

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201403020

沈涛,张霁,赵艳丽,等. 农林复合系统中滇龙胆形态和生物量变化研究[J]. 广西植物, 2015, 35(4): 526—531

Shen T, Zhang J, Zhao YL, et al. Variation for morphology and biomass of *Gentiana rigescens* in agroforestry system[J]. *Guihaia*, 2015, 35(4): 526—531

# 农林复合系统中滇龙胆形态和生物量变化研究

沈涛<sup>1</sup>, 张霁<sup>2</sup>, 赵艳丽<sup>2</sup>, 金航<sup>2</sup>, 王元忠<sup>2\*</sup>

(1. 玉溪师范学院 资源环境学院, 云南 玉溪 653100; 2. 云南省农业科学院 药用植物研究所, 昆明 650200)

**摘要:** 以幼龄茶树 (*Camellia sinensis* var. *sinensis*)、十年茶树、木瓜 (*Chaenomeles sinensis*)、尼泊尔栎木 (*Alnus nepalensis*)、大叶桉 (*Eucalyptus robusta*) 间作模式和荒坡栽培滇龙胆为研究对象, 测定其株高、茎粗、叶长、根粗、生物量等性状, 采用单因素方差分析、多重比较、相关性分析和多元逐步回归分析对其形态和生物量数据进行分析。结果表明: 荒坡栽培、滇龙胆与十年茶树间作其株高最高, 为 (37.32±8.36) cm 和 (37.31±9.62) cm, 与大叶桉间作其株高最低, 为 (19.08±12.40) cm; 荒坡栽培植株茎粗数值最高, 为 (0.36±0.13) cm, 大叶桉间作茎粗数值最低, 为 (0.23±0.04) cm; 与茶树间作植株根系最长, 为 (18.42±7.23) cm 和 (17.71±7.34) cm, 与尼泊尔栎木间作植株须根数最少, 为 (7.32±2.23) cm; 根粗受栽培模式影响不显著 ( $P>0.05$ ); 荒坡栽培全株生物量最高, 为 (14.52±13.37) g, 大叶桉间作全株生物量最低, 为 (2.17±1.42) g。相关性分析显示, 株高、茎粗和须根数与全株生物量呈极显著的正相关 ( $R=0.514, P<0.01; R=0.510, P<0.01; R=0.339, P<0.01$ )。根茎比与全株生物量呈极显著的负相关 ( $R=-0.295, P<0.01$ )。多元逐步回归分析显示, 各性状对全株生物量的积累贡献程度不同, 株高、茎粗、须根数和根粗是影响滇龙胆生物量积累的主要性状。荒坡栽培光照条件较好, 有利于植株生物量的积累; 与桉树间作, 滇龙胆可能受生物与非生物胁迫的共同影响, 使其植株矮小, 生物量偏低。6种栽培模式中荒坡、滇龙胆与茶树、木瓜间作栽培为高产模式。研究结果可为农林药用复合种植中物种搭配、时间和空间种植技术优化升级以及管理提供理论依据。

**关键词:** 农林系统; 滇龙胆; 形态; 生物量; 变化**中图分类号:** Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)04-0526-06

## Variation for morphology and biomass of *Gentiana rigescens* in agroforestry system

SHEN Tao<sup>1</sup>, ZHANG Ji<sup>2</sup>, ZHAO Yan-Li<sup>2</sup>, JIN Hang<sup>2</sup>, WANG Yuan-Zhong<sup>2\*</sup>

(1. College of Resources and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi 653100, China; 2. Institute of Medicinal Plants, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200, China)

**Abstract:** Environment and species composition affect crops yield of agroforestry system. The aim of the present study was to investigate the influence of different cultivation systems on morphological traits and biomass of the traditional medicinal plant *Gentiana rigescens*, and to provide a theoretical basis for management of multiple cropping of medicinal plants. All the samples were collected from six cultivation systems, *G. rigescens*—*Camellia sinensis* var. *sinensis* (young tea trees), *Gentiana rigescens*—*Camellia sinensis* var. *sinensis* (ten years old tea trees), *Gentiana rigescens*—*Chaenomeles sinensis*, *Gentiana rigescens*—*Alnus nepalensis*, *Gentiana rigescens*—*Eucalyptus robusta* systems and monoculture (*Gentiana rigescens* grown on the slope of the valley). Stem height, stem diameter, leaf length, root diam-

收稿日期: 2014-10-18 修回日期: 2015-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(81260608); 云南省自然科学基金(2013FD050, 2013FZ150, 2013FD066)。

作者简介: 沈涛(1984-), 男, 云南昆明人, 硕士, 主要从事药用植物资源评价研究, (E-mail) science\_st@126.com。

\*通讯作者: 王元忠, 助理研究员, 硕士, 主要从事药用资源评价研究, (E-mail) boletus@126.com。

eter and biomass etc. were measured and recorded at the individual level. The statistically significant differences of the traits of *G. rigescens* collected from six cultivation systems were analyzed by one-way ANOVA and student-newman-keuls test. Correlation analysis and multiple linear stepwise regression analysis were used to study relationships between morphological traits and biomass. The results showed that the stem height were the highest in monoculture and *G. rigescens*—*Camellia sinensis* var. *sinensis* (young tea trees) systems, ( $37.32 \pm 8.36$ ) cm and ( $37.31 \pm 9.62$ ) cm, respectively. The lowest stem height was ( $19.08 \pm 12.40$ ) cm which was found in *Gentiana rigescens*—*Eucalyptus robusta* system. The stem diameter ranged from ( $0.36 \pm 0.13$ ) cm in monoculture to ( $0.23 \pm 0.04$ ) cm in *Gentiana rigescens*—*Eucalyptus robusta* system. The highest values of root length were found in the samples intercropped with young tea trees and ten years old tea trees, respectively, whereas the lowest value was found in the samples intercropped with *Alnus nepalensis*. There was no significant difference of root diameter values among six cultivation systems ( $P < 0.05$ ). However, the highest biomass was found in monoculture system while the lowest in *Gentiana rigescens*—*Eucalyptus robusta* system. Correlation analysis displayed that stem height, stem diameter and fibrous root number had very significant positive correlations with the biomass, respectively ( $R = 0.514, P < 0.01$ ;  $R = 0.510, P < 0.01$ ;  $R = 0.339, P < 0.01$ ). But root length/stem length had very significant negative correlation with biomass ( $R = -0.295, P < 0.01$ ). Multiple linear stepwise regression analysis showed that different morphological traits had different contribution for biomass accumulation. Stem high, stem diameter, fibrous root number and root diameter were key traits for the accumulation of biomass under six cultivation systems. Monoculture system could improve better light condition for the growth and biomass accumulation of *Gentiana rigescens* than other cultivation systems. However, plant intercropped with *Eucalyptus robusta* had the lowest values of biomass and stem height. It may be affected by biotic and abiotic stresses. Monoculture, *Gentiana rigescens*—*Camellia sinensis* var. *sinensis* and *Gentiana rigescens*—*Chaenomeles sinensis* systems were the high yield cultivation systems for *Gentiana rigescens*. All the results of the study provided useful information for species mix in agroforestry system and development of cultivation techniques.

**Key words:** agroforestry system; *Gentiana rigescens*; morphology; biomass; variation

农林复合系统将木本植物与农作物、药用植物和经济作物用于同一土地经营单位,提高资源利用率,协调农林用地矛盾,具有重要的经济和生态意义(平晓燕等,2013)。不同农林系统,林下生境(光照、温度、水分等因素)具差异,对间作植物的生长、发育有影响(黄爱军等,2013;郑路等,2013;Charbonnier et al.,2013)。优化物种搭配,提高系统整体生产力是农林系统研究的热点(毛榕等,2009)。目前,林药复合模式的研究主要集中在植物光合生理特性、蒸腾特性、有效成分含量变化等方面(高峻等,2006;杨志玲等,2011;周涛等,2012;彭晓邦等,2013)。而不同栽培模式小生境下,药用植物形态和生物量的变化研究鲜有报道(王继永等,2003)。权秋海等(2012)对生长于白栎(*Quercus fabri*)、柏木(*Cupressus funebris*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等林下的野生柔毛淫羊藿(*Epimedium pubescens*)根、茎、叶形态特征和化学成分含量展开研究,发现柔毛淫羊藿不同部位生物量受光照条件影响,光照强度较强的生境更有利于植物生物量及总黄酮、淫羊藿苷含量的积累。魏胜利等(2005)对不同遮阴条件下甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)生长和生物量指标研

究显示,增加叶片面积和叶绿素含量是甘草对耐阴适应性的反应。

滇龙胆(*Gentiana rigescens*)为我国龙胆科传统保肝、护肝药用植物,全株均有药用价值(国家药典委员会,2010;Wang et al.,2012)。野生滇龙胆为多年生草本植物,主要分布于云贵高原海拔1 100~3 000 m的荒坡、灌丛及林下(何廷农等,1988)。由于对野生资源的保护,栽培滇龙胆已成为市场上药材的主要来源(张金渝等,2012)。滇龙胆形态学研究主要为野生种群(杨雁等,2012)。栽培模式及生境对滇龙胆中化学成分的影响已有研究(沈涛等,2011),但对其形态特征和生物量的影响尚未见报道。本研究选取临沧6种林药复合栽培模式,探究不同林药复合栽培模式下滇龙胆株高、茎粗、叶形等性状的变化和植株生物量的差异。以期对滇龙胆林药间作适应性及栽培管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

样品采集地为云南省临沧市云县滇龙胆栽培示

表 1 不同栽培模式下滇龙胆生境条件

Table 1 Habitat conditions of cultivated *Gentiana rigescens* in different cultivation systems

栽培模式 Cultivation mode	海拔 Altitude (m)	位置 Location	相对光照强度 Relative light intensity (%)	栽培密度 Density (株/m <sup>2</sup> )	土壤腐殖质厚度 Thickness of soil humus (cm)
幼龄茶树滇龙胆间作 I <i>G. rigescens</i> - young tea trees	2 066	临沧云县茶房乡 Lincang, Yunxian, Chafang	70.31	34	1.17
十年茶树滇龙胆间作 II <i>G. rigescens</i> - ten years old tea trees	2 066	临沧云县大寨乡 Lincang, Yunxian, Dazhai	71.27	33	1.11
木瓜滇龙胆间作 III <i>G. rigescens</i> - <i>Chaenomeles sinensis</i>	2 060	临沧云县茶房乡 Lincang, Yunxian, Chafang	73.53	30	1.23
尼泊尔栎木龙胆间作 IV <i>G. rigescens</i> - <i>Alnus nepalensis</i>	2 016	临沧云县大寨乡 Lincang, Yunxian, Dazhai	58.91	34	1.12
大叶桉龙胆间作 V <i>G. rigescens</i> - <i>Eucalyptus robusta</i>	2 014	临沧云县茶房乡 Lincang, Yunxian, Chafang	30.12	30	1.07
荒坡栽培 VI Grown on the slope of the valley	1 950	临沧云县幸福彝族拉祜族傣族乡 Lincang, Yunxian, Xingfu	100.00	35	0.91

范区。于 2012 年 11 月传统采收期进行采集。实验区属亚热带低纬山地季风气候,年均降雨量为 912.6 mm,年均气温为 20.1 °C,年日照时数 2 222 h,日照百分率为 51.0%,土壤类型为赤红壤,土壤 pH 值 5.5。试验区不使用化学除草剂和施肥等措施。(气象及土壤数据来自:中国宏观数据挖掘分析系统 <http://number.cnki.net/cyfd/index.aspx>)。

选取海拔相近具代表性的 6 种滇龙胆栽培模式:(I)幼龄茶树(*Camellia sinensis* var. *sinensis*)滇龙胆间作,茶树株高均小于 1.0 m;(II)十年茶树滇龙胆间作,茶树株高均小于 1.5 m;(III)木瓜(*Chaenomeles sinensis*)滇龙胆间作,木瓜株高均小于 2.0 m;(IV)尼泊尔栎木(*Alnus nepalensis*)龙胆间作,株高均大于 3.0 m;(V)大叶桉(*Eucalyptus robusta*)龙胆间作,株高均大于 3.0 m;(VI)荒坡栽培,周围无高大乔木或灌木。(I)至(V)为林药复合栽培模式,(VI)为滇龙胆单作模式。每种栽培模式设置 3 个 2 m×2 m 的样方,每一样方内随机选取 10 株滇龙胆记录植物性状,每种栽培模式采样 30 株。不同栽培模式下,滇龙胆生境条件见表 1。

### 1.2 性状的选取与观测

地上性状:株高(Stem height, SH)、茎粗(Stem diameter, SD)、叶长(Leaf length, LL)、叶宽(Leaf width, LW)、叶形指数(Leaf shape index, LS)、单株开花数(Flower number, FN)。

地下性状:根长(Root length, RL)、根粗(Root diameter, RD)、根茎比(Root length/Steam length, RL/SL)、须根数(Fibrous root number, FRN)。与长度有关的性状用直尺测量(精度 0.01 cm),与直径有关的性状用游标卡尺测量(精度 0.01 cm)。植株带回实验室 80 °C 条件下整株烘干至恒重,称重

(精度为 0.01 g)记录生物量。

### 1.3 统计分析

单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较(Student-Newman-Keuls test)分析不同栽培模式下滇龙胆植物性状的差异性。Pearson 相关性分析(Pearson correlation analysis)和多元逐步回归分析(Multiple linear stepwise regression)研究不同栽培模式,植物性状与生物量的相互关系,多元统计分析均用 SPSS 18.0 软件包进行运算。

## 2 结果与分析

### 2.1 栽培模式对滇龙胆茎、叶形态的影响

不同栽培模式滇龙胆地上性状单因素方差分析和多重比较结果见表 2。滇龙胆株高在十年茶树龙胆间作和荒坡栽培模式下最高,分别为(37.32±8.36) cm 和(37.31±9.62) cm,大叶桉龙胆间作模式下最低,为(19.08±12.40) cm,与前两种栽培模式下差异显著( $P < 0.05$ )。大叶桉龙胆间作下,滇龙胆茎粗显著低于其它栽培模式( $P < 0.05$ ),荒坡栽培植株茎秆最粗壮与其它栽培模式差异显著( $P < 0.05$ )。叶形指数在不同栽培模式间差异不显著( $P > 0.05$ ),均为长椭圆形叶。荒坡栽培叶片最短,为(2.85±0.77) cm,大叶桉龙胆间作叶长和叶宽均较高,分别为(4.95±1.23) cm 和(1.22±0.36) cm,叶片较大,与各栽培模式差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 栽培模式对滇龙胆根部形态的影响

根部性状在各栽培模式之间的变化程度不同。分析结果见表 3,滇龙胆与茶树间作,植株根系最长,分别为(18.42±7.23) cm 和(17.71±7.34) cm,与其它栽培模式差异显著( $P < 0.05$ )。尼泊尔栎木

表 2 栽培模式对滇龙胆茎、叶性状的影响

Table 2 Effects of cultivation modes on traits of *Gentiana rigescens* stems and leaves (mean±SD)

性状 Trait	幼龄茶树间作 <i>G. rigescens</i> — young tea trees I	十年茶树间作 <i>G. rigescens</i> —ten years old tea trees II	木瓜间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Chaenomeles sinensis</i> III	尼泊尔栲木间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Alnus nepalensis</i> IV	大叶桉间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Eucalyptus robusta</i> V	荒坡栽培 Grown on the slope of the valley VI
株高 SH (cm)	30.02±11.85ab	37.32±8.36a	33.96±13.17ab	24.80±9.79bc	19.08±12.40c	37.31±9.62a
茎粗 SD (cm)	0.31±0.07ab	0.28±0.09bc	0.24±0.06c	0.24±0.05bc	0.23±0.04c	0.36±0.13a
叶长 LL (cm)	3.73±1.33bc	3.90±0.91b	3.32±0.90bc	3.63±1.01bc	4.95±1.23a	2.85±0.77c
叶宽 LW (cm)	0.83±0.28c	0.89±0.23c	0.78±0.17c	0.88±0.21c	1.22±0.36b	0.86±0.27c
叶形指数 LS	4.62±1.58c	4.58±1.25c	4.44±1.47c	4.15±0.95c	4.29±1.33c	3.54±1.21c

注：同一行小写字母表示不同差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lower case in same row mean significant differences ( $P<0.05$ ). The same below.

表 3 栽培模式对滇龙胆根部性状的影响

Table 3 Effects of cultivation mode on root traits of *Gentiana rigescens* (mean±SD)

性状 Trait	幼龄茶树间作 <i>G. rigescens</i> — young tea trees I	十年茶树间作 <i>G. rigescens</i> — ten years old tea trees II	木瓜间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Chaenomeles sinensis</i> III	尼泊尔栲木间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Alnus nepalensis</i> IV	大叶桉间作 <i>G. rigescens</i> — <i>Eucalyptus robusta</i> V	荒坡栽培 Grown on the slope of the valley VI
根长 RL (cm)	18.42±7.23b	17.71±7.34b	14.19±3.64cb	15.74±4.97cb	12.18±2.83c	15.59±4.84cb
须根数 FRN (cm)	13.76±5.77b	14.10±13.75b	10.47±5.14bc	7.32±2.23ac	13.03±4.89b	12.91±8.03b
根粗 RD (cm)	0.13±0.030c	0.14±0.03c	0.14±0.03c	0.13±0.03c	0.13±0.04c	0.31±0.67c
根茎比 RL/SL	0.76±0.56c	0.52±0.32c	0.45±0.13c	1.22±0.74b	0.61±0.39c	0.51±0.48c

林下生长的滇龙胆须根数明显少于其它栽培模式( $P<0.05$ )。根粗在所有根部性状中受栽培模式的影响最小,各栽培模式之间数值差异不显著( $P>0.05$ )。滇龙胆与大叶桉间作,根茎比数值显著高于其它栽培模式( $P<0.05$ )。

### 2.3 栽培模式对滇龙胆生物量的影响

从图 1 可以看出,生物量受栽培模式的影响显著( $P<0.05$ )。荒坡栽培滇龙胆全株生物量最高,为(14.52±13.37) g,十年茶树与龙胆间作生物量居中为(6.94±4.24) g,大叶桉滇龙胆间作植株生物量最低为(2.17±1.42) g。生物量由大到小为荒坡栽培>十年茶树滇龙胆间作>幼龄茶树、木瓜树、尼泊尔栲木滇龙胆间作>大叶桉滇龙胆间作。

### 2.4 滇龙胆全株生物量与地上、地下性状的相关性

从相关性分析结果(表 4)可以看出,滇龙胆植株生物量的变化与根、茎、叶性状密切相关。株高、茎粗和须根数与全株生物量呈极显著的正相关( $R=0.514, P<0.01; R=0.510, P<0.01; R=0.339, P<0.01$ )。根茎比与全株生物量呈极显著的负相关( $R=-0.295, P<0.01$ )。

将植物性状值( $X$ )与生物量( $Y$ )进行多元逐步回归分析,结果表明(表 5),幼龄茶树与滇龙胆间作

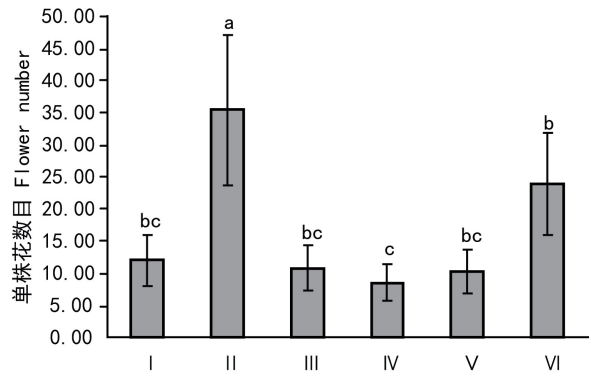


图 1 栽培模式对滇龙胆生物量的影响(means±SD) 不同小写字母示同一性状不同栽培模式间差异显著( $P<0.05$ )。

Fig. 1 Effects of cultivation modes on biomass of *Gentiana rigescens* Values are means±SD ( $n=30$ ). Different lowercase letters represent significant differences among different cultivation modes ( $P<0.05$ ).

模式下,株高、茎粗和须根数共同影响植株生物量;十年茶树、木瓜与滇龙胆间作两种模式下,株高、须根数和根粗是影响滇龙胆生物量积累的主要性状;尼泊尔栲木下生长的滇龙胆,生物量变化主要受茎粗和根粗的影响;桉树林下,滇龙胆生物量受根、茎、叶性状的共同作用;荒坡栽培滇龙胆地上性状株高和地下性状须根数对植株生物量影响较大。

表 4 滇龙胆根、茎、叶性状与生物量的相关性分析

Table 4 Pearson correlation analysis between root, stem, leaf and biomass of *Gentiana rigescens*

性状 Trait	株高 SH	茎粗 SD	叶长 LL	叶宽 LW	叶形指数 LS	根长 RL	根茎比 RL/SH	根粗 RD	须根数 FRN
茎粗 SD	0.449 **	1							
叶长 LL	-0.381 **	-0.259 **	1						
叶宽 LW	-0.178 *	-0.097	0.478 **	1					
叶形指数 LS	-0.220 **	-0.187 *	0.563 **	-0.390 **	1				
根长 RL	0.153 *	0.082	0.032	0.017	0.063	1			
根茎比 RL/SH	-0.747 **	-0.254 **	0.426 **	0.201 **	0.243 **	0.247 **	1		
根粗 RD	0.008	0.041	-0.184 *	-0.12	-0.104	0.03	-0.019	1	
须根数 FRN	0.248 **	0.223 **	-0.134	-0.127	-0.054	-0.005	-0.191 *	0.168 *	1
生物量 Biomass	0.514 **	0.510 **	0.230	-0.076	-0.174	0.032	-0.295 **	0.076	0.339 **

注: \* 为显著相关( $P < 0.05$ ), \*\* 为极显著相关( $P < 0.01$ )。

Note: \* Shows significant correlation ( $P < 0.05$ ), \*\* Shows extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ).

表 5 根、茎、叶性状与全株生物量的多元逐步回归分析

Table 5 Multiple linear stepwise regression of root, stem, leaf and biomass of *Gentiana rigescens*

栽培模式 Cultivation mode	回归方程 Stepwise multiple linear regression	$r$
幼龄茶树间作 I <i>G. rigescens</i> —young tea trees	$Y = 0.055X_1 + 5.078X_2 + 0.079X_4 - 1.458$	0.806
十年茶树间作 II <i>G. rigescens</i> —ten years old tea trees	$Y = 0.189X_1 + 0.132X_4 + 62.609X_6 - 11.065$	0.852
木瓜间作 III <i>G. rigescens</i> — <i>Chaenomeles sinensis</i>	$Y = 0.062X_1 + 0.309X_4 + 30.637X_6 - 6.01$	0.885
尼泊尔栲木间作 IV <i>G. rigescens</i> — <i>Alnus nepalensis</i>	$Y = 0.126X_1 + 0.205X_4 - 2.693$	0.768
大叶桉间作 V <i>G. rigescens</i> — <i>Eucalyptus robusta</i>	$Y = 0.063X_1 + 11.073X_2 + 0.317X_3 + 0.145X_4 - 4.319$	0.883
荒坡栽培 VI Grown on the slope of the valley	$Y = 1.224X_1 + 0.463X_4 - 38.209$	0.783

注:  $X_1$  株高,  $X_2$  茎粗,  $X_3$  叶长,  $X_4$  须根数,  $X_5$  根长,  $X_6$  根粗,  $Y$  生物量。

Note:  $X_1$  was stem height,  $X_2$  was stem diameter,  $X_3$  was leaf length,  $X_4$  was root number,  $X_5$  was root length,  $X_6$  was root diameter,  $Y$  is biomass.

### 3 讨论与结论

不同栽培模式对滇龙胆形态特征影响不同。在荒坡栽培与茶树间作模式下,株高和茎粗最高( $P < 0.05$ ),在大叶桉间作模式下最低( $P < 0.05$ )。桉树林下滇龙胆叶片长度和宽度均显著高于其它栽培模式( $P < 0.05$ )。所有植株叶形稳定(叶形指数为 3.54~4.62),受生境变化影响小。根长受栽培模式影响显著( $P < 0.05$ ),桉树下生长的植株根系较短,茶树下生长的植株根系较长。尼泊尔栲木林下,滇龙胆须根数较少显著低于其它栽培模式( $P < 0.05$ )。栽培模式对根粗影响较小( $P > 0.05$ ),荒坡

栽培植株根部较其它栽培模式粗壮。栽培滇龙胆(*Epimedium koreanum*)形态特征可分为三类:桉树林下植株低矮、根系分布浅,具有较大的长椭圆形叶片,属第一类;荒坡栽培,茶树、木瓜间作植株较高大,茎秆粗壮,根系发达,属第二类;尼泊尔栲木下生长的植株性状介于前两类之间为第三类。

茎、叶性状的变化反映植物对生长环境的适应。光照是影响鸭跖草(*Commelina communis*)、金心吊兰(*Chlorophytum comosum*)、绞股蓝(*Gynostemma pentaphyllum*)、曼陀罗(*Datura stramonium*)等物种叶长、叶宽、叶面积等叶部性状的主要因素,低光照条件下,叶长、叶宽和叶面积均有增加的趋势(何维明等,2000;申凤娟等,2009;毛立彦等,2012)。李东胜等(2013)对分布于中国东部的栎属(*Quercus*)植物研究发现随年日照时数增加,栎属多种植物叶片面积增加,利于吸收更多光照辐射。张永刚等(2012)对林缘、林窗和林下三种生境朝鲜淫羊藿(*Epimedium koreanum*)形态特征研究显示,株高、茎粗数值受光照影响,随光照强度减弱明显减小。6种栽培模式中,桉树林下相对光照强度最低,仅 30.12%。其林下滇龙胆叶部性状与荒坡栽培(相对光照强度 100%)、幼龄茶树间作(相对光照强度 70.31%)等模式相比,叶片长度和宽度显著增加,可能是对林下弱光照条件的响应。王静等(2013)研究三种桉树叶片提取物的除草活性,发现大叶桉活性最高,可抑制高粱、小麦、油菜等草本植物根、茎的生长。Zhang *et al.*(2012)比较茶树、桉树、木瓜等物种叶片水提物对滇龙胆种子萌发的影响,结果表明所有林木叶片水提物均影响滇龙胆种子萌发,大叶桉抑制作用最显著。与大叶桉间作的

滇龙胆植株低矮、根部细短,根系不发达,可能与植物间的化感作用有关。

栽培模式影响滇龙胆生物量的积累。荒坡栽培下滇龙胆植株生物量显著高于林药复合栽培( $P < 0.05$ );复合栽培,十年茶树间作模式下滇龙胆生物量最高,桉树林下生长的滇龙胆生物量最低。株高、茎粗、根长、根粗等性状均与生物量呈显著正相关( $P < 0.05$ )。逐步回归分析显示不同栽培模式下,各性状对全株生物量的积累贡献程度不同,株高和须根数在所有栽培模式中均与生物量的积累关系紧密。银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)在庄稼地、林缘等生境下生物量的变化研究显示,植株生物量与株高呈正相关,林缘光照不足,物种间竞争激烈,银胶菊总生物量最小(蒲高忠等 2010)。丽色画眉(*Eragrostis spectabilis*),薇甘菊(*Mikania micrantha*)等草本植物生长受光照条件影响显著,弱光照条件下植物生长缓慢,生物量积累少,光照条件改善,草本植物可迅速恢复生长,表现出较强的适应性(邓雄,2010;秦衍雷等,2013)。滇龙胆生长于荒坡和林下两种异质性环境中,形态和生物量特征均产生一系列变化,表现出对特定环境的适应性。

云南临沧地区滇龙胆林药复合模式播种后无施肥、修剪等人为干扰,待植株生长 3 年后统一采收。本实验涉及各样地间海拔(1 950~2 066 m)、土壤有机质厚度(0.91~1.23 cm)及栽培密度较接近(30~35 株/m<sup>2</sup>),但光照条件差别较大。与野生条件下生长的滇龙胆(杨雁等,2012)相比,除桉树林下栽培的植株生物量低于野生植株外,其余栽培模式下的植株生物量均高于野生植株;光照条件较好的荒坡栽培模式最有利于滇龙胆生物量的积累;桉树林下,滇龙胆可能受生物与非生物胁迫的共同影响,使其植株矮小,生物量偏低。杨美权等(2011)研究表明,荒坡栽培、茶树滇龙胆间作和木瓜滇龙胆间作下植株根部龙胆苦苷含量均高于《中国药典》入药标准。药用植物栽培需同时关注有效成分含量和药材产量,结合生物量研究结果显示荒坡栽培、滇龙胆与茶树或木瓜间作下植株生物量和有效成分含量均优于其它栽培模式。以上研究结果为滇龙胆林药间作的物种搭配,栽培管理提供基础数据和理论依据。

## 参考文献:

Charbonnier F, Le Maire G, Dreyer E, et al. 2013. Competition for light in heterogeneous canopies: application of MAESTRA to a coffee (*Coffea arabica*) agroforestry system[J]. *Agr For*

- Meteorol*, **181**(15): 152—169
- Committee for the Pharmacopoeia of P. R. China (国家药典委员会). 2010. Pharmacopoeia of P. R. China, Part I (中华人民共和国药典一部)[S]. Beijing (北京): Chemical Industry Press (化学工业出版社)
- Deng X (邓雄). 2010. Morphological and physiological plasticity responding to different light environments of the invasive plant, *Mikania micrantha* H. B. Kunth (不同光环境下薇甘菊形态和生理可塑性及其响应研究)[J]. *Ecol Environ Sci* (生态环境学报), **19**(5): 9 221—9 227
- Gao J (高峻), Meng P (孟平), Wu B (吴斌), et al. 2006. Photosynthesis and transpiration of *Salvia miltiorrhiza* in tree-herb system of *Prunus dulcis* and *Salvia miltiorrhiza* (杏—丹参林药复合系统中丹参光合和蒸腾特性的研究)[J]. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), **28**(2): 64—67
- He TN (何廷农), Liu SW (刘尚武), Wu QR (吴庆如). 1988. Flora Reipublicae Popularis Sinicae Vol. 62 (中国植物志 62 卷) [M]. Beijing (北京): Science Press (科学出版社)
- He WM (何维明), Zhong ZC (钟章成). 2000. Morphological and growth responses of the climbing plant, *Gynostemma pentaphyllum* seedlings to varying light intensity (攀援植物绞股蓝幼苗对光照强度的形态和生长反应)[J]. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), **24**(23): 375—378
- Li DS (李东胜), Shi ZM (史作民), Feng QH (冯秋红), et al. 2013. Response of leaf morphometric traits of *Quercus* species to climate in the temperate zone of the north-south transect of eastern China (中国东部南北样带暖温带区栎属树种叶片形态性状对气候条件的响应)[J]. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), **37**(9): 793—802
- Mao R (毛榕), Zen DH (曾德慧). 2009. Research advances in plant competition in agroforestry systems (农林复合系统植物竞争研究进展)[J]. *Chin J Eco-Agric* (中国生态农业学报), **17**(2): 379—386
- Mao LY (毛立彦), Mu XQ (慕小倩), Dong GG (董改改), et al. 2012. Influence of light intensity on growth of *Datura stramonium* and *D. stramonium* var. *tatual* (光照强度对曼陀罗和紫花曼陀罗生长发育的影响)[J]. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), **36**(3): 243—252
- Ping XY (平晓燕), Wang TM (王铁梅), Lu XS (卢欣石). 2013. Review of advances in carbon sequestration potential of agroforestry (农林复合系统固碳潜力研究进展)[J]. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), **37**(1): 80—92
- Pu GZ (蒲高忠), Tang SC (唐赛春), Pan YM (潘玉梅), et al. 2010. Phenotypic plasticity and modular biomass of invasive *Parthenium hysterophorus* in different habitats in South China (入侵植物银胶菊在不同生境下表型可塑性和构件生物量)[J]. *Guihaia* (广西植物), **30**(5): 641—646
- Peng XB (彭晓邦), Zhang YX (张硕新). 2013. Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the hilly region Shangluo China (商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性)[J]. *Chin J Ecol* (生态学报), **33**(6): 1 926—1 934
- Quan QH (权秋梅), Gao ZM (高泽梅), Li YX (黎云祥). 2012. Comparative analysis of morphological characteristics and effective composition contents of *Epimedium pubescens* in different habitats (不同生境中柔毛淫羊藿形态特征及其有效成分差异分析)[J]. *Guihaia* (广西植物), **32**(3): 350—354
- (下转第 553 页 Continue on page 553)