

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.
OUYANG Jianhui, WU Daoming, LIAO Dandan, 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.

广东地区果用银杏林的叶片营养诊断研究

欧阳健辉, 吴道铭, 廖丹丹, 彭维新, 苏思宁, 曾曙才
(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】对位于广东省梅州市的果用银杏基地的银杏 *Ginkgo biloba* 叶片进行营养诊断, 以期为该地区果用银杏园的营养管理提供理论依据。【方法】基于挂果量对调查的 9 个果园进行聚类, 得出高、中、低产园。采用诊断施肥综合法 (DRIS 指数法) 求得 9 个果园银杏叶片 N、P、K、Ca、Mg、B、Zn、Mn 的需肥紧迫程度及养分不平衡指数 (NII), 并初步制定果用银杏营养元素 DRIS 指数的初级分级标准。【结果】果用银杏高产园与低产园的平均 NII 分别为 90.92 和 206.08, 高产园的平均需肥紧迫程度为 $N>Mn>K>P>Zn>B>Ca>Mg$, 而低产园的平均需肥紧迫程度为 $Mg>N>Ca>K>Mn>P>Zn>B$ 。DRIS 指数法初步分级结果显示, 养分指数的平衡区 $N=-5.98\pm2.13$ 、 $P=-0.97\pm4.43$ 、 $K=-1.44\pm2.17$ 、 $Mn=-1.70\pm11.82$ 、 $Zn=-0.74\pm17.61$ 、 $Ca=3.99\pm0.47$ 、 $Mg=33.12\pm58.39$ 、 $B=1.82\pm20.07$ 。【结论】梅州市银杏果园中, 银杏叶片的 N、K、Ca、Mg 缺乏严重, P、Mn 含量偏低, 而 Zn、B 含量过剩。通过需肥紧迫程度排序及制定的 DRIS 指数分级能直观地判断银杏各营养元素的平衡状况, 可作为银杏平衡施肥的依据。

关键词: 果用银杏林; 诊断施肥综合法; 营养诊断; 梅州市
中图分类号: S792.95; S664.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2020)03-0093-09

Foliar nutrient diagnosis for fruit forest of *Ginkgo biloba* in Guangdong

OUYANG Jianhui, WU Daoming, LIAO Dandan, PENG Weixin, SU Sining, ZENG Shucai
(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To conduct foliar nutritional diagnosis on *Ginkgo biloba* located in Guangdong Meizhou ginkgo orchards based on diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) index method, and provide a theoretical basis for nutrition management of ginkgo orchards in this region. 【Method】Based on the amount of fruit, nine plots were clustered to get high, middle and low yield orchard. According to DRIS index method, the requirement degrees of *G. biloba* leaves to N, P, K, Ca, Mg, B, Zn and Mn fertilizers, and nutrient imbalance index (NII) were determined. The preliminary classification norms of DRIS index for nutrient element of fruit forest of *G. biloba* were established. 【Result】The average NII of high and low yield orchard were 90.92 and 206.08, respectively. The average fertilizer requirements in high yield orchard were ranked as $N>Mn>K>P>Zn>B>Ca>Mg$, while those in low yield orchard were $Mg>N>Ca>K>Mn>P>Zn>B$. The balanced zones of DRIS index preliminary classification norms were $N=-5.98\pm2.13$, $P=-0.97\pm4.43$, $K=-1.44\pm2.17$, $Mn=-$

-1.70±11.82, Zn=-0.74±17.61, Ca=3.99±0.47, Mg=33.12±58.39, B=1.82±20.07. 【Conclusion】 The deficiency of N, K, Mg and Ca in *G. biloba* leaves in the orchard located in Meizhou was serious, followed by P and Mn, while the excess of Zn and B was observed. Through the ranking of the urgency of the fertilizer requirement and DRIS index grading, the balance of each nutrient element of *G. biloba* can be visually judged, and can be used as the basis for balanced fertilization of *G. biloba*.

Key words: fruit forest of *Ginkgo biloba*; diagnosis and recommendation integrated system index method; nutrient diagnosis; Meizhou city

银杏 *Ginkgo biloba* 原产于中国, 最早起源于二叠纪, 是迄今仍大批量存在的孑遗植物, 被称为植物界的“活化石”^[1-2]。银杏树是优良的景观和用材树种, 而银杏果、叶是食物、保健品和医药等的重要原料^[3]。

银杏种植范围广, 但适生丰产区主要位于长江流域和华北平原的南部, 该地区的气候特点是有充沛的热量和雨量, 温和湿润^[4]。由于高温、高积温等气候特点, 不利于银杏的大规模种植, 因此华南地区属于银杏低产区^[5], 梁红等^[6]调查广东省的银杏树资源分布, 发现银杏主要分布在北纬 24°以上的北部山区, 其余地区都只是零星分布。广东省梅州市有较大规模的果用银杏种植基地, 为实现银杏正常生产, 不仅需要关注气候因素, 还需要注意合理的施肥管理。

近年来, 全国各地大力发展果用银杏^[4], 可是有调查显示, 银杏园管理粗放、施肥量不足、施肥方法不当、施肥模式单一、营养元素配比不合理等, 导致白果的产量低、品质差, 树势衰弱、病虫害严重等^[7], 很大程度上影响了白果的经济效益。因此在生产中应根据林木的生长状况, 选择适宜的肥料种类和施用量, 提高土壤生产力, 实现林木的高效培育^[8]。与其他林木或经济作物一样, 银杏施肥应基于土壤和银杏叶片的养分含量进行^[9-10]。叶片养分含量可反映银杏果实的营养状况, 叶片养分含量分析有助于评估肥料需求量, 通过按需施肥, 能够提高肥料的利用效率^[11]。前人研究表明, 植物需肥诊断一般有 7 种常用分析方法^[12], 其中诊断施肥综合法 (Diagnosis and recommendation integrated system, DRIS) 应用最为广泛, 且特别适用于果树或林木的营养诊断和施肥。该方法是通过比较植物叶片中的营养元素的比值和含量, 对植物营养元素的盈亏程度进行排列^[13], 最终确定施肥量以及施肥顺序, 且得出的结果不受取样地点、树种、树龄和叶片部位等限制^[14]。与叶片诊断的临界值法相比, DRIS 法具

有更高的准确性, 在美国、南非、荷兰等国的生产中得到应用^[15]。对林木营养诊断后进行科学施肥, 可提高经济林的生产效益, 提高肥料的利用率, 降低对环境的污染^[16]。

所以, 基于 DRIS 法对果用银杏进行营养诊断, 对提高白果产量有重要意义。目前关于华南地区银杏营养诊断的研究尚属少见。本文以广东省梅州市果用银杏园的高产园与低产园中的银杏作为研究对象, 对其叶片养分含量状况进行分析, 旨在为广东地区果用银杏的平衡施肥及集约化经营提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

梅州市地处广东省的东北部, 地理坐标 115°18'~116°56'E, 23°23'~24°56'N。该地区属于亚热带气候区, 热量丰富, 年平均气温 21.3 ℃, 年平均降雨量 1 612.4 mm, 雨水多且集中, 易受旱涝灾害, 日照充足, 年平均日照 1 823.4 h, 无霜期年平均 311 d。用于开展研究的银杏基地位于梅州市梅县区梅西镇均田村, 该银杏基地共有 11 处银杏果园, 平均树龄 25 年, 胸径 100~120 mm, 其中 9 处果园银杏挂果。

1.2 样品采集及测定方法

选取挂果的 9 处银杏果园 (S1~S9) 作为研究对象, 于 2018 年 7 月, 在每处果园内选取长势一致、产量大致相同的 10 棵银杏树进行叶片的采集及挂果量与 SPAD 的测定。

1.2.1 挂果量的测定 统计单株银杏树的营养枝数及单营养枝的挂果量, 最后估算单株银杏树的挂果量, 并以选取的 10 棵银杏树的平均挂果量作为该果园的平均单株挂果量。

1.2.2 叶片的采集 对已选取的 10 棵银杏树, 每棵树随机选定东、西、南、北方向的 4 条营养枝, 每条营养枝随机摘取 2 片银杏叶。然后将同一果园的

叶片混合装袋,带回实验室分析营养元素。

1.2.3 SPAD 的测定 每袋混合样随机选取 20 片叶片进行 SPAD 测定,取其平均值作为混合样的 SPAD 值。叶片 SPAD 值采用 TYS-A 叶绿素测定仪进行测定。

1.3 分析方法

1.3.1 叶片处理 用去离子水清洗 2~3 遍,自然风干后,于 105 ℃ 杀青 30 min,在 75 ℃ 条件下烘干至恒质量,粉碎过 0.25 mm 的筛子后,放密封袋保存备用。

1.3.2 叶片营养元素测定 氮(N)采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-奈氏试剂比色法测定;磷(P)采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钼锑抗比色法测定;钾(K)采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-原子吸收法测定;钙(Ca)、镁(Mg)、锌(Zn)、锰(Mn)采用干灰化-原子吸收法测定;硼(B)采用干灰化-姜黄素比色法测定^[17]。

1.4 数据处理

用组间平均连接法对 9 个果园的平均挂果量进行聚类分析,得出高、中、低产业园后进行 DRIS 营养诊断。DRIS 营养诊断一般采用图解法和指数法。DRIS 法诊断步骤包括确定诊断标准和施肥次序^[15]。鉴于 DRIS 指数法的实际指导意义更大,本文主要采用 DRIS 指数法对银杏叶片进行营养诊断。DRIS 指数法是通过植物营养元素的具体指数来反映元素在植株中的平衡状况。指数趋向或等于 0 时,该元素在植株中处于平衡状态;指数大于 0 表

示过剩,指数越大,该元素在植株中的过剩程度越高;反之,指数小于 0 则表示该元素缺乏,指数越小,证明该元素在植株中匮乏程度越大。

假设进行营养诊断的植物营养元素有 A, B, C, …, n 个,计算 DRIS 指数的公式如下:

A 指数 =
$$\frac{f(A/B)+f(A/C)\cdots-f(B/A)-f(C/A)\cdots}{n-1}, \tag{1}$$

当 $A/B > a/b$ 时, $f(A/B) = \left(\frac{A/B}{a/b} - 1\right) \times \frac{1\,000}{CV}, \tag{2}$

当 $A/B < a/b$ 时, $f(A/B) = \left(1 - \frac{a/b}{A/B}\right) \times \frac{1\,000}{CV}, \tag{3}$

式中: A、B 为植物叶片 2 种营养元素含量的实测值; a/b 为相应元素的高产业园平均比值; CV 为 a/b 的变异系数, %。所有元素的 DRIS 指数绝对值的对数和为养分不平衡指数,用 NII 表示,其值越大,表明该植物的养分越不平衡。

数据分析在 SPSS17.0 中进行,表格绘制在 Microsoft excel 2016 中进行。

2 结果与分析

2.1 银杏果园的划分

根据各银杏园挂果量的聚类分析结果(图 1)划分出高、中和低产业园,其中 S1、S3 为高产业园, S2、S4 为中产业园, S5~S9 为低产业园,选取高产业园与低产业园进行数据分析。

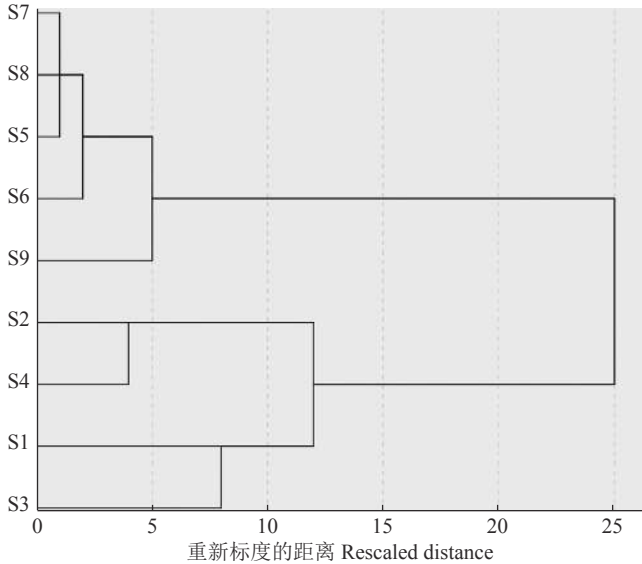


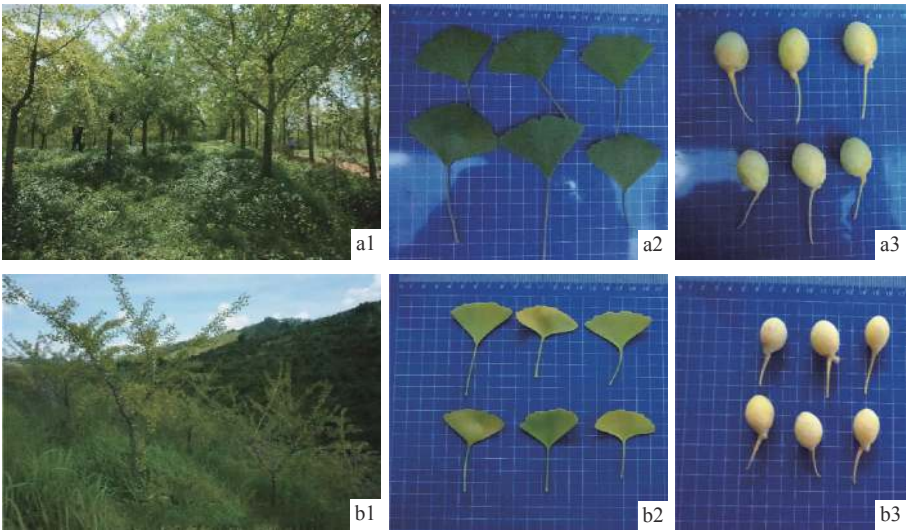
图 1 9 个银杏园 (S1~S9) 挂果量的聚类分析

Fig. 1 Hierarchical cluster analysis dendrogram of fruit amount in nine ginkgo orchards (S1-S9)

2.2 银杏生长基本情况

通过图 2 及表 1 可知,高产业园与低产业园的银杏长势及其相应的叶片和果实状况。高产业园的平均果

径 26.67 mm,平均单果鲜质量 6.56 g,平均单果干质量 2.44 g;低产业园的平均果径 19.00 mm,平均单果鲜质量 4.36 g,平均单果干质量 1.83 g。高产业园的



a: 高产园 High yield orchard; b: 低产园 Low yield orchard

图 2 梅州市高产和低产园银杏的长势、叶片及果实

Fig. 2 Ginkgo growth, leaves and fruits in high yield and low yield orchards in Meizhou

平均叶面积 15 cm², 而低产园平均叶面积只有 8 cm²。高产园的平均挂果量为 908 个·株⁻¹, 而低产园为 135 个·株⁻¹, 高产园是低产园的 6.73 倍。高产园的叶片 SPAD 平均值为 56.15, 而低产园为 28.60, 高产园叶片 SPAD 平均值是低产园的 1.96 倍。通过

t 检验可以看出, 高产园的平均挂果量显著高于低产园 ($P<0.05$), 而平均叶片 SPAD 值、果径、单果鲜质量、单果干质量和叶面积则无显著性差异 ($P>0.05$)(表 1)。

表 1 各银杏果园平均挂果量和单果质量及叶片 SPAD¹⁾

Table 1 Average fruit number per tree, single fruit mass and leaf SPAD of each ginkgo orchard

果园类型 Orchard type	果园编号 Orchard number	挂果量/(个·株 ⁻¹) Fruit amount	叶片SPAD SPAD of leaf	单果鲜质量/g Fresh mass of single fruit	单果干质量/g Dry mass of single fruit
高产园 High yield orchard	S1、S3	908*	56.15	6.56	2.44
中产园 Middle yield orchard	S2、S4	619	54.25	5.50	2.67
低产园 Low yield orchard	S5、S6、S7、S8、S9	135	28.60	4.36	1.83

1) “*” 表示同列数据差异显著($P<0.05$, *t*检验)
1) “*” indicates significant difference in the same column ($P<0.05$, *t* test)

2.3 银杏叶片营养元素状况分析

各类型银杏园的银杏叶片养分含量见表 2。由表 2 可知, 高产园叶片中的 N、P、K、Mn、Ca、Mg 含量均高于低产园, 而 Zn、B 的含量则是低产园高于高产园。中产园叶片中的 N、P、K、Zn、Ca、Mg 含量处于高产园与低产园之间, Mn 含量高于高、低产园, B 含量则低于高、低产园。通过 Duncan’s 多重比较发现, 除高产园叶片 Mg 含量显著高于中、低产园外, 其余养分在高、中、低产园之间没有显著性差异。

2.4 银杏果园 DRIS 指数法营养诊断

2.4.1 DRIS 指数法参数确定 根据 DIRS 指数诊断法, 对银杏高产园和低产园的 N、P、K、Zn、Mn、Ca、Mg、B 等 8 种元素含量以不同的诊断参数 (N/P、N/K 等) 进行统计, 共有 56 种诊断参数, 分别计算每种诊断参数的均值 (M)、标准差 (SD)、方差 (S^2)、变异系数 (CV/%) 和方差比。如 N/P、P/N 中, 选择方差比值高者 (N/P) 作为 DRIS 的诊断参数^[18], 最终选取 28 种诊断参数 (表 3)。

表 2 各类型银杏果园的银杏叶片养分含量¹⁾

Table 2 The nutrient contents of *Ginkgo biloba* leaves in different yield groups of ginkgo orchard

果园类型 Orchard type	w/(g·kg ⁻¹)					w/(mg·kg ⁻¹)		
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	B
高产园 High yield orchard	31.29±8.33a	1.28±0.32a	13.22±4.28a	119.29±34.21a	16.96±2.50a	6.54±0.31a	16.33±9.08a	9.86±6.38a
中产园 Middle yield orchard	30.92±2.96a	1.13±0.12a	11.76±2.47a	82.06±1.90a	11.67±1.23b	6.92±0.18a	16.59±8.56a	6.68±1.12a
低产园 Low yield orchard	18.99±1.41a	0.92±0.07a	8.29±0.31a	67.38±7.32a	10.68±0.51b	7.70±0.93a	11.33±2.65a	16.18±4.46a

1)同列数据后的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan’s法)

1) Different lowercase letters in the same column indicated significant difference($P<0.05$, Duncan’s test)

表 3 银杏果园 DRIS 指数法诊断参数统计

Table 3 Diagnostic parameters of ginkgo orchards based on DRIS index method

诊断参数 Diagnostic parameter	高产园 High yield orchard				低产园 Low yield orchard				方差比 Variance ratio
	均值 Mean	标准差 Standard deviation	方差 Variance	变异系数/% Coefficient of variance	均值 Mean	标准差 Standard deviation	方差 Variance	变异系数/% Coefficient of variance	
N/P	24.31	0.67	0.44	2.74	21.23	5.49	30.19	25.88	68.61
N/K	2.42	0.22	0.05	8.92	2.30	0.44	0.19	19.10	3.80
K/P	10.12	1.18	1.39	11.65	9.12	0.72	0.52	7.93	0.37
N/Zn	4 857.96	2 127.75	4 527 336.19	43.80	2 539.27	436.07	190 160.01	17.17	0.04
N/Mn	2 363.85	1 137.37	1 293 600.80	48.11	2 047.10	960.00	921 608.40	46.90	0.71
N/Mg	1.81	0.32	0.10	17.54	1.81	0.41	0.17	22.70	1.70
N/B	4 517.57	2 936.75	8 624 528.64	65.01	1 446.13	778.00	605 280.89	53.80	0.07
Ca/N	3.79	0.12	0.01	3.13	3.67	1.28	1.64	34.85	164.00
P/Zn	198.70	82.08	6 736.80	41.31	127.39	40.98	1 679.36	32.17	0.25
P/Mn	97.91	49.47	2 446.81	50.52	94.72	38.66	1 494.78	40.82	0.61
P/B	187.55	125.93	15 859.57	67.15	68.77	32.95	1 085.37	47.91	0.07
Ca/P	92.19	5.41	29.24	5.87	76.14	26.48	701.28	34.78	23.98
Mg/P	13.60	2.02	4.07	14.84	11.93	2.63	6.93	22.06	1.70
K/Zn	2 058.21	1 064.31	1 132 753.07	51.71	1 140.40	302.18	91 311.26	26.50	0.08
K/Mn	961.23	385.00	148 228.69	40.05	872.78	378.42	143 202.38	43.36	0.97
K/B	1 822.88	1 052.91	1 108 617.28	57.76	627.90	318.89	101 687.64	50.79	0.09
Ca/K	9.14	0.53	0.28	5.80	8.28	2.62	6.86	31.64	24.50
Mg/K	1.37	0.36	0.13	26.26	1.30	0.23	0.05	17.54	0.38
Mn/Zn	2.57	2.14	4.56	83.15	1.59	0.97	0.94	61.23	0.21
Ca/Zn	18 539.57	8 641.02	74 667 158.89	46.61	9 432.45	4 161.44	17 317 605.60	44.12	0.23
Mg/Zn	2 618.77	715.13	511 412.45	27.31	1 466.65	433.13	187 601.12	29.53	0.37
B/Zn	1.56	1.48	2.20	95.25	2.33	1.59	2.53	68.27	1.15
Mg/B	2 676.95	2 090.57	4 370 482.92	78.10	798.61	436.94	190 919.19	54.71	0.04
Mn/B	1.82	0.37	0.13	20.02	0.76	0.34	0.12	45.24	0.92
Ca/Mn	8 892.40	4 030.72	16 246 668.81	45.33	7 327.71	3 881.59	15 066 703.39	52.97	0.93
Mg/Mn	1 381.10	870.05	756 988.64	63.00	1 122.53	486.02	236 212.02	43.30	0.31
Ca/Mg	6.89	1.42	2.01	20.61	6.28	1.11	1.23	17.63	0.61
Ca/B	16 949.10	10 595.65	112 267 895.55	62.51	5 100.18	3 297.08	10 870 716.74	64.65	0.10

2.4.2 不同银杏果园的诊断指数和需肥顺序 根据式 (2) 与式 (3), 计算出各参数的函数值。通过式 (1) 与函数值算出各个果园养分元素的 DRIS 指数。由表 4 可知, 在高产业园中, S1 果园中 N 的 DRIS 指数 (以下简称指数)(-4.47)、K 指数 (-2.97)、Mn 指数 (-10.06)、B 指数 (-12.37) 为负值, 表明各自含量相对缺乏, Mg 指数 (74.41) 远大于 0, 表明其

含量相对过剩, P、Zn、Ca 指数均大于 0, 其值在 2~12 之间, 表明这几个元素可以满足植物体的正常生长并有不同程度过剩。因此可以得出, S1 果园的需肥顺序为 B>Mn>N>K>P>Ca>Zn>Mg, 由于 Mg 含量过高, 导致林木的不平衡指数 NII 为 121.82。与 S1 不同, S3 果园缺 Mg, 且除 Mg 外, 还缺乏 N、P、Zn 元素, 所以应增加相应元素肥料的施用。

表 4 各银杏园 DRIS 诊断指数及需肥顺序
Table 4 DRIS diagnosis index and fertilizer requirement order of each ginkgo orchard

果园类型 Orchard type	果园编号 Orchard number	DRIS指数 DRIS index								需肥顺序 Fertilizer requirement order	营养不平衡指数 Nutritional imbalance index(NII)
		N	P	K	Mn	Zn	Ca	Mg	B		
高产业园 High yield orchard	S1	-4.47	2.17	-2.97	-10.06	11.72	3.66	74.41	-12.37	B>Mn>N>K>P>Ca>Zn>Mg	121.82
	S3	-7.48	-4.10	0.10	6.66	-13.19	4.32	-8.17	16.01	Zn>Mg>N>P>K>Ca>Mn>B	60.02
	均值	-5.98	-0.97	-1.44	-1.70	-0.74	3.99	33.12	1.82	N>Mn>K>P>Zn>B>Ca>Mg	90.92
	Average										
中产业园 Middle yield orchard	S2	6.30	1.64	-4.32	-9.04	10.94	-0.36	-35.68	0.82	Mg>Mn>K>Ca>B>P>N>Zn	69.10
	S4	1.14	-2.18	5.11	17.57	-0.52	-13.74	-58.61	0.34	Mg>Ca>P>Zn>B>N>K>Mn	99.20
	均值	3.72	-0.27	0.40	4.27	5.21	-7.05	-47.15	0.58	Mg>Ca>P>K>B>N>Mn>Zn	84.15
	Average										
低产业园 Low yield orchard	S5	-15.04	-5.14	-7.46	-18.92	27.81	3.32	10.15	14.00	Mn>N>K>P>Ca>Mg>B>Zn	101.82
	S6	-14.86	11.59	-2.70	-14.68	11.73	-16.89	-76.30	35.99	Mg>Ca>N>Mn>K>P>Zn>B	184.72
	S7	-8.81	-19.19	-21.62	-7.74	31.77	-27.96	-68.70	60.47	Mg>Ca>K>P>N>Mn>Zn>B	246.26
	S8	-49.50	-15.93	-30.53	-11.38	0.04	2.34	-19.87	108.61	N>K>Mg>P>Mn>Zn>Ca>B	238.19
	S9	-49.96	21.55	-10.32	20.60	9.54	-33.88	-65.23	48.33	Mg>N>Ca>K>Zn>Mn>P>B	259.40
	均值	-27.63	-1.42	-14.53	-6.42	16.18	-14.61	-43.99	53.48	Mg>N>Ca>K>Mn>P>Zn>B	206.08
	Average										

在中产业园中, S2 与 S4 果园均不同程度地缺乏 Mg, 此外, S2 果园还缺乏 K、Mn、Ca 元素, S4 果园缺乏 P、Zn、Ca 元素, 所以可增加相应元素肥料的施用。而 S2 果园的 Zn 指数 (10.94)、S4 果园的 Mn 指数 (17.57) 最高, 表明相应元素在叶片中的含量高, 应减少相应元素肥料的施用。

在低产业园中, 所有果园的 N 和 K 指数均为负值, 说明其含量均为不同程度的缺乏; 除 N 和 K 元素外, S5 果园还缺乏 P、Mn 元素; S6 果园还缺乏 Mn、Ca、Mg 元素; S7 果园还缺乏 P、Mn、Ca、Mg 元素; S8 果园还缺乏 P、Mn、Mg 元素; S9 果园还缺乏 Ca、Mg 元素, 因此可增加相应元素肥料的施用。所有果园的 Zn 和 B 指数均为正值, 其中 S8 果园中的 B 指数达到 108.61, 说明其含量过剩。

在各元素需肥顺序中, N 的需肥急迫程度在高产业园中占比最高, 其他元素在各高产业园中均有不同的需求量; Mg 在中产业园中的需肥急迫程度最高; N、

K 在所有低产业园中均有迫切需求, 其次是 Mg 和 Mn(共 4 个低产业园)、P 和 Ca(共 3 个低产业园) 的需求占比较高。从表 4 还可以看出, 高产业园的营养不平衡指数 NII 范围为 60.02~121.82, 平均为 90.92; 中产业园的 NII 范围为 69.10~99.20, 平均为 84.15; 低产业园的 NII 范围为 101.82~259.40, 平均为 206.08, 高产业园与中产业园的营养平衡状态明显优于低产业园。

2.4.3 梅州果用银杏 DRIS 指数分级初步标准 根据高产业园各养分 DRIS 诊断指数, 初步制定出银杏果园 DRIS 指数的分级指标, 共分为 5 个等级。以高产业园各养分 DRIS 指数的平均值作为平衡值, 偏离 4/3 标准差以上为缺乏或者过剩, 偏离 2/3 标准差以内为平衡状态, 偏离 2/3~4/3 标准差的为轻度偏低或者偏高^[19], 具体划分数值及区分见表 5。并将 9 个银杏果园的养分元素分区状况列于表 6。具体以 S9 果园为例, 由表 4 可知, N、P、K、Mn、Zn、

表 5 银杏果园 DRIS 指数的初步分级标准

Table 5 DRIS index preliminary classification norms of ginkgo orchards

DRIS指数	缺乏区	偏低区	平衡区	偏高区	过剩区
DRIS index	Deficient zone(DZ)	Low zone(LZ)	Balanced zone(BZ)	High zone(HZ)	Excess zone(EZ)
N	<-8.81	-8.81~-7.39	-7.39~-4.56	-4.56~-3.14	>-3.14
P	<-6.88	-6.88~-3.92	-3.92~1.99	1.99~4.95	>4.95
K	<-4.33	-4.33~-2.88	-2.88~0.01	0.01~1.46	>1.46
Mn	<-17.46	-17.46~-9.58	-9.58~6.18	6.18~14.06	>14.06
Zn	<-24.22	-24.22~-12.48	-12.48~11.01	11.01~22.75	>22.75
Ca	<3.37	3.37~3.68	3.68~4.30	4.30~4.61	>4.61
Mg	<-44.74	-44.74~-5.81	-5.81~72.05	72.05~110.98	>110.98
B	<-24.94	-24.94~-11.56	-11.56~15.20	15.20~28.58	>28.58

表 6 基于 DRIS 指数的银杏果园的养分元素分区¹⁾

Table 6 Nutrient element zones of each ginkgo orchard basid on DRIS index

果园类型	果园编号	N	P	K	Mn	Zn	Ca	Mg	B
Orchard type	Orchard number								
高产园	S1	BZ	HZ	LZ	LZ	HZ	LZ	HZ	LZ
	S3	LZ	LZ	HZ	HZ	LZ	HZ	LZ	HZ
	均值 Average	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ	BZ
中产园	S2	EZ	BZ	LZ	BZ	BZ	DZ	LZ	BZ
	S4	EZ	BZ	EZ	EZ	BZ	DZ	DZ	BZ
	均值 Average	EZ	BZ	HZ	BZ	BZ	DZ	DZ	BZ
低产园	S5	DZ	LZ	DZ	DZ	EZ	DZ	BZ	BZ
	S6	DZ	EZ	LZ	LZ	HZ	DZ	DZ	EZ
	S7	LZ	LZ	DZ	BZ	EZ	DZ	DZ	EZ
	S8	DZ	LZ	DZ	LZ	BZ	DZ	LZ	EZ
	S9	DZ	EZ	DZ	EZ	BZ	DZ	DZ	EZ
	均值 Average	DZ	BZ	DZ	BZ	HZ	DZ	LZ	EZ

1)DZ: 缺乏区; LZ: 偏低区; BZ: 平衡区; HZ: 偏高区; EZ: 过剩区

1)DZ: Deficient zone; LZ: Low zone; BZ: Balanced zone; HZ: High zone; EZ: Excess zone

Ca、Mg 和 B 的 DRIS 指数分别为-49.96、21.55、-10.32、20.60、9.54、-33.88、-65.23 和 48.33, 对照表 5 可知, N、K、Ca 和 Mg 缺乏, Zn 平衡, P、Mn 和 B 过剩, 与需肥顺序结果基本一致, 且该果园的养分指数除了 Zn 以外, 其余元素指数没有处于平衡状态, 这与 DRIS 指数诊断法中营养不平衡指数很大的结果是一致的。可见, DRIS 指数分级标准能够更加准确地判断各果园的养分状态。

3 讨论与结论

通过叶片营养诊断能够有效判断果树的营养状况, 诊断结果可作为科学施肥的重要依据。DRIS 指数法通过诊断植物体的多种元素含量状况, 得出各种元素在植物体的盈亏情况和需肥顺

序, 由于其应用性广、不限树种等优势, 目前在不同经济作物或树种中得到广泛的应用, 如小麦^[20]、芒果等^[21]。但关于银杏营养诊断 (尤其是在广东地区) 的报道很少, 对果用银杏的相关研究更少。有研究表明, 与常温 (25 ℃) 相比, 高温会降低银杏的生长速率和生物量, 抑制其光合作用速率^[22]。但是, 适宜的施肥量可以缓解高温对叶片的胁迫程度, 提高植物光合作用的能力^[23], 所以在华南地区果用银杏栽培过程中, 通过营养诊断提供施肥方案以维持银杏果的正常产量和品质是很有必要的。

本文研究的果园中, 银杏树叶片主要缺乏 N、P、K、Mg、Ca、Mn 元素, 而 Zn 和 B 元素较为充足或者过剩。N 的供应状况和植物体花芽分化、光合作用有密切的关系, 也是最容易缺乏的元素, N 的缺

乏会降低植物体内蛋白质、叶绿素、核酸及次生代谢物的合成^[24]。研究表明,适当的施用氮肥能增加温州蜜柑的产量和品质^[25],但施氮量过多会破坏土壤养分平衡、降低椪柑的品质^[26],因此可根据营养诊断后的平衡区来添加 N 元素以提高银杏果的品质。根据诊断结果,部分果园银杏树叶片的 P 元素匮乏,这与南方地区土壤养分中低 P 有关^[27]。吴家胜等^[28]研究表明,适当的添加 P 元素能提高银杏对黄酮的累积量,提高品质。K 元素在树体内扮演着大量酶活化和控制细胞渗透压的角色,缺乏 K 元素会导致叶片变黄和坏死,降低蛋白质和糖类的合成与运输速率,从而使果实的品质下降。有研究表明,添加 K 肥能增加甘蔗的产量,提高糖分的累积以及减少一定的病害^[29];施用 K 肥也会提高银杏内黄酮的累积量^[30]。Ca 是树体维持正常生长发育的必需营养元素,Ca 与细胞壁的合成以及植物的抗病性有密切关系,Ca 的缺乏会导致植物的抗病性减弱,果实或者农作物的产量和品质下降^[31];而过量的 Ca 也会抑制植物的生长和作物的产量^[32]。本研究中,高产园的叶片 Ca 含量偏低或偏高,低产园部分样地(如 S6、S7 等)的叶片则缺乏 Ca,可通过增加施肥量来使 Ca 含量达到平衡状态,使 Ca 指数为 3.68~4.30。Mg 元素是叶绿素分子的组成部分,当植物缺乏 Mg 元素时,植物的叶绿素合成会受阻,叶片失绿,导致植物的碳水化合物和蛋白质等营养物质合成速率下降,从而降低产量和品质^[33]。本文诊断结果表明,Mg 的含量在低产园叶片中有不同程度的匮乏,这与低产园 SPAD 值较低是一致的。郁万文等^[10]研究结果表明,适宜浓度地配施 Mg 能增加银杏中总黄酮和萜内酯的含量,并提高叶绿素等物质的合成。中产园的大部分元素都在平衡区,但是缺乏 Ca 和 Mg 元素,这可能是中产园的样地产量未能达到高产园的原因之一。Mn 是植物生长必需的微量元素之一,是合成氧化酶与过氧化氢酶的催化剂。有研究表明,Mn 能促进 N 的吸收与利用率^[34],本研究也发现,低产园(S9 果园除外)的 Mn 含量缺乏时,N 含量也表现为缺乏。植物体内的 Zn 元素与蛋白质合成和生理代谢过程有密切关系,在正常含量条件下,Zn 能够提高植物果实及农作物的品质,但 Zn 含量过高会毒害经济作物^[35]。本研究发现,低产园的平均 Zn 含量高于高产园,且通过 DRIS 指数分析法发现 S5、S6、S7 的 Zn 指数处于偏高区或者过剩区,这可能是果实产量低的原因之一。另外,合适浓度的 B 元素在促进植物开花与幼果坐果方面起关键作用^[36],低产园叶片的 B 含量

均有不同程度的过剩,平均含量高于高产园叶片。本研究通过 DRIS 指数法得出了银杏园各元素平衡浓度范围,可据此对本地区的果用银杏林进行合理施肥。

本研究中,高产园银杏叶片 N、P、K、Mn、Ca、Mg 的平均含量高于低产园,而低产园 Zn、B 平均含量高于高产园,高产园叶片中的平均养分含量可作为各养分的适宜含量。DRIS 诊断指数值显示,研究区银杏果树总体上 N、P、K、Ca、Mg 缺乏,Zn 和 B 供应充足,其中低产园银杏树体还缺乏 Mn。高产园银杏的平均需肥顺序为 N>Mn>K>P>Zn>B>Ca>Mg,低产园的平均需肥顺序为 Mg>N>Ca>K>Mn>P>Zn>B。高产园和低产园的平均养分不平衡指数(NII)分别为 90.92 和 206.08。本研究通过 DRIS 指数法还得出银杏园各元素 DRIS 指数的初步分级标准。本研究的营养诊断结果可为银杏的精准化营养管理提供参考依据。

参考文献:

[1] JI W H, MA X L, XIE H K, et al. Molecularly imprinted polymers with synthetic dummy template for simultaneously selective removal and enrichment of ginkgolic acids from *Ginkgo biloba* L. leaves extracts[J]. *J Chromatogr A*, 2014, 1368: 44-51.

[2] RENNER S S. Living fossil younger than thought[J]. *Science*, 2011, 334(6057): 766-767.

[3] REN C, JI Y Q, LIU H, et al. Effects of *Ginkgo biloba* extract EGB761 on neural differentiation of stem cells offer new hope for neurological disease treatment[J]. *Neural Regen Res*, 2019, 14(7): 1152-1157.

[4] 曹福亮, 汪贵斌, 郁万文. 银杏果用林定向培育技术体系集成[J]. *中南林业科技大学学报*, 2014, 34(12): 1-6.

[5] 黄娅, 易思荣, 全健, 等. 银杏生长量与气候因素关系的初步研究[J]. *时珍国医国药*, 2015, 26(11): 2772-2774.

[6] 梁红, 冯颖竹, 王英强, 等. 广东银杏资源调查初报[J]. *农业与技术*, 2002, 22(6): 75-79.

[7] 郁万文, 曹福亮, 谢友超. 氮磷钾配施对白果产量和品质的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(3): 9-15.

[8] 曹刚, 赵明新, 毕淑海, 等. 平衡施肥对荒漠区黄冠梨生长与品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(8): 2477-2484.

[9] WANG L, SHI H, WU J S, et al. Alternative partial root-zone irrigation enhances leaf flavonoid accumulation and water use efficiency of *Ginkgo biloba*[J]. *New For*, 2016, 47(3): 377-391.

[10] 郁万文, 曹福亮, 吴广亮. 叶面配施镁锌钼对银杏苗叶生长和药用品质的影响[J]. *西北植物学报*, 2012, 32(6): 1214-1221.

[11] GE S F, ZHU Z L, PENG L, et al. Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing re-

gions in china[J]. *Hortic Plant J*, 2018, 4(3): 89-93.

[12] 唐菁, 杨承栋, 康红梅. 植物营养诊断方法研究进展[J]. *世界林业研究*, 2005, 18(6): 45-48.

[13] WALWORTH J L, SUMNER M E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[M]//STEWART B A. *Adv Soil Sci: Volume 6*, New York: Springer, 1987: 149-185.

[14] 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): 22-26.

[15] 张大弟. 综合诊断施肥法: DRIS[J]. *上海农学院学报*, 1984(1): 85-94.

[16] 白由路. 植物营养与肥料研究的回顾与展望[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(17): 3477-3492.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[18] 孙垒. 银杏叶用园营养诊断及施肥效应研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.

[19] 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.

[20] 张占兴, 白淑芳, 王治荣. DRIS 法在小麦施肥诊断中的运用研究[J]. *河南农业科学*, 1990, 9: 5-7.

[21] 康专苗, 姚智, 白亭玉, 等. DRIS 法在“帕拉英达”芒果营养诊断上的应用[J]. *中国南方果树*, 2018, 47(3): 80-83.

[22] 徐友, 曹福亮, 汪贵斌, 等. 温度和光强对银杏生长的影响[J]. *林业科技开发*, 2015, 29(4): 41-45.

[23] 张成军, 郭佳秋, 陈国祥, 等. 高温和干旱对银杏光合作用、叶片中黄酮苷和萜类内酯含量的影响[J]. *农村生态环境*, 2005, 21(3): 11-15.

[24] 孔芬, 刘小勇, 王港振, 等. 施肥量对山地核桃光合与快速叶绿素荧光特性的影响[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(5): 764-769.

[25] 曾伟男. 施氮量对温州蜜柑果实产量、品质和氮利用效率的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.

[26] 李菲菲, 黄成能, 谢深喜, 等. 施氮过量对椴柑园土壤和树体矿质养分及果实品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(4): 748-756.

[27] 张鼎华, 涂传进, 沈兵松, 等. 福建山地几种主要土类土壤磷的研究[J]. *林业科学*, 2008, 44(8): 29-36.

[28] 吴家胜, 应叶青, 曹福亮, 等. 施磷对银杏叶产量及黄酮含量的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2003, 31(1): 17-18.

[29] 谢金兰, 李长宁, 李毅杰, 等. 钾肥施用量对甘蔗产量、糖分积累及其抗逆性的效应研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(2): 133-138.

[30] 乔玉山, 章镇, 房经贵, 等. 氮、磷、钾对银杏叶黄酮含量与营养生长的效应[J]. *江苏林业科技*, 2001, 28(6): 8-11.

[31] MADANI B, MOHAMED M T M, BIGGS A R, et al. Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya[J]. *Crop Prot*, 2014, 55: 55-60.

[32] 檀龙颜, 马洪娜. 植物响应钙离子胁迫的研究进展[J]. *植物生理学报*, 2017, 53(7): 1150-1158.

[33] 汪洪, 褚天铎. 植物镁素营养诊断及镁肥施用[J]. *土壤肥料*, 2000(4): 4-8.

[34] 郑甲成, 刘婷, 张百忍, 等. 几种微量元素作用及对水稻发育的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2010, 32(S1): 5-8.

[35] ABDOLLAHI M, ESHGHI S, TAFAZOLI E. Interaction of paclobutrazol, boron and zinc on vegetative growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Selva).[J]. *J Biol Environ Sci*, 2010, 4(11): 67-75.

[36] 肖家欣, 彭抒昂. 柑橘开花前后子房 (幼果) 钙、硼营养与 IAA、GA_{1/3} 动态研究[J]. *果树学报*, 2004, 21(2): 132-135.

【责任编辑 李晓卉】