

基于二次通用旋转设计的杉木苗期施肥营养诊断研究

李惠通^{1,2}, 牛 宁^{1,3}, 贾代东^{1,2}, 魏志超^{1,2}, 吴鹏飞^{1,2}, 刘爱琴^{1,2*}

[1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福建 福州 350002; 3. 艾瑰缤生物农业(上海)有限公司, 上海 200050]

摘 要: 林木苗期营养诊断和施肥研究是制定合理施肥方案的前提, 能为提高苗木质量和造林成活率提供重要的科学依据。以福建漳平五一国有林场多年筛选的速生型杉木为试验材料, 通过开展室内模拟不同的土壤养分条件, 采用二次通用旋转设计的施肥方法, 根据杉木生物量划分高、低产组, 利用 DRIS 营养诊断的图解法和指数法, 计算杉木适宜的施肥范围及需肥顺序。结合图解法和指数法两种分析方法得出: 杉木植株中氮、磷、钾养分的适宜比值范围为 $P/N=0.137 \pm 0.03$, $N/K=1.102 \pm 0.113$, $K/P=6.881 \pm 1.203$; 处理 7 (施氮量为 0.511 g/盆 , 施磷量为 0.270 g/盆 , 施钾量为 1.339 g/盆) 的平衡状态最佳。总体而言, 速生型杉木对钾肥的需求量相对较大, 对磷肥的需求量次之, 对氮肥的需求相对较弱。

关键词: 施肥; 杉木苗期; 二次通用旋转设计; 营养诊断

中图分类号: S791; S147.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 01-0073-07

自 1840 年德国化学家李比希 (Von Liebig) 提出“矿质营养学说”以来, 化肥成了现代农业不可缺少的一部分^[1]。林木施肥历史很短, 但近 30 年来发展很快, 林木施肥已成为许多国家现代集约经营林业, 特别是营造短轮伐期速生人工林的一项重要措施^[2]。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方最重要的用材树种, 具生长快、材质好、单产高等显著特点^[3-6]。近年来随着对杉木木材需求的激增, 杉木林施肥越来越普及, 取得了很好的增产效果。虽然长期以来有关杉木苗期施肥效应的研究有很多, 但大多基于第一代种子园, 远远落后于已进入第三代种子园阶段的良种培育工作进程。由于缺少速生杉木的养分需求规律, 极大地限制了速生杉木的推广应用。

为筛选速生杉木的需肥顺序和适宜的施肥范围, 本文利用二次通用旋转组合设计进行杉木盆栽施肥试验, 模拟不同的养分条件, 研究速生杉木的养分需求规律, 这对当前杉木人工林的合理经营及缓解杉木连栽地力衰退具有重大意义^[7]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在福建农林大学中华植物园温室大棚内进行, 苗木为福建漳平五一国有林场多年筛选的速生杉木实生苗, 选择长势均一, 无病虫害, 培育 4 个月的苗木, 在沙床上缓苗 1 个月, 试验容器为口径 18 cm, 高 35 cm 的塑料盆。

1.2 试验设计

采用氮、磷、钾三因素五水平的二次通用旋转设计, 具体见表 1、表 2, 共 20 个处理, 每个处理 4 个重复, 共 80 盆。

表 1 氮、磷、钾配比施肥试验各因素水平设计表 (g/kg)

因素	处理水平				
	-1.682	-1	0	1	1.682
X1 (N)	0	0.051	0.126	0.201	0.025
X2 (P)	0	0.027	0.054	0.081	0.108
X3 (K)	0	0.034	0.084	0.134	0.168

氮素营养试验选用肥料为尿素 (N 46%), 磷素营养试验选用肥料为过磷酸钙 (P_2O_5 16%), 钾素营养试验选用肥料为氯化钾 (K_2O 56.98%)。每盆装 10 kg 均匀混合后的黄心土和河沙 (表 3), 将供试苗木用蒸馏水洗净后, 种植于盆中央, 每盆 1 株。

收稿日期: 2015-11-24; 最后修订日期: 2016-01-07

基金项目: 福建省科技厅重点项目 (2014N0002)。

作者简介: 李惠通 (1992-), 男, 重庆涪陵人, 硕士研究生, 研究方向为植物地理学。E-mail: huitongli1314@163.com。

通讯作者: 刘爱琴, E-mail: fjlaq@126.com。

表 2 三元二次回归旋转组合试验设计

处理号	N	P	K	处理号	N	P	K
1	1	1	1	11	0	-1.682	0
2	1	1	-1	12	0	1.682	0
3	1	-1	1	13	0	0	-1.682
4	1	-1	-1	14	0	0	1.682
5	-1	1	1	15	0	0	0
6	-1	1	-1	16	0	0	0
7	-1	-1	1	17	0	0	0
8	-1	-1	-1	18	0	0	0
9	-1.682	0	0	19	0	0	0
10	1.682	0	0	20	0	0	0

表 3 供试土壤性质

土壤名称	pH 值	质地	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (P g/kg)	全钾 (K g/kg)	水解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)
黄心土 + 河沙	4.63	砂粘壤土	2.54	0.148	0.079	20.56	28.19	0.96	35.52

1.3 试验苗木管理

苗木定植后定期浇水松土，防治病虫害。定植后的苗木约 40 d 左右开始施肥处理，并且进行精细化管理，试验从 2014 年 5 月开始，共培养 6 个月。施肥处理分 3 次进行，分别于定植后 40、70 和 130 d 施加总量的 40%、40% 和 20%。施肥处理方法是先定量称取肥料，用水溶解稀释后浇入。

1.4 试验方法

1.4.1 生物量指标测定

培养结束后分根、茎、叶 3 部分进行收获，测定其生物量，分别粉碎后用于植株养分测定。

1.4.2 养分含量测定

采用国标测定方法分别测定杉木各器官养分含量，采用凯氏定氮法测定植株全氮，钼锑抗比色法测定全磷，火焰光度法测定全钾^[8]。

1.5 营养诊断方法

用 DRIS 诊断图和指数法进行杉木苗期营养诊断，DRIS 诊断法不仅能诊断元素的丰缺状况，还能判断林木对营养元素的需求，在其它经济树种栽培上应用广泛^[9-13]。

DRIS 诊断图可以对差异显著的肥料元素组合探讨其适宜的取值范围。DRIS 指数法可以表示实测值偏离相应最适应值的程度。综合诊断指数 NII^[14]越大，即所有元素的指数绝对值的代数和越

大，元素之间越不平衡。

1.6 数据处理方法

应用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析，Origin Pro 2015 处理图表，Photoshop 绘制营养诊断图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对苗期杉木植株不同器官养分含量的影响

根据生物量的差异（图 1），将 20 种不同处理划分为两个子类：高产组（> 20 g/株）和低产组（≤20 g/株）。图 2 中 I 类为高产组，II 类为低产组。

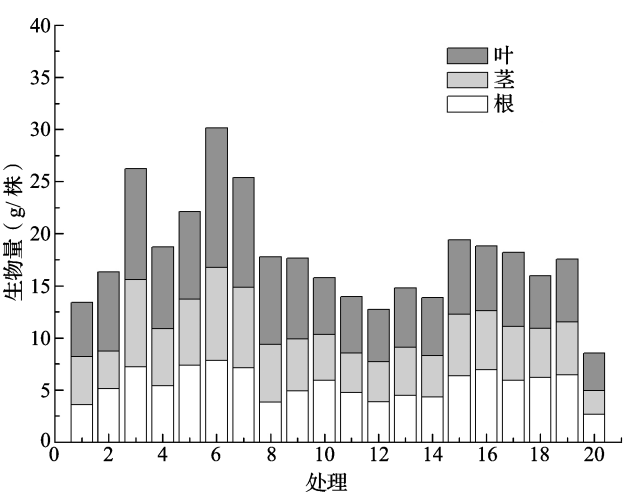


图 1 不同施肥处理对杉木生物量的影响

由图 2 可见, 杉木幼苗叶、茎、根 3 大器官中氮、钾的含量显著高于磷的含量。不同施肥处理, 杉木各器官养分含量不同, 表现为叶片的氮、磷含量显著高于茎、根含量, 说明叶片是植物体内积累养分物质的主要器官。

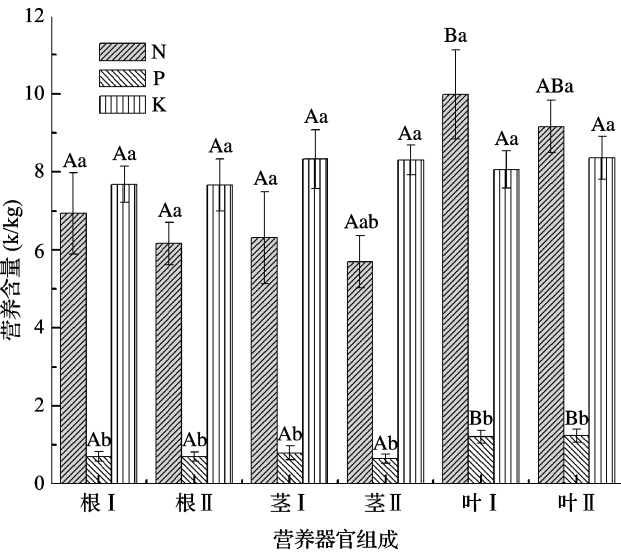


图 2 盆栽速生苗木根、茎、叶常量元素 N、P、K 含量
注: 大写字母不同表示不同营养器官间差异显著 ($P < 0.05$);
小写字母不同表示不同营养含量差异显著 ($P < 0.05$)

除根部和叶部的磷素含量低产组稍高于高产组, 植物其它部位的氮、磷、钾均呈现出高产组高于低产组。高产组与低产组之间, 各元素含量平均值并无明显差异, 而其变异系数和标准差则以高产组较小, 这一现象表明高产组的各部分营养水平较稳定。化学分析诊断通常用最优反馈下最佳诊断部

位的养分含量来评价作物自身的养分状况, 故采用杉木叶片进行营养诊断。

2.2 苗期杉木的 DRIS 图解法营养诊断

由表 4 可见, 通过对 DRIS 诊断参数进行筛选, 在上述各项参数中, P/N 、 N/K 、 K/P 的方差比相比较之其他的大, 并且差异呈现极显著。因此选择高产组 P/N 、 N/K 和 K/P 的平均值 0.137、1.102 和 6.881 为圆心; 以高产组 P/N 、 N/K 和 K/P 标准差的 2/3 倍 0.020、0.075 和 0.802 为内圆半径; 以高产组 P/N 、 N/K 和 K/P 标准差的 4/3 倍 0.040、0.151 和 1.604 为外圆半径。根据以上的数据和表示方法制作的 DRIS 诊断图如图 3。

在 7 个高产组中处理 5 与 7 中 N、P、K 的分析情况均为“→”, 说明这 2 个处理养分全部达到了平衡水平, 所以当施肥量为 N 0.051 g/kg, P 0.027 g/kg, K 0.134 g/kg 和 N 0.051 g/kg, P 0.081 g/kg, K 0.134 g/kg 时最适于杉木生长, 即在 $N:P:K = 1:0.5:2.6$ 和 $N:P:K = 1:1.6:2.6$ 时, 肥料配比达到了均衡状态, 同时也说明高产组内的养分相对于低产组的养分更平衡。处理 1 和处理 2 中 N 和 P 的编码均为 1 (0.201 g/kg) 和 1 (0.081 g/kg), 在 K 编码上不同, 分别为 1 (0.134 g/kg) 和 -1 (0.034 g/kg), 图解法得出的需求顺序都是 $K = P > N$, 表明在氮肥和磷肥同处在中等偏高水平时, 钾肥施入只有超过偏高水平, 植物才能正常生长。处理 3 和处理 15 中, N 的编码分别为 1 (0.201 g/kg) 和 0 (0.126 g/kg) 属于偏高和正常水平, 图解法显示 N 过剩, P 的编码分

表 4 DRIS 诊断参数统计

参数	高产组				低产组				方差比
	观测数	平均值	变异系数	方差	观测数	平均值	变异系数	方差	
N%	7	0.916 ± 0.069	0.075	0.005	13	0.999 ± 0.113	0.114	0.013	0.370 *
P%	7	0.124 ± 0.017	0.137	0.000	13	0.120 ± 0.017	0.142	0.000	0.990 **
K%	7	0.835 ± 0.055	0.066	0.003	13	0.806 ± 0.049	0.061	0.002	1.276 *
N/P	7	7.557 ± 1.334	0.177	1.779	13	8.453 ± 1.478	0.175	2.184	0.815 **
N/K	7	1.102 ± 0.113	0.103	0.013	13	1.247 ± 0.170	0.136	0.029	0.442 **
P/N	7	0.137 ± 0.030	0.216	0.001	13	0.122 ± 0.025	0.204	0.001	1.415 **
P/K	7	0.150 ± 0.028	0.184	0.001	13	0.150 ± 0.025	0.167	0.001	1.210 **
K/N	7	0.917 ± 0.089	0.097	0.008	13	0.820 ± 0.142	0.173	0.020	0.392 **
K/P	7	6.881 ± 1.203	0.175	1.448	13	6.807 ± 0.900	0.132	0.810	1.788 **
NP	7	11.281 ± 1.164	0.103	1.354	13	12.027 ± 2.212	0.184	4.894	0.277
NK	7	76.500 ± 7.731	0.101	59.767	13	80.422 ± 9.719	0.121	94.457	0.633
PK	7	10.298 ± 1.171	0.114	1.371	13	9.696 ± 1.388	0.143	1.926	0.712

注: N% = N 含量 (g/kg) /10, 以此类推; $N/P = N\% / P\%$, 以此类推; 方差比 = 高产组/低产组。* 表示差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

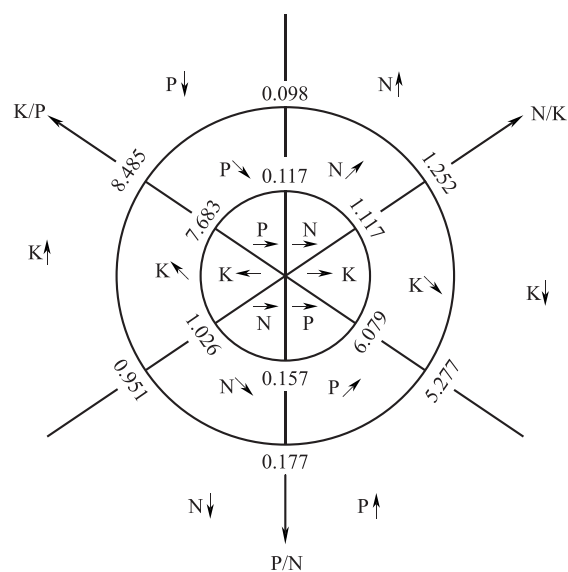


图3 杉木施肥试验 DRIS 营养诊断

别为-1 (0.027 g/kg) 和 0 (0.054 g/kg), K 的编码分别为 1 (0.134 g/kg) 和 0 (0.084 g/kg), 图解法显示需求顺序是 P>N=K, 说明当氮肥和钾肥处在中等偏高水平时, 磷肥施入只有超过正常

水平, 才能达到植物生长需求。处理 6 中 N 和 P 的编码均为中等水平 1 (0.081 g/kg) 和 1 (0.201 g/kg), K 的编码为 -1 (0.034 g/kg) 偏低水平, 图解法得出的需求顺序是 N>K>P, 表明当钾肥缺乏的时候, 会影响杉木对氮肥的摄入, 同时使磷肥过剩。处理 8 中 N、P、K 的编码均为 -1 (0.051 g/kg)、-1 (0.027 g/kg) 和 -1 (0.034 g/kg), 即当营养均处于中等偏下时, 图解法得出的需求顺序是 K>N>P, 表明此时钾肥是 3 种肥料中需求最大的。处理 9 中 P 和 K 的编码均为 0 (0.054 g/kg) 和 0 (0.084 g/kg) 中等水平, 而 N 的编码为 -1.682 (0 g/kg) 缺乏水平, 图解法得出的需求顺序是 N>P=K, 表明 N 对植物生长发育过程的影响仍显著。处理 11 和 14 中 N 的编码均为 0 (0.126 g/kg), 处理 11 的 P 的编码为 -1.682 (0 g/kg) 缺失水平, 处理 14 的 P 的编码为 0 (0.054 g/kg) 正常水平, 处理 11 的 K 的编码为 0 (0.084 g/kg) 正常水平, 处理 14 中 K 的编码为 1.682 (0.168 g/kg) 过剩水平, 图解法表明 N 过剩、P 不

表 5 杉木 DRIS 图解法诊断需肥分析

处理号	参数			DRIS 图解法诊断分析			需肥顺序
	N/K	P/N	K/P	N	P	K	
1	1.490	0.095	7.052	↑ ↓	↓ →	↓ →	K = P > N
2	1.249	0.115	6.987	↗ ↗	↘ →	↘ →	K = P > N
3	1.094	0.110	8.346	→ ↗	↘ ↘	→ ↗	P > N = K
4	1.316	0.134	5.692	↑ →	→ ↗	↓ ↘	K > P > N
5	1.137	0.132	6.651	→ →	→ →	→ →	N = P = K
6	0.971	0.201	5.116	↘ ↓	↑ ↑	↗ ↓	N > K > P
7	1.103	0.140	6.460	→ →	→ →	→ →	N = P = K
8	1.397	0.161	4.438	↑ ↘	↗ ↑	↓ ↓	K > N > P
9	0.804	0.184	6.766	↓ ↓	↑ →	↑ →	N > P = K
10	1.348	0.117	6.333	↑ ↗	↘ →	↓ →	K > P > N
11	1.313	0.095	8.016	↑ ↑	↓ ↘	↓ ↗	P > K > N
12	1.203	0.124	6.691	↗ →	→ →	↘ →	K > P > N
13	1.425	0.105	6.661	↑ ↗	↘ →	↓ →	K > P > N
14	1.224	0.125	7.816	↗ →	→ ↘	↘ ↗	P > K > N
15	1.085	0.116	7.964	→ ↗	↘ ↘	→ ↗	P > N = K
16	1.002	0.126	7.899	↘ →	→ ↘	↗ ↗	P = N > K
17	1.010	0.120	7.288	↘ →	→ →	↗ →	N > P > K
18	1.211	0.120	6.856	↗ →	→ →	↘ →	K > P > N
19	1.244	0.128	6.293	↗ →	→ →	↘ →	K > P > N
20	1.253	0.121	7.168	↑ →	→ →	↓ →	K > P > N

足,需求顺序为 $P > K > N$,说明施加磷肥和钾肥的水平应该相近。处理16和处理17中N、P、K的编码均为0 (0.126 g/kg)、0 (0.054 g/kg) 和0 (0.084 g/kg),图解法得出的需求顺序是 $N = P > K$ 和 $N > P > K$ 。此外,其它处理的图解法得出的需肥顺序均为 $K > P > N$ 。

综上所述,杉木在氮肥和钾肥分别处于-1和1水平处理,磷肥处于-1或1水平处理时,杉木的养分处于相对平衡状态,从需求顺序可以看出,杉木对钾肥的需求量最大,其次是磷肥、氮肥。

2.3 苗期杉木的DRIS指数法营养诊断

根据营养诊断指数公式计算本试验中氮、磷、钾的DRIS指数,由此诊断本试验条件下苗期杉木的需肥顺序。

由表6可见,与图解法不同之处是指数法分析的结果中没有出现“=”,是因为指数法更能精确

的表达出各个元素的需求状况,由每个处理的指数值可以很明确地得出各元素的盈缺情况及盈缺值^[15-16]。从DRIS营养诊断NII综合指数看各处理的大小次序为 $8 > 1 > 9 > 13 > 6 > 11 > 4 > 10 > 14 > 3 > 2 > 16 > 19 > 15 > 18 > 12 > 20 > 17 > 5 > 7$ 。其中处理7各个指数的平均值均比较接近0,说明氮、磷、钾养分比较平衡^[17]。其中处理1的N指数最高(2.736),处理6的P指数最高(2.021),处理9的K指数最高(1.784),表明该处理下的杉木体内对应元素含量过高,应减少对应肥料的施用量;同理,处理9的N指数最低(-2.604),处理11的P指数最低(-1.463)、处理8的K指数最低(-2.859),表明该处理下的杉木体内对应元素的需求量大,应适当的增加对应肥料的施用量。从指数法得出的需求顺序可以看出,杉木对钾肥的需求量最大,其次是磷肥,氮肥最小。

表6 杉木DRIS指数法诊断需肥分析

处理号	f (N/K)	f (P/N)	f (K/P)	N 指数	P 指数	K 指数	需求顺序	NII 指数
1	3.479	-1.993	0.139	2.736	-1.066	-1.670	$K > P > N$	5.472
2	1.321	-0.889	0.086	1.105	-0.487	-0.618	$K > P > N$	2.210
3	-0.068	-1.140	1.188	0.536	-1.164	0.628	$P > N > K$	2.328
4	1.923	-0.123	-1.165	1.023	0.521	-1.544	$K > P > N$	3.088
5	0.318	-0.166	-0.193	0.242	0.013	-0.256	$K > P > N$	0.511
6	-1.328	2.119	-1.924	-1.723	2.021	-0.298	$N > K > P$	4.043
7	0.014	0.106	-0.364	-0.046	0.235	-0.189	$K > N > P$	0.470
8	2.649	0.797	-3.069	0.926	1.933	-2.859	$K > N > P$	5.718
9	-3.662	1.546	-0.095	-2.604	0.820	1.784	$N > P > K$	5.208
10	2.207	-0.771	-0.482	1.489	-0.144	-1.345	$K > P > N$	2.978
11	1.896	-2.005	0.920	1.951	-1.463	-0.488	$P > K > N$	3.901
12	0.908	-0.468	-0.158	0.688	-0.155	-0.533	$K > P > N$	1.376
13	2.894	-1.361	-0.185	2.128	-0.588	-1.540	$K > P > N$	4.256
14	1.010	-1.412	0.758	1.256	-1.085	-0.171	$P > K > N$	2.511
15	-0.153	-0.835	0.878	0.341	-0.856	0.515	$P > N > K$	1.713
16	-0.985	-0.384	0.825	-0.301	-0.604	0.905	$P > N > K$	1.810
17	0.340	-0.627	0.330	0.484	-0.479	-0.005	$P > K > N$	0.967
18	0.984	-0.627	-0.020	0.806	-0.303	-0.502	$K > P > N$	1.611
19	1.276	-0.332	-0.521	0.804	0.094	-0.898	$K > P > N$	1.796
20	0.464	-0.604	0.233	0.534	-0.418	-0.116	$P > K > N$	1.067

注:每个处理的NII指数=|N指数|+|P指数|+|K指数|。

这两种方法是DRIS中最具有代表性的两种营养诊断方法,各具特色。用图解法可以直观地看出植物对每个施肥元素的需求范围,而指数法可以通过指数绝对值大小说明植物对施肥元素的需求情

况。在图解法中得出处理1、2、3、9、15、16中各养分需求状况是 $K = P > N$ 、 $K = P > N$ 、 $P > N = K$ 、 $N > P = K$ 、 $P > N = K$ 、 $P = N > K$,而在指数法中得到的结果分别是 $K > P > N$ 、 $K > P > N$ 、 $P >$

$N > K$ 、 $N > P > K$ 、 $P > N > K$ 、 $P > N > K$, 由此可知, 在图解法中出现“=”的地方在指数法中都标出了具体的需求顺序。比较表5和表6可知, 图解法与指数法所得出的各元素的需求顺序是基本一致的, 都表明了杉木对钾肥的需求量相对较大, 磷肥次之, 氮肥最小。

3 结论与讨论

黄宗玉^[16]、薛欣欣等^[18]与李晓天等^[19]均对营养诊断的部位选择进行过探讨, 肯定了植株叶片的营养诊断优越性, 这与本研究的选择一致。范少辉等^[20]对杉木苗期栽培营养的研究表明, 氮、磷、钾肥最佳施用量为: 氮肥 0.080 ~ 0.120 g/kg, 磷肥 0.048 ~ 0.072 g/kg, 钾肥 0.320 ~ 0.135 g/kg, 氮、磷、钾肥交互作用有利于提高肥效, 磷肥对氮肥的吸收具有一定的促进作用。杨式金^[21]的苗期施肥试验表明, 最佳施肥量为: 氮肥 67.5 kg/hm², 磷肥 170.4 kg/hm², 钾肥 3.9 kg/hm²。笔者通过二次通用旋转设计不同施肥配比试验得出适合速生杉木苗期生长的氮磷钾肥最佳施用量, 分别为: 氮肥 0.051 g/kg, 磷肥 0.027 g/kg, 钾肥 0.134 g/kg。由于研究是基于盆栽模式下进行的, 杉木受到不同的环境因素以及水分、光照、施肥量等其它因素影响, 其养分利用效率表征不同。此外试验所选用的杉木苗是经过课题组研究^[22-23]筛选的磷高效利用杉木基因型, 对于磷素的有效寻觅能力较强, 加之林木养分元素之间的交互作用^[24], 对于施肥效果同样存在影响, 这就导致研究结果与其它研究存在一些差异。

研究运用图解法可以直观地看出每个处理的需肥顺序, 指数法判别出 DRIS 重要参数 K/P 、 P/N 、 N/K 的最佳值为 6.881、0.137、1.102。由于试验条件和时间的限制, 本文仅分析了 N 、 P 、 K 元素对苗期杉木的影响, 未涉及到其它营养元素。对不同杉木林龄、不同土壤条件的速生杉木养分需求规律和营养诊断标准体系, 也有待进一步研究。

参考文献:

[1] 涂仕华. 化肥在农业可持续发展中的作用与地位 [J]. 西南农业学报, 2003, 16 (Z1): 7-11.
[2] 曾亮忠. 林木施肥方法探讨 [J]. 福建林学院学报, 1984, (1): 61-64.
[3] 俞新妥. 中国杉木 90 年代的研究进展 I. 杉木研究的特点及有关基础研究的综述 [J]. 福建林学院学报, 2000, 20

(1): 86-98.

[4] 俞新妥. 中国杉木 90 年代的研究进展 II. 杉木造林和经营的研究综述 [J]. 福建林学院学报, 2000, 20 (2): 179-188.
[5] 俞新妥. 中国杉木 90 年代的研究进展 III. 杉木病虫害与材性研究综述及其研究方向 [J]. 福建林学院学报, 2000, 20 (20): 283-288.
[6] 孙长忠, 沈国防. 我国主要树种人工林生产力现状及潜力的调查研究: I. 杉木、马尾松人工林生产力研究 [J]. 林业科学研究, 2000, 13 (6): 613-621.
[7] 牛宁. 优良杉木半同胞家系配方施肥与营养诊断研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
[8] Olsen S, Sommers L. Phosphorus [A]. Page A L, Miller R H, Keeney D R. Methods of soil analysis, part 2. [M]. Madison, WI: Agronomy Society of America and Soil Science Society of America, 1982. 403-430.
[9] 臧国长, 吴鹏飞, 马祥庆, 等. 闽南尾巨桉人工林叶片营养的 DRIS 诊断 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2013, 4: 381-384.
[10] Maurão Filho F A A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops [J]. Sci. Agric, 2004, 61 (5): 550-560.
[11] Summer M E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at field yield level [J]. Common. Soil Sci. Plant Anal., 1977, 8: 251-268.
[12] 徐爱春, 陈庆红, 顾霞. 猕猴桃不同果园土壤和叶片营养状况分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, (5): 53-56.
[13] 刘红霞, 张会民, 郭大勇, 等. 豫西地区红富士苹果叶片营养诊断 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (2): 457-462.
[14] 姜继元, 李铭, 郭绍杰, 等. 焉耆垦区克瑞森葡萄叶片营养 DRIS 标准研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, (12): 142-146.
[15] 张大弟. 综合诊断施肥法——DRIS [J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 1984, 2 (1): 85-94, 52, 20, 40.
[16] 黄宗玉. 诊断施肥综合法 (DRIS) 的原理与应用问题 [J]. 土壤学进展, 1990, 18 (1): 22-26.
[17] 刘克林, 孙向阳, 王海燕, 等. 三倍体毛白杨叶片营养 DRIS 诊断 [J]. 生态学报, 2009, 29 (6): 2893-2898.
[18] 薛欣欣, 李岚涛, 鲁剑巍, 等. 利用功能叶片钾含量作为水稻钾营养诊断指标的可行性研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 492-499.
[19] 李晓天, 林电, 李华东, 等. 台农芒果叶片氮磷钾养分含量规律研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (6): 63-67.
[20] 范少辉, 俞新妥, 钟安良. 杉木苗期栽培营养的研究 [J]. 福建林学院学报, 1995, 15 (4): 293-300.
[21] 杨式金. 杉木苗木氮磷钾反应模式及最佳施肥组合试验 [J]. 福建林业科技, 1991, 18 (3): 47-50.
[22] 梁霞, 刘爱琴, 马祥庆, 等. 不同杉木无性系磷素特性的比较 [J]. 植物生态学报, 2006, 30 (6): 1005-1011.
[23] 吴鹏飞, 马祥庆, 陈友力, 等. 杉木无性系测定林磷素利

- 用效率的比较 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2012, (1): 40-45.
- [24] 冯茂松, 张健, 杨万勤. 巨桉人工林叶片养分交互效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (5): 1160-1169.

Chinese fir seedlings fertilization methods by quadratic general rotary design with DRIS

LI Hui-tong^{1,2}, NIU Ning^{1,3}, JIA Dai-dong^{1,2}, WEI Zhi-chao^{1,2}, WU Peng-fei^{1,2}, LIU Ai-qin^{1,2*} (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002; 2. Chinese fir Engineering Research Centre of State Forestry Administration, Fuzhou Fujian 350002; 3. Agribio China, Shanghai 200050)

Abstract: Research on nutrient diagnosis and fertilization of forest seedling are necessary for reasonable fertilizer application. It also can be an important scientific basis for improving the quality of seedlings and the afforestation survival rate. In this study, one year old Chinese fir seedling was selected as the test materials for its economic value and fast growth. The experiment was carried out in the state owned forest farms in Fujian Zhangping. The laboratory simulation was conducted in different soil nutrient conditions, using the fertilization method of quadratic general rotary design. The production of Chinese fir biomass was divided into various levels before using DRIS nutrition diagnosis graphic and index method. These methods were used to calculate the appropriate range of fertilization in different fertilizer order. The resulted showed as follows; The suitable ratio range among N, P, K nutrients for the Chinese fir plant were $P/N = 0.137 \pm 0.03$, $N/K = 1.102 \pm 0.113$ and $K/P = 6.881 \pm 1.203$. The best equilibrium of nutrients sets in group 7 (in which nitrogen was 0.511 g/pot, phosphorus content was 0.270 g/pot, and the amount of potassium was 1.339 g/pot). Overall, the fast-growing fir demanded mostly for K, and then followed by P and N.

Key words: fertilization; Chinese fir seedling; quadratic rotation design; DRIS

[上接第 39 页]

Effect of nitrogen fertilization rates on the decomposition characteristics of maize roots

CAI Miao^{1,2*}, HAN Ji-chang¹, ZHOU Jian-bin², CHEN Zhu-jun² (1. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi 710075; 2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100)

Abstract: The experiment was conducted to study the decomposition characteristics of maize roots organic carbon (C) derived from N 0, 120 and 240 kg/hm² treatments (marked as R₀, R₁₂₀ and R₂₄₀, respectively) in the 15 cm and 45 cm soil depths with various fertility, and to evaluate the effect of roots C decay on soil labile organic C, through indoor incubation and field decomposition conditions. The results showed that, cumulative CO₂ release and potential C mineralization amount ranked in the order that R₁₂₀ > R₂₄₀ > R₀ under indoor incubation condition. And in contrast to R₀, the C mineralization rates of R₁₂₀ and R₂₄₀ increased by 21.1% and 12.7% in the topsoil (15 cm), and increased by 45.3% and 33.7% in the subsoil (45 cm), respectively. After 386 d field decomposition, the C residual ratios of R₀, R₁₂₀, and R₂₄₀ were respectively 36.3%, 25.2% and 28.7% in the topsoil, and were 38.4%, 30.6% and 31.1% in the subsoil. It showed positive correlations between root C residual ratios and their C/N ratios, lignin contents, and lignin/N ratios, while performed a negative correlation between root C residual ratios and their total N contents. This result indicated that root decomposition ratio improved with its N content increasing. Soil microbial biomass C and soluble organic C contents improved significantly by 143% ~ 297% and 19.9% ~ 118.2%, respectively in the maize roots addition treatments. It was concluded that considering the influence of N fertilizer application on the nutrient compositions of crop roots, especially increasing root N content, the effects of long-term N addition on the nutrient accumulation of crop residues and their decay and cycling in farmland ecosystem should be paid more attention in soil C and N turnover evaluation.

Key words: nitrogen fertilization rate; root carbon decomposition; soil microbial biomass carbon; soil soluble organic carbon