

羽衣甘蓝种子主要品质性状的表现及其相关性

唐章林, 李加纳

(西南大学农学与生物科技学院/南方山地农业教育部工程研究中心, 重庆 400716)

摘要: 随机挑选 148 份羽衣甘蓝种质资源和高世代材料, 分析了成熟种子的含油量、蛋白质、硫苷和 7 种主要脂肪酸成分的表现特征及其相关性。结果表明: 羽衣甘蓝成熟种子平均含油量为 29.48%, 平均蛋白质含量为 45.13%, 含油量和蛋白质总量为 74.61%。硫苷含量的变幅最大, 变异系数为 31.72%。7 种主要脂肪酸成分中, 油酸和芥酸的含量较高, 其次为亚油酸, 棕榈酸和硬脂酸的含量较低。除硫苷含量和硬脂酸含量外, 其余 9 个性状的表现均呈单峰正态分布。相关性分析表明, 大多数性状间都具有显著或极显著的相关性, 这与对甘蓝型、白菜型和芥菜型 3 种类型油菜的研究结果相一致。在羽衣甘蓝中存在一些优异的种质资源, 通过筛选可以在油菜优质育种中加以利用。

关键词: 羽衣甘蓝; 种子; 品质性状; 相关性

Performance and Correlation of Main Quality Traits in Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) Seed

TANG Zhang-lin, LI Jia-na

(Engineering Research Center of South Upland Agriculture, Ministry of Education/
College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716)

Abstract: 148 lines of kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) from germplasm resource and advanced generation were selected randomly to analyze the characteristics and correlation of oil, protein, glucosinolates and seven fatty acid compositions in mature seed. The results showed that the average contents of oil and protein were 29.48% and 45.13% respectively, with a total content of oil plus protein was 74.61%. Maximum variation was observed on glucosinolates with a coefficient of variation reached 31.72%. Among seven fatty acid compositions, the contents of oleic and erucic acids were the highest, followed by linoleic, palmitic and stearic acids were the lowest in mature seed. Except glucosinolates and stearic acid, the rest 9 traits presented a single-peak normal distribution. Correlation analysis indicated that significant or very significant correlations were existent among the quality traits and this was similar to that of three types of rapeseed (*B. napus* L., *B. campestris* L. and *B. juncea* Coss.). There were some excellent germplasm resources in kale which could be utilized directly in breeding of high quality rapeseed.

Key words: *Brassica oleracea* var. *acephala*; Seed; Quality traits; Correlation

十字花科芸薹属二倍体种甘蓝是异源四倍体甘蓝型油菜的祖先之一。羽衣甘蓝 (*Brassica oleracea* var. *acephala*, $2n = CC = 18$) 是甘蓝的一个变种, 一直以来主要用作观赏花卉和食用蔬菜栽培。重庆市油菜工程技术研究中心通过引种驯化和筛选, 发现羽衣甘蓝 C 染色体组中存在控制种子色泽 (黄子) 的基因, 并且其硫代葡萄糖苷 (简称硫苷) 含量较低, 是选育甘蓝型黄子油菜的宝贵资源材料。近年来, 随着甘蓝型黄子油菜研究的不断深入, 在油菜育

种中应用羽衣甘蓝的研究报道越来越多, 但主要集中在与油菜及其近缘种的可交配性和杂交后代的胚胎挽救以及人工合成甘蓝型油菜等方面^[1-10], 对羽衣甘蓝种子主要性状的表现分析还未见报道。2009 年, 田锦兰等^[11-12]利用近红外反射光谱扫描和经典化学方法, 建立了利用 NIRS 技术定量分析羽衣甘蓝种子油分和蛋白质含量的数学模型, 为拓展羽衣甘蓝的应用范围、促进油菜品质育种奠定了基础。本文在此基础上, 分析了羽衣甘蓝种子主要品质性

收稿日期: 2012-02-18 修回日期: 2012-04-16

基金项目: 重庆市“十二五”主要农作物良种创新工程项目 (cstc2012ggB80008); 国家“863”课题资助项目 (2008AA10Z147, 2011AA10A104)

作者简介: 唐章林, 研究员, 研究方向: 油菜遗传育种。E-mail: tangzhl@swu.edu.cn

通信作者: 李加纳, 教授, 研究方向: 油菜遗传育种。E-mail: ljn1950@swu.edu.cn

状的表现及相关性,以期为利用羽衣甘蓝改良油菜产量和品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

随机挑选的 148 份羽衣甘蓝种质资源和高世代材料,均来源于重庆市油菜工程技术研究中心。2010 年 7 月和 2011 年 7 月连续两年测定当年收获的套袋或剥蕾授粉自交的成熟种子的含油量、蛋白质、硫苷和 7 种主要脂肪酸成分的含量。

1.2 试验方法

1.2.1 种子含油量的测定 利用 YG-2 型索氏抽提器,参照国家标准 GB/T 14488.1—2008《植物油料含油量测定》测定自然风干种子的含油量,重复 3 次。

1.2.2 饼粕蛋白质含量的测定 利用 Foss Tecator 2300 全自动凯氏定氮仪,参照国家标准 GB/T 14489.2—2008《粮油检验 植物油料粗蛋白质的测定》测定脱脂后的饼粕蛋白质的含量,重复 3 次。

1.2.3 饼粕硫苷含量的测定 利用日立 L-7000 自动高效液相色谱(HPLC)系统,参照农业行业标准 NY/T 1582-2007《油菜籽中硫代葡萄糖苷的测定——高效液相色谱法》测定脱脂后的饼粕硫苷的总量,重复 3 次。

表 1 羽衣甘蓝种子主要品质性状的方差分析

Table 1 Variance analysis of main quality traits of *B. oleracea* var. *acephala* seed

变异来源 Source	DF	F									
		含油量 Oil	蛋白质 Protein	含油量 + 蛋白质 Oil + Protein	硫苷 Glucosi- nolates	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid	廿碳烯酸 Eicosenoic acid
材料间 Material	147	822.70**	168.85**	384.11**	3599.29**	629.45**	63.19**	670.53**	939.36**	473.33**	628.07**
年份间 Year	1	3.78	1.45	0.47	3.85	1.20	0.11	0.69	1.55	0.53	0.71
材料×年份 Material×Year	147	0.30	0.35	0.27	0.32	0.26	0.28	0.23	0.27	0.21	0.23
误差 Error	592										

** 表示数据在 1% 水平上显著 ** denoted data were significant at 1% level

表 2 羽衣甘蓝种子主要品质性状的表现及其变异

Table 2 Main quality traits and their variances of *B. oleracea* var. *acephala* seed

性状 Trait	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	极差 Range	标准差 S	变异系数 (%) CV
含油量 (%) Oil	20.52	40.05	29.48	19.53	3.9261	13.32
蛋白质 (%) Protein	35.98	52.19	45.13	16.21	2.8716	6.36
含油量 + 蛋白质 (%) Oil + Protein	63.81	89.04	74.61	25.23	5.0370	6.75
硫苷 (μmol/g 饼) Glucosinolates	21.62	151.45	73.64	129.83	23.3613	31.72
棕榈酸 (%) Palmitic acid	2.41	5.18	3.96	2.77	0.4654	11.76
硬脂酸 (%) Stearic acid	0.24	1.10	0.54	0.86	0.1442	26.80
油酸 (%) Oleic acid	16.50	43.50	32.28	27.00	5.5843	17.30
亚油酸 (%) Linoleic acid	10.06	23.39	15.95	13.33	2.4682	15.48
亚麻酸 (%) Linolenic acid	6.51	11.57	8.79	5.06	0.8815	10.03
廿碳烯酸 (%) Eicosenoic acid	4.44	13.97	8.92	9.53	1.8247	20.45
芥酸 (%) Erucic acid	15.35	41.75	27.53	26.40	5.2415	19.04

表 3 羽衣甘蓝中部分优异种质资源种子主要品质性状的表现

Table 3 Main quality traits of seed of some excellent germplasm resources in *B. oleracea* var. *acephala*

编号 Code	名称或系谱 Name or pedigree	含油量 (%) Oil	蛋白质 (%) Protein	含油量 + 蛋白质 (%) Oil + Protein	硫苷 ($\mu\text{mol/g}$ 饼) Glucosinolates	棕榈酸 (%) Palmitic acid	硬脂酸 (%) Stearic acid	油酸 (%) Oleic acid	亚油酸 (%) Linoleic acid	亚麻酸 (%) Linolenic acid	甘碳烯酸 (%) Eicosenoic acid	芥酸 (%) Erucic acid
AY0077	花园红 × 花园黄 F ₅ 选系	40.05	48.99	89.04	119.96	2.41	0.39	25.55	10.06	8.58	13.97	39.81
AY0244	(引 14006 × 名古屋) × 大阪白 F ₅ 选系	28.31	52.19	80.49	88.93	3.63	0.37	30.55	12.62	8.63	8.77	32.28
AY0226	(引 14051 × 引 069) × 白波 F ₃ 选系	30.19	51.54	81.72	93.10	4.21	0.68	24.48	17.90	11.57	10.74	25.71
AY0259	(引 14006 × 名古屋) × 名古屋 F ₅ 选系	32.72	51.46	84.18	96.05	3.44	0.41	30.70	13.96	9.92	9.90	28.21
AY0476	科伦内 × 阿培达 F ₆ 选系	32.50	51.31	83.81	52.99	4.29	0.36	22.33	16.45	10.09	10.73	32.43
AY0350	名古屋 × 引 10426 F ₆ 选系	33.98	50.94	84.92	91.73	3.54	0.64	21.20	14.96	10.89	11.64	30.71
AY0509	(引 238 × 红鸠) × 大阪白 F ₅ 选系	24.11	50.06	74.17	78.51	4.47	0.56	28.38	17.08	9.94	8.88	27.02
AY0271	引 14014 × 穆斯博 F ₅ 选系	35.37	46.93	82.29	21.62	3.77	0.74	28.99	15.79	9.88	9.75	23.84
AY1006	沃特斯 × 科伦内 F ₅ 选系	38.01	46.64	84.65	74.92	3.51	0.38	23.11	15.26	10.15	12.31	30.86
AY0144	花园黄 × 花园红 F ₅ 选系	36.53	47.51	84.03	100.04	3.57	0.29	23.25	12.84	9.47	12.27	35.57
AY0802	引 135 × (引 14006 × 名古屋) F ₇ 选系	33.39	49.46	82.85	52.05	3.91	0.60	31.45	16.24	8.03	10.61	28.55
AY0747	引 373 × (沃特斯 × 科伦内) F ₅ 选系	35.16	47.24	82.40	77.57	3.22	0.37	18.67	13.20	10.29	13.17	37.54
AY0011	花园红 × 花园黄 F ₅ 选系	35.63	46.09	81.72	79.44	3.45	0.47	27.12	12.84	9.47	10.60	31.16
AY0741	88033 选系	34.98	46.70	81.68	70.39	3.69	0.44	28.76	14.26	8.87	10.24	31.92
AY0212	88169 × 大阪白 F ₅ 选系	34.33	47.01	81.34	59.71	3.44	0.61	34.69	12.72	9.19	11.13	23.18
AY0836	引 072 × (引 10426 × 阿培达) F ₆ 选系	33.01	48.29	81.30	74.76	3.47	0.49	32.85	12.91	9.20	8.80	29.79
AY0317	(名古屋 × 引 10426) × 名古屋 F ₅ 选系	33.87	47.40	81.27	72.00	3.57	0.45	30.61	13.77	8.34	9.77	29.26
AY0302	(名古屋 × 冬春 2 号) × 名古屋 F ₅ 选系	31.13	49.57									

2.2 羽衣甘蓝种子主要品质性状表现的正态性检验

为了了解 148 份羽衣甘蓝成熟种子 11 个主要品质性状的表现是否符合正态分布,对其进行了单峰分布的正态性检验,结果见表 4。除硫苷含量和硬脂酸

含量外,其余 9 个性状的表现均呈单峰正态分布,性状表现多集中在平均数左右,次数分布曲线属于正态峰度。硫苷含量和硬脂酸含量的次数分布曲线均呈单峰分布,都向右偏斜,且硬脂酸含量的偏斜程度更严重,性状表现在平均数左右的集中性更强。

表 4 羽衣甘蓝种子主要品质性状表现的正态性检验

Table 4 Normality test of seed main quality traits in *B. oleracea* var. *acephala*

性状 Trait	偏度 Skewness			峰度 Kurtosis		
	系数 Coefficient	u	p	系数 Coefficient	u	p
含油量 Oil	0.0138	0.0694	0.9447	-0.3709	-0.9363	0.3491
蛋白质 Protein	-0.2352	-1.1801	0.2380	0.2331	0.5885	0.5562
含油量 + 蛋白质 Oil + Protein	0.0767	0.3847	0.7004	-0.4589	-1.1584	0.2467
硫苷 Glucosinolates	0.4036	2.0246	0.0429	0.5763	1.4548	0.1457
棕榈酸 Palmitic acid	0.0123	0.0619	0.9507	0.4338	1.0951	0.2735
硬脂酸 Stearic acid	0.8516	4.2719	0.0001	1.7255	4.3558	0.0001
油酸 Oleic acid	-0.3266	-1.6384	0.1013	-0.2384	-0.6017	0.5474
亚油酸 Linoleic acid	0.2683	1.3460	0.1783	0.2925	0.7384	0.4603
亚麻酸 Linolenic acid	0.1243	0.6237	0.5328	0.1196	0.3019	0.7628
廿碳烯酸 Eicosenoic acid	0.0159	0.0797	0.9365	0.1297	0.3273	0.7434
芥酸 Erucic acid	0.1924	0.9650	0.3346	-0.2822	-0.7125	0.4762

2.3 羽衣甘蓝种子主要品质性状的相关性分析

羽衣甘蓝成熟种子 11 个主要品质性状的相关性分析结果表明,大多数性状间都具有显著或极显著的相关性(表 5)。含油量与含油量和蛋白质总量、廿碳烯酸、芥酸之间呈极显著的正相关,与蛋白

质含量、棕榈酸和亚油酸之间具有极显著的负相关关系。蛋白质含量除与含油量和蛋白质总量之间呈明显的正相关外,与其他性状的相关性不强。硫苷含量与其他所有性状的相关系数虽都显著,但绝对值均较小,相关性也不强。

表 5 羽衣甘蓝种子主要品质性状间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of seed main quality traits in *B. oleracea* var. *acephala*

性状 Trait	含油量 Oil	蛋白质 Protein	含油量 + 蛋白质 Oil + Protein	硫苷 Glucosinolates	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid	廿碳烯酸 Eicosenoic acid
蛋白质	-0.63**									
含油量 + 蛋白质	0.76**	0.73**								
硫苷	0.30**	-0.24**	0.17*							
棕榈酸	-0.83**	0.59**	-0.57**	-0.39**						
硬脂酸	-0.43**	0.13	-0.44**	-0.43**	0.51**					
油酸	-0.66**	0.37**	-0.54**	-0.34**	0.56**	0.38**				
亚油酸	-0.72**	0.46**	-0.54**	-0.30**	0.91**	0.49**	0.38**			
亚麻酸	0.09	0.30**	0.37**	0.17*	0.06	-0.20*	-0.43**	0.18*		
廿碳烯酸	0.73**	-0.39**	0.62**	0.19*	-0.71**	-0.45**	-0.80**	-0.61**	0.28**	
芥酸	0.72**	-0.56**	0.45**	0.45**	-0.78**	-0.47**	-0.81**	-0.65**	-0.03	0.70**

* 和** 分别表示数据在 5% 和 1% 水平上显著
* and ** denoted data were significant at 5% and 1% level, repectively

7 种主要脂肪酸成分中,棕榈酸与亚油酸呈极显著正相关,而与甘碳烯酸和芥酸呈极显著负相关;油酸也与甘碳烯酸和芥酸呈极显著负相关,甘碳烯酸与芥酸之间是极显著的正相关。其余脂肪酸成分间的相关性不明显。

3 讨论

羽衣甘蓝一直以来主要用作观赏花卉和食用蔬菜栽培,研究者对其种子品质性状并未给予更多的关注。近年来,羽衣甘蓝在油菜优质育种特别是甘蓝型黄子油菜育种中的应用越来越多,这就迫切需要了解其种子品质性状的表现及分布状况,以充分利用羽衣甘蓝的优良特性。本研究分析结果表明,在羽衣甘蓝中存在一些优异的种质资源,其性状(如含油量、蛋白质含量、硫苷含量等)表现已达到当前油菜优质育种的水平,通过筛选可以在育种中加以利用。此外,羽衣甘蓝还具有基部多分枝习性,耐寒、耐热、耐盐碱,对根腐病具有较强的抗性^[13],对于拓宽甘蓝型油菜的遗传基础,提高育种水平具有重要的作用。

关于脂肪酸成分间的相关性分析,对二倍体种白菜型油菜、异源四倍体种甘蓝型油菜和芥菜型油菜的研究较多,普遍认为油酸含量与芥酸含量呈负相关。刘定富^[14]将甘蓝型油菜的 6 种主要脂肪酸分为两组,一组是棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,另一组是甘碳烯酸和芥酸,相关性分析表明各组内成员间呈正相关,两组成员间呈负相关^[15-16]。陈贺彩等^[16]对白菜型油菜的研究也得到相似的结论。本试验对二倍体种羽衣甘蓝的分析也与此结果相似,说明羽衣甘蓝种子中脂肪酸合成的机理与白菜型油菜和甘蓝型油菜是相同的。

对羽衣甘蓝种子含油量与蛋白质、脂肪酸的相关分析表明,含油量与蛋白质含量、棕榈酸、亚油酸呈极显著的负相关,与甘碳烯酸、芥酸之间呈极显著的正相关,这与对甘蓝型、白菜型和芥菜型 3 种类型油菜的研究结果相一致^[15, 17-19]。

试验结果表明,羽衣甘蓝种子含油量、蛋白质含量等 9 个品质性状的表现均呈单峰正态分布,硫苷含量基本接近单峰正态分布,符合数量性状的表现

特征。但硬脂酸含量与单峰正态分布的差异较大,不符合数量性状的表现特征,其原因可能是羽衣甘蓝的硬脂酸含量较低,而试验的样本群体相对较小。

参考文献

[1] 陈树忠,殷家明,唐章林,等. 甘蓝型油菜与羽衣甘蓝远缘杂交初步研究[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(3): 208-210

[2] 周清元,李加纳,殷家明,等. 白菜型油菜和羽衣甘蓝种间杂交的初步研究 I. 取材时间对子房离体培养结籽率的影响[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2003, 25(6): 495-497,509

[3] 殷家明,陈树忠,唐章林,等. 黄籽羽衣甘蓝和白菜型油菜杂交再合成甘蓝型油菜研究[J]. 西南农业学报, 2004, 17(2): 149-151

[4] 周清元,李加纳,崔翠,等. 芥菜型油菜×羽衣甘蓝种间杂种的获得及其性状表现[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1058-1063

[5] 周清元,殷家明,崔翠,等. 白菜型油菜×羽衣甘蓝种间杂种的性状表现[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2006, 28(1): 1-3,7

[6] 黄团,孙洁,徐峰,等. (芥蓝×羽衣甘蓝)×白菜型油菜人工合成甘蓝型油菜研究初报[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 134-138

[7] 文静. 芸薹属种间杂交合成甘蓝型黄籽油菜及杂交后代的研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2008

[8] 周清元,李加纳,殷家明,等. 羽衣甘蓝×芥菜型油菜种间杂种再生和染色体加倍[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2009, 31(4): 105-110

[9] 牛永超. 芥菜型油菜与羽衣甘蓝杂种后代的遗传分析及芥菜型油菜小孢子培养[D]. 重庆:西南大学, 2010

[10] 祝朋芳,王兴,张健,等. 芸薹属种与变种间杂交后代回交亲和性的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(10): 149-152

[11] 田锦兰,唐章林,徐新福,等. NIRS 定量分析羽衣甘蓝油含量、蛋白质含量数学模型的建立[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 461-464

[12] 田锦兰. NIRS 定量分析羽衣甘蓝含油量、蛋白质含量和脂肪酸成分数学模型的建立[D]. 重庆:西南大学, 2009

[13] Laurens F, Thomas G. Inheritance of resistance to clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) in kale (*Brassica oleracea* ssp. *acephala*) [J]. Hereditas, 1993, 119: 253-262

[14] 刘定富. 甘蓝型油菜数量性状的遗传变异及产量和含油量选择指数的研究[D]. 武汉:华中农学院, 1984

[15] 刘后利. 油菜遗传育种学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2000

[16] 陈贺彩,赵成松. 白菜型油菜品种蛋白质、脂肪及其组份的相关分析[J]. 安徽农业科学, 1991(4): 330-335

[17] 周永明. 甘蓝型油菜种籽中几种主要脂肪酸含量的遗传以及与其他性状的相关[D]. 武汉:华中农学院, 1984

[18] 李晓方. 油菜主要品质性状之间的相互关系(述评)[J]. 中国油料, 1986, (4): 1-5

[19] 王丰,邱厥. 甘蓝型油菜蛋白质含量的遗传及与其他几个性状相关的研究[J]. 中国农业科学, 1990, 23(6): 42-47