

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.006

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.006.html

不同林龄云南松林营养元素积累与分配特征研究

佟志龙,陈奇伯,王艳霞,熊好琴,吴晋霞

(西南林业大学 环境科学与工程学院,云南 昆明 650224)

【摘 要】 【目的】对云南省玉溪市磨盘山云南松天然次生林 5 种营养元素(N、P、K、Ca、Mg)的含量、积累、分配及其随林龄变化的趋势进行研究,为云南松林养分利用及森林生态服务功能价值核算提供基础数据。【方法】选取 15、30 和 45 年生云南松天然次生林为研究对象,在各林龄林地中各设置 3 个 20 m×20 m 的标准样地,对样地内的乔木层按照叶、枝、干、根取样,灌木分叶、枝、根取样,草本分地上部分和地下部分取样,凋落物全部取样,同种植物的相同器官取混合样品,所有样品取回后在实验室进行生物量和营养元素含量的测定与分析。【结果】云南松不同器官营养元素含量大小次序为树叶>树枝>树根>树干;各器官营养元素含量均以 N 最高,其次是 K 和 Ca,Mg、P 较低。15、30 和 45 年生云南松天然次生林营养元素积累总量分别为 192.00、930.95 和 2 357.36 kg/hm²,其中乔木层营养元素积累量所占比例依次为 70.70%、66.84%和 98.82%,林下植被层所占比例依次为 22.97%、7.53%、0.43%,地表现凋落物所占比例依次为 7.0%、26.98%和 0.80%。乔木层、林下植被层和凋落物层均以 N 积累量最多,P 最少。云南松 N 与 P 含量比随着林龄的增长呈下降趋势,15、30 和 45 年生云南松天然次生林每积累 1 t 干物质需要 5 种营养元素的总量分别为 8.38、8.52 和 7.68 kg,其中对 N 的利用效率最低,P 最高。【结论】不同林龄云南松对营养元素的利用效率均较高,所以从营养元素利用效率来分析,云南松林不会因过度消耗土壤中的营养元素而导致土壤肥力降低,说明云南松有耐贫瘠、适应性强、适合荒山造林等特点。

【关键词】 云南松;天然次生林;营养元素;积累与分配

【中图分类号】 S791.257;S714.8

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)06-0100-07

Accumulation and distribution characteristics of nutrients in *Pinus yunnanensis* forests with different ages

TONG Zhi-long, CHEN Qi-bo, WANG Yan-xia, XIONG Hao-qin, WU Jin-xia

(Environmental Science and Engineering Academy, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: 【Objective】 The content, accumulation, distribution and their changing trends along with forest stand age of five nutrient elements (N, P, K, Ca, and Mg) in natural secondary *Pinus yunnanensis* forest in Mopan mountain, Yuxi City, Yunnan Province were studied, to improve nutrient utilization and estimation of forest ecological value. 【Method】 Natural secondary *Pinus yunnanensis* forests with ages of 15, 30 and 45 years were selected, and three 20 m×20 m standard samples were set in each forest. Samples were collected from leaves, branches, stems, and roots of arbor layer plants, leaves, twigs, and roots of shrubs, aboveground and underground parts of herbs, and all parts of litter in each sample plot. Biomass and nutrient elements of mixed samples from same organs of same plants were analyzed in laboratory. 【Result】 The contents of nutrition element in *Pinus yunnanensis* were in a decreasing order of leaves>branches>roots>trunk. N was the nutrient element with highest content, followed by K and Ca, Mg and P had

【收稿日期】 2013-05-10

【基金项目】 国家林业局林业公益性行业科研专项(201204101-10)

【作者简介】 佟志龙(1987—),男,河北遵化人,硕士,主要从事生态恢复研究。E-mail: Tzl0315@126.com

【通信作者】 陈奇伯(1965—),男,甘肃通渭人,教授,博士,主要从事土壤侵蚀与生态恢复研究。E-mail: chengqb@swfu.edu.cn

the lowest contents. The accumulations of total nutrient elements of 15, 30 and 45-year-old natural secondary *Pinus yunnanensis* forests were 192.00, 930.95 and 2 357.36 kg/hm², respectively. Arbor layer accounted for 70.70%, 66.84%, and 98.82%, understory vegetation layer accounted for 22.97%, 7.53%, and 0.43%, and litter layer accounted for 7.0%, 26.98% and 0.80%, respectively. N had the largest accumulation among all layers, while P was the lowest. The ratio of nitrogen content to phosphorus content decreased as the increase of forest age. The total of the five nutrient elements needed for accumulation of 1 t dry matter for *Pinus yunnanensis* with age of 15, 30, and 45 years were 8.38, 8.52 and 7.68 kg, respectively. The use efficiency of N was the least while that of P was the highest. 【Conclusion】 *Pinus yunnanensis* had high nutrient use efficiency, and it would not result in decrease of soil fertility due to excessive consumption of nutrient elements in the soil. *Pinus yunnanensis* has high resistance and good adaptability, and is suitable for afforestation in barren hills.

Key words: *Pinus yunnanensis*; natural secondary forest; nutrient elements; accumulation and distribution

林木营养元素的积累与分布是研究森林生态系统物流和能流的基础,而系统中的养分循环是系统功能的主要表现之一,直接影响着森林的生产力,很大程度上制约着森林地力变化的方向和强度,对林地养分平衡的维持有重要作用^[1]。森林植被的营养物质积累功能对降低下游面源污染、水体富营养化及促进生态系统的物质循环有重要作用。早在20世纪50年代,侯学煜等在森林养分方面就做过一些工作,但直到80年代此方面的研究才得以迅速发展^[2]。目前,对林木营养元素积累与分布规律的研究很多^[3-8],其结果不仅可以为森林生态服务功能价值评估提供基础数据,而且对森林生态系统的稳定性、可持续性以及生物生产力的提高具有重要意义,同时也有利于揭示森林经营对森林土壤肥力的影响,探索维持林地生产力的机理和生态学过程。

云南松(*Pinus yunnanensis* Franch)属松杉目(Pinales)松科(Pinaceae),分布甚广,以滇中高原为中心,分布在北纬23°~29°,东经98°30'~106°,跨越云南、贵州、四川、广西、西藏等5个省区,东至富宁,南至蒙自及普洱,西至腾冲,北至中甸以北,大面积分布于滇中高原、金沙江流域及南盘江流域。云南松是云南的主要用材树种,也是云南省的乡土树种和云贵高原的主要针叶树种。云南松林是中国西南地区的特有森林类型,也是云南省的主要森林类型,云南松是云南省分布最广、蓄积量最大、造林用种量最多的主要用材和荒山造林树种^[9-10]。云南松不仅具有生长快、耐干旱瘠薄及适宜性强等特点,还有涵养水源、改善生态环境等防护作用。目前,国内对云南松林做了大量的研究工作,但多集中在云南松遗传多样性、森林经营、森林病虫害及其防治、生物量、

非木材资源开发利用、育苗与管理及其与低磷环境的关系等方面^[11-12],对于云南松林营养元素积累与分配特征鲜有报道。因此,本试验对不同林龄(15、30和45年)云南松天然次生林营养元素含量、积累及其分配规律进行了系统研究,以了解云南松林生长过程中营养元素的积累特点和变化趋势,为森林生态系统研究提供基本数据,为指导林业生产与管理、合理维护和改善林木生长环境、提高云南松林生态系统的养分利用效率和生产潜力奠定基础。

1 研究区概况

云南磨盘山地处云贵高原、横断山地和青藏高原南缘的地理结合部。地理位置为北纬23°46'~23°54',东经101°16'06"~101°16'12",海拔1 260.0~2 614.4 m,是云南亚热带北部与亚热带南部的气候过渡地区,有典型的山地气候特点,年平均气温15℃,年平均降雨量为1 050 mm,极端最高气温33.0℃,极端最低气温-2.2℃,全年日照时数2 380 h。磨盘山土壤以第三纪古红土发育的山地红壤和玄武岩红壤为主,高海拔地区有黄棕壤分布,土壤厚度以中厚土壤层为主,局部为薄土层。

选取云南松幼龄林(15年)、中龄林(30年)和成熟林(45年)3块天然次生林标准样地,其中15年云南松天然次生林林下植被以乌饭树(*Vaccinium bracteatum*)、羊胡子草(*Carex rigescens*)、扭黄茅(*Contortuea tanglehead*)为优势种,并伴有少量的碎米花杜鹃(*Rhododendron spiciferum* Franch)、兔儿风(*Ainsliaea plantaginifolia* Mattf)等物种;由于当地用计划烧除方法来预防森林火灾,使得凋落物积累量较少,平均厚度<1 cm。30年云

南松天然次生林林下植被以碎米花杜鹃、槲栎(*Quercus aliena*)为优势种,此外还分布有木荷(*Schima superba*)、滇梨(*Pyrus pseudopashia* Yü)和苔草(*Carex tristachya*)等,凋落物较厚,厚度为4~5 cm。45 年云南松天然次生林林下植被以乌饭树、羊胡子草、扭黄茅(*Contortue tanglehead*)为优势种,并有少量栓皮栎(*Quercus variabilis* Blume)、兔儿风分布;受到计划烧除的影响,凋落物积累量较少,平均厚度<1 cm。

2 研究方法

2.1 云南松天然次生林标准地的建立与林分生物量测算

采用典型样地法选取立地条件相似、具有代表

性的 15、30、45 年生云南松林为研究对象,在各林龄林中分别设置 3 个 20 m×20 m 的标准样地,分别对乔木层林木进行每木检尺,样地基本情况及林分特征见表 1。在每个样地内分别设置 3 个 3 m×3 m 的灌木样方,3 个 1 m×1 m 的草本样方以及 3 个 1 m×1 m 的凋落物样方,调查样方内植物种类、个体数、高度、覆盖度和凋落物组成等指标。

乔木层生物量依据张志华等^[13]建立的云南松生物量模型,分别按叶、枝、干、根和单木进行计算,并分别采集叶、枝、干、根样品;灌木层、草本层及凋落物层的生物量用收获法测定,并分别采集枝、叶、根样品,草本分地上部分和地下部分分别取样,将同种植物的相同器官取混合样品,带回实验室烘干(85℃)至质量恒定时测定含水率和干质量。

表 1 不同林龄云南松天然次生林样地基本情况及林分特征

Table 1 Basic information of plots and characteristics of natural secondary

Pinus yunnanensis forests with different ages

林龄/年 Tree age	地理位置 Geographical location	海拔/m Altitude	土壤类型 Soil category	坡度/(°) Aspect	郁闭度 Canopy density	密度/ (株·hm ⁻²) Density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height
15	N23°51'38" E101°16'08"	2 180	红壤 Red soil	18	0.60	1 250	8	6.5
30	N23°49'36" E101°16'11"	2 178	红壤 Red soil	10	0.90	1 625	12.5	10
45	N23°51'36" E101°16'08"	2 240	红壤 Red soil	19	0.75	900	25	14

2.2 植物样品营养元素分析

将采集的植物样品用 101-A-1 型电热鼓风恒温干燥箱在 85℃下烘干至质量恒定后测定植物生物量,然后粉碎、装瓶、贴上标签备用。进行化学分析之前,将样品在 65℃下烘 24 h,烘干的植物样品用浓 H₂SO₄-HClO₄ 消化法(浓 H₂SO₄ 与 HClO₄ 以 10:1 体积比混合)在 LWY848B 型控温式远红外消煮炉上进行消煮。N 含量用碱解扩散吸收法测定;P 含量用钼锑抗比色法在菁华 722 型可见分光光度计中测定;K 含量的测定用火焰光度计法在 6400A 型火焰光度计中进行测定;Ca 和 Mg 含量采用浓 HNO₃-HClO₄ 消化法消煮(浓 HNO₃ 与 HClO₄ 按 5:1 体积比混合),然后用原子吸收分光光度计法在 WEX-130A 型原子吸收分光光度计中测定^[14]。

3 结果与分析

3.1 不同林龄云南松天然次生林营养元素的含量与分布

植物营养元素含量反映了植物在一定生境条件下从土壤中吸收和蓄积矿质养分的能力,由于植物

不同器官的生理机能不同,不同营养元素在植物体内的功能也不同,因此营养元素在植物不同器官及不同营养元素在同一器官中的分布具有差异性^[15]。不同林龄云南松林各组分营养元素含量见表 2。由表 2 可知,云南松天然次生林不同器官的营养元素含量差异较大,并且不同林龄也存在一定差异,各个器官营养元素含量大小排序总体上为树叶>树枝>树根>树干,其中 30 年生云南松林树叶营养元素含量为树干的 7.82 倍。这是因为树叶作为同化器官,其各种营养元素含量总是最高;而树干以木质为主,其生理功能最弱,因而各种营养元素含量也最低。不同林龄云南松天然次生林营养元素均以 N 含量最高,K 和 Ca 次之,Mg、P 含量均较低,这与鼎湖山马尾松(*Pinus massoniana*)林和油松林(*Pinus tabulaeformis* Carr)等针叶林营养元素含量排列次序基本一致^[6-7]。云南松林下植被层营养元素含量与云南松各器官相比,除低于树叶外,明显高于其他营养器官。营养元素含量在不同年龄阶段云南松天然次生林群落的垂直结构分布中呈现自下而上递增的趋势,即草本植物>灌木植物>乔木植物,这反映了森林群落中不同垂直结构层次植物对土壤养分富

集能力的差异^[16]。

由表 2 还可知,云南松林凋落物营养元素含量较高,各营养元素含量大小排列次序与林木各器官中营养元素含量的排列次序基本一致,但多数元素含量明显高于除树叶外的其他器官。由于云南松林凋落物以树叶为主,因此与林木不同器官相比,除

Ca 含量略高于树叶外,其他 4 种营养元素含量都低于树叶,尤其是 K 和 Mg 含量明显低于树叶,这是由于凋落物在分解的过程中,Ca 含量呈增加趋势,而 K、Mg 含量不断减小,这与 Ca 移动性差而 K、Mg 移动性强有关。

表 2 不同林龄云南松天然次生林各组分营养元素含量

Table 2 Nutrient element contents of natural secondary <i>Pinus yunnanensis</i> forests with different ages							g/kg
林龄/年 Tree age	组分 Components	N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
15	树叶 Leaf	10.61±0.14	0.51±0.00	3.25±0.08	3.19±0.03	1.42±0.03	18.98±0.25
	树枝 Branch	4.34±0.08	0.31±0.01	2.63±0.08	2.55±0.04	0.93±0.03	10.76±0.24
	树干 Trunk	1.58±0.02	0.21±0.02	0.80±0.04	0.97±0.01	0.11±0.00	3.67±0.09
	树根 Root	2.98±0.03	0.08±0.01	2.06±0.00	1.79±0.03	0.37±0.01	7.28±0.08
	灌木 Herb	4.65±0.12	0.32±0.02	3.02±0.10	2.91±0.06	0.51±0.04	11.41±0.34
	草本 Shrub	6.82±0.16	0.41±0.03	5.08±0.14	3.85±0.04	1.35±0.06	17.52±0.43
	凋落物 Litter	5.31±0.13	0.21±0.01	0.69±0.01	4.87±0.06	0.54±0.04	11.62±0.25
30	树叶 Leaf	11.82±0.15	0.97±0.02	5.64±0.08	4.55±0.05	1.50±0.02	24.49±0.32
	树枝 Branch	4.19±0.07	0.65±0.01	2.80±0.08	2.82±0.02	0.95±0.01	11.40±0.19
	树干 Trunk	1.21±0.02	0.04±0.01	0.29±0.03	1.36±0.02	0.23±0.03	3.13±0.10
	树根 Root	2.62±0.06	0.12±0.00	1.54±0.00	1.93±0.03	0.49±0.00	6.70±0.09
	灌木 Herb	4.39±0.11	0.43±0.03	2.44±0.06	2.81±0.02	0.58±0.02	10.64±0.24
	草本 Shrub	7.59±0.15	0.86±0.03	3.71±0.07	5.66±0.04	1.29±0.04	19.10±0.33
	凋落物 Litter	7.74±0.12	0.62±0.01	0.58±0.01	6.61±0.07	0.78±0.03	16.34±0.24
45	树叶 Leaf	11.30±0.12	0.97±0.01	5.02±0.08	4.31±0.04	1.45±0.03	23.04±0.28
	树枝 Branch	3.99±0.06	0.48±0.01	3.94±0.01	2.46±0.05	0.85±0.04	11.71±0.17
	树干 Trunk	0.94±0.02	0.09±0.01	0.18±0.00	1.22±0.02	0.15±0.00	2.58±0.05
	树根 Root	2.49±0.04	0.11±0.00	1.09±0.04	1.59±0.05	0.38±0.02	5.67±0.15
	灌木 Herb	3.83±0.06	0.31±0.03	2.17±0.09	2.30±0.03	0.50±0.04	9.11±0.25
	草本 Shrub	8.76±0.17	0.48±0.04	4.73±0.06	4.89±0.07	1.68±0.04	20.54±0.38
	凋落物 Litter	5.96±0.08	0.28±0.01	1.20±0.02	5.14±0.05	0.68±0.03	13.27±0.19

3.2 不同林龄云南松天然次生林营养元素的积累与分布

不同林龄云南松天然次生林树叶、枝、干、根营养元素的积累与分布情况见表 3。从表 3 可以看出,云南松林分各营养元素积累总量随林龄的增长而增大,15、30 和 45 年生云南松天然次生林乔木层营养元素积累量分别占整个森林群落营养元素积累量的 70.70%,66.84%和 98.82%。各器官的生物量不同,且营养元素含量差异也比较大,不同器官营养元素积累量总体上以树叶或树枝最高。30 年生云南松天然次生林各器官营养元素积累量排序为树叶>树枝>树根>树干。15 年生云南松天然次生林各器官营养元素主要集中在树叶,其营养元素总积累量占到林分营养元素总积累量的 41.25%;而 30 年和 45 年生云南松天然次生林树叶营养元素的总积累量分别占林分营养元素总积累量的 36.45%和 19.73%,其中 45 年生云南松天然次生林树枝的积累量已经超过其树叶,可见随着林木的生长,树枝和树根营养元素积累量逐渐增加,且其占林分营养

元素总积累量的比例也增大,而树叶只是绝对积累量增加,但所占林分营养元素总积累量的比例却在下降。从乔木层各营养元素积累量来看,15、30 和 45 年生云南松天然次生林中营养元素积累量均以 N 最多,分别占乔木层营养元素积累量的 47.43%,41.63%和 39.21%,其他元素积累量排序大致为 Ca>K>Mg>P。这与刘广全等^[17]对油松和华山松(*Pinus armandii* Franch)的研究结果基本一致。

表 3 显示,林下植被(即草本层和灌木层)的生物量均明显低于乔木层,它们的营养元素积累量在整个林分的比例也都比乔木层小得多,所占比例按林龄由小到大依次为 22.97%,7.53%和 0.43%。凋落物层营养元素积累量占林分营养元素总积累量的比例按林龄由小到大分别为 6.32%,25.62%和 0.73%,其中 15 年和 45 年生云南松天然次生林凋落物的积累量和所占林分总积累量的比例都低于 30 年生云南松天然次生林,这是由于 15 年和 45 年生云南松天然次生林凋落物受到计划烧除的影响,导致其生物量较低,营养元素积累量较少。

表 3 不同林龄云南松天然次生林营养元素的积累与分布

Table 3 Accumulation and distribution of nutrient elements of natural secondary *Pinus yunnanensis* forests with different ages

林龄/年 Tree age	组分 Components	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	积累量/(kg·hm ⁻²) Accumulation					
			N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
15	树叶 Leaf	2.98±0.37	31.56±3.93	1.51±0.19	9.67±1.20	9.49±1.18	4.22±0.52	56.45±7.02
	树枝 Branch	2.91±0.32	12.65±1.39	0.91±0.10	7.65±0.84	7.42±0.82	2.70±0.30	31.32±3.44
	树干 Trunk	7.54±0.61	11.88±0.96	1.62±0.13	6.06±0.49	7.29±0.59	0.84±0.07	27.69±2.24
	树根 Root	2.79±0.33	8.30±0.98	0.22±0.03	5.73±0.68	5.00±0.59	1.04±0.12	20.29±2.40
	灌木 Herb	1.67±0.16	7.77±0.74	0.53±0.05	5.04±0.48	4.86±0.47	0.85±0.08	19.05±1.83
	草本 Shrub	1.43±0.24	9.76±1.64	0.59±0.10	7.26±1.22	5.50±0.92	1.94±0.32	25.05±4.20
	凋落物 Litter	1.05±0.11	5.55±0.58	0.22±0.02	0.72±0.08	5.09±0.54	0.57±0.06	12.14±1.28
	合计 Total	20.36±2.24	87.47±10.23	5.61±0.62	42.13±4.99	44.64±5.10	12.15±1.29	192.00±22.41
30	树叶 Leaf	9.26±0.86	109.47±10.16	9.02±0.84	52.27±4.85	42.17±3.92	13.89±1.29	226.82±21.06
	树枝 Branch	17.05±1.83	71.38±7.66	11.12±1.19	47.68±5.12	48.06±5.16	16.12±1.73	194.37±20.87
	树干 Trunk	31.40±2.71	38.04±3.28	1.31±0.11	9.10±0.79	42.64±3.68	7.23±0.62	98.32±8.49
	树根 Root	15.34±2.16	40.14±5.65	1.86±0.26	23.68±3.34	29.55±4.16	7.55±1.06	102.78±14.47
	灌木 Herb	5.78±0.60	25.36±2.63	2.48±0.26	14.10±1.46	16.23±1.68	3.35±0.35	61.52±6.39
	草本 Shrub	0.45±0.02	3.41±0.15	0.39±0.02	1.67±0.07	2.55±0.11	0.58±0.03	8.60±0.38
	凋落物 Litter	14.60±3.17	113.05±24.55	9.11±1.98	8.41±1.83	96.55±20.96	11.43±2.48	238.55±51.79
	合计 Total	93.87±11.35	400.85±54.09	35.30±4.66	156.91±17.46	277.74±39.68	60.15±7.56	930.95±123.45
45	树叶 Leaf	19.95±1.88	225.43±21.24	19.28±1.82	100.10±9.43	85.94±8.10	28.90±2.72	459.66±43.31
	树枝 Branch	97.65±8.02	389.54±31.99	46.80±3.84	384.38±31.57	240.40±19.74	82.74±6.80	1 143.86±93.95
	树干 Trunk	106.13±10.35	99.86±9.74	9.37±0.91	18.75±1.83	129.62±12.64	16.13±1.57	273.74±26.70
	树根 Root	79.79±10.16	198.65±76.97	9.16±1.17	86.89±11.06	127.06±16.18	30.70±3.91	452.46±57.62
	灌木 Herb	0.44±0.05	1.70±0.19	0.14±0.02	0.96±0.11	1.02±0.12	0.22±0.02	4.05±0.46
	草本 Shrub	0.30±0.03	2.63±0.26	0.14±0.01	1.42±0.14	1.47±0.15	0.51±0.05	6.16±0.62
	凋落物 Litter	1.31±0.16	7.83±0.95	0.37±0.04	1.58±0.19	6.76±0.82	0.90±0.11	17.43±2.12
	合计 Total	305.57±30.65	925.65±89.68	85.25±7.81	594.09±54.34	592.27±57.75	160.09±15.19	2 357.36±224.76

3.3 云南松天然次生林的氮磷比及营养元素利用效率

在 14~16 时,N 与 P 含量单独或共同影响植物的生长。由表 4 可以看出,15 年生云南松受到氮和磷含量的共同影响;30 和 45 年生云南松的生长受到氮含量的限制。随着云南松年龄的增长,W(N)/W(P)呈递减趋势。15 年和 45 年生云南松天然次生林下草本生长受到磷含量的限制,这可能是由于计划烧除影响了草本植物对土壤中磷的吸收所致。

营养元素对植物表现为拮抗和协同两方面的作用,元素间的比值可反映其作用关系。Koerselman 等^[18]指出,氮含量与磷含量比(W(N)/W(P))大于 16 时,说明植物的生长受到 P 的限制;W(N)/W(P)小于 14 时,植物生长受到 N 的限制;W(N)/W(P)

表 4 不同林龄云南松天然次生林含氮量/含磷量(W(N)/W(P))

Table 4 Ratio of nitrogen content to phosphorus content of natural secondary *Pinus yunnanensis* forests with different ages

林龄/年 Tree age	植物类别 Plant category	全氮/% Total nitrogen	全磷/% Total phosphorus	W(N)/W(P)
15	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	47.43	3.14	15.10
	灌木 Herb	40.78	2.81	14.53
	草本 Shrub	38.96	2.36	16.48
30	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	41.63	3.75	11.11
	灌木 Herb	41.22	4.03	10.22
	草本 Shrub	39.71	4.49	8.85
45	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	39.21	3.63	10.80
	灌木 Herb	42.03	3.43	12.26
	草本 Shrub	42.65	2.31	18.44

林木对营养元素的利用效率可以用营养元素的

干物质需要的养分量。营养元素利用效率反映了植物对养分环境的适应和利用状况,每生产 1 t 干物

积累量与干物质生物量的比值来表示,即生产 1 t

质所需的营养元素量越少,说明该树种对这一元素的利用效率越高。从表 5 可见,15,30 和 45 年生云南松天然次生林每积累 1 t 干物质需 N、P、K、Ca 和 Mg 5 种营养元素的量分别为 8.38,8.52 和 7.68 kg,15 年和 30 年生云南松营养元素利用效率高于年龄相近的华山松^[4]、华北落叶松^[19] (*Larix prin-*

cipis-ruppechtii Magyr) 等针叶树种,但低于马尾松^[5]的利用效率,就不同林龄云南松天然次生林对各营养元素的利用效率看,均以 P、Mg 最高,N 最低,K、Ca 介于二者之间。这与前人在马尾松^[20]和油松^[6]上的研究结果基本一致。

表 5 不同林龄云南松天然次生林营养元素的利用效率

林龄/年 Tree age	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	养分积累量/ (kg·hm ⁻²) Nutrient accumulation	利用效率/(kg·t ⁻¹) Utilization efficiency					
			N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
15	16.21	135.76	3.97	0.26	1.80	1.80	0.54	8.38
30	73.04	622.28	3.55	0.32	1.82	2.22	0.61	8.52
45	303.52	2 329.71	3.01	0.28	1.94	1.92	0.52	7.68

4 讨 论

本研究结果显示,云南松天然次生林各组分营养元素含量相差较大,各个器官营养元素含量总体表现为树叶最高,树枝和树根次之,树干最低。植物体内不同器官的营养元素含量差异主要是由于植物体内各器官生理活性不同引起的,树叶是植物体内的同化器官,是合成有机物质的场所,其生长周期短,代谢活动快,生命活动中需要大量的营养元素来满足其生长和代谢的要求。而树干以木质为主,其生理功能最弱,树干中 N、P、K 等营养元素主要通过树木根系吸收,经木质部运输和树皮形成层作用以及一系列生理过程,将其运送到生长活动强烈的部位(幼嫩叶片、分生组织和生长点),因而树干中多数营养元素含量最低。

森林生态系统中,乔木层是最活跃、最重要的亚系统,该系统所进行的初级生产既是能量的固定过程,也是营养元素的积累过程。本研究中,云南松天然次生林营养元素积累总量随林龄的增长而增大,其中 15,30 和 45 年生云南松天然次生林乔木层营养元素积累量为 135.76~2 329.71 kg/hm²,分别占林分营养元素总积累量的 70.70%,66.84% 和 98.82%。各器官营养元素积累量存在明显的差异,养分积累量与林分生物量变化规律相似,但与生物量不成比例关系,30 年生云南松天然次生林树干生物量占 42.81%,营养元素积累量却只占 15.80%,主要原因是植物体内各组分生理活性不同及不同组分间生物量存在差异。林下植被是云南松天然次生林生态系统中一个重要的组成部分,其营养元素积累量所占比例随着林龄的增加而显著减小,15,30 和 45 年生云南松依次为 22.97%,7.53% 和 0.43%。林下植被在森林生物量中占的比重虽

然不大,但它对养分循环的作用却不可低估。大量研究表明,一般情况下,林下植被的化学浓度和生物量归还速率比乔木层高。因此可认为,林下植被对森林总生产力和生物地球化学循环的作用远比其在生物量方面的作用重要^[3]。凋落物由于受到计划烧除的影响,15,45 年生云南松天然次生林凋落物营养元素积累量只占到各自林分总积累量的 6.32% 和 0.73%。凋落物是森林生态系统林木养分归还的重要途径之一,是森林生态系统的重要组成部分,是营养元素循环的重要环节,在维持和提高林地土壤肥力方面起着极其重要的作用。因此,在今后的森林经营中,应采取相应的措施保护森林,减少人为干扰所造成的森林生态系统的养分损失。

本研究中,不同林龄云南松天然次生林 W(N)/W(P)存在明显差异,W(N)/W(P)随着林龄的增长呈下降趋势,15 年生云南松天然次生林受到 N、P 的共同影响,30 和 45 年生云南松天然次生林只受到 N 的影响,说明随着林龄的增长云南松对磷的贮存能力更强,这可以改善土壤中磷的含量,提高和维持土壤肥力。15,30 和 45 年生云南松天然次生林营养元素利用效率分别为 8.38,8.52 和 7.68 kg/t。利用效率高于年龄相近的华山松^[4]、华北落叶松^[19]等针叶树种,所以从营养元素利用效率来分析,云南松林不会因过度消耗土壤中的营养元素而导致土壤肥力降低,说明云南松有耐贫瘠、适应性强、适合荒山造林等特点。不同林龄云南松天然次生林对磷的利用效率在所有养分中都最高,这表明云南松具有适应低磷环境的特点,因此今后在对低磷条件下的荒山进行绿化时可以优先考虑云南松。

由于砍伐森林而造成生态系统中营养元素的损失是不可避免的,因此在今后云南松林的采伐利用中应尽量只采伐树干,而在林地中留下其他部分。

虽然树干的生物量比例最高,但其营养元素积累量与生物量不成比例关系,体内营养元素的积累量并没有枝叶等器官高;残留的枝叶和凋落物不仅能降低因降雨产生的径流对地表的侵蚀,其自身的分解还能把养分元素归还给土壤。采用此种作业法可明显地减少林地营养元素的损失,尤其是 N 和 P 2 种元素。近期研究结果表明,收割凋落物和林下植被这种人为活动,不仅直接从林地中带走相当数量的营养元素,而且还增加有效氮从林地中流失的潜力^[21],计划烧除虽能有效地预防森林火灾,但不利于云南松林营养元素的循环和积累,所以在今后的森林经营中注重森林防火的同时,如何减少由于人为干扰导致的森林生态系统养分损失还需进一步研究。

需要指出的是,15 年和 45 年生云南松天然次生林受到计划烧除的影响,使得林下凋落物现存量较少,从而导致凋落物营养元素积累量偏低,但其对云南松及其林下植被层营养元素的积累和分配不会造成太大的影响。

[参考文献]

[1] Sharma J C,Sharma Y. Nutrient cycling in forest ecosystems:A review [J]. Agricultural Reviews,2004,25(3):157-172.

[2] 张昌顺,李 坤. 人工林养分循环研究现状与进展 [J]. 世界林业研究,2005,18(4):35-39.

Zhang C S,Li K. Research status and advances of nutrient cycling of plantation [J]. World Forestry Research,2005,18(4):35-39. (in Chinese)

[3] 王 战,陈楚莹,张家武,等. 湖南银杉的生物量和营养元素含量 [J]. 生态学杂志,1983,4(1):7-11.

Wang Z,Chen C Y,Zhang J W,et al. Biomass and nutrient content of cathaya argyrophylla in Hunan Province [J]. Chinese Journal of Ecology,1983,4(1):7-11. (in Chinese)

[4] 张硕新,刘光哲. 华山松人工林的养分循环 [J]. 西北林学院学报,1989,6(1):22-27.

Zhang S X,Liu G Z. Nutrient cycle of China Armand pine plantation [J]. Journal of Northwest Forestry College,1989,6(1):22-27. (in Chinese)

[5] 莫江明,Sandra Brown,孔国辉,等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征 [J]. 生态学报,1999,19(5):635-640.

Mo J M,Sandra Brown,Kong G H,et al. Nutrient distribution and cycling of a Masson's pine planted forest in Dinghu mountain [J]. Acta Ecologica Sinica,1999,19(5):635-640. (in Chinese)

[6] 张希彪,上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较 [J]. 生态学报,2006,26(2):373-382.

Zhang X B,Shangguan Z P. Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* in

Hilly Loess Regions [J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(2):373-382. (in Chinese)

[7] 何 斌,秦武明,余浩光,等. 不同年龄阶段马占相思人工林营养元素的生物循环 [J]. 生态学报,2007,27(12):5158-5167.

He B,Qin W M,Yu H G,et al. Biological cycling of nutrients in different ages classes of acacia mangium plantation [J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(12):5158-5167. (in Chinese)

[8] 何 斌,韦善华,张 伟,等. 黑木相思人工林营养元素生物循环特征 [J]. 东北林业大学学报,2012,40(12):9-12.

He B,Wei S H,Zhang W,et al. Biological cycling of nutrients in *Acaciam elanoxylon* plantation [J]. Journal of Northeast Forestry University,2012,40(12):9-12. (in Chinese)

[9] 中国森林编辑委员会. 中国森林:第 2 卷. 针叶林 [M]. 北京:中国林业出版社,1999:985-971.

Chinese Forest Editorial Committee. Chinese forest:The Second Volume. Taiga [M]. Beijing:Press of Chinese Forestry,1999:985-971. (in Chinese)

[10] 云南森林编写委员会. 云南森林 [M]. 昆明:云南科技出版社/中国林业出版社,1986:125-153.

The Writing Committee of Yunnan Forest. Yunnan forest [M]. Kunming:Press of Yunnan Science/Press of Chinese Forest,1986:125-153. (in Chinese)

[11] 李贤伟. 云南松研究现状及动态 [J]. 四川农业大学学报,1995,13(3):309-314.

Li X W. The present research situation and dynamic on the Yunnan pine plantation [J]. Journal of Sichuan Agricultural University,1995,13(3):309-314. (in Chinese)

[12] 戴开节,何 方,唐 丽,等. 云南松研究综述 [J]. 中南林学院学报,2006,26(2):138-142.

Dai K J,He F,Tang L,et al. Advances in the research on pinus yunnanensis forest [J]. Journal of Central South Forestry College,2006,26(2):138-142. (in Chinese)

[13] 张志华,王连春,罗俊贤,等. 滇西北云南松单木生物量模型研究 [J]. 山东林业科技,2011(4):4-6.

Zhang Z H,Wang L C,Luo J X,et al. Study on tree biomass models of *Pinus yunnanensis* Faranch in northwest Yunnan Province [J]. Shandong Forestry Science and Technology,2011(4):4-6. (in Chinese)

[14] 董 鸣. 陆地生物群落调查与观测 [M]. 北京:中国标准出版社,1996:239-257.

Dong M. Survey,observation and analysis of terrestrial bio-communities [M]. Beijing:Standards Press of China,1996:239-257. (in Chinese)

[15] 高甲荣,张东升,肖 斌,等. 黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究 [J]. 北京林业大学学报,2002,24(1):26-30.

Gao J R,Zhang D S,Xiao B,et al. Nutrient distribution and accumulation pattern of Chinese pine plantation ecosystems in the loess region [J]. Journal of Beijing Forestry University,2002,24(1):26-30. (in Chinese)

- Huang C Y. Soil science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 183-185. (in Chinese)
- [13] 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 87-88.
- Xu J L, Yang J R. Heavy metals in terrestrial ecosystem [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1995: 87-88. (in Chinese)
- [14] 郑顺安, 陈 春, 郑向群, 等. 模拟降雨条件下 22 种典型土壤镉的淋溶特征及影响因子分析 [J]. 环境化学, 2013, 32(5): 867-873.
- Zheng S A, Chen C, Zheng X Q, et al. Effect of simulated rain on leaching of cadmium from 22 typical soils and key factors identification [J]. Environmental Chemistry, 2013, 32(5): 867-873. (in Chinese)
- [15] 蒋建清, 吴燕玉. 模拟酸雨对草甸棕壤中重金属迁移的影响 [J]. 中国科学院研究生院学报, 1995, 12(2): 185-190.
- Jiang J Q, Wu Y Y. Study on the movement of heavy metal in meadow burozem affected by model acid precipitation [J]. Journal of University of Chinese Academy of Science, 1995, 12(2): 185-190. (in Chinese)
- [16] 宫彦章, 刘月秀, 刘姝媛, 等. 广东省林地土壤有效态锌、镉含量及其与有机质和 pH 的关系 [J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(1): 15-18.
- Gong Y Z, Liu Y X, Liu S Y, et al. Available Zn and Cd contents in relation to pH and organic matter in forest soils of Guangdong Province [J]. Journal of South China Agricultural University, 2011, 32(1): 15-18. (in Chinese)
- [17] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染与有益元素的土壤化学平衡 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 276-303.
- He Z L, Zhou Q X, Xie Z M. Soil-chemical balances of pollution and beneficial elements [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 276-303. (in Chinese)
- [18] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 255-256.
- Liao Z J. The environmental chemistry of trace elements and its biological effect [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 255-256. (in Chinese)

(上接第 106 页)

- [16] 何 斌, 温远光, 梁宏温, 等. 英罗港红树植物群落不同演替阶段植物元素分布及其与土壤肥力的关系 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 518-524.
- He B, Wen Y G, Liang H W, et al. Element distribution and its relationship with soil fertility in different succession stages of a mangrove community in Yingluo bay, Guanxi [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(5): 518-524. (in Chinese)
- [17] 刘广全, 土小宁, 赵士洞, 等. 秦岭松栎林带生物量及其营养元素分布特征 [J]. 林业科学, 2001(1): 28-36.
- Liu G Q, Tu X N, Zhao S D, et al. Distributional characteristics on biomass and nutrient element of pine-oak forest belt in mt. Qinling [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001(1): 28-36. (in Chinese)
- [18] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N : P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. Journal of Applied Ecology, 1996(33): 1441-1450.
- [19] 谢会成, 杨茂生. 华北落叶松人工林营养元素的生物循环 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(5): 49-52.
- Xie H C, Yang M S. The biocycle of *Larix principis-ruppechii* forest plantation in south slope of Qinling mountains [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2002, 26(5): 49-52. (in Chinese)
- [20] 张旭东, 薛明华, 许 军. 安徽马尾松人工林营养元素分配格局的研究 [J]. 应用生态学报, 1993, 4(1): 7-11.
- Zhang X D, Xue M H, Xu J. The nutrient elements distribution pattern of *Pinus massoniana* plantation in Anhui [J]. Chinese Journal of Apply Ecology, 1993, 4(1): 7-11. (in Chinese)
- [21] 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, 1999: 317-322.
- Lu R K. Methods of soil agricultural chemical analysis [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 317-322. (in Chinese)