

大豆杂优豆 1 号及双亲的光合特性分析

王凤敏¹, 刘兵强¹, 黄志平², 张磊², 王静华¹, 陈强¹, 张孟臣¹, 秦君¹, 张丽亚², 杨春燕¹

(¹河北省农林科学院粮油作物研究所/国家大豆改良中心石家庄分中心/农业部黄淮海大豆生物学与遗传育种重点实验室/河北省遗传育种重点实验室, 石家庄 050035; ²安徽省农业科学院, 合肥 230031)

摘要:以夏大豆杂交种杂优豆 1 号及亲本(W931A 和 WR016)为材料,进行了光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 值、水分利用效率(WUE)、光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、光合势等光合特性的测定,以探究杂优豆 1 号光合特性方面的杂种优势规律,为大豆的高光效育种提供理论指导。结果表明:杂优豆 1 号的净光合速率日变化呈现单峰曲线,在 8:00 时净光合速率显著高于 W931A 和 WR016;杂优豆 1 号与亲本相比具有较低的光补偿点和较高的光饱和点,从而说明杂优豆 1 号较强利用强光和弱光的能力;从群体光合势分析,杂优豆 1 号的叶面积指数和光合势在盛花期、结荚期、鼓粒期 3 个不同时期都显著高于 W931A 和 WR016,从盛花期到结荚期、结荚期到鼓粒期叶面积指数和光合势都呈现逐渐上升的趋势。杂优豆 1 号较强的光利用能力、较高的叶面积指数和光合势有利于产量的提高。

关键词:大豆;杂优豆 1 号;光合特性

Photosynthetic Characteristics of Hybrid Variety Zayoudou No. 1 and its Parents

WANG Feng-min¹, LIU Bing-qiang¹, HUANG Zhi-ping², ZHANG Lei², WANG Jing-hua¹,
CHEN Qiang¹, ZHANG Meng-chen¹, QIN Jun¹, ZHANG Li-ya², YANG Chun-yan¹

(¹Cereal Oil Crop Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/National Soybean Improvement Center
Shijiazhuang Sub-Center/North China Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Soybean,
Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding of Hebei, Shijiazhuang 050035;

²Anhui Academy of Agriculture Sciences, Hefei 230031)

Abstract: Photosynthetic characteristics of photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (Gs), intercellular CO₂ value, light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), photosynthetic potential of Zayoudou No. 1 and its parents (W931A and WR016) were measured. The results showed that net photosynthetic rate of Zayoudou No. 1 and its parents were single peak curves. Net photosynthetic rate of Zayoudou No. 1 at 8:00 was significantly higher than that of its parents. Zayoudou No. 1 had lower light compensation point and higher light saturation point than its parents, which could make strong ability of weak light. Through analyzing the group of photosynthetic potential, leaf area index and photosynthetic potential were significantly higher than W931A and WR016 in flowering stage, podding stage and drum grain stage. Leaf area index and photosynthetic potential of Zayoudou No. 1 and its parents showed a rising trend from flowering stage to podding stage, from

收稿日期: 2016-11-30 修回日期: 2017-01-16 网络出版日期: 2017-06-13

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170613.0930.042.html>

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0101500, 2016YFD0101503-02);河北省自然科学基金资助项目(C2014301035);河北省科技支撑项目(16227516D);河北省农林科学院粮油作物研究所青年创新基金课题(LYS2016003)

第一作者研究方向为大豆遗传育种, E-mail: wangfm89@163.com; 刘兵强为共同第一作者

通信作者: 杨春燕, 研究方向为大豆遗传育种。E-mail: chyayang66@163.com

张丽亚, 研究方向为作物遗传育种。E-mail: liyazhang@126.com

秦君, 研究方向为大豆遗传育种。E-mail: hbnkydd@163.com

podding stage to drum grain stage. The conclusion showed that Zayoudou No. 1 having strong utilization ability of weak light and higher leaf area index and photosynthetic potential, which were beneficial to the improvement of yield.

Key words: soybean; Zayoudou No. 1; photosynthetic characteristics

大豆是重要的油料作物和粮食作物。随着人们生活水平的提高和食品业、畜牧业的发展,对大豆的需求急剧增加,然而大豆的种植面积有限,因此提高单产是弥补大豆缺口的主要途径^[1]。利用杂种优势是提高单产的途径之一,杂交后代植株较高的光合能力,对提高产量具有重要意义。利用作物的光合特性是进行杂种优势评价的一种新方法,是作物遗传育种研究中的一个新领域。目前关于作物光合性能杂种优势的研究多集中在水稻^[2-3]、棉花^[4]、玉米^[5]及甘蔗^[6-8]上,关于大豆光合性能杂种优势的研究较少。

植物地上部分干物质的90%~95%来自于光合作用,理论认为作物对太阳的总辐射的最大利用率可达5%~6%,而现在实际的平均光能利用率只有1%左右,仅有个别品种达到3.5%,这说明作物的增产潜力仍存在很大空间^[9]。实现增产的关键是提高作物光能利用效率,而提高光合能力是提高光能利用效率的最根本途径。作物生理特性的日变化是研究作物季节生理特性的基础,目前作物生理特性主要通过光合指标反映,主要光合指标有净光合速率(Pn, photosynthetic rate)、气孔导度(Cond, stomatal conductance)、胞间CO₂浓度(Ci, intercellular CO₂ concentration)、蒸腾速率(Tr, transpiration rate)等^[10]。而作物生育期间的有机物合成及伴随的大量水分消耗主要通过叶片进行,因而探讨作物叶片生理功能的日变化日益受到重视。高辉远等^[11]认为大豆的光合日变化,随气候条件、生长环境以及大豆的生育期不同而变化。魏晓慧等^[12]通过测定沙棘的光饱和点和光补偿点,用于筛选光合能力强的株系或品种。刘红梅等^[13]研究表明,利用具有优良光合性状的杂交稻亲本品种配组合,有可能选配到既高光效又高产优质的杂交稻。前人在其他作物方面有很多关于光合特性杂优的研究,但是在大豆方面较少见报道。本研究以杂优豆1号及双亲为材料,探究杂交种在光合特性方面的杂种优势。

1 材料与方法

1.1 试验材料

安徽省农业科学院利用三系法选育的世界上第

1个夏大豆杂交品种杂优豆1号,由质核互作不育系W931A和强恢复系WR016杂交而成;W931A不育系农艺性状优良,株高60 cm,分枝3~5个,茎秆粗壮抗倒伏,抗病毒病,生育期90 d,属配子体不育类型^[14];WR016恢复率高,经济性状优良,抗病性强,生育期适中^[14];该品种2002-2003年平均比对照品种中豆20号增产15.37%,在示范试验中该品种表现出抗病、抗倒伏、高产稳产特征,蛋白质含量435.6 mg/g,脂肪含量189.6 mg/g,产量达4100 kg/hm²以上^[15]。2004年通过安徽省农作物品种审定委员会审定。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2014年种植于河北省石家庄市藁城区堤上试验站,选地势平整、肥力均匀且能代表当地肥力水平、排灌方便、前茬一致、远离高大建筑物和高秆作物的地块作为试验地,试验四周设置不小于小区宽度的保护行。每个品种,3 m行长,6行区,行距0.5 m,3次重复。

1.2.2 光合利用的测定方法 使用Li-6400光合测定仪对光合参数进行测定,测定大豆倒3叶,每个重复5片叶,包括净光合速率(Pn)、气孔导度(Cond)、胞间CO₂值(Ci)和蒸腾速率(Tr),测定时设定系统内气流速度为500 μmol/s。

光饱和曲线的模拟:利用Li-6400仪器使用红蓝光源,设定叶室CO₂浓度为(380±5) μmol/s,相对湿度为大气湿度的80%左右,将光照强度在0~3000 μmol/s范围内设定10个梯度(即3000、2500、2300、2100、1900、1600、1300、1000、500、0),测定Pn的光响应曲线(PFD-Pn),根据曲线拟合方程求出光补偿点(LCP, light compensation point)、光饱和点(LSP, light saturation point)和饱和光强净光合速率(LSPn, light saturated net photosynthetic rate)。

叶面积指数和光合势测定:使用CI-203激光叶面积测定仪,对其叶面积进行测定。

叶面积指数(LAI, leaf area index)分别在盛花期、结荚期和鼓粒期测定。LAI = 单株叶面积 × 单位土地面积内株数/单位土地面积。

光合势(LAD, leaf photosynthetic potential)是单位土地面积上叶面积持续时间,单位m²·d/m²。LAD = (LA₂ - LA₁) × (t₂ - t₁), LA₁、LA₂分别为时间

t_1 、 t_2 时单位土地面积上的叶面积(m^2/m^2)。

1.2.3 统计方法 采用 SPSS 17.0 对净光合速率(P_n)、气孔导度($Cond$)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr)、叶面积指数和光合势进行分析,Photosyn Assistant 软件对光饱和点、光补偿点进行分析。

2 结果与分析

2.1 杂优豆 1 号及双亲净光合速率的日变化

在大豆盛花期测定了 W931A、WR016 和杂优豆 1 号的净光合速率日变化情况,净光合速率在 10:00 达到最大值,此时出现一个峰值,是单峰曲线,整个日变化是升高后降低,3 个品种间净光合速率的拟合度比较高。

杂优豆 1 号及双亲不同时间点净光合速率差异

表 1 杂优豆 1 号及双亲在不同时间的净光合速率差异分析

Table 1 Net photosynthetic rate ANOVA analysis of Zayoudou No. 1 and its parents in different time

品种 Cultivars	净光合速率($\mu mol/m^2 \cdot s$) Netphotosynthetic rate					
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
W931A	13.44 \pm 0.81b	19.42 \pm 0.46a	19.11 \pm 0.67a	17.00 \pm 1.89a	17.86 \pm 0.74a	6.75 \pm 2.51a
WR016	10.78 \pm 0.25c	17.62 \pm 0.63b	18.38 \pm 0.11a	15.87 \pm 0.31a	15.31 \pm 0.95b	7.37 \pm 0.26a
杂优豆 1 号 Zayoudou No. 1	15.71 \pm 0.38a	19.21 \pm 0.99a	18.90 \pm 0.89a	16.95 \pm 1.50a	15.57 \pm 0.92b	6.84 \pm 1.36a

2.2 大豆光合速率与蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度和气孔导度的关系

由表 2 可知,杂优组合中 3 个品种的净光合速率与气孔导度和蒸腾速率都呈极显著正相关,说明气孔导度和蒸腾速率对净光合速率的影响大,这两个因素对净光合速率的贡献大;从气孔导度与净光合速率的相关系数分析,杂优豆 1 号的相关系数高

表 2 杂优组合净光合速率与其他参数不同时期的相关分析

Table 2 Correlation among net photosynthetic rate and other parameters of Zayoudou No. 1 and its parents in different date

净光合速率 P_n	气孔导度 $Cond$	胞间 CO_2 浓度 C_i	蒸腾速率 Tr
W931A	0.667 **	-0.376	0.745 **
WR016	0.936 **	-0.374	0.936 **
杂优豆 1 号 Zayoudou No. 1	0.958 **	0.136	0.941 **

** 表示极显著正相关 ** mean highly significant positive correlation

进行分析,在 8:00 时,杂优豆 1 号的净光合速率显著高于 W931A, W931A 显著高于 WR016;10:00 时, W931A 和杂优豆 1 号的净光合速率显著高于 WR016, W931A 和杂优豆 1 号间的净光合速率没有显著差异;16:00 时, WR016 和杂优豆 1 号的净光合速率显著低于 W931A, WR016 和杂优豆 1 号间的净光合速率没有显著差异;12:00、14:00 和 18:00 3 个时间点 3 个品种的净光合速率都没有显著差异。从杂优组合净光合速率差异分析,在 8:00 时,杂优豆 1 号和双亲间存在显著差异,杂优豆 1 号显示了一定的杂种优势,杂优豆 1 号可能在光合系统的启动上存在一定的优势,在整个日变化过程中,杂优豆 1 号从 8:00 到 16:00 的净光合速率均高于恢复系 WR016 (表 1)。

于 WR016, WR016 的相关系数高于 W931A,即杂优豆 1 号光合系统的气孔调节能力高于 WR016, WR016 高于 W931A,说明杂优豆 1 号在光合系统的气孔调节能力上显示了一定的优势; W931A 和 WR016 胞间 CO_2 浓度与净光合速率呈负相关,相关性不显著;杂优豆 1 号胞间 CO_2 浓度与净光合速率呈正相关,相关性不显著。

2.3 不同光环境对大豆杂交组合品种叶片气体交换参数的影响

采用非直角双曲线模型拟合 P_n -PFD 光响应曲线。杂优组合中杂优豆 1 号与 W931A 和 WR016 相比具有较高饱和光强净光合速率,说明杂优豆 1 号光合利用能力强于亲本,且杂优豆 1 号的光饱和点高于 W931A 和 WR016,光补偿点低于 W931A 和 WR016,从而说明杂优豆 1 号具有较强的强光利用能力和较弱的弱光利用能力,杂优豆 1 号具有较宽的光适应能力,因此杂优豆 1 号具有较强的强光利用能力,强光和弱光适应上具有一定的优势(表 3)。

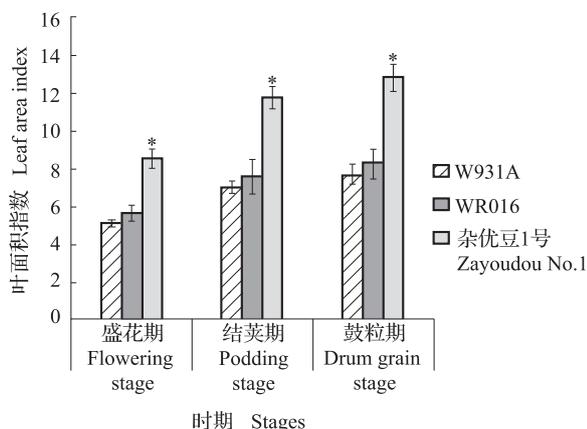
表3 杂优组合光饱和和光补偿参数分析

Table 3 Light saturation and compensation parameters analysis of Zayoudou No. 1 and its parents

品种 Cultivars	饱和光强净光 合速率 LSPn	光补偿点 LCP	光饱和点 LSP
W931A	30.67	11.25	2241.25
WR016	32.35	11.25	2337.50
杂优豆1号 Zayoudou No. 1	34.71	10.00	2516.25

2.4 杂优组合不同时期叶面积指数分析

叶面积指数是指群体的总绿色叶面积与该群体所占据的土地面积的比值,是群体组成大小和植株生长繁茂程度的重要参数。本研究对杂优组合不同生育期的叶面积指数进行分析,W931A、WR016和杂优豆1号的叶面积指数是鼓粒期最高,其次是结荚期,最低的是盛花期。杂优豆1号在盛花期、结荚期和鼓粒期的叶面积指数都显著高于W931A和WR016。W931A和WR016品种没有显著差异,从数值可知WR016高于W931A(图1)。在叶面积指数方面,杂优豆1号体现了一定的杂种优势。



*表示5%水平差异显著,下同

* means significant difference at the level of 5%, the same as below

图1 杂优豆1号及双亲叶面积指数图

Fig. 1 Leaf area index of Zayoudou No. 1 and its parents change

2.5 杂优组合不同时期光合势分析

对杂优组合不同生育期的光合势进行分析,W931A、WR016和杂优豆1号的光合势在鼓粒期最高,其次是结荚期,最低的是盛花期。杂优豆1号在盛花期、结荚期和鼓粒期的光合势都显著高于W931A和WR016。W931A和WR016品种没有显著差异,在盛花期W931A的光合势高于WR016,结

荚期和鼓粒期WR016高于W931A(图2)。在大豆的生育过程中,在一定的范围内,光合势越大,干物质生产越多,作物产量越高^[16]。通过对光合势分析可知,杂优豆1号体现了一定的杂种优势。

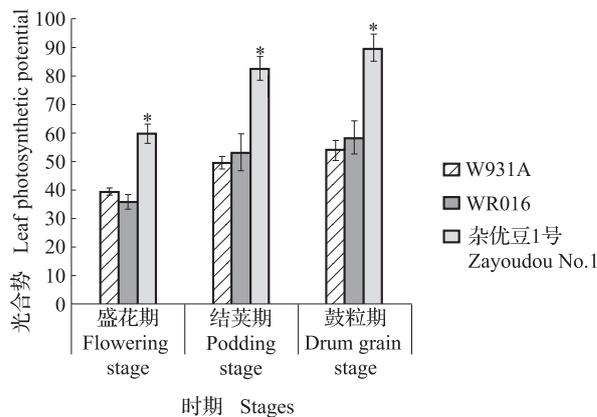


图2 杂优豆1号及双亲光合势不同时期变化图

Fig. 2 Leaf photosynthetic potential of Zayoudou No. 1 and its parents change in different stage

3 讨论

植物光合作用日变化是各种生理生态因子综合效应的最终反映,其结果可作为分析产量限制因子的重要依据^[17]。净光合速率是衡量植物光合作用的重要指标,净光合速率越大,植物光合作用累积的有机物质就越多,预示着植物的生长量就越高^[18]。杂优豆1号与双亲日变化呈单峰曲线与阎秀峰等^[19]的研究结果一致,与孙广玉^[20]研究的大豆日变化的双峰曲线不一致。杂种优势是指两个遗传特性不同的亲本进行有性杂交,产生的杂种在生长势、生活力、抗逆性以及产量和品质等方面优于双亲的现象^[21]。品种的光合速率差异可以作为比较产量高低的一个重要指标^[22]。张晓丽等^[23]通过测定东南亚特种水稻的净光合速率,分析净光合速率与农艺性状的关系,筛选出潜在的高光效育种材料。本研究通过测定杂优豆1号及双亲的净光合速率,杂优豆1号8:00-16:00的净光合速率都高于恢复系(WR016),说明杂优豆1号在净光合速率方面显示了一定的优势,可推测杂优豆1号净光合速率高可能对杂优豆1号高产起一定的作用。

植物的光响应曲线反映出植物光合生理特性的差异及其对不同生长光强的适应潜力^[24]。光饱和点和光补偿点可以反映植物对光能利用能力的强弱,光饱和点高植物适应强光的能力强,光补偿点低植物利用弱光的能力强^[25]。杂优豆1号的光补偿

点低于亲本,说明杂优豆 1 号有较强的弱光利用能力,光饱和点高于亲本说明杂优豆 1 号具有较强的强光利用能力,杂优豆 1 号光强适应范围较广,从而说明杂优豆 1 号具有较宽的光强的适应性。

叶面积指数是衡量植物群体光合绿叶面积的重要指标,较大的光合绿叶面积是作物高产优质的基础^[26]。提高叶面积指数是提高大豆产量的重要途径^[27]。杂优豆 1 号组合的叶面积指数从盛花期到鼓粒期都呈现逐渐升高趋势,并且杂优豆 1 号在 3 个时期都显著高于双亲,从而说明杂优豆 1 号在叶面积指数方面存在一定的杂种优势,这可能也是杂优豆 1 号高产的一个重要因素。光合势是衡量叶片光合能力的尺度,叶面积、叶面积指数和光合势都是大豆获得高产的重要叶部特征。杂优豆 1 号在盛花期、结荚期、鼓粒期的光合势都显著高于双亲,说明杂优豆 1 号在冠层结构方面具有一定的优势,有利于较大面积的利用光能,从而促进产量的提高。综上所述,杂优豆 1 号在净光合速率、光补偿点、光饱和点、叶面积指数及光合势方面具有一定的优势,这种优势可能与杂优豆 1 号的高产有着密切的关系,从而为高产育种提供一定的理论指导。植物光合特性与产量关系密切,在今后的研究中以大量的杂交种和常规品种为材料进行光合特性方面全面深入的研究,可为高光效高产育种提供理论依据。

参考文献

- [1] 赵团结,盖钧镒,李海旺,等. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. 中国农业科学,2006,39(1):29-37
- [2] Pham C V, Murayama S, Kawamitsu Y, et al. Heterosis for photosynthetic and morphological characters in F₁ hybrid rice from a thermo-sensitive genic male sterile line at different growth stages [J]. Jpn J Trop Agric, 2004, 48(3):137-148
- [3] 李季航,向珣朝,何立斌,等. 水稻亚种间杂种 F₁ 光合特性研究[J]. 植物学通报,2005,22(4):432-438
- [4] Chen Z H, Wu F B, Wang X D, et al. Heterosis in CMS hybrids of cotton for photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters [J]. Euphytica, 2005, 144:353-361
- [5] 李霞,丁在松,李连禄,等. 玉米光合性能的杂种优势[J]. 应用生态学报,2007,18(5):1049-1054
- [6] 何水林,陈如凯,李宇,等. 能源甘蔗群体光合生产特性研究——II 能源甘蔗碳氮代谢及其与群体光合能力关系的初步研究[J]. 甘蔗,1997,4(1):1-6
- [7] 邓祖湖,徐良年,陈凤森,等. 甘蔗实生苗净光合速率与经济性状配合力分析[J]. 热带作物学报,2006,27(1):33-38
- [8] 唐仕云,刘海斌,贤武. 甘蔗新品种(系)种性与光合特性的相关关系[J]. 中国糖料,2008(3):7-10
- [9] Mann C C. Genetic engineers aim to soup up crop photosynthesis [J]. Science, 1999, 283:314-316
- [10] 徐新娟,王伟,黄中文. 大豆品种主要光合指标日变化的研究[J]. 河南农业科学,2011,40(11):49-52,56
- [11] 高辉远,邹琦,程炳嵩. 大豆光合日变化的不同类型及其影响因素[J]. 大豆科学,1992,11(3):219-225
- [12] 魏晓慧,殷东生,郭树平. 7 个引种沙棘的光合特性[J]. 东北林业大学学报,2014(10):20-23,43
- [13] 刘红梅,周新跃,刘建丰,等. 籼型杂交稻光合特性的配合力分析[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(4):699-705
- [14] 张磊,戴瓯和,黄志平,等. 大豆 M 型质核互作雄性不育系 W931A 三系配套及强优势组合的研究[J]. 安徽农业科学,2001,29(1):16-17,22
- [15] 谢甫锦. 大豆雄性不育及杂种优势利用研究进展[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(2):131-136
- [16] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京:中国农业出版社,2000:55-57
- [17] 刘玉华,贾志宽,史继安,等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报,2006,26(5):1468-1477
- [18] 靳甜甜,刘国华,胡婵娟,等. 黄土高原常见造林树种光合蒸腾特征[J]. 生态学报,2008,28(11):5758-5765
- [19] 阎秀峰,许守民,苗以农. 大豆光合生理生态的研究——第 13 报 大豆叶片的光合速率和水分利用效率[J]. 大豆科学,1990,9(3):221-227
- [20] 孙广玉. 两个大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill] 品种光合作用日变化的研究[J]. 大豆科学,1989,8(1):33-38
- [21] 张天真. 作物育种学总论[M]. 北京:中国农业出版社,2005:224-235
- [22] 郑宝香,满为群,杜维广,等. 高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系[J]. 大豆科学,2008,27(3):397-401
- [23] 张晓丽,王强,陈雷,等. 东南亚特种水稻种质资源光合特性研究[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(6):1008-1013
- [24] 韦兰英,曾丹娟,张建亮,等. 岩溶石漠化区四种牧草植物光合生理适应性特征[J]. 草业学报,2010,19(3):212-219
- [25] 黄滔,刘玮,唐红,等. 4 个观赏竹种的光合特性及其影响因子分析[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(1):24-33
- [26] 刘存宏,徐玉芳,贾志军,等. 18 个葡萄品种的光合特性比较[J]. 中国农学通报,2006,22(7):404-406
- [27] 杜吉到,郑殿峰. 大豆复叶性状与产量形成关系的研究现状[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(2):23-27