

临安山核桃主产区土壤 pH 值和有效养分的时空变化

张春苗^{1,2,3}, 张有珍⁴, 姚芳^{1,2}, 张圆圆^{1,2}, 窦春英^{1,5}, 叶正钱^{1,2,3}, 胡国良⁴, 黄坚钦³

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省临安市林业科学研究所, 浙江 临安 311300; 5. 安徽省宁国市农业委员会, 安徽 宁国 242300)

摘要: 于 2007–2008 年在山核桃 *Carya Cathayensis* 主产区临安市岛石镇开展了山核桃林地周年土壤 pH 值和土壤有效养分状况的动态监测和调查研究。结果表明: 随着山核桃的生长和施肥, 易于变化的土壤肥力指标表现出明显的季节性动态波动。其中: 从早春 3 月到山核桃果实成熟期 (9 月) 土壤 pH 值下降明显; 不同山核桃林地之间土壤 pH 值和土壤有效氮磷钾养分水平差异巨大。它们的变幅为: 土壤 pH 4.6~8.2, 土壤有效氮、有效磷、有效钾分别为 50.8~236.2 mg·kg⁻¹, 0.5~40.6 mg·kg⁻¹, 24.8~391.0 mg·kg⁻¹。由于农户之间施肥管理水平不一, 导致土壤 pH 值和养分状况很大的差异, 部分山核桃林地土壤酸化严重, 土壤养分不平衡现象普遍。建议根据土壤养分的实际情况, 平衡施肥, 保障山核桃产业稳步发展。表 5 参 14

关键词: 土壤学; 石灰岩土壤; 土壤有效养分; 土壤酸化; 土壤养分平衡; 山核桃

中图分类号: S714.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)06-0845-05

Temporal and spatial variation of soil pH and nutrient availability for *Carya cathayensis* orchards in Lin'an

ZHANG Chun-miao^{1,2,3}, ZHANG You-zhen⁴, YAO Fang^{1,2}, ZHANG Yuan-yuan^{1,2},
DOU Chun-ying^{1,5}, YE Zheng-qian^{1,2,3}, HU Guo-liang⁴, HUANG Jian-qin³

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Forestry Research Institute of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 5. Agricultural Commission of Ningguo City, Ningguo 242300, Anhui, China)

Abstract: *Carya cathayensis* (Chinese hickory) is a popular nut food tree species in China. To examine soil pH and nutrient availability changes with growing seasons as well as variation in different *C. cathayensis* orchards established in limestone soils, a 1-year field monitoring study was conducted from March 2007 to March 2008. Surface soil samples were collected from 21 orchards in March (before sprouting), July (fruit enlargement) and September (fruit maturity), 2007, and in March (before sprouting), 2008, and soil pH, available nitrogen (N), available phosphorus (P), and available potassium (K) were analyzed. Results showed ranges of 4.6–8.2 for soil pH, 50.8–236.2 mg·kg⁻¹ for available N, 0.5–40.6 mg·kg⁻¹ for available P, and 24.8–391.0 mg·kg⁻¹ for available K. These large ranges for the results indicated that soil properties varied greatly between orchards and changed remarkably with growth seasons as well. Furthermore, over 40% of the

收稿日期: 2011-02-17; 修回日期: 2011-04-06

基金项目: 浙江省科学技术重点项目(2007C12023); 浙江农林大学科学研究发展基金资助项目(2005FR053)

作者简介: 张春苗, 从事土壤学研究。E-mail: dd88zz@163.com。通信作者: 叶正钱, 教授, 博士, 从事土壤与植物营养环境生态等研究。E-mail: yezhq@zafu.edu.cn

soils with pH below 6 and great higher soil available N than soil available P and soil available K in most of the soils indicated that acute soil acidification and imbalance of soil nutrients could be a problem due to long-term intensive management. Thus, there is an urgent need to optimize soil management of *C. cathayensis* orchards to improve soil conditions for sustainable production. [Ch, 5 tab. 14 ref.]

Key words: soil science; limestone soils; soil available nutrients; soil acidification; soil nutrient balance; *Carya cathayensis*

山核桃 *Carya cathayensis* 是中国特有的干果和木本油料作物, 是一种经济价值极高的树种, 也被认为是一种能源植物, 主要分布于浙皖交界的山区, 29~30°N, 118~120°E, 90%以上的山核桃生长于石灰岩土壤上^[1]。浙江省临安市昌化地区是山核桃的主要分布与生产加工区域, 其栽植面积和产量都占了全国总量的约 50%^[2]。山核桃产业是产区农民的主要经济来源。随着山核桃产业的大力发展, 经营强度加大, 施肥水平不断提高, 加上绝大多数林地仅施化肥, 近年来山核桃生产中出现了较多问题, 如山核桃病虫害加剧, 植株生长异常, 甚至连片死亡等。这些后果被认为与高强度集约经营特别是大量化肥长期施用分不开, 特别是氮肥过多易致病虫害加剧^[3-4]。土壤肥力状况是维持农林业生产的基础, 其中土壤pH值和土壤速效氮磷钾是易于变化的土壤肥力指标, 它们与当季植物的生长最为密切相关。为此, 在已有研究工作基础上^[3], 笔者在临安市山核桃主产区开展了土壤肥力性质的调研和监测, 探讨当前山核桃林地土壤肥力的季节变化以及土壤养分丰缺情况, 为山核桃合理施肥和土壤改良提供科学依据。

1 材料与方 法

研究区位于临安市西北部山区的岛石镇, 是临安市著名的“山核桃之乡”, 地处浙江与安徽交界的石灰岩地区。选择发育于石灰岩母岩, 树龄为 60~70 a, 树高 12~15 m 的 21 个不同农户的山核桃林地进行土壤调查和采样。不同农户的山核桃林地面积不等, 小的有近 1 000 m², 大的有 4 000 m², 面积在 1 000~3 000 m² 的林地数量占 75%。与当地绝大多数林农相同, 这些林地的林农多年来也一直仅施用有机肥, 最近数年都施用氮磷钾复合肥(15:15:15), 采用肥料撒施的方式进行林下施肥。不同农户之间施肥水平相差很大。2007 年, 施肥量为 0.75~4.85 kg·株⁻¹, 其中, 70%的林地施肥量为 2.00~4.00 kg·株⁻¹。肥料分 2~3 次施用, 各次施肥量基本相等, 60%的林地分 2 次施, 第 1 次在开春后的 3 月底至 4 月初, 第 2 次在 6 月中旬, 第 3 次是在 9 月山核桃采收前夕。有鉴于此, 笔者分别于 2007 年 3 月(山核桃树发芽之前, 尚未施肥), 7 月(果实膨大期), 9 月(果实成熟采收期, 施肥后)和 2008 年 3 月(施肥之前)在同一块样地进行土壤样品的采集, 对每一块林地土壤进行多点采样。因石灰岩地区土层浅薄, 山核桃许多主根都裸露在地表, 侧根主要分布在土壤 0~10 cm 的空间。因此, 取 0~20 cm 土壤, 混合后组成 1 个土壤样品。土壤样品经风干后过 2 mm 筛, 供土壤 pH 值和土壤有效氮磷钾养分的测定。

采用土壤常规分析方法进行样品分析^[5]。土壤 pH 值经 1:5 土水比浸提-pH 计电位法测定, 土壤有效氮、有效磷、有效钾分别采用碱解扩散法、Olsen 法和醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

采用 SPSS 10.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤酸碱度(pH 值)

由于施肥、植物养分吸收等的影响, 土壤 pH 值随季节变化而变(表 1)。在山核桃不同生理期, 从山核桃休眠末期(3 月)到生长旺盛的果实膨大期(7 月), 土壤 pH 值略有下降, 但是差异不显著。而到果实成熟期(9 月), 土壤 pH 值下降明显。这与笔者 2006 年的研究结果一致^[3]。但是, 不同林地土壤 pH 值变化的幅度不一样。随着山核桃的生长, 土壤 pH 值下降的林地所占比例明显提高。如, 2007 年 3 月有 60.0%的林地土壤酸碱度大于 pH 6.0, 到 7 月和 9 月分别只有 38.9%和 9.5%; 土壤酸碱度低于 pH 6.0 的林地大为增加(表 2)。经过冬季休闲, 低 pH 值的林地土壤 pH 值有所提高, 因而, 与 2007 年 9 月相比, 2008 年 3 月份的林地中土壤 pH=5~6 的林地由 61.9%上升为 76.2%。尽管如此, 从 2 a 的统计分析来看, 2008 年的土壤 pH 值比 2007 年还是显著下降($P<0.05$, 表 1)。

从空间分布来看,不同山核桃林地之间土壤 pH 值差异巨大。2007 年 3 月份土壤 pH 值最大与最小值相差超过 3 个单位(表 2)。若以开春施肥前(3 月)的林地土壤性质作为土壤性质基本状况,从 2007 年和 2008 年的土壤采样分析结果来看,与自然形成的石灰岩土壤原有的土壤 pH 值及全国第 2 次土壤普查时该地区山核桃林地的土壤 pH 值相比(资料来源:《临安土壤志》,1984)。许多山核桃土壤的 pH 值明显下降,许多林地土壤酸碱度小于 pH 6.0, pH 5.0 以下的林地超过 10%(表 2)。参照《浙江土壤》^[6]进行土壤分级,以开春前的土壤肥力性质代表土壤肥力的基本状况,可知,大部分山核桃林地土壤属二级和三级。最适山核桃生长的土壤 pH 值为微酸性及以上^[6]。因此,有许多林地土壤酸化严重。

2.2 土壤有效氮磷钾养分变化

土壤有效氮、有效磷、有效钾也是容易变化的土壤肥力因子,它们在土壤中的水平反应了土壤养分供应强度情况,若质量分数低,就不能满足植物生长发育的需要甚至导致减产。与土壤 pH 值一样,有效氮、有效磷、有效钾养分水平的季节性变化大,不同山核桃林地之间土壤有效养分水平也相差甚远,某些山核桃林地土壤有效养分水平甚低,特别是氮、钾(表 3~5)。但是,2007 年 3 月和 2008 年 3 月之间没有显著差异($P < 0.05$)(表 1)。在山核桃生长旺盛时期(2007 年 7 月),大多数山核桃林地土壤氮质量分数大于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;而许多林地土壤的有效磷水平则较低,有 80%的林地土壤有效磷小于 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;土壤有效钾则全都超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因在山核桃成熟采收前许多林农要进行施肥,因此,2007 年 9 月份土壤各有效养分水平回升。但是,经过一个冬季后,土壤有效养分水平又显著回落,2007 年 9 月份时大多数林地土壤拥有较高水平的有效氮磷钾养分,而到 2008 年 3 月时大为下降,参照《浙江土壤》^[6]的土壤分级,许多林地土壤有效养分水平偏低或很低(表 3~5)。

3 结论与讨论

3.1 土壤酸碱度(pH 值)动态变化

土壤酸碱度(pH 值)和土壤有效氮、有效磷和有效钾养分水平状况是直接影响到当季植物生长的关键土壤环境条件。土壤 pH 值状况影响土壤养分的存在形态、转化和有效性。从土壤 pH 值和土壤有效氮、有效磷和有效钾养分水平动态变化幅度不同来看,特别是在山核桃生长旺盛的 7~9 月,土壤酸化显著,可能与这一时期山核桃的代谢特别是氮素吸收分泌酸性物质强烈有关。因这一时期山核桃营养生长和生殖生长都旺盛,需要消耗大量的氮素,植物吸收铵态氮而向环境分泌酸。由于最适山核桃生长的土壤 pH 值为微酸性及以上^[6],而通过 1 a 的动态监测可知,大多数山核桃林地土壤 pH 值已经非常低,因此,需要开展土壤酸化治理。

3.2 土壤有效养分动态变化

土壤有效养分是易于变化的养分强度指标,直接供给植物生长对养分的需求,因而土壤有效氮、有效磷和有效钾养分水平的动态变化能够及时反映近期内土壤养分的供应状况,用于判断土壤养分的丰缺,指导施肥管理。从山核桃萌芽后到果实成熟这一山核桃生育期间,山核桃的生长代谢活动需要大量

表 1 山核桃不同生育期土壤性质的差异

Table 1 Changes of soil properties with growth of Chinese hickory trees

| 采样时间/ (年-月) | pH 值 | 有效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 有效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) |
|----------------|-------------|--|--|--|
| 2007-03 | 6.18±0.84 b | 126.5±34.6 bc | 3.0±3.4 a | 91.6±32.0 a |
| 2007-07 | 6.03±0.60 b | 121.7±18.3 b | 3.5±4.6 a | 87.7±21.3 a |
| 2007-09 | 5.33±0.48 a | 238.4±44.8 a | 11.2±10.3 cd | 158.0±85.9 b |
| 2008-03 | 5.44±0.49 a | 119.7±57.2 b | 5.9±7.0 ac | 93.0±68.4 a |

说明:表中数值系平均值±标准差;同一列数据不同字母表示达到 5% 显著性水平差异。

表 2 山核桃不同生育期林地土壤 pH 值状况及其等级分布

Table 2 Change of soil pH with growth season and its grading distribution among the Chinese hickory orchards

| 采样时间/ (年-月) | pH 值变 幅范围 | 林地土壤 pH 等级分布/% | | | |
|----------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | | 一级 ($< \text{pH} 5.0$) | 二级 ($\text{pH} 5.0 \sim 6.0$) | 三级 ($\text{pH} 6.0 \sim 7.0$) | 四级 ($> \text{pH} 5.0$) |
| 2007-03 | 5.00~8.15 | 10.0 | 30.0 | 55.0 | 5.0 |
| 2007-07 | 5.13~7.25 | 0 | 61.1 | 33.9 | 5.0 |
| 2007-09 | 4.55~6.41 | 28.6 | 61.9 | 9.5 | 0 |
| 2008-03 | 4.61~6.82 | 14.3 | 76.2 | 9.5 | 0 |

的养分, 土壤有效养分状况是否满足植物养分需求或供过于求, 直接关系到山核桃产量和肥料利用率。林农一般都在3月底山核桃发芽前和6月山核桃开始果实膨大时各施1次化肥, 在9月果实成熟时采摘前后再施1次化肥。3月和7月的土壤有效氮水平没有显著差异(表1), 表明多数林农施肥能够满足山核桃生长的需要。但是, 从同一时期不同林地之间的土壤有效氮水平的差异可以看出(表3), 2007年3月和7月不同农户林地间土壤有效氮水平相差都超过1倍, 这意味着高水平土壤有效氮的林地很可能会因肥料施用偏多而浪费。9月的林地土壤有效氮显著高于7月, 这与在9月份果实成熟期采样前施用过化肥有关。从表4可以看出: 此时林地土壤有效氮最高的达到 $352.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最低的也有 $174.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。但是, 及至来年开春前, 土壤有效氮显著下降, 最低的降至 $50.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表3 山核桃不同生育期林地土壤有效氮状况及其等级分布

Table 3 Distribution of soil available nitrogen among the Chinese hickory orchards

| 采样时间/ (年-月) | 有效氮变幅范围/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 林地土壤有效氮等级分布/% | | | |
|----------------|--|---|--|---|--|
| | | 一级(有效氮 $<80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 二级(有效氮 $80\sim 100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 三级(有效氮 $100\sim 200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 四级(有效氮 $>200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
| 2007-03 | 86.6~195.1 | 0.0 | 29.4 | 70.6 | 0.0 |
| 2007-07 | 91.0~161.9 | 4.7 | 4.8 | 90.5 | 0.0 |
| 2007-09 | 174.1~351.8 | 0.0 | 0.0 | 9.5 | 90.5 |
| 2008-03 | 50.8~236.2 | 38.1 | 9.5 | 38.1 | 14.3 |

表4 山核桃不同生育期林地土壤有效磷状况及其等级分布

Table 4 Distribution of soil available phosphorus among the Chinese hickory orchards

| 采样时间/ (年-月) | 有效磷变幅范围/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 林地土壤有效磷等级分布/% | | | |
|----------------|--|--|--|---|---|
| | | 一级(有效磷 $<5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 二级(有效磷 $5\sim 10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 三级(有效磷 $10\sim 20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 四级(有效磷 $>20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
| 2007-03 | 0.5~13.4 | 76.5 | 18.7 | 4.8 | 0.0 |
| 2007-07 | 0.5~15.1 | 79.9 | 9.5 | 10.6 | 0.0 |
| 2007-09 | 0.5~40.6 | 33.3 | 23.9 | 23.8 | 19.0 |
| 2008-03 | 1.5~27.4 | 71.7 | 14.3 | 4.8 | 9.2 |

表5 山核桃不同生育期林地土壤有效钾状况及其等级分布

Table 5 Distribution of soil available potassium among the Chinese hickory orchards

| 采样时间/ (年-月) | 有效钾变幅范围/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 林地土壤有效钾等级分布/% | | | |
|----------------|--|---|---|--|--|
| | | 一级(有效钾 $<50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 二级(有效钾 $50\sim 80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 三级(有效钾 $80\sim 120 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 四级(有效钾 $>120 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
| 2007-03 | 59.2~190.0 | 0.0 | 38.1 | 33.3 | 28.6 |
| 2007-07 | 58.0~183.0 | 0.0 | 33.3 | 66.7 | 0.0 |
| 2007-09 | 40.0~391.0 | 4.8 | 9.5 | 28.6 | 57.1 |
| 2008-03 | 24.8~298.2 | 19.0 | 33.3 | 33.3 | 14.3 |

土壤有效磷、有效钾的动态变化趋势与有效氮类似。但是, 在山核桃树生长期, 许多林地土壤有效磷水平较低, 在山核桃旺盛生长的7月有80%的林地土壤有效磷低于 $5.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表4)。这是大多数大田作物缺磷的土壤有效磷水平^[5]。缺磷时将导致山核桃叶片光合作用下降, 植株生长明显受阻^[7], 从而导致减产。

在2007年9月至2008年3月的秋冬季节, 从9月山核桃采收及进入深秋后到翌年春天之间, 树体代谢下降, 养分吸收能力减小, 而土壤有效养分下降却极为显著。9月施肥后的土壤养分, 除部分被山核桃吸收外, 山核桃林地土壤有效养分下降可能主要与养分在土壤中的转化有关, 特别是石灰岩土壤磷易于被固定而有效性下降^[8-9]。由于山核桃生长地区坡陡土薄, 加之山核桃为落叶植物、冬季地表植被覆盖

少, 因此, 养分随水土流失的损失也可能是土壤有效养分下降的重要原因。

对 2007 年 3 月至 2008 年 3 月周年土壤动态监测的结果表明: 研究区山核桃林地土壤 pH 值和土壤有效养分时空变化差异巨大, 土壤酸化、土壤养分不平衡现象需要引起高度重视。从不同生育期山核桃林地土壤养分动态分析来看, 在当前施肥措施下, 参照《浙江土壤》的养分等级指标, 大多山核桃林地土壤氮磷钾养分供应不平衡, 许多林地土壤的磷和钾水平可能偏低。由于目前关于山核桃土壤养分、施肥与山核桃生长和产量关系方面的研究还极为缺乏, 与之同一属的有关美国山核桃 *Carya illinoensis* 的土壤肥料研究成果(如 Smith 等¹⁰⁻¹²)因植物习性、立地条件等的差异, 又只能仅供参考; 加之当前施肥水平和产量水平普遍比 20 世纪大为提高后, 生产上山核桃出现病害加剧等问题被认为与长期化肥施用引起土壤质量退化有关^[3,13-14], 因此, 产区林地土壤性质包括 pH 值和养分等的动态监测及其影响机制有待于深入研究, 探明肥料施入土壤后的转化和去向, 明确土壤养分丰缺指标, 运用测土配方施肥技术进行合理施肥, 从而更好地调控山核桃的植物营养状况, 提高肥料利用率, 改善土壤条件, 促进山核桃产业稳步发展。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 童根平, 王卫国, 张圆圆, 等. 大田条件下山核桃林地土壤和叶片养分变化规律初探[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (4): 516 - 521.
TONG Genping, WANG Weiguo, ZHANG Yuanyuan, et al. Seasonal changes of soil and leaf nutrient levels in a *Carya cathayensis* orchard [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (4): 516 - 521.
- [4] 慕康国, 赵秀琴, 李健强, 等. 矿质营养与植物病害关系研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2000, **5** (1): 84 - 90.
MU Kangguo, ZHAO Xiuqin, LI Jianqiang, et al. Progressing on the relation between mineral nutrients and plant disease [J]. *J China Agric Univ*, 2000, **5** (1): 84 - 90.
- [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] 俞震豫. 浙江土壤[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1994.
- [7] 李永夫, 金松恒, 叶正钱, 等. 低磷胁迫对山核桃幼苗根系形态和生理特征的影响[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (2): 239 - 245.
LI Yongfu, JIN Songheng, YE Zhengqian, et al. Root morphology and physiological characteristics in *Carya cathayensis* seedlings with low phosphorus stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (2): 239 - 245.
- [8] 吴建国. 土壤有机碳和氮分解对温度变化的响应趋势与研究方法[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (12): 2896 - 2904.
WU Jianguo. Responses of soil organic carbon and nitrogen decomposition to changing temperature and related research methods: a review [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (12): 2896 - 2904.
- [9] 刘建玲, 张凤华. 土壤磷素化学行为及影响因素研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2000, **23** (3): 36 - 45.
LIU Jianling, ZHANG Fenghua. The progress of phosphorus transformation in soil and its influencing factors [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2000, **23** (3): 36 - 45.
- [10] SMITH M W, CHEARY B, CARROLL B. Time of nitrogen application and phosphorus effects on growth, yield, and fruit quality of pecan [J]. *HortScience*, 1995, **30** (3): 532 - 534.
- [11] SMITH M W, CHEARY B S, CARROLL B L. Response of pecan to nitrogen rate and nitrogen application time [J]. *Hortsci*, 2004, **39** (6): 1412 - 1415.
- [12] 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 Am Soc Hort Sci*, 2007, **132** (6): 758 - 763.
- [13] 高宇列, 沈月琴, 黄坚钦, 等. 中国山核桃产业成长阶段分析[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2010, **9** (2): 136 - 140.
GAO Yulie, SHEN Yueqin, HUANG Jianqin, et al. Growth stages of hickory industry in China [J]. *J Beijing For Univ Soc Sci*, 2010, **9** (2): 136 - 140.
- [14] 徐江森. 山核桃施肥的经济效益分析[J]. 浙江林学院学报, 1990, **7** (3): 276 - 279.
XU Jiangsen. Economic analysis of applying fertilizer to *Carya cathayensis* forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1990, **7** (3): 276 - 279.