

北方旱寒区冬油菜抗寒性相关指标的 QTL 定位

武军艳, 孔德晶, 方彦, 孙万仓, 刘海卿, 刘自刚, 李学才

(甘肃农业大学农学院, 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃兰州 730070)

摘要: 以抗寒性不同的白菜型冬油菜品种陇油 7 号与陇油 9 号为亲本构建的 F₂ 群体为材料, 对白菜型冬油菜抗寒性相关的生理指标进行了 QTL 定位分析。在白菜型油菜的 10 条染色体上定位了 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量、游离脯氨酸含量和可溶性蛋白含量共 6 个性状的 24 个 QTL 位点, 可解释表型变异为 11.1783% ~ 81.1753%; 10 个显性效应表现为显性正效应, LOD 值在 3.2787 ~ 163.7958 之间。染色体 2A 的 BrID90127 - BrID10421 区、BrID10421 - BrID10709 区及 BrID10709 - BrID101165 区, 5A 的 BRMS034(R5) - Ra3 - H10 区、6A 的 Ra1 - F06 - Ra2 - D04 区、8A 的 BrID10839 - Ra2 - E12 区和 10A 的 BrID90115 - Ra2 - E07 区是多个性状 QTL 共享的标记区。研究结果对冬油菜抗寒性基因精确定位具有一定价值。

关键词: 白菜型冬油菜; 抗寒性; QTL; 北方旱寒区

中图分类号: S565.4 **文献标志码:** A

QTL analysis of cold tolerance for physiological traits of winter rapeseed in northern arid-cold area

WU Jun-yan, KONG De-jing, FANG Yan, SUN Wan-cang, LIU Hai-qing, LIU Zi-gang, LI Xue-cai

(College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Gansu Key Lab of Crop Improvement and

Germplasm Enhancement, Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The superior cold resistance *B. rapa* variety “Longyou 7” and general cold variety “Longyou 9” were used as parents and a F₂ mapping population was constructed. The results showed that 39 primers were selected for further analysis of F₂ population. Based on molecular marker genetic map and QTL software, a total of 24 QTLs were detected for SOD activity, POD activity, CAT activity, MDA content, free proline content and soluble protein content from 10 chromosomes. Those QTLs were able to explain 11.1783% ~ 81.1753% of phenotypic variation. The dominant effects of 10 QTLs were positive effects, LOD values were between 3.2787 ~ 163.7958. The data showed that the regions BrID90127 - BrID10421, BrID10421 - BrID10709 and BrID10709 - BrID101165 on 2A, BRMS034(R5) - Ra3 - H10 on 5A, Ra1 - F06 - Ra2 - D04 on 6A, BrID10839 - Ra2 - E12 on 8A, BrID90115 - Ra2 - E07 on 10A were common regions shared by multi-traits. The result of present study is useful for the accurate position of winter rapa.

Keywords: winter rapeseed (*Brassica rapa* L.); cold resistance; QTL; northern arid-cold area

低温是影响北方旱寒区冬油菜安全越冬的主要因素之一^[1-3]。由于白菜型冬油菜抗寒性显著强于甘蓝型冬油菜^[4], 因此, 对白菜型冬油菜抗寒性的研究是北方旱寒区冬油菜遗传育种研究的主要方向。目前对白菜型冬油菜的研究主要集中在品种的适应性、生长发育特性、产量及经济特性^[5-7]、相关抗寒基因克隆及表达分析等方面^[8]。此外也有对构建白菜型油菜连锁图谱和白菜型油菜幼苗绒霉病的基因

定位研究, 如 Wei Li 等^[9]利用分子标记技术对白菜型油菜连锁图谱的构建, 为白菜型油菜基因序列和遗传信息的研究提供依据; Yu S C 等^[10]利用分子标记技术对白菜型油菜幼苗绒霉病进行 QTL 定位的研究。而对白菜型冬油菜抗寒性相关分析及抗寒性遗传的研究鲜见报道。

本研究以超强抗寒性品种陇油 7 号和冬油菜品种陇油 9 号为亲本组配的 F₂ 群体为试验材料, 利用

收稿日期: 2016-01-06

基金项目: 甘肃省青年科技基金计划 (145RJYA253); 农业部产业技术体系建设资金项目 (CARS-13); 甘肃省自然科学基金项目 (145RJZG050)

作者简介: 武军艳 (1981—), 女, 甘肃平川人, 讲师, 在读博士, 主要从事油菜的育种工作。E-mail: wujunyan@gsau.edu.cn。

通信作者: 孙万仓 (1957—), 男, 教授, 博士, 主要从事油菜的育种工作。E-mail: 18293121851@163.com.cn。

SSR 和 InDel 标记来绘制分子标记的遗传图谱,并利用 QTL IciMapping V3.3 软件对白菜型冬油菜抗寒性的相关性状进行 QTL 定位,分析 QTL 的效应,揭示白菜型冬油菜抗寒性相关性状的分子机制,为白菜型冬油菜后期抗寒性基因的精确定位、基因克隆及分子标记辅助选择等研究工作奠定基础。同时,油菜在整个生育期内,会受到冬前与冬后两重低温的影响,研究油菜的抗寒性,不仅对于我国北方旱寒区冬油菜抗寒性具有重要应用价值,同时对提高我国其他冬油菜品种类型的抗寒性具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为白菜型冬油菜,陇油 7 号与陇油 9 号组配杂交组合,构建 F₂ 群体,得到 103 个单株,母本陇油 7 号为超强抗寒性品种,父本陇油 9 号为中抗寒性品种。

1.2 试验方法

1.2.1 基因组 DNA 提取 取油菜 3 叶期幼嫩叶片,用 CTAB 法对基因组 DNA 进行提取^[11]。

1.2.2 F₂ 群体抗寒性鉴定 对 F₂ 群体的抗寒性鉴定主要依据越冬率(冬后存活情况)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、游离脯氨酸和可溶性蛋白等生理生化指标。其具体鉴定方法及结果已于 2014 年报道,详见文献[12]。

1.2.3 分子标记分析 根据 www.UK crop.net 发表

的油菜微卫星引物序列以及 Brassica Database 网站上选出均匀分布于白菜型冬油菜 10 对染色体上的 51 对 SSR 引物和 264 对 InDel 引物,由生工生物工程(上海)有限公司合成。用 315 对引物在亲本材料中进行多态性筛选,筛选结果用 6% 变性或非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳分离,银染显色,读取条带。

1.2.4 遗传图谱绘制和 QTL 作图 用筛选出的在亲本有多态性的引物对 F₂ 群体进行扫描,与亲本陇油 7 号相同带型记为“A”,与亲本陇油 9 号相同带型记为“B”,杂合体记为“H”,缺失的带型记为“-”。分子标记的遗传图谱构建和 QTL 分析,采用 QTL IciMapping V3.3 软件进行。

1.2.5 QTL 命名方法 按照“QTL+性状+单位(机构)+染色体”命名。其中,QTL 以“Q”表示,性状和单位以英文缩写表示,染色体以白菜型冬油菜染色体的名称表示,性状与单位间加“.”,性状和染色体之间加“-”。如 Qsod.gsau-1A 表示位于 1A 染色体上 SOD 活性(SOD activity)的 QTL,gsau 为 Gansu Agricultural University 的缩写。

2 结果与分析

2.1 分子标记在亲本及 F₂ 群体中的多态性筛选

用 264 对引物在亲本陇油 7 号和陇油 9 号中筛选,选出 39 对在亲本间表现出明显多态性的引物(表 1,图 2)。筛选到的引物对 F₂ 群体的单株分别进行 PCR 扩增(图 2),均能扩增出差异性条带。

表 1 39 个标记在染色体上的分布

Table 1 Distribution of 39 markers on the chromosomes

染色体 Chromosome	引物 Primer				
1A	BrID10873	BrID101211	Ol12F11(R1)	KBRH139B23-1	
2A	BrID101147	BrID90127	BrID10421	BrID10709	BrID101165
3A	BrID90283	BrID90131	BrID10157	BrFLC3(R3)	BrID10323
4A	BrID10723	BrID90295			
5A	ENA10(R5)	BrID10719	BrID10123	BRMS034(R5)	Ra3-H10
6A	BrID10371	BrID10629	BrID10397	8C0419-1	Ra1-F06 Ra2-D04
7A	BrID101229	8C0108	Ol12E03		
8A	Ra2E12(R8)	BrID10839	Ra2-E12	Ol13C12a	
9A	BrID10753	BrID10743			
10A	ENA2(R10)	BrID90115	Ra2-E07		

2.2 白菜型冬油菜抗寒性相关性状 QTL 分析

结合抗性鉴定结果和分子标记结果,在白菜型冬油菜 1A、2A、3A、5A、6A、7A、8A 及 10A 等 8 条染色体上共检测到 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、

MDA 含量、游离脯氨酸和可溶性蛋白含量共 6 个性状的 24 个 QTL(表 2)。10 个显性效应表现为显性正效应,LOD 值在 3.2787~163.7958 之间。24 个 QTL 中,Qsod.gsau-6A-2 可解释的表型值为最高,

达到 81.1753%, Qmda. gsau - 8A 的表型效应值最低, 为 11.1783%。2A、6A 的染色体上所检测到的 QTL 相对较多。在 6 个性状中, 所检测到控制 SOD 的 QTL 数量最多, 有 12 个 QTL, 可解释表型变异率

的 12.0537% ~ 81.1753%。其次是 CAT、游离脯氨酸和可溶性蛋白, 它们均检测到 3 个 QTL, 表型效应值的解释率分别为 37.3135% ~ 39.2403%、52.2419% ~ 61.4756%、12.4599% ~ 21.9624% (图 3)。

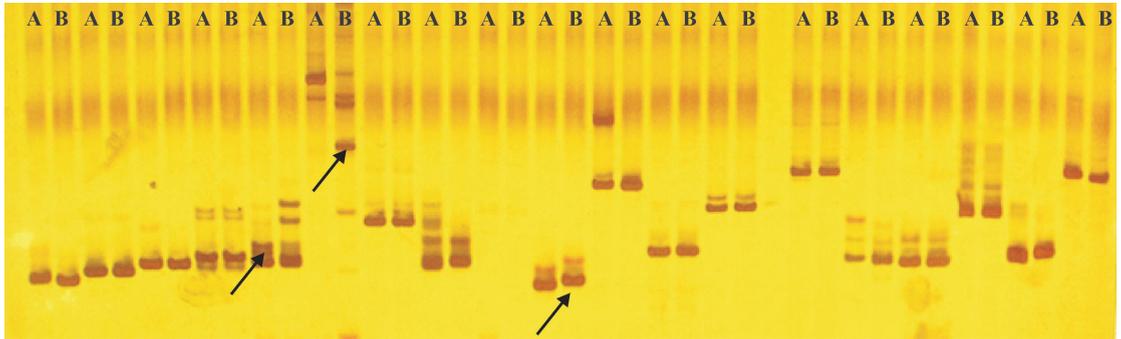


图 1 部分引物在亲本间筛选结果

Fig.1 Screening for primers for cross parents

注:箭头所示为多态性条带,A 为陇油 7 号,B 为陇油 9 号,相邻的两个 A、B 为同一对引物

Note: Arrows point at the different band. A is Longyou No.7, and B is Longyou No.9. Adjacent A and B is the same primer.



图 2 引物 BrID101147 在 F₂ 作图群体中的检测结果

Fig.2 InDel amplification of primer BrID101147

注:M 为 marker,第一个泳道 A 为陇油 7 号,B 为陇油 9 号,第 3 泳道开始为 F₂ 单株。A 为与亲本陇油 7 号带型相同的单株基因型,B 为与陇油 9 号带型相同的单株基因型,H 为杂合基因型,- 为缺失带型

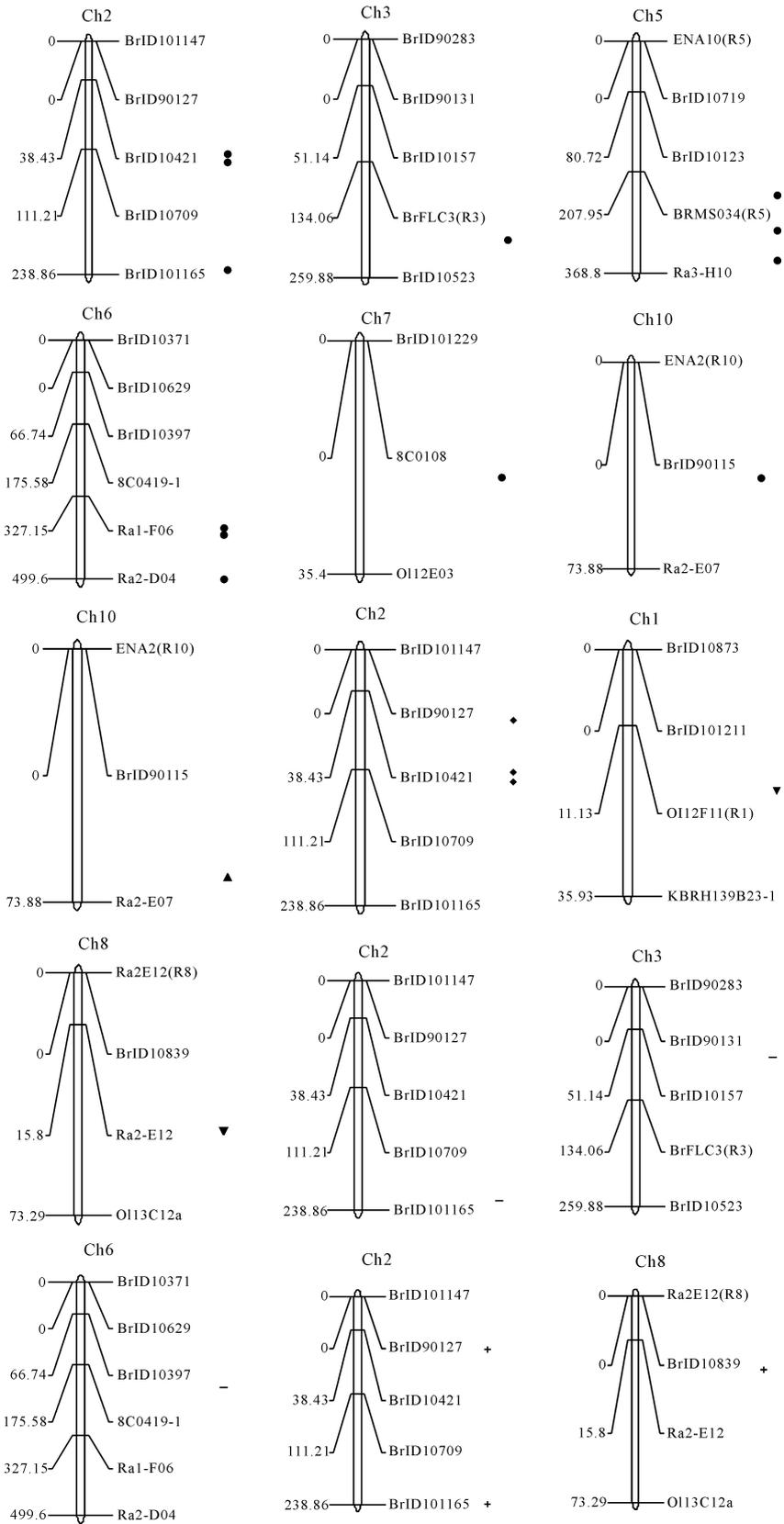
Note: M is marker. The first lane is Longyou No.7, and the second is Longyou No.9. The left is F₂. A is the genotype which band is like Longyou No.7, and B is like Longyou No.9, H is the heterozygous genotype.

控制白菜型油菜抗寒性相关性状 QTL 在染色体上分布不均匀,在有些染色体的某些区段上,形成了 QTL 的热点区域。有些抗寒性相关的 QTL 在 2A、5A、6A 和 10A 上存在一些共享的标记区间。如控制 SOD 活性、CAT 活性和可溶性蛋白的 QTL,它们共享 2A 染色体的 BrID90127 - BrID10421 区域,2A 染色体的 BrID10421 - BrID10709 区域,同时控制着 SOD 活性和 CAT 活性的 QTL,SOD 活性、游离脯氨酸和可溶性蛋白的 QTL,它们共享 2A 染色体的 BrID10709 - BrID101165 区域;5A 的 BRMS034(R5) - Ra3 - H10 区域同时控制 SOD 活性的 2 个 QTL;同时,在 6A 染色体上,亦有 2 个 SOD 活性的 QTL 被 Ra1 - F06 - Ra2 - D04 区域同时控制;MDA 和可溶性蛋白的 QTL 共享了染色体 8A 的 BrID10839 - Ra2

- E12 区间;10A 的 BrID90115 - Ra2 - E07 区域同时在控制 SOD 活性和 POD 活性的 QTL。

3 讨论

Song 等^[13]用 F₂ 群体构建了第一张白菜的 RFLP 遗传图谱,含有 280 个标记,总遗传图距为 1 850 cm,这项研究使白菜及白菜型油菜的各数量性状的 QTL 成为可能。在抗逆性研究方面,主要集中在油菜抗病性的 QTL 研究上,并且报道的大多数是甘蓝型油菜;如甘蓝型油菜抗根肿病^[14]、抗黑胥病^[15]、抗菌核病^[16]的 QTL 定位。对白菜型油菜的 QTL 定位研究报道很少,对白菜型油菜抗寒性的 QTL 定位研究目前未见报道。



注：● SOD 活性的 QTL；▲ POD 活性的 QTL；◆ CAT 活性的 QTL；▼ MDA 含量的 QTL；- 游离脯氨酸含量的 QTL；+ 可溶性蛋白含量的 QTL。

Note: ● indicates the QTL of SOD activity; ▲ indicates the QTL of POD activity; ◆ indicates the QTL of CAT activity; ▼ indicates the QTL of MDA content; - indicates the QTL of free proline content; + indicates the QTL of soluble protein content.

图 3 各指标相关 QTLs 在染色体上的位置

Fig.3 The location of QTLs on the chromosomes

表 2 白菜型冬油菜抗寒性相关性状的 QTL

Table 2 QTLs associated with cold resistance in winter rapeseed

性状代号 Trait code	性状 Trait	QTL	染色体 Chromosome	位置 Position /cm	标记区间 Marker intervals	LOD	表型效应 PVE /%	加性 效应 Add	显性 效应 Dom
T1	SOD 活性 SOD activity	Qsod. gsau - 2A - 1	2A	36.00	BrID90127 - BrID10421	14.35	64.60	0.24	-6.83
		Qsod. gsau - 2A - 2	2A	44.00	BrID10421 - BrID10709	16.11	65.70	0.25	-6.64
		Qsod. gsau - 2A - 3	2A	229.00	BrID10709 - BrID101165	3.52	44.33	0.05	-4.31
		Qsod. gsau - 3A	3A	181.00	BrFLC3(R3) - BrID10323	11.00	65.79	-3.07	3.34
		Qsod. gsau - 5A - 1	5A	165.00	BrID10123 - BRMS034(R5)	14.30	64.77	3.25	3.33
		Qsod. gsau - 5A - 2	5A	250.00	BRMS034(R5) - Ra3 - H10	14.11	65.06	3.22	3.28
		Qsod. gsau - 5A - 3	5A	334.00	BRMS034(R5) - Ra3 - H10	16.02	65.12	-3.26	3.33
		Qsod. gsau - 6A - 1	6A	316.00	8C0419 - 1 - Ra1 - F06	2.53	39.48	-0.01	-3.87
		Qsod. gsau - 6A - 2	6A	339.00	Ra1 - F06 - Ra2 - D04	14.68	81.18	0.10	-7.28
		Qsod. gsau - 6A - 3	6A	499.00	Ra1 - F06 - Ra2 - D04	2.79	12.05	0.23	-1.92
		Qsod. gsau - 7A	7A	6.00	8C0108 - OI12E03	14.74	63.94	0.11	-6.73
		Qsod. gsau - 10A	10A	9.00	BrID90115 - Ra2 - E07	11.15	65.19	-0.06	-6.47
T2	POD 活性 POD activity	Qpod. gsau - 10A	10A	59.00	BrID90115 - Ra2 - E07	2.66	33.63	-31.12	-28.25
T3	CAT 活性 CAT activity	Qcat. gsau - 2A - 1	2A	4.00	BrID90127 - BrID10421	3.91	39.24	0.46	12.07
		Qcat. gsau - 2A - 2	2A	35.00	BrID90127 - BrID10421	3.79	37.31	0.15	11.69
		Qcat. gsau - 2A - 3	2A	43.00	BrID10421 - BrID10709	3.68	38.21	0.18	11.34
T4	MDA 含量 MDA content	Qmda. gsau - 1A	1A	8.00	BrID101211 - OI12F11(R1)	3.41	28.97	0.81	15.89
		Qmda. gsau - 8A	8A	15.00	BrID10839 - Ra2 - E12	2.86	11.18	-2.12	-3.13
T5	游离脯氨酸 Free proline	Qfre. gsau - 2A	2A	218.00	BrID10709 - BrID101165	2.77	54.55	31.11	-312.74
		Qfre. gsau - 3A	3A	15.00	BrID90131 - BrID10157	2.73	52.24	-43.12	-310.10
		Qfre. gsau - 6A	6A	95.00	BrID10397 - 8C0419 - 1	3.91	61.48	162.31	163.80
T6	可溶性蛋白 Soluble protein	Qsol. gsau - 2A - 1	2A	1.00	BrID90127 - BrID10421	3.27	19.13	2.65	48.06
		Qsol. gsau - 2A - 2	2A	238.00	BrID10709 - BrID101165	5.27	21.96	3.95	-12.40
		Qsol. gsau - 8A	8A	1.00	BrID10839 - Ra2 - E12	3.27	12.46	10.64	-11.99

注 Note: PVE—phenotypic variation explained.

本研究以超强抗寒品种陇油 7 号和中抗寒品种陇油 9 号为亲本, 构建得到一个含有 103 个株系的 F₂ 群体。对 F₂ 群体的单株进行统计分析, 共检测到关于 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 含量、游离脯氨酸含量和可溶性蛋白含量共 6 个性状的 24 个 QTL, 涉及 1A、2A、3A、5A、6A、7A、8A 和 10A 等 8 条染色体, 这表明本研究中抗寒相关的位点可能位于这些染色体上, 这与张学贤^[17]的研究结果部分相似。在 24 个 QTL 中, 表现为加性正效应的有 17 个, 说明来自母本陇油 7 号等位基因的贡献较大。同时, 在白菜型油菜 2A、5A、6A、8A 和 10A 的染色体上存在一些共享标记区间。染色体上检测的 7 个区间是不同抗寒性相关性状 QTL 的共享区域。

由于植物的抗寒性是一个由多基因控制表达的性状^[18-20], 目前对植物抗寒性 QTL 相关方面的研究较少。巨伟等^[21]通过对冬小麦苗期抗寒性状的

QTL 分析研究, 将冬小麦的抗寒性基因定位到了 5B 染色体的某一段区间内; 丁成龙等^[22]通过对结缕草抗寒性状相关的 QTL 研究, 检测到了 3 个与抗寒性相关的 QTL。但是这些研究结果都还未将抗寒性基因精确定位。本研究共检测到 24 个 QTL 位点, 且分别分布于白菜型冬油菜的 8 条染色体上, 抗寒性基因具体位于哪条染色体的哪些区段, 还有待于进一步研究证实。

另外, 本试验结果为一年在一个点的试验结果。为了保证 QTL 定位的准确性, 还需严格地对影响性状的环境进行控制, 因此应进行多年、多点试验来相互验证。本试验进一步的工作可以通过扩大分析群体, 增加相对电导率的分析, 增加不同年份与不同生态环境的抗寒性分析, 提高遗传图谱密度, 进行精确定位研究。

参 考 文 献:

- [1] 孙万仓,武军艳,方彦,等.北方旱寒区北移冬油菜生长发育特性[J].作物学报,2010,36(12):2124-2134.
- [2] 王学芳,孙万仓,李孝泽,等.我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J].生态学报,2009,29(12):6573-6577.
- [3] 王学芳,孙万仓,李芳,等.中国西部冬油菜种植的生态效应评价[J].应用生态学报,2009,20(3):647-652.
- [4] 王学芳.我国西北白菜型和甘蓝型冬油菜品种抗寒性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2009.
- [5] 张俊杰,孙万仓,李学才,等.北方旱寒区冬油菜适宜群体的生长发育特性及生理生化基础[J].西北农业学报,2011,20(8):82-88.
- [6] 刘自刚,张长生,孙万仓,等.不同生态区冬前低温下白菜型冬油菜不同抗寒品种(系)的比较[J].作物学报,2014,40(2):346-354.
- [7] 叶剑,孙万仓,武军艳,等.群体密度对冬油菜产量和经济性状的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):171-175.
- [8] 曾秀存,孙万仓,方彦,等.白菜型冬油菜抗坏血酸过氧化物酶(APX)基因的克隆、表达及其活性分析[J].作物学报,2013,39(8):1400-1408.
- [9] Wei Li, Jiefu Zhang, Yanglong Mou, et al. Integration of Solexa sequences on an ultradense genetic map in *Brassica rapa* L[J]. BMC Genomics, 2011, 12:249.
- [10] Yu S C, Zhang F L. Genetic mapping and localization of a major QTL for seedling resistance to downy mildew in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) [J]. Molecular Breeding, 2009, 23:573-590.
- [11] 王灏,王道杰,谭小力,等.用于 RAPD 分析的油菜总 DNA 的快速提取[J].西北农业学报,2001,10(3):32-34.
- [12] 孔德晶,王月,孙万仓,等.北方白菜型冬油菜 F2 主要生理生化特性的变异与抗寒性相关分析[J].草业学报,2014,23(4):79-86.
- [13] Song K M, Suzuki J Y, Slocum M K, et al. A linkage map of *Brassica rapa* (syn. *campetris*) base on restriction fragment length polymorphism loci[J]. Theor Appl Genet, 1991, 82:296-304.
- [14] Suwabe K, Iketani H, Nunome T, et al. Isolation and characterization of microsatellites in *Brassica rapa* L [J]. Theor Appl Genet, 2002, 104:1092-1098.
- [15] Pilet M L, Deloume R, Foisset N, et al. Identification of loci contributing to quantitative field resistance to blackleg disease, causal agent *Leptosphaeria maculans* (Desm.) Ces. et de Not., in Winter rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Theor Appl Genet, 1998, 96:23-30.
- [16] Joyeux A, Fortin M G, Mayerhofer R, et al. Genetic mapping of plant disease resistance gene homologues using a minimal *Brassica napus* L. population [J]. Genome, 1999, 42:735-743.
- [17] 张学贤.白菜型冬油菜的抗寒性分析及抗寒性相关的分子标记[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [18] Charles L G. Freezing tolerance of plants: Current understanding and selected emerging concepts [J]. Canadian Journal of Botany, 2003, 81:1216-1223.
- [19] Phillely H W, Watson C E, Krans J V. Inheritance of cold tolerance in St. Augustinegrass [J]. Crop Science, 1998, 38:451-454.
- [20] 刘镇东.山葡萄高密度分子遗传图谱构建及抗寒性 QTL 定位研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [21] 巨伟,杨彩凤,张树华,等.冬小麦低温处理叶片细胞膜透性的 QTL 定位[J].作物学报,2012,38(7):1247-1252.
- [22] 丁成龙,刘颖,许能祥,等.日本结缕草抗寒相关性状的 QTL 分析[J].草地学报,2010,18(5):703-707.

(上接第 191 页)

- [9] 周岭,蒋恩臣,罗健.锯末木醋液对玉米种子萌发及幼苗影响的研究[J].玉米科学,2008,16(5):58-60.
- [10] 杜相革,史咏竹.木醋液及其主要成分对土壤微生物数量影响的研究[J].中国农学通报,2004,20(3):45-47.
- [11] 申凤善,鲁京兰,太俊哲.木醋液对水稻发芽生长的研究[J].延边大学农学报,2002,24(1):26-29.
- [12] Jang C S. An economic analysis of pyrolygneous liquid utilization in oriental medicine science and its support system for future development [D]. Korea, Seoul: Ministry Agriculture Forest, 2004:1-76.
- [13] Jung K H. Growth inhibition effect of pyrolygneous acid on pathogenic fungus, *Alternaria mali*, the agent of *Alternaria blotch* apple [J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2007, 12:318-322.
- [14] 姜丽芬,石福臣,王化冈,等.叶绿素计 SPAD-502 在林业上的应用[J].生态学杂志,2005,24(2):1543-1548.
- [15] 李清华,黄金堂,陈海玲,等.花生主要农艺性状协调关系的研究[J].花生学报,2008,37(4):40-44.
- [16] 平安,杨国亭,高方,等.木醋液叶面喷洒对人参产量及人参皂苷含量的影响[J].华北农学报,2010,25(4):235-238.
- [17] 董娟,付潘潘,刘晓雨,等.生物质炭-木醋液包衣剂对玉米幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].土壤通报,2014,45(5):1207-1212.
- [18] 平安,杨国亭,魏金玲,等.木醋液与 5 种植物提取物混用对菜青虫的防治效果[J].东北林业大学学报,2010,38(6):131-132.
- [19] 林开敏,叶发茂,林艳,等.酚类物质对土壤和植物的作用机制研究进展[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1130-1137.
- [20] 李忠徽,王旭东.灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):510-516.
- [21] 吴昊,韩晓颖.木醋液的性质及应用研究进展 [C]//中国环境科学学会 2010 年学术年会论文集.北京:中国环境科学出版社,2010.
- [22] 张红菊,赵怀勇,郁继华,等.α-萘乙酸对温室辣椒产量和内源激素水平的影响[J].中国沙漠,2013,33(5):1390-1399.