

施肥对丹参叶片光合光响应特性的影响

刘红云¹, 梁宗锁^{1,2}, 舒志明¹, 兰晓继¹, 曹 让¹

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究不同施肥处理对丹参叶片光合光响应特性的影响, 为丹参大田高产栽培的施肥管理提供理论依据。【方法】以大田移栽丹参为研究对象, 设 CK(对照)、MX(混合肥)、N10(施用尿素 215.5 kg/hm²)、N20(施用尿素 431.0 kg/hm²) 4 个处理, 通过 Li 6400 光合测定仪测定丹参叶片的光响应曲线。【结果】施肥处理显著增加了丹参的净光合速率(P_n)和最大净光合速率(A_{max}), N20 处理显著增加了丹参的蒸腾速率(Tr)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和气孔导度(G_s); 丹参的光饱和点(LSP)与光补偿点(LCP)在 N10 处理下降低, N20 处理下升高, 而混合肥处理下前者升高后者降低。【结论】氮肥可提高丹参叶片的净光合速率, 混合肥处理下丹参的光合潜力增加。

[关键词] 丹参; 施肥; 光响应; 光合作用

[中图分类号] S567.5+30.62

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)06-0110-05

Effect of fertilization treatment on the photosynthetic light-response characteristics of *Salvia miltiorrhiza* Bunge

LIU Hong-yun¹, LIANG Zong-suo^{1,2}, SHU Zhi-ming¹, LAN Xiao-ji¹, CAO Rang¹

(1 College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The research studied the relationship between the photosynthetic light-response curves and fertilizing treatments of *Salvia miltiorrhiza* to provide a basis for optimal fertilization in field cultivation. 【Method】The photosynthetic light-response curves of *S. miltiorrhiza* under four fertilizing treatments, CK, MX, N10 and N20, were measured using a Li 6400 portable photosynthesis system. A modified nonrectangular hyperbola was adopted to fit the light-response curves. 【Result】Compared with CK treatment, the net photosynthetic rate (P_n) and the maximum net photosynthetic rate (A_{max}) was increased significantly under N10, N20 and MX treatment; the values of transpiration rate (Tr), intercellular CO₂ concentration (C_i), and stomatal conductance (G_s) were increased significantly under N20 treatment. The values of light saturation point (LSP) and light compensation point (LCP) were decreased in N10 treatment, increased in N20 treatment; but in MX treatment, the former was increased, the later decreased. 【Conclusion】These results indicated that the nitrogen fertilization can increase the net photosynthetic rate and the photosynthetic ability of *S. miltiorrhiza* was enhanced under mixture fertilization treatment.

Key words: *Salvia miltiorrhiza* Bunge; fertilization; light response; photosynthesis

植物光合作用是绿色植物生长发育的基础生理功能, 受到诸多因素的影响。光合速率是植物重要

的生理生态参数之一, 可以通过测定植物叶片在弱光下的光合作用计算其初始量子效率, 以确定光合

*[收稿日期] 2011-01-06

[基金项目] 国家“十一·五”支撑计划项目(2007BAD79B06, 2008BAD98B083)

[作者简介] 刘红云(1980-), 女, 陕西蒲城人, 在读博士, 主要从事丹参生长模拟研究。E-mail: liuhongyun1980@163.com

[通信作者] 梁宗锁(1965-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事植物逆境生理与生态研究。
E-mail: liangzs@ms.iswc.cn

作用机构是否运转正常;由光合作用的饱和光合强度可以确定植物在饱和光下的光合作用能力^[1]。借助于植物光合作用的光响应曲线不仅能评价植物的光合能力,也能确定植物在一定光强下的潜在光合能力^[2]。

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)为唇形科多年生草本植物,以干燥根入药,主产区在安徽、江苏、山东、河北、陕西、四川、山西等省^[3]。由于丹参野生资源日渐减少且品质不易控制,因此目前人工栽培丹参是药用丹参的主要来源。有研究表明,施肥对丹参的生长、产量和品质有显著影响^[4,5],合理施肥既可以提高丹参的产量和品质,也是影响大田栽培丹参产量和品质的关键技术之一,然而尚未见有关施肥对丹参光合作用影响的报道。本研究通过分析不同施肥处理对丹参叶片光响应特性及相关特征参数的影响,旨在为丹参高产栽培的施肥管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与材料

试验地位于陕西杨凌现代农业示范园露天种植区的药材种植基地,基地0~20 cm土壤的基本理化性质为:有机质 11.72 g/kg,速效氮 42.0 mg/kg,速效磷 11.65 mg/kg,速效钾 115 mg/kg, pH 值为 7.75。供试丹参幼苗为陕西商洛天士力公司提供的紫花丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)实生苗,生长约3个月,于2010-03-09移栽至大田内。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设4个处理:CK(不施用任何肥料);N10(施N量为10 g/m²,折合尿素施用量为215.5 kg/hm²);N20(施N量为20 g/m²,折合尿素施用量为431.0 kg/hm²);MX(氮磷钾复合肥)。所用氮肥为含N 46.4%的尿素,氮磷钾复合肥为磷酸二铵(施用量为375 kg/hm²)和硫酸钾(施用量为300 kg/hm²)。所有肥料均在移栽前一次性施入,丹参生长期不再进行追肥。各处理均重复3次。小区面积12 m²,种植密度为25 cm×25 cm(株距×行距)。移栽后浇灌根水,之后不再浇水,统一锄草。测定时每小区选择生长良好、长势基本一致的植株5株,每株选择完全展开、颜色正常的第5~7对(由基部叶片开始计数)叶片进行测定,每叶片测定3次,取平均值。

1.3 测试项目及方法

于2010年5月下旬,选择外界光照强度、温度

和湿度相对稳定的阴天,采用Li6400光合测定仪测定不同施肥处理下丹参的光响应曲线。

测定时采用Li6400-02B红蓝光源,设置光合有效辐射强度梯度为2000,1800,1600,1200,1000,800,600,400,200,150,100,50,20和0 μmol/(m²·s)。

测定时设定样本室CO₂浓度为400 μmol/(m²·s),相对湿度为36%~42%,利用Li6400自动“light cure”曲线测定功能测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间CO₂浓度(C_i)、气孔导度(G_s)等光合生理参数。

1.4 数据分析

利用非直线双曲线公式对不同施肥处理的丹参光响应曲线进行拟合^[6],采用SPSS16.0进行回归分析。非直线双曲线的理论公式如下:

$$P_n = \left[\varphi PAR + A_{\max} - \sqrt{(\varphi PAR + A_{\max})^2 - 4\varphi PAR A_{\max} k} \right] / 2k - R_d$$

式中: P_n 为净光合速率, φ 为初始量子效率, PAR 为光合有效辐射, A_{\max} 为最大净光合速率, k 为光响应曲线曲角, R_d 为暗呼吸速率。

有研究指出,光合有效辐射(PAR)为0~200 μmol/(m²·s)时, P_n 的观察值近似一条直线,其与 X 轴(PAR)的交点就是光补偿点LCP(Light compensation point, μmol/(m²·s)),与 $Y = A_{\max}$ 直线相交的交点对应 X 轴的数值即是光饱和点LSP(Light saturation point, μmol/(m²·s))^[7]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理下丹参叶片净光合速率对光强的响应

由图1可以看出,施肥处理显著影响丹参叶片的净光合速率。光合有效辐射(PAR)为0~200 μmol/(m²·s)时,各施肥处理丹参叶片的净光合速率均随 PAR 的增大而迅速增加,此后增加趋势逐渐趋缓。复合肥(MX)和N10处理的丹参叶片净光合速率相近,不同的是高于1200 μmol/(m²·s)的 PAR 使N10处理丹参的净光合速率降低。N20处理下,在 PAR 为0~100 μmol/(m²·s)时,丹参净光合速率较对照小,随后其净光合速率增大并高于对照。与N10和MX处理相比,在 PAR 为0~1500 μmol/(m²·s)时,N20处理丹参的净光合速率较低;而当 PAR 高于1500 μmol/(m²·s)时,其净光合速率又高于其他各处理。

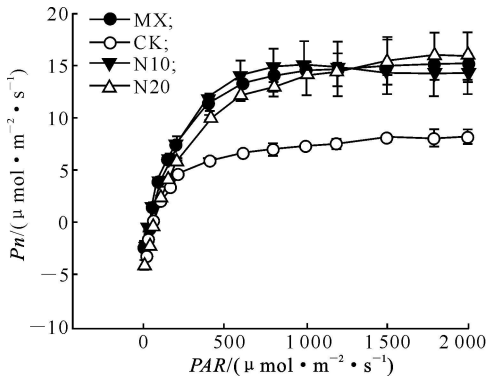


图 1 不同施肥处理对丹参叶片净光合速率(P_n)的影响

Fig. 1 Effects of different photosynthetically available radiation (PAR) on net photosynthetic rate (P_n) of the leaves of *S. miltiorrhiza* under different fertilizing treatments

利用非直线双曲线公式和直线回归,可以得到不同施肥处理丹参叶片的最大净光合速率、暗呼吸速率、光饱和点、光补偿点等相关光合参数及其初始量子效率(表 1)。最大净光合速率(A_{max})是衡量植物群体光合能力的重要指标^[8-9]。由表 1 可以看出,施肥处理可以提高丹参叶片的最大净光合速率,其中以 N20 处理的 A_{max} 最高,较 CK、MX、N10 处理

分别提高 87.3%, 22.8%, 33.5%, 说明较高的氮肥处理使丹参具有更高的强光适应能力。光补偿点(LCP)是衡量植物利用弱光能力大小的重要指标,该值越小表明植物利用弱光的能力越强。光饱和点(LSP)是衡量植物利用强光能力大小的指标^[10]。具有高 LSP 和低 LCP 的植物,其对光的生态适应能力越强^[11]。由表 1 可见,与 CK 相比, MX 处理降低了丹参的 LCP,增加了 LSP; N10 处理降低了丹参的 LCP、LSP; 而 N20 处理增加了丹参的 LCP、LSP。可见 MX 处理增加了丹参的光合潜力,有利于丹参的生长。暗呼吸速率(R_d)不同说明植物在没有光照条件下的呼吸速率不同。如表 1 所示,与 CK 相比, MX 和 N10 处理降低了丹参叶片的 R_d , 而 N20 处理使丹参叶片的 R_d 有所增加。初始量子效率(φ)反映了叶片在低 PAR 下光合作用的光化学效率,是表征植物利用弱光能力的指标。 φ 值较大,表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能较多,其利用弱光的能力越强^[12]。由表 1 可见,各施肥处理下丹参初始量子效率的大小顺序为 CK > N20 > MX > N10, 可见施肥处理降低了丹参的 φ , 表明施肥处理使丹参叶片利用弱光的能力降低。

表 1 不同施肥处理对丹参光响应曲线特征参数的影响

Table 1 Photosynthetic parameters of light response curves of *S. miltiorrhiza* under different fertilizing treatments

处理 Treatment	最大净光合速率 (A_{max}) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Maximum net photosynthetic rate	光补偿点(LCP) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Light saturation point	光饱和点(LSP) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Light compensation point	暗呼吸速率(R_d) / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Dark respiration rate	初始量子效率(φ) / ($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) Apparent quantum yield	光响应曲线曲角(k) Configuration coefficient of irradiance response curve
CK	11.92	59.34	379.6	3.168	0.101	-0.023
MX	18.17	31.22	399.1	2.044	0.069	0.678
N10	16.72	29.60	377.1	1.651	0.056	0.889
N20	22.31	66.93	521.4	3.995	0.085	0.126

2.2 不同施肥处理下丹参叶片蒸腾速率对光强的响应

由图 2 可见,不同施肥处理下丹参叶片的蒸腾速率(T_r)均随 PAR 的增大而增加。在 PAR 为 0~200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,各处理丹参叶片蒸腾速率迅速增加,此后随 PAR 的增大蒸腾速率增加趋缓,而在 PAR 大于 1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,丹参蒸腾速率又迅速增加。且在整个处理过程中, N20 处理丹参的蒸腾速率均高于其他处理; N10 和 MX 处理对丹参蒸腾速率的影响相似,与对照相比, PAR 小于 1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, N10 和 MX 处理增加了丹参的蒸腾速率;而当 PAR 大于 1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,其又使丹参的蒸腾速率有所降低。

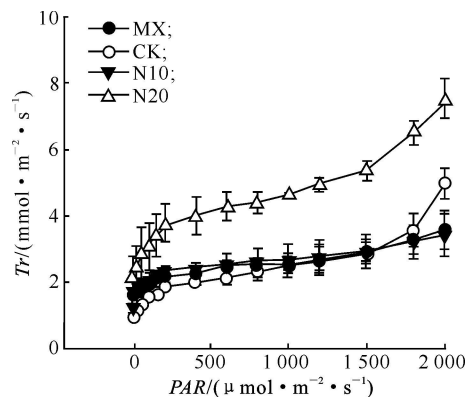


图 2 不同施肥处理对丹参叶片蒸腾速率(T_r)的影响

Fig. 2 Effects of different photosynthetically available radiation (PAR) on transpiration rate (T_r) of the leaves of *S. miltiorrhiza* under different fertilizing treatments

2.3 不同施肥处理对丹参叶片气孔导度及胞间 CO₂ 浓度的影响

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道,其可以根据环境条件的变化来调节开度的大小,使植物在损失水分较少的条件下获取较多的 CO₂。气孔导度主要表征叶片表面气孔的张开程度,其变化对植物水分状况及 CO₂ 同化有着重要影响^[13]。由图 3 可见,与 CK 相比,N20 和 MX 处理显著增加了丹参叶片的气孔导度。当 PAR 为 0~1 500 μmol/(m²·s) 时,N10 处理丹参叶片的气孔导度高于对照,之后随着 PAR 的继续增加,其气孔导度又逐渐低于对照处理。

胞间 CO₂ 浓度的变化是分析植物气孔与非气孔限制的基础。作为光合过程中 CO₂ 的中介,其一

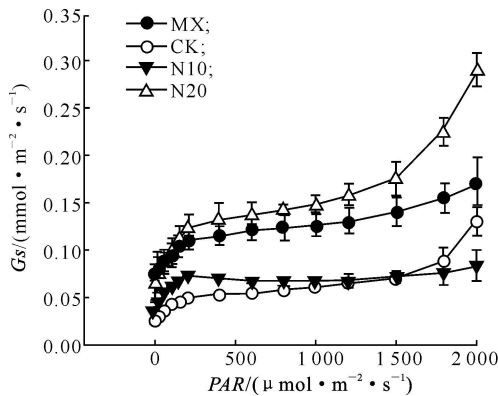


图 3 不同施肥处理对丹参叶片气孔导度(G_s)的影响
Fig. 3 Effects of different photosynthetically available radiation (PAR) on stomatal conductance (G_s) of the leaves of *S. multiorrhiza* under different fertilizing treatments

3 讨论

形态和功能的可塑性可使物种具有更宽的生态适应性和更好的耐受性^[15]。本研究结果表明,施肥处理提高了丹参叶片的最大净光合速率,同时也拉伸了光饱和点与光补偿点之间较宽的光能利用区间。而丹参叶片净光合速率提高的原因是施肥改变了丹参叶片的光合性能,有利于干物质的积累,这合理解释了施肥促进丹参高产^[4,5]的原因。

氮元素是植物生长发育所必需的有机氮化合物的构成成分,其与植物细胞分裂和生长及整体的生长发育关系密切。氮素通过影响叶绿素、Rubisco 活性及光合器官结构而直接影响 CO₂ 同化,又通过影响植株生长发育而间接影响 CO₂ 同化、光合产物积累和对光合作用的反馈调节^[16]。合理施用氮肥

方面受到作为源的外界 CO₂ 浓度和气孔导度的影响,另一方面又受到叶片光合消耗的影响^[14]。由图 4 可见,随 PAR 的增加,各处理丹参叶片的 C_i 均呈现出先急速降低后逐渐趋缓的变化过程,当 PAR 大于 1 200 μmol/(m²·s) 时,各处理丹参叶片的 C_i 又均有所升高。在 PAR 非常低的情况下,叶片的 C_i 比较高,这可能是由于丹参叶片在这一阶段内主要进行的是呼吸作用,叶肉细胞释放出的 CO₂ 量随着 PAR 的增加而增大,同时由于植物的光合作用需要消耗大量的 CO₂,故使 C_i 逐渐减小;在 PAR 增大的初级阶段,即 PAR 为 0~200 μmol/(m²·s) 时, C_i 急剧下降,主要是因为此时气孔导度较小(图 3),外界补充的 CO₂ 量远小于光合作用消耗的 CO₂ 量,故丹参叶片中的 C_i 迅速降低。

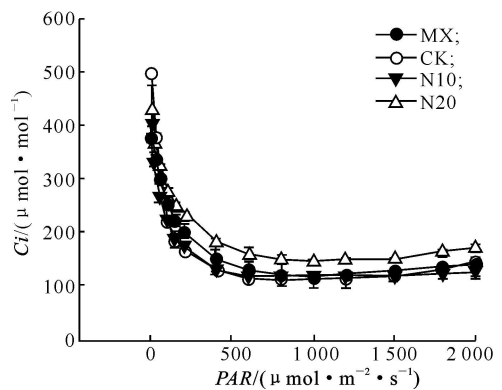


图 4 不同施肥处理对丹参叶片胞间 CO₂ 浓度(C_i)的影响
Fig. 4 Effects of different photosynthetically available radiation (PAR) on intercellular CO₂ concentration (C_i) of the leaves of *S. multiorrhiza* under different fertilizing treatments

可提高作物的光合速率^[17-19],而干旱胁迫使丹参的净光合速率、蒸腾速率降低^[20]。因此,可通过合理施肥增强丹参的光合能力,从而提高丹参的产量。本研究结果显示,在供试条件下,施用较低的氮肥,只能降低丹参的光补偿点,而对其光饱和点的提高作用不大,因此,丹参的光能利用率较小;同时增施磷和钾肥,可大幅降低丹参的光补偿点并提高光饱和点,从而提升其光合潜能。所以,建议在生产中施用 N、P、K 复合肥,这样既可以获得高产,又利于生态环境保护。

孟繁静^[21]认为,根据植物对光照强度的需要,可以将植物分为阳性(喜光)植物和阴性(耐阴)植物。阳性植物的 LSP 一般在 540 μmol/(m²·s) 以上, LCP 为 13~36 μmol/(m²·s);而阴性植物的 LSP 一般为 90~180 μmol/(m²·s), LCP 在 10 μmol/(m²·s) 以

下。本研究发现,丹参的 LCP 为 29.60~66.93 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, LSP 为 377.1~521.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由此可知,丹参植株比较喜光,因此在生产中应注意利用丹参这一生长习性。

[参考文献]

- [1] 曾小美,袁琳,沈允钢.拟南芥连体和离体叶片光合作用的光响应[J].植物生理学通讯,2002,38(1):25-26.
Zeng X M, Yuan L, Shen Y G. Response of photosynthesis to light intensity in intact and detached leaves of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiology Communication, 2002, 38(1): 25-26. (in Chinese)
- [2] Peter J R, Rolf G. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(8): 222-237.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 第 1 部 [S]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 52.
Chinese Pharmacopoeia Commission. The Chinese pharmacopoeia: Part 1 [S]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 52. (in Chinese)
- [4] 王渭玲,梁宗锁,孙群,等.丹参氮、磷肥效效应及最佳施肥模式研究[J].西北植物学报,2003,23(8):1406-1410.
Wang W L, Liang Z S, Sun Q, et al. Study on N, P fertilization model of *Salvia miltiorrhiza* in different soil fertility [J]. Acta Boreali-occidentalia Sinica, 2003, 23(8): 1406-1410. (in Chinese)
- [5] 王渭玲,梁宗锁,孙群,等.丹参高产栽培优化配方施肥技术研究[J].西北植物学报,2004,24(1):130-135.
Wang W L, Liang Z S, Sun Q, et al. Study on optimal fertilizer techniques for high yield cultivation of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Acta Boreali-occidentalia Sinica, 2004, 24(1): 130-135. (in Chinese)
- [6] 宋庆安,童方平,易霏琴,等.光胁迫下欧洲莢蒾光合生理生态特性[J].中国农学通报,2008,24(5):166-170.
Song Q A, Tong F P, Yi A Q, et al. Studies on physiological characteristics of photosynthesis of *Vihurnum opulus* L. [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(5): 166-170. (in Chinese)
- [7] 伍维模,李志军,罗青红,等.土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用-光响应特性的影响[J].林业科学,2007,43(5):30-35.
Wu W M, Li Z J, Luo Q H, et al. Effects of soil water stress on light response curves of photosynthesis of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(5): 30-35. (in Chinese)
- [8] 谭晓红,彭彰登,贾奎奎,等.不同刺楸品种光合光响应曲线的温度效应研究[J].北京林业大学学报,2010,32(2):64-68.
Tan X H, Peng Z D, Jia Z K, et al. Influence of air temperatures on photosynthetic light response curves of *Robinia pseudoacacia* L. [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(2): 64-68. (in Chinese)
- [9] 谢会成,姜志林,李际红.栓皮栎光合特性的研究[J].南京林业大学学报,2004,28(5):83-85.
Xie H C, Jiang Z L, Li J H. The photosynthetic characteristics in leaves of oriental oak forest [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2004, 28(5): 83-85. (in Chinese)
- [10] 叶子飘.光合作用对光和 CO₂ 响应模型的研究进展[J].植物生态学报,2010,34(6):727-740.
Ye Z P. A review on modeling of responses of photosynthesis to light and CO₂ [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(6): 727-740. (in Chinese)
- [11] 杨兴洪,邹琦,赵世杰.遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征[J].植物生态学报,2005,29(1):8-15.
Yang X H, Zou Q, Zhao S J. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of cotton plants grown in full light and 40% sunlight [J]. Acta Phytosociologica Sinica, 2005, 29(1): 8-15. (in Chinese)
- [12] 向仰州,姚斌,尚鹤,等.五氯酚胁迫对转基因杨树光合光响应特性的影响[J].生态环境学报,2009,18(6):2146-2150.
Xiang Y Z, Yao B, Shang H, et al. Photosynthesis light response characteristics of transgenic poplars under pentachlorophenol stress [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(6): 2146-2150. (in Chinese)
- [13] 李兆君,李万峰,解晓瑜,等.覆膜对不同施肥条件下玉米苗期生长和光合及生理参数的影响[J].核农学报,2010,24(2):360-364.
Li Z J, Li W F, Xie X Y, et al. Effects of plastic film mulching on growth and photosynthetic and physiological parameters of corn receiving different fertilizers at seedling stage [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(2): 360-364. (in Chinese)
- [14] 徐俊增,彭世彰,魏征,等.节水灌溉水稻叶片胞间 CO₂ 浓度及气孔与非气孔限制[J].农业工程学报,2010,26(7):76-80.
Xu J Z, Peng S Z, Wei Z, et al. Intercellular CO₂ concentration and stomatal or non-stomatal limitation of rice under water saving irrigation [J]. Transactions of CSAE, 2010, 26(7): 76-80. (in Chinese)
- [15] Tarin T A, Michael D S. Biomass allocation and photosynthetic responses of lianas and pioneer tree seedlings to light [J]. Acta Oecologica, 2008, 34: 38-49.
- [16] 孙旭生,林琪,赵长星,等.施氮量对超高产冬小麦灌浆期旗叶光响应曲线的影响[J].生态学报,2009,29(3):1428-1437.
Sun X S, Lin Q, Zhao C X, et al. Effects of nitrogen application rate on light response curves of flag leaves in super-high yielding winter wheat at grain filling stage [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1428-1437. (in Chinese)
- [17] 张生杰,黄元炯,任庆成,等.氮素对不同品种烤烟叶片衰老、光合特性及产量和品质的影响[J].应用生态学报,2010,21(3):668-674.
Zhang S J, Huang Y J, Ren Q C, et al. Effects of nitrogen fertilization on leaf senescence, photosynthetic characteristics, yield, and quality of different flue-cured tobacco varieties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 668-674. (in Chinese)

(下转第 121 页)

- Tang L N, Xiong D Z. Effect of combining application of organic and chemical fertilizers on the growth and development of flue cure tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2000 (10): 32-34. (in Chinese)
- [14] 叶玉珍. 烤烟施肥技术 [J]. 河南科技, 1997(12): 10-11.
Ye Y Z. Fertilization techniques for flue cured tobacco [J]. Henan Science & Technology, 1997(12): 10-11. (in Chinese)
- [15] 国家烟草专卖局. YC/T 142-1998 中华人民共和国烟草行业标准: 烟草农艺性状调查方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
State Tobacco Monopoly Bureau. YC/T 142-1998 Occupation standard of tobacco of the people's republic of China: Investigating methods of agronomical character of tobacco [S]. Beijing: Standards Press of China, 1998. (in Chinese)
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. (in Chinese)
- [17] 王瑞新. 烟草化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
Wang R X. Tobacco chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [18] 陈江华, 刘建利, 李志宏. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Chen J H, Liu J L, Li Z H. Nutrients integration management of chinese tobacco and soil [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [19] 肖协忠, 吴帼英, 王宝华, 等. 烟草化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 50-52, 65.
Xiao X Z, Wu G Y, Wang B H, et al. Tobacco chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 50-52, 65. (in Chinese)
- [20] 李进平, 陈振国, 李建平. 土壤水分条件对白肋烟产质量的影响研究 [J]. 灌溉排水学报, 2003(4): 73-78.
Li J P, Chen Z G, Li J P. Effects of soil moisture on yield and quality and suitable soil moisture indexes for irrigation in burley tobacco [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003(4): 73-78. (in Chinese)
- [21] 韩忠明, 李章海, 黄刚, 等. 我国主要烟区烤烟氯含量特征比较研究 [J]. 贵州农业科学, 2008, 36(1): 106-107.
Han M Z, Li Z H, Huang G, et al. Characteristic of tobacco chlorine content in main tobacco cultivation areas in China [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(1): 106-107. (in Chinese)

(上接第 114 页)

- [18] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 等. 花后干旱或渍水下氮素供应对小麦光合和籽粒淀粉积累的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1883-1888.
Fan X M, Jiang D, Dai T B, et al. Effects of nitrogen supply on flag leaf photosynthesis and grain starch accumulation of wheat from its anthesis to maturity under drought or water logging [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1883-1888. (in Chinese)
- [19] 孙旭生, 林琪, 姜雯, 等. 施氮量对开花期超高产小麦旗叶 CO₂ 响应曲线的影响 [J]. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 303-307.
Sun X S, Lin Q, Jiang W, et al. Effects of different amount of nitrogen supply on the CO₂ response curve in flag leaves of superhigh yield winter wheat at flowering stage [J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(2): 303-307. (in Chinese)
- [20] 罗明华, 胡进耀, 吴庆贵, 等. 干旱胁迫对丹参叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 619-623.
Luo M H, Hu J Y, Wu Q G, et al. Effects of drought stress on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 619-623. (in Chinese)
- [21] 孟繁静. 植物生理学 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000: 206-213.
Meng F J. Plant physiology [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2000: 206-213. (in Chinese)