

DOI: 10.11766/trxb201710210350

锯木灰渣改良退化菜园紫色土壤的效果研究*

黄容 高明[†] 吕盛 徐国鑫 黎嘉成

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要 以重庆市九龙坡区白市驿镇蔬菜基地为试验平台, 通过大田试验, 研究了锯木灰渣不同施用量还田 1 年后对酸性紫色土改良效果, 并进一步分析了锯木灰渣对土壤微生物群落及微生物碳、氮的影响, 以期对紫色菜园退化土壤养分和酸化的修复提供合理措施, 同时实现循环农业的可持续发展。结果表明: (1) 锯木灰渣施用能显著提高蔬菜产量, 且随着施用量的增加呈增加趋势, 其中锯木灰渣施用量为 18 000 kg hm⁻² 时, 产量较未施用锯木灰渣 (A0) 处理显著提高了 76.1%~121.9%; (2) 经锯木灰渣处理的退化紫色土表层和亚表层的有机质含量和 pH 提高, 尤其是锯木灰渣施用量为 18 000 kg hm⁻² 的改良效果较佳, 但是过高的锯木灰渣施用量处理对土壤交换性 H⁺、Al³⁺ 效果反而下降, 而施用量为 12 000~15 000 kg hm⁻² 处理的效果较佳, 其中表层土壤交换性 H⁺、Al³⁺ 分别为 0.19~0.20, 0.63~0.67 cmol kg⁻¹; (3) 12 000~15 000 kg hm⁻² 的锯木灰渣施用量对土壤碱解氮和速效钾的提升效果较佳, 18 000 kg hm⁻² 处理的有效磷含量最大, 较 A0 处理增加了 55.3 mg kg⁻¹; (4) 无论在表层土壤还是亚表层土壤中, 细菌的种群数量分布最多, 其次为真菌和放线菌, 分别在 12 000, 9 000, 6 000 kg hm⁻² 锯木灰渣施用量下的种群数量达到最大值; 9 000~12 000 kg hm⁻² 处理对提高表层土壤微生物量碳含量较为明显, 较 A0 显著提高了 70.4%~78.7%, 18 000 kg hm⁻² 处理的土壤微生物生物量氮 (SMBN) 含量最大 (40.54 mg kg⁻¹), 其次为 9 000 kg hm⁻² 处理 (34.32 mg kg⁻¹)。综上, 锯木灰渣施用量为 12 000~15 000 kg hm⁻² 时对退化紫色土的改良效果较好。

关键词 锯木灰渣; 退化; 紫色土; 改良剂

中图分类号 S147; S152.7 **文献标识码** A

生物质作为一种新型的可再生环保性能源, 主要是由光合作用而产生的各种有机体, 即一切有生命的可以生长的有机物质^[1]。我国是农业大国, 农业生物质资源、林业生物质资源等丰富, 不仅含有大量的纤维素、木质素, 还富含有机质、氮、磷、钾等营养元素和各种微量元素^[2]。据统计我国每年农作物秸秆有 7×10^8 t, 林地废弃物 2×10^8 t, 畜禽粪便和农产品加工业废水约有 2.6×10^9 t, 如加以充分利用可分别年替代 3.48×10^8 、 0.99×10^8 、 1.12×10^8 t 标准煤^[3-4]。

但在实际生产过程中, 绝大多数废弃物并未作为一种资源被利用, 而是随意丢弃或排放到环境中, 对生态环境造成了极大影响。因此实现生物质资源的合理化利用, 消除环境污染, 改善农村生态环境, 对中国全面建成小康社会和实现农业可持续发展具有重要的现实意义。

生物质灰渣是生物质燃烧产生的固体废弃物, 富含磷、钾等营养元素^[5], 随着生物质燃料发电产业的发展, 产生的大量生物质灰渣废弃物如何得到充分有效地利用, 成为生物质燃料发电企业面

* 国家重点研发计划资助 (2017YFD0800101) 资助 Supported by National Key Research and Development Plan of China (No. 2017YFD0800101)

[†] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: gaoming@swu.edu.cn

作者简介: 黄容 (1989—), 女, 福建福州人, 博士研究生, 主要从事土壤质量与环境研究。E-mail: 277840241@qq.com

收稿日期: 2017-10-21; 收到修改稿日期: 2018-01-16; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2018-01-30

临的紧迫问题。与普通草木灰相比, 生物质灰渣废弃物产量大, pH高, 富含磷、钾、硅等矿质营养, 其中有效钾含量提高约20%^[6]。生物质灰渣不仅可以改善土壤, 提高土壤质量, 还能促进作物生长、减少病害的发生^[6-9]。锯木灰渣作为生物质灰渣的一种类型, 研究表明, 锯木灰渣最大持水量可达368%, P、Mg、Ca、Fe、Mn、Cu含量最高, 较谷壳灰、玉米灰、水稻灰的含量高2倍~3倍^[10]。在生物质灰渣中加入磷酸二氢钾能显著抑制氨平均挥发量, 而锯木灰渣中加入氯化钾、磷酸二氢钾能减少氨的平均挥发量^[11]; 同时, 锯木灰渣对磷的吸附量为1.0~11.2 g kg⁻¹, 吸附率均超过55%^[12]。陈龙等^[13]研究表明, 具有强碱性的生物质灰渣施入土壤后, 能增强土壤中P、K活性, 从而提高土壤速效P、K含量。李晶等^[5]在对生物质灰渣对小白菜生长的影响及对酸性土壤的改良研究表明, 灰渣与化肥的混合施用能明显增加小白菜的鲜重, 显著提高其产量和叶片的P、K含量, 改善小白菜的品质, 明显提高土壤pH, 补充土壤速效P、K养分, 改良酸性土壤。目前, 蔬菜消费量日益增加, 促使人们长期大量施用化肥, 导致菜园土壤质量下降, 主要表现为养分失调、酸化严重、微生物多样性下降等现象; 同时菜园土壤种植结构单一, 复种指数高, 土壤经常翻耕易破坏土壤团聚体, 加剧了菜园土壤的退化过程。因此, 本文以菜园退化紫色土为研究对象, 研究了锯木灰渣对退化紫色土改良效果, 并从土壤生物角度, 进一步分析了锯木灰渣对土壤微生物群落及微生物生物量碳、氮的影响, 以为菜园退化土壤养分和酸化的修复提供合理措施, 同时实现循环农业的可持续发展。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试生物质灰渣为锯木灰渣, 于2013年在重庆生息节能公司采集。通过从工厂以及农户中收集的锯木生物质经粉碎、筛分后, 放入锅炉中在800~900℃下焚烧, 所产生的副产品即本试验所需的生物质灰渣 (pH 12.8, N 0.78 g kg⁻¹, P₂O₅ 5.99 g kg⁻¹, K₂O 24.9 g kg⁻¹, MgO 17.4 g kg⁻¹, CaO 15.7 g kg⁻¹, Fe 14.3 g kg⁻¹, Cu 0.19 g kg⁻¹, Zn 0.20 g kg⁻¹, Mn 1.5 g kg⁻¹)。

研究区位于重庆九龙坡区白市驿镇蔬菜基地, 白市驿镇是重庆“主城区西拓”即西部新城建设的重点区域, 属典型的亚热带湿润季风型气候区。1997年之前, 重庆市九龙坡区白市驿镇主要种植水稻、玉米等粮食作物。在1997年之后, 该地区慢慢地向蔬菜种植方向发展, 至今已有了较大面积范围的蔬菜基地。重庆市九龙坡区的土壤为灰棕紫泥土。该地区的土壤主要用于种植蔬菜, 同时蔬菜在一年种植4~6季, 复种指数达到400%~600%, 比种植粮食的复种指数高很多。由于长期种植蔬菜, 集约化程度高, 大量的使用化肥, 导致土壤酸化严重, 板结、活土层变浅等问题, 亟需寻求方便、快捷解决此问题的方案。

1.2 试验设计

在重庆市九龙坡区白市驿选取地带养分差异较小的田块 (pH4.5, 有机质26.9 g kg⁻¹, 碱解氮134.4 mg kg⁻¹, 有效磷132.8 mg kg⁻¹, 速效钾171.5 mg kg⁻¹), 试验设7个处理, 每个试验小区面积为4×5 m², 每个小区分别按0、3 000、6 000、9 000、12 000、15 000、18 000 kg hm⁻²添加生物质灰渣, 标记为A0、A200、A400、A600、A800、A1000、A1200, 每个处理设3个重复, 按随机区组设计。

试验于2013年4月开始, 施用1 500 kg hm⁻²的有机肥 (鸡粪), 7 d后, 通过撒施的方式, 一次性施入锯木灰渣, 于机械翻耕使锯木灰渣与土壤混匀后3 d, 种植蔬菜 (飘儿白), 每季作物种植期间按当地的方式进行田间管理并根据当地的常规施肥量, 其中底肥施用450 kg hm⁻²的NPK复合肥 (N-P₂O₅-K₂O: 15-15-15, 总养分≥45%), 追施300 kg hm⁻²的NPK复合肥 (N-P₂O₅-K₂O: 22-9-9, 总养分≥40%)。大田试验共种植5季蔬菜 (飘儿白), 分别于蔬菜收获后的2013年5月18日、8月14日、10月31日、12月20日、2014年3月24日 (分别标记为T1、T2、T3、T4、T5) 记录蔬菜产量, 并采集了最后一季0~20 cm和20~40 cm土样, 每个小区采集5点 (梅花形布点), 将5点土样均匀混合成一个样品, 取部分土样置于放了冰袋的保温箱中运回实验室, 并置于4℃冰箱保存用于测定微生物数量和微生物生物量碳、氮指标, 另一部分在室内剔除石砾、肉眼可见的植物残体及根系等杂质后, 经自然风干后测定土壤的基本理化性质

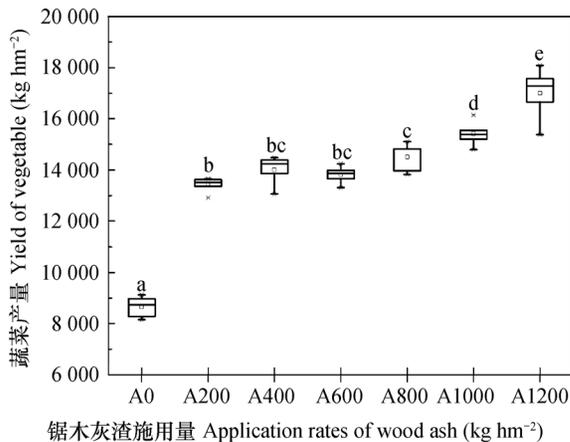
等指标。

1.3 分析方法

土壤基本理化性质测定：土壤全氮采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮—蒸馏滴定法测定；土壤全磷采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮—钒钼黄比色法测定；土壤全钾采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮—火焰光度计法测定；土壤碱解氮采用碱解扩散法测定；土壤有效磷采用 pH 8.5, $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提—钼蓝比色法测定；土壤速效钾采用 pH 7, 1 mol L^{-1} 醋酸铵浸提—火焰光度计法测定；土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定；土壤活性酸采用电位法测定（水土比 1:1）；土壤潜在酸采用中性 $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$ 淋洗, $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl}$ 标准液滴定法测定，具体测定步骤参见文献 [14]。

微生物数量测定：土壤微生物种类丰富，主要有细菌、真菌及放线菌等。细菌采用牛肉汁蛋白胨琼脂培养基平板混菌法培养测定；真菌采用马丁氏琼脂培养基平板混菌法培养测定；放线菌采用高氏 1 号琼脂培养基平板混菌法培养测定。

土壤微生物生物量碳、氮测定：采用氯仿熏蒸直接提取法，其中土壤微生物 C 用重铬酸钾—硫酸消煮—硫酸亚铁滴定法，N 用过硫酸钾消煮—比色法，利用熏蒸和未熏蒸土壤提取的有机碳、全氮含量之差分别乘以系数 0.38（微生物生物量碳）、0.45（微生物生物量氮），求得土壤微生物生物量碳、氮。



注：不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($p < 0.05$)。下同
 Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different treatments ($p < 0.05$). The same below

图1 不同锯木灰渣施用量下各季蔬菜产量箱式图

Fig. 1 Yield of vegetable relative to application rate of the ash

1.4 数据处理

数据处理和作图采用 Excel 2010、SPSS 18.0 软件进行统计分析，不同处理之间差异采用 One-Way ANOVA 进行比较 (LSD 法, $p < 0.05$)。

2 结 果

2.1 不同锯木灰渣施用量对蔬菜产量的影响

锯木灰渣施用能显著提高各季蔬菜产量，如图 1 所示，随着锯木灰渣施用量的增加，蔬菜产量呈增加趋势。其中锯木灰渣施用量 15 000 和 18 000 kg hm^{-2} (A1000 和 A1200) 处理的蔬菜产量均值分别为 15 417 和 16 996 kg hm^{-2} ，显著高于其他处理，较未施用锯木灰渣 (A0) 处理分别显著提高了 66.6% ~ 95.0% 和 76.1% ~ 121.9% ($p < 0.05$)。从五季蔬菜产量的离散程度可以看出，A1200 处理的蔬菜产量在上下四分位数之间箱体最长，数据分布也较为分散，而其他锯木灰渣施用量处理的数据分布较为集中，可见锯木灰渣的高施用量对于各季蔬菜产量间的提升效果较为明显。

2.2 不同锯木灰渣施用量对退化紫色菜园土化学性质的影响

锯木灰渣施用对有机质含量的影响如图 2 所示。与对照 A0 (0 kg hm^{-2}) 相比，锯木灰渣的施用能提高土壤有机质含量，且表层 ($0 \sim 20 \text{ cm}$) 土壤的有机质含量平均较亚表层 ($20 \sim 40 \text{ cm}$) 高

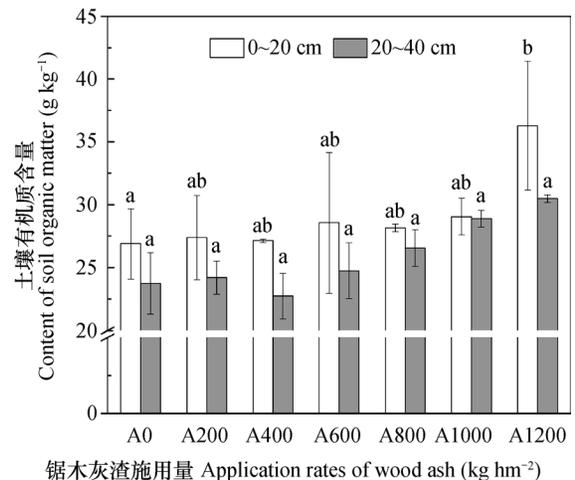


图2 不同锯木灰渣施用量下土壤有机质含量的变化
 Fig. 2 Content of soil organic matter in the soil relative to application rate of the ash

出 $0.16 \sim 5.82 \text{ g kg}^{-1}$ ，其中A800和A1000处理的表层和亚表层的土壤有机质含量相差不大，而其他处理的差值超过了 3 g kg^{-1} 。在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层中，锯木灰渣的施用能增加土壤有机质含量，其中A1200处理的有机质含量最高（ 36.30 g kg^{-1} ），较A0处理显著增加了 9.39 g kg^{-1} ，而其他处理间差异不显著。在 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层中，各处理的有机质含量为 $A1200 > A1000 > A800 > A600 > A200 > A0 > A400$ ，但各处理间差异不显著。总体上，高量的锯木灰渣施用较中低量的对土壤有机质的提升效果较佳。

锯木灰渣施用对退化紫色菜园土pH的影响如图3所示。锯木灰渣施用可以提高土壤表层（ $0 \sim 20 \text{ cm}$ ）及亚表层（ $20 \sim 40 \text{ cm}$ ）pH，且亚表层土壤的pH均高于表层土壤。在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层中，除A600处理外，其他锯木灰渣处理的土壤pH较A0处理（ 5.01 ）显著提高了 $0.97 \sim 1.11$ 个单位（ $p < 0.05$ ），其中A1200处理的表层土壤pH最大，为 6.12 ；在 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层中，各锯木灰渣处理的土壤pH较A0处理（ 5.19 ）均显著提高了 $0.90 \sim 1.33$ 个单位（ $p < 0.05$ ）；可见施用锯木灰渣可以有效提高土壤pH。

锯木灰渣施用对退化紫色菜园土交换性 H^+ 、 Al^{3+} 的影响如图4所示。土壤中交换性 H^+ 和 Al^{3+} 可以反映出土壤酸化程度。如图4a所示，在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层中，与对照A0相比，锯木灰渣处理的土壤中交换性 H^+ 、 Al^{3+} 均显著下降，其中A1000处理的交换性 H^+ 、 Al^{3+} 总量最低，仅 $0.83 \text{ cmol kg}^{-1}$ ，其

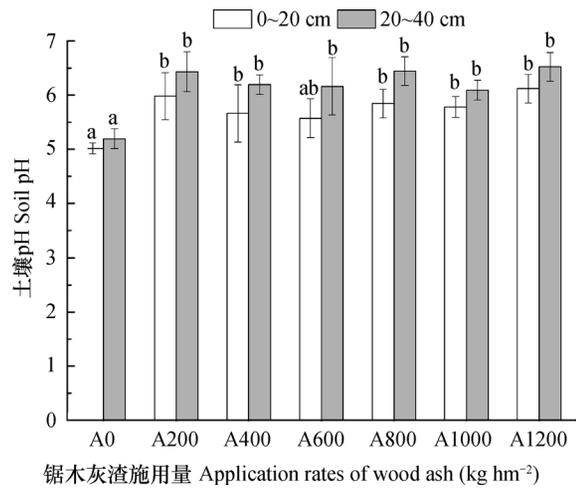


图3 不同锯木灰渣施用量下土壤pH的变化
Fig. 3 Soil pH in the soil relative to application rate of the ash

次为A800（ $0.87 \text{ cmol kg}^{-1}$ ）和A1200（ $1.02 \text{ cmol kg}^{-1}$ ）处理。铝的活化和释放是酸性土壤缓冲酸化的主要途径，与此同时溶解态铝的增加对陆地和水生生物造成潜在伤害。本试验中，随着锯木灰渣施用量的增加， $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层的交换性 Al^{3+} 含量较A0处理呈显著的下降低趋势，其中A1000处理的交换性 Al^{3+} 含量最低，仅为 $0.63 \text{ cmol kg}^{-1}$ ，较对照A0显著下降了 $0.88 \text{ cmol kg}^{-1}$ ，可见锯木灰渣高施用量处理可以有效地降低铝害，提高土壤pH；但过高的锯木灰渣施用量（A1200）处理的 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层的交换性 Al^{3+} 含量达 $0.90 \text{ cmol kg}^{-1}$ ，较A1000处理显著提高了 $0.27 \text{ cmol kg}^{-1}$ ，可见过高的施用量，降

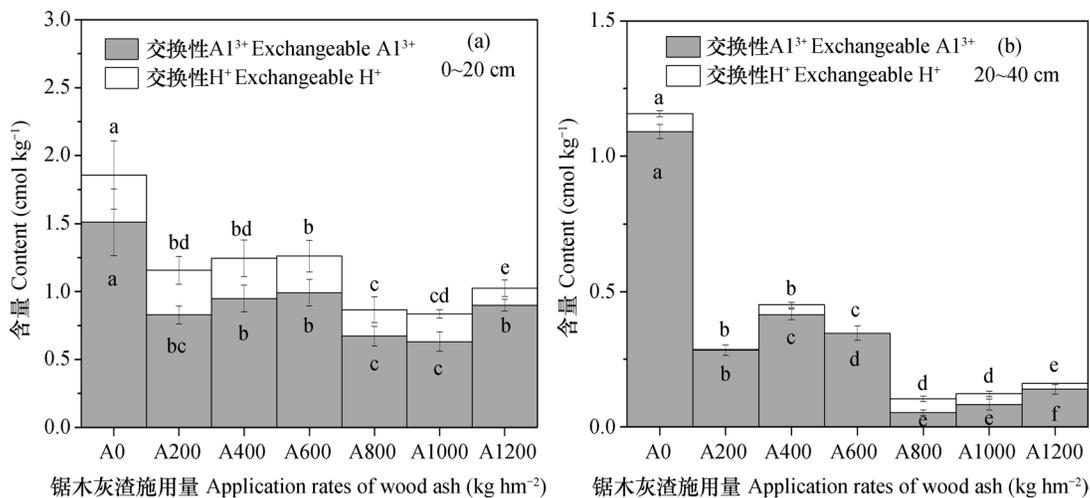


图4 不同锯木灰渣施用量下表层土壤（a）和亚表层土壤（b）中交换性 H^+ 、 Al^{3+} 的变化
Fig. 4 Contents of exchangeable H^+ and Al^{3+} in the surface layer (a) and subsurface layer (b) of the soil relative to application rate of the ash

低铝害的效果反而下降。

如图4b所示，在20~40 cm土层中，锯木灰渣处理能显著降低土壤交换性 H^+ 、 Al^{3+} 总量，各处理交换性 H^+ 、 Al^{3+} 总量表现为 $A800 < A1000 < A1200 < A600 < A200 < A400 < A0$ ，较A0处理分别下降了1.06、1.04、1.00、0.88、0.87、0.71 $cmol\ kg^{-1}$ 。对于土壤交换性 Al^{3+} 而言，锯木灰渣施用仍可以降低铝害，其中A800和A1000处理效果较好，分别较A0显著下降了1.04和1.01 $cmol\ kg^{-1}$ 。

锯木灰渣施用对退化紫色菜园土有效养分的影响

如图5所示。与A0处理相比，除A800处理显著提高了土壤碱解氮含量外，其他施用量处理的碱解氮下降了3.1~10.4 $mg\ kg^{-1}$ ，但无显著差异。对土壤有效磷而言，锯木灰渣还田1年后，仅A1200处理的土壤有效磷较A0处理增加了8.5 $mg\ kg^{-1}$ ，其他处理则显著下降。锯木灰渣的施用能显著提高土壤速效钾含量，且随着施用量的增加呈增加趋势，其中A1200处理的土壤有效磷含量最高，为164.3 $mg\ kg^{-1}$ ，其次为A1000处理（148.9 $mg\ kg^{-1}$ ），均分别较A0处理显著提高了55.3和39.9 $mg\ kg^{-1}$ 。

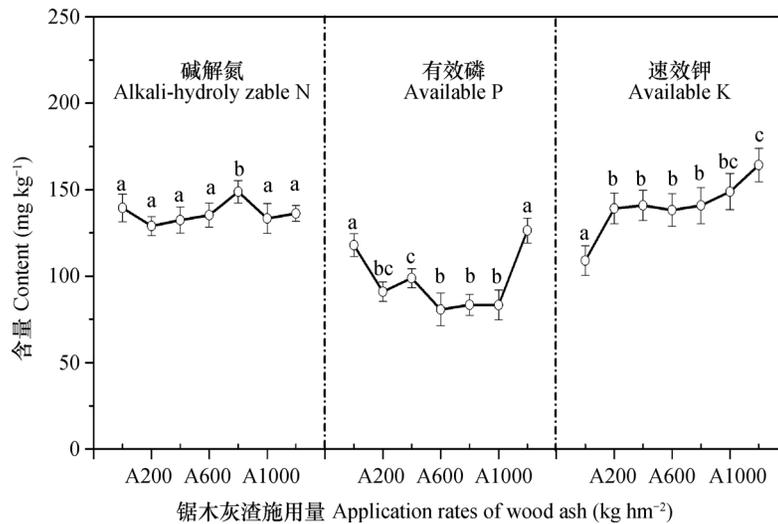


图5 不同锯木灰渣施用量下表层土壤有效养分含量的变化

Fig. 5 Content of available nutrients in the surface layer of the soil relative to application rate of the ash

2.3 不同锯木灰渣施用量对退化紫色菜园土生物性质的影响

锯木灰渣施用对退化紫色菜园土微生物群落的影响如表1所示。由表1可见，无论在表层土壤（0~20 cm）还是亚表层土壤（20~40 cm）中，细菌的总数量在土壤三大类菌的种群数量分布最多，其次为真菌和放线菌；同时表层土壤的三大类菌的种群数量高于亚表层土壤。对土壤细菌而言，随着锯木灰渣施用量的增加，0~20 cm土层的细菌数量呈先增加后减少的趋势，其中中等施用量（A600和A800）处理的细菌数量较高，分别较对照A0显著提高了238%和283%（ $p < 0.05$ ），其次为高等施用量处理（A1000和A1200）。各锯木灰渣处理较对照A0能显著提高真菌数量，表现为 $A600 > A400 > A1200 > A1000 > A800 > A200$ ，其中A1000、A800和A200处理间差异不显著，且显著低于其他锯木灰渣施用量处理。土壤放线菌含

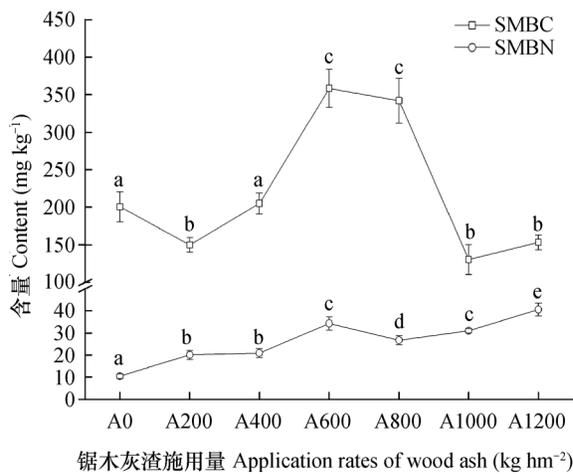
量明显低于细菌和真菌，所占比例较低，A400和A800处理含量较大，分别较A0显著提高了70%和58%。总体上，中量（6 000~12 000 $kg\ hm^{-2}$ ）锯木灰渣处理对提高土壤三大类菌的种群数量的效果较佳。

锯木灰渣施用对退化紫色菜园土微生物生物量的影响如图6所示。土壤微生物生物量是土壤中的活性营养库，调控着土壤养分的转化循环及有效性。随着锯木灰渣施用量的增加，土壤微生物生物量碳（SMBC）呈先增加后减少的趋势，其中A600和A800处理的SMBC含量明显高于其他处理，分别较A0处理显著提高了78.7%和70.4%（ $p < 0.05$ ），而其他处理（除A400外）的SMBC均显著下降了23.7%~35.2%。与A0处理相比，锯木灰渣处理显著提高了土壤微生物生物量氮（SMBN）含量，其中A1200处理的SMBN含量最大（40.54 $mg\ kg^{-1}$ ），其次为A600处理（34.32

表1 不同锯木灰渣施用量下土壤三大类菌的种群数量

Table 1 Populations of the three major groups of soil microbes in the soil relative to application rate of the ash

处理代号 Treatment code	细菌 Bacterium ($\times 10^6$ ind g^{-1})		真菌 Fungus ($\times 10^6$ ind g^{-1})		放线菌 Actinomycetes ($\times 10^4$ ind g^{-1})	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
A0	4.23a	4.12b	3.76b	3.56a	2.54a	2.43a
A200	8.12b	6.32c	5.23a	4.03b	2.32a	3.34b
A400	10.32bc	7.23c	8.34cd	4.13b	4.33c	3.24b
A600	14.32d	5.34a	9.32d	4.42b	2.32a	2.87a
A800	16.23e	4.32b	5.34a	4.23b	4.02bc	3.73b
A1000	11.23b	4.89ab	5.67a	4.34b	3.23b	2.83a
A1200	13.23cd	6.34c	7.42c	6.45c	3.23b	3.27b



注: SMBC, 土壤微生物生物量碳; SMBN, 土壤微生物生物量氮 Note: SMBC, soil microbial biomass carbon; SMBN, soil microbial biomass nitrogen

图6 不同锯木灰渣施用量下表层土壤微生物生物量的变化

Fig. 6 Biomass of soil microbes in the soil relative to application rate of the ash

$mg\ kg^{-1}$)。通过计算微生物碳氮比发现, 各处理的微生物生物量碳氮比表现为A0 (19.09) > A800 (12.80) > A600 (10.44) > A400 (9.81) > A200 (7.45) > A1000 (4.18) > A1200 (3.78)。

3 讨论

3.1 锯木灰渣施用对退化紫色菜园土化学性质的影响

锯木灰渣是植株茎部在高温 (800~900 °C) 下焚烧所得生物质灰渣^[10], 富含磷、钾等矿

质元素, 灰渣的应用不仅能促进作物生长, 减少病害发生, 而且因其呈碱性, 施入土壤后能调节土壤酸碱度, 增加硝态氮含量, 补给微量元素, 提高土壤肥力, 使蔬菜持续高产。本研究中, 锯木灰渣较对照A0能显著提高蔬菜产量, 且随着锯木灰渣施用量的增加, 各处理的产量呈增加趋势, 这与陈龙等^[13]研究结果类似。这是因为呈碱性的锯木灰渣施入土壤后, 提高了土壤的pH (图3), 同时锯木灰渣中富含作物生长所需的P、K等营养元素, 最终提高蔬菜产量。土壤有机质是衡量土壤肥力高低的重要指标之一, 它能改善土壤物理、化学和生物学过程的条件, 提高土壤的吸收性能和缓冲性能。本试验条件下, 锯木灰渣的施用能提高土壤有机质含量, 尤其是大量施用锯木灰渣能有效提高土壤有机质含量, 这是因为锯木灰渣具有孔隙度大、比表面积大等特点, 施入土壤后, 表面大量的含氧官能团如羧基和酚羟基等, 以阴离子形态存在, 增强了对土壤养分离子的保持, 促进了土壤团粒的形成, 使之在调整土壤结构、提高土壤有机质含量方面有重要的作用^[15]; 同时锯木灰渣施入土壤后, 有助于增加土壤细菌、真菌和放线菌三大类菌的种群数量 (表1), 促进腐殖化过程, 提高土壤有机质含量。随着锯木灰渣施用量的增加, 其中的矿质营养大部分被植物吸收利用后, 剩余的锯木灰渣会继续改善土壤结构, 促进有机质的形成。

我国土壤酸化问题较为严重, 而由土壤酸化所引发的盐基离子淋失、有毒重金属活化、活性

铝溶出等一系列问题, 会严重影响土壤安全、植物生长和人体健康; 特别是土壤酸化后, 氢离子会与土壤胶体上的盐基离子交换, 导致营养元素大量流失, 引起土壤肥力下降, 严重影响作物生长, 不利于可持续发展和生态平衡^[4]。锯木灰渣的强碱性及其丰富的碱金属、微量元素, 使其可以作为酸性土壤的改良剂。本研究中, 亚表层的pH较表层土壤的高, 这是因为表层土壤经撒施锯木灰渣后, 采用了翻耕操作, 有助于表层和亚表层土壤混合, 但土壤的酸化大部分是由于施肥引起的, 而追施的化肥大多数只针对于土壤的耕作层, 即0~20 cm土层范围内, 20~40 cm土层位于耕作层(0~20 cm)下方, 致使大量化肥无法到达该层次(亚表层, 20~40 cm), 从而亚表层土壤的pH高于表层。但锯木灰渣的施用均可以有效提高土壤表层和亚表层的pH, 且随着施用量的增加, pH也随之上升, 这与大多的研究结果一致。这是因为锯木灰渣中含有碱性物质, 一方面能中和酸性土壤, 提高土壤pH; 另一方面一些大分子物质可与各种阴、阳离子结合生成盐, 从而形成了相互转化的缓冲体系, 调节和稳定了土壤pH, 减缓了土壤酸化^[16], 主要表现在土壤交换性酸含量的降低(图4)。土壤交换性酸主要是由交换性 H^+ 、 Al^{3+} 等决定的, 是土壤缓冲体系的总酸容量^[17], Saarsalmi等^[18-19]研究表明生物质灰渣因其含有钙、镁和钾氧化物、氢氧化物、碳酸盐, 这些含氧官能团能与铝形成稳定的配(螯)合物, 使土壤交换性铝转化为活性较低的有机络合态铝, 使其对酸性土壤具有强烈的中和作用。本试验施用的生物质灰渣锯木灰渣富含钙、镁和钾氧化物(K_2O 24.9 g kg^{-1} , MgO 17.4 g kg^{-1} , CaO 15.7 g kg^{-1}), 较水稻灰、谷壳灰和玉米灰含量高2~3倍^[10], 因此随着锯木灰渣施用量的增加, 可供酸性土壤中和作用的碱性物质越多, 对土壤酸化的改善效果越佳, 但是过高锯木灰渣施用量(18 000 $kg\ hm^{-2}$)对于降低土壤中交换性 H^+ 、 Al^{3+} 效果低于中低灰渣施用量, 可见虽然锯木灰渣具有疏松多孔、强碱性的特征, 但对于土壤中交换性 H^+ 、 Al^{3+} 的中和存在一定的饱和性。

土壤有效养分是作物生长直接吸收利用的重要营养成分。有研究表明, 土壤改良剂不仅可以调节土壤酸度, 还可以提高土壤中有效磷和速效

钾含量, 降低碱解氮含量^[20-21]。本研究中, 锯木灰渣不同施用量降低了碱解氮的含量, 但影响并不明显, 而对土壤有效磷和速效钾的影响较为明显。黄容等^[11]对生物质灰渣与化肥混合对氨挥发的影响研究表明, 锯木灰渣与化肥特别是尿素混合施用, 会增加氨的挥发速率; 同时锯木灰渣是多年生木本植物茎部焚烧所得, pH(12.8)较高, 在相同 NH_4^+-N 水平下, pH每升高一个单位, 氨挥发量增加10倍^[22]。因此与对照A0相比, 锯木灰渣施用降低了碱解氮含量, 一方面是因为碱性锯木灰渣的施用, 通过与尿素的配施增加了氨的挥发, 减少了碱解氮的部分来源; 另一方面锯木灰渣处理的叶菜类的蔬菜产量较高, 相应的吸收土壤氮素也高。有研究表明, 锯木灰渣对磷的吸附量和吸附率较高, 其中吸附率最高可达97.7%^[12], 故在呈强碱性的锯木灰渣施入土壤后, 一方面活化了难溶性的铁磷和铝磷, 减少了磷的固定, 提高了土壤中水溶性磷的含量; 另一方面, 锯木灰渣的施入增加了土壤磷的含量, 而且通过锯木灰渣吸附作用, 提高了磷的有效性^[15]。但是随着种植时间的增加, 被锯木灰渣活化的有效磷被作物吸收利用, 同时当含钙离子高的生物质灰渣施入土壤后会与磷形成钙磷, 从而减少有效磷含量^[8], 而高量的锯木灰渣因其自身的磷含量高, 补充了土壤的磷库资源^[23]。因此, 本研究中锯木灰渣还田1年后, 除施用过量的锯木灰渣处理外, 其他锯木灰渣处理的有效磷含量均低于对照。对于速效钾而言, 由于锯木灰渣的施用提高了土壤pH, 土壤中交换性 Al^{3+} 含量降低, 从而增强了钾对吸附位点的竞争能力, 减少了矿质钾的释放, 从而减少了钾的淋失, 促进钾转化为可被作物吸收利用的速效钾^[24]。

3.2 锯木灰渣施用对退化菜园土生物特性的影响

土壤微生物作为土壤中物质转化和养分循环的主要驱动者, 对养分的有效性以及土壤质量有重要的作用^[25-26]。菜地土壤复种指数高, 加上长期连作、施肥, 导致土壤质量下降、作物减产等连作障碍发生^[27], 微生物作为土壤生态系统的重要部分, 其群落结构以及生态功能多样性已成为连作障碍和土壤肥力的重要指标之一^[28-29]。本试验中, 锯木灰渣自身的疏松多孔的结构, 较对照A0

增加了微生物的栖息生存空间,同时提供了营养物质,增强了微生物活性,因此锯木灰渣处理的土壤微生物数量高于对照;无论是在表层土壤(0~20 cm)还是在亚表层土壤(20~40 cm)中,细菌的总数量在土壤三大类菌的种群数量分布最多,其次为真菌和放线菌,这与大多数的研究结果相一致^[30-32],且表层土壤的三大类菌含量一般高于亚表层^[33],因表层土壤较亚表层土壤有充足的营养源,水热与同期状况较好,有利于微生物的生长和繁殖^[34]。

土壤微生物生物量碳(SMBC)作为土壤碳库中最活跃的部分,是衡量土壤肥力的重要指标之一^[35];土壤微生物生物量氮(SMBN)是土壤有机氮的重要组成部分,虽然含量少,却是碳、氮循环中不可缺少的部分^[36-37]。因此,土壤微生物生物量对养分的供应与转化起重要作用,可以用于表征土壤微生物对锯木灰渣响应的情况。本研究表明添加锯木灰渣能显著增加SMBN,但是仅中量锯木灰渣施用量(9 000~12 000 kg hm⁻²)显著增加了SMBC。这是因为中量锯木灰渣处理的土壤微生物活性较高(表1),在同等碳库的情况下,微生物对碳的同化量增加,从而显著提高了SMBC。与SMBC不同的是,在施用同等氮肥的情况下,随着锯木灰渣施用量的增加,SMBN呈增加趋势,这是由于锯木灰渣施入土壤后,一方面为微生物提供了部分氮源和增加了有机碳源的数量,通过相关性分析可知,SMBN与土壤有机质呈显著正相关关系($p=0.040<0.05$, $r=0.776$),从而增强了微生物活性,促进了SMBN累积;另一方面锯木灰渣比表面积大,孔隙结构发达,表面大量的Si-O-Si键与水作用后,使颗粒表面产生大量的羟基而显示出亲水性,这种高的水分渗透性提高了锯木灰渣的持水性能,使之在调整土壤结构、提高保水保肥性能方面有重要的作用吸水能力较强^[10],在一定程度上减少了养分随水流失;有研究表明,土壤微生物生物量碳氮比的高低可以反映土壤氮素供应能力,微生物碳氮比较小时土壤氮素具有较高的生物有效性^[38],因此随着锯木灰渣施用量的增加,SMBN呈增加趋势,其中A1200处理的SMBN含量最高。

4 结 论

锯木灰渣的施用能显著提高蔬菜产量,随着施用量的增加,产量呈增加趋势。锯木灰渣还田一年后,15 000~18 000 kg hm⁻²的锯木灰渣施用量对表层土壤(0~20 cm)有机质的提升效果较佳;锯木灰渣呈碱性,与对照相比,经锯木灰渣处理的表层和亚表层土壤pH均提高,锯木灰渣提高土壤pH主要体现在降低了土壤交换性Al³⁺含量(铝害),但过高的施用量(18 000 kg hm⁻²),降低表层土壤铝害的效果反而下降;此外,12 000~15 000 kg hm⁻²的锯木灰渣施用量对土壤碱解氮和速效钾的提升效果较佳,18 000 kg hm⁻²的锯木灰渣处理的有效磷含量最大。中量(9 000~12 000 kg hm⁻²)锯木灰渣处理对提高土壤三大类菌的种群数量、微生物生物量碳的效果较佳。综上,锯木灰渣施用量为12 000~15 000 kg hm⁻²时对退化紫色土的改良效果较好。

参 考 文 献

- [1] 何玉凤,钱文珍,王建凤,等. 废弃生物质材料的高附加值再利用途径综述. 农业工程学报, 2016, 32(15): 1—8
He Y F, Qian W Z, Wang J F, et al. High value-added reutilization approach for waste biomass materials (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(15): 1—8
- [2] Huang R, Lan M L, Liu J, et al. Soil aggregate and organic carbon distribution at dry land soil and paddy soil: The role of different straws returning. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24: 27942—27952
- [3] 国家统计局. 中国统计摘要. 北京: 中国统计出版社, 2003
National Bureau of Statistics. Summary of Chinese statistics (In Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2003
- [4] 易珊. 生物质灰渣的资源化利用研究. 杭州: 浙江大学, 2014
Yi S. Study on resource utilization of biomass ash (In Chinese). Hangzhou: Zhejiang University, 2014
- [5] 李晶, 杨海征, 胡红青, 等. 生物灰渣对小白菜生长

- 的影响及对酸性土壤的改良. 湖北农业科学, 2010, 49 (4): 822—824
- Li J, Yang H Z, Hu H Q, et al. Effect of plant fly ash application on *Brassica chinensis* growth and amendment of acid soil (In Chinese). Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49 (4): 822—824
- [6] 朱雅兰, 李明, 黄巧云. 草木灰污泥联合施用对Cd污染土壤中Cd形态变化的影响. 华中农业大学学报, 2010, 29 (4): 447—451
- Zhu Y L, Li M, Huang Q Y. Effects of straw ash and sewage sludge on morphologic changes of cadmium in cadmium contaminated soil (In Chinese). Journal of Huangzhong Agricultural University, 2010, 29 (4): 447—451
- [7] Huang R, Gao M, Liu J. Effects of soil conditioners on aggregate stability in a clay loam soil: A comparison study of biomass ash with other four conditioners. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2017, 48: 2294—2313
- [8] Shi R Y, Li J Y, Jiang J, et al. Characteristics of biomass ashes from different materials and their ameliorative effects on acid soils. Journal of Environmental Sciences, 2016, [http://dx. doi. org/10.1016/j. jes. 2016. 07. 015](http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.015)
- [9] Sungur A, Soylak M, Ozcan H. Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: Relationship between soil properties and heavy metals availability. Chemical Speciation & Bioavailability, 2014, 26: 219—230
- [10] 黄容, 高瑗, 高明, 等. 生物质灰渣物质特性和保水性的研究. 水土保持学报, 2013, 27 (6): 130—133
- Huang R, Gao Y, Gao M, et al. Biomass ash material properties and water absorption capacity (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27 (6): 130—133
- [11] 黄容, 高明, 廖燕妮, 等. 生物质灰渣与化肥混合对氨挥发的影响. 土壤学报, 2014, 51 (5): 1160—1167
- Huang R, Gao M, Liao Y N, et al. Effects of bio-ash mixed with chemical fertilizer on ammonia volatilization (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (5): 1160—1167
- [12] 黄容, 高明, 廖燕妮. 不同生物质灰渣对磷的吸附解吸动力学特征. 水土保持学报, 2014, 28 (2): 156—160
- Huang R, Gao M, Liao Y N. Phosphorus adsorption and desorption kinetics capacity of different biomass ash (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28 (2): 156—160
- [13] 陈龙, 王敏, 王硕, 等. 生物质灰渣与化肥配施对土壤性质及油菜生长的影响. 华中农业大学学报, 2011, 30 (6): 727—733
- Chen L, Wang M, Wang S, et al. Effects of integrated fertilization with bio-ash and chemical fertilizers on soil properties and growth of rape (In Chinese). Journal of Huazhong Agricultural University, 2011, 30 (6): 727—733
- [14] 杨剑虹. 土壤农化分析与环境监测. 北京: 中国大地出版社, 2008
- Yang J H. Agricultural soil analysis and environmental monitoring (In Chinese). Beijing: China Land Press, 2008
- [15] 黄容, 高明, 汪文强, 等. 不同改良剂对退化黄壤及其下渗水养分的影响. 土壤学报, 2016, 53 (3): 103—114
- Huang R, Gao M, Wang W Q, et al. Effects of different soil amendments on degraded yellow soil and nutrients in leachate (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2016, 53 (3): 103—114
- [16] 解开治, 徐培智, 严超, 等. 不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究. 中国农学通报, 2009, 25 (20): 160—165
- Xie K Z, Xu P Z, Yan C, et al. Study the effects of soil improvement on acid soil in the south of China (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (20): 160—165
- [17] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000
- Huang C Y. Soil science (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [18] Saarsalmi A, Mälkönen E, Piirainen S. Effects of wood ash fertilization on the boreal forest soil chemical properties. Silva Fennica, 2001, 35 (3): 335—368
- [19] Saarsalmi A, Mälkönen E, Kukkola M. Effects of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient statues and growth of some coniferous stands in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research, 2004, 19 (3): 2443—2451
- [20] 王秀斌, 唐栓虎, 荣勤雷, 等. 不同措施改良反酸田及水稻产量效果. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 402—412
- Wang X B, Tang S H, Rong Q L, et al. Effects of different ameliorant measures on the chemical and physical properties of soil in acid sulfate paddy field and rice yield (In Chinese). Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21 (2): 402—412
- [21] Souza R F, Faquin V, de Andrade A T, et al. Phosphorus forms in soils under influence of liming

- and organic fertilization. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2007, 31: 1535—1544
- [22] Martines A M, Nogueira M A, Santos C A, et al. Ammonia volatilization in soil treated with tannery sludge. *Bioresource Technology*, 2010, 101 (12): 4690—4696
- [23] Aronsson K A, Ekelund N G A. Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33 (5): 1595—1605
- [24] 王敬国. 植物营养的土壤化学. 北京: 北京农业大学出版社, 1995: 107—119
Wang J G. The soil chemistry of plant nutrition (In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1995: 107—119
- [25] 蒋婧, 宋明华. 植物与土壤微生物在调控生态系统养分循环中的作用. *植物生态学报*, 2010, 34 (8): 979—988
Jiang J, Song M H. Review of the roles of plants and soil microorganisms in regulating ecosystem nutrient cycling (In Chinese). *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34 (8): 979—988
- [26] 马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响. *生态学报*, 2012, 32 (17): 5502—5511
Ma X X, Wang L L, Li Q H, et al. Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (17): 5502—5511
- [27] 顾美英, 徐万里, 茆军, 等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性. *生态学报*, 2012, 32 (10): 3031—3040
Gu M Y, Xu W L, Mao J, et al. Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (10): 3031—3040
- [28] 张重义, 陈慧, 杨艳会, 等. 连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响. *应用生态学报*, 2010, 21 (11): 2843—2848
Zhang Z Y, Chen H, Yang Y H, et al. Effects of continuous cropping on bacterial community diversity in rhizosphere soil of *Rehmannia glutinosa* (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (11): 2843—2848
- [29] Bossio D A, Fleck J A, Scow K M, et al. Alternative of soil microbial communities and water quality in restored wetlands. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 1223—1233
- [30] 黄容, 万毅林, 高明. 种植年限对菜地土壤微生物生物量碳, 氮及酶活性的影响. *湖北农业科学*, 2013, 52 (20): 4903—4907
Huang R, Wan Y L, Gao M. Effects of planting years on soil microbial carbon, nitrogen and enzyme activity of vegetable fields (In Chinese). *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52 (20): 4903—4907
- [31] 邱珊莲, 刘丽花, 陈济琛, 等. 长期不同施肥对黄泥田土壤酶活性和微生物的影响. *中国土壤与肥料*, 2013 (4): 30—34
Qiu S L, Liu L H, Chen J C, et al. Effects of long-term different fertilization on soil enzyme activity and soil microbe in yellow paddy fields (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences*, 2013, (4): 30—34
- [32] 张崇邦, 金则新, 柯世省. 天台山不同林型土壤酶活性与土壤微生物, 呼吸速率以及土壤理化特性关系研究. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10 (1): 51—56
Zhang C B, Jin Z X, Ke S S. Study on the relationship among enzymes activities, microorganism, respiration rate and physico-chemical properties of soil under different forests of Tiantai Mountain (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10 (1): 51—56
- [33] 黄玉霞, 李俊华, 褚贵新, 等. 施肥对菜地土壤微生物和土壤酶活性的影响. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2007, 25 (5): 552—557
Huang Y X, Li J H, Chu G X, et al. Effects of fertilization on microorganism and enzyme activity in vegetable soil (In Chinese). *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2007, 25 (5): 552—557
- [34] 杨宁, 邹冬生, 杨满元, 等. 紫色土丘陵坡地植被恢复过程中土壤微生物生物量碳、微生物熵的变化. *水土保持通报*, 2014, 34 (5): 39—43
Yang N, Zou D S, Yang M Y, et al. Variations of soil microbial biomass carbon and biological information entropy during revegetation on hillslope land with purple soil (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34 (5): 39—43
- [35] 徐佳品, 邵鹏帅, 张教林, 等. 西双版纳不同森林类型土壤微生物生物量的变化. *土壤通报*, 2017, 48 (1): 94—100
Xu J J, Shao P S, Zhang J L, et al. Changes of soil microbial biomass in different forest types in Xishuangbanna (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48 (1): 94—100
- [36] 韩晓日, 郑国砥, 刘晓燕, 等. 有机肥与化肥配合施

- 用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征. 中国农业科学, 2007, 40 (4): 765—772
- Han X R, Zheng G D, Liu X Y, et al. Dynamics sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (4): 765—772
- [37] Paul J W, Beauchamp E G. Short communication: Soil microbial biomass C, N mineralization, and N uptake by corn in dairy cattle slurry and urea-amended soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, 76 (4): 469—472
- [38] 陶朋闯, 陈效民, 靳泽文, 等. 生物质炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响. *水土保持学报*, 2016, 30 (1): 231—235
- Tao P C, Chen X M, Jin Z W, et al. Effects of biochar combined with nitrogen fertilizers on microbial biomass C, N and carbon-to-nitrogen ratio of upland red soil (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30 (1): 231—235

Effect of Saw Dust Ash Ameliorating Degraded Vegetable Garden Purple Soil

HUANG Rong GAO Ming[†] LÜ Sheng XU Guoxin LI Jiacheng

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract 【Objective】The objective of this study is to explore effects of saw dust ash ameliorating acid purple soil relative to dosage of the ash used, in an attempt to work out a scientific basis and reasonable measures to remedy degraded and acidified purple soil and hence to realize sustainable development and circular agriculture. 【Method】In this study, saw dust ash used was residue after combustion at 800~900 °C. A one-year field experiment was designed to have seven treatments different in saw dust ash application rate, i.e. 0, 3 000, 6 000, 9 000, 12 000, 15 000, 18 000 kg hm⁻², and carried out in the Baishiyi Vegetable Base of Jiulongpo District, Chongqing, China, to explore effects of application of the saw dust ash on amelioration of acid purple soil, and on soil microbiota, soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN). 【Result】Results show: 1) application of saw dust ash increased yields of the vegetables significantly, showing a trend of the yield increasing with rising application rate; and the treatment applied with 18 000 kg hm⁻² of saw dust ash was 76.1%~121.9% higher than CK (0 kg hm⁻² applied) in vegetable yield; 2) Application of saw dust ash increased the content of organic matter and pH in the surface and subsurface layers of the degraded purple soil, and the effect was particularly significant in the treatment applied with 18 000 kg hm⁻² of the ash. However, overuse of the ash (over 18 000 kg hm⁻²) had a negative effect on the content of exchangeable H⁺ and Al³⁺, while in the treatments applied with 12 000~15 000 kg hm⁻² of the ash no such effect was observed, and the content of exchangeable H⁺ and Al³⁺ was 0.19~0.20 and 0.63~0.67 cmol kg⁻¹, respectively; 3) In the treatments applied with 12 000~15 000 kg hm⁻² of the ash, soil alkalytic N and readily available K increased significantly and in the treatment applied with 18 000 kg hm⁻² of the ash soil available P was the highest or 55.3 mg kg⁻¹ higher than in CK; And 4) The population of bacteria was the highest in the surface and subsurface layers and followed by that of fungi and actinomyces, and they peaked in the treatment applied with 12 000, 9 000 and 6 000 kg hm⁻² of the ash respectively. Compared with CK (A0), the treatments applied with 12 000~15 000 kg hm⁻² of the ash was significantly increased or by 70.4%~78.7% in SMBC content, and the treatment applied with 18 000 kg hm⁻² of the ash was the highest in SMBN content, reaching up to 40.54 mg kg⁻¹ and followed by the treatment applied with 9 000 kg hm⁻² of the ash, which was 34.32 mg kg⁻¹. 【Conclusion】Results show that application of saw dust ash can increase soil available nutrient contents, remedy soil acidification and improve soil microbial communities, SMBC and SMBN.

In the study, the application rate of 12 000 ~ 15 000 kg hm⁻² is the most suitable one that can improve soil fertility and increase soil microorganic population in degraded purple soil.

Key words Saw dust ash; Degradation; Purple soil; Amendment

(责任编辑: 陈德明)