลายใบ และยอดกระถินของด้วงคีม (2) การเข้าทำลายดอกกระถินของปลวก และ (3) การเข้าทำลายยอดกระถินของแมลงเพลี้ยไก่ฟ้ากระถิน	44
4	ลักษณะและบริเวณที่ต้นกระถินเกิดน้ำยางสีเหลืองใสเมื่อแห้งจะแข็งและเหนียว จากนั้นเปลือกลำต้นจะมีสีดำเกิดเชื้อราขึ้นบริเวณดังกล่าว	45
5	ลักษณะใบกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ใบประกอบย่อย และใบย่อย	47
6	ตอมน้ำหวานบริเวณใบประกอบย่อยคู่บนสุด และตอมน้ำหวานบริเวณใบประกอบย่อยคู่ล่างสุด (วันที่ 18 พฤษภาคม 2555)	48
7	สีของก้านใบ และก้านใบย่อย	48
8	กระถินสายพันธุ์ KU56 ยอดมีขนอ่อน นุ่มมือ	49
9	ลักษณะทรงต้น และการแตกแขนงของลำต้น (1) ลำต้นเดี่ยวและตั้งตรง และ (2) ลำต้นมีการแตกแขนงของลำต้นมากกว่าหนึ่ง	49
10	ลักษณะลายบนเปลือกของต้นกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์	50
11	ลักษณะของดอก การติดดอก และช่อดอกของกระถิน (1) ลักษณะการเกิดดอก บริเวณปลายยอด การติดช่อดอก (2) ลักษณะดอกที่บานเต็มที่ และ (3) ลักษณะดอกกระถิน	51
12	ฝัก ลักษณะการติดฝักของกระถิน และจำนวนฝักในหนึ่งช่อดอก	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	ลักษณะเมล็ดกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ทดลอง (1) การเปรียบเทียบลักษณะของเมล็ดกระถินที่ศึกษา (2) ลักษณะเมล็ดกระถินที่เจริญเติบโตเต็มที่ และ (3) เมล็ดกระถินที่เก็บไว้ถูกแมลงเข้าเจาะทำลาย	53
14	สัดส่วนขององค์ประกอบผลผลิตน้ำหนักแห้งของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ (1) ปีที่ 1 และ (2) ปีที่ 2	72
15	วัชพืชในแปลงกระถิน (1) ถั่วสามด้าเป็นวัชพืชที่พบในปริมาณมากและขึ้นปกคลุมทั่วทั้งแปลงทดลอง (2) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 3 เดือนหลังการย้ายปลูก (15 มิถุนายน 2554) (3) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 2 เดือนหลังการกำจัดวัชพืชครั้งแรกในเดือนกรกฎาคม 2554 (15 กันยายน 2554) และ (4) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 3 เดือนหลังการตัด (12 มิถุนายน 2555)	82

ผลผลิตชีวมวล และองค์ประกอบทางเคมีของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ปลูกใน
ดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล

**Biomass Yield and Chemical Composition of Ten *Leucaena* Varieties/Lines
Planted on Sandy Soil in Northeastern Thailand for Bioenergy**

คำนำ

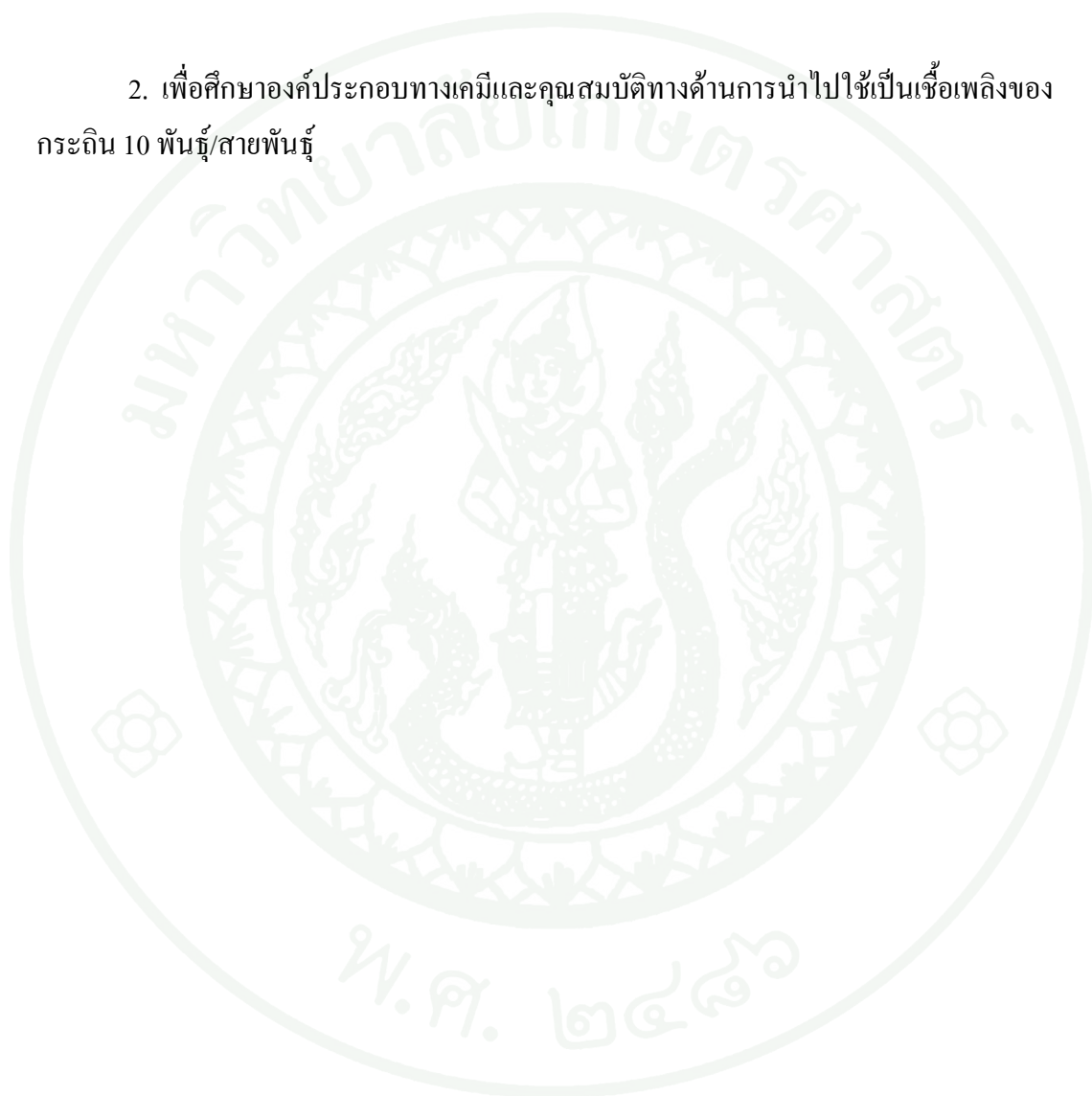
การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยพึ่งพาการนำเข้าแหล่งพลังงานต่างๆ จากต่างประเทศ ทั้งก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณและมูลค่าการนำเข้าเพิ่มขึ้นทุกปีตามการใช้ไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (กระทรวงพลังงาน, 2554) พลังงานที่นำเข้ามาส่วนใหญ่เป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถสร้างทดแทนได้ และยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล (fossil fuels) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน เป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases: GHGs) สู่ชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ส่งผลกระทบและเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และเป็นสาเหตุก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) (Adler *et al.*, 2007; Dangzhen *et al.*, 2010; Hook and Tang, 2013) จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานในปัจจุบัน คือ แหล่งพลังงานจากฟอสซิลมีปริมาณลดลงและอาจหมดไปในอนาคต ในขณะที่ความต้องการใช้มีปริมาณมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงาน ดังนั้นการใช้พลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชยะ ก๊าซชีวภาพ และชีวมวล จึงมีบทบาทและความสำคัญมากขึ้น เกิดการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนตลอดจนเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะการใช้ชีวมวลที่มีอยู่ในประเทศ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ และมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ลดภาวะการเกิดโลกร้อนที่เป็นภัยคุกคามในโลกปัจจุบัน นอกจากนี้ยังทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ณัฐ และคณะ, 2551; Barz and Delivand, 2011; Chotchutima *et al.*, 2013)

แหล่งชีวมวลที่สำคัญมีหลายชนิด เช่น เศษเหลือทางการเกษตร พืชตระกูลหญ้า และไม้โตเร็ว (fast-growing tree) ชีวมวลจากไม้เป็นแหล่งชีวมวลที่มีบทบาท และได้รับความสนใจเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (McKendary, 2002a; Rosillo-Calle *et al.*, 2007) สำหรับกระถินเป็นไม้ยืนต้นวงศ์ถั่วที่เจริญเติบโตเร็วและสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เนื่องจากให้ผลผลิตสูง การปลูกและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ง่าย ฟื้นตัวได้ดีภายหลังการตัดและสามารถตัดได้ทุกปีเพื่อใช้เป็นพลังงาน (สายัณห์ และคณะ, 2550) สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นพลังงานสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และกระบวนการเผาไหม้โดยตรง (direct combustion) (วีระชัย และคณะ, 2550; ญัฐ และคณะ, 2551) ไม้กระถินมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตพลังงานในระบบดังกล่าว ทั้งในด้านกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี คือ เนื้อไม้มีความหนาแน่นและค่าพลังงานความร้อนสูง (ญัฐ และคณะ, 2551; National Academy of Science [NAS], 1977) โดยกระถินอายุ 1 ปี มีค่าพลังงานความร้อน 4.6-4.7 กิโลแคลอรีต่อกรัม มีความหนาแน่นเนื้อไม้ 0.50-0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาณเถ้าร้อยละ 10.5 (Rengsirikul *et al.*, 2011a) กระถินสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ส่วนใบกระถินมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสมต่อการนำไปเป็นอาหารสัตว์ประเภทเคี้ยวเอื้อง สามารถใช้ได้ทั้งในรูปสดและการทำแห้งหรือเป็นฟีดหมัก (ฉายแสง และคณะ, 2548; Pound and Cairo, 1983) มีโปรตีนสูงในระดับเดียวกับถั่วจากเมืองหนาว เช่น ไวท์โคลเวอร์ และอัลฟัลฟา (จุริรัตน์ และคณะ, 2519) นอกจากนั้นใบกระถินยังใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้อีกด้วย และกระถินยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศลงสู่ดินได้ โดยอาศัยแบคทีเรียไรโซเบียมที่อยู่ในปมบริเวณราก (National Academy of Science [NAS], 1977) กระถินจึงเป็นพืชบำรุงดิน ช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ลำต้นของกระถินที่ใช้เลี้ยงสัตว์ไม่ได้ยังสามารถใช้ผลิตเยื่อกระดาษได้ (Brewbaker *et al.*, 1985) และสามารถให้ผลผลิตได้มากกว่า 40 ปี ดังนั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้นานไม่ต้องปลูกใหม่บ่อยๆ (Mullen *et al.*, 2005) การศึกษากระถินในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในด้านเป็นอาหารสัตว์โดยนำกระถินพันธุ์และสายพันธุ์ต่างๆ เข้ามาศึกษา (ชาญชัย และคณะ, 2517; ฉายแสง และคณะ, 2548) สำหรับการประเมินเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านเป็นพืชพลังงานนั้น เริ่มศึกษาตั้งแต่ปี 2550 ซึ่ง สายัณห์ และคณะ (2552, 2553 ก) ทดลองและคัดเลือกกระถินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง และมีคุณสมบัติทางเคมีเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพลังงานจำนวน 9 พันธุ์/สายพันธุ์ ประกอบด้วย กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และ KU56 และ Rengsirikul *et al.* (2011a); นิดา และคณะ (2552) พบว่า กระถินดังกล่าวเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม การทดลองเหล่านั้นได้จากการปลูกทดสอบในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งดินเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปน

ทรายจนถึงดินทราย (เพิ่มพูน, 2527) มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ธาตุอาหารฟอสฟอรัส (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) ดังนั้นการปลูกกระถินในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะดินในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ จึงอาจช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินได้ ในขณะที่ลำต้นใช้เป็น พลังงานและใบบางส่วนใช้เลี้ยงสัตว์ สำหรับพันธุ์กระถินที่ปรับตัวได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดม สมบูรณ์ต่ำและปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำยังไม่มีมีการรายงาน งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการทดสอบ กระถินที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงในบริเวณอำเภอปากช่อง ซึ่ง มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง และมีคุณสมบัติทางเคมีเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ไปปลูกทดสอบในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพื่อ คัดเลือกพันธุ์หรือสายพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีและเหมาะสมสำหรับปลูกในสภาพดินดังกล่าวก่อนนำไป ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และศักยภาพการให้ผลผลิตของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ปลูกในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางด้านการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์



การตรวจเอกสาร

กระถินเป็นพืชตระกูลถั่วยืนต้นที่พบได้ทั่วไปในเขตร้อน เจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง แสง และทุ่งหญ้าในเขตร้อน มีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง อเมริกาใต้ เม็กซิโกและหมู่เกาะต่างๆ ใน มหาสมุทรแปซิฟิก มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปในหลายๆ ประเทศและแต่ละท้องถิ่น โดย *Leucaena* เป็นชื่อที่ใช้เรียกกันทั่วไป (NAS, 1977; Pound and Cairo, 1983; Humphreys, 1980) และมีการใช้ ประโยชน์เป็นต้นไม้ให้ร่มในเขตร้อนมานาน รวมทั้งการปล่อยสัตว์ลงแทะเล็ม (กอบแก้ว, 2535) โดยกระถินถูกนำเข้ามาในประเทศไทยตั้งแต่ก่อนสมัยกรุงศรีอยุธยา โดยสันนิษฐานว่านำเข้ามาจาก อินเดียหรือกัมพูชา (ชาญชัย, 2511; บุญฤๅ, 2528) และแพร่กระจายไปทั่วทุกภาคของประเทศไทย กระถินจึงเป็นที่รู้จักกันดี พันธุ์ที่นำเข้ามาปลูกสมัยอยุธยาเป็นพันธุ์สาวายมีลักษณะไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงไม่เกิน 5 เมตร เรียกว่าเป็นกระถินบ้าน ต่อมามีการนำกระถินยักษ์เข้ามาปลูกอีกหลายชนิด โดย เป็นลูกผสมของกระถินพันธุ์ชลาครุฑ และพันธุ์เปรู หรือเรียกพันธุ์ arboreal ซึ่งมีลักษณะเป็นไม้ ยืนต้น มีทรงพุ่มขนาดใหญ่มีใบหนาและใหญ่ ยอดมีรสฝาดกว่าพันธุ์เดิม (เรณู และคณะ, 2545; สายัณห์ และคณะ, 2550) ซึ่งกระถินเป็นพืชโตเร็ว เจริญเติบโตได้เกือบทุกภาคของประเทศไทย สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง นอกจากเป็นพืชอาหารสัตว์ ยังสามารถนำไปทำเชื้อเพลิง เป็นไม้ ฟืน ถ่าน ไม้ซุง ไม้แปรรูป อาหารสำหรับคน เป็นร่มเงา ใช้ทำเชื้อกระดาษ ใช้เป็นแนวกันไฟ กันลม ปุ๋ยพืชสดปรับปรุงดิน และควบคุมการพังทลายของดิน (เจษฎา, 2527; Shelton and Brewbaker, 1994)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระถินเป็นพืชวงศ์ถั่ว (Family Leguminose) sub-family Mimosoideae อยู่ในสกุล (Genus) *Leucaena* ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit มีอายุหลายปี เป็นไม้พุ่มและ ไม้ยืนต้น (Pound and Cario, 1983) เป็นพืชผสมตัวเอง (Self-pollinated) ไม่มีหนาม (Shelton and Brewbaker, 1994) ลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบตั้งตรง (erect) (สายัณห์, 2547) มี ความสูง 5-20 เมตร ลำต้นเรียบสีน้ำตาลแดง เปลือกไม้บางมีสีเทาปนน้ำตาลแดง เนื้อไม้เป็นเส้น ตรง กระพี้มีสีเหลืองอ่อนเกือบขาวมีสีจางกว่าส่วนที่เป็นแก่น เนื้อไม้มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล อ่อน เนื้อไม้ค่อนข้างแข็ง แก่นไม้มีสีน้ำตาลแดง (เจษฎา, 2527; สายัณห์ และคณะ, 2550)

ใบกระถินเป็นใบประกอบแบบขนนกสองชั้น (bipinnate) ยาว 15-20 เซนติเมตร มีใบประกอบย่อย (pinna) 4-9 คู่ ยาว 10 เซนติเมตร มักพบต่อมน้ำหวาน (petioler gland) บริเวณใบประกอบย่อยคู่สุดท้าย หนึ่งใบประกอบย่อยประกอบด้วยใบย่อย (leaflets) ขนาดเล็กจำนวนมาก ออกมาเป็นคู่ๆ จำนวน 11-17 คู่ ใบย่อยมีลักษณะเรียวคล้ายใบหอก (oblong-lanceolate) ปลายใบแหลม เกือบไม่มีขนยกเว้นขอบใบ ใบมีขนาดกว้าง 2.0-3.3 มิลลิเมตร ยาว 8-12 มิลลิเมตร มีใบตลอดปี (เจษฎา, 2527; NAS, 1977; Pound and Cairo, 1983)

ดอกกระถินออกเป็นช่อกระจุกแน่นตามซอกใบและปลายกิ่ง ใน 1 ช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อย 100-180 ดอกรวมกันเป็นกลุ่มแบบ head รูปทรงกลมสีขาวหรือสีนวลเหลืองหรือเหลืองปนขาว (บุญญา, 2528; Shelton and Brewbaker, 1994) เกิดอยู่บนก้านดอก (peduncle) ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เมื่อดอกแก่จะมีสีน้ำตาล (เจษฎา, 2527) หลังจากดอกบานประมาณ 3-7 วัน จะเกิดฝักสีเขียว (สาขันธ์ และคณะ, 2550)

ฝักเกิดเป็นกลุ่มมีรูปร่างแบน และบาง บริเวณปลายฝักค่อนข้างแหลม ฝักเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร (Pound and Cairo, 1983) ช่อดอกหนึ่งจะมีฝัก 15-20 ฝัก หรืออาจถึง 60 ฝัก (สาขันธ์ และคณะ, 2550) ฝักอ่อนมีสีเขียวลักษณะโป่งแสง ปกคลุมด้วยขนอ่อน เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลหรือดำ และอาจแตกได้ ภายในฝักมีเมล็ดเรียงตามขวาง 15-30 เมล็ด (NAS, 1977; Shelton and Brewbaker, 1994)

เมล็ดกระถินมีรูปร่างแบนรี (elliptic) คล้ายไข่ กว้าง 3-4 มิลลิเมตร ยาว 6-8 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร เมื่อแก่มีสีน้ำตาลเป็นมันเงา ผิวเรียบ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เปื่อยน้ำ แข็งและหนา จำเป็นต้องทำลายการพักตัวก่อนปลูกโดยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นแผล (scarification) เพื่อให้ น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ เช่น ใช้ตะไบหรือมีดทำรอยบาก กรรไกรขนาดเล็กขลิบหรือตัดขอบของเมล็ดออกเล็กน้อย เขย่าด้วยทรายหรือใช้กระดาดทรายขัด แช่น้ำร้อน (80 องศาเซลเซียส) นาน 2-3 นาที หรือแช่ในกรดซัลฟิวริก (sulphuric acid) เข้มข้นในระยะเวลาสั้นๆ (5-10 นาที) หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) (เจษฎา, 2527; NAS, 1977; Pound and Cairo, 1983; Shelton and Brewbaker, 1994)

กระถินมีรากแก้วที่สามารถหยั่งลึกลงดินได้ถึง 5 เมตร ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินได้ (Brewbaker *et al.*, 1972) ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีมาก (Walton, 2003) รากแขนงมีน้อยและขนาดเล็กอยู่บริเวณใกล้ผิวดิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2.2 มิลลิเมตร เป็นบริเวณที่เชื้อแบคทีเรียไรโซเบียมสร้างปมและตรึงไนโตรเจนเป็นการอยู่ร่วมกันแบบ symbiosis ส่วนขนที่อยู่บริเวณผิวรากฝอยยังเป็นที่ยึดของเชื้อราไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) ช่วยให้กระถินได้รับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นมากขึ้น (เจษฎา, 2527; NAS, 1977)

การจำแนกชนิดของกระถิน

กระถินมีหลายพันธุ์และหลายชนิด ในสกุล *Leucaena* มีกระถินยักษ์ 22 ชนิด (species) 7 sub-species (ส้ายันห์ และคณะ, 2550; Hughes, 1998) สามารถจำแนกกระถินแต่ละชนิดโดยพิจารณาจากขนาดลำต้น สีดอก ขนาดใบย่อย และขนาดฝัก (Anonymous, 1990) NAS (1977) จำแนกกระถินออกเป็น 3 กลุ่ม ตามขนาดและลักษณะการเจริญเติบโต ดังนี้

1. Hawaiian type หรือ common type

เป็นพันธุ์ที่มีพุ่มเตี้ย มีความสูงประมาณ 5 เมตร ออกดอกขณะที่ต้นมีอายุน้อย (4-6 เดือน) ออกดอกตลอดปีมากกว่าจะออกเป็นฤดู ทำให้ผลิตเมล็ดได้มาก กระถินกลุ่มนี้จึงจัดเป็นวัชพืช ผลผลิตเนื้อไม้และใบต่ำกว่าอีก 2 กลุ่ม สามารถปลูกได้ตามที่ลาดเขาในเขตร้อน เพื่อเป็นฟืนและถ่าน และเป็นร่วมเงาสำหรับพืชอื่น เช่น กาแฟ พริกไทย (NAS, 1977) บุญฤา (2528) สันนิษฐานว่ากระถินบ้านอยู่ในกลุ่มนี้

2. Salvador type หรือ Guatemala type หรือ Hawaiian Giant

มีความสูง 20 เมตร มีใบ ฝักและเมล็ดที่ใหญ่และมากกว่ากลุ่มแรก ลำต้นเดี่ยวไม่มีกิ่งก้าน มีถิ่นกำเนิดจากป่าในอเมริกากลาง ให้ผลผลิตมากกว่า Hawaiian type เหมาะสำหรับปลูกเพื่อใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ปลูกป่า ออกดอกไม่สม่ำเสมอและไม่มีความถี่ที่แน่นอน โดยจะออกดอกนานๆ ครั้ง (NAS, 1977; Pound and Cairo, 1983)

3. Peru type หรือ Peruvian type

มีความสูงประมาณ 10-15 เมตร คล้าย Salvador type มีกิ่งก้านใหญ่บริเวณส่วนล่างของลำต้น ลำต้นขนาดเล็กและปริมาณใบมาก การออกดอกจะให้ดอกนานๆครั้ง สามารถนำมาใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ได้ดี (บุญญา, 2528; Brewbaker *et al.*, 1972) ซึ่งกระถินในกลุ่ม Peru type เป็นการผสมระหว่าง Hawaiian type และ Salvador type (Pound and Cairo, 1983)

ในประเทศออสเตรเลียได้ปรับปรุงพันธุ์เพื่อนำมาใช้เป็นพืชอาหารสัตว์ โดยผสมข้ามระหว่าง Peru type และ Giant type จนได้กระถินพันธุ์คันทันนิ่งแฮม (Cunningham) ซึ่งมีใบสีเขียวเข้ม มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของส่วนที่กินได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ให้กิ่ง ตา หน่อและใบปริมาณมาก (NAS, 1977)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต

กระถินทนต่อความแตกต่างของปริมาณน้ำฝน แสงแดด ความเค็มและลักษณะภูมิประเทศ ขึ้นได้ในดินที่เสื่อมโทรม ลาดชันสูง (NAS, 1977) ในสภาวะที่เหมาะสมกระถินจะมีสีเขียวทั้งปี แต่ในสภาพแวดล้อมที่เครียด (environmental stresses) เช่น แห้งแล้ง สภาพอากาศที่เย็นและต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (frost) หรือมีลมแรงกระถินจะทิ้งใบ และเมื่อแห้งแล้ง อากาศเย็นหรือช่วงกลางคืนใบย่อยและใบประกอบย่อยจะหุบลง (Pound and Cairo, 1983) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของกระถินมีดังนี้

1. สภาพภูมิอากาศ

กระถินเจริญเติบโตได้ในเขตร้อนและเขตร้อนชื้น (Pound and Cairo, 1983) ในพื้นที่ละติจูด (altitude) ต่ำ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีระดับความสูงไม่เกิน 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล (NAS, 1977) ปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้ง (Piggin and Nulik, 2005) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกระถินอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิกลางวัน) (Brewbaker *et al.*, 1985; Shelton and Brewbaker, 1994) สายันท์ และคณะ (2550) รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่านี้ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง อุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกระถินที่ปลูกในเขตร้อนจะอยู่ในบริเวณที่สูง 500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ดังนั้น เกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทย

สามารถปลูกระถินได้ ยกเว้นในบริเวณที่สูงๆ Isarasenee *et al.* (1984) พบว่า กระถินไม่ทนทานต่อสภาพน้ำค้างแข็ง ในสภาวะดังกล่าวกระถินจะทิ้งใบ อย่างไรก็ตาม กระถินสามารถเจริญเติบโตขึ้นได้อีกครั้งในฤดูร้อน (Shelton and Brewbaker, 1994)

2. ปริมาณน้ำฝน

NAS (1977) รายงานว่า กระถินทนทานต่อความแห้งแล้ง เจริญเติบโตดีแม้จะมีฤดูร้อนที่แห้งแล้งยาวนาน 7-8 เดือน อย่างไรก็ตาม กระถินสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีน้ำฝนตั้งแต่ 650-3,000 มิลลิเมตร (Shelton and Brewbaker, 1994) ซึ่งผลผลิตของกระถินจะต่ำในช่วงฤดูแล้ง และสูงขึ้นเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝน 800-1,500 มิลลิเมตร (Brewbaker *et al.*, 1985) สอดคล้อง Arora *et al.* (1986) พบว่า กระถินสามารถปลูกได้ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน ที่มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 500-3,000 มิลลิเมตร หากมีการกระจายของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 100-125 มิลลิเมตรต่อเดือนจะได้ผลผลิตด้านพืชอาหารสัตว์ที่ดี

3. แสงแดด

การบังคับแสงทำให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งกระถินทนต่อการถูกบังคับหรือพรางแสงได้ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับถั่วยืนต้นชนิดอื่น (Benjamin *et al.*, 1991) แต่เจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับแสงแดดเต็มที่ จะทิ้งใบในพื้นที่ที่มีลมแรง เมื่อเกิดน้ำค้างแข็ง หรือมีช่วงแล้งที่ยาวนาน (NAS, 1977) สำหรับประเทศไทยไม่มีข้อจำกัดต่อการปลูกระถิน ยกเว้นนำกระถินไปปลูกในสวนมะพร้าว หรือผสมกับไม้ยืนต้นอื่นๆ (สายพันธ์, 2547) ตรงข้ามกับการรายงานของ Shelton and Brewbaker (1994) ที่พบว่ากระถินสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อปลูกร่วมกับมะพร้าวในบาห์ลี

4. ดิน

กระถินเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ หน้าดินลึก มีการระบายน้ำดี มีสภาพเป็นกลางหรือดินด่างโดยเฉพาะหินปูน ทนต่อความเค็ม อย่างไรก็ตาม ในดินที่เป็นกรดเล็กน้อย (pH มากกว่า 5.2) กระถินก็สามารถขึ้นได้แต่มีการเจริญเติบโตไม่ดี (NAS, 1977; Shelton and Brewbaker, 1994) สอดคล้องกับ Pound and Cairo (1983) รายงานว่ากระถินสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-8.5 สามารถปรับตัวได้ในดินเหนียว (clay) หน้าดินลึก ต้องการ

ฟอสฟอรัสและแคลเซียมสูงเพื่อการเจริญเติบโตที่ดี (Shelton and Brewbaker, 1994) ให้ผลผลิตต่ำในดินที่มีสภาพเป็นกรด (Enriquez-Quiroz *et al.*, 2005) และไม่ทนต่อน้ำท่วมขังหรือระบายน้ำไม่ดี โดยเฉพาะในช่วงที่กระถินยังอยู่ในระยะต้นกล้า หากกระถินตั้งตัวได้แล้วอาจทนต่อน้ำท่วมขังได้ระยะหนึ่งแต่จะให้ผลผลิตลดลง บริเวณที่มีน้ำท่วมขังเป็นระยะเวลานานไม่เหมาะที่จะปลูกกระถิน (สายัณห์, 2547; Pound and Cairo, 1983)

กระถินเป็นไม้โตเร็วที่เจริญเติบโตได้ดีในเกือบทุกภาคของประเทศไทย (เจษฎา, 2527) สามารถปลูกได้ในหลายๆ พื้นที่ยกเว้นในพื้นที่ดินเค็ม ดินลูกรัง ดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด และดินที่มีน้ำท่วมขัง (สายัณห์ และคณะ, 2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต

การปลูกกระถินในพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สามารถผลิตอาหารสัตว์และเป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้ตลอดเวลา เพราะกระถินมีความสามารถในการแตกกอสูง มีการฟื้นตัวภายหลังการตัดได้ดี และให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง (นิดา และคณะ, 2552) ซึ่งผลผลิตของกระถินขึ้นอยู่กับอิทธิพลของ พันธุ์ สภาพอากาศ และสภาพแวดล้อม ดังนี้

1. พันธุ์/สายพันธุ์

จากการศึกษาของ นิดา และคณะ (2552) พบว่า กระถินสายพันธุ์ KU3, KU15, KU38, KU39 และ KU45 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสูงกว่ากระถินพันธุ์คันทิ้งแสม กระถินบ้าน และพันธุ์อื่นๆ ที่นำมาทดลองทั้ง 54 สายพันธุ์ เช่นเดียวกับการศึกษาของกานต์วิ และคณะ (2553) พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ 5/7 และสายพันธุ์ 4/14 ซึ่งเป็นพันธุ์ใหม่ที่น่าสนใจมาปลูกทดลองในประเทศไทยมีศักยภาพในการเจริญเติบโต รวมถึงผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เดิมที่มีการแนะนำให้ปลูกในประเทศไทย (พันธุ์คันทิ้งแสม และเปรู) ขณะที่ Rengsirikul *et al.* (2011a) รายงานว่า การเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นรวมถึงผลผลิตของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU19 และ KU66 สูงกว่ากระถินพันธุ์คันทิ้งแสม และเปรู สอดคล้องกับการรายงานของ Castillo *et al.* (1998) ที่กล่าวว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าให้ผลผลิตดีกว่ากระถินพันธุ์คันทิ้งแสม และพันธุ์เปรูในทุกสภาพการทดลอง เช่นเดียวกับการรายงานของ Dalzell *et al.* (2006) กล่าวว่ากระถินพันธุ์ทาร์มบ้าให้ผลผลิตใบได้มากกว่าทั้งพันธุ์เปรู และคันทิ้งแสม เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว ลักษณะลำต้น

ตั้งตรง แดกกิ่งก้านน้อย นอกจากนั้น กระถินพันธุ์ชวลลวคอรี่ให้ผลผลิตในด้านอาหารสัตว์มากกว่า กระถินพันธุ์เปรูจากการตัดทุกๆ 2 เดือนภายในระยะเวลา 1 ปี (เจษฎา, 2527) โดยการทดลองส่วนใหญ่พบว่า กระถินที่นำเข้ามาใหม่ให้ผลผลิต รวมทั้งคุณค่าทางอาหารที่ดีกว่ากระถินพันธุ์พื้นเมือง (จิริรัตน์ และคณะ, 2519; ฉายแสง และคณะ, 2548)

2. ปริมาณน้ำฝน

กระถินเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในพื้นที่ที่มีฝนตก หรือมีการให้น้ำเพียงพอ (NAS, 1977) โดยกระถินให้ผลผลิตต่ำในช่วงฤดูแล้ง และผลผลิตสูงขึ้นเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝน 800-1,500 มิลลิเมตร (Brewbaker *et al.*, 1985) มะลิวัลย์ และคณะ (2553) รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตของกระถินในด้านขนาดลำต้นขึ้นอยู่กับอายุและฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนกระถินมีการเจริญเติบโตสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ ฉายแสง และคณะ (2548) พบว่า กระถินเจริญเติบโตได้ดีในช่วงกลางฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาว (กรกฎาคม-พฤศจิกายน) และในช่วงฤดูฝนให้ผลผลิตสูงกว่าฤดูแล้ง (Enriquez-Quiroz, 2005) สอดคล้องกับการรายงานของ Ella *et al.* (1989) ที่กล่าวว่า ผลผลิตมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำฝน ในขณะที่ประเทศไทยมีปริมาณฝนตั้งแต่ 900-1,200 มิลลิเมตรต่อปี ยกเว้นในภาคใต้ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าภาคอื่นๆ ซึ่งการกระจายของฝนอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของกระถินบ้างในช่วงแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ (สาขันธ์ และคณะ, 2550) และในการทดลองของ สาขันธ์ และคณะ (2556) พบว่า กระถินที่ได้รับน้ำชลประทานแนวโน้มนว่าการเจริญเติบโตในด้านความสูง ขนาดลำต้น และผลผลิตดีกว่ากระถินที่ได้รับเพียงน้ำตามธรรมชาติ

3. สภาพพื้นที่ปลูก

กระถินเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำดี ความสมดุลของธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ แคลเซียม โมลิบดินัม และสังกะสี เจริญได้ไม่ดีในดินที่มีสภาพเป็นกรด (NAS, 1977) มี pH ตั้งแต่ 5.5 ขึ้นไป (เจษฎา, 2527) การศึกษาของ มะลิวัลย์ และคณะ (2553) พบว่ากระถินที่ปลูกในดินร่วนปนเหนียว เป็นกรดปานกลาง (pH 5.1-5.5) มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำผลผลิตชีวมวลต่ำกว่าพืชโตเร็วชนิดอื่น (ยูคาลิปตัส กระถินเทพณรงค์ และกระถินเทพา)

4. ระยะปลูก

เจษฎา (2527) รายงานว่า กระจับปี่ใช้ระยะปลูกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ การปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ต้องการผลผลิตใบที่สูงและมีคุณภาพ ต้องปลูกโดยใช้ความหนาแน่นของต้นต่อพื้นที่สูง (Pound and Cairo, 1983) ขณะที่ เจษฎา (2527) รายงานว่า การปลูกกระจับปี่เพื่อผลิตไม้สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงไม่ควรปลูกในระยะใกล้กว่า 2x1 เมตร ใช้ความหนาแน่นมากกว่า 640 ต้นต่อไร่ (Pound and Cairo, 1983) และการปลูกกระจับปี่เพื่อผลิตเยื่อกระดาษใช้ระยะปลูกที่กว้าง เพื่อให้ได้ขนาดลำต้นที่ใหญ่ (Van den Beldt and Brewbaker, 1985) ในการศึกษาของ ทรงยศ และคณะ (2552) พบว่า กระจับปี่ที่ใช้ระยะปลูก 1x0.25 เมตร และ 1x0.5 เมตร ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสูงกว่าการใช้ระยะปลูกกว้างขึ้น ขณะที่ Kovitvadhi and Yantasath (1982) พบว่าการปลูกกระจับปี่ในระยะ 2x0.25 เมตร ให้ผลผลิตชีวภาพรวมสูงสุดคือ 3.15 ต้นต่อไร่ ส่วนระยะปลูก 2x2 เมตร ให้ผลผลิตต่ำสุด เมื่อตัดกระจับปี่ที่อายุ 1.5 ปี และปลูกกระจับปี่ (6,400 ต้นต่อไร่) ให้ผลผลิตส่วนใบ และไม่สูงการปลูกที่ใช้ความหนาแน่นน้อยกว่า รวมทั้งมีช่วงการตัดที่ยาวนานขึ้น 12 สัปดาห์ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน (Ella *et al.*, 1989)

5. ความสูงและช่วงเวลาในการตัด

กระจับปี่ที่ปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์การตัดใช้ประโยชน์ต้องพิจารณาเรื่องความสูงและความถี่ของการตัด (Pound and Cairo, 1983) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและปริมาณของอาหารสัตว์ การตัดกระจับปี่ในระดับความสูง 1 เมตรจากพื้นดิน ทุกๆ 2 เดือน ให้ผลผลิตดีกว่าการตัด 1, 3 และ 4 เดือนต่อครั้ง และสำหรับการตัดเพื่อทำเชื้อเพลิงการตัดทุก 3 เดือนต่อครั้งให้ผลผลิตดีที่สุด (เจษฎา, 2527) เช่นเดียวกับการทดลองของ Ella *et al.* (1989) พบว่า กระจับปี่ที่ตัดทุกๆ 12 สัปดาห์ให้ผลผลิตไม้สูงกว่าการตัดทุกๆ 8 สัปดาห์ และผลผลิตส่วนลำต้น และใบมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอายุการตัดครั้งแรก โดยผลผลิตที่ตัดเมื่อกระจับปี่มีอายุ 21 เดือนมากกว่ากระจับปี่ที่ตัดครั้งแรกเมื่อมีอายุน้อยกว่า (Ella *et al.*, 1991) ผลผลิตชีวมวลของกระจับปี่ขึ้นอยู่กับอายุ และฤดูกาล (Tewari *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม ปีพม่า และคณะ (2552) พบว่า การปลูกกระจับปี่สำหรับใช้เป็นพลังงานสามารถตัดในระดับชิดดิน (5 เซนติเมตร) โดยไม่มีผลต่อการอยู่รอดของกระจับปี่ ขณะที่ สายัณห์ และคณะ (2556) รายงานว่า การตัดกระจับปี่ชิดดินมีผลกระทบต่อผลผลิตทั้งในส่วนใบ ลำต้น และผลผลิตชีวมวลรวม และ Karim *et al.* (1991) พบว่า กระจับปี่ที่ตัดในระดับความสูง 75 และ 100 เซนติเมตรให้ผลผลิต

น้ำหนักแห้งมากกว่าการตัดในระดับที่ต่ำกว่า (25 และ 50 เซนติเมตร) โดยเฉพาะการตัดทุกๆ 3 เดือนเมื่อเทียบกับการตัดเดือนละครั้ง

การใช้ประโยชน์

1. พลังงานชีวมวล (Biomass energy)

จากวิกฤตพลังงานทั้งมูลค่าสูงและปริมาณลดลง เกิดกระแสการพึ่งพาพลังงานทดแทนจากสิ่งต่างๆ ทั้งการศึกษาวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นพลังงาน พัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปวัตถุดิบ รวมทั้งการหาเทคนิคต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยี (ชิงชัย และคณะ, 2550; ณัฐ และคณะ, 2551; El-Nashaar *et al.* 2009; Obernberger, 1998) ชีวมวลเป็นตัวเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (Kirkels and Verbong, 2011) Barz and delivand (2011) รายงานว่า ประเทศไทยมีทรัพยากรจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้แต่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีความไม่แน่นอนทั้งชนิด ปริมาณ และคุณภาพ ขึ้นอยู่กับฤดูกาล และการจัดการของเกษตรกร Moore *et al.* (2008) กล่าวว่า พืชที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนควรเป็นพืชที่ให้ผลผลิตสูงอย่างต่อเนื่อง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แหล่งพลังงานทดแทนสามารถนำไปใช้แปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ กันตามความเหมาะสมของวัตถุดิบ ประกอบด้วย (1) กระบวนการเผาไหม้โดยตรง (combustion) (2) กระบวนการเคมีความร้อน (thermo-chemical conversion) และ (3) กระบวนการชีวเคมี (biochemical conversion) (Moore *et al.*, 2008)

กระถินสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และเหมาะสมเพราะให้ผลผลิตสูงอย่างต่อเนื่องแม้จะตัดซ้ำๆ หลายครั้ง (สายัณห์ และคณะ, 2556) ในการศึกษาของ ทรงยศ และคณะ (2555); Tewari *et al.* (2004); Chotchutima *et al.* (2013) พบว่ากระถินสามารถให้ผลผลิตได้ดี แม้จะผ่านการตัดหลายๆ ครั้งอย่างต่อเนื่อง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งในส่วนของต้น และกิ่งก้านตั้งแต่อายุ 1 ปี (บัวเรศ และ มยุรี, 2526; Abe *et al.*, 2007) มีความสามารถในการแตกหน่อดี (Pottinger and Hughes, 1994; Dutt and Jamwell, 1987) แตกกอสูงจึงสามารถผลิตเชื้อเพลิงเพื่อใช้ได้ตลอดเวลา และฟื้นตัวได้เร็วภายหลังการตัด (นิดา และคณะ, 2552) อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลผลิตของกระถินในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารสัตว์มากกว่าการนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ในขณะที่กรมป่าไม้เน้นการใช้เป็นไม้ใช้สอย (สายัณห์ และคณะ, 2550) ซึ่งกระถินสามารถทำเป็นไม้ฟืนและถ่านได้ดี ในประเทศฟิลิปปินส์ปลูก

กระถินเพื่อใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โรงงาน และขบวนการต่างๆ ในด้านการเกษตร แทนการใช้น้ำมันมาเป็นระยะเวลานาน (NAS, 1980) โดยกระถิน 1 ไร่ ให้พลังงานได้เท่ากับน้ำมัน 636-763 ลิตรต่อปี (NAS, 1984)

1.1 เทคโนโลยีการแปรรูปเป็นพลังงาน

โดย McKendry (2002b) รายงานว่า เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานมีเทคโนโลยีหลักที่เกี่ยวข้อง 2 เทคโนโลยี ดังนี้ กระบวนการเคมีความร้อน (thermo-chemical conversion) และกระบวนการชีวเคมี (bio-chemical/biological conversion)

การเลือกกระบวนการแปรรูปเป็นพลังงานใดขึ้นอยู่กับชนิด คุณสมบัติของชีวมวลที่จะใช้ทั้งลักษณะทางกายภาพ (ขนาด ความหนาแน่น ความชื้น และค่าพลังงานความร้อน) และองค์ประกอบทางเคมี (Oberberger *et al.*, 2006) รวมถึงรูปแบบของพลังงานสุดท้ายที่ต้องการ (McKendry, 2002b) ซึ่งชีวมวลสามารถเปลี่ยนเป็นของเหลว ของแข็ง และก๊าซ (Demirbas, 2004)

1.1.1 กระบวนการเคมีความร้อน (thermo-chemical conversion)

El-Nashaar *et al.* (2009) รายงานว่า กระบวนการเคมีความร้อนเป็นการเปลี่ยนชีวมวลเปลี่ยนเป็นพลังงานชีวภาพ (biopower) และเชื้อเพลิงเหลว โดยกระบวนการนี้ต้องการชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูง และความชื้นต่ำ (Barz and Delivand, 2011) กระบวนการเคมีความร้อนแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ (McKendry, 2002b) ดังนี้

1. กระบวนการเผาไหม้โดยตรงหรือการสันดาป (combustion)

กระบวนการเผาไหม้หรือการสันดาป เป็นวิธีการที่เก่าแก่และง่ายที่สุดใน การแปรรูปชีวมวล (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) โดยเผาชีวมวลเพื่อผลิตพลังงาน ความร้อนออกมา ความร้อนที่ได้นำไปต้มน้ำในหม้อไอน้ำ (boilers) ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยไปหมุนกังหันไอน้ำ (steam turbines) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (turbo-generators) หรือแปลงเป็นพลังงานอื่นๆ กระบวนการนี้เหมาะกับชีวมวลที่มีความชื้นน้อยกว่า 50

เปอร์เซ็นต์ (McKendry, 2002b; Barz and Delivand, 2011) คุณภาพและผลผลิตก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนคาร์บอนในชีวมวล (Jenkins *et al.*, 1998; Thompson *et al.*, 2003)

2. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification)

แก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นก๊าซ โดยใช้หลักการเผาไหม้ในเตาปฏิกรณ์ (gasifier) ที่ควบคุมอากาศให้อยู่ในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ที่อุณหภูมิสูงโดยปกติจะอยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส จะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และอาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ปนออกมามีด้วย (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549; วีรชัย และคณะ, 2550; ไกรพัฒน์, 2551; McKendry, 2002b; Demirbas, 2004) โดยก๊าซสังเคราะห์ที่ได้ (syngas) สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรง เช่น การอบข้าวเปลือก หรือนำไปผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ดีเซล แต่ต้องนำก๊าซที่ได้มาผ่านชุดกรองเพื่อกำจัดน้ำมันดิน (tar) ออกก่อน จากนั้นให้ก๊าซชีวมวลผ่านท่อ ใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine) ซึ่งลดการใช้ น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าได้ 75 เปอร์เซ็นต์ หรือหากไม่ใช้น้ำมันดีเซลเลยก็ได้ แต่กำลังการผลิตจะลดลงมาก (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549) และก๊าซสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทานอล และไฮโดรเจนซึ่งอาจใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง (McKendry, 2002b)

ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องมีขนาดที่เหมาะสม สม่่าเสมอ และความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ เช่น แกลบ เศษไม้ที่ย่อยแล้ว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด เป็นต้น ชีวมวลที่ไม่ควรนำมาเป็นเชื้อเพลิง คือ ชีวมวลที่มีขนาดเล็ก (ขี้เลื่อย) เพราะอากาศไหลผ่านไม่ได้ หรือใหญ่เกินไป เช่น ปีกไม้ที่ยังไม่ได้ย่อยเพราะการเผาไหม้ไม่ทั่วถึง (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549)

3. กระบวนการไพโรลิซิส (pyrolysis)

กระบวนการไพโรลิซิสเป็นวิธีกลั่นสลายชีวมวลด้วยความร้อน (อุณหภูมิ 200-600 องศาเซลเซียส) ในเตาเผาที่มีสภาพไร้อากาศ ได้ผลผลิตเป็นของเหลว (น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) หรือ bio-crude) ของแข็ง (ถ่าน น้ำมันดิน) และก๊าซ (คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์

มีเทน และไฮโดรเจน) น้ำมันชีวภาพสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์และเครื่องกังหันและยังได้รับการพิจารณาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงกลั่นน้ำมัน และเหมาะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง แต่ปัญหาของกระบวนการนี้คือ ความร้อนไม่เสถียร และการก่อก้อนอุปกรณ์ ชีวมวลที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ พืชที่มีเซลลูโลส หรือไม้ยืนต้นต่างๆ (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553; McKendry, 2002b; Demirbas, 2004)

4. กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลว (liquefaction)

เป็นกระบวนการแปลงชีวมวลให้เป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวที่เสถียร (stable liquid hydrocarbon) โดยใช้อุณหภูมิและความดันไฮโดรเจนสูง ชีวมวลในกระบวนการนี้ นำก๊าซที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาแปรรูปเป็นเมทานอลและเอทานอล กระบวนการนี้ได้รับความสนใจในระดับต่ำ เพราะเครื่องปฏิกรณ์ และระบบ fuel-feeding มีความซับซ้อนและมีราคาแพงกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (McKendry, 2002b; Demirbas, 2004)

1.1.2 กระบวนการชีวเคมี (bio-chemical conversion หรือ biological)

McKendry (2002b) รายงานว่า กระบวนการชีวเคมี สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

1. กระบวนการหมัก (fermentation)

กระบวนการหมัก เป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่ไม่ใช้ออกซิเจน ย่อยสลายน้ำตาลด้วยจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ ได้เป็นแอลกอฮอล์ (เอทานอล) ซึ่งสามารถใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยทั่วไปพืชที่ใช้ในกระบวนการหมักจะต้องมีองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรต หรือมีปริมาณน้ำตาลที่มากพอ (ไกรพัฒน์, 2551; ชัยนันท์ และ เฉลิม, 2555) โดยปกติกระบวนการนี้ใช้ในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่เพื่อผลิตเอทานอลจากพืชพวกน้ำตาล และแป้ง เช่น อ้อย ชูโกบีท (sugar beet) ข้าวโพด ข้าวสาลี โดยแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์ และยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล (McKendry, 2002b) ส่วนที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้เป็นอาหารโค หรือเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำหรือแก๊สซิฟิเคชัน (Coombs, 1996)

ชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ฟางข้าว หญ้า กากอ้อย ชังข้าวโพด เศษไม้ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เศษขยะ และพืชพลังงานสามารถนำมาหมักเพื่อผลิตเอทานอลได้ ซึ่งวัตถุดิบประเภทนี้มีองค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และลิกนิน (lignin) แต่ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ซึ่งทนต่อการย่อยสลาย ในการผลิตเอทานอลจึงต้องมีขั้นตอนการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์ (hydrolysis) เพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549; ชัยนันท์ และ เถลิง, 2555; McKendry, 2002b)

2. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digestion: AD)

เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในชีวมวลให้เป็นก๊าซชีวภาพ (biogas) เกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศ ใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายเชื้อเพลิงที่ได้เป็น ก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ไกรพัฒน์, 2551; Demirbas, 2004) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สำหรับขยะอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง 80-90 เปอร์เซ็นต์ (McKendry, 2002b) เป็นการบำบัดของเสีย เช่น มูลสัตว์และขยะต่างๆ ช่วยรักษาสีเขียวและสิ่งแวดล้อมได้เป็นก๊าซชีวภาพ ชีวมวลที่ถูกป้อนเข้าถังย่อย (digester) จะมีลักษณะเป็นของเหลวข้น (slurry) โดยปกติแบคทีเรียย่อยสลายขยะและมูลสัตว์จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในสภาวะอากาศหนาว ระบบต้องรักษาอุณหภูมิเพื่อให้แบคทีเรียทำงานได้ (ไกรพัฒน์, 2551)

ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำมาใช้โดยตรงสำหรับจุดประกายในเครื่องยนต์ ก๊าซหรือกักเก็บก๊าซ โดยการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ออก ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้า (McKendry, 2002b) และมีเทนสามารถแปรรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงในการขนส่ง (Prochnow *et al.*, 2009a)

3. Mechanical extraction /chemical conversion

กระบวนการสกัดเป็นการสกัดน้ำมันจากเมล็ดของชีวมวลต่างๆ เช่น ฝ้าย oilseed rape หรือถั่วลิสง โดยใช้ตัวทำละลาย กระบวนการผลิตจะเกิดน้ำมัน และส่วนที่เหลือจากการ

การสกัดสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ (McKendry, 2002b) เช่น กากปาล์มที่เหลือจากการสกัดน้ำมันสามารถนำไปใช้เป็นอาหารโคได้ (จินดา, 2548; วันวิสาข์ และคณะ, 2552; อนันตเดช และคณะ, 2555) น้ำมันเรพซีด (rapeseed) สามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ได้ rapeseed methyl ester (RME) หรือไบโอดีเซล เหมาะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขนส่ง (McKendry, 2002b)

1.2 คุณสมบัติของชีวมวลในการผลิตพลังงาน

ณัฐ และคณะ (2551) รายงานว่า การนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของชีวมวลนั้นๆ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิต และคุณภาพของพลังงานที่ได้ (McKendry, 2002a; Pauly and Keegstra, 2008; Prochonnow *et al.* 2009b) โดยค่าพลังงานความร้อน ปริมาณเถ้า และองค์ประกอบทางเคมีของธาตุในเนื้อไม้มีอิทธิพลต่อกระบวนการเคมีความร้อน ขณะที่องค์ประกอบผนังเซลล์ (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) มีความสำคัญต่อกระบวนการชีวเคมี (Lewandowski and Kicherer, 1997; McKendry, 2002b; Adler *et al.*, 2006; Kucourkova *et al.*, 2006)

1.2.1 ความชื้น (moisture content)

กระบวนการชีวเคมีทั้งการหมัก และกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งสามารถผลิตเอทานอล ต้องใช้พืชที่มีความชื้นสูง เช่น อ้อย ขณะที่กระบวนการเคมีความร้อนต้องการชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ (น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากความชื้นมีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รวมถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ (McKendry, 2002a, 2002b) ชีวมวลที่มีความชื้นสูงค่าความร้อนลดลง (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549)

1.2.2 ค่าความร้อน (calorific value/heating value/energy content)

ค่าความร้อนเป็นความร้อนที่ปล่อยออกมาจากชีวมวลเมื่อเผาไหม้ในอากาศ (McKendry, 2002a) แสดงถึงประสิทธิภาพของชีวมวลในกระบวนการเคมีความร้อน (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) โดยค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับความชื้น ปริมาณเถ้า คาร์บอน และออกซิเจน โดยค่าความร้อนลดลงเมื่อความชื้นและปริมาณ

ออกซิเจนในเนื้อไม้เพิ่มขึ้น (Lewandowski and Kicherer, 1997; Jenkins *et al.*, 1998) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเถ้า การเพิ่มขึ้นของเถ้าทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลง 0.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Jenkins *et al.*, 1996)

ค่าความร้อนของลิกนินเท่ากับ 24,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัม สูงกว่าค่าความร้อนของเซลลูโลส (15,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัม) เป็นเพราะในลิกนินมีออกซิเจนต่ำ (30 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ชีวมวลที่มีลิกนินมากเป็นผลดีต่อค่าพลังงานความร้อน (Lewandowski and Kicherer, 1997)

1.2.3 ความหนาแน่นเนื้อไม้ (bulk density)

ลักษณะที่สำคัญของวัสดุชีวมวลคือค่าความหนาแน่น เพราะเกี่ยวข้องกับการขนส่งและการเก็บรักษาชีวมวล (McKendry, 2002a) นอกจากนั้น ความหนาแน่นของเนื้อไม้เกี่ยวข้องกับลักษณะคุณภาพไม้ด้านอื่นๆ เช่น การอัดตัวของไม้ ความต้านทานต่อแรงอัด ความต้านทานต่อแรงดึง และค่าพลังงานความร้อน จึงเป็นอีกวิธีสำหรับประเมินคุณภาพของไม้ (Pottinger *et al.*, 1998) Boateng *et al.* (2006) กล่าวว่า ความหนาแน่นมีผลกระทบต่อกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งการอัดแท่งหรืออัดเม็ด เป็นการปรับปรุงคุณภาพของชีวมวล (Prochomnow *et al.*, 2009b) โดยไม้ที่อัดเม็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าไม้ที่สับเป็นชิ้นๆ นอกจากนั้น ส่งผลให้พลังงานความร้อนสูงขึ้นด้วย (McKendry, 2002a; Obernberger, 1998)

นอกจากนั้น ความหนาแน่นเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ส่วนของพืช (ลำต้นจะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าในส่วนกิ่งก้าน) แหล่งที่ปลูก ภูมิอากาศ ฤดูที่ปลูก (ไม้ที่เกิดในฤดูฝนจะมีความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำ) และสภาพการปลูก (Chave, 2005; Ketterings *et al.*, 2001)

1.2.4 องค์ประกอบทางเคมี

1. ธาตุ

ในกระบวนการเคมียความร้อน แร่ธาตุในชีวมวลจะเปลี่ยนเป็นก๊าซต่างๆ และสามารถถักดร้อนอุปกรณ์ หรือหลอมเหลวเป็นผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้น ก๊าซบางชนิดจะ

ปลดปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ เช่น ไนโตรสออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ส่งผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ แร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซเหล่านี้ด้วยเช่นกัน (Lewandowski and Kicherer, 1997; Kucourkova *et al.*, 2006)

ธาตุหลักในชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ คลอไรด์ ไนโตรเจน อลูมิเนียม แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส ซิลิกา และไทเทเนียม และแร่ธาตุรอง คือ อะซีนิก (As) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu)ปรอท (Hg) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) ไทเทเนียม (Ti) วาเนเดียม (V) และสังกะสี (Zn) แร่ธาตุเหล่านี้มีผลต่อการหลอมเหลวของถ่าน การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การฟุ้งกระจายของละอองถ่าน และกัฏกร่อนอุปกรณ์ (McKendry, 2002a; Obernberger *et al.*, 2006)

คาร์บอน และไฮโดรเจนเมื่อเผาไหม้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยคาร์บอน และไฮโดรเจนในชีวมวลมีผลดีต่อค่าพลังงานความร้อน ตรงกันข้ามกับออกซิเจน (Obernberger *et al.*, 2006) และองค์ประกอบของคาร์บอนในชีวมวลส่งผลกระทบต่อการแปลงเป็นพลังงาน และผลผลิตของเอทานอลจากชีวมวล (Weimer *et al.*, 2005; Dien *et al.*, 2006) ขณะที่ไนโตรเจน และซัลเฟอร์จะเปลี่ยนเป็นไนโตรสออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปลดปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้น และซัลเฟอร์สามารถเปลี่ยนรูปสะสมและกัฏกร่อนอุปกรณ์ ซึ่งชีวมวลที่มีไนโตรเจนสูงส่งผลให้เกิดไนโตรสออกไซด์สูงด้วย ในชีวมวลไม่ควรมีไนโตรเจนเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ควรมีไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์ และในเนื้อไม้มีไนโตรเจนต่ำกว่าส่วนเปลือกไม้ ฟางข้าว และเมล็ดธัญพืช ชีวมวลจากพืชมีซัลเฟอร์ต่ำประมาณ 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ (Lewandowski and Kicherer, 1997; Jenkins *et al.*, 1998; Obernberger *et al.*, 2006)

ระหว่างการเผาไหม้คลอไรด์เปลี่ยนรูปเป็นกรดไฮโดรคลอริก โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลกระทบหลักของคลอไรด์คือกัฏกร่อนอุปกรณ์ และปลดปล่อยสู่บรรยากาศ (Jenkins *et al.*, 1998; Obernberger *et al.*, 2006) แต่ในสถานะไม่เหมาะสมคลอไรด์จะเปลี่ยนเป็นไดออกซิน ดังนั้น คลอไรด์ไม่ควรมีเกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ (Lewandowski and Kicherer, 1997) ส่วนโพแทสเซียมจะถูกปล่อยออกมาในรูปแบบของก๊าซโพแทสเซียม ระหว่างการเผาไหม้ สามารถเปลี่ยนรูปสะสมและกัฏกร่อนกัฏกร่อนอุปกรณ์ ในชีวมวล

ควรมีโพแทสเซียมไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แคลเซียมที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม โพแทสเซียมและแคลเซียมในเถ้าสามารถนำกลับมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้ (Lewandowski and Kicherer, 1997; Jenkins *et al.*, 1998; Obernberger *et al.*, 2006) โซเดียมมีบทบาทสำคัญต่อการกร่อนของเครื่องจักรในระบบแก๊สซิฟิเคชัน เช่นเดียวกับโพแทสเซียม (Obernberger *et al.*, 2006)

นอกจากนั้นอะลูมินัม คลอไรด์ ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับซิลิกาและซัลเฟอร์ที่มีในเถ้าทำให้เกิดผลึกแข็งติดแน่นในระบบแก๊สซิฟิเคชัน หรือเปลี่ยนรูปเป็น sticky glass-like silicates และออกไซด์หรือตะกอนมีฤทธิ์กัดกร่อน (Jenkins *et al.*, 1998; McKendry, 2002a; Thompson *et al.*, 2003) และ alkali metal content ในชีวมวล เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียมเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการเคมีความร้อน ปฏิกิริยาของโลหะอัลคาไลด์กับซิลิกาในเถ้าผลิตเหนียว mobile liquid phase ซึ่งสามารถไปอุดตันท่ออากาศในเตา (furnace) และหม้อต้มน้ำ (boiler) (McKendry, 2002a)

การลดปริมาณธาตุเป็นการปรับปรุงคุณภาพของชีวมวลในการเผาไหม้ (Nordin, 1994) การปรับปรุงพันธุกรรมของหญ้าสวิตช์กราส (switchgrass: *Panicum virgatum*) ช่วยลดการเกิดตะกอนและการกัดกร่อน (El-Nashaar *et al.*, 2009) ขณะที่การยืดอายุการเก็บเกี่ยวลดปริมาณเถ้าและความชื้น ช่วยเพิ่มค่าความร้อนของชีวมวลสำหรับเทคโนโลยีเคมีความร้อน แร่ธาตุที่ลดลง ลดการเกิดเถ้าที่หลอมเหลวซึ่งเป็นปัญหาเกิดผลึก และอุดตันอุปกรณ์ในการเผาไหม้ (Adler *et al.*, 2006)

2. เถ้า / ส่วนที่เหลือจากกระบวนการแปรรูป

แร่ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบสำคัญภายในเถ้า ได้แก่ อะลูมิเนียม แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส ซิลิกอน และไทเทเนียม (Obernberger *et al.*, 2006) ปริมาณเถ้ามีความสำคัญในกระบวนการเคมีความร้อนทั้งคุณภาพและปริมาณพลังงาน ปริมาณเถ้ามากลดค่าพลังงานความร้อนเช่นเดียวกับความชื้น ทำให้สูญเสียความร้อน ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ เนื่องการหลอมเหลวของเถ้าทำให้เกิดผลึก ก่อตัวสะสมกับอุปกรณ์ และอุดตันในเตาเผาไหม้ หรือหม้อต้มน้ำ ลดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และเพิ่มต้นทุนความเข้มข้นของแร่ธาตุขึ้นอยู่กับชนิด และส่วนของพืช (Kucourkova *et al.*, 2006; Lewandowski

and Kicherer, 1997) Lewandovski and Kicherer (1997) กล่าวว่า ในชีวมวลควรมีปริมาณโลหะหนักน้อยที่สุด เพราะสารเหล่านี้จะสามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศได้

การเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานจะเกิดของแข็งที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปใน กระบวนการเคมีความร้อนจะเหลือเถ้า ซึ่งปริมาณเถ้ามีผลต่อการจัดการ และต้นทุนของกระบวนการผลิต การแปรรูปชีวมวลชนิดเดียวกันในกระบวนการชีวเคมีจะเหลือของแข็งมากกว่าเถ้าในกระบวนการเคมีความร้อน ของแข็งที่เหลืออยู่ในกระบวนการชีวเคมี แสดงให้เห็นถึงปริมาณคาร์บอนที่ไม่ย่อยสลายในชีวมวล อย่างไรก็ตาม ของแข็งที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปเผาในกระบวนการเคมีความร้อนได้ (McKendry, 2002a)

3. สัตว์ส่วนเซลลูโลส และลิกนิน

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของพืช ประกอบด้วยน้ำตาล (กลูโคส) ที่สามารถเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้โดยกระบวนการหมัก (Hendriks and Zeeman, 2009) ส่วนลิกนินเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้พืชแข็งแรง และพบมากเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น (Buranov and Mazza, 2008) และเฮมิเซลลูโลส เป็นแหล่งของน้ำตาลเพนโตสที่สำคัญในการนำไปใช้ผลิตเป็นแอลกอฮอล์ เช่นเดียวกับน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากเซลลูโลส พืชที่จะนำไปใช้ในกระบวนการชีวเคมีควรมีลิกนินในปริมาณต่ำ และปริมาณเซลลูโลสสูง โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็น cellulosic biomass (Moore *et al.*, 2008; Mosier *et al.*, 2005)

สัตว์ส่วนของเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวลจึงมีความสำคัญในกระบวนการชีวเคมี เนื่องจากการย่อยสลายของเซลลูโลสดีกว่าลิกนิน ชีวมวลที่มีเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูงให้ผลผลิตเอทานอลสูง (Oberberger *et al.*, 2006; Buranov and Mazz, 2008) นอกจากนั้น Gani and Naruse (2007) รายงานว่า เซลลูโลสและลิกนินในชีวมวลเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการไพโรลิซิส โดยชีวมวลที่มีเซลลูโลสในปริมาณสูงกระบวนการไพโรลิซิสจะเกิดในอัตราเร็ว ขณะที่ชีวมวลที่มีลิกนินสูงจะมีอัตราในกระบวนการดังกล่าวช้า สอดคล้องกับการรายงานของ Dangzhen *et al.* (2010) พบว่า ในกระบวนการไพโรลิซิสผลผลิตของก๊าซ น้ำมันดิน และอัตราเร็วของกระบวนการเพิ่มตามปริมาณเซลลูโลสตรงข้ามกับปริมาณถ่านที่ลดลง กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสัมพันธ์กับปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน โดยปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการและปริมาณแก๊สที่เกิดเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ Lewandowski and Kicherer (1997) พบว่า

ลิกนินมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเซลลูโลส เนื่องจากในลิกนินมีปริมาณคาร์บอนสูง แต่ออกซิเจนมีปริมาณน้อยกว่าในเซลลูโลส

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น กระจินเป็นชีวมวลที่สามารถแปรรูปเพื่อผลิตเป็นพลังงานได้ทั้งกระบวนการเคมีความร้อนและกระบวนการชีวเคมี เนื่องจากเนื้อไม้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งองค์ประกอบทางเคมี ความหนาแน่น และค่าพลังงานความร้อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยมีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 49.2-53.8 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 40.0-44.0 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ระหว่าง 0.02-0.03 (Rengsirikul *et al.*, 2011a) และกระจินอายุ 1.5 ปี เนื้อไม้มีค่าพลังงานความร้อน 4.77 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Kovitvadh and Yantasath, 1982) เมื่อเทียบกับไม้พลังงานชนิดอื่นๆ พบว่า กระจินยังยมีค่าพลังงานความร้อนไม่แตกต่างจากกระจินเทพา กระจินณรงค์ และยูคาลิปตัส (4.6-4.8 กิโลแคลอรีต่อกรัม) (มะลิวัลย์ และคณะ, 2553) ไม้กระจินเมื่อเผาไหม้มีควันและปริมาณเถ้าเล็กน้อย (Pound and Cairo, 1983) ซึ่งค่าพลังงานความร้อนของกระจินมีค่าเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน ฟืนจากไม้กระจิน 2.75 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับการใช้ก๊าซเหลวเป็นเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม (เจษฎา, 2527) วีระชัย และคณะ (2550) กล่าวว่า การผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) ใช้ไม้ 1.5 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

กระจินสามารถแปรรูปเป็นพลังงานสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า 2 รูปแบบ คือกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและกระบวนการเผาไหม้โดยตรง (ณัฐ และคณะ, 2551) โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชุมชน เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีความปลอดภัย (วีระชัย และคณะ, 2550) วีระชัย และคณะ (2550) รายงานว่า ไม้กระจิน และเกลบอัดแท่ง สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบระบบ Biomass Gasification ขนาด 100 กิโลวัตต์ได้ดี โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 78 กิโลวัตต์ โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.4-1.8 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งไม้กระจินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าในระบบดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อไม้โตเร็วชนิดอื่น (สายัณห์ และคณะ, 2550) ส่วนกระบวนการเผาไหม้โดยตรงเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยเผาชีวมวลให้เกิดความร้อนถ่ายเทให้กับน้ำในหม้อไอน้ำ ผลิตไอน้ำความดันสูง ผ่านเข้าสู่กังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (ณัฐ และคณะ, 2551)

นอกจากนั้น วนิดา และคณะ (2553) รายงานว่า ชีวมวลประเภทเศษไม้และไม้โตเร็วที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเป็นอีกทางเลือกที่สามารถใช้ผลิตเอทานอลได้ ดังนั้น กระถินเป็นไม้โตเร็วอีกชนิดที่น่าจะมีศักยภาพในการเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยอาศัยกระบวนการทางเคมี และกระบวนการชีวเคมี โดยอาศัยเอนไซม์ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรตในผนังเซลล์ของพืช (Rengsirikul *et al.*, 2011a) อย่างไรก็ตาม ชีวมวลมีองค์ประกอบที่เป็นลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่มีโครงสร้างซับซ้อน ทำให้ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ จึงต้องแยกโครงสร้างลิกนินออกจากเซลลูโลส เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของเซลลูโลส (Mosier *et al.*, 2005)

2. อาหารสัตว์ (Forage)

กระถินเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ประเภทวัว ควาย และแพะ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง มีความน่ากินและค่าการย่อยได้สูง ใบและกิ่งก้านสามารถใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้ทั้งในสดกินสด ปล่อยสัตว์เข้าแทะเล็มกิน ผสมกับหญ้าทำฟีดหมักหรือในรูปกระถินแห้งใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารข้น (NAS, 1980; Shelton and Brewbaker, 1994) จึงเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญในเขตร้อน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เลี้ยงเป็ด ไก่ได้อีกด้วย (เจษฎา, 2527) ผลผลิตน้ำหนักรวมแห้งส่วนที่กินได้ (ใบและลำต้นเล็ก) ประมาณ 1.92-3.20 ตันต่อไร่ นอกจากนี้ ใบกระถินเป็นแหล่งแคโรทีน (carotene) และวิตามินสูง (NAS, 1977) กระถินจึงเป็นอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารเทียบเท่าถั่วอัลฟัลฟา ซึ่งเป็นอาหารสัตว์ชั้นเยี่ยมในเขตนาน (สายพันธ์ และคณะ, 2550) ฉายแสง และคณะ (2548) พบว่า ใบกระถินมีค่าโปรตีนอยู่ระหว่าง 18.43-27.88 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเชื้อใยส่วน ADF (acid detergent fiber) มีค่าระหว่าง 23.04-35.42 เปอร์เซ็นต์ มี NDF (neutral detergent fiber) ระหว่าง 34.13-44.00 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 3.54-12.01 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้ที่ 48 ชั่วโมงมีค่าระหว่าง 43.70-80.11 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดลอง Rengsirikul *et al.* (2011a) พบว่า ใบกระถิน โปรตีนระหว่าง 24.2-25.7 เปอร์เซ็นต์และเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ โคเพศผู้ที่กินใบกระถินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน (Mullen *et al.*, 2005) และในรายงานของ Piggins and Kuilk (2005) พบว่า โคที่กินใบกระถินน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1.3-1.7 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ใบกระถินมีโปรตีนเพียงพอสำหรับความต้องการขั้นต่ำของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งต้องการ 8-12 เปอร์เซ็นต์ (Norton *et al.*, 1994)

โดยใบกระถินสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบสด แห้งหมัก หรือใช้ผสมในสูตรอาหาร (จิต และคณะ, 2547) แต่มีข้อจำกัดในการใช้คือ สารมิโมซิน (mimosin) ในกระถินส่งผลต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องทำให้ขนร่วง ชะงักการเจริญเติบโต เกิดโรคคอกอหย

พอก ต่อมไทรอยด์บวม ระบบสืบพันธุ์ผิดปกติ (อุดม, 2526; เกษฎา, 2527) ดังนั้น ในระยะแรกควรเริ่มให้สัตว์กินทีละน้อย (กอบแก้ว, 2535) ซึ่งการใช้กระถินเลี้ยงโคมีปัญหาน้อยกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว ทั้งนี้เพราะสารมิโมซินจะถูกลดความเป็นพิษโดยจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ทำให้สามารถนำมาให้โคกินสด ๆ หรือใช้ผสมอาหารข้นในปริมาณสูงได้ (เรณู และคณะ, 2545)

3. ปรับปรุงดิน (Soil Improvement)

สมาน (2526) พบว่าการปลูกกระถินช่วยปรับปรุงสภาพของดินให้ดีขึ้น ทั้งค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุอาหารชนิดต่างๆ เพราะปริมาณธาตุอาหารที่สูงในเศษใบไม้ที่ร่วงตามผิวดิน ซึ่งการศึกษาของกานต์วี (2554) พบว่า ใบกระถินที่ร่วงมีไนโตรเจนระหว่าง 1.31-1.65 เปอร์เซ็นต์ และระบบรากของกระถินที่ส่งเสริมให้มีการชะล้างธาตุอาหารลงมาถึงผิวดิน กระถินสามารถตรึงไนโตรเจนโดยอาศัยเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียมที่อยู่ในบริเวณปมราก (สายพันธ์ และคณะ, 2550) กระถินที่เจริญเติบโตเต็มที่สามารตรึงไนโตรเจนได้เท่ากับปืดยูเรีย 2 กระสอบต่อไร่ต่อปี (Whiteman, 1980) การปลูกกระถินยังสามารถช่วยปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ จากใบกระถินซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงร่วงหล่นเป็นปุ๋ยพืชสด รากที่แทงทะลุดินชั้นล่างทำให้อากาศและน้ำสามารถผ่านลงไปได้ ไรโซเบียมในรากสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่า 80 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ซึ่งเท่ากับแอมโมเนียมซัลเฟต 400 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี การปลูกกระถินเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ลดการพังทลายของดิน อากาศในเขตร้อนและความชื้นในดินทำให้ใบกระถินย่อยสลายได้เร็ว ใบที่ร่วงหล่นสลายกลายเป็นฮิวมัสในดินภายใน 2 สัปดาห์ (NAS, 1980) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยใช้ปุ๋ยพืชสด ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ลดความหนาแน่นของดิน (Masri and Ryan, 2005) นอกจากใบกระถินสามารถปรับปรุงดินให้ดีขึ้นแล้วใบกระถินสามารถใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชปลูกอื่นๆ ด้วยเช่นกัน ในการศึกษาของ จรูญโรจน์ และ เฉลิมพล (2548) พบว่า การปลูกกระถินระหว่างแถวหญ้าที่ ผลผลิตหญ้าเพิ่มขึ้น และผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกร่วมกับกระถินเพิ่มขึ้น (Heineman *et al.*, 1997) และการศึกษาการใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยแก่พืชปลูกของ เฉลิมพล (2524) ซึ่งใช้ใบกระถินเป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนให้ข้าวและข้าวโพด พบว่า ผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณไนโตรเจนที่เท่ากัน ใบกระถินเพิ่มผลผลิตข้าวนาดำ (ชยงค์, 2532)

นอกจากการใช้ประโยชน์ในด้านเป็นอาหารสัตว์และเป็นพืชพลังงานแล้ว กระถินยังสามารถใช้ประโยชน์ได้อีกหลายๆ อย่าง ทุกส่วนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ฟักและเมล็ดอ่อนเป็นอาหารที่สำคัญ เมล็ดทำเครื่องประดับ ฟัก ใบและเปลือกทำสีย้อมผ้า ไม้ประโยชน์เป็นไม้แปรรูป

รูป ไม้กระดาน ปาเก้ ไม้ซุง ใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างได้ ผลิตภัณฑ์กระดาษ และการปลูกกระถินในสวนเป็นร่มเงาแก่พืชอื่นๆ เช่น กาแฟ โกโก้ ชา มังคุด พริกไทย วนิลา ปุ๋ย แอลกอฮอล์ แก๊ส ปลุกป้องกันดินพังทลาย กำบังลม ใช้ทำรั้ว แนวกันลม-กันไฟ เครื่องประดับ เพาะเห็ด เศษไม้ เปลือกไม้ใช้เป็นกำลังผลิตเครื่องจักร ोन้าและไฟฟ้า (เจษฎา, 2527; NAS, 1977)

โรค แมลง และศัตรูพืช

กระถินเป็นพืชที่ทนต่อแมลงและโรค แมลงที่พบโดยทั่วไปคือ ค้างคาวเมล็ด (Seed weevil) ซึ่งเข้าทำลายฝักอ่อนและกินเมล็ดที่กำลังเจริญเติบโต (NAS, 1977) นอกจากนี้ต้องระวังความเสียหายจากสัตว์เลื้อยและสัตว์ป่าโดยเฉพาะในช่วงที่เป็นต้นกล้า (Pound and Cairo, 1983) เจษฎา (2527) หนูเป็นศัตรูสำคัญที่จะกัดต้นกล้ากระถินด้วยเช่นกัน พื้นที่ปลูกกระถินควร ไล่เตียนและกำจัดวัชพืชอยู่เสมอ

แมลงศัตรูพืชที่สำคัญในการปลูกกระถิน คือ เพลี้ยไถ่ฟ้ากระถิน กระถิน (*Heteropsylla cubana* Crawford: Psyllidae) ซึ่งสามารถเข้าทำลายกระถินได้ทั้งในระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัย โดยการดูดน้ำเลี้ยงจากยอดอ่อน ใบอ่อนและฝัก ทำให้ยอดและใบเหี่ยวเฉา นอกจากนั้นยังปล่อยสารเหนียว (honeydew) ตามยอดทำให้เกิดราดำ ส่งผลให้กระถินชะงักการเจริญเติบโต (สำนักส่งเสริมการปลูกป่า, 2550) Darma *et al.* (1992) รายงานว่า เพลี้ยไถ่ฟ้ากระถินจะเข้าทำลายบริเวณใบ และยอดอ่อนของกระถินมากกว่าใบแก่ การแพร่ระบาดของเพลี้ยไถ่ฟ้ารุนแรงมากในช่วงปลายฤดูฝน (ตุลาคม-พฤศจิกายน) และปลายฤดูแล้ง (เมษายน-พฤษภาคม) โดยเกิดขึ้นในสภาพภูมิประเทศที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 100-500 เมตร และมีอุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส (Napompeth, 1989) สอดคล้องกับการทดลองของ นายแสง และคณะ (2548) พบว่า พบการระบาดของเพลี้ยไถ่ฟ้ากระถินระบาดรุนแรงระหว่างเดือนธันวาคมถึงมกราคม ทำให้ส่วนยอดและใบอ่อนของกระถินถูกทำลาย และระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกุมภาพันธ์การระบาดค่อนข้างต่ำทำให้ใบอ่อนหงิกงอ สีใบค่อนข้างเหลือง และต้นกระถินสามารถฟื้นตัวเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้อีกครั้งหลังจากเริ่มมีฝนตก และในช่วงที่มีฝนตกชุก ปริมาณฝนตกกระจายตลอดไม่พบการระบาดของเพลี้ยไถ่ฟ้า ขณะที่ ศศิธร และคณะ (2546) พบการระบาดของเพลี้ยไถ่ฟ้าในช่วงต้นเดือนกันยายนถึงตุลาคม แต่อยู่ในระดับไม่รุนแรง เมื่อมีฝนตกการระบาดของเพลี้ยไถ่ฟ้าจะหายไปเพลี้ยไถ่ฟ้าจะทำลายต้นกระถินด้วยการดูดน้ำเลี้ยงจากส่วนยอด ลำต้นและใบกระถิน แล้วปล่อยของเหลวที่เหนียวไว้บนใบกระถินทำให้ใบอ่อนติดกันและบางครั้งทำให้เกิดเชื้อราที่ส่วนของยอดอ่อน ต้นกระถินจะชะงักการ

เจริญเติบโต และอาจไม่มีใบใหม่เกิดขึ้นในช่วงประมาณ 30 เซนติเมตรจากจุดเจริญของต้นกระถิน (Bray, 1994)

พันธุ์/สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบ

กระถินที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48, KU56 และพันธุ์ทาร์มบ้า ซึ่งผ่านการทดสอบที่สถานีวิจัยสุวรรณวาทกสิกิจ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ว่ามีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง และมีคุณสมบัติทางเคมีเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพลังงานในเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานไม้ (gasifier) ได้เป็นอย่างดี (นิดา และคณะ, 2552; อัยฎากรณ์ และคณะ, 2552; กานต์รวี และคณะ, 2553; สายัณห์ และคณะ, 2556; Rengsirikul *et al.*, 2011a) สายัณห์ และคณะ (2552) รายงานว่า กระถินสายพันธุ์ KU3, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และพันธุ์ทาร์มบ้าเหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน พันธุ์คันทันนิ่งแฮมเป็นพันธุ์ทางการค้าที่นิยมใช้ปลูกมานานทั้งในประเทศ และต่างประเทศ โดยนำเข้ามาจากประเทศออสเตรเลีย และปรับตัวได้ดีในประเทศไทย (นิดา และคณะ, 2552; Rengsirikul *et al.*, 2011a) กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า (*Leucaena leucocephala* cv. Tarramba) ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากมหาวิทยาลัยฮาวาย และแนะนำให้เป็นพันธุ์การค้าเมื่อปี ค.ศ. 1994 นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประมาณปี พ.ศ. 2550 (สายัณห์ และคณะ, ม.ป.ป.) การศึกษาของ ศิริพร และคณะ (2553) พบว่า มีกระถินหลายพันธุ์ให้ผลผลิตน้ำหนักราก และความหนาแน่นของเนื้อไม้สูง เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมในการคัดเลือกผสมพันธุ์ และพัฒนาพันธุ์กระถินที่ให้ผลผลิต และพลังงานที่สูงเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานทดแทนต่อไป ซึ่งได้นำมาใช้ในงานทดลองครั้งนี้ด้วย คือ กระถินพันธุ์คันทันนิ่งแฮม ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU38 และ KU39

พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่มากที่สุดของประเทศ ประมาณ 168,854 ตารางกิโลเมตร หรือมีเนื้อที่ 33.17 เปอร์เซ็นต์ของประเทศ ลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบต่ำ สลับที่ดอน สภาพภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savanna) ฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกันอย่างชัดเจน มีปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย 1,000-1,600 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 22-35 องศาเซลเซียส การเพาะปลูกพืชได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งของดิน เนื่องมาจากการกระจายของฝนไม่ดีมักเกิดฝนทิ้งช่วงในฤดูแล้งเพาะปลูก (เฉลียว, 2530; นิคม และคณะ, 2550)

อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไม้โตเร็วบางชนิด เช่น ยูคาลิปตัส และกระถิน เฟือง (2527) ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายจนถึงดินทราย ซึ่งดินเหล่านี้มีอินทรีย์วัตถุรวมถึงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำถึงต่ำมาก ธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีน้อย มีการระบายน้ำและอากาศดีมาก แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ พืชที่ขึ้นบนดินทรายจึงมักขาดทั้งธาตุอาหารและน้ำ เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) Hoang *et al.* (2010) รายงานว่า ดินทรายเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับการผลิตทางการเกษตร ทั้งสารอาหารที่จำกัด ดินเป็นกรดและความจุน้ำในดินต่ำ (water holding capacity) เนื่องจากดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำ และได้ดินมีเกลือหินทำให้ดินเป็นดินเค็มและแห้ง ส่งผลกระทบต่อผลผลิตด้านการเพาะปลูกต่อไร่ต่ำ ประกอบกับเกษตรกรในพื้นที่ทำการเกษตรแบบซ้ำซากมานานหลายปีทำให้ดินเสื่อมโทรม มีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณสูงเพื่อเพิ่มผลผลิต การปลูกกระถินในพื้นที่ดังกล่าวจะช่วยบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น ช่วยป้องกันการกัดเซาะพังทลายของดินได้เป็นอย่างดี ลดปัญหาดินเค็ม อันเกิดจากการละลายของเกลือใต้ดินเนื่องจากระดับเกลือใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น (สายัณห์ และคณะ, 2550) ซึ่งการปลูกกระถินไม่ต้องลงทุนมากในเรื่องของปุ๋ยบำรุงดินดีกว่าการปลูกพืชอย่างอื่น เพียงแต่ต้องเสริมโพแทสเซียมและปูนขาวเพื่อปรับดินให้เหมาะสม (สายัณห์, 2547) ดังนั้นการปลูกกระถินในพื้นที่ดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากเป็นแหล่งพลังงานทดแทนและใช้ประโยชน์ด้านพืชอาหารสัตว์แล้วยังเป็นการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ขึ้นได้อีกด้วย

สำหรับพันธุ์กระถินที่ปรับตัวได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่เป็นดินทรายหรือค่อนข้างเป็นดินทรายยังไม่มีมีการรายงานงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการทดสอบกระถินที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงในบริเวณอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงและมีคุณสมบัติทางเคมีเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงและอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดีไปปลูกทดสอบในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพื่อคัดเลือกพันธุ์หรือสายพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีและเหมาะสมสำหรับปลูกในสภาพดินดังกล่าว ก่อนนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและอาหารสัตว์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สถานที่ทดลอง และประวัติสถานที่

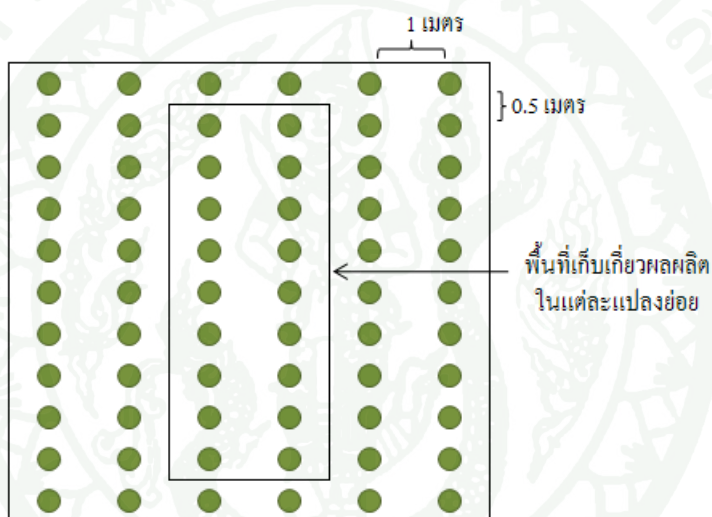
สถานที่ทดลองอยู่ในสถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอบัวชุม จังหวัดบุรีรัมย์ แปลงทดลองที่ใช้เดิมเคยปลูกพืชอาหารสัตว์มาก่อนเป็นเวลา 7-8 ปี โดยไม่มีการบำรุงรักษารวมทั้งการใส่ปุ๋ย พืชอาหารสัตว์ที่ปลูก คือ เวอรานอสไตโด หรือถั่วฮามาต้า (*Stylosanthes hamata* cv. Verano) และหญ้ารูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*) จนถึงปี 2554 จึงเตรียมพื้นที่ใหม่เพื่อปลูกกระถินในงานทดลองครั้งนี้ สภาพของดินในบริเวณแปลงที่ใช้ทดลองดังกล่าวก่อนการปลูกกระถินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.43 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) 2 พีพีเอ็ม และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) 6.5 พีพีเอ็ม

2. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำมี 10 ดำรับการทดลองซึ่งประกอบด้วยกระถินจำนวน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์คันทิงแฮม, ทารัมบ้า, สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และ KU56 (ภาพที่ 1)



(1)



(2)

ภาพที่ 1 แผนผังแสดงระยะการปลูกกระถินในงานทดลอง ขนาดแปลงย่อย 5x5 เมตร (1) แผนผังแปลงทั้งหมดในงานทดลอง โดยในกรอบ  คือแปลงย่อย และ (2) แสดงการปลูกกระถินแบบแถวเดี่ยว จำนวนต้นกระถินที่ปลูก ระยะปลูกและ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละแปลงย่อย พื้นที่เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ● = ตำแหน่งต้นกระถินที่ปลูกในแปลงย่อย

วิธีการ

1. การเตรียมเมล็ดพันธุ์ และต้นกล้ากระถิน

กระถินที่ใช้ในงานทดลอง ประกอบด้วย พันธุ์คั่นนึ่งแฮม, ทารัมบ้า, สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และ KU56 ซึ่งกระถินพันธุ์คั่นนึ่งแฮมเป็นพันธุ์การค้าเดิมที่นิยมใช้ปลูกทั้งในและต่างประเทศมานาน พันธุ์ทารัมบ้าเป็นพันธุ์การค้าที่นำเข้ามาใหม่จากต่างประเทศ ส่วน 8 สายพันธุ์ที่เหลือ คือ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45, KU48 และ KU56 เป็นสายพันธุ์ที่มีการคัดเลือกภายในประเทศและรวบรวมไว้โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเมล็ดกระถินทั้ง 10 ชนิดยังไม่ผ่านการทำลายการพักตัว จึงนำเมล็ดกระถินที่ใช้ในงานทดลองทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์มาตัดเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ออกเล็กน้อย เพื่อทำลายการพักตัว หลังจากนั้นนำเมล็ดกระถินที่ผ่านการทำลายการพักตัวและคลุกด้วยเชื้อไรโซเบียมแล้วเพาะลงในถุงเพาะชำที่บรรจุดินร่วนไว้เป็นเวลา 2 เดือนก่อนย้ายปลูกในแปลงทดลอง

2. การเตรียมแปลงทดลอง และการปลูกกระถิน

ภายหลังการเตรียมดินในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 โดยใช้รถแทรกเตอร์ไถดะ เพื่อไถกลบวัชพืช ไถแปร และไถพรวนเพื่อย่อยดินให้ละเอียดเป็นอย่างดีแล้ว เตรียมแปลงทดลอง วัดขนาดและแบ่งพื้นที่แปลงทดลองตามแผนการทดลองที่วางไว้ (ภาพที่ 1) จำนวนทั้งหมด 40 แปลงย่อย พื้นที่ในแต่ละแปลงย่อยมีขนาด 25 ตารางเมตร (5x5 เมตร) ระยะห่างระหว่างแปลงย่อยเท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างซ้ำเท่ากับ 3 เมตร ปลูกกระถินในวันที่ 10 มีนาคม 2554 โดยใช้ต้นกล้าที่เพาะเตรียมไว้แล้วในถุงเพาะชำอายุประมาณ 2 เดือน ปลูกกระถินแบบแถวเดี่ยว ใช้ระยะปลูกระหว่างแถวและระหว่างต้นเท่ากับ 1x0.5 เมตร ปลูกกระถินจำนวน 6 แถวๆ ละ 11 ต้น หรือแถวยาว 5 เมตร รวมปลูกกระถินจำนวน 66 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย (3,200 ต้นต่อไร่) เนื่องจากในระยะปลูกเป็นช่วงฤดูแล้งไม่มีฝนตกทำให้กระถินที่ปลูกบางส่วนตายจึงได้ปลูกซ่อม โดยใช้ต้นกล้ากระถินที่เพาะเตรียมไว้แล้วซึ่งมีอายุเท่ากันและปลูกซ่อมในวันที่ 31 มีนาคม 2554

3. การจัดการหลังการปลูก หรือการดูแลแปลงระหว่างการทดลอง

3.1 การให้น้ำชลประทาน

ในช่วงแรกหลังการย้ายต้นกล้ากระถินลงปลูกในแปลงทดลอง (มีนาคม-พฤษภาคม 2554) เป็นช่วงที่ไม่มีฝนตก จึงได้ให้น้ำแก่ต้นกระถินโดยใช้บัวรดน้ำให้น้ำเฉพาะต้นในแต่ละหลุม เพื่อเป็นการประหยัดน้ำ ให้น้ำแก่กระถินในลักษณะนี้สัปดาห์ละ 1 ครั้งในปริมาณ 1 ลิตรต่อต้น เป็นเวลา 2 เดือน จนกระทั่งฝนตกในเดือนพฤษภาคมจึงปล่อยให้เจริญเติบโตตามธรรมชาติ รวมให้น้ำแก่กระถินทั้งหมด 6 ครั้ง

3.2 การกำจัดวัชพืช

ดำเนินการกำจัดวัชพืชหลังจากการย้ายกระถินลงปลูกในแปลงทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกระหว่างวันที่ 22-28 กรกฎาคม 2554 (4 เดือนหลังการย้ายปลูก) โดยใช้แรงงานคนถอนด้วยมือ และครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 10-18 ตุลาคม 2554 (7 เดือนหลังการย้ายปลูก) โดยใช้แรงงานคน เนื่องจากมีวัชพืชในปริมาณมาก ดังนั้นในปีที่ 2 จึงกำจัดวัชพืชโดยใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชนิพพาน มีชื่อทางการค้าคือ กรัสม็อกโซน (gramoxone) (หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต 10 สัปดาห์) นอกจากนั้นมีการกำจัดวัชพืชอีกครั้งโดยใช้เครื่องตัดหญ้าในเดือนพฤษภาคม 2555

3.3 การกำจัดแมลงศัตรูพืช

ในระยะปลูกพบว่ามีกระบาดของปลวกกัดกินต้นและใบกระถินจึงใช้สารเคมีกำจัดปลวก (fipronyl) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า รีเจนต์จี (regent-G) ใส่ต้นละครั้งช้อนชา เพื่อป้องกันปลวกทำลายและกัดกินต้นกระถิน เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2554

3.4 การใส่ปุ๋ย

ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ในรูปของปุ๋ยทริบิลีซูปเปอร์ฟอสเฟต คอมเพล็กซ์เฟิร์ท (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ในอัตราเท่ากันคือ 60 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ซัลเฟอร์ในรูปของยิปซัม (CaSO_4) ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หลังการย้ายปลูก 2 สัปดาห์ใน

วันที่ 31 มีนาคม 2554 โดยการโรยเป็นแถว นอกจากนั้นใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 1 ตันต่อไร่ และปุ๋ยขาวในอัตรา 160 กิโลกรัมต่อไร่หลังการย้ายปลูกกระถิน 2 เดือนในวันที่ 15 มิถุนายน 2554 หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีแรก ใส่ปุ๋ยชนิดเดิมอีกครั้งในอัตราเท่ากับปีที่ 1 เมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2555 (4 สัปดาห์หลังการตัด) ส่วนปุ๋ยคอกใส่ในวันที่ 18 พฤษภาคม 2555 ในอัตรา 3 ตันต่อไร่เพื่อบำรุงต้นกระถิน ยกเว้นปุ๋ยขาวใส่ปีแรกเพียงครั้งเดียว

4. การเก็บบันทึกข้อมูล

4.1 ด้านการเจริญเติบโต

4.1.1 ความสูง

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตในด้านความสูง โดยวัดความสูงของต้นกระถินจากพื้นดินถึงปลายยอดที่สูงที่สุดโดยใช้ไม้เมตร เริ่มวัดความสูงของต้นกระถินครั้งแรกภายหลังการย้ายปลูกแปลงทดลอง 10 สัปดาห์ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2554 สุ่มวัดความสูงต้นกระถินจำนวน 8 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย และบันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 19 มีนาคม 2555 (สัปดาห์ที่ 53 หลังการย้ายปลูก) ซึ่งเป็นช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต ในปีที่ 2 วัดความสูงของต้นกระถินที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จากตอเดิมภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต 10 สัปดาห์ โดยวัดความสูงจากตำแหน่งรอยตัดในปีที่ 1 แรกจนถึงปลายยอดที่สูงที่สุด สุ่มวัดความสูงของต้นกระถินเช่นเดียวกับปีที่ 1 เมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม 2555 และวันที่ 14 กรกฎาคม 2555 เนื่องจากต้นกระถินมีความสูงเกินกว่าไม้วัดซึ่งสูงเพียง 3 เมตรจึงหยุดวัดความสูงของต้นกระถิน และวัดความสูงของต้นกระถินอีกครั้งในช่วงที่มีการตัดต้นกระถินเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตปีที่ 2 ในวันที่ 19 มีนาคม 2556

4.1.2 ขนาดลำต้น

ขนาดลำต้นเป็นการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระถินที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตรเหนือพื้นดินขึ้นไป หรือที่ความสูงระดับอก (diameter breast height; DBH) โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) สุ่มวัดจำนวน 8 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย เริ่มบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระถินภายหลังการย้ายปลูก 27 สัปดาห์ เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2554 บันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต และบันทึกครั้งสุดท้ายในวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (1 ปีหลัง

การย้ายปลูก) เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2555 และในปีที่ 2 วัดขนาดลำต้นกระถินที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่อีกครั้ง เริ่มวัดครั้งแรกภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต 16 สัปดาห์ในวันที่ 14 กรกฎาคม 2555 โดยวัดที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน สุ่มวัดขนาดลำต้นเช่นเดียวกับปีที่ 1 วัดอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีที่ 2 เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2555 (53 สัปดาห์หลังการตัดในปีแรก)

4.1.3 จำนวนหน่อหลังการตัด

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตของกระถินในปีที่ 1 กระถินจะฟื้นตัวเจริญเติบโตขึ้นมาอีกครั้งโดยการแตกหน่อขึ้นมาใหม่ เก็บข้อมูลการฟื้นตัวของต้นกระถินโดยนับจำนวนหน่อของกระถินที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ที่แตกออกมาจากลำต้นหลัก (main stem) ภายหลังการตัด เริ่มนับจำนวนหน่อครั้งแรกเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2556 (4 สัปดาห์หลังการตัด) นับเฉพาะหน่อที่ยังมีชีวิต (หน่อที่ยังมียอดและมีสีเขียว) ที่เจริญมาจากต้นหลัก (ต้นต่อในปีที่ 1) ซึ่งมีใบที่คลี่ออกมาชัดเจน สุ่มนับจากต้นกระถินจำนวน 8 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย และนับอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันที่ 19 มีนาคม 2556 ซึ่งเป็นวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในปีที่ 2

4.2 ด้านผลผลิต

เมื่อต้นกระถินมีอายุครบ 1 ปีหลังการย้ายปลูก เก็บข้อมูลการให้ผลผลิตเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2555 โดยการตัดต้นกระถินด้วยเลื่อยหรือคีมที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตรเหนือพื้นดินขึ้นไป การเก็บเกี่ยวผลผลิตของกระถินในแต่ละแปลงย่อยจะเก็บเฉพาะในส่วนกลางของแปลงย่อย คือ เฉพาะ 2 แถวกลางของแต่ละแปลงย่อยยกเว้นบริเวณหัวแถวและท้ายแถวซึ่งเป็นขอบแปลง (guard row) (ภาพที่ 1) รวมทั้งหมด 18 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย และในปีที่ 2 เก็บเกี่ยวผลผลิตของต้นกระถินในวันที่ 19 มีนาคม 2556 โดยตัดในตำแหน่งรอยตัดในปีที่ 1 (50 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน) ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ทั้ง 2 ปีนำส่งไปหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เพื่อบันทึกข้อมูลด้านผลผลิต โดยแบ่งข้อมูลผลผลิตออกเป็น 3 ส่วนคือ ลำต้น (แบ่งเป็นลำต้นที่น้อยกว่า 2.5 และมากกว่า 2.5 เซนติเมตร) กิ่งก้าน (กิ่งที่เจริญเติบโตจากแกนกลางของลำต้น) และใบ (รวมส่วนลำต้นที่มีสีเขียว) รายละเอียดและวิธีการเก็บข้อมูลด้านผลผลิตกระถินมีดังนี้

4.2.1 ลำต้น

เมื่อตัดต้นกระถินแล้ว นำมาแยกส่วนของลำต้นออกจากส่วนกิ่งก้านและใบ ออก โดยใช้มีดลิดกิ่งก้านที่แตกแขนงทั้งหมดออกจากลำต้น การเก็บข้อมูลผลผลิตส่วนลำต้นของกระถินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกระถินที่วัดในระดับความสูง 130 เซนติเมตรเหนือพื้นดินขึ้นไป คือ กลุ่มที่ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 และมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักสดของแต่ละแปลงย่อย จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างลำต้นกระถินแล้วนำไปตากแดดไว้ระยะหนึ่ง เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่นาน 72 ชั่วโมงจึงนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ต่อไป สำหรับลำต้นที่เก็บเกี่ยวได้ในปีที่ 2 ปฏิบัติเช่นเดียวกับปีที่ 1 เพื่อหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นของกระถิน

4.2.2 กิ่งก้าน (กิ่งที่เจริญเติบโตจากแกนกลางของลำต้น)

หลังจากแยกส่วนลำต้นออกแล้ว ส่วนที่เหลือคือกิ่งก้านและใบ จากนั้นลิดส่วนใบและเด็ดส่วนปลายกิ่งที่มีสีเขียวออก (นำไปรวมกับส่วนใบ) เพื่อใช้เก็บข้อมูลผลผลิตส่วนใบต่อไป ส่วนที่เหลือที่มีสีน้ำตาลจัดไว้ในส่วนของกิ่งก้าน นำไปชั่งหาน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งโดยปฏิบัติเช่นเดียวกับส่วนลำต้น และผลผลิตกิ่งก้านในปีที่ 2 ทำเช่นเดียวกันกับปีแรก

4.2.3 ใบ (รวมส่วนลำต้นที่มีสีเขียว)

หลังจากแยกส่วนลำต้นและกิ่งก้านออกแล้ว ส่วนที่เหลือรวมถึงส่วนของปลายกิ่งที่มีสีเขียว คือผลผลิตส่วนใบของกระถิน นำไปชั่งหาน้ำหนักสดของใบกระถินในแต่ละแปลงย่อย หลังจากนั้นสุ่มใบกระถินในแต่ละแปลงย่อย แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง และปฏิบัติเช่นเดียวกันกับผลผลิตในปีที่ 2

4.3 คุณภาพเนื้อไม้

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ส่วนลำต้นวิเคราะห์คุณภาพของไม้กระถินทำโดยสุ่มเก็บตัวอย่างต้นกระถินที่ถูกตัดเพื่อเก็บข้อมูลผลผลิตลำต้นในปีที่ 1 จำนวน 3 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย นำ

ต้นกระถินที่สุ่มมาทั้ง 3 ต้นอบให้แห้งจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชที่ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ให้มีขนาดละเอียดขนาด 60 mesh ตัวอย่างที่บดได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของเนื้อไม้ที่สำคัญสำหรับเป็นพืชพลังงาน ดังนี้

4.3.1 ค่าพลังงานความร้อน (heat value)

ใช้ตัวอย่างส่วนลำต้นกระถินที่บดแล้วสำหรับวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (AOAC, 1980) โดยนำไปวิเคราะห์ที่กลุ่มวิเคราะห์อาหารสัตว์ และพืชอาหารสัตว์ สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์

การคำนวณหาพลังงานต่อพื้นที่ใช้สูตรต่อไปนี้คือ

ค่าพลังงานต่อพื้นที่ = ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่) x ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

4.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ (chemical compositions)

ตัวอย่างลำต้นไม้กระถินที่บดแล้ว นำมาใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

วิเคราะห์คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และซัลเฟอร์ (S) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง TruSpec Micro CHNS รุ่น LECO CHNS-209 โดยนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลางทางวิทยาศาสตร์ ตีกวชิรานุสรณ์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) โดยนำไปวิเคราะห์ที่สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

วิเคราะห์เชื้อใย ได้แก่ ADF (acid detergent fiber), NDF (neutral detergent fiber), ADL (acid detergent lignin) หรือ ลิกนิน (Lignin), เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ตามวิธีของ Detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) โดยนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

วิเคราะห์เถ้า (ash) โดยวิธี Proximate Analysis ตามวิธีการของ AOAC (1980) โดยนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

4.3.3 ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density)

การหาความหนาแน่นเนื้อไม้ ใช้ส่วนลำต้นของกระถินที่ไม่บิด โดยสุ่มกระถินที่ตัดสำหรับใช้เก็บข้อมูลผลผลิตจำนวน 3 ต้นต่อหนึ่งแปลงย่อย ตัดต้นกระถินที่สุ่มทั้ง 3 ต้นเป็นท่อน ต้นละ 1 ท่อนที่มีความสูงระหว่าง 130-145 เซนติเมตรจากพื้นดิน จะได้ท่อนกระถินยาว 15 เซนติเมตร นำท่อนไม้ที่เตรียมไว้แปลงย่อยละ 3 ท่อนไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน หาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ตามวิธีการของ Pottinger *et al.* (1998) โดยลอกเปลือกไม้ออก แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักจะได้ค่าของมวลหรือน้ำหนักของท่อนไม้ (m) จากนั้นนำท่อนไม้ตัวอย่างที่ลอกเปลือกไม้ ออกแล้วไปหาปริมาตร (v) โดยใช้หลักการการแทนที่น้ำ แล้วนำค่าที่ได้ทั้ง 2 ค่ามาคำนวณความหนาแน่นของไม้ (D) โดยใช้สูตร

$$D = m / v$$

โดย

D (density)	คือ	ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
m (mass)	คือ	มวล หรือน้ำหนักของไม้ที่ต้องการหาความหนาแน่น (กรัม)
v (value)	คือ	ปริมาตรของไม้ที่ได้จากการแทนที่ด้วยน้ำ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทั้งด้านการเจริญเติบโต และคุณภาพของเนื้อไม้ นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลและทดสอบค่า F-test โดยใช้วิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.2 ประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ระหว่างข้อมูลที่เก็บรวบรวม

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

ดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2554-เดือนมีนาคม 2556 รวมระยะเวลาในการวิจัยทั้งสิ้น 27 เดือน

ผลและวิจารณ์

ผล

1. สภาพแวดล้อมทั่วไป

1.1 ปริมาณน้ำฝน

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำฝนตลอดระยะเวลาทดลอง พบว่าก่อนและหลังการย้ายปลูกกระถินในเดือนมีนาคม 2554 ไม่มีฝนตกตลอดทั้งเดือน สภาพดินในแปลงทดลองจึงแห้ง ฝนเริ่มตกเล็กน้อยในเดือนเมษายน 2554 (5 มิลลิเมตร) ดังนั้นในระยะแรกหลังการย้ายปลูกจึงจำเป็นต้องให้น้ำแก่ต้นกระถิน โดยให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้งๆ ละประมาณ 1 ลิตรต่อต้น จนกระทั่งฝนเริ่มตกในเดือนพฤษภาคม 2554 จึงปล่อยให้เจริญเติบโตตามธรรมชาติ รวมให้น้ำแก่ต้นกระถินทั้งหมด 6 ครั้ง อย่างไรก็ตาม ฝนทิ้งช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม 2554 โดยมีฝนตกเพียง 5 มิลลิเมตร และฝนตกหนาแน่นขึ้นในเดือนสิงหาคม 2554 และต่อเนื่องจนถึงเดือนตุลาคม 2554 ในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม 2554 มีฝนตกชุก หลังจากนั้นไม่มีฝนตกเลยระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2554 ถึงกุมภาพันธ์ 2555 ยกเว้นเดือนมกราคม 2555 ซึ่งมีฝนตก 94 มิลลิเมตร ฝนเริ่มตกอีกครั้งในเดือนมีนาคม 2555 ซึ่งเป็นช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีแรก

ภายหลังการตัดต้นกระถินครั้งแรกในเดือนมีนาคม 2555 มีปริมาณฝนเพียงเล็กน้อย (33 มิลลิเมตร) และฝนตกอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนเมษายน 2555 ในปริมาณระหว่าง 99-181 มิลลิเมตร และลดปริมาณลงเหลือเพียง 38 มิลลิเมตรในเดือนกรกฎาคม 2555 หลังจากนั้นปริมาณน้ำฝนเริ่มหนาแน่นขึ้นตั้งแต่ปลายเดือนสิงหาคมจนกระทั่งสิ้นเดือนพฤศจิกายน 2555 (ยกเว้นในเดือนตุลาคม 2555 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเพียง 40 มิลลิเมตร) ไม่มีฝนตกในเดือนธันวาคม 2555 และมกราคม 2556 และมีฝนตกเล็กน้อยในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม 2556 ซึ่งเป็นช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตอีกครั้งในปีที่ 2 (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่กระถินได้รับทั้ง 2 ปีที่ทดลองพบว่า ในปีแรก (เดือนมีนาคม 2554-กุมภาพันธ์ 2555) กระถินได้รับน้ำเพียง 757 มิลลิเมตร ส่วนในปีที่ 2 (เดือนมีนาคม 2555-กุมภาพันธ์ 2556) กระถินได้รับน้ำ 1,115 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองระหว่างปี 2554-2556 ณ สถานีวิจัย
ทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์

เดือน	ปี		
	2554	2555	2556
มกราคม	0	94	0
กุมภาพันธ์	0	0	29
มีนาคม	0	33	36
เมษายน	5	99	74
พฤษภาคม	25	96	148
มิถุนายน	0	181	-
กรกฎาคม	5	38	-
สิงหาคม	176	173	-
กันยายน	243	253	-
ตุลาคม	209	40	-
พฤศจิกายน	0	173	-
ธันวาคม	0	0	-
รวม	663	1,180	-

หมายเหตุ ปริมาณน้ำฝนบันทึกในบริเวณแปลงทดลอง ณ สถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์
อำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้เครื่องวัดน้ำฝนแบบแก้วดวง

1.2 สภาพพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง

พื้นที่ทดลองอยู่ในบริเวณสถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอปะคำ จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งบริเวณแปลงที่ใช้ในการทดลองเคยปลูกพืชอาหารสัตว์มาก่อนเป็นเวลา รวม 7-8 ปี พืชอาหารสัตว์ที่ปลูกคือถั่วฮามาต้า หรือเวอร์นาโนสไตโล (*Stylosanthes hamata* cv. Verano) และหญ้ารูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*) โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือการบำรุงรักษา จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดินก่อนการทดลอง พบว่า ลักษณะดินในพื้นที่ดังกล่าวเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam; SL) เนื้อดินประกอบด้วย ดินทราย (sand) ดินเหนียว (clay) และดินทรายแป้งหรือซิลท์ (silt) เฉลี่ย 74.4, 8.5 และ 17.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดินเป็นกรดจัดมีค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) เท่ากับ 5.43 มี

ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก 0.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีต่ำมากเท่ากับ 2.0 และ 6.5 พีพีเอ็ม ตามลำดับ จัดได้ว่าเป็นดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

2. ข้อสังเกตทั่วไป

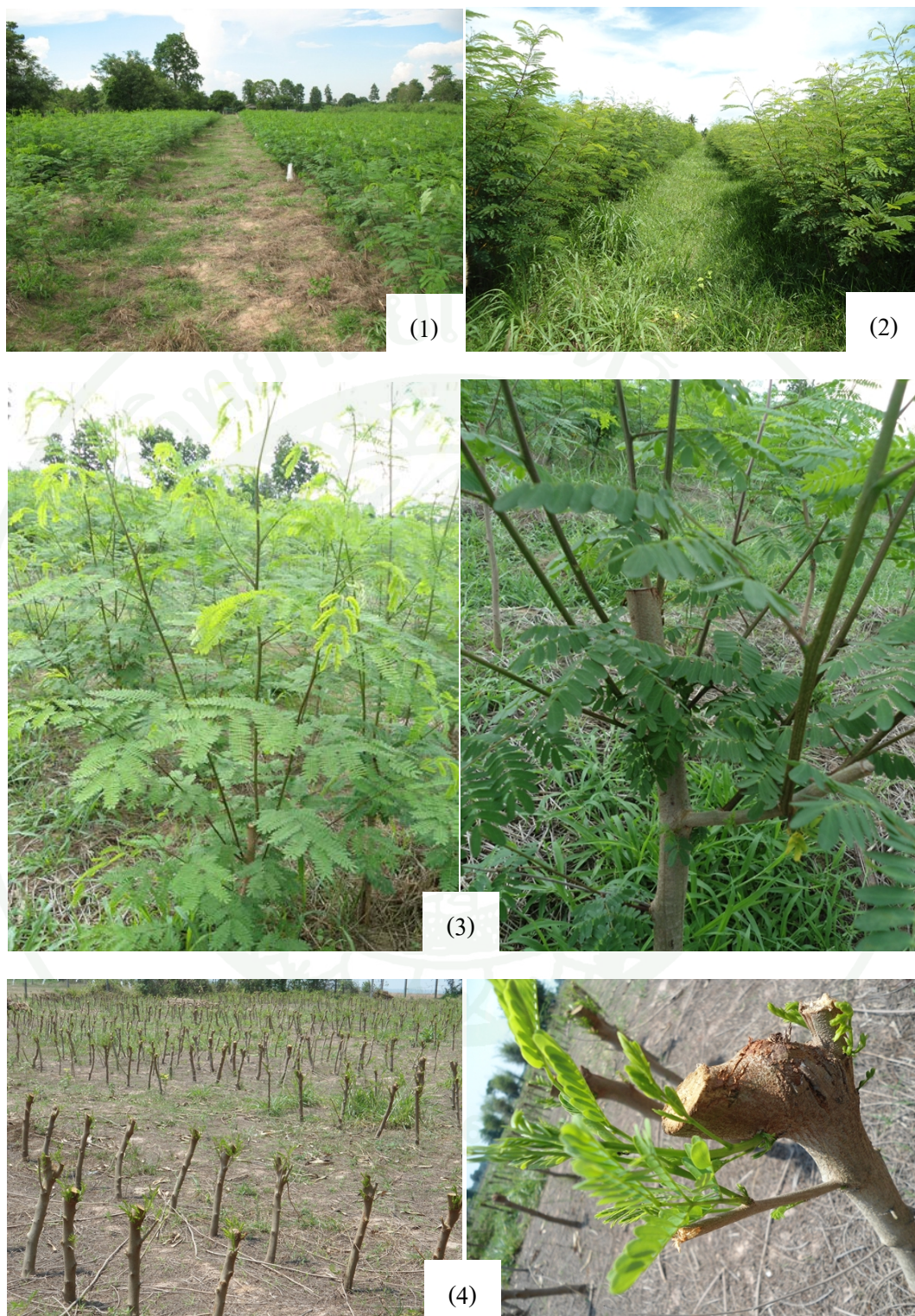
2.1 การเจริญเติบโต และการตั้งตัว

ภายหลังการย้ายต้นกล้ากระถินลงปลูกในแปลงทดลองในเดือนมีนาคม 2554 พบว่ากระถินพื้นตัวได้ช้า เนื่องจากได้รับน้ำไม่เพียงพอ เมื่อเริ่มมีฝนตกกระถินพื้นตัวได้ดีขึ้น ความแตกต่างทางด้านความสูงเริ่มสังเกตเห็นได้หลังการย้ายปลูก 17 สัปดาห์ (กรกฎาคม 2554) และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรกในเดือนมีนาคม 2555 กระถินพื้นตัวได้ดีแม้ว่าจะมีปริมาณฝนเพียงเล็กน้อย (33 มิลลิเมตร) ฝนเริ่มตกอย่างหนาแน่นขึ้นในเดือนเมษายนถึงมิถุนายน 2555 ทำให้กระถินพื้นตัวได้ดีมาก หลังเดือนพฤศจิกายน 2555 กระถินเจริญเติบโตช้ามาก เนื่องจากขาดฝนและอุณหภูมิลดต่ำลงในเดือนธันวาคม 2555 ถึงกุมภาพันธ์ 2556

ในเดือนสิงหาคม 2554 ซึ่งเป็นสัปดาห์ที่ 21 หลังการย้ายปลูก สังเกตพบการออกดอกของกระถิน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์คันนิงแฮม ทารัมบ้า สายพันธุ์ KU19, KU45 และ KU56 โดยกระถินพันธุ์คันนิงแฮมออกดอกทุกแปลงทดลอง ส่วนสายพันธุ์ KU15, KU38, KU39 และ KU48 เริ่มพบการออกดอกในสัปดาห์ที่ 27 หลังการย้ายปลูก (กันยายน 2555) กระถินทั้ง 10 ชนิดยังคงออกดอกอย่างต่อเนื่องแต่จำนวนไม่มากเหมือนในช่วงฤดูฝน โดยพันธุ์คันนิงแฮมออกดอกและติดฝักมากที่สุด

หลังการตัดกระถินในเดือนมีนาคม 2555 สังเกตพบกระถินสายพันธุ์ KU48 เริ่มออกดอกในสัปดาห์ที่ 4 หลังการตัด นอกจากนั้นยังสังเกตพบว่า กระถินสายพันธุ์ KU56 มีลักษณะต้นเป็นทรงพุ่ม มีกิ่งก้านแตกแขนงจำนวนมาก และมีใบดกหนาแน่น ความสูงของลำต้นใกล้เคียงกับพันธุ์คันนิงแฮม

ในปีที่ 1 ของการทดลอง (มีนาคม 2554 ถึงกุมภาพันธ์ 2555) การเจริญเติบโตของกระถินทั้งหมดน้อยกว่าการทดลองในปีที่ 2 อย่างเห็นได้ชัด ทั้งการเจริญเติบโตในด้านความสูง ขนาดลำต้น รวมทั้งการให้ผลผลิต

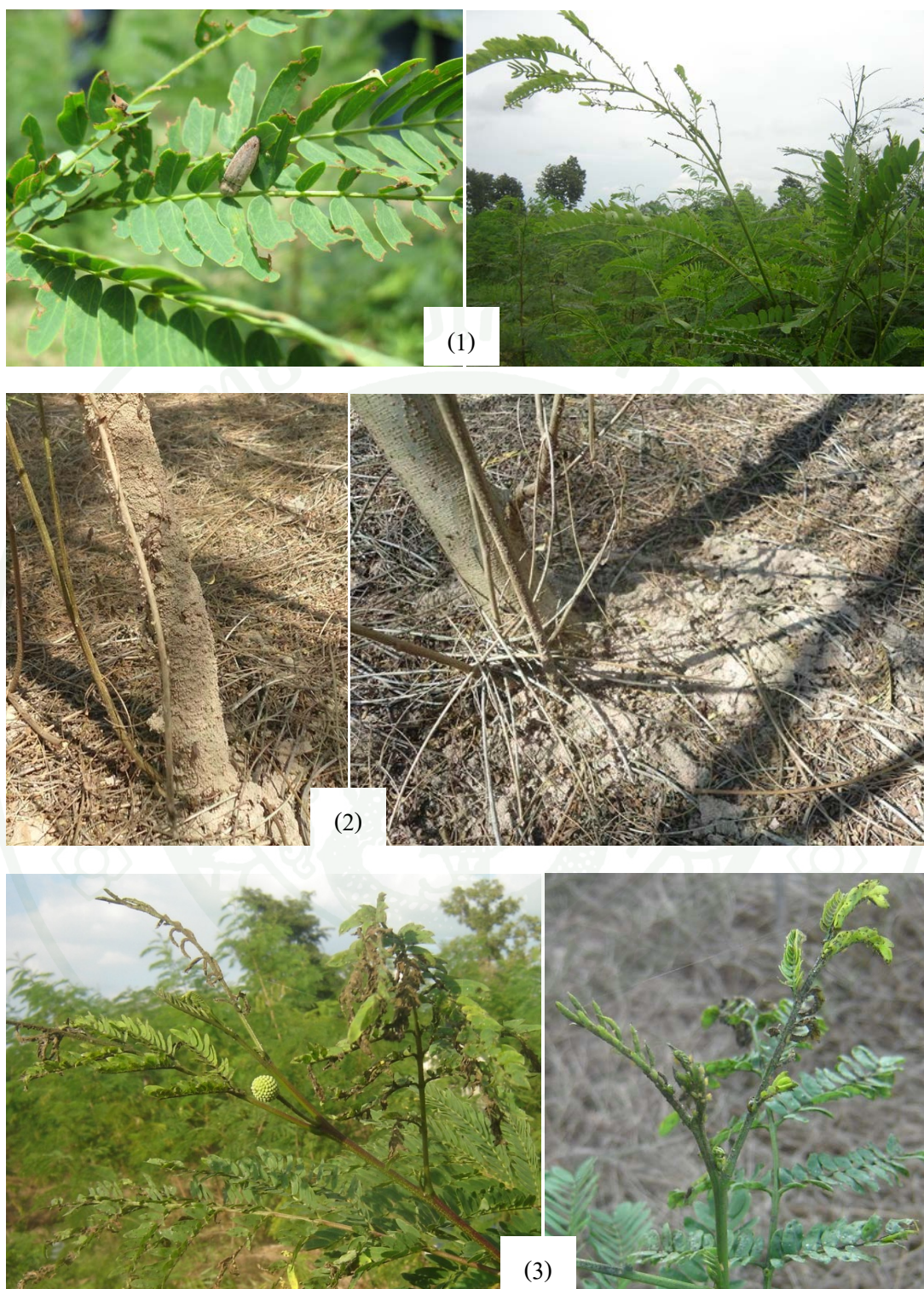


ภาพที่ 2 การฟื้นตัวของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ภายหลังการตัด (1) หลังการตัดในปีแรก 1 เดือน (19 เมษายน 2555) (2) หลังการตัดปีที่ 2 เมื่อกระถินมีอายุ 2 เดือน (25 พฤษภาคม 2556) และ (3-4) ลักษณะการแตกหน่อของกระถินหลังตัด ในปีที่ 1 และ ปีที่ 2

2.2 การเข้าทำลายของศัตรูพืช

ไม่พบปัญหาที่เกิดจากโรคพืชเข้าทำลายกระถิน พบเพียงปัญหาแมลงที่เป็นศัตรูพืช เช่น การระบาดของด้วงคืด (*Agryphus* sp.: Click beetle) ในแปลงกระถินแต่ไม่รุนแรง โดยด้วงคืดเข้ากัดกินใบและยอดกระถิน (ภาพที่ 2) เฉพาะกระถินบางต้นและในบางแปลงเท่านั้น ไม่พบการตายของต้นกระถินที่ถูกกัดทำลาย และกระถินที่ถูกกัดทำลายฟื้นตัวขึ้นมาใหม่ อย่างไรก็ตามคาดว่าอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกระถินระยะหนึ่ง พบการเข้าทำลายของปลวกในปีที่สองของการทดลองแต่ยังไม่รุนแรงมากนัก โดยพบรังปลวกตามพื้นดินและบริเวณตอกระถิน (ภาพที่ 3) และการทดลองครั้งนี้ไม่พบปัญหาการระบาดของแมลงเพลี้ยไก่ฟ้ากระถิน (*Heteropsylla cubana* Crawford: Psyllidae) แม้จะสังเกตพบแมลงเพลี้ยไก่ฟ้ากระถินเกาะอยู่ตามบริเวณส่วนปลายยอดและฝักกระถินหลังการตัดกระถิน 1-2 เดือนก็ตาม ซึ่งมีจำนวนไม่มากและไม่สร้างความเสียหายต่อกระถินมากนัก นอกจากนี้ ยังพบแมลงเต่าทองจำนวนมากเกาะตามบริเวณฝักและดอกกระถิน ซึ่งเป็นผลดีต่อการป้องกันการทำลายของแมลงเพลี้ยไก่ฟ้า

กระถินบางต้นพบมีอาการน้ำยางสีเหลืองใสไหลออกมาและแห้งเกาะเป็นก้อนแข็งตามลำต้น เริ่มสังเกตพบอาการดังกล่าวระหว่างเดือนมกราคมและมกราคม 2555 ซึ่งเป็นช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีที่ 1 นอกจากพบอาการน้ำยางสีเหลืองใสแล้วยังพบว่าบริเวณเปลือกลำต้นของกระถินจะเกิดรอยสีน้ำตาล คล้ายรอยไฟไหม้ และอาการเหล่านี้พบเพิ่มขึ้นอีกหลายแปลงๆ ละ 2-3 ต้น (ภาพที่ 3) หลังการตัดต้นกระถินในปีที่ 1 พบว่า ต้นกระถินที่พบอาการน้ำยางสีเหลืองใสดังกล่าวยังสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่รอยสีน้ำตาลบริเวณลำต้นและน้ำยางสีเหลืองใสหายไป อย่างไรก็ตาม อาการดังกล่าวเกิดขึ้นอีกครั้ง ในช่วงตั้งแต่เดือนธันวาคม 2555 จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนมีนาคม 2556 โดยพบอาการน้ำยางสีเหลืองใสบริเวณลำต้นต่อมาน้ำยางที่ใสจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า บริเวณเปลือกกระถินจะแตกและพบเชื้อราเกิดอยู่บริเวณเปลือกลำต้นของกระถินดังกล่าวด้วย



ภาพที่ 3 การเข้าทำลายกระถินจากศัตรูพืช (1) การเข้าทำลายใบ และยอดกระถินของด้วงดิด
(2) การเข้าทำลายต่อกระถินของปลวก และ (3) การเข้าทำลายยอดกระถินของแมลง
เพลี้ยไก่อไฟกระถิน



ภาพที่ 4 ลักษณะและบริเวณที่ต้นกระถินเกิดน้ำยางสีเหลืองใสเมื่อแห้งจะแข็งและเหนียว จากนั้นเปลือกลำต้นจะมีสีดำเกิดเชื้อราขึ้นบริเวณดังกล่าว

2.3 ลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา

2.3.1 ใบ

กระถินที่นำมาศึกษามีใบตลอดทั้งปี แต่ในช่วงฤดูแล้งใบจะมีสีเหลืองและร่วงไม่เขียวและหนาแน่นเหมือนในช่วงฤดูฝน ลักษณะใบของกระถินทุกชนิดเป็นแบบเดียวกัน คือ เป็นใบประกอบแบบขนนก (bipinnate) เรียงตัวกันแบบสลับ มีจำนวนใบประกอบย่อย (pinna) ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 7-8 คู่ (ตารางที่ 2) การเรียงตัวของใบประกอบย่อยเป็นแบบตรงกันข้าม (ภาพที่ 5) ในแต่ละใบประกอบย่อยประกอบด้วยใบย่อย (leaflet) มีลักษณะรูปร่างคล้ายหอก (lanceolate) เรียงแบบตรงข้าม และมีจำนวนใบย่อยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยกระถินสายพันธุ์

KU48 และ KU19 มีใบย่อยที่สุด (18 คู่) เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 8 ชนิดที่เหลือ ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU38 มีคู่ใบย่อยน้อยที่สุดเพียง 15 คู่ สำหรับขนาดใบย่อยของกระถินที่ศึกษา พบว่า ขนาดความกว้างและความยาวของใบย่อยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.27-0.38 เซนติเมตร และ 1.15-1.38 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2 จำนวนใบประกอบย่อย ใบย่อย และขนาดใบย่อยของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์/ สายพันธุ์	จำนวนใบประกอบย่อย (pinna)	จำนวนใบย่อย (leaflet)	ขนาดใบย่อย	
			กว้าง	ยาว
คันทรงแสม	7.1	17.0 bc ^{1/}	0.31 cd	1.23
ทาร์มบ้า	7.6	16.8 bc	0.32 bcd	1.15
KU3	6.9	16.7 bc	0.32 bcd	1.21
KU15	7.7	16.2 c	0.33 bc	1.38
KU19	8.0	17.6 ab	0.27 d	1.33
KU38	7.2	14.9 d	0.38 a	1.31
KU39	7.3	16.1 c	0.34 abc	1.31
KU45	7.8	16.7 bc	0.32 bcd	1.21
KU48	7.8	18.4 a	0.33 bc	1.33
KU56	7.3	16.5 bc	0.37 ab	1.35
เฉลี่ย	7.5	16.7	0.33	1.28
F-test	ns	**	**	ns

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 5 ลักษณะใบกระดินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ใบประกอบย่อย และใบย่อย

บริเวณฐานของก้านใบประกอบย่อยคู่แรก และคู่สุดท้าย มีต่อมน้ำหวาน (petiole gland) ซึ่งมีลักษณะหลายรูปแบบ มีรูปร่างแบบวงกลมเป็นหลุมขุบตรงกลางคล้ายโดนัท (ภาพที่ 6) หรือเป็นเพียงปุ่มนูนอยู่บริเวณฐานก้านใบประกอบย่อย บางต่อมมีรูปร่างรีเป็นแนวตามก้านใบ ส่วนใหญ่เป็นต่อมสีเขียว บางต่อมมีสีชมพู สีของก้านใบและก้านใบย่อย (ภาพที่ 7) ของกระถินทั้ง 10 ชนิดมีทั้งสีเขียวและสีม่วงแดงปะปนกัน ในระยะแรกหลังการย้ายปลูกและหลังการตัด (สังเกตเห็นถึงเมื่ออายุ 6 เดือนหลังการย้ายปลูก) โดยก้านใบ และก้านใบย่อยของกระถินสายพันธุ์ KU3, KU38, KU45 มีสีเขียวตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตาม เมื่อกระถินมีอายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเหมือนกัน นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่า กระถินสายพันธุ์ KU56 มีลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากพันธุ์อื่นๆ คือส่วนปลายยอดมีขนเล็กๆ อ่อนนุ่มมือ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 6 ต่อมน้ำหวานบริเวณใบประกอบย่อยคู่บนสุด และต่อมน้ำหวานบริเวณใบประกอบย่อยคู่ล่างสุด (วันที่ 18 พฤษภาคม 2555)



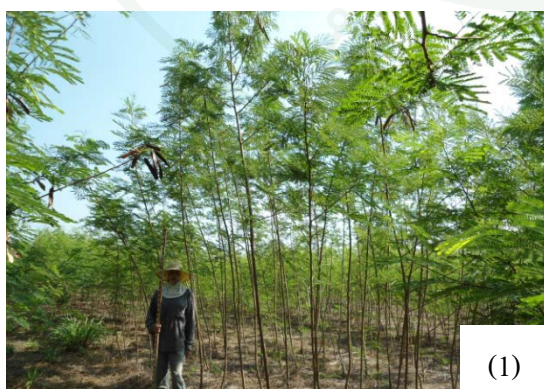
ภาพที่ 7 สีของก้านใบ และก้านใบย่อย



ภาพที่ 8 กระถินสายพันธุ์ KU56 ยอดมีขนอ่อน นุ่มมือ

2.3.2 ลำต้น

กระถินทั้ง 10 ชนิดที่นำศึกษามีลักษณะทรงต้น ขนาด และการแตกแขนงของต้นแตกต่างกัน (ภาพที่ 9) โดยกระถินพันธุ์กันนิงแฮม สายพันธุ์ KU15, KU19 และ KU56 มักมีการแตกของลำต้นออกมามากกว่าหนึ่งในบริเวณโคนต้น (ใกล้พื้นดิน) ซึ่งต่างจากกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3 และ KU39 มีลำต้นเป็นลำต้นเดี่ยวและตั้งตรง ไม่ค่อยมีการแตกกิ่งก้าน ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU38, KU45 และ KU48 มีลักษณะลำต้นทั้ง 2 แบบปะปนกัน สำหรับลักษณะเปลือกลำต้นของกระถินส่วนใหญ่เป็นแบบเดียวกันคือ ลำต้นเรียบ มีเปลือกบางสีน้ำตาล และมีลายลักษณะเป็นจุดประสีน้ำตาลแดงนูนออกมา เมื่อลูบแล้วจะหลุดออกมา โดยเรียงตัวเป็นระเบียบกระจายอยู่ในแนวขวางทั่วลำต้น (ภาพที่ 10) เมื่อเดือนเปลือกของลำต้นจะมีสีครีม หรือสีชมพู โดยเปลือกไม้สามารถลอกออกได้ง่ายทั้งในไม้สดและไม้ที่อบแห้งแล้ว

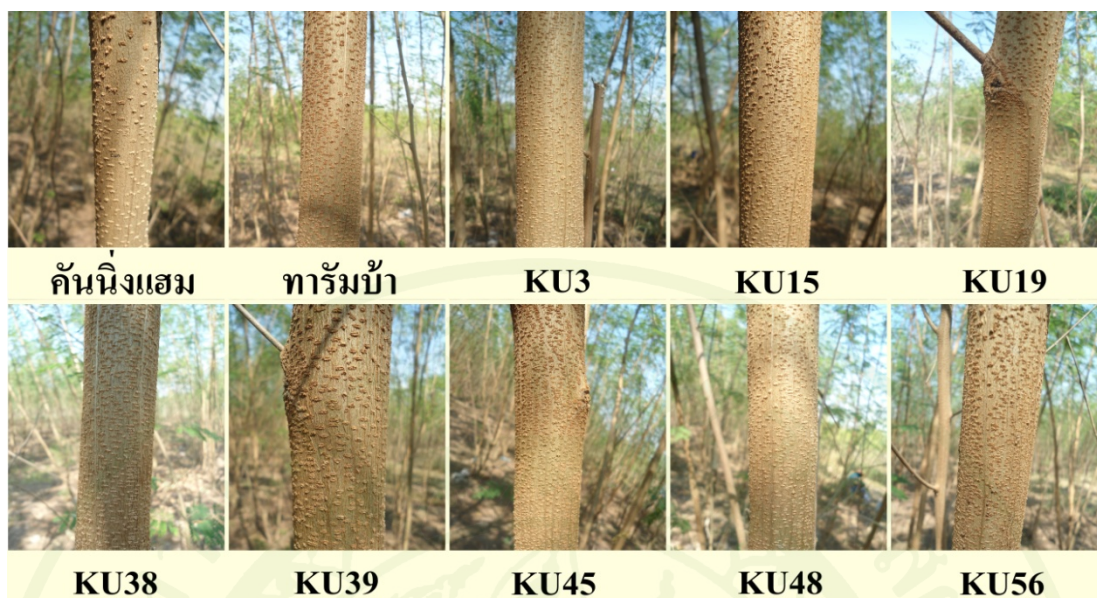


(1)



(2)

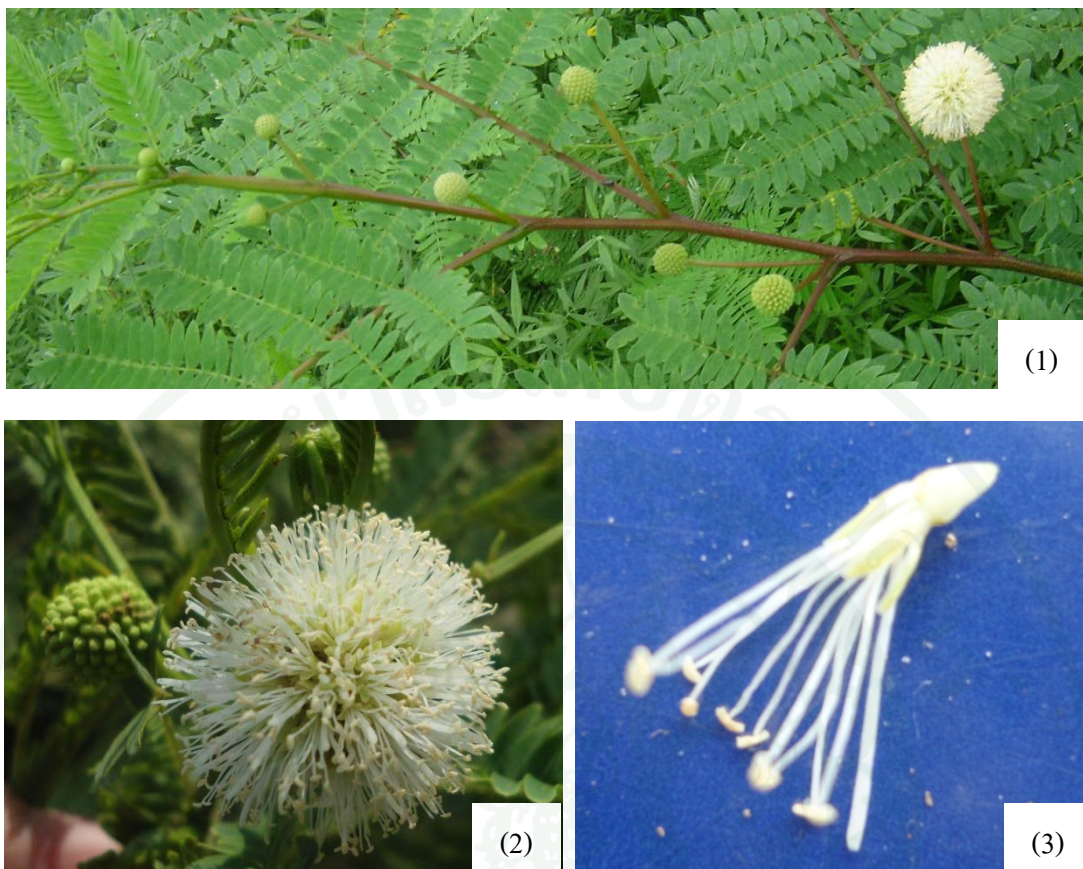
ภาพที่ 9 ลักษณะทรงต้น และการแตกแขนงของลำต้น (1) ลำต้นเดี่ยวและตั้งตรง และ (2) ลำต้นมีการแตกแขนงของลำต้นมากกว่าหนึ่ง



ภาพที่ 10 ลักษณะลายบนเปลือกของต้นกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์

2.3.3 ดอก

ดอกของกระถินมีลักษณะเป็นช่อ กระจุกแน่นรวมอยู่กันเป็นกลุ่ม (head) เมื่อดอกบานจะมีสีขาวอมเหลืองหรือสีครีม ซึ่งช่อดอกของกระถินจะเกิดบริเวณปลายยอด และฐานของก้านใบที่อยู่ใกล้กับบริเวณส่วนยอด การออกดอกของกระถินจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกันทั้งต้นโดยจะทยอยออกดอก กระถินในแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์มีระยะเวลาในการออกดอกแตกต่างกัน กระถินที่ออกดอกเร็วที่สุดคือ พันธุ์คันทิ้งแสม ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU19, KU45 และ KU56 เริ่มสังเกตพบการออกดอกในสัปดาห์ที่ 21 ภายหลังการย้ายปลูก (สิงหาคม 2554) โดยพันธุ์คันทิ้งแสมออกดอกจำนวนมาก ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU15, KU38, KU39, KU48 เริ่มพบการออกดอกในเดือนกันยายน 2554 (สัปดาห์ที่ 27 ภายหลังการย้ายปลูก) ซึ่งกระถินสายพันธุ์คันทิ้งแสมยังคงออกดอกอย่างต่อเนื่องทุกแปลงทดลอง ขณะที่สายพันธุ์ KU3 ออกดอกช้าที่สุด ในเดือนมกราคม 2555 กระถินยังคงออกดอกต่อเนื่องแต่จำนวนไม่มากเหมือนในช่วงฤดูฝน กระถินพันธุ์คันทิ้งแสมออกดอกทั้งปี และมีดอกจำนวนมาก ดอกอ่อน (ยังไม่บาน) มีลักษณะกลมสีเขียว



ภาพที่ 11 ลักษณะของดอก การติดดอก และช่อดอกของกระถิน (1) ลักษณะการเกิดดอกบริเวณปลายยอด การติดช่อดอก (2) ลักษณะดอกที่บานเต็มที่ และ (3) ลักษณะดอกกระถิน

2.3.4 ฝัก

ฝักของกระถินที่นำมาทดลองมีลักษณะแบบเดียวกัน โดยฝักจะมีลักษณะแบนและยาว ตรงบริเวณปลายฝักแหลม สีของฝักเป็นสีเขียวเมื่ออ่อน เมื่อแก่สีฝักจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 12) และฝักจะแตกตามแนวยาวของฝัก ความยาวและความกว้างของฝักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) โดยฝักของกระถินสายพันธุ์ KU45 มีความยาวและความกว้างมากที่สุด 2.61 และ 23.97 เซนติเมตร ตามลำดับ จำนวนฝักต่อหนึ่งช่อดอกของกระถินทั้ง 10 ชนิด มีตั้งแต่ 1-8 ฝัก โดยกระถินพันธุ์คันนิงแฮมมีจำนวนฝักมากที่สุด เนื่องจากติดดอกจำนวนมาก



ภาพที่ 12 ฝัก ลักษณะการติดฝักของกระถิน และจำนวนฝักในหนึ่งช่อดอก

2.3.5 เมล็ด

เมล็ดของกระถินมีลักษณะเป็นรูปร่างแบนและรี โดยปลายของเมล็ดด้านหนึ่งมน ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งแหลม เมล็ดกระถินมีสีเขียวขณะที่ยังอ่อนอยู่ แต่เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีเปลือกหุ้มเมล็ดที่แข็งขึ้น ในตารางที่ 3 แสดงขนาดของเมล็ดกระถินที่นำมาศึกษา พบว่า เมล็ดของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีขนาดใหญ่ที่สุด มีขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 2.61 และ 23.97 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่กระถินพันธุ์คันนิงแฮม และสายพันธุ์ KU48 มีขนาดเล็กที่สุด คือเมล็ดมีขนาดกว้าง และยาวเพียง 0.49 และ 0.95 เซนติเมตร ตามลำดับ เปลือกหุ้มเมล็ดของกระถินสายพันธุ์ KU19 มีสีอ่อนกว่ากระถินที่เหลืออีก 9 ชนิด



ภาพที่ 13 ลักษณะเมล็ดกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ทดลอง (1) การเปรียบเทียบลักษณะของเมล็ดกระถินที่ศึกษา (2) ลักษณะเมล็ดกระถินที่เจริญเติบโตเต็มที่ และ (3) เมล็ดกระถินที่เก็บไว้ถูกแมลงเข้าเจาะทำลาย

ตารางที่ 3 ขนาดฝัก และเมล็ด (เซนติเมตร) น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม) ของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์ / สายพันธุ์	ฝัก		เมล็ด		น้ำหนัก 100 เมล็ด
	ความกว้าง	ความยาว	ความกว้าง	ความยาว	
คันทิงแสม	2.19 bcd ^{1/}	17.75 ef	0.49 d	0.95 de	5.7 f
ทาร์มบ้า	2.20 bcd	21.58 bc	0.60 a	1.03 abc	7.2 a
KU3	2.33 bc	23.19 ab	0.54 bcd	0.93 e	6.5 cd
KU15	2.15 cd	20.42 cd	0.54 bcd	0.96 cde	5.9 ef
KU19	2.13 cd	19.47 de	0.51 cd	1.05 a	6.9 ab
KU38	2.12 cd	22.00 bc	0.54 bcd	0.98 bcde	6.6 cd
KU39	2.37 abc	19.52 de	0.59 ab	1.00 abcd	6.7 bc
KU45	2.61 a	23.97 a	0.55 abc	1.03 abc	6.4 cd
KU48	2.04 d	15.92 f	0.49 d	0.95 de	6.0 e
KU56	2.44 ab	20.56 cd	0.51 cd	1.04 ab	6.2 de
เฉลี่ย	2.26	20.44	0.54	0.99	6.41
F-test	**	**	**	**	**

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

3. การเจริญเติบโต

3.1 ความสูง

ในช่วงการย้ายปลูก กระถินมีความสูงของต้นกล้าอยู่ระหว่าง 30-35 เซนติเมตร การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นกระถินในระยะแรกหลังการย้ายปลูกจะเป็นไปอย่างช้าๆ โดยกระถินที่นำมาทดลองมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นแตกต่างกันในทางสถิติตั้งแต่ครั้งแรกที่เริ่มวัดความสูง (สัปดาห์ที่ 10 หลังการย้ายปลูก) โดยพบว่า การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกระถินพันธุ์คันทิงแสม ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39 และ KU56 ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ มีความสูงอยู่ระหว่าง 61-67 เซนติเมตร สูงกว่ากระถินสายพันธุ์ KU45 และ KU48 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) และสัปดาห์ที่ 17 หลังการย้ายปลูก (กรกฎาคม

2554) พบว่า กระจินสายพันธุ์ KU48 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงช้าที่สุด โดยต้นกระจินมีความสูงเพียง 73 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกระจินที่เหลืออีก 9 ชนิดซึ่งมีความสูงระหว่าง 86-111 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 21 หลังการย้ายปลูก (สิงหาคม 2554) กระจินสายพันธุ์ KU48 ยังคงมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นช้าที่สุด ในขณะที่กระจินพันธุ์คันทิงแฮมมีความสูงของต้นดีที่สุด 147 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับกระจินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU19, KU38 และ KU39 อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2554 กระจินทั้ง 10 ชนิดเริ่มมีการเจริญเติบโตดีขึ้น

กระจินพันธุ์คันทิงแฮมยังคงปรับตัวได้ดีและใกล้เคียงกับกระจินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39 และ KU45 แต่สูงกว่ากระจินสายพันธุ์ KU48 และ KU56 อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติจากการสุ่มวัดในเดือนกันยายน 2554 เมื่อกระจินมีอายุ 27 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก หลังการย้ายปลูกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 35 เป็นต้นไป กระจินที่นำมาศึกษามีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นลดลง อย่างไรก็ตาม ในสัปดาห์ที่ 44 หลังการย้ายปลูก (มกราคม 2555) กระจินพันธุ์ทาร์มบ้ามีความสูงของต้นดีที่สุด (338 เซนติเมตร) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกระจินพันธุ์คันทิงแฮม สายพันธุ์ KU3, KU19, KU38, KU39 และ KU45 และเหนือกว่ากระจินสายพันธุ์ KU15, KU48 และ KU56 อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ และในช่วง 2 เดือนสุดท้ายของการสุ่มวัดความสูงของกระจินในสัปดาห์ที่ 49-53 หลังการย้ายปลูก (กุมภาพันธ์-มีนาคม 2555) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในด้านการเจริญเติบโตทางความสูงระหว่างพันธุ์/สายพันธุ์ โดยพันธุ์ทาร์มบ้ายังคงมีความสูงมากที่สุด 381 เซนติเมตรและกระจินสายพันธุ์ KU56 มีการเจริญเติบโตต่ำสุด (295 เซนติเมตร) ในปีแรกของการทดลอง ส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นมากกว่า 3 เมตร มีเพียงกระจินสายพันธุ์ KU48 และ KU56 ซึ่งมีความสูงน้อยกว่า 3 เมตร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตทางด้านความสูง (เซนติเมตร) ของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์ / สายพันธุ์	สัปดาห์หลังการย้ายปลูก									สัปดาห์หลังการตัด								
	ปีที่ 1									ปีที่ 2								
	10	17	21	27 ^{2/}	35	40	44	49	53	10	17	-	-	-	-	-	-	53
	25 พ.ค.	8 ก.ค.	8 ส.ค.	15 ก.ย.	14 พ.ย.	15 ธ.ค.	13 ม.ค.	17 ก.พ.	19 มี.ค.	18 พ.ค.	14 ก.ค.							19 มี.ค.
	54	54	54	54	54	54	55	55	55	55	55							56
คันทิงแฮม	66 a ^{1/}	109 a	147 a	230 a	291 ab	293 ab	296 abc	296	308	204	321	-	-	-	-	-	-	527
ทาร์มบ้า	66 a	111 a	143 ab	219 ab	318 a	321 a	338 a	344	381	225	348	-	-	-	-	-	-	620
KU3	64 a	104 a	143 ab	216 ab	310 a	320 a	328 ab	329	369	236	345	-	-	-	-	-	-	593
KU15	61 abc	86 ab	117 bc	199 abc	274 ab	276 abc	278 bc	293	336	198	308	-	-	-	-	-	-	559
KU19	67 a	97 ab	134 ab	199 abc	282 ab	283 ab	284 abc	284	318	192	307	-	-	-	-	-	-	561
KU38	63 ab	89 ab	124 abc	197 abc	298 ab	300 ab	302 ab	308	344	213	330	-	-	-	-	-	-	575
KU39	64 a	104 a	137 ab	205 ab	306 ab	308 ab	311 ab	311	359	204	336	-	-	-	-	-	-	596
KU45	56 c	94 ab	119 bc	195 abc	289 ab	305 ab	306 ab	313	371	202	330	-	-	-	-	-	-	610
KU48	57 bc	73 b	97 c	163 c	221 c	236 c	239 c	251	296	203	325	-	-	-	-	-	-	568
KU56	63 ab	91 ab	116 bc	178 bc	254 bc	265 bc	269 bc	274	295	209	311	-	-	-	-	-	-	543
เฉลี่ย	62.7	95.8	127.7	200.1	284.3	290.7	295.1	300.3	337.7	208.6	326.1	-	-	-	-	-	-	575.2
F-test	**	*	**	*	**	**	*	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	ns

ตารางที่ 4 (ต่อ)

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ^{2/} แปลงค่าข้อมูลโดยการถอดรากที่สอง, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2555 กระถินทุกชนิดที่นำมาศึกษาสามารถฟื้นตัวและเจริญเติบโตขึ้นใหม่ได้อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 1) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกระถินจากการสุ่มวัด (ตารางที่ 4) ในสัปดาห์ที่ 10 และ 17 หลังการตัด กระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์มีความสูงอยู่ระหว่าง 192-236 และ 307-348 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งกระถินสายพันธุ์ KU3 และพันธุ์ทาร์มบ้ามีการเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นมากที่สุด ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU19 มีความสูงของต้นต่ำที่สุดทั้ง 2 ครั้งในการสุ่มวัดความสูง หลังจากนั้นกระถินมีความสูงจนไม่สามารถวัดความสูงได้จนถึงระยะการเก็บเกี่ยวในวันที่ 19 มีนาคม 2556 พบว่า กระถินที่ศึกษามีความสูงของต้นอยู่ระหว่าง 527-620 เซนติเมตร กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ายังคงมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงดีที่สุด ขณะที่กระถินพันธุ์คันทิงแฮมมีความสูงของต้นน้อยกว่ากระถินพันธุ์/สายพันธุ์อื่นๆ ที่เหลืออีก 9 ชนิดแต่ไม่แตกต่างในทางสถิติ ในปีที่ 2 กระถินสูงกว่าในปีแรกที่ทดลองอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงในแต่ละช่วง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของกระถินที่ศึกษาส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ยกเว้นในช่วงสัปดาห์ที่ 17-21 ซึ่งพบว่า กระถินสายพันธุ์ KU3 มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงดีที่สุดเฉลี่ยวันละ 1.25 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับพันธุ์คันทิงแฮม ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU15, KU19, KU38 และ KU39 และกระถินทั้ง 10 ชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงดีที่สุดระหว่างสัปดาห์ที่ 21-27 และ ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.64-2.20 เซนติเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5) หลังจากสัปดาห์ที่ 27 อัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกระถินทุกพันธุ์/สายพันธุ์เริ่มลดลง โดยมีค่าต่ำสุดเพียง 0.01-0.39 เซนติเมตรต่อวันในระหว่างสัปดาห์ที่ 44-49 และอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเริ่มดีขึ้นอีกครั้งในช่วงสัปดาห์ที่ 49-53 สำหรับในปีที่ 2 ของการทดลองไม่สามารถแสดงอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นกระถินได้ เนื่องจากกระถินมีความสูงไม่สามารถวัดได้

ตารางที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตในด้านความสูง (เซนติเมตรต่อวัน) ของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ในแต่ละช่วงสัปดาห์ที่เก็บข้อมูล

พันธุ์ / สายพันธุ์	สัปดาห์หลังการย้ายปลูก									สัปดาห์หลังการตัด								
	ปีที่ 1									ปีที่ 2								
	-	10-17	17-21	21-27	27-35	35-40	40-44	44-49	49-53	0-10	10-17	-	-	-	-	-	-	17-53
คันทิงแฮม	-	0.98	1.23	2.20	1.01 d ^{1/}	0.06	0.09	0.01	0.41	2.91	2.39	-	-	-	-	-	-	0.81
ทาร์มบ้า	-	1.00	1.05	2.00	1.60 a	0.10	0.57	0.18	1.22	3.21	2.51	-	-	-	-	-	-	1.07
KU3	-	0.91	1.25	1.91	1.58 ab	0.33	0.25	0.03	1.35	3.37	2.22	-	-	-	-	-	-	0.98
KU15	-	0.57	1.00	2.16	1.24 cd	0.08	0.06	0.42	1.46	2.83	2.26	-	-	-	-	-	-	0.99
KU19	-	0.68	1.19	1.72	1.38 abc	0.03	0.04	0.01	1.11	2.74	2.35	-	-	-	-	-	-	1.00
U38	-	0.58	1.15	1.92	1.68 a	0.06	0.06	0.17	1.22	3.04	2.39	-	-	-	-	-	-	0.97
KU39	-	0.90	1.07	1.78	1.68 a	0.09	0.08	0.01	1.61	2.92	2.69	-	-	-	-	-	-	1.02
KU45	-	0.85	0.80	2.01	1.57 abc	0.51	0.06	0.18	1.94	2.89	2.62	-	-	-	-	-	-	1.10
KU48	-	0.35	0.79	1.72	0.97 d	0.49	0.09	0.36	1.48	2.90	2.49	-	-	-	-	-	-	0.96
KU56	-	0.64	0.80	1.64	1.27 bcd	0.35	0.13	0.14	0.69	2.98	2.09	-	-	-	-	-	-	0.91
เฉลี่ย	-	0.75	1.03	1.91	1.40	0.21	0.14	0.15	1.25	2.98	2.40	-	-	-	-	-	-	0.98
F-test	-	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	ns

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

3.2 ขนาดลำต้น

จากผลการทดลองในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ในปีแรกของการทดลองกระถินสายพันธุ์ KU48 มีการเจริญเติบโตทางด้านขนาดลำต้นช้ากว่ากระถินที่เหลือทั้ง 9 พันธุ์/สายพันธุ์ในทุกครั้งของการสุ่มวัด แต่พบความแตกต่างในทางสถิติจากการสุ่มวัดในสัปดาห์ที่ 35 และ 49 หลังการย้ายปลูก (ตารางที่ 6) ดังนั้น เมื่อกระถินมีอายุครบ 1 ปี กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าจึงมีแนวโน้มที่จะมีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุด 2.1 เซนติเมตร และกระถินสายพันธุ์ KU48 มีขนาดลำต้นเล็กที่สุด 1.6 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ในปีที่ 2 ของการทดลอง พบว่า กระถินที่นำมาทดสอบมีขนาดลำต้นไม่แตกต่างกันในทางสถิติทุกครั้งของการสุ่มวัด (ตารางที่ 6) โดยในระยะ 16 สัปดาห์แรกภายหลังการตัด กระถินทั้ง 10 ชนิดมีขนาดลำต้นอยู่ระหว่าง 1.9-2.1 เซนติเมตร และมีขนาดลำต้นเพิ่มขึ้นหลังจากกระถินฟื้นตัวได้ประมาณ 6 เดือน (สัปดาห์ที่ 27 หลังการตัด) โดยมีขนาดลำต้นอยู่ระหว่าง 2.4-2.7 เซนติเมตร หลังจากนั้น กระถินทุกพันธุ์/สายพันธุ์มีขนาดลำต้นเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนกระทั่งถึงช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ 35 โดยมีขนาดลำต้นอยู่ระหว่าง 2.5-3.0 เซนติเมตร ซึ่งกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีแนวโน้มที่จะมีขนาดลำต้นใหญ่ที่สุด 3.0 เซนติเมตรเช่นเดียวกับในปีแรกและความสูงอย่างไรก็ตาม ขนาดลำต้นของกระถินในปีที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าการทดลองในปีแรกอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 6 การเจริญเติบโตทางด้านขนาดของลำต้น (เซนติเมตร) ของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์ / สายพันธุ์	สัปดาห์หลังการย้ายปลูก							สัปดาห์หลังการตัด						
	ปีที่ 1							ปีที่ 2						
	16	27	35	40	44	49	53	16	27	35	40	44	49	53
	26 มิ.ย.	15 ก.ย.	14 พ.ย.	15 ธ.ค.	13 ม.ค.	17 ก.พ.	19 มี.ค.	14 ก.ค.	14 ก.ย.	23 พ.ย.	24 ธ.ค.	11 ม.ค.	25 ก.พ.	19 มี.ค.
	54	54	54	54	55	55	55	55	54	55	55	55	55	55
คันทิงแฮม	-	0.9	1.5 a ^{1/}	1.6	1.7	1.6 abc	1.7	2.0	2.5	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6
ทาร์มบ้า	-	0.9	1.8 a	1.9	1.9	2.0 a	2.1	2.2	2.7	2.9	3.0	3.2	3.0	3.0
KU3	-	0.9	1.7 a	1.9	1.9	2.0 a	2.0	2.2	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7
KU15	-	0.9	1.5 a	1.7	1.6	1.6 abc	1.8	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6
KU19	-	0.8	1.6 a	1.7	1.7	1.6 abc	1.7	1.9	2.4	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6
U38	-	0.7	1.5 a	1.7	1.6	1.7 abc	1.9	2.1	2.5	2.4	2.7	2.9	2.7	2.6
KU39	-	0.9	1.6 a	1.9	1.8	1.9 ab	1.9	2.1	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.9
KU45	-	0.8	1.6 a	2.0	1.8	2.1 a	2.0	2.0	2.7	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8
KU48	-	0.5	1.1 b	1.4	1.3	1.2 c	1.6	2.0	2.7	2.7	2.5	2.3	2.5	2.5
KU56	-	0.6	1.4 a	1.6	1.6	1.5 bc	1.7	2.1	2.4	2.6	2.8	2.9	2.7	2.6
เฉลี่ย	-	0.79	1.53	1.74	1.69	1.72	1.84	2.06	2.57	2.60	2.66	2.73	2.71	2.69
F-test	-	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์, * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

3.3 จำนวนหน่อที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่หลังการตัด

จากการสุ่มนับจำนวนหน่อหรือกิ่งที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จากแกนกลางของลำต้น ภายหลังการตัดกระถินในช่วงมีนาคม 2555 พบว่า จำนวนหน่อต่อตอของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ใกล้เคียงกันในทุกครั้งของการสุ่มนับ ดังแสดงในตารางที่ 8 ภายหลังการตัด 4 สัปดาห์กระถินมีจำนวนหน่อต่อตอระหว่าง 12-15 หน่อ และลดเหลือ 8-11 หน่อในสัปดาห์ที่ 8 หลังการตัด และเมื่อกระถินมีอายุเพิ่มขึ้นจำนวนหน่อมีจำนวนลดลงเหลือเพียง 3-4 หน่อต่อตอหลังการตัด 25 สัปดาห์ ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปีที่ 2 เดือนมีนาคม 2556 จำนวนต้นที่อยู่บนตอกระถินมีจำนวนเพียง 2-3 หน่อต่อตอ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 จำนวนกิ่งใหม่หรือลำต้นที่เจริญเติบโตขึ้นใหม่จากตอเดิมของกระถินภายหลังการตัด
(หน่วยต่อตอ)

พันธุ์ / สายพันธุ์	สัปดาห์หลังการตัด						
	4	8	16	25	35	42	52
	20 เม.ย. 55	18 พ.ค. 55	14 ก.ค. 55	14 ก.ย. 55	23 พ.ย. 55	11 ม.ค. 56	19 มี.ค. 56
ก้านนิ่งแสม	14	9	3	3	3	2	2.3 abc ^{1/}
ทาร์มบ้า	14	9	4	3	3	3	2.3 abc
KU3	15	11	4	3	3	3	2.0 bc
KU15	12	8	4	4	3	3	2.8 ab
KU19	12	8	4	4	3	3	2.5 abc
U38	14	8	4	4	3	3	2.8 ab
KU39	12	9	4	4	3	2	3.0 a
KU45	13	8	3	4	3	3	2.3 abc
KU48	12	8	4	3	3	2	1.8 c
KU56	13	9	4	3	3	2	2.3 abc
เฉลี่ย	13.1	8.7	3.8	3.5	3.0	2.6	2.4
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์

4. ผลผลิต

4.1 ผลผลิตน้ำหนักสด

จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อกระถินมีอายุครบ 1 ปี (มีนาคม 2555) พบว่า มีกระถินพันธุ์ ทาร์มบ้าเพียงพันธุ์เดียวที่ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสดมากกว่า 3 ตันขึ้นไป รองลงมาได้แก่ กระถินสายพันธุ์ KU3 และ KU45 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมอยู่ระหว่าง 2.5-2.6 ตันต่อไร่ขึ้นไป ในขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 และ KU56 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมไม่เกิน 2.0 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 8) ส่วนพันธุ์/สาย

พันธุ์ที่เหลือให้ผลผลิตชีวมวลรวมระหว่าง 2.0-2.3 ตันต่อไร่ แต่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในระหว่างพันธุ์/สายพันธุ์ที่ทดลอง ในด้านองค์ประกอบผลผลิตสด พบว่า ผลผลิตชีวมวลรวมสดส่วนใหญ่มาจากส่วนของลำต้นเฉลี่ย 53.43 เปอร์เซ็นต์ รองมาได้แก่ ส่วนใบ 33.92 เปอร์เซ็นต์ และกิ่งก้าน มีสัดส่วนน้อยที่สุด 12.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กระถินทั้ง 10 ชนิดให้ผลผลิตส่วนใบ กิ่งก้านสดไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 8) โดยให้ผลผลิตทั้ง 2 ส่วนอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 และ 0.2-0.4 ตันต่อไร่ ตามลำดับ กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตใบสูงสุด ขณะที่พันธุ์คันนิงแฮมให้ผลผลิตในส่วนของกิ่งก้านสูงสุด สำหรับผลผลิตส่วนลำต้นของกระถินที่นำมาศึกษา พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีผลผลิตลำต้นสูงสุด 1.8 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 8) รองลงมาได้แก่สายพันธุ์ KU3, KU45, KU39, KU38, KU15, KU19 และพันธุ์คันนิงแฮม ซึ่งมีผลผลิตส่วนลำต้นไม่แตกต่างกันและให้ผลผลิตในส่วนลำต้นมากกว่าหนึ่งตันขึ้นไป ขณะที่สายพันธุ์ KU48 และ KU56 ให้ผลผลิตน้อยกว่า (0.6 และ 0.9 ตันต่อไร่ ตามลำดับ) โดยผลผลิตส่วนลำต้นของกระถินทั้ง 10 ชนิดที่นำทดลอง เป็นผลผลิตที่มาจากต้นกระถินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตรเหนือพื้นดินน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นเล็ก) มากกว่ากระถินที่มาจากต้นกระถินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นใหญ่) กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ผลผลิตลำต้นเล็กสูงสุด คือ 1.3 ตันต่อไร่ ไม่แตกต่างกับพันธุ์คันนิงแฮม ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU15, KU19, KU38, KU39, KU45 และ KU56 และให้ผลผลิตลำต้นเล็กมากกว่าสายพันธุ์ KU48 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.5 ตันต่อไร่) ในขณะที่ผลผลิตส่วนลำต้นใหญ่ไม่ได้วิเคราะห์ในทางสถิติ เพราะกระถินบางสายพันธุ์ไม่มีผลผลิตลำต้นใหญ่ อย่างไรก็ตาม กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีลำต้นขนาดใหญ่มากที่สุด (0.5 ตันต่อไร่)

ตารางที่ 8 ผลผลิตน้ำหนัสด และองค์ประกอบผลผลิตของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ (กิโลกรัมต่อไร่)

พันธุ์ / สายพันธุ์	ปีที่ 1						ปีที่ 2					
	ผลผลิตน้ำหนัสด (กิโลกรัมต่อไร่)						ผลผลิตน้ำหนัสด (กิโลกรัมต่อไร่)					
	ใบ	กิ่งก้าน	ลำต้นเล็ก	ลำต้นใหญ่	ลำต้นรวม ^{2/}	ชีวมวลรวม	ใบ	กิ่งก้าน	ลำต้นเล็ก	ลำต้นใหญ่	ลำต้นรวม	ชีวมวลรวม
คันทิงแสม	889	418	1,031 a ^{1/}	38	1,069 abc	2,376	1,126	813 bc	1,862 ab	2,798 d	4,660	6,600
ทาร์มบ้า	949	267	1,295 a	509	1,804 a	3,020	1,215	576 d	960 d	6,028 a	6,988	8,778
KU3	836	262	1,314 a	221	1,535 ab	2,633	1,441	712 bcd	1,289 bcd	5,736 ab	7,025	9,178
KU15	699	269	928 ab	171	1,099 abc	2,067	1,180	864 abc	2,076 a	3,731 bcd	5,806	7,850
KU19	637	320	835 ab	252	1,087 abc	2,044	1,266	830 bc	1,409 bcd	4,439 abcd	5,848	7,944
U38	727	283	1,004 a	120	1,124 abc	2,134	1,294	926 ab	1,756 abc	4,085 abcd	5,841	8,061
KU39	743	252	998 a	331	1,329 ab	2,324	1,273	668 cd	1,169 cd	5,121 abc	6,290	8,231
KU45	782	312	1,154 a	262	1,416 ab	2,510	1,165	858 abc	1,293 bcd	5,346 abc	6,640	8,663
KU48	739	225	496 b	120	616 c	1,580	1,399	1,067 a	1,249 bcd	4,174 abcd	5,423	7,889
KU56	624	239	930 ab	0	930 bc	1,793	1,248	664 cd	1,782 abc	3,573 cd	5,356	7,268
เฉลี่ย	762.5	284.7	998.5	202.4	1,200.9	2,248.1	1,260.7	797.8	1,484.5	4,503.1	5,987.7	8,046.2
F-test	ns	ns	*	-	*	ns	ns	**	**	*	ns	ns

ตารางที่ 8 (ต่อ)

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ^{2/} แปลงค่าข้อมูลโดยการถอดรากที่สอง, ns "ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

ในปีที่ 2 ผลผลิตน้ำหนัสดของชีวมวลรวมเพิ่มขึ้น 3-4 เท่าตัวเมื่อเทียบกับปีแรก และไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในระหว่างกระถินที่นำมาศึกษาขกเว้นในบางองค์ประกอบผลผลิต (กิ่งก้าน ลำต้นเล็กและลำต้นใหญ่) (ตารางที่ 8) กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสูงสุด 9 ต้นต่อไร่ ส่วนกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU38, KU39 และ KU45 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมมากกว่า 8 ต้นขึ้นไป ขณะที่กระถินพันธุ์คันทิงแฮมให้ผลผลิตชีวมวลรวมต่ำสุด (6.6 ต้นต่อไร่) ส่วนสายพันธุ์ที่เหลือให้ผลผลิตระหว่าง 7.3-7.9 ต้นต่อไร่ และองค์ประกอบผลผลิตในปีที่ 2 คล้ายกับในปีแรก คือ ผลผลิตในของส่วนลำต้นมีปริมาณมากที่สุด 74.42 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ใบ 15.67 เปอร์เซ็นต์ และกิ่งก้าน 9.92 เปอร์เซ็นต์

กระถินทุกพันธุ์/สายพันธุ์ที่นำมาทดลอง มีผลผลิตน้ำหนัสดส่วนใบมากกว่าหนึ่งต้นขึ้นไป โดยกระถินสายพันธุ์ KU3 ยังคงมีผลผลิตใบสูงสุด (1.4 ต้นต่อไร่) ขณะที่พันธุ์คันทิงแฮมให้ผลผลิตส่วนใบน้อยที่สุด (1.1 ต้นต่อไร่) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตใบของกระถินทั้ง 10 ชนิดไม่แตกต่างในทางสถิติ ซึ่งในปีแรกให้ผลผลิตใบสดต่ำกว่าปีที่ 2 ประมาณ 1-2 เท่า ขณะที่ผลผลิตส่วนกิ่งก้านของกระถินทั้ง 10 ชนิดมีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยกระถินสายพันธุ์ KU48 ให้ผลผลิตของกิ่งก้านมากที่สุด (1.1 ต้นต่อไร่) แต่ไม่แตกต่างกับกระถินสายพันธุ์ KU15, KU38 และ KU45 ส่วนกระถินพันธุ์ทาร์มบ้าให้ผลผลิตกิ่งก้านน้อยที่สุดเพียง 0.6 ต้นต่อไร่

กระถินสายพันธุ์ KU3 ยังคงให้ผลผลิตส่วนลำต้นมากที่สุด 7.0 ต้นต่อไร่ นอกจากนั้นกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU39 และ KU45 ให้ผลผลิตลำต้นมากกว่า 6.0 ต้นขึ้นไป ส่วนกระถินพันธุ์คันทิงแฮมมีผลผลิตลำต้นน้อยสุดเพียง 4.7 ต้นต่อไร่ และกระถินที่เหลือมีผลผลิตลำต้นระหว่าง 5.3-5.9 ต้นต่อไร่ โดยผลผลิตส่วนลำต้นของกระถินเป็นผลผลิตที่มาจากต้นกระถินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นใหญ่) กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า ยังคงให้ผลผลิตลำต้นใหญ่มากที่สุด (6.0 ต้นต่อไร่) เช่นเดียวกับในปีที่แรก และไม่แตกต่างในทางสถิติกับกระถินสายพันธุ์ KU3, KU19, KU38, KU39, KU45 และ KU48 ในขณะที่กระถินพันธุ์คันทิงแฮมให้ผลผลิตลำต้นใหญ่น้อยที่สุดเพียง 2.8 ต้นต่อไร่ อย่างไรก็ตาม กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ากลับให้ผลผลิตลำต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นเล็ก) เล็กน้อยที่สุด (1.0 ต้นต่อไร่) ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU15 ให้ผลผลิตลำต้นเล็กมากที่สุด 2.1 ต้นต่อไร่ และไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันทิงแฮม สายพันธุ์ KU38 และ KU56 ผลผลิตส่วนลำต้นในปีที่ 2 เพิ่มขึ้นมากกว่าในปีแรกอย่างเห็นได้ชัด

4.2 ผลผลิตน้ำหนักรวม

ผลการทดลองในตารางที่ 9 พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลผลิตน้ำหนักรวมทั้ง 2 ปีที่ทดลอง กล่าวคือ ในปีแรก ผลผลิตชีวมวลรวมแห้งของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีมากที่สุด 1.4 ตันต่อไร่ ในขณะที่สายพันธุ์ KU48 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมแห้งต่ำสุดเพียง 0.6 ตันต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในระหว่างกระถินที่นำมาศึกษา ในด้านองค์ประกอบผลผลิตแห้ง พบว่า ลำต้นเป็นส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดเฉลี่ย 61.52 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ใบ และกิ่งก้าน (26.29 และ 12.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของผลผลิตส่วนใบ และกิ่งก้านของกระถินทั้ง 10 ชนิด กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตใบสูงสุด ส่วนกระถินพันธุ์คันทิงแฮมให้ผลผลิตในส่วนของกิ่งก้านสูงสุด นอกจากนั้นกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ายังเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตลำต้นแห้งสูงสุด (0.9 ตันต่อไร่) และไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันทิงแฮม สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45 และ KU56 ซึ่งผลผลิตส่วนลำต้นอยู่ระหว่าง 0.5-0.8 ตันต่อไร่ ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 ให้ผลผลิตส่วนลำต้นน้อยที่สุดเพียง 2.9 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 9)

ในปีที่ 2 ไม่พบความแตกต่างในด้านผลผลิตชีวมวลรวม ลำต้นรวมและใบระหว่างกระถินทั้ง 10 ชนิด (ตารางที่ 9) กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสูงสุด 4.9 ตันต่อไร่ ขณะที่กระถินพันธุ์คันทิงแฮมให้ผลผลิตชีวมวลรวมเพียง 3.4 ตันต่อไร่ ผลผลิตส่วนใบของกระถินที่ศึกษามีค่าระหว่าง 0.4-0.6 ตันต่อไร่ ในขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 เป็นสายพันธุ์ที่มีผลผลิตกิ่งก้านมากที่สุด (0.6 ตันต่อไร่) และไม่แตกต่างกับสายพันธุ์ KU15, KU38 และ KU45 กระถินที่นำมาศึกษามีผลผลิตลำต้นไม่แตกต่างกันและให้ผลผลิตระหว่าง 2.4-3.9 ตันต่อไร่ โดยกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามียผลผลิตลำต้นมากที่สุดซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นที่มีขนาดลำต้นมากกว่า 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นใหญ่) ส่วนพันธุ์คันทิงแฮมมีลำต้นขนาดเล็กน้อยที่สุด (1.5 ตันต่อไร่) ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU15 ให้ผลผลิตลำต้นที่มาจากต้นที่มีขนาดลำต้นน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร (ลำต้นเล็ก) มากที่สุด และไม่ต่างกับกระถินพันธุ์คันทิงแฮม สายพันธุ์ KU38 และ KU56 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในด้านชีวมวลรวมพบว่า กระถินที่ให้ผลผลิตน้ำหนักรวมมากกว่า 4 ตันขึ้นไปมี 8 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39, KU45 และ KU48 โดยให้ผลผลิตระหว่าง 4.2-4.9 ตันต่อไร่ และมีส่วนลำต้นที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ระหว่าง 3.1-4.0 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง และองค์ประกอบผลผลิตของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ (กิโลกรัมต่อไร่)

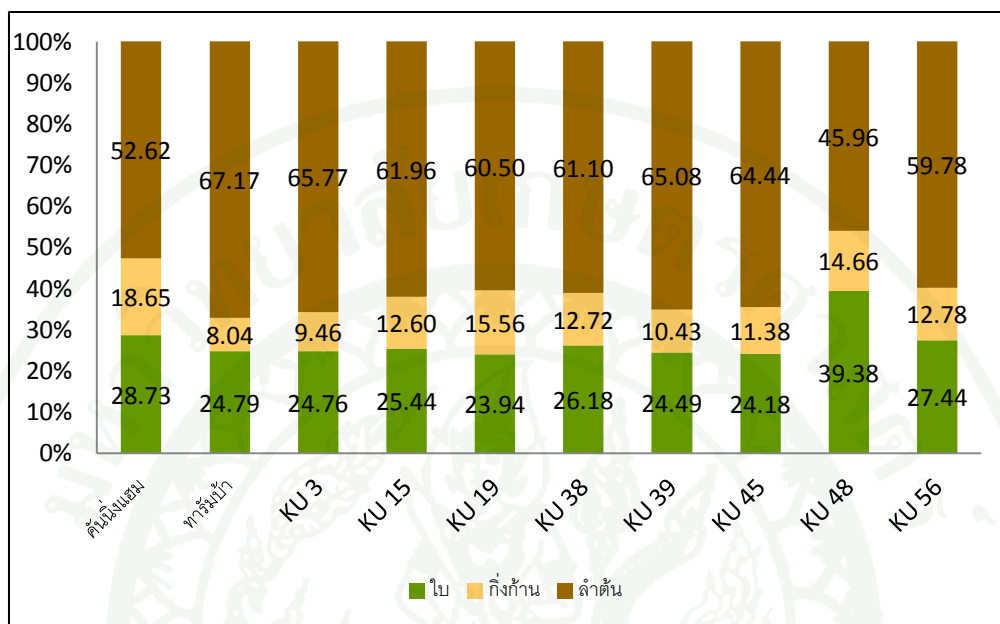
พันธุ์ / สายพันธุ์	ปีที่ 1						ปีที่ 2					
	ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่)						ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่)					
	ใบ	กิ่งก้าน	ลำต้นเล็ก	ลำต้นใหญ่	ลำต้นรวม ^{2/}	ชีวมวลรวม	ใบ	กิ่งก้าน	ลำต้นเล็ก	ลำต้นใหญ่	ลำต้นรวม	ชีวมวลรวม
คันทิงแฮม	285	185	502 ab ^{1/}	20	522 ab	992	413	446 bcd	993 ab	1,500 d	2,493	3,352
ทาร์มบ้า	357	116	687 a	280	967 a	1,440	472	320 d	543 c	3,407 a	3,951	4,742
KU3	310	118	704 a	118	822 a	1,250	563	383 cd	718 bc	3,223 ab	3,941	4,887
KU15	246	122	504 ab	94	598 ab	966	450	491 abc	1,201 a	2,187 bcd	3,388	4,328
KU19	227	148	440 ab	134	574 ab	949	476	421 bcd	802 bc	2,558 abcd	3,360	4,257
U38	260	126	540 a	66	606 ab	992	512	525 ab	1,001 ab	2,366 abcd	3,367	4,404
KU39	280	119	553 a	190	743 a	1,142	485	347 d	661 bc	2,922 abc	3,583	4,414
KU45	292	138	637 a	142	779 a	1,209	469	518 abc	745 bc	3,103 abc	3,847	4,835
KU48	249	92	233 b	57	290 b	631	520	584 a	669 bc	2,391 abcd	3,060	4,164
KU56	233	108	508 ab	0	508 ab	849	472	383 cd	1,010 ab	2,039 cd	3,049	3,905
เฉลี่ย	273.9	127.2	530.8	110.2	640.9	1,041.8	483.2	441.6	834.3	2,569.7	3,403.9	4,328.8
F-test	ns	ns	*	-	*	ns	ns	**	**	*	ns	ns

ตารางที่ 9 (ต่อ)

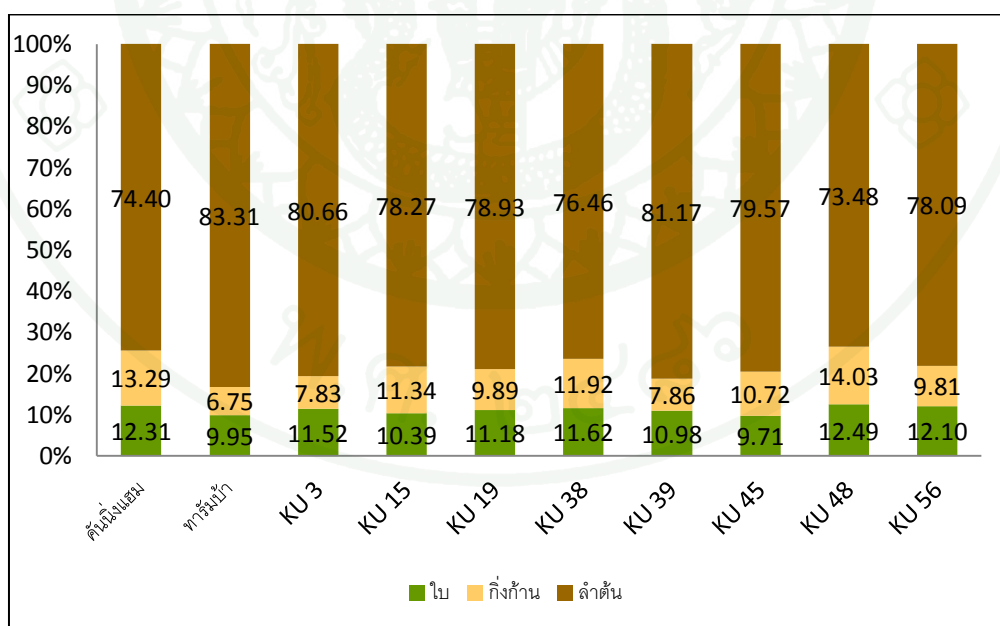
หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test,

^{2/} แปลงค่าข้อมูลโดยการถอดรากที่สอง, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

กระถินแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์ มีสัดส่วนขององค์ประกอบทางด้านผลผลิตน้ำหนักแห้ง
ชีวมวลรวมส่วนใหญ่มาจากส่วนลำต้น (ภาพที่ 14) รองลงมาคือส่วนใบ และกิ่งก้าน ทั้ง 2 ปี



(1)



(2)

ภาพที่ 14 สัดส่วนขององค์ประกอบผลผลิตน้ำหนักแห้งของกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

(1) ปีที่ 1 และ (2) ปีที่ 2

5. คุณภาพเนื้อไม้

5.1 ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเนื้อไม้เฉพาะผลผลิตในปีที่ 1 พบว่า กระถินสายพันธุ์ KU56 มีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงสุด 0.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรแต่ไม่แตกต่างกับกระถินอีก 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์คันทันงาม ทารมบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15 และ KU39 ซึ่งมีความหนาแน่นของเนื้อไม้อยู่ระหว่าง 0.46-0.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU38 มีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำสุด 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับกระถินสายพันธุ์ KU48 ไม่มีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ เนื่องจากไม่มีตัวอย่างไม้สำหรับวิเคราะห์ค่าดังกล่าว (ตารางที่ 10)

5.2 ค่าพลังงานความร้อน (heat value)

กระถินที่นำมาศึกษาให้ค่าพลังงานความร้อนของเนื้อไม้ใกล้เคียงกัน แม้จะแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยกระถินสายพันธุ์ KU3 ให้พลังงานความร้อนในเนื้อไม้สูงสุด 4.37 กิโลแคลอรีต่อกรัม ไม่แตกต่างจากพันธุ์คันทันงาม ทารมบ้า และสายพันธุ์ KU39 แต่แตกต่างในทางสถิติกับกระถินที่เหลืออีก 6 ชนิด ในขณะที่เนื้อไม้ของกระถินสายพันธุ์ KU56 ให้ค่าพลังงานความร้อนน้อยที่สุด 4.29 กิโลแคลอรีต่อกรัม

เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนมาพิจารณาร่วมกับผลผลิตต่อพื้นที่ เพื่อคิดเป็นผลผลิตค่าพลังงาน (ตารางที่ 10) พบว่า กระถินพันธุ์ทารมบ้ามีค่าพลังงานความร้อนต่อพื้นที่สูงสุด (4,215 กิโลแคลอรีต่อไร่) รองลงมาคือกระถินสายพันธุ์ KU3 ส่วนกระถินที่ให้ผลผลิตพลังงานต่ำที่สุดคือกระถินสายพันธุ์ KU48 โดยให้ผลผลิตเพียง 1,255 กิโลแคลอรีต่อไร่

5.3 ปริมาณเถ้า

จากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในไม้กระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ พบว่า ไม่พบความแตกต่างของปริมาณเถ้าที่มีในเนื้อไม้กระถินที่นำมาทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.32-1.95 เปอร์เซ็นต์ กระถินสายพันธุ์ KU39 มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเถ้าต่ำสุด 1.26 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 มีแนวโน้มจะมีปริมาณเถ้าสูงสุด 1.95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ความหนาแน่น ค่าพลังงานความร้อน ผลผลิตค่าพลังงานความร้อน และปริมาณเถาของ
ไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ เฉพาะปีที่ 1

พันธุ์/สายพันธุ์	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ผลผลิตค่าพลังงาน ความร้อน (กิโลแคลอรีต่อไร่) ^{2/}	เถา (% วัตถุแห้ง)
คันทิงแสม	0.46 ab ^{1/}	4.36 ab	2,277 ab	1.55
ทาร์มบ้า	0.46 ab	4.36 ab	4,215 a	1.61
KU3	0.46 ab	4.37 a	3,592 a	1.41
KU15	0.47 ab	4.31 def	2,575 ab	1.43
KU19	0.44 bc	4.30 ef	2,469 ab	1.44
KU38	0.42 c	4.32 cdef	2,620 ab	1.66
KU39	0.47 ab	4.34 abcd	3,223 a	1.26
KU45	0.45 bc	4.33 bcde	3,372 a	1.32
KU48	na	4.33 bcde	1,255 b	1.95
KU56	0.49 a	4.29 f	2,177 ab	1.53
เฉลี่ย	0.46	4.33	2,777.5	1.52
F-test	*	**	*	ns

หมายเหตุ ^{1/}ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ^{2/}แปลงข้อมูลโดยการถอดรากที่สอง, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

5.4 องค์ประกอบทางเคมี

ปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในเนื้อไม้กระถิน แสดงในตารางที่ 11 พบว่า ปริมาณธาตุต่างๆ มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ยกเว้น ไฮโดรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม โดยออกซิเจนเป็นธาตุที่พบในปริมาณมากที่สุด ส่วนโซเดียมเป็นธาตุที่พบน้อยที่สุด กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า และสายพันธุ์ KU38 มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด 45.58 เปอร์เซนต์ไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันทิงแสม สายพันธุ์ KU3 และ KU15 แต่มีปริมาณมากกว่ากระถินสายพันธุ์ KU19, KU39, KU45, KU48 และ

KU56 อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ปริมาณไฮโดรเจนมีค่าระหว่าง 6.89-7.22 เปอร์เซ็นต์ โดย
 กระถินสายพันธุ์ KU3 มีแนวโน้มมีปริมาณสูงสุด ส่วนกระถินสายพันธุ์ KU48 มีปริมาณไนโตรเจน
 มากที่สุด 0.83 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันนิงแฮม และสายพันธุ์ KU19 ขณะที่กระถิน
 สายพันธุ์ KU45 มีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด (0.60 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณออกซิเจนพบมากใน
 กระถินสายพันธุ์ KU56 (47.59 เปอร์เซ็นต์) ส่วนพันธุ์ที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยที่สุดคือ กระถินสาย
 พันธุ์ KU3 ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนเพียง 46.46 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11)

สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม
 ในเนื้อไม้กระถินทั้ง 10 ชนิดพบในปริมาณน้อยมากคือไม่เกิน 0.50 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (ตาราง
 ที่ 11) กระถินที่นำมาศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าระหว่าง
 0.05-0.11 เปอร์เซ็นต์ และ 0.23-0.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณซัลเฟอร์พบมากใน
 กระถินพันธุ์คันนิงแฮม 0.09 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างกับกระถินสายพันธุ์ KU19 และ KU48 ส่วน
 กระถินสายพันธุ์ KU15 มีปริมาณซัลเฟอร์น้อยที่สุด (0.06 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณแคลเซียมพบมาก
 ที่สุดในกระถินสายพันธุ์ KU48 มีปริมาณ 0.13 เปอร์เซ็นต์แตกต่างกับกระถินที่เหลืออย่างมี
 นัยสำคัญ ซึ่งมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.05-0.08 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นกระถินสายพันธุ์ KU48 ยังมี
 ปริมาณแมกนีเซียมสูงสุด 0.17 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่แตกต่างจากพันธุ์คันนิงแฮม ทารัมบ้า สายพันธุ์
 KU3, KU38 และ KU56 ในขณะที่ปริมาณโซเดียมพบเพียง 0.01 หรือน้อยกว่า (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์ / สายพันธุ์	C	H	N	O	S	P	K	Ca	Mg	Na
% วัตถุแห้ง										
ก้านนิ่งแฮม	45.45 a ^{1/}	6.89	0.73 ab	46.84 b	0.09 a	0.07	0.27	0.07 b	0.14 ab	0.01
ทาร์มบ้า	45.58 a	7.18	0.71 bc	46.47 b	0.07 bc	0.08	0.29	0.05 b	0.15 a	trace
KU3	45.55 a	7.22	0.71 bc	46.46 b	0.07 bc	0.06	0.25	0.05 b	0.14 ab	0.01
KU15	45.48 a	7.16	0.66 bc	46.65 b	0.06 c	0.05	0.23	0.08 b	0.10 bc	0.01
KU19	44.83 b	7.10	0.73 ab	47.27 a	0.08 ab	0.08	0.24	0.07 b	0.10 bc	0.01
KU38	45.58 a	7.04	0.61 bc	46.70 b	0.07 bc	0.11	0.35	0.07 b	0.13 abc	0.01
KU39	44.90 b	7.11	0.61 bc	47.31 a	0.07 bc	0.06	0.25	0.05 b	0.09 c	0.01
KU45	44.85 b	7.14	0.60 c	47.34 a	0.07 bc	0.06	0.23	0.06 b	0.10 bc	0.01
KU48	44.65 b	7.02	0.83 a	47.41 a	0.08 ab	0.09	0.40	0.13 a	0.17 a	0.01
KU56	44.60 b	7.04	0.70 bc	47.59 a	0.07 bc	0.08	0.28	0.08 b	0.12 abc	0.01
เฉลี่ย	45.15	7.09	0.69	47.00	0.07	0.07	0.28	0.07	0.12	0.01
F-test	**	ns	**	**	**	ns	ns	*	*	-

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณเชื้อใยที่พบในไม้ของกระถินที่นำมาศึกษา พบว่า กระถินมีปริมาณเชื้อใยทั้ง Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเซลลูโลส (cellulose) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ยกเว้น Acid Detergent Lignin (ADL) หรือลิกนิน ซึ่งพบว่า กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ปริมาณลิกนินสูงที่สุด (26.67 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ สายพันธุ์ KU19 ให้ปริมาณลิกนินน้อยที่สุด คือ 18.95 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันทันแสม สายพันธุ์ KU38, KU45, KU48 และ KU56

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีในด้านเชื้อใยของไม้กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

พันธุ์ / สายพันธุ์	NDF	ADF	ADL	เฮมิเซลลูโลส	เซลลูโลส
			% วัตถุแห้ง		
คันทันแสม	74.62	65.35	21.12 bcd ^{1/}	9.27	44.23
ทาร์มบ้า	74.36	65.52	22.93 bc	8.84	42.59
KU3	74.04	65.23	26.67 a	8.81	38.56
KU15	77.08	68.07	23.00 bc	9.02	45.07
KU19	77.63	64.19	18.95 d	13.44	45.24
KU38	77.88	64.40	20.26 cd	13.48	44.14
KU39	75.84	63.08	23.45 b	12.76	39.63
KU45	76.07	65.66	20.45 cd	10.41	45.22
KU48	75.14	64.76	21.39 bcd	10.38	43.37
KU56	70.62	59.52	21.05 bcd	11.11	38.47
เฉลี่ย	75.33	64.58	21.93	10.75	42.65
F-test	ns	ns	**	ns	ns

หมายเหตุ ^{1/}ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์

6. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

6.1 ผลผลิตชีวมวลรวมกับการเจริญเติบโต

จากตารางที่ 13 ในปีที่ 1 ผลผลิตชีวมวลรวมของกระถินทั้ง 10 ชนิดมีสหสัมพันธ์กับความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.912^{**}$) คือมีสหสัมพันธ์ในทางบวกและมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่า ถ้ากระถินมีความสูงเพิ่มขึ้นหรือลดลงผลผลิตชีวมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วย ในปีที่ 2 ผลผลิตชีวมวลรวมกับความสูงของกระถินที่นำมาทดลองยังคงมีสหสัมพันธ์สูงเช่นเดียวกับในปีที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.903^{**}

ผลผลิตชีวมวลรวมกับขนาดลำต้นของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ในปีที่ 1 มีความสัมพันธ์ในลักษณะเช่นเดียวกันกับผลผลิตชีวมวลรวมกับความสูง คือ มีสหสัมพันธ์สูงในทางบวกและมีค่าเข้าใกล้ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.936^{**} แต่ในปีที่ 2 แม้จะมีสหสัมพันธ์ทางบวกเช่นเดียวกับในปีที่ 1 แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.538 (ตารางที่ 13)

6.2 ผลผลิตชีวมวลรวมกับผลผลิตส่วนใบ กิ่งก้าน และลำต้น

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตชีวมวลรวมแห้งกับผลผลิตส่วนใบในปีแรกมีค่าเท่ากับ 0.850^{**} และในปีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.605^{*} แสดงว่า ผลผลิตชีวมวลรวมมีสหสัมพันธ์สูงในทางบวกกับผลผลิตส่วนใบอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ ผลผลิตชีวมวลรวมแห้งกับผลผลิตส่วนกิ่งก้านของกระถินที่นำมาทดลอง ในปีที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียง 0.155 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 นั่นคือผลผลิตชีวมวลรวมแห้งกับผลผลิตส่วนกิ่งก้านมีสหสัมพันธ์น้อย ส่วนในปีที่ 2 ผลผลิตทั้ง 2 ส่วน มีสหสัมพันธ์น้อยในทางตรงกันข้าม คือมีค่าเท่ากับ -0.133 (ตารางที่ 13)

ผลผลิตชีวมวลรวมกระถินที่นำมาทดลองมีสหสัมพันธ์กับผลผลิตส่วนลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.988^{**}$) ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตชีวมวลรวม และผลผลิตลำต้นของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ มีสหสัมพันธ์สูงในทางบวก และในปีที่ 2 ผลผลิตชีวมวลรวมกับผลผลิตลำต้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกับในปีแรก คือมีค่าเท่ากับ 0.977^{**}

6.3 ผลผลิตชีวมวลรวมกับคุณภาพเนื้อไม้

ผลผลิตชีวมวลรวมกับค่าพลังงานความร้อนของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ มีสหสัมพันธ์ทางบวก (ตารางที่ 13) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.462 ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตชีวมวลรวมกับความหนาแน่นเนื้อไม้มีสหสัมพันธ์น้อยในทางลบ มีค่าเท่ากับ -0.074

6.4 ขนาดลำต้นกับความสูงของต้นกระถิน

จากตารางที่ 13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกระถินทั้ง 10 ชนิดที่นำมาทดลอง ที่อายุ 1 ปี มีสหสัมพันธ์กับความสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.971^{**}$) และในปีที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับความสูงของกระถินมีค่า 0.788^{**} มีสหสัมพันธ์สูงในทางบวกเช่นเดียวกับในปีแรก

6.5 ขนาดลำต้นกับผลผลิตลำต้น และคุณภาพเนื้อไม้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับผลผลิตในส่วนลำต้นของกระถินที่อายุ 1 ปี มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.951^{**} และในปีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.668^{*} ซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงในทางบวกเช่นเดียวกันทั้ง 2 ปีที่ทดลอง (ตารางที่ 13)

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับค่าพลังงานความร้อนเนื้อไม้ของกระถินทั้ง 9 พันธุ์/สายพันธุ์ มีสหสัมพันธ์ทางบวก (0.508) ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นกับความหนาแน่นเนื้อไม้ มีค่าเท่ากับ -0.028 คือมีความสัมพันธ์กันในทางตรงกันข้าม (ตารางที่ 13)

6.6 ผลผลิตลำต้นกับความสูง

ผลผลิตในส่วนลำต้นของกระถินที่อายุ 1 ปี มีสหสัมพันธ์กับความสูงอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.930** และในปีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.918* ซึ่งมีความสัมพันธ์กันสูงในทางบวกเช่นเดียวกันทั้ง 2 ปีที่ทดลอง (ตารางที่ 13)

6.7 ความหนาแน่นเนื้อไม้กับค่าพลังงานความร้อน

ความหนาแน่นเนื้อไม้กับค่าพลังงานความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.064 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ความหนาแน่นเนื้อไม้กับค่าพลังงานความร้อน มีสหสัมพันธ์น้อย (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตชีวมวลรวมแห้ง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของใบ กิ่งก้าน ลำต้น และความสูงของไม้ กระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์

	ผลผลิตชีวมวลรวม		ขนาดลำต้น		ผลผลิตลำต้น		ค่าพลังงานความร้อน
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 1	ปีที่ 2	
ความสูง	0.912**	0.903**	0.971**	0.788**	0.930**	0.918**	-
ขนาดลำต้น	0.936**	0.538	-	-	-	-	-
ผลผลิตใบ	0.850**	0.605*	-	-	-	-	-
ผลผลิตกิ่งก้าน	0.155	-0.133	-	-	-	-	-
ผลผลิตลำต้น	0.988**	0.977**	0.951**	0.668*	-	-	-
ค่าพลังงานความร้อน	0.462	-	0.508	-	-	-	-
ความหนาแน่นเนื้อไม้	-0.074	-	-0.028**	-	-	-	0.064

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์,

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99

เปอร์เซนต์

วิจารณ์

1. การเจริญเติบโตและการฟื้นตัวหลังการตัด

1.1 ความสูง

จากการทดลองปลูกกระถินในพื้นที่สถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์บุรีรัมย์ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีการเพาะเมล็ดไว้ในถุงแล้วย้ายปลูกในภายหลัง การเจริญเติบโตทางด้านความสูงในช่วงแรกของกระถินทั้ง 10 ชนิดเป็นไปอย่างช้าๆ สอดคล้องกับการรายงานของ Cooksley (1987) ที่กล่าวว่า กระถินเจริญเติบโตช้าในระยะแรกของการปลูก (ประมาณ 3 เดือนแรก) ประกอบกับในช่วงปลูกเป็นฤดูแล้ง ไม่มีฝนตกทำให้ต้นกล้ากระถินขาดน้ำในระยะแรก การให้น้ำแก่ต้นกระถินอาจไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ดังนั้น เมื่อได้รับน้ำในเดือนพฤษภาคม พบว่า กระถินอาจเจริญแข่งขันสู้วัชพืชไม่ได้ (ภาพที่ 15) อย่างไรก็ตาม กระถินที่เจริญเติบโตได้เร็วในระยะ 3 เดือนแรกจึงมีโอกาที่จะอยู่รอดได้มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า คั่นนิ่งแฮม สายพันธุ์ KU3 และ KU39 เมื่อเปรียบเทียบกับกระถินสายพันธุ์ KU48 (ตารางที่ 4)

ฉายแสง และคณะ (2548) รายงานว่า กระถินสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาว (กรกฎาคมถึงพฤศจิกายน) กระถินพันธุ์คั่นนิ่งแฮม ทาร์มบ้า และสายพันธุ์ KU3 มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากกว่า 140 เซนติเมตรขึ้นไป (เดือนสิงหาคม 2554) และเมื่อสิ้นสุดเดือนกันยายน 2554 กระถินเหล่านี้มีความสูงมากกว่า 200 เซนติเมตร ในขณะที่สายพันธุ์ที่เหลือมีความสูงน้อยกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระถินสายพันธุ์ KU48 ซึ่งมีความสูงเพียง 163 เซนติเมตร ในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์) กระถินเจริญเติบโตช้ามาก เนื่องจากขาดฝนและอุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้ใบสีเหลืองซีด และใบร่วง ในการทดลองของ เสาวภาคย์ (2554) พบว่า ช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนมีปริมาณใบร่วงมากกว่าในช่วงอื่นๆ เนื่องจากในช่วงดังกล่าวมีอุณหภูมิลดลง ภายใต้อุณหภูมิแห่งแล้งกระถินลดขนาดและจำนวนใบย่อย (Hegde, 1982)



ภาพที่ 15 วัชพืชในแปลงกระถิน (1) ถั่วฮามาต้าเป็นวัชพืชที่พบในปริมาณมากและขึ้นปกคลุมทั่วทั้งแปลงทดลอง (2) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 3 เดือนหลังการย้ายปลูก (15 มิถุนายน 2554) (3) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 2 เดือนหลังการกำจัดวัชพืชครั้งแรกในเดือนกรกฎาคม 2554 (15 กันยายน 2554) และ (4) ปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง 3 เดือนหลังการตัด (12 มิถุนายน 2555)

เมื่อกระถินมีอายุครบ 1 ปีหลังการย้ายปลูก พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีแนวโน้มเจริญเติบโตทางด้านความสูงดีกว่ากระถินที่เหลืออีก 9 ชนิด โดยกระถินส่วนใหญ่ที่นำมาทดลองมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงมากกว่า 3 เมตรมีเพียงสายพันธุ์ KU48 และ KU56 ซึ่งมีความสูงน้อยกว่า คือมีความสูงอยู่ระหว่าง 295-296 เซนติเมตร (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีความสูงน้อยกว่าในการทดลองของ ปีทมา และคณะ (2552) ที่พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าที่ปลูกในปีแรกมีความสูงระหว่าง 413-547 เซนติเมตร และกระถินที่นำมาทดลองทั้งหมดมีความสูงน้อยกว่ากระถินพันธุ์/สายพันธุ์เดียวกันในหลายๆ การทดลองที่ศึกษาเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน ที่อายุ 1 ปีเท่านั้น (ทรงยศ และคณะ, 2552; เสาวภาคย์ และคณะ, 2552; อัยฎาภรณ์ และคณะ, 2552; นิดา, 2553;

Rengsirikul *et al.*, 2011a; Chotchutima *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม กระถินที่นำมาทดลองทั้งหมดมีการเจริญเติบโตทางความสูงดีกว่ากระถินพันธุ์พื้นเมืองในการทดลองของ ชาญชัย และคณะ (2517) ซึ่งมีความสูงเพียง 179 เซนติเมตร และสูงกว่ากระถินยักษ์ในการทดลองของสรายุทธ (2527) ซึ่งมีความสูง 112 เซนติเมตร (ไม่ระบุสายพันธุ์) เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตทางด้านความสูงกับไม้โตเร็วชนิดอื่น พบว่า กระถินที่นำมาศึกษามีความสูงมากกว่ากระถินเทพา ในการทดลองของ มะลิวัลย์ และคณะ (2553) ที่มีอายุ 1 ปีเท่ากัน นอกจากนี้ กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU15, KU38, KU39 และ KU45 มีความสูงมากกว่ากระถินณรงค์พันธุ์ ACACAU PNG ซึ่งมีความสูง 321 เซนติเมตร (จรรยา และคณะ, 2537)

ในปีที่ 2 ภายหลังการตัดในเดือนมีนาคม 2555 พบว่า กระถินที่นำมาศึกษาฟื้นตัวได้ดี และเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีฝนตกตั้งแต่ช่วงการตัดกระถิน โดยกระถินแต่ละชนิดมีความสูงมากกว่า 3 เมตรขึ้นไปตั้งแต่สัปดาห์ที่ 17 ภายหลังการตัด (ตารางที่ 4) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกระถินที่นำมาทดลอง และเมื่อกระถินมีอายุครบ 1 ปีภายหลังการตัด พบว่า การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกระถินที่ศึกษาคิดว่าในปีแรกอย่างชัดเจนมีความสูงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากกว่า 2 เมตร และสอดคล้องกับการรายงานของ Dutt and Jamwal (1987) ที่กล่าวว่า ความสูงของหน่อหลังการตัดในปีถัดไปจะมีแนวโน้มสูงขึ้น ตลอดการตัด 3 ครั้ง โดยกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า ยังคงมีแนวโน้มให้ความสูงดีที่สุด รองมาคือกระถินสายพันธุ์ KU45 และ KU39 ส่วนพันธุ์คันทิงแฮม กลับเป็นพันธุ์ที่มีความสูงน้อยที่สุด เป็นที่น่าสังเกตในกระถินสายพันธุ์ KU48 ซึ่งพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าในปีแรกอย่างชัดเจน คือมีความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุด อย่างไรก็ตาม กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีความสูงใกล้เคียงกับการทดลองของ ทรงยศ และคณะ (2555) ซึ่งพบว่า ภายหลังการตัด 1 ปี กระถินมีความสูงระหว่าง 603-635 เซนติเมตร แต่น้อยกว่าในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a); Chotchutima *et al.* (2013) ในกระถินพันธุ์/สายพันธุ์เดียวกัน ที่อายุเท่ากัน

ในปีแรก กระถินที่ศึกษาเจริญเติบโตทางด้านความสูงน้อยกว่าในหลายๆ การทดลอง ซึ่งศึกษาในกระถินพันธุ์/สายพันธุ์เดียวกัน เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ กระถินจะงักการเจริญเติบโตในหลายช่วง ตั้งแต่หลังการย้ายปลูกซึ่งปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ และฝนทิ้งช่วงในหลายเดือน แม้จะมีฝนตกในเดือนสิงหาคมถึงกันยายน 2554 (ตารางที่ 1) แต่ฝนตกไม่กระจายตัวตลอดทั้งปีที่ทดลอง กระถินที่ปลูกในปีแรกจึงมีระยะเวลาเพียง 3 เดือนในการเจริญเติบโตในช่วงฤดูฝนก่อนการตัดในเดือนมีนาคม ต่างกับในปีที่ 2 ซึ่งกระถินได้รับน้ำฝนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงตัดจนถึงเดือนพฤศจิกายน 2555 ทำให้ต้นกระถินฟื้นตัวและเจริญเติบโตได้ดี ปริมาณน้ำฝนที่กระถิน

ได้รับมากกว่าในปีแรก (757 vs 1,115 มิลลิเมตร) และฝนตกกระจายตัวตลอดทั้งปีแม้จะมีฝนทิ้งช่วงในเดือนธันวาคม 2555 ถึงมกราคม 2556 ซึ่งการกระจายตัวของฝนอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของกระถิน (สายัณห์ และคณะ, 2550) ประกอบกับในปีแรกมีวัชพืชขึ้นปกคลุมในแปลงทดลองจำนวนมาก ซึ่งวัชพืชเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกสร้างแปลงกระถิน (Van den Beldt and Brewbaker, 1985; Shelton and Brewbaker, 1994) ซึ่งวัชพืชสามารถรบกวนกระถินทันทีหลังการงอก (Jones and Aliyu, 1976) ช่วงตั้งตัวของกระถิน (3 เดือนแรก) ควรกำจัดวัชพืชบ่อยๆ (Ferraris, 1979) แม้จะกำจัดวัชพืชถึง 2 ครั้งแต่ช้ากว่าในการรายงานของ Cooksley (1987) ที่กล่าวว่า ช่วงแรกหลังการปลูกกระถินแข่งขันสู้กับวัชพืชไม่ได้ การกำจัดวัชพืชหลังการปลูกทำให้กระถินตั้งตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไปหากยังไม่มี การควบคุมวัชพืชในแปลงจะส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของกระถิน ดังนั้น การกำจัดวัชพืชที่ช้าในการทดลองครั้งนี้ จึงอาจส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของกระถิน ทำให้เจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก เพราะการแย่งแย่งน้ำ และธาตุอาหารที่มีจำกัด ในพื้นที่ทดลอง นอกจากนั้น ดินในพื้นที่ทดลองมีสภาพเป็นกรด (pH 5.4) ซึ่งกระถินเจริญเติบโต ได้ดีในดินที่มี pH 5.5-8.5 (Pound and Cairo, 1983) ในดินที่มีสภาพเป็นกรดกระถินปรับตัวได้ไม่ดี (Humphreys, 1980) สอดคล้องกับการรายงานของ Enriquez-Quiroz *et al.* (2005) ที่พบว่า กระถิน ให้ผลผลิตต่ำในดินที่มีสภาพเป็นกรด

ในปีที่ 2 กระถินสามารถตั้งตัวได้ดีขึ้น และมีระบบรากที่แข็งแรงกว่าในปีที่ 1 รวมทั้ง การตัดต้นกระถินในระดับความสูง 50 เซนติเมตร ทำให้กระถินเจริญเติบโตแข่งขันกับวัชพืชได้ดี และสามารถคลุมพื้นที่ในแปลงได้อย่างรวดเร็วจึงพบวัชพืชน้อย ประกอบกับการกำจัดวัชพืช ตั้งแต่ 10 สัปดาห์หลังการตัดทำให้ปริมาณวัชพืชในแปลงน้อยกว่าในปีแรกในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างชัดเจน โดยสังเกตได้ว่าในแปลงทดลองพบวัชพืชน้อยมาก ขณะที่บริเวณระหว่างแปลงย่อยมี วัชพืชขึ้นปกคลุมหนาแน่น ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การเจริญเติบโตของกระถินในด้าน ความสูงในปีที่ 2 ดีกว่าในปีแรกที่ทำ การทดลอง สายัณห์ และคณะ, 2552; นิดา (2553) กล่าวว่า กระถินที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีมีส่วนช่วยให้แข่งขันกับวัชพืชได้ดีเช่นกัน

จากความแตกต่างในด้านการเจริญเติบโตของกระถิน ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง จึงอาจชี้ให้เห็นว่า การเก็บเกี่ยวกระถินในช่วงสิ้นสุดฤดูฝนก่อนเข้าฤดูแล้งน่าจะเป็นผลดีสำหรับการฟื้นตัว ในฤดูต่อไป เพราะการตัดกระถินอาจช่วยให้กระถินแตกใบและยอดใหม่ได้แม้จะมีความชื้นในดิน ต่ำ แต่กระถินน่าจะต้องการน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระถินที่ไม่ได้ตัดซึ่งพบว่าใบจะร่วงและเหลือง ชิดเมื่อเข้าฤดูแล้ง นอกจากนั้น การปล่อยให้กระถินเจริญเติบโตผ่านเข้าฤดูแล้งไม่ทำการ

เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นซึ่งไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจาก ความสูงมีสหสัมพันธ์สูงกับผลผลิตชีวมวลรวม และผลผลิตลำต้น จากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่ากระถินที่มีการเจริญเติบโตในด้านความสูงได้ดีมีผลทำให้ผลผลิตชีวมวลรวม และผลผลิตส่วนลำต้นเพิ่มขึ้นด้วย

1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

การเจริญเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น หรือขนาดลำต้นของกระถินที่ทดสอบ แสดงในตารางที่ 6 พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า มีแนวโน้มเป็นพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตทางขนาดลำต้นดีกว่ากระถินที่เหลือทั้ง 9 ชนิดเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตในด้านความสูง ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 มีขนาดลำต้นน้อยที่สุด อัตราการเจริญเติบโตทางขนาดลำต้นของกระถินในช่วงฤดูฝนดีกว่าในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจะช้าโดยขนาดลำต้นไม่เพิ่มขึ้น ขณะที่กระถินบางพันธุ์/สายพันธุ์มีแนวโน้มขนาดลำต้นลดลงกว่าเดิม สอดคล้องกับการรายงานของ Denton and Nickell (1985) ที่พบว่า ปริมาณน้ำฝนส่งผลต่อการขึ้นลงของอัตราการเจริญเติบโตของกระถินยักษ์ตลอดช่วงเวลา 4 ปี โดยในช่วงฤดูฝนอัตราการเจริญเติบโตทางขนาดลำต้นดีมาก และลดลงในช่วงฤดูแล้ง เมื่อกระถินมีอายุครบ 1 ปีหลังการย้ายปลูก พบว่า กระถินที่ศึกษา มีขนาดลำต้นไม่แตกต่างกันในทางสถิติ คือมีขนาดลำต้นอยู่ระหว่าง 1.6-2.1 เซนติเมตร แต่มีขนาดเล็กกว่ากระถินพันธุ์เดียวกันในการทดลองอื่นๆ ที่ศึกษาเพื่อการนำไปใช้เป็นพลังงาน เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตทางด้านความสูงที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น นอกจากนี้ ในการทดลองของ นิศา (2553) ใช้ระยะปลูกกว้างกว่า (3x0.5 เมตร) กระถินจึงเจริญเติบโตทางขนาดลำต้นได้ดีกว่าการทดลองในครั้งนี้ซึ่งใช้ระยะปลูกแคบกว่า (1x0.5 เมตร) สอดคล้องกับการรายงานของ ทรงยศ และคณะ (2552) ที่พบว่า ระยะปลูกมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตทางขนาดลำต้น โดยการใช้ระยะปลูกแคบ (1x0.25 และ 1x0.5 เมตร) ขนาดลำต้นเล็กกว่าการปลูกที่ใช้ระยะแถวกว้างขึ้น (2x1 เมตร) เป็นผลมาจากการแย่งแย่งปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโตอย่างรุนแรงจากจำนวนต้นต่อพื้นที่มาก เช่น แสงแดด และความชื้น (Verma and Misra, 1989; Prasad *et al.*, 2011) อย่างไรก็ตาม กระถินที่นำมาทดลองมีขนาดลำต้นใหญ่กว่ากระถินยักษ์ในงานทดลองของ สรายุทธ (2527) ที่มีขนาดลำต้นเพียง 0.72 เซนติเมตร (อายุ 1 ปี) และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในไม้โตเร็วชนิดอื่นๆ ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นกัน กระถินทั้งหมดที่นำมาทดลองมีขนาดใหญ่มากกว่ากระถินเทพาที่อายุเท่ากัน (1.51 เซนติเมตร) (Viriyabucha *et al.*, 2004) แต่มีขนาดลำต้นน้อยกว่ากระถินเทพาในงานทดลองของ กันดินันท์ และ ชิงชัย (2545) ที่ใช้ระยะปลูกกว้างกว่า 1x3 เมตร ที่อายุ 2 ปี (3.45 เซนติเมตร)

ขนาดลำต้นของกระถินในปีแรกไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเครื่อง gasifier ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันตามรายงานของ วีระชัย และคณะ (2550) ที่กล่าวว่า ชีวมวลที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันควรมีขนาด 2.5 เซนติเมตรขึ้นไป หรือควรมีขนาด 2.5-7.5 เซนติเมตรสำหรับการเผาไหม้โดยตรง (ณัฐ และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตาม ในปีที่ 2 พบว่าการเจริญเติบโตทางด้านขนาดลำต้นของกระถินดีกว่าในปีแรก (ตารางที่ 6) กล่าวคือ กระถินแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์มีขนาดลำต้นใหญ่กว่าปีแรกเมื่อมีอายุเท่ากัน และหลังจากกระถินฟื้นตัวได้ประมาณ 6 เดือน (สัปดาห์ที่ 27 หลังการตัด) ส่วนใหญ่มีขนาดลำต้นเหมาะกับการนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ยกเว้นกระถินสายพันธุ์ KU19 และ KU56 ซึ่งต้องใช้เวลาราว 12 เดือน แสดงให้เห็นว่ากระถินที่ปลูกเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานในพื้นที่ดินทราย หรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การตัดใช้ประโยชน์ครั้งแรกอาจต้องยืดอายุการตัดออกไปจนกระถินมีอายุ 1.5 ปีหรือมากกว่า เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ หลังจากนั้นสามารถตัดนำไปใช้ได้ทุกปีๆ ละครั้ง ดังจะเห็นได้จากงานทดลองของ ปัทมา (2554) ที่พบว่า การยืดอายุการตัดออกไป (12 และ 18 เดือน) กระถินมีขนาดลำต้นเพิ่มขึ้นกว่าการตัดที่อายุ 9 เดือน เนื่องจากมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตยาวนานขึ้น เช่นเดียวกับในงานทดลองของ กานต์รวี และคณะ (2553) พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าที่อายุ 3 ปี มีขนาดลำต้น 4.9 เซนติเมตรซึ่งใหญ่กว่ากระถินพันธุ์ทาร์มบ้าที่อายุ 1 ปี ในงานทดลองของ เสาวภาคย์ และคณะ (2552) ที่มีขนาดลำต้น 3.9 เซนติเมตร สอดคล้องกับการรายงานของ มะลิวัลย์ และคณะ (2553) ซึ่งกล่าวว่า อัตราการเจริญทางขนาดลำต้นขึ้นอยู่กับอายุไม้ และฤดูกาล

ขนาดลำต้นมีความสัมพันธ์กับความสูงของต้นอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ทั้งสองปีที่ทำการเก็บข้อมูล (ตารางที่ 13) กล่าวคือ เมื่อกระถินมีความสูงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขนาดลำต้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้ ขนาดลำต้นยังมีความสัมพันธ์กับผลผลิตชีวมวลรวม ยกเว้นในปีที่ 2 และมีสหสัมพันธ์สูงกับผลผลิตส่วนลำต้น ดังนั้น กระถินที่มีขนาดลำต้นใหญ่ จะให้ผลผลิตที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานเพิ่มขึ้นตามอีกด้วย

1.3 การแตกหน่อใหม่ภายหลังการเก็บเกี่ยว

จำนวนหน่อหรือกิ่งที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ รวมถึงการอยู่รอดของกระถินภายหลังการตัดเป็นปัจจัยบ่งชี้ถึงความสามารถในการฟื้นตัวของกระถิน กระถินที่นำมาทดสอบสามารถฟื้นตัวหลังการตัดได้ดี และมีหน่อหรือกิ่งใหม่เจริญเติบโตแตกออกมาจากตอเดิมได้อย่างรวดเร็วภายหลังการตัด

เพียง 1 สัปดาห์ เนื่องจากมีฝนตกในบริเวณแปลงทดลองตั้งแต่ช่วงการตัด กระถินที่ตัดในช่วงฤดูฝนสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน และฤดูกาล (ปัทมา, 2554)

อย่างไรก็ตาม จำนวนหน่อหรือกิ่งลดลงเมื่อกระถินมีอายุเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของจำนวนหน่อ นั้นอาจเป็นผลจากการบดบังแสงภายในระหว่างพุ่มใบของต้นกระถิน การแก่งแย่งปัจจัยที่ใช้ในการเจริญเติบโต และจากการแข่งขันกันเองของกิ่งใหม่ภายในต้นเดียวกัน (วารินทร์ และ สุพจน์, 2526) การแก่งแย่งปัจจัยการเจริญเติบโตที่รุนแรงมีผลทำให้ต้นพืชที่อ่อนแอถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการตามธรรมชาติ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2538) เพื่อให้เกิดความสมดุลต่อการดำรงชีพของต้นพืชต่อไป (Toumey, 1947) ดังนั้น กระถินจึงมีจำนวนหน่อเหลือเพียง 2-3 หน่อต่อต้น เมื่อพิจารณาในด้านความสูงของหน่อที่เจริญขึ้นมาใหม่ (ตารางที่ 4) พบว่า ความสูงของยอดกระถินที่แตกออกจากตอหลังการตัดเจริญเติบโตได้เร็วกว่าในปีแรก และจากกระถินที่ปลูกด้วยวิธีอื่น เช่น ข่ายซากกล้า ใช้เหง้าปลูก หยอดเมล็ด และถอนปลูก (พันธ์ศักดิ์ และ อนุ, 2523)

การฟื้นตัวของพืชสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝน จุดเจริญ และปริมาณอาหารสำรอง (สาย์นั้, 2547) โดยในระยะแรกของการแตกหน่อกระถินได้รับอาหารสำรองที่มาจากส่วนลำต้นมากกว่าส่วนราก (สาย์นั้ และคณะ, ม.ป.ป.; Latt *et al.*, 2000) และ Luostarinen and Kauppi (2005) รายงานว่า หลังการตัดพืชจะได้รับอาหารสำรอง (คาร์โบไฮเดรต) จากส่วนของลำต้นและรากเท่านั้น สำหรับการฟื้นตัว ลำต้นที่มีขนาดใหญ่จะช่วยให้มีการแตกหน่อดีขึ้น ดังนั้น การตัดกระถินในระดับความสูง 50 เซนติเมตร ทำให้มีอาหารสำรองอยู่มาก กระถินจึงฟื้นตัวได้เร็วหลังการตัด และกระถินที่มีขนาดตอที่ใหญ่ย่อมสะสมอาหารได้มากกว่า อีกทั้งยังมีระบบรากที่แข็งแรงกว่าตอที่เล็ก และส่งผลให้การฟื้นตัวดีกว่า อย่างไรก็ตาม กระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์มีขนาดตอไม่แตกต่างกันในวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต จำนวนหน่อที่แตกมาใหม่จึงไม่แตกต่างกัน การฟื้นตัวและการแตกกิ่งก้านคลุมพื้นที่ได้เร็วของกระถินส่งผลดีต่อการแข่งขันกับวัชพืชในระยะฟื้นตัวหลังการตัด การแข่งขันของกระถินกับวัชพืชจึงไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับในระยะปลูกสร้าง

ความสามารถในการแตกหน่อและการฟื้นตัวได้ดีของกระถินหลังการตัดจึงเป็นคุณสมบัติที่ดีสำหรับการตัดเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน จากการศึกษาของ สาย์นั้ และคณะ (2556) พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า คันนิงแฮม เปรู สายพันธุ์ 5/7 และ 5/8 สามารถทนทานต่อการตัดอย่างต่อเนื่องถึง 6 ครั้งและสามารถเจริญเติบโตฟื้นตัวมาใหม่ได้ดีโดยไม่มีผลทำให้ผลผลิตลดลงเมื่อเทียบกับการตัดในปีแรก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องปลูกใหม่ทุกปีเช่นเดียวกับพืชพลังงานบางชนิด

อย่างไรก็ตาม งานทดลองนี้มีระยะเวลาศึกษาเพียง 2 ปี จึงอาจยังไม่เห็นผลชัดเจนว่า ในระยะยาว กระถินแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์มีความสามารถในการแตกหน่อและการฟื้นตัวได้ดียิ่งขึ้นต่อเนื่อง และ จำนวนหน่อจะมีผลต่อผลผลิตในระยะยาวหรือไม่จึงควรได้รับการศึกษาต่อไป

2. ผลผลิต

จากผลการทดลองในตารางที่ 8 และ 9 พบว่า ผลผลิตน้ำหนักรากและแห้งของกระถินที่ศึกษาเป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้ง 2 ปีที่ทดลอง กล่าวคือ โดยผลผลิตชีวมวลรวมของกระถินที่นำมาทดลองไม่แตกต่างกันในทางสถิติทั้งน้ำหนักรากและแห้ง ผลผลิตชีวมวลรวมส่วนใหญ่มาจากผลผลิตส่วนลำต้น ใบ และกิ่งก้าน ตามลำดับ

ในปีที่ 1 ผลผลิตชีวมวลรวมของกระถินที่ทดสอบน้อยกว่ากระถินพันธุ์และสายพันธุ์เดียวกันในการทดลองอื่นๆ ที่ศึกษาเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานที่อายุ 1 ปีเท่ากัน (ปัทมา และคณะ, 2552; เสาวภาคย์ และ คณะ, 2552; ทรงยศ และคณะ, 2552; อัยฎาภรณ์ และคณะ, 2552; นิดา และคณะ, 2552; Rengsirikul *et al.*, 2011a; Chotchutima *et al.*, 2013) เนื่องจาก ในปีแรกกระถินเจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก กระถินขาดน้ำในหลายๆ ช่วง และปริมาณวัชพืชที่มากส่งผลให้กระถินเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ซึ่งการเจริญเติบโตทางด้านความสูง และขนาดลำต้นมีสหสัมพันธ์สูงในทางบวกกับผลผลิตชีวมวลรวม ดังนั้นจึงส่งผลต่อผลผลิตให้เพิ่มหรือลดลงตามการเจริญเติบโต นอกจากนี้ ในการทดลองของ นิดา และคณะ (2552) ซึ่งทดสอบกระถิน 54 สายพันธุ์ และตัดกระถินในระดับ 5 เซนติเมตรจากพื้นดิน พบว่า ผลผลิตชีวมวลรวมมากกว่าการทดลองครั้งนี้ กระถินที่ตัดชิดดิน (5 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตชีวมวลรวม รวมทั้งองค์ประกอบผลผลิตมากกว่าการตัดในระดับที่สูงกว่า (ทรงยศ และคณะ, 2552)

ในปีที่ 2 ผลผลิตชีวมวลรวมของกระถินทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นกว่าในปีแรก เช่นเดียวกับการรายงานสายพันธ์ และคณะ (2556) พบว่า ผลผลิตของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า คันทิงแฮม เปรู สายพันธุ์ 5/7 และ 5/8 ที่ทดลองติดต่อกันเป็นเวลา 6 ปีเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่การตัดแต่ละครั้งเมื่อเทียบกับปีแรก ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งนี้ เป็นผลมาจากกระถินสามารถตั้งตัวได้ดีขึ้นทำให้สามารถแข่งขันกับวัชพืชได้ดีกว่าในปีแรก ประกอบกับมีปริมาณน้ำฝนที่กระถินได้รับเพิ่มขึ้น คือมีปริมาณมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร และมีฝนกระจายเกือบตลอดทั้งปี กระถินได้รับน้ำตั้งแต่หลังการตัดและได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี แม้ว่าจะมีฝนทิ้งช่วง แต่เป็นระยะเวลาไม่นาน สอดคล้องกับการรายงานของ Shelton and Dalzell (2007) ซึ่งรายงานว่า ผลผลิตของกระถินมีความสัมพันธ์โดยตรง

กับปริมาณน้ำฝนที่ได้รับในแต่ละปี สอดคล้องกับการทดลองในหลายๆงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ที่พบว่า ในปีที่ 2 ผลผลิตมีแนวโน้มมากขึ้นกว่าเดิม และผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลจากการฟื้นตัวของกระถินหลังการตัดมีจำนวนต้นหรือกิ่งที่เกิดขึ้นมาใหม่มากกว่าในปีแรก กล่าวคือ ในช่วงการเก็บผลผลิตมีจำนวนต้นต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยในปีที่ 2 กระถิน 1 ต้นมีจำนวนหน่อหรือกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่เฉลี่ย 2-3 หน่อต่อต้น (ตารางที่ 7) เช่นเดียวกับการรายงานของ Tewari *et al.* (2004) กล่าวว่า หลังการตัดกระถินมีแนวโน้มให้ผลผลิตชีวมวลต่อต้น และผลผลิตชีวมวลต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้น จากตารางที่ 14 แสดงให้เห็นจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 9 ตารางเมตร ในปีที่ 2 มีจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวมากขึ้น โดยเฉพาะลำต้นที่มีขนาดลำต้น 2.5 เซนติเมตรขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ผลผลิตในปีต่อไป นอกจากจะขึ้นอยู่กับจำนวนต้นต่อพื้นที่บนต่อเดิมแล้ว ปริมาณน้ำฝนที่ได้รับในแต่ละปีมีส่วนสำคัญด้วย และผลผลิตสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำฝน (Ella *et al.*, 1989)

นอกจากนั้น ผลผลิตที่ขึ้นในปีที่ 2 อาจเป็นเพราะดินในแปลงมีสภาพที่ดีขึ้น เนื่องมาจากมีการปรับปรุงสภาพพื้นที่แปลงทดลองจากใบกระถินที่ร่วงหล่นในแปลงเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน รวมทั้งในปีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกที่เพิ่มขึ้น (3 ต้นต่อไร่) สำหรับผลผลิตชีวมวลรวมทั้ง 2 ปีของกระถินทั้ง 10 ชนิด พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3 และ KU45 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมสดและแห้งมากที่สุด 3 อันดับแรกขณะที่กระถินพันธุ์คันนิงแฮมมีผลผลิตชีวมวลรวม 2 ปี น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม กระถินที่ศึกษามีผลผลิตชีวมวลรวมมากกว่ากระถินยักษ์ในการทดลองของ มะลิวัลย์ และคณะ (2553) ซึ่งตัดกระถินเพียงครั้งเดียวที่อายุ 2 ปี

สำหรับองค์ประกอบผลผลิตของกระถินที่ทดลอง พบว่า ลำต้นมีสัดส่วนมากที่สุดทั้ง 2 ปี ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ สอดคล้องกับการรายงานของ มะลิวัลย์ และคณะ (2553) กล่าวว่า เมื่อไม้มีอายุเพิ่มขึ้นส่วนลำต้นจะเพิ่มขึ้นด้วย ในปีแรกของการทดลอง พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามียุทธศาสตร์ลำต้นหรือเนื้อไม้สดสูงสุดและไม่แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันนิงแฮม สายพันธุ์ KU3, KU15, KU19, KU38, KU39 และ KU45 และในปีที่ 2 ผลผลิตส่วนลำต้นเพิ่มมากกว่าในปีแรก โดยกระถินสายพันธุ์ KU48 มีผลผลิตลำต้นเพิ่มมากขึ้นที่สุด (9 เท่า) กระถินสายพันธุ์ KU3 ให้ผลผลิตส่วนลำต้นมากที่สุด ขณะที่กระถินพันธุ์คันนิงแฮมมีผลผลิตลำต้นน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาผลผลิตลำต้นในแต่ละขนาด (ตารางที่ 8 และ 9) พบว่า ในปีแรกผลผลิตลำต้นของกระถินมาจากกระถินที่มีขนาดลำต้นเล็กกว่า 2.5 เซนติเมตร แต่ในปีที่ 2 ผลผลิตลำต้นมาจากกระถินที่มีขนาดลำต้น 2.5 เซนติเมตรขึ้นไป แสดงให้เห็นว่า กระถินที่นำมาทดลองทั้งหมดมีการเจริญเติบโตดีกว่าในปีแรก

ตารางที่ 14 จำนวนกระถินที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 9 ตารางเมตร

พันธุ์/สายพันธุ์	จำนวนกระถินที่เก็บเกี่ยวในพื้นที่ 9 ตารางเมตร (ต้น/หน่อ)					
	ปีที่ 1			ปีที่ 2		
	ต้นใหญ่	ต้นเล็ก	รวม	ต้นใหญ่	ต้นเล็ก	รวม
คันทิงแฮม	0	18	18	10 d ^{1/}	31 bc	41 bc
ทาร์มบ้า	3	15	18	15 ab	31 bc	46 abc
KU3	1	17	18	16 a	24 c	40 bc
KU15	1	17	18	11 cd	39 ab	50 ab
KU19	2	17	18	12 bcd	26 bc	38 bc
KU38	1	17	18	11 cd	44 a	54 a
KU39	2	16	18	14 abc	30 bc	44 abc
KU45	2	17	18	14 abc	24 c	38 bc
KU48	1	17	18	10 d	23 c	33 c
KU56	0	18	18	10 cd	28 bc	38 bc
เฉลี่ย	1	17	18	12	30	42
F-test	-	ns		**	*	*

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test, ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์

สำหรับการคำนวณพื้นที่การปลูกกระถินเพื่อใช้ผลิตเป็นพลังงาน สายันห์ และคณะ (2556) รายงานว่า โรงไฟฟ้าขนาดกำลังผลิต 1.8 MW มีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 17,600 ตันต่อปี (น้ำหนักสด) จากตารางที่ 8 กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าให้ผลผลิตลำต้นดีที่สุดที่สุกเฉลี่ย 2 ปีให้ผลผลิต 4.4 ตันต่อไร่ ดังนั้นหากต้องปลูกกระถินพันธุ์ดังกล่าวเพื่อป้อนโรงไฟฟ้าขนาด 1.8 MW ต้องปลูกกระถิน 4,000 ไร่ และสายพันธุ์ KU3 ซึ่งให้ผลผลิตลำต้นเฉลี่ย 2 ปีรองมา (4.3 ตันต่อไร่) ต้องปลูกในพื้นที่ 4,112 ไร่ ขณะที่กระถินสายพันธุ์ KU48 ซึ่งให้ผลผลิตลำต้นเฉลี่ย 2 ปีน้อยที่สุด (3.0 ตันต่อไร่) ต้องปลูกกระถินมากถึง 5,828 ไร่ Mullen *et al.* (2005) รายงานว่า ปลูกกระถินครั้งหนึ่งสามารถให้ผลผลิตได้มากกว่า 40 ปี ดังนั้น จึงสามารถใช้ประโยชน์ได้นานโดยไม่ต้องปลูกใหม่

สำหรับผลผลิตส่วนใบไม้แตกต่างกันทั้ง 2 ปีที่ทดลอง โดยในปีแรกมีผลผลิตใบระหว่าง 624-949 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 233-357 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตใบในปีที่ 2 มากกว่าในปีแรกเกือบ 2 เท่า เช่นเดียวกับการรายงานของ Otsyima *et al.* (1994) ที่กล่าวว่า ผลผลิตใบในปีที่ 2 มากกว่าในปีแรก โดยกระถินสายพันธุ์ KU48 มีผลผลิตใบเพิ่มขึ้นมากกว่ากระถินที่เหลืออีก 9 ชนิด อย่างไรก็ตาม ผลผลิตส่วนใบน้อยกว่าในการทดลองของ สมคิด และคณะ (2522); ศศิธร และคณะ (2546); ชิต และคณะ (2547); ฉายแสง และคณะ (2548); Guevarra *et al.* (1978); Arora *et al.* (1986); Torres *et al.* (2000) ทั้งนี้เนื่องจากการเป็นการศึกษาเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ มีช่วงการตัดที่ถี่และระยะปลูกที่แคบกว่าการปลูกเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน สอดคล้องกับการรายงานของ Karim *et al.* (1991) ที่กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตใบ ประกอบด้วยความถี่และความสูงของการตัด

ส่วนใบของกระถินเป็นส่วนเหลือใช้จากการนำไปใช้ทำพลังงาน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ทั้งเป็นอาหารสัตว์ และใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากในใบมีปริมาณไนโตรเจน 3.87-4.11 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับโปรตีน 24.2-25.7 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.*, 2011a) เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ต้องการค่าสุรระหว่าง 8-12 เปอร์เซ็นต์ (Norton *et al.*, 1994) สอดคล้องกับการรายงานของ เสาวภาคย์ และคณะ (2552) ที่กล่าวว่า ใบกระถินมีองค์ประกอบทางเคมีเพียงพอต่อความต้องการของโคเนื้อและโคนม ยกเว้นฟอสฟอรัส โดยการใช้ใบกระถินเลี้ยงสัตว์มิให้เห็นในหลายการทดลองทั้งในโคเนื้อ โคนม แพะ และแกะ (Kaitho *et al.* 1998; Tudsri *et al.* 2001; Mullen *et al.* 2005; Piggim and Nulik, 2005; Galgal *et al.*, 2006)

Pendey *et al.* (2006) พบว่า ใบกระถินสามารถย่อยสลายให้พืชที่ปลูกร่วมกันนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายใน 60 เดือน และส่วนก้านใบใช้เวลาประมาณ 210 วัน ดังนั้นพืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากใบกระถินได้เร็ว เมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น เนื่องจากมีใบขนาดเล็ก จากงานทดลองของ สายัณห์ และคณะ (2556) พบว่า ใบกระถินสามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีในโตรเจนได้เป็นอย่างดี การใช้เป็นปุ๋ยสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และมันสำปะหลัง ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามปริมาณใบกระถินที่ใช้ โดยใช้ใบกระถินเพียงอย่างเดียว หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยยูเรียในอัตราเท่ากัน สำหรับการใช้เป็นปุ๋ยแก้มันสำปะหลังให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยยูเรีย จารูณี และคณะ (2554) พบว่า การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดในอัตรา 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดให้กับหญ้าอาหารสัตว์ 2 ชนิด (เนเปียร์ ใต้หวันเอ 148 และรุควอน่า) ให้ผลไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยยูเรีย ทั้งความสูง จำนวนหน่อ ผลผลิต และองค์ประกอบทางเคมี (สิริวัฒน์ และคณะ, 2553) นอกจากนั้น ใบกระถินสามารถใช้เป็นปุ๋ยแทน

ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับข้าว ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (เฉลิมพล, 2524; ชยงค์, 2532; Mina and Upasena, 1996)

การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดในระยะยาวเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินอีกด้วย ตามการรายงานของ จารุณี และคณะ (2554) พบว่า การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ขณะที่การใช้ปุ๋ยยูเรียไม่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้ เพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดิน (Fageria, 2007) ซึ่ง Dallzell *et al.* (2006) รายงานว่า ใบกระถินช่วยปรับปรุงอินทรีย์วัตถุในดิน และลดการชะล้างหน้าดิน ในการศึกษาของ Toky and Singh (1995) พบว่า การปลูกกระถินติดต่อกัน 4 ปี เพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน ดังนั้น ในพื้นที่ดินทรายจึงเหมาะที่จะใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยแก้ดินพืช เพราะเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่มีน้อยมากในดินบริเวณดังกล่าว และในดินทรายซึ่งธาตุอาหารจะถูกชะล้างออกไปจากดินได้ง่าย นอกจากนี้ การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยเหมาะกับพื้นที่ที่ฝนแล้ง หรือพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ยเคมีเนื่องจากดินมีความชื้นต่ำ แต่การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยใบกระถินจะยังคงอยู่ในดินและค่อยๆเน่าสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับพืช นอกจากนี้ ใบกระถินยังสามารถขายให้กับโรงงานอาหารสัตว์ได้อีกด้วย

ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้เก็บปริมาณใบกระถินที่ร่วงหล่นลงดิน ซึ่งถือเป็นปุ๋ยพืชสดที่ปรับปรุงดินในตลอดระยะเวลาทดลองเช่นกัน จากงานทดลองของ เสาวภาคย์ (2554) ซึ่งเก็บใบกระถินที่ร่วงในการปลูกระยะต่างๆ พบว่า ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม 2552 กระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีปริมาณใบที่ร่วงหล่นใกล้เคียงกันในทุกระยะปลูก คือมีปริมาณเท่ากับ 728-886 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นจะมีไนโตรเจนสะสมลงไปในดินจากส่วนใบประมาณ 12-15 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเทียบเท่ากับปุ๋ยยูเรีย 26-33 กิโลกรัมต่อไร่ และ การทดลองของ กานต์รวี (2554) พบว่า ปริมาณใบกระถินที่ร่วงได้ต้นของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้า และคันทันนิ่งแฮมในเวลา 3 ปี มีปริมาณ 1.7 และ 1.6 ตันต่อไร่ ตามลำดับ โดยใบร่วงของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้ามีปริมาณไนโตรเจน 1.65 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์คันทันนิ่งแฮมมีไนโตรเจน 1.56 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองของ จรุงโรจน์ และ เฉลิมพล (2548) พบว่า การปลูกหญ้าหรือระหว่างแถวกระถินทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แสดงว่าใบกระถินที่ร่วงหล่นเป็นสามารถปุ๋ยให้แก่พืชที่ปลูกร่วมด้วย

กิ่งก้านมีสัดส่วนน้อยที่สุดไดโนของค์ประกอบผลผลิตทั้งหมด จากการทดลองในตารางที่ 8 และ 9 พบว่า ผลผลิตกิ่งก้านไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ปีและการทดลองในปีที่ 2 ผลผลิตเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า แม้ว่ากิ่งก้านจะมีสัดส่วนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบ และลำต้น อย่างไรก็ตาม กิ่งก้านเป็นส่วนที่สามารถนำมาบดรวมกับส่วนใบเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยพืชสดได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากใน ส่วนก้านใบมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.42-0.90 เปอร์เซ็นต์ (กานต์รวี, 2554) และสามารถย่อยสลายได้ภายใน 210 วัน (Pendey *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม การนำส่วนกิ่งก้านไปบดรวมกับส่วนใบเพื่อเป็นอาหารสัตว์ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากส่วนกิ่งก้านมีคุณค่าทางอาหารสัตว์น้อยกว่าในส่วนใบ ดังนั้น หากมีกิ่งก้านปนมากคุณค่าทางอาหารสัตว์ลดลง สอดคล้องกับการรายงานของ จรูญโรจน์ และคณะ (ม.ป.ป.) ที่กล่าวว่า ใบกระถินปนที่มีกิ่งและก้านปนมากจะทำให้โปรตีนในใบกระถินลดลง

ในการศึกษาของ กานต์รวี (2554) พบว่า เซลลูโลส และลิกนิน ในกิ่งก้านกระถินมีปริมาณอยู่ระหว่าง 51.11-51.78 และ 16.19-19.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งน่าจะสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นเอทานอลได้ นอกจากนั้น ในส่วนกิ่งก้านมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 3.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานความร้อนระหว่าง 4.52-4.57 กิโลแคลอรีต่อกรัม (กานต์รวี, 2554) ซึ่งปริมาณเถ้าไม่เกินค่าที่กำหนดในการรายงานของ Obernberger *et al.* (2006) ดังนั้น ส่วนกิ่งก้านอาจสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นพลังงานได้เช่นเดียวกับส่วนเนื้อไม้ แต่อาจต้องนำไปผ่านกระบวนการอัดแท่ง หรืออัดเป็นเม็ดก่อนเพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ นอกจากนั้น ในการทดลองของ Obernberger (1998) พบว่า ไม้ที่อัดเม็ดมีความหนาแน่นมากกว่าไม้ที่หั่นหรือตัดเป็นชิ้นๆ รวมทั้งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและความชื้นลดลง

จากผลการทดลองด้านการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต พบว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าเป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดี การเจริญเติบโตทั้งด้านความสูง ขนาดลำต้น รวมทั้งให้ผลผลิตดีกว่ากระถินที่เหลือ 9 ชนิด สอดคล้องกับการรายงานของ Rengsirikul *et al.* (2011a) รายงานว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า เจริญเติบโตเร็ว และให้ผลผลิตดีกว่ากระถินพันธุ์คันทิงแฮม และ Castillo *et al.* (1998); Wandera and Njarui (1998) กล่าวว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้าให้ผลผลิตชีวมวลรวมมากกว่าพันธุ์คันทิงแฮม ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง และทุกสภาพพื้นที่ที่ทดลอง เนื่องจากกระถินพันธุ์ทาร์มบ้าได้รับการปรับปรุงพันธุ์มาจากสายพันธุ์ที่เป็น Giant type ซึ่งมีลักษณะเป็นไม้ขนาดใหญ่ ในขณะที่พันธุ์คันทิงแฮมได้รับการปรับปรุงพันธุ์มาจากสายพันธุ์ที่เป็น Peru type มีลักษณะเป็น ไม้ขนาดกลาง มีลำต้นขนาดเล็ก แต่ให้ผลผลิตใบสูง และแตกกิ่งก้านมาก (อุดม, 2522; Brewbaker *et al.*,

1972; Pound and Cairo, 1983; NAS, 1984) อย่างไรก็ตาม จากการทดลองในครั้งนี้กระถินที่มีแนวโน้มปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และให้ผลผลิตสูงสุด 5 อันดับแรกในการทดลองครั้งนี้ คือ กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า สายพันธุ์ KU3, KU38, KU39 และ KU45 สอดคล้องกับการรายงานของ สายัณห์ และคณะ (2552); นิดา (2553) พบว่า กระถินสายพันธุ์ KU3, KU15, KU38, KU39 และ KU45 ให้ผลผลิตชีวมวลรวมและผลผลิตในส่วนของลำต้นที่สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการนำไปใช้เป็นพลังงาน

3.1 องค์ประกอบทางเคมี

ค่าพลังงานความร้อน ปริมาณเถ้า และองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้หรือกระบวนการเคมีความร้อน ส่วนกระบวนการหมัก องค์ประกอบผนังเซลล์หรือเยื่อใยเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับใช้พิจารณา (Lewandowski and Kicherer 1997; McKendry, 2002a; Adler *et al.*, 2006; Obernberger *et al.*, 2006)

3.1.1 แร่ธาตุ

แร่ธาตุต่างๆ ในชีวมวลส่งผลต่อกระบวนการเผาไหม้ คือสามารถกัดกร่อนและเกิดผลึกเกาะกับอุปกรณ์ และลดประสิทธิภาพการเผาไหม้ นอกจากนั้น ธาตุบางชนิดอาจถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม (Lewandowski and Kicherer, 1997; Adler *et al.*, 2006; Obernberger *et al.*, 2006; El-Nashaar *et al.*, 2009) ดังนั้น การนำชีวมวลไปผลิตพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ องค์ประกอบทางเคมี และสัดส่วนแต่ละธาตุเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาเป็นสำคัญ

จากตารางที่ 11 กระถินที่นำมาศึกษามีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 44.60-45.58 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับรายงานของ สายัณห์ และคณะ (2553ก) แต่น้อยกว่าในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนระหว่าง 49.2-53.8 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น พบว่า กระถินมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าเกลบ (37.5 เปอร์เซ็นต์) ฟางข้าว (38.2 เปอร์เซ็นต์) ชานอ้อย (21.3 เปอร์เซ็นต์) ไม้ยางพารา (25.6 เปอร์เซ็นต์) ทะลายปาล์ม (21.2 เปอร์เซ็นต์) ชังข้าวโพด (28.2 เปอร์เซ็นต์) เหง้ามันสำปะหลัง (18.8 เปอร์เซ็นต์) เปลือก

ไม้ยูคาลิปตัส (18.6 เปอร์เซ็นต์) (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549) และสูงกว่าหญ้าเนเปียร์พันธุ์ มวกเหล็ก (43.6 เปอร์เซ็นต์) ในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011b) ยกเว้นหญ้าเนเปียร์พันธุ์ บาน่า และธรรมดา (45.8 และ 44.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

ปริมาณไฮโดรเจน และออกซิเจน ของกระถินทั้ง 10 ชนิดมีค่าอยู่ระหว่าง 6.89-7.22 และ 46.46-47.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไฮโดรเจนมีปริมาณมากกว่าในการทดลอง ของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.1-5.9 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของชีวมวลชนิดอื่น เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ใบอ้อย ไม้ยางพารา มีปริมาณไฮโดรเจนไม่เกิน 5.08 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2549) และหญ้าเนเปียร์ที่ตัดทุกๆ 12 เดือนมีปริมาณไฮโดรเจน 4.8 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.* (2011b) ซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนน้อยกว่ากระถินในการทดลองครั้งนี้ ส่วนปริมาณออกซิเจน พบว่า กระถินในงานทดลองนี้มีปริมาณออกซิเจนมากกว่างานทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งพบว่า มีค่าออกซิเจนอยู่ระหว่าง 40.0-44.8 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณน้อยกว่าในหญ้าเนเปียร์ (พันธุ์บาน่า ธรรมดา และมวกเหล็ก) ในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011b) ซึ่งมีค่าระหว่าง 48.1-50.0 เปอร์เซ็นต์

คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหลักของชีวมวล โดย วัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอน และไฮโดรเจนสูงจะทำให้มีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย (Oberberger *et al.*, 2006) และค่าพลังงานความร้อนลดลงตามการเพิ่มขึ้นของออกซิเจน (Lewandowski and Kicherer, 1997) กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า และสายพันธุ์ KU38 มีปริมาณคาร์บอนมากที่สุดและไม่ แตกต่างกับกระถินพันธุ์คันนิงแฮม สายพันธุ์ KU3 และ KU15 อย่างไรก็ตาม พบว่ากระถินในการ ทดลองครั้งนี้มีค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.29-4.37 กิโลแคลอรีต่อกรัม (ตารางที่ 10) และมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Hartoyo (1982) พบว่ากระถินสายพันธุ์ K28 มีค่า พลังงานความร้อน 4.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งค่าพลังงานความร้อนของกระถินในการทดลองนี้สูงกว่า ค่ามาตรฐานของ Lewandowski and Kicherer (1997) ที่รายงานไว้ว่า ชีวมวลที่จะนำไปใช้เป็นพลังงาน ชีวมวลควรให้ค่าความร้อนมากกว่า 14,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือ 3.35 กิโลแคลอรีต่อกรัม กานต์รวี และคณะ (2552) รายงานว่า ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุพืช

Adler *et al.* (2006); Lewandowski and Kicherer (1997) รายงานว่า ปริมาณ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และคลอไรด์ ในชีวมวลไม่ควรมีมากเกินไป เพราะอาจเกิดปัญหาจาก กระบวนการเผาไหม้ได้ เนื่องจากไนโตรสออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก และ

ได้ออกซินถูกปลดปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้น ชัลเฟอร์ และ คลอไรด์ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนอุปกรณ์ แร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดไม่ควรมีเกิน 1.0, 0.3 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้ กระถินมีไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.60-0.83 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากระถิน ในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.52-0.75 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าหญ้า มิสแคนทัส (*miscanthus*; *Miscanthus x giganteus*) ที่ตัดทุกๆ 1 ปี ในการทดลองของ Lewandowski and Kicherer (1997) โดยมีค่าระหว่าง 0.09-0.34 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าหญ้าสวิตช์กราสในการทดลองของ Adler *et al.* (2006); Lemus *et al.* (2008) ที่มีค่าระหว่าง 0.29-0.62 และ 0.35-0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่หญ้าเนเปียร์ในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011b) ที่ตัดทุกๆ 1 ปี มีปริมาณ ไนโตรเจนมากกว่ากระถินในการทดลองครั้งนี้ (1.2 เปอร์เซ็นต์)

กระถินในการทดลองนี้มีปริมาณชัลเฟอร์อยู่ระหว่าง 0.06-0.09 เปอร์เซ็นต์ซึ่งใกล้เคียงกับหญ้าเนเปียร์ที่มีค่าระหว่าง 0.05-0.08 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.*, 2011b) และหญ้า สวิตช์กราสซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.07 เปอร์เซ็นต์ (Adler *et al.*, 2006) กระถินที่ทดลองนี้มีปริมาณ ชัลเฟอร์สูงกว่ากระถินในงานทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.02-0.03 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าหญ้ามิสแคนทัสที่ตัดทุกๆ ปี ในการทดลองของ Lewandowski and Kicherer (1997) ที่มีค่าระหว่าง 0.01-0.11 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจน และชัลเฟอร์ในกระถิน ทั้ง 10 ชนิดที่นำมาทดลองไม่เกินค่ามาตรฐานของ Lewandowski and Kicherer (1997) ดังกล่าวข้างต้น ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ แต่จากการทดลองของ Chotchutima *et al.* (2013) พบว่า กระถินมีคลอไรด์อยู่ระหว่าง 0.25-0.30 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานดังกล่าวเช่นกัน

นอกจากนั้น Obernberger *et al.* (2006) กล่าวว่า ปริมาณโพแทสเซียม และ แคลเซียมควรมีอยู่ในปริมาณต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยไม่ควรเกิน 7.0 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ธาตุดังกล่าวที่มีในเถาสามารถนำกลับไปใช้เป็นปุ๋ยได้ กระถินทั้ง 10 ชนิดมีปริมาณธาตุเหล่านี้ไม่เกินค่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับปริมาณโซเดียม ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก 0.01 เปอร์เซ็นต์ Obernberger (1998) รายงานว่า โซเดียมควรมีน้อยกว่า 0.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโซเดียมมีบทบาทสำคัญต่อการกร่อนของ เครื่องจักรในระบบแก๊สซิฟิเคชัน เช่นเดียวกับ โพแทสเซียม (Obernberger *et al.*, 2006) นอกจากนั้น ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับซิลิกาที่มีในเถาทำให้เกิดผลึกแข็งติดแน่นในระบบแก๊สซิฟิเคชัน (McKendry, 2002a) อย่างไรก็ตาม กระถินที่นำมาทดลอง มีปริมาณธาตุเหล่านี้ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

3.1.2 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้ามีอิทธิพลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีในกระบวนการเคมีความร้อนและการใช้ประโยชน์จากเถ้าที่เกิดขึ้น (Oberberger *et al.*, 2006) เพราะปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการเผาไหม้ และค่าพลังงานความร้อนของชีวมวล โดยชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงส่งผลทำให้ค่าความร้อนลดลง (Baker and Elbersen, 2005; Lewandowski and Kicherer, 1997) และเถ้ายังมีผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และต้นทุนของระบบ (Kucourkova *et al.*, 2006) โดยปริมาณเถ้าควรมีไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ (Oberberger *et al.*, 2006) จากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในงานทดลองครั้งนี้ พบว่า กระจินมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 1.26-1.95 เปอร์เซ็นต์ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในหญ้าเนเปียร์ (บาน่า ชรรมดา และมวกเหล็ก) ที่มีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 8.3-11.4 เปอร์เซ็นต์ และหญ้าเนเปียร์ที่ตัดเมื่ออายุ 1 ปีมีปริมาณเถ้า 8.0 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.*, 2011b) ปริมาณเถ้าในชีวมวลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ชนิดพืช ส่วนของพืช อายุในการเก็บเกี่ยว การใช้ปุ๋ย และสภาพแวดล้อม (Baker and Elbersen, 2005)

3.1.3 เชื้อไย

สัดส่วนของเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวลสำคัญต่อกระบวนการทางชีวเคมีชีวมวลที่มีเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูง (McKendry, 2002a) และลิกนินต่ำ (Mosier *et al.*, 2005) จึงเป็นที่ต้องการสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล Hendriks and Zeeman (2009) รายงานว่า เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญในการผลิตแอลกอฮอล์โดยกระบวนการทางชีวเคมี นอกจากนั้น Gani and Naruse (2007) รายงานว่า เซลลูโลส และลิกนินยังมีอิทธิพลต่อกระบวนการเผาไหม้ไพโรไลซิส โดยหญ้าที่มีเซลลูโลสสูงมีอัตราการเผาไหม้สูง แต่ชีวมวลที่มีลิกนินในปริมาณสูงส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ลดลง

ในงานทดลองครั้งนี้ พบว่ากระจินที่นำมาศึกษามีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่ากระจินในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 59.6-64.8 เปอร์เซ็นต์ และน้อยกว่าหญ้าเนเปียร์อายุ 1 ปีที่มีเซลลูโลส 46.2 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.*, 2011b) และกระจินส่วนใหญ่ที่นำมาทดลอง (ยกเว้นกระจินสายพันธุ์ KU19 และ KU38) มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสอยู่ระหว่าง 10.6-12.8 เปอร์เซ็นต์

และน้อยกว่าในหญ้านเปียร์ที่มี 23.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัดเมื่ออายุ 1 ปี และต่ำกว่าหญ้านเปียร์ทั้ง 3 พันธุ์ ที่มีค่าระหว่าง 22.8-24.4 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.* (2011b)

กระถินส่วนใหญ่ที่ทดลองมีลิกนินสูงกว่ากระถินในการทดลองของ Rengsirikul *et al.* (2011a) ที่มีปริมาณอยู่ระหว่าง 16.7-20.9 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าในหญ้านเปียร์อายุ 1 ปีซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.0 เปอร์เซ็นต์ (Rengsirikul *et al.*, 2011b) นอกจากนั้น ยังมีปริมาณลิกนินมากกว่าที่พบใน พงข้าว (18 เปอร์เซ็นต์) และต้นข้าวโพดแห้ง (18-21 เปอร์เซ็นต์) (Buranov and Mazza, 2008) ในการทดลองครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า กระถินมีศักยภาพในการผลิตเอทานอลได้เช่นเดียวกัน เนื่องจาก มีปริมาณเซลลูโลสสูงใกล้เคียงกับหญ้าสวิตช์กราส ซึ่ง McKendry (2002a) รายงานว่า หญ้าดังกล่าว เป็นหญ้าที่สามารถใช้แปรรูปเป็นพลังงานได้ทั้งกระบวนการเคมีความร้อนและการหมัก โดยมีปริมาณ เซลลูโลส 30-50 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 10-40 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 5-20 เปอร์เซ็นต์

3.2 ความหนาแน่นเนื้อไม้

การหาความหนาแน่นเป็นวิธีที่ใช้สำหรับประเมินคุณภาพของไม้ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และเกี่ยวข้องกับลักษณะคุณภาพไม้ด้านอื่นๆ เช่น การอัดตัวของไม้ ความต้านทานต่อแรงอัด ความต้านทานต่อแรงดึง และค่าพลังงานความร้อน (Pottinger *et al.*, 1998) ดังนั้น ความหนาแน่นเนื้อไม้จึง เป็นปัจจัยในการพิจารณานำชีวมวลมาใช้ผลิตเป็นพลังงาน จากผลการทดลองในตารางที่ 10 พบว่า ค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ของกระถินในปีที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.42-0.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คิด เป็น 420-490 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยกระถินสายพันธุ์ KU56 มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้สูงสุด ใกล้เคียงกับการรายงานของ Van Den Beldt and Brewbaker (1982) รายงานว่า กระถินที่ทดสอบมีค่า ความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ระหว่าง 0.45-0.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นเนื้อไม้ ของกระถินพันธุ์ทาร์มบ้าใกล้เคียงกับทดลองของ เสาวภาคย์ และคณะ (2552); ทรงยศ และคณะ (2552) กระถินทุกชนิดในการทดลองครั้งนี้มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้น้อยกว่าไม้ที่ผ่านการอัดเม็ดใน การทดลองของ Obernberger (1998) โดยไม้ระบูนชนิด ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งการอัดแท่งหรืออัดก้อนเป็นการปรับปรุงคุณภาพของชีวมวลทำให้ค่าความร้อน เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ของกระถินทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์สูงกว่าค่ามาตรฐานของ Lewandowski and Kicherer (1997) ที่กล่าวว่า ต้องมีมากกว่า 150 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม ค่าความหนาแน่นที่ได้ในงานทดลองครั้งนี้ต่ำกว่าในการทดลองของกานต์รวี และคณะ (2553) เนื่องจากกระถินในการทดลองดังกล่าวตัดที่อายุ 3 ปี Laxamana (1981) รายงานว่า กระถินสายพันธุ์

K28 มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น Kovitvadhi and Yantasath (1982); Ryan (1994) รายงานว่า พืชที่มีอายุน้อยจะมีความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำ และระยะปลูกแคบจะทำให้ความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำกว่าระยะปลูกกว้าง Pottinger and Hughes (1994) รายงานว่า กระถินพันธุ์ทาร์มบ้า ที่อายุ 2 ปี มีความหนาแน่นเนื้อไม้ 0.59 และ กระถินที่ตัดเมื่ออายุ 18 เดือนมีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้มากกว่ากระถินที่ตัดเมื่ออายุ 9 และ 12 เดือน (ปีพ.ศ. 2554)

อย่างไรก็ตาม แม้กระถินที่นำมาทดลองมีการเจริญเติบโต และรวมทังให้ผลผลิตน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ศึกษาเพื่อเป็นพืชพลังงาน แต่หากพิจารณาในด้านคุณสมบัติของเนื้อไม้ ทั้งค่าพลังงานความร้อน ค่าความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีพบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแปรรูปเป็นพลังงานในกระบวนการเคมีความร้อน นอกจากนั้น เนื้อไม้มีองค์ประกอบทางเคมีในด้านเยื่อใยสูงสามารถนำไปใช้ผลิตเอทานอลในกระบวนการชีวเคมีได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น กระถินที่ปลูกในพื้นที่ดินทราย ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับผลิตพลังงานทดแทนได้ แต่อาจต้องยืดอายุการตัดครั้งแรกออกไปมากกว่า 1 ปี เพื่อให้กระถินมีขนาดที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีและเครื่องจักร สอดคล้องกับการรายงานของ (สายัณห์ และคณะ, ม.ป.ป.) ที่กล่าวว่า ขนาดลำต้นของกระถินที่เหมาะสมต่อการใช้กับเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบ Gasifier ต้องมากกว่า 2.54 เซนติเมตร กระถินที่ปลูกในระยะปีแรกต้องใช้เวลาอย่างน้อย 8 เดือนสำหรับดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ สำหรับดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ต้องใช้เวลา 12-18 เดือน ตามการรายงานของ ปีพ.ศ. (2554) กล่าวว่า ขนาดลำต้นจะเพิ่มตามอายุกระถินที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มให้ผลผลิตชีวมวลรวม และองค์ประกอบผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Ella *et al.* (1991) ที่ว่าผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามอายุการตัด และฤดูแล้ง (Tewari *et al.* 2004) ดังนั้น การยืดอายุการตัดจะได้ผลผลิตในส่วนที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ มีระยะเวลา 2 ปี จึงควรศึกษาในระยะยาวต่อไป

4. ผลตอบแทนจากการปลูกกระถิน

ในการทดลองครั้งนี้ ไม่ได้คำนวณต้นทุนของการปลูกกระถินในแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์เท่ากัน เนื่องจากใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมือนกัน และเมล็ดกระถินในแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์เป็นเมล็ดที่เกิดจากต้นพันธุ์ที่ปลูกทดลองและรวบรวมไว้โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนั้น จึงคำนวณเพียงรายรับหรือผลกำไรในการทดลองนี้เท่านั้น และจากตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ทาร์มบ้าให้

ผลตอบแทนจากการขายใบและลำต้นสูงสุด จึงเป็นพันธุ์ที่น่าสนใจจะใช้ปลูกในพื้นที่ดินทราย นอกจากนี้ กระถินสายพันธุ์ KU3 เป็นอีกชนิดที่น่าสนใจเช่นกัน

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีระยะเวลาดำเนินงานเพียง 2 ปี ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในช่วงดังกล่าวจึงเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้น ควรดำเนินการศึกษาต่อไปในระยะยาว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งรูปแบบการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต ความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตกับผลผลิต การฟื้นตัว แนวทางการจัดการที่เหมาะสม รวมทั้งการเข้าทำลายจากศัตรูพืชเมื่อปลูกกระถินต่อเนื่องเป็นเวลานาน นอกจากนี้ควรศึกษาด้านการนำไปใช้เป็นพลังงานเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลที่ครบถ้วน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการผลิตกระถินเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน และส่งเสริมการปลูกต่อไป

ตารางที่ 15 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกกระถิน 10 พันธุ์/สายพันธุ์ในพื้นที่ดินทราย

พันธุ์ / สายพันธุ์	ผลผลิตไม้สด (ตันต่อไร่)			รายได้จากไม้ ^{1/} (บาทต่อตัน)			ผลผลิตใบแห้ง (ตันต่อไร่)			รายได้จากใบ ^{2/} (บาทต่อตัน)		
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม	ปีที่ 1	ปีที่ 2	รวม
ก้านิงแสม	1.07	4.66	5.73	856	3,728	4,584	0.28	0.41	0.70	1,120	1,640	2,800
ทาร์มบ้า	1.80	6.99	8.79	1,440	5,592	7,032	0.36	0.47	0.83	1,440	1,880	3,320
KU3	1.54	7.02	8.56	1,232	5,616	6,848	0.31	0.56	0.87	1,240	2,240	3,480
KU15	1.10	5.81	6.90	880	4,648	5,520	0.25	0.45	0.70	1,000	1,800	2,800
KU19	1.09	5.85	6.93	872	4,680	5,544	0.23	0.48	0.70	920	1,920	2,800
KU38	1.12	5.84	6.97	896	4,672	5,576	0.26	0.51	0.77	1,040	2,040	3,080
KU39	1.33	6.29	7.62	1,064	5,032	6,096	0.28	0.48	0.76	1,120	1,920	3,040
KU45	1.42	6.64	8.06	1,136	5,312	6,448	0.29	0.47	0.76	1,160	1,880	3,040
KU48	0.62	5.42	6.04	496	4,336	4,832	0.25	0.52	0.77	1,000	2,080	3,080
KU56	0.93	5.36	6.29	744	4,288	5,032	0.23	0.47	0.70	920	1,880	2,800

หมายเหตุ ^{1/}ราคาขายไม้สดตันละ 800 บาท, ^{2/}ราคาขายใบแห้งตันละ 4,000 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. กระจินที่นำมาทดลองส่วนใหญ่สามารถปรับตัวได้ดีในดินทราย ยกเว้นกระจินสายพันธุ์ KU48 และ KU56 ซึ่งมีการเจริญเติบโตช้าทั้งในด้านความสูง และขนาดลำต้น และให้ผลผลิตน้อยกว่าพันธุ์/สายพันธุ์อื่น
2. ในปีที่ 2 การเจริญเติบโตทั้งความสูงและขนาดลำต้น รวมทั้งการให้ผลผลิตของกระจินดีกว่าการทดลองในปีแรก
3. กระจินที่นำมาทดลองทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีทั้งปริมาณธาตุ เยื่อใย เถ้า และคุณสมบัติต่างๆ (ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น) ทางด้านการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน
4. กระจินที่ปลูกในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
5. กระจินที่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินทรายเพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน คือ กระจินพันธุ์ทาร์ม บัว สายพันธุ์ KU3, KU38, KU39 และ KU45 เพราะเป็นกระจิน 5 อันดับแรกที่เจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งให้ผลผลิตชีวมวลรวม และผลผลิตเนื้อไม้สูง

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองเป็นข้อมูลเพียง 2 ปี ควรดำเนินการต่อ เพื่อดูแนวโน้มการให้ผลผลิต ความคงทนของพืช การพัฒนา และการปรับตัวของกระจินในปีต่อไป และปัญหาเรื่องโรคและแมลงที่อาจเกิดขึ้นในการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน เช่นเดียวกับการปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นๆ เป็นเวลาที่ยังพบปัญหาเรื่องโรค และแมลง

2. ควรศึกษาเรื่องปุ๋ย และการจัดการที่เหมาะสม สำหรับการปลูกกระถินในพื้นที่ดิน
ดังกล่าว

3. ควรศึกษาในเรื่องการจัดการด้านน้ำ เนื่องจากในการทดลองนี้อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ
ดังนั้น ในปีแรกผลผลิตน้อยเนื่องจากฝนน้อย และเมื่อฝนเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 กระถินเจริญเติบโตและ
ให้ผลผลิตดีขึ้น

4. ควรศึกษาในเรื่องปริมาณใบกระถินที่ร่วงหล่นลงดิน ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงดินในพื้นที่
ที่ดินทรายที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ

5. กระถินมีองค์ประกอบที่สามารถนำไปใช้ผลิตเอทานอลได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม
ในกรณีดังกล่าว

6. ควรศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือจากการทำเป็นฟืนพลังงาน เช่น ส่วนใบ และ
กิ่งก้าน ทั้งการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง หรือปรับปรุงสภาพดินในพื้นที่ หรือนำไปผลิตพลังงาน
ในรูปแบบอื่น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2554. รายงานประจำปี 2554 กระทรวงพลังงาน. แหล่งที่มา:

http://www.energy.go.th/?q=th/annual_report, 29 มกราคม 2556.

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. พลังงานจากชีวมวล. แหล่งที่มา:

<http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR5.pdf>, 26 มกราคม 2556.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. ความรู้เรื่องดิน สำหรับเยาวชน. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กอบแก้ว ตรงคงสิน. 2535. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

กันดินันท์ ผิวสะอาด และ ชิงชัย วิริยะบัญชา. 2545. การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้กระถินเทพา, น. 130-146. ใน รายงานนวนวदनวิจัย ประจำปี 2545. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กานต์รวี ศรีพวงผกาพันธุ์. 2554. การเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของกระถิน 5 พันธุ์/สายพันธุ์อายุ 3 ปี เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, สายัณห์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตร และ เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2553.

การเปรียบเทียบผลผลิตของเนื้อไม้และค่าพลังงานความร้อนของกระถิน 5 พันธุ์/สายพันธุ์อายุ 3 ปี เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน. ว. วิทย. กษ. 41 (3/1) (พิเศษ): 149-152.

ไกรพัฒน์ จินขจร. 2551. พลังงานหมุนเวียน. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กรุงเทพฯ.

จรรยา สุขเกษม, ขวลิขิต ชโลธร, ดุสิต มานะจุติ และ กนิษฐา เอื้องสวัสดิ์. 2537. การเจริญและ
ผลผลิตจากกระถินณรงค์และกระถินยักษ์ ณ จังหวัดเชียงใหม่. ว. เกษตร 10 (3): 226-234.

จรรยาโรจน์ จันทศิริ และ เฉลิมพล แชมเพชร. 2548. ผลผลิตของแปลงหญ้าเมื่อปลูกหญ้ารัฐใน
ระหว่างแถวกระถิน. ว. เกษตร 21 (1): 55-62.

_____, สุขุม สุขเกษม, เทวา จวิรัมย์, ชัยกระมล คำเมือง และ ไกรลาศ เขียวทอง. ม.ป.ป.
การผลิตป่านส่งจำหน่ายโรงงานอาหารสัตว์ โดยเกษตรในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา.
แหล่งที่มา: http://www.did.go.th/ncna_nak/index/katin.pdf, 26 มกราคม 2556.

จารุณี เชิดชัยสถาพร, สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ ประภา ศรีพิจิตร และ สายัณห์ ทัดศรี. 2554. ผลของ
การใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดต่อผลผลิตและคุณค่า ทางอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.
ว. วิทย. กษ. 42 (2) (พิเศษ): 53-56.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2548. การใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นอาหารโค-กระบือ, น. 383-395. ใน
รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2548. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จรัสรัตน์ สัจจิพานนท์, เดชา ศิริภัทร และ แสงอรุณ สมุทรักษ์. 2519. การเปรียบเทียบผลผลิตของ
กระถิน 10 พันธุ์ในพื้นที่ดินเหนียวชายนาในเขตชลประทาน. ใน รายงานประจำปี พ.ศ.
2519. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เจษฎา เหลืองแจ่ม. 2527. กระถินยักษ์. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการป่าไม้ กองบำรุง กรมป่าไม้,
กรุงเทพฯ.

นายแสง ไผ่แก้ว, ศศิธร ถิ่นนคร, กานดา นาคมนิ และ ศรัญญา วรจิรวาณิช. 2548. การทดสอบ
และคัดเลือกพันธุ์กระถินเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์, น. 28-47. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี
2548. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เฉลิมพล แชมเพชร. 2524. การศึกษาการใช้ใบกระถินเป็นแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจน. ว.วิทย. กษ. 14 (3): 99-109.

เฉลี่ยว แจ้งไพล. 2530. **ทรัพยากรดินในประเทศไทย**. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชยงค์ นามเมือง. 2532. การเพิ่มผลผลิตข้าวด้วยปุ๋ยอินทรีย์กระถินยักษ์. ว.วิชาการเกษตร 7 (1): 22-25.

ชันันท์ นิवासวงษ์ และ เฉลิม เรื่องวิริยะชัย. 2555. การผลิตเซลล์โซลิกเอทานอลในประเทศไทย. ว.วิทย. มข. 40 (4): 1073-1088.

ชาญชัย มณีบุญ. 2511. บันทึกประวัติการนำเข้าอาหารสัตว์เข้าประเทศ. สัตวแพทยสาร 19 (1): 35-59.

_____, พรเพ็ญ ต่อสกุล และ นิตยา ศิริกิตยานนท์. 2517. ผลผลิตและคุณค่าทางอาหารสัตว์ของ กระถิน 10 พันธุ์, น. 231-237. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการเกษตรศาสตร์และชีววิทยา แห่งชาติ ครั้งที่ 14 (สาขาสัตว์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชิงชัย วิริยะบัญชา, สมิต บุญเสริมสุข, วิริยะชัย อาจหาญ, ศาวิตรี คำหอม, ณัฐพงษ์ ประภาคาร, ทิพย์สุภินท์ หินซุย และ จิราวัฒน์ วงษ์มาศจันทร์. 2550. การศึกษาดันแบบโรงไฟฟ้า ชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน-การศึกษาการปลูกไม้โตเร็วสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในชุมชน, น. 164-216. ใน สุนันทา สมพงษ์, สุภาพร จินดา, วิริยะ อาจหาญ และ วริศพรรณ ศุภมิตรเกษมณี, บรรณาธิการ. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย “โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวล ขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร”. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ.

จิต ยุทธวรวิทย์, สมศักดิ์ เกาทอง, นายแสง ไผ่แก้ว และ จริยา บุญจรัสชะ. 2547. ความถี่ของการตัดที่มีต่อผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของกระถิน 4 สายพันธุ์, น. 158-171. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ณัฐ วรยศ, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, นคร ทิพย์वास, ณัฐนิ วรยศ, ณัฐฉา ดุษฎี, ชูรัตน์ ธารารัตน์ และ อติพงษ์ นันทพันธุ์. 2551. รายงานการวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชนโดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ทรงยศ โชติชุตติมา, ปัทมา นิตโรสง, กันย์ กังวานสายชล, สายัณห์ ทัดศรี และ ประภา ศรีพิจิตต์. 2555. ความสูงที่เหมาะสมต่อการตัดกระถินยักษ์เพื่อใช้เป็นพลังงาน. ว.วิทย์. กษ. 43 (2-3): 290-309.

_____, สายัณห์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมนี และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ. 2552. อิทธิพลของระยะปลูกที่มีต่อผลผลิตและความหนาแน่นของเนื้อไม้กระถิน. ว. วิทย์. กษ. 40 (1) (พิเศษ): 133-136.

นิคม แหลมสัก, วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์, จงรัก วัชรินทร์รัตน์, สкар ทิจันทร์, วีระภาส คุณรัตนศิริ, มะลิวัลย์ ธนะสมบัติ และ เกษม หฤทัยธนาสันต์. 2550. การใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและแก๊สหุงต้ม, น. 33-74. ใน สุนันทา สมพงษ์, สุภาพร จินดา, วีระชัย อาจหาญ และวิศพรณ สุภูมิตรเกษมณี, บรรณาธิการ. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ.

นิตา นุ่มมีศรี. 2553. การเปรียบเทียบผลผลิต ความหนาแน่นเนื้อไม้ และค่าพลังงานความร้อนของสายพันธุ์กระถิน เพื่อใช้เป็นพลังงานชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตา นุ่มมีศรี, สายัณห์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมณี และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ.

2552. การเปรียบเทียบความหนาแน่นเนื้อไม้และผลผลิตกระถิน 54 สายพันธุ์. ว. วิทย.

กษ. 40 (1) (พิเศษ): 137-140.

บัวเรศ ประไซโย และ มยุรี ดวงเพชร. 2526. การจัดการป่าไม้เพื่อผลิตเชื้อเพลิงประเภทไม้ในชนบท, น. 65-80. ใน การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2526 (สาขาวนศาสตร์ทั่วไป). กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

บุญญา วิไลพร. 2528. พืชอาหารสัตว์เขตร้อนและการจัดการ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ปัทมา นิตไธสง. 2554. อิทธิพลของความถี่และความสูงในการตัดต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของกระถินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, สายัณห์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมณี และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ. 2552. อิทธิพลของความสูงในการตัดต่อผลผลิตและการฟื้นตัวของกระถินเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล. ว. วิทย. กษ. 40 (3) (พิเศษ): 325-328.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ, ปรีชา ธรรมานนท์, บัวเรศ ประไซโย และ คณิต ม่วงนิล. 2538. ผลของระยะปลูกและความหนาแน่นของการลิดกิ่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. วารสารวนศาสตร์ 14: 118-130.

พันธ์ศักดิ์ ถ่องแท้มุ่งเจริญ และ อนุ ชาติประสิทธิ์. 2523. ข้อเสนอแนะบางประการเกี่ยวกับการปลูกไม้กระถินยักษ์, น. 121-124. ใน การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2523 เล่มที่ 2 (สาขาวนศาสตร์ทั่วไป). กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

เพิ่มพูน กิรติกลีกร. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

มะลิวัลย์ หฤทัยชนาสน์, เกษม หฤทัยชนาสน์, เอกพงษ์ ชนะวัติ, ศักดา พรหมเลิศ และ เอกชัย ป้ายแสงจันทร์. 2553. ศักยภาพของกระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส กระถินเทพา และกระถินเทพ ณรงค์ ในการปลูกเป็นสวนป่าพืชพลังงาน, น. 579-586. ใน รายงานการประชุมทาง วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาพืช). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2549. ชีวมวล. บริษัทคิว พรินท์ แมเนจเม้นท์ จำกัด. กรุงเทพฯ.

เรณู เทพประการ, สมคิด พรหมมา และ ประสาน จึงอยู่สุข. 2545. การผลิตไบโกระถินคุณภาพดี และวิธีประเมินราคาเพื่อรับซื้อมาใช้เป็นอาหารโคนม. วารสารสัตวบาล 12 (59): 16-21.

วนิดา ปานอุทัย, นิคม แหยมสัก, สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน และ ประมุข กระจุกสุขสถิตย์. 2553. การผลิตเอทานอลจากไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการย่อยเป็น น้ำตาลและหมักพร้อมกัน, น. 392-400. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันวิสาข์ งามผ่องใส, ปิ่น จันจุฬา และ อภิชาติ หล่อเพชร. 2552. รายงานการวิจัย เรื่อง การใช้ กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคพื้นเมือง ภาคใต้. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

วารินทร์ จิระสุขทวีกุล และ สุพจน์ เจริญสุข. 2526. การแตกหน่อของไม้กระถินยักษ์, น. 80. ใน งานวิจัยต้นน้ำ 2520-2547. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

วีรชัย ออาจหาญ, นิวัฒน์ คงกระพี, กฤษกร รับสมบัติ, ปกัศ ชนะโรค และ ทิพย์สุกินทร์ หินชู. 2550. การศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน, น. 103-163 ใน สุนันทา สมพงษ์, สุภาพร จินดา, วีรชัย ออาจหาญ และ วิศพรณ สุภูมิตรเกษมณี, บรรณาธิการ. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย “โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวล ขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบ ครบวงจร”. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ.

ศศิธร ถิ่นนคร, กานดา นาคมนี และ ฉายแสง ไผ่แก้ว. 2546. การศึกษากระดินพันธุ์ด้านทานเพลี้ยไก่อไฟ (ก) ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา, น. 1-16. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2546. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศิริพร ภู่อพร, ประภา ศรีพิจิตต์, สายัณห์ ทัดศรี และ ธาณี ศรีวงศ์ชัย. 2553. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของกระดินในประเทศไทยโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะทางการเกษตร. ว. วิทย. กษ. 41 (3/1) (พิเศษ): 449-452.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. 2549. การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมคิด รื่นภาควุฒิ, ชาญชัย มณีคุลย์ และ นิตยา ศิริกิตยานนท์. 2522. อิทธิพลของระยะระหว่างต้นต่อผลผลิตของกระดิน 3 พันธุ์, น. 71-78. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2522. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมาน รวยสูงเนิน. 2526. กระดินยักษ์ช่วยปรับปรุงดินและปลูกป่าทดแทน. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สรายุทธ บุญยะเวชชีวัน. 2527. การเจริญเติบโต มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และผลผลิตไม้พื้นของกระดินยักษ์ที่ใช้ระยะปลูกต่างๆ ที่สระแกราช นครราชสีมา. วารสารวนศาสตร์ 3 (4): 307-320.

สายัณห์ ทัดศรี. 2547. พืชอาหารสัตว์เขตร้อน. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมนี และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ. 2550. กระดินยักษ์การใช้ประโยชน์ด้านพลังงานและอาหารสัตว์สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง, น. 7-32. ใน สุนันทา สมพงษ์, สุภาพร จินดา, วีระชัย อาจหาญ และ วิศพรณ ศุภมิตรเกษมณี, บรรณาธิการ. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย เรื่อง โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรุงเทพฯ.

สาขันธ์ ทศศรี, ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมนิ และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ. 2552. รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษามวลชีวภาพของกระถินเพื่อใช้เป็นแหล่งทดแทนพลังงานอย่างยั่งยืน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

_____, _____, _____ และ _____. 2553ก. รายงานการวิจัย การผลิตกระถินอย่างยั่งยืนเพื่อใช้เป็นพลังงาน. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, _____, _____ และ _____. ม.ป.ป. คู่มือการปลูกกระถินเพื่อใช้เป็นพลังงาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, _____, นพ. ตันมยุขกุล และ สุวิษ บุญโปร่ง. 2556. รายงานการวิจัย การจัดการกระถินในพื้นที่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและสูงเพื่อใช้เป็นพลังงาน. สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท., บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (ไม่ได้ตีพิมพ์).

สำนักส่งเสริมการปลูกป่า. 2550. กระถินยักษ์. กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา).

สิริวัฒน์ ทองสวัสดิ์, สาขันธ์ ทศศรี, ประภา ศรีพิจิตต์ และ สมเกียรติ ประสานพานิช. 2553. ผลของการใช้ใบกระถินเป็นปุ๋ยพืชสดต่อผลผลิตและคุณค่าทางอาหารสัตว์ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์ไต้หวันเอ148 และรูกวน่า. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย 2(2): 73-82.

เสาวภาคย์ สุขประเสริฐ. 2554. อิทธิพลของระบบปลูกที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของกระถินเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, สาขันธ์ ทศศรี, สุนันทา จันทกุล, กานดา นาคมนิ และ ณรงค์ฤทธิ์ วงศ์สุวรรณ. 2552. อิทธิพลของระยะระหว่างแถวมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของกระถินยักษ์. ว. วิทย. กษ. 40 (3) (พิเศษ): 321-324.

อนันตเดช เข้มหอม, วันวิสาข์ งามผ่องใส และ ปิ่น จันจุฬา. 2555. ผลการใช้กากเนื้อในเมล็ด
ปาล์มน้ำมันทดแทนข้าวโพดบดในอาหารชั้นต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโคชนะ และ
นิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของโคพื้นเมืองไทย. **แก่นเกษตร** 40: 343-358.

อัยฎากรณ์ กาญจนคูหา, สายัณห์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตต์, กานดา นาคมณี และณรงค์ฤทธิ์
วงศ์สุวรรณ. 2552. การเปรียบเทียบกระด้นยักษ์ 5 พันธุ์ในด้านผลผลิตของเนื้อไม้ และค่า
พลังงานความร้อน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน. **ว. วิทย. กษ.** 40 (1) (พิเศษ): 141-
144.

อุดม บุณณกานนท์. 2522. ไม้กระด้นยักษ์กับการปลูกสร้างสวนป่า, น. 21-27. ใน **การสัมมนาทาง
วนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 2 เรื่องไม้โตเร็ว**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุดม เสนากัสป์, สุมณฑิพย์ บุณนาค, พิไล กวิสราชัย และ วรพงษ์ สุริยจันทราทอง. 2526.
ปริมาณของสารมิโมซินในกระด้นพันธุ์ต่างๆ, น. 11-29. ใน **รายงานผลงานวิจัยสาขาผลิต
ปศุสัตว์ (อาหารสัตว์)**. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Abe, H., A. Katayama, B.P. Sah, T. Toriu, S. Samy, P. Pheach, M.A. Adams and P.F. Grierson.
2007. Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia.
Biomass Bioenerg 31 (9): 656-664.

Adler, P.R., M.A. Sanderson, A.A. Boateng, P.J. Weimer and H.G. Jung. 2006. Biomass yield and
biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. **Agron. J.** 98 (6): 1518-1525.

_____, S.J. Del Grosso and W.J. Parton. 2007. Life-cycle assessment of net greenhouse-gas
flux for bioenergy cropping systems. **Ecol. Appl.** 17 (3): 675-691.

Anonymous. 1990. leucaena an important multipurpose tree. **NFT Highlights** 90-01, NFTA,
Hawaii.

AOAC. 1980. **Official Method of Analysis**. 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., USA.

Arora, S.K., R.S. Paroda, U.N. Joshi, M.L. Saini and J.V. Singh. 1986. Forage yield and quality of some *Leucaena* cultivars in the semiarid region of Hisar. **Forest Ecol. Manag.** 16 (1-4): 355-366.

Bakker, R.R. and H.W. Elbersen. 2005. Managing ash content and quality in herbaceous biomass: an analysis from plant to product, pp. 210-213. *In* **Proceedings 14th European Biomass Conference**, Paris.

Barz, M. and M.K. Delivand. 2011. Agricultural residues as promising biofuels for biomass power generation in Thailand. **Journal of Sustainable Energy & Environment** Special Issue: 21-27.

Benjamin, A., R.C. Gutteridge and H.M. Shelton. 1991. Shade tolerance of some tree legumes, pp. 83-88. *In* H.M. Shelton and W.W. Stur, eds. **Forages for Plantations Crops**. Proceedings 32. ACIAR, Australia.

Bray, R. A. 1994. Possibilities for developing low mimosine leucaena, pp. 24-29. *In* H.M. Shelton, C.M. Piggins and J.L. Brewbaker, eds. **Proceeding of workshop held in Bogor**, Indonesia.

Brewbaker, J.L., D. Pluckett and V. Gonzalez. 1972. **Varietal variation and yield trials of *Leucaena leucocephala* (Kao haole) in Hawaii**. Hawaii Agricultural Experiment Station Bulletin 166.

_____, N. Hegde, E.M. Hutton, R.J. Jones, J.B. Lowry, F. Moog and R. Van Den Beldt. 1985. ***Leucaena*-forage production and use**. NFTA, Hawaii.

- Boateng, A.A., K.B. Hicks and K.P. Vogel. 2006. Pyrolysis of switchgrass (***Panicum virgatum***) harvested at several stages of maturity. **J. Anal. Appl. Pyrol.** 75 (2): 55-64.
- Buranov, A. and G. Mazza. 2008. Lignin in straw of herbaceous crops. **Ind. Crop Prod.** 28 (3): 237-259.
- Castillo, A.C., R.N. Acasio, A.G. Deocareza, E.E. Victorio, F.A. Moog, E. Galido and A.A. Llarena. 1998. New leucaena species and hybrids for livestock production, pp. 99-114. In A.C. de la Vina and F.A. Moog, eds. **Proceedings 6th Meeting of the Regional Working Group on Grazing and Feed Resources for Southeast Asia**. Mayon International Hotel Legaspi City, Philippines.
- Chave, J. 2005. **Wood density measurement protocol**. Available Source: <http://www.edb.upstlse.fr/equipel/chave/wood-density-protocol.pdf>, August 23, 2013.
- Chotchutima S., K. Kangvansaichol, S. Tudsri and P. Sripichitt. 2013. Effect of spacing on growth, biomass yield and quality of Leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) for renewable energy in Thailand. **JSBS**. 3: 48-56.
- Cooksley, D.G. 1987. Effect of weed competition on the early growth of *Leucaena leucocephala*. **Trop. Grass**. 21 (3): 139-142.
- Coombs, J. 1996. **Bioconversion Assessment Study**. CPL Scientific Ltd, UK (Air-CT92-8007).
- Dalzell, S.A., H.M. Shelton, B.F. Mullen, P.H. Larsen and K.G. McLaughlin. 2006. **Leucaena: a Guide to Establishment and Management**. Meat & Livestock Australia Ltd. Sydney, Australia.

- Dangzhen, L., X. Minghou, L. Xiaowei, Z. Zhonghua, L. Zhiyuan and Y. Hong. 2010. Effect of cellulose, lignin, alkali and alkaline earth metallic species on biomass pyrolysis and gasification. **Fuel Process. Technol.** 91 (8): 903-909.
- Darma, J., Achmanto, Y.P. and Purwanto, K.M.T. 1992. Impact studies of *Leucaena psyllid Heteropsylla cubana* on fuelwood production of *Leucaena leucocephala*. In **Final Report: Impact Studies**, Biological Control. Bogor, Indonesia.
- Demirbas, A. 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Prog. Energ. Combust.** 30 (2) 219-230.
- Denton, F.H. and T. Nickell. 1985. Rainfall and growth of giant leucaena. **Leucaena Research Report** 6: 84-85.
- Dien, B.S., H.G. Jung, K.P. Vogel, M.D. Casler, J.F.S. Lamb, P.J. Weimer, L. Iten, R.B. Mitchell and G. Sarath. 2006. Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canarygrass, and switchgrass. **Biomass Bioenerg.** 30 (10): 880-891.
- Dutt, A.K. and U. Jamwal. 1987. Effect of coppicing at different heights on wood production in leucaena. **Leucaena Research Report** 8: 27-28.
- El-Nashaar, H.M., G.M. Banowetz, S.M. Griffith, M.D. Casler and K.P. Vogel. 2009. Genotypic variability in mineral composition of switchgrass. **Bioresource Technol.** 100: 1809-1814.
- Ella, A., C. Jacobsen Blair, W.W. Stur and G. Blair. 1989. Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. **Trop. Grass.** 23 (1): 275-280.
- _____, G.J. Blair and W.W. Stur. 1991. Effect of age of forage tree legumes at the first cutting on subsequent production. **Trop. Grass.** 25 (3): 275-280.

- Enriquez-Quiroz, J.F., A. Hernandez-Garay and A.R. Quero-Carrillo. 2005. Agronomic evaluation of twenty ecotypes of *Leucaena* spp. for acid soil conditions in Mexico. **Trop. Grass.** 39 (4): 230-230.
- Fageria, N.K. 2007. Green manuring in crop production. **Plant nutrition** 30: 691-719.
- Ferraris, R. 1979. Productivity of *Leucaena leucocephala* in the wet tropics of north Queensland. **Trop. Grass.** 13 (1): 20-27.
- Gani, A. and I. Naruse. 2007. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renew. Energ.** 32(4): 649-661.
- Galgai, K.K., H.M. Shelton, B.F. Mullen and R.C. Gutteridge. 2006. Animal production potential of some new *Leucaena* accessions in the Markham Valley, Papua New Guinea. **Trop. Grass.** 40 (2): 70-78.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. **Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagent, Procedures and Some Applications)**. United State Department of Agriculture, Washington, D.C., U.S.A.
- Guevarra, A. B., A. S. Whitney and J. R., Thompson. 1978. Influence of inter-row spacing and cutting regimes on the growth and yield of leucaena. **Agro. J.** 70: 1033-1037.
- Hartoyo. 1982. **Study pengembangan lamtoro gung (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) sebagai sumber energy Balai Penelitian Hasil Hutan Bogor**. Seminar Nasional Lamtoro I. (BPPT), Jakarta.
- Hegde, N. 1982. Leucaena forage management in India, pp. 73-78. *In* **Leucaena Research in the Asian-Pacific Region**. Proceedings of a workshop held in Singapore. Ont., IDRC.

- Heineman, A. M., H.J.O. Otieno, E.K. Mengich and B.A. Amadalo. 1997. Growth and yield of eight agroforestry tree species in line plantings in Western Kenya and their effect on maize yields and soil properties. **Forest Ecol. Manag.** 91 (1): 103-135.
- Hendriks A.T.W.M. and G. Zeeman. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresour Technol.** 100(1): 10-18.
- Hoang, T.T.H., T.C. Phan, M.T. Hoang, W. Chen and R.W. Bell. 2010. Sandy soils in south central coastal Vietnam: their origin, constraints and management, pp. 251-254. *In* R.J. Gilkes and N. Prakongkep, eds. **Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science**, Soil Solutions for a Changing World; Published on DVD; <http://www.iuss.org>, 1-6 August, Brisbane, Australia.
- Hook, M. and X. Tang. 2013. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change-a review. **Energ. Policy** 52: 797-809.
- Hughes, C.E. 1998. Taxonomy of leucaena, pp. 27-38. *In* H.M. Shelton, R.C. Gutteridge, B.F. Mullen and R.A. Bray, eds. **Leucaena-Adaption, Quality and Farming Systems**. Proceedings of a Workshop Held in Hanoi, Vietnam.
- Humphreys, L.R. 1980. **A Guide to Better Pasture for the Tropic and Sub-tropics**. Wright Stephenson and Co. (Australia). Pty. Ltd, Brisbane.
- Isarasenee, A., H.M. Shelton and R.M. Jones. 1984. Accumulation of edible forage of *Leucaena leucocephala* cv. Peru over late summer and autumn for use as dry season feed. **Leucaena Res. Rpt.** 5: 3-4.
- Jenkins, B.M., R.R. Bakker and J.B. Wei. 1996. On the properties of washed straw. **Biomass Bioenerg.** 10 (4): 177-200.

- Jenkins, B.M., L.L. Baxter, T.R. Miles Jr. and T.R. Miles. 1998. Combustion properties of biomass. **Fuel Process. Technol.** 54 (1-3): 17-46.
- Jones, R.J and A.S. Aliyu. 1976. The effect of *Eleusine indica*, herbicides and activated charcoal on the seedling growth of *Leucaena leucocephala* cv. Peru. **Trop. Grass.** 10 (3): 195-203.
- Kaitho, R.J., A. Tegegne, N.N. Umunna, I.V. Nsahlai, S. Tamminga, J. Van Bruchem and J.M. Arts. 1998. Effect of *Leucaena* and *Sesbania* supplementation on body growth and scrotal circumference of Ethiopian highland sheep and goats fed teff straw basal diet. **Livest. Prod. Sci.** 54: 173-181.
- Karim, A.B., E.R. Rhodes and P.S. Savill. 1991. Effect of cutting height and cutting interval on dry matter yield of *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. **Agroforest. Syst.** 16 (2): 129-137.
- Kettering, Q.M., R. Coe, M.V. Noordwijk, Y. Ambagauand and C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest ecol. Manag.** 146 (1-3): 199-209.
- Kirkels, A.F. and G.P.J. Verbong. 2011. Biomass gasification: still promising? a 30-year global overview. **Renew. Sust. Energ. Rev.** 15 (1): 471-481.
- Kovitvadhi, K. and K. Yantasath. 1982. Research on *Leucaena* and other nitrogen-fixing trees at the Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), pp. 133-136. *In* **Proceedings of a workshop held in Singapore.** 23-26 November 1982, IDRC.
- Kocourkova D., J. Hakl, P. Fuksa, J. Kalista and J. Mrkvicka. 2006. The quality of aboveground grass biomass used for direct combustion. **Grassland Science in Europe** 11: 781-783.

- Latt, C.R., P.K.R. Nair and B.T. Kang. 2000. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. **Agroforest. Syst.** 50 (1): 27-46.
- Laxamana, N.B. 1981. **Calorific value and specific gravity of giant ipil-ipil (PCARR-IBRD project5.1)**. Collage, Laguna, Philippines, FPRDI (Forest Products Research and Development Institute)(unpublished manuscript).
- Lemus, R., E.C. Brummer, C.L. Burras, K.J. Moore, M.F. Barker and N.E. Molstad. 2008. Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA. **Biomass Bioenerg.** 32(12): 1187-1194.
- Lewandowski, I. and A. Kicherer. 1997. Combustions quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass of *Miscanthus x giganteus*. **Eur. J. Agron** 6 (3-4): 163-177.
- Luostarinen, K and A. Kauppi. 2005. Effects of coppicing on the root and stump carbohydrate dynamics in birches. **New Forests** 29 (3): 289-303.
- Masri, Z. and J. Ryan. 2005. Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat-based rotation trial. **Soil Till. Res.** 8 (2) 7:146-154.
- McKendry, P. 2002a. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technol.** 83 (1): 37-46.
- _____. 2002b. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. **Bioresource Technol.** 83 (1): 47-54.

- Mina, N.P. and S.H. Upasena. 1996. Green leaf manure of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. as complete substitute for N to Rice (*Oryza sativa* L.) in acid sulphate soil. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 30 (2): 241-248.
- Moore, K.J., S.L. False and E.A. Heaton. 2008. Biorenewable energy: new opportunities for grassland agriculture. pp. 1023-1030. *In* **Multifunctional Grasslands in a Changing World Volume II. XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress**. Hohhot, China.
- Mosier, N., C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple and M. Ladisch. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technol.** 96 (6): 673-686.
- Mullen, B.F., H.M. Shelton and S.A. Dalzell. 2005. *Leucaena* in northern Australia: a forage tree legume success story. **Trop. Grass.** 39 (4): 226-226.
- Napompeth, B. 1989. *Leucaena* psyllid in Thailand-a country report, pp. 45-53. *In* B. Napompeth and K.G. MacDicken, eds. **Leucaena Psyllid: Problem and Management: Proceeding of an International workshop**. Bogor, Indonesia.
- National Academy of Science. 1977. **Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics**. Washington D.C., USA.
- _____. 1980. **Firewood Crop Shrub and Tree Species for Energy Production**. Washington, D.C.
- _____. 1984. **Firewood Crop Shrub and Tree Species for Energy Production**. Washington, D.C.
- Nordin, A. 1994. Chemical elemental characteristics of biomass fuels. **Biomass Bioenerg.** 6 (5): 339-347.

Norton, B.W., B. Lowry and C. McSweeney. 1994. The nutritive value of *Leucaena* species, pp. 103-111. In H.M. Shelton, C.M. Piggin, J.L. Brewbaker, eds. **Proceeding of workshop held in Bogor**, Indonesia.

Obernberger, I. 1998. Decentralized biomass combustion: state of the art and future development. **Biomass and Bioenerg.** 14 (1): 33-56.

_____, T. Brunner and G. Bärnthaler. 2006. Chemical properties of solid biofuels significance and impact. **Biomass Bioenerg.** 30 (11): 973-982.

Otsyina, R., J. Hanson and E. Akyeampong. 1994. *Leucaena* in East Africa, pp. 137-141. In H.M. Shelton, C.M. Piggin and J.L. Brewbaker, eds. **Proceeding of a workshop held in Bogor**, Indonesia.

Pauly, M., K. Keegstra. 2008. Cell-wall carbohydrates and their modification as a resource for biofuels. **Plant J.** 54 (4): 559-568.

Pendey, C.B., D.K. Sharma and S.S. Bargali. 2006. Decomposition and nitrogen release from *Leucaena Leucocephala* in central India. **Tropical Ecology** 47(1): 149-151.

Prasad, J.V.N.B., G.R. Korwar, K.V. Rao, U.K. Mandal, G.R. Rao, I. Srinivas, B. Venkateswarlu, S.N. Rno and H.D. Kulkarni. 2011. Optimum stand density of *Leucaena Leucocephala* for wood production in Andhra Pradesh, Southern India. **Biomass Bioenerg.** 35 (1): 227-235.

Piggin, C.M. and J. Nulik. 2005. *Leucaena*: sustainable crop and livestock production systems in Nusa Tenggara Timur Province, Indonesia. **Trop. Grass.** 39 (4): 218-218.

_____, H.M. Shelton and P.J. Dart. 1994. Establishment and early growth of *Leucaena*, pp. 87-97. In H.M. Shelton, C.M. Piggin and J.L. Brewbaker, eds. **Proceeding of a workshop held in Bogor**, Indonesia.

- Pottinger, A.J. and C.E. Hughes. 1994. A Review of wood quality in leucaena, pp. 98-102 *In* H.M. Shelton, C.M. Piggin and J.L. Brewbaker, eds. **Proceedings of a Workshop Held in Bogor**. Indonesia.
- Pottinger, A.J., I.D. Gourlay, F.G. Gabunada Jr., B.F. Mullen and E.G. Ponce. 1998. Wood density and yield in the genus leucaena, pp. 96-102. *In* H.M. Shelton, R.C. Gutteridge, B.F. Mullen and R.A. Bray, eds. **Leucaena-Adaption, Quality and Farming Systems**. Proceedings of a Workshop Held in Hanoi, Vietnam.
- Pound, B. and L.M. Cairo. 1983. **Leucaena: Its Cultivation and Uses**. Overseas Development Administration, London.
- Prochnow, A., M. Heiermann, M. Plöchl, B. Linke, C. Idler, T. Amon and P.J. Hobbs. 2009a. Bioenergy from permanent grassland-A review: 1. Biogas. **Bioresource Technol.** 100 (21): 4931-4944.
- _____, _____, _____, T. Amon and P.J. Hobbs. 2009b. Bioenergy from permanent grassland-A review: 2. Combustion. **Bioresource Technol.** 100 (21): 4945-4954.
- Rengsirikul, K., A. Kanjanakuha, Y. Ishii, K. Kangvansaichol, P. Sripichitt, V. Punsuvon, P. Vaithanomsat, G. Nakamanee and S. Tudsri. 2011a. Potential forage and biomass production of newly introduced varieties of Leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) in Thailand. **Grassland Sci.** 57 (2): 94-100.
- _____, Y. Ishii, K. Kangvansaichol, P. Pripanapong, P. Sripichitt, V. Punsuvon, P. Vaithanomsat, G. Nakamanee and S. Tudsri. 2011b. Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumacher) cultivars as bioenergy crops in Thailand. **Grassland Sci.** 57 (3): 135-141.

- Rosillo-Calle, F., P. de Groot, S.L. Hemstock and J. Woods. 2007. **The biomass assessment Handbook: Bioenergy for a sustainable environment**. TJ International Ltd, Padstow, Cornwall, UK.
- Ryan, P.A. 1994. The use of tree legumes for fuelwood production, pp. 111-119. In R.C. Gutteridge and H.M. Shelton, eds. **Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture**. UK.
- Shelton, H.M. 2008. **Leucaena for profitable and sustainability**. Course Note. The University of Queensland. Brisban, Australia.
- _____ and J.L. Brewbaker. 1994. *Leucaena leucocephala* the-most widely used forage tree legume, pp. 15-29. In R.C. Gutteridge and H.M. Shelton, eds. **Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture**. CAB International, Wallinford.
- _____ and S. Dalzell. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. **Trop. Grass**. (41): 174-190.
- Tewari, S.K., R.S. Katiyar, B. Ram and P.N. Misra. 2004. Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. **Biomass Bioenerg**. 26 (3): 229-234.
- Thompson, D.N., P.G. Shaw and J.A. Lacey. 2003. Post-harvest processing methods for reduction of silica and alkali metals in wheat straw. **Appl. Biochem. Biotech**. 105-108, 205-218.
- Toky, O.P. and V. Singh. 1995. Nutrient dynamics in *Leucaena*, *Acacia* and *Eucalyptus*, short rotation, high density (energy) plantations in arid India. **J. Arid Environ**. 31: 401-413.

- Torres, A.R., E. Chacon, L. Arriojas and S. Armas. 2000. Effects of age and sowing pattern of *Leucaena Leucocephala* (Lam) de Wit on dry matter production and sward structure. **Zootecnia Tropical** 18: 145-161.
- Toumey, J.W. 1947. **Foundations of Silviculture: Upon an Ecological Basis**. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Tudsri, S., S. Prasanpanich, S. Sawadipanich, P. Jaripokorn and S. Iswilanond. 2001. Effect of pasture production systems on milk production in the central plains of Thailand. **Trop. Grasslands** 35 (4): 246-253.
- Van Den Beldt, R.J. 1982. Effect of spacing on growth of leucaena, pp. 103-108. *In* **Proceedings of a Workshop Held in Singapore**, 23-26 November 1982. Ont., IDRC.
- _____ and J.L. Brewbaker. 1985. **Leucaena-Wood Production and Use**. Nitrogen Fixing Tree Association, Waimanalo, Hawaii, U.S.A.
- Verma, S.C. and P.N. Misra. 1989. Biomass and energy production in coppice stands of *Vitex negundo* L. in high density plantations on Marginal land. **Biomass** 19 (3): 189-194.
- Viriabuncha, C., S. Janmahasatien and K. Peawsa-ad. 2004. Assessment of the potentiality of re-afforestation activities in climate change mitigation. *In* **Annual Report April, 2003-March, 2004**. Silviculture Research Group. Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation. Bangkok, Thailand.
- Walton, C.S. 2003. **Leucaena (*Leucaena leucocephala*) in Queensland**. Department of Natural Resources and Mines.

Wandera, F.P., and D.M.G. Njarui. 1998. Psyllid tolerance and productivity of leucaena species and hybrids in semi-arid Kenya, pp. 136-140. *In* H.M. Shelton, R.C. Gutteridge, B.F. Mullen and R.A. Bray. **Leucaena-Adaption, Quality and Farming Systems Proceedings of a Workshop Held in Hanoi**. Watson Ferguson & Co., Australia.

Weimer, P.J., B.S. Dien, T.L. Springer, and K.P. Vogel. 2005. In vitro gas production as a surrogate measure of the fermentability of cellulosic biomass to ethanol. **Appl. Microbiol. Biot.** 67 (1):52-58.

Whiteman, P.C. 1980. **Tropical Pasture Science**. Oxford University Press, London.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวมนทกานต์ กันแก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	อำเภอ พาน จังหวัด เชียงราย
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	-
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการสัตวบาลปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการปศุสัตว์เขต 7 กรมปศุสัตว์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-