

การเปรียบเทียบศักยภาพทางชีวมวลในสับุ้ด้าลูกผสมข้ามชนิด

Comparison of biomass potential in inter-specific hybrids *Jatropha*

อนรรักษ์ อรุณยานาค^{1*}, สีนินาฏ เกิดทรัพย์², พัชรินทร์ ตัญญา¹,
พรศิริ เลียงสกุล¹ และ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์¹

Anuruck Arunyanark^{1*}, Sineenart Kertsap², Patcharin Tanya¹,
Ponsiri Liangsakul¹ and Peerasak Srinives¹

บทคัดย่อ: การผสมข้ามชนิดอาจนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์สับุ้ด้าให้มีศักยภาพทางชีวมวลสูง การศึกษา
นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล คุณภาพเนื้อไม้ และการฟื้นตัวหลังการ
ตัดฟันของสับุ้ด้าลูกผสมข้ามชนิด โดยปลูกทดสอบสับุ้ด้าลูกผสมข้ามชนิด ร่วมกับสับุ้ด้า และเพิ่มปัตตาเวีย
จำนวนรวม 27 สายพันธุ์ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล คุณภาพเนื้อไม้ และการฟื้นตัวหลังการ
ตัดฟัน ผลการทดลองพบความแปรปรวนของทุกลักษณะที่ทำการศึกษา ลูกผสมข้ามชนิดของสับุ้ด้าส่วนใหญ่
มีการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวลและคุณภาพเนื้อไม้ดีกว่าสับุ้ด้า โดยลูกผสมระหว่างสับุ้ด้ากับเพิ่มปัตตาเวีย
มีศักยภาพด้านชีวมวลและความสามารถในการฟื้นตัวหลังตัดฟันดีกว่าลูกผสมระหว่างสับุ้ด้ากับผืนต้น ดั่ง
นั้น การผสมข้ามชนิดระหว่างสับุ้ด้ากับเพิ่มปัตตาเวียจึงมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการปรับปรุงพันธุ์สับุ้ด้าเพื่อ
ให้ได้พืชพลังงานชีวมวล

คำสำคัญ: เพิ่มปัตตาเวีย, ผืนต้น, การผสมข้ามชนิด, ศักยภาพด้านชีวมวล

ABSTRACT: Inter-specific hybridization might be used in *Jatropha* breeding for high biomass
potential. The objective of this study was to compare growth, biomass yield, wood property and
regrowth after pruning in inter-specific hybrids *Jatropha*. Total 27 lines of inter-specific hybrids,
Jatropha curcas, and *J. integerrima* were evaluated under field experiment. Data were collected on
growth, biomass yield, wood properties and regrowth traits. The genotype variation was found in all the
traits. Generally, inter-specific hybrid lines gave better growth, biomass yield and wood property than
J. curcas. Moreover, inter-specific hybrid between *J. curcas* and *J. integerrima* gave higher biomass
yield potential and regrowth than inter-specific hybrid between *J. curcas* and *J. multifida*. Therefore,
inter-specific hybridization between *J. curcas* and *J. integerrima* has the highest efficiency in *Jatropha*
breeding for used as biomass energy crop.

Keywords: *J. integerrima*, *J. multifida*, inter-specific hybridization, biomass potential

Received January 22, 2019

Accepted April 26, 2019

¹ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen
Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

² สาขาการปรับปรุงพันธุ์พืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Plant Breeding Program, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen
Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: agrara@ku.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยได้ส่งเสริมให้นาข้าวมวลมาผลิตกระแสไฟฟ้าตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศ เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานและเพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยข้าวมวลส่วนใหญ่อาจนำมาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีข้อจำกัดด้านความสม่ำเสมอของปริมาณข้าวมวล ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล การเก็บรวบรวมและเก็บรักษา รวมถึงบางช่วงไม่มีการเก็บเกี่ยวทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบ (พูนชาติ และคณะ, 2557) การผลิตข้าวมวลที่ไม่โตเร็ว (fast growing tree) สามารถลดปัญหาความแปรปรวนของปริมาณข้าวมวล โดยประเทศไทยมีการเพาะปลูกไม้โตเร็วอยู่หลายชนิด เช่น ยูคาลิปตัส กระถินเทพา กระถินณรงค์ กระถินเทพณรงค์ และกระถินยักษ์ แต่ไม้โตเร็วเหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกใช้ป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ เฟอร์นิเจอร์ และเป็นไม้ใช้สอยในงานก่อสร้าง ทำให้มีปริมาณข้าวมวลไม่เพียงพอสำหรับโรงไฟฟ้าข้าวมวล นอกจากนี้ ยังมีรอบตัดฟันค่อนข้างนานประมาณ 3-7 ปี อีกทั้งไม้โตเร็วบางชนิดมีการฟื้นตัวช้าหรือไม่สามารถฟื้นตัวได้ (มะลิวัลย์ และคณะ, 2553) ทำให้เกษตรกรต้องลงทุนปลูกใหม่ จึงเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตไม้โตเร็วเหล่านี้

สนุ่นดำเป็นพืชพลังงานชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตชีวมวลนอกเหนือจากการนำน้ำมันจากเมล็ดมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากสนุ่นดำสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เจริญเติบโตเร็ว และมีรอบการตัดฟันลำต้นทุกปี ดังนั้น ในแต่ละปีจึงมีผลผลิตชีวมวลที่ได้จากการตัดฟันต้นสนุ่นดำจำนวนมาก (วิไลรัตน์ และคณะ, 2561, อนุรักษ์ และคณะ, 2561) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้ แต่การใช้ชีวมวลโดยเฉพาะเนื้อไม้จากสนุ่นดำยังมีข้อจำกัด เนื่องจากเนื้อไม้ที่ได้จากต้นสนุ่นดำมีความชื้นค่อนข้างสูง เมื่อเผาจึงให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำ (Muakrong et al., 2014) จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำเพื่อให้มีปริมาณและคุณภาพเนื้อไม้ที่เหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม สนุ่นดำมี

ความหลากหลายทางพันธุกรรมค่อนข้างต่ำ (Nak-ek et al., 2011) แนวทางการพัฒนาสายพันธุ์สนุ่นดำแนวทางหนึ่ง คือ การขยายฐานพันธุกรรมให้กว้างขึ้นด้วยวิธีการผสมข้ามชนิด (inter-specific hybridization) โดยมีพืช 5 ชนิดในสกุล *Jatropha* ซึ่งมีการปลูกทั่วไปในประเทศไทย คือ สนุ่นดำ (*Jatropha curcas*) สนุ่นแดง (*J. gossypifolia*) หนุมานนั่งแท่น (*J. podagrica*) ผืนดิน (*J. multifida*) และเข็มปัตตาเวีย (*J. integerrima*) เชื้อพันธุกรรมของพืชเหล่านี้มีทั้งสายพันธุ์จากประเทศไทยหรือต่างประเทศ ซึ่งอาจนำมาใช้สร้างลูกผสมข้ามชนิดกับสนุ่นดำเพื่อสร้างความแปรปรวนของลักษณะต่าง ๆ หรือสร้างความดีเด่นเหนือพ่อแม่ (heterosis) ในลูกผสมข้ามชนิด โดยเฉพาะผืนดินและเข็มปัตตาเวียซึ่งเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตเร็วและมีคุณภาพเนื้อไม้ดี สามารถผสมกับสนุ่นดำเพื่อสร้างลูกผสมข้ามชนิดได้ (Laosatit et al., 2014; สีนินาฏ และคณะ, 2559) จากการศึกษาของ Muakrong et al. (2014) พบว่าลูกผสมระหว่างสนุ่นดำกับเข็มปัตตาเวียมีค่าความดีเด่นเหนือพ่อแม่สูง ในลักษณะน้ำหนักเนื้อไม้ ขนาดทรงพุ่มและจำนวนกิ่ง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาเพื่อประเมินว่าพืชในสกุล *Jatropha* ชนิดใดที่มีศักยภาพสูงที่สุดสำหรับใช้สร้างคู่ผสมในการปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำเพื่อพัฒนาลักษณะผลผลิตชีวมวล

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล คุณภาพเนื้อไม้ และความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันของลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนุ่นดำกับเข็มปัตตาเวียและผืนดิน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมข้ามชนิดเพื่อพัฒนาเป็นพืชพลังงานชีวมวลต่อไป

วิธีการศึกษา

ปลูกทดสอบสนุ่นดำลูกผสมข้ามชนิดร่วมกับพันธุ์พ่อแม่ จำนวนรวม 27 สายพันธุ์ แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 สนุ่นดำ (*J. curcas*; Jc) 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สนุ่นดำสายพันธุ์ชยันนาท (Cn) และสนุ่นดำสายพันธุ์ Mexico10 (M10) กลุ่มที่ 2 เข็มปัตตาเวีย (*J. integerrima*; Ji) 2 สายพันธุ์ ได้แก่ เข็มปัตตาเวียสายพันธุ์ Ji1 และเข็มปัตตาเวียสายพันธุ์ Ji2 กลุ่มที่

3 ลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 1 ระหว่างสบู่ดำสายพันธุ์ M10 กับผืนต้น (*J. multifida*; Jm) (F1-M10×Jm) จำนวน 6 สายพันธุ์ กลุ่มที่ 4 ลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 1 ระหว่างสบู่ดำสายพันธุ์ M10 กับเข็มปัตตาเวียสายพันธุ์ Ji2 (F1-M10×Ji2) จำนวน 2 สายพันธุ์ กลุ่มที่ 5 ลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 1 ระหว่างสบู่ดำสายพันธุ์ชัยนาท (Cn) กับเข็มปัตตาเวียสายพันธุ์ Ji1 (F1-Cn×Ji1) จำนวน 5 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ 6 ลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 2 ระหว่างสบู่ดำสายพันธุ์ชัยนาท (Cn) กับเข็มปัตตาเวียสายพันธุ์ Ji1 (F2-Cn×Ji1) จำนวน 10 สายพันธุ์ ในสภาพไร่ ที่แปลงวิจัยสบู่ดำ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ แปลงย่อยละ 4 ต้น

เตรียมพื้นที่ปลูกโดยการไถตะ 1 ครั้ง และไถพรวนอีก 2 ครั้ง ยกร่องและเตรียมหลุมปลูก ใช้ระยะปลูก 1×1.5 ม. ขุดหลุมขนาด 30×30 ซม. รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยคอก อัตรา 200 ก./ต้น นำท่อนพันธุ์ที่ทำการเพาะเลี้ยงในเรือนเพาะชำอายุ 2 เดือน ลงปลูกในแปลงที่เตรียมไว้ ให้น้ำพร้อมปลูก โดยให้น้ำตามร่อง เมื่อต้นกล้าแข็งแรงแล้ว จึงให้น้ำทุก 30 วัน หรือขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่/ปี โดยแบ่งให้ครั้งละ 25 กก. หลังปลูก 3 และ 6 เดือน ควบคุมและกำจัดวัชพืช โรคและแมลงศัตรูพืช โดยใช้สารเคมีร่วมกับวิธีกล

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลในระยะเวลา 1 ปี โดยเมื่ออายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก สุ่มเก็บข้อมูล 2 ต้นต่อแปลงย่อย เพื่อเก็บข้อมูลข้อมูลการเจริญเติบโต ประกอบด้วย ความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม เก็บข้อมูลขนาดลำต้นและกิ่งด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งโคนต้นที่ระดับความสูง 5-10 ซม. จากพื้นดิน และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งกิ่งหลักและกิ่งรองที่บริเวณจุดกึ่งกลางของความยาวกิ่งแต่ละตำแหน่ง โดยสุ่มวัดจำนวน 4 กิ่ง ต่อต้น วัดค่าความเขียวของใบโดยเลือกสุ่มเก็บใบที่คลี่ขยายเต็มที่แล้วตำแหน่งใบที่ 5 จากปลายยอดหรือกิ่ง จำนวน 5 ใบต่อต้น นำมาวัดค่าความเขียวใบ ด้วยเครื่อง SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) รุ่น SPAD-502 วัดที่ตำแหน่งซ้าย-ขวาของใบ ใบละ 2 จุด

แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแปลงย่อย และเก็บข้อมูลพื้นที่ใบเฉลี่ยโดยนำตัวอย่างใบที่ใช้วัดค่าความเขียวใบมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Li-3100C Area Meter) แล้วหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบต่อหนึ่งใบ

เมื่อต้นมีอายุครบ 1 ปีหลังปลูก ทำการตัดพินต้นเพื่อเก็บข้อมูลผลผลิตชีวมวล โดยตัดลำต้นที่ระดับสูงเหนือพื้นดิน 30 ซม. นำต้นที่ถูกตัดออกมาชั่งน้ำหนักสดรวมทั้งต้นและใบเพื่อเก็บข้อมูลผลผลิตชีวมวล (biomass yield) สุ่มตัดลำต้นจากลำต้นหลัก กิ่งหลัก และกิ่งรองของต้น ขนาดท่อนละ 15 ซม. รวม 3 ท่อนต่อต้น นำมาชั่งน้ำหนักท่อนสด แล้วจึงนำไปอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักท่อนแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง นำน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื้อไม้สด = [(น้ำหนักท่อนสด - น้ำหนักท่อนแห้ง) / น้ำหนักท่อนสด] × 100

วัดความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้ง (dry wood density) โดยสุ่มใช้สามท่อนต่อต้น ขนาดท่อนละ 15 เซนติเมตร นำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน และหาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ด้วยการนำท่อนไม้มาชั่งหาน้ำหนักจะได้ค่ามวลหรือน้ำหนักของท่อนไม้ จากนั้นนำท่อนไม้ไปหาปริมาตรโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้ง = มวลหรือน้ำหนักของเนื้อไม้ (ก.) / ปริมาตรของเนื้อไม้ที่ได้จากการแทนที่ด้วยน้ำ (ลบ. ซม.)

นำต้นที่ถูกตัดทั้งหมดไปตากแดดเป็นเวลา 1 เดือน แล้วสับย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ และสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อไม้ ปริมาณ 500 ก. ต่อแปลงย่อย นำไปอบแห้งแล้วบดละเอียด จากนั้นสุ่มตัวอย่างเนื้อไม้ที่บดละเอียดแล้ว 1 ก. ไปหาค่าพลังงานความร้อน (calorific value) ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น PARR 1261 และภายหลังการตัดพินเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตชีวมวล เก็บข้อมูลการพินตัวภายหลังการตัดพิน ที่อายุ 1 เดือนหลังการตัดพิน ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนยอดที่เจริญขึ้นมาจากตอของต้นเดิม และสุ่มวัดความสูงยอดใหม่ 5 ยอดต่อต้น นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสายพันธุ์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test และคำนวณค่าเฉลี่ยและ standard

error of mean ของสับดำลูกผสมข้ามชนิดทั้ง 6 กลุ่ม เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพทางชีวมวลระหว่างกลุ่มของลูกผสม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลในสับดำลูกผสมข้ามชนิด

ลักษณะการเจริญเติบโตของสับดำลูกผสมข้ามชนิด ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและกิ่ง ความเขียวใบและพื้นที่ใบเฉลี่ย มีความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ทั้งที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก (Table 1) และที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือนหลังปลูก (ไม่ได้แสดงข้อมูล) และเมื่อตัดพินต้นเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตชีวมวลเมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก พบความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ทั้งน้ำหนักผลผลิตชีวมวลต่อต้น ความขึ้นเนื้อไม้สด ความหนาแน่นเนื้อไม้แห้ง และค่าความร้อนของเนื้อไม้ (Table 2) โดยสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตชีวมวลสูงสุดคือ สายพันธุ์ F2-Cn×Ji1(150), F1-Cn×Ji1(5), F1-10×M10×Ji2(1) และ F2-Cn×Ji1(334) ซึ่งมีน้ำหนักผลผลิตชีวมวล 4.45, 4.35, 3.73 และ 3.64 กก./ต้น ตามลำดับ มีความขึ้นเนื้อไม้สด 67.30, 63.09, 59.78 และ 64.03 % ตามลำดับ มีความหนาแน่นเนื้อไม้แห้ง 0.49, 0.58, 0.53 และ

0.57 ก./ลบ. ซม. ตามลำดับ และเนื้อไม้มีค่าความร้อน 3,961, 4,281, 4,338 และ 4,207 แคลลอรี่/ก. ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาทั้งสี่ลักษณะร่วมกันพบว่า สายพันธุ์เหล่านี้มีผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด มีความขึ้นและความหนาแน่นเนื้อไม้ระดับปานกลาง และมีค่าความร้อนค่อนข้างสูง โดยสายพันธุ์ที่มีศักยภาพด้านชีวมวลสูงที่สุด คือ F1-Cn×Ji1(5) เนื่องจากทั้งผลผลิตชีวมวลและค่าความร้อนของเนื้อไม้มีค่าสูง

การเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลระหว่างกลุ่มสับดำลูกผสมข้ามชนิด

การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มสับดำลูกผสมข้ามชนิด ร่วมกับสับดำและเข็มปัตตาเวีย ที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก โดยแบ่งกลุ่มสายพันธุ์สับดำลูกผสมเป็น 6 กลุ่ม พบว่าในลักษณะขนาดลำต้นและกิ่ง ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น มีลำดับดังนี้ F2-Cn×Ji, F1-Cn×Ji1, F1-M10×Ji2, Jc > F1-M10×Jm > Ji (Figure 1a) ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งหลัก มีลำดับดังนี้ F2-Cn×Ji1, F1-M10×Ji2, F1-M10×Jm, F1-Cn×Ji1, Jc > Ji และค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งรอง มีลำดับดังนี้ Jc, F1-M10×Jm, F2-Cn×Ji1, F1-M10×Ji2, F1-Cn×Ji1 > Ji แสดงว่าสับดำลูกผสมข้ามชนิดมีขนาดลำต้นและกิ่งใหญ่กว่าเข็มปัตตาเวียแต่มีขนาดไม่แตกต่างกับสับดำ

Table 1 Mean squares from analysis of variance in diameter of trunk, primary branch and secondary branch, plant height, canopy width, leaf greenness and average leaf area of inter-specific hybrid jatropha at 12 months after planting

Source of variance	Diameter			Plant height		Canopy width		Leaf		Average	
	Trunk	Primary branch	Secondary branch					greenness		leaf area	
Replication	31.45	7.57	11.60	385.69		629.60		67.94		494.38	
Genotype	371.91 **	158.03 **	75.41 **	7,201.18 **		14,799.80 **		78.44 **		9,183.96 **	
Error	32.48	12.64	5.19	573.79		929.90		9.06		377.88	

**, significant for $P < 0.01$.

Table 2 Biomass yield, wood moisture content, dry wood density and calorific value of inter-specific hybrid jatropa at 12 months after planting

Genotype	Biomass (kg plant ⁻¹)		Wood moisture content (%)		Wood density (g cm ⁻³)		Calorific value (cal g ⁻¹)	
Cn	1.33	d-g	72.62	a-d	0.47	mn	3,981	ij
M10	0.84	fgh	73.36	abc	0.46	n	4,015	ij
Ji1	0.23	h	75.83	a	0.62	c-f	4,599	a
Ji2	0.40	gh	70.89	b-e	0.94	a	4,364	b
F ₁ -M10×Jm(1)	1.34	d-g	72.81	a-d	0.59	e-h	4,033	hij
F ₁ -M10×Jm(2)	1.41	d-g	70.89	b-e	0.66	bcd	4,061	hij
F ₁ -M10×Jm(3)	0.63	fgh	75.52	ab	0.47	lmn	4,149	fgh
F ₁ -M10×Jm(4)	1.95	cde	70.09	cde	0.64	b-e	4,083	g-j
F ₁ -M10×Jm(5)	0.58	fgh	69.42	c-f	0.53	i-l	4,103	f-i
F ₁ -M10×Jm(6)	1.04	e-h	68.32	d-f	0.63	b-e	4,062	hij
F ₁ -M10×Ji2(1)	3.73	ab	59.78	j	0.53	i-m	4,338	bc
F ₁ -M10×Ji2(2)	0.48	gh	65.25	f-i	0.59	e-i	4,279	b-e
F ₁ -Cn×Ji1(1)	1.08	e-h	60.84	ij	0.68	bc	4,287	b-e
F ₁ -Cn×Ji1(2)	2.33	cd	60.17	j	0.63	c-f	4,307	b-e
F ₁ -Cn×Ji1(3)	1.63	def	61.13	ij	0.69	b	4,323	bcd
F ₁ -Cn×Ji1(4)	0.99	e-h	61.55	ij	0.61	d-g	4,310	b-e
F ₁ -Cn×Ji1(5)	4.35	a	63.09	hij	0.58	e-i	4,281	b-e
F ₂ -Cn×Ji1(68)	0.44	fh	67.72	e-h	0.54	h-k	4,047	hij
F ₂ -Cn×Ji1(64)	0.46	gh	64.34	g-j	0.58	e-i	4,092	f-i
F ₂ -Cn×Ji1(45)	1.37	d-g	67.44	e-h	0.55	g-j	4,101	f-i
F ₂ -Cn×Ji1(111)	0.78	fgh	70.43	cde	0.48	k-n	4,062	hij
F ₂ -Cn×Ji1(150)	4.45	a	67.30	e-h	0.49	k-n	3,961	j
F ₂ -Cn×Ji1(313)	2.38	cd	69.95	c-f	0.49	j-n	4,217	c-f
F ₂ -Cn×Ji1(323)	2.69	bc	69.48	c-f	0.55	g-j	3,983	ij
F ₂ -Cn×Ji1(334)	3.64	ab	64.03	g-j	0.57	f-i	4,207	d-g
F ₂ -Cn×Ji1(426)	1.04	e-h	69.64	c-f	0.50	jn	4,001	ij
F ₂ -Cn×Ji1(358)	2.26	cd	72.52	a-d	0.47	mn	4,194	efg
F-test	**		**		**		**	
mean	1.62		67.94		0.57		4,164	

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test (DMRT).

**, significant for $P < 0.01$.

และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวีย มีขนาดลำต้นใหญ่กว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น แต่ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีขนาดกิ่งไม่แตกต่างกับลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น การเปรียบเทียบขนาดทรงพุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยของความสูงต้น มีลำดับดังนี้ $F1-M10 \times Ji2$, $F2-Cn \times Ji1$, $F1-Cn \times Ji1 > F1-M10 \times Jm > Jc > Ji$ (Figure 1b) และค่าเฉลี่ยของความกว้างทรงพุ่ม มีลำดับดังนี้ $F1-Cn \times Ji1$, $F1-M10 \times Ji2 > F2-Cn \times Ji1$, $F1-M10 \times Jm > Jc > Ji$ แสดงว่าสนูปดำลูกผสมมีขนาดทรงพุ่มใหญ่กว่าสนูปดำและเข็มปัตตาเวีย และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีความสูงต้นสูงกว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น และลูกผสมชั่วรุ่นที่ 1 ระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีความกว้างทรงพุ่มกว้างกว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น แต่ลูกผสมชั่วรุ่นที่ 2 ระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกับลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น

การเปรียบเทียบค่าความเขียวใบและพื้นที่ใบเฉลี่ย พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความเขียวใบ มีลำดับดังนี้ $Ji > F1-Cn \times Ji1$, $F2-Cn \times Ji1 > F1-M10 \times Ji2$, $Jc > F1-M10 \times Jm$ (Figure 2a) และค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบเฉลี่ย มีลำดับดังนี้ $F1-M10 \times Jm > Jc$, $F2-Cn \times Ji1 > F1-M10 \times Ji2 > F1-Cn \times Ji1 > Ji$ (Figure 1b) แสดงว่า เข็มปัตตาเวียมีความเขียวใบเข้มที่สุด ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีความเขียวใบเข้มรองลงมาแต่มีความเขียวใบเข้มมากกว่าสนูปดำ ยกเว้น $F1-M10 \times Ji2$ ซึ่งมีความเขียวใบไม่แตกต่างกับสนูปดำ และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้นมีความเขียวใบน้อยที่สุด นอกจากนี้ เข็มปัตตาเวียมีขนาดใบเล็กที่สุด ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีขนาดใบใหญ่กว่าเข็มปัตตาเวีย แต่มีขนาดใบเล็กกว่าสนูปดำ ยกเว้น $F2-Cn \times Ji1$ ซึ่งมีขนาดใบไม่แตกต่างกับสนูปดำ และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้นมีขนาดใบใหญ่ที่สุด

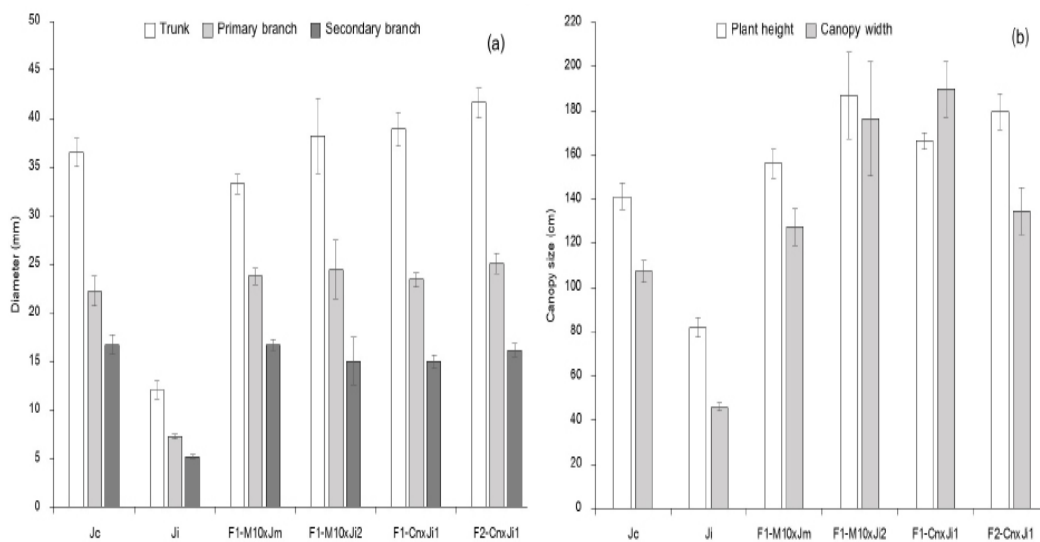


Figure 1 Comparison in diameter of trunk, primary branch and secondary branch (a), plant height and canopy width (b) among *J. curcas* (Jc), *J. integrerrima* (Ji), *J. curcas* × *J. multifida* (F1-M10×Jm), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-M10×Ji2), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-Cn×Ji1) and *J. curcas* × *J. integrerrima* (F2-Cn×Ji1) at 12 months after planting. Error bars represent ± standard error of mean.

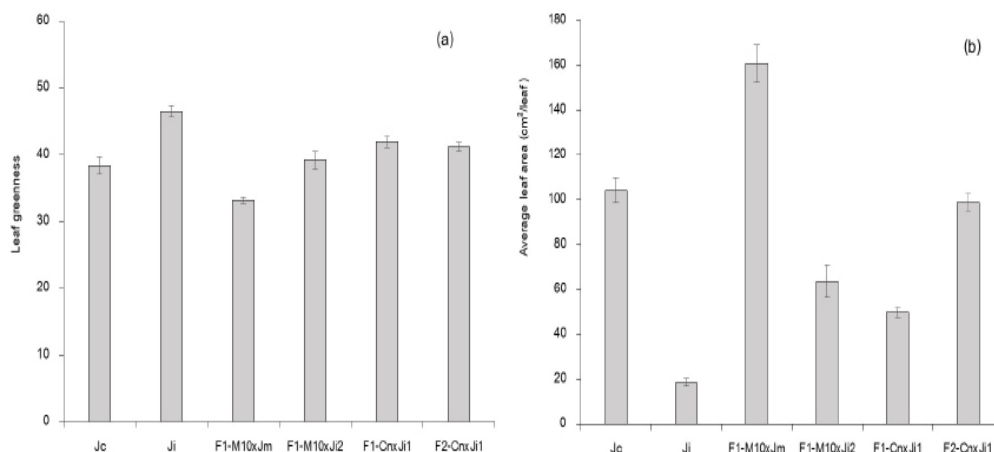


Figure 2 Comparison in leaf greenness (a) and average leaf area (b) among *J. curcas* (Jc), *J. integrerrima* (Ji), *J. curcas* × *J. multifida* (F1-M10×Jm), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-M10×Ji2), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-Cn×Ji1) และ *J. curcas* × *J. integrerrima* (F2-Cn×Ji1) at 12 months after planting. Error bars represent ± standard error of mean.

การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตชีวมวล และคุณภาพของเนื้อไม้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักชีวมวล มีลำดับดังนี้ F1-M10×Ji2, F1-Cn×Ji1, F2-Cn×Ji1 > F1-M10×Jm, Jc > Ji (Figure 3a) แสดงว่าสปีดปลูกผสมระหว่างสปีดกับเข็มปัตตาเวียมีผลผลิตชีวมวลมากกว่าสปีดและเข็มปัตตาเวีย ลูกผสมระหว่างสปีดกับเข็มปัตตาเวียมีผลผลิตชีวมวลมากกว่าลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้น และลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้นมีผลผลิตชีวมวลไม่แตกต่างกับสปีดแต่มีผลผลิตชีวมวลสูงกว่าเข็มปัตตาเวีย การเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อไม้ พบว่า ค่าเฉลี่ยความร้อนของเนื้อไม้ มีลำดับดังนี้ Ji > F1-M10×Ji2, F1-Cn×Ji1 > F1-M10×Jm, F2-Cn×Ji1 > Jc (Figure 3b) แสดงว่าเข็มปัตตาเวียมีค่าความร้อนของเนื้อไม้สูงที่สุด รองมาคือสปีด ลูกผสมข้ามชนิดซึ่งมีค่าความร้อนของเนื้อไม้สูงกว่าสปีด และลูกผสมระหว่างสปีดกับเข็มปัตตาเวียมีค่าความร้อนของเนื้อไม้สูงกว่าลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้น ยกเว้น F2-Cn×Ji1 ซึ่งมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกับลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้น ค่าเฉลี่ยของความชื้นเนื้อไม้สด มีลำดับดังนี้ Ji, Jc, F1-M10×Jm > F2-Cn×Ji1 > F1-M10×Ji2, F2-Cn×Ji1 (Figure 4a) และค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

เนื้อไม้แห้ง มีลำดับดังนี้ Ji > F1-Cn×Ji1 > F1-M10×Jm, F1-M10×Ji2 > F2-Cn×Ji1 > Jc (Figure 4b) แสดงว่าลูกผสมระหว่างสปีดกับเข็มปัตตาเวียมีคุณภาพเนื้อไม้ดีกว่าสปีด โดยมีความชื้นเนื้อไม้สดต่ำกว่าสปีดและมีความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งสูงกว่าสปีด ลูกผสมระหว่างสปีดกับเข็มปัตตาเวียมีความชื้นเนื้อไม้สดต่ำกว่าลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้น และลูกผสมระหว่างสปีดกับฝืนต้นมีความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งสูงกว่าสปีดแต่มีความชื้นเนื้อไม้สดไม่แตกต่างกับสปีด ความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันของสปีดลูกผสมข้ามชนิด

ภายหลังการตัดฟัน 1 เดือน สปีดลูกผสมข้ามชนิดมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ทั้งในลักษณะความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม ความสูงยอดใหม่และจำนวนยอดใหม่ โดย ค่าเฉลี่ยของความสูงต้นมีลำดับดังนี้ F1-M10×Ji2, F2-Cn×Ji1, Jc > F1-Cn×Ji1, F1-M10×Jm > Ji (Figure 5a) ค่าเฉลี่ยของความกว้างทรงพุ่ม มีลำดับดังนี้ Jc, F2-Cn×Ji1 > F1-M10×Ji2, F1-Cn×Ji1 > F1-M10×Jm > Ji ค่าเฉลี่ยของความสูงยอดใหม่ มีลำดับดังนี้ F2-Cn×Ji1, Jc, F1-M10×Ji2 > F1-Cn×Ji1, Ji > F1-

M10×Jm และค่าเฉลี่ยของจำนวนยอดใหม่ มีลำดับดังนี้ F2-Cn×Ji1, F1-M10×Ji2, F1-Cn×Ji1, Jc > F1-M10×Jm, Ji (Figure 5b) แสดงว่าสนูป่าลูกผสมข้ามชนิดบางกลุ่ม ได้แก่ F2-Cn×Ji1 และ F1-M10×Ji2 มีความสามารถในการฟื้นตัวหลังตัดฟันได้ดีใกล้เคียงกับสนูป่า และลูกผสมระหว่างสนูป่ากับเข็มปัตตาเวียมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังตัดฟันดีกว่าลูกผสมระหว่างสนูป่ากับผืนต้น นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง

ลักษณะผลผลิตชีวมวลและความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันของสนูป่าลูกผสมข้ามชนิด พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักผลผลิตชีวมวลและจำนวนยอดใหม่ โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r) 0.51** (Figure 6) แสดงว่าสนูป่าลูกผสมข้ามชนิดสายพันธุ์ที่มีผลผลิตชีวมวลสูงจะมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันที่ดีด้วย

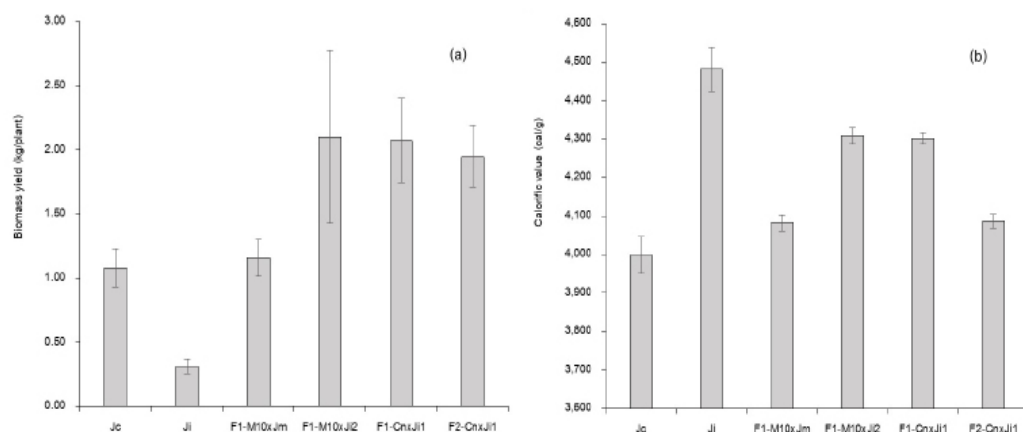


Figure 3 Comparison in biomass yield (a) and calorific value (b) among *J. curcas* (Jc), *J. integrerrima* (Ji), *J. curcas* × *J. multifida* (F1-M10×Jm), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-M10×Ji2), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-Cn×Ji1) และ *J. curcas* × *J. integrerrima* (F2-Cn×Ji1) at 12 months after planting. Error bars represent ± standard error of mean.

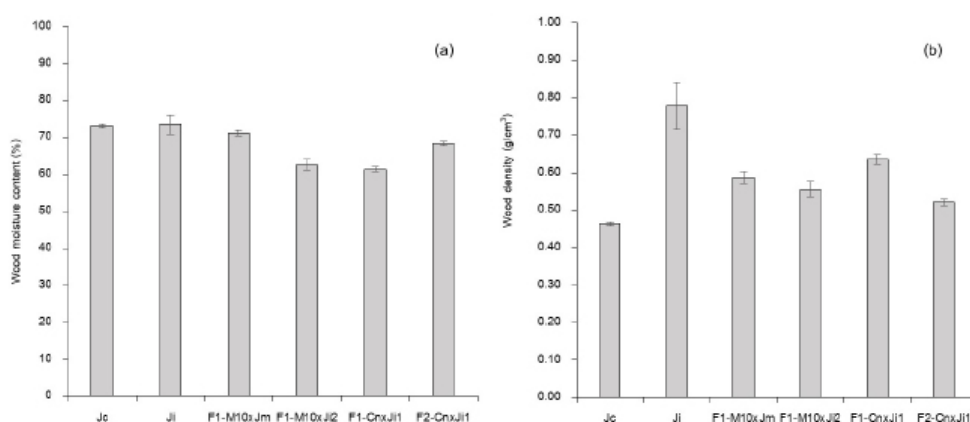


Figure 4 Comparison in wood moisture content (a) and dry wood density (b) among *J. curcas* (Jc), *J. integrerrima* (Ji), *J. curcas* × *J. multifida* (F1-M10×Jm), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-M10×Ji2), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-Cn×Ji1) และ *J. curcas* × *J. integrerrima* (F2-Cn×Ji1) at 12 months after planting. Error bars represent ± standard error of mean.

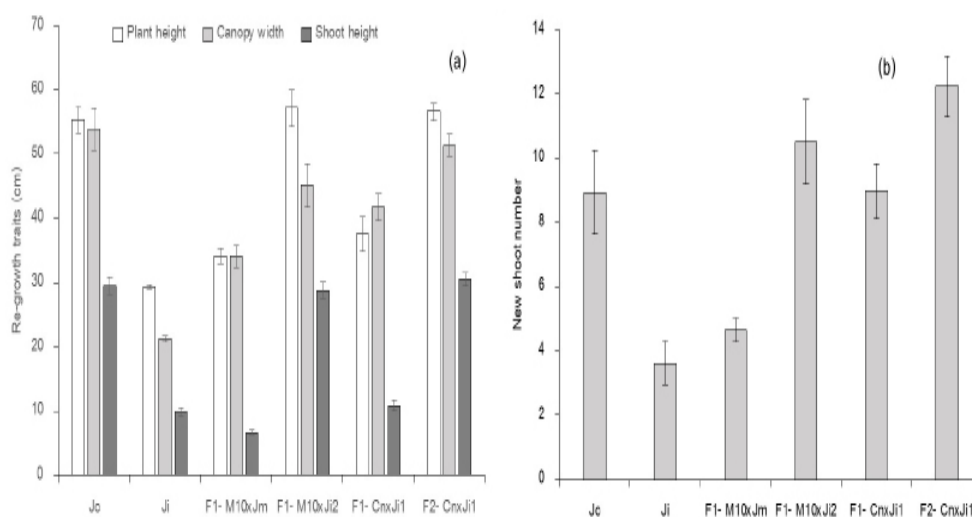


Figure 5 Comparison in plant height, canopy width, shoot height (a), and new shoot number (b) among *J. curcas* (Jc), *J. integrerrima* (Ji), *J. curcas* × *J. multifida* (F1-M10×Jm), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-M10×Ji2), *J. curcas* × *J. integrerrima* (F1-Cn×Ji1) and *J. curcas* × *J. integrerrima* (F2-Cn×Ji1) at 1 months after cutting. Error bars represent $\pm$ standard error of mean.

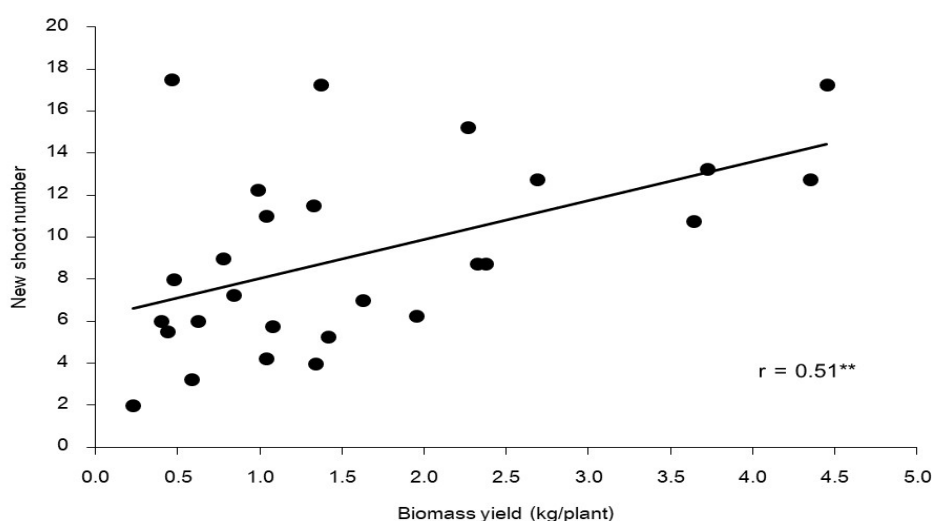


Figure 6 Relationship between biomass yield and new shoot number in inter-specific hybrids of *Jatropha* ($n = 27$). r = correlation coefficients, ** significant for $P < 0.01$.

วิจารณ์ผลการทดลอง

การผสมข้ามชนิดเป็นการขยายฐานความแปรปรวนทางพันธุกรรมและใช้ประโยชน์จากความดีเด่นเหนือพ่อแม่ของลูกผสม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ไม้โตเร็วหลายชนิด เช่น วิลโลว์ (willow), พอปลาร์ (poplar), ยูคาลิปตัส และ กระถินยักษ์ (Gramlich et al., 2018; Barghini et al., 2015; Sumathi and Ramasamy, 2017; Brewbaker, 2013) การศึกษาความแปรปรวนในลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล และคุณภาพของเนื้อไม้ของลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียและระหว่างสนูปดำกับผืนต้นในการทดลองนี้ สามารถคัดเลือกลูกผสมได้สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตชีวมวลสูงสุด คือ สายพันธุ์ F2-Cn×Ji1(150), F1-Cn×Ji1(5), F1-M10×Jm(1) และ F2-Cn×Ji1(334) ซึ่งเมื่อคำนวณน้ำหนักผลผลิตชีวมวลต่อพื้นที่ปลูกในปีแรกที่ปลูกพบว่าสามารถให้ผลผลิตชีวมวล 4.74, 4.64, 3.98 และ 3.88 ตัน/ไร่ ตามลำดับ

การเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลระหว่างสนูปดำลูกผสมกลุ่มต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าลูกผสมข้ามชนิดมีการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล และคุณภาพเนื้อไม้ดีกว่าสนูปดำสายพันธุ์เดิม โดยลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีขนาดลำต้นและกิ่งใหญ่ใกล้เคียงกับสนูปดำ แต่มีขนาดทรงพุ่มสูงใหญ่กว่าสนูปดำ รวมทั้งมีปริมาณผลผลิตชีวมวลสูงกว่าสนูปดำอีกด้วย สอดคล้องกับงานศึกษาที่ผ่านมา ซึ่ง Muakrong et al. (2014) พบความดีเด่นเหนือพ่อแม่ที่สูงในลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวีย และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียยังได้รับลักษณะใบเล็กและมีสีเขียวเข้มมาจากเข็มปัตตาเวีย จึงทำให้ลูกผสมส่วนใหญ่มีขนาดใบเล็กและสีเขียวเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับสนูปดำ ส่วนลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้นพบว่ามีขนาดใบใหญ่และมีสีเขียวอ่อนกว่าสนูปดำ นอกจากนี้ ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียยังได้รับลักษณะคุณสมบัติเนื้อไม้ที่ดีจากเข็มปัตตาเวีย จึงทำให้ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีค่าความร้อนและความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงกว่าสนูปดำ แต่สำหรับลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้นมีการเจริญเติบโต ผลผลิตชีวมวล

และคุณภาพเนื้อไม้ไม่แตกต่างจากสนูปดำสายพันธุ์เดิมมากนัก ยกเว้นมีความหนาแน่นและค่าความร้อนของเนื้อไม้ที่สูงกว่าสนูปดำ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบลูกผสมข้ามชนิดทั้งสองคู่ ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียจึงมีศักยภาพด้านชีวมวลสูงกว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น

ความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันเป็นอีกลักษณะที่สำคัญต่อการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานชีวมวล พืชที่มีความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันที่ดีจะมีศักยภาพในการเป็นไม้พลังงานที่มีรอบตัดฟันสั้น โดยไม้โตเร็ว เช่น กระถินเทพาและกระถินเทพณรงค์มีความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันน้อยมากถึงไม่ฟื้นตัวเลย (มะลิวัลย์ และคณะ, 2553) จึงทำให้เกษตรกรต้องลงทุนปลูกใหม่ทุกรอบ สำหรับสนูปดำเป็นพืชที่สามารถฟื้นตัวหลังการตัดฟันได้ดีและสามารถตัดฟันได้ทุกปี (Santoso et al., 2016, อนุรักษ์ และคณะ, 2561) การทดลองนี้พบว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียบางกลุ่มมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟันได้ดีไม่แตกต่างจากสนูปดำ ดังนั้น ลูกผสมคู่นี้จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นพืชพลังงานที่มีรอบตัดฟันสั้น นอกจากนี้ ยังพบสหสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างปริมาณผลผลิตชีวมวลกับความสามารถในการฟื้นตัวหลังการตัดฟัน แสดงว่าอาจสามารถคัดเลือกทั้งสองลักษณะไปพร้อมกันในงานปรับปรุงพันธุ์สนูปดำ

สรุป

ลูกผสมข้ามชนิดในสกุล *Jatropha* สามารถนำมาใช้เป็นพืชพลังงานชีวมวล เนื่องจากสนูปดำลูกผสมข้ามชนิดส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลสูงกว่าสนูปดำและเข็มปัตตาเวีย และสนูปดำลูกผสมข้ามชนิดยังมีคุณภาพเนื้อไม้ดีกว่าสนูปดำอีกด้วย โดยลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีขนาดลำต้นและทรงพุ่มใหญ่กว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียมีผลผลิตชีวมวลและค่าความร้อนของเนื้อไม้สูงกว่าลูกผสมระหว่างสนูปดำกับผืนต้น นอกจากนี้ ลูกผสมระหว่างสนูปดำกับเข็มปัตตาเวียยังมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังตัดฟันได้ดีใกล้เคียงกับสนูปดำ และลูกผสมระหว่างสนูปดำกับ

เข็มปัตตาเวียมีความสามารถในการฟื้นตัวหลังตัดพันธุ์ดีกว่าลูกผสมระหว่างสนูปดากับผืนต้น ดังนั้นลูกผสมระหว่างสนูปดากับเข็มปัตตาเวียจึงเป็นลูกผสมข้ามชนิดที่มีศักยภาพด้านชีวมวลสูงที่สุด จึงมีโอกาสประสบความสำเร็จในงานปรับปรุงพันธุ์สนูปดาลูกผสมเพื่อใช้เป็นพืชพลังงานชีวมวลมากที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการทุน NSTDA Chair Professor ของ ประจำปี 2554 ภายใต้ความร่วมมือระหว่าง มูลนิธิสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์กับสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

พูนชาติ คิดหาทอง, วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ และ อัจฉริยา สุริยะวงศ์. 2557. การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย. วารสารวิจัยพลังงาน. 11: 63-76.

มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันต์, เกษม หฤทัยธนาสันต์, เอกพงษ์ ธนะวิติ, ศักดา พรหมเลิศ และ เอกชัย บ่ายแสงจันทร์. 2553. ศักยภาพของกระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส กระถินเทพา และ กระถินเทพณรงค์ในการปลูกเป็นสวนป่าพืชพลังงาน. น. 579-586. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. กรุงเทพมหานคร.

วิไลรัตน์ ฤกษ์วิริ, อนุรักษ์ อร์ญญนาค, พัชรินทร์ ตัญญะ, พรศิริ เลี้ยงสกุล และ พิระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2561. การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและชีวมวลในสนูปดาลูกผสม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49 : 361-364.

สินีนางู เกิดทรัพย์, พัชรินทร์ ตัญญะ, พรศิริ เลี้ยงสกุล และ อนุรักษ์ อร์ญญนาค. 2559. ศักยภาพ

ผลผลิตเนื้อไม้ของลูกผสมข้ามชนิดในพืชสกุล *Jatropha*. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 47: 361-364.

อนุรักษ์ อร์ญญนาค, พัชรินทร์ ตัญญะ, พรศิริ เลี้ยงสกุล และ พิระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2561. การประเมินผลผลิตและชีวมวลในสนูปดาลูกผสมภายในชนิดและลูกผสมข้ามชนิด. เกษตร. 46 : 1191-1202.

Barghini, E., R.M. Cossu, A. Cavallini, and T. Giordani. 2015. Transcriptome analysis of response to drought in poplar interspecific hybrids. Genomics Data. 3: 143-145.

Brewbaker, J.L. 2013. 'KX4-Hawaii', seedless interspecific hybrid *Leucaena*. HortScience. 48: 390-391.

Gramlich, S., N.D. Wagner, and E. Hörandl. 2018. RAD-seq reveals genetic structure of the F2-generation of natural willow hybrids (*Salix* L.) and a great potential for interspecific introgression. BMC Plant Biology. 18: 317-329.

Laosatit, K., P. Tanya, N. Muakrong, and P. Srinives. 2014. Development of interspecific and intergeneric hybrids among *jatropha*-related species and verification of the hybrids using EST-SSR markers. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization. 12: S58-S61.

Muakrong, N., K. Thida One, P. Tanya, and P. Srinives. 2014. Interspecific *jatropha* hybrid as a new promising source of woody biomass. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization. 12: 17-20.

Na-ek, Y., A. Wongkaew, T. Phumichai, N. Kongsiri, R. Kaveeta, T. reewongchai, and C. Phumichai. 2011. Genetic diversity of physic nut (*Jatropha curcas* L.) revealed by SSR markers. Journal of Crop Science and Biotechnology. 14: 105-110.

- Santoso, B.B., I.G.M.A. Parwata, S. Susanto, and B.S. Purwoko. 2016. Yield Performance of *Jatropha curcas* L. after pruning during five years production cycles in North Lombok dry land, Indonesia. Global Advanced Research Journal of Agricultural Science. 5: 103-109.
- Sumathi, M., and Y. Ramasamy. 2017. Microsatellite allele length variations in inter-specific hybrids of Eucalyptus. Acta Botanica Croatica 76: 103–106.