

# 疏伐和施肥对红花荷生态景观林土壤生化性质的影响\*

苏木荣<sup>1</sup> 邹晓君<sup>2</sup> 何海生<sup>1</sup> 杨 徽<sup>1</sup>  
王 宁<sup>1</sup> 谭 莎<sup>1</sup> 王 敏<sup>1</sup> 薛 立<sup>2</sup>

(1. 佛山市云勇生态林养护中心, 广东 佛山 528518; 2. 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

**摘要** 疏伐和施肥是提高土壤肥力最有效的措施, 被广泛用于中国的人工林。为了研究疏伐和施肥对红花荷 *Rhodoleia championii* 生态景观林土壤肥力的效果, 在红花荷生态景观林建立对照 (CK)、疏伐+施肥和疏伐3个样地, 研究疏伐+施肥和疏伐措施对土壤生化性质的影响。结果表明, 红花荷林土壤各处理间的有效磷、全钾和速效钾、脲酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶存在显著差异, 施肥+疏伐显著提高了土壤的磷含量, 疏伐显著提高了土壤全钾含量。由于施肥改善了土壤肥力, 使土壤微生物和植物根系减少了酶的分泌量, 因此疏伐+施肥处理的土壤酶活性下降。总体来看, 疏伐施肥显著提高了土壤的磷含量, 而疏伐显著提高了土壤全钾含量。

**关键词** 红花荷; 施肥疏伐; 土壤养分; 土壤酶

中图分类号: S153.6 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2020) 06-0058-05

## Effects of Thinning and Fertilizing on Soil Biochemical Properties in A *Rhodoleia championii* Ecological Landscape Forest

SU Murong<sup>1</sup> ZOU Xiaojun<sup>2</sup> HE Haisheng<sup>1</sup> YANG Hui<sup>1</sup>  
WANG Ning<sup>1</sup> TAN Sha<sup>1</sup> WANG Min<sup>1</sup> XUE Li<sup>2</sup>

(1. Maintenance Center of Yunyong Ecological Forest, Foshan, Guangdong 528518, China; 2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

**Abstract** Thinning and fertilizing are the most effective tending measurements in improving soil fertility of plantations, which are widely used in plantations in China. In order to examine the effects of thinning and fertilizing measures on soil fertility in Foshan city, southern China, three plots treated with control (CK), thinning+fertilizing and thinning were established in a *Rhodoleia championii* ecological landscape forest, respectively. The effects of thinning and thinning+fertilizing on soil fertility were compared with control (CK). Result showed that there were significantly differences in the soil available phosphorus, total potassium, available potassium, urease, acid phosphoric enzyme and catalase activities among the three plots, suggesting that the soil phosphorus content and total potassium content of the *R. championii* plantation was significantly improved by thinning +fertilizing and thinning measures, respectively. Fertilizing improved the soil fertility, which decreased the secretory quantity of soil enzyme of microorganisms and plant roots, resulting in a decrease of enzyme activity.

**Key words** *Rhodoleia championii*; thinning and fertilizing; soil nutrient; soil enzyme

\* 基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目 (2015-GDTK-07), 佛山市科学技术局项目 (2017AB004124)。

第一作者: 苏木荣 (1971—), 男, 工程师, 主要从事森林生态学研究, E-mail: sumurong3@126.com。

通信作者: 薛立 (1958—), 男, 教授, 主要从事森林培育和生态学研究, E-mail: forxue@scau.edu.cn。

红花荷 *Rhodoleia championii* 属于金缕梅科的常绿乔木，原产于中国南部，是著名的庭园观赏树种。广东省佛山市高明云勇生态林养护中心于2002年栽植了以红花荷为主要树种的生态景观林。由于林分密度过大，林木个体随着生长对土壤养分的竞争日趋激烈。疏伐可以通过扩大保留木的营养空间而促进森林的生长，施肥则可以提高土壤肥力。土壤有机质含有大量的元素，土壤氮(N)和磷(P)对树木生长有重要影响，而土壤酶在森林凋落物分解和土壤养分的转化中起重要作用，这些指标可以综合反映土壤肥力。目前有少量疏伐影响森林土壤的研究，例如王成等<sup>[1]</sup>研究认为，疏伐促进了森林土壤养分释放与土壤肥力恢复。赵朝辉等<sup>[2]</sup>的研究表明，疏伐通过改善林内环境和加速凋落物分解，提高了土壤肥力。林婉奇等<sup>[3]</sup>研究了氮肥和磷肥对樟树 *Cinnamomum camphora* 幼苗土壤的短期影响，发现氮肥处理的土壤有机质和N含量的变化规律不明显，磷肥提高了幼苗土壤全P和有效P含量增加。冯慧芳等<sup>[4,5]</sup>报道，氮肥显著提高了大叶相思 *Acacia auriculiformis* 林土壤的全N和碱解N含量，抑制了土壤脲酶和过氧化氢酶活性，而磷肥显著提高了显著提高了土壤有机质、全P、有效P含量和过氧化氢酶活性，却降低了土壤磷酸酶活性。

尽管前人对红花荷的遗传<sup>[6]</sup>、组织培养<sup>[7]</sup>、扦插繁殖<sup>[8]</sup>、育苗技术<sup>[9]</sup>、生长<sup>[10]</sup>、花形态<sup>[11]</sup>、生理<sup>[12]</sup>、抗污染特性<sup>[13]</sup>和群落特征<sup>[14]</sup>有过研究，尚未见到红花荷林疏伐、施肥的报道。2017年云勇生态林养护中心对红花荷生态景观林进行疏伐、施肥抚育，以提高其生态功能和景观效益。华南农业大学和云勇生态林养护中心以红花荷生态景观林为研究对象，联合开展疏伐和施肥对土壤肥力影响的研究，以便为生态景观林管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

试验地位于广东省佛山市高明区云勇生态林养护中心(112°40'E, 22°53'N)，属于亚热带季风气候，年均降雨量2100 mm，主要集中在夏季。试验地属丘陵地形，土壤为花岗岩发育的酸性赤红壤。2017年15年生红花荷林的平均胸径为8.3 cm，平均树高为11.0 m，郁闭度为0.9，林分密度为1500株/hm<sup>2</sup>。林下主要植物有乌毛蕨 *Blechnum orientale*、玉叶金花 *Mussaenda philippica*、鲫鱼胆 *Maesa perlaris*、弓果黍 *Cyrtococcum patens*和刚莠竹 *Microstegium ciliatum*。对照、疏伐+施肥和疏伐3种处理的样地概况见表1。

### 1.2 研究方法

2017年12月在红花荷生态景观林分别建立3块面积为20 m×20 m的疏伐和疏伐+施肥处理的样地，另选未处理的3块20 m×20 m样地作为对照(CK)。疏伐按照“疏小留大，照顾均匀”的原则，疏伐后保留木密度为750株/hm<sup>2</sup>。疏伐+施肥样地在林分疏伐后，保留木施芬兰精制有机肥5 kg/株和钙镁磷肥1 kg/株。在树木上坡位挖深度为15-20 cm、半径为100 cm的半月沟，将有机肥和钙镁磷肥混合施入半月沟，施肥后覆土。

2019年12月在各样地用五点采样法按梅花点分布采集0-40 cm土壤层的土样，密封带回实验室，测定土壤的化学性质及酶活性。

### 1.3 土壤生化性质测定

土壤pH、有机质、碱解氮和速效钾含量分别用GB 7859—87的电位法、GB 7857—87的重铬酸钾氧化—外加加热法、GB 7849—87的碱解—扩散法和GB 7856—87的1 mol·L<sup>-1</sup>乙酸铵浸提—火焰光度法测定。土壤全氮、全钾和有效磷含量分

表1 样地基本情况

Table 1 General condition of the experimental plots

样地 Plots	造林时间 Forestation time	海拔/m Elevation	坡向 Aspect	坡度 Slope	郁闭度 Canopy density
对照 CK	2002年	132	SW 58°	10°	0.9
疏伐+施肥 Thinning+fertilizing	2002年	122	NW 48°	5°	0.9
疏伐 Thinning	2002年	125	NW 57°	9°	0.9

别用半微量凯氏法、火焰光度计和  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  碳酸氢钠法测定测定；用氢氧化钠碱熔法将土壤样品溶融后提取待测液，用钼蓝比色法测全磷<sup>[15]</sup>。

脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性分别用扩散法、磷酸苯二钠比色法和高锰酸钾滴定法测定<sup>[16]</sup>。

#### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2013 软件进行试验数据统计和图表制作，用 SPSS 21.0 软件中的 Duncan's 法进行多重比较，显著性水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果分析

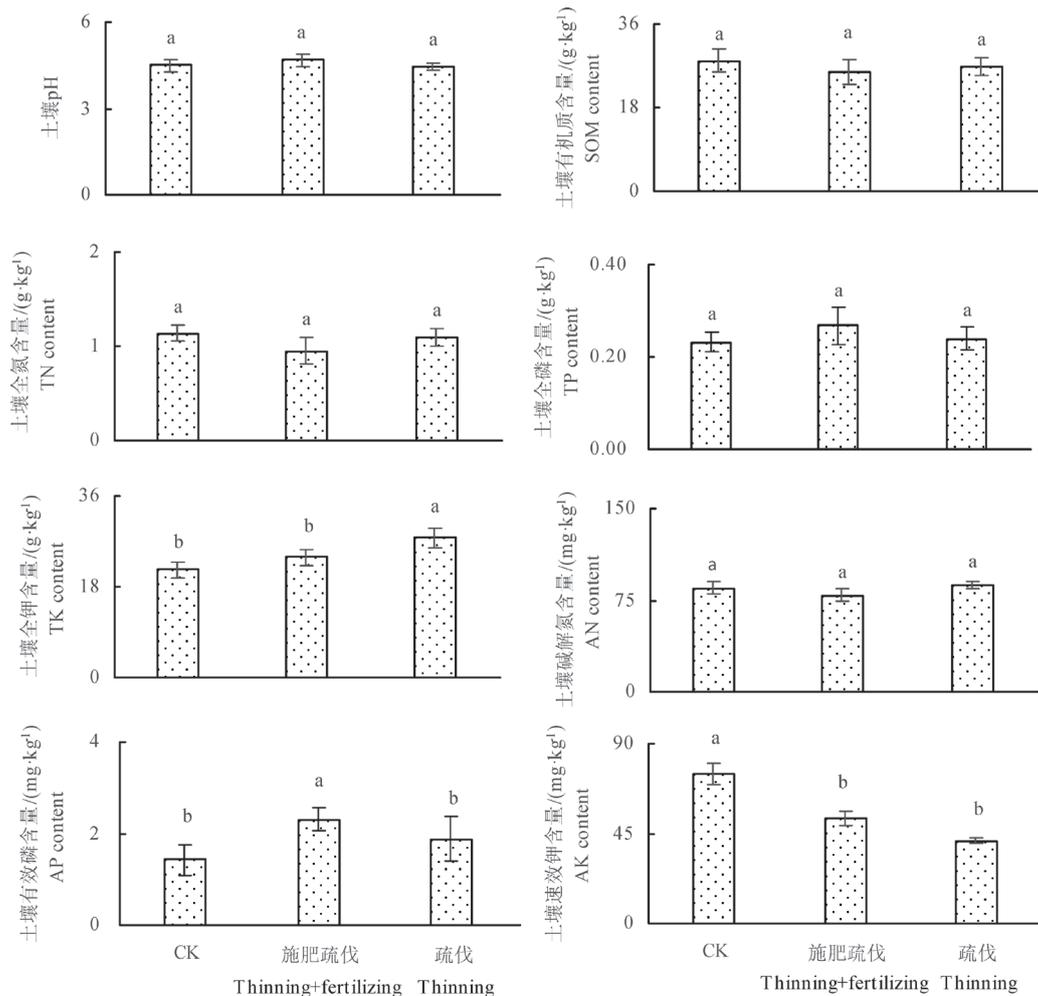
### 2.1 土壤养分

CK、疏伐+施肥和疏伐处理的土壤 pH 分别为 4.49、4.68 和 4.47，属强酸性土壤（图 1）。土壤有机质为 CK ( $28.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 疏伐处理 ( $26.84 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) >

疏伐+施肥处理 ( $25.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )，各处理间无差异显著（图 1）。

CK、疏伐+施肥处理和疏伐处理的土壤全氮分别为 1.14、0.95 和  $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，三者间无显著差异（图 1），土壤全磷则为疏伐+施肥处理 ( $0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 疏伐处理 ( $0.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > CK ( $0.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )（图 1），各处理间的全氮或全磷无显著差异。疏伐处理 ( $27.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的土壤全钾显著大于 CK ( $21.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和疏伐+施肥处理 ( $23.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ )（图 1）。

土壤碱解氮按照疏伐处理 ( $87.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、CK ( $85.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和疏伐+施肥 ( $78.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的顺序下降，各处理之间无差异显著（图 1）。疏伐+施肥处理 ( $2.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 的土壤有效磷显著大于 CK ( $1.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和疏伐处理 ( $1.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ )

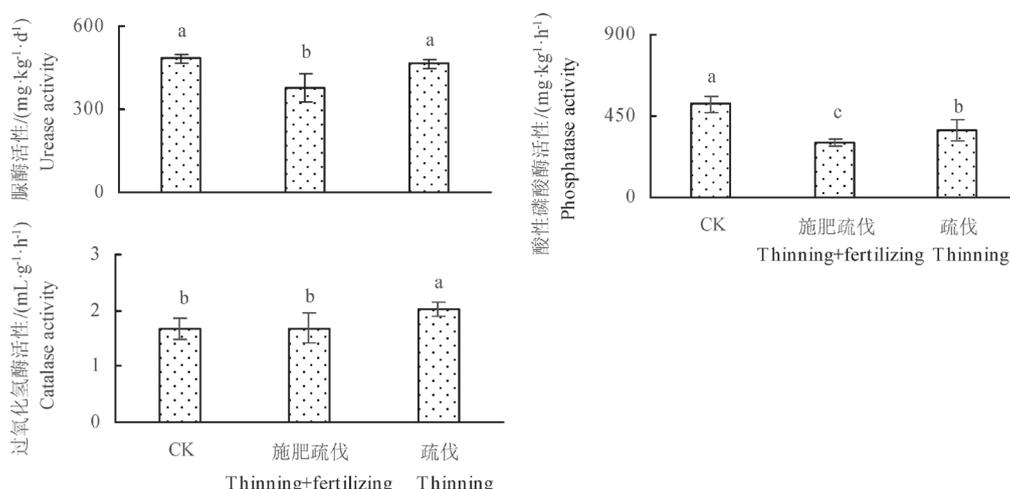


注：不同小写字母表示不同处理间差异显著， $P < 0.05$ 。

Note: different small letters indicate significant differences among different treatments.

图 1 土壤化学性质

Fig.1 Soil chemical properties



注：不同小写字母表示不同处理间差异显著， $P < 0.05$ 。

Note: different small letters indicate significant differences among different treatments.

图2 土壤酶活性(平均值 ± 标准差)

Fig.2 Soil enzyme activities

(图1)，而CK的土壤速效钾 ( $74.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 显著大于疏伐+施肥处理 ( $52.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和疏伐处理 ( $41.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ ) (图1)。

## 2.2 土壤酶

CK、疏伐+施肥和疏伐处理的土壤脲酶活性分别为  $483.76$ 、 $377.15$  和  $463.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，CK和疏伐+施肥处理显著大于疏伐处理 ( $P < 0.05$ ) (图2)。CK的土壤磷酸酶活性 ( $513.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 显著大于疏伐处理 ( $370.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )，后者显著大于疏伐+施肥处理 ( $304.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )，不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图2)。CK、疏伐+施肥和疏伐处理的土壤过氧化氢酶活性分别为  $1.67$ 、 $1.69$  和  $2.01 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ ，疏伐+施肥处理显著大于CK和疏伐处理 ( $P < 0.05$ ) (图2)。

## 3 讨论

疏伐+施肥处理提高了土壤pH，因为土壤中的钾离子随着有机肥的输入而增加，导致土壤中的酸性被中和<sup>[17]</sup>，因此土壤pH升高<sup>[18]</sup>。疏伐+施肥处理降低了土壤有机质，这与李艳鹏等<sup>[19]</sup>的研究一致。施肥可以加速土壤有机质的矿化，使土壤碳源减少<sup>[20]</sup>，不利于土壤有机质的积累。

疏伐处理、特别是疏伐+施肥处理减少了土壤全氮和碱解氮含量。疏伐增加了保留木的营养空间，施肥增加了土壤养分，特别是土壤无机磷的增加幅度大，促进了林木的生长，提高了林木对土壤磷的吸收，也加快了对土壤氮的吸收，以

保持林木的氮磷比例平衡，因而可能引起土壤氮含量下降。朱丛飞等<sup>[21]</sup>也报道施磷肥增加吸收油茶土壤的氮和钾。

疏伐+施肥处理增加了土壤全磷和有效磷含量。一方面，施肥增加的土壤有效性磷很容易在华南地区酸性赤红壤与Fe离子和Al离子结合而增加全磷含量。另一方面，施肥可能导致土壤磷吸附率饱和，土壤存在多余的无机磷，可能引起有效磷含量的增加<sup>[3]</sup>。

疏伐处理提高了土壤全钾含量。疏伐增加了林地光照和土壤温度，有利于凋落物分解<sup>[22]</sup>，促进了凋落物钾的释放，提高了土壤全钾含量。疏伐+施肥和疏伐处理减少了土壤速效钾，原因可能是施肥通过增加土壤养分促进了林木的生长，提高了林木对土壤磷和钾等养分的吸收，以维持林木的养分平衡。另外，疏伐降低了林分的郁闭度，试验地充沛的降雨会增加土壤钾的淋失<sup>[23]</sup>。

本研究中，疏伐+施肥处理的土壤脲酶活性显著小于CK和疏伐处理，这与李艳鹏等<sup>[19]</sup>的研究一致。有机肥中的氮增加了土壤的氮含量，引起土壤微生物分泌的土壤脲酶减少，其活性随之降低<sup>[4]</sup>。

疏伐和疏伐+施肥处理显著降低了土壤磷酸酶活性。由于外源性磷对磷酸酶合成有抑制作用<sup>[24]</sup>，疏伐+施肥处理中磷的添加可以缓解土壤磷的限制，减弱植物和土壤微生物对磷的竞争<sup>[25]</sup>，可能导致其磷酸酶的分泌量减少<sup>[26]</sup>。郑棉海等<sup>[27]</sup>

也发现磷添加显著降低了鼎湖山森林的土壤磷酸酶活性。疏伐处理增加了土壤有效磷含量,抑制了植物根系和土壤微生物对磷酸酶的分泌<sup>[9]</sup>。

疏伐处理的土壤过氧化氢酶活性显著大于CK、疏伐+施肥处理。疏伐可以促进林下植物的生长发育,提高林下植物的多样性,加快凋落物分解,增加土壤微生物的活动,可能提高土壤过氧化氢酶活性<sup>[28]</sup>。

整体来说,云勇生态林养护中心的红花荷生态景观林郁闭度高,土壤磷和全钾含量低。疏伐施肥显著提高了土壤的磷含量,而疏伐显著提高了土壤全钾含量。抚育对森林的影响具有滞后性。定点开展土壤肥力对抚育的响应过程和机制,选择合理的抚育管理措施,对于我国南方人工林的管理有重要意义。

### 参考文献

- [1] 王成, 庞学勇, 包维楷. 低强度林窗式疏伐对云杉人工纯林地表微气候和土壤养分的短期影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 541-548.
- [2] 赵朝辉, 方晰, 田大伦, 等. 间伐对杉木林林下地被物生物量及土壤理化性质的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(5): 102-107.
- [3] 林婉奇, 蔡金桓, 薛立. 氮磷添加与不同栽植密度交互对樟树幼苗土壤化学性质的短期影响[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9162-9170.
- [4] 冯慧芳, 余明, 薛立. 外源性氮磷添加及林分密度对大叶相思林土壤酶活性的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4894-4902.
- [5] 冯慧芳, 刘落鱼, 薛立. 氮磷添加及林分密度对大叶相思土壤化学性质的影响[J]. 植物生态学报, 2019, 43(11): 1010-1020.
- [6] 徐斌, 朱报著, 张方秋, 等. 红花荷天然群体的遗传多样性分析[J]. 植物研究, 2014, 34(4): 479-484.
- [7] 李晓辉, 邹芸, 丁进义, 等. 红花荷的组织培养技术[J]. 南方林业科学, 2016, 44(1): 10-12, 19.
- [8] 吴其军, 程勇, 吴际友, 等. 红花荷嫩枝扦插繁殖生长研究[J]. 广东林业科技, 2015, 31(5): 69-72.
- [9] 吴钟亲, 方发之, 陈彧, 等. 红花荷在海南育苗技术初报[J]. 林业科技通讯, 2018(1): 24-26.
- [10] 吴钟亲, 杨玉坤, 方发之, 等. 广东3个红花荷种源在海南早期生长表现[J]. 热带林业, 2018, 46(1): 25-27, 24.
- [11] 朱报著, 谢金链, 张方秋, 等. 广东红花荷属植物花期和花形态结构研究[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 16-18.
- [12] 潘文, 张方秋, 张卫强, 等. 高温高湿胁迫对红花荷等植物生理生化指标的影响及评价[J]. 广东林业科技, 2012, 26(3): 1-8.
- [13] 潘文, 张卫强, 张方秋, 等. 红花荷等植物对SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>的抗性[J]. 生态环境学报, 2012, 21(11): 1851-1858.
- [14] 何汉波, 朱政财, 王海华, 等. 增城区白水寨景区红花荷群落特征[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(4): 67-71.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 关荫松. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [17] 张玉红, 孙铭隆, 刘彤. 林火对大兴安岭典型植被土壤理化性质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(6): 41-43.
- [18] 李小飞, 杨曾奖, 徐大平, 等. 铲草施肥对降香黄檀与檀香混交林土壤速效养分的影响[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(6): 104-110.
- [19] 李艳鹏, 贺同鑫, 王清奎. 施肥对杉木林土壤酶和活性有机碳的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(10): 2722-2731.
- [20] 姜培坤, 徐秋芳, 邬奇峰, 等. 施肥对板栗林土壤养分和生物学性质的影响[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(4): 445-449.
- [21] 朱丛飞, 罗汉东, 胡冬南, 等. 油茶林土壤生化性对磷素水平的响应研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(2): 57-62.
- [22] 徐雪蕾, 孙玉军, 周华, 等. 间伐强度对杉木人工林林下植被和土壤性质的影响[J]. 林业科学, 2019, 5(3): 1-12.
- [23] 方怡然, 李洁, 薛立. 加勒比松林分改造对土壤化学性质和酶活性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(1): 91-97.
- [24] OLANDER L P, VITOUSEK P M. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability[J]. Biogeochemistry, 2000, 49(2): 175-191.
- [25] 王冰冰, 曲来叶, 马克明, 等. 岷江上游干旱河谷优势灌丛群落土壤生态酶化学计量特征[J]. 生态学报, 2015, 35(18): 6078-6088.
- [26] WEAND M P, ARTHUR M A, LOVETT G M, et al. The phosphorus status of northern hardwoods differs by species but is unaffected by nitrogen fertilization[J]. Biogeochemistry, 2010, 97(2): 159-181.
- [27] 郑棉海, 黄娟, 陈浩, 等. 氮、磷添加对不同林型土壤磷酸酶活性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6703-6710.
- [28] 黄香兰, 杨振意, 薛立. 抚育间伐对人工林的影响研究进展[J]. 林业资源管理, 2013(1): 62-67.