

网络出版时间:2017-11-29 09:24

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.01.013

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20171129.0924.026.html

新老大豆品种不同冠层籽粒脂肪酸含量与 叶片光合速率研究

陈展宇^a,常雨婷^a,付良帅^a,刘 鹏^a,朱 末^a,崔喜艳^b

(吉林农业大学 a 农学院, b 生命科学学院, 吉林 长春 130118)

【摘 要】【目的】分析新老大豆品种生殖生育期不同冠层籽粒中脂肪酸含量、叶片净光合速率的变化规律及其相关性,为大豆品质育种和合理栽培提供理论依据。【方法】选择大豆品种金元 1 号、集体 5 号(老品种)和吉林 38、吉农 19(新品种)为试验材料,分别测定开花期(R2)、结荚期(R4)、鼓粒期(R6)不同冠层籽粒中脂肪、脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸)含量及叶面积和净光合速率。【结果】新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪含量的变化趋势均为下层>上层>中层,新品种低于老品种。叶片净光合速率均表现为上层>中层>下层,在 R4 期净光合速率达到最大值,新品种高于老品种。新品种叶面积在生殖生长初期增长明显快于老品种,且 R4 到 R6 期叶面积维持相对稳定。棕榈酸和亚麻酸含量从下层到上层表现为下降趋势;油酸含量从下层到上层表现为上升趋势,新老品种变化趋势相同,其含量为老品种高于新品种;硬脂酸含量老品种呈现为中上层高、下层低,新品种为上层高、下层低。在整个生殖生育期,大豆籽粒中棕榈酸、亚油酸、亚麻酸含量与叶片净光合速率均呈负相关,叶面积与籽粒脂肪、亚油酸和亚麻酸含量呈负相关。【结论】在生育后期,通过增加大豆植株叶面积来改善光合能力,能够降低籽粒中亚麻酸含量,提高油酸含量,有利于大豆籽粒油脂品质改良与产量提高。

【关键词】 大豆;冠层;脂肪酸含量;叶面积;净光合速率

【中图分类号】 S565.101

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)01-0095-08

Fatty acid contents of grains and photosynthetic rates of leaves at different canopies of new and old soybean cultivars

CHEN Zhanyu^a, CHANG Yuting^a, FU Liangshuai^a,

LIU Peng^a, ZHU Mo^a, CUI Xiyen^b

(a College of Agronomy, b School of Life Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】The study analyzed the changes in fatty acids contents of seeds and net photosynthetic rates (P_n) of leaves from different canopies of soybean varieties and their relationship at reproductive growth stages to provide basis for quality breeding and reasonable cultivation of soybean. 【Method】Jilin 38, Jinong 19 (new cultivars), Jinyuan 1, and Jiti 5 (old cultivars) were planted, and fat, fat acid (palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, and linolenic acid) contents, leaf areas and P_n were measured at flowering stage (R2), podding stage (R4) and seed-filling stage (R6). 【Result】Fat contents of grains were the highest in the bottom part followed by the top and middle parts for both new and old soybean cultivars, and the contents of new soybean cultivars were lower than old soybean cultivars. P_n of leaves were the highest in top followed by the middle and bottom parts, and maximum was reached in R4. P_n rates of

【收稿日期】 2016-11-18

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31171459);吉林省自然科学基金项目(201215178);吉林农业大学国家级大学生创新创业训练计划项目(201410193006)

【作者简介】 陈展宇(1972—),男,吉林长春人,副教授,博士,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:394396906@qq.com

new soybean cultivars were higher than old soybean cultivars. Leaf areas of new varieties grew significantly faster than the old varieties in the early reproductive growth, and remained relatively stable from R4 to R6. Palmitic acid and linolenic acid contents declined while the oleic acid contents increased from the bottom to the top. Oleic acid contents of old varieties were higher than the new varieties, and new and old varieties had the same trend. Stearic acid contents of the old varieties were high in the middle-upper part and low in the lower part, and they were similar for the new varieties. Palmitic acid, linoleic acid, and linolenic acid contents of soybean grains were negatively correlated with P_n , and leaf area was negatively correlated with fat, linoleic acid, linolenic acid contents at the whole reproductive development stages. 【Conclusion】 In late growth stage, increasing plant leaf area and enhancing photosynthetic capacity can reduce linolenic acid content and enhance oleic acid content in grains, which is beneficial to quality and yield.

Key words: soybean; canopy; fatty acid contents; leaf area; net photosynthetic rate

植物干质量的 90%~95% 来自光合作用产物, 作物光合能力的变化在很大程度上影响作物的生长发育, 并最终影响作物品质及产量的形成^[1-2]。大豆 (*Glycine max*) 是全冠层具备光合生产能力的作物, 大豆生育期间特别是生殖生长阶段的温度、日照、降水等环境因子, 对籽粒品质有较大影响^[3-4]。大豆籽粒中富含脂肪和蛋白质, 有利于满足种子萌发及后续幼苗生长对物质和能量的需求^[5]。大豆籽粒中脂肪酸含量占油脂总量的 90% 以上, 其中不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸是人和哺乳动物自身不能合成、但又是正常生长所必需的。亚麻酸是人体内各组织生物膜的重要结构物质, 且具有重要的药用价值^[6], 但亚麻酸容易氧化成过氧化物, 进而分解为有臭味的醛和酮, 影响油脂品质, 所以亚麻酸含量低是优质油的标志, 低亚麻酸育种则是大豆品质育种的目标之一^[7-9]。

研究表明, 大豆种子脂肪含量表现为植株中下部籽粒含量较高, 上部籽粒含量则较低, 植株光合速率水平调控光合产物的分配, 影响籽粒脂肪的形成^[4,10]。大豆籽粒的脂肪酸含量在品种间存在差异, 在同一品种的不同节位间也存在差异, 油酸含量

随结荚部位的升高而增加, 亚油酸含量则随着结荚部位的升高而降低^[11-13]。郑洪兵等^[14] 和 Cui 等^[15] 研究认为, 结荚期大豆新品种中、上层的叶片数量、净光合速率显著高于老品种, 地上生物量与叶片净光合速率呈显著正相关。目前, 关于大豆不同冠层籽粒脂肪酸含量与叶片净光合速率变化及其关系的研究鲜见报道。本试验以大豆老品种金元 1 号、集体 5 号和新品种吉林 38、吉农 19 为试验材料, 在开花期、结荚期和鼓粒期分别测定不同冠层叶面积、叶片净光合速率及籽粒中脂肪、脂肪酸含量, 研究新老大豆品种不同冠层籽粒脂肪酸含量和叶片净光合速率的变化规律及其相互关系, 以期为大豆品质育种和合理栽培提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料分别由吉林省农业科学院大豆种质资源室和吉林农业大学大豆区域技术创新中心提供 (表 1)。根据育成年代将金元 1 号、集体 5 号定为老品种, 吉林 38、吉农 19 定为新品种。

表 1 供试大豆品种的基本特性
Table 1 The characteristics of tested soybean cultivars

品种 Cultivar	育成年份 Year of release	生育期/d Maturity	结荚习性 Podding habit
金元 1 号 Jinyuan 1	1941	133	无限 Indeterminate
集体 5 号 Jiti 5	1956	130	无限 Indeterminate
吉林 38 Jilin 38	1998	132	亚有限 Semi-determinate
吉农 19 Jinong 19	2006	134	亚有限 Semi-determinate

1.2 试验设计

试验于 2013 年和 2014 年在长春市 (43. 5°N, 125. 1°E) 吉林农业大学试验田进行。试验区年生长季节为 5—9 月份, 年均降雨量为 645 mm, ≥10 °C

有效积温 2 880 °C, 无霜期 140 d 左右。试验地土壤是黑壤土, 前茬作物为玉米, 供试土壤养分状况为全氮含量 1. 65 g/kg, 全磷含量 0. 86 g/kg, 碱解氮含量 120 mg/kg, 速效磷含量 26. 9 mg/kg, 速效钾含

量 122 mg/kg,pH 值 6.8。

试验采用随机区组设计,每个大豆品种种植 5 行,行长 5 m,行距 0.65 m,密度 20 株/m²,3 次重复,采用常规方法进行田间管理。根据节位数将大豆植株等分为上、中、下 3 层,分别在开花期(R₂)、结荚期(R₄)、鼓粒期(R₆)测定每个品种的叶片净光合速率(P_n)、叶面积;成熟期收获时选取 10 株大豆,按冠层收获籽粒,从各冠层中随机取 100 粒种子粉碎,过孔径 0.18 mm 筛,装入塑封袋中,保存于-20 ℃ 冰箱中备用。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶片 P_n 和叶面积的测定 用 LI-6400 便携式光合作用测定系统测定叶片 P_n,固定红蓝光源,光照强度为 1 200 μmol/(m²·s),分别在大豆 R₂、R₄ 和 R₆ 时期上午 09:00—11:00 测定功能叶片 P_n;用 CI-203 便携式激光叶面积仪测定叶面积;每个时期每个品种重复测定 3 次。

1.3.2 大豆籽粒中脂肪含量的测定 采用 NIR Lab N-200 近红外谷物品质分析仪测定籽粒(含水量 14%)脂肪含量。

1.3.3 大豆籽粒中脂肪酸含量的测定 称取 0.1 g 样品,准确加入 0.5 mol/L 甲醇钠 2 mL,在 30 ℃ 水浴中酯化 30 min,用 10 mL 正己烷萃取 2 次,合并正己烷,用气相色谱法测定棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸含量^[16]。

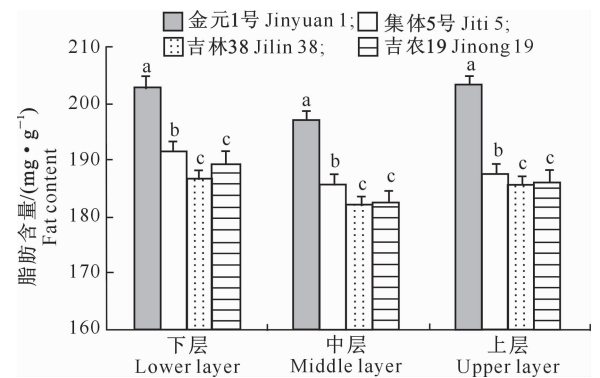
1.4 数据处理

所有数据均为 2013 年和 2014 年试验结果的平均值,每年试验结果为 3 次重复的平均值,利用 Excel 2007 和 DPS7.05 统计软件进行数据处理及相关的统计分析。

2 结果与分析

2.1 新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪含量的变化

从图 1 可以看出,新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪含量的变化趋势相同,即籽粒中脂肪含量均表现为下层>上层>中层,下层和上层脂肪含量较高,中层相对较低。老品种金元 1 号、集体 5 号籽粒中脂肪含量均比新品种吉林 38、吉农 19 高。金元 1 号、集体 5 号下层籽粒中脂肪含量平均比中层高 3.2%,上层比中层高 2.2%,吉林 38、吉农 19 下层籽粒中脂肪含量平均比中层高 5.2%,上层比中层高 3.2%。脂肪含量以上、下部籽粒为高,而中部籽粒偏低,这种差异可能与籽粒形成的时间和空间相关。



柱上标不同小写字母表示在 P<0.05 水平差异显著。下同
Different lowercase letters mean significant difference at P<0.05. The same below

图 1 新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪含量的变化
Fig.1 Changes of fat contents in grains at different canopies of new and old soybean cultivars

2.2 新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪酸含量的变化

从图 2 可以看出,新老大豆品种不同冠层籽粒中饱和脂肪酸含量不同,棕榈酸和硬脂酸含量在冠层间的变化趋势相反。金元 1 号、集体 5 号和吉林 38、吉农 19 籽粒中棕榈酸含量均是下部冠层含量最高,均随着冠层上升而下降,上部冠层含量最低。老品种金元 1 号、集体 5 号下层籽粒中棕榈酸含量平均比上层高 5.9%,中层比下层高 2.1%;新品种吉林 38、吉农 19 下层籽粒中棕榈酸含量平均比上层高 6.3%,中层比上层高 2.9%。不同冠层籽粒中硬脂酸含量表现为新品种吉林 38、吉农 19 随着冠层上升而增加,上部冠层含量最高,下部冠层含量最低;而老品种金元 1 号、集体 5 号的表现变化趋势与新品种不同,从中部开始随冠层的上升而下降,下部冠层含量较低,中、上部冠层含量较高。

由图 2 可知,新老大豆品种不同冠层籽粒中不饱和脂肪酸含量不同。新老大豆品种油酸含量的变化趋势大体上一致,均随冠层的上升而增加,下部冠层含量最低,中、上部冠层含量较高;亚油酸含量的变化趋势与油酸的变化趋势不同,新品种吉林 38、吉农 19 亚油酸与油酸的变化趋势相反,下部冠层含量最高,中、上部冠层含量较低,老品种金元 1 号、集体 5 号亚油酸含量在冠层中的变化趋势为上、下部冠层含量较高,而中部冠层含量较低。新老大豆品种不同冠层籽粒中亚麻酸含量的变化趋势一致,均为随冠层的上升而下降,以中、下部冠层含量较高,而上部冠层含量较低。

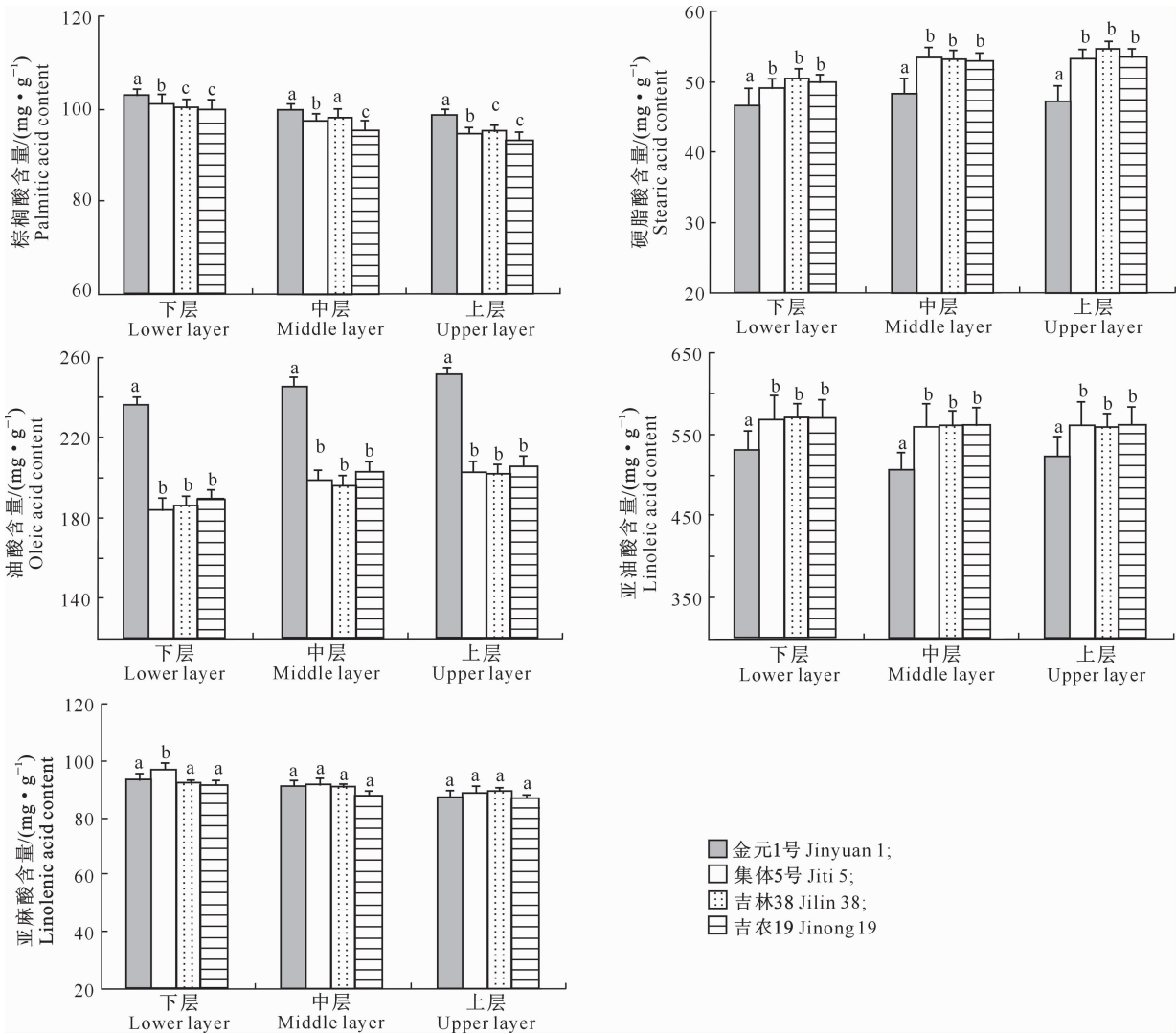


图 2 新老大豆品种不同冠层籽粒中脂肪酸含量的变化

Fig. 2 Changes of fat acid contents in grains at different canopies of new and old soybean cultivars

2.3 新老大豆品种不同冠层叶片 P_n 的变化

由图 3 可以看出,大豆叶片在 R2 期新品种冠层上、中、下部 P_n 比老品种更高;R4 期新老大豆品种叶片 P_n 均达到峰值,新品种与老品种之间的差异达到显著水平($P<0.05$),新老大豆品种叶片 P_n 在 R4 期以中、上层较高;在 R6 期,新老大豆品种叶片 P_n 均表现为快速下降的趋势,但新大豆品种叶片 P_n 下降的幅度明显低于老品种,吉林 38、吉农 19 光合能力均高于金元 1 号、集体 5 号。

对新老大豆品种在相同生育时期不同冠层的 P_n 进行比较,在 R2 期,老品种金元 1 号、集体 5 号平均 P_n 上层比下层高 16.5%,中层比下层高 9.7%,新品种吉林 38、吉农 19 平均 P_n 上层比下层高 14.1%,中层比下层高 10.1%;在 R4 期,老品种金元 1 号、集体 5 号叶片平均 P_n 上层比下层高

49.1%,中层比下层高 33.1%,新品种吉林 38、吉农 19 平均 P_n 上层比下层高 47.0%,中层比下层高 34.6%;在 R6 期,老品种金元 1 号、集体 5 号平均 P_n 上层比下层高 76.4%,中层比下层高 33.5%,新品种吉林 38、吉农 19 平均 P_n 上层比下层高 59.3%,中层比下层高 14.5%。

2.4 新老大豆品种不同冠层叶面积的变化

由图 4 可以看出,新老大豆品种在不同生育时期叶片生长情况变化速率各有不同。在 R2 期,新老大豆品种叶面积都进入快速增长期,新品种在冠层上、中、下部的平均叶面积均大于老品种,新品种叶面积表现为冠层中部>上部>下部,而老品种叶面积为冠层中部>下部>上部。随着生育进程推进,叶面积继续增长,新品种叶面积的增加幅度趋缓。进入到 R4 期,老品种在冠层上、中、下部的平

均叶面积都大于新品种,老品种叶面积表现为冠层上部>中部>下部,在该生育期老品种不同冠层叶面积达到最大,而新品种叶面积表现为冠层中部>上部>下部,叶面积持续增加。在 R6 期,新老品种

不同冠层叶面积的变化出现显著差异($P<0.05$),新品种吉林 38、吉农 19 叶面积变化较小,而老品种金元 1 号、集体 5 号叶面积下降幅度较大,尤其是冠层下部。

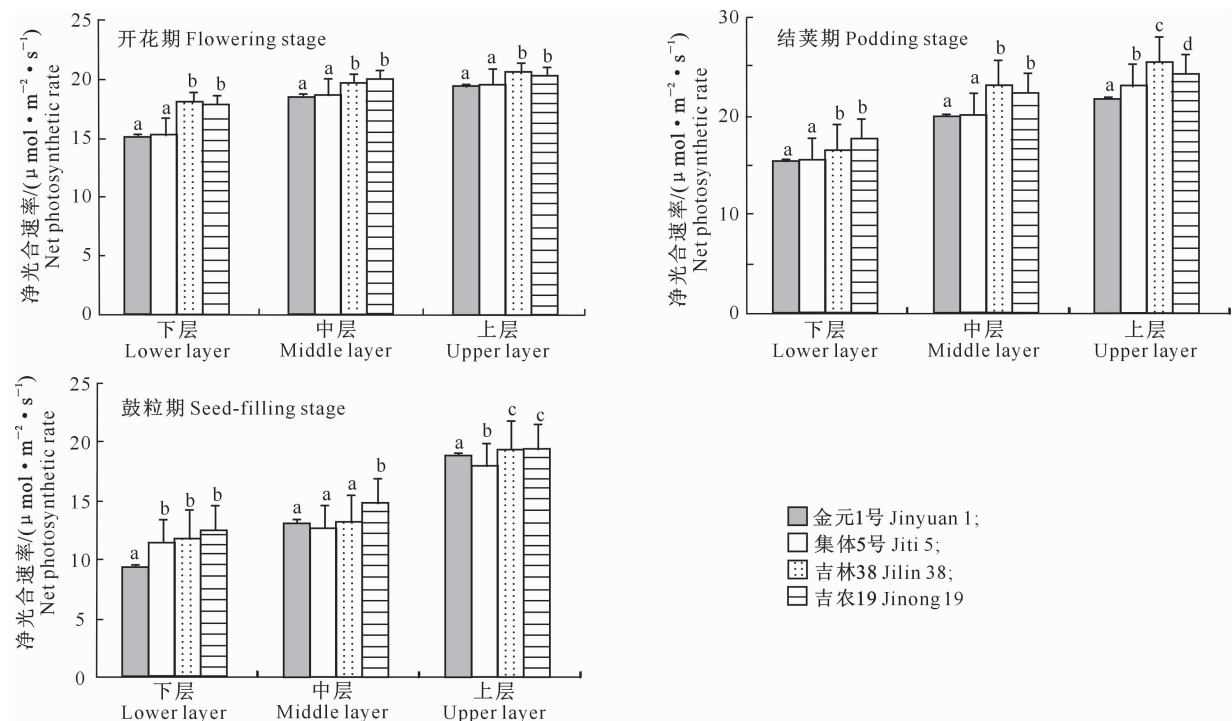


图 3 新老大豆品种不同冠层叶片净光合速率的变化
Fig. 3 Changes of net P_n rates in leaves at different canopies of new and old soybean cultivars

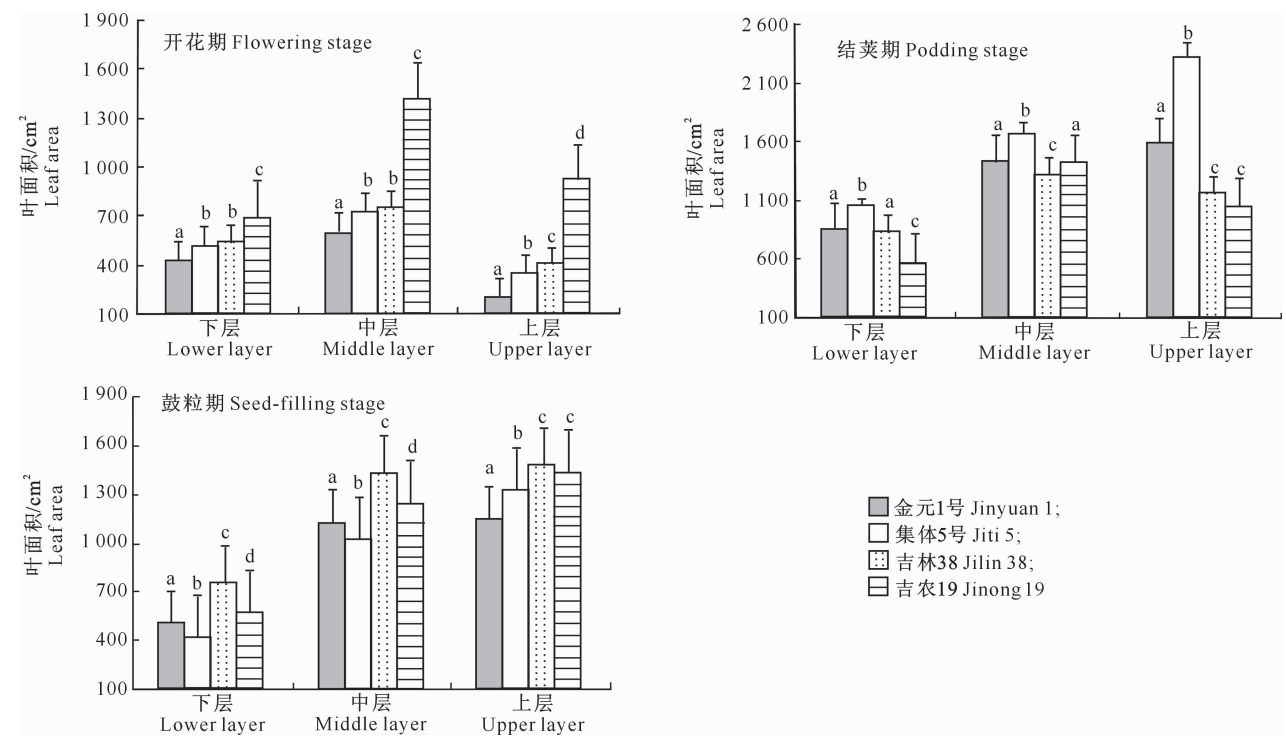


图 4 新老大豆品种不同冠层叶面积的变化
Fig. 4 Changes of leaf areas at different canopies of new and old soybean cultivars

2.5 不同冠层大豆籽粒中脂肪酸含量与叶片 P_n 和叶面积的相关性

表 2 结果表明,新老大豆品种在 R4 期叶片 P_n 与籽粒脂肪含量均呈显著负相关,R2、R6 期相关性不显著,说明结荚期叶片光合能力与籽粒脂肪形成密切相关;在 R2、R4、R6 期,大豆籽粒中棕榈酸、亚

麻酸含量与叶片 P_n 均呈显著或极显著负相关;亚油酸含量在 R2、R4 期与叶片 P_n 均呈显著负相关,R6 期相关性不显著;而硬脂酸、油酸在各生殖生育期与叶片 P_n 均呈显著或极显著正相关,新老大豆品种具有相似的生理特性。

表 2 新老大豆不同冠层籽粒中脂肪酸含量与叶片净光合速率的相关系数

指标 Index	R2		R4		R6	
	老品种	新品种	老品种	新品种	老品种	新品种
	Old cultivar	New cultivar	Old cultivar	New cultivar	Old cultivar	New cultivar
脂肪含量 Fat content	−0.402 2	−0.253 7	−0.567 9*	−0.540 7*	−0.386 2	−0.272 3
棕榈酸含量 Palmitic acid content	−0.938 7**	−0.978 7**	−0.808 2*	−0.922 9**	−0.912 3**	−0.921 2**
硬脂酸含量 Stearic acid content	0.894 5**	0.909 2**	0.812 2**	0.858 5**	0.824 2**	0.672 0*
油酸含量 Oleic acid content	0.786 9*	0.899 9**	0.679 1*	0.739 6*	0.694 2*	0.510 2*
亚油酸含量 Linoleic acid content	−0.700 1*	−0.790 5*	−0.577 9*	−0.644 7*	−0.404 8	−0.394 1
亚麻酸含量 Linolenic acid content	−0.828 1**	−0.997 9**	−0.728 7*	−0.783 8*	−0.742 8*	−0.569 1*

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平差异显著, ** 表示在 $P<0.01$ 水平差异显著。下表同。
Note: * indicates significant difference at $P<0.05$, ** indicates significant difference at $P<0.01$. The same below.

表 3 结果表明,新老大豆品种在 R2、R4、R6 期叶面积与籽粒脂肪含量均呈显著或极显著负相关,籽粒不同脂肪酸含量在 R2 期均与叶面积相关性不显著;在 R4、R6 期,大豆籽粒中棕榈酸、亚油酸、亚

麻酸含量与叶面积均呈显著或极显著负相关,而硬脂酸、油酸与叶面积均呈显著或极显著正相关。说明大豆植株在结荚期、鼓粒期冠层叶面积的大小显著影响籽粒脂肪酸的形成。

表 3 新老大豆不同冠层籽粒中脂肪酸含量与叶面积的相关系数

指标 Index	R2		R4		R6	
	老品种	新品种	老品种	新品种	老品种	新品种
	Old cultivar	New cultivar	Old cultivar	New cultivar	Old cultivar	New cultivar
脂肪含量 Fat content	−0.658 6*	−0.916 3**	−0.548 9*	−0.813 5**	−0.555 9*	−0.538 2*
棕榈酸含量 Palmitic acid content	0.155 0	−0.132 2	−0.942 8**	−0.619 4*	−0.934 3**	−0.904 1**
硬脂酸含量 Stearic acid content	0.255 1	0.371 8	0.729 4*	0.793 4*	0.867 7**	0.918 5**
油酸含量 Oleic acid content	0.443 4	0.326 3	0.577 8*	0.763 0*	0.750 7*	0.902 9**
亚油酸含量 Linoleic acid content	−0.456 2	−0.461 5	−0.566 8*	−0.849 6*	−0.658 4*	−0.928 1**
亚麻酸含量 Linolenic acid content	−0.379 7	−0.274 7	−0.633 4*	−0.726 8*	−0.795 0*	−0.928 8**

3 讨论与结论

大豆生殖生育期是籽粒产量和品质形成的关键时期,籽粒油分是光合作用的积累物,其含量是品种遗传内在属性和外在生态环境共同作用的综合表现^[17-18]。栽培方式、施肥等因素影响大豆不同冠层籽粒中脂肪酸的组成及含量^[19]。合理的冠层构建了作物生长良好的田间小气候,群体内部有良好的透光特性,使大豆籽粒品质形成的代谢条件得到保

障,因而有利于高脂肪和优质脂肪酸的形成和积累^[20]。研究表明,大豆叶片的功能和叶面积对干物质积累影响最大,大豆在生长时期以保持较大的叶面积更有优势^[21]。光照条件影响大豆植株的生长发育和干物质积累,而脂肪的积累则基于干物质的转化,因此在生殖阶段油分形成积累过程中改善光照条件,可以提高大豆的油分含量^[22]。本研究结果表明,新老大豆品种叶片 P_n 均表现为冠层上部>中部>下部,新品种高于老品种,在 R4 期叶片 P_n

达到最大值;新老大豆品种在生殖生育期不同冠层叶片生长特性及光合能力不同,新品种叶面积在生殖生长初期增长明显快于老品种,中后期又趋于平稳,从 R4 期到 R6 期叶面积维持相对稳定,老品种在生育前期中下部叶面积增加较快,但生育后期衰老较快。新品种生育后期中上部叶片维持较高的 P_n ,叶片功能持续期长,有利于光合积累物的形成。

王曙明等^[23]研究表明,3 种结荚习性的老品种籽粒中脂肪含量由植株底部向上部呈逐渐下降趋势;胡喜平^[24]研究指出,亚有限结荚大豆上、中上、中、中下脂肪含量依次升高,下部籽粒脂肪含量低于中下部。本试验结果表明,新老大豆品种脂肪含量在冠层中的变化均表现为中部冠层最低,向上、向下冠层均升高,叶面积与籽粒脂肪含量呈显著或极显著负相关,在 R4 期(结荚期)叶片 P_n 与籽粒脂肪含量均呈显著负相关,结荚期可能主要在进行蛋白质的合成,因而不利于脂肪的形成。老品种籽粒中脂肪含量高于新品种,这可能是由于东北地区近代培育大豆品种单方面追求产量而忽视了品质所致^[4]。大豆生育中后期(开花末期一鼓粒期)叶片的 P_n 高,可促进大豆籽粒产量增加,改善品质,较长的“开花后阶段”有利于脂肪含量和亚油酸比例的提高,并降低棕榈酸和油酸比例^[25-27]。新老大豆不同冠层籽粒中脂肪酸含量变化趋势不完全相同,棕榈酸和亚麻酸含量从下层到上层表现为下降趋势,油酸含量从下到上表现为上升趋势,棕榈酸、亚麻酸和油酸含量新品种均低于老品种,这可能是大豆品种遗传改良的结果。硬脂酸和亚油酸含量新老大豆品种变化趋势不同,老品种硬脂酸含量呈现为中上部高、下部低,而新品种上部高、下部低;老品种亚油酸含量呈现为中部低、上下部高,而新品种下部高、上部低,其中籽粒中油酸与亚油酸含量在冠层的变化规律与庄炳昌等^[10]和陈霞^[12]的研究结果一致。有研究认为某些品质性状如油酸、亚油酸含量等随着籽粒生长部位而发生规律性的变化^[10,28],这可能是空间环境差异引起的,同一植株各部位所处的小环境不同,上部光照充足,下部光照较弱。相关研究表明,降低种植密度能够降低籽粒中亚麻酸含量;随着施肥水平提高,棕榈酸、硬脂酸和油酸含量升高,亚油酸和亚麻酸含量降低;结荚期适度干旱有助于降低亚麻酸含量^[9,19]。本试验结果显示,在整个生殖生育期,叶片 P_n 均与大豆籽粒中棕榈酸、亚油酸、亚麻酸含量呈负相关,与硬脂酸含量和油酸含量呈显著或极显著正相关,从而有利于硬脂酸、油酸合成。因此,采

取合理的种植密度及施肥水平等栽培措施,可以改善大豆植株中下部冠层的光、温、水等小气候条件,提高叶片的光合能力,调控不同冠层叶片光合积累物,降低大豆中下部籽粒中亚麻酸含量,使不同冠层的籽粒脂肪酸组成和含量趋于相近。

综上所述,供试大豆 5 种脂肪酸含量与其叶片的光合特性相关,因此可以通过合理调整大豆冠层结构,调控光合积累物来改善大豆品质。在生育后期,通过改善大豆植株叶片光合能力、维持植株叶面积相对稳定、提高光合效率,来降低籽粒中亚油酸、亚麻酸含量,提高油酸含量,从而改良大豆籽粒品质和提高产量。但如何采取适宜的栽培措施减小不同冠层籽粒中脂肪酸含量的差异,还有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] James E, Board S. Soybean cultivar differences on light interception and leaf area index during seed filling [J]. *Agron J*, 2004, 96(1): 305-310.
- [2] Zhu G J, Jing G M, Hao N B, et al. Relationship between eco-physiological and grain yield in different soybean varieties [J]. *Acta Bot Sin*, 2002, 44(6): 725-730.
- [3] 董伟欣, 张彦立, 任 帅, 等. 短日照诱导对小豆籽粒品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5): 20-28.
Dong W X, Zhang Y L, Ren S, et al. Effect of short-day photoperiod on grain quality of adzuki bean [J]. *Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed)*, 2016, 44(5): 20-28.
- [4] 董 钻. 大豆产量生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
Dong Z. *Soybean yield physiology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012.
- [5] 周 丹, 赵江哲, 柏 杨, 等. 植物油脂合成代谢及调控的研究进展 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 77-86.
Zhou D, Zhao J Z, Bo Y, et al. Research advance in triacylglycerol synthesis, metabolism, and regulation in plants [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2012, 35(5): 77-86.
- [6] 于福宽, 孙君明, 韩粉霞, 等. 大豆籽粒中脂肪酸组分快速检测方法的比较分析 [J]. 大豆科学, 2011, 30(4): 626-631.
Yu F K, Sun J M, Han F X, et al. Comparison of three rapid gas chromatograph (GC) methods for determination of fatty acid components in soybean seeds [J]. *Soybean Science*, 2011, 30(4): 626-631.
- [7] Wilson R F, Burton J W, Brim C A, et al. Progress in the selection for altered fatty acid composition in soybeans [J]. *Crop Science*, 1981, 21(5): 788-791.
- [8] Thelen J J, Ohlrogge J B. Metabolic engineering of fatty acid biosynthesis in plants [J]. *Metabolic Engineering*, 2002, 4(1): 12-21.
- [9] 徐 杰. 不同品质类型大豆品种脂肪酸形成规律的研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005.
Xu J. Study on accumulation law of fatty acid of soybean with

- different quality character [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2005.
- [10] 庄炳昌, 徐 豹. 大豆不同节位种子蛋白质脂肪及其组分的分布 [J]. 中国油料, 1990, 12(3): 42-44.
- Zhuang B C, Xu B. Distribution of protein, fat and their composition in seeds on different nodes of soybean plants [J]. Oil Crops of China, 1990, 12(3): 42-44.
- [11] 袁玉春, 刘 铜. 大豆种子不同部位的脂肪酸组成 [J]. 大豆科学, 1998, 17(4): 373-376.
- Yuan Y C, Liu T. Composition of fat acid in different parts of soybean (*Glycine max* (L)) seed [J]. Soybean Science, 1998, 17(4): 373-376.
- [12] 陈 霞. 黑龙江省主栽大豆品种脂肪、脂肪酸组分的测定及其相关性的分析 [J]. 大豆科学, 1996, 15(1): 91-95.
- Chen X. Test of content of fat and fatty acid and correlatine analysis among them of the main cultivars of soybean in Heilongjiang province [J]. Soybean Science, 1996, 15(1): 91-95.
- [13] 刘 鹏, 陈思羽, 朱 末, 等. 不同节位大豆籽粒中脂肪酸与 11S、7S 球蛋白含量变化 [J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(3): 367-371.
- Liu P, Chen S Y, Zhu M, et al. Chang of fatty acid and 11S, 7S globulin content in seeds on different nodes soybean cultivars [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(3): 367-371.
- [14] 郑洪兵, 徐克章, 赵洪祥, 等. 吉林省大豆品种遗传改良过程中主要农艺性状的变化 [J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1042-1050.
- Zheng H B, Xu K Z, Zhao H X, et al. Changes of main agro-nomic traits with genetic improvement of soybean cultivars in Jilin province, China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(6): 1042-1050.
- [15] Cui X Y, Dong Y Z, Gi P, et al. Relationship between root vigour, photosynthesis and biomass in soybean cultivars during 87 years of genetic improvement in the northern China [J]. Photosynthetica, 2016, 54(1): 81-86.
- [16] 范胜棚, 李 斌, 孙君明, 等. 气相色谱方法定量检测大豆 5 种脂肪酸 [J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(4): 548-553.
- Fan S X, Li B, Sun J M, et al. A quantitative gas chromatographic method for determination of soybean seed fatty acid components [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(4): 548-553.
- [17] Young E J, Moon Y K, Sangrea S, et al. Gene expression profiling for seed protein and oil synthesis during early seed development in soybean [J]. Genes & Genomics, 2015, 37(4): 409-418.
- [18] 姜振峰. 大豆油分和蛋白质含量遗传效应及与环境互作效应 QTL 分析 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- Jiang Z F. QTL analysis on the genetic effect and their environmental interaction of oil and protein content in soybean [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [19] 朱洪德, 冯丽娟, 于洪久, 等. 种植密度和施肥水平对高油大豆品质性状的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 232-236.
- Zhu H D, Feng L J, Yu H J, et al. Effect of different planting densities and fertilizer levels on quality traits of high-oil soybean [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(1): 232-236.
- [20] 苗保河, 刘 波, 董庆裕, 等. 波浪冠层栽培模式对高油大豆产量品质及微环境生态因子的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2160-2168.
- Miao B H, Liu B, Dong Q Y, et al. Yield, quality and ecological factors of micro-environment of waving-canopy cultural type of high oil soybean [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2160-2168.
- [21] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 密度对大豆群体叶面积指数及干物质积累分配的影响 [J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 96-100.
- Zhang X Y, Du J D, Zheng D F, et al. Effect of density on leaf area index, dry matter accumulation and distribution in soybean population [J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 96-100.
- [22] 董丽华, 李铭丰, 胡立成, 等. 大豆生殖阶段油分形成与环境关系及提高油分含量途径的研究: I. 光照条件与油分积累的关系研究初报 [J]. 黑龙江农业科学, 2000(6): 14-15, 30.
- Dong L H, Li M F, Hu L C, et al. Relation between oil formation and environment on soybean reproduction stage and study on the way to increase oil content: I. preliminary study on relation between light condition and oil accumulation [J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2000(6): 14-15, 30.
- [23] 王曙明, 孟祥勋, 胡明祥, 等. 大豆不同结荚部位籽粒蛋白质和脂肪含量差异的初步分析 [J]. 大豆科学, 1991, 10(4): 339-340.
- Wang S M, Meng X X, Hu M X, et al. The difference of protein and oil content of soybean seeds on different stem parts [J]. Soybean Science, 1991, 10(4): 339-340.
- [24] 胡喜平. 大豆不同结荚部位籽粒蛋白质和脂肪含量分析 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 165-166.
- Hu X P. The difference of protein and oil content of soybean seeds on different stem parts [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 165-166.
- [25] 李春杰, 许艳丽, 魏 巍, 等. 结荚期光照时间对大豆产量和化学品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(11): 71-74.
- Li C J, Xu Y L, Wei W, et al. Effect of sunlight hours on soybean yield and chemical quality in the pod stage [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2010, 38(11): 71-74.
- [26] Naresh K S, Kaushalya G, Kuldip S D, et al. Fatty acid composition of development soybeans [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(3): 415-417.
- [27] 韩天富, 王金陵, 杨庆凯, 等. 开花后光照长度对大豆化学品质的影响 [J]. 中国农业科学, 1997, 30(2): 47-53.
- Han T F, Wang J L, Yang Q K, et al. Effects of post-flowering photoperiod on chemical composition of soybeans [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(2): 47-53.
- [28] Burton J W, Wilson R F, Brim C A, et al. Recurrent selection on soybeans: IV. selection for increased oleic acid percentage in seed oil [J]. Crop Sci, 1983, 23(4): 744-747.