

不同方法在巨桉人工林养分诊断中的应用

冯茂松,张 健,杨万勤,钟 宇

(四川农业大学 林学院园艺学院,四川 雅安 625014)

【摘 要】 【目的】对比分析了 3 种养分诊断方法对四川巨桉人工林叶片养分的诊断结果,为林木养分诊断筛选诊断方法和提供诊断标准。【方法】在四川巨桉人工林分布区设立 60 个标准地,分别采用临界值法(CVA)、DRIS 法和相对生长速率法(RGR),对巨桉人工林叶片养分进行诊断。【结果】采用临界值法(CVA)进行诊断,K、Ca、S、Cu、Zn、Fe、Mn 等养分元素诊断结果无效,P 诊断结果易出现负值,N、B 诊断结果受采用的生长量指标影响较大,仅 Mg 诊断结果较为稳定;DRIS 法对 Zn、Fe、Mn 3 种养分元素的诊断明显属于误诊,其他养分元素诊断结果相对较为可靠;相对生长速率法(RGR)对 11 种养分元素均可得出有效的诊断结果,具有较高的参考价值,并据此制定了四川省巨桉人工林叶片养分诊断标准。【结论】临界值法受年龄、降雨、温湿度、养分交互效应影响,诊断结果有效性较低;DRIS 法选取样本数量较大,对高水平 and 低水平养分平衡关系无法进行有效诊断;相对生长速率法需要样本数量较少,充分考虑林分生长潜力,诊断结果更符合实际。

【关键词】 巨桉人工林;养分诊断;临界值法;DRIS 法;相对生长速率法

【中图分类号】 S714.8

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)02-0081-07

Applications of different nutrient diagnosis methods in *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan

FENG Mao-song, ZHANG Jian, YANG Wan-qin, ZHONG Yu

(Forestry and Horticulture College, Sichuan Agriculture University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: 【Objective】 The study was conducted to contrast three nutrient diagnosis methods and to give appropriate nutrient diagnosis method and standard for *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan. 【Method】 Sixty standard sites were set up to diagnose foliar nutrient status by critical value approach (CVA), diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) and relative growth rate (RGR). 【Result】 There were no effects on K, Ca, S, Cu, Zn, Fe and Mn, no significance in biology to P, great influence on the growth of N and B, and creditable result to Mg in diagnosis results by critical value approach. Except that there was error diagnosis in Zn, Fe and Mn, other diagnosis results by DRIS accorded with practice. Diagnosis results by relative growth rate provided high reference value to nutrient management, hereby established foliar nutrient diagnosis standard for *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan. 【Conclusion】 According to this research, results diagnosed by critical value was low in validity due to influence of forest age, rainfall, temperature, humidity and alternation among nutrients. DRIS sampling in large number can't distinguish nutrient balances of high or low level, while relative growth rate requires less samples and takes into account of growth potential, so the diagnosis result is more practical, and diagnosis result accords with practice.

Key words: *Eucalyptus grandis* forest; nutrient diagnosis; critical value approach; DRIS; relative

* [收稿日期] 2008-04-08

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC01A11);国家科技支撑项目(2008BAD2B01)

[作者简介] 冯茂松(1974—),男,四川平昌人,讲师,博士,主要从事森林培育和森林生态研究。

[通信作者] 张 健(1957—),男,重庆江津人,教授,博士生导师,主要从事森林培育和森林生态研究。

growth rate

养分诊断在农作物生产中应用普遍,且取得了较为显著的增产效果,而在森林培育中,主要的养分诊断方法包括土壤诊断法、叶分析法和田间实验法等,由于土壤诊断法、田间实验法固有的缺陷,其在林业生产中应用相对较少,叶分析法则得到了广泛应用,其中临界值法、DRIS 法应用最为广泛,但这些诊断方法得出的诊断结果往往存在较大差异^[1-3]。

巨桉(*Eucalyptus grandis*)为桃金娘科(Myrtaceae)、桉属(*Eucalyptus*)、双蒴盖亚属(*Subgenus symphy myrtus*)、横脉组(*Transversara*)、柳桉系(*Saligance*)的优良速生用材树种,原产于澳大利亚,1986 年四川省将巨桉引入洪雅林场并确定为四川省主栽桉树之一,1998 年开始在四川大面积栽植,目前已达到 10 万 hm^2 的规模。由于立地条件的差异,四川巨桉人工林生长量在各地表现不一,而目前所采取的养分管理措施较为单一,不仅造成肥料等资源的浪费,而且容易引起养分流失,造成环境污染^[4-6]。因此,本研究采用不同诊断方法对四川巨桉人工林养分状况进行诊断,以比较不同诊断方法的利弊,得到最优化的养分管理措施,以期为促进巨桉人工林养分管理和可持续经营提供参考。

1 研究区概况与试验方法

1.1 研究区概况

试验以四川巨桉人工林主要分布地区为研究区,该区位于四川盆地南部、西南部地带,包括泸州、宜宾、乐山、眉山、洪雅、蒲江、彭山、新津一线,介于东经 $103.28^\circ \sim 105.25^\circ$,北纬 $28.16^\circ \sim 30.39^\circ$,海拔 345~646 m。近 5 年年均降雨量 934.6~1 493.8 mm,年均温度 $16.8 \sim 18.1^\circ\text{C}$,绝对最低温度 $-6 \sim -3.3^\circ\text{C}$,绝对最高温度 $36.8 \sim 40.3^\circ\text{C}$,属中亚热带湿润性气候,土壤类型以黄壤、紫色土为主,地带性植被类型为亚热带常绿阔叶林。

1.2 野外调查方法及样品采集

按照典型布样,区别不同林分年龄(1~7 年)、立地条件(好、中、差)、林分生长状况(好、中、差)共设立 60 块 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的标准地,调查各标准地立地等级、林木生长量,沿对角线挖取土壤剖面,采集根系分布层土壤样品用于养分分析,同时选取 10~15 株生长正常、无明显缺素症状(典型缺素标准地例外)的平均木作为采样木,收集生长完全、无缺陷的 1 年生新叶用于百叶干质量和叶片养分分析。

在巨桉生长期,林地土壤养分总量和活性、林木组织养分浓度和含量将随时间发生变化,不同的养分元素变化规律不尽相同,为消除取样时间带来的误差,便于比较不同立地林木营养状况,确定调查采样时间为 2004-12~2005-01,即巨桉生长休眠期。此时期土壤养分变化较小,树液流动基本停止,树木组织之间养分循环较弱,其养分浓度和含量处于相对稳定状态。

1.3 相关指标的测定与计算方法

土壤养分分析参照 GB 7848—87、GB 7849—87、GB 7852—87、GB 7853—87、GB 7854—87、GB 7856—87、GB 7857—87、GB 7859—7、GB 7865—87、GB 7879—87、GB 7880—87、GB 7881—87 和 GB 7882—87 等国家标准进行,叶片养分分析参照 GB 7886—87、GB 7887—87 和 GB 7890—87 等国家标准进行,K、Ca、Mg、Zn、Fe、Cu、Mn 等元素均采用原子吸收分光光度法(TAS-986 型,产地北京)进行测定。蓄积、立地等级采用黄从德等^[7-9]编制的四川巨桉人工林二元材积表(公式 $V=0.000\ 078\ 373\ 8 \times D^{1.711\ 827\ 51} \times H^{0.997\ 981}$)和四川巨桉人工林地位指数表、立地等级表进行计算。

2 结果与分析

2.1 临界值法对四川巨桉人工林的养分诊断结果

临界值法(Critical value approach,CVA)依据植物体内养分元素浓度与植物生长量之间的相关性评价该养分的供应状况^[10]。分别以植物叶片养分浓度及其含量(=百叶干质量 $\times$ 浓度)为自变量,林分平均胸径、林分平均高、林分优势高、单株材积、林分蓄积为因变量,建立一元二次方程($y=a+bx+cx^2$),根据有效方程($b>0$ 且拟合方程达到显著水平)计算与最高理论产量相对应的最适浓度,以及与 90%最高产量相对应的临界浓度,低于临界值为缺素,略高于临界值为偏低,在最适值范围内为足够。表 1 结果表明:(1)诊断中由于有多个养分元素的叶片浓度与林分生长量指标(林分蓄积、林分优势高、林分平均高、林分平均胸径、单株材积)关系不显著,因此无法进行最适值和临界值的诊断,如 K、S、Fe、Mn 等。(2)与林分生长量指标相关关系显著的各元素中,由于建立的一元二次方程无效也无法进行诊断,如 Cu、Zn 等。(3)尽管有些与林分生长量指标间建立的一元二次方程相关关系达到显著, $b>0$,

但叶片养分浓度下限诊断结果为负值,并不具有生物学意义,如 Ca。(4)N、P、Mg、B 四大元素与部分林分生长量指标得到的临界浓度结果具有参考价值。综合分析认为,N 的最适值为 19.84~19.87 g/kg,上、下限分别为 27.03~27.29 g/kg 和 12.45~12.64 g/kg;P 的最适值为 0.70~0.87 g/kg,上、下限分别为 1.26~1.55 g/kg 和 0.14~

0.19 g/kg;Mg 的最适值为 17.21~17.30 g/kg,上、下限分别为 21.20~22.01 g/kg 和 12.41~13.40 g/kg;B 的最适值为 42.07~42.35 mg/kg,上、下限分别为 50.66~51.24 mg/kg 和 33.37~33.60 mg/kg。(5)N、K、Fe、Mn、B 等元素得出的临界浓度部分可达到 75%以上的可信度,仍然具有一定的参考意义。

表 1 四川巨桉人工林叶片养分临界值法诊断结果

Table 1 Foliar nutrient diagnosis of *E. grandis* plantation in Sichuan by critical value approach

指标 Index	项目 Item	叶片养分浓度/(g·kg ⁻¹) Foliar nutrient concentration					百叶养分含量/g Nutrient content of hundred leaves				
		N	P	Ca	Mg	B	N	P	Ca	Mg	B
林分蓄积 Cumulation	检验 Test	—	0.273 *	0.411 * *	0.331 * *	—	—	0.273 *	0.411 * *	0.331 * *	—
	上限 Upper limit	—	1.26	4.39	19.01	—	—	84	227	1 319	—
	最适 Optimum value	—	0.70	0.74	14.84	—	—	46.52	42.33	1 029	—
	下限 Lower limit	—	0.14	-2.25	10.68	—	—	9.41	-142	738	—
林分优势高 Preponderant high	检验 Test	0.275 *	0.274 *	0.402 * *	0.330 *	0.292 *	0.275 *	0.274 *	0.402 * *	0.330 *	0.294 *
	上限 Upper limit	27.29	1.59	5.74	21.75	0.050 8	1 776	101	361	1 173	3.37
	最适 Optimum value	19.87	0.95	2.64	17.28	0.042 1	1 292	59.19	164	943	2.79
	下限 Lower limit	12.45	0.3	-0.45	12.81	0.033 4	808	17.77	-34	712	2.22
林分平均高 Average high	检验 Test	0.274 *	0.257 *	0.412 * *	0.329 *	0.287 *	0.274 *	0.257 *	0.412 * *	0.329 *	0.288 *
	上限 Upper limit	27.03	1.55	5.38	21.61	0.050 7	1 785	110	352	2 009	3.36
	最适 Optimum value	19.84	0.87	2.23	17.26	0.042 2	1 310	63	145	1 580	2.80
	下限 Lower limit	12.64	0.19	-0.92	12.90	0.033 6	835	15.33	-62	1 151	2.23
林分平均胸径 Average diameter	检验 Test	0.281 *	0.268 *	0.356 * *	0.283 *	0.277 *	0.281 *	0.268 *	0.356 * *	0.283 *	0.278 *
	上限 Upper limit	26.02	1.50	5.71	22.01	0.051 2	1 769	97	391	1 399	3.39
	最适 Optimum value	18.73	0.75	2.30	17.21	0.042 4	1 275	48.13	160	1 095	2.81
	下限 Lower limit	11.44	0	-1.10	12.41	0.033 5	781	-0.85	-71	791	2.22
单株材积 Single timber volume	检验 Test	—	0.298 *	0.383 * *	0.300 *	0.215	—	0.298 *	0.385 * *	0.300 *	—
	上限 Upper limit	—	1.16	2.70	21.20	0.066 8	—	77	172	1 889	—
	最适 Optimum value	—	0.61	-0.81	17.30	0.055 0	—	40	-50	1 500	—
	下限 Lower limit	—	0.07	-4.32	13.40	0.043 2	—	3.28	-272	1 111	—

注: * *.*r*_{0.01}(58)=0.330, *.*r*_{0.05}(58)=0.254。“—”代表无法建立有效方程。
Note: * *.*r*_{0.01}(58)=0.330, *.*r*_{0.05}(58)=0.254. The symbol of “—”denote that no virtual eguation has been set up.

由于稀释效应、奢侈吸收等效应的存在,植物生长量增加不大,但叶片中养分元素浓度上升可能较快,因此仅采用植物叶片养分浓度作为诊断指标,具有一定的局限性,可考虑采用叶片养分含量进行诊断,以修正稀释效应及奢侈吸收带来的影响。修正结果(表 1)与叶片养分浓度诊断结果类似,表明在本次测定范围内,养分稀释效应和奢侈吸收并不明显,因而在本次诊断中仅考虑缺素或潜在缺素状态。

2.2 DRIS 法对四川巨桉人工林的养分诊断结果

诊断施肥综合法(Diagnosis and recommendation integrated system, DRIS)认为,植物营养往往是多个养分元素共同作用的结果,养分之间必须是平衡的^[11]。一种元素与其他元素的比值存在一最适值,实测比值距离最适值越近,说明养分越接近平衡,因此可以采用林分高产组各养分元素比值作为理论上的最适值,以此为标准进行诊断。

2.2.1 立地质量评价 根据黄从德等^[7-9]编制的四川巨桉短周期工业原料人工林地位指数表和地位级表划分立地等级,进而划分产量组(表 2),好立地代表高产组,中等立地代表中产组,差立地代表低产组。由表 2 可以看出,3 个立地等级的林分蓄积以及各年累积蓄积差异显著,高产组蓄积可达到中产组的 1.2~1.8 倍,达到低产组的 2.7~5.0 倍。

2.2.2 统计检验及指标筛选 分别计算高产组和低产组各标准地叶片养分浓度及其比值的平均值、标准差、变异系数和方差,并计算高产组与低产组的方差之比(值大者为分子),进行 *F* 值检验(表 3),在 *F* 值检验达到显著水平的各个养分浓度或比值中,选择方差比较大的指标(如 P/K 方差比为 3.237, K/P 方差比为 1.344,则选择 P/K 作为诊断指标)作为诊断指标,共筛选出 N、P、Fe、B 等 4 个叶片养分浓度指标和 N/Zn、P/N、P/K、P/Ca、P/Zn、P/B、K/N、K/Zn、

表 2 巨桉人工林林分的产量分组

组别 Group	标准地 Standard site	平均蓄积/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) Average cumulation	不同年龄林分平均蓄积/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) Average cumulation in different age					
			1 a	2 a	3 a	4 a	5 a	6 a
高产 High yield	3~4, 7~10, 18~20, 22, 24, 26~28, 33, 35	103.2	10.2	34.5	73.5	125.0	178.6	221.2
中产 Middle yield	1~2, 5~6, 11~17, 29, 32, 34, 40~41, 43~44, 47~52, 54, 57, 60	65.0	7.2	27.5	58.5	85.4	102.1	163.1
低产 Low yield	21, 23, 25, 30~31, 36~39, 42, 45~46, 53, 55~56, 58~59	19.9	3.0	9.8	21.1	33.8	44.7	81.9

养分元素		分母 Denominator										
Nutrient		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
单因素 Single factor		3.620 **	5.116 **	1.297	1.279	1.022	1.486	1.349	1.379	54.49 **	1.616	2.968 *
	N		1.984	1.755	5.937 **	2.955*	1.626	1.869	2.637*	2.435*	2.378	2.873 *
	P	5.877 **		3.237 *	6.156 **	4.733 **	1.356	2.769*	3.642 **	3.253*	2.188	4.990 **
	K	2.422 *	1.344		0.950	2.273	1.850	1.782	2.553*	1.104	1.441	2.953*
	Ca	7.320 **	5.699 **	2.099		1.143	1.267	1.183	3.414 *	1.323	2.778 *	5.725 **
	Mg	8.662 **	11.913 **	3.225 *	1.772		1.491	1.326	1.698	1.165	1.627	3.693 **
	S	2.620 *	1.269	2.239	1.208	2.874 *		2.159	2.538*	1.633	1.124	1.090
分子 Numerator	Cu	9.571 **	8.131 **	18.079 **	1.358	3.974 **	1.035		2.893*	1.307	1.948	4.072 **
	Zn	1.732	1.470	1.487	2.177	2.725*	1.543	2.362*		1.228	1.310	1.089
	Fe	112.3 **	102.7 **	453.4 **	29.8 *	49.9 **	114.1 **	11.9 **	28.9 **		1.801	36.7 **
	Mn	1.694	2.967*	3.829 **	1.523	1.458	1.256	1.443	1.036	2.002		1.280
	B	5.067 **	3.872 **	6.169 **	3.945 **	2.180	1.567	1.398	1.159	1.356	1.102	

2.2.3 诊断标准 以上述指标高产组平均值作为参比值(最适值),偏离 4/3 标准差以内为适宜范围,偏离 4/3~8/3 标准差以上为潜在缺乏(偏低)或潜在过量(奢侈吸收),偏离 8/3 标准差以上为严重缺乏或过量毒害(表 4 和表 5)。

养分元素 Nutrient		分母 Denominator										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
单因素 Single factor		16.89	1.16	11.37	5.66	18.58	2.08	9.3	49.32	290.68	660.32	44.1
	N		15.22	1.56	3.2	0.93	8.57	1.92	0.43	0.08	0.11	0.39
	P	0.07		0.11	0.22	0.06	0.59	0.13	0.03	0.01	0.01	0.03
	K	0.73	10.36		2.18	0.64	5.75	1.31	0.29	0.05	0.07	0.26
	Ca	0.35	5.12	0.53		0.31	2.9	0.65	0.14	0.03	0.04	0.13
分子 Numerator	Mg	1.15	16.55	1.68	3.46		9.54	2.13	0.48	0.09	0.12	0.42
	S	0.13	1.97	0.19	0.4	0.12		0.24	0.05	0.01	0.01	0.05
	Cu	0.57	8.32	0.83	1.74	0.51	4.68		0.25	0.04	0.06	0.21
	Zn	3.27	49.65	4.75	9.38	2.91	23.83	6.36		0.21	0.23	1.11
	Fe	18.55	297.26	26.59	56.42	17.96	135.82	33.23	6.57		1.27	6.68
	Mn	47.89	677.21	56.71	135.67	43.03	312.05	83.61	13.52	2.32		15.46
	B	2.8	40.7	4.04	8.24	2.46	22.24	5.18	1.06	0.2	0.27	

表 5 采用 DRIS 法诊断得出的巨桉人工林林分叶片养分浓度范围等级

Table 5 Foliar nutrient concentration scope diagnosed by DRIS in *Eucalyptus grandis* plantation

诊断等级 Diagnosis scope	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
过剩 Excess↑	28.64	1.88	17.52	10.45	29.23	3.44	16.63	116.71	810.44	2 605.13	60.53
偏高 Deflective high↗	22.76	1.52	14.45	8.05	23.90	2.76	12.97	83.02	550.56	1 632.72	52.32
平衡 Balance→	16.89	1.16	11.37	5.66	18.58	2.08	9.30	49.32	290.68	660.32	44.10
偏低 Deflective low↘	11.02	0.79	8.29	3.26	13.25	1.40	5.63	15.62	30.81	—312.09	35.89
缺乏 Deficiency↓	5.15	0.43	5.22	0.87	7.93	0.72	1.97	—18.08	—229.07	—1 284.5	27.67

注:N、P、K、Ca、Mg、S 单位为 g/kg,其余元素单位为 mg/kg。
Note:Concentration unit of N, P, K, Ca, Mg and S is g/kg, other is mg/kg.

由表 5 可知,Zn、Fe、Mn 3 种元素的部分临界值为负值,不能得出正确的结果,估计与该元素叶片养分浓度变异系数较大有关(高产组分别为 51.25%,67.05%和 110.45%,低产组分别为 44.26%,251.97%和 140.95%,而其他元素变异系数高产组在 13.97%~31.74%,平均为 23.89%,低产组在 18.34%~61.58%,平均为 32.45%,均低于 Zn、Fe、Mn 3 种元素的变异系数),除此以外,其他养分元素均可得到正确的诊断标准。应用表 5 诊断标准可大致了解各标准地的养分需求顺序及养分状况,即 N、K、Zn、Fe、B 相对缺乏,其他养分相对充足。

2.3 相对生长速率法对四川巨桉人工林的养分诊断结果

相对生长速率法(Relative growth rate,RGR)是将现实林分蓄积(或其他生长量指标)与理想状态

进行比较,从而得出相对生长速率。由于现实林分可看作理想状态下受到某种或某些因素限制(缺乏或过量限制)所致,因此相对生长速率反映了限制因素的综合限制作用大小。

在其他养分均处于理想状态时,某种养分与产量成抛物线关系,而要获得 90%理论最高产量,养分的上、下限范围内满足二次曲线关系,因此可建立相对生长速率与单一养分的一元二次方程,从而计算其最适养分浓度,求得 90%最高产量的临界范围。

将黄从德^[12]2004 年建立的四川巨桉人工林蓄积与年龄关系预测模型作为林分一般生长规律模型,可得出在好、中、差 3 种立地条件下的平均生长速率,结合现实林分蓄积可得出林分的相对生长速率,结果见表 6。

表 6 四川巨桉人工林林分蓄积的相对生长速率

Table 6 Relative growth rate(RGR)of *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan

标准地 Standard site	相对生长速率 RGR	标准地 Standard site	相对生长速率 RGR	标准地 Standard site	相对生长速率 RGR	标准地 Standard site	相对生长速率 RGR
1	0.852 6	16	0.784 0	31	0.560 1	46	0.420 2
2	0.825 1	17	0.842 8	32	0.710 0	47	0.418 2
3	0.871 5	18	0.701 5	33	1.126 9	48	0.717 8
4	0.810 3	19	0.771 6	34	0.405 1	49	0.785 7
5	0.644 0	20	0.369 8	35	0.944 3	50	0.569 3
6	0.701 9	21	0.437 1	36	0.400 1	51	0.422 8
7	0.462 6	22	0.817 7	37	0.136 7	52	0.485 4
8	1.213 7	23	0.320 7	38	0.248 7	53	0.230 9
9	0.613 8	24	0.960 3	39	0.322 8	54	0.542 6
10	0.852 9	25	0.487 3	40	0.591 1	55	0.443 1
11	0.620 3	26	1.154 0	41	0.577 9	56	0.461 8
12	0.872 8	27	0.888 2	42	0.455 9	57	0.547 9
13	0.531 0	28	1.087 4	43	0.697 1	58	0.397 8
14	0.946 4	29	0.686 6	44	0.861 2	59	0.125 1
15	0.700 9	30	0.518 7	45	0.296 2	60	0.629 8

分别以土壤养分全量、有效量和叶片养分浓度与相对生长速率进行模拟(表 7),计算最适养分浓

度(X_0)和 90%最高产量对应养分浓度的上、下临界值(X_{Up} 、 X_{Down}),诊断中如测得相应养分浓度介于 $X_{Down} \sim X_{Up}$,表示养分处于适宜状态,高于 X_{Up} 表示过量,低于 X_{Down} 表示亏缺。

表 7 相对生长速率法对四川巨桉人工林养分的诊断结果

Table 7 Nutrient diagnosis result by relative growth rate *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan

养分元素 Nutrient	模型 Model	r	X_{Down}	X_0	X_{Up}
土壤养分全量 Totel soil nutrient	N $Y=-0.301\ 4X^2+0.949\ 3X$	0.913 2	1.08	1.57	2.07
	P $Y=-2.100\ 0X^2+2.535\ 3X$	0.930 5	0.41	0.60	0.79
	K $Y=-0.001\ 779X^2+0.069\ 68X$	0.935 0	13.39	19.59	25.78
	Ca $Y=-0.006\ 572X^2+0.151\ 9X$	0.733 1	7.90	11.55	15.21
	Mg $Y=-0.000\ 313\ 1X^2+0.032\ 22X$	0.845 7	35.18	51.44	67.71
	Zn $Y=-0.362\ 3X^2+0.993\ 6X$	0.924 1	0.94	1.37	1.80
	Fe $Y=-0.000\ 420\ 2X^2+0.034\ 98X$	0.903 8	28.46	41.62	54.78
	Mn $Y=-2.422\ 4X^2+2.573\ 3X$	0.931 0	0.36	0.53	0.70
	C $Y=-0.002\ 663X^2+0.089\ 12X$	0.918 9	11.44	16.73	22.02
土壤养分有效量 Valid soil nutrient	N $Y=-0.000\ 077\ 63X^2+0.014\ 76X$	0.905 6	65.00	95.06	125.1
	P $Y=-0.039\ 65X^2+0.427\ 1X$	0.802 5	3.68	5.39	7.09
	K $Y=-0.000\ 157\ 7X^2+0.020\ 62X$	0.929 7	44.70	65.37	86.05
	Ca $Y=-0.000\ 000\ 100\ 6X^2+0.000\ 546\ 9X$	0.708 7	1 860	2 720	3 580
	Mg $Y=-0.000\ 000\ 335\ 4X^2+0.001\ 022X$	0.836 2	1 041	1 523	2 005
	Cu $Y=-0.117\ 8X^2+0.737\ 8X$	0.838 5	2.14	3.13	4.12
	Zn $Y=-0.010\ 36X^2+0.173\ 6X$	0.865 3	5.73	8.38	11.03
	Fe $Y=-0.000\ 149X^2+0.020\ 49X$	0.839 5	47.01	68.75	90.49
	Mn $Y=-0.000\ 651X^2+0.043\ 68X$	0.876 5	22.94	33.55	44.16
叶片养分浓度 Foliar nutrient	N $Y=-0.001\ 929X^2+0.074\ 14X$	0.942 0	13.14	19.22	25.29
	P $Y=-0.340\ 9X^2+0.982\ 1X$	0.934 1	0.99	1.44	1.90
	K $Y=-0.004\ 237X^2+0.107\ 3X$	0.933 9	8.66	12.66	16.67
	Ca $Y=-0.018\ 7X^2+0.227\ X$	0.924 2	4.15	6.07	7.99
	Mg $Y=-0.002\ 21X^2+0.077\ 14X$	0.930 1	11.93	17.45	22.97
	S $Y=-0.097\ 57X^2+0.514\ 9X$	0.924 4	1.80	2.64	3.47
	Cu $Y=-0.005\ 28X^2+0.119\ 8X$	0.924 3	7.76	11.35	14.93
	Zn $Y=-0.000\ 138\ 9X^2+0.021\ 43X$	0.897 3	52.77	77.17	101.6
	Fe $Y=-0.000\ 003\ 767X^2+0.003\ 68X$	0.899 6	334.0	488.4	642.8
	Mn $Y=-0.000\ 000\ 346\ 8X^2+0.001\ 129X$	0.827 7	1 113	1 628	2 142
	B $Y=-0.000\ 332\ 8X^2+0.029\ 61X$	0.932 7	30.42	44.49	58.56

注: $r_{0.01}(58)=0.330\ 8$,模型中 Y 为相对生长速率;土壤养分全量和叶片 N、P、K、Ca、Mg、S 浓度单位为 g/kg,其余均为 mg/kg。
Note: $r_{0.01}(58)=0.330\ 8$, Y show relative growth rate; concentration unit of total soil nutrient and foliar N、P、K、Ca、Mg and S is g/kg, others is mg/kg.

2.4 3 种方法对四川巨桉人工林养分诊断结果的比较

3 种方法的诊断结果汇总见表 8。由表 8 可以看出,(1)采用临界值法(CVA)进行诊断,多种养分元素(K、Ca、S、Cu、Zn、Fe、Mn)不能得出有效诊断结果,而 P 诊断结果容易出现负值,N、B 诊断结果受采用的生长量指标影响较大,仅 Mg 诊断结果较为稳定,原因是临界值法受年龄、生长时期、降水、温度、湿度等气候因素,以及其他养分互作关系的影响,容易出现误诊。同时,不同生长量指标与养分状况之间的相关关系不同,也会导致诊断结果的差异。(2)DRIS 法在 Zn、Fe、Mn 3 种微量元素的诊断中出现负值,明显属于误诊,其他养分元素诊断结果根据

高产组养分状态计算而来,且养分变异系数较小,结果相对较为可靠,可作为诊断标准。(3)相对生长速率法(RGR)在养分的诊断中表现出较大的优势,均得出具有较高参考价值的诊断结果。这是因为该方法充分结合林分蓄积产量,在模拟生长速率与养分限制作用之间线性相关关系的基础上,经过数学统计得到,不同于 DRIS 法中将产量粗略地划分为高、中、低 3 个产量组,而出现由于取样导致诊断结果发生偏差。(4)比较后 2 种方法的诊断结果,相对生长速率法诊断结果普遍高于 DRIS 法,这与现实中划分的高产组林分在采取一定施肥措施后,其产量仍可进一步提高相一致。

表 8 3 种方法对四川巨桉人工林叶片养分浓度的诊断结果汇总

Table 8 Diagnosis result of foliar nutrient concentration by three methods to <i>Eucalyptus grandis</i> plantation in Sichuan									
元素 Nutrient	下限 Lower limit			最适 Optimum value			上限 Upper limit		
	CVA	DRIS	RGR	CVA	DRIS	RGR	CVA	DRIS	RGR
N	12.55	11.02	13.14	19.86	16.89	19.22	27.16	22.76	25.29
P	0.17	0.79	0.99	0.79	1.16	1.44	1.41	1.52	1.90
K	—	8.29	8.66	—	11.37	12.66	—	14.45	16.67
Ca	—	3.26	4.15	—	5.66	6.07	—	8.05	7.99
Mg	12.91	13.25	11.93	17.26	18.58	17.45	21.60	23.90	22.97
S	—	1.40	1.80	—	2.08	2.64	—	2.76	3.47
Cu	—	5.63	7.76	—	9.30	11.35	—	12.97	14.93
Zn	—	15.62	52.77	—	49.32	77.17	—	83.02	101.6
Fe	—	30.81	334.0	—	290.68	488.4	—	550.56	642.8
Mn	—	—312.09	1113	—	660.32	1628	—	1632.72	2142
B	33.49	35.89	30.42	42.21	44.10	44.49	50.95	52.32	58.56

注:N、P、K、Ca、Mg、S 浓度单位为 g/kg,其余均为 mg/kg;“—”代表无法得出诊断结果。
Note:Concentration unit of foliar N,P,K,Ca,Mg and S is g/kg,others is mg/kg;the symbol of “—”denote that no dianosis result be obt-cuned.

3 讨 论

临界值法的基本依据是植物体内养分元素浓度与生长量之间的相关性,运用该法进行诊断时,必须确定植物组织养分浓度与目标产量最显著相关的年龄,同时应尽量排除降雨、温度和湿度变化、养分交互效应等因素的影响,这必然导致该法在大面积诊断以及诊断及时性上存在缺陷,因而只能作为其他养分诊断方法的参考或补充;DRIS 诊断法在农作物和果树养分诊断中应用较为广泛,一般应用在养分互作关系以及养分需求顺序的诊断中,但由于该法在诊断中需要大量的样本,调查测定工作量非常繁重,同时受林分立地条件的影响,产量组划分不能充分反映养分需求特征,其诊断结果只能反映养分相对平衡状态,对高水平 and 低水平养分平衡诊断无能为力,可作为科学研究的一种手段;相对生长速率法采用植物组织养分浓度与不同林分相对生长速率建立二次模型,模型计算的最大产量较临界值法中的最大产量和 DRIS 法中的高产组产量大,与林分生长潜力更为接近,因而诊断结果更加可靠,同时排除了年龄的影响(相对于临界值法),诊断中采用较少的样本数量(相对于 DRIS 法)即可得出有效的诊断结果,但仍会受植物组织养分浓度变化的影响。综上所述,3 种林木养分诊断方法均存在一定的缺陷,但以相对生长速率法最优,可在人工林养分管理中推广使用。

[参考文献]

[1] 周文龙,杨曾奖.桉树施肥及营养诊断中的几个问题 [J]. 广东林业科技,1994,4:5-10.

Zhou W L, Yang Z J. Prodllems in fertilization and nutrient diagnosis of *Eucalyptus* [J]. Forestry Science and Technology of Guangdong Province,1994,4:5-10. (in Chinese)

[2] 李淑仪,林书蓉,廖观蓉.桉树营养状况与叶片营养诊断研究 [J]. 林业科学,1996,32(6):481-490.

Li S Y, Lin S R, Liao G R, et al. The nutrition status and foliar nutritional diagnosis of *Eucalyptus* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1996,32(6):481-490. (in Chinese)

[3] 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.

Feng M S, Zhang J. Reach on foliar nutrient diagnosis by DRIS *Eucalyptus grandis* [J]. Journal of Sichuan Agriculture University,2003,21(4):303-307. (in Chinese)

[4] 王燕高,胡庭兴.我国引种巨桉及其研究进展 [J]. 森林工程,2005,21(4):1-4,26.

Wang Y G, Hu T X. Introduction and research progress of *Eucalyptus grandis* in China [J]. Forest Engineering, 2005, 21 (4):1-4,26. (in Chinese)

[5] 冯茂松,张 健.巨桉纸浆原料林施肥效应研究 [J]. 四川农业大学学报,2003,21(3):221-266.

Feng M S, Zhang J. Reach on fertilizer effect of *Eucalyptus grandis* pulpwood timber plantation [J]. Journal of Sichuan Agriculture University,2003,21(3):221-266. (in Chinese)

[6] 冯茂松,张 健,钟 宇.巨桉短周期工业原料林养分平衡的矢量诊断 [J]. 林业科学,2006,42(2):56-62.

Feng M S, Zhang J, Zhong Y. Vector diagnosis on nutrient balance of *Eucalyptus grandis* short-period plantation [J]. Scientia Silvae Sinicae,2006,42(2):56-62. (in Chinese)

[7] 黄从德,胡庭兴,赖家明.四川巨桉短周期工业原料林地位级表的编制 [J]. 四川农业大学学报,2003,21(1):29-31.

Huang C D, Hu T X, Lai J M. The establishment of site class table for pulpwood plantation of *Eucalyptus grandis* plantation in Sichuan [J]. Journal of Sichuan Agriculture University, 2003,21(1):29-31. (in Chinese)