

大豆品种根系伤流液中总氮含量与叶片光合速率的关系

张玉姣, 赵新宇, 徐克章, 张治安, 李大勇, 陈展宇

(吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118)

摘要:以吉林省1923~2008年育成的20个大豆品种为材料,分别于2011和2012年在盛花期(R2期)、盛荚期(R4期)和满粒期(R6期),测定根系伤流液中的总氮含量和功能叶片的净光合速率(P_n),并分析了不同年代育成大豆品种伤流液中总氮含量的变化规律及其与 P_n 的相互关系。结果表明:遗传改良增加了大豆根系伤流液中的总氮含量;同一大豆品种伤流液中的总氮含量随着生育进程的推进不断降低;不同生育时期伤流液中总氮含量与 P_n 呈正相关,并在R2期达显著水平($r=0.4298^*$)。由此推测大豆植株的根与叶之间存在明显的互作,R2期伤流液中的总氮含量可以作为评价植株光合能力的间接指标。

关键词:大豆;伤流液;总氮含量;净光合速率

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2014)02-0190-05

Relationship Between Total Nitrogen Content in Bleeding Sap and Leaf Photosynthetic Rate of Soybean Cultivars

ZHANG Yu-jiao, ZHAO Xin-yu, XU Ke-zhang, ZHANG Zhi-an, LI Da-yong, CHEN Zhan-yu

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Twenty soybean varieties bred in Jilin Province during 1923-2008 were used to measure the total nitrogen content in root bleeding sap and the net photosynthetic rate (P_n) of function leaf at R2, R4 and R6 stage. The changes of total nitrogen content in bleeding sap and its correlation with P_n of soybean cultivars released in different years were determined. Total nitrogen content in root bleeding sap increased with genetic improvement of soybean cultivars. Total nitrogen content in root bleeding sap of the same soybean variety decreased with the proceeding of growth stage. Total nitrogen content in root bleeding sap positively correlated with P_n at different growth stages, and the correlation was significant ($r=0.4298^*$) at R2 stage. Results suggest that there is an obvious interaction between roots and leaves of soybean plants, and total nitrogen content in root bleeding sap at R2 stage can be used as an indirect index of plant photosynthetic capacity.

Key words: Soybean; Root bleeding sap; Total nitrogen content; Net photosynthetic rate

近百年来,大豆单位面积产量有了大幅度的提高。产量提高主要归功于品种的遗传改良和栽培技术的进步,其中遗传改良是主导因素^[1-3]。在产量提高的同时,大豆品种的农艺性状、生理性状也发生了明显的变化。郑洪兵等^[4]认为大豆品种在遗传改良过程中,主茎直径增加,分枝数目减少,大豆植株的抗倒伏能力增强。Morrison等^[5-6]发现大豆产量、光合速率、气孔导度、收获指数等均与育成年代呈正相关。关于栽培大豆遗传改良过程中根系与地上部的相互关系也有一些研究,孙苗苗等^[7]认为不同年代大豆根系伤流液的重量随着育成年代的推进不断增加,邓宏中等^[8]发现伤流液中的可溶性糖含量在R2期与地上部叶片的净光合速率呈显著正相关。

氮是植物体最重要的矿质营养元素,与蛋白质的合成密切相关,其在植物生长发育期间的变化动

态直接影响着光合产物的形成、转化^[9-10]。有研究指出,根瘤菌固氮可供给大豆生长发育所需氮的1/3~1/2,其余部分依靠根系从土壤中吸收,因此土壤供氮水平是大豆生产的重要决定因素之一^[11-12]。根系与地上部分器官的生长发育进程以及生物量和产量有着密切关系^[13]。伤流液主要来自根部,伤流液中的养分主要是根系吸收的结果^[14],故伤流液中的氮含量水平可以反映大豆根系对氮素的吸收利用情况。本试验以吉林省1923~2008年育成的20个大豆品种为材料,通过测定伤流液中的总氮含量来研究不同年代不同生育时期的大豆氮素营养机制,同时分析了根系伤流液中氮含量与功能叶片净光合速率的关系,旨在进一步探索大豆品种地下部与地上部的相互协同作用,为高产大豆品种的选育提供一定的理论依据。

收稿日期:2013-09-19

基金项目:国家自然科学基金(30871547,31171459);吉林省科技发展计划重大项目(20126033)。

第一作者简介:张玉姣(1989-),女,在读硕士,主要从事作物产量生理研究。E-mail:zyj2011905@126.com。

通讯作者:陈展宇(1972-),男,博士,副教授,主要从事作物生理生态研究。E-mail:chenzhanyu2000@sina.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2011 和 2012 年在吉林省长春市吉林农业大学试验田进行。试验地土壤为黑壤土,前茬为玉米,供试土壤全氮和全磷含量分别为 1.645 和 0.86 g·kg⁻¹,碱解氮为 120 mg·kg⁻¹,速效磷和速效钾分别为 26.9 和 122 mg·kg⁻¹,pH6.8。试验地区年生长季节为 5~9 月,年均降雨量 645 mm,≥10℃ 的有效积温 2 880℃,无霜期 140 d 左右。供试材料

为吉林省 1923~2008 年育成的 20 个大豆品种(表 1),由吉林省农业科学院大豆品种资源室和吉林农业大学大豆区域创新中心提供。

试验采用随机区组设计,每个品种种植 5 行,行长 5 m,行距 0.65 m,3 次重复。分别于 2011 年 5 月 8 日和 2012 年 5 月 6 日播种,人工点播,苗期定苗,密度 20 万株·hm⁻²,常规田间管理。按照 Fehr 等^[15]的分级标准,于盛花期(R2 期)、盛荚期(R4 期)、满粒期(R6 期)测定每个品种的 *Pn* 及根系伤流液中的总氮含量。

表 1 供试大豆品种材料
Table 1 Soybean cultivars for the experiment

品种 Cultivar	育成年代 Year of release	生育期 Maturity/d	结荚习性 Pod habit	品种来源 Cultivar origin
黄宝珠 Huangbaozhu	1923	140	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
满仓金 Mancangjin	1929	135	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
元宝金 Yuanbaojin	1929	125	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
金元 1 号 Jinyuan 1	1941	137	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
小金黄 2 号 Xiaojinhuang 2	1941	135	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
四粒黄 Silihuang	1951	139	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
集体 5 号 Jiti 5	1956	134	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 1 号 Jilin 1	1963	140	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 8 号 Jilin 8	1971	134	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 16 Jilin 16	1978	142	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 20 Jilin 20	1984	134	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 26 Jilin 26	1991	118	无限 Indeterminate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 35 Jilin 35	1995	126	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 36 Jilin 36	1996	130	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 38 Jilin 38	1998	136	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
吉林 45 Jilin 45	2000	128	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
长农 13 Changnong 13	2002	128	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS
吉农 15 Jinong 15	2004	131	亚有限 Semi-determinate	吉林农业大学 JLAU
吉农 19 Jinong 19	2006	134	亚有限 Semi-determinate	吉林农业大学 JLAU
吉育 95 JiYu 95	2008	129	亚有限 Semi-determinate	吉林省农业科学院 JAAS

JAAS:Jilin Academy of Agricultural Sciences;JLAU:Jilin Agricultural University.

1.2 测定项目与方法

1.2.1 净光合速率 用 LI-6400 型便携式光合作用测定系统(LI-COR 公司)测定叶片净光合速率(*Pn*),固定红蓝光源,光强为1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹。在 R2、R4 和 R6 期选择天气晴好的上午,于 9:00~

11:00 测定自上数第 4 节位的功能叶片。每个时期每个品种重复测定 3 次。

1.2.2 根系伤流液中总氮含量 于 R2、R4 和 R6 期测定叶片光合的同时收集根系伤流液。具体方法为:用清洗干净的剪刀从子叶节处剪断地上部,

弃去渗出的第 1 滴液体(以防污染),套上已称重的装有脱脂棉的密封塑料袋,让脱脂棉贴紧切口,用橡皮筋扎紧袋口,5 h 后取下脱脂棉以及塑料袋,用冷藏箱保存迅速带回实验室用称重法计算伤流量。然后提取出脱脂棉中的伤流液,采用碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法^[16]测定伤流液中的总氮含量。每个时期每个品种取 3 次重复。

1.3 数据分析

文中所有数据均为 2011 和 2012 年的平均值,采用 Excel 2003 进行数据处理,应用 DPS 9.05 进行方差分析和差异显著性测验。

表 2 不同生育时期大豆根系伤流液中总氮含量及叶片净光合速率的变化

Table 2 Changes of total nitrogen content in soybean root bleeding sap and P_n at different growth stages

品种名 Cultivar	总氮浓度 Total nitrogen concentration/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$			净光合速率 $P_n/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	R2	R4	R6	R2	R4	R6
黄宝珠 Huangbaozhu	1.164 ± 0.129	0.620 ± 0.063	0.401 ± 0.050	25.7 ± 1.956	29.7 ± 2.691	24.0 ± 1.735
满仓金 Mancangjin	1.769 ± 0.081	1.003 ± 0.188 *	1.090 ± 0.074	20.0 ± 1.350	21.9 ± 1.958	21.5 ± 1.449
元宝金 Yuanbaojin	1.646 ± 0.073	1.082 ± 0.046	0.477 ± 0.129	21.4 ± 1.279	26.2 ± 2.758	24.3 ± 1.878 *
金元 1 号 Jinyuan 1	1.051 ± 0.112	0.802 ± 0.090	0.588 ± 0.085	25.6 ± 1.007	25.6 ± 1.956	23.8 ± 1.044
小金黄 2 号 Xiaojinhuang 2	1.558 ± 0.137	1.498 ± 0.154	0.820 ± 0.100	22.9 ± 1.448	26.6 ± 1.904	25.6 ± 1.508
四粒黄 Silihuang	1.045 ± 0.143	0.759 ± 0.100	1.384 ± 0.091	24.8 ± 2.190	29.5 ± 1.855	27.4 ± 1.745 *
集体 5 号 Jiti 5	0.744 ± 0.042	0.958 ± 0.075	0.473 ± 0.094	25.8 ± 1.699	28.9 ± 1.699	29.8 ± 2.007
吉林 1 号 Jilin 1	1.821 ± 0.071	1.061 ± 0.120	0.386 ± 0.104	27.0 ± 1.518	30.8 ± 1.816	29.5 ± 2.344
吉林 8 号 Jilin 8	1.571 ± 0.112	0.582 ± 0.121	0.606 ± 0.102	21.6 ± 2.589 *	29.4 ± 2.279	25.9 ± 3.011
吉林 16 Jilin 16	1.274 ± 0.128	1.240 ± 0.096	0.664 ± 0.102	24.5 ± 1.282	30.7 ± 3.456 *	28.0 ± 2.430
吉林 20 Jilin 20	2.387 ± 0.185	1.206 ± 0.093	0.549 ± 0.162	23.9 ± 0.894	31.4 ± 2.079	24.6 ± 2.124 *
吉林 26 Jilin 26	1.339 ± 0.073	0.823 ± 0.151	1.206 ± 0.105	20.5 ± 1.625	33.6 ± 2.928	30.2 ± 1.638
吉林 35 Jilin 35	2.101 ± 0.156	1.211 ± 0.057	0.715 ± 0.093	28.1 ± 2.030	32.9 ± 2.118	26.4 ± 1.521
吉林 36 Jilin 36	1.301 ± 0.127	1.290 ± 0.110	0.886 ± 0.092	23.2 ± 1.679	31.4 ± 2.604	26.2 ± 1.885
吉林 38 Jilin 38	1.394 ± 0.146	0.755 ± 0.077	1.170 ± 0.179	24.2 ± 1.985	26.2 ± 1.646	25.8 ± 2.591
吉林 45 Jilin 45	2.372 ± 0.115	0.743 ± 0.135	0.748 ± 0.105 *	28.0 ± 2.532	31.8 ± 2.335 *	28.9 ± 1.940
长农 13 Changnong 13	1.571 ± 0.175	1.408 ± 0.111	1.056 ± 0.087	21.4 ± 1.894	36.5 ± 2.408	34.3 ± 2.593
吉农 15 Jinong 15	1.811 ± 0.155	1.215 ± 0.122	0.471 ± 0.073	27.3 ± 3.095	35.7 ± 1.608	27.2 ± 2.391 *
吉农 19 Jinong 19	2.165 ± 0.116	1.227 ± 0.186	0.695 ± 0.115	30.5 ± 2.054	31.2 ± 1.973	30.0 ± 1.415
吉育 95 Jiyu 95	2.636 ± 0.247	1.622 ± 0.181	1.286 ± 0.072	30.1 ± 1.966	31.5 ± 2.764	30.8 ± 1.094

表中所列数据为两年结果的平均值。* 代表两年数据差异显著。

Data above is the average of two years. * indicates significant difference between 2011 and 2012.

2.2 不同年代大豆品种根系伤流液中总氮含量、叶片净光合速率与育成年代的关系

图 2 表明,大豆品种根系伤流液中总氮含量与 P_n 随着育成年代的推进均呈线性增加。伤流液中总氮含量与育成年代在 R2 期呈显著正相关($r = 0.496^*$),在 R4 和 R6 期相关性不显著($r = 0.354$, $r = 0.273$); P_n 与育成年代在 3 个时期均呈正相关, R2 期没达到显著水平($r = 0.405$), R4 和 R6 期呈极显著正相关($r = 0.717^{**}$, $r = 0.629^{**}$)。由此可以说明大豆品种的遗传改良同时提高了伤流液中的

2 结果与分析

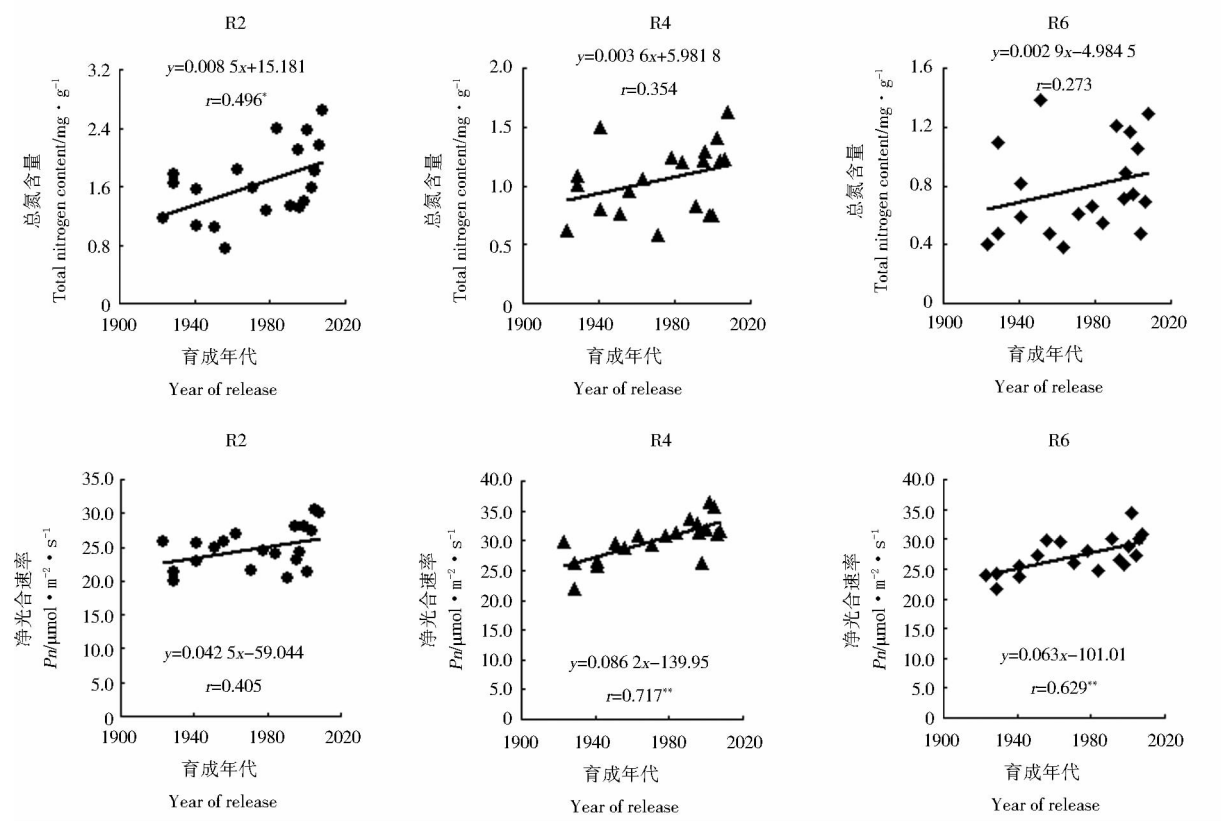
2.1 不同大豆品种根系伤流液中总氮含量和叶片净光合速率的变化

由表 2 可知,伤流液中总氮含量及 P_n 在不同品种间存在明显差异,但同一品种的伤流液中总氮含量及 P_n 在年度间稳定性较好。不同生育时期 20 个大豆品种伤流液中的总氮含量和 P_n 均差异显著。随生育时期的推进,总氮含量不断降低, P_n 呈单峰曲线变化。

总氮含量和植株的光合能力。

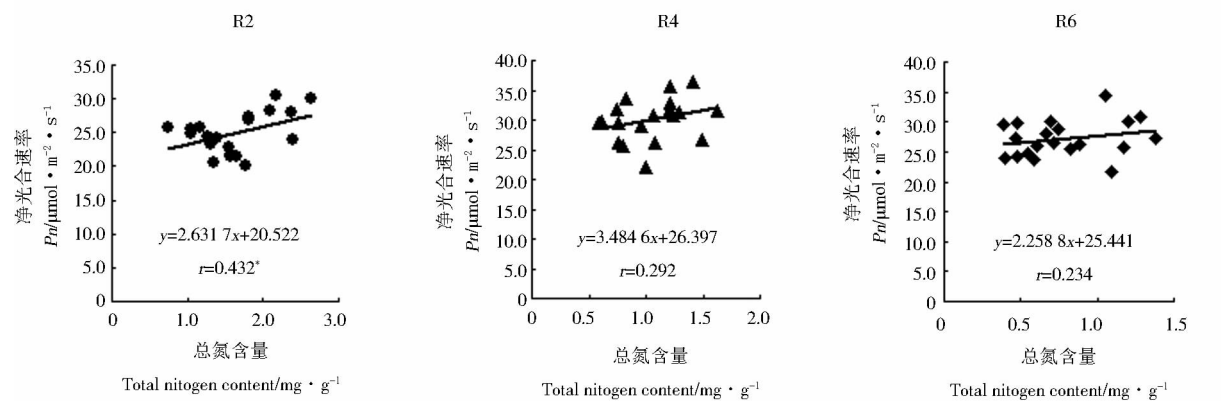
2.3 不同大豆品种伤流液中总氮含量与叶片净光合速率的关系

对不同年代大豆品种根系伤流液中总氮含量与 P_n 进行相关性分析(图 3),结果表明,根系伤流液中总氮含量与 P_n 呈正相关, R2 期达显著水平($r = 0.432^*$), R4 期和 R6 期相关性不显著($r = 0.292$, $r = 0.234$)。由此推测大豆根系伤流液中总氮含量水平对植株的光合能力有一定的影响,尤其是在 R2 期二者相关最为密切。



* 和 ** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。
* and ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

图 2 20 个大豆品种在不同生育时期根系伤流液中总氮含量、叶片净光合速率与育成年代的关系
Fig. 2 Correlation between total nitrogen content in bleeding sap, P_n and year of release among 20 soybean cultivars at different growth stages



* 表示达 0.05 显著水平。
* means significant differences are at the 0.05 probability level.

图 3 20 个大豆品种在不同生育时期根系伤流液中总氮含量与叶片净光合速率的关系
Fig. 3 Correlation between total nitrogen content in bleeding sap and P_n of leaf among 20 soybean cultivars at different growth stages

3 讨论

大豆品种遗传改良过程中植株地上部分农艺性状和生理性状改变的同时,地下部分也发生了一定的变化^[17-18]。姚琳等^[19]研究表明,大豆品种根系

的根瘤数量、根瘤体积、根瘤鲜重和干重与品种的育成年份均呈正相关变化。邓宏中等^[8]认为大豆品种的遗传改良在增加根系伤流液的同时,也提高了伤流液中的可溶性糖含量。本文结果表明,在不同生育时期大豆品种伤流液中的总氮含量与育成年代均呈正相关,这可能是由于现代品种大多是在

高肥水条件下选育,而老品种选育时多为农家肥或低肥水条件,使得现代品种更易适应当今的栽培技术,能比老品种吸收积累更多的氮素,从而导致现代品种伤流液中的总氮含量高于老品种。

大豆体内的氮素代谢与光合作用有着密切的联系^[20-21]。李大勇等^[22]认为大豆叶片氮含量高,叶绿素含量就高,则相应的 P_n 也高。谷秋荣等^[23]发现,施用氮肥能提高大豆叶片的 P_n 、 G_s 、 C_i 、叶绿素含量。本研究结果表明:R2 期大豆根系伤流液中总氮含量与 P_n 呈显著正相关,这说明地上与地下的整体性决定了根系代谢活动在维持植株地上部分光合中的重要作用,根与叶之间存在明显的互作,由此可以推测 R2 期大豆根系伤流液中的总氮含量可以作为评价植株光合能力的间接指标。

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. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(1): 29-37.)
- [2] Ustun A, Fred L A, Burton C E. Genetic progress in soybean of the US Midsouth[J]. Crop Science, 2001, 41:993-998.
- [3] Karmakar P G, Bhatnagar P S. Genetic improvement of soybean varieties released in India from 1969 to 1993[J]. Euphytica, 1996, 90:95-103.
- [4] 郑洪兵,徐克章,赵洪祥,等. 吉林省大豆品种遗传改良过程中主要农艺性状的变化[J]. 作物学报,2008,34(6):1042-1050. (Zhen H B, Xu K Z, Zhao H X, et al. Changes of main agronomic traits with genetic improvement of soybean [Glycine max (L.) Merr.] cultivars in Jilin Province, China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(6):1042-1050.)
- [5] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 1999, 91:685-689.
- [6] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 2000, 92:780-784.
- [7] 孙苗苗,邓宏中,徐克章,等. 不同年代大豆品种根系伤流液重量的变化及其与叶片光合的关系[J]. 大豆科学,2011,30(5):795-799. (Sun M M, Deng H Z, Xu K Z, et al. Changes of root bleeding sap weight and its correlation with leaf net photosynthetic rate of soybean cultivars released in different years [J]. Soybean Science, 2011, 30(5):795-799.)
- [8] 邓宏中,李鑫,徐克章,等. 不同年代大豆品种根系伤流液中可溶性糖含量的变化及其与叶片光合的关系[J]. 华南农业大学学报,2013,34(2):197-202. (Deng H Z, Li X, Xu K Z, et al. The changes of soluble sugar content in root bleeding sap and the correlation with leaf photosynthesis in soybean cultivars released in different years [J]. Journal of South China Agricultural University, 2013, 34(2):197-202.)
- [9] 王宇通,邵新庆,黄欣颖,等. 植物根系氮吸收过程的研究进展[J]. 草业科学,2010,27(7):105-110. (Wang Y T, Shao X Q, Huang X Y, et al. Research progress on nitrogen uptake by plant roots [J]. Partacultural Science, 2010, 27(7):105-110.)
- [10] Fan X H, Tang C, Rengel Z. Nitrate uptake, nitrate reductase distribution and their relation to proton release in five nodulated grain legumes[J]. Annals of Botany, 2002, 90(3):315-323.
- [11] Harper J E. Nitrogen fixation limitations and potential[C]. Chicago, IL: World Soybean Research Conference VI, August, 1999.
- [12] Ohwaki Y, Sugahara P. Active extrusion of protons and exudation of carboxylic acids in response to iron deficiency by roots of chickpea (Cicer arietinum L.) [J]. Plant Soil, 1997, 189:49-55.
- [13] 蔡昆争,骆世明,段舜山. 水稻群体根系特征与地上部生长发育和产量的关系[J]. 华南农业大学学报,2005,26(2):1-4. (Cai K Z, Luo S M, Duan S S. The relationship between root system of rice and aboveground characteristics and yield [J]. Journal of South China Agricultural University, 2005, 26(2):1-4.)
- [14] 徐钰,江丽华,郑福丽,等. 调控措施对日光温室黄瓜伤流液及其养分含量的影响[J]. 中国蔬菜,2012(20):62-67. (Xu Y, Jiang L H, Zheng F L, et al. Effects of different control measures on cucumber bleeding sap and its nutrient contents in greenhouse [J]. China Vegetables, 2012(20):62-67.)
- [15] Fehr W R, Caviness C E, Burmood D T, et al. Stage of development descriptions for soybean, Glycine max (L.) Merrill [J]. Crop Science, 1971, 34:1143-1151.
- [16] 刘菁,蒋丹凤. 烘箱法测定地表水中的总氮[J]. 污染防治技术,2005,18(5):50-52. (Liu J, Jiang D F. Discussion on determination total nitrogen with oven method [J]. Pollution Control Technology, 2005, 18(5):50-52.)
- [17] 赵婧,张伟,邱强,等. 不同熟期大豆品种遗传改良过程中光合特性和冠层农艺性状的变化[J]. 大豆科学,2012,31(4):568-574. (Zhao J, Zhang W, Qiu Q, et al. Changes of photosynthetic characters and canopy agronomic traits among different maturity groups in soybean genetic improvement [J]. Soybean Science, 2012, 31(4):568-574.)
- [18] 杨秀红,吴宗璞,张国栋. 大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究[J]. 作物学报,2002,28(1):72-75. (Yang X H, Wu Z P, Zhang G D. Correlations between characteristics of roots and those of aerial parts of soybean varieties [J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(1):72-75.)
- [19] 姚琳,徐克章,张治安,等. 吉林省不同年代育成大豆品种根瘤数量、鲜重和体积的变化[J]. 中国油料作物学报,2009,31(2):196-201. (Yao L, Xu K Z, Zhang Z A, et al. Nodule number fresh weight and volume of soybean cultivars over the years in Jilin province [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(2):196-201.)
- [20] Heerden P D, Krüger G H. Dark chilling inhibition of photosynthesis and symbiotic nitrogen fixation in soybean during pod filling [J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161(5):599-609.
- [21] Michael R J. Leaflet photosynthesis rate and carbon metabolite accumulation patterns in nitrogen-limited, vegetative soybean plants [J]. Photosynthesis Research, 1996, 50(2):133-148.
- [22] 李大勇,陈展宇,徐克章,等. 不同年代大豆品种叶片氮含量及其与净光合速率的关系[J]. 中国油料作物学报,2013,35(2):171-178. (Li D Y, Chen Z Y, Xu K Z, et al. Changes of nitrogen content in leaf and its correlations with net photosynthetic rate of soybean cultivars released in different years [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(2):171-178.)
- [23] 谷秋荣,薛晓娅,郭鹏旭,等. 不同氮肥类型对大豆叶片光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学,2010,29(5):900-902. (Gu Q R, Xue X Y, Guo P X, et al. Effects of different nitrogen forms on leaves photosynthesis characteristics and yields of soybean [J]. Soybean Science, 2010, 29(5):900-902.)