

增加光照及其与改变源库互作对大豆 产量构成因素的影响^{*}

刘晓冰¹ Stephen J. Herbert² 金 剑¹ 张秋英¹ 李艳华¹ 王光华¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨, 150040;

2 美国麻省大学植物与土壤科学系, Amherst, MA, 01003, USA)

摘要 生殖生长期间的光照强度是决定大豆产量的关键环境因素。在美国麻省和中国黑龙江两地, 通过在不同时期, 对不同密度的大豆群体进行增加光照和改变源库处理, 研究了两地产量及产量构成因素对增加光照光变化的反应。结果表明, 不同时期增加光照光处理的增产效果不同, 开花初期和结荚初期增加光照最为明显, 花期增加光照增加单株荚粒数, 而结荚初期增加光照增加百粒重。鼓粒期增加光照处理, 百粒重不同品种在不同密度条件下增产不显著, 说明鼓粒期后的光照条件对大豆产量及百粒重的调节有限。在不同的光照条件下, 源库在产量形成中的作用不同。在自然光照条件下, 剪叶处理产量下降幅度较去荚大, 即源在产量形成中更加重要些, 而在花期的增加光照处理条件下, 库也成为影响产量的重要因子, 可见, 光照条件在源库关系中起着显著的协调作用。

关键词 大豆; 光富集; 源库改变; 产量构成

中图分类号 S 565. 101 **文献标识码** A **文章编号** 1000—9841(2006)01—0006—05

大豆冠层截获的太阳辐射强度是决定产量和产量构成因素的重要因素(Willcott 等, 1984; Board 和 Harville, 1998)^[17, 7], 在大豆开花期尤为关键, 此期间若光照强度低引起大豆产量明显降低(Board 等, 1995)。Jiang 和 Egli(1993)研究证明, 初花期至鼓粒初期遮荫减少花荚数, 提高落花落荚率, 导致荚数降低产量下降。利用照明器或反光板增加生育期间的光照可提高大豆产量(Schou 等, 1978)^[19]。

作物的产量是其光同化产物的生产(源)、同化物向生殖库的运输以及发育中的籽粒为生产构成经济产量的贮藏物质而对同化产物利用的函数(刘晓冰等, 2001)^[1]。已有研究认为, 在生殖生长期改变源强对产量的影响大于营养生长期(Salado—Navarro 等, 1986)^[13]; 生殖生长期部分去叶对产量影响不大(王光华等, 1999)^[2]; 有效灌浆期后限制产量的是库而不是源(Board 和 Tan, 1995)^[6]。上述研究表明, 产量的提高多数是荚数和粒数的改变。也有研究表明, 在源库改变情况下, 籽粒大小的变化补偿了荚数的降低(Schonbeck 等, 1986; Egli 和

Bruening, 2001)^[15, 9]。

然而, 在增加大豆冠层光照条件下, 产量及产量性状对源库改变响应变化方面的研究报道较少, 作者在美国东北部麻省大学和中国东北部的海伦同时进行人为大豆冠层增加光照及去叶荚的源库处理, 分析产量变化, 本研究对于揭示大豆冠层群体光环境变化与源库协调关系, 寻求超高产种植方式, 最终提高产量有一定参考价值。

1 材料和方法

本研究分别在美国麻省大学农学实验站和中科院海伦农业生态实验站进行, 以麻省大学农业实验站研究为主, 该站土壤为典型砂壤土。麻省试验播种前施用氯化钾 306 kg/hm²。供试品种为无限型大豆 Evans, 播前对种子进行根瘤菌接种, 于 2002 年 5 月 24 日机械播种, 每小区 9 行, 行长 12m, 行距 25cm, 种植密度为 83 万株/hm²。按 2. 06L/hm² 扑施特和 2. 75L/hm² 作物油混合化学除草, 生育初期

^{*} 收稿日期: 2005—08—22

项目来源: 本研究是美国农业部(USDA)的教育项目及其麻省大学和中科院东北地理与农业生态所合作项目的部分内容。

作者简介: 刘晓冰(1963—), 男, 博士, 研究员, 主要从事作物生理生态研究。

辅助人工除草。随机区组, 裂区设计, 主区为增加光照处理, 裂区为源库改变处理, 4 次重复。共有三个增加光照处理: (1)开花初期(V_5)~成熟(R_7); (2)结荚初期(R_3)~成熟(R_7); (3)对照: 自然光照(CK)。

在鼓粒初期, 对增加光照处理的株行进行以下源库改变处理: (1)剪去主茎每个三出复叶中的中间小叶(CL); (2)每隔一个节剪去该节的豆荚; (3)每节只留一个豆荚; (4)每隔一个节剪去所有的三出复叶和豆荚; (5)对照(CK)。每小区处理 15 株。

海伦生态实验站试验选择不同百粒重的 3 个大豆品种(系), 它们是品系 409(百粒重 22 g), 黑河 23(百粒重 18 g), 小黑(百粒重 14 g), 在 20 万株/ hm^2 、40 万株/ hm^2 2 个种植密度下, 于鼓粒初期(R_5)进行增加光照处理。2002 年 5 月 15 日人工播种, 随机区组, 3 次重复。每小区面积为 17.5m^2 , 垄作方式, 垄宽 0.67m。播种前在施肥区施底肥, 尿素 $50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N 46%), 二铵 $50\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N 18%、 P_2O_5 46%)、 “三元素” $150\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N 18%、 P_2O_5 16%、 K_2O 16%), 其它各项田间管理同大田。两地增加光照处理是均通过生育期间把每小区中间行的两侧行利用 90cm 的金属筛网向中间行外以 45° 角方式放置, 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(Mathew 等, 2000)。收获时, 经处理的单行全部收割, 计算单株产量、荚数、粒数、单粒重及其收获

指数。利用 SAS 系统进行统计分析(SAS, 1996)。

2 结果与分析

2.1 增加光照对产量及其构成因素的影响

两地结果表明: 增加光照对大豆单株产量影响因处理时期而明显不同, 在美国麻省, 开花初期和结荚初期增加光照处理单株产量比对照分别增加 30.5%和 80.3%, 处理间达显著差异(表 1); 而在中国海伦, 在大豆鼓粒期处理增加产量的效应因品种和种植密度而异, 在高密度情况下, 所有品种(系)均表现出单株产量增加的趋势, 但未达到显著水平, 在低密度情况下, 只有品种黑河 23 表现出明显的增产效应。以上结果表明: (1)生殖生长初期开始至鼓粒期改善光照条件是大豆增产的关键所在; (2)不同区域光照对产量的影响可能因品种和密度而有所不同。分析产量构成因素变化表明: 开花初期开始进行增加光照处理显著增加产量的主要原因是增加了单株荚数、单株粒数、百粒重及其收获指数, 并以单株荚数最为显著, 比对照增加 2 倍, 而结荚初期开始进行增加光照处理增加产量主要是增加百粒重和收获指数, 而对单株荚数和每荚粒数影响不大(表 1)。鼓粒期处理的增产效应主要来自百粒重的增加(表 2)。荚收获指数几乎没有变化说明同化产物在荚皮和籽粒中分配一致。收获指数增加表明增加光照导致更多的同化产物向经济器官转化。

表 1 不同时期增加光照对大豆单株产量及其构成因素的影响(美国, South deerfield)

处理 Treatments	单株产量(g) Yield per plant	单株荚数 Pods per plant	荚粒数 Seeds per pod	百粒重(g) Seed size	荚收获指 *Pod harvest index	收获指数 Harvest index
开花初期至成熟 First flower to maturity	15.64 c	34.02 b	2.40 b	19.2 b	0.800 a	0.68 b
结荚初期至成熟 Early pod formation to maturity	6.96 b	15.38 a	2.23 a	20.3 b	0.815 a	0.62 a
自然光照 Natural light	3.86 a	11.23 a	2.09 a	16.5 a	0.804 a	0.59 a

* 荚收获指数定义为单株籽粒产量与单株荚生物量的比值; 处理间不同字母表示差异达显著水平 $p < 0.05$ 。

2.2 源库改变与增加光照互作对大豆单株产量及其构成的影响

2.2.1 单株产量的变化

不同光处理条件下, 单株产量对源库改变的反应明显不同(表 3)。自然光照条件下, 源库改变处理后单株产量的变化以剪去中间小叶(CL)降低光合源, 降低产量幅度最大(29.3%), 每节留一个荚(SP), 显著减少库容, 也降低产量, 但幅度较小, 只降低 17.8%。而通过隔节去荚(AP)减少库容却提高

籽粒产量 37%。一方面说明, 在自然光照条件下, 对于隔节去荚(AP)的处理, 剩余节位上荚的籽粒所增加的重量补偿并超过去荚损失的重量, 产量因而提高, 另一方面说明, 在自然光照下, 限制产量的主要因素不是库, 而是源。然而在增加光照情况下, 除结荚初期隔节去荚处理与对照没有差异外, 其他源库改变处理的产量均低于对照, 尤其以开花初期增加光照处理最为显著。其中开花初期增加光照处理时, 剪去中间小叶和隔节去荚处理(AP)分别比对照

表 2 不同群体鼓粒期增加光照对大豆品种(系)单株产量和构成因素的影响(中国, 海伦)
Table 2 Effects of light enrichments at pod filling on final yield and yield components
in different soybeans at two densities (China, Hailun)

品种(系) Cultivars	密度 Densities plants/ m ²	处理 Treatment	荚数 Pod/ plant	荚粒数 Seed/ pod	百粒重(g) Seed size	产量(g) Yield	收获指数 Harvest index
品系 409 Line 409	20	增加光照 Light	48. 33	2. 01	18. 35	17. 87	0. 50
		对照 Control	48. 40	2. 06	17. 45	17. 62	0. 51
	40	增加光照 Light	39. 07	2. 07	18. 39	14. 95	0. 50
		对照 Control	37. 47	1. 97	18. 31	13. 83	0. 51
黑河 23 Heihe 23	20	增加光照 Light	36. 80	2. 85	16. 98 *	18. 20 *	0. 52
		对照 Control	34. 80	2. 82	15. 11	15. 90	0. 52
	40	增加光照 Light	33. 50	2. 83	16. 51	15. 74	0. 52
		对照 Control	35. 30	2. 64	15. 90	14. 93	0. 52
小黑 Xiaohei	20	增加光照 Light	58. 10	3. 00	8. 01	14. 14	0. 54
		对照 Control	64. 80	2. 96	7. 60	14. 82	0. 53
	40	增加光照 Light	55. 30	2. 84	7. 62	12. 14	0. 51
		对照 Control	50. 60	2. 93	7. 46	11. 22	0. 51

注: * 表明达显著水平。
降低产量 44. 4%和 38. 6%, 而在结荚初期增加光照, 只有剪去中间小叶处理降低产量 24. 3%。说明在增加光照的情况下, 源库在大豆产量形成中的作用发生了变化, 开花初期增加光照情况下, 源库都是产量的限制因素; 而在结荚初期增加光照, 限制产量的因素仍是源。隔节剪去所有三出复叶和豆荚处理, 不论光照作何处理, 产量均降低, 说明合理且适宜的源库大小是保证大豆产量潜力发挥的基础。

表 3 改变源库与增加光照对单株产量的影响(g/ 株)

Table 3 Influence of source—sink alteration and light enrichments interactions on seed yield per plant (g/ plant)

增加光照处理 Treatments	对照 CK	剪去中间小叶 CL	每节留一个荚 SP	隔节去荚 AP	隔节剪去所有三出 复叶和豆荚 ALP
自然光照 Natural light	4. 16	2. 94 *	3. 42	5. 71 *	3. 95
开花初期 First flower	15. 6	8. 67 *	6. 16 *	9. 58 *	8. 35 *
结荚初期 Early pod formation	6. 96	5. 27	4. 71 *	7. 06	3. 35 *

注: * 表明相同光照处理情况下, 源库处理与对照Dunnett T 检验达显著水平。
CK: Check plants; CL: Central leaflet removal from each leaf; SP: Single pod left at each node; AP: All pods removed from alternate nodes; ALP: All leaflets and pods removal from alternate nodes

2 2. 2 产量构成的变化

分析增加光照情况下, 源库变化对产量构成因素的影响可知: 改变源库与增加光照互作对每荚粒数几乎没有影响(表 5), 主要是影响单株荚数和百粒重(表 4, 表 6)。表 4 表明: 无论何种光照处理, 剪去中间小叶(CL)降低光合源, 均导致单株荚数的降低, 但以开花初期增加光照处理最为明显, 说明开花初期的光照多少以及源的充分供应是保证单株荚数的关键时期。

表 6 表明: 尽管光照处理时期不同, 但源库改变对百粒重的影响结果一致, 均表现为: 剪去中间小叶(CL)降低光合源, 百粒重降低, 每节留一个荚(SP)

和隔节去荚(AP), 减少库容提高百粒重, 并以开花初期增加光照处理反应明显。

3 讨论

已有研究指出, 太阳辐射不仅是光合作用的能源, 而且也是影响大豆发育的重要环境因子, 即使到达冠层上方的辐射量相同, 但群体内部辐射能分布不同, 群体的物质生产能力和生育状况也有很大差别(金剑等, 2003; 2004)。Board 和 Havill(1996)的研究表明, 生长期良好的环境条件, 尤其是冠层截获的太阳辐射是产量性状重要的影响因素。本研究

中, 不同时期增加光照处理的增产效果不同, 以开花初期和结荚初期增加光照最为明显, 这与 Mathew 等(2000)研究结果一致, 但其增产的原因不同, 花期增加光照的作用在于减少落花落荚, 单株荚粒数增加, 而在结荚初期, 增加光照的增产效应主要表现为百粒重的增加。不同密度条件下, 大豆冠层群体内

的光环境不同, 由于中国海伦的试验在鼓粒期进行增加光照处理, 不同百粒重品种、不同密度条件下增产不显著(黑河 23 低密度条件下除外), 说明鼓粒期后的光照条件对大豆单株产量及百粒重的调节是极其有限的。

表 4 改变源库与增加光照对单株荚数的影响(个/株)

Table 4 Influence of source—sink alteration and light enrichments interactions on pod numbers per plant

处理 Treatments	对照 CK	剪去中间小叶 CL	每节留一个荚 SP	隔节去荚 AP	隔节剪去所有三出复叶和豆荚 A LP
自然光照 Natural light	11. 2	8. 62	7. 55 *	13. 3	9. 77
开花初期 First flower	34. 0	22. 6 *	11. 3 *	20. 4 *	17. 6 *
结荚初期 Early pod formation	15. 4	12. 9	9. 41 *	16. 5	8. 63 *

注: *表明相同光照处理情况下, 源库处理与对照 Dunnett T 检验达显著水平。

CK, CL, SP, AP, A LP 含义同表 3。CK, CL, SP, AP, A LP have the same meaning as table 3.

表 5 改变源库与增加光照对每荚粒数的影响(籽粒数/荚)

Table 5 Influence of source—sink alteration and light enrichments interactions on seed numbers per pod

处理 Treatments	对照 CK	剪去中间小叶 CL	每节留一个荚 SP	隔节去荚 AP	隔节剪去所有三出复叶和豆荚 A LP
自然光照 Natural light	2. 09	2. 02	2. 36	2. 18	2. 20
开花初期 First flower	2. 40	2. 28	2. 45	2. 25	2. 47
结荚初期 early pod fomation	2. 23	2. 17	2. 30	2. 01	2. 00

注: *表明相同光照处理情况下, 源库处理与对照 Dunnett T 检验达显著水平。

CK, CL, SP, AP, A LP 含义同表 3。CK, CL, SP, AP, A LP have the same meaning as table 3.

表 6 改变源库与增加光照对百粒重的影响(g/100 粒)

Table 6 Influence of source—sink alteration and light enrichments interactions on 100 seed weight (g)

处理 Treatments	对照 CK	剪去中间小叶 CL	每节留一个荚 SP	隔节去荚 AP	隔节剪去所有三出复叶和豆荚 A LP
自然光照 Natural light	16. 5	16. 2	18. 9	19. 8 *	18. 4
开花初期 First flower	19. 2	16. 8 *	21. 9 *	20. 7	19. 3
结荚初期 Early pod fomation	20. 3	18. 8	21. 7	21. 3	19. 3

注: *表明相同光照处理情况下, 源库处理与对照 Dunnett T 检验达显著水平。

CK, CL, SP, AP, A LP 含义同表 3。CK, CL, SP, AP, A LP have the same meaning as table 3.

研究表明, 就大豆产量而言, 源的作用在生殖生长期远比营养生长期更为重要 (Board 和 Tan, 1995)。遮荫对单位面积粒数的影响与遮荫的长短有关(Jiang 和 Egli, 1995), 生殖生长期增加光照可提高大豆产量(Mathew 等, 2000)。本研究结果证明, 增加开花到结荚期间的光照强度是大豆高产的关键。改变光照条件可能引起大豆源库关系变化, 本研究通过增加光照和改变源库同时处理发现, 在不同的光照条件下, 源库在产量形成中的作用有所不同。在自然光照条件下, 剪叶处理产量下降幅度较去荚大, 可见源在产量形成中有着更加重要的作

用, 而在花期的增加光照处理条件下, 库也成为影响产量的重要因子, 而且在产量构成的变化中, 以荚粒数和百粒重最为明显。所以, 光照条件在源库关系中有显著的协调作用。

参 考 文 献

1 刘晓冰, 宋春雨, S. J. Herbert. 美国大豆产量生理研究进展[J]. 大豆科学, 2001, 20(2): 141—144
2 王光华, 刘晓冰, 杨恕平. 生殖生长期源库改变对大豆籽粒产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 1999, 18(3): 236—241
3 金剑, 刘晓冰, 王光华. 不同熟期大豆 R₄—R₅ 期冠层某些生理生

- 态性状与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1293—1300
- 4 金剑, 刘晓冰, 王光华, 等. 不同密度大豆生殖生长期群体冠层结构研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(2): 124—128
 - 5 Board J. E., Wier, A. T., Boethel, D. J. Source strength influences on soybean yield formation during early and late reproductive development[J]. Crop Sci. 1995, 35, 1104—1110.
 - 6 Board J. E., Tan, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number[J]. Crop Sci. 1995, 35 (3): 846—851.
 - 7 Board J. E., Harville B. G. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow—row, late—planted soybean [J]. Agronomy Journal 1996, 88: 575—579.
 - 8 Board J. E., Harville B. G., Late—planted soybean yield response to reproductive source—sink stress[J]. Crop Sci. 1998, 38: 763—771.
 - 9 Egli D. B., Bruening, W. P. Source—sink relationships, seed sucrose levels and seed growth rates in soybeans[J]. Ann. Bot. 2001, 88: 235—242.
 - 10 Jiang, H. F., Egli, D. B. Soybean seed number and crop growth rate during flowering[J]. Agronomy Journal, 1995, 87: 164—167.
 - 11 Jiang, H. F., Egli, D. B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit and abscission in soybean[J]. Agron. J. 1993, 85: 221—225.
 - 12 Mathew, J. P., Herbert S. J., Zhang, S. H. et al. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment[J]. Agronomy Journal 2000, 92: 1156—1161.
 - 13 Salado—Navarro, L. R., T. R. Sinclair, K. Hinson. Yield and reproductive growth of simulated and field—grown soybean. II. Dry matter allocation and seed growth rates[J]. Crop Sci. 1986, 26: 971—975.
 - 14 SAS Institute, SAS/STAT user's Guide Release 6.09[R]. SAS Institute, 1996, Cary, NC, USA.
 - 15 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 Sci. 1986, 26: 783—788.
 - 16 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 Sci. 1978, 18, 29—34.
 - 17 Willcott J., Herbert S. J. and Liu Z. Y. Leaf Display and Light Interception in Short Season Soybeans[J]. Field Crops Res. 1984, 9: 173—182

LIGHT ENRICHMENT AND ITS INTERACTIONS WITH SOURCE—SINK ALTERATION ON YIELD AND YIELD COMPONENTS IN SOYBEAN

Liu Xiaobing¹ S. J. Herbert² Jin Jian¹ Zhang Qiuying¹ Li Yanhua¹ Wang Guanghua¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Harbin, 150040; 2 Dept. of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts, Amherst, 01003, USA*)

Abstract Light intensity during the reproductive period is the key environmental factor determining soybean yield. Responses of yield and yield components to light enrichment under varied population treated with different light enriched stages and source—sink alterations were investigated in the US and China. The yield increase effects differed among the light enriched stages. Early flowering and pod set stages were the critical stages to increase yield by light enrichment. The increased yield by light enrichment at flowering was mainly due to the increase in pod number, while at pod set stage it was mainly due to the increase in seed size. No significant yield increase was found at seed fill stage by light enrichment for cultivars differing in seed size or grown at different populations. This indicates that the regulation of light enrichment initiated at seed fill on yield and seed size is rather limited. Source/sink played different roles in yield formation under various light regimes. Under natural light conditions, source played a very important role because leaf removal reduced greater yield compared with that of pod removal. Sink also became an important yield—limiting factor while light enriched conditions were applied. It is proposed that light regimes have a significant regulatory function in source-sink relationship.

Key words Soybean; Light enrichment; Source-sink alterations; Yield components