

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.
LI Xiaofei, YANG Zengjiang, XU Daping, et al. Effects of weeding and fertilization on soil available nutrients under mixed forest of *Dalbergia odorifera* and *Santalum album*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(6): 104-110.

铲草施肥对降香黄檀与檀香混交林 土壤速效养分的影响

李小飞, 杨曾奖, 徐大平, 崔之益, 刘小金, 薛世玉

(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要:【目的】探讨土壤速效养分对不同抚育措施的反应以及季节变化, 以期选择出可以有效改善林地土壤养分状况的抚育措施, 为降香黄檀 *Dalbergia odorifera* 与檀香 *Santalum album* 混交人工林抚育体系的建立提供参考。【方法】以珍贵树种降香黄檀与檀香混交林下表层土壤为试验对象, 设置 4 个处理, 即对照 (CK)、铲草、施肥、铲草+施肥 (铲+施), 每处理 4 次重复, 测定土壤速效养分和 pH 的变化, 每季度测定 1 次。【结果】铲草施肥处理后土壤 pH 无显著变化, 但增强了土壤酸碱缓冲性能, 减缓土壤 pH 的季节性波动; 土壤速效养分含量受季节和抚育措施变化影响显著, 各处理的铵态氮和硝态氮含量均在秋、冬季节出现峰值; 铲草、施肥和铲+施处理的全年土壤铵态氮含量较 CK 分别增加 16.87%、8.17% 和 20.25%; 铲草和铲+施处理的土壤硝态氮含量较 CK 分别增加 12.69% 和 21.45%, 施肥处理较 CK 减少 1.81%; 铲+施和施肥处理的土壤有效磷含量较 CK 分别增加 50.63% 和 19.58%, 铲草处理较 CK 减少 2.53%; 铲草、施肥和铲+施处理的土壤速效钾含量较 CK 分别增加 117.18%、57.91% 和 142.54%。【结论】土壤速效养分含量对铲草施肥抚育措施出现的响应不同, 但铲草施肥各措施都促进了土壤中一种或多种速效养分含量的增加, 铲+施处理促进了林下土壤速效养分含量的全面增加, 对于降香黄檀与檀香混交林来说铲+施处理是一种较为理想的抚育措施, 对其生长有较好的促进作用。

关键词: 降香黄檀; 檀香; 铲草; 施肥; 速效养分

中图分类号: S714.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2019)06-0104-07

Effects of weeding and fertilization on soil available nutrients under mixed forest of *Dalbergia odorifera* and *Santalum album*

LI Xiaofei, YANG Zengjiang, XU Daping, CUI Zhiyi, LIU Xiaojin, XUE Shiyu

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: 【Objective】 To explore the responses of soil available nutrients to different tending measures and seasonal changes of the nutrient contents, select the tending measures that could effectively improve soil nutrient status of woodland, and provide references for tending system establishment of mixed plantation of *Dalbergia odorifera* and *Santalum album*. 【Method】 The surface soil of the mixed plantation of *D. odorifera* and *S. album* was studied. The experiment setted four treatments, including control (CK), weeding, fertilization, weeding+fertilization. Each treatment was repeated four times. Changes of soil available nutrient contents and pH values were measured quarterly. 【Result】 Weeding and fertilization did not significantly change soil pH, but enhanced acid-base buffering performance of soil in some extent, and slowed the seasonal fluctuation of soil pH value. The soil available nutrient contents were significantly affected by season and tending measure

收稿日期: 2018-12-11 网络首发时间: 2019-10-28 09:20:12

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20191025.0844.008.html>

作者简介: 李小飞 (1990—), 男, 硕士研究生, E-mail: 946527513@qq.com; 通信作者: 杨曾奖 (1962—), 男, 研究员, E-mail: yzengjiang@126.com

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2016YFD0600205)

changes. The contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen in four treatments peaked in autumn and winter. Compared to CK, the annual ammonium nitrogen contents of soil in weeding, fertilization and weeding+fertilization treatments increased by 16.87%, 8.17% and 20.25% respectively. Soil nitrate nitrogen contents of weeding and weeding+fertilization treatments increased by 12.69% and 21.45% respectively compared with CK, while the content of fertilization treatment decreased by 1.81%. Soil available phosphorus contents of fertilization and weeding+fertilization treatments increased by 19.58% and 50.63% respectively, while the content of weeding treatment decreased by 2.53%. Soil available potassium contents of weeding, fertilization and weeding+fertilization treatments increased by 117.18%, 57.91% and 142.54% respectively.

【Conclusion】 The soil available nutrients have different responses to tending measures. Weeding and fertilization increases the content of one or more available nutrients in soil, while weeding+fertilization promotes overall increases of soil available nutrient contents under the forest. The weeding+fertilization treatment is an ideal tending measure for *D. odorifera* and *S. album* mixed plantation, and it is expected to promote the tree growth well.

Key words: *Dalbergia odorifera*; *Santalum album*; weeding; fertilization; available nutrient

降香黄檀 *Dalbergia odorifera* 和檀香 *Santalum album* 是我国南方热带亚热带地区最为广泛种植的珍贵树种, 其心材是制造高级家具、工艺品和名贵装饰品的上等材料, 同时也是名贵药材, 经济价值相当之高^[1-2], 但其心材形成极其缓慢, 往往需要几十甚至上百年的时间, 所以人工促进心材形成成为迫切需求^[3]。现阶段针对人工促进降香黄檀、檀香资源培育的研究主要集中在心材化学成分^[4-6]、药理作用^[7]、组织培养^[8]以及嫁接和扦插繁殖技术^[9]等方面, 对降香黄檀、檀香林下土壤养分状况的研究鲜见报道。

除草、施肥是珍贵树种人工林抚育管理的主要内容。除草去除了林下植被, 一方面会对树木的生长和生理代谢产生影响^[10-11], 另一方面也影响林地环境及相关的地下生态学过程^[12], 进而对土壤养分产生影响。施肥则可以直接补充土壤中的养分, 使营养元素的含量趋于均衡, 提高土壤肥力, 进而影响植物的生长^[13-14]。土壤中速效氮、速效磷和速效钾是植物生长必需的基本元素^[15], 这些基本元素也是土壤中含量变动最大的元素, 研究速效养分的变动规律对林木生长有极其重大的意义。檀香是半寄生植物, 通过根系吸盘吸收寄主植物营养, 因此降香黄檀与檀香混交种植互为有利, 这种种植模式被广泛应用。由于檀香的寄生特性, 为防止对檀香带来伤害, 其营林抚育管理措施以人工除草取代除草剂的使用, 以精耕细作和大量施肥取代粗放的传统经营。对于降香黄檀与檀香这2种生长缓慢又有特殊寄生关系的珍贵树种, 研究其林下的养分变动, 有助于及时补充缺乏养分、调节营养平衡, 提高林

分生产力^[15]。

本试验以2010年种植的7年生降香黄檀与檀香混交林下土壤为试验对象。设置对照(CK)、铲草、施肥、铲草+施肥4个处理, 探讨土壤速效养分对不同抚育措施响应, 以期选择出可以有效改善林地土壤养分状况的抚育措施, 为降香黄檀与檀香混交人工林抚育体系的建立提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广东省佛山市高明区更合镇绿缘堂科技有限公司(22°78'N, 112°54'E), 属于南亚热带海洋性季风气候区, 日照充足, 太阳辐射强, 热量丰富, 雨量充沛, 年平均降雨量1913 mm。气候温和湿润, 年平均温度21℃, 无霜期长。因地靠南海, 受季风影响大, 亦常春季阴雨, 冬季干旱, 夏秋有台风、暴雨, 晚秋有寒露风, 冬季有低温寒冷。试验地为缓坡地, 坡度小于10°, 土壤为花岗岩发育的壤, 土层厚度大于2 m。林地为7年生降香黄檀与檀香混交林, 降香黄檀胸径6.84~8.74 cm, 树高5.47~6.23 m, 檀香胸径7.54~8.63 cm, 树高5.47~6.13 m。林下植被主要有火炭母 *Polygonum chinense*、鬼针草 *Bidens pilosa*、华南鳞盖蕨 *Microlepia hancei*、假臭草 *Praxelis clematidea*、阔叶丰花草 *Spermacoce latifolia*、越南悬钩子 *Rubus cochinchinensis*、蕨 *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*、胜红蓟 *Ageratum conyzoides*、肖凡天花 *Urena lobata*、弓果黍 *Cyrtococcum patens* 等草本植物, 高度40~60 cm为主, 地表覆盖度达90%以上。试验铺设初

期平均林下鲜物干质量 $466 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 半枯物干质量 $241 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。每样地采用五点取样法, 用土钻分

0~10、10~20、20~40 cm 土层取样, 同层土样混合均匀后带回实验室测定土壤理化性质, 具体见表 1。

表 1 土壤理化性质
Table 1 Soil physical and chemical properties

土层/cm Soil layer	pH	w/(g·kg ⁻¹)			w/(mg·kg ⁻¹)			
		有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	水解氮 Hydrolyzed nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
0~10	4.26	28.35	1.01	0.46	5.20	132.480	43.91	59.69
10~20	4.37	18.36	1.08	0.32	4.88	87.285	24.61	37.81
20~40	4.32	13.08	0.63	0.24	5.63	63.825	10.86	23.21

1.2 试验设计及采样

试验于 2017 年 4 月间铺设, 选择西南坡向、地形平缓、长势健康一致的同坡面林分。采用随机区组设计, 试验设置对照 (不做处理, CK)、铲草、施肥、铲草+施肥 (铲+施) 4 个处理, 每处理 4 次重复, 共 16 块样地, 每块样地 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, 小区间留 2 行或 2 株作为缓冲带。人工铲草, 铲草后均匀铺展于样地表面, 以便于养分回归和防止铲草后土壤表面过于暴露。施肥为穴施, 两树间隔处挖穴, 每穴施挪威复合肥 (N15P15K15, Yara company Norway) 0.5 kg , 铲草、施肥每年进行 2 次 (4 和 8 月)。铲草、施肥后, 每个季节的第 1 个月 (即 6、9、12 月和翌年 3 月) 取样, 采用五点取样法, 在每块样地 0~10 cm 土层用土钻取样, 土样混合均匀, 取鲜样 1 kg 用生物冰袋冷藏带回实验室 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下保存。

1.3 样品处理与指标测定

取土壤鲜样, 手动去除肉眼可见的植物根系和石头, 过 2 mm 土壤筛, 混合均匀后, 四分法对角取样 150 g 左右, 立即送实验室测定 pH、铵态氮、硝态氮、有效磷、速效钾含量。将水、土按体积比 2.5:1.0 混匀, 用玻璃电极法测定土壤 pH; 新鲜土样用浓度为 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液按土:液体积比为 1:5 溶解, 过滤, 滤液中铵态氮和硝态氮含量采用流动注射分析仪测定 (FIA, LACHAT 仪器, CO, 美国)^[16]; 土壤速效磷含量用布雷-2 (布雷 & 库尔兹 1945) 溶液提取, 钼锑抗比色法测定; 速效钾含量用乙酸铵浸提, 火焰光度计法测定。土壤压碎, 通过 0.2 mm 筛, 然后分析全氮、全磷、全钾、有机质含量。全氮含量用凯氏定氮法测定, 全磷含量用比色法测定, 全钾含量用火焰光度计法测定, 水解氮含量用碱解扩散法测定, 土壤有机碳含量用湿烧法测定, 有机质含量为有机碳含量乘以常数 1.724 ^[17]。

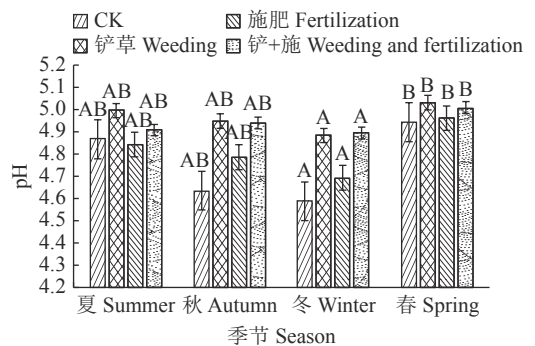
1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素 (One-way ANOVA) 和 Duncan's 法对有效氮、有效磷和速效钾含量进行方差分析和多重比较 ($\alpha=0.05$), 用 Pearson 相关系数检验变量之间的相关性。利用 Excel 2007 软件作图。图表中数据为平均值 \pm 标准差。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土壤 pH 季节性变化

多重比较分析发现, 同一季节各处理间土壤 pH 无显著差异。由图 1 可见, 不同季节各处理的 pH 差异性只在冬、春季节有所表现, 且差异显著。由于土壤自身的酸碱缓冲性, 全年土壤 pH 并无较大范围波动, 波动范围 ≤ 0.4 , CK 波动变化最大, 施肥处理次之, 铲草和铲+施处理波动最小, 由此可见, 铲草、施肥等抚育措施在一定范围内可以增强土壤的酸碱缓冲性能, 减小因季节因素引起的土壤 pH 变化。



图中相同处理柱子上的不同大写字母表示季节间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)

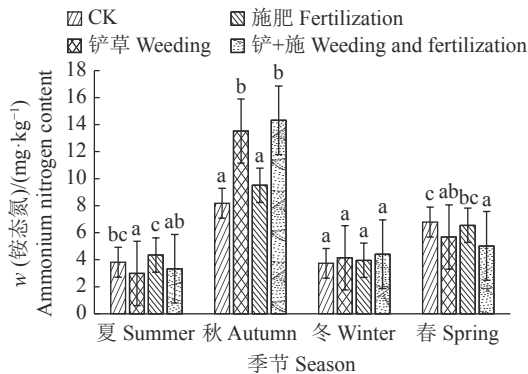
Different uppercase letters on the bars of different seasons in the same treatment indicated significant differences ($P < 0.05$, Duncan's test)

图 1 不同处理的土壤 pH 季节变化

Fig. 1 Seasonal variation trends of soil pH in different treatments

2.2 不同处理对土壤有效氮的影响

2.2.1 不同处理的铵态氮季节性变化 由图 2 可知, 不同处理的铵态氮含量在夏、秋、春季均出现显著差异, 而冬季无显著差异, 可能与冬季水温过低有关。各处理土壤铵态氮含量在秋季出现峰值, 铲草、施肥和铲+施处理分别较 CK 提高 65.28%、16.26% 和 75.06%; 夏季铲草和铲+施处理的土壤铵态氮含量较 CK 分别降低 21.99% 和 12.83%, 施肥处理较 CK 提高 13.87%; 冬季铲草、施肥和铲+施处理的土壤铵态氮含量较 CK 分别提高 10.99%、6.17% 和 18.23%; 春季铲草、施肥和铲+施处理的土壤铵态氮含量较 CK 分别降低 16.49%、3.68% 和 26.07%。



图中相同季节柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's s 法)

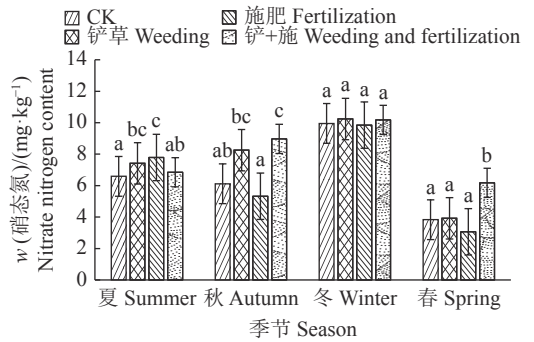
Different lowercase letters on the bars of the same season indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$, Duncan's s test)

图 2 不同处理对土壤铵态氮含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on soil ammonium nitrogen content

土壤铵态氮含量受季节影响差异显著 ($P < 0.05$), 主要受土壤水分及温度变化影响, 各季节土壤铵态氮平均质量分数从大到小依次为秋季 ($11.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、春季 ($6.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、冬季 ($4.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、夏季 ($3.62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 秋季所有处理的土壤铵态氮含量均达到最大值。各处理年平均铵态氮质量分数从大到小依次为: 铲+施 ($6.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 铲草 ($6.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 施肥 ($6.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > CK ($5.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 前三者处理较 CK 分别提升 20.25%、16.87% 和 8.17%。

2.2.2 不同处理的硝态氮季节性变化 同铵态氮相似, 土壤硝态氮含量各处理在冬季无显著差异, 在夏、秋、春季差异显著。一年中, 硝态氮含量变化趋势与铵态氮不同。由图 3 可知, 硝态氮含量在冬季出现峰值, 施肥处理在夏季过后土壤硝态氮含量始终小于 CK, 铲草和铲+施处理的土壤硝态氮含量



相同季节柱子上方的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's s 法)

Different lowercase letters on the bars of the same season indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$, Duncan's s test)

图 3 不同处理对土壤硝态氮含量的影响

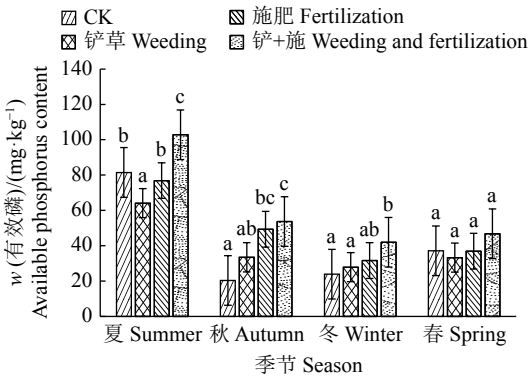
Fig. 3 Effects of different treatments on soil nitrate nitrogen content

均大于 CK。夏季铲草、施肥和铲+施处理的土壤硝态氮含量较 CK 分别增加 12.59%、18.06% 和 3.95%; 秋季土壤硝态氮含量: 铲草和铲+施处理较 CK 分别增加 35.02% 和 46.81%, 施肥处理较 CK 减少 12.93%; 冬季土壤硝态氮含量: 铲草和铲+施处理较 CK 分别增加 2.71% 和 2.21%, 施肥处理较 CK 减少 1.10%; 春季土壤硝态氮含量: 铲草和铲+施处理较 CK 分别增加 2.32% 和 61.11%, 施肥处理较 CK 减少 20.14%。

土壤硝态氮含量变化受季节影响显著 ($P < 0.05$), 土壤硝态氮平均质量分数从大到小依次为: 冬季 ($10.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、秋季 ($7.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、夏季 ($7.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、春季 ($4.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 各处理的硝态氮含量在冬季达到最大值。各处理年平均硝态氮质量分数从大到小依次为: 铲+施 ($8.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 铲草 ($7.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > CK ($6.62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 施肥 ($6.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 铲草、铲+施处理较 CK 分别增加 12.69% 和 21.45%, 施肥较 CK 减少 1.81%。

2.3 不同处理的有效磷季节性变化

由图 4 可知, 不同处理土壤有效磷含量在夏、秋、冬季均出现显著差异, 春季差异不显著。土壤有效磷含量在夏季达到峰值, 之后出现下降, 经过夏、秋两季后, 在冬、春季节逐渐有所回升。铲+施处理的有效磷含量增加最为明显, 其土壤有效磷含量在夏、秋、冬、春季分别较 CK 增加 25.20%、164.06%、75.64% 和 26.07%, 铲草和施肥处理的土壤有效磷含量在夏季较 CK 下降 21.30% 和 5.67%, 在秋季较 CK 增加 64.41% 和 142.48%, 在冬季较 CK 增加 16.76% 和 32.36%。



相同季节柱子上的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)

Different lowercase letters on the bars of the same season indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$, Duncan's test)

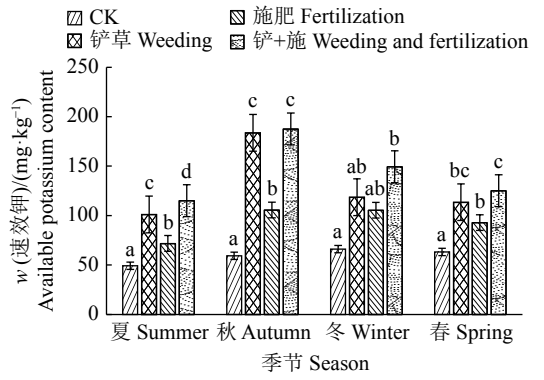
图 4 不同处理对土壤有效磷含量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on soil available phosphorus content

土壤有效磷含量受季节变化影响显著 ($P < 0.05$), 土壤有效磷平均质量分数从大到小依次为: 夏季 ($81.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、秋季 ($39.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、春季 ($38.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、冬季 ($31.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。各处理年平均有效磷质量分数从大到小依次为: 铲+施 ($61.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 施肥 ($48.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > CK ($40.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 铲草 ($39.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 铲+施、施肥处理分别较 CK 增加 50.63% 和 19.58%, 铲草较 CK 减少 2.53%。

2.4 不同处理的速效钾季节性变化

由图 5 可知, 各处理的土壤速效钾含量在不同季节均存在显著差异, 全年各处理土壤速效钾含量均较 CK 显著增加, 增幅由大到小依次为: 铲+施、铲草、施肥, 夏季到秋季呈增加趋势, 秋季到第 2 年春季呈下降趋势。铲草、施肥和铲+施处理的土壤速效钾质量分数在夏季分别较 CK 高出 105.09%、45.65% 和 133.33%, 秋季分别较 CK 高出 209.56%、77.99% 和 215.98%, 冬季分别较 CK 高出 79.42%、



相同季节柱子上的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 法)

Different lowercase letters on the bars of the same season indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$, Duncan's test)

图 5 不同处理对土壤速效钾含量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on soil available potassium content

59.55% 和 126.17%, 春季分别较 CK 高出 79.39%、46.89%、97.93%。

季节变化对土壤速效钾含量有显著影响 ($P < 0.05$), 土壤速效钾平均质量分数从大到小依次为: 秋季 ($134.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、冬季 ($109.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、春季 ($98.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、夏季 ($84.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。各处理年平均土壤速效钾质量分数从大到小依次为: 铲+施 ($144.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 铲草 ($129.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 施肥 ($93.94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > CK ($59.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 前三者处理分别较 CK 高出 142.54%、117.18% 和 57.91%。

2.5 土壤 pH 和速效养分各指标相关性分析

Pearson 相关性分析结果(表 2)显示, 土壤硝态氮含量与 pH 在 0.01 水平显著负相关, 土壤速效钾含量与 pH 在 0.01 水平显著正相关, 速效钾含量与铵态氮含量在 0.01 水平显著正相关, 铵态氮含量与有效磷含量在 0.05 水平显著负相关, 速效钾含量与硝态氮含量在 0.05 水平显著正相关。

表 2 土壤各指标相关性分析¹⁾

Table 2 Correlation analyses of soil indexes

指标 Index	pH	铵态氮 Ammonium nitrogen	硝态氮 Nitrate nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
pH	1				
铵态氮 Ammonium nitrogen	-0.023	1			
硝态氮 Nitrate nitrogen	-0.347**	-0.028	1		
有效磷 Available phosphorus	0.229	-0.248*	-0.122	1	
速效钾 Available potassium	0.343**	0.443**	0.301*	-0.05	1

1) “*” 和 “**” 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 的显著水平

1) “*” and “**” indicated significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

3 讨论与结论

在土壤含有的众多元素中,氮、磷、钾的含量与植被、微生物及土壤动物活动联系尤其紧密^[18]。因此,分析土壤中有效氮、速效磷、速效钾等元素含量可以反映出土壤肥力水平。土壤速效养分变动是一个极其复杂的动态过程,这一过程与外界干扰、土壤自身物理特性、微生物学特性等有着密切关联,任何一个因素的变动都会引起土壤速效养分的变化。本研究发现,土壤速效养分在不同季节对铲草施肥抚育措施的响应程度不同。

土壤 pH 与植物生长联系紧密,是森林土壤发育和演替的重要因子^[19-20]。铲草施肥一系列处理后,土壤 pH 略有提升,但差异不明显,分析发现土壤 pH 与硝态氮和速效钾含量有极显著相关性,可能是铲草施肥改变了土壤中硝态氮和速效钾的含量。张玉红等^[21]研究发现,土壤中金属阳离子的增加会中和土壤中的酸性,提升土壤 pH。铲草施肥后,植被分解和肥料施用向土壤中输入大量钾离子,导致土壤 pH 升高。随着秋、冬季硝态氮含量的增加,土壤 pH 呈下降趋势,冬、春季硝态氮含量减少,pH 呈升高趋势,这一结果与沈灵凤等^[22]研究结果一致,但由于土壤自身对 pH 的缓冲能力,土壤 pH 整体波动不大。

土壤铵态氮、硝态氮分别在秋季和冬季出现高峰,与唐泽家^[23]、卢萍等^[24]的研究结果相似。黄显淦等^[25]也研究发现土壤速效氮的第1次高峰以铵态氮为主,第2次高峰则以硝态氮为主,与本试验结果一致。土壤温、湿度是影响氮素矿化的最重要的环境因子^[26-27],对氮矿化速率有强烈的控制作用,且呈正相关^[28],9月份雨热条件有利于氮素矿化,此时土壤含水量较高,通气性较差,淋溶作用也较为强烈,韦高玲等^[29]研究发现氮素主要以硝态氮的形式发生淋溶迁移,所以此时土壤氮素以铵态氮为主。周才平等^[30]研究发现,在低温时硝化作用占较明显优势,而随着温度的升高,这种优势逐渐减弱。12月进入冬季,雨热下降,土壤矿化能力减弱,相应植被对氮素利用也减弱,而此时土壤通气性较好,易于硝化作用进行,硝态氮出现累积。从铲草施肥各处理对土壤铵态氮和硝态氮的整体影响来看,铲+施配合处理的效果最好,铲草和施肥各自单独处理次之。研究发现,还田后的秸秆需要通过土壤微生物繁殖才能进行腐解转化,该过程需要适宜的养分比例,其中碳氮比(C/N)是主要影响因素之一^[31]。一般来说,当还田的秸秆 C/N 较大时,在腐

解的初始阶段,首先需要进行土壤氮素的生物固定;随着腐解过程的进行,被腐解秸秆残体 C/N 逐渐降低,微生物较易获取的能量物质逐渐被利用殆尽,导致部分微生物的死亡,部分秸秆有机氮则被分解转化为矿质氮^[32]。试验地大多为火炭母和华南鳞盖蕨等 C/N 较大的植物,故而前期分解微生物大量繁殖,从土壤中固持氮素,后期释放氮素,铲+施处理补充了前期微生物大量繁殖时氮素的不足,后期又释放大量氮素,故而效果最好。

试验发现夏季土壤有效磷含量普遍高于其他季节,各处理及 CK 的有效磷含量都出现不同程度的增加,王良梅等^[33]研究发现,7、8月份土壤磷酸酶会大量增加,造成土壤有效磷含量增加。马亚娟等^[15]研究发现,施肥可以显著提高土壤速效磷含量,与本试验结果一致。王建红等^[34]发现土壤胶体对土壤有效磷有很强的吸附作用,进入土壤的有效磷会很快被土壤胶体吸附,而本研究发现铲草施肥各处理土壤有效磷含量变化与 CK 土壤有效磷含量变化相比较为缓慢,说明铲草施肥各处理在一定程度上可以减弱土壤胶体对土壤有效磷的吸附作用,且铲+施处理效果最好。

土壤中的钾完全以矿质态存在,没有有机态,是土壤肥力的重要衡量指标之一^[35],主要包括土壤中可被植物吸收利用的水溶性钾和胶体吸附的交换性钾(占90%以上)^[36]。本研究发现,各处理的土壤速效钾含量较 CK 都显著增加,且铲+施处理的效果最好,说明铲草施肥抚育措施在一定程度上可以提升土壤的释钾能力。

综上所述,不同季节由于水热条件及外界干扰因子变化,降香黄檀和檀香混交林下土壤速效养分对各处理响应程度不同,但都具有鲜明的季节性变化特征。土壤铵态氮和硝态氮四季变化较大,峰值分别出现在秋季和冬季;土壤有效磷含量夏季最高,之后呈下降趋势,冬季时开始回升;土壤速效钾含量相对较为平稳。全年来看,铲草施肥各处理中铲+施处理效果最好,土壤速效养分普遍增加;单一施肥会导致土壤硝态氮的少量减少;单一铲草会导致土壤有效磷少量减少;各处理土壤速效钾含量增加最为明显,说明铲草施肥抚育措施促进了土壤的释钾。因此铲草+施肥能大大改善降香黄檀和檀香混交林下土壤的养分状况。

参考文献:

- [1] 贾瑞峰,徐大平,杨曾奖,等.干旱胁迫对降香黄檀幼苗光合生理特性的影响[J].西北植物学报,2013,33(6): 1197-1202.

- [2] 周双清, 周亚东, 盛小彬, 等. 降香黄檀繁殖技术研究进展[J]. 林业实用技术, 2013, 12(21): 28-29.
- [3] 颜仁梁, 林励. 檀香的研究进展[J]. 中药新药与临床药理, 2003, 14(3): 218-230.
- [4] 刘洪玲. GC-MS 法分析降香挥发油化学成分[J]. 中成药, 2009, 31(6): 915-917.
- [5] CHAN S C, CHANG Y S, WANG J P, et al. Three new flavonoids and anti-allergic, anti-inflammatory constituents from the heartwood of *Dalbergia odorifera*[J]. *Planta Med*, 1998, 64(2): 153-158.
- [6] WANG W, WENG X, CHENG D. Antioxidant activities of natural phenolic components from *Dalbergia odorifera* T. Chen[J]. *Food Chem*, 2000, 71(1): 45-49.
- [7] YU S M, KUO S C. Vasorelaxant effect of isoliquiritigenin, a novel soluble guanylate cyclase activator, in rat aorta[J]. *Brit J Pharmacol*, 2012, 114(8): 1587-1594.
- [8] 陈碧华, 姚庆端, 李乾振, 等. 降香黄檀组织培养技术研究[J]. 武夷科学, 2010, 26(1): 47-51.
- [9] 杨曾奖, 徐大平, 张宁南, 等. 降香黄檀嫁接技术研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 674-676.
- [10] LI M H, DU Z, PAN H L, et al. Effects of neighboring woody plants on target trees with emphasis on effects of understory shrubs on overstorey physiology in forest communities: A mini-review[J]. *Commun Ecol*, 2012, 13: 117-128.
- [11] 杜忠, 蔡小虎, 包维楷, 等. 林下层植被对上层乔木的影响研究综述[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 963-972.
- [12] 夏秀雪, 高国强, 王东男, 等. 林下植被去除对水曲柳人工林土壤呼吸、微生物和根系动态的短期影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1198-1207.
- [13] 周卫军, 陈建国, 谭周进, 等. 不同施肥对退化稻田土壤肥力恢复的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 29-35.
- [14] 焦晓光, 隋跃宇, 魏丹. 长期施肥对薄层黑土酶活性及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1): 6-9.
- [15] 马亚娟, 徐福利, 王渭玲, 等. 氮磷提高华北落叶松人工林地土壤养分和酶活性的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 664-674.
- [16] 聂二旗, 张心昱, 郑国砥, 等. 氮磷添加对杉木林土壤碳氮矿化速率及酶动力学特征的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 615-623.
- [17] 李纯燕, 杨恒山, 萨如拉, 等. 不同耕作措施下秸秆还田对土壤速效养分和微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 197-202.
- [18] MONTY K R, AMIYA K P. Quantifying the contribution of different soil properties on microbial, biomass carbon, nitrogen and phosphorous in dry tropical ecosystem[J]. *Int J Environ Sci*, 2012, 2(3): 2272-2284.
- [19] ABRIL A, BARTTFELD P, BUCHER E H. The effect of fire and overgrazing disturbs on soil carbon balance in the Dry Chaco forest[J]. *Forest Ecol Manag*, 2005, 206(1/2/3): 399-405.
- [20] 陶玉柱. 火干扰对塔河白桦落叶松林土壤化学性质的短期影响[J]. 辽宁林业科技, 2016(3): 14-18.
- [21] 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.
- [22] 沈灵凤, 白玲玉, 曾希柏, 等. 施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1350-1356.
- [23] 唐泽家. 冬季绿肥氮素释放规律研究初报[J]. 广东农业科学, 1984, 11(5): 24-26.
- [24] 卢萍, 单玉华, 杨林章, 等. 绿肥轮作还田对稻田土壤溶液氮素变化及水稻产量的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 270-275.
- [25] 黄显淦, 张建明, 王荣. 果园绿肥氮素养分释放研究[J]. 中国果树, 1985, 4(3): 14-16.
- [26] BREMER E, KUIKMAN P. Influence of competition for nitrogen in soil on net mineralization of nitrogen[J]. *Plant Soil*, 1997, 190(1): 119-126.
- [27] PURI G, ASHMAN M R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralization[J]. *Soil Biol Biochem*, 1998, 30(2): 251-256.
- [28] UNKOVICH M, JAMIESON N, MONAGH R, et al. Nitrogen mineralization and plant nitrogen acquisition in a nitrogen limited calcareous grassland[J]. *Environ Exp Bot*, 1998, 40(12): 209-219.
- [29] 韦高玲, 卓慕宁, 廖义善, 等. 不同施肥水平下菜地耕层土壤中氮磷淋溶损失特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25(6): 1023-1031.
- [30] 周才平, 欧阳华. 长白山两种主要林型下土壤氮矿化速率与温度的关系[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1469-1473.
- [31] 闫洪奎, 于泽, 王欣然, 等. 基于旋耕玉米秸秆还田条件下土壤微生物、酶及速效养分的动态特征[J]. 水土保持学报, 2018, 3(2): 276-282.
- [32] 刘守龙. 亚热带稻田土壤有机碳氮循环[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [33] 王艮梅, 罗琳琳, 郑聚锋. 苏北不同代次和林龄杨树人工林土壤酶活性季节变化特征[J]. 南京林业大学学报, 2014, 38(4): 45-50.
- [34] 王建红, 曹凯, 张贤. 紫云英腐解对土壤速效养分动态变化和单季稻产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(3): 587-692.
- [35] 张秀娟, 吴楚, 梅莉, 等. 水曲柳和落叶松人工林根系分解与养分释放[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1370-1376.
- [36] 曾迪, 漆智平, 周丹, 等. 海南儋州农用地土壤速效磷和速效钾的空间变异[J]. 热带生物学报, 2018, 9(1): 54-58.

【责任编辑 李晓卉】