

潘胜强, 李彬, 邓玉, 巫剑, 罗薇, 彭四清, 杨国义. 南雄市坪田镇银杏果园高效施肥对策分析 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(3): 71-77.

## 南雄市坪田镇银杏果园高效施肥对策分析

潘胜强, 李彬, 邓玉, 巫剑, 罗薇, 彭四清, 杨国义

(广东省生态环境技术研究所 / 广东省农业环境综合治理重点实验室, 广东 广州 510650)

**摘要:** 【目的】提出南雄市坪田镇银杏果园高效施肥对策。【方法】结合银杏果园土壤肥力实地调查与银杏不同物候期的肥力需求特征进行分析。【结果】果园土壤属于酸性紫色土, 土壤肥力综合指数平均值为 1.09, 整体处于一般偏下水平, 呈现肥力供应不平衡状况。其中, 土壤中有有效磷、速效钾、有效铜、有效锰均处于肥力较高水平, 土壤交换性钙、镁含量均处于丰富水平, 有机质、水解性氮和阳离子交换量整体处于较低水平, 微量元素硼呈现缺素效应。【结论】建议南雄市坪田镇银杏果园施肥措施按以下方式实施, 2月底施用“农家肥 + 氮肥 + 微量元素硼肥”作为叶前肥, 4月初施用“氮肥 + 微量元素硼肥”作为催化促种肥, 其中微量元素硼肥可采取喷施叶面肥方式进行, 8月底施用农家肥为主的基肥作为果后肥。

**关键词:** 银杏果园; 肥力综合指数; 硼; 微量元素; 施肥对策

中图分类号: S725.5

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)03-0071-07

## Analysis on High Efficiency Fertilization Strategy of *Ginkgo biloba* Orchard in Pingtian Town, Nanxiong City

PAN Shengqiang, LI Bin, DENG Yu, WU Jian, LUO Wei, PENG Siqing, YANG Guoyi

(Guangdong Institute of Eco-environmental Science & Technology/Guangdong Key Laboratory of Comprehensive Agricultural Environment Management, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** 【Objective】The objective was to propose effective fertilization strategies for ginkgo orchards in Pingtian Town, Nanxiong City. 【Method】An analysis was conducted based on the field investigation of soil fertility in ginkgo orchard and the fertility demand characteristics in different phenological periods of *Ginkgo biloba*. 【Result】ginkgo orchard soil belongs to acid purple soil, with an average soil integrated fertility index of 1.09, which was generally below the normal level, showing an unbalanced supply of fertility. Among those fertility indexes, available phosphorus, available potassium, available copper and available manganese in soil are at a high level of fertility, exchangeable calcium and magnesium content in soil are at a rich level, while organic matter, hydrolyzed nitrogen and cation exchange capacity are at a relatively lower level, and trace element boron shows a deficiency effect. 【Conclusion】It is suggested that the fertilization measures of ginkgo orchard in Pingtian Town, Nanxiong City should be implemented as follows: applying "farmyard manure + nitrogen fertilizer + trace element boron fertilizer" as pre-foilage fertilizer at the end of February; applying "nitrogen fertilizer + trace element boron fertilizer" as catalytic seed fertilizer at the beginning of April, in which trace element fertilizer can be sprayed by foliar fertilizer; applying base fertilizer(mainly based on farmyard manure) as post-fruit fertilizer at the end of August.

**Key words:** ginkgo orchard; integrated fertility index; boron; trace elements; fertilization strategy

收稿日期: 2018-11-08

基金项目: 广东省科技计划项目(2014A020208078); 中山市科技计划项目(2018B1014)

作者简介: 潘胜强(1981—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为环境与土壤, E-mail: sqpan@soil.cn

通信作者: 杨国义(1969—), 男, 研究员, 研究方向为环境与土壤, E-mail: gyyang@soil.cn

【研究意义】传统银杏施肥效率低下，致使白果的单产低、种核小、品质差。因此，对银杏果园立地条件、银杏不同物候期肥力需求进行讨论分析，形成高效施肥对策，对提高银杏林施肥效率、提升银杏药用资源产量与品质具有重大意义。

【前人研究进展】银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 又名白果树、公孙树、鸭掌树等，属于银杏科银杏属大型落叶乔木，是我国特有的单科单属单种的孑遗植物<sup>[1]</sup>。银杏浑身是宝，银杏林兼具观赏价值、防护林价值，银杏果、叶均为新一代重要药用资源<sup>[2]</sup>，其中白果为药食两用药材<sup>[3-5]</sup>，既能防病治病，又能作为营养保健食品长期食用，自明清以来就被列为食疗佳品；银杏叶中黄酮、内酯等多种活性成分更是当前银杏药用价值开发热点<sup>[2, 6-7]</sup>，市场已开发出大量银杏叶保健品<sup>[8-10]</sup>。前期对银杏的研究主要着重于古生态学研究、资源调查、生物学特性研究、物候特征、银杏栽培、白果品质分析、银杏活性成分提取、银杏药用价值开发等，相关研究均已具有丰富的文献报道，但相关银杏药用资源与品质提升的研究较少。国内外研究表明，环境是影响植物次生代谢物生物合成的重要因素之一，类黄酮作为植物中一类重要的次生代谢产物，在植物与环境互作的过程中行使着重要的功能，它们构成植物防御体系的一部分，在植物遭受紫外辐射、盐、温度和干旱等单一或多个胁迫时均发挥着重要作用<sup>[11-16]</sup>；营养物质消耗是控制类黄酮途径不同分支基因表达和产物形成的关键因素<sup>[17]</sup>。生境条件、土壤环境条件对药材产量、品质具有重要影响，而施肥是人为影响药材产量、品质的重要手段<sup>[18-20]</sup>。

【本研究切入点】以银杏立地条件土壤肥力特征、银杏肥力需求为研究切入点。【拟解决关键问题】探讨银杏肥力需求与立地条件土壤肥力特征差异，提出高效施肥对策，以期为提高南雄银杏白果、银杏叶的产量与品质提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

南雄市位于广东省东北部，大庾岭南麓，毗邻江西、湖南，属中亚热带季风湿润区，具大陆性气候特征，四季分明，常年平均气温 19.6℃，

降雨量 1 555.1 mm，年日照 1 852.4 h，无霜期 293 d。南雄南北两面群山连绵，中部丘陵沿浈江伸展，形成一狭长盆地，地质学称之为“南雄盆地”，据明代嘉靖年间南雄府志记载，南雄自明代就有银杏栽培，境内现存 1.3 万余株百年以上银杏古树，素有“中国岭南银杏之乡”美称，其坪田白果享誉港澳和东南亚地区<sup>[21]</sup>。

研究区位于南雄市坪田镇荆岗村 338 县道旁，银杏林为种植于丘陵地的优良核用品种坪田白果，占地面积约 2.3 hm<sup>2</sup>，银杏植于 1995 年，雌雄株比例大致为 4 : 1。

### 1.2 样品采集

于 2016 年在坪田镇银杏园范围内，按照均匀布点及代表性兼顾原则，用木铲采集 6 个土壤样品，每个土壤样品用“X”法均匀随机采取 5 个以上采样点，采集深度为 0~20 cm，采集的土壤经充分混合后，采用四分法取约 1 kg 装入塑料袋中，带回实验室测定。其中采样点 2 和采样点 3 位于银杏园内猪舍两侧。

### 1.3 样品分析测试

样品测试项目包括 pH 值、有机质、全氮、水解性氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效铜、有效锌、有效锰、有效硼、CEC (阳离子交换量)、质地等，分析测试方法和质量控制参照国家森林土壤对应标准方法执行。测试数据采用 Excel 软件进行统计分析。

### 1.4 土壤肥力评价方法

1.4.1 肥力评价标准及依据 土壤肥力评价标准参考《南方地区耕地土壤肥力诊断与评价》(NY/T 1749-2009)，评价标准值依据该标准附录 C 中建议标准值，评价方法采用标准中改进后的 Nemerow 法，附录 C “南方地区土壤肥力评价主要理化指标建议参考标准值” “南方地区部分土壤肥力评价指标建议的单项肥力指数 ( $P_i$ )” 见表 1。

1.4.2 土壤肥力单项指数 肥力单项指数评价计算公式：

$$P_i = C_i / S_i$$

式中， $P_i$  为土壤肥力指标  $i$  的单项肥力指数，该值直接反映指标  $i$  的肥效效应， $P_i$  值越高，肥力越高； $C_i$  为土壤肥力指标  $i$  的实测数据； $S_i$  为土壤肥力指标  $i$  的评价标准值。

1.4.3 土壤肥力综合指数 土壤肥力综合指数评价计算公式：

表 1 南方地区土壤肥力评价主要理化指标建议参考标准值

Table 1 Suggested reference values of main physical and chemical indicators for soil fertility evaluation in southern China

养分指标 Nutrient indicator	参考标准值 Standard value ( $S_i$ )	养分指标 Nutrient indicators	单项肥力指数 Individual fertility index ( $P_i$ )
有机质 Organic matter (g/kg)	12.5		pH $\leq 5.0$ 或 $\geq 9.0$ 时; $P_i (C_i/S_i) = 1.0$
全氮 Total nitrogen (g/kg)	1.0		pH 在 5.0~5.5 或 8.5~9.0 内; $P_i (C_i/S_i) = 1.5$
有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	7.5		pH 在 5.5~6.0 或 8.0~8.5 内; $P_i (C_i/S_i) = 2.0$
速效钾 Available potassium (mg/kg)	80	pH	pH 在 6.0~6.5 或 7.5~8.0 内; $P_i (C_i/S_i) = 2.5$
CEC [cmol (+)/kg]	12		pH 在 6.5~7.5 内 (含等于 6.5 或 7.5); $P_i (C_i/S_i) = 3.0$
水解性氮 Hydrolyzed nitrogen (mg/kg)	105		
有效锌 Effective zinc (mg/kg)	1.8		砂土、粘土; $P_i (C_i/S_i) = 1.0$
有效硼 Effective boron (mg/kg)	0.35	质地 (美国制)	砂壤、重壤; $P_i (C_i/S_i) = 2.0$
有效铜 Effective copper (mg/kg)	1.7	Texture (American System)	轻壤、中壤; $P_i (C_i/S_i) = 3.0$
有效锰 Effective manganese (mg/kg)	35		

注: 仅采用旱地类型。

Note: Only dry land type is used in this paper.

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\left( (C_i/S_i)^2 \text{min} + (C_i/S_i)^2 \text{ave} \right) / 2(N-1/N)}$$

式中,  $P_{\text{综}}$  为土壤肥力综合指数 (数值保留 2 位有效数字);  $(C_i/S_i)^2 \text{min}$  为所有土壤单项肥力指数指标中最小值的平方;  $(C_i/S_i)^2 \text{ave}$  为所有土壤单项肥力指数平均值的平方; 在综合土壤肥力指数 ( $P_{\text{综}}$ ) 计算过程中, 当单项肥力指数  $P_i > 3$  时, 该项肥力指数以  $P_i = 3$  计;  $N$  表示参与评价的土壤肥力指标个数 (要求 10 项及以上)。

**1.4.4 土壤肥力等级划分** 采用上述方法评价所得综合肥力指数, 按不同数值范围分 I、II、III 级 3 个肥力等级, 其分级标准见表 2。

表 2 土壤肥力等级划分  
Table 2 Grade classification of soil fertility

等级 Grade	$P_{\text{综}}$	评价描述 Evaluation description	建议措施 Recommended measure
I	$P_{\text{综}} \geq 1.7$	土壤肥力处于很高水平, 施肥增产的边际效应低	适当控制肥料, 可视作物产量与品质的需求, 适当施肥, 不宜多施, 以促进平衡为主, 防止过量流失
II	$0.9 \leq P_{\text{综}} < 1.7$	土壤肥力处于一般水平, 个别指标可能显示缺乏, 作物产量随施肥量提高较明显	需平衡施肥。尤其针对个别肥力单项指数较低的因子, 需增加其单因子施肥量。必要时参照 NY/T1118 做作物肥效试验, 确定施肥量
III	$P_{\text{综}} < 0.9$	土壤肥力处于低水平, 大部分肥力指标缺乏, 个别指标严重缺乏或不宜。施肥增产显著	需增施多种肥料, 加强土壤培肥, 对个别肥力单项指数较低的指标要优先增加相应用量, 促进肥力平衡, 发挥肥料增产增效作用

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤养分指标

南雄市坪田镇银杏果园 6 个土壤样品肥力指标分析结果见表 3。从表 3 可以看出, 土壤 pH 范围为 5.05~6.10, 平均值为 5.57, 整体处于微酸性水平; 土壤有机质和全氮均属于肥力一般水平; 土壤中有有效磷、速效钾、有效铜、有效锰均处于肥力较高水平; 上述结果与广东土壤 [22] 相关南雄盆地酸性紫色土的记载一致, 南雄酸性紫色土有机质和氮素含量低, 但磷、钾含量普遍偏高。有效锌含量在 1.11~5.46 mg/kg 之间, 平均值为 2.82 mg/kg, 位点之间变异系数较大, 单项养分指标一般; 土壤有效硼含量在 0.07~0.16 mg/kg 之间, 平均值为 0.12 mg/kg, 显著低于土壤缺硼的临界值 [23] 0.5 mg/kg, 调查结果与沈锦辉等 [24]、王军等 [25] 对南雄烟区土壤养分缺乏状况分析结果一致, 南雄紫色土烟区普遍缺乏硼元素, 锌含量普遍偏低。

### 2.2 单项肥力指数

参考《南方地区耕地土壤肥力诊断与评价》(NY/T 1749-2009) 诊断与评价方法, 对银杏园各样品进行单项肥力指数分析, 结果见表 3。土壤单项肥力指数顺序如下: 有效磷 > 有效铜 > 速效钾 > 有效锰 > 有效锌 > 有机质 > 全氮 > 水解氮 > CEC > 有效硼, 土壤单项肥力指数呈现严重供给不平衡状况。

### 2.3 土壤综合肥力指数

参考《南方地区耕地土壤肥力诊断与评价》



表 3 土壤肥力样品养分指标分析结果

Table 3 Analysis result of nutrient indicators of soil fertility samples

养分指标 Nutrient indicators	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	$P_i$
pH	5.57	6.10	5.05	0.38	6.76	2.00a
有机质 Organic matter (g/kg)	17.30	21.05	13.80	2.58	14.90	1.38a
全氮 Total nitrogen (g/kg)	1.08	1.35	0.84	0.16	15.15	1.08a
水解氮 Hydrolyzed nitrogen (mg/kg)	81.21	95.46	66.25	10.74	13.23	0.77b
有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	44.63	63.00	19.10	15.58	34.91	5.95c
速效钾 Available potassium (mg/kg)	171.35	215.02	118.22	35.63	20.79	2.14d
有效铜 Effective copper (mg/kg)	9.81	16.50	4.28	4.10	41.79	5.77c
有效锌 Effective zinc (mg/kg)	2.82	5.46	1.11	1.40	49.78	1.57a
有效锰 Effective manganese (mg/kg)	64.18	77.85	48.38	11.73	18.28	1.83a
有效硼 Effective boron (mg/kg)	0.12	0.16	0.07	0.04	34.28	0.33e
CEC [ cmol (+) /kg ]	8.85	10.80	7.60	1.13	12.78	0.74b
交换性钙 Exchangeable calcium (mg/kg)	1124.09	1711.96	817.43	307.79	27.38	
交换性镁 Exchangeable magnesium (mg/kg)	122.02	154.94	80.50	30.89	25.32	
质地 (美国制) Texture (American System)				砂壤土		2.0a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences.

(NY/T 1749-2009) 诊断与评价方法, 对银杏园各样品肥力指标进行综合评估, 结果(表 4)表明, 园区 6 个位点肥力综合指数平均值为 1.09, 肥力等级为 II 级, 土壤肥力整体处于一般偏下水平。肥力等值线呈现中南向两端降低趋势(图 1), 其中位点 NX02、NX03 肥力综合指数较高, 可能受中间猪舍影响, 最北部位点 NX05 肥力等级处于 III 级肥力低水平状态。

### 3 银杏果园施肥对策分析

我国银杏资源丰富, 种质资源、种植面积及果实产量均占世界总量的 90% 以上, 是我国重要的经济树种之一。国内外对银杏果园培肥已经有大量研究报道 [26-28], 以下就坪田镇紫色土银杏果园施肥对策进行分析。

#### 3.1 银杏果园立地条件施肥需求分析

王义强等 [29] 对湖南银杏资源的分布调查认为, 紫色土瘠薄不利于银杏生长。何方等 [30] 对湖南银杏分布的研究认为, 银杏在紫色土土层较厚的土壤上有生长比例失调现象, 应注意培肥和保持水土; 同时其根据银杏在有机质含量 3% 以上区域的分布特征, 认为银杏本质上仍属于喜肥树种; 根据银杏在石灰岩或钙质丰富的母岩上的分布比例特征, 认为银杏对钙的需要和在适应的生态类型上属于喜钙树种。南雄市坪田镇银杏果

表 4 土壤肥力综合指数分析结果

Table 4 Analysis results of soil integrated fertility index

位点 Sites	经度 Longitude	纬度 Latitude	$P_{\text{综}}$	肥力等级 Fertility Grade
NX01	114.355327	25.121211	1.14	II
NX02	114.354560	25.121663	1.30	II
NX03	114.353734	25.121755	1.26	II
NX04	114.353825	25.122464	1.04	II
NX05	114.352870	25.122984	0.85	III
NX06	114.352902	25.122396	0.99	II
平均值 Average			1.09	II

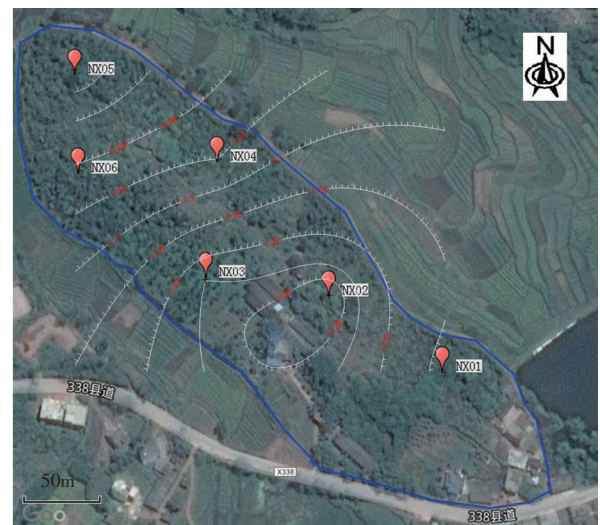


图 1 土壤肥力综合指数等值线

Fig. 1 Isogram of soil integrated fertility index

园紧靠湖南, 立地条件土壤性质具有较高的一致性, 上述银杏施肥需求文献对本区域银杏施肥具

有较大指导意义。何丙辉等<sup>[31]</sup>研究表明,农家肥有机质含量高、养分指标全、来源广泛、成本低廉,并且可显著改良土壤,增强土壤保水保肥能力,且对于银杏生长及其构件品质提升具有巨大促进作用,基于坪田镇银杏果园土壤肥力供给不均衡,有机质及氮素含量低下状况,建议对银杏果园增施农家肥,提升土壤整体肥力水平。

氮素对银杏各种生理过程与生长发育都有影响,可显著促进银杏枝干高大、生长旺盛、叶色浓绿、增强蛋白质合成及提升银杏光合效能等<sup>[32]</sup>。王怡等<sup>[33]</sup>对南雄烟区的土壤养分状况分析结果表明,有机质、全氮和碱解氮含量均以紫色土最低,需进行氮素的调控。王建贾等<sup>[34]</sup>对银杏种子生长发育过程中营养元素含量相关性分析结果表明,氮磷钾三要素在银杏种子不同发育阶段均呈现极显著线性相关,表明白果对氮磷钾三要素进行协同吸收。郁万文等<sup>[35]</sup>认为,N、P、K配施可不同程度地提高白果产量、种实大小、种仁中内含物含量,且大体表现为P或K有利于营养成分和药用成分的合成和积累,而N则更有利于产量的提高。对于有效磷和有效钾均处于较高水平的坪田镇银杏果园,增施氮肥可有效提升银杏对土壤磷和钾的利用水平,对白果产量、品质提升具有显著经济效益。

硼是植物生长发育必需微量元素,是开花结实和生长点所必需营养元素<sup>[36-39]</sup>。周新富等<sup>[40]</sup>对银杏增施微量元素的研究表明,增施硫酸镁、硫酸锌、硼砂微量元素肥后,银杏种实重、种实出核率、种核出仁率等指标均有不同程度提高,种核浮水率大幅度降低。郁万文等<sup>[41]</sup>关于叶面配施镁锌钼对银杏苗叶生长和药用品质的影响研究表明,配施适当浓度的镁锌钼叶面肥可在一定程度促进银杏苗叶绿素合成,上调可溶性糖和可溶性蛋白质等初生代谢物质积累,改善其叶片生长和药用品质,提高叶产量及药用品质构成要素。可见,微量元素对提升白果品质具有显著意义。针对坪田镇银杏果园微量元素硼缺乏效应状况,建议采用喷施叶面肥、基施微量元素肥方式满足银杏对微量元素的需求。

### 3.2 银杏物候特性对肥力需求分析

吴际友<sup>[42]</sup>对湖南果用银杏的施肥研究认为,银杏为多年生果树,不同生长阶段、同一年不同物候期对肥力需求也不同,通常一年内挂果银杏

施肥分为叶前肥、促花催种肥及果后肥,同时其提出“3、6、9”施肥管理法对银杏果园进行针对性施肥,即3月份施叶前肥,6月份施促花催种肥,9月份施果后肥。而刘世冬<sup>[43]</sup>、冯颖竹等<sup>[44]</sup>对南雄银杏生物学特性及物候特征的分析表明,南雄银杏通常3月上旬开始萌芽,4月中旬开花,8月中下旬果实成熟,11月下旬落叶休眠。可见,南雄银杏物候特性较湖南银杏稍微有提前,可能与银杏立地条件气候差异有关。根据肥效先行原则,建议参照该法进行相应提前施肥,即2月底施用叶前肥,4月初施促花催种肥,8月底施果后肥。

## 4 结论

南雄市坪田镇银杏果园土壤属于酸性紫色土,肥力综合指数平均值为1.09,整体处于一般偏下水平,呈现肥力供应不平衡状况。其中,土壤中有效磷、速效钾、有效铜、有效锰均处于肥力较高水平,土壤交换性钙镁含量均处于丰富水平,有机质、水解氮和阳离子交换量整体处于较低水平,微量元素硼呈现缺素效应。

结合银杏果园肥力状况及果用银杏肥力需求分析,建议南雄市坪田镇银杏果园施肥措施按以下方式实施,2月底施用“农家肥+氮肥+微量元素硼肥”作为叶前肥,为银杏生长、发芽提供肥效保障;4月初施用“氮肥+微量元素硼肥”作为催花促种肥,其中微量元素肥可采取喷施叶面肥方式进行,以利于银杏通过叶面快速吸收,提升银杏花量、座果率;8月底施用农家肥为主的基肥作为施果后肥,为银杏冬季肥效消耗提供保证。同时,建议进一步参考《测土配方施肥技术规范》(NY/T1118)方法要求,对南雄市坪田镇银杏果园进行肥效试验研究,确定施肥量与效益相关关系。

### 参考文献 (References) :

- [1] 涂传馨. 银杏的起源与分布[J]. 生物学通报, 1984(4): 13.  
TU C X. Origin and distribution of *Ginkgo biloba* [J]. *Biological Bulletin*, 1984(4): 13.
- [2] 杨慧萍, 高睿. 银杏药用成分及药理作用研究进展[J]. 动物医学进展, 2017, 38(8): 96-99. doi:10.16437/j.cnki.1007-5038.2017.08.021.  
YANG H P, GAO R. Research progress on medicinal components and pharmacological effects of *Ginkgo biloba* [J]. *Advances in Animal Medicine*, 2017, 38(8): 96-99. doi:10.16437/j.cnki.1007-5038.2017.08.021.

- [3] 单舒筠. 药食两用白果种仁和南非叶的化学成分研究[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2018.  
SHAN S Y. Studies on chemical constituents of seeds and leaves of medicinal and edible white fruits [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2018.
- [4] 严妹霞, 陈仁寿, 徐桂华. 药食两用物品毒性的中医古籍文献研究[J]. 陕西中医, 2017, 38(1): 118-121. doi:10.3969/j.issn.1000-7369.2017.01.059.  
YAN S X, CHEN R S, XU G H. Literature study on toxicity of dual-purpose medicines [J]. *Shaanxi Traditional Chinese Medicine*, 2017,38(1): 118-121. doi:10.3969/j.issn.1000-7369.2017.01.059.
- [5] 杨扬, 周斌, 赵文杰. 银杏叶史话: 中药/植物药研究开发的典范[J]. 中草药, 2016, 47(15): 2579-2591. doi:10.7501/j.issn.0253-2670.2016.15.001.  
YANG Y, ZHOU B, ZHAO W J. History of *Ginkgo biloba* leaves: a model for research and development of traditional Chinese medicine/botanical medicine [J]. *Chinese herbal medicine*, 2016, 47(15): 2579-2591. doi:10.7501/j.issn.0253-2670.2016.15.001.
- [6] 王雪梅. 银杏叶主要成分药理研究进展[J]. 亚太传统医药, 2014, 10(18): 59-60.  
WANG X M. Advances in pharmacological studies on the main components of *Ginkgo biloba* leaves [J]. *Asia-Pacific Traditional Medicine*, 2014, 10(18): 59-60.
- [7] ZHAO L, HU W Z, CHEN C. Research progress of *Ginkgo biloba* extract// Summary of theses of the 14th Annual Conference of Chinese Food Science and Technology Society and the 9th China-US High-level Forum on Food Industry in 2017 [C]. Chinese Institute of Food Science and Technology American Institute of Food Technologies, 2017.
- [8] 何健. 银杏叶的研究进展[J]. 中国药房, 2011, 22(15): 1434-1436.  
HE J. Research progress of *Ginkgo biloba* leaves [J]. *Chinese Pharmacy*, 2011, 22(15): 1434-1436.
- [9] 蒋娅兰. 银杏保健茶的质量控制研究[D]. 广州: 广东药科大学, 2016.  
JIANG Y L. Study on Quality Control of *Ginkgo* Health Tea [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2016.
- [10] 戴玄, 王慧超, 冉景盛, 陈春, 陈今朝. 银杏蜜环保健饮料的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 49-51.  
DAI X, WANG H C, RAN J S, CHEN C, CHEN J Z. Development of *Ginkgo* Honey Environmental Health Beverage [J]. *Food Industry*, 2017, 38(3): 49-51.
- [11] FERDINANDO M D, BRUNETTI C, FINI A, TATTINI M. Flavonoids as antioxidants in plants under abiotic stresses [M]. New York: Springer, 2012:159-179. doi:10.1007/978-1-4614-0634-1\_9.
- [12] WANG L, SHI H, WU J S, CAO F L. Alternative partial root-zone irrigation enhances leaf flavonoid accumulation and water use efficiency of *Ginkgo biloba* [J]. *New Forests*, 2016, 47(3): 377-391. doi: 10.1007/s11056-015-9521-5.
- [13] XU Y, WANG G B, CAO F L, ZHU C C, WANG G Y. Light intensity affects the growth and flavonol biosynthesis of *Ginkgo* (*Ginkgo biloba* L.) [J]. *New Forests*, 2014, 45(6): 765-776. doi:10.1007/s11056-014-9435-7.
- [14] NI J, DONG L X, JIANG Z F, YANG X L, SUN Z H, LI J X, WU Y H, XU M J. Salicylic acid-induced flavonoid accumulation in *Ginkgo biloba*, leaves is dependent on red and far-red light [J]. *Industrial Crops & Products*, 2018, 118:102-110. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.03.044.
- [15] MCKENZIE R L, AUCAMP P J, BAIS A F M, ILYAS M, MADRONICH S. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation [J]. *Photochemical & Photobiological Science*, 2011, 10(2): 182-198. doi: 10.1039/C4PP90032D.
- [16] BERNSTEIN N, SHORESH M, XU Y, HUANG B R. Involvement of the plant antioxidative response in the differential growth sensitivity to salinity of leaves vs roots during cell development [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2010, 49(7): 1161-1171. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.06.032.
- [17] CATHRINE L, UNNI S L, PETER R. Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2008, 31(5). doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01748.x.
- [18] 郭巧生, 王长林. 我国药用植物栽培历史概况与展望[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(17): 3391-3394. doi: 10.4268/cjcm20151712.  
GUO Q S, WANG C L. History and prospect of medicinal plant cultivation in China [J]. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2015, 40(17): 3391-3394. doi: 10.4268/cjcm20151712.
- [19] 聂金娥, 郭庆梅, 王真真, 周凤琴. 施肥与中药材质量相关性研究概况[J]. 辽宁中医杂志, 2014, 41(1): 186-188.  
NIE J E, GUO Q M, WANG Z Z, ZHOU F Q. A survey of the correlation between fertilization and quality of traditional Chinese medicine [J]. *Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2014, 41(1): 186-188.
- [20] 钟霞军, 谈远锋. 土壤因素对道地药材品质影响的研究进展[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1708-1711. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2012.11.1708  
ZHONG X J, TAN Y F. Research progress on the influence of soil factors on the quality of genuine medicinal materials [J]. *Southern Journal of Agriculture*, 2012, 43(11): 1708-1711. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2012.11.1708.
- [21] 梁红. 广东银杏产业发展的思考[J]. 仲恺农业技术学院学报, 1998(3): 58-61.  
LIANG H. Reflections on the development of *Ginkgo biloba* industry in Guangdong [J]. *Journal of Zhongkai Agricultural Technology College*, 1998(3): 58-61.
- [22] 刘世安, 刘树基, 何宜康. 广东土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1993.  
LIU S A, LIU S J, HE Y K. Soil of Guangdong [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [23] 张治钧. 植物微量元素营养与施肥[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1986.  
ZHANG Z J. Nutrition and Fertilization of Plant Trace Elements [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1986.
- [24] 沈锦辉, 邓显明. 南雄、大埔烟区土壤养分缺乏状况分析[J]. 广东农业科学, 1997(2): 30-32.  
SHEN J H, DENG X M. Analysis of soil nutrient deficiency in Nanxiong and Dapu tobacco growing areas [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1997(2): 30-32.
- [25] 王军, 丁效东, 何振峰, 田俊岭, 刘兰, 陈泽鹏. 广东南雄烟区植烟土壤肥力特征及综合评价[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(6): 30-36. doi: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.06.006.  
WANG J, DING X D, HE Z F, TIAN J L, LIU L, CHEN Z P. Soil fertility characteristics and comprehensive evaluation of tobacco-growing areas in Nanxiong, Guangdong [J]. *China Tobacco Science*,



- 2015, 36(6): 30–36. doi: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.06.006.
- [26] 李娜, 刘秀丽, 师二帅. 银杏施肥及土壤管理技术[J]. 现代农村科技, 2015(21): 42. doi: 10.3969/j.issn.1674-5329.2015.21.034.  
LI N, LIU X L, SHI E S. Fertilization and soil management technology of *Ginkgo biloba* [J]. *Modern rural science and technology*, 2015(21): 42. doi: 10.3969/j.issn.1674-5329.2015.21.034.
- [27] 尹燕萍. 施肥对银杏生长及其生理特性的影响[J]. 山西林业科技, 2016, 45(2): 42–44.  
YIN Y P. Effects of fertilization on growth and physiological characteristics of *Ginkgo biloba* [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2016, 45(2): 42–44.
- [28] BRINKMAN J A, BOERNER R E J. Nitrogen fertilization effects on foliar nutrient dynamics and autumnal resumption in maidenhair tree (*Ginkgo biloba* L) [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1994, 17(2–3): 433–443. doi: 10.1080/01904169409364738.
- [29] 王义强, 赵品亚. 湖南银杏资源的分布[J]. 经济林研究, 1993(S1): 239–242.  
WANG Y Q, ZHAO P Y. Distribution of *Ginkgo biloba* resources in Hunan [J]. *Economic Forestry Research*, 1993(S1): 239–242.
- [30] 何方, 王义强, 吕芳德, 张日清, 李建安. 湖南银杏分布区土壤类型的研究[J]. 经济林研究, 1995(3): 1–11, 61.  
HE F, WANG Y Q, LV F D, ZHANG R Q, LI J A. Study on soil types of *Ginkgo biloba* distribution area in Hunan [J]. *Economic Forestry Research*, 1995(3): 1–11, 61.
- [31] 何丙辉, 钟章成. 不同整地施肥措施对银杏构件生长及药用成分的影响[J]. 应用生态学报, 2004(6): 979–982.  
HE B H, ZHONG Z C. Effects of different soil preparation and fertilization measures on the growth of components and medicinal components of *Ginkgo biloba* [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004(6): 979–982.
- [32] 王建, 魏刚. 银杏采叶园施肥效应研究[J]. 林业科技通讯, 1998(3): 23–25.  
WANG J, WEI G. Effects of fertilization on *Ginkgo* leaf-picking garden [J]. *Forestry Science and Technology Newsletter*, 1998(3): 23–25.
- [33] 王怡, 陈建军, 李福君, 罗静. 广东南雄烟区主要植烟土壤类型养分状况分析[J]. 广东农业科学, 2014, 41(1): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2014.01.010.  
WANG Y, CHEN J J, LI F J, LUO J. Nutrient status analysis of main tobacco-growing soil types in Nanxiong tobacco-growing area of Guangdong [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(1): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2014.01.010.
- [34] 王建, 贾玉彬, 张钢民. 银杏种子生长发育过程中营养元素含量相关性分析[J]. 河北林果研究, 1998(1): 49–53.  
WANG J, JIA Y B, ZHANG G M. Correlation analysis of nutrient element content during the growth and development of *Ginkgo biloba* seeds [J]. *Hebei Forest and Fruit Research*, 1998(1): 49–53.
- [35] 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.  
YU W W, CAO F L, XIE Y C. Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and quality of white fruits [J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2013, 33(3): 9–15.
- [36] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.  
LIAO Z J. *Environmental Chemistry and Biological Effects of Trace Elements* [M]. Beijing: China Environmental Science Publication, 1992.
- [37] MATOH T, ISHIGAKI K, OHNO K, JUN-ICHI A. Isolation and characterization of a boron-polysaccharide complex from radish roots [J]. *Plant Cell Physiol*, 1993, 34: 639–642. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078465.
- [38] MATOH T, MASARU K. Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell walls [J]. *J. Plant Res*, 1998, 111: 179–190. doi: 10.1007/BF02507164.
- [39] POWER P P, WOODS W G. The chemistry of boron and its speciation in plants [J]. *Plant Soil*, 1997, 193: 1–13. doi: 10.1023/a:1004231922434.
- [40] 周新富, 涂友保, 王永, 李秋凤. 银杏增施微量元素试验[J]. 林业科技开发, 2008(4): 100–101. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2008.04.030.  
ZHOU X F, TU Y B, WANG Y, LI Q F. *Ginkgo biloba* application of trace elements test [J]. *Forestry Science and Technology Development*, 2008(4): 100–101. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2008.04.030.
- [41] 郁万文, 曹福亮, 吴广亮. 叶面配施镁锌铜对银杏苗木生长和药用品质的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(6): 1214–1221. doi: 10.3969/j.issn.1000-4025.2012.06.022.  
YU W W, CAO F L, WU G L. Effects of foliar application of magnesium, zinc and molybdenum on the growth and medicinal quality of *Ginkgo biloba* seedlings [J]. *Northwest Botanical Journal*, 2012, 32(6): 1214–1221. doi: 10.3969/j.issn.1000-4025.2012.06.022.
- [42] 吴际友. 果用银杏树的配方施肥技术[J]. 林业科技通讯, 1997(2): 36.  
WU J Y. Formula fertilization technology for fruit *Ginkgo* [J]. *Forestry Science and Technology Newsletter*, 1997(2): 36.
- [43] 刘世冬. 南雄银杏生物学特性的初步研究[J]. 热带农业科学, 1999(2): 15–18.  
LIU S D. A preliminary study on biological characteristics of *Ginkgo biloba* in Nanxiong [J]. *Tropical Agricultural Science*, 1999(2): 15–18.
- [44] 冯颖竹, 梁红, 潘伟明, 李伟, 卢水仟. 广东省南雄、和平银杏的物候特征及其与气候因子的关系[J]. 植物资源与环境, 1999(3): 35–39. doi: 10.1017/S0266078400010713.  
FENG Y Z, LIANG H, PAN W M, LI W, LU S Q. Phenological characteristics of Nanxiong and Heping *Ginkgo biloba* in Guangdong Province and their relationship with climatic factor [J]. *Plant Resources and Environment*, 1999(3): 35–39. doi: 10.1017/S0266078400010713.

(责任编辑 杨贤智)