

四川西部川西云杉人工林非同化器官营养元素含量与分布

刘兴良^{1, 2}, 宿以明², 刘世荣³, 马钦彦^{1*}

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081; 3. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:采用分层切割法取样,测定川西云杉人工林非同化器官营养元素含量。非同化器官 N、P、K、Ca、Mg 含量具有显著差异,均呈现干皮>枝>根>干的规律。随枝条年龄的增加,枝条中 N、P、K 含量随之降低,Ca 增加,Mg 变化不明显。随树高度的增加,冠层枝、干、树皮 N、K 呈增加趋势,且均呈显著直线相关,Ca 显著降低,P、Mg 变化不明显。随林木根径的增加,根系营养元素含量均呈降低的趋势。32 年生川西云杉个体生物量和营养元素积累量分别为 31.161kg 和 268.693g,其中根、干、皮、枝和叶生物量分别占总生物量的 14.82%、42.23%、9.98%、19.69% 和 13.20%,营养元素积累量分别占总量的 8.33%、16.93%、19.28%、26.26% 和 29.20%;N、P、K、Ca、Mg 积累量分别占总积累量的 34.71%、8.75%、25.79%、27.26% 和 3.49%。

关键词:川西云杉;人工林;非同化器官;营养元素含量;分布

Macronutrients and their allocations in non-photosynthetic organs in the *Picea balfouriana* in western Sichuan

LIU Xing-Liang^{1, 2}, SU Yi-Ming², LIU Shi-Rong³, MA Qin-Yan^{1*} (1. *Environment and Resources College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*; 2. *Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, 610081, China*; 3. *Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2573~2578.

Abstract: The concentration of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) in the roots, bole and branches of *Picea balfouriana* were investigated. In a 31.61kg (32 year old) *Picea balfouriana* individual, the roots, bole, bole bark, branches and needles accounted for 14.82%, 42.23%, 9.98%, 19.96% and 13.20% respectively. The characteristic allocation of macronutrients in an individual plant decreased from: barks>branches>roots>woods, respectively. With increasing branch age, N, P, K concentrations were found

基金项目:四川省杰出青年学科带头人培养基金资助项目(2001026);国家林业局“十五”重点资助项目(No. 2001010);国家“十五”攻关资助项目(No. 2001BA510B060101)

收稿日期:2002-01-02; **修订日期:**2003-04-10

作者简介:刘兴良(1963~),男,重庆市江津市人,博士,研究员,从事川西高山森林生态及植物学研究。E-mail: wolong@cfern.org, liu881005@yahoo.com.cn

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: maqinyan@bjfu.edu.cn

Foundation item: The Project of the Foundation Training the Outstanding Youth Lead of Subject of Sichuan (No. 2001026); Science and Technology Program of China Bureau of Forestry from 2000 to 2005(No. 2001010); Science and Technology Program of China from 2000 to 2005(No. 2001BA510B060101)

Received date:2002-01-02; **Accepted date:**2003-04-10

Biography: Liu Xingliang, Ph. D., Professor, main research field: forest ecology and geobotany. E-mail: wolong@cfern.org, liu881005@yahoo.com.cn

to decrease, but Ca concentration increased. There was no significant age effect on Mg concentration in branches. The concentrations of N, P, K in bole increased linearly with height from 1.0m to the tip of the bole, Ca concentration decreased with bole height and Mg concentration did not change significantly with bole height. The macronutrient concentration in roots decreased as root diameter increased. The macronutrients in roots, bole, bole bark, branches and needles accounted for 8.33%, 16.93%, 19.23%, 26.26% and 29.20%, respectively of the total macronutrient pool of 268.693g. In the whole macronutrient pool, N, P, K, Ca and Mg account for 34.71%, 8.75%, 25.79%, 27.26% and 3.49%, respectively.

Key words: *Picea balfouriana*; plantation; non-photosynthetic organs; nutrient content; distribution

文章编号:1000-0933(2003)12-2573-06 中图分类号:S718.544 文献标识码:A

四川西部森林以云杉、冷杉属植物为建群种构成的亚高山暗针叶林为主要代表类型,长期以来对森林采伐过度,20世纪50年代开始进行了大面积更新,据2000年统计人工林面积约73.0万 hm^2 ,川西云杉(*Picea balfouriana*)是迹地更新主要树种之一,约占10%^[1]。由于缺乏科学规划加之未严格遵循生态学原理,更新树种单一、纯林化及树种错位现象较为严重,病虫害大面积发生,人工林地力衰退等导致人工林整体功能下降已日渐显现^[1~4]。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,系统中的养分循环是系统功能的主要表现之一。20世纪70年代以来,从研究林木营养积累、分布与循环,发展到以林地、林木器官养分状态的诊断为基础的施肥及树种配置^[5~19]。因此,系统研究川西云杉人工林非同化器官营养元素的含量及其分布,不仅对人工林生态系统研究积累基本数据,而且对于林分的营养诊断、合理经营以及稳定人工林生态系统营建等都具有重要意义。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

本研究在四川西部黑水县林业局901场,年平均气温9.1 $^{\circ}\text{C}$,最高气温32.8 $^{\circ}\text{C}$,最低气温-14.4 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温2543.4 $^{\circ}\text{C}$,年降水量836.8mm,土壤为山地棕色森林土。林分为32年生川西云杉人工纯林,密度为3460株/ hm^2 ,郁闭度0.9,平均树高10.5m,平均胸径10.4cm,蓄积量为125.2 m^3/hm^2 ,枝下高2.3m。林下灌木草本稀疏,盖度20.0%,苔藓较为发达,盖度0.8。林内枯落物层较厚,以云杉针叶为主,可达5~10cm。灌木层主要种类有悬钩子(*Rubus amabilis*, *R. biflorus* & *R. flosculosus*)、红毛五加(*Acanthopanax giraldii*)、糙柄菝葜(*Smilax trachypoda*)等,草本种类主要以禾草科和菊科植物为主。

1.2 研究方法

1.2.1 乔木层生物量测定及取样方法 设20m \times 25m标准地,对其林木进行每木调查,计测林分因子及其参数。在标准地内以2.0cm为径级选择标准木,共计9株,分别测定胸径、树高、冠幅、枝下高及相邻木位置。伐倒标准木,采用“分层切割法”^[20],实测干、皮、枝、叶地上部分鲜重,同时对各器官取样。另外,选取1株平均木,从树干基部起,按2m分段取干皮、干材、针叶及枝条样,其中针叶、树枝按1年生至5年生分别取样。同时,所选样木地下部分按不同土壤层次(20cm划分1层)挖出全部根系,并将根桩、粗根($D_R > 2.0\text{cm}$)、中根($1.0\text{cm} < D_R \leq 2.0\text{cm}$)、细根($0.5\text{cm} < D_R \leq 1.0\text{cm}$)、须根($D_R \leq 0.5\text{cm}$)分层分级称其鲜重,取样。同时,测量灌木层、草本层及枯落物层生物量并取样。

1.2.2 样品处理及室内分析方法 所有样品烘干称重,然后进行营养元素含量测定。N用经典靛酚兰比色法;P用钼兰比色721型分光光度计法;钾、钙、镁的测定是将粉碎后样品置于550 $^{\circ}\text{C}$ 的马福炉内灰化4h后,用1:1的盐酸溶解、定容,再用PE-5000型原子吸收分光光度计测定其含量。

2 结果与分析

2.1 枝条中营养元素含量

枝条是树木体内营养元素传输的纽带,其营养状况在一定程度上反映林木的营养水平。林木1~5年生枝条营养元素平均含量以K最高,其次 $\text{Ca} > \text{N} > \text{P}$,Mg含量最低。随着枝条年龄的增加,营养元素总

含量、N、P、K、Mg 含量随着降低,Ca 含量增加(表 1)。林木各营养元素含量大小随着随枝条年龄的增加,其变化各不相同,枝条龄在 1~3 年生时,其营养元素 K 含量最高,Mg 最低,具有 $K > N > Ca > P > Mg$ 规律,枝条龄在 4 年生以上时,营养元素含量大小排序为 $Ca > N > K > P > Mg$ 。Mg 含量以 1 年生枝条含量高,2a 以上枝条变化不明显。

林木树冠不同高度层次枝条营养元素含量变化差异较大(表 2),当树冠大于 2.5m 以上时,P、K、Mg 随高度的增加而增加,Ca 随高度增加而降低。

在树冠高度小于 7m 以下时,同一层次高度枝条营养元素含量 Ca 含量最高,其次 $N > K > P$,Mg 含量最低,在树冠高度大于 7m 上枝条中具有 $K > N > Ca > P > Mg$ 的规律,与 1~3 年生年龄枝条营养元素含量大小排序规律一致。

无论从不同年龄枝条还是不同树冠层次枝条,随着生长进程而“年龄”增大,在营养元素含量分配方面出现一定规律,即代谢及生长较强的部位,N、P、K 含量较高,且随年龄增大而减少,Ca 则相反,Mg 变化为 1 年生枝条和树体顶部枝条中含量达到峰值,可能与 Mg 的可移动性与叶片的同化率有关。说明通过同化器官的光合作用制造有机物,使 N、P、K、Mg 有向生长中心富集现象。

2.2 树干中营养元素含量

树干木质部 N、K、Ca 及总含量随树干高度增加而增加,P、Mg 变化无明显规律(表 3)。树干木质部营养元素含量(平均值)以 N 最高,其次 $K > Ca > P$,Mg 最低。从不同高度树干营养元素分布模式来看,树干中部以上开始稳定,其营养元素含量大小排序均表现为 $N > K > Ca > P > Mg$ 的格局。

树皮营养元素含量随树干高度增加,N、P、K、Mg 含量增加,Ca 含量下降,树皮营养元素平均含量大小排序为 $K > Ca > N > P > Mg$,与叶生长末期营养元素含量大小排序差异较大,与松类营养元素含量分布格局不一致^[12,16],与高度 3m 以上树干木质部营养元素含量大小排序一致(表 4)。

树干树皮中 N、P、K 主要通过树木根系吸收,经树干木质部运输及树皮形成层作用,以及一系列生理过程,使其达到生长活动强烈的部位(幼嫩叶片、分生组织和生长点),因此,树干树皮营养元素含量随高度增加而变化,但其含量差异较大。总趋势为高度在 5m 以下时,树皮营养元素大小排序为 $Ca > K > N > P > Mg$;高度在 5~7m 时,树皮营养元素含量大小排序为 $K > Ca > N > P > Mg$,与树皮营养元素平均含量趋势一致;高度 7m 以上时,树皮营养元素含量大小

表 1 川西云杉人工林不同年龄枝条的营养元素含量
Table 1 Nutrient percentage contents in the twig of different age of the *Picea balfouriana* plantation

枝龄(a) Twig age	营养元素含量 Element concentration(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
1	0.605	0.278	0.850	0.350	0.080	2.163
2	0.369	0.137	0.610	0.370	0.040	1.526
3	0.319	0.093	0.400	0.400	0.040	1.252
4	0.289	0.079	0.260	0.410	0.040	1.078
5	0.146	0.025	0.150	0.470	0.020	0.811
平均 Average	0.346	0.122	0.454	0.400	0.044	

表 2 川西云杉人工林树冠不同高度枝条内营养元素的含量
Table 2 Nutrient percentage contents in the twigs of different crown heights of the *Picea balfouriana* plantation

枝条高度 Twig of heights (m)	营养元素含量 Element concentration(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
0.5	0.832	0.363	0.730	0.240	0.100	2.265
2.5	0.274	0.078	0.140	0.650	0.040	1.182
4.5	0.282	0.087	0.300	0.450	0.040	1.109
6.5	0.309	0.100	0.400	0.760	0.060	1.629
8.5	0.308	0.102	0.360	0.300	0.040	1.110
10.0	0.479	0.218	0.680	0.260	0.080	1.717
平均 Average	0.330	0.107	0.376	0.484	0.052	

表 3 川西云杉人工林树干不同高度木质部营养元素含量
Table 3 Nutrient percentage contents in the xylem of different height of the *Picea balfouriana* plantation

圆盘高度 Disc heights (m)	营养元素含量 element concentration(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
0.5	0.094	0.049	0.090	0.030	0.010	0.273
2.5	0.098	0.023	0.030	0.030	0.006	0.187
4.5	0.109	0.034	0.110	0.040	0.010	0.303
6.5	0.133	0.049	0.110	0.050	0.010	0.352
8.5	0.158	0.029	0.100	0.050	0.010	0.347
10.0	0.226	0.043	0.220	0.080	0.020	0.589
平均 Average	0.136	0.038	0.110	0.047	0.011	

排序为 $K > N > Ca > P > Mg$ 。

2.3 根系中营养元素含量

川西云杉人工林不同根径(D_R)的根系营养元素含量的分析表明(表5),随着根径增加,各级根径根系营养元素总含量、N、P、Ca、Mg含量均呈显著降低趋势,K含量增加,根系营养元素平均含量具有 $Ca > N > K > P > Mg$ 的规律。根颈、根径 $D_R \leq 1.0$ 时,各级根系营养元素含量大小排序为 $Ca > N > K > P > Mg$,与4年生以上枝条营养元素含量及根系营养元素平均含量排序规律一致;根径 $2.0\text{cm} \geq D_R > 1.0\text{cm}$ 时,营养元素含量大小排序为 $Ca > K > N > P > Mg$,与树干营养元素分布模式一致。说明林木个体地上部分与须根是通过根颈这一营养通道而联系的。

2.4 川西云杉人工林个体营养元素的空间分布

川西云杉人工林个体非同化器官营养元素的空间分布表明(表6),不同器官营养元素的大小排序为: N,皮 > 枝 > 根系 > 干; P,皮 > 枝 > 根系 > 干; K,皮 > 枝 > 根系 > 干; Ca,皮 > 根系 > 枝 > 干; Mg,皮 > 枝 > 根系 > 干,可见在林分养分循环中树皮的重要作用。而在同一器官中营养元素大小排序为:枝, $K > N > Ca > P > Mg$; 干, $N > K > Ca > P > Mg$; 干皮, $K > N > Ca > P > Mg$; 根系, $Ca > N > K > P > Mg$ 。

综合分析林木个体不同树冠层营养元素的分布(表2、表3、表5),可以发现在树冠高度大于2.5m以上时,林木各器官营养元素总含量N、P、K大小排序规律树皮 > 枝 > 干, Mg大小排序为树皮 > 枝 > 干, Ca无明显规律;可以看出生长活动强的器官(嫩枝、干皮、须根)营养元素含量分布规律与1年生叶营养元素含量 $N > K > Ca > P > Mg$ 分布模式一致。

研究川西云杉个体生物量、各器官营养元素积累量及其分配表明(表7),32年生川西云杉个体生物量为31.161kg,营养元素积累为268.693g,占生物量的0.86%,其中N、P、K、Ca、Mg积累量分别为93.267、23.502、69.294、73.247、9.383g,分别占营养元素积累量的34.71%、8.75%、25.79%、27.26%和3.49%。

个体各营养元素平均积累量大小排序为 $N > Ca > K > P > Mg$ 。

32年生川西云杉个体根系、干、皮、枝、叶的生物量分别为4.169、13.181、3.111、6.136、4.114g,分别占生物量总量的14.82%、42.23%、9.98%、19.69%和13.20%。而营养元素积累量分别为:22.371、45.491、51.809、70.568和78.454g,分别占营养元素积累总量的8.33%、16.93%、19.28%、26.26%和29.20%;各器官生物量大小排序为干 > 枝 > 根 > 叶 > 皮,而不同器官营养元素积累量大小排序为叶 > 枝 > 皮 > 干 > 根,二者没有明显的对应关系,而与各器官营养元素含量大小有关,其含量大小排序为叶 > 干皮 > 枝 > 根 > 干。

万方数据

32年生川西云杉人工林各器官营养元素积累量的相对分配差别较大,特别是N、P、K是林木体内重要

表4 川西云杉不同高度树皮营养元素的含量

Table 4 Nutrient percentage contents in the bark of different height of the *Picea balfouriana* plantation

圆盘高度 Disc heights (m)	营养元素含量 Element concentration(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
0.5	0.307	0.108	0.360	0.700	0.050	2.125
2.5	0.323	0.111	0.490	0.560	0.060	1.544
4.5	0.399	0.104	0.530	0.510	0.060	1.603
6.5	0.441	0.138	0.580	0.500	0.070	1.699
8.5	0.496	0.174	0.530	0.310	0.040	1.550
10.0	0.639	0.235	0.910	0.310	0.160	2.254
平均 Average	0.434	0.145	0.550	0.482	0.073	

表5 川西云杉人工林不同根径根系中营养元素的含量

Table 5 Nutrient percentage contents in the different class roots of *Picea balfouriana* plantation

根径 Root classes (cm)	营养元素含量 Element concentration(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
$D_R \leq 0.5$	0.594	0.128	0.230	0.640	0.080	1.672
$0.5 < D_R \leq 1.0$	0.372	0.114	0.270	0.440	0.040	1.236
$1.0 < D_R \leq 2.0$	0.269	0.093	0.280	0.310	0.030	0.982
$D_R > 2.0$	0.179	0.072	0.370	0.280	0.020	0.921
根颈 Root collar	0.086	0.034	0.070	0.330	0.006	0.526
平均 Average	0.300	0.149	0.244	0.400	0.035	

表6 川西云杉人工林个体非同化器官营养元素的平均含量

Table 6 Average nutrient percentage contents in non-photosynthetic organs of the *Picea balfouriana* plantation

器官 Organs	营养元素平均含量 Average nutrient percentage contents(%)					合计 Total
	N	P	K	Ca	Mg	
枝 Branch	0.346	0.122	0.454	0.340	0.052	1.314
干 Wood	0.138	0.038	0.110	0.048	0.011	0.3034
干皮 Bole Bark	0.434	0.153	0.550	0.482	0.073	1.619
根系 Roots	0.300	0.088	0.244	0.400	0.035	1.067

而活跃的元素,参与植物的生命活动或构成植物有机体的组成成分。川西云杉个体 N、P、K 积累量为 186.063g,占总含量的 69.25%,仅占总生物量的 0.597%,林木各器官 N、P、K 总含量具有叶>枝>皮>干>根系的分布规律,进一步说明叶、枝、皮在林木生长活动中的重要作用。叶是进行光合作用而维持植物生长的器官,生物量占总生物量的 13.20%,而营养元素积累量为 78.454g,占总量的 29.20%,其中 N、P、K 占总量的 20.60%,占个体 N、P、K 总量的 29.75%。树皮生物量仅为总生物量的 9.98%,但营养元素积累量却占总量的 19.28%,其中 N、P、K 占总量的 11.14%,占个体 N、P、K 总量的 16.09%;枝的生物量占总量的 19.69%,营养元素积累量占总量的 26.26%,其中 N、P、K 占总量的 17.96%,占 N、P、K 总量的 25.94%。虽然干材生物量很高,占总量的 42.23%,但由于其承担的功能决定了其营养元素积累量较低,仅占 16.93%。

表 7 川西云杉人工林个体各器官营养元素积累与分配

Table 7 The nutrient accumulation and distribution in the individual organs at age 32 of the *Picea balfouriana* plantation

器官 Organs	营养元素积累 Element accumulation(g)					合计 Total	生物量 Biomass (kg)
	N	P	K	Ca	Mg		
根系 Roots	6.490(2.42)	2.493(0.93)	5.774(2.15)	6.983(2.60)	0.631(0.23)	22.371(8.33)	4.619(14.82)
树干 Wood	18.229(6.78)	4.986(1.86)	14.499(5.40)	6.327(2.35)	1.450(0.54)	45.49(16.93)	13.181(42.23)
树皮 Bole bark	13.509(5.03)	4.766(1.77)	11.664(4.34)	19.598(7.29)	2.272(0.85)	51.809(19.28)	3.111(9.98)
枝条 Twigs	18.611(6.93)	6.233(2.32)	23.461(8.73)	19.862(7.39)	2.401(0.89)	70.568(26.26)	6.136(19.69)
叶 Needles	36.428(13.56)	5.024(1.87)	13.896(5.17)	20.477(7.62)	2.629(0.98)	78.454(29.20)	4.114(13.20)
合计 Total	93.267(34.71)	23.502(8.75)	69.294(25.79)	73.247(27.26)	9.383(3.49)	68.693(100.00)	31.161(100.00)

3 结语

川西云杉人工林个体不同年龄枝条营养元素的含量明显不同,随着枝条年龄的增加枝内 N、P、K 的含量下降明显,Ca 含量增加。不同树冠层次枝中营养元素含量存在一定的差异,在 2.5m 以上高度其变化趋势为:N、P、K、Mg 含量随着枝在冠层高度位置的增加而增加,Ca 含量逐渐降低。

树干树皮及木质部中营养元素分布规律,随着圆盘高度的升高,树干木质部中 N、K、Ca 及总含量增加,P、Mg 变化不明显;木质部营养元素平均含量排序为:N>K>Ca>P>Mg。随高度增加,树皮内营养元素变化差异较大,其平均含量大小排序为 K>Ca>N>P>Mg,同一高度树干、树皮及枝条营养元素总含量具有枝>树皮>干的规律。

不同根径根系营养元素含量随着根径的增加,N、P、Ca、Mg 的含量均呈显著降低的趋势,K 含量增加;其平均含量大小排序具有 Ca>N>K>P>Mg 的规律。

32 年生人工林川西云杉个体非同化器官营养元素排序为:N,皮>枝>根>干;P,皮>枝>根>干;K,皮>枝>根>干;Ca,皮>根>枝>干;Mg,皮>枝>根>干。表明,树皮在林木营养元素生物循环中具有重要作用。川西云杉个体生物量为 31.161kg,营养元素积累量为 268.693g,占生物量总量的 0.86%,其中 N、P、K、Ca、Mg 积累量分别为 93.267g、3.502g、69.294g、73.247g 和 9.383g,个体各营养元素积累量大小排序为:N>Ca>K>P>Mg。

林木营养元素的积累量由各器官生物量和营养元素含量共同决定。32 年生人工林川西云杉个体根、干、皮、枝条和针叶的生物量分别占总生物量的 14.82%、42.23%、9.98%、19.69%和 13.20%;而营养元素积累量分别占总量的 8.33%、16.93%、19.28%、26.26%和 29.20%,个体各器官生物量排序为:干>枝>根>叶>皮,营养元素积累量排序为:叶>枝>皮>干>根,林木各器官营养元素积累量的相对分配差异较大,叶、枝和皮的生物量占总量的 13.20%、19.69%和 9.98%,而营养元素积累量占总量的 29.19%、19.69%和 9.98%,充分说明三者营养循环中的重要作用,特别是 N、K、Ca 循环。

川西云杉林木个体 1m 以下木质部中 P,树皮中 Ca,枝条中 N、P、K、Mg 含量较高,其生理机制有待进一步研究。

References: 万方数据

[1] Liu X L, Su Y M, et al. Researches on competitive laws of artificial *Picea balfouriana* forest populations. *Journal*

- of *Sichuan Forestry Science and Technology*, 1998, **19**(2):14~21.
- [2] Li CH B, Yang Y P, *et al.* *A ecological study on forests in Sichuan*, Sichuan Science & Technology Press, 1990.
- [3] Yang Y P, Li CH B, *et al.* *Forests in Sichuan*. Chinese Forestry Press, 1992. 1189~1372.
- [4] Su Y M, Liu X L. Effect of the different site conditions on productivity of the artificial *Picea asperata* forests. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2001, **22**(4):66~68.
- [5] Bringson M, *et al.*, Litter-fall, stem-flow, and through-fall nutrient fluxes in an alluvial swamp-forest. *Ecology*, 1980, **61**(4):827~835.
- [6] Gosz J R. Nitrogen cycling in coniferous ecosystem, *Ecol. Bull.*, 1981, **33**:406~426.
- [7] Melillo J M. Nitrogen cycling in deciduous forests. *Ecol. Bull.*, 1981, **33**:427~442.
- [8] Herrera, R, *et al.* Nitrogen cycling in a tropical Amazonian rain forest: The coating of low mineral nutrient status. *Ecol. Bull.*, 1981, **33**:493~505.
- [9] Jiao SH R. A preliminary study of the biomass and nutrient elements distribution in cultivated Mongolian pine forests in the Zhanggutai region, Liaoning province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1985, **9**(4): 257~265.
- [10] Marscher H. *Mineral nutrient of higher plants*. Academic Press, London/New York, 1986.
- [11] Kimmins J P. *Forest Ecology*. Macmillan, New York, 1987.
- [12] Gao J R. Research on the nutrient distribution for non-photosynthetic organs in Chinese pine. *Journal of Northwest College of Forestry*, 1988, **3**(2): 1~8.
- [13] Chen CH Y, Zhang J W, *et al.* Researches on improving the quality of forest land and the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. *J. Appl. Ecol.*, 1999, **1**(2): 97~106.
- [14] Fang Q. Effect of continuous planting for *Cunninghamia lanceolata* on the soil fertility of forest stand and forest growth. *Scientia Silvae Sinicae*, 1987, **23**(4): 389~397.
- [15] Hou G W, *et al.* Researches on variation of nutrient element in soil of cutover at alpine forest region, west Sichuan Province. In: Li CH B, Yang Y P, *et al.* *Ecological studies on in Sichuan forests*. Sichuan Science & Technology Press, 1990.
- [16] Zhang SH X. Seasonal variations of the nutrient contents of *Pinus armandii* needles. *Journal of Northwest College of Forestry*, 1990, **5**(1):8~14.
- [17] Chen D D, Li Y Q, *et al.* Simulating diagnosis of the optimum nutrient status in forest tree foliage. *Scientia Silvae Sinicae*, 1991, **27**(1): 1~7.
- [18] Li J Q, Gong W G. Characteristic analysis of nutrient contents of major tree species in northeast China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, **15**(4):380~385.
- [19] Liu G Q, Zhao SH D, *et al.* Nutrient distribution for non-photosynthetic organs in the sharp-tooth oak stands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(3): 422~429.
- [20] Feng Z W, Chen CH Y, *et al.* Biological productivity of two forest communities in Huitong county of Hunan Province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1992, **6**(4): 257~267.

参考文献:

- [1] 刘兴良, 宿以明, 等. 川西云杉人工林竞争规律的初步研究. *四川林业科技*, 1998, **19**(2):14~21.
- [2] 李承彪, 杨玉坡, 等. 四川森林生态研究. 成都:四川科学技术出版社, 1990. 3~55.
- [3] 杨玉坡, 李承彪, 等. 四川森林. 北京:中国林业出版社, 1992. 1189~1372.
- [4] 宿以明, 刘兴良. 不同立地条件对粗云杉人工林生产影响的研究. *四川林业科技*, 2001, **22**(4):66~68.
- [9] 焦树仁. 辽宁章古台樟子松人工林的生物量与营养元素分布的初步研究. *植物生态学术地植物学丛刊*, 1985, **9**(4):257~265.
- [12] 高甲荣. 油松林非同化器官营养元素分布. *西北林学院学报*, 1988, **3**(2): 1~8.
- [13] 陈楚莹, 张家武, 等. 改善杉木人工林的林地质量和提高生产力的研究. *应用生态学报*, 1999, **1**(2):97~106.
- [14] 方奇. 杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响. *林业科学*, 1987, **23**(4):389~397.
- [15] 侯广维, 等. 川西高山林区采伐迹地土壤营养元素变化的研究. 见李承彪主编, *四川森林生态研究*, 成都:四川科学技术出版社, 1990. 143~153.
- [16] 张硕新. 华山松林叶营养元素含量的季节变化. *西北林学院学报*, 1990, **5**(1):8~14.
- [17] 陈道东, 李贻铨, 等. 林木叶片最适养分状态的模拟诊断. *林业科学*, 1991, **27**(1):1~7.
- [18] 李俊清, 宫伟光, 等. 东北主要造林树种的营养元素含量特征分析. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, **15**(4):380~385.
- [19] 刘广全, 赵士洞, 等. 锐齿栎林非同化器官营养元素的分布. *生态学报*, 2001, **21**(3): 422~429.
- [20] 冯宗炜, 陈楚莹, 等. 湖南会同县两个森林群落的生物生产力. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, **6**(4):257~267.