

# 陡坡地毛竹林多花黄精种群生长和生物量分配的坡位效应

樊艳荣, 陈双林\*, 杨清平, 李迎春, 郭子武

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 以林分结构基本一致的陡坡地粗放经营毛竹纯林为对象, 调查分析了同一面坡不同坡位毛竹林(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)下多花黄精(*Polygonatum cyrtonema* Hua.)种群的生长状况和生物量积累与分配规律。结果表明: 不同坡位毛竹林下多花黄精的种群密度、叶片叶绿素值和叶、根生物量积累及叶、根、地下块茎生物量分配比例均无显著差异。不同坡位毛竹林下多花黄精生物量分配格局均为地下块茎 > 根 > 叶 ≈ 地上茎, 地下块茎生物量分配比例占 70% 以上, 而其它器官的生物量分配较为均匀。毛竹林下多花黄精种群生长和生物量积累与分配具有明显的坡位效应, 在试验毛竹林林分结构和经营水平一致的情况下, 宜选择下坡位进行毛竹多花黄精复合经营。

**关键词:** 多花黄精; 毛竹; 坡位; 立竹密度; 生物量分配

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.06.003

## Effects of Slope on Population Growth and Biomass Allocation of *Polygonatum cyrtonema* in *Phyllostachys edulis* Forest

FAN Yan-rong, CHEN Shuang-lin\*, YANG Qing-ping, LI Ying-chun, GUO Zi-wu

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China)

**Abstract:** The growth and biomass allocation of *Polygonatum cyrtonema* at different slope positions were studied under extensive managed and structure consistent *Phyllostachys edulis* forest. The results showed that population density, leaf chlorophyll values, biomass accumulation of leaves and roots, and biomass distribution pattern in leaves, roots and tubers of *P. cyrtonema* had no significant differences among different slope positions in bamboo forest. The biomass distribution patterns of *P. cyrtonema* at different slope positions were order as tuber biomass > root biomass > leaf biomass ≈ stem biomass, and tuber biomass was more than 70% of total biomass, while biomass allocated in roots, leaves, and stems were uniform. There was obvious slope effect on population growth, biomass allocation of *Polygonatum cyrtonema* in bamboo forest. Under consistent of stand structure and management in bamboo forest, lower slope was considered to compound management with *P. cyrtonema*.

**Key words:** *Polygonatum cyrtonema*; *Phyllostachys edulis*; Slope position; Bamboo density; Biomass allocation

毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 是中国著名的经济竹种, 对区域农村社会经济贡献率大。然而, 毛竹遗传育种目前难度很大, 提高单

产主要依赖于林分结构调控和土壤管理, 而通过集约经营毛竹林进一步提高竹材、竹笋产量的潜力空间已越来越小, 而且在农村劳动力、农资成本不断

收稿日期: 2011-12-26

接受日期: 2012-02-15

基金项目: 国家公益性行业(林业)科研专项(201004008); 浙江省省院合作项目(2008SY10, 2010SY01); 浙江省农业科技成果转化项目(2012T201-02)资助

作者简介: 樊艳荣(1985~), 女, 硕士研究生, 研究方向为竹林生态与培育。E-mail: yerlin922@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cslbamboo@126.com

上升的背景下,毛竹林经济效益出现下降的问题,已影响到竹农经营毛竹林的积极性,必须采取有效的技术措施或经营方式来切实提高毛竹林经营效益。鉴于毛竹林土地空间资源利用率低,植物种间具有生态位互补的特征等,可以实行竹林复合经营来提高经济效益。目前已开展了一些竹林复合经营的研究与实践,主要集中在毛竹与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)<sup>[1-5]</sup>、马尾松(*Pinus massoniana*)<sup>[6-7]</sup>、阔叶树<sup>[8-9]</sup>等的混交经营。这些研究表明实行竹混交林经营,可以充分利用营养空间,改善土壤养分状况,提高林地生产力和竹材的质量,实现竹林可持续经营。而毛竹与药用植物的复合经营研究还很少涉及。

多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura* Hua.)为百合科(Liliaceae)黄精属植物,分布区域广,是药食同源的多年生草本植物,为中国传统大宗中药材。其横生、肥厚的地下块茎,具有补气养阴、健脾、润肺、益肾等功效,已是工厂化生产药品、保健品等的原料,市场需求量日渐增长。因多花黄精良好的药用和食用价值,对多花黄精的研究主要集中于地下块茎化学成分的提取和活性鉴定<sup>[10-11]</sup>及形态指标观测等<sup>[12-14]</sup>方面。多花黄精喜温暖湿润环境,稍耐寒,常生于山地林下、灌丛或山坡的半荫处,在人工粗放经营的毛竹林中有自然分布。根据多花黄精的药用价值和市场需求及基本的适生环境条件,实行毛竹多花黄精复合经营模式有重要意义,但这方面的研究还未见报道。

植物在进化过程中形成了各种有效利用异质性环境的适应对策<sup>[15]</sup>,如植物局部特化的生物量分配格局和形态可塑性是植物种群克服环境异质性的重要途径之一<sup>[16]</sup>。植物在生长发育过程中把有限的资源分配给叶、茎、根等构件时,会通过不断优化生物量分配格局来提高对环境的适合度<sup>[17-18]</sup>。而生物量分配对环境的响应是通过构件生物量分配格局的“可塑性”来表示的<sup>[19]</sup>。在植物种群生长环境中,坡位是影响植物生长和分布的一个重要因素,能直接造成光、热、水等因子的差异和立地质量的变化<sup>[20]</sup>。本文以林分结构基本一致的人工粗放经营毛竹纯林为对象,探讨不同坡位毛竹林下多花黄精种群生长和生物量积累及其分配格局,分析适宜于多花黄精种群良好生长和栽培目标生物量(地下块茎)积累的毛竹林坡位,以期能为毛竹多花黄精复合经营模式提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区自然概况

试验地位于浙江省江山市(118°30'20"~118°30'30"E, 28°22'10"~28°22'30"N)保安乡,处于浙、闽、赣三省交界处。气候温暖湿润,四季分明,雨水充沛,年降水量 1650~2200 mm,相对湿度 85%~95%,年均气温 17.1℃,年均日照时数 2063.3 h,年均无霜期 253 d,土壤主要为红壤。试验地毛竹林资源丰富,面积超过 800 hm<sup>2</sup>,是江山市毛竹主要产出乡镇,但竹林经营粗放,毛竹林多为纯林,以材用林经营为主,实行季节性伐竹和留笋养竹,没有化学除草剂使用历史,未采取过林地垦复和施肥等措施。

### 1.2 试验设置

因为试验地毛竹林大多在陡坡地,所以选择同一面坡的陡坡地毛竹林为试验林,海拔 500~600 m,坡度 30°~34°、坡长 110 m,坡向为半阴坡。试验毛竹林立竹密度 1500~2500 ind. hm<sup>-2</sup>,立竹胸径 7~8 cm,林分结构基本一致。根据坡长 3 等分为上坡位、中坡位和下坡位,分别设置 3 个 20 m × 20 m 的样地。样地的林分结构见表 1。

表 1 试验毛竹林林分结构

Table 1 Stand structure of *Phyllostachys edulis* forest

立竹 Bamboo	下坡位 Lower slope	中坡位 Middle slope	上坡位 Upper slope
密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	1875	2500	1500
胸径 DBH (cm)	7.87	7.57	7.00
枝下高 Height under branch (m)	3.32	3.34	3.04

### 1.3 方法

2011 年 8 月在有多花黄精自然分布、人工干扰少的试验毛竹林,不同坡位样地的上部、中部、下部沿等高线各设置 3 个 2 m × 2 m 的样方,即每个样地设 9 个样方。对每个样方测量多花黄精的地径和株高,同时进行每竹检测,记录立竹胸径和枝下高等,统计立竹密度。

SPAD 值表示植物叶绿素相对含量,也称绿色度<sup>[21]</sup>,已在农林业科学研究中得到广泛应用<sup>[22-23]</sup>。本试验以叶片 SPAD 值作为多花黄精种群生长的指标之一,测定方法为:在每个样方中随机选取 3

株多花黄精,分别在冠层上、中、下部各选取1片生长正常的叶片,用SPAD-502叶绿素测定仪测定SPAD值,重复3次。

从不同坡位的试验毛竹林中随机选取20株多花黄精样株,整株挖起,分离叶、地上茎、根、地下块茎,分别称鲜重,再分别装入纸袋,于80℃下烘干至恒重,称干重,分析各构件生物量的分配比例。

### 1.4 数据处理和分析

试验数据在Excel 2003统计软件中进行整理和作图表,在SPSS 17.0统计软件中进行不同坡位的多花黄精生长和生物量指标差异性分析和因子分析。因子分析前对原始数据按公式  $X'=(X-\bar{X})/S$  进行标准化,式中  $X'$  为标准化后的数据,  $X$  为原始数据,  $\bar{X}$  为原始数据的平均值,  $S$  为原始数据的标准差。试验数据均以平均值 ± 标准误差表示。

## 2 结果和分析

### 2.1 坡位对多花黄精种群生长的影响

从表2可知,坡位对毛竹林多花黄精的种群密度、叶片叶绿素值无显著影响,而对株高、地径有一定影响。多花黄精株高以下坡位>上坡位>中坡位,下坡位、上坡位无显著差异,但显著地高于中坡位。地径以上坡位>下坡位>中坡位,上坡位显著地高于下坡位和中坡位,且后两者无显著差异。

### 2.2 坡位对多花黄精生物量的影响

从图1可知,坡位对毛竹林多花黄精的叶、根生物量均无显著影响,而对茎、块茎生物量和总生物量积累有一定的影响。茎生物量以下坡位>中

表2 不同坡位毛竹林多花黄精生长状况

Table 2 Growth of *Polygonatum cyrtonema* in *Phyllostachys edulis* forest at different slope positions

坡位 Slope	株高(cm) Height	地径(mm) Diameter	SPAD	密度 Density (bulb m <sup>-2</sup> )
下 Lower	55.20±7.12a	3.46±0.49b	35.30±2.39a	2.15±0.58a
中 Middle	39.60±3.36b	2.97±0.18bc	32.70±1.73a	1.90±0.49a
上 Upper	48.00±2.74a	4.12±0.43a	33.66±2.51a	2.00±0.66a

同列数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level.

坡位>上坡位,块茎、总生物量均为下坡位>上坡位>中坡位。下坡位的茎生物量显著高于中坡位和上坡位的,且后两者无显著差异。块茎生物量、总生物量均是下坡位显著高于中坡位,两者与上坡位的差异都不显著。

从表3可知,不同坡位毛竹林下多花黄精的块茎、根、叶生物量分配比例均无显著差异。下坡位的茎生物量分配比例显著高于上坡位,但与中坡位无显著差异。试验毛竹林不同坡位的多花黄精生物量分配格局均为块茎>根>叶≈茎,块茎生物量所占比例显著大于其它器官,达70%~79%,而下坡位、中坡位的根、叶、茎,上坡位根、叶的生物量分配比例均无显著差异,说明多花黄精除块茎外的其它器官生物量分配较为均匀。

### 2.3 多花黄精种群生长及生物量综合指标分析

对多花黄精种群生长和生物量指标进行因子分析,对于公因子的提取运用主成分分析,得到主成分的特征值和贡献率(表4),其中,前2个主成分

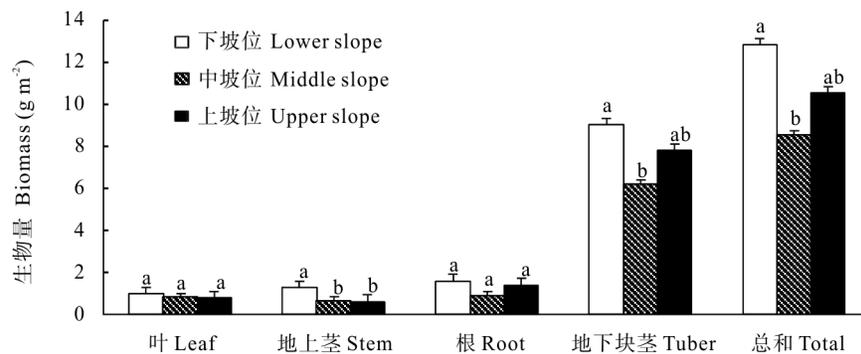


图1 不同坡位毛竹林下多花黄精生物量积累。同一器官上不同字母表示差异显著(P<0.05)。

Fig. 1 Biomass accumulation of *Polygonatum cyrtonema* in *Phyllostachys edulis* forest at different slope positions. Different letters above column of the same organ indicate significant difference at 0.05 level.

表3 不同坡位毛竹林多花黄精生物量分配

Table 3 Biomass allocation of *Polygonatum cyrtonea* in *Phyllostachys edulis* forest at different slope positions

坡位 Slope	叶 Leaf (%)	茎 Stem (%)	根 Root (%)	块茎 Tuber (%)
下 Lower	7.61±2.35a b	9.80±5.44a b	11.98±3.89a b	70.61±8.79a a
中 Middle	9.70±2.23a b	7.55±1.97ab b	10.36±6.07a b	72.39±6.18a a
上 Upper	7.27±0.76a bc	5.64±2.02bc c	12.86±4.52a b	74.23±5.37a a

数据后两列不同字母分别表示在同列和同行内差异显著( $P < 0.05$ )。

Data followed different letters indicate significant difference at the 0.05 level, the first row for column, and the second for line.

表4 各公因子特征值和方差贡献率

Table 4 Principal components eigenvalue and variance contribution

公因子 Common factors	特征值 Characteristic value	方差贡献率 (%) Variance contribution	累计贡献率 (%) Accumulation contribution
1	5.466	81.417	81.417
2	2.108	18.583	100

包含了多花黄精生长和生物量的全部信息,因此提取前2个主成分作为描述多花黄精生长和生物量的综合指标。

根据特征值可求出各主成分的特征向量,进而得出主成分方程,前两个公因子方程分别为:

$$Y_1 = 0.990X_1 + 0.940X_2 - 0.055X_3 + 1.000X_4 + 0.778X_5 + 0.877X_6 + 0.942X_7 + 0.987X_8 + 0.999X_9;$$

$$Y_2 = 0.139X_1 + 0.340X_2 + 0.999X_3 - 0.020X_4 - 0.628X_5 + 0.480X_6 + 0.335X_7 + 0.160X_8 + 0.053X_9$$

式中  $Y$  代表公因子,  $X_1 \sim X_9$  依次代表多花黄精株高、地径、叶绿素值、种群密度、叶生物量、茎生物量、根生物量、块茎生物量和总生物量。

第一公因子代表了81%以上的信息,在全部变量中处于最重要的地位。其中,株高、地径、种群密度、叶生物量、地上茎生物量、根生物量、地下块茎生物量、总生物量等指标的特征向量系数较大,因此可以将第一公因子看作是表征多花黄精生长及生物量的综合指标。

第二公因子代表了全部构件因子近19%的信息。其中,叶绿素值的特征向量系数较大,因此可

以将第二公因子看作是表征多花黄精叶片叶绿素值的指标。

根据模型  $\sum_{j=1}^j \lambda_j \mu_j$  ( $\lambda$  为主成分贡献率;  $\mu$  为得分值;  $j=1, 2$ ) 的R型因子综合评定法,可计算出不同坡位毛竹林多花黄精生长和生物量特征的综合得分(表5)。从表中可以看出,下坡位的多花黄精生长和生物量指标综合得分最高,依次为上坡位和中坡位。说明在目前的试验毛竹林林分结构和经营水平下,坡位对陡坡地毛竹林下多花黄精的种群生长和生物量积累有明显影响,适宜的坡位为下坡位。

### 3 结论和讨论

在植物生长环境中,坡位是影响植物生长和分布的一个重要因素。坡位不仅影响表土的剥蚀与堆积,而且影响土体水分、营养的再分配,由于地表径流及重力的作用,将坡上部的土壤养分冲刷到坡下部,使下坡的土壤有机质含量高出上坡,土层逐渐增厚,从而影响植物的生长<sup>[20,24]</sup>。综合多花黄精

表5 毛竹林下多花黄精生长和生物量指标主成分综合得分

Table 5 Principal component comprehensive scores of *Polygonatum cyrtonea* growth and biomass in *Phyllostachys edulis* forest

	下坡位 Lower slope	中坡位 Middle slope	上坡位 Upper slope
第一主成分 First principal component	1.3622	-0.1402	0.7931
第二主成分 Second principal component	0.5413	0.2177	-0.1902
综合得分 Comprehensive scores	1.2185	-0.0776	0.6211

的株高、地径、叶片 SPAD 值、种群密度分析表明,多花黄精在下坡位生长好,在中坡位较差,且多花黄精块茎和总生物量积累也均以下坡位最大,这与不同坡位的异质性土壤密切相关,说明毛竹林坡位对多花黄精种群生长有影响。中坡位毛竹林多花黄精生长较上坡位差,可能与中坡位试验毛竹林立竹密度相对较大,一定程度上影响了林内光照等有关,有研究表明多花黄精在裸地(不遮光)和用透光率分别为 25%、40%、55% 的遮阳网覆盖栽培,以 40% 透光率遮阳处理的增产效果最好,光照强度过大和过小均不利于多花黄精生长<sup>[25]</sup>,说明毛竹林立竹密度是影响多花黄精生长的重要因素。

植物生物量的分配状况在很大程度上反映了植物对光能、水分和养分的利用效率。地上部分生物量的合理配置是植物对生长环境长期适应的结果,能增加植物对光能的利用效率,促进有机物的积累,而地下部分生物量的分配状况则体现了植物对土壤水分和无机养分的吸收能力<sup>[26]</sup>。坡位对毛竹林下多花黄精叶、根、块茎生物量分配比例无影响,对茎生物量分配虽有一定的影响,但影响并不大。而且不同坡位毛竹林下多花黄精构件生物量分配格局均为块茎 > 根 > 叶 ≈ 茎,块茎生物量比例显著大于其它器官,达 70%~79%。多花黄精把大量的生物量分配给地下系统(块茎和根),有利于充分利用土壤养分空间,增加对土壤养分、水分的吸收效率,并有效保存,有利于种群的维持和扩大,这对于多花黄精种群生长和生存有着积极的生态学意义。

根据主成分 R 型因子综合评定法,不同坡位毛竹林下多花黄精生长和生物量特征综合得分为下坡位 > 上坡位 > 中坡位,药食利用的器官(块茎)生物量积累也以下坡位最大,因此为促进多花黄精良好生长和高效产出,在毛竹林中进行多花黄精复合经营时应适当选择坡位,在目前的试验毛竹林林分结构和经营水平下,宜选择下坡位。当然,关于多花黄精种群生长与毛竹林立竹密度的效应关系还需进一步研究。

### 参考文献

- [1] Zheng Y S, Wang S F. Study on bamboo underground structure of mixed forest of Chinese fir and bamboo [J]. *Sci Silv Sin*, 2000, 36(6): 69-72.  
郝郁善, 王舒凤. 杉木毛竹混交林的毛竹地下鞭根结构特征研究 [J]. *林业科学*, 2000, 36(6): 69-72.
- [2] Zheng Y S, Chen L G, Hong W. Study on productivity and soil properties of mixed forests of Chinese fir and *Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens* [J]. *Sci Silv Sin*, 1998, 34(S1): 16-25.  
郑郁善, 陈礼光, 洪伟. 毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究 [J]. *林业科学*, 1998, 34(S1): 16-25.
- [3] He D J, Hong W, Wu C Z, et al. Fractal features of soil aggregate structure under mixed plantations of *Phyllostachys edulis* and *Cunninghamia lanceolata* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2002, 10(3): 215-221.  
何东进, 洪伟, 吴承祯, 等. 毛竹杉木混交林土壤团粒结构的分形特征研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(3): 215-221.
- [4] Wu B L, Chen S L, Yu M Z, et al. Comparison study on Timber quality of pure bamboo forest and mixed forest [J]. *J Zhejiang For Sci Techn*, 2007, 27(4): 47-50.  
吴柏林, 陈双林, 虞敏之, 等. 毛竹纯林与竹杉混交林竹材形态质量的比较研究 [J]. *浙江林业科技*, 2007, 27(4): 47-50.
- [5] You X H. A study on the effect of soil aggregate on organic matter in mixed forests of Chinese fir and *Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens* [J]. *Acta Agri Univ Jiangxi (Nat Sci)*, 2004, 26(4): 536-539.  
游秀花. 杉木毛竹混交林土壤团聚体对有机质含量的影响分析 [J]. *江西农业大学学报: 自然科学版*, 2004, 26(4): 536-539.
- [6] Ye Y E. Phytocoenological features of the *Phyllostachys pubescens*-*Pinus massoniana*-*Cunninghamia lanceolata* community [J]. *Acta Agri Univ Jiangxi (Nat Sci)*, 2003, 25(4): 594-598.  
叶永恩. 毛竹-马尾松-杉木混交林群落学特征研究 [J]. *江西农业大学学报: 自然科学版*, 2003, 25(4): 594-598.
- [7] Wang S J. The benefit analysis of artificial *Phyllostachys pubescens* and *Pinus massoniana* mixed forest [J]. *China For Sci Techn*, 2003, 17(S1): 25-26.  
王守吉. 人工促进马尾松毛竹混交林混交效益分析 [J]. *林业科技开发*, 2003, 17(S1): 25-26.
- [8] Cao Y H, Xiao J H, Chen S L, et al. The effect of soil nutrient around broad-leaved trees on *Phyllostachys edulis* growth in the mixed forest [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2007, 31(6): 43-47.  
曹永慧, 萧江华, 陈双林, 等. 竹阔混交林阔叶树下土壤养分对毛竹生长的影响 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2007, 31(6): 43-47.
- [9] Lin Z Q. Studies on bamboo productivity and advantage of mixed forest of bamboo with broad-leaved tree [J]. *J Bamboo Res*, 2000, 19(4): 42-45.  
林振清. 竹阔混交林毛竹生产力与经营效益的研究 [J]. *竹子研究汇刊*, 2000, 19(4): 42-45.
- [10] Bi Y W, Yang Y H, Gong J H, et al. Polysaccharide and diosgenin determination of *Polygonatum sibiricum* and *Polygonatum cyrtoneura* [J]. *J Changchun Univ Trad Chin Med*, 2010, 26(5): 649-650.

- 毕研文, 杨永恒, 宫俊华, 等. 黄精和多花黄精中多糖及薯蓣皂苷元的含量测定 [J]. 长春中医药大学学报, 2010, 26(5): 649–650.
- [11] Yu H, Zhang X P, Deng M Q, et al. Study on constituents and biological activity of volatile oil from tubers of *Polygonatum cyrtonema* Hua. [J]. Chin J Exp Trad Med Formul, 2008, 14(5): 4–6.  
余红, 张小平, 邓明强, 等. 多花黄精挥发油GC-MS分析及其生物活性研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2008, 14(5): 4–6.
- [12] Xu H M, Zhao D L. Effect of plant growth regulators on several characteristics during *in vitro* bud regeneration of *Polygonatum cyrtonema* [J]. Chin Trad Herb Drugs, 2003, 34(9): 855–858.  
徐红梅, 赵东利. 植物生长调节剂对多花黄精芽体外发生过程中性状的影响 [J]. 中草药, 2003, 34(9): 855–858.
- [13] Li J H, Zhou S B, Wang Y, et al. Leaf comparative anatomy of *Polygonatum cyrtonema* from five populations [J]. Guihaia, 2007, 27(6): 826–831.  
李金花, 周守标, 王影, 等. 多花黄精五个居群叶片的比较解剖学研究 [J]. 广西植物, 2007, 27(6): 826–831.
- [14] Zhou S B, Li J H, Luo Q, et al. Leaf epidermis development of *Polygonatum cyrtonema* [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin, 2006, 26(3): 551–557.  
周守标, 李金花, 罗琦, 等. 多花黄精叶表皮的发育 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 551–557.
- [15] Hutchings M J, de Kroon H. Foraging in plants: The role of morphological plasticity in resource acquisition [J]. Adv Ecol Res, 1994, 25(1): 159–238.
- [16] Bazzaz F A, Grace J. Plant Resource Allocation [M]. New York: Academic Press, 1997: 65–72.
- [17] Fabbro T, Korner C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation [J]. Flora, 2004, 199(1): 70–81.
- [18] Liu Z J, Du G Z, Chen J K. Size-dependent reproductive allocation of *Ligularia virgaurea* in different habitats [J]. Acta Phytocool Sin, 2002, 26(1): 44–50.  
刘左军, 杜国桢, 陈家宽. 不同生境下黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)个体大小依赖的繁殖分配 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(1): 44–50.
- [19] Li H L, Zhi Y B, Zhao L, et al. Eco-physiological responses of the declining population *Spartina anglica* to N and P fertilizer addition [J]. Acta Ecol Sin, 2007, 27(7): 2725–2732.
- 李红丽, 智颖颀, 赵磊, 等. 大米草(*Spartina anglica*)自然衰退种群对N、P添加的生态响应 [J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2725–2732.
- [20] Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, et al. Effects of slope position on species abundance distribution of *Quercus wutaishanica* community in Dongling Mountain of Beijing [J]. Chin J Ecol, 2011, 30(10): 2137–2144.  
冯云, 马克明, 张育新, 等. 坡位对北京东灵山辽东栎林物种多度分布的影响 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2137–2144.
- [21] Qu W Q, Wang S H, Chen B L, et al. SPAD value of cotton leaves on main stem and nitrogen diagnosis for cotton growth [J]. Acta Agro Sin, 2007, 33(6): 1010–1017.  
屈卫群, 王绍华, 陈兵林, 等. 棉花主茎叶SPAD值与氮素营养诊断研究 [J]. 作物学报, 2007, 33(6): 1010–1017.
- [22] Chen F, Lu J W. Preliminary application tryout of chlorophyll meter SPAD-502 in crop nutrition rapid diagnosis [J]. Hubei Agri Sci, 1996(2): 31–34.  
陈防, 鲁剑巍. SPAD-502叶绿素计在作物营养快速诊断上的应用初探 [J]. 湖北农业科学, 1996(2): 31–34.
- [23] Jiang L F, Shi F C, Wang H T, et al. Application tryout of chlorophyll meter SPAD-502 in forestry [J]. Chin J Ecol, 2005, 24(12): 1543–1548.  
姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计SPAD-502在林业上应用 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1543–1548.
- [24] Gregorich E G, Anderson D W. Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in the *Canadian prairies* [J]. Geoderma, 1985, 36(3/4): 343–354.
- [25] Bi Y W, Yang Y H, Gong J H, et al. The influence of light intensity to Taishan sealwort's growth characteristic and yield [J]. Chin Agri Sci Bull, 2008, 24(9): 315–319.  
毕研文, 杨永恒, 宫俊华, 等. 光照强度对泰山黄精生长特性及产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 315–319.
- [26] Fan H B, Li Y Y, Su B Q, et al. Allocation pattern of biomass and productivity in the mixed uneven-aged stands of masson's pine and hardwood species [J]. Acta Ecol Sin, 2006, 26(8): 2463–2473.  
樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 等. 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局 [J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2463–2473.