

白菜型冬春性油菜杂交后代抗寒性变异分析

杨刚, 王丽萍, 孙万仓, 曾秀存, 刘自刚, 李学才, 方彦,
武军艳, 赵艳宁, 董红业, 王月

(甘肃省油菜工程技术研究中心, 甘肃省干旱生境作物重点实验室/

甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: 选用抗寒性强的白菜型冬油菜(陇油7号和陇油9号)与优质春油菜(Parkland)杂交的后代群体(F_1 , F_2 和 BC_1)为研究对象, 以降温前后的油菜SOD、POD、CAT、可溶性蛋白和MDA等5个生理生化特性的变异情况为依据, 结合越冬率数据对杂交后代进行抗寒性分析。研究表明: 降温后, 所有单株的生理生化指标都增加。降温前SOD、POD、CAT、可溶性蛋白和MDA值分别介于 $131.16 \sim 489.50 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $8.59 \sim 68.44 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.63 \sim 20.85 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.53 \sim 7.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.69 \sim 13.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。降温后, 分别为 $290.87 \sim 796.88 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $22.63 \sim 101.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $8.89 \sim 48.30 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $4.46 \sim 10.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $5.77 \sim 21.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。生理生化指标和越冬率均发生分离, F_1 代生理生化变异系数小, 而以冬性亲本为母本的后代越冬率(70.27%)高于春性亲本为母本的后代(64.48%)。 F_2 代和 BC_1 代变异较大, 其中 BC_1 代中以冬性亲本为轮回亲本的群体越冬率(71.43%~76.19%)明显高于以春性亲本为轮回亲本群体的越冬率(38.46%~43.75%)。相关性分析表明这5个生理生化特性与越冬率极显著相关, 相关系数分别为0.597、0.757、0.665、0.567和-0.663。分析结果表明各项生理生化指标结合越冬率对冬春杂交后代的抗寒性分析是可行的, 能够筛选出抗寒优良单株, 为白菜型冬油菜品质改良提供基础材料。

关键词: 白菜型油菜; 杂交后代; 抗寒性; 生理生化特性; 越冬率

中图分类号: S332 **文献标志码:** A

Analyses of cold tolerance variations in filial generations of winter and spring turnip rape (*Brassica rapa* L.)

YANG Gang, WANG Li-ping, SUN Wan-cang, ZENG Xiu-cun, LIU Zi-gang, LI Xue-cai, FANG Yan,
WU Jun-yan, ZHAO Yan-ning, DONG Hong-ye, Wang Yue

(Campestrisseed Engineering Research Center of Gansu Province, Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Improvement and Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The winter and spring turnip rape parents (Longyou 7, Longyou 9 and Parkland) and their filial generations, significantly differing in cold tolerance and quality, were comprehensively analyzed. Cold tolerance variations were examined on the basis of five physiological indexes and overwintering rates before and after cooling. The results showed that the physiological indexes of all individuals were increased after cooling. The SOD, POD, CAT, soluble protein and MDA values were $131.16 \sim 489.50 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $8.59 \sim 68.44 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $2.63 \sim 20.85 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $2.53 \sim 7.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $3.69 \sim 13.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ before cooling, but reached to $290.87 \sim 796.88 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $22.63 \sim 101.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $8.89 \sim 48.30 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, $4.46 \sim 10.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $5.77 \sim 21.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively after the treatment. In addition, physiological indexes and overwintering rates were segregated. The variation of physiological coefficient in F_1 generation was small, and the overwintering rates of filial generations of winter turnip rape for female parents (70.27%) were higher than those of the spring parent for the female parent (64.48%). The variations in F_2 and BC_1 generations were large, and overwintering rates of a group of winter parents for the recurrent parent (71.43%~76.19%) were significantly higher than the

收稿日期: 2014-03-27

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划(2011AA10A104); 国家“973”重点基础研究发展计划(2015CB150206); 国家公益性行业(农业)科研专项(200903002-04); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13); 国家自然科学基金(31460356); 国家农业科技成果转化项目(2014G10000317)

作者简介: 杨刚(1988—), 男, 甘肃会宁人, 硕士研究生, 研究方向作物。E-mail: yangang1018@163.com。

通信作者: 孙万仓(1957—), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博士, 主要从事油菜育种及十字花科种质资源研究。E-mail: 18293121851@163.com。

groups of spring parents as the recurrent parent (38.46% ~ 43.75%) in BC₁. It was further found that significant correlations between the five physiological characteristics and overwintering rates could be identified. Correlation coefficients were 0.597, 0.757, 0.665, 0.567 and -0.663 respectively. In conclusion, it was feasible to analyze cold tolerance characteristics using these physiological indexes, which could reveal the differences of cold tolerance indexes and overwintering rates in different filial generations, and could provide good base materials for quality improvement of winter turnip rape.

Keywords: *Brassica rapa* L.; Filial generations; Cold tolerance; Physiological indexes; Overwintering rates

白菜型油菜 (*Brassica rapa* L.) 属十字花科 (*Cruciferae*) 芸薹属 (*Brassica*) 植物, 主要起源于我国^[1-2]。20 世纪 50 年代, 我国以白菜型油菜为主, 病害严重, 产量很低^[3]。甘蓝型油菜由欧洲经日本引进我国后, 其以优异的抗病性、丰产性和优良的品质迅速替代了白菜型油菜, 并推动了我国油菜生产的三次飞跃^[4-5]。但白菜型冬油菜与春油菜始终是我国西北地区主要的油料作物。西北地区是冬油菜越冬最为严酷的地区之一, 其气候严寒干旱、极端低温低, 降雨量少, 蒸发量大, 严重地制约着冬油菜的安全越冬和发展^[6]。近年白菜型冬油菜陇油系列品种的成功选育, 为北方旱寒区油菜北移提供了有力保障, 扩大了我国北方油菜的种植面积, 产生了巨大的生态效益和经济效益, 成为我国北方重要的冬季油料作物^[7]。陇油系列品种基本解决了北方油菜安全越冬的问题, 但目前为止, 国内外还未见白菜型冬油菜双低 (低芥酸和低硫苷) 材料的报道。因此, 当务之急是解决白菜型冬油菜品质改良的问题。杂交育种是创造作物新品种最传统也是最行之有效的方法之一^[8]。选用品质优良的白菜型春油菜与白菜型冬油菜杂交不失为一种改良白菜型冬油菜品质有效

途径之一。但白菜型油菜冬、春杂交对杂交后代的抗寒性有何影响, 尚无研究报道。许多学者研究表明植物抗寒性与 SOD、POD 等生理生化特性有关^[9-11], 所以研究白菜型冬、春油菜杂交后代的生理生化特性有助于了解其抗寒性变化, 对选育品质优良的白菜型冬油菜具有现实意义。故本研究以白菜型冬油菜 (陇油 7 号和陇油 9 号) 和白菜型春油菜 (Parkland) 杂交的两个群体为研究对象, 在越冬降温前和降温后分别单株测定与抗寒性相关的几个生理生化指标, 第二年返青后统计各单株的越冬情况。以两次测定的生理生化指标结合各单株是否安全越冬来分析白菜型冬、春油菜杂交后代抗寒性变异情况, 以期为冬油菜抗寒品种的选育和改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

Parkland 为双低白菜型春油菜, 引自加拿大; 陇油 7 号和陇油 9 号分别为白菜型冬油菜超强抗寒性和抗寒性品种, 由甘肃农业大学育成。试验材料均于 2012 年 8 月 25 日播种于兰州沙井驿点。各世代材料种植情况列于表 1。

表 1 试验材料

Table 1 Experimental materials

世代 Generations	群体 1 Population 1	株数 Total	世代 Generations	群体 2 Population 2	株数 Total
P ₁	Parkland	28	P ₁	Parkland	28
P ₂	陇油 7 号	33	P ₃	陇油 9 号	35
F ₁	陇 7 × Parkland	37	F ₁	陇 9 × Parkland	32
F ₁	Parkland × 陇 7	28	F ₁	—	—
F ₂	陇 7 × Parkland 自交	51	F ₂	陇 9 × Parkland 自交	62
F ₂	陇 7 × Parkland 兄妹交	66	F ₂	陇 9 × Parkland 兄妹交	64
BC ₁	(陇 7 × Parkland) × 陇 7	42	BC ₁	陇 9 × Parkland) × 陇 9	42
BC ₁	(陇 7 × Parkland) × Parkland	32	BC ₁	(陇 9 × Parkland) × Parkland	26

1.2 方法

1.2.1 生理生化特性测定 分别于降温前 (2012 年 10 月 01 日, 10 - 23℃) 和降温后 (2012 年 11 月 18 日, -3 - 10℃) 按单株取样, 取同一位点生长健壮的

功能叶片, 测定其生理生化指标, 每个单株重复 3 次。

超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法, 一个酶活单位定义为将 NBT 的还

原抑制到对照的一半时所需的酶量;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚比色法,以每分钟内 A470 变化 0.01 为一个过氧化物酶活单位;过氧化氢酶(CAT)采用紫外吸收法以 1 min 内 A240 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活单位;可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G2250 法;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法。上述 5 个指标均参照邹琦^[12]《植物生理学实验指导》进行。

1.2.2 越冬统计及其生理生化相关性分析 冬前单株挂牌标记,第二年返青后统计各单株的越冬情况。安全越冬记为是(Y),不能越冬记为否(N)。在相关性分析中安全越冬单株赋值为 1,不能越冬单株赋值为 0。以降温前和降温后各生理生化指标的差值与越冬情况进行相关性分析。

1.2.3 试验数据处理 试验数据采用 Excel 2010 整理,SPSS 19.0 进行变异分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 白菜型冬春油菜杂交各世代越冬率分析

越冬率是植物抗寒性强弱的直观体现。对试验中两个群体各世代(F_1 , F_2 和 BC_1)材料的越冬率统

计结果列于表 2,其中 Parkland 为双低白菜型春油菜,于 2012 年 8 月 25 日大田播种后,9 月 28 日现蕾,其在越冬前已经抽薹开花,在进入冬季后被冻死,因此表中无统计数据;而陇油 7 号和陇油 9 号抗寒性表现优异,在兰州沙井驿越冬率分别为 87.46% 和 80.00%。从表中可以看出:在以陇油 7 号与 Parkland 为亲本的杂交后代中,各世代的越冬率存在一定的差异,且同一世代之间由于母本或轮回亲本的不同,越冬率也表现不同。如 F_1 代(陇 7 × Parkland)越冬率为 70.27%, Parkland × 陇 7 为 64.28%; F_2 代自交越冬率为 59.45%,兄妹交为 72.55%; BC_1 代中以陇油 7 号为轮回亲本群体的越冬率(越冬率为 76.19%)明显高于以 Parkland 为轮回亲本群体的越冬率(越冬率为 43.75%)。相同的趋势也存在于陇油 9 号与 Parkland 杂交的各世代中,就两个群体在越冬率方面的差异可以得出,冬性亲本(作母本)的抗寒性越强,后代的抗寒性也越强;由于白菜型油菜的自交不亲和性,自交会使得后代的抗寒性明显的降低,采用兄妹交可以提高后代的抗寒能力。

表 2 Parkland 和陇油 7 号杂交后代单株及亲本越冬统计

Table 2 Overwintering rates of Parkland, longyou 7 and their filial generations

世代 Generations	群体 1 Population 1	越冬率/% Overwintering rates	世代 Generations	群体 2 Population 2	越冬率/% Overwintering rates
P_1	Parkland	0.00	P_1	Parkland	0.00
P_2	陇油 7 号	87.46	P_3	陇油 9 号	80.00
F_1	陇 7 × Parkland	70.27	F_1	陇 9 × Parkland	62.50
F_1	Parkland × 陇 7	64.28	F_1	—	—
F_2	陇 7 × Parkland 自交	59.45	F_2	陇 9 × Parkland 自交	50.00
F_2	陇 7 × Parkland 兄妹交	72.55	F_2	陇 9 × Parkland 兄妹交	66.13
BC_1	(陇 7 × Parkland) × 陇 7	76.19	BC_1	(陇 9 × Parkland) × 陇 9	71.43
BC_1	(陇 7 × Parkland) × Parkland	43.75	BC_1	(陇 9 × Parkland) × Parkland	38.46

2.2 白菜型冬春油菜杂交后代生理生化特性变异分析

2.2.1 超氧化物歧化酶(SOD)活性变异分析 对两个群体的 SOD 酶活性数据进行遗传变异统计分析,结果见表 3。从表中看到,两个群体的亲本和 F_1 代降温前后变异系数均在 5% 左右,变幅较小,降温后 SOD 酶活性显著高于降温前。其中春性亲本 Parkland 降温后为 $439.22 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,冬性亲本陇油 7 号降温后高达 $634.82 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,冬性亲本陇油 9 号为 $619.29 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。 F_1 代中,陇油 7 号 × Parkland 为

$660.36 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, Parkland × 陇油 7 号为 $577.7 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 陇油 9 号 × Parkland 为 $563.35 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, F_1 代 SOD 酶活性明显低于冬性亲本。从 F_2 代到回交一代,各世代变异幅度较大,酶活性从最低的 $290.87 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ [(陇油 7 号 × Parkland) × 陇油 7 号]到最高 $796.88 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ (陇油 7 号 × Parkland 兄妹交),变异系数最低的为陇油 9 号 × Parkland 自交(13.0%), (陇油 7 号 × Parkland) × Parkland 高达 38.0%。从试验结果看到在 F_2 代和回交一代中 SOD 酶活性遗传稳定性比较差。

表 3 Parkland、陇油 7 号和陇油 9 号及其杂交后代 SOD 活性变异分析/($U \cdot g^{-1}$)

Table 3 Variations of SOD activities in Parkland, Longyou 7, Longyou 9, and their filial generations

世代 Generations	降温前 Before cooling				降温后 After cooling			
	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV
Parkland	365.97	391.60	382.07	4.0	426.47	449.58	439.22	3.0
陇油 7 号	472.69	478.15	476.22	1.0	616.35	658.15	634.82	3.0
陇 7 × P F ₁	365.13	397.06	384.31	1.0	592.55	608.17	600.36	4.0
P × 陇 7 F ₁	351.26	394.96	376.19	4.0	556.73	598.80	577.76	1.0
陇 7 × P 自交	216.39	489.50	359.82	32.0	460.34	682.69	583.54	15.0
陇 7 × P 兄妹交	314.08	477.94	380.32	16.0	425.42	796.88	595.05	22.0
(陇 7 × P) × 陇 7	259.94	423.32	361.69	20.0	290.87	635.22	501.55	32.0
(陇 7 × P) × P	131.16	284.66	217.75	31.0	318.28	760.82	529.40	38.0
Parkland	365.97	391.60	382.07	4.0	426.47	449.58	439.22	3.0
陇油 9 号	472.69	478.15	451.43	1.0	604.69	633.89	619.29	2.0
陇 9 × P F ₁	285.01	300.125	292.73	1.0	533.35	596.85	563.35	3.0
陇 9 × P 自交	194.33	386.56	305.18	29.0	509.50	671.21	581.80	13.0
陇 9 × P 兄妹交	159.66	470.45	347.50	23.0	375.52	792.23	580.22	22.0
(陇 9 × P) × 陇 9	261.24	468.49	358.30	26.0	397.06	736.60	574.37	29.0
(陇 9 × P) × P	226.89	430.67	352.35	22.0	439.08	725.84	596.93	16.0

注:表中 CV 代表变异系数,以%表示,下表相同。

Note: CV represents variable coefficient, which was expressed as a %, and the following table is the same

2.2.2 过氧化物酶(POD)活性变异分析 过氧化物酶(POD)是植物体内又一重要的保护性酶,从表 4 中看到降温后两个群体的 POD 酶活性整体升高,亲本和 F₁ 代变异系数基本都在 5.0% 左右。Parkland 降温前为 $32.43 U \cdot g^{-1}$,降温后为 $35.50 U \cdot g^{-1}$,陇油 7 号和陇油 9 号分别从 $63.98 U \cdot g^{-1}$ 和 $60.71 U \cdot g^{-1}$ 增长到 $97.12 U \cdot g^{-1}$ 和 $92.78 U \cdot g^{-1}$,F₁ 代陇油 7 号 × Parkland 为 $78.68 U \cdot g^{-1}$,Parkland × 陇油 7 号为

$64.50 U \cdot g^{-1}$,陇油 9 号 × Parkland 为 $53.66 U \cdot g^{-1}$,较冬性亲本而言明显降低。F₂ 代和回交一代中,除陇油 7 号 × Parkland 自交变异系数为 9.0% 外,其他均在 24.0% ~ 59.0%,表现出了较差的稳定性。其活性从 $22.63 U \cdot g^{-1}$ 到 $98.40 U \cdot g^{-1}$ 之间变化,但各世代平均值均低于两个冬性亲本,POD 酶活性在后代遗传不稳定。

表 4 Parkland、陇油 7 号和陇油 9 号及杂交后代 POD 活性变异分析/($U \cdot g^{-1}$)

Table 4 Variations of POD activities in Parkland, Longyou 7, Longyou 9, and their filial generations

世代 Generations	降温前 Before cooling				降温后 After cooling			
	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV
Parkland	26.68	36.60	32.43	16.0	35.00	36.00	35.50	1.0
陇油 7 号	60.89	68.44	63.98	6.0	90.70	101.15	97.12	6.0
陇 7 × P F ₁	44.00	44.50	44.25	9.0	76.80	80.55	78.68	7.0
P × 陇 7 F ₁	40.90	46.35	43.43	1.0	63.70	65.95	64.50	3.0
陇 7 × P 自交	24.41	30.83	26.58	9.0	28.43	63.65	39.28	38.0
陇 7 × P 兄妹交	8.59	38.73	21.99	47.0	26.40	56.78	41.43	28.0
(陇 7 × P) × 陇 7	14.48	49.35	36.19	42.0	42.23	77.25	55.63	28.0
(陇 7 × P) × P	17.55	33.50	26.98	24.0	27.78	63.70	44.33	33.0
Parkland	26.68	36.60	32.43	16.0	35.00	36.00	35.50	1.0
陇油 9 号	60.89	68.44	63.98	6.0	88.15	99.50	92.78	6.0
陇 9 × P F ₁	16.25	19.00	17.63	22.0	50.33	59.95	53.66	11.0
陇 9 × P 自交	23.46	45.13	35.83	26.0	30.25	98.40	59.96	51.0
陇 9 × P 兄妹交	14.30	46.85	26.67	33.0	27.45	96.48	51.85	37.0
(陇 9 × P) × 陇 9	20.08	46.23	30.28	33.0	22.63	66.93	46.52	37.0
(陇 9 × P) × P	13.05	43.60	30.06	34.0	28.18	56.65	39.68	30.0

2.2.3 过氧化氢酶(CAT)活性分析 从表 5 看到,两个群体过氧化氢酶活性的变化情况基本与过氧化物酶(POD)的变化规律一致。降温前,所有材料 CAT 酶活性介于 $2.63 \sim 20.85 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$,降温后所有材料酶活性升高,在 $8.89 \sim 48.30 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 间。通过遗传变异分析发现所有材料的变异系数比较大,亲本和 F_1 代相对低一点,在 $1\% \sim 16\%$ 之间,而 F_2 代和回交一代变异系数在 $16.0\% \sim 70.0\%$ 之间,表现出很大变异,遗传稳定性较差。

2.2.4 可溶性蛋白含量变异分析 对两个群体可溶性蛋白含量进行变异分析,结果见表 6。降温前,所有材料可溶性蛋白含量介于 $2.53 \sim 7.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,降温后达到 $4.46 \sim 10.68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。降温前除 F_1 代陇油 9 号 \times Parkland 自交变异系数为 5.0% 外,其他世代材料均在 10.0% 以上。降温后亲本和 F_1 代变异系数降低, F_2 和 BC_1 代发生较大分离,其中回交一代(陇油 9 号 \times Parkland) \times 陇油 9 号为最高(29.0%)。

表 5 Parkland、陇油 7 号和陇油 9 号及杂交后代 CAT 活性变异分析/ $(\text{U} \cdot \text{g}^{-1})$

Table 5 Variations of CAT activities in Parkland, Longyou 7, Longyou 9, and their filial generations

世代 Generations	降温前 Before cooling				降温后 After cooling			
	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV
Parkland	6.60	7.75	7.18	8.0	10.90	13.00	12.27	10.0
陇油 7 号	15.90	19.55	17.58	10.0	26.50	27.09	26.83	1.0
陇 7 \times P F_1	10.10	10.40	10.23	18.0	22.33	25.33	24.00	1.0
P \times 陇 7 F_1	10.15	13.35	12.12	1.0	19.25	25.90	21.92	7.0
陇 7 \times P 自交	2.63	17.70	9.49	70.0	8.89	22.17	14.33	37.0
陇 7 \times P 兄妹交	7.60	18.30	11.24	33.0	9.80	28.83	21.39	38.0
(陇 7 \times P) \times 陇 7	9.89	14.01	11.30	16.0	11.65	30.03	20.88	38.0
(陇 7 \times P) \times P	6.38	10.05	8.59	20.0	12.40	21.04	15.42	25.0
Parkland	6.60	7.75	7.18	8.0	10.90	13.00	12.27	10.0
陇油 9 号	16.02	17.00	16.56	3.0	21.67	27.68	24.35	13.0
陇 9 \times P F_1	9.80	11.70	10.75	5.0	19.70	19.87	19.78	15.0
陇 9 \times P 自交	10.98	19.75	14.03	29.0	11.70	34.53	20.05	53.0
陇 9 \times P 兄妹交	4.55	20.85	11.82	42.0	10.42	31.08	20.88	33.0
(陇 9 \times P) \times 陇 9	3.48	14.05	9.38	38.0	9.93	26.88	18.12	41.0
(陇 9 \times P) \times P	4.80	14.18	9.91	33.0	11.80	48.30	19.70	66.0

表 6 Parkland、陇油 7 号和陇油 9 号及杂交后代可溶性蛋白含量变异分析/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$

Table 6 Variations of soluble protein contents in Parkland, Longyou 7, Longyou 9 and their filial generations

世代 Generations	降温前 Before cooling				降温后 After cooling			
	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV
Parkland	3.60	4.40	4.07	10.0	5.38	5.55	5.46	2.0
陇油 7 号	4.40	6.00	5.27	15.0	7.91	8.09	7.98	1.0
陇 7 \times P F_1	4.80	6.00	5.40	11.0	5.75	6.22	5.98	4.0
P \times 陇 7 F_1	3.80	6.00	5.00	12.0	7.01	7.56	7.34	5.0
陇 7 \times P 自交	3.53	7.60	5.13	33.0	4.46	8.03	5.96	25.0
陇 7 \times P 兄妹交	3.07	6.33	4.41	27.0	4.83	8.03	6.76	19.0
(陇 7 \times P) \times 陇 7	3.20	5.27	4.27	24.0	6.06	8.01	7.41	12.0
(陇 7 \times P) \times P	2.53	5.93	4.44	28.0	5.19	8.59	6.54	21.0
Parkland	3.60	4.40	4.07	10.0	5.38	5.55	5.46	2.0
陇油 9 号	4.40	6.00	5.27	15.0	6.23	7.00	6.67	6.0
陇 9 \times P F_1	4.80	6.00	5.40	15.0	7.22	7.98	7.65	1.0
陇 9 \times P 自交	3.53	5.07	4.55	16.0	5.87	8.58	7.18	17.0
陇 9 \times P 兄妹交	3.13	7.80	5.06	32.0	5.13	8.14	6.88	15.0
(陇 9 \times P) \times 陇 9	3.60	7.07	4.96	23.0	5.90	10.68	7.90	29.0
(陇 9 \times P) \times P	4.73	7.60	5.98	16.0	4.90	7.52	6.43	16.0

2.2.5 丙二醛(MDA)含量变异分析 从表 7 中看到,降温前所有单株丙二醛含量在 3.69~13.67 mg·g⁻¹间,降温后丙二醛含量整体增加(5.77~21.25 mg·g⁻¹),说明材料已经受到了不同程度的伤害。

变异分析发现变化规律与 SOD、POD、CAT 和可溶性蛋白基本一致,都为数量性状遗传。亲本和 F₁ 代分离小,变异系数低,F₂ 代和 BC₁ 分离大变异系数高。

表 7 Parkland、陇油 7 号和陇油 9 号及杂交后代 MDA 含量变异分析/(mg·g⁻¹)

Table 7 Variations of MDA contents in Parkland, Longyou 7, Longyou 9, and their filial generations

世代 Generations	降温前 Before cooling				降温后 After cooling			
	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV	极小值 Min.	极大值 Max.	平均值 M.	CV
Parkland	9.32	13.67	11.45	19.0	18.89	19.15	19.02	1.0
陇油 7 号	5.86	6.05	5.96	2.0	8.88	9.07	8.97	1.0
陇 7 × P F ₁	6.11	6.55	6.29	1.0	10.60	10.95	10.81	1.0
P × 陇 7 F ₁	6.24	7.55	6.95	3.0	11.37	14.09	12.83	1.0
陇 7 × P 自交	3.93	6.83	5.57	21.0	7.68	16.60	12.42	27.0
陇 7 × P 兄妹交	4.46	9.36	6.19	28.0	7.24	18.92	10.54	40.0
(陇 7 × P) × 陇 7	6.08	9.79	8.03	19.0	9.49	12.93	11.78	13.0
(陇 7 × P) × P	5.21	9.17	7.64	20.0	8.72	15.61	11.45	23.0
Parkland	9.32	13.67	11.45	19.0	18.89	19.15	19.02	1.0
陇油 9 号	8.11	8.77	8.44	4.0	9.80	9.96	9.90	1.0
陇 9 × P F ₁	7.79	10.68	9.23	4.0	10.84	10.85	10.85	1.0
陇 9 × P 自交	4.96	6.91	6.07	15.0	7.48	18.25	12.86	40.0
陇 9 × P 兄妹交	3.69	9.46	5.86	23.0	5.77	21.25	11.85	35.0
(陇 9 × P) × 陇 9	4.75	8.88	6.55	25.0	7.85	17.76	11.10	31.0
(陇 9 × P) × P	4.44	12.12	8.80	33.0	8.62	17.96	14.76	24.0

2.3 越冬率与生理生化特性相关性分析

植物能否安全越冬是植物抗寒性的直观反映,各生理生化指标降温前后的差值与越冬率的相关性分析表明(表 8),超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物

酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和可溶性蛋白与越冬率极显著正相关,越冬率与丙二醛(MDA)呈极显著负相关。通过上述分析发现生理生化特性与油菜抗寒性密切相关,可作为油菜抗寒性评价指标。

表 8 越冬率与降温前后生理生化指标差值的相关性

Table 8 The correlation analyses of overwintering rates and physiological indexes before and after cooling

项目 Item	Overwintering rates	SOD	POD	CAT	soluble protein	MDA
Overwintering rates	1					
SOD	0.597**	1				
POD	0.757**	0.404**	1			
CAT	0.665**	0.560**	0.417**	1		
soluble protein	0.567**	0.224	0.505**	0.315*	1	
MDA	-0.663**	-0.382**	-0.529**	-0.428**	-0.512**	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

Note: ** indicated that it had significant difference at the 0.01 level (double side), * indicated that it had significant difference at the 0.05 level (double side).

3 讨论

本研究表明,当油菜受到低温胁迫时,所有单株的 SOD、POD、CAT 酶活性和可溶性蛋白含量均升高,说明酶保护系统通过提高自身酶活性以适应低温带来的伤害,有效地清除了丙二醛(MDA)和活性

氧^[13-18],大大降低了对油菜的伤害。孟凡珍^[19]在大白菜上的研究表明低温胁迫后,大白菜叶片丙二醛和可溶性蛋白含量明显上升,保护酶超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性则先升后降,且各品种间存在明显差异。Heber^[20]认为,冬小麦抗寒的原因主要依赖于比较稳定的可溶性蛋白质

的增加。蒲媛媛^[21]研究表明冬油菜叶片各生理生化指标随着温度的降低均呈现出先上升后下降的规律,并且抗寒性强的品种比抗寒性弱的品种酶活性高。

遗传变异是生物界普遍发生的现象,也是物种形成和生物进化的基础。变异系数是反映遗传变异大小的指标,与亲本相比,杂种后代的抗寒性存在一定程度的变异,不同的世代变异幅度不同。本研究中两个群体的生理生化特性变异基本一致,F₁代变异较小,F₂代和BC₁代变异较大,生理生化特性发生较大分离,为进一步选择和研究提供了基础材料。

本研究以越冬率来看,白菜型冬、春杂交F₁代不论正交还是反交抗寒性均高于春性亲本而低于冬性亲本。但F₁代个体间抗寒性有一定差异,表现分离,这种情况可能与白菜型油菜本身杂合体有关。F₂及回交世代的抗寒性也表现出分离,总体趋势是,以抗寒性强的品种作母本或作轮回亲本杂交,后代越冬率较高;以春性品种为母本或作轮回亲本杂交,后代越冬率较低。张炎^[22]在小麦中研究发现,F₁越冬率比春性亲本明显提高,F₃代出现越冬性较好的类型。本研究杂交后代中也出现了抗寒性好的单株。

5个生理生化特性与越冬率相关性分析表明:超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和可溶性蛋白与越冬率极显著正相关,越冬率与丙二醛(MDA)呈极显著负相关,可见此5个生理生化特性和越冬率都是鉴定油菜抗寒性的重要指标。从本研究来看冬春杂交对抗寒性影响较大,各杂交世代抗寒性发生分离,变异大,为选育优质白菜型冬油菜提供广泛空间。以冬性亲本作母本和轮回亲本,后代抗寒性强,反之就较弱。笔者认为杂交加轮回选择是将春油菜优质基因转入强冬性油菜最行之有效的办法之一。

4 结 论

从现阶段看,白菜型冬油菜与双低白菜型春油菜杂交不失为选育白菜型双低冬油菜品种的有效途径之一,但从本研究看到冬春杂交对白菜型油菜后代的生理生化和越冬率影响甚大。F₁代生理生化变异系数小,而以冬性亲本为母本的后代越冬率高于春性亲本为母本的后代。F₂代和BC₁代变异较大,其中BC₁代中以冬性亲本为轮回亲本的群体越冬率明显高于以春性亲本为轮回亲本群体的越冬率。相关性分析表明这几个生理生化特性与越冬率极显著相关。本研究表明可以根据生理生化特性的

变异结合越冬率对白菜型冬春油菜杂交后代的冬春性进行抗寒性分析,并能筛选出抗寒性优良的单株,为白菜型冬油菜品质改良提供了基础材料。

参 考 文 献:

- [1] 何余堂,陈宝元,傅廷栋,等.白菜型油菜在中国的起源与进化[J].遗传学报,2003,30(11):1003-1012.
- [2] 刘后利.几种芸薹属油菜的起源和进化[J].作物学报,1984,10(1):9-18.
- [3] 王汉中.中国油菜品种改良的中长期发展战略[J].中国油料作物学报,2004,26(2):98-101.
- [4] 王汉中.我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J].中国油料作物学报,2010,32(2):300-302.
- [5] 王汉中.我国油菜生产三次大飞跃[OL].<http://www.hbrapeseed.com/>,2004.5.16.
- [6] 孙万仓.北方旱寒区冬油菜栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2013.
- [7] 孙万仓,马卫国,雷建民,等.冬油菜在西北旱寒区的适应性和北移的可行性研究[J].中国农业科学,2007,40(12):2716-2726.
- [8] 张天真.作物育种学总论[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [9] 邵怡若,许建新,薛立,等.低温胁迫时间对4种幼苗生理生化及光合特性的影响[J].生态学报,2013,33(14):4237-4247.
- [10] 王敏,曲存民,刘晓兰,等.温度胁迫下甘蓝型油菜苗期生理生化指标的研究[J].作物杂志,2013,(2):53-59.
- [11] 张南,秦智伟.低温处理对菠菜生理生化指标的影响[J].中国蔬菜,2007,(11):22-24.
- [12] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:253.
- [13] Bowler C, Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual review of plant biology, 1992,43(1):83-116.
- [14] Bowley S R, McKersie B D. Relationships among freezing, low temperature flooding, and ice encasement tolerance in alfalfa[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1990,70(1):227-235.
- [15] Droillard M J, Paulin A, Massot J C. Free radical production, catalase and superoxide dismutase activities and membrane integrity during senescence of petals of cut carnations (*Dianthus caryophyllus*) [J]. Physiologia Plantarum, 1987,71(2):197-202.
- [16] 贾明珍,官春云.油菜抗寒性生理生化机制及基因工程研究进展[J].中国油料作物学报,2012,(5):556-561.
- [17] 田廷亮,蔡梓林,季明芳.油菜超氧化物歧化酶活性及其同工酶的研究[J].中国油料作物学报,1988,(1):6.
- [18] 赵玉田.作物抗寒性鉴定原理与鉴定技术体系的研究[J].作物学报,1993,19(5):420-428.
- [19] 孟凡珍,张振贤,于贤昌,等.田间低温胁迫对大白菜某些理化特性的影响研究[J].中国生态农业学报,2005,13(2):84-86.
- [20] Heber U, Santarius K A. Water and plant life[M]. Springer-Verlag, 1976,253.
- [21] 蒲媛媛,孙万仓.白菜型冬油菜抗寒性与生理生化特性关系[J].分子植物育种,2010,8(2):335-339.
- [22] 张炎,张翠兰,汪永祥,等.冬性与春性小麦的杂种性状表现和选择[J].作物学报,1981,7(1):45-50.