

缺苞箭竹密度对养分元素贮量、 积累与分配动态的影响

吴福忠^{1,3}, 鲁叶江^{1,3}, 杨万勤¹, 王开运^{1,2,*}, 乔匀周^{1,3}, 张春娜⁴

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 华东师范大学, 上海市城市化过程和生态恢复重点实验室, 上海 200062; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 河北理工大学资源与环境学院, 唐山 063009)

摘要:研究了缺苞箭竹(*Fargesia denudate*)-紫果云杉(*Picea purpurea*)原始林下不同密度缺苞箭竹群落的养分元素贮量与分配动态以及养分元素在一个生长季节内的积累量。结果表明:地上、地下部分的 N、P、K、Ca、Mg 贮量均随着箭竹密度的增加而增大,养分元素贮量排序为:K>N>Ca>P>Mg。密度较大的箭竹群落(D₁和 D₂)中,地上部分的 N、P 和 K 贮量大于地下部分,而密度较小的箭竹群落(D₃)中 P 和 K 贮存于地下部分的比例较大,3 个群落中的地下部分 Ca 和 Mg 贮量均大于地上部分,且地下部分的养分元素贮量的比例随着箭竹密度的增加而减少。养分元素的总积累量排序为:K>N>Ca>P>Mg,且地上部分和群落的总积累量随着箭竹密度的增加而增加,总积累率以 D₁ 群落最大,3 个群落的养分元素积累率大小顺序为:Mg>Ca>P>N>K。地下部分(根系和鞭)养分元素贮量比例随着箭竹密度的增加而下降,而地上部分(叶、枝和竹秆)养分元素贮量比例随着箭竹密度增加而上升。密度对缺苞箭竹养分贮量、积累和分配动态有深刻影响。

关键词:缺苞箭竹密度;养分;贮量;积累;分配动态

文章编号:1000-0933(2005)07-1663-07 中图分类号:S718 文献标识码:A

Effects of *Fargesia denudate* density on its nutrient element stocks, accumulation and allocation dynamics

WU Fu-Zhong^{1,3}, LU Ye-Jiang^{1,3}, YANG Wan-Qin¹, WANG Kai-Yun^{1,2,*}, QIAO Yun-Zhou^{1,3}, ZHANG Chun-Na⁴
(1. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041 China; 2. Shanghai Key Laboratory of Urbanization Processes and Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. College of Resources and Environment, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1663~1669.

Abstract: Dwarf bamboo (*Fargesia denudate*), a staple food bamboo for the giant panda, is the dominant synusia of the forest ecosystem in Wanglang National Nature Reserve, which plays an important role in forest ecosystem structure and function. The dynamics of nutrient stocks, accumulation and allocation is one of the most profound ecological processes in the forest ecosystem. Nutrient stocks, accumulation and allocation are regulated ultimately by the density itself besides biotic and abiotic factors. There have been many reports on nutrient cycle in bamboo community, forest regeneration driven by bamboo, bamboo regeneration, and bamboo population dynamics, but there is lack of information about the effects of the bamboo density on the

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90202010);中芬国际合作资助项目(30211130504);中国科学院“百人计划”资助项目(01200108B);国家自然科学基金资助项目(30471378)

收稿日期:2004-11-07; **修订日期:**2005-05-10

作者简介:吴福忠(1981 ~),男,四川犍为人,硕士,主要从事植物群落生态、恢复生态研究。E-mail: wufz@cib.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence; E-mail: wangky@cib.ac.cn

致谢:感谢王朗国家级自然保护区的大力协作、支持和帮助

Foundation item: The Key Projected of National Natural Science Foundation of China (No. 90202010), Sino-Finland International Cooperative Project (No. 30211130504), the Program of 100 Distinguished Young Scientists of Chinese Academy of Sciences (No. 01200108B) and National Natural Science Foundation of China (No. 30471378)

Received date: 2004-11-07; **Accepted date:** 2005-05-10

Biography: WU Fu-Zhong, Master, mainly engaged in plant community ecology and restoration ecology. E-mail: wufz@cib.ac.cn

nutrient stocks, accumulation and allocation. Therefore, in our study, these effects were studied by setting up three bamboo communities with different densities (D_1 with 220 ± 11 stems $\cdot m^{-2}$, D_2 with 140 ± 7 stems $\cdot m^{-2}$, and D_3 with 80 ± 4 stems $\cdot m^{-2}$) beneath a bamboo-fir (*Picea purpurea*) forest, and by harvesting all the bamboo per unit over a growing period (from May to October 2003), analyze the nutrient concentration (N, P, K, Ca and Mg) in bamboo components (leaf, branch, stem, rhizome and root). Considering the complex effects of biotic and abiotic factors on the biomass, the plots were chosen according to the criteria with similar slope, direction, soil parent material and texture, tree canopy, etc, which was the prerequisite to realize the objectives here. The results indicated that all the total, above- and below-ground nutrient stocks increased with increasing stem density, and the order of nutrient stocks was $K > N > Ca > P > Mg$, N, P and K stored in above-ground more than in below-ground in bamboo communities with higher density (D_1 and D_2), but more P and K stored in below-ground bamboo community with lower density (80 ± 4 stems $\cdot m^{-2}$), below-ground system had more Ca and Mg stocks than above-ground in all the three communities, and the ratio of below-ground nutrient stocks decreased with increasing stem density. The total accumulation quantity in bamboo community over one growing period could put in the order of $K > N > Ca > P > Mg$. Furthermore, the total and above-ground nutrient accumulation quantity increased with increasing stem density, the accumulation ratio order was similar in different communities, and it was $Mg > Ca > P > N > K$, the bamboo community with highest density (220 ± 11 stems $\cdot m^{-2}$) had the highest accumulation ratio. The ratio of nutrient storages in below-ground system (root and rhizome) decreased with increasing stem density, nutrient storages in the root were higher than other bamboo components, increased from May to September, and decreased after September over one growing period. Rhizome nutrient storages ratio was highest in May and June, then declined, ascended in the end of growing season (October); there were more N and Mg stored in leaves than other bamboo components except for root, but more P, K and Ca for stems. The nutrient storage in branch was less than other bamboo components. The ratio of nutrient storages in above-ground system (leaf, branch and stem) increased with increasing stem density. Density, therefore, greatly influenced the nutrient stocks, accumulation and allocation dynamics of the dwarf bamboo community.

Key words: *Fargesia denudate*; nutrient stock; nutrient accumulation; nutrient allocation; monthly dynamics

养分在植株体内的贮量不仅直接关系到植株自身的生长状况,而且与群落内养分循环格局密切相关^[1]。养分的积累与分配过程是群落中最为基本的生态学过程之一,同时也是群落系统内养分收支情况的一个重要指标^[2, 3]。对森林群落养分贮量、积累与分配过程的研究有助于理解群落的适应机制与最适养分循环理论^[4, 5]。迄今为止,国内外有关森林群落养分的研究很多,但大多数研究主要针对于受人类影响较大的人工林^[6]或研究条件便宜的自然林^[7, 8],而对受人类活动影响较小的高寒地区自然森林群落的研究较为少见^[9],并且过去的研究更多地关注于群落的优势层片树种,而对在群落的结构和功能中起重要作用的林下植物层片的研究报道极为少见。

作为“国宝”大熊猫在该区的主要食物^[10]和王朗亚高山针叶林群落下的优势层片^[11],缺苞箭竹在森林生态系统的物流和能流过程中扮演着重要的角色,并深刻地影响着整个森林群落的更新和演替^[12]。由于竹类植物特殊的克隆生长方式与觅养方式^[13],其群落密度与群落中养分资源的利用密切相关,因而可能是影响整个系统养分贮量、积累与分配过程的重要因素。然而,这一方面的研究还未见报道。因此,本文以王朗自然保护区内缺苞箭竹(*Fargesia denudate*)-紫果云杉(*Picea purpurea*)原始林下不同密度缺苞箭竹为研究对象,研究了一个生长季节内,缺苞箭竹密度对养分贮量、积累与分配过程的影响,以期对缺苞箭竹群落生态学过程的深入研究和大熊猫及其栖息地的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域和样地概况

王朗自然保护区($103^{\circ}55' \sim 104^{\circ}10' E$, $32^{\circ}49' \sim 33^{\circ}02' N$, 海拔 2300~4980 m)位于四川省平武县内,地处青藏高原-四川盆地的过渡地带,属于丹巴-松潘半湿润气候。受季风影响,该地区形成干湿季差异,干季(11月~翌年4月份)表现为日照强烈,降雨少,气候寒冷,空气干燥的特点;湿季(5~10月份)的气候特征为降雨集中,多云雾,日照少,气候暖湿。年平均气温 $2.5 \sim 2.9^{\circ}C$ (最高气温 $26.2^{\circ}C$, 最低气温 $-17.8^{\circ}C$), 7月份平均气温 $12.7^{\circ}C$, 1月份平均气温 $-6.1^{\circ}C$, 年降雨量 805.2mm。森林类型主要包括原始冷云杉林、针阔混交林、桦木林以及人工针叶林等。森林土壤主要为山地暗棕壤^[14]。

研究样地设置在紫果云杉-缺苞箭竹过熟原始针叶林群落内群落特征如表1所示。群落内年降水量约为 825mm, 年平均气温 $1.2^{\circ}C$ 。郁闭度为 0.7, 林龄约为 350 年。乔木层主要由紫果云杉和方枝柏(*Sabina saltuaria*)组成。灌木层主要由缺苞箭竹组成, 盖度大于 95%, 株高 100~250 cm, 基径和节数分别为 4.00~9.50 mm 和 10~27 节。此外, 零星分布有西南卫矛(*Euonymus*

hamiltonianus)、华西忍冬(*Lonicera webbiana*)、冰川茶藨子(*Ribes glacile*)、秀丽莓(*Rubus amabilis*)以及紫果云杉幼苗等植物种类,其总体盖度不超过 5%。

表 1 样地概况
Table 1 General situation in the plot

样地 Plot	经纬度 Latitude and longitude	海拔(m) Altitude	坡向/坡度 Slope/Aspect	群落类型 Forest type	土壤类型 Soil type	土壤特性 Soil properties		
						土壤深度(cm) Soil depth	容重(g/cm ³) Bulk density	砾石含量(%) Gravel content
竹根岔 Zhugencha	104°05'E 32°59'N	2920	NE30°/28°	紫果云杉-缺苞箭竹群落 <i>P. purpurea</i> - <i>F. denudate</i> community	暗棕壤 Dark brown soil	0~10	0.39±0.02	0
						10~20	0.67±0.03	4.8±2.1
						20~30	0.88±0.03	13.1±3.0

1.2 实验设计

基于对研究区域内箭竹分布和生长状况的样方调查,选取环境条件(土壤类型与结构、坡向、坡度等),特别是乔木层组成与结构基本一致,但箭竹密度不同的固定样地(10×10m²)3 个[密度 1(*D*₁),220±11 株/m²;密度 2(*D*₂),140±7 株/m²;密度 3(*D*₃),80±4 株/m²],3 个密度缺苞箭竹根据年龄不同株高为 110~250cm,基径为 3.60~10.20mm。其中 *D*₁ 与 *D*₂ 相隔约 10m, *D*₂ 与 *D*₃ 相隔约 15m。2003 年 5~10 月每月 25 日左右在每个密度内随机选取 5 个 1×1m² 的标准小样方。采用收获法将样方内所有的箭竹地下部分(根系和地下茎)和地上部分(竹杆、枝、叶)全部采集,在 70℃烘箱中烘至恒重,称重。制样后过 1mm 筛以备养分元素分析。

各器官植物样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮(微波消煮系统:Milestone,Italy)后测定 N、P、K、Ca 和 Mg 含量。N 含量采用靛酚蓝比色法测定;P 含量采用钒钼黄比色法测定^[15];K、Ca、Mg 含量采用 ICP 元素分析仪(Atomscan Advance, America)分析测定。以上所有分析均做 3 个重复。

1.3 计算与统计分析

根据单位面积上缺苞箭竹生物量与养分含量计算不同密度下每平方米缺苞箭竹养分贮量与 2003 年生长季节内积累量。多样本的方差检验(ANOVA)比较不同密度间缺苞箭竹群落养分贮量、积累量与各器官养分分配动态差异。

2 结果与分析

2.1 缺苞箭竹密度对养分元素贮量的影响

表 2 和表 3 分别为截止 2003 年生长季节末,3 个群落缺苞箭竹 N、P、K、Ca 和 Mg 的含量与贮量。如表 2 所示,3 个群落缺苞箭竹各器官养分含量均以叶片最高,而以竹杆最低。且各器官养分含量随着密度的增加而降低。从表 3 中可以看出缺苞箭竹地上、地下部分的 N、P、K、Ca 和 Mg 贮量均随着箭竹密度的增加而增大,并且地下部分的贮量所占的比例都随着箭竹密度的增加而减少。3 个群落的养分元素贮量排序为:K>N>Ca>P>Mg。*D*₁ 和 *D*₂ 群落地上部分的 N、P 和 K 贮量高于地下部分,但 *D*₃ 群落地上部分的 P 和 K 贮量低于地下部分,而对于 Ca 和 Mg 贮量,3 个群落均以地下部分较大。

表 2 不同密度(*D*₁、*D*₂、*D*₃)箭竹各器官的养分元素含量

Table 2 The nutrient concentration of bamboo components in three communities with different bamboo densities(*D*₁, *D*₂ and *D*₃)

密度 Density	组分 Component	养分含量 Nutrient concentration(g/kg)				
		N	P	K	Ca	Mg
<i>D</i> ₁	叶 Leaf	17.82	2.1	8.46	5.76	0.65
	枝 Branch	4.76	1.23	4.07	1.01	0.43
	竹杆 Stem	2.19	1.35	3.56	0.67	0.046
	鞭 Rhizome	2.35	1.34	6.08	1.14	0.34
	根系 Root	4.76	2.02	5.48	3.53	0.68
<i>D</i> ₂	叶 Leaf	18.39	1.97	8.59	6.17	0.69
	枝 Branch	5.12	1.48	4.41	1.37	0.43
	竹杆 Stem	2.37	1.38	3.94	0.48	0.059
	鞭 Rhizome	2.12	1.37	6.39	1.21	0.37
	根系 Root	5.03	2.31	6.33	3.75	0.79
<i>D</i> ₃	叶 Leaf	21.39	2.36	8.67	5.95	0.78
	枝 Branch	5.42	1.65	4.74	1.48	0.45
	竹杆 Stem	2.46	1.26	5.05	0.78	0.07
	鞭 Rhizome	2.54	1.49	6.91	1.39	0.39
	根系 Root	5.34	2.43	7.1	3.96	0.87

2.2 缺苞箭竹密度对养分元素积累的影响

不同密度下缺苞箭竹的 N、P、K、Ca 和 Mg 养分元素在 2003 年生长季节内的积累量如表 4 所示。3 个群落的养分元素总积累量排序均为:K>N>Ca>P>Mg,各养分元素总积累量随着箭竹密度的增加而增加,其中以 N、P 表现最为显著,并且总积累率也以箭竹密度最大的群落(D_1)群落最大,3 个群落养分元素积累率排序基本一致,表现为:Mg>Ca>P>N>K。各养分元素地上部分积累量也随着箭竹密度的增加而增加。

表 3 不同密度(D_1 、 D_2 、 D_3)箭竹群落的养分元素贮量

Table 3 The stock of nutrients in bamboo communities with different densities (D_1 , D_2 and D_3)							
密度 Density	组分 Component	生物量 Biomass (kg/m ²)	养分元素贮量 Nutrient stocks (g/m ²)				
			N	P	K	Ca	Mg
D_1	地上部分 Above-ground	7.57	30.39a	10.53a	30.73a	9.07a	1.17a
	SD	0.72	5.72	1.68	3.28	1.07	0.14
	地下部分 Below-ground	5.64	16.46a	7.53a	24.48a	11.16a	2.34a
	SD	0.47	1.87	0.95	2.77	1.09	0.25
	总计 Total	15.06	46.79a	18.05a	55.21a	20.23a	3.52a
	SD	1.94	8.57	2.92	9.06	3.17	0.52
D_2	地上部分 Above-ground	4.12	17.95b	5.86b	18.09b	4.85b	0.75b
	SD	0.42	2.69	0.94	1.89	0.71	0.095
	地下部分 Below-ground	4.21	9.12b	4.17b	15.10b	6.43b	1.46b
	SD	0.23	0.96	0.97	1.25	0.60	0.16
	总计 Total	8.33	27.06b	10.05b	33.22b	11.29b	2.24b
	SD	0.89	4.64	1.54	4.15	1.01	0.27
D_3	地上部分 Above-ground	1.97	8.99c	2.67c	10.07c	2.63c	0.36c
	SD	0.26	0.99	0.32	1.04	0.27	0.033
	地下部分 Below-ground	2.29	7.75c	3.68b	11.95c	5.51b	1.25c
	SD	0.13	0.83	0.29	0.93	0.45	0.11
	总计 Total	4.27	16.74c	6.33c	21.97c	8.14c	1.61c
	SD	0.38	1.63	0.81	2.17	0.74	0.15

不同字母代表密度之间的显著差异 ($p<0.05$, $n=5$) Different letters within a coloumn indicate the significant differences among the densities ($p<0.05$, $n=5$)

表 4 不同密度(D_1 、 D_2 、 D_3)箭竹群落的养分元素在生长季节内的积累量

Table 4 The accumulation of nutrients in bamboo communities with different densities (D_1 , D_2 and D_3)							
密度 Density	组分 Component	养分的积累量 Nutrient accumulation (g/(m ² ·a))					
		N	P	K	Ca	Mg	
D_1	地上部分 Above-ground	10.26a(50.99%)	4.68 a(80.04%)	11.24a(57.66%)	0.41a(82.64%)	0.027a(29.65%)	
	SD	0.37	0.71	2.14	0.13	0.012	
	地下部分 Below-ground	1.99a(13.83%)	1.40a(22.91%)	2.62a(12.06%)	3.05a(37.59%)	1.18a(10.05%)	
	SD	0.073	0.32	1.33	0.57	0.13	
	总计 Total	12.26a(35.49%)	6.08a(50.82%)	13.86a(33.56%)	7.16a(54.70%)	1.46a(69.68%)	
	SD	4.49	1.03	3.47	1.93	0.25	
D_2	地上部分 Above-ground	7.40b(70.25%)	2.58b(78.17%)	7.44b(69.88%)	2.60b(87.08%)	0.29a(62.15%)	
	SD	0.78	0.14	0.48	0.33	0.013	
	地下部分 Below-ground	-2.74b(-22.83%)	0.80b(23.87%)	-2.01b(-11.75%)	1.56b(24.4%)	0.32b(27.52%)	
	SD	0.46	0.23	0.62	0.071	0.021	
	总计 Total	4.70b(21.04%)	3.38b(22.20%)	5.43b(19.57%)	4.44b(27.51%)	0.61b(37.42%)	
	SD	0.32	0.38	0.13	0.27	0.023	
D_3	地上部分 Above-ground	3.41c(60.89%)	1.08c(69.08%)	4.56c(83.78%)	1.27c(93.17%)	0.097b(34.77%)	
	SD	1.07	0.087	0.33	0.22	0.031	
	地下部分 Below-ground	-0.27c(-3.33%)	0.31c(9.18%)	0.29c(2.44%)	1.39c(33.60%)	0.52c(68.70%)	
	SD	0.089	0.002	0.052	0.072	0.032	
	总计 Total	3.14c(23.05%)	1.39c(28.19%)	4.85b(21.35%)	2.65b(48.37%)	0.604b(59.69%)	
	SD	1.16	0.08	0.37	0.14	0.014	

括号内为养分积累率;不同字母代表密度之间的显著差异 ($p<0.05$, $n=5$) in a growing season; Accumulate rate in the bracket; Different letters within a column indicate the significant differences among the densities ($p<0.05$, $n=5$)

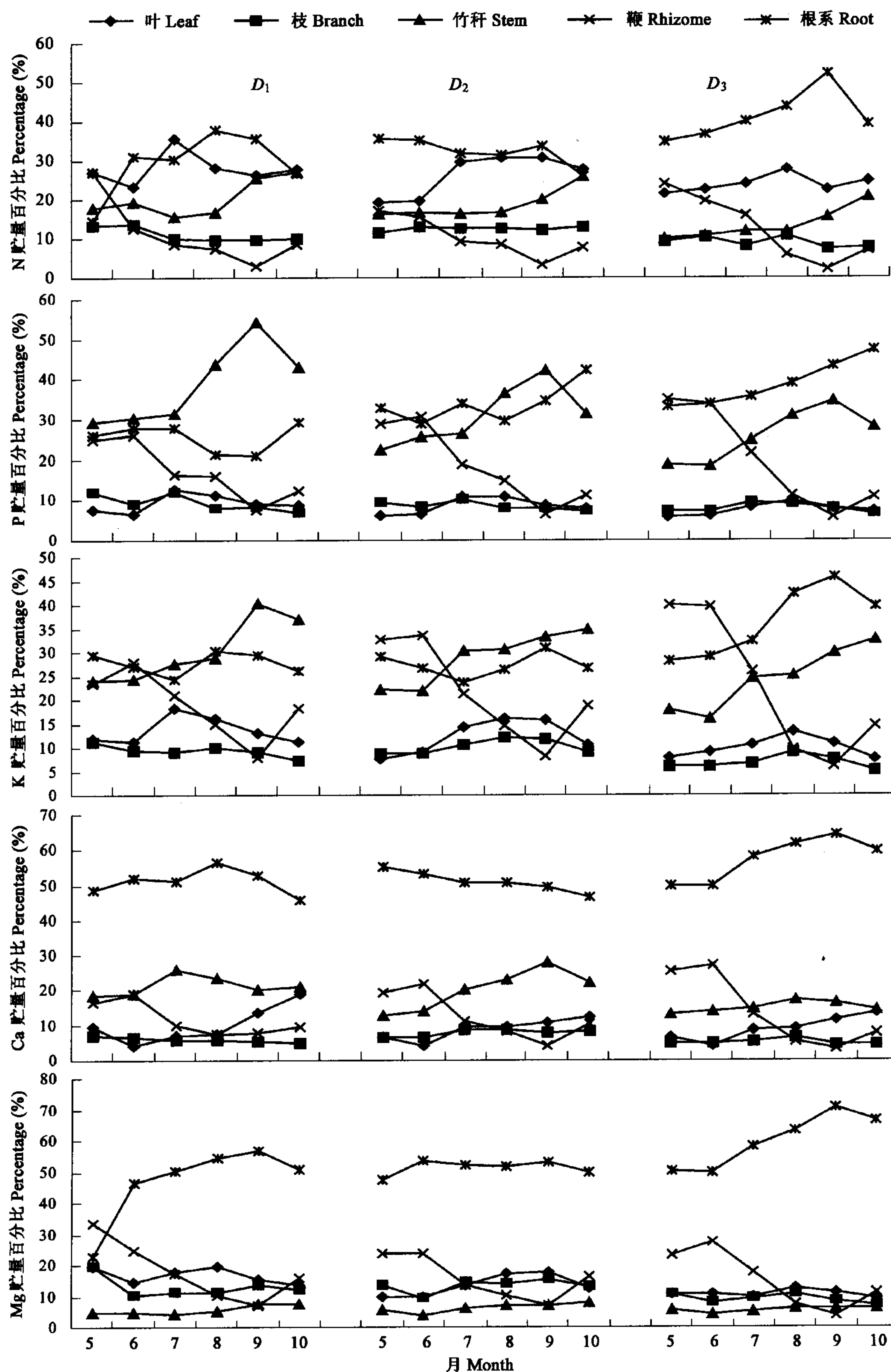


图1 2003年5~10月,3个不同密度(D_1 、 D_2 和 D_3)缺苞箭竹各器官养分元素贮量占总贮量百分比动态

Fig. 1 Monthly dynamics on percentage of nutrients stock in different dwarf bamboo components with different densities (D_1 , D_2 and D_3) from May to October, 2003

2.3 缺苞箭竹密度对养分元素贮量分配的影响

图1为3个密度缺苞箭竹群落的N、P、K、Ca、Mg贮量在箭竹不同器官分配比例的月动态。在整个生长季节内,地下部分(根系和鞭)的养分贮量比例随箭竹密度增加而下降。五大养分元素在根系中的贮量比例都相对较大,在一个生长季节内各养分

元素在根系中的贮量比例动态均表现出 5、6 月份稳定,7、8、9 月份上升,10 月份以后下降的过程,而且箭竹密度越小动态特征越明显。相对于根系,鞭中养分元素贮量比例在 5、6 月份最高,7、8、9 月份急剧下降,10 月份以后略有上升,其动态规律并无明显的密度差异。与地下部分相反,地上部分(叶、枝、竹秆)养分元素贮量比例随着箭竹密度增加而上升。叶片中 N 和 Mg 的贮量比例相对较高, D_1 箭竹群落 N、Mg 贮量比例最高值出现在 7 月,而 D_2 和 D_3 箭竹群落最高值出现在 8 月。枝中养分元素贮量比例较小,在生长季节内的月动态规律与叶基本一致。竹秆中的 P、K 和 Ca 贮量比例相对较大,竹秆中养分元素贮量比例在生长季节内的月动态规律不明显。

3 讨论与结论

植物群落内的养分贮量主要由植株生物量和养分含量决定,是植物生长潜力的重要指标。本项研究中,缺苞箭竹各器官养分含量随着密度的增加而降低,而生物量随着箭竹密度的增加而升高。这主要有两方面原因:一方面可能是由于箭竹密度较大的群落,干物质积累较多,从而在一定程度上稀释了养分元素^[9];另一方面可能是由于研究地区中箭竹群落仍然处于生长阶段。由于箭竹密度影响到决定养分元素贮量的两个主要因素,因而箭竹密度也深刻影响到群落内养分元素的贮量。在本项研究结果中,缺苞箭竹群落内养分元素贮量随着箭竹密度的增加而增加,并且地上部分 N、P、K 在较大密度(D_1 和 D_2)箭竹群落的贮量大于过去李承彪对同一地区箭竹群落的研究^[16],这从另一方面表明了缺苞箭竹的养分积累与生长过程。3 个箭竹群落均以 K 元素贮量最大,而刘兴良等对川西人工林灌木层的研究表明,川西人工林灌木层以 N 贮量最大^[17]。这可能是因为本项研究中上层乔木郁闭度较大,竹冠淋溶作用较小。N、P、K 在植株体内的移动能力较强,主要集中在地上部分生长活跃器官,而 Ca、Mg 元素移动性较弱,且主要由地下部分吸收^[18],所以地下部分所占比例较大。这种养分分配方式提高了养分利用效率,特别对高寒地带植株的良好生长有着重要意义。由于缺苞箭竹特殊的克隆生长方式,即通过鞭的营养生长进行繁殖,因此,单位面积的地下部分生物量所占总生物量的比例随着箭竹密度的增加而减少,因此各养分元素贮存于地下部分的比例也随着箭竹密度的增加而减少。

缺苞箭竹养分元素在生长季节内积累量排序为: $K > N > Ca > P > Mg$ 。这与其他研究者在其它地区对其它种类的研究结果相一致^[19, 20]。N、P、K、Ca、Mg 在生长季节内的地上部分积累量与总积累量均随着箭竹密度的增加而增加,其中以 N 和 P 两种元素表现最为显著。这一方面是因为缺苞箭竹群落还处于比较旺盛的生长阶段,另一方面可能是因为克隆植物特殊的觅养方式,使得密度较大的箭竹群落更具有竞争力,更能在较大范围内获取养分。此外,也可能与 N 和 P 两元素是限制缺苞箭竹生长的主要养分因子有关,这与过去的研究结论是一致的^[17]。

植物群落内的养分元素贮量在植株各器官的分配动态过程是植物群落系统重要的生态学过程。本项研究结果表明:由于植株各器官的功能不同,导致养分元素在各器官的分配动态也不一致。根系是箭竹吸收养分元素的主要器官,N、P、K、Ca、Mg 贮量都较大,并且在缺苞箭竹地上部分的生长过程中,即生长季节内,养分元素在根系中的贮量比例表现为:生长萌动期(5、6 月份)较为稳定、指数生长期(7、8 月份)和稳定期(9 月份)上升、生长停滞期(10 月份)后下降的过程,箭竹密度越小动态规律越显著。这是因为缺苞箭竹群落地上部分生物生产量随着箭竹密度的下降而降低。竹鞭不仅是缺苞箭竹的繁殖器官,而且也是缺苞箭竹贮存养分的主要器官,主要为箭竹的生长供给养分,因而相对于根系,竹鞭的养分元素贮量比例在生长季节内的动态特征明显不同,表现为 5、6 月份养分元素贮量比例最大,7~9 月份随着地上部分的生长急剧下降,10 月份以后为来年孕笋、生长作准备,积累养分,养分元素贮量比例有所上升的过程。叶片是缺苞箭竹进行光合作用的重要器官,N 和 Mg 元素相对贮量较大,这主要是因为 N 元素是各种酶的组成成分,而 Mg 元素是叶绿素的重要成分。并且在箭竹密度较大的群落以 7 月份养分元素贮量比例最高,而箭竹密度较小的群落以 8 月份最高。这可能与箭竹密度较小,枝叶脱落时间较晚有关。枝中各养分贮量比例较小,动态变化规律与叶基本一致。竹秆是缺苞箭竹的支撑器官,适应其功能特征,P 和 Ca 贮量比例相对较大。总的来说,由于地下部分(根系和鞭)生物量所占比例随着箭竹密度增加而减少,其养分贮量比例也随着箭竹密度增加而下降,但地上部分(叶、枝和竹秆)反之。这种养分分配方式是缺苞箭竹适应高寒地区林下生活环境的一种适应机制,同时也反映了缺苞箭竹作为克隆植物的特殊生长方式。

综上所述,由于本项研究中摒弃了乔木层对缺苞箭竹群落的影响,使得缺苞箭竹成为控制整个灌层以下群落能流、物流的主要因子。通过本项研究表明,缺苞箭竹密度对群落养分贮量、积累和分配动态过程有深刻影响。因此,缺苞箭竹密度在很大程度上影响到整个群落系统的能流、物流过程。这为深入了解川西亚高山自然生态系统生态过程提供了一个新的思路,为制定更好地保护亚高山脆弱生态系统、大熊猫及其栖息地的政策措施提供了一定的科学依据。

References:

- [1] Rawat Y S, Singh J S. Structure and function of Oak forests in Central Himalaya. *Annals of Botany*, 1988, **61**: 397~411.
- [2] Das A K, Ramakrishnan P S. Above ground biomass and nutrient contents in an age series of Khasi pine (*Pinus kesiya*). *Forest Ecology*

- and Management*, 1987, **18**(2): 61~72.
- [3] Shanmughavel P, Sha L, Zheng Z, *et al.* Nutrient cycling in a tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, Southwest China. Part 1: Tree species; nutrient distribution and uptake. *Bioresource Technology*, 2001, **8**: 163~170.
- [4] Bargali S S, Singh R P, Singh S P. Structure and function of an age series of Eucalyptus plantations in Central Himalaya II. Nutrient dynamics. *Annals of Botany*, 1992, **69**: 413~421.
- [5] Swamy S L, Puri S, Singh A K. Growth, biomass, carbon storage and nutrient distribution in *Gmelina arborea* Roxb. stands on red lateritic soils in central India. *Bioresource Technology*, 2003, **90**: 109~126.
- [6] Yang Y S, Guo J F, Chen G S, *et al.* Effect of slash burning on nutrient removal and soil fertility in Chinese fir and evergreen broadleaved forests of mid-subtropical China. *Pedosphere*, 2003, **13**(1): 87~96.
- [7] Somarriba E, Kass D. Estimates of above-ground biomass and nutrient accumulation in *Mimosa scabrella* fallow in southern Brazil. *Agronomy Forestry System*, 2001, **51**: 77~84.
- [8] Fu H, Chen A G. Accumulation of Above-ground biomass and nutrients in swidden follows: A comparison between planted alder fallows and unmanaged grassy fallows in Yunnan. *Acta Ecologica Sinica*, **24**(2): 209~214.
- [9] Yang W Q, Wang K Y, SEPPO K. Monthly variations on macronutrients in litters of three subalpine forests in the western Sichuan. *Pedosphere*, 2005, **15**.
- [10] Hu J C. *Research on the Giant Panda*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Education Press, 2001. 1~13.
- [11] Taylor A H, Qin Z S. Culm dynamics and dry matter production of bamboos in the Wolong and Tangjiahe giant panda reserves, Sichuan, China. *Journal of Applied Ecology*, 1987, **24**: 419~433.
- [12] Shen G Z, LI J Q, Jiang S W. Structure and Dynamics of subalpine forests in giant panda habitat. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(6): 1294~1299.
- [13] Liu Q. *Study on Population Ecology of Clonal Plant in Pleioblastus maculate*. Chengdu: Chengdu Institute of Science and Technology Press, 1999. 9~18.
- [14] Wang K Y, Yang W Q, Song G Y, *et al.* *Processes of Subalpine Forest Ecosystem in Western Sichuan*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2004. 16~28.
- [15] Lu R K. *Soil and Agro-chemical Analytical Methods*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 318~379.
- [16] Li C B. *A Study of Staple Food Bamboo for the Giant Panda*. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1997. 192~217.
- [17] Liu X L, Su Y M, Xiang C H, *et al.* Concentration, storage and allocation of nutrient element in *Picea balfouriana* plantation of west Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, **37**(4): 10~18.
- [18] Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual review of ecology and systematics*, 1980, **11**: 233~260.
- [19] Alfred E H. Biomass and nutrient accumulation of *Piper aduncum* and *Imperata cylindrica* fallows in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Forest Ecology and Management*, 2001, **144**: 19~32.
- [20] He C Q, Zhao K Y. The accumulation, allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2074~2080.

参考文献:

- [8] 付洪, 陈爱国. 云南省自然休闲地与桉木休闲地地上生物量与养分蓄积量的研究. *生态学报*, **24**(2): 209~214.
- [10] 胡锦涛. 大熊猫的研究. 上海: 上海科技教育出版社, 2001. 1~13.
- [12] 申国珍, 李俊清, 蒋仕伟. 大熊猫栖息地亚高山针叶林结构和动态特征. *生态学报*, 2004, **24**(6): 1294~1299.
- [13] 刘庆. 斑苦竹无性系种群生态学研究. 成都: 成都科技大学出版社, 1999. 9~18.
- [14] 王开运, 杨万勤, 宋光煜, 等. 川西亚高山森林群落生态系统过程. 成都: 四川科技出版社, 2004. 16~28.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 318~379.
- [16] 李承彪. 大熊猫主食竹研究. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997. 192~217.
- [17] 刘兴良, 宿以明, 向成华, 等. 川西云杉人工林养分含量、贮量及分配的研究. *林业科学*, 2001, **37**(4): 10~18.
- [20] 何池全, 赵魁义. 毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征. *生态学报*, 2001, **21**(12): 2074~2080.