Thai J. Genet. 2012, 5(2) : 149-158

การถ่ายทอดพันธุกรรมของลักษณะฝักต้านทานการแตกในงา

Inheritance of shatter resistance capsules in sesame

อัญชุลี คชชา[1]* วาสนา วงษ์ใหญ่[1] ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ[2] และจินดารัฐ วีระวุฒิ[1]

Anchulee Kotcha[1]*, Wasana Wongyai[1], Pradit Pongtongkam[2] and Jindarath Verawudh[1]

[1]ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1]Department of Agronomy, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

[2]Department of Genetics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

**Corresponding author: g5081007@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การถ่ายทอดพันธุกรรมของลักษณะฝักต้านทานการแตกของฝักงาซึ่งได้ศึกษาในประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของงา 3 คู่ผสม โดยการทดสอบ chi-square (χ^2-test) พบว่าการกระจายตัวของต้นงามีอัตราส่วน ของฝักต้านทานการแตก:ฝักแตก เท่ากับ 15:1 และ 9:7 ในคู่ผสมฝักต้านทานการแตก x ฝักต้านทานการแตก (C plus 1 x KUsr6661) และ ฝักต้านทานการแตก x ฝักไม่แตก (C plus 1 x UCR5001) ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงว่าลักษณะการแตกของฝัก ควบคุมด้วยยีน 2 คู่ ปฏิกิริยาของยีนเป็นการข่มของยีนต่างตำแหน่ง (epistasis) แบบ duplicate dominant epistasis และ duplicate recessive epistasis ตามลำดับ สำหรับคู่ผสม ฝักต้านทานการแตก x ฝักแตก (C plus 1 x KUAOX25) มีอัตราส่วน ของฝักต้านทานการแตก:ฝักแตก ใกล้เคียงกับ 9:7 แสดงว่าปฏิกิริยาของยีนในคู่ผสมนี้ไม่เป็นแบบ duplicate recessive epistasis อัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability) ของลักษณะฝักต้านทานการแตกของทั้ง 3 คู่ผสม สามารถถ่ายทอดจากประชากรลูกรุ่นที่ 2 ไปยังลูกรุ่นที่ 3 ได้ในอัตราส่วนที่สูงเท่ากับ 0.74, 0.73 และ 0.68 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงว่าการปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยคัดเลือกสายพันธุ์งา ที่มีระดับความต้านทานการแตก หรือมีเมล็ดคงอยู่ในฝักสูงสามารถทำได้

ABSTRACT

Inheritance of shatter resistant capsule in sesame was studied in F_2 populations of three crosses of sesame using chi-square test for goodness of fit. The ratios obtained for shatter resistance:shattering are 15:1 and 9:7 for the cross between shatter resistance x shatter resistance (C plus 1 x KUsr6661) and between shatter resistance x indehiscence (C plus 1 x UCR5001), respectively. The results indicated that shatter resistance is caused by two pairs of genes with duplicate dominant

epistasis and duplicate recessive epistasis, respectively. But the cross between shatter resistance x shattering (C plus 1 x KUAOX 25) is nearest to 9:7 model, suggesting that the genetic control is not duplicate recessive epistasis. The shatter resistance in the three crosses was highly heritable with narrow sense heritability of 0.74, 0.73 and 0.68, respectively. The results suggested that improvement of sesame lines for high seed yield with high shatter resistant capsules or high seed retention in capsules could be successful.

คำสำคัญ: การถ่ายทอดพันธุกรรม, งา, ฝักต้านทานการแตก, ฝักไม่แตก *idid*, ฝักแตก

Keywords: inheritance, sesame, shatter resistant capsule, indehiscence capsule *idid*, shattering capsule

บทนำ

งาเป็นราชินีพืชน้ำมัน เนื่องจากเมล็ดงามีคุณค่าทางอาหารสูง และที่รู้จักกันมาก คือมีแคลเซียมสูง น้ำมันงามีคุณภาพดี มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่สำคัญอยู่สูง ได้แก่ กรดโอลิอิก (oleic fatty acid) และกรดลิโนลิอิก (linoleic fatty acid) นอกจากนี้เมล็ดงายังมีสาร lignan ที่มีคุณสมบัติใช้ในทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง สาร lignan ที่สำคัญในงา คือ เซซามิน (sesamin) และเซซาโมลิน (sesamolin) คุณสมบัติของเซซามิน เช่น ป้องกันการเกิดมะเร็ง ลดความดันโลหิต และทำให้ผิวอ่อนนุ่ม เป็นต้น สำหรับเซซาโมลินมีอยู่ในงาเท่านั้น มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถเก็บน้ำมันงาไว้ได้นาน ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน และเมื่อนำเมล็ดงามาคั่วสกัดเป็นน้ำมันจะทำให้มีกลิ่นหอม (วาสนา, 2550) ปัจจุบันพื้นที่การปลูกงาลดลงทั้งที่มีความต้องการใช้งาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพันธุ์งาที่ปลูกเป็นการค้าทั่วโลกเป็นพันธุ์ฝักแตก (shattering) เมื่อสุกแก่เป็นสาเหตุให้เมล็ดร่วงก่อนการเก็บเกี่ยว มีผลให้ผลผลิตต่อไร่ของงาค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ไม่สามารถปลูกงาในพื้นที่ขนาดใหญ่ เนื่องจากไม่สามารถนำเครื่องจักรกลมาใช้ในการผลิตและเก็บเกี่ยวงาได้ (Ashri, 1998; Langham and Weimers, 2002; Langham *et al.,* 2010) สำหรับการปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อลดการสูญเสียผลผลิต เนื่องจากการร่วงของเมล็ดงาที่ประสบความสำเร็จ คือ บริษัท Sesaco Corporation ตั้งอยู่ที่เมือง San Antonio รัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาสายพันธุ์งาฝักต้านทานการแตกได้ (non-dehiscence or shatter resistance) และทางบริษัทได้ส่งเสริมพันธุ์งาฝักต้านทานการแตก ให้เกษตรกรในรัฐอริโซนา รัฐแคนซัส และรัฐเท็กซัส ฝักต้านทานการแตก หมายถึง เมื่อฝักงาสุกแก่ปลายฝักจะแยก แต่ผนังเปลือกฝักไม่แยกออกจากกันตามความยาวตะเข็บของฝัก เมล็ดงาจะติดอยู่กับแกนกลาง (placenta) ของฝัก ทำให้เมล็ดไม่ร่วงหรือร่วงเล็กน้อยจากฝักเมื่อคว่ำปลายฝักลง และสามารถปล่อยให้ต้นและฝักแห้งอยู่ในแปลงจนถึงการเก็บเกี่ยวได้ (Langham and Wiemers, 2002; Langham *et al.,* 2010) นอกจากนี้โครงการปรับปรุงพันธุ์งา ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาสายพันธุ์งาที่ลดการร่วงของเมล็ดเมื่อฝักสุกแก่และแตก คือ พันธุ์งาฝักไม่แตก (non-shattering) ได้แก่ พันธุ์ C plus1 และ C plus 2 และพันธุ์งาฝักต้านทานการแตก ได้แก่ พันธุ์ CM-07 และ CM-53 ให้แก่เกษตรกรในปี พ.ศ. 2546, 2550, 2551 และ 2553 ตามลำดับ สำหรับสายพันธุ์ฝักไม่แตกที่พัฒนาได้ มีใบปกติ ผนังเปลือกฝักไม่หนาและเหนียว เมื่อกะเทาะเมล็ดออกจากฝักได้ง่าย เปลือกหุ้มเมล็ดไม่เสียหาย และลักษณะฝักไม่แตกนี้ไม่ได้ควบคุมด้วย

ยีนด้อย *idid* ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์ฝักไม่แตกที่ Langham (1946) ได้ค้นพบ และรายงานไว้ คือผนังเปลือกฝักหนาและเหนียว กะเทาะเมล็ดออกจากฝักได้ยาก และมีใบรูปถ้วย (วาสนา และสุรพล, 2546a; 2546b; วาสนา และวัชรี, 2550; วาสนา, 2550; จินดารัฐ และคณะ, 2551 และ Wongyai *et al.,* 2010)

สำหรับการศึกษาพันธุกรรมของฝักไม่แตกที่ควบคุมด้วยยีนด้อย *idid* และฝักไม่แตกที่พัฒนาโดยโครงการปรับปรุงพันธุ์งามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์นั้น จุฑามาศ และสมฤดี (2550) ใช้เทคนิค SRAP พบว่า พันธุกรรมของลักษณะฝักไม่แตกทั้ง 2 แบบ ไม่มีความสัมพันธ์กัน และยีนที่ควบคุมลักษณะฝักไม่แตกทั้ง 2 แบบนี้น่าจะแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการตรวจเอกสารยังไม่พบรายงานการศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะฝักไม่แตก (non-shattering) และฝักต้านทานการแตกของงา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการถ่ายทอดพันธุกรรมของลักษณะฝักต้านทานการแตกในงา ซึ่งการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์งา และเป็นข้อมูลทางพันธุกรรมสำหรับปรับปรุงพันธุ์พืชอื่นๆที่มีปัญหาเรื่องฝักแตกเมื่อสุกแก่

อุปกรณ์และวิธีการ

สายพันธุ์งาที่ใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ได้แก่ พันธุ์งาฝักไม่แตก C plus 1 สายพันธุ์ฝักต้านทานการแตก KUsr6661 และสายพันธุ์ฝักแตก KUAOX25 ซึ่งพัฒนาพันธุ์จากโครงการปรับปรุงพันธุ์งา ภาควิชาพืชไร่นามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสายพันธุ์งาฝักไม่แตก UCR5001 ที่ควบคุมด้วยยีนด้อย *idid* พัฒนาพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยแคลิฟลอเนีย เมืองริเวอร์ไซด์ (Riverside) ได้ผสมพันธุ์งาจำนวน 3 คู่ผสม ได้แก่ C plus 1 x KUsr6661, C plus 1 x UCR5001 และ C plus 1 x KUAOX25 ที่โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ได้ปลูกลูกรุ่นที่ 1 (F_1) จำนวน 40 ต้นต่อคู่ผสม ประชากรรุ่นที่ 2 (F_2) จำนวน 400 ต้นต่อคู่ผสม สายพันธุ์ลูกรุ่นที่ 3 (F_3 lines) จำนวน 50 ต้นต่อคู่ผสม โดยคัดเลือกต้น F_2 ที่มีลักษณะทางเกษตรที่ต้องการ และต้น F_2 เหล่านี้มีลักษณะการแตกของฝัก 6 แบบ คือ (i) ฝักไม่แตก ฝักต้านทานการแตก และฝักแตก (ii) ฝักต้านทานการแตก และฝักแตก (iii) ฝักต้านทานการแตก (iv) ฝักไม่แตก และฝักต้านทานการแตก (v) ฝักแตก (vi) ฝักไม่แตก และฝักแตก ใช้ระยะปลูก 75 x10 เซนติเมตร แถวยาว 4 เมตรในเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2553 ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพด และข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

การตรวจสอบลักษณะต้นงาประกอบด้วยใบปกติ ใบรูปถ้วย การแตกของฝักงาภายในต้น และวัดความต้านทานการแตกของฝักงา โดยวิธี shaker shatter resistance (SSR) ในประชากรของลูกรุ่นที่ 1, 2 และ 3 สำหรับการศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะฝักต้านทานการแตก ใช้ลักษณะใบปกติ ใบรูปถ้วย และค่าความต้านทานการแตกของฝักงา ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 โดยการทดสอบ chi-square (χ^2-test)

การตรวจสอบความต้านทานการแตกของฝักโดยการเขย่าฝักงา (SSR) ตามวิธีการของวาสนา (2550) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Langham (2001) มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เก็บตัวอย่างฝักงาที่มีอายุ 40 วันหลังดอกบาน โดยฝักงาจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเป็นระยะที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยา เก็บฝักงาจากบริเวณกลางลำต้น 2 ฝัก จำนวน 10 ต้นต่อสายพันธุ์ ใส่ถุงกระดาษเขียนชื่อสายพันธุ์และนำมาตากแดด หรือใช้แสงจากหลอดไฟฟ้าจนฝักแห้ง เมื่อฝักงาแห้งนำออกมา

จากถุง ใส่ฝักงาในขวดแก้วนำขวดไปเขย่านาน 10 นาที โดยเครื่องเขย่าซึ่งมีระยะช่วงความกว้างของการเขย่า 14 เซนติเมตร จำนวน 250 ครั้ง/นาที หลังจากนั้นนำฝักงาที่เขย่าคว่ำปลายฝักลง เพื่อให้เมล็ดร่วงลงมาอยู่ในขวด ชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ร่วงทั้งหมด และน้ำหนักเมล็ดที่เหลืออยู่ในฝัก คำนวณหาค่า SSR ดังนี้

$$\%SSR = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดงาทั้งหมด} - \text{น้ำหนักเมล็ดงาที่ร่วง}}{\text{น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$$

นำค่าเปอร์เซ็นต์ SSR มาจัดระดับความต้านทานการแตกของฝักงาโดยดัดแปลงจากการจัดระดับของวาสนา (2550) ได้ดังนี้

เมล็ดอยู่ในฝัก
0-9 เปอร์เซ็นต์ = ฝักแตกมาก
10-19 เปอร์เซ็นต์ = ฝักแตก
20-49 เปอร์เซ็นต์ = ฝักค่อนข้างต้านทานการแตก
50-69 เปอร์เซ็นต์ = ฝักต้านทานการแตกปานกลาง
70-89 เปอร์เซ็นต์ = ฝักต้านทานการแตกค่อนข้างสูง
90-99 เปอร์เซ็นต์ = ฝักต้านทานการแตกสูง
>99 เปอร์เซ็นต์ = ฝักไม่แตก (non-shattering)

การคำนวณหาจำนวนคู่ของยีน (loci) ที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักงาตามสูตรของ Castle-Wright's ซึ่ง Zeng *et al.* (1990) ได้นำมาใช้ ดังนี้

$$K_{CW} = D^2/8VG = D^2/8(VF_2 - VE)$$

K_{CW} = ตำแหน่งของยีนที่คำนวณได้จากวิธีการของ Castle-Wright's
D = ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์พ่อแม่ ($P_2 - P_1$)
VF_2 = ค่าความแปรปรวนของลูกรุ่นที่ 2 (F_2)
VE = ค่าความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม

และการคำนวณหาจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักงาตามวิธีของ Bjarco และ Line's (1987) ดังนี้

F_2 generation:

$$n = \frac{(GR)^2[1.5-2h(1-h)]}{8(VF_2-(V_{PS}+V_{PR}+2V_{F1})\ 4)}$$

$$h = (F1_M - P_R)/(P_S - P_R)$$

F_3 generation:

$$n = (GR)^2/5.33\ [VF_3-(V_{PR}+V_{PS})/2]$$

GR = ค่าของจีโนไทป์ คำนวณจากลักษณะทางฟีโนไทป์ที่แสดงออกของสายพันธุ์พ่อแม่ ($P_S - P_R$)
P_R = ค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์พ่อ
P_S = ค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์แม่
F_{1M} = ค่าเฉลี่ยของลูกรุ่นที่ 1(F_1)
V_{PR}, V_{PS} = ค่าความแปรปรวนของสายพันธุ์พ่อแม่
V_{F1}, VF_2, VF_3 = ค่าความแปรปรวนของลูกรุ่นที่1 (F_1), รุ่นที่ 2 (F_2) และรุ่นที่ 3 (F_3)
n = จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะที่ศึกษา

การศึกษาอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability) ของลักษณะฝักต้านทานการแตกตามวิธีของประดิษฐ์ (2543) โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของยีน ที่มีการแสดงออกแบบบวกสะสม ต่อความแปรปรวนทั้งหมดของลักษณะการแตกของฝัก ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 ดังนี้

$$h^2 = V_A/V_P = V_A/(V_G + V_E)$$
$$= V_A/(V_A+V_D+V_I+V_E)$$

V_A = ความแปรปรวนของยีนที่มีการแสดงออกแบบบวกสะสม
V_D = ความแปรปรวนของยีนที่แสดงการข่มภายในตำแหน่งเดียวกัน
V_I = ความแปรปรวนของยีนที่แสดงการข่มต่างตำแหน่ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตรวจสอบระดับความต้านทานการแตก และลักษณะการแตกของฝักงาในสายพันธุ์พ่อแม่ C plus 1, UCR5001, KUsr6661 และ KUAOX25 พบว่า ฝักมีความต้านทานการแตกเท่ากับ 96.44, 91.81, 82.16 และ 3.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความต้านทานการแตกของฝักในสายพันธุ์ C plus 1 และ UCR5001 จัดอยู่ในกลุ่มฝักต้านทานการแตกสูง สายพันธุ์ KUsr6661 จัดอยู่ในกลุ่มฝักต้านทานการแตกค่อนข้างสูง และสายพันธุ์ KUAOX25 จัดอยู่ในกลุ่มฝักแตก ในการศึกษาครั้งนี้พันธุ์ C plus 1 และ UCR5001 ซึ่งเป็นพันธุ์ฝักไม่แตก แต่พบว่ามีฝักต้านทานการแตกเกิดขึ้นในต้น เท่ากับ 18 และ 8 ฝักต่อต้น ตามลำดับ โดยปกติพันธุ์ C plus 1 ฝักงาคู่แรกที่อยู่ด้านล่างสุดของต้นเท่านั้นที่เป็นฝักต้านทานการแตก ส่วนสายพันธุ์ UCR5001 ไม่มีฝักแตกเลย แต่อย่างไรก็ตาม Langham *et al.,* 2010 ได้กล่าวว่า พบฝักแตกในสายพันธุ์ฝักไม่แตกที่ควบคุมด้วยยีนด้อย *idid*) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงจัดให้พันธุ์ C plus 1 และ UCR5001 เป็นพันธุ์ฝักต้านทานการแตกสูง การตรวจสอบลักษณะใบของลูกรุ่นที่ 1 (F_1) พบว่าทั้ง 3 คู่ผสม มีใบปกติ และเมื่อฝักสุกแก่ปลายฝักจะแตกเพียงเล็กน้อย โดยฝักมีความต้านทานการแตกเท่ากับ 94.90, 98.13, 95.14 เปอร์เซ็นต์ ในคู่ผสม C plus 1 x KUsr6661, C plus 1 x UCR5001 และ C plus 1 x KUAOX25 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มฝักต้านทานการแตกสูง คือมีเมล็ดอยู่ในฝัก 90-99 เปอร์เซ็นต์ มีเพียงคู่ผสม C plus 1 x UCR5001 เท่านั้นที่มีค่าความต้านทานการแตกเท่ากับ 98.13 ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ (Table 1)

Table 1 Shaker shatter resistance percentage (SSR) in the four parental lines and three F_1 progenies.

Lines/Cross	No. of plant	Percentage of SSR	Shaker shatter resistance[1/]
Parent lines			
C plus 1	7	96.44	highly super shatter resistance
UCR5001	6	91.81	highly super shatter resistance
KUsr6661	5	82.16	super shatter resistance
KUAOX25	10	3.97	super shattering
F_1 progenies			
C plus 1 x KUsr6661	10	94.90	highly super shatter resistance
C plus 1 x UCR5001	10	98.13	highly super shatter resistance
C plus 1 x KUAOX25	10	95.14	highly super shatter resistance

[1/]0-9% = super shattering, 10-19% = shattering, 70-89% = super shatter resistance, 90-99 % = highly super shatter resistance

การศึกษาพันธุกรรมของลักษณะฝักต้านทานการแตก และความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของงา 3 คู่ผสม

การศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะฝักต้านทานการแตกในงา 3 คู่ผสม โดยใช้ค่า χ^2-test จัดลักษณะการแตกของฝักเป็น 2 ระดับ คือ ฝักแตกมีเมล็ดอยู่ในฝัก (SSR) ระหว่าง 0–19 เปอร์เซ็นต์ ละฝักต้านทานการแตกมีเมล็ดอยู่ในฝักระหว่าง 20–99 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) และใช้สมมุติฐานลักษณะการแตกของฝักงาทั้ง 3 แบบควบคุมด้วยยีน 2 คู่ ในคู่ผสม C plus 1 x KUsr 6661 พบว่า ต้นงา F_2 มีการกระจายตัวของต้นงาฝักต้านทานการแตก:ต้นงาฝักแตก ในอัตราส่วน 15:1 ซึ่งแสดงว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะฝักต้านทานการแตกมีจำนวน 2 คู่ และปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบ duplicate dominant epistasis คือปฏิกิริยาของยีนต่างตำแหน่งที่เกิดจากยีนเด่นของทั้ง 2 ตำแหน่งต่างข่มการแสดงออกของยีนต่างตำแหน่งได้ สำหรับผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ของคู่ผสมนี้ โดยจีโนไทป์ 9A-B-, 3A-bb และ 3aaB- ให้ฟีโนไทป์ฝักต้านทานการแตก และจีโนไทป์ 1aabb ซึ่งเป็นยีนด้อยให้ฟีโนไทป์ฝักแตก (Table 3) ซึ่งแสดงว่า ลักษณะฝักต้านทานการแตกของฝักงาในคู่ผสมนี้เกิดจากยีนเด่นของตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ต่างข่มการแสดงออกของยีนต่างตำแหน่งได้ ทำให้อัตราส่วนของฟีโนไทป์ เป็น 15:1

สำหรับคู่ผสมระหว่าง C plus 1 x UCR 5001 พบว่า การกระจายตัวของต้นงาในประชากรลูกรุ่นที่ 2 มีอัตราส่วน ต้นงาฝักต้านทานการแตก: ต้นงาฝักแตก เท่ากับ 9:7 ปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบ duplicate

Table 2 Phenotypic ratios of shattering capsule in the F2 generations of three sesame crosses.

Cross	Shattering capsule [1/]	No.of plant	Expected	χ^2	Expected ratio
C plus 1 x KUsr6661	shatter resistance	361	354.37		
	shattering	17	23.62	2.254	15:1
	Total	378	378.00		
C plus 1 x UCR5001	shatter resistance	230	222.75		
	shattering	166	173.25	0.551	9:7
	Total	396	396.00		
C plus 1 x KUAOX25	shatter resistance	222	244.37		
	shattering	169	146.62	5.405*	9:7
	Total	391	391.00		

[1/] 0-19% = shattering, 20-99% = super shatter resistance, * non-significance at 0.05 level

recessive epistasis คือปฏิกิริยาการข่มของยีนต่างตำแหน่งโดยยีนด้อยของทั้ง 2 ตำแหน่ง ต่างข่มการแสดงออกของยีนต่างตำแหน่งได้ แสดงว่าลักษณะฝักต้านทานการแตก และฝักไม่แตกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง โดย 9A-B- มีลักษณะฝักต้านทานการแตก และ 3A-bb, 3aaB-,1aabb มีลักษณะฝักแตก ซึ่งยีนด้อยของตำแหน่งแรก และตำแหน่งที่ 2 ต่างข่มการแสดงออกของยีนต่างตำแหน่งได้ มีผลให้อัตราส่วนของฟีโนไทป์เป็น 9:7 (Table 3) สำหรับคู่ผสม C plus 1 x KUAOX25 การกระจายตัวของ

ต้นงาในประชากรลูกรุ่นที่ 2 มีอัตราส่วนของ ต้นงาฝักต้านทานการแตก:ต้นงาฝักแตก ไม่เท่ากับ 9:7 เนื่องจากค่า χ^2 ที่คำนวณได้ (5.405) มีค่ามากกว่าค่า χ^2 ในตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งเท่ากับ 3. 418 (n=1) แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะการแตกของฝัก มิได้มีปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบ duplicate recessive epistasis จึงคาดว่ายีนที่ควบคุมลักษณะการแตกของฝักมีมากกว่า 2 คู่ ในคู่ผสมนี้ (Table 3)

Table 3 Relationship between genotype and phenotype in the F_2 generations of three sesame crosses.

Genotype	Frequency of genotype	Phenotype[1/]		
		C plus 1 x KUsr6661	C plus 1 x UCR5001	C plus 1 x KUAOX25
AABB	1/16	shatter resistance	shatter resistance	shatter resistance
AABb	2/16	shatter resistance	shatter resistance	shatter resistance
Aabb	1/16	shatter resistance	shattering	shattering
AaBB	2/16	shatter resistance	shatter resistance	shatter resistance
AaBb	4/16	shatter resistance	shatter resistance	shatter resistance
Aabb	2/16	shatter resistance	shattering	shattering
aaBB	1/16	shatter resistance	shattering	shattering
aaBb	2/16	shatter resistance	shattering	shattering
aabb	1/16	shattering	shattering	shattering
Expected ratio		**15:1**	**9:7**	**9:7***

[1/] 0-19% = shattering, 20-99% = super shatter resistance, * nearest to 9:7

ผลการศึกษาพันธุกรรมของยีนที่ควบคุมลักษณะฝักต้านทานการแตกในงา 3 คู่ผสม ชี้ให้เห็นว่า ฝักต้านทานการแตก และฝักแตกของงาควบคุมด้วยยีน 2 คู่ และปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบ epistasis แต่ Ashri and Ladijinski (1964), สรศักดิ์ (2534) และ กัญญา (2543) ได้รายงานว่าพันธุกรรมของลักษณะฝักแตกควบคุมด้วยยีน 1 คู่ โดยลักษณะฝักแตกควบคุมด้วยยีนเด่นในคู่ผสมระหว่างฝักแตก และฝักไม่แตกที่ควบคุมด้วยยีนด้อย *idid* โดยมีอัตราส่วนของการกระจายตัวของประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของ ต้นฝักแตก:ต้นฝักไม่แตก เท่ากับ 3:1 แต่การศึกษานี้การกระจายตัวของประชากรลูกรุ่นที่ 2 ในคู่ผสมฝักต้านทานการแตกกับฝักไม่แตก (C plus 1 x UCR5001) ให้อัตราส่วนของ ต้นฝักต้านทานการแตก:ต้นฝักแตก เท่ากับ 9:7 นอกจากนี้ได้มีการศึกษายีนที่ควบคุมลักษณะการแตกของฝักในถั่วเหลือง ซึ่ง Mohammed (2010) รายงานว่า ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของคู่ผสมฝักต้านทานการแตกสูงกับฝักต้านทานการแตกปานกลาง และฝักต้านทานการแตกสูงกับฝักแตก มีอัตราส่วนการกระจายตัวของฟีโนไทป์เท่ากับ 9:7 และ 13:3 ตามลำดับ Tukamuhabwa *et al.* (2000) รายงานว่า ลักษณะการแตกของฝักในถั่วเหลืองควบคุมด้วยยีน 2 คู่ และปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบ epistasis นอกจากนี้ สรศักดิ์ (2534) ได้รายงานว่า ไม่มีอิทธิพลของแม่ต่อการกระจายตัวของประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของงาในคู่ผสมสลับ 8 คู่ผสม ระหว่างพันธุ์ฝักแตก และพันธุ์

ฝักไม่แตก *idid* เมื่อใช้พันธุ์ฝักไม่แตก *idid* เป็นสายพันธุ์แม่ Tukamuhabwa *et al.* (2000) รายงานว่าไม่มีอิทธิพลของแม่ต่อการกระจายตัวของประชากรลูกรุ่นที่ 2 ในคู่ผสมสลับของถั่วเหลือง 3 คู่ผสม เมื่อใช้พันธุ์ฝักต้านทานการแตกเป็นสายพันธุ์แม่ กับพันธุ์ฝักแตก

การศึกษาจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักงา

ผลการคำนวณหาจำนวน loci จากค่าความต้านทานการแตกของฝัก ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 จำนวน 50 ต้นต่อคู่ผสม พบว่าจำนวน loci ของลักษณะความต้านทานการแตกของฝัก ตามวิธีของ Castle-Wright's (Zeng *et al*., 1990) ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 ของงาทั้ง 3 คู่ผสมที่ศึกษามีความแปรปรวนระหว่าง 1 และ 2 loci แต่มีแนวโน้มเป็น 2 loci โดยคู่ผสมระหว่าง C plus 1 x KUsr6661, C plus 1 x UCR5001 และ C plus 1 x KUAOX25 มีจำนวน loci เท่ากับ 1.93, 1.87 และ 1.69 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยจำนวน loci ของทั้ง 3 คู่ผสม เท่ากับ 1.83 (Table 4) ดังนั้นจำนวนของ loci ที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักมีแนวโน้มเท่ากับ 2 loci หรือ 4 แอลลีล

การคำนวณหาจำนวนคู่ของยีน ที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักงา ตามวิธีของ Bjarco and Line's (1987) ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 และลูกรุ่นที่ 3 ในงา 3 คู่ผสมพบว่า จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะการแตกของฝัก เท่ากับ 2.11, 2.08 และ 1.84 และ 2.20, 2.04 และ 1.97 ตามลำดับ ในคู่ผสม C plus 1 x KUsr6661, C plus 1 x UCR5001 และ C plus 1 x KUAOX25 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของจำนวนคู่ของ.ยีนในประชากรลูกรุ่นที่ 2 เท่ากับ 2.01 และ 2.07 ในลูกรุ่นที่ 3 (Table 4) จากผลการศึกษาจำนวน loci สอดคล้องกับจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักงา

Table 4 Number of genes controlling shatter resistance in three crosses of sesame at F_2 and F_3 generations.

Cross	No. of plant	F_2^w	F_2^j	F_3^j
C plus 1 x KUsr6661	50	1.93	2.11	2.20
C plus 1 x UCR5001	50	1.87	2.08	2.04
C plus 1 x KUAOX25	50	1.69	1.84	1.97
Mean	**50**	**1.83**	**2.01**	**2.07**

[w] Method of Castle-Wright's (Zeng *et al.,* 1990),

[j] Method of Bjarco and Line's (1987)

การศึกษาอัตราพันธุกรรม

ผลการศึกษาอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability) ของลักษณะฝักต้านทานการแตก ตามวิธีของประดิษฐ์ (2543) ในประชากรลูกรุ่นที่ 2 และรุ่นที่ 3 จำนวน 50 ต้นต่อคู่ผสม มีค่าอัตราพันธุกรรมเท่ากับ 0.74, 0.73 และ 0.68 ในคู่ผสม C plus 1 x KUsr6661, C plus 1 x UCR5001 และ C plus 1 x KUAOX25 ตามลำดับ (Table 5) แสดงว่า ลักษณะฝักต้านทานการแตกของทั้ง 3 คู่ผสมสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกในอัตราส่วนที่สูง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาของยีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานการแตกของฝักเป็นแบบบวกสะสม ดังนั้นการคัดเลือกต้นที่มีฝักต้านทานการแตกสูง หรือฝักงาที่มีความต้านทานการแตกสูงไปปลูกต่อ ลักษณะดังกล่าวสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้สูงเช่นเดียวกัน

Table 5 Narrow sense heritability of shatter resistance in three crosses of sesame at F_2 and F_3 generations.

Cross	No. of plant	h^2
C plus 1 x KUsr6661	50	0.74
C plus 1 x UCR5001	50	0.73
C plus 1 x KUAOX25	50	0.68
Mean	**50**	**0.72**

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการปรับปรุงพันธุ์งา ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กัญญา แสงสุขศรี. 2543. การปรับปรุงพันธุ์งาเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้เครื่องจักรเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินดารัฐ วีระวุฒิ วัชรี เลิศมงคล และอัญชุลี คชชา. 2551. การทดสอบผลผลิตพันธุ์งาฝักไม่แตกในสภาพแปลงเกษตรกร. โครงการบริการวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านเกษตรประจำปีงบประมาณปี 2551. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑามาศ ร่มแก้ว และสุดฤดี กล่อมน้อย. 2550. การใช้เทคนิค SRAP ในการศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของงา. *ใน* รวมผลงานวิจัยการประชุมวิชาการงา ทานตะวัน ละหุ่ง และคำฝอยแห่งชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 23–25 พฤษภาคม 2550 ณ โรงแรมเทวราช จังหวัดน่าน. น. 192–200.

ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. 2543. พันธุศาสตร์. ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วาสนา วงษ์ใหญ่ และสุรพล เช้าฉ้อง. 2546a. ศักยภาพการใช้เครื่องมือการเกษตรสำหรับการปลูกงาในประเทศไทย โดยการปรับปรุงพันธุ์งาฝักต้านทานการแตก และฝักไม่แตก. *ใน* การประชุมวิชาการ งา ทานตะวัน ละหุ่ง และคำฝอยแห่งชาติ ครั้งที่ 6 วันที่ 11–12 ธันวาคม 2546 ณ. ศูนย์การศึกษา และฝึกอบรมนานาชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. น. 86–96.

วาสนา วงษ์ใหญ่ และสุรพล เช้าฉ้อง. 2546b. ซีพลัส 1 งาขาวพันธุ์ฝักไม่แตก. *ใน* การประชุมวิชาการ งา ทานตะวัน ละหุ่ง และคำฝอยแห่งชาติ ครั้งที่ 6 วันที่ 11–12 ธันวาคม 2546 ณ. ศูนย์การศึกษา และฝึกอบรมนานาชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. น. 97–102.

วาสนา วงษ์ใหญ่ และวัชรี เลิศมงคล. 2550. งาขาวฝักไม่แตกที่มีปริมาณเซซามินสูง. *ใน* รวมผลงานวิจัยการประชุมวิชาการงา ทานตะวัน ละหุ่ง และคำฝอยแห่งชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 23–25 พฤษภาคม 2550 ณ โรงแรมเทวราช จังหวัดน่าน. น. 210–215.

วาสนา วงษ์ใหญ่. 2550. งา : พฤกษศาสตร์ การปลูก ปรับปรุงพันธุ์และการใช้ประโยชน์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรศักดิ์ มณีขาว. 2534. เกณฑ์การคัดเลือกลักษณะงาที่มีผลต่อการร่วงของเมล็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Ashri, A. and Ladijinski, G. 1964. Anatomical effects of the capsule dehiscence in sesame.

Crop Sci 4: 126–138.

Ashri, A. and Ladijinski, G. 1998. Sesame breeding. *Plant Breeding Rev* 16: 179–227.

Bjarco, M.E. and Line, R.F. 1987. Heritability and number of genes controlling leaf rust resistance in four cultivars of wheat. *Phytopathology* 78: 457–461.

Mohammed, H. 2010. Genetic analysis of resistance to pod shattering in soybean (*Glycine max.* (L) Merrill). *MSc. Thesis,* KNUST, Kamasi.

Langham, D.G. 1946. Genetic of sesame III. “Open sesame” and mottled leaf. *J Hered* 37: 149–152.

Langham, D.R. 2001. Shatter resistance in sesame improvement by induced mutation. *In* L.V. Zanten (ed.). Final Reports of an FAO/IAEA Co–ordinated Research Project Organized by the Joint FAO/IAEA. Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture 1993–1998, IAEA–TECDOC–1195. pp. 51–61.

Langham, D.R. and Wiemers, T. 2002. Progress in mechanizing in the US through breeding. *In* J. Janick and A Whipkey (eds.), *Trends in New Crops and New Uses*. ASHA Press, Alexandria, VA. pp. 157–173.

Langham, D.R., Rieney, J., Smith, G., Wiemers, T., Peeper, D. and Speed, T. 2010. Sesame production guide. Sesaco Sesame Coordinators (www.sesaco.com).

Tukamuhabwa, P., Rubaihayo, P.R., Dashiell, K. and Adipala, E. 2000. Inheritance to pod shattering in soybean. *J. African Crop Sci* 8: 203–211.

Wongyai, W., Sangsooksri, K. and Kotcha, A. 2010. Breeding of shatter resistance and high lignin content in sesame varieties. Research Progress Report Chulabhon Research Institute.

Zeng, Z.B., Houle, D. and Cockerham, C.C. 1990. How informative is Wright’s estimator of the number of genes affecting a quantitative character? *Genetics* 126: 235–247.