

สหสัมพันธ์และแพทโคเอฟฟิเซียนท์ของลักษณะทางการเกษตรและปริมาณเซซามิน ในเมล็ดงาดำ งาแดงและงาขาว

Correlation and Path Coefficient Analysis of Agronomic Characteristics and Sesamin Content in Black, Red and White Sesame Grains

อิทธิพล ชีมภูเขียว¹ ปรียดา แข็งขัน¹ เอกรินทร์ สาริพัท¹ และอรรวรรณ รักสงฆ์¹
Ittipon Khuimphukhieo¹, Parinda Khaengkhan¹, Eakrin Sarepoua¹ and Orawan Raksong¹

บทคัดย่อ

ความสัมพันธ์ของลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณเซซามินเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับวางแผนการปรับปรุงพันธุ์ให้มีผลผลิตและปริมาณเซซามินในเมล็ดสูง การศึกษานี้ดำเนินการในไร่ฝึกทดลอง สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในต้นฤดูฝน (พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2559) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ อิทธิพลทางตรงและทางอ้อมของลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณเซซามินในเมล็ดงา วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design จำนวน 4 ซ้ำ ทำการบันทึกข้อมูลลักษณะทางการเกษตรและวิเคราะห์ปริมาณเซซามินในเมล็ดงาดำด้วย HPLC ผลการทดลองพบว่า อายุการเก็บเกี่ยว ($r=0.733, P \leq 0.01$) ความสูงต้น ($r=0.611, P \leq 0.01$) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.501, P \leq 0.05$) และความกว้างเมล็ด ($r=0.441, P \leq 0.05$) มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตต่อต้นของงาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อายุการเก็บเกี่ยวมีอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตต่อต้นของงามากที่สุด (0.840) รองลงมาคือ ความสูงต้น (0.376) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (0.287) สำหรับสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณเซซามิน พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=-0.715, P \leq 0.01$) ความยาวเมล็ด ($r=-0.639, P \leq 0.01$) ความกว้างเมล็ด ($r=-0.564, P \leq 0.01$) และผลผลิตต่อต้น ($r=-0.468, P \leq 0.05$) มีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดมีอิทธิพลทางตรงแบบลบต่อปริมาณเซซามินมากที่สุด (-0.471) รองลงมาคือความยาวเมล็ด (-0.369) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อต้นสามารถคัดเลือกทางอ้อมผ่านอายุการเก็บเกี่ยว ความสูงต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมล็ดกับปริมาณเซซามินอาจเป็นอุปสรรคในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มทั้งขนาดเมล็ดและปริมาณเซซามิน

คำสำคัญ : การคัดเลือกทางอ้อม อิทธิพลทางตรง อิทธิพลทางอ้อม สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The information on the relationships of agronomic characters with sesamin content is important for sesame breeding to improve grain yield and sesamin content. The experiment was conducted at the Division of Plant Production Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University in the early rainy season during May to August 2016. The objectives of this study were to investigate the correlations among some characters of sesame and to verify direct and indirect effects. The experimental design was RCBD with 4 replications for this study. Data were recorded for agronomic characters and the seed samples were analyzed for sesamin content using HPLC. The results showed that significant positive correlation between yield/plant with days to harvest ($r=0.733, P \leq 0.01$), plant height ($r=0.611, P \leq 0.01$), 1,000-grain weight ($r=0.501, P \leq 0.05$) and width of grain ($r=0.441, P \leq 0.05$). Days to harvest had the

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อ.เมือง จ. กาฬสินธุ์ 46000

highest positive direct effect on yield/plant (0.840) followed by plant height (0.376) and 1,000-grain weight (0.287). Significant negative correlation between sesamin content with 1,000-grain weight ($r = -0.715$, $P \leq 0.01$), length of grain ($r = -0.639$, $P \leq 0.01$), width of grain ($r = -0.564$, $P \leq 0.01$) and yield/plant ($r = -0.468$, $P \leq 0.05$). Thousand-grain weight had the highest negative direct effect on sesamin content (-0.471) followed by length of grain (-0.369). The results obtained from correlations and path analyses showed that the efficiency in the selection for yield/plant in sesame should increase through selection of days to harvest, plant height and 1,000-grain weight. The relationship between seed size with sesamin content might obstacle in sesame breeding for increase both seed size and sesamin content.

Keywords: indirect selection, direct effect, indirect effect, antioxidant

คำนำ

งา (*Sesamum indicum* L.) เป็นพืชน้ำมันที่มนุษย์ใช้บริโภคมาตั้งแต่สมัยโบราณ สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีพอสมควร (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542) มีความต้องการปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกประมาณ 400 มม. (จักรกฤษณ์ และ อริยาภรณ์, 2558) เมล็ดงาประกอบด้วยไขมันประมาณร้อยละ 50 โดยส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีโปรตีนประมาณร้อยละ 20 ซึ่งอุดมไปด้วยกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์และเป็นชนิดที่พบได้น้อยมากในพืชชนิดอื่น เช่น เมทไธโอนีน (methionine) และทริปโตเฟน (tryptophan) (มนตรา และคณะ, 2557) งาเป็นพืชที่ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอย่างแพร่หลาย และมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและสบู่ (Anilakumar *et al.*, 2010) ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งหมด 265,918 ไร่ มีผลผลิตรวม 28,800 ตัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 108 กก./ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อพื้นที่ของงาในประเทศไทยลดลงจากปี พ.ศ. 2554 คิดเป็นร้อยละ 35.74, 41.03 และ 8.47 ตามลำดับ (FAO, 2017) โดยสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยแล้ง ภาวะโลกร้อน เป็นต้น ทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่ลดลง ส่วนสาเหตุที่ทำให้พื้นที่ปลูกงามีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการปลูกงาให้ผลผลิตต่ำ ทำให้มีผลกำไรน้อยกว่าการปลูกพืชไร่เศรษฐกิจชนิดอื่นๆ จึงไม่เกิดแรงจูงใจให้เกษตรกรปลูกงาเพิ่มขึ้น และพื้นที่ที่เคยปลูกงาก็ถูกเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ได้ผลตอบแทนที่สูงกว่า ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยต้องนำเข้าเมล็ดงาจากต่างประเทศประมาณ 11,792 ตัน คิดเป็นมูลค่า 12.04 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (FAO, 2017)

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (2558) รายงานว่าหากภาคเกษตรไม่มีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ จะทำให้ผลผลิตการเกษตรที่สำคัญในพื้นที่เขตร้อนและอบอุ่นลดลงร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2593 ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาให้เกิดความมั่นคง ลดการนำเข้าผลผลิตจากต่างประเทศ และสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ (อิทธิพล และคณะ, 2560) การปรับปรุงพันธุ์พืชในปัจจุบันนอกจากจะมุ่งเน้นไปที่ลักษณะทางการเกษตรและการให้ผลผลิตแล้ว ยังให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการ เมล็ดงามีเซซามิน (sesamin) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มลิกแนน (lignan) มีรายงานวิจัยพบว่า เซซามินมีฤทธิ์ในการเพิ่มอัตราการกำจัดสารพิษ ด้านแบคทีเรีย มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอล ยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลในตับ และไม่ก่อให้เกิดการสะสมในร่างกาย (ศัลยา, 2547) ปัจจุบันมีการสกัดเซซามินบริสุทธิ์จากงาจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ดังนั้น การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณเซซามินในเมล็ดจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคโดยตรง และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพประเภทต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรปลูกงา

เพิ่มขึ้นในอนาคต

การคัดเลือกเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืชและเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยาก (ไพศาล, 2527) เพราะลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ผลผลิต เป็นลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait) ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (polygenes) มีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้งอิทธิพลของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม และมีอัตราพันธุกรรมต่ำ (จักรกฤษณ์ และ อริยาภรณ์, 2558) ทำให้การคัดเลือกลักษณะนี้โดยตรงทำได้ยาก จึงต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่สนใจเพื่อใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาในการคัดเลือก ดังนั้น ข้อมูลสหสัมพันธ์และแพทโคเอฟฟีเซียนท์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรกับผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณธาตุอาหาร โดยสหสัมพันธ์ (correlation) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษาแต่ไม่สามารถอธิบายอิทธิพลทางตรง (direct effect) และอิทธิพลทางอ้อม (indirect effect) ได้ มีรายงานว่าอิทธิพลทางอ้อมมีบทบาทสำคัญในบางลักษณะ (สุรพล, 2536) ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้นจึงต้องมีการวิเคราะห์แพทโคเอฟฟีเซียนท์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถอธิบายอิทธิพลทางตรงและอิทธิพลทางอ้อม (ปวิตร และคณะ, 2557) Sabiel *et al.* (2015) รายงานว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ความสูง และมวลชีวภาพมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของงา Abbo *et al.* (2000) รายงานว่าปริมาณแคลเซียมมีสหสัมพันธ์ทางลบกับขนาดเมล็ดของถั่วชิกพี (*Cicer arietinum* L.) Badigannavar *et al.* (2015) รายงานว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดงา ยังไม่เคยมีรายงานการศึกษา

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์และแพทโคเอฟฟีเซียนท์ของลักษณะทางการเกษตรและปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดงาดำ งาแดง และงาขาว โดยใช้จำนวน 22 พันธุ์/สายพันธุ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินลักษณะทางการเกษตรและผลผลิต

ทำการปลูกทดสอบพันธุ์จำนวน 22 พันธุ์/สายพันธุ์ ประกอบด้วยงาดำ 9 พันธุ์ งาแดง 4 พันธุ์ และงาขาว 9 พันธุ์ (Table 1) ณ ไร่ฝึกทดลอง สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปลูกในต้นฤดูฝน (พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2559) วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ใช้ขนาดแปลง 4 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย ปลูกงาโดยโรยเป็นแถว หลังอก 10 วัน ถอนแยกให้เหลือประมาณ 10 ต้นต่อความยาวแถว 1 เมตร ใช้ระยะปลูก 50x10 ซม. เมื่องามีอายุ 15 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ ทำการบันทึกข้อมูลลักษณะทางการเกษตรดังนี้ 1) จำนวนวันดอกแรกบาน (วัน) โดยนับจำนวนวันตั้งแต่ต้นกล้างอกไปจนถึงต้นงามีดอกแรกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ของแปลงย่อย 2) อายุการเก็บเกี่ยว (วัน) โดยนับจำนวนวันตั้งแต่ต้นกล้างอกไปจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต 3) ความสูงต้น (ซม.) โดยวัดลำต้นหลักจากโคนต้นเหนือดินจนถึงปลายยอดของลำต้นในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต สุ่มวัดจำนวน 10 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ย 4) ความยาวฝัก (ซม.) โดยวัดความยาวฝัก จาก 3 ฝักกลางของลำต้น สุ่มวัดจำนวน 5 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ย 5) จำนวนฝักต่อต้น (ฝัก/ต้น) โดยนับจำนวนฝักต่อต้น สุ่มนับจำนวน 10 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ย 6) ความยาวเมล็ด (มม.) โดยวัดความยาวของเมล็ด สุ่มวัดจำนวน 10 เมล็ด แล้วหาค่าเฉลี่ย 7) ความกว้างเมล็ด (มม.) โดยวัดความกว้างของเมล็ด สุ่มวัดจำนวน 10 เมล็ด แล้วหาค่าเฉลี่ย 8) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (ก.) โดยสุ่มชั่งน้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย และ 9) ผลผลิตต่อต้น (ก./ต้น) โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดต่อต้น สุ่มชั่งจำนวน 10 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ย

Table 1 Cultivar, type, grain color and source of sesame 22 cultivars/lines used in study.

No	Cultivars /lines	Types	Grain colors	Sources	No	Cultivars /lines	Types	Grain colors	Sources
1	White-Lao	Landrace	White	UBU	12	Red UB 2	Recommended	Red	UBFCRC
2	Kanchanaburi	Landrace	Black	UBU	13	White UB 2	Recommended	White	UBFCRC
3	WL9	Landrace	White	UBFCRC	14	Black UB 3	Recommended	Black	UBFCRC
4	BL5	Landrace	Black	UBFCRC	15	KKU1	Recommended	White	KKU
5	MKS-I-84001	Elite line	Black	UBFCRC	16	KKU2	Recommended	Black	KKU
6	MKS-I-83042-1	Elite line	Black	UBFCRC	17	KKU3	Recommended	Red	KKU
7	MR36	Elite line	Black	UBFCRC	18	CM-53	Recommended	White	KU
8	MR13	Elite line	Red	UBFCRC	19	KU18	Recommended	Black	KU
9	Maharakham 60	Recommended	White	UBFCRC	20	CM-07	Recommended	Black	KU
10	Roi-et 1	Recommended	White	UBFCRC	21	C-plus 1	Recommended	White	KU
11	Red UB1	Recommended	Red	UBFCRC	22	C-plus 2	Recommended	White	KU

UBU = Ubon Ratchathani University, UBFCRC = Ubon Ratchathani Field Crops Research Center, KKU = Khon Kaen University and KU = Kasetsart University.

การวิเคราะห์ปริมาณเซซามิน

การเตรียมตัวอย่างพืช

ดัดแปลงมาจากการวิจัยของ Rangkadilok *et al.* (2010) โดยอบเมล็ดงาให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดงาที่ผ่านการอบมาบดให้ละเอียด แล้วเก็บในอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ชั่งตัวอย่างงา 400 มก. ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 15 มล. จากนั้นสกัดตัวอย่างงาด้วยเมทานอล 80% ปริมาตร 5 มล. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 2,000g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที นำส่วนที่เป็นน้ำสกัดใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล. และสกัดส่วนที่ตกตะกอนอีกครั้งด้วยเมทานอล 80% ปริมาตร 4 มล. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,000g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นน้ำรวมกันกับสารที่สกัดครั้งแรก ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มล. ด้วยเมทานอล 80% กรองด้วยหัวกรอง ขนาด 0.45 ไมโครเมตร Nylon ก่อนเข้าเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณเซซามินด้วย HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

การวิเคราะห์ปริมาณเซซามินด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu SPD-M20A; Diode array detector) ดัดแปลงมาจาก Rangkadilok *et al.* (2010) ใช้คอลัมน์ C_{18} (Inertsil ODS-3 GL Science Ins, Made in Japan) ขนาด 4.6 x 250 มม., 5 ไมโครเมตร และใช้การ์ดคอลัมน์ Inertsil ODS-3 อุณหภูมิคอลัมน์ 25 องศาเซลเซียส (CTO-20A) เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) A คือ น้ำ เฟสเคลื่อนที่ B คือ เมทานอล (Merck, KGaA, Germany) ในระบบเกรเดียนท์ (gradient system) ดังนี้ นาทีที่ 0-5 เฟสเคลื่อนที่ B 5-18% นาทีที่ 5-10 เฟสเคลื่อนที่ B 18-35% นาทีที่ 10-15 เฟสเคลื่อนที่ B 35-62% นาทีที่ 15-20 เฟสเคลื่อนที่ B 80% นาทีที่ 20-25 เฟสเคลื่อนที่ B 80% และนาทีที่ 25-30 เฟสเคลื่อนที่ B 80-5% อัตราการไหล 1 มล./นาที ปริมาณการฉีด (inject volume) 20 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว 280 นาโนเมตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานเซซามิน (sesamin standard) โดยชั่ง sesamin (Sigma-Aldrich) 5 มก. ปรับปริมาตรด้วย absolute methanol ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มล. จะได้สารละลายเข้มข้น 1,000 มก./ล. จากนั้นเจือจางสารละลายเข้มข้นดังนี้ 1, 5, 10, 50, 100, 250, 500, 750 และ 1,000 มก./ล. กรองตัวอย่างด้วยหัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร Nylon แล้วนำไปฉีดปริมาตร 20 ไมโครลิตร อัตราการไหล 1 มล./นาที จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเซซามินและพื้นที่ใต้พีค (peak) และคำนวณหาค่า Linear regression (R^2) ทำ 2 ซ้ำ ($y = 21303x - 19123$; $R^2 = 0.99$)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าเฉลี่ยของลักษณะทางการเกษตรและปริมาณเซซามินมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์และแพทโคเอฟฟิเซียนท์เพื่อศึกษาอิทธิพลทางตรงและอิทธิพลทางอ้อมของลักษณะทางการเกษตรที่มีต่อผลผลิตและปริมาณเซซามินตามวิธีการของ Dewey and Lu (1959) ที่อธิบายเพิ่มเติมโดย สุรพล (2536) โดยใช้โปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) (ซูคักดิ์, 2552)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สหสัมพันธ์ของลักษณะทางการเกษตรและปริมาณเซซามิน

ผลการทดลองพบว่าอายุการเก็บเกี่ยว ($r = 0.733$, $P \leq 0.01$) ความสูงต้น ($r = 0.611$, $P \leq 0.01$) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r = 0.501$, $P \leq 0.05$) และความกว้างเมล็ด ($r = 0.441$, $P \leq 0.05$) มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตต่อต้นของงาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าอายุการเก็บเกี่ยว (Thiyagu *et al.*, 2007; จิรวัดน์ และ ประสิทธิ์, 2539) ความสูงต้น (Yol *et al.*, 2010; Sabiel *et al.*, 2015) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Thiyagu *et al.*, 2007) มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของงา ขณะที่จำนวนวันดอกแรกบาน ($r = 0.192$) ความยาวฝัก ($r = -0.278$) จำนวนฝักต่อต้น ($r = 0.382$) และความยาวเมล็ด ($r = 0.050$) ไม่มีสหสัมพันธ์ ($P > 0.05$) กับผลผลิตต่อต้นของงา (Table 2) การศึกษานี้ให้ผลขัดแย้งกับ จิรวัดน์ และ ประสิทธิ์ (2539); Yol *et al.* (2010); Teklu *et al.* (2014) ที่พบว่าจำนวนฝักต่อต้นมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของงา สำหรับการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณเซซามินในเมล็ดงา พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r = -0.715$) ความยาวเมล็ด ($r = -0.639$) และความกว้างเมล็ด ($r = -0.564$) มีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ในทำนองเดียวกันพบว่าผลผลิตต่อต้นมีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.468$, $P \leq 0.05$) (Figure 1) สำหรับลักษณะจำนวนวันดอกแรกบาน ($r = 0.393$) อายุการเก็บเกี่ยว ($r = -0.153$) ความสูงต้น ($r = -0.172$) ความยาวฝัก ($r = -0.120$) และจำนวนฝักต่อต้น ($r = -0.049$) ไม่มีสหสัมพันธ์ ($P > 0.05$) กับปริมาณเซซามิน (Table 2) แสดงว่าลักษณะดังกล่าวมีความเป็นอิสระกับปริมาณเซซามิน การปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อเพิ่มความยาวฝักและจำนวนฝักต่อต้นจะไม่ส่งผลต่อปริมาณเซซามินในเมล็ดงา

Table 2 Correlation coefficients among agronomic characters and sesamin content of sesame.

Characters	DH	PH	LC	NC	LG	WG	TW	YPP	SM
DF	0.655**	0.667**	-0.442*	0.418	-0.665**	-0.354	-0.385	0.192	0.393
DH		0.783**	-0.454*	0.529*	-0.230	0.280	0.274	0.733**	-0.153
PH			-0.481*	0.495*	-0.239	0.060	0.105	0.611**	-0.172
LC				-0.430*	0.500*	0.368	0.375	-0.278	-0.120
NC					-0.392	0.044	-0.102	0.382	-0.049
LG						0.606**	0.747**	0.050	-0.639**
WG							0.849**	0.441*	-0.564**
TW								0.501*	-0.715**
YPP									-0.468*

*and** = significant difference at $P\leq0.05$ and $P\leq0.01$ levels, respectively (n=22). DF = days to first flowering (days), DH = days to harvest (days), PH = plant height (cm), LC = length of capsule (cm), NC = number of capsule/plant, LG = length of grain (mm), WG = width of grain (mm), TW = 1,000-grain weight (g), YPP = yield/plant (g), SM = sesamin content (mg/g grain).

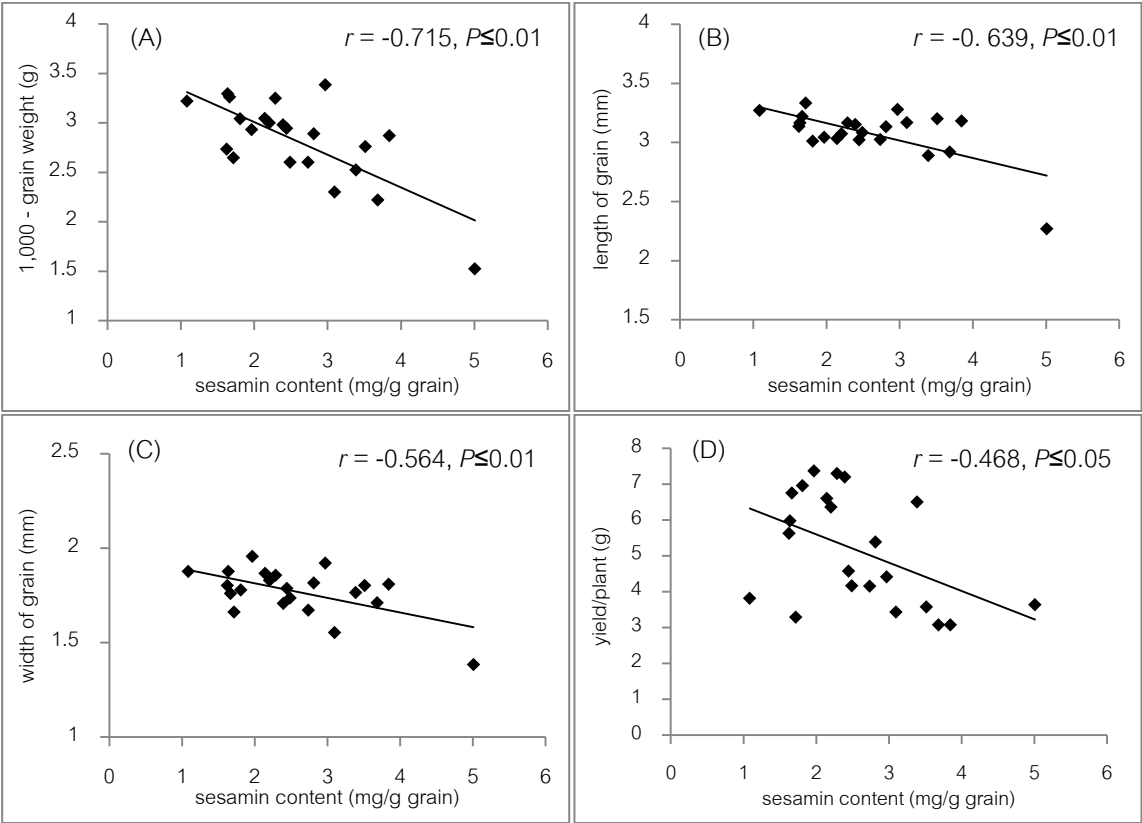


Figure 1 Relationship between of 1,000 – grain weight (A), length of grain (B), width of grain (C) and yield/plant (D) with sesamin content in sesame 22 cultivars/lines.

แพทโคเอฟพีเขียนท์ของลักษณะทางการเกษตรและปริมาณเซซามิน

การวิเคราะห์แพทโคเอฟพีเขียนท์เพื่อให้ทราบอิทธิพลทางตรงและทางอ้อมของลักษณะทางการเกษตรต่อผลผลิตและปริมาณเซซามินในเมล็ดงา พบว่าอายุการเก็บเกี่ยวมีอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตมากที่สุด (0.840) รองลงมาคือ ความสูงต้น (0.376) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (0.287) ขณะที่ความกว้างเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตต่อต้นของงาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.441$, $P\leq 0.05$) แต่มีอิทธิพลทางตรงต่อผลผลิตต่อต้นเป็นลบ (-0.162) เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นอิทธิพลทางอ้อมผ่านจำนวนวันดอกแรกบาน (0.256) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (0.244) และอายุการเก็บเกี่ยว (0.236) นอกจากนี้พบว่าจำนวนวันดอกแรกบานมีอิทธิพลทางตรงแบบลบต่อผลผลิตต่อต้นในระดับสูง (-0.725) แต่ถูกหักล้างโดยอิทธิพลทางอ้อมผ่านอายุการเก็บเกี่ยว (0.550) และความสูงต้น (0.251) จึงไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันดอกแรกบานกับผลผลิตต่อต้นของงา (Table 3) สำหรับการศึกษาก่อนหน้านี้ Yol *et al.* (2010) พบว่าความสูงต้นมีอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตงามากที่สุด ลักษณะความสูงต้นส่งเสริมการให้ผลผลิตของงาเนื่องจากงามีลักษณะการเจริญเติบโตแบบทอดยอด (Uzun and Cagiran, 2006) ขณะที่ Ibrahim and Khidir (2012) พบว่าจำนวนฝักต่อต้นมีอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตงา ค่าสหสัมพันธ์และแพทโคเอฟพีเขียนท์ระหว่างลักษณะจำนวนฝักต่อต้นกับผลผลิตของงาจากการศึกษารั้งนี้ให้ผลแตกต่างกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ที่พบว่าจำนวนฝักต่อต้นมีสหสัมพันธ์ทางบวกและอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตของงา (จิรวรรณ และ ประสิทธิ์, 2539; Yol *et al.*, 2010; Ibrahim and Khidir, 2012; Teklu *et al.*, 2014) สาเหตุที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฝักต่อต้นกับผลผลิตในการศึกษารั้งนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากพันธุ์ที่มีจำนวนดอกมากกว่า 1 ดอกต่อมุมใบ (พันธุ์มข.1) ลักษณะดังกล่าวทำให้มีจำนวนฝักต่อต้นมาก แต่มีข้อเสียคือฝักมีอายุแตกต่างกันมากแม้จะอยู่มุมใบเดียวกัน เนื่องจากดอกที่อยู่ตรงกลางจะเกิดขึ้นมาก่อนและได้รับการผสมก่อนแล้วจึงตามด้วยดอกอื่นๆ ที่อยู่มุมใบเดียวกัน เมื่อพัฒนาไปเป็นฝักๆ ที่อยู่ตรงกลางจะสุกแก่ก่อนฝักอื่นๆ ทำให้ฝักแตกและเมล็ดร่วง นอกจากนี้ยังมีเมล็ดลีบค่อนข้างเยอะ เนื่องจากในระยะเก็บเกี่ยวเมล็ดในฝักที่ 2 และ 3 ของมุมใบส่วนปลายลำต้นยังพัฒนาไม่เต็มที่ (อิทธิพล และคณะ, 2560) การสุกแก่ไม่พร้อมกันเป็นปัญหาสำคัญของงา แต่พันธุ์ที่มีดอกมากกว่า 1 ดอกต่อมุมใบจะมีปัญหาดังกล่าวมากกว่าพันธุ์ที่มี 1 ดอกต่อมุมใบ นอกจากนี้บางสายพันธุ์มีจำนวนฝักต่อต้นมากแต่มีลักษณะองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆ น้อย เช่น น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จึงทำให้มีผลผลิตต่ำถึงแม้จะมีจำนวนฝักต่อต้นมาก สอดคล้องกับ จักรกฤษณ์ (2558) รายงานว่าพืชที่มีจำนวนฝักต่อต้นมากก็อาจจะให้ผลผลิตต่อต้นต่ำได้เช่นเดียวกัน เพราะว่ายังมีองค์ประกอบอย่างอื่นที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตต่อต้น เช่น จำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักเมล็ด แสดงให้เห็นว่าค่าสหสัมพันธ์และแพทโคเอฟพีเขียนท์มีความผันแปรตามพันธุกรรมของพืชและสภาพแวดล้อมที่ศึกษา (เกียรติศักดิ์, 2553) ผลการศึกษารั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอายุการเก็บเกี่ยว ความสูงต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็นลักษณะที่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์งาเพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากมีสหสัมพันธ์ทางบวกและอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตต่อต้นในระดับสูง อย่างไรก็ตามนักปรับปรุงพันธุ์ควรพิจารณาร่วมกันในหลายปัจจัย เพราะถึงแม้อายุการเก็บเกี่ยวและความสูงจะมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต แสดงว่าถ้าหากมีอายุการเก็บเกี่ยวและความสูงเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น แต่พันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวนานเกษตรกรต้องเพิ่มระยะเวลาในการดูแลรักษา ทำให้ต้องเพิ่มปัจจัยการผลิตและมีความเสี่ยงต่อการเข้าทำลายของศัตรูพืช ส่วนพันธุ์ที่มีต้นสูงมีความเสี่ยงต่อการหักล้ม ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์งาเพื่อเพิ่มผลผลิตควรคัดเลือกทางอ้อมผ่านน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

Table 3 Path analysis showing direct and indirect effects of agronomic characters on yield/plant in sesame.

Characters	Direct effect	Indirect effect via								Correlation with YPP
		DF	DH	PH	LC	NC	LG	WG	TW	
DF	-0.725	-	0.550	0.251	-0.029	0.001	0.198	0.057	-0.111	0.192
DH	0.840	-0.475	-	0.294	-0.030	0.001	0.068	-0.045	0.079	0.733**
PH	0.376	-0.483	0.658	-	-0.031	0.001	0.071	-0.010	0.030	0.611**
LC	0.066	0.320	-0.382	-0.181	-	-0.001	-0.149	-0.059	0.108	-0.278
NC	0.002	-0.303	0.445	0.186	-0.028	-	0.117	-0.007	-0.029	0.382
LG	-0.298	0.482	-0.193	-0.090	0.033	-0.001	-	-0.098	0.215	0.050
WG	-0.162	0.256	0.236	0.022	0.024	0.000	-0.180	-	0.244	0.441*
TW	0.287	0.279	0.230	0.040	0.025	0.000	-0.222	-0.137	-	0.501*

* and ** = significant difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels, respectively. DF = days to first flowering (days), DH = days to harvest (days), PH = plant height (cm), LC = length of capsule (cm), NC = number of capsule/plant, LG = length of grain (mm), WG = width of grain (mm), TW = 1,000-grain weight (g), YPP = yield/plant (g).

การวิเคราะห์แพทโคเอฟฟีเซียนท์ของลักษณะทางการเกษตรต่อปริมาณเซซามินพบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีอิทธิพลทางตรงแบบลบต่อปริมาณเซซามินมากที่สุด (-0.471) รองลงมาคือความยาวเมล็ด (-0.369) ขณะที่ความกว้างเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.564, P \leq 0.01$) แต่มีอิทธิพลทางตรงต่อปริมาณเซซามินเป็นบวก (0.162) เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นอิทธิพลทางอ้อมผ่านน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (-0.399) และความยาวเมล็ด (-0.224) (Table 4) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณเซซามินในเมล็ดงาจะมากขึ้นหากเมล็ดงามีน้ำหนักน้อยและขนาดเล็กลง เนื่องจากน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและความยาวเมล็ดมีสหสัมพันธ์ทางลบและอิทธิพลทางตรงแบบลบต่อปริมาณเซซามินในระดับสูง การศึกษานี้เป็นครั้งแรกที่รายงานหาพบความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมล็ดกับปริมาณเซซามินในเมล็ดงา ก่อนหน้านี้มีรายงานน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และปริมาณเซซามินของงา 11 พันธุ์ พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดระหว่าง 1.43 – 2.70 ก. มีปริมาณเซซามินระหว่าง 1.30 – 10.27 มก./ก. เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ($n=11$) พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.620, P \leq 0.05$) (สมใจ, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ Yasumoto and Katsuta (2006) พบว่างาพันธุ์ H65 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณเซซามินมากที่สุด (9.5 มก./ก.) จากงาทั้งหมด 650 สายพันธุ์ มีลักษณะประจำพันธุ์เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดเล็กมาก มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เพียง 0.9 ก. ขณะที่ Tashiro *et al.* (1991) ได้ศึกษาโดยเก็บข้อมูลจากตำแหน่งของฝักบนลำต้นของงาจำนวน 7 ตำแหน่ง จากงาขาว 1 พันธุ์ และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่าไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 100 เมล็ด กับปริมาณเซซามิน ($r = -0.325, P > 0.05$) แต่พบแนวโน้มว่าปริมาณเซซามินจะมากขึ้นหากเมล็ดมีน้ำหนักน้อยลง ความไม่ชัดเจนของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก 100 เมล็ดของงากับปริมาณเซซามินจากการศึกษาของ Tashiro *et al.* (1991) อาจเนื่องมาจากข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มาจากงาเพียง 1 สายพันธุ์ Rangkadilok *et al.* (2010) รายงานว่าขนาดเมล็ดและตำแหน่งของฝักบนลำต้นมีผลต่อปริมาณเซซามินในเมล็ดงา ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมล็ดกับปริมาณเซซามินจากการศึกษานี้ อาจเกี่ยวข้องกับยีนที่ควบคุมขนาดเมล็ดและปริมาณเซซามิน ซ่อแก้ว และคณะ (2557) รายงานว่าการที่สองลักษณะมีความสัมพันธ์กันหรือเปลี่ยนแปลงไปด้วยกันมักเกิดจากสาเหตุใหญ่ๆ 2 ประการ คือ การที่ยีนกลุ่มเดียวกันสามารถควบคุมสองลักษณะ (pleiotropy)

และยีนที่ควบคุมลักษณะทั้งสองตั้งอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน (linkage) จากผลการศึกษาค้นคว้านี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณเซซามินในเมล็ดงาจะมากขึ้นหากเมล็ดงามีน้ำหนักน้อยและขนาดเล็กง ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อเพิ่มปริมาณเซซามินสามารถคัดเลือกทางอ้อมผ่านขนาดเมล็ดได้ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อเพิ่มปริมาณเซซามินอาจทำให้เมล็ดมีขนาดเล็กง ซึ่งงาเมล็ดเล็กไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ในทำนองเดียวกันการปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อเพิ่มขนาดเมล็ดอาจทำให้ปริมาณเซซามินในเมล็ดลดลง ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการเกาะกลุ่มกันของยีนที่ต้องการและไม่ต้องการ ดังนั้นการที่จะได้พันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดมากและมีปริมาณเซซามินสูงมารวมกันก็มีโอกาสน้อยลง (กฤษฎา, 2551) การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มทั้งสองลักษณะต้องมีการผสมข้ามสายพันธุ์โดยใช้พ่อแม่ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมสูงในลักษณะขนาดเมล็ดและปริมาณเซซามิน เพื่อให้เกิดครอสซิงโอเวอร์ (crossing over) และมีการจัดกลุ่มใหม่ของแอลลีล (alleles) จะได้ลักษณะพันธุกรรมใหม่ ซึ่งอาจจะพบต้นที่มีทั้งน้ำหนักเมล็ดมากและมีปริมาณเซซามินสูงในประชากรที่มีการกระจายตัว แต่ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการเกาะกลุ่มกันของยีนว่าเหนียวแน่นขนาดไหน (กฤษฎา, 2551) ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต นอกจากนั้นพบว่าผลผลิตต่อต้นของงามีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.468$, $P \leq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์แพทโคเอฟฟีเซียนท์พบว่า อิทธิพลส่วนใหญ่เป็นอิทธิพลทางอ้อมผ่านน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (-0.236) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตต่อต้นมีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามินนั้น ส่วนใหญ่เป็นอิทธิพลทางอ้อมผ่านน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

Table 4 Path analysis showing direct and indirect effects of agronomic characters on sesamin content in sesame.

Characters	Direct effect	Indirect effect via									Correlation with SM
		DF	DH	PH	LC	NC	LG	WG	TW	YPP	
DF	0.223	-	0.140	-0.164	-0.049	-0.083	0.245	-0.057	0.181	-0.044	0.393
DH	0.214	0.146	-	-0.193	-0.050	-0.105	0.085	0.045	-0.128	-0.167	-0.153
PH	-0.246	0.149	0.168	-	-0.053	-0.099	0.088	0.010	-0.049	-0.139	-0.172
LC	0.110	-0.099	-0.097	0.118	-	0.086	-0.184	0.059	-0.176	0.063	-0.120
NC	-0.199	0.093	0.113	-0.122	-0.047	-	0.145	0.007	0.048	-0.087	-0.049
LG	-0.369	-0.148	-0.050	0.059	0.055	0.078	-	0.098	-0.351	-0.011	-0.639 ^{**}
WG	0.162	-0.079	0.060	-0.015	0.040	-0.009	-0.224	-	-0.399	-0.100	-0.564 ^{**}
TW	-0.471	-0.086	0.059	-0.026	0.041	0.020	-0.275	0.138	-	-0.114	-0.715 ^{**}
YPP	-0.228	0.043	0.157	-0.151	-0.030	-0.076	-0.019	0.071	-0.236	-	-0.468 [*]

^{*} and ^{**} = significant difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels, respectively. DF = days to first flowering (days), DH = days to harvest (days), PH = plant height (cm), LC = length of capsule (cm), NC = number of capsule/plant, LG = length of grain (mm), WG = width of grain (mm), TW = 1,000-grain weight (g), YPP = yield/plant (g), SM = sesamin content (mg/g grain).

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สรุปได้ว่า อายุการเก็บเกี่ยว ความสูงต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีสหสัมพันธ์ทางบวกและมีอิทธิพลทางตรงแบบบวกต่อผลผลิตต่อต้นของงา สำหรับสหสัมพันธ์และแพทโคเอฟฟีเซียนท์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรกับปริมาณเซซามิน พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และความยาวเมล็ด มีสหสัมพันธ์ทางลบและมีอิทธิพลทางตรงแบบลบต่อปริมาณเซซามิน แสดงให้เห็นว่าปริมาณเซซามินในเมล็ดงาจะมากขึ้นหากเมล็ดงามีน้ำหนักน้อยและขนาด

เล็กลง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมล็ดกับปริมาณเซซามินอาจเป็นอุปสรรคในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มทั้งขนาดเมล็ดและปริมาณเซซามิน นอกจากนี้พบว่าผลผลิตต่อต้นของงามีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณเซซามิน แต่ส่วนใหญ่เป็นอิทธิพลทางอ้อมผ่านน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี ที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณนายลิขิต แดนกาไสย และนายชูชาติ เนตรแก้ว นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ที่ช่วยเก็บข้อมูล และขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้การสนับสนุนพื้นที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. การปรับปรุงพันธุ์ พันธุ์ฐาน วิธีการ และแนวคิด. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 465 น.
- เกียรติศักดิ์ พันเพ็ง. 2553. การทดสอบสมรรถนะของสายพันธุ์และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการให้ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์น้ำมันของทานตะวัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่. 2542. พืชเศรษฐกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 471 น.
- จักรกฤษณ์ ศรีไชย. 2558. การศึกษาอิทธิพลทางพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตงา (*Sesamum indicum* L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- จักรกฤษณ์ ศรีไชย และ อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์. 2558. ความแปรปรวนทางพันธุกรรมและอัตราพันธุกรรมในลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของงา (*Sesamum indicum* L.). วารสารการเกษตรราชภัฏ. 14: 56-61.
- จิรวัฒน์ สนิทชน และ ประสิทธิ์ ใจคิด. 2539. สหสัมพันธ์บางประการในประชากรงา มข.2. ว.วิจัย มข. 1: 20-24.
- ชูศักดิ์ จอมพุท. 2552. สถิติ : การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยด้วย "R". พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 352 น.
- ช่อแก้ว อนิลบล ปรมศ บรรเทิง จิรวัฒน์ สนิทชน และ พชริน สงศรี. 2557. พันธุกรรมของการสังเคราะห์สารแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L. indica). แก่นเกษตร. 42: 347-356.
- ปวิตร จันทร์หอม เรวัต เลิศฤทัยอิน และ อภิวิทย์ ทรงกระสินธุ์. 2557. การใช้แพคโคเอฟพีเขียนรหัสตรวจสอบอิทธิพลองค์ประกอบผลผลิตต่อผลผลิตย่อยของพันธุ์อ้อยลูกผสมจากต่างคู่ผสม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3: 14-25.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2527. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. โรงพิมพ์ไทยนา. สงขลา. 320 น.
- มนตรา ศรีษะแย้ม นาถิดา วีระปรียากร และ พนมพร ศรีบัวรินทร์. 2557. ฤทธิ์ด้านออกซิเดชันในหลอดทดลองของเมล็ดงาขาว ดำ และแดง. ว.เภสัชศาสตร์อีสาน. 10: 136-146.
- ศัลยา คงสมบูรณ์เวช. 2547. เซซามินกับสุขภาพ (Sesamin and health). วารสารโภชนาบำบัด. 15: 98-105.
- สมใจ ไควสุรัตน์. 2549. ลักษณะทางสรีรวิทยาเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์งา. กลุ่มวิจัยศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4. 79 น.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ. 2558. แผนปฏิบัติการเทคโนโลยีเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทย การปรับตัวภาคการเกษตร. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 155 น.
- สุพล อุปติสสกุล. 2536. สถิติการวางแผนการทดลอง เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. สหมิตรออฟเซต. กรุงเทพฯ. 382 น.
- อิทธิพล ชัมภูเขียว ปริญดา แท่งขั่น เอกรินทร์ สารีพัว และ อรวรรณ รักสงฆ์. 2560. อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะทางการเกษตรและผลผลิตของงา (*Sesamum indicum* L.). วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 4: รอการตีพิมพ์.
- Abbo, S., M.A. Grusak, T. Tzuk and R. Reifen. 2000. Genetic control of seed weight and calcium concentration in chickpea seed. Plant Breeding. 119: 427-431.

- Anilakumar, K.R., A. Pal, F. Khanum and A.S. Bawa. 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds - An Overview. Agric. conspec. sci. 75: 159-168.
- Badigannavar, A., G. Girish and T.R. Ganapathi. 2015. Genetic variation for seed phosphorus and yield traits in Indian sorghum landraces and varieties. The Crop Journals. 3: 358-365.
- Dewey, D.R. and K.H. Lu. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheat-grass seed production. Agron J. 51: 515-518.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Production. Available Source : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. [14 February 2017].
- Ibrahim, S.E. and M. Khidir. 2012. Genotypic correlation and path coefficient analysis of yield and some yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). Int. J. Agric. 2: 664-670.
- Rangkadilok, N., N., Pholphana, C. Mahidol, W. Wongyai, K. Saenooksree, S. Nookabkaew and J. Satayavivad. 2010. Variation of sesamin, sesamol and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and oil products in Thailand. Food Chemistry. 122: 724-730.
- Sabiel, S.A.I., M.I. Ismail, E.A. Abdalla and A.A. Osman. 2015. Genetic variation in sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) growth in the semi-arid zone of the Sudan. SABRAO J. Breed. Genet. 47: 214-220.
- Tashiro, T., Y. Fukuda and T. Osawa. 1991. Oil contents of seeds and minor components in the oil of sesame, *Sesamum indicum* L., as affected by capsule position. Jpn. J. Crop Sci. 60: 116-121.
- Teklu, D.H., S.A. Kebede and D.E. Gebremichael. 2014. Assessment of genetic variability genetic advance correlation and path analysis of morphological trait in sesame genotypes. Asian J. Agri. Res. 8: 181-194.
- Thiyagu, K., G. Kandasamy, N. Manivannan, V. Muralidharan and D. Uma. 2007. Correlation and path analysis for oil yield and components in cultivated sesame (*Sesamum indicum* L.). Agric. Sci. Digest. 27: 62-64.
- Uzun, B. and M.I. Cagiran. 2006. Comparison of determinate and indeterminate lines of sesame for agronomic trials. Field Crops Res. 96: 13-18.
- Yasumoto, S. and M. Katsuta. 2006. Breeding a high-lignan-content sesame cultivar in the prospect of promoting metabolic functionality. JARQ. 40: 123-129.
- Yol, E., E. Karaman, S. Furat and B. Uzun. 2010. Assessment of selection criteria in sesame by using correlation coefficients path and factor analyses. AJCS. 4: 598-602.