

## 5 种药用植物光响应曲线及其根部浸提液的生物测定

王道金<sup>1</sup>, 余诚棋<sup>1</sup>, 季琳琳<sup>2</sup>, 肖正东<sup>2\*</sup>, 樊巍<sup>3</sup>

(1. 安徽省林业厅, 合肥 230001; 2. 安徽省林业科学研究院, 合肥 230031; 3. 河南省林业科学研究院, 郑州 450000)

**摘要:** 以知母、桔梗、白术、板蓝根和紫丹参等药用植物为研究对象, 通过光响应参数的分析及其根部浸提液的生物测定结果, 筛选出适宜杨树林下种植的药用植物。结果表明, 知母、桔梗、白术和紫丹参的耐荫性相对较强, 而板蓝根的耐荫性相对较弱; 知母、板蓝根、紫丹参的化感作用相对较弱, 而桔梗、白术的化感作用相对较强。综合来看, 知母、板蓝根、紫丹参较适宜杨树林下种植。应根据林分不同生长时期选择相应药用植物进行复合经营, 从而实现高效、可持续的杨树复合经营。

**关键词:** 药用植物; 光响应曲线; 生物测定

中图分类号: S759.82

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2013)01-0023-05

### Light-response curves and root extract bioassay of five medicinal plants

WANG Dao-jin<sup>1</sup>, SHE Cheng-qi<sup>1</sup>, JI Lin-lin<sup>2</sup>, XIAO Zheng-dong<sup>2</sup>, FAN Wei<sup>3</sup>

(1. Forestry Department of Anhui Province, Hefei 230001; 2. Anhui Academy of Forestry, Hefei 230031;

3. Henan Forestry Academy, Zhengzhou 450000)

**Abstract:** The analysis of light-response parameters and the results of root extract bioassay for *Anemarrhena asphodeloides*, *Platycodon grandiflorus*, *Atractylodes macrocephala* Koidz., *Isatis indigotica* Fort. and *Salvia miltiorrhiza* Bge. were used to select medicinal plants for poplar understory planting. The results showed that the shade tolerance of *Anemarrhena asphodeloides*, *Platycodon grandiflorus*, *Atractylodes macrocephala* Koidz. and *Salvia miltiorrhiza* Bge. was relatively strong, while that of *Isatis indigotica* Fort. was relatively weak. The allelopathy of *Anemarrhena asphodeloides*, *Isatis indigotica* Fort. and *Salvia miltiorrhiza* Bge. were relatively strong, while that of *Platycodon grandiflorus* and *Atractylodes macrocephala* Koidz. were relatively weak. On the whole, *Anemarrhena asphodeloides*, *Isatis indigotica* Fort. and *Salvia miltiorrhiza* Bge. were more appropriate for poplar understory planting. According to the different growth periods of poplar, the appropriate medicinal plant was selected to achieve efficient and sustainable poplar agroforestry management.

**Key words:** medicinal plant; light-response curve; bioassay

林农复合系统中存在多种生物, 一种生物通过改造环境可直接或间接地影响相邻生物, 即种间互作, 其作用方式有减弱光强、改变光质、蒸腾水分、改变土壤湿度、吸收限制性养分、提供固氮、增加土壤有机物、解毒以及改变土壤反应等<sup>[1]</sup>。根据种间互作发生的空间位置可分为地上部分相互作用和地下部分相互作用 2 大类。前者主要是林农复合系统中林木通过改变小气候来影响林下作物, 后者则是林木与林下作物对土壤中水分和养分资源的竞争

或互利以及化感作用<sup>[2-3]</sup>。药用植物是林农复合系统中重要的林下作物, 其种类丰富、生态习性差异大, 且大多数药用植物都存在化感作用。肖智勇等<sup>[4]</sup>研究表明 3 种菊科药用植物的光响应参数存在差异, 水飞蓟 (*Silybum marianum* L.) 光饱和点最高, 比牛蒡子 (*Arctium lappa* L.) 和蒲公英 (*Taraxacum officinale* L.) 分别高 14.28% 和 60%, 而蒲公英光补偿点最高, 比牛蒡子和水飞蓟分别高 32.45% 和 79.05%。银福军等<sup>[5]</sup>研究认为黄连 (*Coptis chinensis* L.) 光饱和点最高, 比牛蒡子和水飞蓟分别高 32.45% 和 79.05%。

收稿日期: 2012-08-28

基金项目: “十二五”科技支撑课题 (2011BAD38B0205), 安徽省科技攻关计划项目(09010304023)和国家林业局“黄淮海平原农田防护林生态系统定位观测研究站”共同资助。

作者简介: 王道金, 男, 高级工程师。

\* 通信作者: 肖正东, 男, 研究员。E-mail: xiaozhd@yeah.net

sis Franch.)根系分泌物、根茎浸提液、植株残体分解产物、根际土浸提液对黄连生长有较强的抑制作用。伊贝母 (*Bulbus fritillariae Pallidiflorae*) 根系分泌物对其种子萌发及胚根、胚轴的生长有明显的化感作用,且随着浓度升高而增强,在较低浓度时对胚轴生长有一定促进作用<sup>[6]</sup>。因此,为林农复合系统选择林下药用植物时,药用植物的耐荫性和化感作用将作为判断其适应性的重要指标。笔者以安徽淮北平原地区为立足点,以杨树林下开发为出发点,以该地区主种药用植物为依据,选择知母 (*Anemarrhena asphodeloides*)、桔梗 (*Platycodon grandiflorus*)、白术 (*Atractylodes macrocephala* Koidz.)、板蓝根 (*Isatis indigotica* Fort.)、紫丹参 (*Salvia miltiorrhiza* Bge.) 等5种药用植物为研究对象,通过光响应参数来判定其耐荫性,并对其根部浸提液进行生物测定,来分析其化感作用的强弱,再综合各指标初步筛选出适宜杨树林下种植的药用

植物,为探索高效、可持续的杨树复合经营提供有力的技术支撑和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料为知母 (*Anemarrhena asphodeloides*)、桔梗 (*Platycodon grandiflorus*)、白术 (*Atractylodes macrocephala* Koidz.)、板蓝根 (*Isatis indigotica* Fort.)、紫丹参 (*Salvia miltiorrhiza* Bge.) 等5种药用植物,均为1年生,2011年12月到安徽省砀山县取样。对各种药用植物分2种方式进行取样,一是尽可能挖出完好根系的植株4~5株,带回实验室栽于花盆,每盆2~3株,并放置室外自然条件下生长(表1),用于光合特性的测定;二是挖取根系,带回实验室,洗净、烘干、粉碎,作为生物测定的样品。

表1 5种药用植物生长状况

Table 1 Growth conditions of five medicinal plants

药用植物 Medicinal plants	冠幅/cm Crown breadth	茎高/cm Stem height	株数/株 Number
知母 <i>Anemarrhena asphodeloides</i>	21	76	4
桔梗 <i>Platycodon grandiflorus</i>	18	48	5
白术 <i>Atractylodes macrocephala</i> Koidz.	14	33	5
板蓝根 <i>Isatis indigotica</i> Fort.	34	22	4
紫丹参 <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge.	34	30	4

注:观测日期为2012年7月19日。Note: The data were measured on July 19, 2012.

### 1.2 光合指标的测定

用 Li-6400XT 光合仪和 6400-2B 红蓝光源 (美国 Li-cor 公司) 于 2012 年 7 月 19 日至 20 日上午 9:00~11:30 进行光响应曲线的测定,每种药用植物测 3 张叶片。测定时红蓝光源设定的光通量密度梯度为 1 500、1 200、900、600、400、300、200、150、120、90、60、40、20 和 0  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 样本室  $\text{CO}_2$  浓度为  $400\pm 5 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 叶片温度为  $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 。

### 1.3 生物测定

**1.3.1 根部浸提液制备** 称取 5 种药用植物根部干样各 10 g 分别置于 100 mL 锥形瓶,各加入 70 mL 体积 80% 甲醇,混匀后置  $4^\circ\text{C}$  冰箱内恒温条件下浸提,其间多次取出摇动使其充分浸提,24 h 后过滤,再重复浸提 2 次,将 3 次浸提液混合并减压浓缩,再将浓缩液用 10 mL 容量瓶定容,即浓度为  $1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浸提液。

**1.3.2 白菜生物测定** 首先,将白菜籽 (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) 置于  $45\sim 50^\circ\text{C}$  水浴中

温浸 10 min, 不时搅拌, 到时间后将其滤出, 以便备用。其次, 以浓度为  $1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浸提液为母液, 分别配制浓度为  $0.05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  和  $0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  2 种浸提液, 以蒸馏水为对照, 进行白菜生物测定。在  $\Phi 9 \text{ cm}$  培养皿中放入  $\Phi 7 \text{ cm}$  滤纸, 加入 3 mL 不同浓度浸提液或蒸馏水使滤纸湿透。然后取 30 粒白菜籽均匀摆放在滤纸中上部, 培养皿倾斜  $45^\circ$  置于培养箱,  $28\pm 1^\circ\text{C}$  恒温黑暗培养, 每种浓度浸提液和蒸馏水均设 3 个重复。24 h 后统计发芽率 (以幼根长大于种子直径为发芽标准), 72 h 后测量白菜根长和茎长。

### 1.4 光响应曲线的拟合模型

采用改进的直角双曲线模型对 5 种药用植物的光响应曲线进行拟合, 其模型<sup>[7]</sup>为:

$$P_n(I) = \frac{\alpha(1-\beta I)(I-I_c)}{1+\gamma I}$$

式中各参数意义:  $P_n$  为最大净光合速率,  $I$  为光通量密度,  $I_c$  为光补偿点,  $\alpha$  为表观量子效率,  $\beta$  为修正系数,  $\gamma$  为光响应曲线初始斜率与最大净光合

速率之比。

用 SPSS 13.0 和 Excel 软件进行光响应曲线拟合和 Duncan 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 5 种药用植物的光响应曲线

由图 1 可知, 在光饱和点前, 5 种药用植物的净光合速率随光强的增强而非线性增大, 而在光饱和点后, 净光合速率随光强的增强而减小, 出现光合作用的光抑制现象。净光合速率与光强的拟合曲线相关系数均大于 0.97 (表 2), 说明改进的直角双曲线模型拟合药用植物光响应曲线的效果较好, 也符合植物的生理反应。不同药用植物光响应曲线弯曲程度存在明显差别, 知母最大, 其次是白术、紫丹参、桔梗, 板蓝根最小, 这表明 5 种药用植物的净光合速率存在显著差异。由表 2 可知, 5 种药用植物中板蓝根的最大净光合速率最高, 达  $8.62 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 桔梗、紫丹参次之, 而白术和知母的最大净光合速率显著低于前 3 种, 最大差值为  $5.54 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

植物光补偿点和光饱和点的高低则直接反映了植物对光能的利用能力强弱, 是植物耐阴性评价的重要指标<sup>[8]</sup>。光补偿点代表了植物对弱光的利用能力, 其值越低, 表明植物对弱光的利用能力越强<sup>[9]</sup>。由表 2 还可知, 知母和板蓝根的光补偿点较高, 依次为  $17.0$ 、 $18.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 而桔梗、白术、紫丹参的光补偿点较低, 表明这 3 种药用植物利用弱光的能力要强于知母和板蓝根。而 5 种药用植物的光

饱和点也存显著差异, 板蓝根的光饱和点显著高于其他 4 种药用植物, 其中知母的光饱和点仅为  $380.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 这反映了板蓝根对强光的利用能力最强, 其次是桔梗、白术、紫丹参, 最弱的是知母。

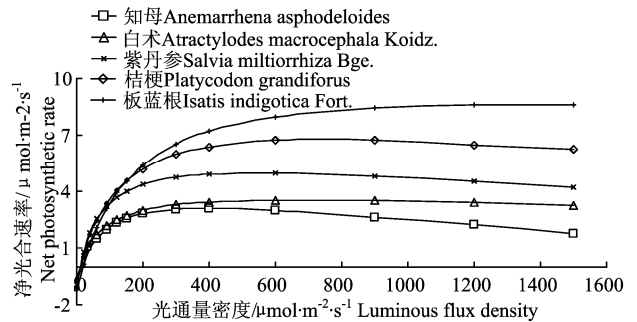


图 1 5 种药用植物的光响应曲线

Figure 1 Light-response curves of five medicinal plants

表观量子效率是光合作用中光能转化最大效率的一种度量, 是反映自然状态下植物捕获光量子用于光合作用的能力<sup>[10]</sup>。5 种药用植物的表观量子效率大小排序为紫丹参 > 知母 > 桔梗 > 白术 > 板蓝根, 这表明药用植物对光量子利用效率也存在差别。

总体来看, 知母为低光饱和点、高光补偿点植物, 对光适应的生态幅度较窄; 板蓝根为高光饱和点、高光补偿点植物, 说明其为喜光植物, 能适应较强的光辐射, 耐荫能力相对较差; 桔梗、白术、紫丹参的光饱和点和光补偿点都较低, 说明其耐荫能力相对较强, 但其净光合速率表现不一, 桔梗和紫丹参的净光合速率明显高于白术。

表 2 5 种药用植物光响应曲线的光合参数

Table 2 Photosynthetic parameters of light-response curves for five medicinal plants

药用植物 Medicinal plants	光饱和点 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Light saturation point	光补偿点 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Light compensation point	最大净光合速率 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Maximum net photosynthetic rate	暗呼吸速率 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Dark Respiratory rate	表观量子效率 Apparent quantum yield	决定系数 Adjusted coefficient
知母 <i>A. asphodeloides</i>	$380.9 \pm 62.7^b$	$17.0 \pm 4.0$	$3.08 \pm 1.03^c$	$1.27 \pm 0.37$	$0.096 \pm 0.004$	$0.979^{**}$
桔梗 <i>P. grandiflorus</i>	$742.1 \pm 55.8^b$	$10.5 \pm 0.7$	$6.76 \pm 0.59^{ab}$	$0.78 \pm 0.06$	$0.080 \pm 0.002$	$0.999^{**}$
白术 <i>A. macrocephala</i> Koidz.	$645.2 \pm 134.7^b$	$9.5 \pm 1.0$	$3.55 \pm 0.94^c$	$0.64 \pm 0.14$	$0.078 \pm 0.014$	$0.999^{**}$
板蓝根 <i>I. indigotica</i> Fort.	$1335.9 \pm 83.2^a$	$18.0 \pm 0.3$	$8.62 \pm 0.40^a$	$1.22 \pm 0.27$	$0.075 \pm 0.017$	$0.998^{**}$
紫丹参 <i>S. miltiorrhiza</i> Bge.	$604.9 \pm 116.9^b$	$9.9 \pm 0.2$	$5.00 \pm 0.51^{bc}$	$0.97 \pm 0.02$	$0.113 \pm 0.002$	$0.993^{**}$

注: 同列不同小写字母表示差异达 0.05 水平; \*\*表示相关性达 0.01 水平。下同。

Note: Different lowercase letters at the same column refer to the significance at the 0.05 level; \*\*correlation is significant difference at the 0.01 level. The same below.

### 2.2 5 种中药材根部浸提液的生物测定

由表 3 可知, 同种药用植物根部不同浓度的浸提液对白菜发芽率、根长及茎长抑制作用明显不同,

浸提液浓度为  $0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  抑制作用要强于浓度为  $0.05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ; 而 5 种药用植物根部浸提液浓度为  $0.05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 对白菜的抑制作用也表现不一, 其中抑制

作用相对较强的为桔梗、白术, 两者根部浸提液明显抑制白菜生长, 白菜发芽率、根长及茎长显著小于对照; 而知母、板蓝根、紫丹参根部浸提液对白菜抑制作用相对较弱, 与对照相比, 白菜发芽率、根长和茎长都达到显著差异。根部浸提液浓度为  $0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  对白菜抑制作用在不同药用植物间的表

现与浓度为  $0.05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  基本相似, 其中知母、板蓝根、紫丹参根部浸提液浓度为  $0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时, 白菜发芽率依次为 42.2%、35.6% 和 40.0%。总体来看, 这 5 种药用植物中知母、板蓝根和紫丹参的化感作用相对较弱。

表 3 5 种药用植物根部浸提液对白菜发芽率、根长及茎长的影响

Table 3 Effects of root extracts of five medicinal plants on the cabbage germination rate, root length and stem length

供试材料 Materials	浸提液浓度 Extracts concentration <sup>1</sup>					
	$0.05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$			$0.10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$		
	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	茎长/cm Stem length	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	茎长/cm Stem length
知母 <i>A. asphodeloides</i>	75.6±5.88 <sup>b</sup>	0.37±0.06 <sup>b</sup>	0.56±0.03 <sup>b</sup>	42.2±4.01 <sup>b</sup>	0.26±0.02 <sup>b</sup>	0.47±0.05 <sup>b</sup>
桔梗 <i>P. grandiflorus</i>	41.1±6.19 <sup>c</sup>	0.22±0.08 <sup>b</sup>	0.29±0.02 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>
白术 <i>A. macrocephala</i> Koidz.	22.2±4.01 <sup>c</sup>	0.54±0.03 <sup>b</sup>	0.34±0.04 <sup>bc</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>
板蓝根 <i>I. indigotica</i> Fort.	70.0±1.92 <sup>b</sup>	0.59±0.04 <sup>b</sup>	0.89±0.07 <sup>a</sup>	35.6±4.84 <sup>b</sup>	0.28±0.04 <sup>b</sup>	0.30±0.05 <sup>c</sup>
紫丹参 <i>S. miltiorrhiza</i> Bge.	66.7±1.93 <sup>b</sup>	0.56±0.08 <sup>b</sup>	0.41±0.17 <sup>bc</sup>	40.0±0.00 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>	0.45±0.03 <sup>b</sup>
对照 CK	93.3±1.92 <sup>a</sup>	2.43±0.40 <sup>a</sup>	1.08±0.06 <sup>a</sup>	93.3±1.92 <sup>a</sup>	2.43±0.40 <sup>a</sup>	1.08±0.06 <sup>a</sup>

### 3 讨论

植物生长状况与其所处的光环境密切相关, 光环境对植物的直接作用就是光合作用<sup>[11-12]</sup>。光合作用是非常复杂的生理过程, 是评价植物耐荫性重要的生理指标。张建新等<sup>[13]</sup>计算蕨类植物比叶重、叶绿素含量、最大净光合速率、光补偿点和光饱和点等指标的表型可塑性指数和耐荫临界值来判断其耐荫能力, 其结果为蕨类植物的表型可塑性指数变化范围为 0.74~0.96, 比叶重、叶绿素含量、最大净光合速率、光补偿点和光饱和点的耐荫临界值依次为  $36.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、 $1.9 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $5.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $24.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $460.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。陆奎眉等<sup>[12]</sup>研究了不同光强下 8 种园林植物的净光合速率及对不同光强的反应, 结果表明悬铃花 (*Malvauscus arboreus* var. *penduliflorus*)、花叶假连翘 (*Duranta repens* ‘Variegata’)、三角梅 (*Bougainvillea spectabilis*)、黄金榕 (*Ficus microcarpa* cv. Golden Leaves) 具有较强的耐荫能力。在本研究中, 5 种药用植物的光合特性存在差异, 从光响应参数判定桔梗、白术、紫丹参、知母的耐荫能力相对较强, 而板蓝根的耐荫能力相对较差。因此, 要根据栽植生境来选择宜栽的药用植物, 从而提高其经济效益。

与农作物相比, 药用植物更容易产生化感作用, 其根本原因在于其含有特定的生理活性物质, 而这些化学物质又往往是植物的次生代谢物质, 并分布在各个器官, 所以药用植物更易产生化感物质, 从

而发生化感作用<sup>[14]</sup>。王英等<sup>[15]</sup>研究表明, 伊贝母不同组织浸提液对其种子萌发及幼苗生长有抑制作用, 且随浓度升高而抑制作用增强, 同浓度组织浸提液的抑制作用大小是叶片浸提液 > 地上茎浸提液 > 鳞茎浸提液。苍术 (*Rhizoma Atractylodis*) 根茎提取液可显著抑制苍术种子发芽率及其胚根和胚芽的生长, 且其化感作用在种内不同品种间存在差异<sup>[16]</sup>。Lei 等<sup>[17]</sup>研究认为不同浓度外源人参皂苷对人参 (*Panax ginseng* C. A. Mey.) 愈伤组织生长具有明显抑制作用。本研究表明, 5 种药用植物根部浸提液对白菜发芽率、根长及茎长均产生抑制作用, 且抑制作用随浓度升高而增强, 其中知母、板蓝根、紫丹参根部浸提液抑制作用相对较弱, 这可能与不同药用植物所含有化感物质种类及浓度密切相关。

综上所述, 知母、桔梗、白术、板蓝根、紫丹参的耐荫性和化感作用存在明显差异, 其中板蓝根的耐荫性和化感作用都相对较弱, 而知母和紫丹参的耐荫性相对较强但其化感作用较弱。因此, 在对杨树林下开发时, 应根据林分不同生长时期选择相应药用植物进行复合经营, 造林初期可选板蓝根, 其喜光且生长量大; 随着林分的生长, 林分郁闭度增大, 此时可选紫丹参、知母, 从而实现高效、可持续的杨树复合经营, 这样既提高了林地的经济效益又实现了林地的可持续利用。

### 参考文献:

[1] 程鹏, 曹福亮, 汪贵斌. 农林复合经营的研究进展[J].

- 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(3): 151-156.
- [2] Jose S, Gillespie A R, Pallardy S G. Interspecific interactions in temperate agroforestry[J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 61: 237-255.
- [3] 程鹏, 陈雷, 曹福亮. 银杏复合系统小气候日变化特征[J]. *林业科技开发*, 2010, 24(3): 87-89.
- [4] 肖智勇, 郭圣茂, 赵治国. 三种菊科药用植物光合特性的初步研究[J]. *山东林业科技*, 2009, (6): 14-18.
- [5] 银福军, 瞿显友, 曾纬, 等. 黄连不同部位水浸液自毒作用研究 [J]. *中药材*, 2009, 32(3): 329-330.
- [6] 王英, 凯撒·苏来曼, 李进, 等. 伊贝母根系分泌物对其幼苗生长的自毒作用[J]. *作物杂志*, 2010(1): 25-28.
- [7] Ye Z P. A new model for relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in *Oryza sativa*[J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(4): 637-640.
- [8] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(8): 3457- 3464.
- [9] 张国斌, 郁继华. 低温弱光对辣椒幼苗光合特性与光合作用启动时间的影响[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(9): 1770-1775.
- [10] 黄俊, 郭世荣, 吴震, 等. 6 个不结球白菜品种光合作用特性的研究[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(6): 1183-1189.
- [11] 蔡建国, 任君霞, 姜朝阳, 等. 芒属 5 种观赏草的耐荫性研究[J]. *福建林学院学报*, 2012, 32(3): 246-251.
- [12] 陆鑫眉, 阎光宇, 杜晓娜, 等. 8 种园林植物耐荫性与光合特性的研究[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(7): 1249-1254.
- [13] 张建新, 方依秋, 彦芬, 等. 蕨类植物的叶绿素、光合参数与耐荫性[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, 37(4): 413-420.
- [14] 张重义, 牛苗苗, 陈婷, 等. 药用植物化感自毒作用研究对栽培技术创新的启示[J]. *中国现代中药*, 2011, 13(1): 4-8.
- [15] 王英, 凯撒·苏来曼, 李进, 等. 伊贝母植株水浸提液自毒作用研究[J]. *种子*, 2009, 28(9): 1-4.
- [16] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 苍术根茎及根际土水提取物生物活性研究及化感物质的鉴定[J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 528-535.
- [17] Lei F J, Zhang A H, Xu Y H, et al. Allelopathic effects of ginsenosides on the growth and antioxidant enzymes activity of ginseng callus in *vitro*[J]. *Allelopat J*, 2009, 26(1): 13-22.