

# 土层厚度对箬竹无性系种群形态可塑性的影响

吴义远<sup>1</sup>,董文渊<sup>2\*</sup>,王 婷<sup>3</sup>,郑静楠<sup>3</sup>,尹泽南<sup>1</sup>,谢泽轩<sup>4</sup>,田发坤<sup>4</sup>

(1.西南林业大学 生态与环境学院,云南 昆明 650224;2.西南林业大学 箬竹研究院,云南 昆明 650224;  
3.西南林业大学 林学院,云南 昆明 650224;4 大关县一县一品箬竹产业办公室,云南 大关 657400)

**摘 要:**通过探究不同土层厚度对天然箬竹无性系种群分株形态的影响,力图为箬竹的适地适竹、定向培育提供一定的理论与实践的依据。本研究运用方差分析、多重比较和冗余分析与蒙特卡洛检验,分析环境因子随土层厚度变化对箬竹分株形态的影响。结果表明:1)随着土层厚度的增加,箬竹分株高度、枝下高、节长、地径、胸径、分枝长、分枝角、鞭节长、鞭节径、菹根长、鞭根长、隔离者节间长度和隔离者直径相应增加,隔离者总长度则相应减少。2)全磷、有机碳、全氮、水解氮及含水量对箬竹分株构件的大小起重要作用。土壤水分和养分对箬竹分株构件有着不同程度的影响,单一土壤因子对箬竹分株构件形态影响的重要性大小排序:全磷>有机碳>全氮>水解氮>含水量>全钾>速效钾>有效磷>酸碱度。箬竹无性系分株构件随土层厚度的递增呈现出明显的梯度变化,不同土层厚度中水分和养分资源分配的差异性决定了箬竹分株形态的大小。其中,全磷、有机碳、全氮、水解氮和含水量是影响箬竹分株形态的关键因素。

**关键词:**箬竹无性系;土层厚度;水分;养分;形态可塑性

**中图分类号:**S795      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2019)05-0029-06

## Effects of Soil Thickness on Morphological Plasticity of the Population of Natural *Qiongzhusua tumidinoda* Clone Ramet

WU Yi-yuan<sup>1</sup>, DONG Wen-yuan<sup>2\*</sup>, WANG Ting<sup>3</sup>, ZHENG Jing-nan<sup>3</sup>, YIN Ze-nan<sup>1</sup>,  
XIE Ze-xuan<sup>4</sup>, TIAN Fa-kun<sup>4</sup>

(1. Ecological and Environment College of Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;  
2. Qiongzhu Research Institute of Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;  
3. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;  
4. Qiongzhu Industry Office in Daguan County, Daguan 657400, Yunnan, China)

**Abstract:** To explore the effect of different soil thicknesses on the morphology plasticity of natural *Qiongzhusua tumidinoda* clones ramets, and to provide some theoretical and practical supports for *Q. tumidinoda* placement and orientation training. Analysis of variance, multiple comparison, redundancy analysis and Monte Carlo Permutation test were adopted to explore and identify associations of the changes in environmental factors along soil thickness to the *Q. tumidinoda* ramet morphology. 1) With the increase of soil thickness, The ramet height, height under branch, knot length, ground diameter and diameter at the breast height, length and the angle of the branch, length and diameter of the rhizome, length of stump-root section and rhizome-root section, length and diameter of the spacer correspondingly increased, and the total length of the spacer correspondingly decreased. 2) The size of morphology of *Q. tumidinoda* ramet component was mainly determined by total phosphorus, organic carbon, total nitrogen, hydrolyzed nitrogen and water content. Soil moisture and nutrients had different effects on the morphology of *Q. tumidinoda* ramet compo-

收稿日期:2018-11-29 修回日期:2019-03-29  
基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201204103);中央财政林业科技推广示范资金项目([2018]TG14 号)。  
作者简介:吴义远,男,在读硕士,研究方向:竹类无性系种群生态、竹林培育。E-mail:1148311123@qq.com  
\* 通信作者:董文渊,男,教授、博士、博士生导师,研究方向:竹类无性系种群生态、竹林培育和生态经济。E-mail:wydong6839@sina.com

ment. The importance in the effects of soil factors on the morphology of *Q. tumidinoda* ramet component was ranked as total phosphorus>organic carbon>total nitrogen>hydrogenated nitrogen>water content>total potassium>available potassium>available phosphorus>pH. The morphology of *Q. tumidinoda* ramet showed a significant gradient change with the increase of soil thickness and it was determined by the differences of water and nutrient resource allocation in soil thickness. Among them, the morphology was mainly affected by total phosphorus, organic carbon, total nitrogen, hydrolyzed nitrogen and water content.

**Key words:** *Qiongzhusua tumidinoda* clone; soil thickness; biomass allocation; redundancy analysis; morphological plasticity

箬竹(*Qiongzhusua tumidinoda*)为禾本科(Gramineae)箬竹属(*Qiongzhusua*)植物,是国家三级保护珍稀竹种之一,为地下茎复轴混生的小型竹种,喜生于温凉潮湿的气候,具有重要的经济、生态和观赏价值<sup>[1]</sup>。克隆植物的形态,尤其是控制克隆分株在水平空间内放置的形态学性状,不仅能够对资源水平产生反应,而且也对环境条件做出响应,它是克隆植物适应生态环境的重要手段<sup>[2]</sup>。竹类植物因其克隆生长特性而具备更大的形态可塑性,因此在异质生境中产生很强的适应能力<sup>[3-4]</sup>。在不同的土壤水分、养分以及光照资源有效水平条件下,竹类植物具有塑造不同的形态来适应不同的资源水平的能力<sup>[5]</sup>。因此,研究箬竹的形态可塑性对其有生物生态学特性有重要意义。目前,箬竹生长立地类型划分的研究已见报道<sup>[6]</sup>,但针对不同土层厚度对箬竹无性系种群形态可塑性影响的研究却未见报道。本研究从不同土层厚度导致的资源异质性对箬竹无性系种群形态可塑性带来的影响和变化特征进行了研究,以期为箬竹的适地适竹、定向培育提供一定的理论与实践的依据。

## 1 研究区概况

试验地位于云南省大关县木杆镇银吉村徐家湾,地理位置为 28°06′44.37″—28°06′44.55″N、103°58′02″—103°59′40″E。海拔分布 1 331~1 338 m,属于中温带气候类型,年平均降水 1 000~1 300 mm,相对湿度 85%,具有阴凉湿润、热量不足的特点。主要成土母岩为页岩为主,土壤以黄壤为主,土层厚度 15~120 cm。上层乔木有白檀(*Symplocos paniculata*)、扁刺锥(*Castanopsis platyacantha*)、钝齿木荷(*Schima crenata*)等,林分郁闭度 0.2~0.5,林下生长有楼梯草(*Elatostema involucratum*)、卷柏(*Selaginella tamariscina*)、粗齿冷水花(*Pilea sinofasciata*)等,盖度 30%。

## 2 材料与方法

### 2.1 标准地设置

2018 年 4 月,在对徐家湾天然箬竹林全面踏查

的基础上,选取了以下 3 种类型样地作为调查地,每种类型样方重复 3 次。

类型 A1(薄土层):位于山坡下部,半阳坡,土层厚度 0~40 cm,坡度 28°,海拔 1 330 m。类型 A2(中土层):位于山坡下部,半阳坡,土层厚度 40~80 cm,坡度 31°,海拔 1 326 m。类型 A3(厚土层):位于山坡下部,半阳坡,土层厚度 80~120 cm,坡度 29°,海拔 1 320 m。

### 2.3 样地调查

每块样方面积为 2 m×2 m,分别统计并计测样方内箬竹地上部分全部分株的胸径、地径、高度、节长(胸径处的节间长)、枝下高、分枝长和分枝角,并将样方内的土分层细心剥离,露出竹鞭,统计其鞭龄并计测分布范围、鞭节长、鞭径和鞭根长。然后,在样地内分别随机选取 4 株成竹,沿秆基逐步挖开,找到并计测隔离者总长度(从母竹秆基至鞭梢方向而未产生岔鞭的地下茎绝对长度)及隔离者长度(相邻 2 个分株的地下茎长度)。最后,在 3 个类型的样方中分别选取 3 株不同年龄的标准竹,完整地挖出后计测其竹筴的根长。并采集其全部叶片,随机取其 1/50 的重量带回室内,用 YMJ-C 型叶面积测定仪测定其叶长、叶宽和叶面积。

### 2.4 土壤的采集与处理

在每一样地内,分别挖取 2 个深至 30 cm 的土壤剖面,每 10 cm 一层对其进行分层取样。将 2 个剖面的同一层的土壤混合均匀后,取每层 1 kg 左右的混合样品装入布质土壤袋中,带回室内备用。将野外采集的土壤样品阴干后,拣出枯枝落叶、植物根、石子等,然后碾碎,使之通过 1.00 mm 土壤筛,装入密封袋成待测样品。

### 2.5 土壤的分析

根据《森林土壤分析方法》的土壤理化性质测定法,土壤含水量用烘干法测定(105℃,24 h);pH 采用电位法测定;根据《林业行业标准》土壤有机质采用 K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub> 氧化-外加热法测定;土壤水解氮采用碱解-扩散法测定;土壤全氮采用凯氏定氮法测定;土壤全磷采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮法测定;土壤有效

磷采用 Bray I 法测定;土壤全钾采用氢氧化钠碱熔-火焰光度计测定法;土壤速效钾使用乙酸铵浸提,火焰光度计测定<sup>[7-8]</sup>,每个样品重复 3 次。

2.6 数据处理

调查数据利用 Excel2016、SPSS 17.0 和 Cano-co4.5 软件进行分析,为使研究结果更加准确,竹龄、坡位、坡度、坡向等因子尽量保持一致,土层厚度为描述性指标,在进行数据分析的过程中需要将其数量化<sup>[9]</sup>。

3 结果与分析

3.1 不同土层厚度的土壤理化性质的比较

3 种类型样地 0~30 cm 土层的土壤 pH、水分以及养分含量见表 1,由表 1 可知,土壤水分和养分含量在不同立地间均呈现出随着土层厚度的增加随之减小的趋势,且同一土层类型中各土层的土壤水分、养分含量随着土层深度的增加而减少。其中,薄土层、中土层及厚土层 0~30 cm 的土壤平均含水量分别为 3.74%、3.87%和 3.91%,平均 pH 为 3.74、

3.87和 3.91。平均有机质分别为 35.47、44.33 g·kg<sup>-1</sup>和 46.34 g·kg<sup>-1</sup>,平均水解氮分别为178.50、223.53 mg·kg<sup>-1</sup>和 279.07 mg·kg<sup>-1</sup>,平均有效磷分别为 2.45、3.43 mg·kg<sup>-1</sup>和 3.81 mg·kg<sup>-1</sup>,平均速效钾分别为 80.00、142.36 mg·kg<sup>-1</sup>和180.87 mg·kg<sup>-1</sup>。

3.2 不同土层厚度的箬竹分株构件形态的比较

3.2.1 不同土层厚度的箬竹分株地上部分形态的比较 表 2 表明,箬竹分株地上部分形态在不同土层厚度中呈现出随土层厚度的增加而增大的趋势,其中,厚土层箬竹的分株高度、枝下高、节长、地径、胸径、分枝长、分枝角、叶长、叶宽及叶面积分别比薄土层平均显著多出 28.33%、57.97%、7.84%、25.29%、9.09%、7.09%、8.49%、12.52%、7.34%、18.40%、13.86%和 20.55%。方差分析表明(表 3),土层厚度对箬竹分株、地径、节长、枝下高及叶长的影响极显著,对分枝长度、叶宽和叶面积的影响显著,对胸径影响不显著。

表 1 不同类型样地 0~30 cm 土层的土壤 pH、水分和养分含量

Table 1 Soil pH,moisture and nutrient content in 0—30 cm soil layers of different types of plots											
样地编号	土层类型	土层厚度	酸碱度 pH	含水量 /%	有机质 /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 /(g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷 /(g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾 /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 /(mg·kg <sup>-1</sup> )
A1	薄土层	0~10 cm	3.53±0.09	16.32±0.70	47.17±1.46	4.23±0.04	226.10±16.00	0.29±0.01	2.79±0.03	21.15±1.94	107.08±1.39
		10~20 cm	3.90±0.19	11.70±1.28	39.67±0.45	3.40±0.11	179.20±3.40	0.25±0.02	2.52±0.03	20.05±0.84	72.62±4.61
		20~30 cm	3.78±0.04	10.77±0.35	19.58±1.78	2.92±0.19	130.20±4.30	0.18±0.01	2.04±0.01	18.64±0.75	60.31±1.62
A2	中土层	0~10 cm	3.68±0.03	19.89±0.24	53.81±0.57	4.62±0.09	288.40±6.40	0.35±0.03	3.45±0.03	27.03±1.40	169.85±2.71
		10~20 cm	3.89±0.03	13.25±0.60	52.69±2.63	3.62±0.18	233.80±6.20	0.30±0.02	3.22±0.11	23.97±0.98	158.77±8.41
		20~30 cm	4.03±0.02	11.09±0.70	26.48±0.64	3.19±0.05	148.40±1.70	0.21±0.02	3.11±0.09	21.49±0.68	98.46±1.15
A3	厚土层	0~10 cm	3.74±0.6	20.61±0.94	59.37±0.06	4.92±0.04	319.20±16.30	0.39±0.03	3.55±0.40	29.31±4.66	222.57±3.25
		10~20 cm	4.09±0.02	17.56±0.57	50.98±0.34	3.83±0.05	280.70±1.10	0.33±0.02	3.45±0.04	26.44±1.43	211.74±10.82
		20~30 cm	3.90±0.04	11.22±1.36	28.67±1.02	3.41±0.12	237.30±6.50	0.25±0.01	3.30±0.11	22.72±0.97	108.31±2.01

表 2 不同土层厚度箬竹分株地上部分形态比较

Table 2 Comparison of the morphology of the above ground parts of <i>Q. tumidinoda</i> ramet in different soil thicknesses											cm
样地类型	分株高度	地径	胸径	节长	枝下高	分枝长度	分枝角度	叶长	叶宽	叶面积	
A1	1.80±0.10c	0.87±0.13c	0.54±0.11c	15.57±1.87bc	0.69±0.15c	38.20±4.53a	70.71±8.64bc	12.38±1.95bc	1.09±0.13a	8.64±2.15bc	
A2	2.06±0.23b	1.00±0.14b	0.58±0.13bc	16.79±1.33b	0.93±0.21b	40.59±5.72a	74.73±7.46b	13.73±2.14b	1.13±0.19a	9.58±2.65b	
A3	2.31±0.39a	1.09±0.14a	0.60±0.14a	16.80±1.86a	1.09±0.30a	40.94±5.90a	76.71±4.33a	14.06±198a	1.18±0.17a	10.35±2.50a	

注:不同字母分别表示差异达 0.05 显著水平,下同。

表 3 不同土层厚度箬竹分株地上形态的方差分析

Table 3 ANOVA for the morphology of the above ground parts of <i>Q. tumidinoda</i> ramet in different soil thicknesses										
样地类型	分株高度	地径	胸径	节长	枝下高	分枝长度	分枝角度	叶长	叶宽	叶面积
<i>F</i>	40.325**	30.887**	1.634	35.292**	7.727**	3.403*	3.907*	5.087**	1.371	3.111*
<i>P</i>	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	>0.05	<0.05

注: \*\*、\* 分别代表在  $P=0.01$ 、 $P=0.05$  水平上差异显著,下同。

3.2.2 不同土层厚度的箬竹地下部分形态的比较

作为典型的克隆植物,鞭生竹具有发达的鞭根系统和快速生长的特性<sup>[10]</sup>,竹鞭既能贮藏和输送养分,又有很强的繁殖能力,研究其形态可塑性具有重要意义,不同土层厚度箬竹分株鞭根生长情况见表 4。

由表 6 可知,从薄土层、中土层到厚土层,竹鞭分布频率分别为 95.25%、87.25%和 81.33%,总体呈现递减的趋势。厚土层箬竹平均鞭节长、鞭径均高于中土层和薄土层,其中厚土层及中土层箬竹平均鞭节长分别比薄土层高出 13.86%和 9.04%,

厚土层及中土层箬竹平均鞭径分别比薄土层高出 20.55%和 10.96%。箬竹竹根形态呈现出随着土层厚度的递增,箬竹菹根平均长随之递增,鞭根长随之显著递增。其中,厚土层的菹根长与鞭根长相对

表 4 不同土层厚度箬竹分株鞭根生长比较

Table 4 Comparison of the growth of rhizome and root of *Q. tumidinoda* ramet in different soil thicknesses cm

样地类型	分布范围	鞭节长	鞭径	菹根长	鞭根长
A1	0~38.1	3.32±0.41bc	0.73±0.09bc	23.17±4.44bc	20.91±2.66c
A2	0~69.8	3.62±0.24b	0.81±0.08b	25.64±6.97ab	22.09±3.04ab
A3	0~97.6	3.78±0.25a	0.86±0.08a	28.31±5.78a	24.45±3.47a

不同土层厚度对箬竹隔离者生长具有不同的影响,方差分析结果表明(表 7),不同土层厚度的隔离者总长度、隔离者长度及隔离者直径均达到极显著差异,隔离者节长则没有显著的差别。从表 5 可知,隔离者长度随着土层厚度的增加存在变长的趋势,但隔离者总长度却有变短的趋势。隔离者节间长度、隔离者直径均有随着土层厚度的增加而增加的趋势。

3.3 箬竹各构件的形态与土壤因子的相关关系

表 4 为土壤因子对箬竹无性系构件形态差异性解释量,各构件生物量在第Ⅰ轴、第Ⅱ轴的解释量分

于薄土层分别高出 22.18%和 16.93%。方差分析可得(表 5),不同土层厚度的箬竹分株鞭节长、鞭径和鞭根长差异性均极显著,菹根长差异性不显著。

别为 86.8%和 11.1%,即前两轴 9 种环境因子能累计解释箬竹各构件生物量的 97.9%,且箬竹无性系各构件物量与环境因子关系的累计解释量达到了 99.8%。表明前两轴能够反映箬竹构件形态与土壤因子关系的绝大部分信息,第Ⅰ轴起决定作用。

表 5 不同土层厚度箬竹分株鞭根方差分析

Table 5 ANOVA for rhizome and root of *Q. tumidinoda* ramet in different soil thicknesses

样地类型	鞭节长	鞭径	菹根长	鞭根长
<i>F</i>	6.862**	7.699**	2.293	5.515**
<i>P</i>	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01

表 6 不同土层厚度箬竹分株隔离者生长比较

Table 6 Comparison of the growth of spacer of *Q. tumidinoda* ramet in different soil thicknesses cm

样地类型	隔离者总长度	隔离者长度	隔离者节长	隔离者直径
A1	74.93±9.60a	21.99±0.70c	3.34±0.04bc	0.72±0.17bc
A2	53.08±3.59b	24.24±0.59b	3.52±0.12b	0.82±0.02b
A3	44.73±3.34bc	28.42±2.17a	3.72±0.31a	0.86±0.03a

表 7 不同土层厚度箬竹分株隔离者方差分析

Table 7 ANOVA for *Q. tumidinoda* spacer in different soil thicknesses

土层厚度	隔离者总长度	隔离者长度	隔离者节长	隔离者直径
<i>F</i>	22.953**	25.085**	3.715	31.986**
<i>P</i>	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01

表 8 箬竹分株构件形态 RDA 排序的特征值及累积解释量

Table 8 Eigenvalues and cumulative variances of RDA ordination of the module morphology of *Q. tumidinoda* ramet

排序轴	第Ⅰ轴	第Ⅱ轴	第Ⅲ轴	第Ⅳ轴
特征解释量	0.868	0.111	0.016	0.003
特征与环境因子相关	1.000	1.000	1.000	1.000
特征累计解释量/%	86.8	97.9	99.4	0.0
特征-环境因子关系累计解释量/%	86.8	97.9	99.4	99.8
典范特征值		1.000		
总特征值		1.000		

从箬竹构件形态与土壤因子的二维排序图可知

(图 1),土壤含水量、全氮、有机碳、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾的箭头连线均较长,表明能够较好的解释各构件形态的差异,这与表 8 的分析相一致。其中:全钾、有效钾分别与分株高度、分株长和叶宽,含水量、全氮、全磷分别与胸径、鞭根长、鞭径及菹根长,全氮、全磷、有机碳与叶宽,速效磷、水解氮与叶长、叶面积、分枝角度、地径及鞭节长的夹角小且方向基本一致,呈显著正相关,说明全氮、全磷、有机碳对胸径和节长存在显著正效应;水解氮、速效磷主要影响叶长极叶面积的大小;全钾、速效钾主要影响分株高度的大小;含水量是影响鞭根长及菹根长大小的主导因子。酸碱度对箬竹分株各构件形态的大小均呈现较强的负相关。这些结果表明土壤水分和养分对箬竹分株构件形态主要起促进作用,而酸碱度则对箬竹分株构件形态起一定的抑制作用。

综上可看出,不同土壤因子对箬竹构件形态的影响差异较大。进一步对土壤因子进行蒙特卡洛检验排序,研究环境因子对箬竹构件形态的重要性大

小。各土壤因子对箬竹各构件生物量的贡献见表 9。指标的重要性排序依次为全磷>有机碳>全氮>水解氮>含水量>全钾>速效钾>有效磷>酸碱度。全磷、有机碳、全氮、水解氮、含水量、全钾和速效钾具有明显高于其他环境因子的解释量,分别占总信息量的 83.2%、78.1%、77.6%、76.8%、69.3%、64.4%和 59.2%。相关性分析显示,除酸碱度外,其他 8 个土壤因子对箬竹分株构件形态的影响均达到了显著水平( $P<0.05$ )。

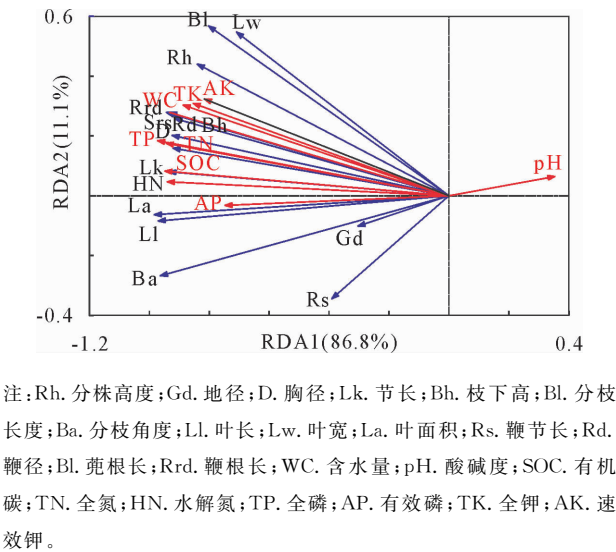


图 1 箬竹分株构件形态与土壤因子的冗余度分析  
Fig.1 Redundancy analysis of the module morphology of *Q. tumidinoda* ramet and environmental factors

表 9 土壤因子变量解释的重要性排序和显著性检验结果  
Table 9 Importance and signification level of soil factors

环境因子	重要性 排序	解释量 /%	F 值	P 值
全磷	1	83.2	32.740	0.002
有机碳	2	78.1	24.901	0.002
全氮	3	77.6	24.188	0.002
水解氮	4	76.8	23.114	0.002
含水量	5	69.3	15.780	0.002
全钾	6	64.4	12.671	0.002
速效钾	7	59.2	10.140	0.008
有效磷	8	48.7	6.652	0.022
酸碱度 pH	9	11.3	0.896	0.414

### 3 结论与讨论

3 个样地类型的土壤水分和养分表现出相似的规律,即随着土层厚度的增加,土壤水分和养分随之增大,这与丁丽等<sup>[11]</sup>对冀北坝上不同樟子松林土壤养分的研究及红玉等<sup>[12]</sup>对杨桦次生林的土壤养分的研究结果一致。不同土层厚度对箬竹分株形态有着不同程度的影响,厚土层箬竹生长总体生长良好,

相比中土层、薄土层具有较大的形态可塑性,总体上箬竹形态可塑性呈现出从薄土层、中土层、厚土层逐渐变大的趋势。说明在较低的水分、养分资源有效性条件下,箬竹以较小的形态特征来适应,这体现了无性系植株摄食位点放置格局在资源异质环境中趋利避害现象,其具有重要的生态意义。隔离者长度随着土层厚度的增加存在变长的趋势,但隔离者总长度却有变短的趋势。隔离者节间长度、隔离者直径均有随着土层厚度的增加而增加的趋势。从薄层土、中层土到厚层土,竹鞭分布频率分别为 95.25%、87.25%和 81.33%,总体呈现递减的趋势。这说明箬竹无性系在较薄的土层中,其地下茎生长的较长,分布的范围较大,隔离者较短,而在较薄的土层中,水分、养分含量较少,由此可推测这是箬竹无性系所产生的一种生态对策:通过扩大空间、缩短分株距离来摄取更多的生存资源。这一结论符合箬竹无性系在水分资源相对贫乏的条件下,会产生一种适应对策,其地下茎的生长较长,这是为了在更大的空间范围摄取其生长所需的资源,而隔离者越短,使得单位面积上分株数明显增加<sup>[13]</sup>。

土壤含水量对箬竹各构件生物量的解释量高达 69.3%,表明土壤水分与箬竹构件形态关系密切。其中,含水量与箬竹枝生物量、秆生物量和根生物量呈极显著正相关。这是因为土壤含水量作为土壤液相的主要成分,含水量的增加直接影响土壤中的酶促作用及生物化学反应强度,从而改善土壤肥力<sup>[14]</sup>,来促进竹林生长发育。且土壤水分是满足竹林生长发育、提高竹林产量的基本条件,水分亏缺直接影响竹林笋芽萌发、新竹抽枝长叶、立竹换叶和光合作用效率<sup>[15]</sup>。土壤养分状况是维持土壤生态功能和物质产生的基础<sup>[16]</sup>,其对竹子的综合影响很大,其决定竹子的生长状况<sup>[17]</sup>。本研究中土壤碳、氮、磷、钾分别与箬竹构件形态皆呈极显著正相关。全氮、含水量、水解氮、有效磷对箬竹构件形态起重要作用。土壤碳、氮添加导致微生物活性增强,引起地表层土壤温度增加导致植物生物量的增加<sup>[18-19]</sup>。碳、氮添加导致微生物活性增强,进而促进微生物矿化速率,导致可利用氮增加<sup>[20]</sup>。磷是作物营养三要素之一,磷素营养对植物干物质积累与分配起着非常重要的作用<sup>[21-22]</sup>,磷可以提高 N 利用效率并缓解 N 饱和的限制<sup>[23]</sup>。钾素有“品质元素”之称,有利于促进植物营养器官的生长<sup>[24-25]</sup>。土壤酸碱度通过影响微生物的活动以及土壤的其他性质与肥力状况来影响植物的生长发育。研究表明,土壤酸碱度与箬竹构件形态呈负相关性。此外,土壤碳、氮、磷、钾元素作为土壤肥力的物质基础,土壤酶活性作为评

价土壤肥力的重要指标,二者间有紧密的联系<sup>[26]</sup>。

参考文献:

[1] 董文渊. 滇东北筴竹资源保护和开发利用研究[J]. 竹类研究, 1997(2):33-38.  
DONG W Y. Research on *Qiongzhusua tumidinoda* resource in northeast of Dian protection and utilization[J]. Bamboo Research, 1997(2):33-38. (in Chinese)

[2] 董鸣. 克隆植物生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[3] 黎祖尧, 杨光耀, 杜天真, 等. 赣西北石灰岩地区淡竹生长环境研究[J]. 江西农业大学学报, 1998, 20(2):232-236.

[4] 谢元贵, 杨泊, 陈洪, 等. 喀斯特适生植物小蓬竹不同龄级种群的构件特征[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(4):167-169.

[5] 施建敏, 叶学华, 陈伏生, 等. 竹类植物对异质生境的适应——表型可塑性[J]. 生态学报, 2014, 34(20):5687-5695.  
SHI J M, YE X H, CHEN F S, *et al.* Adaptation of bamboo to heterogeneous habitat: phenotypic plasticity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20)5687-5695. (in Chinese)

[6] 毛闻君, 董文渊. 筴竹生长立地类型划分及立地质量评价研究[D]. 昆明: 西南林学院. 2009.

[7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社. 2000:146-336.

[8] 国家林业局. 森林土壤有机质的测定, LY/TA37—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[9] 吴良如, 楼一平, 萧江华. 笋竹两用林生产力因子数量化评价[J]. 林业科学研究, 1992, 5(5):536-541.

[10] 赵建诚, 刘广路, 范少辉, 等. 鞭生竹克隆生长及其对相邻系统的影响[J]. 世界林业研究, 2016, 2(1)24-27.  
ZHAO J C, LIU G L, FAN S H, *et al.* Clonal growth of whip bamboo and its influence on adjacent system[J]. World Forestry Research, 2016, 2(1)24-27. (in Chinese)

[11] 丁丽, 许晴, 许中旗, 等. 冀北坝上不同樟子松林的土壤养分及其与林木生长的关系[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1)49:55.  
DING L, XU Q, XU Z Q, *et al.* Soil nutrients of different *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations in northern Bashang area of Hebei Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(1)49:55. (in Chinese)

[12] 红玉, 王耀, 金鑫, 等. 抚育经营对杨桦次生林林分结构及土壤性质的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3):61-66.  
HONG Y, WANG Y, JIN X, *et al.* Effects of tending managements on stand structure and soil properties of Poplar-birch secondary forests. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(3):61-66. (in Chinese)

[13] 董文渊, 黄宝龙, 谢泽轩, 等. 不同水分条件下筴竹无性系的生态适应性研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学, 2002, 26(6):21-24.

[14] 陈双林, 陈长远, 王维辉, 等. 绿竹笋芽提前萌发促成技术研究[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2004, 24(3):17-20.

[15] 解丽娜, 贡路, 朱美玲, 等. 塔里木盆地南缘绿洲土壤酶活性与理化因子相关性[J]. 环境科学研究, 2014, 27(11):1306-1313.  
XIE L N, GONG L, ZHU M L, *et al.* Correlation between soil

enzyme activity and physicochemical factors in oasis on the southern margin of tarim basin [J]. Environmental Science Research, 2014, 27(11):1306-1313. (in Chinese)

[16] 魏亚伟, 苏以荣, 陈香碧, 等. 桂西北喀斯特土壤对生态系统退化的响应[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5):1308-1314.  
WEI Y W, SUN Y R, CHEN X B, *et al.* Response of Karst soil in northwest Guangxi to ecosystem degradation[J]. Journal of applied ecology, 2010, 21(5):1308-1314. (in Chinese)

[17] 孙刚, 邓文鑫, 王陆军, 等. 安徽肖坑天然毛竹林生产力及其土壤养分特点[J]. 经济林研究, 2009, 27(3):28-32.

[18] 张涛, 陈晓鹏, 赵景学, 等. 碳、氮添加对高寒草甸植物群落物种多样性和生物量的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(10):1604-1610.

[19] WANG S P, DUAN J C, XU G P, *et al.* 2012. Effects of warming and grazing on soil N availability, species composition and ANPP in an alpine meadow [J]. Ecology, 93(11):2365-2376.

[20] 李卉, 李宝珍, 邹冬生, 等. 水稻秸秆不同处理方式对亚热带农田土壤微生物生物量碳、氮及氮素矿化的影响[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(2):303-308.  
LI H, LI B Z, ZOU D S, *et al.* Effects of different treatments of rice straw on soil microbial biomass carbon, nitrogen and nitrogen mineralization in subtropical farmland [J]. Agricultural modernization research, 2015, 36(2):303-308. (in Chinese)

[21] 刘云, 王程栋, 程朝晖, 等. 不同磷背景土壤磷素用量对烤烟农艺性状及生物量的影响[J]. 现代农业科技, 2018(19):11-13, 16.

[22] 于洪杰, 陈少灿, 周新刚, 等. 不同土层深度及磷水平对番茄生物量及根系形态的影响[J]. 中国蔬菜, 2016(4):42-47.  
YU H J, CHEN S C, ZHOU X G, *et al.* Effects of soil depth and phosphorus levels on tomato biomass and root morphology [J]. China Vegetable, 2016(4):42-47. (in Chinese)

[23] 何利元, 郭群, 李胜功, 等. 氮磷添加对内蒙古温带草地上生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8):2291-2297.  
HE L Y, G, GUO Q, LI S G, *et al.* Effects of nitrogen and phosphorus on aboveground biomass of temperate grassland in Inner Mongolia[J]. Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8):2291-2297. (in Chinese)

[24] KERING M K, BUTLER T J, BIERMACHER J T, *et al.* Effect of potassium and nitrogen fertilizer on switchgrass productivity and nutrient removal rates under two harvest systems on a low potassium soil. [J]. Bioenergy Research, 2013, 6(1):329-335.

[25] 杜彩艳, 杜建磊, 包立, 等. 不同施钾水平对土壤速效钾含量和三七养分吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(6):105-112.  
DU C Y, DU J L, BAO L, *et al.* Effect of different potassium application levels on available potassium content in soi, nutrient absorption and yield of panax notoginseng [J]. China Soil and Fertilizer, 2017(6):105-112. (in Chinese)

[26] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3):277-280.