

川滇高山栎灌丛营养元素积累与生物循环特征

谢 静^{1,2}, 朱万泽^{2*}, 周 鹏^{1,2}, 赵 广^{1,2}, 王尧尧^{1,2}

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 养分循环是森林生态系统的重要生态功能。以位于青藏高原东南缘的川西折多山东坡川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)灌丛为研究对象, 分析了其营养元素的分布、积累和生物循环特征。结果显示: (1) 川滇高山栎不同器官营养元素含量不同, 叶片和枝条为 $N > K > Ca > Mg > P$, 树干和地下器官为 $Ca > K > N > Mg > P$ 。(2) 川滇高山栎灌丛生态系统各营养元素总贮量 (kg/hm^2) 依次为: $Ca(650.06)$ 、 $N(252.67)$ 、 $K(197.01)$ 、 $Mg(51.18)$ 、 $P(49.22)$, 其中川滇高山栎灌层储量占 88.61%~96.10%, 林下草本层占 0.64%~4.22%, 凋落物层占 2.54%~9.25%。(3) 川滇高山栎灌层营养元素主要储存于地下根系, 占灌层的 67%~81%, 丰富的根系营养元素储量有利于川滇高山栎灌丛在遭受火烧、砍伐等干扰后萌生更新。(4) 川滇高山栎灌丛营养元素年积累量 [$kg/(hm^2 \cdot a)$] 依次为: $Ca(20.82)$ 、 $N(7.46)$ 、 $K(6.12)$ 、 $P(2.33)$ 、 $Mg(1.55)$; 灌丛营养元素利用系数为 0.09, 循环系数为 0.60, 周转时间为 22.87a。研究表明, 川滇高山栎灌丛具有较低的营养元素利用率和较长的营养元素周转期。

关键词: 折多山; 川滇高山栎; 营养元素; 贮量; 年积累量; 生物循环

中图分类号: Q146

文献标志码: A

Accumulation and Biological Cycling of Nutrient Elements in *Quercus aquifolioides* Shrublands

XIE Jing^{1,2}, ZHU Wanze^{2*}, ZHOU Peng^{1,2}, ZHAO Guang^{1,2}, WANG Yaoyao^{1,2}

(1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In natural and man-made protected plantations, cycling of nutrient is an important aspect as significant amounts of nutrients are returned to the soil through litter fall and become available for reabsorption. Nutrient distribution, accumulation and cycling of *Quercus aquifolioides* shrublands in the eastern slope of the Zheduo mountain were studied. The results showed that: (1) Nutrient concentration differed somewhat according to components. The nutrient elements patterns were $N > K > Ca > Mg > P$ in leaf and branch components and $Ca > K > N > Mg > P$ in stem and belowground components. (2) The total nutrient standing stocks were estimated to be (kg/hm^2): $N(252.67)$, $P(49.22)$, $K(197.01)$, $Ca(650.06)$, and $Mg(51.18)$. The proportions of these nutrients distributed in the shrub component, herb component and litter component were 88.61%~96.10%, 0.64%~4.22% and 2.54%~9.25%, respectively. (3) Most of the nutrients in *Q. aquifolioides* shrub were distributed in the belowground components (67%~81%). The abundant nutrient reserve in roots favored for resprouting of *Q. aquifolioides* after fire and coppicing. (4) The nutrient annual accumulations in the shrubs were [$kg/(hm^2 \cdot a)$]: $Ca(20.82) > N(7.46) > K(6.12) >$

收稿日期: 2014-01-02; 修改稿收到日期: 2014-03-07

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划专题(2011BAC09B04-02-04); 国家自然科学基金(30872017); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-309)

作者简介: 谢 静(1988—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事森林生态研究。E-mail: xiejing-88@163.com

* 通信作者: 朱万泽, 研究员, 主要从事森林生态研究。E-mail: wzzhu@imde.ac.cn

$P(2.33) > Mg(1.55)$. The nutrient utilization coefficient of the five elements was estimated to be 0.09, and the nutrient cycling coefficient to be 0.60, and the nutrient recycling period was also estimated. The nutrient use efficiency of *Q. aquifolioides* shrublands was low and the recycling period of nutrient was long.

Key words: Zheduo Mountain; *Quercus aquifolioides*; nutrient elements; storage; annual accumulation; biological cycling

森林生态系统中的养分循环是维持森林结构和功能的重要因素^[1-2]。一些植物组分(如叶片、枝条、果实、根系)在生长过程中回归到土壤,通过土壤微生物活动分解返回到土壤中供植物进行再吸收利用^[3-4]。营养元素的循环与平衡直接影响着生产力的高低和生态系统的稳定与持续^[5]。森林生态系统营养元素的生物循环与碳循环关系密切,对全球变化、生物多样性、恢复生态学等方面的研究具有重要作用^[6]。

全球变化背景下的高海拔森林生态系统的演变及其机制成为生态学关注的热点之一^[7]。高海拔地区植被生态系统对全球气候变化响应较为敏感^[8],其未来气温变化被认为比全球其它地区更为剧烈^[9]。目前森林生态系统营养元素生物循环的研究大多集中在低海拔地区人工林,而对高海拔地区森林生态系统研究相对较少^[10-12]。McDonald 等报道了蓝山山脉次生林的营养循环,分析了次生林恢复过程中的养分循环动态^[13]。罗辑等报道了贡嘎山天然林的营养元素生物循环特征,不同森林类型的营养元素积累量、存留量、归还量差异明显,冷杉(*Abies fabri*)林保持 N、P、K 的能力较强,但循环速率较低^[6]。Wei 等报道了长白山 5 种植被类型 N、P 贮量的显著性差异。理解森林植被的养分积累及其生物循环规律有助于认识森林生态系统生产力形成机制^[14]。

由栎属(*Quercus*)高山栎类植物组成的硬叶常绿阔叶林是中国植被一个很特殊的类型,广泛分布于横断山区,是横断山区主要森林生态系统类型之一^[15]。组成硬叶常绿阔叶林的高山栎中,以川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)分布范围最广、分布面积最大、分布海拔最高(最高可达 4 600 m),大多分布于高山峡谷地区的阳坡和半阳坡,常常形成这些地区的顶级群落^[16],对横断山区高海拔地区脆弱生态系统稳定性的维持、水源涵养和水土保持具有十分重要的生态功能。目前国内外川滇高山栎的研究主要侧重于分类学、生理学、生态学、遗传学等方面^[17-20],营养元素研究仅见高山栎灌丛的叶片营养元素和萌生初期营养动态的报道^[21-22],尚缺乏成熟

林的营养元素分布、积累及生物循环特征的研究报道。了解森林生态系统中植物和土壤之间营养元素和生物循环是森林管理的基础^[23]。本试验以川滇高山栎灌丛为研究对象,探讨其营养元素分布、积累及生物循环的特征,以期当地高山栎灌丛保护和管理提供理论依据和积累基础数据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东南缘的四川省甘孜州康定县折多山东坡($29^{\circ}50' \sim 30^{\circ}16'N$, $101^{\circ}41' \sim 102^{\circ}06'E$),高山峡谷地貌,属青藏高原亚湿润气候,常年无夏,冰雪期长,高原气候特征明显;年平均气温 $7.1^{\circ}C$,最高温度 $28.9^{\circ}C$,最低温度 $-14.7^{\circ}C$,日照时数 1 712 h;年平均降水量 804.5 mm,降水分布不均,5~9 月降水量占全年降水量的 77.2%,降雪主要集中于 11 月至次年 4 月。川滇高山栎主要分布在海拔 2 850~3 970 m 的阳坡地带,且几乎成纯林,为建群种,灌丛内混有少量川西云杉(*Picea balfouriana*)、白桦(*Betula platyphylla*)等。林下土壤为山地棕壤,厚度约为 50 cm,草本发育较差。

1.2 野外采样

试验地位于海拔 3 300 m 地带($29^{\circ}59'41''N$, $101^{\circ}54'4''E$)的阳坡,坡度 30° 。土壤为山地棕壤,厚度 60 cm,土壤 pH 值为 6.04~6.83,土壤有机质含量 24.85 g/kg;全氮含量为 1.28 g/kg,水解氮含量为 119.70 mg/kg;全磷含量为 0.1 g/kg,有效磷含量为 12.78 mg/kg;全钾含量为 21.99 g/kg,速效钾含量为 143.8 mg/kg;全钙含量为 3.15 g/kg;全镁含量为 0.26 g/kg^[24]。川滇高山栎为 20 世纪 70 年代末火烧形成的萌生灌丛,树龄约为 35 年,树高 1.6~3.5 m,郁闭度 0.85,密度为 3 500 丛/hm²。选择人为干扰较少、长势较为一致、灌丛密度相近的川滇高山栎纯林,设置 6 个 10 m×10 m 样地,样地之间相距 10 m,以避免由于破坏性植物取样引起的相互影响。采用常规方法对每个样方进行群落学调查。在样地内实行每株检尺,测定离地 10 cm 直径(D)^[21]、林木高度(H)、郁闭度等。

于 2012 年 9 月中旬,在每个样地内选取 1 丛川滇高山栎灌丛采用收获法取样($n=6$)。(1)树干:川滇高山栎灌丛无明显的主干,取样时在每个样地内选择 1 丛灌丛,收获取样,并记录样方内每丛灌丛的植株数目,用于计算生物量;(2)叶片:采取不同方位叶片的混合样;(3)枝条:采取不同年龄枝条的混合样;(4)根系:采用全挖法,按照根、粗根(>5 mm)、中根(2.5~5.0 mm)、细根(<2.5 mm)的根系分级法^[25],测定各级活根系的生物量,采样供室内测定含水率和营养元素含量;(5)草本层:在样地内设置 6 个 50 cm $\times$ 50 cm 样方,收集样方内所有草本植物地上部分;(6)凋落物:在川滇高山栎灌丛下设置 6 个 50 cm $\times$ 50 cm 的凋落物收集框,每月收集凋落物 1 次。

所有样品(植物、凋落物样品)称重后,置 65 $^{\circ}$ C 烘箱烘干、称重、粉碎、过 80 目筛,装瓶、贴签待用,按不同的样地分别测定样品营养元素含量。

1.3 营养元素分析

采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮法溶样;凯氏定氮法测定植物组织 N 含量,钼锑抗比色法测定 P 含量,火焰光度计法测定 K 含量,原子吸收光度计法测定 Ca 和 Mg 含量。

1.4 数据处理与分析

采用以下公式模拟川滇高山栎灌丛地上部分各

$$\text{器官的生物量}^{[24]}: B = a \sum_{i=1}^n (D^2 H)^b$$

式中, B 为生物量, D 和 H 分别为川滇高山栎灌丛第 i 个植株树干距地面 10 cm 直径及树干高度, n 为每丛灌丛的植株数目, a 、 b 为回归系数。

采用养分利用系数、循环系数和周转时间等生物循环参数来分析养分循环的特征,按照生物循环公式(吸收量=存留量+归还量)进行计算。养分利用系数为吸收量与储存量的比值;循环系数为归还

量与吸收量的比值^[26-27]。

2 结果与分析

2.1 川滇高山栎器官的营养元素含量

川滇高山栎灌丛叶片 N、K 含量较高(表 1)。树干和根中营养元素含量无显著差异($P>0.05$),以 P、Mg 元素含量为最低,Ca 元素为最高。枝条的营养元素含量除 Ca 外,普遍为树干的 2.0~2.5 倍。根系(粗根、中根、细根)营养元素含量相差不大,与其它器官相比,其 N、K、Ca 含量较低,P、Mg 含量较高。凋落物几乎都由植物叶片组成,其 N、P 含量与叶片相当。与其它组分相比,草本层 K、N、Mg 含量较高。总的来说,川滇高山栎灌丛枝条、叶片、凋落物、草本层营养元素含量依次为: $N>K>Ca>Mg>P$;地下部分和树干为: $Ca>K>N>Mg>P$ (表 1)。

2.2 川滇高山栎灌丛营养元素贮量

川滇高山栎灌丛生态系统的营养元素贮量主要集中在灌层(表 2),川滇高山栎灌层占灌丛营养元素总贮量的比例为:88.61%(N)、94.90%(P)、93.24%(K)、96.10%(Ca)、90.93%(Mg);凋落物层营养元素贮量较少,占灌丛总贮量的比例为:9.25%(N)、3.74%(P)、2.54%(K)、3.26%(Ca)、6.86%(Mg);林下草本层各营养元素含量虽较高,但由于其生物量极小,其营养元素贮量所占比例也较少,占地上部分总贮量的比例仅为:2.14%(N)、1.36%(P)、4.22%(K)、0.64%(Ca)、2.21%(Mg)。川滇高山栎灌层的营养元素贮量主要集中在地下器官,占灌层营养元素贮量的比例为:67.17%(N)、79.96%(P)、70.21%(K)、79.37%(Ca)、81.22%(Mg)。川滇高山栎灌层营养元素贮量大小依次为: $Ca>N>K>P>Mg$;凋落物层依次为: $N>Ca>K>Mg>P$;草本层依次为: $K>N>Ca$

表 1 川滇高山栎灌丛各组分营养元素含量

Table 1 Nutrient concentration in components of *Q. aquifolioides* shrubs/(g $\cdot$ kg $^{-1}$)

组分 Component	N	P	K	Ca	Mg
叶 Leaf	13.12 $\pm$ 0.67	1.26 $\pm$ 0.25	6.18 $\pm$ 0.44	5.17 $\pm$ 0.78	1.16 $\pm$ 0.39
枝 Branch	9.31 $\pm$ 0.78	1.25 $\pm$ 0.18	8.47 $\pm$ 0.75	10.26 $\pm$ 1.37	1.33 $\pm$ 0.35
干 Stem	3.94 $\pm$ 0.66	0.60 $\pm$ 0.15	3.53 $\pm$ 0.67	13.54 $\pm$ 3.29	0.52 $\pm$ 0.15
粗根 Coarse root	3.64 $\pm$ 0.57	2.37 $\pm$ 0.36	3.94 $\pm$ 0.33	9.04 $\pm$ 2.19	2.45 $\pm$ 0.43
中根 Medium root	3.78 $\pm$ 0.46	2.12 $\pm$ 0.42	3.86 $\pm$ 0.31	7.78 $\pm$ 1.12	2.06 $\pm$ 0.41
细根 Fine root	3.93 $\pm$ 0.19	1.87 $\pm$ 0.28	3.59 $\pm$ 0.25	6.26 $\pm$ 0.67	1.88 $\pm$ 0.37
根兜 Taproot	4.52 $\pm$ 0.92	0.66 $\pm$ 0.22	3.69 $\pm$ 0.69	17.32 $\pm$ 3.91	0.68 $\pm$ 0.20
凋落物 Litter	13.58 $\pm$ 1.52	1.07 $\pm$ 0.17	2.91 $\pm$ 0.62	12.34 $\pm$ 2.07	2.04 $\pm$ 0.64
草本层 Herb	12.07 $\pm$ 1.37	1.51 $\pm$ 0.38	18.42 $\pm$ 3.23	9.18 $\pm$ 1.68	2.52 $\pm$ 0.73

>Mg>P。

2.3 川滇高山栎灌丛营养元素的年存留量

存留量是指单位时间内在单位面积上植物体内营养元素的增长量^[28]。以灌丛年平均生物量作为净生产力指标,分析川滇高山栎灌丛养分元素的年净积累量即养分的积累速率(表 3)。结果表明,川滇高山栎灌丛各组分的营养元素年存留量(年积累量)与营养元素贮量的大小变化顺序基本一致,依次为:Ca>N>K>P>Mg。各组分营养元素的年积

累量因元素含量不同而异,总的趋势是:根莖>树干>叶片>根>枝条。

2.4 川滇高山栎灌丛营养元素生物循环

营养元素的生物循环是指营养元素由植物-凋落物-土壤-植物的循环流动过程^[29]。森林生态系统的生物循环速率普遍采用吸收、归还、存留等数值来衡量^[30],吸收量为存留量和归还量之和;利用系数和循环系数是反映森林生态系统营养元素生物循环的重要指标。表4显示,川滇高山栎灌丛各营养元素

表 2 川滇高山栎灌丛营养元素贮量

Table 2 Nutrient storage in components of *Q. aquifolioides* shrubs/(kg·hm⁻²)

组分 Component	生物量 Biomass/(kg·hm ⁻²)	N	P	K	Ca	Mg
叶 Leaf	2 040	26.76	2.57	12.61	10.55	2.37
枝 Branch	1 950	18.15	2.43	16.51	20.01	2.59
干 Stem	7 260	28.60	4.36	25.62	98.30	3.78
地上器官小计 Total	11 250	73.51	9.36	54.74	128.86	8.74
粗根 Coarse root	1 400	5.10	3.32	5.52	12.66	3.43
中根 Medium root	3 460	13.08	7.33	13.36	26.92	7.13
细根 Fine root	5 710	22.44	10.68	20.50	35.74	10.73
根莖 Taproot	24 280	109.75	16.02	89.59	420.53	16.51
地下器官小计 Total	34 850	150.37	37.35	128.97	495.85	37.80
凋落物 Litter	1 720	23.36	1.84	5.01	21.22	3.51
草本层 Herb	450	5.43	0.67	8.29	4.13	1.13
合计 Total	—	252.67	49.22	197.01	650.06	51.18

表 3 川滇高山栎灌丛各组分营养元素年积累量

Table 3 Nutrient annual accumulation in components of *Q. aquifolioides* shrubs/(kg·hm⁻²·a⁻¹)

组分 Component	生产力 Productivity/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
叶 Leaf	58.29	0.76	0.07	0.36	0.30	0.07
枝 Branch	55.71	0.52	0.07	0.47	0.57	0.07
干 Stem	207.43	0.82	0.12	0.73	2.81	0.11
粗根 Coarse root	40	0.15	0.09	0.16	0.36	0.10
中根 Medium root	98.86	0.37	0.21	0.38	0.77	0.20
细根 Fine root	163.14	0.64	0.31	0.59	1.02	0.31
根莖 Taproot	693.71	3.14	0.46	2.56	12.02	0.47
合计 Total	1317.14	6.40	2.10	5.25	17.85	1.33

表 4 川滇高山栎灌丛营养元素的生物循环

Table 4 Biological cycling of nutrient in *Q. aquifolioides* shrubs

项目 Item	N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
贮量 Storage(kg·hm ⁻²)	223.88	46.71	183.71	624.71	46.58	1 125.59
吸收量 Absorbtion(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	29.76	3.94	10.26	39.07	4.84	87.87
归还量 Return(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	23.36	1.84	5.01	21.22	3.51	54.94
存留量 Retention(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)	6.40	2.10	5.25	17.85	1.33	32.93
利用系数 Utilization coefficient	0.13	0.08	0.06	0.06	0.10	0.09
循环系数 Cycling coefficient	0.78	0.47	0.49	0.54	0.73	0.60
周转时间 Recycling period/a	9.58	25.38	36.67	29.44	13.27	22.87

的利用系数介于 0.06~0.13 之间,依次为: $N > Mg > P > K = Ca$; 循环系数介于 0.47~0.78 之间,依次为: $N > Mg > Ca > K > P$, 表明川滇高山栎 N 元素循环速度最快; 周转期则几乎相反, 依次为 $N < Mg < P < Ca < K$ (表 4)。

3 讨 论

川滇高山栎灌丛不同器官营养元素含量差异较大。叶片和枝条营养元素含量依次为: $N > K > Ca > Mg > P$, 与厚荚相思和黑木相思不同器官营养元素含量的大小次序一致^[10,27]; 树干和地下根系营养元素依次为: $Ca > K > N > Mg > P$ (表 1), 与辽东栎林、锐齿栎林的地下部分器官营养元素含量的大小次序基本一致^[31-32]。

植物体内不同组分的营养元素浓度差异主要是由于植物体内各组分生理活性不同引起, 但营养元素含量并不是造成营养元素贮量差异的最主要原因, 更多是受不同组分生物量的差异影响^[29,33]。本研究中, 川滇高山栎叶片和根莖的营养元素浓度分别为 13.12 g/kg 和 4.52 g/kg (表 1), 前者是后者的 2.9 倍, 但其营养元素贮量却分别为 26.76 kg/hm² 和 109.75 kg/hm² (表 2), 后者是前者的 4.1 倍, 主要是由于根莖和叶片生物量的差异所致。

川滇高山栎灌丛具有丰富的地下营养元素储量。灌层地下根系的营养元素贮量高于地上器官, 地下营养储存占灌层的比例分别为: 67.17% (N)、79.96% (P)、70.20% (K)、79.37% (Ca)、81.22% (Mg); 而地下部分的营养元素贮量主要集中在根莖。根莖营养元素贮量占地下部分的比例为: 72.99% (N)、42.66% (P)、69.47% (K)、84.81% (Ca)、43.68% (Mg) (表 2)。川滇高山栎庞大的地下根系有利于营养元素和碳水化合物的储存, 使其在遭受火烧、砍伐等干扰后, 能利用根系储存的营养促进灌丛的萌生更新^[21]。

植物从土壤中吸收的营养元素, 一部分用于自身生存发展, 另一部分主要以凋落物的形式回归到土壤中^[29]。凋落物与能量和营养元素迁移有关, 是营养循环的开始^[23]。据 Boerner 报道, 无论是天然群落还是人工群落, P 和 K 在叶片凋落前会发生大量转移^[34]。川滇高山栎叶中 P 和 K 含量明显高于凋落物中的含量, 表明在凋落之前, P 和 K 发生了内转移, 且 K 的内转移量更大, 与马占相思^[2]、枫香^[11]人工林群落的研究结果相似。

森林生态系统营养元素的生物循环是复杂的生物过程, 受环境因素和树种生物学特性的影响, 并且随各元素在植物体内的作用和状态不同, 各元素的循环特点也有明显差异^[30]。川滇高山栎灌丛营养元素的吸收量为 87.87 kg/(hm² · a), 各元素依次为 $Ca > N > K > Mg > P$ 。其中年归还量为 54.94 kg/(hm² · a), 高于其相应的年存留量 [32.93 kg/(hm² · a)]。灌丛养分循环系数为 0.60, 高于巨尾桉人工林^[35]和冷杉林^[6], 低于相似年龄的马尾松人工林^[36], 不同元素呈现出 $N > Mg > Ca > K > P$ 趋势。循环系数反映了元素在循环过程中存留量大小, 循环系数越大, 系统中存留的比例越小。因此, 川滇高山栎灌丛中 N 的存留比例最小, 流动性最大, 而 P 则相反, 存留比例最大, 流动性最小。由于本研究未将雨水洗涤林冠和树干、根系分泌的营养元素等归还量估算进去, 因此归还量计算结果较灌丛实际的归还量偏低, 而周转期则与此相反。总的来看, 川滇高山栎灌丛具有较低的营养元素利用效率和较长的营养元素循环周期。

森林生长是森林与土壤相互影响和作用的过程, 森林生态系统营养元素的生物循环直接影响着森林的生产力, 也制约着森林地力的方向和强度, 对维持林地的养分平衡有重要作用; 同时, 土壤肥力状况是影响植物生长发育及营养元素分布的重要原因^[37]。川滇高山栎灌丛土壤养分的背景值中, 有机质为轻度缺乏, 磷素为严重缺乏^[38], 磷素的缺乏可能会在一定程度上影响川滇高山栎灌丛的生长。营养元素含量大小为 $K > Ca > N > Mg > P$, 与川滇高山栎灌丛营养元素的吸收量大小排序基本一致。可见, 土壤中养分状态和水平约束着林木的生长, 并对林木的吸收速率和吸收量起一定作用^[30]。不同海拔川滇高山栎灌丛土壤养分差异如何影响川滇高山栎灌丛生态系统中养分的吸收和存留, 有待进一步研究。

本文对川滇高山栎灌丛的营养元素积累和生物循环进行了初步研究, 研究结果对当地川滇高山栎灌丛的保护和管理有一定的指导意义。由于营养元素贮量大部分集中在地下部分, 因此应特别注意加强对根系的保护。同时, 由于土壤肥力状况影响植物营养元素分布, 因此应注意加强土壤的养分输入, 如保留林地凋落物, 对川滇高山栎灌丛长期生产力的维持, 促进川滇高山栎的可持续发展有重要作用。

参考文献:

- [1] HELMISAARI H S. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in Eastern Finland[J]. *Plant and Soil*, 1995, (168—169): 327—336.
- [2] HE B(何 斌), QIN W M(秦武明), YU H G(余浩光), *et al.* Biological cycling of nutrients in different ages classes of *Acacia mangium* plantation[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(12): 5 158—5 167(in Chinese).
- [3] SHARMA J C, SHARMA Y. Nutrient cycling in forest ecosystems——a review[J]. *Agricultural Review*, 2004, **25**(3): 157—172.
- [4] AKSEKILI E, KILIC D D, KUTBAY H G. Foliar nutrient dynamics and foliar resorption in *Quercus brantii* lindley along an elevational gradient[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, **10**(21): 3 778—3 785.
- [5] 沈 燕. 亚热带天然次生混交林生物量及养分生物循环研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [6] LUO J(罗 辑), CHENG G W(程根伟), LI W(李 伟), *et al.* Characteristics of nutrient biocycling of natural forests on the Gongga Mountain[J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2005, **27**(2): 13—17(in Chinese).
- [7] CUI X Y(崔晓阳). Organic nitrogen use by plants and its significance in some natural ecosystems[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(8): 3 500—3 512(in Chinese).
- [8] WU SH H(吴绍洪), YIN Y H(尹云鹤), ZHENG D(郑 度), *et al.* Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2005, **60**(1): 3—11(in Chinese).
- [9] DAI L M, WU G, ZHAO J Z, *et al.* Carbon cycling of alpine tundra ecosystems on Changbai Mountain and its comparison with arctic tundra[J]. *Science in China (Series D)*, 2006, **45**(10): 903—910.
- [10] QIN W M(秦武明), HE B(何 斌), QIN SH Y(覃世赢), *et al.* Biological cycling of nutrients in *Acacia crassicarpa* plantation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2007, **21**(4): 103—107(in Chinese).
- [11] YANG L L(杨丽丽), WEN SH ZH(文仕知), HE G X(何功秀). Biological cycling of nutrients in *Liquidambar formosana* plantation in suburban area of Changsha[J]. *Journal of Fujian College of Forestry* (福建林学院学报), 2012, **32**(1): 48—53(in Chinese).
- [12] ZHU Y L(朱宇林), HE B(何 斌), YANG G R(杨钙仁), *et al.* Accumulation and biological cycling of nutrient elements in *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2012, **40**(6): 8—11, 66(in Chinese).
- [13] MCDONALD M A, HEALEY J R. Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 139: 257—278.
- [14] WEI J, JIANG P, YU D Y, *et al.* Distribution patterns of vegetation biomass and nutrients bio-cycle in alpine tundra ecosystem on Changbai Mountains, Northeast China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2007, **18**(4): 271—278.
- [15] 中国植被编委会, 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 356—363.
- [16] YANG Q ZH(杨钦周). The characteristics and classification of oak durisilvae in the Himalayan region of China[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 1990, **14**(3): 197—211(in Chinese).
- [17] YOU X(游 新), YANG L(杨 莉). SEM observation of the surface structure of leaf cuticles in *Quercus* and *Cyclobalanopsis*[J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 1994, **16**(3): 61—65(in Chinese).
- [18] LI J(李 进), CHEN K Y(陈可咏), LI B SH(李渤生). The variation of genetic diversity of *Quercus aquifolioides* in different elevations [J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1998, **40**(8): 82—88(in Chinese).
- [19] 郝晓东. 四川卧龙自然保护区川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*) 光合特性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [20] LIU X L(刘兴良), LIU X D(刘向东), *et al.* The altitudinal gradient characteristics of level structure in the *Quercus aquifolioides* community in the Balang Mountain[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology* (四川林业科技), 2009, **30**(1): 1—7(in Chinese).
- [21] ZHU W Z(朱万泽), WANG S G(王三根), HAO Y Q(郝云庆). Dynamics of nutrient supplt to sprouts from the roots and soil during sprouting of *Quercus aquifolioides* shrublands, western Sichuan, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2010, **34**(10): 1 185—1 195(in Chinese).
- [22] LIU Q L(刘千里), XU X M(徐雪梅), LIU X L(刘兴良), *et al.* Characteristics of macronutrient variation in leaves of *Quercus aquifolioides* along with the altitudinal gradients on the Balangshan Mountain in Wolong Nature Reserve, China[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology* (四川林业科技), 2012, **33**(3): 1—6(in Chinese).
- [23] ENRIQUE A, MANUEL F, JAVIER V P, *et al.* Nutrients return from leaves and litterfall in a mediterranean cork oak (*Quercus suber* L.) forest in southwestern Spain[J]. *European Journal of Forest Research*, 2010, 129: 5—12.
- [24] ZHU W Z, XIANG J S, WANG S G, *et al.* Resprouting ability and mobile carbohydrate reserves in an oak shrubland decline with increasing elevation on the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 278: 118—126.
- [25] LOPEZ B, SABATE S, GRACIA C A. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest[J]. *Plant and Soil*, 2001, 230: 125—134.
- [26] MA X Q, KATE V H, LIU A Q, *et al.* Nutrient cycling and distribution in different-aged plantations of Chinese fir in Southern China[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 243: 61—74.
- [27] HE B(何 斌), WEI SH H(韦善华), ZHANG W(张 伟), *et al.* Biological cycling of nutrients in *Acacia elanoxylon* plantation[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2012, **40**(2): 9—12, 29(in Chinese).

- [28] DU ZH CH(杜占池), ZHONG H P(钟华平). The biocycling of nutrient elements in artificial *Trifolium pratense* grassland[J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 1998, **22**(2): 149—156(in Chinese).
- [29] MO J M(莫江明), SANDRA B, KONG G H(孔国辉), *et al.* Nutrient distribution and cycling of a Masson's pine planted forest in Ding-hushan[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, **19**(5): 635—640(in Chinese).
- [30] NIE D P(聂道平). Biological cycling of the nutrient elements in forest ecosystems[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 1991, **4**(4): 435—440(in Chinese).
- [31] LIU G Q(刘广全), ZHAO SH D(赵士洞), TU X N(土小宁), *et al.* Distributional characteristics on biomass and nutrient elements of pine-oak forest belt in Mt. Qinling[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2001, **37**(1): 28—36(in Chinese).
- [32] ZHANG X B(张希彪), SHANGGUAN ZH P(上官周平). The bio-cycle patterns of nutrient elements and stand biomass in forest communities in Hilly Loess Regions[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(3): 527—537(in Chinese).
- [33] HE CH Q(何池全), ZHAO K Y(赵魁义). The accumulation, allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(12): 2 074—2 080(in Chinese).
- [34] BOERNER R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use of four deciduous tree species in relation to site fertility[J]. *Applied Ecology*, 1984, **21**: 1 029—1 040.
- [35] LI Y L(李跃林), LI ZH H(李志辉), XIE Y J(谢耀坚). Nutrient cycle in *Eucalyptus grandis* × *urophglla* plantation[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(10): 1 734—1 740(in Chinese).
- [36] XIANG W H(项文化), TIAN D L(田大伦). Nutrient cycling in *Pinus massoniana* stands of different age classes[J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 2002, **26**(1): 89—95(in Chinese).
- [37] CAO J H(曹建华), LI X B(李小波), ZHAO CH M(赵春梅), *et al.* Advances on researches of nutrient cycling in forest ecosystem[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* (热带农业科学), 2007, **27**(6): 68—79(in Chinese).
- [38] LIU H H(刘洪鹤), ZHAO Y M(赵玉明), WANG X Y(王秀颖), *et al.* Discussion of evaluation methods on soil fertility[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute* (长江科学院院报), 2008, **25**(3): 62—66(in Chinese).

《西北植物学报》2013 年刊载论文基金项目统计

《西北植物学报》2013 年第 1~12 期共发表论文 370 篇(含英文论文 9 篇), 论文共获得 754 个各类研究基金项目的支持, 平均每篇论文获基金项目达 2.03 个。有 362 篇论文均获得各类研究基金的支持, 占刊载论文总数的 97.8%。其中, 78 篇论文有 1 项基金支持, 占论文总数的 21.1%; 115 篇论文有 2 项基金支持, 占论文总数的 31.1%; 97 篇论文获 3 项以上基金支持, 占论文总数的 26.22%。《西北植物学报》2013 年刊载论文的基金论文比为 0.978。论文基金的具体来源统计结果如下:

1. 国家级基金: 290 项, 占基金项目总数的 38.46%。其中: 国家自然科学基金 160 项, 国家重点基础研究发展计划即国家“973”基金 16 项, 国家“863”计划基金 14 项, 国家“948”基金 7 项, 国家博士点基金(含博士后基金 2 项)9 项, 国家其它项目基金 84 项。

2. 中国科学院基金: 20 项, 占基金项目总数的 2.7%。其中: 知识创新工程基金 4 项, 西部之光基金 5 项, 其它基金 11 项。

3. 各部委基金: 104 项, 占基金项目总数的 13.8%。其中: 科技部基金 8 项, 教育部基金 20 项, 农业部基金 32 项, 国家林业局基金 27 项, 其它部委基金 17 项。

4. 中外合作基金: 2 项, 占基金项目总数的 0.27%

5. 大学基金: 74 项, 占基金项目总数的 9.8%

6. 省(市)各类研究基金: 264 项, 占基金项目总数的 35.01%

(宋亚珍 供稿)