

生殖生长期遮阴对大豆脂肪酸积累动态的影响

刘 兵^{1,2,3}, 王 程¹, 金 剑¹, 刘居东¹, 张秋英¹, 刘晓冰¹, S J Herbert⁴

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土生态黑龙江省重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049; ³ 吉林师范大学生命科学学院, 吉林 四平 136000; ⁴ 美国麻省大学植物与土壤科学系, Amherst, MA, 01003, USA)

摘 要:大豆脂肪酸组分及配比影响大豆油脂的营养价值和贮运加工环节,是决定大豆油脂品质的最重要因素。尽管品种的遗传特性决定着脂肪酸各组分含量高低,生态环境通过影响脂肪酸的积累动态,同样影响着脂肪酸的含量。以品质不同的3个大豆品种(系)为材料,研究了生长生殖期遮阴对大豆籽粒发育过程脂肪酸各组分积累动态的影响。遮阴显著降低了黑农35和垦农18成熟籽粒内的棕榈酸和硬脂酸的含量(降幅达1.51%),并显著升高了亚油酸的含量(升幅达2.02%);与此相反,遮阴升高了海339大豆成熟籽粒内棕榈酸和硬脂酸含量(升幅达1.01%),并显著降低了亚油酸含量(降幅达2.63%)。与对照相比,遮阴升高了海339大豆成熟籽粒内油酸含量(升幅达2.01%),但降低了黑农35成熟籽粒内油酸含量(降幅达1.72%),对垦农18成熟籽粒内油酸含量无影响。遮阴对大豆各脂肪酸组分含量动态的影响,因大豆品质和脂肪酸组分的不同而各异。开花后30 d是遮阴影响大豆籽粒内各脂肪酸组分积累的关键期,表明大豆群体过早郁闭将影响到大豆脂肪酸的品质,应根据不同品质大豆脂肪酸积累的生理特性确定合理的群体栽培管理措施。

关键词:大豆;生殖生长期;遮阴;脂肪酸

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)01-0053-06

Effects of Shade during Reproductive Stage on Accumulation of Fatty Acids in Soybean Seed

LIU Bing^{1,2,3}, WANG Cheng¹, JIN Jian¹, LIU Ju-dong¹, ZHANG Qiu-ying¹, LIU Xiao-bing¹, S J Herbert⁴

(¹ Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; ² Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; ³ College of Life Science, Jilin Normal University, Siping 136000 China, Jilin; ⁴ Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003, USA)

Abstract: The component and proportion of fatty acids in soybean influence nutritious value of soybean oil, storage, transportation and facture, and it is the most important factor that decided quality of soybean oil. Although their composition and ratio are determined by genetic characteristics, environment can influence content of fatty acids through changing the accumulation process. Three soybean cultivars differing in quality characters were used to investigate the responses of accumulation process of fatty acids to shade during the reproductive period. Shade decreased palmitic acid and stearic acid content of cultivars HN35 and KN18 by 1.51%, while linolenic acid content was increased by 2.02%; However, shade increased palmitic acid and stearic acid content of line H339 by 1.01%, and decreased linoleic acid by 2.63%. Compared with the natural light, shade increased oleic acid content of line H339 by 2.01%, but decreased oleic acid content of cultivar HN35 by 1.72%. Shade had no effect on oleic acid content in cultivar KN18. Shade influenced accumulation process of fatty acids significantly, whereas differences existed among cultivars and composition of fatty acids. Thirty days after flowering is the key phase that shade influences fatty acids accumulation, i. e. early soybean population closure influences the quality characters of fatty acids. It is a good approach to manage planting population based on physiological characters of fatty acids accumulation in soybean cultivars.

Key words: Soybean; Reproductive stage; Shade; Fatty acid

收稿日期:2008-09-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30671315);黑龙江省杰出青年科学基金资助项目(JC200617);哈尔滨市留学回国基金资助项目(2005AFL-Y-J-003)

作者简介:刘兵(1978-),男,博士研究生,研究方向为作物生理生态学。E-mail: liubing3562@126.com。

通讯作者:刘晓冰,研究员,博士生导师。E-mail:xbxliu@yahoo.com。

大豆油脂由脂肪酸和甘油组成,其中脂肪酸占油脂总量的 90% 以上,是油脂的主要成分。脂肪酸是由饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)与不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸)组成。不饱和脂肪酸为人体所必需,在清除人体过氧化物、增强免疫力、预防糖尿病等方面有着十分重要的意义。脂肪酸既是细胞膜脂的主要成分,又是重要的能源物质,还是是一些信号分子的前体。亚麻酸具有三个不饱和双键,极易于氧化使油质变劣而不利贮运。因此,大豆脂肪酸含量、组分及配比直接关系到大豆油脂的营养价值和贮运加工环节,是决定大豆油脂品质的最重要因素。在开展大豆品质育种时应同时以提高脂肪酸含量和改良大豆脂肪酸组分配比为目标,许多学者对大豆脂肪酸组分变异状况开展了研究。徐豹等^[1]报道野生大豆的亚麻酸含量与地理纬度呈显著正相关,与棕榈酸、硬脂酸呈显著和极显著负相关。吕景良等^[2]研究表明:硬脂酸、油酸和亚麻酸含量,在不同荚色品种间差异显著,棕榈酸含量在不同茸毛色品种间差异显著。张敬荣、高继国等^[3]报道,大豆结荚期干旱将导致籽粒油酸含量显著升高而棕榈酸含量极显著下降。Sangwan 等^[4]认为大豆籽粒发育时,高温能提高油酸含量,尤其是收获前 4 周内,温度愈高,油酸/亚油酸比值愈高,因为高温不利于亚油酸合成。马淑英等^[5]结果表明:平均气温与亚油酸呈显著负相关,平均降水量与硬脂酸呈极显著的正相关,与亚油酸及不饱和脂肪酸呈显著的负相关。Howell 和 Carver 等^[6-7]表明,在大豆籽粒发育期,低温有利于亚麻酸和亚油酸的形成。Harwkins 等^[8]在 2 种环境 7 个地点进行试验,结果表明在高温区大豆的亚油酸和亚麻酸含量较低而油酸含量高。尽管从大豆脂肪酸的遗传特性、栽培措施、生态环境等方面开展了许多有益的研究工作,但对大豆籽粒发育过程中,脂肪酸组分的变化及其相关研究尚不多见,特别是遮阴胁迫对大豆籽粒脂肪酸各组分变化的影响研究未见报道。以不同品质大豆为材料,研究了生殖生长期遮阴对大豆籽粒发育过程中脂肪酸组分变化的影响,旨在深刻了解大豆发育过程中不同脂肪酸的积累过程、组分变化及其相关关系,为大豆品质育种与优质栽培技术的制定提供科学依据。

1 材料和方法

选取海 339、黑农 35 和垦农 18 3 个大豆品种(系),分别代表普通、高蛋白和高脂肪品质的大豆。

试验地点设在中国科学院海伦农业生态实验站(N47°27',E126°56'),该站冬季寒冷漫长,春季多风低温,夏季雨热同季,年平均气温 1.5℃,年平均降水量 530 mm 左右。在 27 万株·hm⁻² 种植密度下,随机区组排列,3 次重复。每个小区面积为 17.5 m²,垄作方式,垄宽 0.67 m。2007 年 5 月 7 日人工播种,播种前按尿素 50 kg·hm⁻² (N 46%)、二铵 50 kg·hm⁻² (N 18%、P₂O₅ 46%)、“三元素”150 kg·hm⁻² (N 18%、P₂O₅ 16%、K₂O 16%)施底肥,其他各项田间管理同大田。于始花期(R1)进行遮阴处理。遮阴处理是在试验田里支撑起 2 m 高的棚,其上覆盖遮阳网进行遮光,可减少相当于自然光照的 25% 左右的光照。从开花期后 20 d 开始每隔 10 d 取样一次,取样选取挂牌的中部固定节位籽粒。样品在室内及时剥出籽粒,在烘箱内 105℃ 杀青后,于 70 ~ 80℃ 烘至恒重,粉碎过筛。

用脂肪酸甲脂的气相色谱法测定脂肪酸含量^[9]。利用 SPSS 系统进行统计分析,用 Sigma Plot 2000 作图。

2 结果与分析

2.1 遮阴对大豆籽粒发育过程中各脂肪酸组分含量变化的影响

从图 1-5 可看出,遮阴胁迫影响大豆成熟籽粒中各脂肪酸组分的最终含量。与对照相比,遮阴显著降低了黑农 35 和垦农 18 大豆成熟籽粒内的棕榈酸和硬脂酸的含量,降幅达 1.51%,并显著升高了亚油酸的含量,升幅达 2.02%。与以上恰恰相反,遮阴升高了海 339 大豆成熟籽粒内的棕榈酸和硬脂酸的含量,升幅达 1.01%,并显著降低了亚油酸的含量,降幅达 2.63%。与对照相比,遮阴升高了海 339 大豆成熟籽粒内油酸的含量,升幅达 2.01%,但降低了黑农 35 大豆成熟籽粒内油酸的含量,降幅达 1.72%,对垦农 18 大豆成熟籽粒内油酸含量无影响。从图 5 还可看出,遮阴对成熟大豆籽粒内亚麻酸含量影响最小。遮阴不仅对成熟籽粒内脂肪酸各组分最终含量影响不同,而且对脂肪酸各组分的积累动态产生不同影响。

2.1.1 棕榈酸 从整个动态变化过程来看,遮阴一致增加了海 339 棕榈酸含量,也增加黑农 35 开花后 20 ~ 50 d 内棕榈酸含量,其中在开花后 30 d 时,升高幅度最大,分别使海 339 和黑农 35 大豆籽粒内棕榈酸含量升高 21.0% 和 10.8%。与对照相比,遮阴

使高油品种大豆垦农 18 籽粒内棕榈酸含量呈降- 籽粒内棕榈酸含量降低 12.1% (图 1)。升-降的趋势,其中在开花后 30 d 时,遮阴使垦农 18

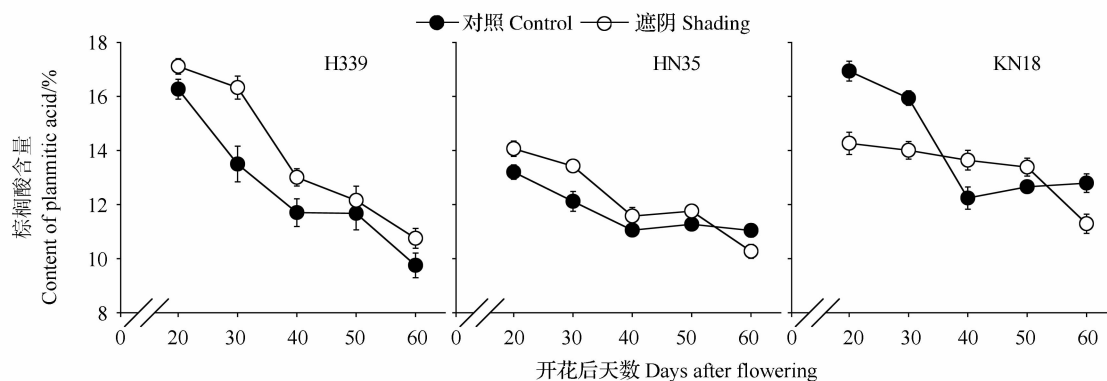


图 1 遮阴对三种大豆籽粒形成过程中棕榈酸含量动态变化的影响

Fig. 1 Effects of shade on changes of palmitic acids contents in three soybean cultivars during seed filling

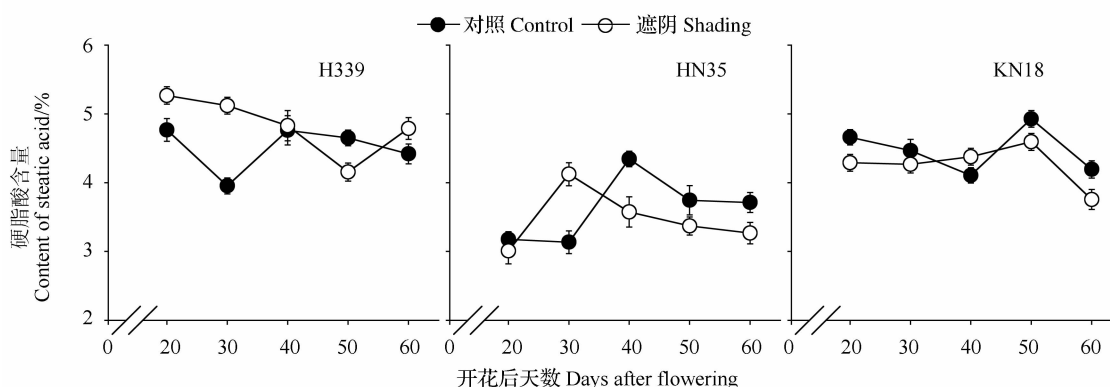


图 2 遮阴对三种大豆籽粒形成过程中硬脂酸含量动态变化的影响

Fig. 2 Effects of shade on changes of stearic acids contents in three soybean cultivars during seed filling

2.1.2 硬脂酸 从图 2 可看出,在开花后 20~30 d 期间,与对照相比,遮阴可升高海 339 和黑农 35 大豆籽粒内硬脂酸含量,但降低了垦农 18 籽粒内硬脂酸含量。在开花后 30~50 d 内,对照条件下,海 339 和黑农 35 籽粒内硬脂酸含量呈上升趋势,但遮阴下

它们呈下降趋势。在开花后 30 d 时,遮阴使得海 339 和黑农 35 大豆籽粒内硬脂酸含量分别上升 29.5% 和 31.6%,遮阴使垦农 18 大豆籽粒内硬脂酸含量下降 4.4%。可以推测开花后 30 d 是大豆脂肪酸积累对外界环境敏感的关键时期。

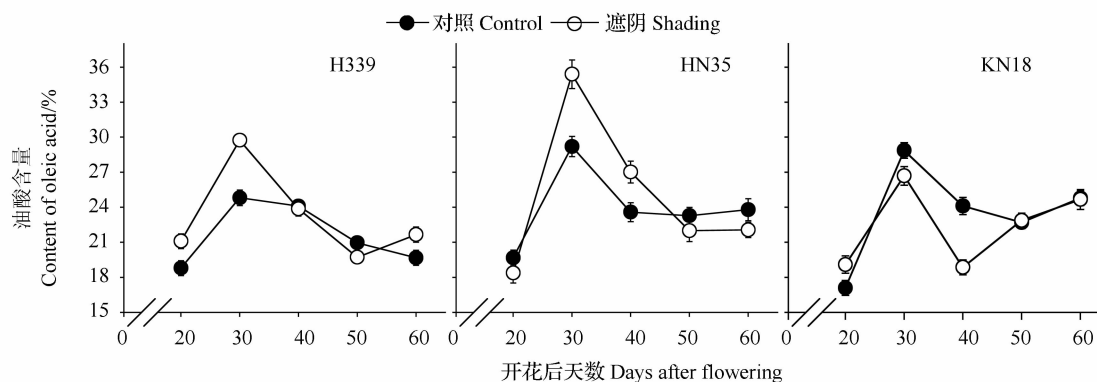


图 3 遮阴对三种大豆籽粒形成过程中油酸含量动态变化的影响

Fig. 3 Effects of shade on changes of oleic acids contents in three soybean cultivars during seed filling

2.1.3 油酸 从图 3 可看出,在开花后 20~40 d 期间,与对照相比,遮阴使得海 339 和黑农 35 籽粒内油酸含量显著上升。其中在开花后 30 d,其峰值要显著高于对照升幅达 19.9%~22.2%。但在

开花后 40 d,遮阴使垦农 18 籽粒内油酸含量骤然下降,其低谷值显著低于对照达 21.8%,这可能是不同品质大豆对遮阴胁迫的反应差异性。

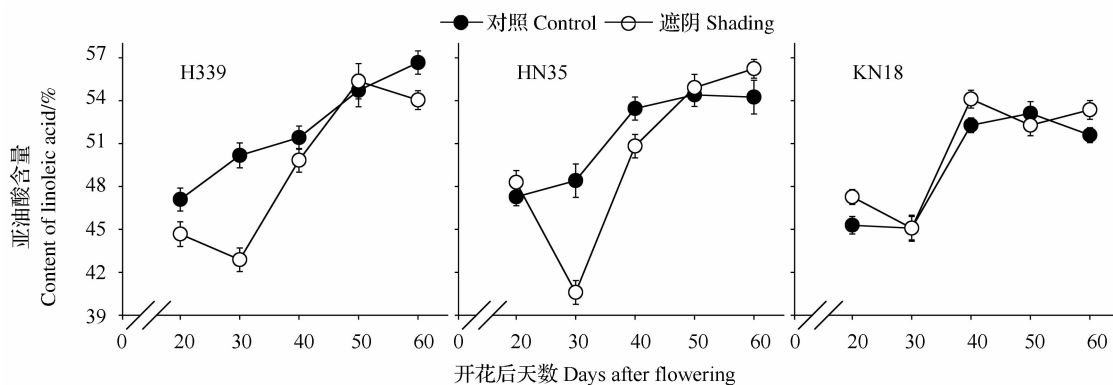


图 4 遮阴对三种大豆籽粒形成过程中亚油酸含量动态变化的影响

Fig. 4 Effects of shade on changes of linoleic acids dcontents in three soybean cultivars during seed filling

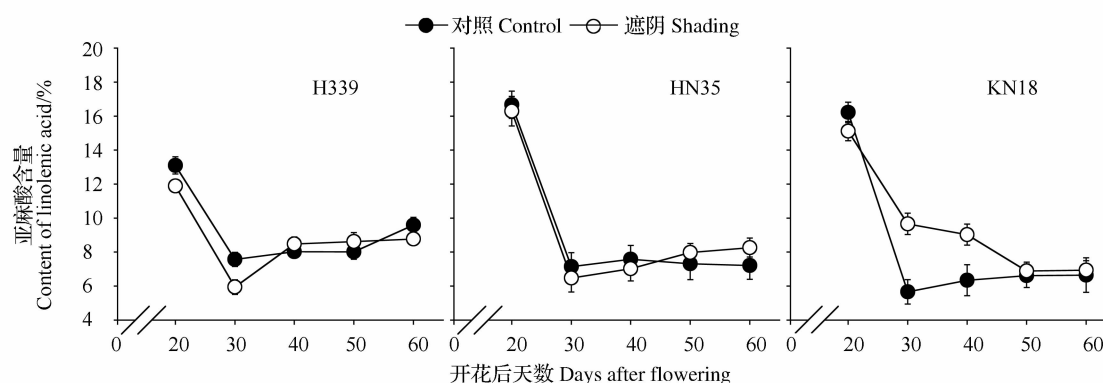


图 5 遮阴对三种大豆籽粒形成过程中亚麻酸含量动态变化的影响

Fig. 5 Effects of shade on changes of linolenic acids contents in three soybean cultivars during seed filling

2.1.4 亚油酸 从图 4 可看出,在开花后 20~50 天期间,与对照相比,遮阴降低了海 339 和黑农 35 大豆籽粒内亚油酸含量。在开花后 30 d 时,与对照相比,遮阴使海 339 和黑农 35 品种大豆籽粒内亚油酸骤然下降(降幅达 14.5%~16.1%),但对此时垦农 18 大豆籽粒内亚油酸含量无影响。

2.1.5 亚麻酸 遮阴对黑农 35 品种大豆亚麻酸变化过程影响较弱,但在开花后 20~40 d,与对照相比,遮阴使得海 339 大豆籽粒内亚麻酸含量略有下降,而使垦农 18 大豆籽粒内亚麻酸含量显著上升。在开花后 30 d,与对照相比,遮阴使得海 339 和黑农 35 大豆籽粒内亚麻酸含量分别下降 21.5% 和 9.4%,而遮阴使垦农 18 大豆籽粒内亚麻酸含量显著上升 41.4%。遮阴改变了脂肪酸各组分的积累动态,在不同品质大豆间表现不同(图 5)。

2.2 大豆籽粒发育过程中脂肪酸各组间的相关性

由表 1 可见,三个品质不同大豆在籽粒发育过程中各脂肪酸组分间的相关性有相似性,但是也有不同之处。对照下,三个品种大豆籽粒发育过程中棕榈酸均与亚油酸呈现显著或极显著的负相关($r = -0.944$ 、 -0.936 、 -0.972);不同在于:硬脂酸和亚油酸在海 339 和垦农 18 中呈负相关($r = -0.850$ 、 -0.135),而在黑农 35 中呈正相关($r = 0.794$),但均未达到显著程度。油酸和亚麻酸在垦农 18 中呈现显著负相关($r = -0.883$)。

遮阴改变了大豆籽粒发育过程中各脂肪酸组分间的相关性。与对照相比,遮阴使得海 339 中的硬脂酸和油酸由负相关($r = -0.492$)变为正相关($r = 0.502$)。同样,与对照相比,遮阴使得黑农 35 中的

棕榈酸和亚油酸由负相关($r = -0.936$)变为正相关($r = 0.776$),而使得硬脂酸和油酸由弱负相关($r = -0.150$)变为显著正相关($r = 0.992$)。与对照相比,遮阴使得垦农 18 中棕榈酸和亚油酸的极显著负

相关($r = -0.972$)、油酸和亚麻酸的显著负相关($r = -0.883$)程度减弱,分别降低到普通负相关($r = -0.597$ 、 -0.503)。

表 1 对照和遮阴下大豆籽粒发育过程中各脂肪酸组分间的相关系数 (r)

Table 1 Correlation coefficient of fatty acids during seed filling under shading

品种 Variety	处理 Treatment	A - B	A - C	A - D	A - E	B - C	B - D	B - E	C - D	C - E	D - E
海 339	对 照 Control	0.104	-0.136	-0.944 *	0.621	-0.492	-0.850	0.454	-0.107	-0.785	-0.491
Hai 339	遮 阴 Shade	0.730	0.451	-0.933 *	0.159	0.502	-0.864	0.179	-0.692	-0.743	0.057
黑农 35	对 照 Control	-0.789	-0.283	-0.936 *	0.869	-0.150	0.794	-0.472	-0.027	-0.710	-0.684
Heinong 35	遮 阴 Shade	0.120	0.151	0.776	0.555	0.992 **	-0.673	-0.737	-0.718	-0.691	-0.001
垦农 18	对 照 Control	0.312	-0.271	-0.972 **	0.673	-0.382	-0.135	0.320	0.071	-0.883 *	-0.522
Kenning 18	遮 阴 Shade	0.765	-0.363	-0.597	0.648	-0.345	-0.115	0.128	-0.327	-0.503	-0.607

A: 棕榈酸; B: 硬脂酸; C: 油酸; D: 亚油酸; E: 亚麻酸; *, ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著。

A: Palmitic acid; B: Stearic acid; C: Oleic acid; D: Linoleic acid; E: Linolenic acid; *, ** Significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

3 讨论

大豆脂肪酸的组分及其配比影响着大豆油的品质。有关大豆籽粒发育进程中脂肪酸形成的研究^[10-12]表明,籽粒形成初期先形成饱和脂肪酸,然后由饱和脂肪酸转化为不饱和脂肪酸。随大豆籽粒发育进程,饱和脂肪酸相对含量降低,而不饱和脂肪酸相对含量增加的状况支持这一结论。有关籽粒发育过程中棕榈酸和亚麻酸含量的下降,油酸和亚油酸含量上升的变化研究结果也与徐杰等^[13]的结论一致。但徐杰等研究认为,硬脂酸相对含量最终增加,马淑英等^[9]则认为,硬脂酸含量在花后 20 d 突然下降,此后一致呈现下降趋势。研究发现,无论在对照和遮阴下,海 339 和垦农 18 的硬脂酸相对含量最终下降,但黑农 35 的最终硬脂酸相对含量上升,这种反应差异可能与选用品种的熟期及大豆品质有关。

研究证明,遮阴显著影响大豆籽粒脂肪酸各组分的积累动态。在开花 20~40 d,遮阴有增加普通品种和高蛋白品种棕榈酸、硬脂酸和油酸含量趋势和降低亚油酸含量的趋势,但对亚麻酸含量影响较弱;遮阴有降低高油品种(垦农 18)棕榈酸、硬脂酸和油酸含量趋势和升高亚麻酸含量的趋势,但对亚油酸含量影响较弱。庄无忌等^[14]报道,不同进化类型大豆的脂肪酸含量因进化程度的不同而各异,野生大豆与栽培大豆的脂肪酸含量明显不同,脂肪酸各组分积累的方式各异。通过遮阴胁迫实验,认为即使在栽培大豆中不同品质的大豆脂肪酸各组分积累模式也有差异。

大豆籽粒发育过程中脂肪酸各组分的积累有其内在相关性,遮阴对各脂肪酸组分的相关性产生较大影响,汤文通等指出棕榈酸与硬脂酸含量呈正相关,与亚油酸及亚麻酸呈负相关^[15];马淑英等则认为,棕榈酸与硬脂酸和亚麻酸呈正相关,与油酸和亚油酸呈负相关^[9];研究认为棕榈酸与亚油酸呈负相关,与亚麻酸呈正相关,与硬脂酸相关性因品种各异。结果还表明,油酸与亚油酸和亚麻酸均呈负相关,亚油酸与亚麻酸也呈负相关,这与苗保河等^[16]的研究结果基本一致。张思河等^[17]研究认为,发育着的籽粒中,油酸与亚麻酸,硬脂酸与油酸之间关系并不显著。在对照下,垦农 18 的油酸与亚麻酸呈显著负相关($r = 0.883$),在遮阴下黑农 35 的硬脂酸与油酸呈现显著正相关($r = 0.992$)。这表明遮阴改变了脂肪酸各组分的积累模式,从而进一步影响了脂肪酸各组分之间的相关性。

研究表明,遮阴导致三个品种大豆的棕榈酸和硬脂酸间的负相关性或弱正相关($r = 0.104$ 、 -0.789 、 0.312)变化为较强的正相关($r = 0.703$ 、 0.120 、 0.765)。遮阴也导致三个品种大豆的油酸和亚油酸间的负相关性或弱正相关($r = -1.107$ 、 -0.027 和 0.071)变化为较强负相关($r = -0.692$ 、 -0.718 和 -0.327)。油酸和亚油酸的合成分别由硬脂酰-ACP 去饱和酶 SAD 和脂肪酸去饱和酶 FAD2 催化^[18]。结果表明,遮阴胁迫可能使得 SAD 和 FAD2 两种酶的活性发生了变化,由于油酸和亚油酸占成熟大豆籽粒内脂肪酸总量的 70% 以上,它们是影响大豆脂肪酸含量的最主要因子,这表明

SAD 和 FAD2 两种酶在决定大豆含油量上具有决定性作用。

在开花后 30 d 时,与对照相比,遮阴使高蛋白品种(黑农 35)和普通品种(海 339)大豆籽粒内棕榈酸、硬脂酸和油酸含量上升,使亚油酸和亚麻酸含量下降;与此恰恰相反,遮阴使高油大豆(垦农 18)籽粒内棕榈酸、硬脂酸和油酸含量下降,使亚麻酸含量显著上升,但对此时籽粒内亚油酸含量无影响。这说明,不同品质大豆对遮阴胁迫的反应具有差异性。开花后 30 d 是遮阴影响大豆籽粒内各脂肪酸组分积累的关键期,此时大豆群体郁闭可能影响到大豆脂肪酸的品质,应根据不同品质大豆脂肪酸积累的生理特性确定合理的群体栽培管理措施。

目前我国大豆油脂脂肪酸组分改良的主要障碍在于对脂肪酸发育系统的演化和大豆发育籽粒的脂肪、脂肪酸变化规律及其相关性的了解尚少。大豆不同品种间在脂肪酸组分变化及其对环境因素变化(如遮阴胁迫)的响应有一定的差异,说明大豆脂肪酸各组分的形成和比例是大豆本身遗传因素和环境因素共同作用的结果,这为进行大豆油脂育种提出了新的课题。

参考文献

- [1] 徐豹. 野生大豆脂肪酸组成初步研究[J]. 吉林农业科学, 1984 (2): 91-92. (Xu B. Primary research on composition of fatty acid of wild soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1984 (2): 91-92.)
- [2] 吕景良, 邵荣春, 吴百灵, 等. 东北地区大豆品种资源脂肪酸组成的分析研究[J]. 作物学报, 1990, 16(4): 349-355. (Lu J L, Shao R C, Wu B L. Studies on the fatty acid composition of soybean germplasm resources in northeast China [J]. Acta Agronomica Sinica, 1990, 16(4): 349-355.)
- [3] 张敬荣, 高继国, 李辰仁, 等. 开花至鼓粒期干旱对大豆子粒化学品质的影响[J]. 大豆科学, 1996, 15(1): 84-90. (Zhang J R, Gao J G, Li C R, et al. The effect of dry condition from flowering to seeding stages on chemical composition in soybean [J]. Soybean Science, 1996, 15(1): 84-90.)
- [4] Naresh K Sangwan, Kaushalya Gupta, Kuldip Singh Dhindsa. Fatty acid composition of developing soybeans[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(3): 415-417.
- [5] 马淑英, 梁歧, 宋慧, 等. 超早熟大豆脂肪酸的形成及其与气象因素的相关分析[J]. 中国农业科学, 1999, 32(增刊): 69-76. (Ma S Y, Liang Q, Song H, et al. The formation of fatty acid of extra-early soybean and correlation with meteorological element [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(Supplement): 69-76.)
- [6] Howell R W, Collins F I. Factors affecting linolenic and linoleic acid content of soybean oil [J]. Agronomy Journal, 1957, 49: 593-597.
- [7] Carver B F, Burton J W, Carter Jr T E, et al. Response to environmental variation of soybean lines selected for altered unsaturated fatty acid composition [J]. Crop Science, 1986, 26: 1176-1181.
- [8] Hawkins S E, Fehr W R, Hammond E G, et al. Use of tropical environments in breeding for oil composition of soybean genotypes adapted to temperate climates [J]. Crop Science, 1983, 23: 897-899.
- [9] 马淑英, 梁歧, 尹田夫, 等. 大豆籽粒发育过程中脂肪酸的组分分析[J]. 大豆科学, 1999, 18(2): 124-129. (Ma S Y, Liang Q, Yin T F, et al. Analysis of the fatty acids composition during the development of soybean seed [J]. Soybean Science, 1999, 18(2): 124-129.)
- [10] Wilson R F, Rinne R W. Lipid molecular species composition in developing soybean cotyledons [J]. Plant Physiology, 1978, 61(5): 830-833.
- [11] Rinne R W. Biosynthesis of fatty acids by a double extract from developing soybean cotyledons [J]. Plant Physiology, 1969, 44: 89-94.
- [12] Phythyon J. R Sr. Changes in the lipid composition of the developing seeds of ¹⁴C- labeled soybean plants [D]. Bowling Green State University, 1972, 6203- 6204.
- [13] 徐杰, 胡国华, 张大勇, 等. 大豆籽粒发育过程中脂肪酸组分的累积动态[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1759-1763 (Xu J, Hu G H, Zhang D Y, et al. Dynamic accumulation of fatty acids in grain maturing process of soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(11): 1759-1763.)
- [14] 庄无忌. 栽培、野生、半野生大豆脂肪酸组分的初步分析研究[J]. 大豆科学, 1984, 3(3): 223-230. (Zhuang W J. Primary research on composition of fatty acid of growth, wild and half wild soybean [J]. Soybean Science, 1984, 3(3): 223-230.)
- [15] 汤文通, 梁歧, 尹田夫. 品种与栽培地区对大豆油分含量及脂肪酸成份的影响[J]. 中华农学会报, 新 1997, (97): 5. (Liang W T, Liang Q, Yin T F. The influence of variety and growth area on content of soybean oil and composition of fatty acid [J]. Chinese Agronomic Transaction, 1997, (97): 5.)
- [16] 苗保河, 刘波, 李向东, 等. 波浪冠层群体微生态环境对高油大豆产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 231-236. (Miao B H, Liu B, Li X D, et al. Effects of micro-ecological environment of waving-canopy groups on yield and quality of high oil soybean [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(12): 231-236.)
- [17] 张思河, 尹田夫, 王萍, 等. 3 个熟期类型大豆品种发育籽粒脂肪酸组分变化[J]. 西北农业学报, 2000, 9(1): 83-86. (Zhang S H, Yin T F, Wang P, et al. Analysis on fatty acid composition in development seed of three maturity soybean [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2000, 9(1): 83-86.)
- [18] Ohlrogge J B, Browse J A. Lipid biosynthesis[J]. Plant Cell, 1995, 7: 957-970.