

2 种不同岩性土壤上施肥后闽楠叶片 DRIS 营养诊断

陆欣远, 韦小丽*, 张红艳, 田 鸿

(贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:研究闽楠基于 2 种不同岩性土壤上造林后的施肥响应,通过诊断施肥综合法(DRIS)为造林后闽楠养分管理和平衡施肥提供参考依据。以 2 年生闽楠苗作为试验材料,在板岩(B)、煤系砂页岩(M)发育形成的土壤上设置 N、P、K 3 因素二次回归正交施肥试验,并采用 DRIS 图解法和指数法对 2 种不同的岩性土壤各处理组的闽楠叶片进行营养诊断以及养分临界值范围划分。结果表明,在板岩(B)土壤上,闽楠叶片元素的最佳比值范围分别为 $N/P=17.713\pm2.522$, $N/K=2.939\pm0.406$, $P/K=6.088\pm0.656$;煤系砂页岩(M)土壤上,叶片元素的最佳比值范围为 $P/N=0.048\pm0.004$, $K/N=0.356\pm0.044$, $P/K=0.138\pm0.006$ 。板岩土壤上,闽楠各处理对养分的需求次序均表现为 $P>K>N$,低产组养分不平衡指数(NII)最大且不平衡程度更大,但其中以 B10 处理更趋于平衡;煤系砂页岩土壤上,闽楠各处理对养分需求次序表现为 $N>K>P$,同板岩一样其低产组不平衡程度也最大,以 M12 的养分更趋于平衡状态。通过 DRIS 指数临界标准划分,板岩上闽楠叶片各元素的适宜质量分数范围为: $N=18.961\sim26.010$ g/kg, $P=1.032\sim1.577$ g/kg, $K=6.046\sim9.709$ g/kg;煤系砂页岩上为: $N=20.050\sim29.730$ g/kg, $P=1.152\sim1.218$ g/kg, $K=8.167\sim9.073$ g/kg。对 2 种岩性土壤上闽楠施肥后的营养诊断结果表明,板岩土壤上以 B10 处理即施用 $N:0$ g·株⁻¹、 $P:6$ g·株⁻¹、 $K:5$ g·株⁻¹ 时对闽楠生长更有利;煤系砂页岩土壤上以 M12 施用 $N:12.5$ g·株⁻¹、 $P:0$ g·株⁻¹、 $K:5$ g·株⁻¹ 时更适宜闽楠生长,但培育过程中应多注意根据闽楠生长养分的适宜范围对缺乏和过剩的养分及时调整以更好达到平衡养分的目的。

关键词: 闽楠;配方施肥;DRIS;营养诊断;指数法

中图分类号: S723.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2022)04-0143-09

DRIS Based Nutrient Assessment of *Phoebe bournei* Leaves After Fertilization in Two Different Lithological Soils

LU Xin-yuan, WEI Xiao-li*, ZHANG Hong-yan, TIAN Hong

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: Based on the fertilization response of *Phoebe bournei* planted in two different lithological soils, the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) was used to provide a reference for the nutrient management and balanced fertilization of *P. bournei* after afforestation. Seedlings of 2-year-old *P. bournei* were used as test materials. A regression orthogonal fertilization experiment was set up with 3 factors (N, P, K) on the soils formed by the development of slate (B) and coal-measure sand shale (M). The DRIS graphical method and the index method were used to diagnose the nutrition of *P. bournei* leaves in each treatment group of two different lithological soils and to divide the nutrient critical value ranges. The results showed that the best ratio ranges of *P. bournei* leaf elements were $N/P=17.713\pm2.522$, $N/K=2.939\pm0.406$, $P/K=6.088\pm0.656$ (in B); and $P/K=0.138\pm0.006$, $K/N=0.356\pm0.044$, $K/P=0.138$

收稿日期:2021-07-06 修回日期:2021-11-14

基金项目:贵州省高层次创新人才培养计划([2016]5661);中央财政林业科技推广示范项目([2017]TG01 号)。

第一作者:陆欣远。研究方向:森林培育。E-mail:344291408@qq.com

* 通信作者:韦小丽,教授,博士生导师。研究方向:珍贵树种培育技术。E-mail:gdwxl-69@126.com

± 0.006 (in M), respectively. In the soil B, the order of nutrient requirements for each treatment was in the order of $P > K > N$, the nutrient imbalance index (NII) of the low-yield group was the largest, and the imbalance intensity was greater. Among them, the nutrients treated with B10 tended to be more balanced. In the soil M, the order of nutrient requirements was $N > K > P$, the degree of imbalance in the low-yield group was the largest, and the imbalance intensity was greater, but the nutrients in M12 tended to be more balanced. According to the critical standard of DRIS index, the appropriate concentration ranges in B soil were $N = 18.961 - 26.010$ g/kg, $P = 1.032 - 1.577$ g/kg, $K = 6.046 - 9.709$ g/kg. In M soil, the ranges were $N = 20.050 - 29.730$ g/kg, $P = 1.152 - 1.218$ g/kg, $K = 8.167 - 9.073$ g/kg. The results indicated that B10 treatment was more beneficial to the growth of the *P. bournei* seedlings in B soil with the application amounts of different nutrient elements per seedling of $N: 0 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$, $P: 6 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$, $K: 5 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$, and in soil M they were $N: 12.5 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$, $P: 0 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$, $K: 5 \text{ g} \cdot \text{P}^{-1}$. It would be emphasized that adjustment should be carried out for the elements beyond the ranges mentioned above to achieve the goal of balancing nutrients.

Key words: *Phoebe bournei*; formula fertilization; DRIS; nutritional diagnosis; index method

植物叶片营养诊断方法包括充足范围法(SRA)、诊断施肥综合法(DRIS)、适度偏差百分数法(DOP)、组分营养诊断法(CND)等4种。其中诊断施肥综合法作为一种判断植物营养情况的先进方法,其诊断结果不受林木品种、叶龄以及部位等影响,能明确表示某种元素的丰缺状况,同时可判断出林木有效的施肥顺序,已被广泛应用于多数果树的营养诊断^[1-3]。闽楠(*Phoebe bournei*)樟科楠属,我国二级珍稀保护植物,为我国特有的珍贵用材树种,在国内更是有着“中华第一材”的美誉^[4]。正是因其极高的经济价值,闽楠虽在我国多省区均有分布,但长期以来遭受无节制滥伐利用,加之其对立地条件要求严格,生长缓慢等特点,使之自然种群极度稀少甚至面临濒危,已被世界自然保护联盟(IUSN)红皮书列为低危树种^[5-6]。而就目前国内关于闽楠的研究多在种群和群落特征^[7-8]、苗木繁育^[9]和遗传多样性^[10]等方面,相关施肥研究也仅为不同施肥方式以及施肥水平的控制^[11-13],关于闽楠在不同岩性发育的土壤上栽植的施肥响应及营养诊断情况研究却鲜见,同时随着苗木不断生长,考虑到土壤中的养分供给有限这一情况,为尽可能避免苗木养分亏缺现象出现导致生长不良^[14],及时对苗木进行营养诊断,掌握苗木在不同土壤条件下的养分需求规律,从而制定施肥方案,合理补充苗木所需养分,快速促进其郁闭成林至关重要。为此,本研究以2年生的闽楠苗木作为研究对象,在2种不同岩性土壤上进行闽楠正交施肥试验,并采用DRIS图解法、指数法营养诊断法和叶片养分临界范围划分对其进行综合营养诊断,探寻闽楠在2种不同岩性土壤上的元素需求顺序、元素最佳比值范围和元素适宜质量分数范围,以便更好揭示其养分需求规律,为其在不同土壤类型造林地上进行科学养分管理和培育高质量闽楠资源提

供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地为贵州省贵阳市花溪区贵州大学南校区苗圃试验地,地理位置位于 $106^{\circ}34'E, 26^{\circ}34'N$,平均海拔1159 m,属于中亚热带湿润温和型气候,平均气温 $15.8^{\circ}C$,年降水量1229 mm,年平均相对湿度79%,年生长期271 d。经项目组前期试验结果表明,闽楠在煤系砂页岩、玄武岩和石英砂岩和板岩发育而来的土壤上生长较好,其中生长情况最优的土壤类型主要为煤系砂页岩和板岩,因此将其作为本研究闽楠造林优先选择的土壤类型(以下简称“板岩土壤”“煤系砂页岩土壤”,分别用字母“B”“M”表示),分别采自贵州省剑河县和贵州省贵阳市花溪区,2种土壤均取A层心土层土壤,土层深度20 cm,试验土壤均在采集地过筛后运回试验地。分别将2种土壤装入长5.0 m、宽1.2 m、深0.5 m的水泥框内,土壤装填厚度40 cm,每种土壤装4个框。2种岩性土壤的理化性质为:板岩有机质质量分数 $49.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全N $2.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全P $0.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全K $12.59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解N $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效P $1.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效K $2.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;煤系砂页岩有机质质量分数 $52.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全N $3.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全P $0.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全K $6.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解N $52.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效P $2.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效K $77.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验材料

试验苗木是贵州省从江县国有林场培育的符合造林标准的大小长势基本一致的2年生闽楠苗木,施肥前苗木平均高度 $(50.4 \pm 6.84) \text{ cm}$,平均地径 $(5.25 \pm 0.74) \text{ mm}$ 。苗木移植时间2018年3月上

旬,栽植株间距 30 cm×30 cm。

1.3 试验设计

2 种岩性土壤上都进行 N、P、K 3 因素二次回归正交施肥试验^[15],试验共 15 个处理,重复 3 次,每个重复 10 株闽楠苗。实际施肥量参照欧建^[16]试验结果进行设计(表 1)。肥料分 2 次施入,施肥时间分别为 6 月 20 日和 7 月 15 日,每次施肥量为总施肥量的 50%,施肥方式为环状沟施于闽楠苗根部周围。试验用肥料 N 肥:尿素(N≥46.2%);P 肥:生物酶活化 P 肥(P₂O₅≥16%);K 肥:K₂SO₄(K₂O≥51%)。

表 1 闽楠 N、P、K 正交回归施肥试验处理方案

Table 1 Treatment scheme of quadratic regression orthogonal fertilization experiment of *Phoebe bournei*, seedlings

处理	编码值(x_i)			实际施肥量(Z_j)		
	x_1	x_2	x_3	Z_1 (N, g·株 ⁻¹)	Z_2 (P ₂ O ₅ , g·株 ⁻¹)	Z_3 (K ₂ O, g·株 ⁻¹)
1	1	1	1	22.79	10.94	9.12
2	1	1	-1	22.79	10.94	0.89
3	1	-1	1	22.79	1.06	9.12
4	1	-1	-1	22.79	1.06	0.89
5	-1	1	1	2.21	10.94	9.12
6	-1	1	-1	2.21	10.94	0.89
7	-1	-1	1	2.21	1.06	9.12
8	-1	-1	-1	2.21	1.06	0.89
9	1.215	0	0	25	6	5
10	-1.215	0	0	0	6	5
11	0	1.215	0	12.5	12	5
12	0	-1.215	0	12.5	0	5
13	0	0	1.215	12.5	6	10
14	0	0	-1.215	12.5	6	0
15	0	0	0	12.5	6	5

注:表中实际施肥量指的是 N、P、K 的含量,实际施肥时的施肥量是转化后的化肥含量。

1.4 指标测定方法

待 12 月生长季结束后,在各试验小区内,进行随机取样,每处理每个重复选具有代表性 4 株苗木采取全挖法起苗,将植株样品带回实验室后及时进行根、茎、叶分离,装进信封放入烘箱 90°杀青 15 min,然后恒温 80 °C 烘样 24 h 至恒重后取出,称得各部分干重。再将每个处理的全部根、茎、叶干样品分别混匀后用粉碎机磨碎过筛(0.25 mm),用于植株养分含量(全 N、全 P、全 K)的测定。采用浓硫酸、高氯酸混合酸对样品进行消煮,然后全 N 含量测定采用扩散吸收法,全 P 含量测定采用钼锑抗比色法;全 K 含量测定采用火焰光度计法^[17]。

1.5 营养诊断方法

1.5.1 DRIS 图解法营养诊断 DRIS 诊断图由 2 个同心圆和 3 个通过圆心的坐标轴所组成的。圆心

作为植株生长良好各营养参数的最佳养分比例。图解法的内、外圆的半径分别为高产组标准差(SD)的 2/3 倍、4/3 倍。其中养分平衡区为两圆的内圆范围,以“→”表示平衡。内圆与外圆之间为稍不平衡区,用“↗”偏高,“↘”为偏低表示。外圆外围为养分极不平衡区,分别用“↑”过剩或“↓”缺乏表示^[18]。

1.5.2 DRIS 指数法营养诊断 DRIS 指数表示植物某营养元素的需要程度,当指数为负表示植物需求该元素,且负指数的绝对值越大表示需要程度越大;正指数越大表示植物对元素需要程度越小。若计算结果要求各指数的代数和为零,说明计算无误^[19]。N、P、K 元素 DRIS 指数计算公式为^[20]

$$N \text{ 指数} = [f(N/P) + f(N/K)]/2 \tag{1}$$

$$P \text{ 指数} = [-f(N/P) - f(K/P)]/2 \tag{2}$$

$$K \text{ 指数} = [f(K/P) - f(N/K)]/2 \tag{3}$$

其中函数 $f(N/P)$ 、 $f(K/N)$ 、 $f(K/P)$ 的计算,以 $f(N/P)$ 为例:

$$f(N/P) = 100[(N/P)/(n/p) - 1] \text{ (当 } N/P > n/p \text{, 即 } N/P \text{ 的实测值} > \text{标准值) 或 } f(N/P) = 100[1 - (N/P)/(n/p)] \text{ (当 } N/P < n/p \text{, 即 } N/P \text{ 的实测值} < \text{标准值)}$$
,P、K 参数同理,标准值是根据各施肥处理各参数的平均值计算得出,其反映了整个林分的平均状况。

养分不平衡指数(NII)为各营养元素指数绝对值代数和,绝对数和越趋近于 0,表明各元素处于植物生长平衡状态,代数和越大,表明元素不平衡程度越严重^[21]。

1.5.3 叶片营养诊断临界标准 参照高伟等^[22]的方法将闽楠营养诊断的标准质量分数分别设为过剩、偏高、平衡、偏低、缺乏 5 个临界等级,以高产组闽楠叶片营养元素 DRIS 诊断平均值作为平衡值与其标准差结合,具体营养诊断的标准质量分数设置如下

$$\text{偏高值} = \text{平衡值} + 4/3 \text{ 标准差} \tag{5}$$

$$\text{过剩值} = \text{平衡值} + 8/3 \text{ 标准差} \tag{6}$$

$$\text{偏低值} = \text{平衡值} - 4/3 \text{ 标准差} \tag{7}$$

$$\text{缺乏值} = \text{平衡值} - 8/3 \text{ 标准差} \tag{8}$$

1.6 数据分析

利用 Excel 2010 对数据进行统计整理,SPSS22.0 进行数据分析,Origin2019 和 Auto CAD 进行制图。

2 结果与分析

2.1 闽楠产量组划分

根据表 2、图 1,将板岩土壤上闽楠各施肥处理 B1、B2、B3、B4、B6、B9 为低产组,B5、B7、B8、B10、B11、B12、B13、B14、B15 为高产组;将煤系砂页岩土

表 2 2 种岩性土壤上闽楠各部分器官生物量分配

Table 2 Biomass distribution of various organs of *P. bournei* in two lithological soils g·株⁻¹

处理	叶干质量	茎干质量	根干质量	处理	叶干质量	茎干质量	根干质量
B1	4.37±0.07g	5.77±0.09fg	4.63±0.09fg	M1	5.54±0.26e	11.94±0.59gh	7.66±0.47ghi
B2	5.5±0.15efg	6.37±0.3fg	5.77±0.12fg	M2	7.3±0.72e	14.35±0.57efg	8.45±0.44fgh
B3	5.47±0.07efg	6.23±0.18fg	5.4±0.25fg	M3	6.1±0.15e	11.3±0.44h	6.1±0.15i
B4	5.03±0.15fg	4.7±0.21g	4.07±0.12g	M4	7.43±0.18e	13.7±0.26fgh	8.53±0.26fgh
B5	7.78±0.29bcd	10.4±0.67de	10.15±0.84cd	M5	9.8±0.7d	12.77±0.34gh	7.33±0.32hi
B6	5.88±0.35defg	7.1±0.23f	6.33±0.68ef	M6	12.9±0.55bc	17.41±0.68cd	11.05±0.36bcde
B7	9.82±0.45b	14.97±0.73ab	10.28±0.33cd	M7	13.34±0.49abc	14.85±0.46defg	11.78±0.34bcd
B8	6.88±0.54def	9.37±0.68e	9.42±0.56d	M8	13.55±0.85abc	16.1±1.15cdef	10.28±0.52def
B9	5.1±0.21fg	4.97±0.23fg	5.5±0.15fg	M9	11.95±0.56cd	13.83±0.69fgh	10.28±0.55def
B10	7.11±0.16cdef	11.44±0.46cde	11.34±0.52bc	M10	10.25±0.81d	13.87±0.65fgh	12.83±0.76b
B11	9.77±0.64b	9.97±0.46e	9.25±0.46d	M11	14.2±0.65abc	15.78±1.06cdef	12.5±0.74bc
B12	13.98±1.09a	15.6±0.63a	12.85±0.47ab	M12	14.89±0.94ab	17.12±0.71cde	10.82±0.74cde
B13	9.08±0.31bc	12.28±0.26cd	9.61±0.33d	M13	14.88±0.98ab	22.00±1.67b	11.92±0.65bcd
B14	12.4±0.86a	14.37±0.83ab	13.73±0.19a	M14	14.82±0.88ab	17.95±1.21c	10.92±0.68cde
B15	12.1±0.99a	13.3±0.89bc	9.96±0.3cd	M15	15.53±0.7a	26.02±1.39a	15.24±0.4a

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

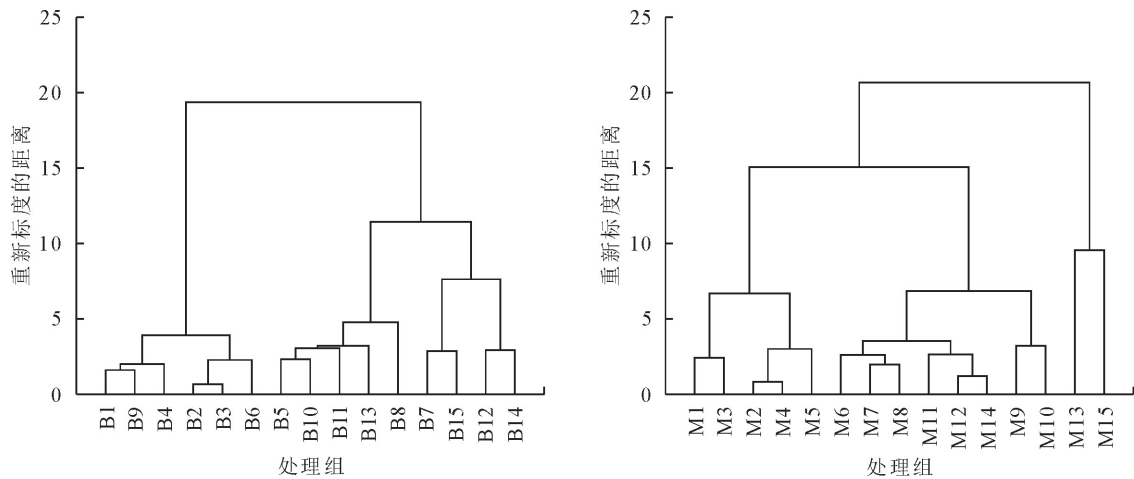


图 1 2 种岩性土壤上闽楠各处理生物量聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of biomass of *P. bournei* in different treatments in two lithologic soils

壤上闽楠各施肥处理 M1、M2、M3、M4、M5、M6、M7、M8、M9、M10、M11、M12、M14 为低产组，M13、M15 为高产组，最后选择 2 种岩性土壤上的高产组与低产组数据进行对比与分析。

2.2 闽楠苗营养诊断参数统计

通过对 2 种岩性土壤上的闽楠生物量进行聚类分析，将不同土壤上的各施肥处理组为高产组、低产组，再分别对其 N、P、K、N/P、N/K、P/N、P/K 等 11 种参数的平均数、标准差、变异系数、方差及两者间的方差比(V_L/V_H)进行对比统计(表 3、表 4)。板岩土壤上任意 2 种元素的同等表达式中： $N/P>P/N$ 、 $N/K>K/N$ 、 $K/P>P/K$ ，选择较大的 N/P、N/K、K/P 作为闽楠营养诊断的重要参数；在煤系砂页岩土壤上： $P/N>N/P$ 、 $K/N>N/K$ 、 $P/K>K/P$ ，将 P/N、K/N、P/K 确定为煤系砂页岩土壤上闽楠营养诊

断的重要参数。

2.3 闽楠苗 DRIS 图解法营养诊断

将板岩上的闽楠叶片进行 DRIS 诊断图制作，以选出的高产组 3 个重要参数平均值作为圆心值，高产组标准差(SD)的 2/3、4/3 为内、外圆直径(图 2)。由此可得 N、P、K 质量分数最佳配比为 $N/P=17.713\pm2.522$ 、 $N/K=2.939\pm0.406$ 、 $K/P=6.088\pm0.656$ ，当 K/P 参数值在 6.744~7.400 时，表明 K 偏高，P 偏低，外圆半径以外，K 过剩，P 缺乏；N/K 参数值在 3.345~3.751 时，K 偏高，N 偏低，外圆半径以外 K 过剩，N 缺乏；N/P 参数值在 20.235~22.756 时，N 偏高，P 偏低，向外扩展 N 过剩和 P 缺乏程度越严重。同样在煤系砂页岩上闽楠营养元素质量分数最佳配比为 $P/N=0.048\pm0.004$ 、 $K/N=0.356\pm0.044$ 、 $P/K=0.138\pm0.006$ 。由图 2(M)可

表 3 板岩高产组和低产组营养元素 DRIS 诊断参数

Table 3 DRIS diagnostic parameters of nutrient elements in high yield group and low yield group (B)

项目	高产组 $n=9$				低产组 $n=6$				方差比 V_L/V_H
	平均	标准差 SD	变异系数 $C_v(\%)$	方差 V_H	平均	标准差 SD	变异系数 $C_v(\%)$	方差 V_L	
N	22.486	2.644	0.118	0.014	22.437	1.166	0.052	0.003	0.195
P	1.304	0.204	0.156	0.024	1.337	0.090	0.067	0.005	0.184
K	7.878	1.374	0.174	0.030	6.817	2.012	0.295	0.087	2.866
N/P	17.713	3.783	0.214	0.046	16.811	0.678	0.040	0.002	0.036
N/K	2.939	0.609	0.207	0.043	3.517	0.924	0.263	0.069	1.609
P/K	0.168	0.028	0.169	0.029	0.210	0.060	0.284	0.080	2.808
P/N	0.059	0.016	0.270	0.073	0.060	0.002	0.042	0.002	0.024
K/N	0.356	0.086	0.243	0.059	0.302	0.083	0.274	0.075	1.276
K/P	6.088	0.984	0.162	0.026	5.106	1.507	0.295	0.087	3.336
NP	29.074	3.716	0.128	0.016	30.060	3.387	0.113	0.013	0.777
NK	176.848	34.614	0.196	0.038	154.003	49.816	0.323	0.105	2.731
PK	10.403	2.987	0.287	0.082	9.133	2.816	0.308	0.095	1.153

表 4 煤系砂页岩高产组和低产组营养元素 DRIS 诊断参数

Table 4 DRIS diagnostic parameters of nutrient elements in high yield group and low yield group (M)

项目	高产组 $n=2$				低产组 $n=13$				方差比 V_L/V_H
	平均	标准差 SD	变异系数 $C_v(\%)$	方差 V_H	平均	标准差 SD	变异系数 $C_v(\%)$	方差 V_L	
N	24.890	3.630	0.146	13.177	21.430	2.244	0.105	5.034	0.382
P	1.185	0.025	0.021	0.001	1.196	0.224	0.187	0.050	80.210
K	8.620	0.340	0.039	0.116	7.752	1.054	0.136	1.110	9.605
N/P	20.949	2.621	0.125	6.871	18.491	3.483	0.188	12.134	1.766
N/K	2.909	0.536	0.184	0.287	2.823	0.513	0.182	0.264	0.918
P/K	0.138	0.008	0.060	0.000	0.155	0.028	0.181	0.001	11.402
P/N	0.048	0.006	0.125	0.000	0.056	0.012	0.211	0.000	3.825
K/N	0.356	0.066	0.184	0.004	0.367	0.071	0.194	0.005	1.174
K/P	7.284	0.441	0.060	0.194	6.639	1.150	0.173	1.322	6.809
NP	29.585	4.924	0.166	24.244	25.679	5.454	0.212	29.744	1.227
NK	213.318	22.828	0.107	521.118	165.414	23.006	0.139	529.263	1.016
PK	10.206	0.187	0.018	0.035	9.376	2.622	0.280	6.873	195.698

知,当 P/N、K/N 参数分别在 0.052~0.056 和 0.400~0.443 时均为 N 偏低、P 与 K 偏高,外圆以外则为 N 缺乏,P 与 K 过剩;同样 P/K 参数呈现为,外圆以外为 P 过剩 K 缺乏。

2.4 闽楠苗 DRIS 指数法营养诊断

对 2 种岩性土壤上的闽楠叶片进行元素 DRIS 营养诊断,根据计算偏离程度函数 $f(X/Y)$ 分别计算得出 N、P、K 的 DRIS 指数,同时求出各处理营养不平衡指数(NII)。由表 5、表 6 可知,在板岩土壤上,闽楠高产组、低产组所有施肥处理对元素的需求程度表现为 $P>K>N$ 。其各处理中 N 指数以 B10 最小,B9 最大;P 指数以 B9 最小,B5 最大;K 指数以 B9 最小,B15 最大。而从低、高产组平均不平衡指数(NII)对比可知,低产组(NII) $>$ 高产组(NII),其中 B9 处于不平衡状态,B10 更趋于平衡状态;在煤系砂页岩土壤上闽楠各施肥处理对于营养元素的

需求程度表现为 $N>K>P$ 。各处理对 N 的需求表现为 M10 最大,各施肥处理中 M12 的 P 指数最小,M7 最大,而 K 元素各施肥处理均表现为不同程度缺乏,M7 处理 K 元素缺乏最小也最为严重,而 M5 相对过剩。煤系砂页岩土壤上各处理也表现为低产组(NII) $>$ 高产组(NII),表明低产组中营养不平衡程度更大,其中以 M10 不平衡,M12 更趋于平衡。

2.5 闽楠苗叶片营养诊断临界标准

将闽楠叶片高产组 N、P、K 元素的 DRIS 诊断平均值作为平衡标准,再与标准差相结合制定得出闽楠在 2 种岩性土壤上几种元素浓度的标准如表 7 可知,板岩上各元素的适宜范围为: $N=18.961\sim 26.010\text{ g/kg}$, $P=1.032\sim 1.577\text{ g/kg}$, $K=6.046\sim 9.709\text{ g/kg}$;煤系砂页岩上闽楠各元素适宜范围为: $N=20.050\sim 29.730\text{ g/kg}$, $P=1.152\sim 1.218\text{ g/kg}$, $K=8.167\sim 9.073\text{ g/kg}$ 。

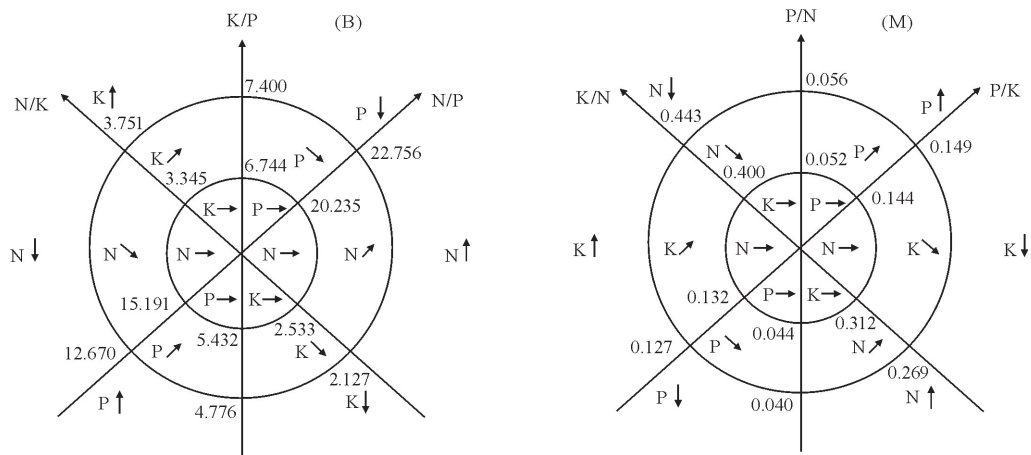


图 2 2 种岩性土壤上闽楠叶片营养 DRIS 诊断

Fig. 2 The DRIS of *P. bournei* leaf in two lithologic soils

表 5 闽楠各施肥处理 N、P、K 指数及需肥次序

Table 5 N, P, K indices and orders of fertilizer requirements in different fertilization treatments of *P. bournei*

处理	$f(N/P)$	$f(N/K)$	$f(K/P)$	N 指数	P 指数	K 指数	需肥顺序	不平衡指数(NII)
低产组								
B1	3.815	16.740	14.370	10.278	-9.093	-1.185	$P > K > N$	20.555
B2	6.847	48.558	37.921	27.703	-22.384	-5.319	$P > K > N$	55.406
B3	1.811	11.511	9.853	6.661	-5.832	-0.829	$P > K > N$	13.322
B4	1.831	49.781	35.113	25.806	-18.472	-7.334	$P > K > N$	51.612
B6	11.912	44.800	39.773	28.356	-25.843	-2.514	$P > K > N$	56.713
B9	42.388	36.831	9.708	39.610	-26.048	-13.561	$P > K > N$	79.219
Average	5.093	29.088	24.201	17.091	-14.647	-2.444	$P > K > N$	46.138
高产组								
B5	2.242	15.334	8.236	8.788	-5.239	-3.549	$P > K > N$	17.576
B7	7.437	19.439	24.396	13.438	-15.917	2.479	$P > K > N$	31.833
B8	8.789	20.278	21.400	14.534	-15.095	0.561	$P > K > N$	30.189
B10	4.338	3.141	8.177	3.740	-6.258	2.518	$P > K > N$	12.515
B11	9.514	4.467	14.248	6.990	-11.881	4.891	$P > K > N$	23.762
B12	12.520	24.915	15.238	18.717	-13.879	-4.838	$P > K > N$	37.435
B13	17.617	4.268	6.837	10.943	-12.227	1.284	$P > K > N$	24.454
B14	6.947	19.827	10.122	13.387	-8.535	-4.852	$P > K > N$	26.774
B15	33.286	0.472	16.995	16.879	-25.141	8.262	$P > K > N$	50.281
Average	11.410	12.460	13.961	11.935	-12.686	0.751	$P > K > N$	28.313

3 结论与讨论

3.1 结论

本试验在 2 种不同岩性土壤上对闽楠施肥后结合叶片 DRIS 营养诊断及养分适宜范围等级划分方法,得出精准性较高的试验结果。其中在板岩土壤上闽楠叶片的营养元素质量分数比值的最适范围为: $N/P=17.713 \pm 2.522$, $N/K=2.939 \pm 0.406$, $K/P=6.088 \pm 0.656$,生长过程中对 P 的需求程度大于 K、N;在煤系砂页岩上闽楠叶片的营养元素质量分数比值为: $P/N=0.048 \pm 0.004$, $K/N=0.356$

± 0.044 , $P/K=0.138 \pm 0.006$,对于 N 的需求大于 K、P。同时板岩上闽楠叶片养分质量分数的适宜范围为: $N=18.961 \sim 26.010$ g/kg, $P=1.032 \sim 1.577$ g/kg, $K=6.046 \sim 9.709$ g/kg;煤系砂页岩上闽楠叶片养分质量分数范围为: $N=20.050 \sim 29.730$ g/kg, $P=1.152 \sim 1.218$ g/kg, $K=8.167 \sim 9.073$ g/kg。通过计算营养不平衡指数(NII)后对比得出 B10 和 M12 在各自施肥处理中养分更趋于平衡状态,同时结合闽楠在 2 种不同土壤上的需肥规律以及叶片养分质量分数适宜范围,合理增减 N、P、K 施肥量能更好达到闽楠养分科学管理的目的。

表 6 闽楠各施肥处理 N、P、K 指数及需肥次序
Table 6 N,P,K indices and orders of fertilizer requirements in different fertilization treatments of *P. bournei*

处理	<i>f</i> (P/K)	<i>f</i> (P/N)	<i>f</i> (K/N)	N 指数	P 指数	K 指数	需肥顺序	不平衡指数(NII)
低产组								
M1	23.144	18.505	4.707	−11.606	20.825	−9.219	N>K>P	41.649
M2	5.367	12.862	9.074	−10.968	9.114	1.854	N>K>P	21.936
M3	14.914	17.966	4.796	−11.381	16.440	−5.059	N>K>P	32.879
M4	18.787	14.824	3.565	−9.195	16.805	−7.611	N>K>P	33.611
M5	6.675	30.178	37.740	−33.959	18.426	15.533	N>K>P	67.918
M6	12.255	19.365	5.001	−12.183	15.810	−3.627	N>K>P	31.620
M7	39.921	24.134	12.395	−18.265	32.028	−13.763	N>K>P	64.055
M8	17.906	5.641	27.070	−16.355	11.773	4.582	N>K>P	32.711
M9	22.612	5.164	23.623	−14.394	13.888	0.506	N>K>P	28.787
M10	14.288	49.468	29.143	−39.305	31.878	7.428	N>K>P	78.611
M11	4.336	23.570	21.107	−22.339	13.953	8.386	N>K>P	44.677
M12	0.997	6.214	8.304	−7.259	3.605	3.653	N>K>P	14.517
M14	21.013	5.252	22.686	−13.969	13.133	0.836	N>K>P	27.938
Average	15.555	17.934	16.093	−17.014	16.745	0.269	N>K>P	40.070
高产组								
M13	15.424	1.230	15.320	−8.275	8.327	−0.052	N>K>P	16.654
M15	4.534	23.199	20.560	−21.879	13.866	8.013	N>K>P	43.759
Average	9.979	12.214	17.940	−15.077	11.097	3.980	N>K>P	30.206

表 7 2 种岩性土壤上闽楠叶片养分含量范围等级
Table 7 Ranges and grades of nutrient contents in the leaves of *P. bournei* in two lithologic soils $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

养分质量 分数等级	板岩(B)			煤系砂页岩(M)		
	N	P	K	N	P	K
过剩	29.535	1.849	11.541	34.570	1.252	9.527
偏高	26.010	1.577	9.709	29.730	1.218	9.073
平衡	22.486	1.304	7.878	23.288	1.249	7.974
偏低	18.961	1.032	6.046	20.050	1.152	8.167
缺乏	15.436	0.760	4.214	15.210	1.118	7.713

3.2 讨论

土壤的发育形成过程与岩性密不可分,而母岩的理化性质又直接影响着土壤的理化性质及养分含量,岩性、土壤、植物三者之间相互联系、相互影响,其中土壤的不同理化性质由岩性的差异性决定,而植物的生长差异又由不同的土壤理化性质决定^[23]。但土壤中养分资源十分有限,及时补充苗木所需养分很有必要。在不同的生长阶段苗木对养分的需求不同,养分长期供应不足苗木则生长不良,而当供应过多过快苗木则不能及时吸收而大量流失^[24]。本研究通过对闽楠在 2 种岩性土壤上进行 DRIS 营养诊断得出,在煤系砂页岩土壤上闽楠养分需求表现为 N>K>P,与之相似的有张龙等^[25]关于闽楠的营养诊断结果;但在板岩土壤上闽楠养分需求则表现为 P>K>N,差异产生的因素一方面不仅与母岩本身养分性质^[26]有关,同时不同的林地土壤前期属

性、养分管理方式等都会对土壤的养分供应产生影响;其中有研究指出^[27],长期进行种植的土壤若不及时进行施肥,土壤养分含量会明显下降,且如果土壤前期长时间栽植作物,也会导致基础肥力下降,若后期再栽植林木的施肥效果将不明显^[28-29],这也可能是本研究中,煤系砂页岩土壤全 N 以及碱解 N 含量虽高于板岩土壤,但闽楠在煤系砂页岩土壤上对 N 元素需求却大于板岩的原因之一。

据不同树种 DRIS 营养诊断相关研究结果发现^[30-31],樟树(*Cinnamomum camphora*)与杏(*Armeniaca vulgaris*)各自的低产组区的营养不平衡指数(NII)均大于高产组,说明相比于低产组,高产组营养元素更加平衡,这与本研究得出的结果一致;同时从 2 种不同岩性土壤上的闽楠各处理 NII 值得出,板岩和煤系砂页岩土壤上分别以 B9 和 M10 处理 NII 最大,说明该处理下 N、P、K 养分比例不平衡严重,需及时调整施肥配比;而 B10、M12 处理 NII 值最小,均趋于平衡状态,其施肥配比可在基于划分出的元素临界范围内继续用作闽楠在该种土壤环境上造林后养分管理的参考依据。DRIS 诊断结果与指数临界值法和养分范围法相结合的方法进行营养诊断,相比于单一方法进行营养诊断,能够有效提高诊断的精准度^[18-20]。本研究就 2 种岩性土壤上的各元素进行临界范围分级划分后对比发现 2 种岩性土壤上的闽楠 P、K 最适范围误差较小,诊断结果准确性较好,能为闽楠合理施肥提供理论依据;但 N

元素最大范围误差达到 12.52%，这可能是由于 DRIS 诊断法作为二元分析方法，考虑元素平衡状况更多，但当几种元素同时过剩或缺乏时，容易导致诊断误差^[32-33]。Ams Rocha^[34]也指出不同的营养诊断方法对于诊断桉树(*Eucalyptus*)的真实营养情况效果也有所不同，因此后期可开展多种营养诊断方法进行效应对比研究，使得苗木的营养诊断结果更加准确。

参考文献:

- [1] BEAUFILS E R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[J]. Soil Science Bulletin, 1973, 1: 32.
- [2] MOURAO FILHO F A A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops[J]. Scientia Agricola, 2004, 61(5).
- [3] SUMNER M E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1977, 8(3).
- [4] 梁瑞龙. “中华第一材”闽楠[J]. 广西林业, 2014(7): 28-29.
- [5] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书—稀有濒危植物[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 358-359.
- [6] 陈伟, 薛立. 人工林施肥研究进展综述[J]. 广东林业科技, 2004(1): 61-66.
- [7] 吴大荣, 朱政德. 福建省罗卜岩自然保护区闽楠种群结构和空间分布格局初步研究[J]. 林业科学, 2003(1): 23-30.
WU D R, ZHU Z D. Preliminary study on structure and spatial distribution pattern of *Phoebe bournei* in Luoboyan nature reserve in Fujian Province[J]. Forest Science, 2003(1): 23-30. (in Chinese)
- [8] 吴大荣. 福建罗卜岩闽楠林中优势树种生态位研究[J]. 生态学报, 2001(5): 851-855.
WU D R. A study on the niche of dominant species in *Phoebe bournei* forests in Luoboyan nature reserve of Fujian[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001(5): 851-855. (in Chinese)
- [9] 王东光, 尹光天, 邹文涛, 等. 不同基质和季节对闽楠嫩枝扦插生根的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1458-1462.
WANG D G, YING G T, ZHOU W T, et al. Effects of different substrates and seasons on shoot cutting propagation of *Phoebe bournei* [J]. Journal of Tropical Crops, 2013, 34(8): 1458-1462. (in Chinese)
- [10] 江香梅, 温强, 叶金山, 等. 闽楠天然种群遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 438-444.
JIANG X M, WEN Q, YE J S, et al. RAPD analysis on genetic diversity in eight natural populations of *Phoebe bournei* from Fujian and Jiangxi Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 438-444. (in Chinese)
- [11] 吴君, 吴冬, 楼雄珍. 不同基质配比及复合肥处理对 3 年生楠木容器苗生长的影响[J]. 西部林业科学, 2015, 44(1): 109-113, 120.
- [12] 王东光, 尹光天, 杨锦昌, 等. 磷肥对闽楠苗木生长及叶片氮磷钾浓度的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(3): 40-44.
WANG D G, YING G T, YANG J C, et al. Effects of phosphorus fertilization on growth and foliar nutrient (N, P, K) of *Phoebe bournei* seedlings[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2014, 38(3): 40-44. (in Chinese)
- [13] 王樱琳, 韦小丽, 段如雁, 等. 闽楠幼苗对大量元素缺乏的响应[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(2): 61-65.
WANG Y L, WEI X L, DUAN R Y, et al. Effect of nutritional deficiency on the growth of *Phoebe bournei* seedling[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(2): 61-65. (in Chinese)
- [14] 葛永金, 王军峰, 方伟, 等. 闽楠地理分布格局及其气候特征研究[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 749-753.
GE Y J, WANG J F, FANG W, et al. Distribution pattern of *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang and the characteristics of climate[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2012, 34(4): 749-753. (in Chinese)
- [15] 申建波, 毛达茹. 植物营养研究方法[M]. 3 版. 中国农业大学出版社, 2011: 256-272.
- [16] 欧建德. 福建闽楠人工幼林氮磷钾施肥效应与施肥模式[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(1): 92-97.
OU J D. N, P, K formulas for fertilization with young *Phoebe bournei* plantations in Fujian Province[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2015, 32(1): 92-97. (in Chinese)
- [17] 张颀. 土壤·水·植物理化分析教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [18] 张旭东, 董林水, 周金星, 等. 珍稀乡土树种福建柏苗期 DRIS 营养诊断[J]. 生态学报, 2005(5): 1165-1170.
ZHANG X D, DONG L S, ZHOU J X, et al. Nutrient diagnosis of *Fokienia hodginsii* seedlings using DRIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005(5): 1165-1170. (in Chinese)
- [19] 朱报著, 杨会肖, 潘文, 等. 不同施肥处理杜鹃红山茶 N、P、K 元素的 DRIS 营养诊断[J]. 亚热带植物科学, 2020, 49(1): 21-26.
ZHU B Z, YANG H X, PAN W, et al. The DRIS nutrient diagnosis analysis of N, P, K in *Camellia azalea* under different fertilization proportions [J]. Journal of Subtropical Botany, 2000, 49(1): 21-26. (in Chinese)
- [20] 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.
LIU K L, SUN X Y, WANG H Y, et al. Leaf nutrient diagnosis of triploid *Populus tomentosa* with DRIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2893-2898. (in Chinese)
- [21] 欧阳健辉, 吴道铭, 廖丹丹, 等. 广东地区果用银杏林的叶片营养诊断研究[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(3): 93-101.
OU YANG J H, WU D M, LIAO D D, et al. Foliar nutrient diagnosis for fruit forest of *Ginkgo biloba* in Guangdong[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(3): 93-101. (in Chinese)
- [22] 高伟, 傅雪罡, 宁博轩, 等. 江西油茶叶片早春萌芽前期 DRIS 营养诊断[J]. 经济林研究, 2017, 35(4): 192-196.
GAO W, FU X G, NING B X, et al. DRIS nutrient diagnosis of *Camellia oleifera* leaves at germination stage in Jiangxi[J]. Economic Forest Research, 2017, 35(4): 192-196. (in Chinese)
- [23] 符裕红. 不同岩性土体上土壤养分与广玉兰幼树生长关系的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [24] 王晓, 王樱琳, 韦小丽, 等. 不同指数施氮量对闽楠幼苗生长生

- 理及养分积累的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(3): 514-521.
- WANG X, WANG Y L, WEI X L, *et al.* Growth, physiology and nutrient accumulation of *Phoebe bournei* seedlings under different amount of exponential nitrogen fertilization [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2020, 37(3): 514-521. (in Chinese)
- [25] 张龙, 伍艳芳, 刘新亮, 等. 闽楠苗期适宜施肥量及 DRIS 营养诊断研究[J]. 土壤通报, 2019, 50(4): 926-931.
- ZHANG L, WU Y F, LIU X L, *et al.* Optimal fertilization amount and DRIS nutritional diagnosis at seedlings stage of *Phoebe bournei* [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(4): 926-931. (in Chinese)
- [26] 彭凌帅. 三种岩性土壤上棕榈施肥效应研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [27] 余常兵, 陈防, 万开元. 杨树人工林营养及施肥研究进展[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 67-71
- YU C B, CHEN F, WAN K Y. Advances in the study of fertilization on poplar plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(3): 67-71 (in Chinese)
- [28] JOSHIFL M, BARGALI K, BARGALI S S. Changes in physico-chemical properties and metabolic activity of soil in poplar plantations replacing natural broad-leaved forests in Kumaun Himalaya[J]. Journal of Arid Environments, 1997, 35(1): 161-169.
- [29] HOFMANN-SCHIELLE C, JUG A, MAKESCHIN F, *et al.* Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the federal republic of Germany. I. site-growth relationships[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 121: 41-55.
- [30] 张龙, 郑永杰, 伍艳芳, 等. 基于 DRIS 法的樟树人工林营养诊断[J]. 南方农业学报, 2018, 49(2): 313-319.
- ZHANG L, ZHENG Y J, WU Y F, *et al.* Nutrient diagnosis of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl plantation based on DRIS[J]. Journal of South China Agricultural Sciences, 2018, 49(2): 313-319. (in Chinese)
- [31] 刘雪凤, 李凯荣, 时亚坤, 等. 陕西富平杏叶片营养诊断研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 127-130, 169.
- LIU X F, LI K R, SHI Y K, *et al.* Foliar nutritional diagnosis of apricot tree (*Armeniaca vulgaris*) at Fuping in Shaanxi [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5): 127-130, 169. (in Chinese)
- [32] SUMNER M E. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes[J]. Agronomy Journal, 1979, 71(2): 343-348.
- [33] 叶功富, 高伟, 杜林梅, 等. 基于 DRIS 法的短枝木麻黄苗期综合营养诊断[J]. 植物科学学报, 2013, 31(2): 136-142.
- YE G F, GAO W, DU L M, *et al.* Nutrient diagnosis of *Casuarina equisetifolia* seedlings using DRIS [J]. Plant Science Journal, 2013, 31(2): 136-142. (in Chinese)
- [34] AMS ROCHA. Efficiency of the CL, DRIS and CND methods in assessing the nutritional status of *Eucalyptus* spp. rooted cuttings[J]. Forests, 2019, 10: 9.

(上接第 28 页)

- [14] 杨林, 马秀枝, 李长生, 等. 积雪时空变化规律及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 96-102.
- YANG L, MA X Z, LI C S, *et al.* Research progress in spatial-temporal variation of snow cover and the influencing factors[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(6): 96-102. (in Chinese)
- [15] 郝建盛, 张飞云, 黄法融, 等. 新疆伊犁地区季节冻土沿海拔的分布规律及其影响因素[J]. 冰川冻土, 2020, 42(4): 1179-1185.
- HAO J S, ZHANG F Y, HUANG F R, *et al.* Altitudinal distribution pattern of seasonally frozen ground and its influencing factors in the Ili basin, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(4): 1179-1185. (in Chinese)
- [16] DE P M, RAMOS M, MOLINA A, *et al.* Thaw depth spatial and temporal variability at the Limnopolar Lake CALM-S site, Byers Peninsula, Livingston Island, Antarctica[J]. Science of the Total Environment, 2018, 615: 814-27.
- [17] 刘侦海, 王绍强, 陈斌. 2000—2015 年中蒙俄经济走廊东段冻土时空变化及植被响应[J]. 地理学报, 2021, 76(5): 1231-1244.
- LIU Z H, WANG S Q, CHEN B. Spatial and temporal variations of frozen ground and its vegetation response in the eastern segment of China-Mongolia-Russia economic corridor from 2000 to 2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(5): 1231-1244. (in Chinese)