

生殖生长期光富集和遮阴对大豆干物质分配及产量品质的影响

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: 大豆冠层截获的太阳辐射强度是决定大豆生长发育和产量的重要环境因素。通过对蛋白质、脂肪含量不同的三个大豆品种在生殖生长期进行光处理, 研究田间条件下, 群体光富集和遮阴对大豆干物质分配、产量及品质的影响。结果表明: 与自然光照相比, 光富集后大豆积累的光合产物更多地分配到库; 而遮阴后大豆积累的光合产物更多地分配给了源。光富集显著增加大豆单株产量、荚数和粒数, 不同品种(系)单株产量增加幅度为 27.7%~71.7%、单株荚数增加幅度为 33.3%~71.1%、单株粒数增加幅度为 35.5%~85.7%; 遮阴显著减少大豆单株产量、荚数和粒数, 不同品种(系)单株产量降低幅度为 34.4%~49.7%、单株荚数降低幅度为 43.0%~47.7%、单株粒数降低幅度为 33.4%~52.6%。生殖生长期光富集有增加籽粒蛋白质含量和降低籽粒脂肪含量的趋势, 而遮阴有降低籽粒内蛋白质含量和增加籽粒脂肪含量的趋势, 品种间有一定差异。

关键词: 大豆; 光富集; 遮阴; 干物质积累; 蛋白质; 脂肪

中图分类号: S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0103-05

大豆冠层截获的太阳辐射强度是其产量和产量构成的重要决定因素^[1~3]。Mathew 等^[4]研究表明, 在开花初期进行光富集提高大豆产量 144%~252%, 产量的增加主要来自于荚数的增多。刘晓冰等^[5]8 个大豆品种三个种植密度研究结果表明, 开花初期光富集增加产量的部分原因来自于粒重的增加。Schou^[6]等利用照明器或反光板处理大豆发现, 增加大豆生育期间的光照可提高大豆荚数和产量, 并使每荚籽粒数目有一定改变。Jiang 和 Egh^[7]证明, 初花期至鼓粒初期遮阴减少花荚数, 增加落花落荚率, 导致荚数和产量下降。李英初研究表明^[8], 与自然光照相比, 从播种、3 节期(V₃ 期)、开花始期(R₁ 期)和鼓粒始期(R₃ 期)开始遮阴至完熟期, 大豆单株地上部生物量极显著减少。

大豆籽粒蛋白质、脂肪含量的高低除受品种遗传性影响外, 还受到栽培措施、生态环境条件的制约^[9]。研究表明^[10], 在磷肥和钾肥水平较低时, 大豆脂肪含量随氮肥施用量增加而逐渐升高; 在磷肥和钾肥水平较高时, 大豆脂肪含量随氮肥施用量增加而逐渐降低。也有研究表明, 大豆蛋白质、脂肪含量与地理纬度呈负相关, 大豆蛋白质含量与海拔高

度呈负相关, 脂肪含量与海拔高度呈正相关, 推迟播期可使蛋白质、脂肪含量都降低^[11,12]。张秋英等研究表明, 从 R₅ 期开始连续遮阴 10 d 可导致大豆 22% 的产量损失, 也降低了籽粒蛋白质和油含量^[13]。大豆籽粒脂肪含量在较高 CO₂ 浓度下有显著增加, 大豆蛋白质和氨基酸总量随大气 CO₂ 浓度升高而有降低趋势^[14]。但关于生殖生长期光富集和遮阴对大豆干物质积累分配、产量及品质的影响研究尚不多见。本研究旨在揭示大豆冠层群体光环境变化下大豆干物质分配、产量及品质的变化规律, 为大豆优质栽培和提高大豆产量及品质提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2007 年 5 月~10 月在中国科学院海伦农业生态实验站(N47°27', E126°56')进行, 该站冬季寒冷漫长, 春季多风低温, 夏季雨热同期, 年平均气温 1.5℃, 年平均降水量 530 mm 左右。研究选取蛋白质、脂肪含量不同的三个大豆品种(系), 分别为海 339、黑农 35 和垦农 18, 种植密度为 27

收稿日期: 2008-09-18

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

作者简介: 刘 兵(1978-), 男, 博士研究生, 吉林四平人, 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。

万株/hm²,每个小区面积为 17.5 m²,垄作方式,垄宽 0.67 m,随机区组,3 次重复。2007 年 5 月 7 日人工播种,播种前按尿素 50 kg/hm²(N 46%)、二铵 50 kg/hm²(N 18%、P₂O₅ 46%)、“三元素”150 kg/hm²(N 18%、P₂O₅ 16%、K₂O 16%)施底肥,其他田间管理措施同大田。

在始花期(R₁)进行光富集和遮阴处理。光富集处理是通过生育期间把每小区中间行利用 90 cm 宽的金属筛网向中间行外以 45°角放置,该方式不影响根系的竞争,但为中间行植株增加更多的光截获,该种方式与不处理的植株相比可增加中间行植株底部光截获 25%以上^[4](Mathew 等,2000)。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。

1.2 测定指标及方法

在开花后 20、30、40、50 d 和 60 d 进行取样,每重复取样 12 株,测定大豆子叶节以上各部位干重,计算库源比值。虽然荚皮不能算作大豆经济产量的组成部分,但我们仍把它作为库的一部分,即库源比=(荚皮重+籽粒重)/(茎秆重+叶重+叶柄重)。

成熟时在大豆植株中部取豆荚,去荚皮后将籽粒置入烘干箱中烘至恒重并研磨成粉末待测。籽粒样品蛋白质和脂肪的测定分别采用微量凯氏定氮法和残余法^[15]。

1.3 统计分析方法

采用 SAS 软件对不同处理的差异进行方差分析及多重比较,相同的字母代表两处理间没有显著性差异,不同的字母代表两处理间存在显著性差异,用 SigmaPlot 2000 作图。

2 结果与分析

2.1 光处理对干物质分配的影响

从图 1 可以看出,与自然光照(CK)相比,光富集(LE)后大豆积累的光合产物更多地分配到库;而遮阴(S)后大豆积累的光合产物更多地分配给了源。品种间库源比的变化对光处理的反应差异较大。海 339 在光处理 30 天内干物质在库源中的分配比例尚无明显变化,到 30 天后才发生改变。对于垦农 18 来说,光处理改变干物质分配在更早的时候(20 天后)就表现出来了。此外,对于改变干物质分配比例来说,遮阴处理的效果要明显大于光富集。

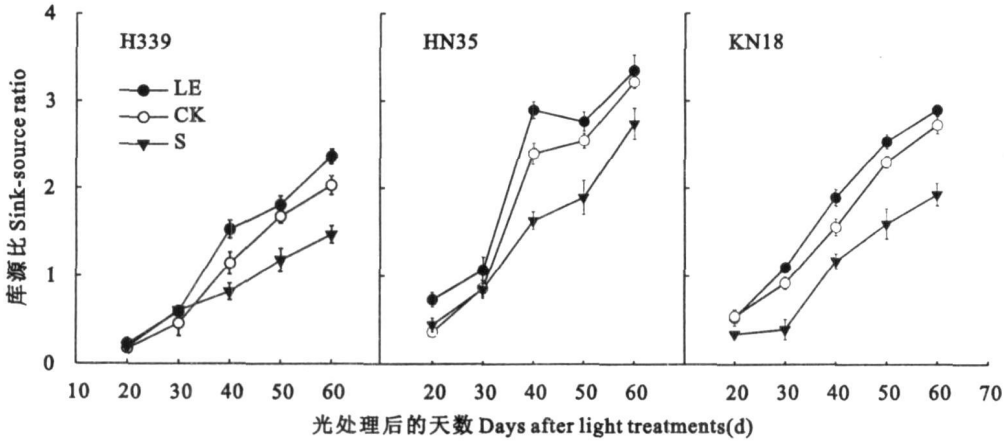


图 1 光富集和遮阴对各品种大豆干物质分配的影响

Fig. 1 Influence of light enrichment and shading on dry matter distribution

2.2 光处理对大豆产量及产量构成因素的影响

与自然光照相比,光富集显著增加了大豆单株产量、单株荚数和单株粒数。光富集分别增加海 339、黑农 35 和垦农 18 单株产量为 71.7%、53.1% 和 27.7%;分别增加单株荚数为 71.1%、41.3% 和 33.3%;分别增加单株粒数为 85.7%、66.6% 和 35.5%。与此相反,遮阴显著降低了单株产量、单株荚数和单株粒数。遮阴分别减少海 339、黑农 35 和垦农 18 单株产量为 45.3%、34.4% 和 49.7%;分别减少单株荚数为 47.7%、43.0% 和 44.1%;分别减

少单株粒数为 46.3%、33.4% 和 52.6%。

光富集有增加每荚粒数的趋势(表 1),但与品种有关。光富集略增加海 339 和垦农 18 的每荚粒数,但差异不显著,光富集显著增加黑农 35 的每荚粒数,从每荚粒数 1.78 增加到 2.13。遮阴对每荚粒数的影响也因大豆品种而异。遮阴对海 339 大豆每荚粒数没有显著影响。遮阴使得垦农 18 每荚粒数显著下降,从 2.11 下降到 1.78,但遮阴使得黑农 35 每荚粒数有上升,从 1.78 上升到 2.07。

与自然光照对比,光富集有降低大豆百粒重的

趋势,但仅对海 339 有显著差异,百粒重由 28.71 g 下降到 26.30 g。遮阴后黑农 35 品种大豆百粒重无显著变化,而海 339 和垦农 18 大豆百粒重略有上升,但差异不显著。

表 1 光处理对不同大豆品种单株产量及其构成因素的影响
Table 1 Effects of light treatments on yield and yield components of different soybean cultivars

品 种 Cultivar	处理 Treatment	单株产量(g) Yield per plant	单株荚数 Pods per plant	每荚粒数 Seed/pod	单株粒数 Seed No.	百粒重(g) Seed size
海 339 Hai339	光富集(LE)	21.8 _a	40.2 _a	2.05 _a	83 _a	26.3 _a
	自然光(CK)	12.7 _b	23.5 _b	1.93 _a	45 _b	28.7 _b
	遮阴(S)	6.95 _c	12.3 _c	1.98 _a	24 _c	29.2 _b
黑农 35 Heinong35	光富集(LE)	15.4 _a	41.4 _a	2.13 _a	88 _a	17.7 _a
	自然光(CK)	10.1 _b	29.3 _b	1.78 _b	53 _b	19.1 _a
	遮阴(S)	6.6 _c	16.7 _c	2.07 _a	35 _c	18.5 _a
垦农 18 Kennong18	光富集(LE)	19.3 _a	60.5 _a	2.14 _a	130 _a	14.9 _a
	自然光(CK)	15.1 _b	45.4 _b	2.11 _a	96 _b	15.9 _{ab}
	遮阴(S)	7.6 _c	25.4 _c	1.78 _b	46 _c	16.6 _b

注:不同字母表示差异达 5%显著水平,下同。
Note: Different letters mean significant at 5% level, the same as the following.

2.3 光处理对大豆籽粒品质的影响

从图 2 可以看出,生殖生长期进行光富集有增加籽粒蛋白质含量的趋势,其中海 339 品种大豆籽粒蛋白质含量显著升高,对比自然光照蛋白质含量上升了 1.08%。黑农 35 和垦农 18 大豆籽粒蛋白质含量略有上升,但差异不显著。遮阴显著降低籽粒内蛋白质含量,三个品种都达到显著性差异,海 339、黑农 35 和垦农 18 籽粒内蛋白质含量分别下降了 2.2%、1.52%和 1.2%。

从图 3 可以看出,生殖生长期进行光富集有降低籽粒脂肪含量的趋势,其中品系海 339 大豆籽粒脂肪含量显著降低,对比自然光照脂肪含量降低了 0.89%。黑农 35 和垦农 18 大豆籽粒蛋白质含量略有降低,但差异不显著。遮阴则显著增加籽粒内脂肪含量,三个品种都达到显著性差异,海 339、黑农 35 和垦农 18 籽粒内脂肪含量分别增加了 0.90%、0.68%和 1.03%。

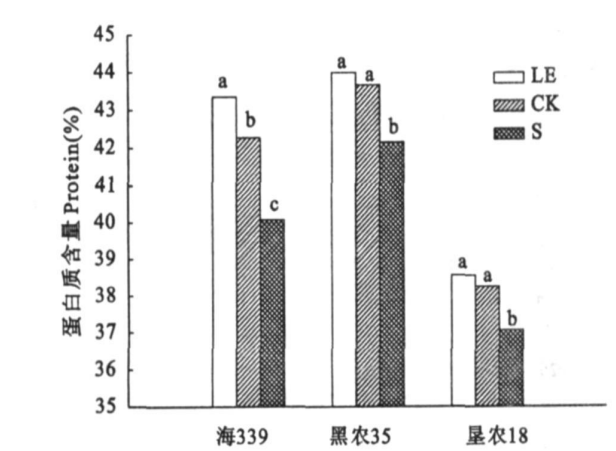


图 2 光富集和遮阴对各品种大豆籽粒蛋白质含量的影响
Fig.2 Influence of light enrichment and shading on protein content of different soybean cultivars

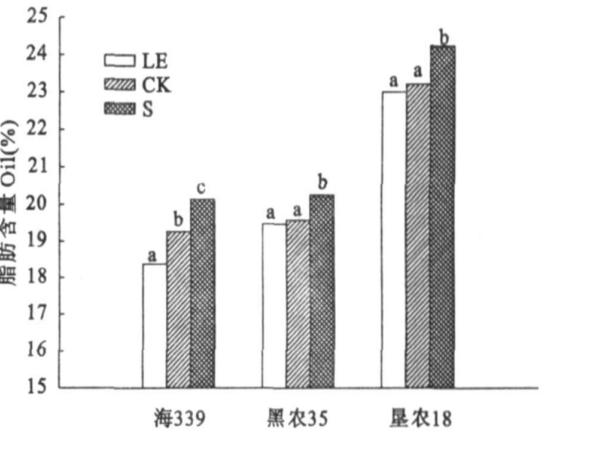


图 3 光富集和遮阴对各品种大豆籽粒脂肪含量的影响
Fig.3 Influence of light enrichment and shading on oil content of different soybean cultivars

3 讨 论

大豆的生长、产量及品质是其遗传特性和环境条件互作的结果。在所有环境条件中,光是影响大

豆和其他许多作物产量的最显著因素之一。在经济产量的形成中,同化物的运输和分配具有决定的作用,单纯提高光合速率以提高作物产量仍然存在一定问题,通过改善作物内同化物的配置和分配,减少

“无谓”的消耗,增加向经济器官的分配,是提高作物产量的另一途径^[16]。光富集和遮阴处理,改变了大豆光合产物在源库中的分配,增加或降低大豆产量进一步证实上述观点的正确性。

Mathew 等研究表明,开花初期光富集能提高大豆产量 144%~252%。本研究光富集产量增加幅度最高仅达 71.7%。导致这种产量增加差异的可能原因是,前者所用大豆品种是多分枝型的,在初花期开始光富集处理增加了较低节位上的分枝数目,分枝的增加极大增加了荚的数目。另外,其种植的行距是 25 cm,而本试验种植的行距是 67 cm。显然在窄行条件下,光富集的效果更加明显。光富集增加了三种大豆的单株荚数、粒数和产量,但不同品种间对光处理的响应不同。品种间对光照需求的差异可能与品种自身的生理特性及群体结构有关,说明不同大豆群体对光照改变的敏感程度不一样。

光富集有增加每荚粒数的趋势,这可能是因为光富集后产生了较多的同化产物所导致的结果。而遮阴有降低或增加每荚粒数的结果,可能是不同品种的一种内在产量补偿效应。Mathew 等研究表明^[4],每荚籽粒数目在决定大豆产量的所有因子中是影响效果较弱的因素。在其他研究者的实验中,也得到相似的结果^[17~19]。然而,本研究发现光富集处理使得每荚籽粒数目得以增加,说明尽管大豆的每荚粒数强烈受大豆内在遗传机制的控制,但仍然会被环境条件所影响。

光富集有降低大豆百粒重的作用,但多数未达到显著水平。这可能是光富集极大增加了单株荚数和粒数(分别增加了 71.1%和 85.7%),即库容显著增大导致相对源弱,从而导致同化物在单个籽粒内的积累有所减少。而遮阴对三个品种大豆百粒重均无显著影响,并使海 339 和垦农 18 百粒重略有上升,这可能是在生殖生长期,遮阴极大减少了单株荚数(分别减少了 47.7%和 44.1%),导致相对源强使得籽粒粒重有上升趋势,也是大豆补偿产量损失的一个方式。McAlister 和 Schonbeck 等提出,籽粒大小的增加可能是对去荚操作减少荚数目的一种补偿机制^[20,21]。本研究认为生殖生长期轻度遮阴(减少 25%的光照)可以看作是源库调节中的去荚作用。关于光富集和遮阴对每荚粒数和粒重也有不同的研究结果。Liu 等^[22]研究发现,大豆以行距为 25 cm 的方式种植时,生殖生长期光富集有增加籽粒粒重的趋势;遮阴(减少光照 52%)有降低籽粒粒重的趋势。Liu 和 Herbert 研究认为,不同的行距引起大豆生长竞争激烈程度不同,不同大豆品种对行距

变化的反应不同^[23]。可以看出,光富集及遮阴影响籽粒粒重的效果,与大豆品种、遮阴强度、种植密度及大豆行距有密切关系。可以认为,大豆产量构成要素(荚数、粒数、每荚粒数、籽粒粒重)的改变就是大豆群体激烈竞争的最终反应结果。单株荚数和粒数是对产量变动贡献最大的因子。

生殖生长期进行光富集增加了籽粒蛋白质含量而降低籽粒脂肪含量。王光华等研究认为,蛋白质积累一方面受到源供应能力的影响,而更多的却受到籽粒潜在库能力的调节,当源小库大时,有利于蛋白质合成,而当源大库小时,利于脂肪的积累^[24]。本研究的生殖生长期光富集处理可以看作是源库调节中的去叶操作。光富集处理极大增加了海 339 大豆单株荚数(增加 71.1%),导致植株库容显著增大,相对叶源强度减小,从而有利于蛋白质的合成,而不利脂肪的积累。因此,增加大豆单株荚数可能是选育高蛋白品种(系)的一个重要的农艺措施。

遮阴降低了籽粒内蛋白质含量,而增加籽粒脂肪含量,可能与遮阴导致植株库容显著减少,相对叶源强度增加,从而不利于蛋白质的积累,而利于脂肪的积累有关。因此,脂肪的积累在很大程度上受 R₅ 期后同化产物供应能力的影响,源大库小有利于脂肪积累。光富集和遮阴对大豆籽粒蛋白质及脂肪含量的影响更可能与植株对营养体贮藏物质转运效率如 N 素转运效率有关,这方面机理尚有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Board J E, Harville B G. Explanations for greater light interception in narrow vs wide row soybean [J]. *Crop Science*, 1992, 32: 198-202.
- [2] Purcell L C, Ball R A, Reaper J D, et al. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities[J]. *Crop Science*, 2002, 42: 172-177.
- [3] 董 钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 20-25.
- [4] Mathew J P, Herbert S J, Zhang S H. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment [J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92: 1156-1161.
- [5] Liu X B, Herbert S J, Zhang Q Y. Yield-density relation of Glyphosate-Resistant soya beans and their responses to light enrichment in north-eastern USA [J]. *J. Agronomy and crop science*, 2007, 193, 55-62.
- [6] Schou J B, Jeffers D L, Streeter J G. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans[J]. *Crop Science*, 1978, 18: 29-34.
- [7] Jiang H, Egli D B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean [J]. *Agronomy*

Journal. , 1993, 52, 84—86.

[8] 李初英, 孙祖东, 陈怀珠, 等. 不同时期接受遮阴胁迫对大豆产量性状及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 265—269.

[9] 王金陵. 大豆生态类型[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 98—119.

[10] 宁海龙, 宋秀吉, 王雪依, 等. 氮磷钾肥对大豆脂肪含量的效应[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(3): 302—307.

[11] 胡明祥. 不同生态区域环境对中国大豆品质的影响[J]. 大豆科学, 1990, 9(1): 39—49.

[12] 宋启建, 盖钧镒, 马育华, 等. 大豆蛋白质和油分含量生态特点研究[J]. 大豆科学, 1990, 9(2): 121—129.

[13] 张秋英, 刘晓冰, 金 剑, 等. R5 期遮阴对大豆植株体内源激素和酶活性的影响[J]. 大豆科学, 2000, 19(4): 362—365.

[14] 蒋跃林, 张仕定, 岳 伟, 等. 大气 CO₂ 浓度对大豆籽粒品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(5): 85—88.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 431—434.

[16] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 233—234.

[17] Dominguez C, Hume D J. Flowering, abortion, and yield of early-maturing soybeans at three densities[J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 801—805.

[18] Schou J B, Jeffers D L, Streeter J G. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans[J]. Crop Science, 1978, 18: 29—34.

[19] Herbert S J, Litchfield G V. Partitioning soybean yield components[J]. Crop Science, 1982, 22: 1074—1079.

[20] McAlister D F, Krober O A. Response of soybean to leaf and pod removal[J]. Agronomy Journal, 1958, 50: 674—677.

[21] Schonbeck M W, Hsu F C, Carlsen T M. Effect of pod number on dry matter and nitrogen accumulation and distribution in soybean[J]. Crop Science, 1986, 26: 783—788.

[22] Liu X B, Herbert S J, Hashemi A M. Yield-density relation of glyphosate-resistant soybeans and their responses to light enrichment in northeastern USA [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2006, 192: 140—146.

[23] 刘晓冰, 金 剑, S. J. Herbert. 行距对大豆竞争有限资源的影响[J]. 大豆科学, 2004, 23(3): 215—221.

[24] 王光华, 刘晓冰, 杨怒平, 等. 生殖生长期库源改变对大豆籽粒产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 1999, 16(3): 236—241.

Effect of light enrichment and shading during reproductive stage on dry matter distribution, yield and quality of soybean

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

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

Abstract: Light intensity intercepted by soybean canopy during the reproductive period is an important environmental factor determining soybean growth and yield. Responses of dry matter distribution, yield and quality of three soybean genotypes differing in protein and oil content to light enrichment and shading were investigated. The results showed that more dry matter was distributed to sink under whole plant light enriched conditions, while more dry matter was distributed to source under shading. Light enrichment increased seed yield, pod number and seed number per plant from 27.7% to 71.7%, 33.3% to 71.1% and 35.5% to 85.7% respectively. In contrast, shade decreased seed yield, pod number and seed number per plant from 34.4% to 49.7%, 43.0 to 47.7% and 33.4% to 52.6% respectively. Light enrichment increased protein content and decreased oil content in seed, however, shade decreased protein content but increased oil content in seed respectively. Differences existed among cultivars.

Key words: soybean; light enrichment; shade; dry matter accumulation; protein; oil