

甘蓝型油菜与白芥杂种后代抗裂角性 及其与角果性状的相关性

张云虹, 张永吉, 周如美, 张永泰, 李爱民*
(江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州, 225007)

摘要:为筛选抗裂角性优良的甘蓝型油菜种质资源,以甘蓝型油菜与白芥原生质体融合属间杂交后代为材料,扬油6号为对照,用随机碰撞法测定抗裂角性状。结果显示,抗裂角指数(SRI)变异范围为0.14~0.99,抗裂角指数SRI分布在0.1~0.2、0.2~0.3、0.3~0.4、0.4~0.5、0.5~0.6、0.6~0.7、0.8~0.9和0.9~1的材料数量分别为6、2、4、2、5、6、4和1份,表明材料之间的抗裂角性存在较大差异。筛选出12个抗裂角性优于扬油6号的种质。相关性分析表明,角果长度、果皮厚度和果皮重量与SRI呈显著正相关。因此在抗裂角油菜的筛选中,可以将长角果和厚重果皮作为形态指标。

关键词:白芥;甘蓝型油菜;抗裂角性;种质筛选
中图分类号:S565.403 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-9084(2017)01-0018-05

Silique shattering resistance in interspecific hybrids between *Brassica napus* and *Sinapis alba*
ZHAGN Yun-hong, ZHANG Yong-ji, ZHOU Ru-mei, ZHANG Yong-tai, LI Ai-min*
(Jiangsu Institute of Agricultural Sciences in the Lixiahe District, Yangzhou 225007, China)

Abstract:To develop *Brassica napus* germplasm resources for mechanization breeding, hybrid progenies from *B. napus* and *Sinapis alba* were analyzed on silique shattering resistance, comparing with *B. napus* cv Yangyou 6. Random impact test demonstrated that silique shattering resistance index ranged from 0.14 to 0.99. The frequency distributions among the materials were 6, 2, 4, 2, 5, 6, 4 and 1, when the silique shattering resistance index was divided into 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4, 0.4-0.5, 0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.8-0.9 and 0.9-1 regions. It indicated wide variation in shattering resistance. Twelve lines demonstrated better resistance than Yangyou 6. Based on correlation analysis, the silique shattering resistance index had significant positive correlations with silique length, silique wall weight and thickness. Therefore, the long silique, thick and heavy silique wall could be used as auxiliary index to screen the silique-shatter-resistant rapeseed.

Key words:*Sinapis alba*; *Brassica napus* L.; silique shattering resistance; germplasm screening

随着农业机械化的发展,选育适应机械化生产的品种成为农作物育种工作的新方向。油菜是重要的油料作物,但是目前的机械化水平较低,其中一个重要原因是成熟角果极易开裂,籽粒脱落造成产量的严重损失^[1]。为了减少角果开裂造成的损失,可以采取提前收获的方法,但是成熟度不够也将使油菜籽的含油量下降,油的品质也受到影响^[2]。因此,创制和选育抗裂角种质资源对加快油菜机械化

进程意义重大。

目前,国外农业机械化程度高,对油菜抗裂角的研究也较多,包括鉴定方法、细胞学观察、分子标记、基因鉴定和品种改良等^[3-5]。国内近些年也增加了对油菜抗裂角的研究,文雁成等^[6,7]在国内率先开展了甘蓝型油菜抗裂角研究,改进了随机碰撞方法,提出了抗裂指数概念,对甘蓝型油菜种质资源抗裂角性进行了广泛的筛选,并利用107个SSR标记和

收稿日期:2016-09-13
基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[CX(14)5078];扬州市科技计划(SQN20150031)
作者简介:张云虹(1984-),女,助理研究员,主要从事油菜育种研究
* 通讯作者:李爱民(1975-),男,研究员,主要从事油菜育种研究, E-mail: yzlam@126.com

68 个 SRAP 标记构建了甘蓝型油菜遗传连锁图谱,检测到 13 个与抗裂角性状有关的 QTL^[8]。王汉中团队育成的油菜品种中双 11 具有强抗裂角性(抗裂指数为 0.76),为我国油菜机械化收获提供了良好的品种支撑^[9]。崔嘉成等研究油菜角果相关性状对抗裂角性的贡献,其中果皮重量的贡献率最大,随后依次为角果长、结角密度、种子直径、每角粒数,而角果宽和千粒重的贡献率最小^[10]。

油菜在长期进化过程中为繁衍后代而形成了裂角的生物学特性,油菜品种的抗裂角性普遍较差,特别是作为我国油菜的主要栽培品种的甘蓝型油菜^[11],抗裂角种质资源的短缺严重制约着遗传改良,创造和培育抗裂角的新种质非常重要。由于甘蓝型油菜作为异源二倍体起源发生的历史较短,而我国甘蓝型油菜引自国外,遗传背景狭窄的问题极为突出,因此从近缘种属中引进优良的抗裂角性状,对拓宽甘蓝型油菜遗传背景,提高甘蓝型油菜抗裂角性具有深远的意义。

白芥(*Sinapis alba*)属于十字花科白芥属,和油菜亲缘关系较近,具有抗旱、黄籽、结角密、抗裂角等优良农艺性状,同时对十字花科多种病虫害有较强的抗性^[12,13]。本研究所筛选的材料是早前通过甘蓝型油菜与白芥原生质体融合,经过连续的回交和自交所产生的具有不同变异类型的后代^[14],采用随机碰撞法对甘蓝型油菜与白芥体细胞杂种后代进行抗裂角鉴定,筛选适宜机械化收获的抗裂角种质资源,为进一步培育适合机械化生产的油菜品种提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

甘蓝型油菜扬油 6 号(Yangyou 6)及其与白芥属间体细胞杂种的回交并自交的后代株系,29 个后代株系均为与扬油 6 号回交 3 代后,(自 2009 年开始)选择优良株系自交 8 代所得。

1.2 抗裂角鉴定

在油菜的黄熟期,每个株系随机选取 5 个单株,每株剪取主枝和 2 个一次分枝,收获后室内悬挂自然干燥 30d,每个单株随机取下发育正常的成熟角果 100 个以上,在 80℃ 烘烤 30min 使角果充分干燥后,用保鲜袋密封室温保存备用。抗裂角性鉴定采用随机碰撞法^[15],把 20 个角果放入内径 16cm,高 14cm 的圆柱型塑料容器内,置 10 个直径为 14mm

的钢珠于容器,将容器置于摇床上,摇床速度设置为 300r/min,振幅 20mm,每隔 1min 记录破裂的角果数,共记录 10 次,每次记录完后把破裂的角果从容器中拿出来。用以下公式计算裂角指数与抗裂指数(SRI),每个材料重复 3 次。

$$\text{裂角指数} = \sum_{i=1}^n x_i(a-i+1)/(\text{角果数} \times \text{总次数})$$

$$\text{抗裂指数} = 1 - \text{裂角指数}$$

其中: x_i 为第 i 次破裂的角果数, $a=10, 1 \leq i \leq 10$ 。

1.3 角果相关性状测定

每个材料分别考察 8 个性状,即角果长度(cm)、角果宽度(cm)、果柄长度(cm)、果喙长度(cm)、果皮厚度(mm)、果皮重量(mg)、每角粒数、千粒重(g)。测量时每个材料取 10 个角果,求其平均值。其中,果皮厚度用游标卡尺测量 10 个果皮厚度,求其平均值。实验重复 3 次。

1.4 数据分析

所获得的数据采用 SPSS 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 抗裂角性状分析

在 30 个测试材料中,抗裂角性状呈现较大的变异(表 1),SRI 的变化范围在 0.14 至 0.99 之间,平均 SRI 为 0.50。从 SRI 分布情况看(图 1),分布在 0.1~0.2、0.2~0.3、0.3~0.4、0.4~0.5、0.5~0.6、0.6~0.7、0.8~0.9 和 0.9~1 的数量分别为 6、2、4、2、5、6、4 和 1 份,无材料在区间 0~0.1 和 0.7~0.8 分布。易裂角资源(0.1~0.3)有 8 个,占 26.7%;中间类型资源(0.3~0.6)有 11 个,占 36.7%;比较抗裂角资源(>0.6)有 11 个,占 36.7%。结果表明,扬油 6 号的 SRI 为 0.59,其与白芥体细胞杂交后代的抗裂角性状发生了广泛的变异,17 个品系 SRI 低于扬油 6 号,12 个品系 SRI 高于扬油 6 号,可见产生了许多抗裂角性状优于扬油 6 号的优良种质资源。

2.2 角果性状及其与 SRI 的相关性分析

为了研究抗裂角性与角果性状间的相关性,本研究测定了角果的 8 种性状,包括角果长度、角果宽度、果柄长度、果喙长度、果皮厚度、果皮重量、每角粒数和千粒重,发现它们存在广泛的变异(表 2)。其中角果长度、果柄长度、果喙长度、果皮厚度、果皮重量和每角粒数的最大值和最小值差异都在 2 倍以上。

表 1 29 个杂交后代品系的抗裂指数 (SRI)
Table 1 Shatter resistance index (SRI) of 29 hybrid lines

编号 Line	SRI	编号 Line	SRI	编号 Line	SRI
Yangyou 6	0.59 ± 0.03	W10	0.40 ± 0.05	W20	0.65 ± 0.04
W1	0.37 ± 0.02	W11	0.62 ± 0.05	W21	0.52 ± 0.03
W2	0.87 ± 0.02	W12	0.66 ± 0.02	W22	0.20 ± 0.06
W3	0.62 ± 0.02	W13	0.42 ± 0.02	W23	0.35 ± 0.04
W4	0.99 ± 0.01	W14	0.17 ± 0.02	W24	0.89 ± 0.03
W5	0.29 ± 0.05	W15	0.14 ± 0.02	W25	0.60 ± 0.04
W6	0.16 ± 0.03	W16	0.35 ± 0.01	W26	0.18 ± 0.03
W7	0.66 ± 0.05	W17	0.53 ± 0.05	W27	0.44 ± 0.02
W8	0.84 ± 0.04	W18	0.85 ± 0.05	W28	0.15 ± 0.03
W9	0.25 ± 0.05	W19	0.51 ± 0.03	W29	0.61 ± 0.02

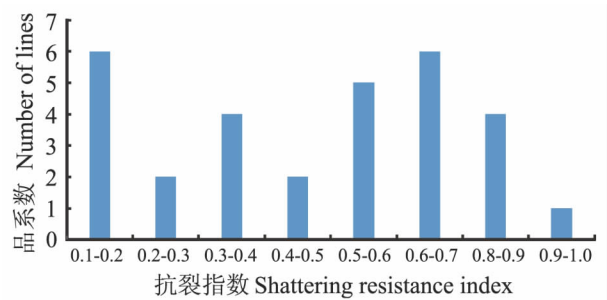


图 1 29 个杂交后代品系的抗裂指数分布
Fig.1 Distribution of shatter resistance index of 29 hyrid lines

相关性分析表明,SRI 与果皮重量存在极显著的正相关($p < 0.01$),与角果长度和果皮厚度存在显著的正相关($p < 0.05$),与其它性状无显著相关性(表 3)。结果说明,角果越长、果皮越重、越厚,抗裂角能力越强。SRI 与果皮重量相关系数最大(0.620),其次是果皮厚度(0.399),再次是角果长度(0.361),可以据此在生产育种中进行筛选。除此之外,角果长度与果柄长度和果喙长度显示显著

正相关,果皮重量与角果宽度、果皮厚度和千粒重显示极显著的正相关,性状间相关性可以作为育种实践中对某一个或几个性状进行间接选择的参考。

表 2 8 个角果性状变异范围和平均值的比较分析
Table 2 Comparisons of variance ranges and means of 8 silique traits

角果性状 Silique trait	变异范围 Variance range	平均值 Mean
角果长度 Silique length/cm	4.97 ~ 11.05	7.43
角果宽度 Silique width/cm	0.43 ~ 0.70	0.51
果柄长度 Stalk length/cm	1.43 ~ 3.34	2.62
果喙长度 Peak length/cm	0.60 ~ 2.27	1.46
果皮厚度 Silique wall thickness/mm	0.15 ~ 0.49	0.27
果皮重量 Silique wall weight/mg	67.92 ~ 186.29	114.83
每角粒数 Seeds per silique	15.03 ~ 31.53	26.01
千粒重 1 000 - seed weight/g	3.38 ~ 6.53	4.95

表 3 SRI 与角果性状间相关系数
Table 3 Correlation coefficient between silique SRI and other silique traits

性状 Trait	SRI	角果长度 Silique length	角果宽度 Silique width	果柄长度 Stalk length	果喙长度 Peak length	果皮厚度 Silique wall thickness	果皮重量 Silique wall weight	每角粒数 Seed number per silique	千粒重 1 000 - seed weight
SRI	1								
角果长度 Silique length	0.361 *	1							
角果宽度 Silique width	0.300	-0.282	1						
果柄长度 Stalk length	-0.005	0.449 *	-0.138	1					
果喙长度 Peak length	0.104	0.433 *	-0.076	0.395 *	1				
果皮厚度 Silique wall thickness	0.399 *	-0.146	0.890 **	-0.100	-0.040	1			
果皮重量 Silique wall weight	0.620 **	0.427 *	0.559 **	0.115	0.149	0.738 **	1		
每角粒数 Seed number per silique	0.217	0.248	-0.056	0.489 **	-0.046	-0.071	0.149	1	
千粒重 1 000 - seed weight	0.211	0.239	0.502 **	0.341	0.488 **	0.518 **	0.644 **	-0.024	1

3 讨论

油菜抗裂角性状随着油菜机械化生产的发展受到越来越多的重视。一般来说油菜抗裂角性受到不同因素影响,一是来自油菜不同类型间的差异,三个栽培种中,芥菜型油菜抗裂角性最好,白菜型油菜次之,甘蓝型油菜最差;二是受到外力的作用,比如收获时人体和机械的碰撞等^[16]。甘蓝型油菜抗裂角性差,可通过种间、属间杂交有效改良^[3,16,17]。白芥与油菜的亲缘关系较近,是十字花科育种的优良种质资源,因此我们希望通过白芥和甘蓝型油菜的属间杂交,将白芥的抗裂角性状转入到甘蓝型油菜中。抗裂角指数结果显示,杂种后代中有 12 个品系的抗裂角性优于扬油 6 号,说明通过与白芥杂交可以改良甘蓝型油菜的抗裂角性。

油菜抗裂角性的影响因素较多,比如角果含水量和角果的成熟度等^[18]。抗裂角性的鉴定方法也很多,随机碰撞法是一种简易的鉴定抗裂角性的方法,通过模拟角果在田间的自然和人为因素的碰撞来鉴定抗裂角性,但是其结果是否代表田间机械收割时的抗裂角性还需要进一步证实^[15,19,20]。

分析抗裂角性与角果其它性状间的相关性对于多个性状同步筛选、改良具有重要意义。Morgan 等、文雁成等、董军刚等都对油菜抗裂角性与角果相关性状关系进行研究^[7,21,22]。本研究得出的结果是 SRI 与角果长度显著正相关,与文雁成等的结果一致;抗裂角指数与果皮厚度显著正相关,与董军刚等的结果一致;抗裂角指数与果皮重量极显著正相关,与 Morgan 等和文雁成等研究结果一致。本实验结果显示 SRI 只与以上三个角果性状相关,与其他性状的相关性均不显著,这与之前的研究结果不同。这些差异可能是与本研究所用的材料遗传背景的特殊性有关。本研究中三个与抗裂角性显著相关的角果性状中,果皮重量与角果长度、果皮厚度和角果宽度呈现显著正相关,说明在育种实践中可以通过直观筛选角果长度、宽度、果皮厚度来定向选择提高角果的抗裂角性,同时千粒重与果皮重量、果皮厚度、角果宽度表现为极显著的相关性,因此在选择提高角果抗裂角性的同时还有利于产量的提高。

参考文献:

[1] Kadkol G P, Macmillan R H, Burrow R P, et al. Evaluation of *Brassica* genotypes for resistance to shatter. I. Development of a laboratory test [J]. Euphyt, 1984, 33 (1): 63 - 73.

[2] Norton G, Harris J F. Compositional changes in developing rape seed (*Brassica napus* L.) [J]. Planta, 1975, 123(2): 163 - 174.

[3] Prakash S, Chopra V. Reconstruction of allopolyploid Brassicas through non - homologous recombination: introgression of resistance to pod shatter in *Brassica napus* [J]. Genet Res, 1990, 56(1): 1 - 2.

[4] Child R, Summers J, Babij J, et al. Increased resistance to pod shatter is associated with changes in the vascular structure in pods of a resynthesized *Brassica napus* line [J]. J Exp Bot, 2003, 54(389): 1 919 - 1 930.

[5] Raman H, Raman R, Kilian A, et al. Genome - wide delineation of natural variation for pod shatter resistance in *Brassica napus* [J]. PLoS One, 2014, 9(7): e101673.

[6] 文雁成, 王汉中, 沈金雄, 等. 用 SRAP 标记分析中国甘蓝型油菜品种的遗传多样性和遗传基础 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 246 - 256.

[7] 文雁成, 傅廷栋, 涂金星, 等. 甘蓝型油菜抗裂角品种(系)的筛选与分析 [J]. 作物学报, 2008, 34(1): 163 - 166.

[8] Wen Y C, Zhang S F, Yi B, et al. Identification of QTLs involved in pod - shatter resistance in *Brassica napus* L. [J]. Crop Past Sci, 2013, 63(12): 1 082 - 1 089.

[9] 王新发. 我国抗裂角机收油菜新品种培育获突破 [J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(2): 106.

[10] 崔嘉成, 梅德圣, 李云昌, 等. 甘蓝型油菜角果相关性状对抗裂角性遗传贡献率分析 [J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(5): 461 - 468.

[11] Wang R, Ripley V, Rakow G. Pod shatter resistance evaluation in cultivars and breeding lines of *Brassica napus*, *B. juncea* and *Sinapis alba* [J]. Plant Breed, 2007, 126(6): 588 - 595.

[12] Maataoui A, Talouizte A, Benbella M, et al. Effect of plant density on competitiveness of *Brassica napus*, *Sinapis alba* and *S. arvensis* under water stress conditions [J]. Commun Agri Appl Biol Sci, 2004, 70(1): 61 - 66.

[13] Hansen L N, Earle E D. Somatic hybrids between *Brassica oleracea* L. and *Sinapis alba* L. with resistance to *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc [J]. Theor Appl Genet, 1997, 94(8): 1 078 - 1 085.

[14] Li A M, Wei C X, Jiang J J, et al. Phenotypic variation in progenies from somatic hybrids between *Brassica napus* and *Sinapis alba* [J]. Euphyt, 2009, 170(3): 289 - 296.

[15] 彭鹏飞, 李云昌, 梅德圣, 等. 油菜抗裂角性鉴定方法的改进及试验 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 19 - 25.

[16] Hossain S, Kadkol G, Raman R, et al. Breeding *Bras-*

sica napus for shatter resistance[M]. Kadkol G P, Hal-loran G M, Macmillan R H. Plant Breeding, 2012.

[17] Agnihotri A, Shivanna K R, Raina S N, et al. Produc-tion of *Brassica napus* × *Raphano brassica* hybrids by em-bryo rescue: an attempt to introduce shattering resistance into *B. napus* [J]. Plant Breed, 1990, 105 (4) : 292 – 299.

[18] 文雁成,傅廷栋,涂金星,等. 影响甘蓝型油菜角果抗裂特性的因素分析[J]. 中国油料作物学报,2010,32 (1):25 – 29.

[19] Tys J. Evaluation of the mechanical properties of winter rape siliques in respect to their susceptibility to cracking [J]. Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych 1985,304(1):185 – 194.

[20] Szot B, Tys J, Szpryngiel M, et al. Determination of the reasons for rapeseed losses at combine harvesting and some methods of their limitation[J]. Zeszyty Problem-owe Postępów Nauk Rolniczych,1991,389:221 – 232.

[21] Morgan C L, Bruce D M, Child R, et al. Genetic varia-tion for pod shatter resistance among lines of oilseed rape developed from synthetic *B. napus*[J]. Field Crops Res, 1998,58(2):153 – 165.

[22] 董军刚,董振生,孟 倩,等. 甘蓝型油菜抗裂角材料资源的筛选[J]. 作物学报,2014,40(12):2 203 – 2 209.

(责任编辑:郭学兰)