

北川3种箭竹属植物地上生物量结构和回归模型的研究

唐婷¹ 胡进耀^{1*} 杨远兵¹ 傅红伟² 邓东周³

(1. 绵阳师范学院生命科学学院, 四川 绵阳 621000;

2. 北川羌族自治县林业局, 四川 北川 622750; 3. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

摘要: 为深入了解箭竹群落生态学过程, 探索大熊猫栖息地承载力, 研究了北川小寨子沟自然保护区3种箭竹属植物油竹子、华西箭竹和糙花箭竹地上生物量分配格局, 并建立了各器官生物量与基径和竹高的拟合模型。结果表明: (1) 3种箭竹地上各器官中, 竹秆的生物量最大, 其次为竹枝和竹叶; 其中在竹秆生物量分配中油竹子 > 华西箭竹 > 糙花箭竹, 在竹枝生物量分配中糙花箭竹 > 油竹子 > 华西箭竹, 在叶片生物量分配中糙花箭竹 > 华西箭竹 > 油竹子。(2) 3种箭竹各器官生物量与基径(BD)有较好的相关性, 其中基径(BD)与油竹子、华西箭竹、糙花箭竹鲜秆质量(W_1)的拟合模型分别为 $W_1 = 1 / [7.761 + (-29.385e^{-B})]$ 、 $W_1 = 0.367B^{2.614}$ 、 $W_1 = 1 / [4.804 + (-11.414e^{-B})]$ 。根据这些模型可以较准确地估算出这3种箭竹群落的生物量, 进而估算出大熊猫栖息地的承载力。

关键词: 箭竹; 生物量分配结构; 回归模型; 承载力

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2015)02-0032-06

A Study of Above-ground Biomass structure and the Regression Models of Three species of *Fargesia* in Beichuan

TANG Ting¹ HU Jin-yao^{1*} YANG Yuan-bing¹ FU Hong-wei² DENG Dong-zhou³

(1. Department of Life Science and Technology, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China;

2. Beichuan Forestry Bureau, Beichuan 622750, China; 3. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

Abstract: In order to understand the community ecology process of *Fargesia* and explore the carrying capacity of panda habitat, studies were made of on the biomass distribution pattern of above-ground organs of three kinds of *Fargesia* and the regression models of each biomass component were also based on BD and culm height. The results showed that: (1) among the above-ground organs, the culm biomass was much more than the branch and leaf biomass. In the culm biomass allocation, *Fargesia angustissima* > *Fargesia nitida* > *Fargesia scabrida*. In the branches biomass allocation, *Fargesia scabrida* > *Fargesia angustissima* > *Fargesia nitida*. In the leaf biomass, *Fargesia scabrida* > *Fargesia nitida* > *Fargesia angustissima*. (2) Various components were highly correlated with BD. The models of fresh culm weight (W_1) based on BD of the three *Fargesia* species were $W_1 = 1 / [7.761 + (-29.385e^{-B})]$ (*Fargesia angustissima*), $W_1 = 0.367B^{2.614}$ (*Fargesia nitida*), $W_1 = 1 / [4.804 + (-11.414e^{-B})]$ (*Fargesia scabrida*). According to these models the community biomass of those three *Fargesia* species could be accurately estimated, and thus the carrying capacity of panda habitat could also be estimated.

Key words: *Fargesia*, Biomass distribution pattern, Regression models, Carrying capacity

生物量是反映植物同环境相互作用的重要标志, 是植物对环境适应能力及生长发育规律的体现。

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 四川省科技支撑项目“北川灾后山地森林植被恢复与重建技术研究与示范”(2010SZ0036); 北川羌族自治县汶川地震灾后大熊猫等保护及栖息地恢复重建项目。

作者简介: 唐婷(1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生殖生态研究。

通讯作者: 胡进耀, 副教授, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: jinyaohu@126.com

生物量分配指一株植物生长发育过程中所同化的资源用于茎、叶、花、果各器官的比例,也就是各器官累积的资源在总资源中所占的比例,它控制着植物终生生殖与生存的平衡(方炎明,1996)。生物量作为生态系统研究的本底数据,是评价植物生长状况和生态系统功能的重要指标。群落多样性与生态系统生产力之间的关系是当今生物多样性研究领域的焦点之一,地上生物量是初级生产力的重要组成部分和表现形式(李凯辉等,2007)。研究表明,地上生物量与多样性指数存在不同形式的相关关系(Guo *et al.*,1998;施济普等,2001;李凯辉等,2007)。

油竹子、华西箭竹、糙花箭竹这 3 种箭竹属植物不仅是小寨子沟自然保护区亚高山生态系统下层最重要的优势种,且是我国特有珍稀动物大熊猫在该区的主要食物。20 世纪 70 年代的岷江山系、邛崃山系的两次大面积箭竹开花死亡,导致大熊猫缺食危机,其种群分布范围和数量急剧减小(冯文和,1991),引起了国内外广泛关注(齐泽民等,2004;秦自生等,1992;Schaller GB 等,1985,1987;胡锦矗,1985)。由于生物量生产是这 3 种箭竹群落系统最基本的功能之一,同时也是大熊猫生存繁殖的基础,一直以来受到各专家学者的普遍重视。国内外对禾本科竹类植物的生物量分配做了大量研究(曾涛等,2012;范少辉等,2011;郝云庆等,2011;唐建维等,2011;翁玉臻等,2011;党坤良等,2012;刘广路等,2012;杨前宇等,2011;邹跃国,2011;顾大彤等,2011;解蕊等,2010;郭子武等,2009;杨春花等,2008;吴福忠等,2005),而有关于油竹子、华西箭竹、糙花箭竹地上部分生物量结构及回归模型的研究,未见相关报道。因此,本研究以小寨子沟自然保护区内的油竹子、华西箭竹、糙花箭竹为研究对象,采用收获法对该区内的这 3 种箭竹进行取样,研究了这 3 种箭竹地上部分的生物量结构并进行了相关回归分析,为大熊猫主食竹生物量调查提供更便于操作且不影响竹类植株生长的方法,既可以为小寨子沟自然保护区大熊猫主食竹种群恢复与栖息地现状评估提供研究方法,又可为自然保护区资源管理、野生动物保护提供相关理论基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

小寨子沟自然保护区是以保护大熊猫等珍稀野

生动物为主的森林和野生动物类型的国家级自然保护区,位于四川省北川县西北,31°50′~32°16′N,103°45′~104°26′E,主要由东北西南向的龙门山脉和近南北向的岷山山脉在河流强烈切割下形成。最高海拔 4 769 m,最低海拔 1 160 m,相对高差 3 609 m,总面积 44 384.7 hm²。保护区内地势复杂,西北高东南低,以高中山为主,山地切割剧烈,峡谷众多,坡度一般 >30°。土壤的垂直带谱明显,由上至下为高山寒漠带、高山草甸土、灰化森林暗棕壤、山地森林棕壤、暗棕壤和山地黄棕壤等土壤类型,厚度在 30 cm~60 cm 之间。气候为典型的亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛。≥10℃的年积温为 4 500℃,年均温度 9.2℃,最热月(7 月)极端最高温 22℃,最冷月(1 月)极端最低温为 -15℃,无霜期 4 月~10 月。年均降水量 800 mm,集中在 7 月~9 月,占全年降水量的 80%。年日照 1 527.5 h,由于地形复杂,形成了多种多样的小气候环境。地带性植被为亚热带常绿、落叶阔叶混交林(赵颖等,2004)。

1.2 取样

调查于 2012 年 9 月进行,在北川小寨子沟自然保护区以油竹子、华西箭竹、糙花箭竹为优势种的林地内分别设置 3 个样方(10 m×10 m),共计 9 个样方,进行每株检尺,调查年龄、株高、基径,记录相关数据。每个样方选取 30 株生长良好、无病虫害的标准竹,共计 270 株,并对标准竹进行地上部分的生物量取样。将选取的标准竹从秆基处锯断,逐株取下竹枝和竹叶,再将竹秆分节锯断,然后立刻对这 3 部分构件分别称重,记录相关数据。称量后,将这 3 部分构件分别装入划有小口的信封带回实验室,置于 80℃烘箱中烘干至恒重,逐株称量各部分构件的干重,计算含水率(彭在清等,2002)。本文通过样本竹基部有无叶鞘对这 3 种箭竹进行龄级的划分,有叶鞘的为龄级 A,无叶鞘的则为龄级 B。

1.3 数据处理

用每株各构件的生物量占该株地上部分总生物量的百分比作为生物量分配的数量指标。即某一构件生物量分配 = (该构件生物量/该构件所在植株的总生物量) * 100%。用最大值和最小值来反映观测样本的实际大小范围;用平均数(M)代表样本各性状整体水平特征;用标准差(SD)反映样本的绝对变异性;用变异系数(CV)反映样本的相对变异性。对各构件生物量分配之间的关系建立定量化的描述模型(齐淑艳等,2006;郭水良等,2002)。所有

定量关系均进行曲线模型回归分析,其相关性最高者为其最佳描述模型。采用 SPSS19.0 进行相关检验及回归分析。

2 结果与分析

2.1 3种箭竹地上部分生物量的分配

2.1.1 3种箭竹各器官的含水率

由于结构和功能的差异,植物各器官含水率通常也有较大差别,同时,含水率的大小一定程度上也反映了各器官干物质的积累程度。竹类植物各器官的组织结构和功能不同,其含水率也有差异。3种箭竹各器官的含水率统计结果表1所示。

表1 3种箭竹各生物构件的含水率(%)

Table 1 The water content of various organs in three species of *Fargesia*

种类 Species	叶 Leaf	枝 Branch	秆 Culm
油竹子	53.11	49.55	45.24
华西箭竹	50.87	40.26	37.50
糙花箭竹	54.52	44.45	47.59

由表1可以得知,这3种箭竹属植物各器官中,叶片的含水率最高,达54.52%,竹枝次之,竹秆水分含量最低。但在糙花箭竹各器官中,竹秆的含水量却高于竹枝,这可能是因为不同物种含水量也稍微有所差异。

2.1.2 3种箭竹各器官生物量的分配

关于生物量,通常用绝干质量来衡量,但鉴于竹子在采伐和销售中多以鲜质量来计算,所以,本研究分别测定了3种箭竹叶、枝、秆鲜质量和绝干质量的比例关系,结果如表2、表3所示。

表2 3种箭竹各器官生物量(鲜)的分配

Table 2 Biomass distribution(fresh) of over-ground organs in three species of *Fargesia*

种类	器官 生物量鲜质量比例(%)		
	叶(Leaf)	枝(Branch)	秆(Culm)
油竹子	10.51	15.61	73.88
华西箭竹	14.92	13.60	71.48
糙花箭竹	16.70	21.12	62.18

从地上部分各器官生物量鲜质量来看,这3种箭竹的竹秆所占比例较大,油竹子>华西箭竹>糙

表4

3种箭竹竹秆鲜重与基径的拟合模型

Table 4 The model of culm fresh weight based on BD of three *Fargesia* species

项目	幂函数回归模型	R ²	F	S型曲线回归	R ²	F
油竹子(W ₁)	W ₁ = 0.604B ^{2.331}	0.821	32.184	W ₁ = 1/[7.761 + (-29.385e ^{-B})]	0.839	36.558
华西箭竹(W ₁)	W ₁ = 0.367B ^{2.614}	0.946	121.517	W ₁ = 1/[7.331 + (-22.315e ^{-B})]	0.941	112.407
糙花箭竹(W ₁)	W ₁ = 0.181 B ^{2.63}	0.815	30.876	W ₁ = 1/[4.804 + (-11.414e ^{-B})]	0.825	33.092

表3 3种箭竹各器官生物量(干)的分配

Table 3 Biomass distribution(dry) of over-ground organs in three species of *Fargesia*

种类	器官 生物量鲜质量比例(%)		
	叶(Leaf)	枝(Branch)	秆(Culm)
油竹子	9.31	14.53	76.16
华西箭竹	12.23	13.31	74.46
糙花箭竹	14.85	22.27	62.88

花箭竹,油竹子达到73.88%;竹枝和竹叶的比例较小,其中对竹枝而言,糙花箭竹>油竹子>华西箭竹,就竹叶来看,糙花箭竹>华西箭竹>油竹子。由于含水率的差异,生物量干质量在各器官中的分配比例有所变化,油竹子竹秆所占百分比进一步增大至76.16%,油竹子>华西箭竹>糙花箭竹;枝和叶的比例相应减小,但在枝的水平来看,糙花箭竹竹枝的干重比例与其鲜重比例相比却略有增大,糙花箭竹>油竹子>华西箭竹。就竹叶的干重比例来看,仍是糙花箭竹>华西箭竹>油竹子。

2.2 3种箭竹各器官生物量与基径和竹高拟合结果

油竹子、华西箭竹和糙花箭竹是珍稀濒危动物大熊猫的3种主要食物,为了便于在生产实践中估算这3种箭竹生物量的大小,对油竹子、华西箭竹、糙花箭竹鲜秆质量、地上部分质量与基径(BD)和竹高(H)的相关模型进行拟合,并选择显著性水平较高的幂函数和S型曲线函数方程。基径的拟合结果见表3和表4,竹高的拟合结果见表5和表6。

从表3可以看出,3种箭竹竹秆鲜重与基径的拟合模型均达到显著水平;从表4可以看出油竹子、华西箭竹地上部分鲜重与基径的拟合模型均达到显著水平,而糙花箭竹地上部分鲜重与基径没有相关性;从表5可以看出油竹子竹秆鲜重与竹高的拟合度均达到显著水平,而糙花箭竹竹秆鲜重与竹高的拟合度没达到显著水平,两者之间没有相关性;从表6可以看出,油竹子、华西箭竹地上部分鲜重与竹高的拟合度均达到显著水平,而糙花箭竹地上部分鲜重与竹高的拟合度没有达到显著水平,两者之间没有相关性。

表 5 3 种箭竹地上部分鲜重与基径的拟合模型

Table 5 The model of over-ground organs fresh weight based of BD in three *Fargesia* species

项目	幂函数回归模型	R ²	F	S 型曲线回归	R ²	F
油竹子 (W ₂)	$W_2 = 0.931B^{2.282}$	0.826	33.213	$W_2 = 1 / [8.038 + (-28.98e^{-B})]$	0.856	41.744
华西箭竹 (W ₂)	$W_2 = 0.875B^{2.387}$	0.904	65.921	$W_2 = 1 / [7.437 + (-20.01e^{-B})]$	0.868	45.984
糙花箭竹 (W ₂)	-	0.209	1.855	-	0.204	1.796

表 6 3 种箭竹竹秆鲜重与竹高的拟合模型

Table 6 The model of culm fresh weight based of culm height in three *Fargesia* species

项目	幂函数回归模型	R ²	F	S 型曲线回归	R ²	F
油竹子 (W ₃)	$W_3 = 16.098H^{1.927}$	0.726	18.509	$W_3 = 1 / [7.223 + (-6.993e^{-H})]$	0.73	18.922
华西箭竹 (W ₃)	$W_3 = 5.225H^{2.598}$	0.881	51.977	$W_3 = 1 / [7.305 + (-8.07e^{-H})]$	0.89	56.853
糙花箭竹 (W ₃)	-	0.017	0.124	-	0.07	0.05

表 7 3 种箭竹地上部分鲜重与竹高的拟合模型

Table 7 The model of over-ground organ fresh weight based of culm height in three *Fargesia* species

项目	幂函数回归模型	R ²	F	S 型曲线回归	R ²	F
油竹子 (W ₄)	$W_4 = 22.4278H^{1.91}$	0.748	20.781	$W_4 = 1 / [7.525 + (-6.968e^{-H})]$	0.76	22.216
华西箭竹 (W ₃)	$W_4 = 10.549H^{2.321}$	0.807	29.229	$W_4 = 1 / [7.407 + (-7.215e^{-H})]$	0.816	31.05
糙花箭竹 (W ₃)	-	0.039	0.28	-	0.03	0.217

3 讨论

3.1 3 种箭竹地上部分生物量的分配

有相关研究指出箭竹生物量大于亚热带常绿阔叶林下的灌木层生物量,这表明箭竹属植物在亚高山针叶林生态系统的结构和功能中具有更加重要的作用(杨清培等,2003)。油竹子、华西箭竹和糙花箭竹地上部分生物量(叶、枝、竹秆)是评估森林群落更新和大熊猫承载量的重要指标(马志贵等,1993)。

3.1.1 3 种箭竹各器官的含水率

本研究中的 3 种箭竹各器官的含水率均不相同,说明同属不同种的植物之间的含水率还是存在一定的差异,其中糙花箭竹叶片含水率最高,达到 54.52%;华西箭竹竹秆含水率最低,为 37.50%。油竹子、华西箭竹地上各器官中,叶片含水率最高,竹枝次之,竹秆水分含量最低,这一规律与苏文会(苏文会等,2011)研究的车筒竹、林新春(林新春等,2004)研究的混生竹种苦竹以及张鹏(张鹏等,2009)研究的硬头黄竹变化趋势一致;糙花箭竹地上各器官中,叶片含水率最高,但竹枝与竹秆的含水率却与前两种箭竹有所区别,表现为竹秆含水率 > 竹枝,这一规律与马乃训(马乃训等,1994)等研究的散生竹种红竹变化趋势一致。该差异可能跟采样季节及时间有关,但是否受其他因素的影响还有待进一步研究。

3.1.2 3 种箭竹地上部分各器官生物量的分配

油竹子、华西箭竹和糙花箭竹生物量在各器官的分配对于了解箭竹属植物的冠层结构、生产潜力以及箭竹属植物的生命周期特征有着重要意义(吴福忠等,2005)。本实验研究结果表明,无论是鲜重水平还是干重水平,这 3 种箭竹的竹秆所占地上部分生物量分配是最大的,表明油竹子、华西箭竹、糙花箭竹地上部分大部分生物量集中在秆部。从地上部分各器官生物量鲜重来看,竹秆生物量分配规律在这 3 种箭竹属植物的表现为油竹子 > 华西箭竹 > 糙花箭竹,油竹子竹秆鲜重生物量达到 73.88%;竹枝和竹叶的比例较小,其中对竹枝而言,糙花箭竹 > 油竹子 > 华西箭竹,就竹叶来看,糙花箭竹 > 华西箭竹 > 油竹子。从地上部分各器官生物量干重来看,由于含水率的差异,生物量干质量在各器官中的分配比例有所变化,油竹子竹秆所占百分比进一步增大至 76.16%,油竹子 > 华西箭竹 > 糙花箭竹;枝和叶的比例相应减小,但在枝的水平来看,糙花箭竹竹枝的干重比例与其鲜重比例相比却略有增大,糙花箭竹 > 油竹子 > 华西箭竹;就竹叶的干重比例来看,仍是糙花箭竹 > 华西箭竹 > 油竹子。总的来看,这 3 种箭竹地上部分各器官生物量分配规律均为:秆 > 枝 > 叶。以往的研究认为,箭竹属的各器官生物量比例大小几乎不变(黄华梨,1993),但本研究却表明箭竹属不同种植物各器官生物量所占比例大小是变化的。这种差异可能与采样季节和时间以及这 3 种箭竹的生长状况有关。

3.2 3种箭竹各器官生物量与基径和竹高拟合结果

研究表明,3种箭竹竹秆鲜重与基径的拟合模型均达到显著水平,通过这些模型,我们只要测出竹株的基径,就可方便地估算竹这3种箭竹种群地上部分的鲜重生物量,因此,也就可以估算出该区域作为大熊猫栖息地的承载量。油竹子、华西箭竹竹秆生物量和地上部分生物量与基径和竹高的拟合模型均达到显著水平,而糙花箭竹竹秆生物量、地上部分生物量与基径和竹高的拟合结果均未表现出相关性。糙花箭竹与油竹子和华西箭竹这两者间的差异,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 方炎明. 植物生殖生态学[M]. 济南: 山东大学出版社, 1996, 1~109.
- [2] 李凯辉, 胡玉昆. 天山南坡高寒草地物种多样性及地上生物量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 155~159.
- [3] Guo Q F, Berry W L. Species richness and biomass: dissection of the hump-shaped relationship[J]. Ecology, 1998, 79(7): 2555~2559.
- [4] 施济普, 张光明, 白坤甲, 等. 黄竹侵入对群落生物量及植物多样性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(4): 34~37.
- [5] 冯文和. 大熊猫研究论文集[M]. 四川大学学报专辑, 1991, 7~13.
- [6] 齐泽民, 王开运, 杨万勤, 等. 川西箭竹群落生态学研究[J]. 世界科技研究与发展, 2004, 26(1): 73~78.
- [7] 秦自生, Alan H·Taylor. 大熊猫主食竹类的种群动态和生物量研究[J]. 四川师范学院学报·自然科学版, 1992, 13(4): 268~274.
- [8] Schaller GB, Hu JC, Pan WS. The Giant Panda of Wolong [J]. University of Chicago Press, 1985.
- [9] Schaller GB, Teng QT. Feeding ecology of Giant panda and Asiatic black bear in the Tangjiahe Reserve, China [M], Cornell University Press, 1987.
- [10] 胡锦矗. 抢救受灾大熊猫的关键[J]. 四川动物, 1985, 5(4): 32~34.
- [11] 胡锦矗. 大熊猫的生态地理分布[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 1985, 5(2): 7~15.
- [12] 曾涛, 张聪, 雷开明, 等. 九寨沟大熊猫主食竹生物量模型初步研究[J]. 四川动物, 2012, 31(6): 849~852.
- [13] 范少辉, 刘广路, 苏文会, 等. 闽西北不同类型毛竹林生物量分布格局[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 31(6): 842~847.
- [14] 郝云庆, 江洪, 向成华, 等. 天目山毛竹种群生物量结构[J]. 四川林业科技, 2010, 31(4): 29~33.
- [15] 唐建维, 萧自位, 王小李, 等. 西双版纳不同林龄人工龙竹林的生物量及其模型[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 12: 54~60.
- [16] 翁玉臻, 范少辉, 刘广路, 等. 不同管护类型毛竹林生物量分配格局及土壤理化特征[J]. 四川农业大学学报, 2011, 04: 477~481+498.
- [17] 党坤良, 陈俊娴, 孙飞翔, 等. 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量[J]. 生态学报, 2012, 12: 3816~3824.
- [18] 刘广路, 范少辉, 张大鹏, 等. 撑绿杂交竹分株生物量估算[J]. 四川农业大学学报, 2012, 31(12): 308~312.
- [19] 杨前宇, 谢锦忠, 张玮, 等. 椴竹各器官生物量模型[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(3): 519~526.
- [20] 邹跃国. 花吊丝竹地上部分生物量分配及立竹生态构件关系特征[J]. 福建林业科技, 2011, 38(1): 6~10.
- [21] 顾大形, 陈双林, 郭子武, 等. 四季竹立竹地上现存生物量分配及其与构件因子关系[J]. 林业科学研究, 2011, 24(4): 495~499.
- [22] 王曙光, 普晓兰, 丁雨龙, 等. 云南箭竹地上部分生物量模型研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(1): 141~144.
- [23] 解蕊, 李俊清, 赵雪, 等. 林冠环境对亚高山针叶林下缺苞箭竹生物量分配和克隆形态的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 753~760.
- [24] 潘红丽, 李迈和, 田雨, 等. 2010. 卧龙自然保护区油竹子形态学特征及地上部生物量对海拔梯度的响应[J]. 四川林业科技, 2010, 31(3): 30~36.
- [25] 徐雪娇, 刘济明, 徐国瑞, 等. 不同小生境中小蓬竹的含水率及生物量分配规律[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(10): 163~166.
- [26] 郭子武, 李迎春, 杨清平, 等. 花吊丝竹立竹构件与生物量关系的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(6): 543~548.
- [27] 苏文会, 顾小平, 官凤英, 等. 大木竹种群生物量结构及其回归模型[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(5): 51~54.
- [28] 杨春花, 周小平, 王小明. 卧龙自然保护区华西箭竹地上生物量回归模型[J]. 林业科学, 2008, 44(3): 113~123.
- [29] 杨清, 苏光荣, 段柱标, 等. 版纳甜龙竹种群生物量结构及其回归模型[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 127~134.
- [30] 郑容妹, 郑郁善, 丁闯锋, 等. 苦竹生物量模型的研究[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(1): 61~64.
- [31] 吴福忠, 王开运, 杨万勤, 等. 大熊猫主食竹群落系统生态学过程研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2005, (3): 79~84.
- [32] 吴福忠, 王开运, 杨万勤, 等. 缺苞箭竹密度对其生物量分配格局的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 991~995.
- [33] 冯永辉. 佛坪、长青保护区箭竹属大熊猫主食竹的分布及生物量研究[D]. 西北大学. 2006.
- [34] 李云. 秦岭大熊猫主食竹的分类、分布及巴山木竹生物量研究[D]. 西北大学. 2002.
- [35] 邓玉林, 江心, 杨冬生. 四川盆地慈竹生物量模型及其在丰产培育中的应用[J]. 四川农业大学学报, 1993, 11(1): 145~150.
- [36] 苏智先, 钟章成. 缙云山慈竹种群生物量结构研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 240~252.
- [37] 赵颖, 何兴金, 秦自生, 等. 小寨子沟自然保护区种子植物区

- 系分析[J]. 江西科学, 2004, 22(1): 32~36.
- [38] 彭在清, 林益明, 刘建斌, 等. 福建永春毛竹种群生物量和能量研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 579~583.
- [39] 齐淑艳, 徐文铎, 文言. 外来入侵植物牛膝菊种群构件生物量结构[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2283~2286.
- [40] 郭水良, 张东旭, 徐江余, 等. 北美车前和车前分布格局的分形分析[J]. 生态学杂志, 2002, 21(5): 1~4.
- [41] 杨清培, 李鸣光, 王伯荪, 等. 粤西南亚热带森林演替过程中的生物量与净第一性生产力动态[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2136~2140.
- [42] 马志贵, 王金锡. 亚高山暗针叶林下缺苞箭竹物质循环研究[J]. 四川林业科技, 1993, 14(4): 16~23.
- [43] 苏文会, 范少辉, 刘亚迪, 等. 车筒竹地上生物量分配格局及秆形特征[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 735~740.
- [44] 林新春, 方伟, 俞建新, 等. 苦竹各器官生物量模型[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(2): 52~55.
- [45] 林新春, 方伟, 李贤海, 等. 苦竹种群生物量结构研究[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(2): 26~29.
- [46] 张鹏, 黄玲玲, 张旭东, 等. 滩地硬头黄竹生物量结构及回归模型的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3): 25~28.
- [47] 马乃训, 陈红星, 张文燕, 等. 优良经济竹种红竹生物量的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1994, 13(1): 31~41.
- [48] 黄华梨. 白水江自然保护区糙花箭竹天然林生物量与生产力的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4): 371~377.

(上接第 107 页)

4.2.3 坡向对“普桦 1 号”地径生长的影响

由表 7 中可以看出: 不同坡向对“普桦 1 号”地径多重比较在 0.05 水平上有显著差异。阴坡与半阴坡、半阳坡、阳坡呈显著差异; 半阴坡、半阳坡与阳坡呈显著差异; 半阳坡与阳坡呈显著差异。

表 6 不同坡向对“云旱 2 号”地径多重比较

Table 6 Multiple comparison of diameter of “*Alnus nepalensis* of Yunnan No. 2” in different slope directions

坡向	均值	差值			
		阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡
半阳坡	1.25	0.42*	0.21	0.00	
半阴坡	1.46	0.21	0.00		
阴坡	1.67	0.00			

注: LSD(0.01) = 0.62; LSD(0.05) = 0.40

表 7 不同坡向对“普桦 1 号”地径多重比较

Table 7 Multiple comparison of diameter of “*Betula alnoides* of Pu'er No 1” in different slope directions

坡向	均值	差值			
		阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡
阳坡	0.93	0.46*	0.15*	0.27*	0.00
半阳坡	1.20	0.19*	-0.12*	0.00	
半阴坡	1.08	0.21*	0.00		
阴坡	1.39	0.00			

注: LSD(0.01) = 0.58; LSD(0.05) = 0.11

5 结论

(1) 不同坡向对“云旱 1 号”和“云旱 2 号”的树高有显著影响。平均树高从高到低的顺序是阴坡 > 半阴坡 > 半阳坡 > 阳坡, 阴坡长势最好, 阳坡最差。

(2) 不同坡向对“普桦 1 号”的树高有极显著影响。阴坡平均树高比阳坡高出 12%。

(3) 不同坡向对“云旱 1 号”和“普桦 1 号”的地径有显著影响。阴坡平均地径最大, 阳坡最小。

(4) 不同坡向对“云旱 2 号”的地径有极显著影响。阴坡、半阴坡与阳坡呈极显著差异, 阴坡平均地径最大, 为 3.29 cm, 高出阳坡约 39%。

(5) 旱冬瓜、西南桦是喜光树种, 之所以阴坡比阳坡生长好, 主要是阴坡的温度、水分和湿度条件优于阳坡, 适合苗木的早期生长。

参考文献:

- [1] 郑万钧. 中国植物志第二卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 113~117.
- [2] 云南省林业科学院. 热区造林树种研究论文集[C]. 昆明: 云南科技出版社, 1996.
- [3] 史富强, 杨斌, 陈宏伟. 旱冬瓜育苗技术[J]. 林业实用技术, 2011(2): 30~31.
- [4] 肖庆阳. 油茶造林技术[J]. 现代农业科技, 2012(21): 200~201.