

## 高产大豆品种的生理特征和产量性状研究

赵婧<sup>1</sup>, 邱强<sup>1</sup>, 张鸣浩<sup>1</sup>, 张伟<sup>1</sup>, 闫晓艳<sup>1</sup>, 孙星邈<sup>1</sup>, 钱芙蓉<sup>1</sup>, 陶蕊<sup>2</sup>

(1. 吉林省农业科学院 大豆研究所/大豆国家工程研究中心, 吉林 长春 130033; 2. 吉林省农业科学院 后勤管理处, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 2009~2010年, 以普通大豆品种九农21为对照, 比较了其与普通品种长农13和吉育88的生长动态、主要农艺性状及产量, 并对形态指标和产量构成因素进行了典型相关分析。结果表明: 高产品种的叶面积指数、地上部生物量、根系指标(根系活力、伤流量、根系体积和干重)、产量以及株高、单株荚重、单株粒重和百粒重等主要农艺性状均高于对照品种, 但主茎节数和分枝数低于对照; 通过典型相关分析发现, 单株粒重与R5期根系体积呈显著正相关, 而与R6期叶面积指数呈显著负相关, 表明合理调控鼓粒期的群体结构, 有助于增产。

**关键词:** 高产大豆; 叶面积指数; 根系活力; 根系伤流; 农艺性状; 典型相关分析

**中图分类号:** S565.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-9841(2013)04-0482-05

## Physiological Characters and Yield Components of High-yield Soybean Cultivars

ZHAO Jing<sup>1</sup>, QIU Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Ming-hao<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, YAN Xiao-yan<sup>1</sup>, SUN Xing-miao<sup>1</sup>, QIAN Fu-rong<sup>1</sup>, TAO Rui<sup>2</sup>

(1. Soybean Research Institute, Jinlin Academy of Agricultural Sciences/Soybean National Engineering Research Center, Changchun 130033, China; 2. Department of Logistics Management, Jinlin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In 2009-2010, taking ordinary soybean cultivar (Jiunong 21) as control, growth dynamics (leaf area index, aboveground biomass, root indexes), major agronomic traits and yield of high-yield cultivars (Changnong 13 and JiYu 88) were compared, and canonical correlation analysis was made between the morphological index and yield components. For high-yield soybeans, LAI, aboveground biomass, root indexes (root activity, bleeding sap volume, root dry weight and volume), yield and main agronomic traits such as plant height, pod weight per plant, seed weight per plant and 100-seed weight were higher, while main stem nodes and branches were less than control. Canonical correlation analysis showed seed weight per plant was significant positively correlated with root volume at R5 stage, and significant negatively correlated with LAI at R6 stage. The result indicated that a reasonable regulation on soybean population structure at seed filling period would be helpful to increase yield.

**Key words:** High-yield soybean; Leaf area index; Root activity; Root bleeding sap; Agronomic traits; Canonical correlation analysis

生长动态与产量构成因素间的相互作用直接影响产量的高低, 其中生长动态指标包括干物质、叶面积、根系以及光截获的比例和水平, 这些指标也是大豆季节性生长模式的特征<sup>[1]</sup>。

根系是植物体的主要器官, 根系生长、代谢和活力变化直接影响地上、地下部分的生长发育<sup>[2]</sup>, 而且适当地增大根系有助于土壤团聚作用<sup>[3]</sup>。此外, 根系活力是植物生长发育状况的重要指标之一, 其高低及根系对养分的吸收能力直接影响地上部的发育状况和产量<sup>[4-12]</sup>。

产量的形成需要通过捕获光能、由光能产生干物质、部分干物质转移到籽粒<sup>[1]</sup>等一系列过程。光合产物的分配形式取决于植物的发育阶段、种类、生长条件和生理因素等<sup>[13]</sup>。而大豆群体叶面积指数

(leaf area index, LAI) 是决定光合产物多少、衡量群体结构的重要指标, 它直接影响冠层的光截获, 且与产量密切相关。LAI 过大、过小或猛升、陡降, 均难获得高产<sup>[14-16]</sup>。因而, 适宜的 LAI 动态是大豆高产稳产的主要生理指标。在始花期之前, 叶面积指数要稳步增大, 结荚期前后应达到最大值, 鼓粒期直至成熟前仍保持较大的叶面积指数是大豆高产的保证<sup>[16]</sup>。此外, 产量构成因素也是对产量形成至关重要的形态特征<sup>[17]</sup>, 这些因素间存在一系列的内在联系<sup>[18-19]</sup>。

为分析高产品种生理及根系特性, 以高产大豆品种长农13和吉育88, 普通大豆品种九农21为材料, 对其生长动态指标及产量构成因素进行比较研究, 分析有利于高产的因素, 为进一步选育大豆超高产品种提供参考。

收稿日期: 2013-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(31271647, 31101111); 吉林省现代农业产业技术体系(201208); 吉林省自然科学基金(201115198); 吉林省科技发展计划项目(20111817)。

第一作者简介: 赵婧(1984-), 女, 硕士, 科研助手, 主要从事大豆生理与栽培研究。E-mail: zhao114434260@yahoo.com.cn。

通讯作者: 闫晓艳(1964-), 女, 研究员, 主要从事土壤肥料与作物栽培研究。E-mail: yanxy8548@yahoo.com.cn。

张伟(1978-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事大豆栽培生理研究。E-mail: soyzw@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2009年和2010年在吉林省公主岭市吉林省农业科学院试验地进行。供试材料为普通大豆品种九农21(对照)及高产大豆品种长农13和吉育88。土壤类型为薄层黑土,耕层土壤pH 7.0,有机质2.85%,全氮0.1605%,铵态氮 $3.72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝态氮 $2.63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷 $45.17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾 $136.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验采用随机区组设计,6行区,行长5 m,行距60 cm,密度20万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,3次重复,常规田间管理。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶面积指数的测定 用LAI-2000植物冠层仪分别在R3、R5、R6和R7期测定叶面积指数,3次重复。

1.2.2 地上部生物产量的测定 分别在R3、R5、R6和R7期进行田间取样,取有代表性的植株6株,烘干至恒重测定地上部生物产量。

1.2.3 根系活力的测定 分别在R2、R5和R6期取样,采用a-萘胺氧化还原法<sup>[20]</sup>测定根系活力。

1.2.4 根系伤流量的测定 分别在R4、R5和R7期随机选择植株3株,在子叶节处切断主茎,将洁净的乳胶管套在根基部茎秆上,收集12 h内的伤流量,用注射器测量伤流液的体积。

1.2.5 测产和室内考种 大豆成熟时每小区取中间2行,每行取4.17 m长,进行小区测产,测产面积为 $5 \text{ m}^2$ ,折算成公顷产量。每品种连续取有代表性的植株10株进行考种分析,测定株高、分枝数、百粒重、单株粒重、单株荚重等农艺性状。

### 1.3 数据分析

采用Excel 2003和SAS v8.2进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 高产大豆的生理性状

2.1.1 叶面积指数 如图1所示,随着生长发育的进行,大豆的叶面积指数先升高后降低。高产品种在各生育时期的叶面积指数均高于对照品种,其中R3和R5期达极显著水平。至始熟期(R7)后,各品种的叶面积指数均迅速下降,且高产品种与对照相比无显著性差异。

2.1.2 地上部生物产量 如图2所示,大豆的地上部生物量随着生长发育的推进逐步增加。高产品种各生育时期的地上部生物产量均高于对照品种,其中R5、R6和R7期达极显著水平。

2.1.3 根系干重和体积 如图3所示,高产品种在R5期的根系干重和体积均高于对照品种,其中长农13与对照差异达显著水平。

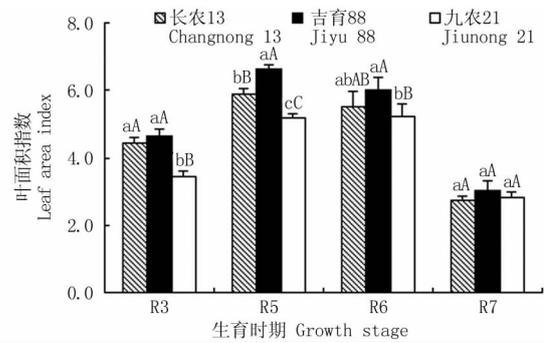


图1 高产大豆不同生育时期叶面积指数

Fig. 1 Leaf area index of high-yield soybean cultivars at different growth stages

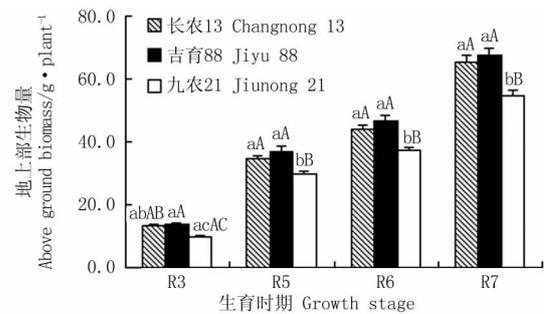


图2 高产大豆不同生育时期地上部生物量

Fig. 2 Aboveground biomass of high-yield soybean cultivars at different growth stages

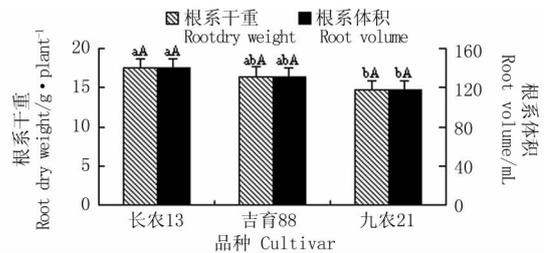


图3 高产大豆R5期根系干重和体积

Fig. 3 Root dry weight and volume of high-yield soybean cultivars at R5 stage

2.1.4 根系活力 如图4所示,大豆的根系活力从盛花期(R2)到满粒期(R6)逐步上升。且高产品种在各生育时期均显著高于对照品种。

2.1.5 根系伤流量 如图5所示,从盛荚(R4)至

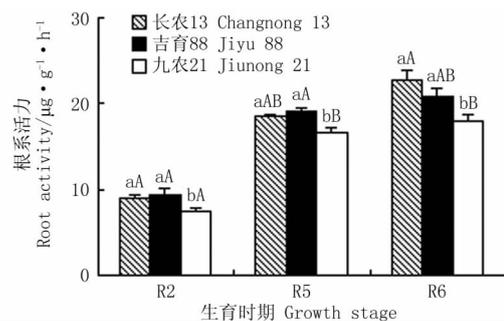


图4 高产大豆不同生育时期根系活力

Fig. 4 Root activity of high-yield soybean cultivars at different growth stages

始熟期(R7),根系伤流液先升高后下降。高产品在R4和R5期的根系伤流量均显著高于对照品种。至R7成熟期后,各品种的伤流量均迅速下降,且高产品种与对照无显著性差异。

2.2 高产大豆的主要农艺性状

如表1所示,高产品种只有主茎节数和分枝数低于对照品种,其中长农13的分枝数极显著低于对照;而其它主要农艺性状如株高、单株荚重、单株粒重和百粒重均高于对照品种九农21,其中单株荚重和单株粒重与对照差异均达显著水平。

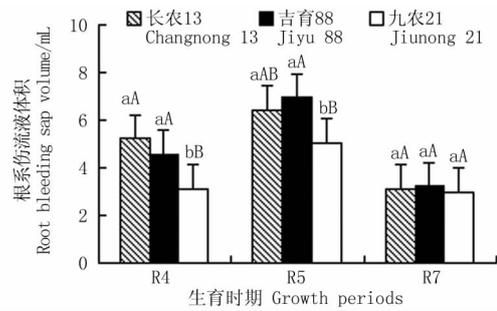


图5 高产大豆不同生育时期根系伤流量  
Fig.5 Root bleeding sap volume of high-yield soybean cultivars at different growth stages

表1 高产大豆主要农艺性状  
Table 1 Main agronomic traits of high-yield soybean cultivars

品种 (Cultivar)	株高 (Plant height/cm)	主茎节数 (Stem node number)	分枝数 (Branch number)	单株荚重 (Pod weight per plant/g)	单株粒重 (Seed weight tper plant/g)	百粒重 (100-seed weight/g)
长农13 Changnong 13	106.1 aA	20.0 aA	0.4 bB	31.7 aA	22.4 aA	17.5 aA
吉育88 Jiyu 88	105.4 abA	20.5 aA	1.5 aA	30.9 aAB	22.4 aA	17.7 aA
九农21 Jiunong 21	103.8 acA	20.8 aA	1.8 aA	27.9 bB	19.5 bA	17.2 aA

2.3 高产大豆的产量

如图6所示,2009年,长农13和吉育88产量均显著高于对照,分别增产15.2%和18.0%;2010年,长农13和吉育88产量也均高于对照,分别增产9.7%和7.0%,其中长农13与对照差异达显著水平。

2.4 形态指标与产量构成因素的典型相关分析

将叶面积指数(R3、R5、R6和R7期)、株高、主茎节数、分枝数,以及R5期的根系干重和体积共9个性状归为一组作为形态指标,将单株荚重、单株粒重和百粒重归为一组作为产量构成因素,做典型相关分析,结果见表2。

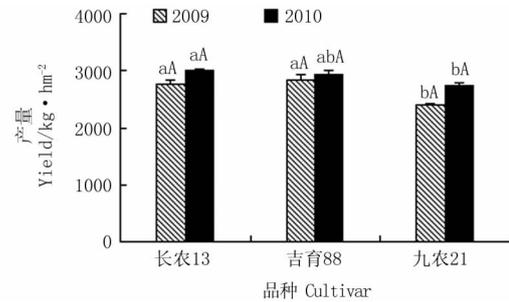


图6 高产大豆品种产量  
Fig.6 Yield of high-yield soybean cultivars

表2 形态指标与产量构成因素的典型相关分析

Table 2 Canonical correlation analysis between morphological indexes and yield components

序号 (Number)	典型相关系数 (Canonical correlation coefficients)	特征根 (Eigen values)	累积方差比例 (Cumulative ratio of variance)	P值 (P value)	典型向量 (Canonical variables)
1	0.985516	13.7539	0.8597	0.0498	$W1 = 0.7529X_1^* + 0.0620 X_2^* - 0.4045 X_3^* + 0.1132 X_4^* - 0.0712 X_5^* + 0.2279 X_6^* - 0.0193 X_7^* - 2.6122 X_8^* + 2.5944 X_9^*$
2	0.777885	1.5323	0.0958	0.5457	—
3	0.645054	0.7126	0.0445	0.6002	—

X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>和X<sub>4</sub>分别代表R3、R5、R6和R7期的叶面积指数;X<sub>5</sub>:株高;X<sub>6</sub>:主茎节数;X<sub>7</sub>:分枝数;X<sub>8</sub>:R5期根系干重;X<sub>9</sub>:R5期根系体积;Y<sub>1</sub>:主茎荚重;Y<sub>2</sub>:主茎粒重;Y<sub>3</sub>:百粒重;“\*”表示标准化变量。

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> and X<sub>4</sub> separately indicate leaf area index at R3, R5, R6 and R7; X<sub>5</sub>: plant height; X<sub>6</sub>: main stem nodes; X<sub>7</sub>: number of branch; X<sub>8</sub>: root dry weight at R5; X<sub>9</sub>: root volume at R5; Y<sub>1</sub>: pod weight of stem; Y<sub>2</sub>: seed weight of stem; Y<sub>3</sub>: 100-seed weight; “\*” indicate standardized variables.

第一对典型相关系数为0.985516,能解释的变异占总变异(方差)的85.97%,且第一对典型相关系数基本具有显著意义(在P<0.05的显著水平下)。其它两个典型相关变量的作用很小,一共只

解释了总变异的14%,可以不予考虑。因此,两组变量相关性的研究可转化为研究第一对典型相关变量的相关性。

因12个变量没有使用相同单位进行测量,因此

考虑分析标准化后的系数。如表 2 所示,  $V1 = 0.7529 X_1^* + 0.0620 X_2^* - 0.4045 X_3^* + 0.1132 X_4^* - 0.0712 X_5^* + 0.2279 X_6^* - 0.0193 X_7^* - 2.6122 X_8^* + 2.5944 X_9^*$ , 在  $X_8$  和  $X_9$  上权重更大些, 说明这个典型变量主要反映 R5 期根系形态。  $W1 = -1.3526 Y_1^* + 2.2302 Y_2^* + 0.0827 Y_3^*$ , 它在单株粒重( $Y_2$ )上的系数最大, 说明这个典型变量主要反映产量潜力。也就表明这一对典型变量主要是反映鼓粒期根系形态和产量潜力的相关性显著。但  $V1$  中  $X_3$  (R6 期 LAI) 和  $X_8$  (R5 期根系干重) 的标准化系数分别为  $-0.4045$  和  $-2.6122$ , 说明如果控制不好鼓粒期的群体结构, 可能会对产量造成负面影响。

### 3 结论与讨论

本研究中, 高产品种长农 13 和吉育 88 在各生育时期的叶面积指数和地上部生物量均高于对照品种九农 21。无论是高产品种还是普通品种的叶面积指数均在 R7 期后开始下降, 而此时地上部的生物产量达到最大。

根系与植株生长和产量形成有密切的关系。大豆植株冠部高大, 必须具有强大的根系<sup>[21]</sup>。植物在早期营养发育阶段, 分配给根系较多的碳营养, 而后逐渐减少<sup>[22]</sup>。本文中高产品种(长农 13 和吉育 88)根系干重、体积、根系的活力和伤流量均高于对照品种(九农 21)。而到了成熟期(R7)后, 各品种的伤流量均迅速下降, 充分印证了上述结论。

目前产量构成因素与产量的关系并不统一, 多数研究认为产量主要与种子数量<sup>[23-24]</sup>、大小<sup>[25-26]</sup>和分枝发育<sup>[27]</sup>等密切相关。由于大豆是群体生产, 大豆产量也是指群体产量。大豆的群体结构是田间生长的个体大豆植株所构成的整体及其整体各部分的空间配置, 包括地上和地下两部分<sup>[16]</sup>。单独改进某个产量构成因素并不能导致产量成比例地增加, 因为其他的产量构成因素要进行相应的补偿<sup>[28-29]</sup>。如本研究中, 高产品种(长农 13 和吉育 88)单株荚重和单株粒重均显著高于对照, 而主茎节数和分枝数低于对照。而当把形态指标与产量构成因素做典型相关分析后, 发现鼓粒期根系形态与产量潜力显著相关。而且如果控制不好鼓粒期的群体结构, 例如冠层郁蔽或根系过于庞大等, 可能会对产量造成负面影响。

### 参考文献

[1] Loomis R S, Connor D J. Community concepts[M]//Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems, Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992: 32-39.

- [2] 魏道智. 小麦根系活力变化与叶片衰老的研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1565-1569. (Wei D Z. A relationship between wheat root activity and leaf senescence[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1565-1569.)
- [3] Rillig M C, Wright S F, Allen M F, et al. Rise in carbon dioxide changes soil structure[J]. Nature, 1999, 400: 628.
- [4] Ito O, Matsunaga R, Tobita S. Spatial distribution of root activity and nitrogen fixation in sorghum/pigeonpea intercropping on an Indian Alfisol[J]. Plant and Soil, 1993, 155/156(1): 341-344.
- [5] Shinano T, Osaki M, Yamada S. Comparison of root growth and nitrogen absorbing ability between Gramineae and Leguminosae during the vegetative stage [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1994, 40(3): 485-495.
- [6] Bradley R I, Milne R, Bell J, et al. A soil carbon and land use database for the United Kingdom [J]. Soil Use and Management, 2005, 21(4): 363-369.
- [7] Lorenz K, Lal R. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons[J]. Advance in Agronomy, 2005, 88: 35-66.
- [8] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: Shoot ratios in terrestrial biomes [J]. Global Change Biology, 2006, 12: 84-96.
- [9] Qin Z, Huang Y. Quantification of soil organic carbon sequestration potential in cropland: A model approach [J]. Science China (Life Sciences), 2010, 53(7): 868-884.
- [10] Wang Y G, Li Y, Ye X H, et al. Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert [J]. Science of the Total Environment, 2010, 408: 1925-1931.
- [11] Madhu M, Hatfield J L. Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide [J]. Agronomy Journal, 2013, 105(3): 657-669.
- [12] Baker J M, Ochsner T E, Venterea R T, et al. Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know? [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 118: 1-5.
- [13] van Veen J A, Liljeroth E, Lekkerkerk L J A, et al. Carbon fluxes in plant-soil systems at elevated atmospheric CO<sub>2</sub> levels [J]. Ecological Application, 1991, 1(2): 175-181.
- [14] Malone S D, Herbert A J, David L H. Evaluation of the LAI-2000 plant analyzer to estimate leaf area in manually defoliated soybean [J]. Agronomy Journal, 2002, 94(5): 1012-1019.
- [15] Westgate J M. Managing soybean for photosynthetic efficiency [C]//Kauffman H E. World Soybean Res. Colif. , 6th, Chicago, IL. 4-7 Aug. 1999. Superior print, Champaign, IL. 1999: 223-228.
- [16] 金剑, 刘晓冰, 王光华, 等. 大豆高产群体的生态生理特征 [J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(3): 109-114. (Jin J, Liu X B, Wang G H, et al. Eco-physiological characters of high yielding population in soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003, 25(3): 109-114.)
- [17] Egli D B. Yield components-regulation by the seed [M]//Seed biology and the yield of grain crops. New York, CAB Int. , 1998: 70-112.
- [18] Board J E, Modali H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean [J]. Crop Science, 2005, 45: 1790-1799.

- [2] 张丽华,赵洪祥,谭国波,等.灌溉方式对大豆光合性状及土壤水分利用率的影响[J].大豆科学,2012,31(4):613-616. (Zhang L H,Zhao H X,Tan G B, et al. Effects of irrigation modes on photosynthetic characters and water use efficiency of soybean [J]. Soybean Science,2012,31(4):613-616.)
- [3] 薛忠财,高辉远,柳洁.野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应[J].生态学报,2011,31(11):3101-3109. (Xue Z C,Gao H Y,Liu J. Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (*Glycine soja*) and cultivated soybean (*Glycine max*) to NaCl stress [J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(11):3101-3109.)
- [4] Yang Y,Jiang D A,Xu H X, et al. Cyclic electron flow around photosystem I is required for adaptation to salt stress in wild soybean species *Glycine cyrtolaba* ACC547 [J]. *Biologia Plantarum*,2006,50:586-590.
- [5] 宋开山,张柏,王宗明,等.大豆叶绿素含量高光谱反演模型研究[J].农业工程学报,2006,22(8):16-21. (Song K S,Zhang B,Wang Z M, et al. Inverse model for estimating soybean chlorophyll concentration using in-situ collected canopy hyperspectral data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,22(8):16-21.)
- [6] 由继红,陆静梅,杨文杰.钙对低温胁迫下小麦幼苗光合作用及相关生理指标的影响[J].作物学报,2002,28(5):693-696. (You J H,Lu J M,Yang W J. Effects of Ca<sup>2+</sup> on photosynthesis and related physiological indexes of wheat seedlings under low temperature stress [J]. Acta Agronomica Sinica,2002,28(5):693-696.)
- [7] 张朋,张文会,苗秀莲,等. CO<sub>2</sub> 浓度倍增对大豆生长及光合作用的影响[J].大豆科学,2010,29(1):64-67. (Zhang P,Zhang W H,Miao X L, et al. Effects of doubled CO<sub>2</sub> concentration on growth and photosynthesis of soybean [J]. Soybean Science,2010,29(1):64-67.)
- [8] 贺军民,余小平,刘成,等.增强 UV-B 辐射和 NaCl 复合胁迫下绿豆光合作用的气孔和非气孔限制[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(1):53-58. (He J M,She X P, Liu C, et al. Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in mung bean leaves under the combination of enhanced UV-B radiation and NaCl stress [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology,2004,30(1):53-58.)
- [9] 郁继华,舒英杰,吕军芬,等.低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响[J].西北植物学报,2004,2(5):831-836. (Yu J H,Shu Y J,Lyu J F, et al. Influences of low temperature and poor light on photosynthetic characteristics in eggplant seedlings [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2004,2(5):831-836.)
- [10] 刘冲,王茂文,丁海荣,等. NaCl 胁迫对连续随子光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J].西南农业学报,2012,25(5):1642-1647. (Liu C,Wang M W,Ding H R, et al. Characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Euphorbia lathyris* L. with NaCl stress [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2012,25(5):1642-1647.)
- [11] 葛瑛,朱延明,吕德康,等.野生大豆碱胁迫反应的研究[J].草业科学,2009,26(2):47-52. (Ge Y,Zhu Y M,Lyu D K, et al. Research on responses of wild soybean to alkaline stress [J]. Pratacultural Science,2009,26(2):47-52.)
- [12] 郑国琦,许兴,徐兆桢,等.盐胁迫对枸杞光合作用的气孔与非气孔限制[J].西北植物学报,2002,22(6):1355-1359. (Zheng G Q,Xu X,Xu Z Z, et al. The effect of salt stress on the stomatal and non-stomatal limitation of photosynthesis of *Lycium barbarum* [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2002,22(6):1355-1359.)
- [19] Kahlon C S,Board J E,Kang M S. An analysis of yield component changes for new vs. old soybean cultivars [J]. *Agronomy Journal*,2011,103(1):13-22.
- [20] 何钟佩.农作物化学控制实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,1993:60-68. (He Z P. Manual of chemical manipulation in crops [M]. Beijing:Beijing Agricultural University Press,1993:60-68.)
- [21] 张明才,段留生,何钟佩,等. SHK-6 对大豆根系生理活性和激素的调控效应[J].中国油料作物学报,2005,27(3):32-36. (Zhang M C,Duan L S,He Z P, et al. Chemical regulation of endogenous hormones and mineral nutrition in bleeding sap of soybean by SHK-6 [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2005,27(3):32-36.)
- [22] Madhu M,Hatfield J L. Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide [J]. *Agronomy Journal*,2013,105(3):657-669.
- [23] Liu X,Jin J,Herbert S J, et al. Yield components, dry matter, LAI, and LAD of soybeans in Northeast China [J]. *Field Crops Research*,2005,93(1):85-93.
- [24] de Bruin J L, Pedersen P. Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean cultivars [J]. *Agronomy Journal*,2009,101(1):123-130.
- [25] Gay S,Egli D B,Reicosky DA. Physiological basis of yield improvement in soybeans [J]. *Agronomy Journal*,1980,72(2):387-391.
- [26] Cui Y S,Yu D Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index, and yield components to soybean yield improvements in China [J]. *Plant Breeding*,2005,124(5):473-476.
- [27] Rigsby B, Board J E. Identification of soybean cultivars that yield well at low plant populations [J]. *Crop Science*,2003,43(1):234-239.
- [28] Fanan S, Medina P F, Camargo M B P. Description of agronomic characteristics and harvest time evaluation in the yield of castor bean cultivar IAC 2028 [J]. *Bragantia*,2009,68(2):415-422.
- [29] Zuchi J,Zanuncio J C,Bevilaqua G A P, et al. Castor yield components according to floral order and sowing season in the Rio Grande do Sul State [J]. *Revista Ciência Agronômica*,2010,41(3):380-386.

(上接第 485 页)