

南岭山区杉木大径材林针叶矿质营养诊断*

邓厚银^{1,2} 王润辉¹ 晏 姝¹ 郑会全¹

韦如萍¹ 胡德活¹ 梁 机² 黄章平³

丘英华³ 邱智雄³ 彭华贵⁴ 曾庆团⁴ 周志平⁴

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 2. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530004; 3. 韶关市国有韶关林场, 广东 韶关 512023; 4. 广东省天井山林场, 广东 韶关 512726)

摘要 以广东省韶关林场和天井山林场的杉木大径材林针叶为试验材料, 对 N、P、K、Ca、Mg 矿质营养元素含量进行测定分析, 以期对杉木大径材培育平衡施肥提供理论依据。结果表明: 杉木中龄林矿质营养元素含量高低顺序为 $K > N > Ca > P > Mg$, 近熟林的为 $N > K > Ca > P > Mg$; 杉木中龄林、近熟林针叶矿质营养元素含量在不同坡位间存在一定程度的差异的排序; 杉木中龄林针叶矿质营养元素含量变异系数范围为 8.64%~44.76%, 而近熟林针叶矿质营养元素含量变异系数变化范围为 8.44%~26.36%。相关分析结果表明, 杉木中龄林生长性状与各矿质营养元素含量分别有不同程度正相关, 其中胸径、树高、材积与 N 含量均呈显著或极显著正相关, 而近熟林与矿质营养元素含量的相关性有所不同, 其中胸径与 P、Ca 含量间为显著正相关, 但高生长与 N、K 含量极显著负相关。运用主成分分析法对不同龄林、不同坡位的杉木针叶矿质营养元素进行综合评价, 结果表明 N、K 含量对杉木生长起关键作用。

关键词 杉木; 大径材; 针叶; 矿质营养; 诊断; 主成分分析

中图分类号: S791.27 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 05-0001-06

Mineral Nutrition Diagnosis of Needles in Large-timber of *Cunninghamia lanceolata* in Nanling Mountains

DENG Houyin^{1,2} WANG Runhui YAN Shu¹ ZHENG Huiquan¹

WEI Ruping¹ HU Dehuo¹ LIANG Ji² HUANG Zhangping³

QIU Yinghua³ QIU Zhixiong³ PENG Huagui⁴ ZENG Qingtuan⁴

ZHOU Zhiping⁴

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forest, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; 3. Shaoguan state-owned Forest Farm, Guangdong Shaoguan, Guangdong 512023, China; 4. Guangdong Tianjingshan Forest Farm, Shaoguan, Guangdong 512726, China)

Abstract This study aimed to quantify needle nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) content of the large diameter trees of two Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in Shaoguan forest farm and Tianjing mountain forest farm of Guangdong, thereby providing theoretical basis for the balanced fertilization application. The results showed that the order of the mineral nutrient elements content in

* 基金项目: 国家重点研发计划项目课题 (2016YFD0600301) 资助。

第一作者: 邓厚银 (1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为森林培育, E-mail: qq626571437@163.com。

通信作者: 胡德活 (1962—), 男, 研究员, 主要从事林木遗传育种研究, E-mail: hudehuo@163.com;

梁机 (1961—), 男, 教授, 主要从事林木遗传育种研究, E-mail: liangjimail@163.com。

middle age forest and near mature forest were $K>N>Ca>P>Mg$, and $N>K>Ca>P>Mg$, respectively. The contents of mineral nutrients in different grades of Chinese fir middle aged and near mature forests seemed to be different with each other in grades. The range of coefficient of variation of the mineral nutrient element content in the middle age forest and near mature forest were 8.64%~44.76%, and 8.44%~26.36%, respectively. The results of correlation analysis showed that the growth traits (DBH, treeheight, volume) of middle-aged Chinese fir forest were positively correlated with the N content at significantly or extremely significantly level. The correlation between near-mature forest and mineral nutrient content was different, among which there have a positive relationship between DBH and P and Ca, while a significantly negative relationship was found for tree height with N、K. Principal component analysis was used to evaluate the mineral nutrients in conifers of Chinese fir at different ages and slopes. The results showed that N and K contents played a key role in the growth of Chinese fir.

Key words *Cunninghamia lanceolata*; large-timber; needles; mineral nutrition; diagnosis; principal component analysis

叶片营养元素含量水平能在一定程度上反映植物的生长发育情况,科学地解析叶片营养元素并进行评价,对立地生产、科研管理等具有重要的意义^[1-3]。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)属杉科(Taxodiaceae)杉木属(*Cunninghamia*)植物,其人工林的面积和蓄积量在我国均居首位,分别达895万hm²和6.25亿m³,是重要的造林用材与生态树种之一^[4]。近年来杉木大径材的培育取得了可喜的进展,其成果不断的被应用到实践中。近年来,国内多个科研院所、高校与地方林业生产单位不断合作,研究揭示了杉木大径材材种结构动态变化规律及成材机理,提出了杉木大径材定向培育技术体系^[5-6]。然而,不同龄林及不同立地因子的杉木对营养需求往往有所不同。

本研究以不同龄林的杉木大径材林的不同坡位杉木针叶为试材,对其针叶主要矿质营养元素(氮、磷、钾、钙、镁)含量进行测定分析,并采用主成分分析法对不同龄林、不同坡位的杉木针叶营养元素吸收情况作出评价,以期对杉木大径材培育平衡施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与样地设置

1.1.1 试验地概况 杉木中龄林大径材培育试验地位于广东省韶关市浈江区韶关市国有韶关林场(113°55'E, 24°35'N),海拔100~200 m,为南岭山脉中段;试验地属中亚热带湿润性季风气候,地貌以山地丘陵为主,土层厚度1 m以上,

年平均气温18.8~21.6℃,年平均雨量1400~2400 mm,无霜冻期310 d左右,年平均日照时数1468~1892 h,年积温平均为6862.0~7884.0℃,光、热、水资源丰富。

杉木近熟林大径材培育试验地位于广东省韶关市乳源县广东省天井山林场(113°03'E, 24°43'N),海拔600~800 m,为南岭山脉中段;试验地属中亚热带湿润性季风气候,溶蚀高原地貌显著,土层厚度1 m以上,年平均气温17~20℃,极端最高温度34℃,极端最低温度-8℃;年均降水量2100~3500 mm,雨量70%集中在每年的3—8月份;冬季霜冻期45 d左右,实际有霜日6~16 d,个别年份有降雪或冰冻现象。

1.1.2 样地设置 在中龄林和近熟林大径材培育试验地内,开展了密度控制、遗传控制、施肥试验和栽培模式等4个不同内容的试验,均按坡位不同设置了上、中、下3个重复,每个重复中有10个试验小区。采样遵循随机性及均匀性原则,在每个重复内随机选取3棵平均木,等量采集杉叶均匀混合后作为该试验重复的叶片试验样本。

1.2 外业采集方法与室内测定方法

1.2.1 外业采集方法 2017年7月,在每棵标准木树冠中部,选取朝南方向的活枝采集杉木针叶样品,采用“节点法”和“主干法”将杉木按龄级分为当年生、1 a生、3 a生。本实验主要测定当年生与1 a生的混合针叶元素含量,因此将同一重复内的3棵平均木上采集的当年生、1 a生叶龄针叶样品进行混合,放入密封袋中待测。

室内测定方法：测定了5个叶片养分属性指标，包括全氮(g kg⁻¹)、全磷(g kg⁻¹)、全钾(g kg⁻¹)、全钙(g kg⁻¹)、全镁(g kg⁻¹)。测定方法采用当前主要的实验方法^[7]，将采回鲜杉木针叶样品放入烘箱内105℃杀青1 h，85℃下烘干至恒质量，称其干质量，粉碎后进行养分分析。N用重铬酸钾—浓硫酸消化后，以半微量凯氏法测定；P、K、Ca、和Mg分析待测液用H₂SO₄-H₂O₂消煮后，试液中的全磷(P)用钼锑抗比色法测定，火焰光度法测定全钾(K)、钙(Ca)和镁(Mg)用原子吸收光度法测定。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2007对数据进行初步整理与分析，变异系数估算采用公式 $CV=S/\mu$ (S和μ分别代表样本标准差、某一元素均值)。利用Statistical Analysis System(SAS V8.1)进行方差分析、相关系数估算、主成分分析等。

2 结果与分析

2.1 不同林龄针叶矿质营养分析

本研究两个不同龄林针叶矿质营养分析结果如下表1和图1。在N、P、Ca含量上，近熟林>

中龄林，而在K、Mg含量上中龄林>近熟林。可见，不同龄林针叶N、P、K、Ca、Mg的元素含量有一定的差异，但不同龄林杉木针叶矿质营养元素含量高低变化的趋势相近，中龄林针叶矿质营养元素含量高低顺序为：K>N>Ca>P>Mg，近熟林的为N>K>Ca>P>Mg。

N、P、Ca含量在杉木近熟林中高于中龄林，这表明杉木在成熟阶段的生长过程中，对N、P、Ca肥的需求量大，而K、Mg含量在杉木后期的生长中其需求量比前期的少，这表明杉木对营养元素的需求存在差异。

经T检验结果分析可知：不同龄林针叶N、P、K、Ca含量的差异均不能达到统计意义上的显著水平，而不同龄林针叶Mg含量的差异达到显著水平。

2.2 不同坡位杉木针叶矿质营养分析

不同坡位针叶矿质营养分析结果见表2及表3。从表2中可见，中龄林中坡位除了Ca含量外，N、P、K、Mg含量均高于中上坡和下坡。其中，中坡位置K含量高达24.210 g kg⁻¹，其次是中坡位N含量17.420 g kg⁻¹，均高于其余两坡位。从表3可知，近熟林与中龄林类似，中坡位除了Ca含量

表 1 不同林龄杉木林针叶矿质营养分析
Tab.1 Analysis of mineral nutrition of needles of Chinese fir from different forest age

龄组 Age group	N Nitrogen	P Phosphorus	K Potassium	Ca Calcium	Mg Magnesium
韶关中龄林 Shaoguan mid age Forest	14.68 ± 2.45 a	1.54 ± 0.31 a	18.81 ± 5.59 a	3.30 ± 1.48 a	1.10 ± 0.09 a
天井山近熟林 Tianjingshan premature forest	16.75 ± 3.94 a	1.82 ± 0.48 a	14.47 ± 2.89 a	3.57 ± 0.81 a	0.78 ± 0.07 b

注：表中数据为平均值 ± 标准误，数据后相同字母表示不同林龄杉木林针叶矿质营养差异不显著，而不同字母表示差异显著 (P<0.05)。Note: The data in the table are averages and standard errors. The same letters after the data indicate that there in no significant difference in the mineral nutrition of needles of Chinese fir from different forest age, but different letters indicate a significant difference of P<0.05

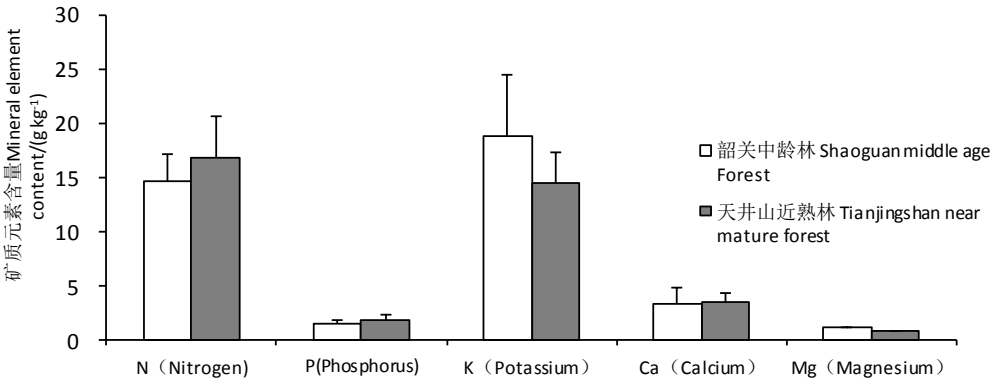


图 1 不同林龄杉木林针叶矿质营养
Figure1 Mineral nutrition of needles of Chinese fir from different forest age

外, N、P、K、Mg 含量均高于中上坡和下坡, 说明不同龄林的杉木针叶矿质营养在不同坡位对营养需求模式相近; 不同的是, 中坡位 N 含量最高, 其值为 19.670 g kg^{-1} , 其次是 K 含量 17.380 g kg^{-1} , 造成这种现象的可能原因是受龄林的影响。中龄林、近熟林不同坡位针叶矿质营养含量表现相同的是 Mg 含量均最低。

中龄林杉木针叶矿质营养元素在不同坡位的排序情况是: N、K、Mg 含量表现为中坡 > 中上坡 > 下坡, P 含量表现为中坡 > 下坡 > 中上坡, Ca 含量表现为下坡 > 中上坡 > 中坡; 而近熟林杉木针叶营养元素的排序情况为: N、P、K 含量表现为中坡 > 下坡 > 中上坡, Mg 含量与杉木中龄林相同, 表现为中坡 > 中上坡 > 下坡, Ca 含量表现为中上坡 > 下坡 > 中坡。中龄林、近熟林不同坡位杉木针叶矿质营养元素含量并无有规律的排序, 造成这种现象的可能原因是针叶的矿质营养含量受到土壤养分在不同坡位的可利用情况、土壤含水量和不同地点等差异的影响。

从表 2 及表 3 可知, 中龄林、近熟林变异系数均大于 8.00%, 其中中龄林针叶矿质营养元素含量变异系数范围在 8.64%~44.76%, 而近熟林针叶矿质营养元素含量变异系数变化范围为 8.44%~26.36%, 且 Mg 含量变异系数均是最低, 可看出中龄林的变动幅度比近熟林的变动幅度大, 结果表明, 近熟林针叶矿质营养元素含量整体优于中龄林, 造成这种现象的可能原因是受到杉木

年龄、立地条件等的影响。

2.3 针叶矿质营养与杉木生长相关分析

对杉木针叶矿质营养元素含量与树木生长的相关系数进行估算发现 (表 4、表 5), 中龄林的胸径 (DBH) 与树高 (H)、材积 (V)、N、K、Mg 含量达显著水平的正相关, 与 P 含量呈正相关, 与 Ca 含量呈弱正相关; 近熟林的 DBH 与 P、Ca 含量呈显著正相关, 与 N 含量呈微弱正相关, 与 K、Mg 含量呈负相关。表 4 与表 5 对比可看出, 中龄林的 H 与 N 含量呈极显著正相关, 而近熟林的 H 与 N 含量达极显著的负相关, 说明杉木到后期的生长, 对 N 元素的需求量少; 此外, 中龄林的 H 与 P、K、Mg 含量呈正相关, 而近熟林的 H 与 P、Mg 含量呈负相关, 且均没有达到显著水平, 与 K 含量呈极显著负相关。中龄林的 H 与 Ca 含量均呈显著正相关, 近熟林的 H 与 P 含量呈微弱的负相关, 与 Ca 含量呈微弱的正相关, 且均没有达到显著水平。

中龄林的 V 与 N、K、Mg 含量呈显著正相关, 近熟林的 V 与 N、P 含量呈微弱的正相关, 与 Ca 含量均呈较强负相关, 且均没有达到显著水平; 中龄林的 V 与 K、Mg 含量呈较强的正相关, 而近熟林的 K、Mg 含量呈微弱的正相关, 且均没有达显著水平。

另外, 中龄林 K 含量与 Mg 含量表现极显著的正相关关系, 近熟林 P 含量与 Ca 含量表现显著的正相关关系。

表 2 杉木中龄林不同坡位针叶矿质营养

g kg^{-1}

Tab.2 Determination of mineral nutrition of needles at different slope positions in mid aged Chinese fir forest

坡位 Slope position	N Nitrogen	P Phosphorus	K Potassium	Ca Calcium	Mg Magnesium
中上坡 Mid-uphill	13.91	1.25	19.17	3.35	1.09
中坡 Mid slope	17.42	1.87	24.21	1.80	1.19
下坡 Downhill	12.70	1.49	13.04	4.75	1.00
平均值 Average value	14.68	1.54	18.81	3.30	1.09
变异系数 /% Coefficient of variation	16.70	20.33	29.74	44.76	8.64

表 3 杉木近熟林不同坡位针叶矿质营养

g kg^{-1}

Tab.3 Determination of mineral nutrition of needles at different slope positions in premature Chinese fir forest

坡位 Slope position	N Nitrogen	P Phosphorus	K Potassium	Ca Calcium	Mg Magnesium
中上坡 Mid-uphill	12.26	1.37	11.60	4.45	0.81
中坡 Mid slope	19.67	2.32	17.38	2.86	0.83
下坡 Downhill	18.31	1.76	14.42	3.39	0.71
平均值 Average value	16.75	1.82	14.47	3.57	0.78
变异系数 /% Coefficient of variation	23.55	26.36	19.98	22.78	8.44

表 4 杉木中龄林针叶矿质营养元素含量与生长相关系数

Tab.4 Mineral nutrient contents and growth correlation coefficients of needles in mid aged Chinese fir forests

指标 Index	DBH	H	V	N	P	K	Ca
H	0.591 *						
V	0.671 *	0.380					
N	0.485 *	0.892 **	0.560 *				
P	0.388	0.514	0.299	-0.618			
K	0.460 *	0.444	0.660 *	0.554	-0.997		
Ca	0.042	0.781 *	0.280	-0.854	0.937	-0.906	
Mg	0.474 *	0.430	0.6472 *	0.540	-0.995	0.999**	-0.899

注：“*”表示在 0.05 水平上显著相关；“**”表示在 0.01 水平上显著相关。
Note: "*" means that there is a significant correlation at the 0.05 level, "**"means that there is a significant correlation at the 0.01 level

表 5 杉木近熟林针叶矿质营养元素含量与生长相关系数

Tab.5 Mineral nutrient contents and growth correlation coefficients of needles in Chinese fir premature forests

指标 Index	DBH	H	V	N	P	K	Ca
H	0.467						
V	0.595	0.380					
N	0.181	-0.399**	-0.094				
P	0.795 *	-0.024	-0.134	0.039			
K	-0.203	-0.423 **	0.077	0.409	-0.895		
Ca	0.862 *	0.045	-0.507	-0.030	0.998*	-0.924	
Mg	-0.096	-0.310	0.062	0.295	-0.943	0.992	-0.964

注：“*”表示在 0.05 水平上显著相关；“**”表示在 0.01 水平上显著相关。
Note: "*" means that there is a significant correlation at the 0.05 level, "**"means that there is a significant correlation at the 0.01 level

2.4 主成分分析

采用主成分分析法分析不同坡位针叶矿质营养元素的吸收情况见表 6。在 2 个主成分即 PC1、PC2 分别解释总变异的 78.61%、21.16%，二者累积贡献率达 99.77%。其中第一主成分（PC1）主要由 K 含量决定，载荷量为 0.885 9，为正相关；第 2 主成分（PC2）主要由 N 含量决定，载荷量为 0.892 4，且表现正相关（表 7）。

从表 5 可知：在第一主成分中，N 含量的因

子载荷量为 0.412 8，相比 P、Ca、Mg 含量的载荷量相对较大，因此，在第一主成分中，N 含量也起一定的作用；在第二主成分中，K 含量的因子载荷量为 -0.431 2，为负相关，但系数较大，因此，K 含量在第二主成分中也起一定的作用。

3 结论与讨论

3.1 不同龄林杉木大径材高效培育试验林针叶 N、P、K、Ca、Mg 含量均以 N、K 最高，Ca、P

表 6 杉木针叶营养含量主成分特征值、贡献率及累积贡献率

Tab.6 The eigenvalue, proportion and cumulative of the principal components for Chinese fir needle nutrient element contents

主成分 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率 /%Variance	累积贡献率 /%Cumulative rate
PC1	25.760 64	78.61	78.61
PC2	6.933 19	21.16	99.77

表 7 杉木针叶营养元素含量主成分分析因子载荷阵

Tab.7 The eigenvectors of the principal component factors(needle nutrient element contents) in Chinese fir needles

营养元素 Nutrient	PC1 Principal component factor1	PC2 Principal component factor2
N	0.412 8	0.8924
P	0.039 6	0.1101
K	0.885 9	-0.4312
Ca	-0.206 7	-0.0500
Mg	0.020 4	-0.0545

居中等, Mg 最低, 除 Mg 外, 同一矿质营养元素含量在不同龄林间无显著差异。韶关林场杉木中龄林针叶矿质营养元素 K (24.210 g kg^{-1}) 含量最高, 其次是 N (17.420 g kg^{-1}) 含量, Mg (1.003 g kg^{-1}) 含量最低; 而天井山林场近熟林针叶矿质营养元素 N (19.670 g kg^{-1}) 含量最高, 其次是 K (17.380 g kg^{-1}), Mg (0.709 g kg^{-1}) 含量最低, 可见, 不同龄林针叶 N、P、K、Ca、Mg 的元素含量有一定的差异, 其元素含量高低变化的趋势也相近, 结果与范晓峰等人^[8]的类似, 但 N、K 含量相差比较大, 也与彭玉华等人^[9]对红锥不同种源叶片养分含量分析结果中部分营养元素含量存在差异, 可能与树种种类、林龄、气候因素等有关。

3.2 不同龄林不同坡位间杉木林针叶矿质营养含量并无有规律排序。在对同一龄林不同坡位针叶营养元素含量比较方面, 胡永颜^[10]的研究结果表明, 随着坡位上升, 杉木当年生叶有效养分含量呈逐渐下降趋势。本研究对不同龄林不同坡位针叶矿质营养含量进行分析, 结果表明: 杉木针叶矿质营养元素含量并无有规律的排序, 均以中坡位置针叶矿质营养含量最高, 说明不同龄林的杉木针叶矿质营养在不同坡位对营养需求模式相近。

3.3 杉木中龄林生长性状与各矿质营养元素含量分别有不同程度正相关, 其中胸径、树高、材积与 N 含量均呈显著或极显著正相关, 而近熟林与矿质营养元素含量的相关性有所不同。在许多树种的叶片养分含量与树木生长相关性分析中, 通常树木的胸径、树高与叶片的营养元素含量呈正相关, 张颖等^[11]对三倍毛白杨幼龄林生长量与叶片养分含量的相关性进行分析, 其研究结果表明, 胸径和树高均以叶片的 N、P、K、Ca、Mg 等元素含量呈正相关, 本次研究结果显示, 杉木中龄林的胸径、树高与杉木针叶的矿质营养元素均呈不同程度的正相关, 且胸径与 N、K、Mg 含量达显著水平, 而杉木近熟林的胸径与 K、Mg 含量呈负相关, 与 N、P、Ca 含量呈正相关, 与 P、Ca 含量达显著水平; 杉木近熟林的树高与 P、Mg 含量呈负相关, 与 N、K 含量呈极显著的负相关, 与 Ca 含量呈显著正相关, 造成这种现象的可能原因是与龄林、树种类型、立地条件、采集时间等有关。

3.4 本研究采用运用主成分分析法, 对不同坡位杉木营养元素吸收情况进行了研究分析, 分析

结果为南岭山区杉木大径材高效培育平衡施肥提供了参考依据。运用主成分分析表明第一主成分 (PC1) N 含量、第二主成分 (PC2) K 含量二者累积贡献率高达 99.77%, 第一主成分表现为 K 含量, 第二主成分表现为 N 含量, 说明 N 含量、K 含量对杉木生长起关键作用, 因而杉木矿质营养元素的吸收和利用尤其需要关注 N、K 水平。

3.5 本研究选取了两个试验林不同龄的杉木林, 每个试验林 3 个重复, 数据偏少, 两试验地、不同坡位与杉木针叶元素并无显著关系, 这可能因为是与气候、采集时间等因素有关。结果与苏艳等^[12]对杉木不同母株无性系针叶营养元素含量比较的研究相似。后期应针对杉木大径材高效培育杉叶养分状况进行进一步跟踪调查, 为南岭山区杉木大径材高效培育提供理论指导。

参考文献

- [1] 李传涵, 王长荣, 李明鹤, 等. 杉木不同基因型叶营养元素变异的研究[J]. 华中农业大学学报, 1993(2): 140-146.
- [2] 张先然. 施肥处理对连栽杉木幼林单叶面积生长的效应[J]. 福建林学院学报, 1998, 18(3): 251-254.
- [3] 李兴伟, 李小川, 周宇飞. 桉树生长周期叶片营养成分积累动态研究[J]. 广东林业科技, 2015, 31(3): 29-34.
- [4] 郑会全, 胡德活, 韦如萍, 等. 杉木速生无性系选择与材质分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 27-31.
- [5] 惠刚盈, 胡艳波, 罗云伍, 等. 杉木中大径材材材机理的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(2): 177-181.
- [6] 陈代喜, 陈琴, 蒙跃环, 等. 杉木大径材高效培育技术探讨[J]. 南方农业学报, 2015(2): 293-298.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1978.
- [8] 范晓峰, 童德中, 王宝明, 等. 杏叶矿质营养研究[J]. 山西农业科学, 1999(1): 48-52.
- [9] 彭玉华, 黄志玲, 曹艳云, 等. 红锥不同种源叶片养分含量分析[J]. 广东林业科技, 2012, 28(5): 62-66.
- [10] 胡永颜. 不同坡向和坡位对杉木第三代种子园杉木叶有效养分含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 13847-13848.
- [11] 张颖, 孙向阳, 吴京科, 等. 三倍体毛白杨幼龄林生长与叶片养分含量的相关性[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 15-19.
- [12] 苏艳, 胡德活, 王润辉, 等. 杉木不同母株无性系针叶营养元素含量比较[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(1): 61-65.