

马尾松人工幼林营养综合诊断*

覃祚玉¹ 曹继钊¹ 覃其云¹ 吕曼芳² 石媛媛¹ 唐健¹

(1. 广西林业科学研究院 / 国家林业局中南速生材繁育实验室 / 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西南宁 530002;
2. 广西维都林场, 广西来宾 546100)

摘要 采用 DRIS 诊断法对广西 6~8 a 生马尾松 *Pinus massoniana* 人工幼林高、低产组针叶进行营养诊断, 测定 10 种矿质营养元素 (N、P、K、Ca、Mg、Zn、Fe、Cu、Mn 和 B) 的含量, 探讨马尾松人工幼林养分需求规律, 制定马尾松人工幼林养分平衡诊断标准。结果表明: 广西马尾松人工幼林的需肥顺序为 $P > B > K > Zn > N > Mn > Mg > Fe > Ca > Cu$, 最缺乏的元素是 P, 其次是 B、K、N、Zn, 最不缺乏的是 Ca、Cu。针叶 N、P、K 元素浓度比值范围为 $N/P = 12.81 \pm 3.75$ 、 $N/K = 2.62 \pm 0.30$ 、 $P/K = 0.22 \pm 0.08$ 。马尾松人工幼林叶片养分适宜范围为: N 9.36~15.44、P 0.72~1.29、K 3.84~5.63、Ca 3.65~5.63、Mg 0.31~1.53 $g \cdot kg^{-1}$ 、Cu 2.14~3.01、Zn 20.66~66.42、Fe 30.26~203.19、Mn 330.02~561.38、B 1.13~15.71 $mg \cdot kg^{-1}$ 。根据该诊断标准可有效诊断马尾松针叶营养元素丰缺程度, 指导林农“对症下药”, 实现精准施肥。

关键词 马尾松; 人工幼林; 针叶营养; DRIS 诊断

中图分类号: S791.24 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 03-0050-06

Studies on Nutrient Synthetic Diagnosis for *Pinus massoniana* Young Plantation

QIN Zuoyu¹ CAO Jizhao¹ QIN Qiyun¹ LV Manfang²
SHI Yuanyuan¹ TANG Jian¹

(1. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry/ Research Institute Key Laboratory of Central South, Fast-growing Timber Cultivation of Forestry Ministry of China/Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning, Guangxi 530002, China; 2. Weidu Forest Farm of Guangxi, Laibin, Guangxi 546100, China)

Abstract The DRIS was used to diagnose the high and low yield types of 6~8 year old *Pinus massoniana* plantation in Guangxi. 10 kinds of mineral nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, B) were determined, the nutrient requirement characteristics of *P. massoniana* young plantation was studied, and the nutrient balance diagnostic standard was established. The results showed that the sequence of nutrition requirements in *P. massoniana* young plantation was $P > B > K > Zn > N > Mn > Mg > Fe > Ca > Cu$. The DRIS diagnostic results indicated that the most deficient leaves elements were phosphorus, followed by boron, potassium, nitrogen and zinc, and the most wealthy elements were Ca and Cu. The optimal N/P, N/K and P/K ratios were 12.81 ± 3.75 , 2.62 ± 0.30 , 0.22 ± 0.08 respectively. The suitable concentration ranges of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn and B were 9.36~15.44, 0.72~1.29, 3.84~5.63, 3.65~5.63,

* 基金项目: 广西创新驱动发展专项资金项目 (桂科 AA17204065); 广西科技基地和人才专项 (桂科 AD17129051); 广西优良用材林资源培育重点实验室自主课题 (15-A-02-04); 广西林业科技项目 (桂林科研 [2015]45 号)。

第一作者: 覃祚玉 (1986—), 女, 工程师, 主要从事植物营养诊断与土壤生态研究, E-mail: lxyqinzuoyu@163.com。

通信作者: 曹继钊 (1972—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事林木营养诊断与肥料研究, E-mail: jizhaocao@163.com。

0.31~1.53 g · kg⁻¹, 2.14~3.01, 20.66~66.42, 30.26~203.19, 330.02~561.38, 1.13~15.71 mg · kg⁻¹, and those diagnostic standard could judge the main mineral nutrient level status in leaves to guide farmers to “suit the remedy to the case”, and achieve scientific and accurate fertilization.

Key words *Pinus massoniana*; young plantation; leaf nutrient diagnosis; DRIS

马尾松 (*Pinus massoniana*) 是我国分布最广的针叶树种, 也是我国南方地区重要的用材、荒山造林和工业原料树种 (乡土树种)^[1-2], 其林分面积居全国乔木树种第 5 位, 蓄积量居第 7 位^[3], 但很多地区在其生产经营上盲目追求“速生丰产”, 未按林木的实际养分需求施肥, 不仅造成经济上损失, 也对森林生态环境造成了严重污染。只有从养分平衡的角度出发, 科学施肥, 才能获得最高生长量或产量^[4], 而以树体分析为基础的林木营养诊断 (DRIS) 技术已成为指导林木施肥的重要手段。因此, 运用 DRIS 诊断法综合分析马尾松的人工幼林的需肥规律, 对广西马尾松人工幼林施肥管理和可持续经营具有重要意义。目前, 植物营养诊断技术在农业上已经较为成熟。许多国家都已成功地应用该项技术来指导农作物生产^[5-6], 而在林木上的营养诊断技术应用比较晚, 主要研究也大多集中在经济效益显著的树种上, 例如南方的桉树^[7] 和北方的杨树^[8]。

20 世纪初, 南方地区在大面积营造马尾松人工林的同时, 开始摸索马尾松不同生长阶段的施肥研究, 目前国内对马尾松的施肥效应研究技术日趋成熟^[9-18], 提出了多种优化施肥方案, 为马尾松人工林施肥管理提供了技术指导。但通过营养诊断技术来判断马尾松营养盈亏, 指导马尾松按需施肥的文章鲜有报道。由于林木所处的生长期及生长区域不同, 各地施肥经验与习惯以及林木的养分需求也不尽相同, 不能完全照搬套用。在广西, 马尾松施肥比桉树、杉木的施肥技术更落后, 施肥经验较缺乏、盲目, 且不同施肥和不同生育期下的马尾松施肥效益不一, 无法在实际育林中得到广泛推广及应用。通过林木营养诊断来跟踪林木营养的盈亏, 已成为实现林木按需施肥, 可持续经营的关键技术。而目前有关马尾松营养诊断仅在苗期^[12] 和种子园^[13] 上进行, 对幼龄期的马尾松未开展相关研究。本文运用 DRIS 诊断法对广西 6~8 a 生马尾松人工幼林针叶的 10 种营养元素 (N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn 和

B) 进行诊断分析, 对马尾松人工幼林养分的丰缺状况作出诊断, 旨在使马尾松人工林能增产增效的同时, 实现人工林系统的可持续经营。

1 材料与方 法

1.1 样地选择及概况

根据当地林农经验, 采用样地配对法 (要求高、低产组相邻) 在广西桂东、桂西南、桂南马尾松主产区初选了 20 个调查点, 每个调查点内设高、低产组各 1 个。在初选的高、低产组分内设标准样地 (20 m × 20 m), 调查标准样地基本情况、经营措施及林木生长情况。采用每木检尺法测定各标准样地上树高 (H)、胸径 (D), 根据马尾松单株材积计算公式: $V = 0.7143 \times 10^{-4} \times D^{1.867008} \times H^{0.9014632}$ ^[19], 计算出样地内马尾松平均年单株材积为 $5.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / (\text{株} \cdot \text{a})$ 。将林木单株材积高于年均单株材积的林分划分为高产组, 低于年均单株材积 65% 的为低产组。最终从 20 个调查点内筛选出林龄相近、立地类型和经营措施基本一致的调查点共 6 个。分别为桂东产区 (111° 02' E~111° 16' E, 23° 21' N~23° 29' N) 的梧州市藤县车荣镇和梧州市长洲区、桂西南产区 (107° 06' E~108° 17' E, 21° 53' N~22° 43' N) 的国有派阳山林场和国有七坡林场、桂南产区 (108° 39' E~108° 56' E, 21° 59' N~22° 23' N) 的钦州市港南区 and 钦州市灵山县旧州镇。6 个调查点各设高产组、低产组各 1 组。所选择的高、低产组内的林木保留密度为 2 000 ~ 2 450 株 / hm², 林龄为 6~8 a 生。林分每年除草、修枝、施肥均为 1 次, 施肥量 0.5 kg / 株 / 年, 林地立地指数均为 16, 土壤母岩均为花岗岩, 黑土层厚度 15 cm 左右, 土层厚 85~120 cm, 砂壤土, 石砾含量 5% 左右, pH 值 4.0~5.0。

1.2 采样及指标测定

于 2016 年 11—12 月在高、低产组标准样地内每株选择树冠中部当年新生梢条长度 1/2 ~ 2/3、无病虫害、无机械损伤的健康针叶约 0.1 kg, 每

10株林木针叶混合为1个待测样品(约1.0 kg),每个标准样地共采集8个待测样品,合计96个样品,其中高产组、低产组各48个。采用常规方法^[20]测定针叶的N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn和B含量。

1.3 数据处理与分析

偏函数 $f(X/Y)$ 代表低产组叶片 X 、 Y 养分浓度比值偏离高产组 X 、 Y 养分浓度的程度,即偏函数 $f(X/Y)$ 表示 $(X/Y)_{低}$ 偏离 $(X/Y)_{高}$ 的程度。 $f(X/Y)$ 接近于0,表示该元素与其它元素值处于相对平衡状态,反之不平衡^[7-8,21]。当 $(X/Y)_{低} \geq (X/Y)_{高}$ 时,偏函数 $f(X/Y) = [(X/Y)_{低} / (X/Y)_{高} - 1] \times 1000 / C.V.$;当 $(X/Y)_{低} < (X/Y)_{高}$ 时,偏函数 $f(X/Y) = [1 - (X/Y)_{高} / (X/Y)_{低}] \times 1000 / C.V.$;其中, X 、 Y 代表所考察的10个营养元素中任意2个营养元素的浓度,C.V.为 $(X/Y)_{高}$ 的变异系数。

DRIS指数代表植物对某一营养元素的需求强度^[7-8,22],某一元素的DRIS指数用 X 指数代表。 X 指数计算公式为: $X = \sum_{i=1}^n f(X/Y) / n$,其中 n 为偏函数 $f(X/Y)$ 的个数。若考察元素为 X/Y 中的 X 时,偏函数 $f(X/Y)$ 取正值,若考察的元素为 X/Y 中的 Y 时,偏函数 $f(X/Y)$ 取负值。某一元素的DRIS指数为负指数时,表示树体需要这一元素,

负值的绝对值越大,表示需求强度越大;反之,则需求强度小或不需要,甚至是过量的。当指数为0或接近0时,表明该元素与其它元素处于相对平衡状态中^[21]。NII表示养分不平衡指数,为本文所有养分指数绝对值的代数和。NII值越大则表明树体营养元素间越不平衡。

本文将叶片养分分为过剩、偏高、平衡、偏低、缺乏5个等级。以高产组叶片各营养元素含量的均值作为平衡值,与标准差相结合,综合判断叶片养分分级标准。计算公式:过剩值=平衡值+8/3标准差;偏高值=平衡值+4/3标准差;偏低值=平衡值-4/3标准差;缺乏值=平衡值-8/3标准差。营养元素的适宜范围为偏低值至偏高值之间养分含量。

本文所有数据采用Excel 2007和SPSS 19.0进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 马尾松幼林针叶营养元素含量状况

由表1可知,马尾松幼林高产组与低产组的针叶各营养元素含量均存在差异。高产组针叶N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn和B元素平均含量分别为 12.40 ± 2.28 、 1.01 ± 0.22 、 4.74 ± 0.68 、 6.45 ± 2.17 、 0.92 ± 0.46 、 2.58 ± 0.88 、

表1 马尾松针叶营养元素含量

Tab.1 The concentration of nutrient elements in *Pinus massoniana* leaves

养分 Nutrient	高产组 High yield groups			低产组 Low yield groups			t 检验 T test
	平均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	平均值 Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	
N	12.40	2.28	18.37	11.18	2.08	18.65	2.46*
P	1.01	0.22	21.46	0.82	0.08	30.34	3.47**
K	4.74	0.67	14.17	4.36	2.24	51.29	2.24*
Ca	6.45	2.17	33.67	7.47	2.55	34.12	-1.99
Mg	0.92	0.46	49.58	0.83	0.57	68.42	1.01
Cu	2.58	0.33	12.77	3.12	0.63	20.07	-1.52
Zn	43.54	17.16	39.42	37.69	19.11	50.70	3.21**
Fe	116.83	64.78	55.45	100.86	48.33	57.92	1.33
Mn	445.70	86.76	19.47	425.94	115.09	27.02	1.23
B	8.42	5.47	64.96	9.35	11.97	128.06	-3.44**

注: *表示5%显著水平; **表示1%显著水平。

Note: * represented a significant level at the 5% level; ** represented a significant level at the 1% level.

43.54 ± 17.16、116.83 ± 64.78、445.70 ± 86.76、8.42 ± 5.47 mg · kg⁻¹，不同元素含量变异系数在 14.17%~64.96%。马尾松针叶的 N、P、K、Mg、Fe、Mn 和 Zn 元素平均含量表现为高产组 > 低产组，而 Ca、B 和 Cu 元素平均含量则表现为低产组 > 高产组，低产组各元素平均含量的变异系数均大于高产组，说明高产组各营养元素比较平衡。经 *t* 检验，高低产组间 N、P、K、Zn 和 B 含量差异达到显著或极显著水平，说明大量元素 N、P、K 及微量元素 Zn、B 对马尾松人工林产量影响较大。

2.2 马尾松针叶营养诊断参数选择

选择高产组与低产组各元素养分比值形式作为 DRIS 诊断参数，具体表现为 N/P、N/K、N/Ca、N/Mg、N/Cu、N/Zn、N/Fe、N/Mn、N/B、P/K、P/Ca、P/Mg、P/Cu、P/Zn、P/Fe、P/Mn、P/B、K/Ca、K/Mg、K/Cu、K/Zn、K/Fe、K/Mn、K/B、Ca/Mg、Ca/Cu、Ca/Zn、Ca/Fe、Ca/Mn、Ca/B、Mg/Cu、Mg/Zn、Mg/Fe、Mg/Mn、Mg/B、Cu/Zn、Cu/Fe、Cu/Mn、Cu/B、Zn/Fe、Zn/Mn、Zn/B、Fe/Mn、Fe/B、Mn/B 比值形式，共计 45 种。经计算统计，45 种表现形式中低产组的变异系数大于高产组的 28 个，占比 62.22%，说明高产组营养元素含量平衡度较低产组好。高产组 N/P 和 N/K 比值范围分别为 12.81 ± 3.75 和 2.62 ± 0.30。

2.3 马尾松针叶营养 DRIS 诊断

马尾松针叶养分比值偏函数 $f(X/Y)$ 计算结果见 2。表 2 数据显示：在 45 个偏函数 $f(X/Y)$

值中为正值的有 25 种，为负值的有 20 种，N、P、K 与微量元素 Cu 的比值参数均大于 11，这 3 种元素与 Cu 处于极不平衡状态，其中 P 与 Cu 偏离程度最大，达 33.18。而 K 与 Zn、Cu 与 Fe、P 与 K 以及 Ca 与 Zn、B 的比值参数均在 0~±0.6 之间，说明这几种元素相互之间处于相对平衡的状态。

根据 X 指数公式计算出马尾松幼林针叶 N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn、B 元素的 DRIS 诊断指数分别为 -1.063、-4.792、-3.525、4.183、0.982、8.923、-3.181、1.763、0.709、-3.998。马尾松人工幼林需肥顺序为：P > B > K > Zn > N > Mn > Mg > Fe > Ca > Cu，针叶 DRIS 诊断指数 P 元素负值最大，为 -4.792，表示该地区马尾松针叶 P 元素相对缺乏，是产量增长的主要限制因子。而 B、K、N、Zn 元素诊断指数均小于 0，说明马尾松幼林对这 5 元素需求强度比较大，因此在马尾松施肥管理中应注重对 N、P、K 肥的施用，同时要适当添加 B、Zn 等微量元素。而 Mn、Mg、Fe、Ca、Cu 元素 DRIS 诊断指数均为正值，说明马尾松幼林阶段对这些营养元素需求强度不大，甚至有可能过量。林农可结合当地土壤检测结果来判定施肥是否需添加该元素。根据不平衡指数 NII 公式计算出高产、低产组养分不平衡指数 NII 分别为 33.119、127.543，高产组养分平衡协调程度为低产组的 3.85 倍。

2.4 马尾松幼林针叶营养诊断临界标准的确定

经计算得出，马尾松针叶各营养元素的适宜范围分别为：N 9.36~15.44、P 0.72~1.29、K

表 2 马尾松针叶养分的单偏离程度函数 $f(X/Y)$ 统计

Tab. 2 Single degree of deviation function statistics for young *Pinus massoniana* leaves

$f(X/Y)$	比值 Specific value	$f(X/Y)$	比值 Specific value	$f(X/Y)$	比值 Specific value	$f(X/Y)$	比值 Specific value	$f(X/Y)$	比值 Specific value
$f(N/P)$	2.42	$f(P/K)$	0.35	$f(K/Mg)$	1.46	$f(Ca/Fe)$	-2.01	$f(Cu/Fe)$	0.38
$f(N/K)$	8.40	$f(P/Ca)$	-8.04	$f(K/Cu)$	-11.56	$f(Ca/Mn)$	4.33	$f(Cu/Mn)$	7.26
$f(N/Ca)$	-6.37	$f(P/Mg)$	1.23	$f(K/Zn)$	0.10	$f(Ca/B)$	-0.58	$f(Cu/B)$	3.92
$f(N/Mg)$	1.62	$f(P/Cu)$	-33.18	$f(K/Fe)$	-2.97	$f(Mg/Cu)$	-6.58	$f(Zn/Fe)$	-3.09
$f(N/Cu)$	-11.14	$f(P/Zn)$	2.21	$f(K/Mn)$	-3.33	$f(Mg/Zn)$	10.11	$f(Zn/Mn)$	-2.01
$f(N/Zn)$	2.85	$f(P/Fe)$	-2.65	$f(K/B)$	1.62	$f(Mg/Fe)$	1.56	$f(Zn/B)$	2.78
$f(N/Fe)$	-2.06	$f(P/Mn)$	-3.44	$f(Ca/Mg)$	2.06	$f(Mg/Mn)$	-1.21	$f(Fe/Mn)$	-1.08
$f(N/Mn)$	-2.16	$f(P/B)$	7.61	$f(Ca/Cu)$	10.11	$f(Mg/B)$	10.34	$f(Fe/B)$	4.33
$f(N/B)$	-2.07	$f(K/Ca)$	-4.77	$f(Ca/Zn)$	0.38	$f(Cu/Zn)$	7.47	$f(Mn/B)$	4.03

3.84~5.63、Ga 3.65~5.63、Mg 0.31~1.53 g·kg⁻¹、Cu 2.14~3.01、Zn 20.66~66.42、Fe 30.26~203.19、Mn 330.02~561.38、B 1.13~15.71 mg·kg⁻¹。

3 结论与讨论

3.1 广西马尾松幼林针叶各营养元素平均含量次序表现为 N (11.79 g·kg⁻¹) > Ca (6.96 g·kg⁻¹) > K (4.55 g·kg⁻¹) > P (0.915 g·kg⁻¹) > Mg (0.875 g·kg⁻¹) > Mn (435.82 mg·kg⁻¹) > Cu (2.85 mg·kg⁻¹)、Zn (40.615 mg·kg⁻¹) > Fe (108.845 mg·kg⁻¹) > B (8.885 mg·kg⁻¹)。赵登科^[23]对红锥 *Castanopsis hystrix* 人工幼林叶片营养特性研究结果为: N > K > P > Ca > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu, 朱林生等^[25]对广东省尾叶桉 *Eucalyptus urophylla*、窿缘桉 *E. exserta*、细叶桉 *E. tereticornis* 等9种桉树幼林研究表明, 9种桉树叶片各元素含量排序均为 N > K > P, 这表明这些林木在幼龄生长阶段, N素始终处于重要位置。本文马尾松叶片中 N/P 值为 12.81 ± 3.75、N/K 值为 2.62 ± 0.30, 与陈剑锋等^[24]研究结果 (N/P 值 12.8、N/K 值 2.4) 基本一致。但随林龄增加, 马尾松叶片养分分配情况是否还与其研究结果一致, 例如 N 素含量是否始终占整个生育期的主导地位, N:P 值是否呈逐步上升趋势, N:K 值是否呈先下降后上升再下降趋势, 这些问题均有待进一步研究证实。

3.2 本研究结果表明, 马尾松高产组针叶的各营养元素含量较低产组平衡, 这一结果与唐健等^[21]对油茶成林的诊断结果一致, 这进一步说明, 植物的养分协调有益于促进植物的健康生长。本研究中, 针叶中 N、P、K、Mg、Fe、Mn 和 Zn 元素平均含量表现为高产组 > 低产组, 而 Ca、B 和 Cu 元素的平均含量则为低产组 > 高产组, 其中高、低产组间的 N、P、K、Zn、B 含量达到显著或极显著差异。

3.3 本研究采用 DRIS 法诊断广西马尾松幼林的需肥顺序为 P > B > K > Zn > N > Mn > Mg > Fe > Ca > Cu, 与李萃昇^[12]对江西赣州地区苗圃的马尾松苗木诊断结果 (需肥次序为 K>P>N>Mg>Ca)、朱亚艳等^[13]对贵州都匀 1.5 代无性系种子园 20 年生马尾松的营养诊断结果 (需肥顺序为 Cu > P > Zn > Mg > Ca > N > K > Fe) 不尽相同, 表现出马尾松在不同生育阶段、

不同生境下需肥不一的变化规律, 但不管马尾松处于哪个生育期, 总体上对磷肥的反应均较灵敏。卢立华等^[14]、谌红辉等^[18]对马尾松幼林开展的肥效试验结果表明: 施用复混肥效果比单一肥种好, 施 N、K 肥对促进马尾松幼林生长无显著影响, 而施 P 肥则能全方面促进生长。这一结果进一步验证 P 元素是马尾松产量的限制性营养物。而广西地区磷元素较为缺乏, 如何在马尾松幼龄阶段科学地增施磷肥和提高磷肥的利用率, 对马尾松的高效栽培将起决定性作用。

3.4 本研究采用 DRIS 诊断法诊断马尾松幼林的养分供需次序, 诊断出 P 元素是马尾松幼龄阶段最关键的营养元素。因此在马尾松幼林施肥管理中, 特别要注重 P 肥施用, 同时也要注意拮抗、协同作用元素的添加及添加比例。本研究仅开展了对针叶的营养诊断, 但要提高林地的质量, 除了要掌握马尾松的需肥次序外, 还得根据土壤条件科学制定配方肥料。一般认为在缺 P 土壤 (全 P 0.1% 以下, 有效 P 5 mg·kg⁻¹ 以下), 有机质含量低的酸性土壤中, 施用 P 肥效果显著, 而且 P 肥宜早施, 可做基肥种肥, 与有机质混合施用。因此, DRIS 诊断除了要与植物的生物学特性和施肥经验相结合外还要与土壤诊断相结合, 才能科学制定适合当地的施肥配方, 科学指导不同区域马尾松人工林的施肥管理。

参考文献

- [1] 曾熾冰, 周运超, 汪建文. 马尾松人工林生态系统碳库的研究进展[J]. 贵州科学, 2018, 36(5): 74-82.
- [2] 张林林, 刘效东, 苏艳, 等. 马尾松人工林生物量与生产力研究进展[J]. 生态科学, 2018, 37(3): 213-221.
- [3] 杨章旗, 冯源恒, 谭健晖, 等. 广西马尾松高世代育种策略研究[J]. 广西林业科学, 2018, 47(3): 251-256.
- [4] 任丽娜, 高广磊, 王海燕, 等. 我国林木营养诊断及人工施肥研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2011(4): 43-47.
- [5] SHARAMA J, SHIKHAMANY S D, SINGH R K, et al. Diagnosis of nutrient imbalance in thompson seedless grape grafted on dog ridge rootstock by dris[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2005, 36(20): 2823-2838.
- [6] RAJ G B, RAO A P. Identification of yield-limiting nutrients in mango through dris indices[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2006, 37(12): 1761-1774.

- [7] 冯茂松, 张健. 巨桉叶片营养DRIS诊断研究[J]. 四川农业大学学报, 2003, 21(4): 303-307.
- [8] 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.
- [9] 周玮, 周运超. 马尾松幼苗生理特性对施肥的响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(4): 10-15.
- [10] 湛红辉, 丁贵杰, 温恒辉, 等. 马尾松近熟林施肥技术研究[J]. 林业资源管理, 2012(2): 106-110.
- [11] 赵敏冲, 赵华, 刘建忠, 等. 磷肥对马尾松低产林幼林生长的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(4): 5-8.
- [12] 李萃昇. 马尾松苗营养诊断的研究[J]. 江西林业科技, 1986, 12(3): 9-15.
- [13] 朱亚艳, 秦雪, 赵杨, 等. 贵州都匀马尾松种子园针叶DRIS营养诊断分析[J]. 西部林业科学, 2013, 42(6): 62-68.
- [14] 卢立华, 蔡道雄, 何日明. 马尾松幼林施肥效应综合分析[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 99-105.
- [15] 黄承标, 黄新荣, 覃其云, 等. 施肥对马尾松人工幼林生长的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(6): 78-80.
- [16] 黄其城. 不同林龄马尾松施肥后3年生长量对比分析[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(12): 123-125.
- [17] 陈振生. 两种叶面肥对马尾松苗期生长的影响研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(4): 57-59.
- [18] 湛红辉. 广西马尾松人工林定向培育关键技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
- [19] 广西林业勘测设计院, 广西林学院. 森林调查手册[R]. 南宁: 广西林业勘测设计院, 1986.
- [20] 国家林业局. LY/T 1269~1273-1999 森林土壤分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [21] 唐健, 覃祚玉, 邓小军, 等. 广西孟江油茶叶片营养DRIS诊断[J]. 福建林业科技, 2015, 42(1): 11-15.
- [22] 马海洋, 同延安, 路永莉, 等. 诊断施肥综合法(DRIS)在渭北旱塬红富士苹果营养诊断中的应用[J]. 旱地区农业研究, 2013, 31(2): 84-88.
- [23] 赵登科. 红锥人工幼林营养特性研究[J]. 林业调查规划, 2011, 36(1): 35-38.
- [24] 朱林生, 何沙娥, 刘学锋, 等. 9种桉树幼林营养元素累积特性研究[J]. 桉树科技, 2018, 35(1): 1-8.
- [25] 陈剑锋, 侯恩庆, 张玲玲, 等. 福建省马尾松和杉木针叶中7种营养元素含量特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(6): 595-602.