

低硼对甘蓝型黄籽油菜与黑籽油菜花期生理特性的影响*

张子龙 李加纳[†]

(西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400716)

摘要 为探索甘蓝型黄籽油菜与黑籽油菜花期相关生理特性对低硼的响应差异, 以 2 个具有相同遗传来源的黄籽 (L1) 和黑籽 (L2) 油菜基因型为材料, 研究了田间条件下低硼处理对甘蓝型黄、黑籽油菜花期部分生理特性的影响。结果表明, 低硼处理后黄籽油菜下部叶片中养分的再利用能力降低, 而黑籽油菜仍有一定的养分可供利用; 无论黄籽油菜还是黑籽油菜, 低硼处理均使其花器官形态变小, 干重下降, 低硼对黄籽油菜雌蕊长度的影响大于黑籽; 甘蓝型黄、黑籽油菜的花粉活力在低硼处理后明显降低, 但黄籽油菜无活力花粉的比率明显高于黑籽油菜; 低硼使甘蓝型油菜雄蕊和雌蕊中的可溶性糖、淀粉、游离脯氨酸以及可溶性蛋白质含量降低, 黄籽油菜的降低幅度明显大于黑籽油菜。与相同遗传来源的黑籽油菜相比, 甘蓝型黄籽油菜花期的相关生理特性更易受低硼的影响。

关键词 甘蓝型黄籽油菜; 甘蓝型黑籽油菜; 低硼; 花期; 生理特性

中图分类号 S153.8

文献标识码 A

黄籽油菜由于具有种皮薄, 含油量高, 油质清澈透明等一系列优点, 近年来受到油菜育种家们的重视^[1~4], 目前已经有一批黄籽品种在生产上运用^[5]。随着甘蓝型黄籽油菜品种的推广和种植, 对甘蓝型黄籽油菜营养特性的研究, 以及甘蓝型黄、黑籽油菜需肥特性差异的研究显得越来越迫切。硼是高等植物必需的微量营养元素之一^[6], 植物缺硼的一个重要特征是生殖器官发育异常^[7]。油菜是对硼较为敏感的作物^[8,9], 但我国油菜产区均存在不同程度的缺硼土壤^[10], 因此极易出现结实率低造成减产甚至绝产的现象, 施用硼肥已成为防止油菜“花而不实”的重要栽培措施。

缺硼导致油菜花蕾失绿发黄, 甚至枯萎、脱落^[11]; 花器官发育不良或形态异常^[7,12,13], 造成授粉行为的障碍。低硼胁迫下花粉活力和呼吸强度降低^[7,8]; 雌蕊和花药中的可溶性蛋白质、淀粉及核糖含量减少^[7,8,12]; 子房和子房柄中的氨基酸的含量也发生变化^[7,12]。前人对黑籽油菜的硼素营养特性进行了不少研究, 对黄籽油菜硼素营养特性的研究仅限于探讨其产量和品质效应^[14], 而有关硼素营养与黄籽油菜花期生理特性之间关系的研究鲜见报道。近年

来大量研究表明, 缺硼时不同基因型油菜的生理生化特性有不同程度的差异^[15~21]。因此, 本研究以 2 个具有相同遗传来源的黄籽 (L1) 和黑籽 (L2) 油菜基因型为材料, 研究了在田间条件下低硼胁迫对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官及叶片的养分含量、花器官形态、花粉活力以及花器官中的碳水化合物和含氮化合物含量等花期生理特性的影响, 旨在探索甘蓝型黄籽油菜与黑籽油菜花期相关生理特性对低硼胁迫的响应差异, 进一步揭示甘蓝型黄籽油菜的需硼特性, 为黄籽油菜硼肥合理施用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

从连续自交 10 代以上、农艺性状表现一致、黄籽度较好且来源不同的 8 个黄籽品系中, 选出少量黑籽单株自交, 以后每代均与相应的黄籽品系相间种植, 选择性状整齐一致、粒色不分离的单株自交保存, 如此自交 7 代, 获得 8 对关于粒色基因的近等基因系。这 8 对近等基因系遗传稳定, 黄籽株系黄籽率达 100%, 黄籽度 80% 以上, 黑籽株系籽粒全为黑籽。本

* 国家自然科学基金重点项目“甘蓝型油菜优质高效黄籽性状的遗传基础研究”(30330400)、农业部 948 项目“油菜特异资源和育种新技术的引进、改良及创新研究”(2003-Q04) 资助

[†] 通讯作者

作者简介: 张子龙 (1976-), 男, 山西天镇人, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为植物营养生理与品质调控

收稿日期: 2006-12-04; 收到修改稿日期: 2007-05-17

试验选用其中的 1 对, 其来源为甘蓝型 (*B. napus*) × 芥菜型 (*B. juncea*) 组合后代, 分别记为 L1(黄籽)、L2(黑籽)。

1.2 试验设计

试验于 2005~2006 年在西南大学校内农场进行。土壤为典型中层紫色土, 地势平坦, 肥力均匀。0~20 cm 耕层土壤含有机质 16.9 g kg⁻¹、有效氮 81.7 mg kg⁻¹、有效磷 7.25 mg kg⁻¹、速效钾 115 mg kg⁻¹, 土壤热水溶性硼含量为 0.25 mg kg⁻¹, pH 7.12。试验设 2 个硼水平, 即低硼胁迫处理 (土壤热水溶性硼含量为 0.25 mg kg⁻¹, 代号 LB) 和正常施硼处理 (添加一定量的硼酸作为底肥, 实测土壤热水溶性硼含量为 0.89 mg kg⁻¹, 代号 NB), 随机排列, 3 次重复, 小区面积 10 m²。2005 年 9 月 27 日播种, 10 月 20 日移栽, 密度设为 10.5 × 10⁴ 株 hm⁻²。移栽前施底肥, N 150 kg hm⁻², P₂O₅ 120 kg hm⁻², K₂O 120 kg hm⁻², 其他各项管理同大田。

1.3 测定方法

盛花期 (2006 年 3 月上旬) 取叶片及花器官进行如下指标测定。采用凯氏定氮法测氮, 钼蓝比色法测磷, 火焰分光光度计法测钾, 姜黄素比色法测定硼含量; 取当天开放的花 10 朵, 测量其各部分的长、宽以及干重; 以醋酸洋红染液对花粉粒染色, 在 Olympus

显微镜下观察花粉粒染色情况; 可溶性糖、淀粉的测定采用蒽酮显色法^[22]; 游离脯氨酸测定采用磺基水杨酸-酸性茚三酮显色法^[23], 可溶性蛋白质测定采用考马斯亮蓝 G-250 显色法^[23]。

1.4 数据处理

试验结果方差分析后采用 Duncan 方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官及叶片养分含量的影响

甘蓝型黄、黑籽油菜花器官的含硼量见表 1。正常施硼条件下, 黄籽油菜花器官的含硼量高于黑籽, 而低硼胁迫处理时, 黄籽花器官的含硼量则低于黑籽, 差异未达显著水平。与正常施硼植株相比, 低硼胁迫处理时无论黄籽油菜还是黑籽油菜, 花器官的含硼量均显著下降, 且黄籽的下降幅度大于黑籽。低硼胁迫条件下, L1(黄籽) 雌蕊和雄蕊的含硼量分别下降了 52.1% 和 53.1%, 而 L2(黑籽) 雌蕊和雄蕊的含硼量只下降了 36.2% 和 44.8%, 表明低硼条件下黄籽油菜花器官中硼的吸收、积累量低于黑籽油菜的, 缺硼对黄籽油菜花器官的影响大于黑籽油菜。

表 1 甘蓝型黄、黑籽油菜花器官的含硼量

Table 1 Boron concentrations in floral organs of yellow-seeded and black-seeded rapes (*Brassica napus* L.) (mg kg⁻¹ DW)

基因型 Genotype	处理 Treatment	雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	花被 + 花托 Perianth and receptacle
L1	NB	40.7 a	37.5 a	29.7 a
	LB	19.5 b	17.6 b	15.1 b
L2	NB	35.1 a	34.8 a	27.6 a
	LB	22.4 b	19.2 b	13.8 b

注: 表中字母表示多重比较的结果, 标以不同字母的组间差异达 0.05 显著水平; NB 表示正常施硼处理, LB 表示低硼胁迫处理, 下同 Note Values followed by different letters are significantly different at 0.05 level, respectively. NB means normal boron application, LB means low boron content, the same below.

低硼处理对甘蓝型油菜花期不同部位叶片养分含量的影响见表 2。比较低硼处理下黄、黑籽油菜中、上部叶片养分含量差异发现, 黄、黑籽间的 P、K 含量差异不大, 而 N 含量黑籽显著高于黄籽; 对于下部叶片来说, 黄、黑籽之间的 P、K 含量无显著差异, 而黑籽的 N 含量显著高于黄籽。可见, 低硼处理时不论是中、上部叶片还是下部叶片, 其 P、K 的含量在黄、黑籽之间大体相同, 唯 N 的含量黑籽高于黄籽。无论是中、上部叶片还是下部叶片,

正常施硼时黄籽的 B 含量均高于黑籽, 而在低硼胁迫条件下黄籽的 B 含量则低于黑籽, 差异显著。

油菜花期以生殖生长为主, 生殖器官生长发育需要大量的营养, 当根系吸收难以满足需要时, 植株可调动下部叶片贮藏的可再利用养分, 以满足生长中心的需要。由表 2 可以看出, 低硼胁迫条件下, 无论是黄籽油菜还是黑籽油菜, 中、上部叶片的 N、P、K 养分含量均较正常施硼处理的低。低硼胁迫时, L1 的 N、P、K 分别降低 57.2%、17.3% 和

42.2%, 而 L2 只分别降低 30.7%、5.00% 和 1.05%, 黄籽的降幅大于黑籽。低硼胁迫时黄籽油菜和黑籽油菜下部叶片 N、P、K 含量均高于正常施硼处理, 但黄籽增高的幅度大于黑籽。低硼胁迫下, L1 下部叶片 N、P、K 含量分别升高 156%、100% 和 73.1%, 而 L2 的则分别升高 42.1%、5.88% 和 4.92%。这表明低硼胁迫条件下, 黄籽油

菜中、上部叶片获得的养分相对较少, 而黑籽油菜中、上部叶片仍能获得相对较多的养分。由表 2 还可发现, 低硼处理下, L1 中、上部和下部叶片的含硼量分别下降了 61.6% 和 40.5%, 差异显著; 而 L2 的只分别下降 12.3% 和 12.1%, 且差异不显著, 可见低硼胁迫对黄籽油菜含硼量的影响更大。

表 2 低硼对甘蓝型油菜花期不同部位叶片养分含量的影响

Table 2 Effect of low soil boron content on concentrations of nutrients in leaves of different positions of the two genotypes of rapeseeds at the flowering stage

基因型 Genotype	处理 Treatment	MUL				BL			
		N(g kg ⁻¹)	P(g kg ⁻¹)	K(g kg ⁻¹)	B(mg kg ⁻¹)	N(g kg ⁻¹)	P(g kg ⁻¹)	K(g kg ⁻¹)	B(mg kg ⁻¹)
L1	NB	57.5 a	5.20 a	36.5 a	20.4 a	7.70 c	0.80 b	19.3 b	17.8 a
	LB	24.6 c	4.30 b	21.1 b	7.84 c	19.7 b	1.60 a	33.4 a	10.6 c
L2	NB	55.8 a	4.00 b	19.0 c	18.8 b	22.1 b	1.70 a	32.5 a	16.1 b
	LB	38.7 b	3.80 b	18.8 c	16.5 b	31.4 a	1.80 a	34.1 a	14.2 b

注: MUL 表示中、上部叶, BL 表示下部叶 Note MUL means middle and upper leaves, BL means bottom leaves

2.2 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官形态的影响
低硼处理对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官形态及花器官干重的影响见表 3 表 4。正常施硼条件下, L1 的花瓣长宽、雌雄蕊长和花药长均大于 L2 的, 但其雌蕊长、雄蕊长及花器官干重均小于 L2。试验中观察发现, 低硼可导致部分油菜花序的花瓣黄色变淡, 花蕾黄化, 甚至脱落, 造成“死蕾”现象; 有些柱头在开花前即伸出而枯萎。与正常施硼油菜相比,

低硼使 L1 的花瓣长度、宽度、雌、雄蕊长度均明显减小, 差异达到了显著水平; 但对 L2 而言, 低硼只显著减小了花瓣的宽度, 对其他几个形态指标的影响未达显著水平。低硼对雌蕊长、雄蕊长、花药长、宽度也有一定的影响, 但 L1、L2 均未达到显著水平(表 3)。此外, 低硼胁迫处理还导致油菜雄蕊及总花重显著减少(表 4)。

表 3 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官形态的影响

Table 3 Effect of low soil boron content on floral morphology of yellow-seeded and black-seeded rapeseeds (*Brassica napus* L.) (mm)

基因型 Genotype	处理 Treatment	花瓣长 Length of petal	花瓣宽 Width of petal	雌蕊长 Length of pistil	雄蕊长 Length of stamen	雌蕊长/雄蕊长 Pistil length / Stamen length	花药长 Length of anther	花药宽 Width of anther
	LB	13.8 c	9.10 b	7.71 c	9.25 b	0.844 b	2.92 a	0.99 a
L2	NB	14.7 b	9.31 b	8.32 b	8.50 c	0.983 a	2.63 b	1.00 a
	LB	14.3 b	7.78 c	8.04 b	8.46 c	0.963 a	2.49 b	0.97 a

表 4 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官干重的影响

Table 4 Effect of low soil boron content on dry weight of floral organs of the two genotypes (*Brassica napus* L.) of rapeseeds (mg flower⁻¹)

基因型 Genotype	处理 Treatment	雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	花被+花托 Perianth and receptacle	总花重 Total weight
	LB	0.80 a	2.45 b	4.55 b	7.80 c
L2	NB	0.90 a	2.80 a	4.85 a	8.55 a
	LB	0.80 a	2.45 b	4.80 a	8.05 b

2.3 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花粉活力的影响

观察不同硼处理的油菜花粉粒染色情况发现, L1和 L2之间存在着较大差异(表 5)。L1的花粉发育对硼十分敏感, 在低硼胁迫处理下(LB), 镜检时仅有不足 1/2的花粉粒被染色, 而且有 25.3% 还是局部染色; 在正常施硼条件下(NB), 花粉发育显著改善, 镜检花粉粒中有 94.6% 被染色, 仅 5.43% 花粉粒未被染色。L2在低硼处理下约有 33.3% 的花

粉粒未被醋酸洋红染色; 在正常施硼处理下, 绝大部分花粉粒均被染色, 但有约 9.80% 染色不完全, 即花粉粒局部染色。从表 5还可以看出, 甘蓝型黄、黑籽油菜花粉粒的活力在低硼胁迫处理后均显著降低, 但黄籽油菜无活力花粉的比率(50.6%)明显高于黑籽油菜(33.3%)。由此表明, 黄籽油菜的花粉活力较黑籽油菜的对低硼胁迫更敏感。

表 5 不同硼处理对甘蓝型黄、黑籽油菜花粉活力的影响

Table 5 Effect of different boron treatments on viability of pollens of yellow-seeded and black-seeded rapeseeds (*Brassica napus* L.)

基因型 Genotype	处理 Treatment	观察花粉粒数 Pollen grain number observed	完全染色粒数 Stained completely grains	部分染色粒数 Stained partly grains	不染色粒数 Not stained grains
L1	NB	92	70 (76.1% a)	17 (18.5% b)	5 (5.43% b)
	LB	83	20 (24.1% b)	21 (25.3% a)	42 (50.6% a)
L2	NB	102	87 (85.3% a)	10 (9.80% b)	5 (4.90% b)
	LB	78	30 (38.5% b)	22 (28.2% a)	26 (33.3% a)

注: 括号内的数值为百分比 Notes: The values in the bracket were percentage

2.4 低硼对甘蓝型油菜黄、黑籽花器官中含氮及碳水化合物含量的影响

2.4.1 对花器官中含氮化合物含量的影响

花粉中游离脯氨酸含量与育性密切相关^[8]。正常施硼情况下, 雄蕊内积累有大量的游离脯氨酸, 而不育的雄蕊内脯氨酸代谢异常, 导致游离脯氨酸含量缺乏。表 6表明, 低硼胁迫后 L1雄蕊和雌蕊中的游离脯氨酸含量显著降低, 分别较正常施硼处理低 60.6%和 81.5%; 而 L2的变化小于 L1, 其雄蕊和雌

蕊中的游离脯氨酸含量仅降低 21.9%和 27.3%。

可溶性蛋白质包含有植物体内多种重要的酶类, 对雄蕊和雌蕊正常生长发育及整个有性生殖过程均具有十分重要的意义。低硼处理也使油菜雄蕊和雌蕊中的可溶性蛋白质含量明显降低, 且黄、黑籽之间的差异十分显著(表 6)。L1雄蕊和雌蕊中的可溶性蛋白质含量分别降低 33.6%和 51.8%, 而 L2分别降低 17.3%和 12.0%, 可见黄籽油菜的下降幅度较黑籽油菜大。

表 6 低硼对不同粒色类型甘蓝型油菜花器官中游离脯氨酸和可溶性蛋白质含量的影响

Table 6 Effect of low soil boron content on concentrations of free proline and soluble protein in floral organs of yellow and black-seeded rapeseeds (*Brassica napus* L.)

基因型 Genotype	处理 Treatment	游离脯氨酸 Free proline (%)		可溶性蛋白质 Soluble protein (%)	
		雄蕊 Stamen	雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	雌蕊 Pistil
L1	NB	2.13 b	0.27 a	6.37 a	3.67 a
	LB	0.84 c	0.05 c	4.23 b	1.77 c
L2	NB	3.61 a	0.33 a	6.81 a	3.76 a
	LB	2.82 b	0.24 b	5.63 b	3.31 b

2.4.2 对花器官中碳水化合物含量的影响

碳水化合物是花器官生长发育的能量来源和物质基础, 正常情况下, 花器官在发育过程中会积累丰富的可溶性糖和淀粉, 雄蕊和雌蕊中碳水化合物不足必然会影响花粉粒和胚囊的发育、受精和结实。由表 7可知, 低硼胁迫处理后甘蓝型油菜雄蕊和雌蕊中的可溶性糖

和淀粉含量均显著降低, 雄蕊中的降低幅度较雌蕊更大, 黄籽油菜受低硼胁迫的影响较黑籽油菜更加明显。低硼胁迫处理下, L1雄蕊中的可溶性糖和淀粉含量分别降低 65.3%和 48.2%, 而 L2降低 53.0%和 32.6%。L1雌蕊中可溶性糖和淀粉含量分别降低 56.3%和 25.5%, L2分别下降 41.5%和 9.47%。

表 7 低硼对甘蓝型黄、黑籽油菜花器官中可溶性糖和淀粉含量的影响
 Table 7 Effect of low soil born content on concentrations of soluble sugar and starch in floral organs of yellow-seeded and black seeded rapes(*Brassica napus* L.)

基因型 G genotype	处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar(%)		淀粉 Starch(%)	
		雄蕊 Stamen	雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	雌蕊 Pistil
L1	NB	18.4 a	7.01 a	2.26 a	3.77 a
	LB	6.39 c	3.06 b	1.17 b	2.81 b
L2	NB	11.76 b	4.65 b	1.38 b	2.64 b
	LB	5.53 c	2.72 b	0.93 c	2.39 b

3 讨 论

缺硼对油菜生殖器官影响的研究已广为报道。缺硼可导致油菜花蕾失绿发黄,甚至枯萎、脱落^[11];花器较瘦小,子房及花萼绿色变淡,花瓣、花药的黄色变淡^[19];花的各部分发育异常^[7, 12, 13]。研究表明,低硼胁迫下雌蕊和花药中的可溶性蛋白质、淀粉及核糖含量减少^[7, 8, 12];子房和子房柄中的氨基酸、营养元素含量也发生改变^[7, 12]。本试验也发现,无论是黄籽油菜还是黑籽油菜,低硼胁迫均会致使其花序的花蕾黄化,甚至脱落,造成“死蕾”现象,花器官形态变小,干重下降;甘蓝型黄、黑籽油菜花粉粒的活力、雄蕊和雌蕊中的可溶性糖、淀粉、游离脯氨酸以及可溶性蛋白质含量在低硼胁迫处理后明显降低。这进一步证实,硼为油菜花器官正常生长发育所必需,低硼胁迫会导致油菜生殖生长受到较大影响。硼对光合产物在植物体内的分配和转运起着重要作用^[24],低硼胁迫条件下,从功能叶分配到上部幼嫩部位的光合产物大幅降低,从而造成叶片中的同化产物大量积累。这可能是本试验中低硼导致黄、黑籽油菜中、上部叶片的 N、P、K 养分含量降低,而下部叶片 N、P、K 养分含量增加的重要原因。

大量研究表明,在相同的低硼胁迫条件下,油菜花器官发育和结实性对低硼的反应在基因型之间有显著差异^[15~20],一般来说,单低(低芥酸)或双低(低芥酸、低硫甙)的油菜品种对低硼胁迫反应较为敏感,耐低硼能力差^[25]。以黄籽油菜为材料,探讨其硼素营养特性及对低硼胁迫敏感性的研究少见报道。本试验结果显示,正常施硼时,黄籽油菜花器官及叶片的含硼量均大于黑籽,而在低硼胁迫条件下,由于其含硼量的降幅大于黑籽,导致最终其花器官和叶片中的含硼量低于黑籽。由此可见,

黄籽油菜体内的含硼量更易受外界硼素营养水平的影响,而黑籽油菜体内含硼量的变化较黄籽小,相对更为稳定。上述结果表明,黄籽油菜对低硼胁迫可能更为敏感。由于硼素与植物体内碳水化合物的运输关系密切,因此,低硼胁迫条件下,对硼素更为敏感的黄籽油菜对养分再分配和运转的能力差,这可能是导致黄籽油菜中、上部叶片获得的养分相对较少的重要原因。本研究还发现,低硼处理对黄籽油菜雌、雄蕊长度的影响大于黑籽油菜;低硼使甘蓝型油菜花器官中的碳水化合物(可溶性糖、淀粉)、含氮化合物(游离脯氨酸、可溶性蛋白质)含量以及花粉活力降低,但黄籽油菜的降低幅度明显大于黑籽油菜。另外,低硼胁迫处理的油菜小区产量明显降低,且黄籽油菜的降低幅度亦大于黑籽油菜(相关研究结果将另文报道)。这进一步表明,甘蓝型黄籽油菜较黑籽油菜更易受低硼胁迫的影响,似乎对低硼更为敏感。因此,在生产上推广甘蓝型黄籽油菜品种时,更应该注意对缺硼的预防。

不同油菜品种花器官发育和结实性对低硼胁迫的响应差异既由遗传因素(对硼敏感的基因型)决定,同时也受环境因素影响,因此本试验所得出的结论是否与基因型有关,或者与供试材料有关,还有待于后续研究进一步验证。此外,黄籽油菜的含油量高于相同遗传背景下的黑籽油菜,其对硼素的敏感性是否与其高含油量有一定关系,值得深入探讨。

参 考 文 献

- [1] 甘功勋,魏竹涟,林树春. 黄籽油菜的选育和含油量的研究. 种子, 1989(6): 12~15 Gan G X, Wei Z L, Lin S C. Study of breeding of the yellow rape seed and content oil(In Chinese). Seed, 1989(6): 12~15
- [2] 张子龙,李加纳,唐章林,等. 环境条件对油菜品质的调控研究. 中国农学通报, 2006 22(2): 124~129 Zhang Z L, Li J

- N, Tang Z L, *et al* The research progress of the effect of environmental factors on quality characters of rapeseed (In Chinese). Chinese Agronomy Science Bulletin, 2006, 22(2): 124~129
- [3] 刘雪平, 涂金星, 陈宝元, 等. 甘蓝型黄籽油菜研究进展. 中国油料作物学报, 2005, 27(2): 87~91. Liu X P, Tu JX, Chen B Y, *et al* Development of study on yellow seed rapeseed (*Brassica napus* L.) (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2005, 27(2): 87~91
- [4] 刘后利. 甘蓝型黄籽油菜的遗传研究. 作物学报, 1992, 18(4): 241~249. Liu H L. Study on the inheritance of yellow-seeded *Brassica napus* L. (In Chinese). Acta Agronomica Sinica, 1992, 18(4): 241~249
- [5] 陈功华, 田森林, 刘淑艳. 黄籽油菜的育种及推广. 作物研究, 2005, 19(2): 126~128. 131. Chen G H, Tian S L, Liu S Y. Breeding and extension of yellow-seeded rapeseed (*Brassica napus* L.) (In Chinese). Crop Research, 2005, 19(2): 126~128, 131
- [6] W arington K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Annals of Botany, 1923, 37: 229~262
- [7] 沈振国, 张秀省, 王震宇, 等. 硼素营养对油菜花粉萌发的影响. 中国农业科学, 1994, 27(1): 51~56. Shen Z G, Zhang X S, Wang Z Y, *et al*. On the relationship between boron nutrition and development of anther (pollen) in rapeseed plant (In Chinese). Scientia Agriculura Sinica, 1994, 27(1): 51~56
- [8] 耿明建, 曹享云, 朱端卫, 等. 硼对甘蓝型油菜不同品种花期生理特性的影响. 中国油料作物学报, 1998, 20(1): 70~73. Geng M J, Cao X Y, Zhu D W, *et al*. Effects of boron deficiency on physiological characteristics of different rape (*Brassica napus* L.) cultivars at flowering stage (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1998, 20(1): 70~73
- [9] A sad A, Bell R W, Dell B, *et al*. External boron requirements for Canola (*Brassica napus* L.) in boron buffered solution culture. Annals of Botany, 1997, 80: 65~73
- [10] Wei Y Z. Critical range of soil boron for prognosis of boron deficiency in oilseed rape. Pedosphere, 2001, 11(3): 283~288
- [11] 王玉芹, 刘昌智, 邓洪民. 应用¹⁰B研究不同油菜品种花器官的硼素基因型差异. 中国油料, 1993, 15(4): 11~14. Wang Y Q, Liu C Z, Deng H M. Studying on the genetic variation of boron nutrition on floral organs among rapeseed varieties by using ¹⁰B (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop, 1993, 15(4): 11~14
- [12] 褚天铎, 陈家驹, 刘昌智, 等. 油菜缺硼花而不实原因的探讨. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 23~31. Chu T D, Chen J J, Liu C Z, *et al*. Study on reason of floral sterility of rape under boron deficient condition (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(1): 23~31
- [13] 徐汉卿, 黄清渊, 沈康, 等. 硼对油菜雄蕊、雌蕊发育影响的解剖学研究. 植物学报, 1993, 35(6): 453~457. Xu H Q, Huang Q Y, Shen K, *et al*. Anatomical studies on the effects of boron on the development of stamen and pistil of rape (*Brassica napus* L.) (In Chinese). Acta Botanica Sinica, 1993, 35(6): 453~457
- [14] 李宝珍, 王正银, 李加纳, 等. 氮磷钾硼对甘蓝型黄籽油菜产量和品质的影响. 土壤学报, 2005, 42(3): 479~487. Li B Z, Wang Z Y, Li J N, *et al*. Effect of nitrogen phosphorus potassium and boron on yield and quality of yellow-seeded rapeseed (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(3): 479~487
- [15] 林敏抒, 杨玉爱. 油菜不同品种耐低硼胁迫差异的研究. 浙江农业大学学报, 1999, 25(3): 329~332. Lin M S, Yang Y A. The genotypic difference of rape (*Brassica napus* L.) to the stress of boron deficiency (In Chinese). Journal of Zhejiang Agricultural University, 1999, 25(3): 329~332
- [16] 徐芳森, 王运华, 李建春. 甘蓝型油菜不同硼效率品种对缺硼反应的研究. 华中农业大学学报, 1998, 17(1): 55~60. Xu F S, Wang Y H, Li J C. Responses of different boron efficient cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) to boron deficiency (In Chinese). Journal of Huangzhong Agricultural University, 1998, 17(1): 55~60
- [17] 王运华, 兰蓬芳. 甘蓝型油菜品种对缺硼敏感性差异的研究(I). 华中农业大学学报, 1995, 21(增): 71~78. Wang Y H, Lan L F. A study on the boron efficiency of rape (*Brassica napus* L.) (I) (In Chinese). Journal of Huangzhong Agricultural University, 1995, 21(Suppl): 71~78
- [18] 彭青枝, 皮美美, 刘武定. 对缺硼反应不同的芥菜型油菜品种的筛选. 华中农业大学学报, 1995, 21(增): 92~97. Peng Q Z, Pi M M, Liu W D. Screening of rape cultivars in response differently to B-deficiency (In Chinese). Journal of Huangzhong Agricultural University, 1995, 21(Suppl): 92~97
- [19] 彭青枝, 皮美美, 刘武定, 等. 芥菜型油菜不同品种硼吸收与分配的差异. 华中农业大学学报, 1995, 21(增): 98~102. Peng Q Z, Pi M M, Liu W D, *et al*. A study on boron absorption and distribution of two rape (*Brassica juncea*) cultivars (In Chinese). Journal of Huangzhong Agricultural University, 1995, 21(Suppl): 98~102
- [20] 胡秋辉, 徐光壁, 史瑞和. 不同油菜品种硼素营养的遗传性差异机理研究. 南京农业大学学报, 1990, 13(1): 80~86. Hu Q H, Xu G B, Shi R H. Study on the inheritable difference on boron nutrition of different cultivars of oilseed rape (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1990, 13(1): 80~86
- [21] 杨玉华, 夏运生, 杜昌文, 等. 不同硼效率油菜品种营养生长需硼量的差异. 中国油料作物学报, 2005, 27(1): 69~72. Yang Y H, Xia Y S, Du C W, *et al*. Different requirement for boron by seedling of different B-efficient rape cultivars (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2005, 27(1): 69~72
- [22] 张宪政. 作物生理研究法. 北京: 农业出版社, 1990, 150~152. Zhang X Z. Methods of Crop Physiology Study (In Chinese). Beijing Agriculture Press, 1990, 150~152
- [23] 郝再彬. 植物生理实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004, 67~68, 104~106. Hao Z B. Experiments of Plant Physiology (In Chinese). Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004, 67~68, 104~106
- [24] Gaud H G, Dugger W H. The role of boron in the translocation of sucrose. Plant Physiology, 1953, 28: 457~467
- [25] 刘鹏, 杨玉爱. 油菜在低硼胁迫下的生理反应研究进展. 中国油料作物学报, 1999, 21(1): 74~78. Liu P, Yang Y A. The

research development of physiological response of rape in the stress of low boron (in Chinese). Chinese Journal of Oil Crop

Sciences 1999 21(1): 74~78

EFFECTS OF LOW SOIL BORON CONTENT ON PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF YELLOW - AND BLACK-SEEDED RAPE (*BRASSICA NAPUS* L.) AT FLOWERING STAGE

Zhang Zilong Li Jiana[†]

(College of Agronomy and Biotechnology, Southw est University, Chongqing 400716 China)

Abstract Rape (*Brassica napus* L.) is sensitive to boron deficiency and usually gets depressed in production when it becomes severe. Boron deficiency restrains reproductive growth more than vegetative growth of rape. Yellow-seeded rape (*Brassica napus* L.) is characterized by thinner seed coat and lower hull percentage, which is correlated with higher oil, high protein, and lower crude fiber contents as is compared with black-seeded rape. Therefore, breeding of yellow-seeded rape has become one of the main objectives in rapeseed production. To realize that target, it is important to explore physiological characteristics of yellow-seeded rape in soils low in boron content at the flowering stage, and differences between yellow-seeded and black-seeded rapes. Two isogenic genotypes of rapes, yellow-seeded and black-seeded rapes (*Brassica napus* L.) were used in a field experiment for that purpose. Results show that in soils low in boron content, black-seeded rape was more capable than yellow-seeded rape of redistributing N, P and K in bottom leaves of the plants. Low soil boron content led to reduction of size and dry weight of floral organs of either yellow-seeded or black-seeded rape, affected the lengths of pistil and stamen more of yellow-seeded rape than of black-seeded rape, and dulled the viability of pollens of both rape genotypes, but the effect was more obvious on yellow-seeded rape than on black-seeded rape. Besides, low soil boron content lowered the contents of soluble sugar, starch, free proline and soluble protein in the stamen and pistils of both rape genotypes, but the effect was more significant on yellow-seeded rape than black-seeded one. Compared to black-seeded rape, yellow-seeded rape was more sensitive to boron deficiency.

Key words Yellow-seeded rape (*Brassica napus* L.); Black-seeded rape (*Brassica napus* L.); Low soil boron content; Flowering stage; Physiological characters