

สหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลในลูกผสมข้าม ชนิดระหว่างสนับดำกับเข็มปัตตาเวีย

Correlation of growth and biomass yield traits in inter-specific hybrids between *Jatropha curcas* and *J. integerrima*

อนรรักษ์ อรัญญานก^{1*}, วิลัยรัตน์ ฤกษ์วีระ², พัชรินทร์ ตัญญะ¹, พรศิริ เลี้ยงสกุล¹
และ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์¹

Anuruck Arunyanark^{1*}, Wilairat Roekwiree², Patcharin Tanya¹, Ponsiri Liangsakul¹
and Peerasak Srinives¹

บทคัดย่อ: ลักษณะการเจริญเติบโตอาจใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์สนับดำลูกผสมให้มีผลผลิตชีวมวลสูง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของคู่ผสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวล และหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตกับผลผลิตชีวมวลในสนับดำลูกผสมข้ามชนิด โดยปลูกทดสอบลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนับดำกับเข็มปัตตาเวีย จำนวน 16 คู่ผสม ในสภาพไร่เป็นเวลา 2 ปี (2015 - 2017) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของลูกผสมในแต่ละรอบปี พบว่า คู่ผสมมีอิทธิพลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสนับดำลูกผสมทั้งหลังปลูกและหลังตัดฟัน และผลผลิตชีวมวลมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับขนาดลำต้นและกิ่งและขนาดทรงพุ่ม ($r = 0.31^{**}$ ถึง 0.84^{**}) จึงสามารถใช้ลักษณะเหล่านี้ในการคัดเลือกสายพันธุ์สนับดำลูกผสมเพื่อให้มีผลผลิตชีวมวลสูง นอกจากนี้ ความชื้นของเนื้อไม้มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับขนาดลำต้นและกิ่ง ขนาดทรงพุ่มและผลผลิตชีวมวล ($r = -0.22^{**}$ ถึง -0.58^{**}) แสดงว่าสามารถปรับปรุงพันธุ์สนับดำลูกผสมที่มีการเจริญเติบโตดีและผลผลิตชีวมวลสูงพร้อมกับปรับปรุงเนื้อไม้ให้มีความชื้นต่ำ

คำสำคัญ: ชีวมวล, เนื้อไม้, สนับดำ, การปรับปรุงพันธุ์พืช, การผสมข้ามชนิด

ABSTRACT: Growth traits might be used in selection for biomass yield of hybrid *Jatropha*. The objectives of this research were to 1) evaluate the effect of crosses to growth and biomass yield and 2) investigate the relationships between growth and biomass yield traits of inter-specific hybrids of *Jatropha*. Total 16 crosses of inter-specific hybrids between *J. curcas* and *J. integerrima* were evaluated under the field condition during year 2015 - 2017. Data were collected on growth and biomass yield traits during each year cycle. Effect of crosses was found on growth and biomass yield traits of hybrid for both of after planting and after pruning. The correlation coefficients

Received August 6, 2019

Accepted February 20, 2020

¹ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

² สาขาการปรับปรุงพันธุ์พืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

² Plant Breeding Program, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrara@ku.ac.th

between biomass yield with size of stem, branch, and canopy were positive and highly significant ($r = 0.31^{**}$ to 0.84^{**}). This finding suggest that size of stem, branch, and canopy could be used as indirect selection for high biomass yield of hybrid *Jatropha*. Moreover, there were significant and negative relationships between moisture content of wood and size of stem, branch, and canopy and biomass yield ($r = -0.22^{**}$ to -0.58^{**}) suggesting that breeding of hybrid *Jatropha* for well growth, high biomass yield, and low moisture content of wood could be done.

Keywords: biomass, wood, *J. curcas*, plant breeding, inter-specific hybridization

บทนำ

การแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ ๆ ที่ยั่งยืนเป็นเรื่องที่ประเทศไทยและทั่วโลกให้ความสำคัญ สนุ่นดำ (*Jatropha curcas* L.) เป็นพืชทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพด้านชีวมวล สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจึงปลูกได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย ทั้งยังขยายพันธุ์ได้ง่ายและเจริญเติบโตเร็ว (Tiwari et al., 2007) และยังเป็นไม้โตเร็วที่ให้ผลผลิตชีวมวลสูงโดยเฉพาะผลผลิตที่เป็นเนื้อไม้ สนุ่นดำสามารถตัดฟันเก็บเกี่ยวผลผลิตชีวมวลได้ทุกปีจึงมีความสม่ำเสมอของปริมาณผลผลิตเหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานทดแทน (อนุรักษ์ และคณะ, 2561) แต่เนื้อไม้ของสนุ่นดำมีความหนาแน่นต่ำและมีความชื้นสูงทำให้เมื่อเผาจะได้ค่าความร้อนต่ำ (Muakrong et al., 2014) อย่างไรก็ตาม ทั้งลักษณะคุณภาพและปริมาณผลผลิตชีวมวลของสนุ่นดำสามารถพัฒนาขึ้นได้ด้วยการปรับปรุงพันธุ์

การพัฒนาศักยภาพด้านชีวมวลของสนุ่นดำสามารถทำได้ด้วยการผสมข้ามชนิดกับกับเข็มปัตตาเวีย (*J. integerrima*) (Laosatit et al., 2014) งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนุ่นดำกับเข็มปัตตาเวียเป็นลูกผสมที่มีศักยภาพด้านชีวมวลสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลูกผสมข้ามชนิดในพืชสกุล *Jatropha* อื่น ๆ (อนุรักษ์ และคณะ, 2562) นอกจากนี้ ยังพบว่าลูกผสมมีความดีเด่นเหนือพ่อแม่ (heterosis) สูงในลักษณะผลผลิตชีวมวล (Muakrong et al., 2014) ทำให้การผลิตสายพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมสามารถใช้ประโยชน์จากความดีเด่นเหนือพ่อแม่ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากสามารถขยายพันธุ์ลูกผสมด้วยท่อนพันธุ์ได้ อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลของสายพันธุ์ที่เหมาะสมของสนุ่นดำและเข็มปัตตาเวียสำหรับใช้เป็นคู่ผสมเพื่อผลิตลูกผสมที่มีศักยภาพด้านชีวมวลสูง

การปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมเพื่อลักษณะผลผลิตชีวมวล การคัดเลือกเป็นขั้นตอนที่สำคัญและ

เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากลักษณะผลผลิตชีวมวลของไม้โตเร็วเป็นลักษณะเชิงปริมาณซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ และมักมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมรวมถึงอิทธิพลของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง (Sixto et al., 2016) ทำให้การคัดเลือกลักษณะผลผลิตชีวมวลโดยตรงทำได้ยาก จึงควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่สนใจเพื่อใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาในการคัดเลือก ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์ไม้โตเร็วหลายชนิดมักใช้ลักษณะการเจริญเติบโต เช่น ขนาดลำต้น ความสูง และความกว้างทรงพุ่มในการประเมินปริมาณผลผลิตชีวมวลและใช้ลักษณะเหล่านั้นในการคัดเลือกสายพันธุ์ เช่น วิลโลว์ (willow) (Berlin et al., 2017), พอปูลาร์ (poplar) (Verlinden et al., 2013), ยูคาลิปตัส (Santos et al., 2015) และกระถินยักษ์ (Chotchutima et al., 2013) สำหรับสนุ่นดำลูกผสมหากพบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตชีวมวลกับลักษณะการเจริญเติบโตบางลักษณะ จะทำให้สามารถใช้ลักษณะเหล่านั้นเป็นเครื่องมือทางอ้อมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมเพื่อลักษณะผลผลิตชีวมวล

การปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมข้ามชนิดสามารถเพิ่มศักยภาพด้านชีวมวลให้แก่สนุ่นดำได้ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของคู่ผสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวล และหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตกับผลผลิตชีวมวลในลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนุ่นดำกับเข็มปัตตาเวีย ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมให้มีศักยภาพด้านชีวมวลสูง โดยใช้ในการวางแผนเลือกสายพันธุ์พ่อแม่สำหรับการผลิตสนุ่นดำลูกผสม และยังสามารถหาลักษณะทางอ้อมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคัดเลือกเพื่อลักษณะผลผลิตชีวมวลในสายพันธุ์สนุ่นดำลูกผสมอีกด้วย

วิธีการศึกษา

ปลูกทดสอบปลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 1 ระหว่างสนับดำกับเข้มนปัดตาเวีย จำนวน 16 คู่ผสม ประกอบด้วย $Cn \times Ji2$, $Cn \times Ji4$, $Cn \times Ji5$, $K \times Ji2$, $K \times Ji4$, $K \times Ji5$, $M8 \times Ji2$, $M8 \times Ji5$, $S19 \times Ji2$, $S19 \times Ji4$, $S19 \times Ji5$, $P5 \times Ji2$, $P8 \times Ji2$, $P8 \times Ji5$, $P9 \times Ji4$ และ $P9 \times Ji5$ ในสภาพไร่เป็นเวลา 2 ปี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 ถึงเดือนมกราคม 2560 ณ แปลงทดลองสนับดำ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม วางแผนการปลูกทดสอบแบบ completely randomized design (CRD) จำนวนซ้ำไม่เท่า เนื่องจากแต่ละคู่ผสมมีจำนวนต้นลูกผสมไม่เท่ากัน โดยแต่ละคู่ผสมมีจำนวนต้น 8 ถึง 40 ต้น จำนวนลูกผสมรวมทุกคู่ผสม 325 ต้น นำไปปลูกแปลงย่อยละ 4 ต้น ใช้ระยะปลูก 1.5×1 ม. รองกันหลุมปลูกด้วยปุ๋ยคอก อัตรา 200 ก./ต้น และใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ปี การให้น้ำขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ควบคุมและกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีร่วมกับวิธีกล เมื่ออายุครบ 1 ปีหลังปลูก ทำการตัดพินเก็บเกี่ยวผลผลิตชีวมวล จากนั้นจึงปล่อยให้ต้นโตเต็มเจริญเติบโตใหม่ จนครบ 1 ปีหลังการตัดพิน แล้วจึงตัดพินเก็บเกี่ยวผลผลิตชีวมวลอีกครั้ง

เก็บข้อมูลของลูกผสมจากทุกต้นและทำการบันทึกข้อมูลทุกลักษณะเป็นรายต้น ในระยะเวลา 2 รอบปี โดยในปีที่ 1 เป็นข้อมูลหลังปลูก และปีที่ 2 เป็นข้อมูลหลังตัดพิน เมื่อสนับดำลูกผสมอายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูกและหลังตัดพิน เก็บข้อมูลความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม และเก็บข้อมูลขนาดลำต้นและกิ่งด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งโคนต้น (trunk) ที่ระดับความสูง 5-10 ซม. จากพื้นดิน และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งลำต้นหลัก (main stem) กิ่งหลัก (primary branch) และกิ่งรอง (secondary branch) ที่บริเวณจุดกึ่งกลางของความยาวกิ่งแต่ละตำแหน่ง โดยสุ่มวัดจำนวน 4 กิ่ง ต่อต้น ที่อายุ 6 และ 9 เดือนหลังปลูก และหลังตัดพิน วัดค่าความเขียวของใบโดยเลือกสุ่มเก็บใบที่คล้ายๆ กันที่แล้วตำแหน่งใบที่ 5 จากปลายยอดหรือกิ่ง จำนวน 5 ใบต่อต้น นำมาวัดค่าความเขียวใบ ด้วยเครื่อง SPAD chlorophyll meter

reading (SCMR) รุ่น SPAD-502 วัดที่ตำแหน่งซ้าย-ขวาของใบ ใบละ 2 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละต้น และเก็บข้อมูลพื้นที่ใบเฉลี่ยโดยนำตัวอย่างใบที่ใช้วัดค่าความเขียวใบมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Li-3100C Area Meter) แล้วหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบต่อหนึ่งใบ

เมื่อต้นลูกผสมข้ามชนิดมีอายุครบ 1 ปีทั้งหลังปลูกและหลังตัดพิน ทำการตัดพินเก็บข้อมูลผลผลิตชีวมวล โดยตัดลำต้นที่ระดับสูงเหนือพื้นดิน 30 ซม. นำต้นที่ถูกตัดออกมาซึ่งนำหนักสดรวมทั้งต้นและใบเพื่อเก็บข้อมูลผลผลิตชีวมวล (biomass yield) สุ่มตัดลำต้นจากลำต้นหลัก กิ่งหลัก และกิ่งรองของต้นขนาดท่อนละ 15 ซม. รวม 3 ท่อนต่อต้น นำมาซึ่งน้ำหนักท่อนสด แล้วจึงนำไปอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักท่อนแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง นำน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื้อไม้สด = $[(\text{น้ำหนักท่อนสด} - \text{น้ำหนักท่อนแห้ง}) / \text{น้ำหนักท่อนสด}] \times 100$

วัดความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้ง (dry wood density) โดยสุ่มใช้สามท่อนต่อต้น ขนาดท่อนละ 15 ซม. นำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน และหาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ด้วยการนำท่อนไม้มาซึ่งหาน้ำหนักจะได้ค่ามวลหรือน้ำหนักของท่อนไม้ จากนั้นนำท่อนไม้ไปหาปริมาตรโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้ง = $\text{มวลหรือน้ำหนักของเนื้อไม้ (ก.)} / \text{ปริมาตรของเนื้อไม้ที่ได้จากการแทนที่ด้วยน้ำ (ลบ. ซม.)}$

นำต้นลูกผสมข้ามชนิดหลังจากซึ่งน้ำหนักสดรวม นำไปตากแดดเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อให้ต้นทั้งใบเหลือเฉพาะเนื้อไม้ แล้วบันทึกเป็นข้อมูลน้ำหนักเนื้อไม้แห้ง และเนื่องจากมีการกระจายตัวของลักษณะในสนับดำลูกผสมข้ามชนิดชั่วรุ่นที่ 1 ดังนั้นจึงวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลทุกลักษณะเป็นรายต้น ด้วยแผนการทดลองแบบ CRD เพื่อศึกษาอิทธิพลของคู่ผสมต่อลักษณะของลูกผสม และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT (Duncan's New Multiple Rang Test) และคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของสนับดำลูกผสม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของคู่ผสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของลูกผสมข้ามชนิดหลังปลูก

ลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนับดำกับเข็มปัตตาเวียมีขนาดลำต้นและกิ่ง และขนาดทรงพุ่มแตกต่างกันระหว่างคู่ผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก (Table 1) คู่ผสม $K \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นและกิ่งหลักสูงสุด เฉลี่ย 76.91 และ 28.53 มม. ตามลำดับ คู่ผสม $K \times Ji4$ และ $K \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นหลักสูงสุด เฉลี่ย 52.66 และ 51.35 มม. ตามลำดับ และคู่ผสม $P9 \times Ji4$ และ $K \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งรองสูงสุด เฉลี่ย 16.95 และ 16.91 มม. ตามลำดับ ส่วนขนาดทรงพุ่ม พบว่า คู่ผสม $K \times Ji4$ ให้ลูกผสมที่มีความสูงต้นสูงสุด เฉลี่ย 272.80 ซม. และคู่ผสม $K \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความกว้างทรงพุ่มสูงสุด เฉลี่ย 254.50 ซม. และพบความแตกต่างระหว่างคู่ผสมในค่าความเขียวของใบและพื้นที่ใบเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก คู่ผสม $P5 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความเขียวของใบสูงสุด เฉลี่ย 38.37 ส่วนคู่ผสม $K \times Ji4$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงสุด เฉลี่ย 65.76 ตร.ซม./ใบ นอกจากนี้ ยังพบความแตกต่างระหว่างคู่ผสมในน้ำหนักสดรวม น้ำหนักเนื้อไม้แห้ง ความชื้นเนื้อไม้สด และความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้งของลูกผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) คู่ผสม $K \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีน้ำหนักสดรวมสูงสุด เฉลี่ย 10.74 กก./ต้น นอกจากนี้ คู่ผสมดังกล่าวยังสามารถให้ลูกผสมที่มีน้ำหนักเนื้อไม้แห้งสูงสุดอีกด้วย เฉลี่ย 6.83 กก./ต้น คู่ผสม $M8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความชื้นเนื้อไม้สดต่ำที่สุด เฉลี่ย 54.74 % และคู่ผสม $P8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้งสูงสุด เฉลี่ย 0.63 ก./ลบ.ซม.

อิทธิพลของคู่ผสมต่อลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของลูกผสมข้ามชนิดหลังการตัดฟัน

สนับดำลูกผสมมีขนาดลำต้นและกิ่ง และขนาดทรงพุ่มแตกต่างกันระหว่างคู่ผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ที่อายุ 12 เดือนหลังตัดฟัน (Table 2) แต่จากการตัดฟันต้นสนับดำในปีแรกได้ตัด

ส่วนลำต้นหลักออกไปตั้งนั้นในปีที่สองจึงไม่มีการเก็บข้อมูลในตำแหน่งดังกล่าว โดยคู่ผสม $M8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น กิ่งหลักและกิ่งรองสูงสุด ค่าเฉลี่ย 94.35, 25.30 และ 14.10 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้ คู่ผสมดังกล่าวยังให้ลูกผสมที่มีความสูงต้นสูงสุด เฉลี่ย 273.60 ซม. และคู่ผสม $K \times Ji2$, $M8 \times Ji$, $K \times Ji4$ และ $Cn \times Ji4$ ให้ลูกผสมที่มีความกว้างทรงพุ่มสูงสุด เฉลี่ย 179.50 ถึง 171.40 ซม. และพบความแตกต่างระหว่างคู่ผสมในค่าความเขียวของใบและพื้นที่ใบเฉลี่ยของลูกผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ที่อายุ 9 เดือนหลังตัดฟัน คู่ผสม $P5 \times Ji2$ และ $S19 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความเขียวของใบสูงสุด เฉลี่ย 40.32 และ 39.77 ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ใบเฉลี่ย พบว่า คู่ผสม $K \times Ji5$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดพื้นที่ใบเฉลี่ยในช่วงอายุ 9 เดือนหลังปลูก กว้างที่สุด เฉลี่ย 85.45 ตร.ซม./ใบ นอกจากนี้ ยังพบความแตกต่างระหว่างคู่ผสมในน้ำหนักสดรวม น้ำหนักเนื้อไม้แห้ง ความชื้นเนื้อไม้สด และความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งของลูกผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) คู่ผสม $M8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีน้ำหนักสดรวมและน้ำหนักเนื้อไม้แห้งสูงสุด เฉลี่ย 9.03 และ 6.92 กก./ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ คู่ผสม $M8 \times Ji2$ ยังให้ลูกผสมที่มีความชื้นเนื้อไม้สดต่ำที่สุด เฉลี่ย 58.62 % ส่วนคู่ผสม $Cn \times Ji5$ ให้ลูกผสมที่มีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้งสูงสุด เฉลี่ย 0.63 ก./ลบ.ซม.

ผลการทดลองทั้งสองปีแสดงให้เห็นว่า คู่ผสมมีอิทธิพลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลของลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสนับดำกับเข็มปัตตาเวียทั้งหลังปลูกและหลังตัดฟัน โดย คู่ผสม $K \times Ji2$ และ $M8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีขนาดลำต้นและกิ่ง และขนาดทรงพุ่มใหญ่ที่สุด รวมถึงมีผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คู่ผสม $K \times Ji2$ และ $P5 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความเขียวของใบสูงสุด คู่ผสม $K \times Ji4$ และ $K \times Ji5$ ให้ลูกผสมที่มีพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงสุด และคู่ผสม $P8 \times Ji2$ และ $M8 \times Ji2$ ให้ลูกผสมที่มีความชื้นเนื้อไม้ต่ำสุด และคู่ผสม $Cn \times Ji5$ ให้ลูกผสมที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้งสูงสุด จากผลการศึกษาจึงสามารถใช้ในการเลือกคู่ผสมสำหรับสร้างลูกผสมระหว่างสนับดำกับเข็มปัตตาเวียเพื่อสร้างความแปรปรวนทางพันธุกรรม และคัดเลือกลูกผสมที่มีศักยภาพด้านชีวมวลสูงต่อไป

Table 1 Growth and biomass yield traits in 16 crosses of inter-specific hybrid between *J. curcas* and *J. integririma* at the first year

Crosses	Stem and branch diameter (mm)						Canopy size (cm)		Leaf greenness (SCMR)	Average leaf area (cm ² /leaf)	Total fresh weight (kg/plant)	Dry wood weight (kg/plant)	Moisture content of fresh wood (%)	Dry wood density (g/cm ³)										
	Trunk	Main stem	Primary branch	Secondary branch	Plant height	Canopy width																		
Cn × J12	67.21	ab	47.94	abc	25.72	ab	15.08	a-d	240.2	abc	233.5	abc	35.10	a-f	60.11	abc	8.08	b	5.17	b	59.06	c	0.62	ab
Cn × J14	64.14	bc	44.06	a-d	25.91	ab	15.34	abc	265.0	ab	239.3	ab	34.97	b-f	61.69	ab	6.81	bcd	4.44	bcd	59.85	c	0.56	ef
Cn × J15	55.36	bcd	40.14	cde	23.19	bc	14.06	a-e	234.6	bc	134.2	fg	32.73	fg	53.96	bcd	3.93	de	3.01	de	59.53	c	0.61	a-d
K × J12	76.91	a	51.35	a	28.53	a	16.91	a	251.0	abc	254.5	a	35.27	a-f	53.34	b-e	10.74	a	6.83	a	59.33	c	0.62	abc
K × J14	66.00	ab	52.66	a	25.64	ab	16.21	ab	272.8	a	247.1	ab	34.18	d-g	65.76	a	7.26	bc	4.86	bc	59.41	c	0.58	def
K × J15	52.81	cd	41.31	b-e	23.74	bc	14.68	a-d	229.8	bcd	153.0	efg	31.76	g	58.66	abc	4.27	de	3.43	b-e	58.71	c	0.62	abc
M8 × J12	67.62	ab	47.24	abc	26.97	ab	15.91	ab	261.8	ab	215.0	a-d	37.61	abc	41.58	efg	7.27	bc	4.35	bcd	54.74	d	0.62	abc
M8 × J15	60.61	bc	39.37	c-f	23.38	bc	13.30	b-f	245.9	abc	148.9	efg	33.65	efg	49.62	c-f	4.19	de	3.09	cde	56.86	cd	0.61	a-d
P5 × J12	64.51	bc	43.27	a-e	24.48	abc	15.51	abc	246.0	abc	188.6	cde	38.37	a	48.43	c-f	7.26	bc	4.47	bcd	57.64	c	0.61	a-d
P8 × J12	53.14	cd	39.28	c-f	20.54	cd	12.71	c-g	221.1	cde	170.6	def	34.69	c-g	48.47	c-f	4.78	cde	2.96	de	58.61	c	0.63	a
P8 × J15	47.68	d	50.12	ab	18.89	de	12.17	d-g	165.0	g	121.8	fg	37.47	abc	52.16	b-e	2.81	e	1.17	fg	66.18	a	0.55	f
P9 × J14	65.46	ab	48.32	abc	23.86	bc	16.95	a	245.9	abc	200.6	bcd	38.19	ab	33.35	gh	7.37	bc	2.75	def	62.96	b	0.55	ef
P9 × J15	45.52	d	34.64	def	17.21	de	10.87	fg	174.6	fg	107.7	g	37.15	a-d	42.10	d-g	3.06	e	0.82	g	65.45	ab	0.59	b-e
S19 × J12	43.44	d	34.53	def	17.76	de	11.24	efg	193.9	efg	151.8	d-g	36.52	a-e	39.84	fgh	3.18	e	1.77	efg	58.22	c	0.62	ab
S19 × J14	44.04	d	34.19	ef	16.81	de	11.42	efg	199.7	def	130.3	fg	36.92	a-d	32.15	gh	2.70	e	0.85	g	62.67	b	0.57	ef
S19 × J15	44.16	d	30.48	f	14.41	e	9.77	g	173.3	fg	130.0	fg	36.32	a-e	29.31	h	2.29	e	0.63	g	62.85	b	0.58	c-f
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
mean	57.41		42.43		22.32		13.88		226.3		176.7		35.68		48.16		5.38		3.16		60.13		0.60	
CV (%)	26.00		27.81		25.07		26.98		18.28		32.08		11.03		28.80		65.68		65.73		6.50		8.03	

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

Table 2 Growth and biomass yield traits 16 crosses of inter-specific hybrid between *J. curcas* and *J. integerrima* at the second year (continued)

Crosses	Stem and branch diameter (mm)				Canopy size (cm)		Leaf greenness (SCMR)	Average leaf area (cm ² /leaf)	Total fresh weight (kg/plant)	Dry wood weight (kg/plant)	Moisture content of fresh wood (%)	Dry wood density (g/cm ³)										
	Trunk	Primary branch	Secondary branch	Plant height	Canopy width																	
Cn × JI2	80.54	a-d	21.07	abc	12.39	abc	217.8	b-e	162.5	ab	38.77	ab	77.29	abc	5.47	b-e	4.21	b-e	64.78	def	0.56	a-e
Cn × JI4	76.63	b-f	22.70	ab	13.58	ab	231.9	bc	171.4	a	34.92	c-f	72.62	a-d	5.43	b-e	4.14	b-e	64.44	d-g	0.53	b-f
Cn × JI5	67.09	c-g	19.78	bcd	11.16	bcd	203.3	c-f	122.1	c	35.33	cde	70.14	a-d	3.06	ef	2.38	efg	63.92	efg	0.63	a
K × JI2	90.52	ab	23.55	ab	11.73	a-d	226.0	bcd	179.5	a	39.35	ab	78.88	abc	7.69	ab	5.87	ab	63.05	e-h	0.57	a-e
K × JI4	81.76	abc	23.22	ab	13.09	abc	237.5	b	178.9	a	34.93	c-f	78.43	abc	6.28	a-d	4.90	a-d	66.25	cde	0.51	c-g
K × JI5	63.85	efg	21.11	abc	13.28	ab	220.6	b-e	137.2	bc	37.01	abc	85.45	a	4.44	def	3.37	def	61.76	f-i	0.60	ab
M8 × JI2	94.35	a	25.30	a	14.10	a	273.6	a	179.1	a	39.15	ab	58.12	def	9.03	a	6.92	a	58.62	i	0.61	ab
M8 × JI5	79.06	a-e	23.26	ab	12.90	abc	242.1	b	123.9	c	37.62	abc	80.60	ab	4.66	c-f	3.61	c-f	60.75	ghi	0.57	a-e
P5 × JI2	81.72	abc	23.73	ab	13.71	ab	250.5	ab	163.7	ab	40.32	a	62.82	cde	7.37	abc	5.72	abc	60.05	hi	0.59	abc
P8 × JI2	64.15	efg	23.33	ab	10.57	cd	200.0	c-f	125.6	c	37.57	abc	67.01	b-e	5.03	b-e	3.57	c-f	65.10	c-f	0.58	a-d
P8 × JI5	62.37	fgh	20.52	bc	13.09	abc	177.9	fgh	106.4	cd	32.67	efg	42.90	fgh	4.61	c-f	1.89	fg	70.18	ab	0.46	fg
P9 × JI4	78.05	a-f	23.13	ab	12.48	abc	218.1	b-e	134.8	bc	36.05	bcd	45.90	fgh	6.78	a-d	3.10	def	67.86	bcd	0.49	efg
P9 × JI5	64.88	d-g	18.35	cd	12.57	abc	188.6	efg	101.6	cd	31.66	fg	40.24	gh	2.98	ef	1.51	fg	68.63	abc	0.50	d-g
S19 × JI2	51.79	gh	18.13	cd	11.26	bcd	195.0	def	111.6	cd	39.77	a	51.97	efg	2.64	ef	1.81	fg	63.26	e-h	0.59	abc
S19 × JI4	51.01	gh	16.51	de	11.64	a-d	162.3	gh	87.2	d	33.20	def	31.93	hi	1.99	f	0.72	g	71.60	a	0.43	g
S19 × JI5	48.04	h	13.03	e	9.80	d	148.8	h	81.0	d	29.55	g	20.69	i	1.95	f	0.67	g	70.11	ab	0.49	d-g
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
mean	70.99		21.05		12.33		212.1		135.4		36.12		60.31		4.96		3.40		65.02		0.54	
CV (%)	28.14		24.06		24.11		18.73		31.37		10.54		27.95		70.98		77.73		7.36		19.63	

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

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

เสถียรภาพของลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลในสปีด้าลูกผสมข้ามชนิด

พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างข้อมูลหลังปลูกกับข้อมูลหลังตัดฟันในลักษณะการเจริญเติบโตของสปีด้าลูกผสม โดยเฉพาะที่อายุ 12 เดือนหลังปลูกและหลังตัดฟัน โดยพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างความสูงต้นหลังปลูกกับความสูงต้นหลังตัดฟัน ($r = 0.71^{**}$) (Figure 1a) ระหว่างความกว้างทรงพุ่มหลังปลูกกับความกว้างทรงพุ่มหลังตัดฟัน ($r = 0.75^{**}$) (Figure 1b) ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นหลังปลูกและเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นหลังตัดฟัน ($r = 0.87^{**}$) (Figure 1c) และระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งหลักหลังปลูกและเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งหลักหลังตัดฟัน ($r = 0.61^{**}$) (Figure 1d) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการเจริญเติบโตหลังปลูกและหลังตัดฟันที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือนด้วย ($r = 0.22^{**}$ ถึง 0.87^{**}) (ไม่แสดงผล) แต่ส่วนใหญ่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำกว่าที่อายุ 12 เดือน สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งรอง ความเขียวของใบและพื้นที่ใบเฉลี่ย มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหลังปลูกและหลังตัดฟันระดับต่ำถึงปานกลาง ($r = 0.24^{**}$ ถึง 0.50^{**}) (ไม่แสดงผล) สำหรับลักษณะผลผลิตชีวมวล พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักสดรวมหลังปลูกกับน้ำหนักสดรวมหลังตัดฟัน ($r = 0.78^{**}$) (Figure 2a) ระหว่างน้ำหนักเนื้อไม้แห้งหลังปลูกกับน้ำหนักเนื้อไม้แห้งหลังตัดฟัน ($r = 0.76^{**}$) (Figure 2b) และยังพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างความชื้นเนื้อ

ไม้สดหลังปลูกกับความชื้นเนื้อไม้สดหลังตัดฟันอีกด้วย ($r = 0.62^{**}$) (Figure 2c) อย่างไรก็ตาม พบความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งหลังปลูกกับความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งหลังตัดฟัน ($r = 0.24^{**}$) (Figure 2d)

ผลการทดลองแสดงว่าลักษณะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นและกิ่งหลัก ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสดรวม น้ำหนักเนื้อไม้แห้ง และความชื้นเนื้อไม้สดของสปีด้าลูกผสมเป็นลักษณะที่มีเสถียรภาพสูงหากนำมาใช้คัดเลือกสายพันธุ์ลูกผสม จะมีโอกาสสูงในการให้ผลการคัดเลือกที่คล้ายคลึงกันทั้งหลังปลูกและหลังตัดฟัน การคัดเลือกด้วยลักษณะเหล่านี้จึงสามารถทำได้ตั้งแต่ปีแรก จึงเป็นลักษณะที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์สปีด้าลูกผสม แต่ลักษณะความเขียวของใบ พื้นที่ใบเฉลี่ย และความหนาแน่นของเนื้อไม้แห้ง เป็นลักษณะที่มีเสถียรภาพต่ำหากจะนำมาใช้คัดเลือกจะมีโอกาสต่ำที่จะให้ผลการคัดเลือกที่สอดคล้องกันระหว่างหลังปลูกและหลังตัดฟัน โดย Senger et al. (2014) รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสปีด้าซึ่งเกี่ยวข้องกับความเขียวของใบเป็นลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความเครียดของต้น และมียังปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคัดเลือก เพราะจะทำให้ผลการคัดเลือกมีโอกาสคลาดเคลื่อนสูง

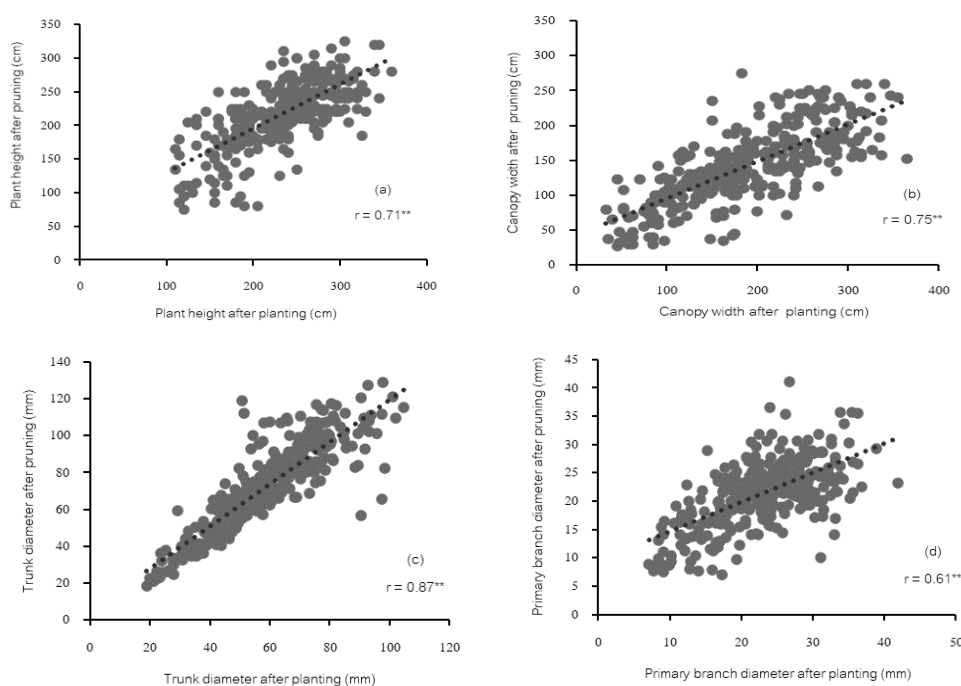


Figure 1 Genotypic performance of inter-specific hybrids (n=325) between *J. curcas* and *J. integerrima* in plant height (a), canopy width (b), trunk diameter (c) and primary branch diameter (d) at 12 months after planting and after pruning. Significant at $^{**} P < 0.01$ levels

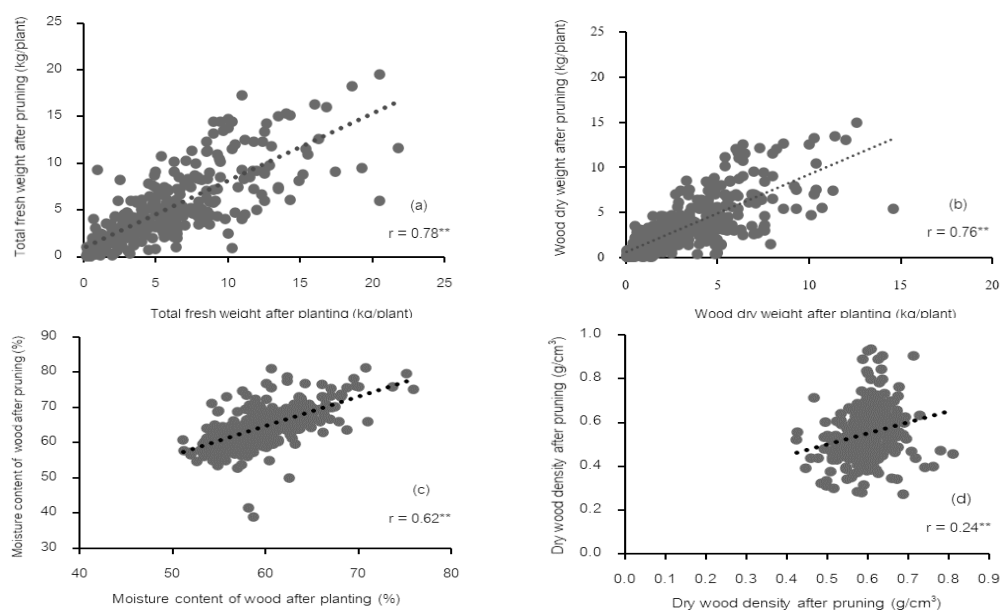


Figure 2 Genotypic performance of inter-specific hybrids (n=325) between *J. curcas* and *J. integerrima* in total fresh weight (a), wood dry weight (b) and moisture content of fresh wood (c) at 12 months after planting and after pruning. Significant at $^{**} P < 0.01$ levels

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตชีวมวลกับลักษณะการเจริญเติบโตของลูกผสมข้ามชนิด

การศึกษาพบความสัมพันธ์สูงมากในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักสดรวมกับน้ำหนักเนื้อไม้แห้งของสับดำลูกผสม ทั้งหลังปลูก ($r = 0.94^{**}$) (Figure 3a) และหลังตัดฟัน ($r = 0.96^{**}$) (Figure 3b) แสดงว่าเมื่อสับดำลูกผสมมีน้ำหนักสดรวมสูงจะมีน้ำหนักเนื้อไม้แห้งสูงด้วย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้เฉพาะข้อมูลน้ำหนักสดรวมสำหรับหาความสัมพันธ์กับลักษณะการเจริญเติบโตของลูกผสมทั้งในปีที่ 1 หลังปลูก และในปีที่ 2 หลังตัดฟัน รวมถึงการวิเคราะห์รวมสองปี พบว่าผลผลิตชีวมวลมีความสัมพันธ์สูงกับขนาดลำต้นและกิ่งของสับดำลูกผสม โดยน้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นของลูกผสม ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน มีค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง 0.34^{**} ถึง 0.84^{**} (Table 3) น้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นหลัก ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.33^{**} ถึง 0.71^{**} แต่ในปีที่ 2 สับดำลูกผสมไม่มีลำต้นหลัก จึงไม่สามารถนำมาหาค่าความสัมพันธ์ได้ พบว่าน้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งหลัก ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.31^{**} ถึง 0.80^{**} และน้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งรอง ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.02 ถึง 0.70^{**} นอกจากนี้ ยังพบว่าผลผลิตชีวมวลมีความสัมพันธ์สูงกับขนาดทรงพุ่ม โดยน้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับความสูงต้น ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.44^{**} ถึง 0.70^{**} และน้ำหนักสดรวมมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับความกว้างทรงพุ่ม ที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือน มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.58^{**} ถึง 0.80^{**} อย่างไรก็ตาม พบความ

สัมพันธ์ที่ต่ำและไม่สม่ำเสมอระหว่างผลผลิตชีวมวลกับความเขียวใบและพื้นที่ใบเฉลี่ย ที่อายุ 6 และ 9 เดือน โดยมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.07 ถึง 0.30^{**} (ไม่แสดงผล)

งานวิจัยไม่ได้เร็วหลายชนิด เช่น วิลโลว์, พอปลาร์, ยูคาลิปตัส และกระถินยักษ์ พบว่าสามารถใช้ลักษณะขนาดลำต้นและขนาดทรงพุ่มเป็นดัชนีในการคัดเลือกสายพันธุ์ (Chotchutima et al., 2013; Verlinden et al., 2013; Santos et al., 2015; Berlin et al., 2017) ในการศึกษาพืชตระกูลกระถิน พบว่าขนาดลำต้นและกิ่งสามารถในการประเมินการเจริญเติบโต และความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ ทำให้ทราบลักษณะเบื้องต้นเพื่อใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์กระถินที่มีน้ำหนักชีวมวลสูง (กานต์วี และคณะ, 2553) สำหรับสับดำ การศึกษานี้แสดงว่าสับดำลูกผสมที่มีขนาดลำต้นและกิ่งใหญ่หรือมีขนาดทรงพุ่มใหญ่จะมีผลผลิตชีวมวลสูง แต่หากจะใช้ลักษณะเหล่านี้ในการคัดเลือกสับดำลูกผสมควรทำการประเมินเมื่อลูกผสมอายุ 6 เดือนเป็นต้นไป เนื่องจากที่อายุ 3 เดือน ลักษณะเหล่านี้มีความสัมพันธ์ที่ต่ำและไม่สม่ำเสมอกับผลผลิตชีวมวล และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของลักษณะที่ใช้ในการประเมิน พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นมีความสะดวกในการตรวจวัดมากที่สุดเนื่องจากมีเพียงตำแหน่งเดียวทำให้ตรวจวัดได้ง่ายและรวดเร็ว และยังมีค่าสหสัมพันธ์สูงกับผลผลิตชีวมวลจึงมีความแม่นยำสูงในการคัดเลือก แต่สำหรับลักษณะความเขียวใบและพื้นที่ใบเฉลี่ยที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตชีวมวลต่ำและยังไม่มีค่าสหสัมพันธ์กับขนาดลำต้นและกิ่ง ทำให้ผลการคัดเลือกคลาดเคลื่อนได้

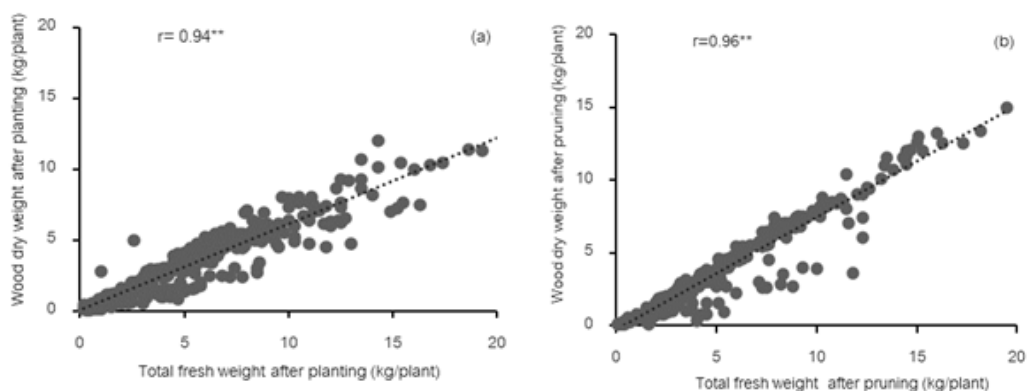


Figure 3 Relationship between total fresh weight and wood dry weight after planting (a) and after pruning (b) of inter-specific hybrids (n=325) between *J. curcas* and *J. integerrima*. Significant at ** P < 0.01 levels

Table 3 Correlation coefficients (r) between total fresh weight with stem and branch diameter, and canopy size of inter-specific hybrids between *J. curcas* and *J. integerrima*

Total fresh weight	Trunk diameter				Main stem diameter			
	3 months	6 months	9 months	12 months	3 months	6 months	9 months	12 months
1 st year (n=325)	0.52 **	0.76 **	0.84 **	0.84 **	0.33 **	0.60 **	0.69 **	0.71 **
2 nd year (n=325)	0.74 **	0.78 **	0.80 **	0.81 **	NA	NA	NA	NA
Over all (n=650)	0.34 **	0.56 **	0.71 **	0.74 **	NA	NA	NA	NA
	Primary branch diameter				Secondary branch diameter			
	3 months	6 months	9 months	12 months	3 months	6 months	9 months	12 months
1 st year (n=325)	0.54 **	0.77 **	0.80 **	0.80 **	0.49 **	0.65 **	0.70 **	0.63 **
2 nd year (n=325)	0.31 **	0.67 **	0.68 **	0.76 **	0.02 ns	0.44 **	0.54 **	0.51 **
Over all (n=650)	0.43 **	0.71 **	0.75 **	0.78 **	0.32 **	0.56 **	0.63 **	0.58 **
	Plant height				Canopy width			
	3 months	6 months	9 months	12 months	3 months	6 months	9 months	12 months
1 st year (n=325)	0.51 **	0.58 **	0.56 **	0.63 **	0.61 **	0.75 **	0.77 **	0.80 **
2 nd year (n=325)	0.50 **	0.67 **	0.66 **	0.70 **	0.61 **	0.74 **	0.76 **	0.78 **
Over all (n=650)	0.44 **	0.62 **	0.61 **	0.66 **	0.58 **	0.75 **	0.76 **	0.77 **

** Significant at the 0.01 probability levels.

Table 4 Correlation coefficients (r) between moisture content of fresh wood with stem and branch diameter, canopy size, and biomass yield of inter-specific hybrids between *J. curcas* and *J. integerrima* at 12 months

Moisture content of fresh wood	Stem and branch diameter				Canopy size		Total fresh weight	Dry wood weight	Dry wood density
	Trunk	Main stem	Primary branch	Secondary branch	Plant height	Canopy width			
1 st year (n=325)	-0.45 **	-0.39 **	-0.48 **	-0.34 **	-0.49 **	-0.45 **	-0.43 **	-0.46 **	-0.41 **
2 nd year (n=325)	-0.41 **	NA	-0.52 **	-0.37 **	-0.58 **	-0.47 **	-0.42 **	-0.46 **	-0.48 **
Over all (n=650)	-0.22 **	NA	-0.49 **	-0.39 **	-0.54 **	-0.51 **	-0.41 **	-0.41 **	-0.51 **

** Significant at the 0.01 probability levels.

ความชื้นเนื้อไม้สดของลูกผสมมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางในเชิงลบกับขนาดลำต้นและกิ่ง ขนาดทรงพุ่ม และผลผลิตชีวมวล ที่อายุ 12 เดือน โดยพบว่าความชื้นเนื้อไม้สดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น ลำต้นหลัก กิ่งหลัก และกิ่งรองของลูกผสม มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง -0.22** ถึง -0.52** (Table 4) ความชื้นเนื้อไม้สดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่มของลูกผสม มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง -0.47** ถึง -0.58** และความชื้นเนื้อไม้สดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับน้ำหนักสดรวมและน้ำหนักแห้งต้นของลูกผสม มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง -0.41** ถึง -0.46** นอกจากนี้ ความชื้นเนื้อไม้สดยังมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความหนาแน่นเนื้อไม้แห้งของลูกผสมอีกด้วย มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง -0.41** ถึง -0.51** ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า สปีดลูกผสมที่มีความชื้นของเนื้อไม้ต่ำ จะมีขนาดลำต้นและกิ่งใหญ่ ขนาดทรงพุ่มใหญ่ ผลผลิตชีวมวลสูงและความหนาแน่นเนื้อไม้สูง แสดงให้เห็นว่าในสปีดลูกผสมสามารถปรับปรุงทั้งลักษณะการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตชีวมวลไปพร้อมกับลักษณะคุณภาพของเนื้อไม้ได้

สรุป

คู่ผสมมีอิทธิพลต่อลักษณะการเจริญเติบโต และผลผลิตชีวมวลของลูกผสมข้ามชนิดระหว่างสปีด

ดำกับเข็มปัตตาเวียทั้งหลังปลูกและหลังตัดฟัน โดยคู่ผสม K × Ji2 และ M8 × Ji2 ให้ลูกผสมที่มีการเจริญเติบโตและผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด และพบว่าขนาดลำต้นและกิ่ง ขนาดทรงพุ่ม ผลผลิตชีวมวลและความชื้นของเนื้อไม้เป็นลักษณะที่มีเสถียรภาพสูงจึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นลักษณะในการคัดเลือกสายพันธุ์สปีดลูกผสม และผลผลิตชีวมวลมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกกับลักษณะขนาดลำต้นและกิ่งและขนาดทรงพุ่ม จึงสามารถใช้ลักษณะเหล่านี้ในการคัดเลือกสายพันธุ์สปีดลูกผสมเพื่อให้มีผลผลิตชีวมวลสูง นอกจากนี้ ยังพบว่าความชื้นของเนื้อไม้มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับขนาดลำต้นและกิ่ง ขนาดทรงพุ่มและผลผลิตชีวมวล แสดงว่าสามารถปรับปรุงพันธุ์สปีดลูกผสมที่มีการเจริญเติบโตดีและมีผลผลิตชีวมวลสูงไปพร้อมกับการปรับปรุงลักษณะคุณภาพของเนื้อไม้ให้มีความชื้นต่ำและความหนาแน่นสูง

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการทุน NSTDA Chair Professor ประจำปี 2554 ภายใต้ความร่วมมือระหว่าง มูลนิธิสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์กับสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และขอขอบคุณภาคีวิชาชีพไวยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กานต์วี ศรีพวงผกาพันธุ์, สายันต์ ทัดศรี, ประภา ศรีพิจิตต์ และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2553. การเปรียบเทียบผลผลิตเนื้อไม้ และค่าพลังงานความร้อนของกระถิน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ อายุ 3 ปี เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41: 149-152.
- อนุรักษ์ อรัญญานาค, พัชรินทร์ ตัญญะ, พรศิริ เลี้ยงสกุล และ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2561. การประเมินผลผลิตและชีวมวลในสปีดปลูกผสมภายในชนิดและลูกผสมข้ามชนิด. แก่นเกษตร. 46: 1191-1202.
- อนุรักษ์ อรัญญานาค, สีนินาญ เกิดทรัพย์, พัชรินทร์ ตัญญะ, พรศิริ เลี้ยงสกุล และพีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2562. การเปรียบเทียบศักยภาพทางชีวมวลในลูกผสมข้ามชนิดของพืชสกุล *Jatropha*. แก่นเกษตร. 47: 917-928.
- Berlin, S., H.R. Hallingback, F. Beyer, N.E. Nordh, M. Weih, and A.C. Ronnberg-Wastljung. 2017. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years. *Ann. Bot.* 120: 87-100.
- 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. *J. Sustain. Bioenergy Syst.* 3: 48-56.
- 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 Genet. Resour.* 12: 58-61.
- Muakrong, N., K. Thida One, P. Tanya, and P. Srinives. 2014. Interspecific *jatropha* hybrid as a new promising source of woody biomass. *Plant Genet. Resour.* 12: 17-20.
- Santos, P.E.T., E.P. Filho, L.T.M. Silva, and P.B. Vandresen. 2015. Genetic variation for growth and selection in adult plants of *Eucalyptus badjensis*. *Genet. Mol. Biol.* 38: 457-464.
- Senger, E., A. Peyrat, M. Martin, and J.M. Montes. 2014. Genetic variation in leaf chlorophyll content of *Jatropha curcas* L. *Ind. Crops Prod.* 58: 204-211.
- Sixto, H., P. Gil, P. Ciria, F. Camps, I. Cañellas, and J. Voltas. 2016. Interpreting genotype-by-environment interaction for biomass production in hybrid poplars under short-rotation coppice in Mediterranean environments. *Glob. Change Biol. Bioenergy.* 8: 1124-1135.
- Tiwari, A.K., A. Kumar, and H. Raheman. 2007. Biodiesel production from *jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. *Biomass and Bioenergy.* 31: 569-575.
- Verlinden, M.S., L.S. Broeckx, J. Van den Bulcke, J. Van Acker, and R. Ceulemans. 2013. Comparative study of biomass determinants of 12 poplar (*Populus*) genotypes in a high-density short-rotation culture. *For. Ecol. Manag.* 307: 101-111.