

大田条件下山核桃林地土壤和叶片养分变化规律

童根平^{1,2}, 王卫国^{1,2}, 张圆圆¹, 徐温新^{1,3}, 窦春英¹, 盛卫星¹, 虞青平¹, 叶正钱¹

(1. 浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江清凉峰国家级自然保护区 管理局, 浙江 临安 311321;
3. 陕西省宝鸡市市区河道综合治理委员会, 陕西 宝鸡 721003)

摘要: 对石灰岩母岩土壤山核桃 *Carya cathayensis* 林地开展定位研究。通过对土壤养分及山核桃叶片氮、磷、钾质量分数变化的动态分析测定, 研究山核桃林地土壤养分水平现状及季节性变化, 探讨山核桃叶片养分的变化规律及与土壤养分水平及施肥的关系。结果表明: 与 10 a 前相比较, 山核桃林地土壤氮、磷、钾养分积累明显, 但是土壤酸化严重, 土壤 pH 4.5。对山核桃叶片养分动态分析显示, 随着山核桃的生长、开花、结果和果实膨大直至成熟, 山核桃叶片氮、磷、钾质量分数水平呈现下降的趋势, 叶片氮、磷、钾质量分数分别变幅在 10.6 ~ 15.4, 0.9 ~ 2.2 和 5.2 ~ 11.8 g·kg⁻¹。叶片养分水平与果实之间养分供应源库关系明显。综合分析表明, 目前山核桃林地氮、磷、钾肥料施用过多, 应根据山核桃对养分的需求特点, 控制大量元素肥料的施用量, 加强微量元素肥料的施用, 从而实现稳产高产并提高品质。
表 3 参 18

关键词: 植物营养; 山核桃; 施肥; 土壤养分; 叶片养分

中图分类号: S714.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)04-0516-06

Seasonal changes of soil and leaf nutrient levels in a *Carya cathayensis* orchard

TONG Gen-ping^{1,2}, WANG Wei-guo^{1,2}, ZHANG Yuan-yuan¹, XU Wen-xin^{1,3},
DOU Chun-ying¹, SHENG Wei-xing¹, YU Qing-ping¹, YE Zheng-qian¹

(1. School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;
2. Management Office, Mount Qingliangfeng National Nature Reserve of Zhejiang Province, Lin'an 311321, Zhejiang, China;
3. Committee of River Management in Urban Area of Baoji City, Baoji 721003, Shaanxi, China)

Abstract: To understand current soil nutrient conditions for growth, nutrient status, and relationships between soil nutrients and growth of *Carya cathayensis* in limestone soils, soil samples and corresponding leaf and nut samples were collected from a *C. cathayensis* plantation in Daoshi Town of Zhejiang Province, China. Also, seasonal changes of soil and plant leaf nutrients were analyzed. Results showed that leaf N, P, and K decreased ($P < 0.05$) from flowering to nut maturity regardless of fertilizer topdressings. Thus, fruit is a strong sink for N, P and K nutrients. Soil organic matter and N, P, and K accumulated greatly compared to 10 years before (data from the reference). Soil acidification was serious with soil pH decreasing to 4.5. Because of fertilization, soils generally maintained high levels of available N, P, and K, so responses of N, P, and K in tree leaves were not apparent. Also, even though fertilization provided sufficient nutrients, overdoses of NPK could cause detrimental increases in soil acidity and environmental pollution. Therefore leaf N, P and K recommendations for optimal growth and non-polluting, sustained production are necessary. [Ch, 3 tab. 18 ref.]

收稿日期: 2008-05-23; 修回日期: 2008-08-22

基金项目: 浙江省重大农业科技攻关项目(2005C12032); 浙江林学院科学研究发展基金资助项目(2005FR053)

作者简介: 童根平, 助理工程师, 从事自然保护区资源保护及科研工作。E-mail: tgp200802@yahoo.cn。通信作者:

叶正钱, 教授, 博士, 从事土壤微量元素等研究。E-mail: yezhq@zjfc.edu.cn

Key words: plant nutrition; *Carya cathayensis*; fertilization; soil nutrients; leaf nutrients

山核桃 *Carya cathayensis* 果仁营养丰富, 具有多种营养功效, 是一种优良的保健食品。随着人们生活水平的提高, 山核桃越来越受到广大消费者的青睐, 产品供不应求, 栽植面积也在不断扩大。山核桃已成为产区林农最重要的经济来源。山核桃主产于浙皖交界天目山区石灰岩母岩的土壤上, 临安为中心产区, 临安市的种植面积、产量都约占全国总面积、总产量的 50%; 其中, 临安岛石镇是山核桃最为著名的生产基地, 全镇 7 000 hm² 土地有近 6 000 hm² 为山核桃林地, 有中国山核桃第一镇之称^[1]。但是, 山核桃产量大小年现象严重, 近年来山核桃果仁还出现黑斑的问题, 有黑斑病的果仁味苦, 严重降低山核桃品质, 这些已经严重制约和威胁山核桃产业的可持续发展。山核桃产量大小年现象及果仁黑斑病问题被认为与养分管理密切相关^[2-3]。山核桃林地大多分布于坡陡土薄的山地石灰岩母岩土壤上, 由于经济利益的驱使和科学指导的欠缺, 造成肥料利用率低, 山核桃产投比下降, 不仅存在许多山核桃林地产量大小年不稳的问题, 某些林地的土壤质量也正在变差甚至恶化。所以, 山核桃生产中迫切需要科学施肥及林地养护与培育技术。迄今有关山核桃树木营养需求规律、土壤养分管理及土壤质量监测的研究却非常缺乏, 生产上还无法对山核桃树的生长状况进行及时和准确的营养诊断, 没能建立起科学的施肥技术体系和山核桃林地培育技术。为此, 笔者开展了有关山核桃林地土壤及山核桃树木养分随生长季节变化的初步研究, 为进一步深入开展山核桃林地土壤质量维护、山核桃树木营养诊断与科学施肥奠定基础。

1 材料与方 法

试验地点位于临安市岛石镇, 山核桃林地土壤母质为石灰岩风化物。通过踏勘, 选择树龄、树势一致的山核桃林地。确定后, 根据山核桃生育期生长情况, 分别于 2006 年 5 月 16 日 (幼果形成期)、7 月 6 日 (果实膨大期)、8 月 9 日 (果肉旺盛生长期) 和 9 月 8 日 (果实成熟、采收) 进行山核桃林地植物叶片和果实及对应土壤表层样品 (0 ~ 20 cm) 的采集。采样方法参照 Smith 等^[4]对美国山核桃 *Carya illinoensis* 的研究方法。确定林地后, 再确定 5 株山核桃树作为定点采样株, 在每株树的不同方位采集最幼成熟叶 20 张组成 1 个样品; 在对应采样树的滴水线范围以内, 随机采集 6 个采样点的土壤, 混合后组成 1 个土壤样品; 到果实成熟采收时, 从每采样株的不同部位随机采集 30 颗果实组成 1 个样品。新鲜样品采回后, 经去离子水冲洗干净, 于 70 °C 鼓风烘箱中烘干, 经烘干的样品用高速粉碎机粉碎, 过 1 mm 筛, 备用。新鲜土壤样品经风干, 过 2 mm 筛, 供速效养分测定; 过 0.15 mm 筛, 供土壤有机质和养分全量分析测定。

采用土壤、植物样品常规分析方法进行样品分析^[5]。其中, 土壤氢离子浓度指数 (pH 值) 采用 1 : 1 土液比水提后酸度计测定, 有效磷采用 Olsen 法测定; 植物叶片样品采用浓硫酸-过氧化氢消煮, 消煮液中的氮用凯氏定氮仪测定, 磷用钒钼黄比色法测定, 钾用火焰光度计测定。

试验数据以采样时间为单因素处理, 进行各次采样之间的统计分析和比较, 经显著性差异检验后, 用新复极差法进行进一步的多重比较。

2 结果与分析

2.1 山核桃生长中过程林地土壤基本性质的变化

2.1.1 土壤 pH 值和交换性酸总量 土壤 pH 值是土壤最重要的基本性质之一, 也是影响肥力的主要因素之一, 它直接影响土壤养分的存在状态、转化和有效性, 如 pH 值对土壤中氮素的硝化作用和有机质的矿化等有很大的影响, 对植物的生长发育有直接影响。随着山核桃生育期的变化, 山核桃林地土壤酸度增加, pH 值下降 (表 1), 变幅相差一个 pH 单位, 尤其是在果肉旺盛生长期 (8 月 9 日) 土壤 pH 值降到 4.5; 到果实成熟时土壤 pH 值回升。土壤 pH 值是一个比较容易变化的因子, 在植物生长旺盛时期, 养分吸收速度快, 根系代谢强度高, 加之氮肥以铵态氮为主, 因而这一时期土壤 pH 值下降幅度大。采用 ¹⁵N 同位素对美国山核桃的研究结果表明, 美国山核桃生长前期 (6 月以前) 主要利用

树体内原有储存的氮库,到生长旺盛时期,才开始大量吸收土壤氮素^[6]。

山核桃林地土壤交换性酸总量在山核桃不同生长时期的变化情况与土壤 pH 值的变化一致(表 1),随着春季升温,降水增加,山核桃树木生长代谢的加快,土壤交换性酸总量呈上升趋势,土壤交换性酸最大值达到 $6.7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从 8 月 9 日到 9 月 8 日土壤交换性酸总量呈下降趋势,可能与在果实成熟采收前林地有机肥施用以及植物生长代谢活动减缓有关。总体来说,与 5 a 前的土壤资料(土壤 pH 5.7,交换性酸总量 $0.4 \sim 2.6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)比较^[7],试验地土壤 pH 值已经显著下降,而交换性酸总量显著增加,对山核桃植株生长的影响有待进一步研究。

2.1.2 土壤有机质 土壤有机质是反应土壤肥力高低最重要的指标之一。土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮、磷的重要来源;能吸附较多的阳离子,使土壤具有保肥力和缓冲性,在土壤中起协调土壤条件,供应植物养分等作用。从试验地有机质质量分数来看,山核桃林地土壤有机质比较丰富,为 $15.7 \sim 39.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这与石灰岩母岩有利于土壤有机质的形成有关^[8],石灰岩母岩土壤具有丰富的钙离子,它与有机质相结合保护了有机质^[9-10]。随着山核桃生育期的推进,土壤有机质质量分数呈上升趋势,至入秋时回落(表 1),可能主要是因为林地原有施入有机肥的分解、转化,使得土壤有机质质量分数增加了,盛夏后有机质消耗多,土壤有机质又开始下降,致使山核桃收获时的土壤有机质低于前一次采样。尽管如此,山核桃果实生长期间,土壤有机质的变化并没有达到显著水平(表 1)。

2.1.3 土壤氮、磷、钾全量的变化 氮、磷、钾三要素是植物生长发育最关键的营养元素,尤其是氮,往往是首要的限制因子。土壤氮素被用于衡量土壤的基础肥力,土壤氮绝大部分以有机态形式存在,通常土壤全氮量变化较小。但是,肥料尤其是化肥的大量施用可能直接影响土壤氮水平。从本研究中可以看出,山核桃林地土壤氮、磷、钾全量都很高^[11],土壤全氮变化较大,但是土壤全磷和全钾的质量分数随山核桃生长发育时期的变化则较小(表 2)。

山核桃林地通常施肥 $3 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,分别在开春(3月)、幼果坐果后(6月)和果实采收前后(9月初)施用。由表 2 可以看出,施肥对山核桃林地土壤氮水平变化有较明显的影响。第 1 次、第 2 次和第 3 次采样距离前 1 次施肥有 1~2 个月左右,第 4 次采样(果实收获)时刚刚施过肥料,土壤氮水平明显提高。

自开春后,随着山核桃生长的加快,树体对土壤养分的吸收逐渐加快,6 月施肥对土壤养分的补给,使土壤养分与前一次采样(5 月)之间变化不大,至第 3 次采样(8 月)时土壤氮水平最低;相对而言,土壤磷、钾水平变化微小。土壤氮水平最低显然与植物生长吸收有关^[4],这一时期,山核桃树体需要大量养分;土壤氮水平降低可能还与第 2 次施肥(6 月)以后降水增加,气温升高,促进土壤氮素迁移、转化或淋失等有关^[12],从而表现出第 3、4 次采样之间土壤氮水平差异最大。不同于土壤氮素,土壤对磷、钾的吸附固定能力强,土壤磷、钾也没有挥发损失,因此,通常磷、钾水平变化比土壤氮的变化小。

2.1.4 土壤碱解氮、速效磷、速效钾水平的变化 与土壤氮、磷、钾全量相比,土壤碱解氮、速效磷和速效钾与当季植物的生长更加密切相关,它们易随季节发生变化,能够及时反映近期内土壤养分的供应水平,在施肥管理中意义更大。总体来看,试验地土壤速效养分的供应维持在充足水平^[11],土壤碱解氮、速效磷、速效钾变幅分别为 $104.7 \sim 252.5$, $6.2 \sim 34.4$, $96.8 \sim 231.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

土壤中水解性氮的量供应充足。除了因为 6 月施肥使第 2 次采样(7 月)的土壤水解性氮显著比第一次提高外,随着山核桃的生长,植株生长吸收大量的氮素,消耗大量的土壤氮素,因而土壤水解性氮水平呈下降趋势,尤其是从果实膨大期到果肉旺盛生长期,第 3 次采样与第 2 次采样之间土壤水解

表 1 山核桃林地土壤 pH 值、交换性酸总量及土壤有机质随生长时期的变化

Table 1 Changes of soil pH value, soil exchangeable acid and soil organic matter content with growth of *Carya cathayensis*

采样日期	pH 值	交换性酸总量/($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
05-16	5.43 bB	1.27 aA	21.19 a
07-06	5.17 bAB	2.85 bA	24.11 a
08-09	4.57 aA	4.85 cB	28.29 a
09-08	5.19 bAB	2.35 abA	22.64 a

说明:新复极差法进行多重比较,大、小写字母分别为 0.01, 0.05 显著水平。

表 2 不同时期山核桃林地土壤氮、磷、钾养分水平的变化

Table 2 Variations of levels of soil N, P and K with growth of *Carya cathayensis*

采样日期	全量/(g·kg ⁻¹)			速效养分/(mg·kg ⁻¹)		
	氮	磷	钾	碱解氮	速效磷	速效钾
05-16	2.499 aA	0.426 aA	7.100 a	184.2 bB	7.0 aA	136.6 aA
07-06	2.721 aA	0.491 aAB	7.211 a	234.4 cC	24.5 bBC	140.2 aA
08-09	2.283 aA	0.660 bB	7.205 a	176.5 bB	30.9 cC	203.1 bA
09-08	4.680 bB	0.439 aA	7.537 a	134.9 aA	20.4 bB	153.2 aA

说明: 新复极差法进行多重比较, 大、小写字母分别为 0.01, 0.05 显著水平。

性氮水平下降达 100 mg·kg⁻¹(表 2)。但是, 在整个生育期, 土壤水解性氮都超过 100 mg·kg⁻¹, 说明土壤中水解性氮的量供应充足。

在山核桃生育期间, 土壤速效钾水平保持在 100 mg·kg⁻¹ 以上(表 2), 土壤对植株提供的速效钾充足。但土壤有效磷水平变化大, 变幅相差 5 倍, 以第 1 次采样(5 月)时的土壤有效磷水平最低(7.0 mg·kg⁻¹), 其他各次采样中土壤有效磷维持在 ≥20.0 mg·kg⁻¹, 7 月、8 月和 9 月 3 次采样平均值分别为 24.5, 30.9 和 20.4 mg·kg⁻¹。

2.2 山核桃叶片养分分析

植物生长、发育及产量形成首先取决于氮、磷、钾三要素营养的供应状况, 叶片氮、磷、钾质量分数的变化通常能够灵敏地反应施肥的有效性和植物生长对施肥的反应。随着山核桃的生长、开花、结果和果实膨大直至成熟, 山核桃叶片氮、磷、钾质量分数水平呈现下降的趋势(表 3), 叶片氮、磷、钾质量分数分别变幅为 10.6 ~ 15.4, 0.9 ~ 2.2 和 5.2 ~ 11.8 g·kg⁻¹。叶片氮、磷、钾水平在不同生育期的变化, 不仅与施肥有关, 与植物生长过程中的生理变化、养分需求与分配更为密切。

表 3 不同时期山核桃叶片氮、磷、钾水平状况

Table 3 Seasonal changes of leaf N, P and K concentrations with growth of *Carya cathayensis*

采样日期	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)
05-16	14.56 cB	2.01 cB	9.91 cC
07-06	12.52 bA	1.13 bA	7.93 bB
08-09	11.78 aA	1.05 abA	7.13 bB
09-08	11.21 aA	0.98 aA	5.62 aA

说明: 新复极差法进行多重比较, 大、小写字母分别为 0.01, 0.05 显著水平。

山核桃为落叶树种, 每年开春后, 4 月开始为春梢生长和花器发育期, 在生长期新叶和新梢的生长、开花以及果实的发育同时进行, 生长速度快^[13]。尤其是在幼果形成后, 6 - 8 月幼果膨大期, 营养生长和生殖生长同步旺盛进行, 因而山核桃在这段时期需要消耗大量的养分。随着幼果的膨大、果肉的增加, 果实需要更多的营养元素, 叶片与果实之间源库关系明显, 即使土壤养分供应充足, 由于叶片营养元素向果实输出^[14], 叶片营养元素质量分数水平也有明显下降^[15]。对美国山核桃的盆栽苗期肥料试验表明, 当肥料作为基肥一次性施用, 从 7 月到 10 月, 叶片营养元素质量分数水平也有明显下降; 但若氮肥 2 周追施 1 次, 则随氮肥施用量的增加叶片氮质量分数也随之提高^[16]。

3 讨论

3.1 山核桃林地土壤肥力水平基本状况

从本定位研究的多次土壤采样分析结果来看, 与洪游游等^[11]调查研究的结果相比较, 山核桃林地土壤的基础肥力指标中有机质质量分数与 10 a 前的高产山核桃林地土壤有机质质量分数相当, 而土

壤氮、磷、钾水平比 10 a 前的高产山核桃林地土壤肥力水平高很多,表明近年来的化肥投入明显增加,养分在土壤中积累。但是,另一方面,本研究显示,山核桃林地土壤 pH 值已经明显偏低,尤其是灰岩发育的土壤,其 pH 值通常在中性范围左右及以上。但是,本研究中土壤 pH 值都在 5.4 以下,在生长旺盛期下降到 pH 4.5,土壤酸化严重。

从山核桃不同生育期林地土壤速效养分变化来看,土壤水解性氮和速效钾一直维持在较高的水平,季节间起伏变化不大。但是,土壤有效磷在 5 月第 1 次土壤采样时水平最低,仅为其他各次采样土壤有效磷的 1/4 ~ 1/3。因为 5 月中旬以前山核桃生长代谢速率较慢,主要利用体内原有积累的养分进行生长^[12,17],所以,春节后于 3 月施的第 1 次肥料磷很可能发生转化变为被固定形态了。

因此,在当前施肥和生产管理条件下,山核桃林地土壤质量与山核桃生长的关系亟待明确,施肥和养分管理措施也有待改进,以便发挥肥料功效,维护土壤质量,实现林地可持续经营。

3.2 山核桃林地施肥与山核桃叶片养分反应的关系

从山核桃开始进入开花(5月)直到果实成熟、收获,山核桃叶片中氮、磷、钾质量分数呈递减趋势,尤其是从开花到坐果(7月),叶片养分水平下降显著。从 5-7 月 2 次采样分析显示,叶片氮、磷、钾水平下降分别达到 14.0%、43.8%和 20.0%。因为在整个山核桃生殖生长期,土壤氮磷钾有效养分水平维持在较高水平,在 5-7 月这一时期,土壤氮、钾有效养分还处在增加趋势,有效磷则提高了 3 倍多,因此叶片养分下降显然是由于植物代谢过程源库关系的结果^[14-15],在这一时期,果实形成及体积膨大需要消耗大量养分。此后,在 8-9 月,果实体积膨大速度减缓至定型进入果肉生长期^[13],源库养分供求关系趋于平衡^[15],叶片氮、磷变化趋缓,分别下降了 4.8%和 6.6%;但是,叶片钾水平量的降低比氮、磷更为明显,降低幅度达 26%,这与果肉生长期碳水化合物运输、脂肪合成等代谢需要大量的钾参与相一致,这一结果与美国山核桃的变化趋势一致^[15]。

植物叶片养分变化情况反映了植物生长代谢的需求和土壤养分的供应状况,植物叶片养分分析是用于植物养分丰缺状况诊断最主要的器官,不同植物以及同一植物不同品种,对养分的需求特点不同。美国山核桃叶片氮、磷、钾正常供应水平分别为 21.0 ~ 30.0, 1.0 ~ 1.5, 10.0 ~ 16.0 g·kg⁻¹^[18]。与此相比,临安山核桃叶片磷质量分数变幅与美国山核桃正常磷供应水平相当,但是,叶片氮、钾质量分数比美国山核桃低。由于目前还没有关于临安山核桃营养元素在植物体内质量分数变化的报道,更缺乏山核桃叶片营养水平对施肥反应的研究,目前无法作出在山核桃林地树木养分丰缺的判断。但是,结合土壤速效养分分析和田间叶色观察,在当前大田施肥管理水平下,山核桃氮、磷、钾供应水平偏低的可能性很小。相反,由于林农盲目施肥,土壤氮、磷、钾水平与 10 a 前相比还有了显著的积累^[11],可能会对周边水体环境造成污染,诱发或加剧植物微量元素的不足。因此,山核桃与美国山核桃在养分特别是氮、钾的需求上有较大差异。为了更好地发展山核桃产业,提高肥效,保护生态环境,亟需深入研究山核桃营养诊断与施肥的研究工作。

参考文献:

- [1] 吴伟文, 马耀强, 吴伟志. 论杭州市山核桃产业的发展与对策[J]. 浙江林业科技, 2003, 23 (3): 57 - 60.
WU Weiwen, MA Yaoqiang, WU Weizhi. About development and countermeasures for hickory nut [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2003, 23 (3): 57 - 60.
- [2] 詹森梁, 赵伟明, 叶立前, 等. 临安市山核桃产量大小年特征的时间序列研究[J]. 华东森林经理, 2004, 18 (4): 13 - 16.
ZHAN Senliang, ZHAO Weiming, YE Liqian, et al. Temporal variation of production of *Carya cathayensis* Sarg. in Lin'an County of Zhejiang Province [J]. *East China For Manage*, 2004, 18 (4): 13 - 16.
- [3] 吕惠进. 浙江临安山核桃立地环境研究[J]. 森林工程, 2005, 21 (1) 1 - 3, 6.
LÜ Huijin. The natural stands conditions of *Carya cathayensis* Sarg. in Lin'an County of Zhejiang Province [J]. *For Eng*, 2005, 21 (1) 1 - 3, 6.
- [4] SMITH M W, CHEARY B, CARROLL B. Time of nitrogen application and phosphorus effects on growth, yield, and fruit quality of pecan [J]. *Hort Sci*, 1995, 30 (3): 532 - 534.

- [5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [6] SMITH M W, WOOD B W, RAUN W R. Recovery and partitioning of nitrogen from early spring and midsummer applications to pecan trees [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 2007, **132** (6): 758 – 763.
- [7] 徐祖祥, 盛雪峰, 孙吉林, 等. 临安市山核桃土宜调查与分析——以油黄泥土为例[J]. 杭州科技, 2002 (5): 42 – 43.
XU Zuxiang, SHENG Xuefeng, SUN Jilin, *et al.* Investigation and analysis of soil conditions for optimal growth of *Carya cathayensis* Sarg. in Lin'an City of Zhejiang Province[J]. *Hangzhou Sci Technol*, 2002 (5): 42 – 43.
- [8] 卢玫桂, 曹建华, 何寻阳. 桂林毛村石灰土和红壤元素生物地球化学特征研究[J]. 广西科学, 2006, **13** (1): 58 – 64.
LU Meigui, CAO Jianhua, HE Xunyang. The comparative study of biogeochemistry between limestone soil and red soil in Maocun, Guilin [J]. *Guangxi Sci*, 2006, **13** (1): 58 – 64.
- [9] CLOUGH A, SKJEMSTAD J O. Physical and chemical protection of soil organic carbon in three agricultural soils with different contents of calcium carbonate [J]. *Austr J Soil Res*, 2000, **38** (5): 1005 – 1016.
- [10] GRUNEWALD G, KAISER K, JAHN R, *et al.* Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents [J]. *Organic Geochem*, 2006, **37** (11): 1573 – 1589.
- [11] 洪游游, 唐小华, 王慧. 山核桃林土壤肥力的研究[J]. 浙江林业科技, 1997, **17** (6): 1 – 8.
HONG Youyou, TANG Xiaohua, WANG Hui. Study on soil fertility of *Carya cathayensis* forests [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1997, **17** (6): 1 – 8.
- [12] KRAIMER R A, LINDEMANN W C, HERRERA E A. Distribution of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan: a case study [J]. *HortScience*, 2001, **36** (2): 308 – 312.
- [13] 黎章矩, 钱莲芳. 山核桃科研成就和增产措施[J]. 浙江林业科技, 1992, **12** (6): 49 – 53.
LI Zhangju, QIAN Lianfang. Achievements and measures of increase production of *Carya cathayensis* Sarg. [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1992, **12** (6): 49 – 53.
- [14] ACÚA-MALDONADO L E, SMITH M W, MANESS N O, *et al.* Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 2003, **128** (2): 155 – 162.
- [15] KIM T R, WETZSTEIN H Y. Seasonal fluctuations in nutrients and carbohydrates in pecan leaves and stems [J]. *J Hort Sci Biotech*, 2005, **80** (6): 681 – 688.
- [16] CONNER P. Effect of nitrogen fertigation on first-year pecan seedling growth [J]. *Hort Tech*, 2007, **17** (4): 491 – 495.
- [17] KRAIMER R A, LINDEMANN W C, HERRERA E A. Recovery of late-season ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan [J]. *HortScience*, 2004, **39** (2): 256 – 260.
- [18] POND A P, WALWORTH J L, KILBY M W, *et al.* Leaf nutrient levels for pecans [J]. *HortScience*, 2006, **41** (5): 1339 – 1341.