

## 杂交大豆与普通大豆关键生理特性的比较研究

陈喜凤<sup>1</sup>, 孙宁<sup>2</sup>, 谷岩<sup>1</sup>, 王振民<sup>1</sup>, 吴春胜<sup>1</sup>, 赵福林<sup>1</sup>

(1. 吉林农业大学 作物研究中心/吉林省大豆区域技术创新中心, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 吉林 长春 130033)

**摘要:**以杂交大豆(ZD2和ZD5)与普通大豆(OKD25和JN30)为试验材料,开展了杂交大豆与普通大豆光合生理特性的比较研究。结果表明:从开花盛期到鼓粒末期,杂交大豆叶片净光合速率均高于普通大豆,各品种光合速率、蒸腾速率和水分利用率的变化规律一致;杂交大豆的蒸腾速率均高于OKD25,部分时期高于JN30,JN30蒸腾速率最高值出现相对滞后而有别于其他品种;杂交大豆具有较高的水分利用率,其最高值同光合速率出现在鼓粒盛期;各品种胞间CO<sub>2</sub>浓度最高值出现时期相同,ZD5各时期胞间CO<sub>2</sub>浓度均低于JN30和OKD25(除鼓粒期),而ZD2绝大部分时期低于普通大豆;各品种气孔导度值从鼓粒盛期到鼓粒末期下降迅速,与光合和蒸腾速率相同,ZD2各时期气孔导度值均高于普通大豆,而ZD5部分时期高于普通大豆。

**关键词:**杂交大豆;光合特性;水分利用率

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.06.0853

## Comparative Research on the Characteristics of Photosynthetic Physiology between Hybrid and Common Soybean

CHEN Xi-feng<sup>1</sup>, SUN Ning<sup>2</sup>, GU Yan<sup>1</sup>, WANG Zhen-min<sup>1</sup>, WU Chun-sheng<sup>1</sup>, ZHAO Fu-lin<sup>1</sup>

(1. Crop Research Center, Jilin Agricultural University/The Innovation Center of Soybean Region Technology, Changchun 130118, China; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Using hybrid soybeans(ZD2 and ZD5) and common soybeans(OKD25 and JN30) as the materials, the comparative research on the characteristics of photosynthetic physiology between hybrid and common soybeans was studied. The results showed that: from the flowers flourishing stage to the seed filling inactive stage, the net photosynthetic rate of the leaves of hybrid soybeans was higher than that of common soybeans; photosynthetic rate, transpiration rate, efficiency of water application variation trend agreed. Transpiration rate of hybrid soybeans both higher than OKD25, some time higher than JN30. Transpiration rate peak of JN30 appeared later than other varieties. Hybrid soybeans had a higher efficiency of water application. Maximum value of photosynthetic rate appeared at the seed filling stage. Intercellular CO<sub>2</sub> concentration of all varieties appeared at the same time, Intercellular CO<sub>2</sub> concentration of ZD5 was lower than JN30 and ZD5(except for seed filling period), while most of the time ZD2 was lower than that of common soybeans. Conductance to H<sub>2</sub>O value of all varieties drops dramatically from seed filling active stage to the seed filling inactive stage, so did the photosynthetic rate. Conductance to H<sub>2</sub>O value of ZD2 was higher than that of common soybeans, while ZD5 was higher than common soybeans only in particular stage.

**Key words:** Hybrid soybeans; Photosynthetic characters; Water usage efficiency

杂种优势在生物界中普遍存在,杂交种的应用,加速了农作物遗传改良的进程,对农作物的增产增收起到了巨大的推动作用<sup>[1]</sup>。我国的大豆杂种优势利用研究起步于20世纪80年代,总体上处于国际领先地位<sup>[2]</sup>。截止到目前,我国利用“三系”法选育的大豆杂交种,正式通过审定的已有近10个品种。伴随大豆杂交种的问世,相关学者已从高产种植方式、合理群体结构及其肥料施用等方面展开了研究<sup>[3-4]</sup>。同时,针对杂交大豆制种产量低的问题,进行了不同父母本行比、行距配置、化控剂、昆虫传粉等对制种产量影响的研究,使得制种产量显著提高<sup>[5-8]</sup>。通过对杂交大豆产量构成因素研究得出,其产量优势主要源于三、四粒荚数,单株荚数及粒数<sup>[9]</sup>;而从生理角度看,作物产量的形成与地上

部绿色器官的光合作用关系最为密切,其生物学产量的90%~95%来自叶片光合产物。可见,较高的光合生产力是其获得高产的生理基础<sup>[10]</sup>。而有关杂交大豆光合生理优势方面的研究相对欠缺。为此,本文对杂交大豆与普通大豆光合特性进行比较研究,旨在探索杂交大豆与普通大豆的光合生理异同,初步明确杂交大豆产量形成过程中的光合生理优势,为杂交大豆高产优质栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

试验材料为杂交大豆品种杂交豆2号(ZD2)和杂交豆5号(ZD5),由吉林省农业科学院大豆研究

收稿日期:2014-03-13

基金项目:国家高技术研究发展计划“863计划”(2011AA10A105);吉林省教育厅项目(吉教科合字[2014]464号);吉林农业大学校内启动基金(201228)。

第一作者简介:陈喜凤(1984-),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆栽培生理研究。E-mail:chenxifeng2003@126.com。

通讯作者:王振民(1963-),男,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:wangzhenmin2004@sina.com;

吴春胜(1956-),男,教授,主要从事作物高产栽培生理研究。E-mail:wcs8131587@126.com。

所提供;普通大豆品种欧科豆 25 (OKD25) 和吉农 30 (JN30), 由吉林省大豆区域技术创新中心提供。

## 1.2 试验设计

试验于 2013 年在吉林农业大学吉林省大豆区域技术创新中心试验基地进行, 土壤为典型黑土, 上等肥力水平, 有机质含量  $26.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $16.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $122 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全磷  $0.85 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH6.8。试验采用随机区组设计, 3 次重复, 常规密度  $22 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每小区 10 行, 行长 30 m, 行距 0.65 m, 小区面积  $195 \text{ m}^2$ 。所施肥料为磷酸二铵  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾  $50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 播种时全部作为种肥一次施入。于 5 月 3 日播种, 采用机械垄上双行条播, 常规田间管理, 2013 年 9 月 30 日收获测产。

## 1.3 测定项目与方法

在大豆生长周期内, 分别于开花盛期(7 月 10 日)、结荚盛期(8 月 1 日)、鼓粒盛期(8 月 25 日)和鼓粒末期(9 月 4 日), 在晴朗无云的天气条件下, 于每日 9:00~11:00 使用美国基因公司生产的 LI-6400 便携式植物光合仪测定杂交大豆与普通大豆功能叶片的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $Cond$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )等光合生理指标。所选光源为自然光源, 样品室气体流速为  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 。具体测定方法为: 在各小区中间位置选取长势一致有代表性的大豆植株 5 株, 分别对其进行测定, 测定部位为从植株顶部下数第 4 片三出复叶中间小叶的中部位置。水分利用效率(WUE)是通过净光合速率与蒸腾速率的比值( $P_n/T_r$ )来计算。

## 1.4 数据分析

所有数据使用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 进行统计与分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 杂交大豆与普通大豆净光合速率的比较

由图 1 可知, 4 个品种从开花盛期到鼓粒末期净光合速率呈现先升高后降低的变化趋势, 各品种的光合速率最高值均出现在鼓粒盛期。各时期, 杂交大豆功能叶片净光合速率均高于普通大豆, 除结荚盛期 ZD5 大于 ZD2, 其他各时期均呈现  $\text{ZD2} > \text{ZD5} > \text{JN30} > \text{OKD25}$ , 其中鼓粒盛期, ZD2 光合速率比 OKD25 和 JN30 分别高 20.4% 和 8.93%, ZD5 比 OKD25 和 JN30 分别高 19.4% 和 7.99%。鼓粒末期大豆叶片开始衰老黄化, 各品种光合速率均明显降低。田间观察发现, 杂交大豆绿叶数较普通大豆多, 其保绿性较好, 相对普通大豆更有利于成熟前干物质的积累。

## 2.2 杂交大豆与普通大豆蒸腾速率的比较

从开花盛期到鼓粒末期杂交与普通大豆的蒸腾速率总体呈现先升高后降低的变化趋势, 与其光合速

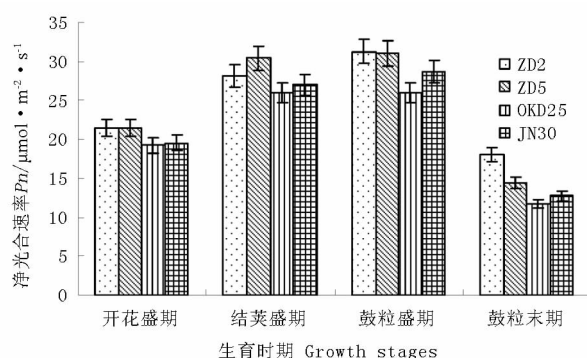


图 1 不同时期净光合速率比较

Fig. 1 Comparison of net photosynthetic rate at different stages

率相近(图 2)。不同时期, 4 个品种的蒸腾速率变化不同。其中, 开花盛期:  $\text{ZD5} > \text{JN30} > \text{ZD2} > \text{OKD25}$ ; 结荚盛期和鼓粒盛期:  $\text{ZD2} > \text{JN30} > \text{ZD5} > \text{OKD25}$ ; 鼓粒末期:  $\text{ZD2} > \text{ZD5} > \text{JN30} > \text{OKD25}$ ; ZD2、ZD5 和 OKD25 蒸腾速率最高值在结荚盛期, 而 JN30 出现在鼓粒盛期。可知, 各时期杂交大豆的蒸腾速率均高于普通大豆 OKD25, 部分时期高于 JN30。

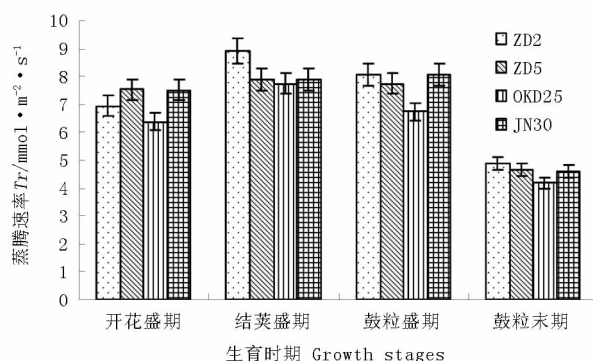
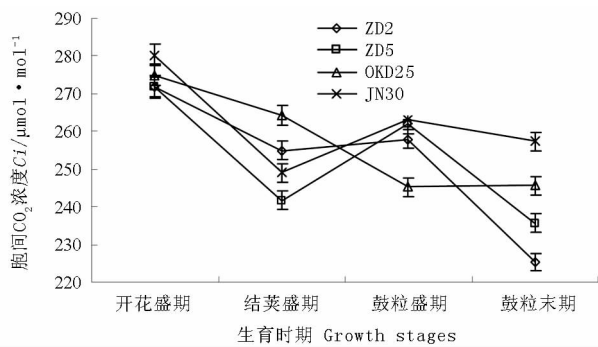


图 2 不同时期蒸腾速率比较

Fig. 2 Comparison of transpiration rate at different stages

## 2.3 杂交大豆与普通大豆胞间 $\text{CO}_2$ 浓度的变化

由图 3 可知, 不同时期杂交大豆 ZD2、ZD5 和普通大豆 JN30 的胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈现先降低后升高、而后再降低的变化趋势, 4 个品种胞间  $\text{CO}_2$  浓度最高值均出现在开花期, 而最低值出现的时期不同。其中 ZD2 和 ZD5 最低值出现在鼓粒末期, JN30 出现在结荚盛期, 而 OKD25 出现在鼓粒盛期、且其曲线变化规律也有异于其他 3 个品种。在开花盛期, 杂交与普通大豆胞间  $\text{CO}_2$  浓度比较结果为  $\text{JN30} > \text{OKD25} > \text{ZD5} > \text{ZD2}$ ; 结荚盛期:  $\text{OKD25} > \text{ZD2} > \text{JN30} > \text{ZD5}$ ; 鼓粒盛期:  $\text{JN30} > \text{ZD5} > \text{ZD2} > \text{OKD25}$ ; 鼓粒末期:  $\text{JN30} > \text{OKD25} > \text{ZD5} > \text{ZD2}$ 。即 4 个时期, 杂交豆 ZD5 的胞间  $\text{CO}_2$  浓度均低于普通大豆 JN30 和 OKD25 (除鼓粒盛期); 而 ZD2 同样低于普通大豆 JN30 (除结荚盛期) 和 OKD25 (除鼓粒盛期)。原因可能为杂交大豆光合速率较普通大豆高, 对光合原料  $\text{CO}_2$  的需求量大, 结果导致胞间  $\text{CO}_2$  浓度值低于普通大豆。

图3 不同时期胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的比较Fig. 3 Comparison of intercellular CO<sub>2</sub> concentration at different stages

#### 2.4 杂交大豆与普通大豆气孔导度的比较

由图4可知,从开花期始,随着大豆生育进程的推进,4个大豆品种的叶片气孔导度逐渐降低,其中从开花盛期到结荚盛期曲线变化较平缓,而从鼓粒盛期到鼓粒末期气孔导度值迅速下降,此时期与光合速率和蒸腾速率的变化规律一致。ZD2各时期的气孔导度值均高于普通豆,而ZD5部分时期高于普通豆。开花盛期,ZD2气孔导度比OKD25和JN30分别高37.4%和16.5%,而ZD5比OKD25和JN30分别高37.8%和16.8%。在鼓粒盛期,ZD2比OKD25和JN30分别高52.2%和13.7%,而ZD5比OKD25和JN30分别高39.8%和3.74%。ZD2气孔导度值始终高于其他品种。

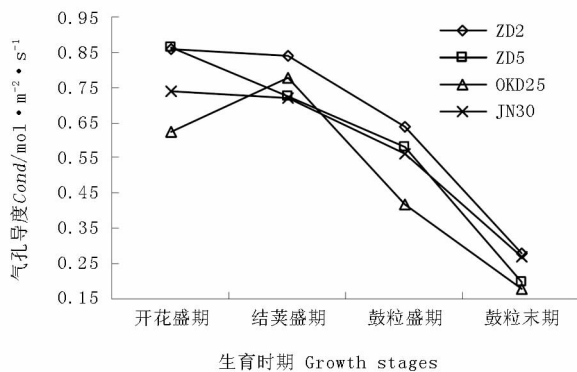


图4 不同时期气孔导度的比较

Fig. 4 Comparison of conductance to H<sub>2</sub>O at different stages

#### 2.5 杂交大豆与普通大豆水分利用率的比较

由图5可知,不同时期杂交与普通大豆水分利用率总体变化趋势与光合和蒸腾速率一致,其中,水分利用率的最高值同光合速率均出现在鼓粒盛期,此时各品种水分利用率由高到低依次为ZD5 > ZD2 > OKD25 > JN30,在鼓粒末期也呈现出同样的规律。在开花盛期,ZD5的水分利用率并不高,低于ZD2和OKD25,而从结荚盛期到鼓粒末期其水分利用率迅速提升,明显高于其他3个品种,表现出较高的水分利用效率。通过对各时期不同品种水分利用率的平均值比较得出:杂交豆平均水分利用率较普通豆高8.64%。

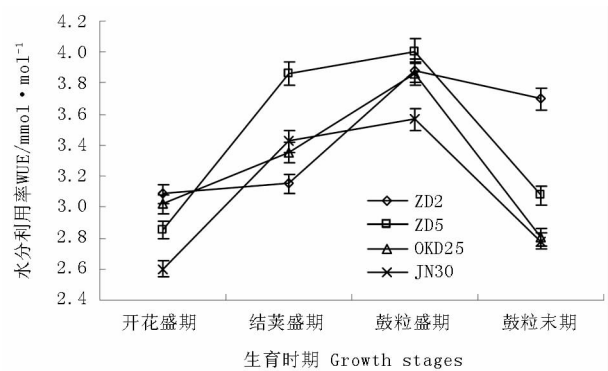


图5 不同时期水分利用率的比较

Fig. 5 Comparison of water use efficiency at different stages

### 3 结论与讨论

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<sup>[11]</sup>。杂交大豆具有较强的杂种优势,除产量优势较为明显外<sup>[12-15]</sup>,其在部分形态及生理性状上同样具有超亲优势<sup>[16-17]</sup>。作物高产性状的选择常与高光效相联系,胡美君等<sup>[18]</sup>在小麦上研究得出,优选杂交后代的净光合速率高于各自亲本。杂种小麦倒三叶、旗叶一生均较亲本具有较高的光合速率<sup>[19]</sup>。刘建丰、翟虎渠等在水稻中研究得出,超高产杂交稻在抽穗后期的光合速率比对照都有不同程度增加<sup>[20-21]</sup>。玉米是应用杂种优势较早的农作物,其杂交种在光合速率、蒸腾速率、叶绿素荧光等方面具有优势<sup>[22-23]</sup>。衡量作物光合能力的重要生理指标为叶片的光合速率,光合速率的高低决定了作物对光能的利用能力,直接影响产量的形成。本研究得出,从开花盛期到鼓粒末期,杂交大豆2号、5号叶片净光合速率均高于普通大豆欧科豆25和吉农30。对比胞间CO<sub>2</sub>浓度得出,杂交豆2号、5号仅个别时期高于普通大豆,其他时期均低于普通大豆。杂交大豆高效的光合速率,使其对光合原料CO<sub>2</sub>需求量增大,结果导致胞间CO<sub>2</sub>浓度值低于普通大豆。在鼓粒末期田间观察发现,杂交大豆的可见绿叶数较普通大豆多,其保绿性好,可延长光合时间,增加了成熟前干物质的累积量,有利于杂交大豆产量的形成。

作物的光合速率与蒸腾速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度等密切相关。叶片气孔是控制叶片内外水、气交换的门户,决定着植物与外界进行水、气交换的能力。气孔的开放程度常用气孔导度来衡量,他在改善植物光合和蒸腾过程中起重要作用<sup>[24]</sup>。本试验结果表明,杂交大豆的光合速率、蒸腾速率及其水分利用率总体高于普通大豆,分析原因为杂交大豆的气孔导度值高,叶片表面气孔通畅,利于外界空气中的CO<sub>2</sub>进入绿叶内部,可为叶片的光合作物提供充足碳源。同时,气孔通畅有利于叶片表面水分的蒸腾作用,使植物体内的蒸腾拉力增大,高效的蒸腾速率增

强了根系对水分的吸收及植物体内水分的运输能力,可为光合作用提供充足的水分需求。由此可见,气孔导度的改善可以明显提高叶片的光合速率和蒸腾速率,气孔调节在叶片光合过程中起着重要的控制作用<sup>[22]</sup>。本研究采用光合速率与蒸腾速率的比值来衡量植株的水分利用效率,试验中水分利用率的最高值同光合速率均出现在鼓粒盛期,杂交大豆各时期平均水分利用率较普通大豆高8.64%,可见杂交大豆具有良好的自我光合与蒸腾协调能力,表现出高效的水分利用效率。有关杂交大豆的光合生理优势,还有待从叶片荧光特性、光合作用关键酶系统等方面展开更加深入的研究。

## 参考文献

- [1] 孙寰,赵丽梅,王曙明,等. 大豆杂种优势利用研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(1): 92-100. (Sun H, Zhao L M, Wang S M, et al. A review of the utilization of heterosis in soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003, 25(1): 92-100.)
- [2] 王曙明,孙寰,赵丽梅,等. 中国大豆雄性不育和杂种优势利用研究进展与问题分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1089-1102. (Wang S M, Sun H, Zhao L M, et al. Progress and problem analysis on soybean male sterility and heterosis exploitation in China [J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 1089-1102.)
- [3] 闫晓艳,邱强,石一鸣,等. 杂交大豆高产种植方式及合理群体结构的研究[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(5): 3-8. (Yan X Y, Qiu Q, Shi Y M. Study on high yield planting hybrid soybean and reasonable population structure [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2007, 32(5): 3-8.)
- [4] 胡晨,黄志平,张丽亚,等. 氮肥施用对杂交大豆生育特性及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6745-6746. (Hu C, Huang Z P, Zhang L Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on the development characteristics and yield of hybrid soybean [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(22): 6745-6746.)
- [5] 张伟龙,张伟,赵丽梅,等. 父母本行比-行距配置对洮南地区杂交大豆制种产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(2): 182-184. (Zhang W L, Zhang W, Zhao L M, et al. Effects of ratio between parental lines and spacing on seed yield of hybrid soybean in Taonan [J]. Soybean Science, 2013, 32(2): 182-184.)
- [6] 赵丽梅,彭宝,孙寰,等. 化控剂在杂交大豆制种中的应用[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 777-785. (Zhao L M, Peng B, Sun H, et al. Application of chemical control agent on hybrid soybean [J]. Soybean Science, 2011, 30(5): 777-785.)
- [7] 王跃强,王曙明,赵丽梅,等. 杂交大豆昆虫传粉及制种技术研究进展[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(3): 5-8. (Wang Y Q, Wang S M, Zhao L M, et al. Progress in studies of insect pollinators and seed producing techniques of soybean hybrids [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2008, 33(3): 5-8.)
- [8] 赵丽梅,彭宝,王跃强,等. 种植方式、疏叶及昆虫对杂交大豆制种产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(5): 478-482. (Zhao L M, Peng B, Wang Y Q, et al. Effects of planting patterns, leaf trimming and pollinator on hybrid soybean seed production [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(5): 478-482.)
- [9] 王志新,郭泰,赵丽梅,等. 大豆杂交种杂种优势分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 185-189. (Wang Z X, Guo T, Zhao L M, et al. Heterosis analysis of soybean hybrid strains [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(15): 185-189.)
- [10] 赵全志,吕德彬,程西永,等. 杂种小麦群体光合速率及伤流强度优势研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(8): 925-928. (Zhao Q Z, Lyu D B, Cheng X Y, et al. The heterosis of canopy photosynthetic rate and bleeding intensity of hybrid wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(8): 925-928.)
- [11] 张天真. 作物育种学总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 234-235. (Zhang T Z. Teaching reform of pandect on crop science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 234-235.)
- [12] Palmer R G, Gai J Y, Sun H, et al. Production and evaluation of hybrid soybean [J]. Plant Breeding Reviews, 2001, 21: 263-307.
- [13] 王艳玲,奚广生,王丕武,等. 大豆不同杂交组合杂种优势分析[J]. 大豆科学, 2008, 27(5): 760-772. (Wang Y L, Xi G S, Wang P W, et al. Heterosis analysis by using different soybean as parents [J]. Soybean Science, 2008, 27(5): 760-772.)
- [14] 王曙明,孙寰,王跃强,等. 大豆杂种优势及其高优势组合选配的研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(3): 1612-167. (Wang S M, Sun H, Wang Y Q, et al. Studies on heterosis and screening of highly heterotic combinations in soybean I. F<sub>1</sub> seed yield heterosis and screening of highly heterotic combinations [J]. Soybean Science, 2002, 21(3): 1612-167.)
- [15] Burton J W, Brownie C. Heterosis and inbreeding depression in two soybean single crosses [J]. Crop Science, 2006, 46: 2643-2648.
- [16] 谢甫绋,丑晓奇,张惠君,等. 大豆品种远缘杂交 F<sub>1</sub> 代的杂种优势分析[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 857-891. (Xie F T, Chou X Q, Zhang H J, et al. F<sub>1</sub> heterosis of soybeans crossed from varieties released in different geographic places and decades [J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 857-891.)
- [17] 杨加银,盖钧镒. 大豆杂种产量和品质性状早世代优势和亲本配合力分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2280-2290. (Yang J Y, Gai J Y. Studies on hybrid heterosis and parental combining ability of yield and quality traits in early generations of soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 2280-2290.)
- [18] 胡美君,王义芹,张亮. 不同基因型小麦及其优选杂交后代的光合作用特性[J]. 作物学报, 2007, 33(11): 1879-1883. (Hu M J, Wang Y Q, Zhang L, et al. Photosynthetic characteristics of different wheat cultivars and their offspring of hybridization [J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(11): 1879-1883.)
- [19] 肖凯,谷俊涛,张荣铤,等. 杂种小麦光合特性的初步研究[J]. 作物学报, 1997, 23(4): 425-431. (Xiao K, Gu J T, Zhang R X, et al. The preliminary study on the leaf photosynthetic characteristics of hybrid wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 1997, 23(4): 425-431.)
- [20] 刘建丰,袁隆平,邓启云,等. 超高产杂交稻的光合特性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 258-264. (Liu J F, Yuan L P, Deng Q Y, et al. A study on characteristics of photosynthesis in super high-yielding hybrid rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 258-264.)
- [21] 翟虎渠,曹树青,万建民,等. 超高产杂交稻灌浆期光合功能与产量的关系[J]. 中国科学(C辑: 生命科学), 2002, 32(3): 211-217. (Zhai H Q, Cao S Q, Wan J M, et al. Super high yield hybrid rice during grain filling stage the relationship between photosynthesis and yield [J]. Science in China (Series C), 2002, 32(3): 211-217.)
- [22] 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. (Li X, Ding Z S, Li L L, et al. Heterosis of photosynthetic performance of maize [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 1049-1054.)
- [23] 周小平,张岁岐,杨晓青,等. 玉米根系活力杂种优势及其与光合特性的关系[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 84-90. (Zhou X P, Zhang S Q, Yang X Q, et al. Heterosis of maize root activity and its relationship with photosynthetic characteristics [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 17(4): 84-90.)
- [24] Shimazaki K I, Doi M, Assmann S M, et al. Light regulation of stomatal movement [J]. Annual Review of Plant Biology, 2007, 58(1): 219-247.