

基于 DRIS 法的短枝木麻黄苗期综合营养诊断

叶功富¹, 高伟^{1*}, 杜林梅², 卢昌义³, 罗美娟¹

(1. 福建省林业科学研究院, 福州 350012; 2. 江苏省句容中等专业学校, 江苏镇江 212400;

3. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361000)

摘要: 以我国东南沿海沙地主要造林树种短枝木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*) 一年生苗木为研究对象, 应用氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 三元二次旋转回归法, 根据现实生物量的差异, 划分为 2 种不同的产量类型, 同时结合室内养分含量分析, 以高产量类型为最适值, 制定了诊断施肥综合法 (Diagnosis and Recommendation Integrate System, 简称 DRIS) 及指数法的营养诊断标准, 研究氮、磷、钾不同施肥配比条件下苗木体内氮、磷、钾的养分含量及其需求程度, 对短枝木麻黄进行苗期综合营养诊断分析。结果表明: 施肥比对短枝木麻黄苗木生物量积累规律有较大影响, 苗木生物量最优解为 19.84 g/株, 对应的最佳施肥方案为氮、磷、钾分别施肥 0.329 g/株、2.298 g/株、0.154 g/株。短枝木麻黄苗期小枝 3 种元素浓度的最佳比值范围为 $P/N = 0.3174 \pm 0.1302$; $K/N = 1.1010 \pm 0.506$; $K/P = 3.5564 \pm 0.5075$, 以生长末期 12 月份各处理苗木为例, 列出各元素的 DRIS 诊断指数及相对需肥次序, 证实了营养诊断的准确性。

关键词: 短枝木麻黄; 苗木; 营养诊断; 诊断施肥综合法

中图分类号: Q948; S725.5; S792.93

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2013)02-0136-07

Nutrient Diagnosis of *Casuarina equisetifolia* Seedlings Using DRIS

YE Gong-Fu¹, GAO Wei^{1*}, DU Lin-Mei², LU Chang-Yi³, LUO Mei-Juan¹

(1. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, China; 2. Jurong Secondary Specialized School, Zhenjiang, Jiangsu 212400, China; 3. College of Oceanography and Environmental Science of Xiamen University, Xiamen 361006, China)

Abstract: Using one-year-old *Casuarina equisetifolia* seedlings, which are the main planting species along the sandy coast of southeast China, and ternary quadratic rotary recursive fertilizer design of N, P and K, two different output types were divided based on real differences in biomass. Further, by the data of N, P and K nutrient elements contents of the seedlings, nutrition diagnosis was analyzed for *C. equisetifolia*. There was an obvious impact of proportioning fertilization on biomass accumulation of *C. equisetifolia*. The optimal solution of seedling outputs was 19.84 g per tree, and the respective quantities of fertilization were 0.329 g per tree for N, 2.298 g per tree for P, and 0.154 g per tree for K. The rational scales of ratios among the nutrient elements were $P/N = 0.3174 \pm 0.1302$, $K/N = 1.1010 \pm 0.506$, $K/P = 3.5564 \pm 0.5075$. Application of examples treated by ternary quadratic rotary recursive fertilizer design confirmed the diagnosing accuracy and list sequence of nutrients demanded through DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrate System).

Key words: *Casuarina equisetifolia*; Seedling; Nutrient diagnosis; DRIS

收稿日期: 2012-06-15, 修回日期: 2012-11-05。

基金项目: 国家自然科学基金项目“海陆交界带的土地利用变化对典型植被碳吸收影响的宏微观尺度研究”(41176092); “十一五”科技支撑计划“南亚热带防风防护林体系研究与示范”(2009BAD2B0302); 国家林业局南方山地用材林培育重点实验室、福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室资助项目。

作者简介: 叶功富(1966 -), 男, 博士, 教授级高工, 研究方向为沿海防护林生态管理。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: gao01271@163.com)。

养分监测可纠正植物生长过程中养分过量或不足等缺陷,对植物的生长发育具有重要意义^[1]。营养诊断是通过植株养分分析、土壤分析、可见症状或生理生化指标的测定,对植物的营养状况进行判断,并指导合理施肥或改进田间管理的一项新技术^[2],能为设施育苗营养配方、均衡养分供应等提供技术保障,因此成为农林业的研究热点之一。林木的营养诊断方法目前应用较多的有可见症状法、土壤分析法、临界值法、诊断施肥综合法和向量图解法等。诊断施肥综合法(Diagnosis and Recommendation Integrate System;简称 DRIS)是根据苗木养分平衡原理提出的一种诊断法^[3],可对多种营养元素同时诊断,不受植物品种和株龄的影响,充分考虑养分元素之间的平衡,能反映植物对各营养元素的需求次序,可获得苗木的最佳生长量^[4],比传统的临界值法具有更大的优越性。国外营养诊断技术已在较多植物上得到成功应用,包括杨树^[5]、柚木^[6]、火炬松^[7,8]和云杉^[9]等;国内自 20 世纪 90 年代开始也进行了植物养分监测的大量研究,先后在水稻^[10]、厚荚相思^[11]、柳杉^[12]、锥栗^[13]和毛白杨^[14]等植物上进行了施肥效应及诊断方法的研究与探讨,但针对沿海防护林树种施肥效应的研究尚少见报道^[15,16]。

短枝木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)是我国东南滨海沙地防护林的主要造林树种,在防风固沙、改善海岸带生态环境方面发挥了重要作用^[17],但由于长期的纯林经营及多代连栽,滨海沙地上普遍存在着养分不足和地力衰退的缺陷,而养分是决定植物生长质量和产量的关键。因此,如何有针对性的实施短枝木麻黄人工林生态系统的养分管理,维持沿海防护林的可持续经营,是生产实践中有待解决的问题。基于此,我们通过对短枝木麻黄苗期进行 DRIS 营养诊断研究,以期平衡施肥,提高短枝木麻黄苗木的生长质量,从养分角度为进一步完善短枝木麻黄育苗技术体系提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于 2010 年 6 月 4 日取短枝木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)当年生小枝在福建省林业科学研究院

进行生根培养,6 月 30 日生根完成后(平均苗高 6.2 cm,平均地径 0.1 cm)移栽入盆进行常规管理,苗木采用盆栽法种植于露天试验地(盆钵规格:21 cm×15 cm×18 cm),每盆 1 株,每盆装土 5.0 kg,土壤采自福建省惠安县赤湖国有林场 28 年生木麻黄林表层沙土(0~20 cm),理化性质详见表 1,试验所用肥料为尿素(含 N 46.62%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 14.5%)和氯化钾(含 K₂O 44%)。

表 1 盆栽沙土的主要理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of the experiment soil

pH	全 N Total N (g/kg)	全 P Total P (g/kg)	全 K Total K (g/kg)	碱解性 N Efficient N (mg/kg)	有效 P Efficient P (mg/kg)	速效 K Efficient K (mg/kg)
4.31	0.751	0.144	0.583	12.287	0.46	17.783

1.2 试验设计

施肥试验采用三元二次回归旋转组合设计^[18],共 20 个处理,按随机区组排列,12 次重复,根据试验因子水平编码表进行各处理实际施肥量的换算(表 2),并制定三元二次正交旋转组合设计方案(表 3)。氮、磷、钾肥采用尿素、过磷酸钙和氯化钾,分别在 7 月中旬和 7 月底施肥,所施比例均为 50%。

表 2 施肥试验三因素各水平编码表(g/盆)
Table 2 Three factors and levels in the fertilization experiment (g/pot)

因素 Independent variable	处理水平 Independent variable level (X _{ai})				
	-1.682	-1	0	1	1.682
X ₁ (N)	0	0.19	0.46	0.73	0.92
X ₂ (P)	0	0.81	2.00	3.19	4.00
X ₃ (K)	0	0.11	0.26	0.41	0.52

注: X_{ai}为该水平下对应养分元素的施肥量。
Note: X_{ai} is the fertilization amount of the corresponding nutrient element for this level.

1.3 取样及测定方法

施肥后,7-12 月每月中旬进行生长情况测定,12 月完成生长测定后,收获苗木,测定各器官的鲜重和干重生物量,并从每个处理的各重复中分别取根、茎和小枝样品,洗净烘干后粉碎备用。

植株样品氮含量采用凯氏定氮法、磷含量采用钼锑抗比色法、钾含量采用火焰光度法进行测定,测定方法参考国家林业标准 LY/T1271-1999。

表 3 氮、磷、钾三因素三元二次回归旋转施肥设计编码表
Table 3 Three factors of ternary quadratic regression rotational design for N,P, and K fertilization

因素 Independent variable				因素 Independent variable			
处理号 Treatment No.	X ₁ (N)	X ₂ (P)	X ₃ (K)	处理号 Treatment No.	X ₁ (N)	X ₂ (P)	X ₃ (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

1.4 DRIS 营养诊断法应用

DRIS 营养诊断方法的最主要特点是能对植物需肥次序做出准确判断,其主要方法有图解法和指数法,图解法适用于 3 种营养元素进行诊断,指数法可应用于多种元素同时进行诊断。本研究将 2 种方法同时应用于短枝木麻黄苗期的 DRIS 营养诊断,以试验测定的不同处理下短枝木麻黄小枝 N、P、K 养分元素含量为依据,制定木麻黄苗期 DRIS 营养诊断的标准。

DRIS 指数表示作物对某一营养元素的需求强度。正指数表示该元素过剩,值越大表明该元素过剩的情况越严重;负指数表示该元素比较缺乏,其绝对值越大表明植物对它需求越大。当指数等于零或接近零时,表示该元素与其它元素之间处于相对平衡状态。DRIS 营养诊断指数法的各个指数代数和为零。

以 P/N、K/N、K/P 为重要参数进行短枝木麻黄苗期的 DRIS 指数法营养诊断,诊断 N、P、K 三元素的 DRIS 指数计算公式如下:

N 指数 = $\frac{-f(P/N) - f(K/N)}{2}$;

P 指数 = $\frac{f(P/N) - f(K/P)}{2}$;

K 指数 = $\frac{f(K/P) + f(K/N)}{2}$ 。

其中,函数 $f(P/N)$ 、 $f(K/N)$ 、 $f(K/P)$ 的计算,以 $f(P/N)$ 为例说明如下:

当实测值 $P/N >$ 标准值 p/n 时, $f(P/N) = \left(\frac{P/N}{p/n} - 1\right) \times \frac{1000}{C.V}$; 当实测值 $P/N <$ 标准值 p/n 时, $f(P/N) = \left(1 - \frac{p/n}{P/N}\right) \times \frac{1000}{C.V}$, 式中 $C.V$ 为变异系数。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理短枝木麻黄苗期生物量积累规律

按照三元二次旋转回归进行氮、磷、钾施肥试验,不同施肥处理对短枝木麻黄苗期生物量的积累具有较大影响(表 4),对 12 月份苗木生物量数据进行统计分析,拟合回归编码方程为:

$$y = 46.833 - 72.895x_1 - 9.212x_2 - 57.517x_3 + 9.357x_1^2 + 0.198x_2^2 - 51.701x_3^2 + 19.678x_1x_2 + 139.95x_1x_3 + 11.906x_2x_3。$$

表 4 不同处理木麻黄苗木的生物量
Table 4 Biomass of *C. equisetifolia* under different treatments

处理号 Treatment No.	各器官生物量(g/株) Biomass of each organ			总生物量(g/株) Total biomass
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	
1	1.9	2.29	11.19	15.38
2	1.46	1.45	8.92	11.83
3	2.11	3.1	14.47	19.68
4	1.2	1.41	8.58	11.19
5	1.45	2.07	11.22	14.74
6	2.01	2.6	13.41	18.02
7	1.81	1.56	8.23	11.6
8	2.67	4.14	19.24	26.05
9	2.87	3.94	20.67	27.48
10	1.99	2.25	12.7	16.94
11	2.94	3.83	21.7	28.47
12	1.77	1.75	10.05	13.57
13	2.64	2.12	12.96	17.72
14	1.84	2.58	11.33	15.75
15	1.94	3.21	15.08	20.23
16	2.55	3.28	16.91	22.74
17	2.83	4.08	18.23	25.14
18	2.79	3.67	17.57	24.03
19	2.6	2.82	15.29	20.71
20	4.04	5.76	26.34	36.14

通过对拟合方程进行规划求解,计算极大值与相应的 x_1 、 x_2 、 x_3 值,得出相对应的苗木生物量最大值为 19.84 g/株,此时对应的氮、磷、钾施肥量分别为 0.329 g/株、2.298 g/株、0.154 g/株。在露

天试验条件下,把 20 个处理划分为高产组和低产组,生物量较高的 8、9、11、15~20 处理划为高产组,其他处理划为低产组。

2.2 苗木营养诊断参数统计

将不同施肥处理下短枝木麻黄的苗期生物量划分为高产组和低产组之后,分别对 N(g/kg)、P(g/kg)、K(g/kg)、N/P、N/K、P/K、P/N、K/N、K/P、NP、NK、PK 等参数的平均数、标准差、变异系数、方差及高产组与低产组的方差比进行统计,结果见表 5。

在高产组和低产组的各个方差比中,与氮、磷相关的表示式中,P/N 的方差比最大为 8.2696,达显著水平;与氮、钾有关的表示式中,K/N 的方差比最大为 3.4349,达显著水平;与磷、钾有关的表示式中,K/P 的方差比最大为 3.6201,达显著水平。因此确定 P/N、K/N、K/P 为 DRIS 营养诊断的重要参数(表 4)。

2.3 短枝木麻黄苗期 DRIS 图解法营养诊断

DRIS 诊断图由 2 个同心圆和 3 条通过圆心的坐标所组成,以高产组 P/N、K/N、K/P 3 个参数的平均值为圆心,以 2/3 倍标准差为内圆半径,以 4/3 倍标准差为外圆半径,由此得出短枝木麻黄苗期小枝 3 种元素浓度的最佳配比范围为 $P/N=0.3174\pm$

0.1302 ; $K/N=1.1010\pm0.506$; $K/P=3.5564\pm0.5075$,以此为依据绘制营养诊断图(图 1)。当坐标由圆心向外伸展时,元素间的不平衡程度逐渐增大,内圆与外圆之间的区域为稍不平衡区,外圆之外为显著不平衡区,由此可知,当 P/N 值在 0.4477~0.5779 之间时表现为 P 偏高, N 偏低;超过 0.5779 则说明 P 过量, N 缺乏;在 0.0569~0.1871 之间时表现为 N 偏高, P 偏低;小于 0.0569 表明 N 过量, P 缺乏; K/N 值在 1.6160~2.1130 之间时表现为 K 偏高, N 偏低;超过 2.1130 说明 K 过量, N 缺乏;在 0.0890~0.5950 之间时表现为 K 偏低, N 偏高;小于 0.0890 表明 K 不足, N 过量; K/P 值在 4.0621~4.5713 之间时表现为 K 偏高, P 偏低;超过 4.5713 则说明 K 过量, P 缺乏;在 2.5415~2.9489 之间时表现为 P 偏高, K 偏低;小于 2.5415 表明 K 不足, P 过量。图解结果给出了 3 种元素限制苗木生长量的相对大小和需肥顺序,直观地反映了养分元素丰缺的相对位次。

2.4 DRIS 法在短枝木麻黄苗期营养诊断中的应用

应用 DRIS 指数法对短枝木麻黄苗木进行综合营养诊断,计算氮、磷、钾 3 种养分各个比值的偏离程度函数和 N、P、K 指数,结果见表 6。

表 5 DRIS 诊断参数统计
Table 5 DRIS diagnosis parameters

表示形式 Index format	高产组 High yield groups				低产组 Low yield groups				方差比 Ratio of variance
	平均数 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	方差 Variance	平均数 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	方差 Variance	
N(g/kg)	1.3553	0.7374	0.5441	0.5437	0.5939	0.2394	0.4032	0.0573	0.1054
P(g/kg)	0.3185	0.0991	0.3113	0.0098	0.3530	0.1331	0.3770	0.0177	1.8061
K(g/kg)	1.0611	0.3125	0.2945	0.0976	0.9827	0.2923	0.2974	0.0854	0.875
N/P	4.5922	2.9266	0.6373	8.5648	2.14241	1.6679	0.7785	2.7818	0.3248
N/K	1.3130	0.7884	0.6005	0.6216	0.6143	0.2490	0.4053	0.0620	0.0997
P/K	0.3029	0.1042	0.3441	0.0109	0.3575	0.1161	0.3247	0.0135	1.2385
P/N	0.3174	0.1954	0.6156	0.0382	0.7917	0.5620	0.7099	0.3159	8.2696 *
K/N	1.1010	0.7590	0.6894	0.5762	2.1396	1.4068	0.6575	1.9792	3.4349 *
K/P	3.5564	0.7612	0.2140	0.5794	3.2302	1.4483	0.4483	2.0975	3.6201 *
NP	0.4235	0.2218	0.5238	0.0492	0.2038	0.1230	0.6037	0.0151	0.3069
NK	1.4061	0.6906	0.4911	0.4769	0.5861	0.2613	0.4458	0.0683	0.1432
PK	0.3366	0.0989	0.2938	0.0098	0.3566	0.1723	0.4832	0.0297	3.0306

* : 0.05 显著水平。
* : 0.05 significant level.

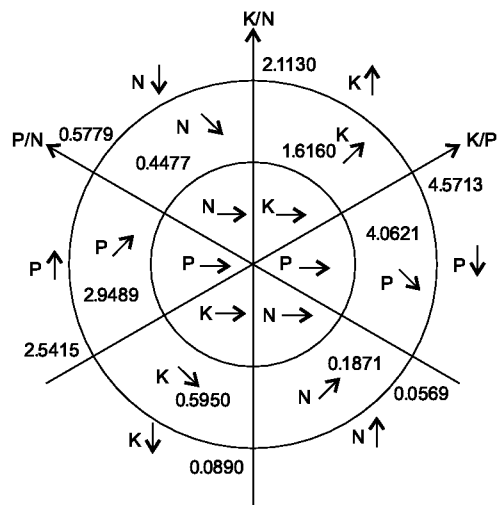


图 1 短枝木麻黄 DRIS 营养诊断图

Fig. 1 DRIS diagnosis figure of *C. equisetifolia*

从表 6 可以看出, $f(P/N)$ 中偏离最适值最大的为处理 3 (9. 0267), 其 N 指数为 -7. 7217; 其次为处理 2 (6. 1439), 其 N 指数为 -4. 3405; 处理 5 和处理 1 的程度函数偏离最适值也较大, 分别为 3. 9896 和 3. 4559, 其 N 指数分别为 -2. 9231 和 -3. 0225, 这些处理的 N 指数均小于零, 说明这些处理中氮相对于磷、钾不足; 零水平处理的 $f(P/N)$ 值偏离程度为 -0. 0979~0. 0358,

N 指数在 -0. 1379~0. 2854, 指数较接近于零, 说明零水平处理的苗木氮含量与磷、钾相对处于平衡状态。

$f(K/N)$ 中偏离最适值最大的为处理 3 (6. 4167), 其 K 指数为 2. 6488; 其次为处理 1、2、8, 其偏离程度函数分别为 2. 5891、2. 5372、2. 5960, K 指数分别为 0. 9409、-0. 5619、1. 6306; 处理 1、3、8 的 K 指数大于零, 说明这些处理中钾的含量相对于氮、磷过量; 处理 2 的 K 指数小于零, 说明处理 2 中钾的含量相对于氮、磷不足; 零水平处理的 $f(K/N)$ 值偏离程度为 -0. 2585~0. 24, K 指数在 -0. 3791~0. 4405, 指数较接近于零, 说明零水平处理的苗木钾含量与磷、氮相对处于平衡状态。

$f(K/P)$ 中偏离最适值最大的为施磷肥量最高的处理 11 (-5. 0381), 其 P 指数为 3. 0346。P 指数最大的处理 3 为 5. 0729, 说明在处理 3 施肥情况下, 磷的含量相对氮和钾偏高; P 值最小的处理为施磷肥量最小的处理 12, 其 P 指数为 -3. 2048, 与实际施肥情况吻合; 零水平处理的 $f(K/P)$ 值偏离程度为 -0. 5111~0. 8808, P 指数在 -0. 6801~0. 1893, 指数较接近于零, 说明零水平处理的苗木磷含量与钾、氮相对处于平衡状态。

表 6 短枝木麻黄苗期 DRIS 营养诊断指数
Table 6 DRIS diagnosis of *C. equisetifolia* seedlings

处理号 Treatment No.	$f(P/N)$	$f(K/N)$	$f(K/P)$	N 指数 N index	P 指数 P index	K 指数 K index	需肥顺序 Lack order
1	3. 4559	2. 5891	-0. 7073	-3. 0225	2. 0816	0. 9409	N>K>P
2	6. 1439	2. 5372	-3. 6610	-4. 3405	4. 9024	-0. 5619	N>K>P
3	9. 0267	6. 4167	-1. 1190	-7. 7217	5. 0729	2. 6488	N>K>P
4	0. 2103	0. 2489	0. 0549	-0. 2296	0. 0777	0. 1519	N>P>K
5	3. 9896	1. 8566	-2. 5893	-2. 9231	3. 2895	-0. 3664	N>K>P
6	0. 8275	0. 0175	-2. 4723	-0. 4225	1. 6499	-1. 2274	K>N>P
7	2. 0008	0. 3610	-3. 8882	-1. 1809	2. 9445	-1. 7636	K>N>P
8	2. 2447	2. 5960	0. 6653	-2. 4204	0. 7897	1. 6306	N>P>K
9	-0. 1020	-0. 3381	-0. 8860	0. 2201	0. 3920	-0. 6121	K>N>P
10	0. 0908	0. 1587	0. 1158	-0. 1247	-0. 0125	0. 1372	N>P>K
11	1. 0373	-0. 3426	-5. 0318	-0. 3474	3. 0346	-2. 6872	K>N>P
12	-1. 7686	-0. 0321	4. 6409	0. 9004	-3. 2048	2. 3044	P>N>K
13	-0. 0073	0. 4358	1. 2811	-0. 2143	-0. 6442	0. 8585	P>N>K
14	1. 8101	0. 4610	-3. 0136	-1. 1355	2. 4118	-1. 2763	K>N>P
15	-0. 0979	0. 1665	0. 7144	-0. 0343	-0. 4062	0. 4405	P>N>K
16	-0. 1325	-0. 2471	-0. 5111	0. 1898	0. 1893	-0. 3791	K>N>P
17	-0. 3998	-0. 1503	0. 4737	0. 2750	-0. 4367	0. 1617	P>K>N
18	0. 0358	0. 2400	0. 5246	-0. 1379	-0. 2444	0. 3823	P>N>K
19	-0. 4930	-0. 2585	0. 3696	0. 3758	-0. 4313	0. 0556	P>K>N
20	-0. 4795	-0. 0913	0. 8808	0. 2854	-0. 6801	0. 3947	P>N>K

3 讨论

Beaufils 认为^[3], 要使植物达到高产, 其体内的营养元素浓度必须保持一定的水平和适当的比例, 如果比例失调, 植物将会失去生理平衡, 植物的生长量是叶片中营养元素的浓度和它们之间的平衡这两个变量的函数, 只有在最适强度和最佳平衡条件下, 植物才能获得最高生长量或产量。

对比图解法与指数法诊断结果可见, 在零水平处理下植株体内的养分比其他水平处理下植株体内的养分更平衡, 说明零水平处理配比的养分量适宜植株更好地生长, 同时得出该处理下植株对 P 的需求量较大, 其次是 K 和 N。在 2 种方法中, 处理 1、处理 2、处理 3、处理 5 的需肥次序均是 $N > K > P$, 即这些处理对 N 的需求量最大, 其次是 K 和 P; 处理 8、处理 10 的需肥次序均是 $N > P > K$, 即这两个处理对 N 的需求量最大, 其次是 P 和 K; 处理 12、处理 13、处理 15、处理 18 的需肥次序是 $P > N > K$, 即这两个处理对 P 的需求量最大, 其次是 N 和 K; 处理 9 的需肥次序是 $K > N > P$, 说明这个处理 K 的需求量大, 其次是 N 和 P。植物只有在获得适宜其生长的养分时, 其体内的养分才会处于一个平衡状态, 呈现一个较佳的生长状况。

由于 DRIS 指标是相对值, 没有反映某一营养元素浓度具体指标, 只表达营养元素之间相对平衡状态, 这种平衡可能是高水平的, 也可能是低水平的营养平衡, 当几种元素同时过量时, 容易造成诊断误差, 因此应用 DRIS 诊断法应与临界浓度法及养分范围法等结合进行诊断, 以提高诊断精度^[19]。

通过回归旋转组合设计, 两组试验均得出了较精确的结果, 但本试验是在盆栽试验条件下进行的, 可控制光照、水分等, 环境条件比较稳定, 而自然环境中各因素错综复杂, 因此该试验结果作为理论值, 可供生产实践参考, 但仍需在实践中不断完善。

4 结论

通过建立三元二次旋转回归方程, 求出短枝木麻黄育苗产量的最佳施肥方案, 生物量最大值为 19.84 g/株, 对应的氮、磷、钾施肥量分别为 0.329 g/株、2.298 g/株、0.154 g/株。以短枝木

麻黄苗期施肥处理小枝养分元素浓度为依据, 制定了 DRIS 营养诊断标准, 取得了较高的诊断正确率。DRIS 诊断结果表明短枝木麻黄小枝 N、P、K 营养元素浓度最佳比值范围为: $P/N = 0.3174 \pm 0.1954$, $K/N = 1.101 \pm 0.759$, $K/P = 3.5564 \pm 0.7612$ 。以高产组小枝 N、P、K 分析值制定了 DRIS 图解法及指数法营养诊断标准, 诊断精度较高。

参考文献:

- [1] Haase D L, Rose R. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments [J]. *Forest Sci*, 1995, 41(1): 54–66.
- [2] 张旭东, 董林水, 周金星, 郑郁善. 珍稀乡土树种福建柏苗期 DRIS 营养诊断 [J]. *生态学报*, 2005, 25(5): 1165–1170.
- [3] Beaufils E R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) [J]. *Soil Sci Bull*, 1973, (1): 32.
- [4] 黄宇玉. 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): 22–25.
- [5] Coleman M, Tolsted D, Nichols T, Johnson W D, Wene, E G, Houghtaling T. Post-establishment fertilization of Minnesota hybrid poplar plantations [J]. *Biomass Bioenergy*, 2006, 30: 740–749.
- [6] Drechsel P, Zech W. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L. f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa [J]. *Forest Ecol Manag*, 1994, 70: 121–133.
- [7] Gregoire N, Fisher R F. Nutritional diagnoses in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) established stands using three different approaches [J]. *Forest Ecol Manag*, 2004, 203: 195–208.
- [8] Love-Myers K R, Clark III A, Schimleck L R, Jokela E J, Daniels R F. Specific gravity responses of slash and loblolly pine following mid-rotation fertilization [J]. *Forest Ecol Manag*, 2009, 257: 2342–2349.
- [9] Lindberg N, Persson T. Effects of long-term nutrient fertilization and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand [J]. *Forest Ecol Manag*, 2004, 188: 125–135.
- [10] Xue L H, Cao W X, Luo W H, Jiang D, Meng Y L, Zhu Y. Diagnosis of nitrogen status in rice lea-

- ves with the canopy spectral reflectance [J]. *Agr Sci China*, 2003, 2(3): 250–257.
- [11] 曾银花. 防护林树种厚荚相思 (*Acacia crassicarpa*) 苗期施肥效应研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [12] 陈礼光, 陆小静, 蔡月琴, 荣俊冬, 郑郁善, 杨榕. 柳杉苗木综合营养诊断 I. 田间 DRIS 图解法[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(4): 318–322.
- [13] 林德喜, 陈辉. 锥栗人工林营养综合诊断 (DRIS) 研究[J]. 林业科学, 2001, 37(sp. 1): 117–125.
- [14] 刘克林, 孙向阳, 王海燕, 田赞, 吴京科, 康向阳. 三倍体毛白杨叶片营养 DRIS 诊断[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2893–2898.
- [15] 叶功富, 张晓萍, 曹国强, 高美玲, 庄绍勇. 木麻黄苗期施肥和密度的田间试验[J]. 福州: 福建林业科技, 1995, 22(4): 7–12.
- [16] 刘发茂, 黄家彬, 俞新妥. 细枝木麻黄苗期施氮初步研究[J]. 福建林学院学报, 1989, 9(2): 195–198.
- [17] 张立华, 林益明, 叶功富. 短枝木麻黄幼苗小枝单宁形成的养分和酸度效应[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 72–81.
- [18] 洪伟, 吴承祯. 试验设计与分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 184–187.
- [19] 杜林梅. 沿海防护林树种潺槁树、木麻黄苗期施肥效应研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.

(责任编辑: 王豫鄂)