

· 试验研究 ·

沼渣连续施用对土壤微生物量碳、氮剖面分布的影响

谢 勇^{1,2}, 王昌全¹, 唐 冲², 蔡春艳^{1,2}, 刘红辉²

(1. 四川农业大学资源环境学院, 四川 雅安 625014; 2. 遂宁市安居区环境保护局, 四川 遂宁 629000)

摘要: 通过“棉花+小麦”轮作施用沼渣的定位试验, 研究不同年限的沼渣施用对土壤剖面微生物量C、N (MBC、MBN) 分布特征的影响。结果表明: 在0~50cm剖面上, 施用沼渣1年对0~30cm土壤的MBC、MBN影响较大, 能显著提高30~40cm土层土壤MBC、MBN的含量, 施用沼渣5年时对40~50cm土层MBC、MBN无明显影响。土壤MBC、MBN含量总体随施用沼渣年限的延长而增加, 各土层MBC、MBN含量增幅随着施用年限的延长呈现不同趋势。施用沼渣1年, 耕层土壤的MBC/MBN值较习惯耕作增加, 施用沼渣3年后, 其值呈降低趋势。各土层的MBC/TOC、MBN/TN和MBC的变化趋势基本一致, 总体随着沼渣施用年限的延长而增加。针对“棉花+小麦”轮作模式, 持续施用沼渣3年更有利于改善0~40cm土层土壤肥力。

关键词: 沼渣; 微生物量碳; 微生物量氮; 分布特征

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2014)04-0019-05

Effect of Continuous Biogas Residue Application on the Carbon and Nitrogen Distribution Profiles of Soil Microbial Biomass

XIE Yong^{1,2}, WANG Chang-quan¹, TANG Chong², CAI Chun-yan^{1,2}, LIU Hong-hui²

(1. College of Resources & Environment, Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014, China;

2. The Environmental Protection bureau of Suining Anju, Suining, Sichuan 629000, China)

Abstract: Effect of different years of biogas residue application on the microbial biomass carbon and nitrogen (MBC, MBN) distribution profiles in the soil was studied through the "cotton + wheat" crop rotation experiment. The results showed that in the 0 ~ 50cm soil profiles, one year's application of biogas residue had greater impact on MBC and MBN in the top 30cm soil layer and could significantly increase the MBC and MBN content in 30 ~ 40cm soil layer, application of biogas residue for five years had no obvious effect on MBC and MBN in 40 ~ 50cm soil layer. Soil MBC and MBN content increased with increasing biogas residue application period. The increasing rate of MBC and MBN content in each soil layer showed different trends with biogas residue application period. Compared to traditional farming, MBC / MBN ratio increased in topsoil after one year's application of biogas residue, but decreased after application for three years. The variation trends of MBC / TOC, MBN / TN and MBC were basically the same in each soil layer, which increased with the increasing period of biogas residue application. For "cotton + wheat" crop rotation mode, application of biogas residue for three years can better improve the fertility of 0~40cm soil layer.

Keywords: Biogas residue; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; distribution characteristics

收稿日期: 2014-02-17

基金项目: 国家科技支撑计划“西南地区农田秸秆还田循环利用技术集成研究与示范”(2007BAD89B15); 四川省科技富民强县重点项目“丘区射洪县循环经济型现代农业科技集成研究与示范”(07NG001-020)。

作者简介: 谢 勇(1983-), 男, 重庆忠县人, 2009年毕业于四川农业大学土壤学专业, 硕士研究生, 研究方向为土壤质量与环境可持续。

通讯作者: 王昌全, wcquan@sicau.edu.cn。

土壤微生物量碳(MBC)是土壤养分转化的活性库或源, 是碳素循环和周转的媒介。MBC转化迅速, 能在检测到土壤总量碳变化之前反映土壤有机质的变化, 是土壤有机质中最为活跃的部分, 在全球碳循环中有着非常重要的意义。土壤微生物量氮(MBN)是指活的微生物体内所含有的氮^[1], 其基础含量能够反映土壤供氮能力的大小, 是土壤

微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映^[2]。MBC 和 MBN 对土壤环境条件非常敏感,耕作制度、栽培技术、施肥方式等农业技术措施都会对其产生影响^[3,4],是反映土壤质量和人类干扰最为敏感的指标之一。

近年来,大量的研究涉及秸秆、绿肥、家畜粪便等有机肥对 MBC 和 MBN 变化的影响^[5,6],而对沼渣缺乏系统的研究,尤其在沼渣还田对土壤微生物量 C、N 变化的研究更少,沼渣不同施用年限对 MBC 和 MBN 剖面分布的研究还未见报道。基于此,本研究以四川省典型丘陵区射洪县为研究区域,研究连续施用沼渣对“棉花—小麦”轮作田土壤微生物量碳、氮剖面分布的影响,以期为该区域沼渣还田利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验地位于四川省中北部典型丘陵区射洪县(东经 105°10′~105°39′,北纬 30°40′~31°10′),土壤为由侏罗系蓬莱镇组(J3p)棕紫色砂泥岩发育而成的石灰性紫色土,其有机质含量为 8.6g/kg、全氮 0.71g/kg、碱解氮 70mg/kg、速效磷(Olsen-p) 12.1mg/kg;速效钾 106mg/kg。

沼渣取自普通农户沼气池,产沼气原料主要为猪粪。沼渣含有机质 445.4g/kg、全氮 10.65g/kg、全磷 8.95g/kg、全钾 14.52g/kg。

1.2 试验设计

试验共设 4 个处理,处理 I(CK)为习惯性耕作,只施用化肥,不施沼渣,化肥用量:尿素 400kg/hm²、过磷酸钙 1200kg/hm² 和氯化钾 240 kg/hm²。其他处理每年均施用沼渣 15000 kg/hm²,在保证各处理施入土壤中的 N、P、K 含量一致的前提下,其 N、P 含量不足的以化肥补充,施入尿素 45kg/hm² 和过磷酸钙 90kg/hm²。处理 II(M₁)、III(M₂)和 IV(M₃)施用沼渣的年限分别为 1 年、3 年和 5 年,每处理 3 次重复,小区面积 80m²,完全随机区组排列。作物种植模式为“棉花+小麦”轮作。沼渣作棉花大窝肥施用,施在距离棉花植株 4~5cm 小坑内,深 0~10cm,小麦生长过程中不施任何肥料。

1.3 样品采集与分析

2008 年 1 月于小麦分蘖期采集土样。在每个小区,分别采取 0~10cm、10~20cm、20~30cm、30~40cm 和 40~50 cm 土层土样,共计 60 个。样品采回后,一部分立即放入 4℃ 冰箱中供土壤微生物

量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)的测定,剩余土样自然风干,供总有机碳(TOC)和全氮(TN)的测定。

用常规方法测定土壤总有机碳(TOC)和全氮(TN)^[7],MBC 和 MBN 采用氯仿熏蒸—K₂SO₄ 提取法测定^[8,9]。

数据统计分析在 Excel 2003 和 SPSS13.0 中进行。

2 结果与讨论

2.1 沼渣施用年限对土壤微生物量碳(MBC)含量的影响

MBC 是土壤有机碳中活性较高的部分,同一处理的土壤 MBC 含量均随土层的加深而降低,而同一深度土层 MBC 含量随沼渣的施用年限的延长而增加,但其增幅随着沼渣施用年限的变化趋势不完全一致(图 1)。对于 0~10cm、10~20cm 和 20~30cm 土层,沼渣连续施用不同年限的 MBC 含量间均存在极显著性差异(P<0.01):M₃>M₂>M₁>CK。然而,0~10cm 和 10~20cm 土层 MBC 含量随沼渣的施用年限的延长其增幅减少,M₁较 CK 的 MBC 增量最大,其值分别为 33.8mg/kg 和 30.0mg/kg,增幅分别为 34.5% 和 34.8%,M₃较 M₂ 的增量最小,其值分别为 18.1mg/kg 和 15.2mg/kg,增幅分别为 12.2% 和 11.0%;20~30cm 土层 M₃较 M₂ 的 MBC 增量最大,其值为 29.8mg/kg,M₁较 CK 的 MBC 增量最小,MBC 含量随沼渣的施用年限的延长其增幅先增加后减少,各处理间的增幅依次为 22.2%、43.6% 和 19.2%。对于 30~40cm 土层,M₃与 M₁、M₃与 CK、M₂与 CK 间的土壤 MBC 含量有显著性差异(P<0.05),M₃与 M₁、M₃与 CK 呈极显著差异(P<0.01),MBC 含量随沼渣的施用年限的延长其增幅递增,M₃较 M₂ 和 M₂较 M₁ 的 MBC 增量介于 11.0~11.6mg/kg 之间,而 M₁较 CK 的 MBC 增量仅为 2.1mg/kg。对于 40~50cm 土层,仅 M₃与 M₁ 间土壤 MBC 含量有显著性差异(P<0.05),其余各处理间均无显著性差异。由此可见,施用沼渣 1 年后土壤 MBC 的积累主要在 30cm 以上土层,施用沼渣 5 年以上对 0~40cm 土层 MBC 的影响较为明显,而沼渣连续施用时间低于 5 年时对 40cm 以下土层土壤 MBC 并无明显影响。李香真等^[10]认为,土壤有机碳含量在一定程度上反应了土壤环境因子组合的最佳程度,土壤有机碳含量高,微生物所受胁迫

小, 有利于微生物群落的发展。因此, 0~30cm 土层以上, 尤其是耕层土壤施用沼渣后使得有机质相对集聚, 丰富的土壤有机质更有利于微生物群落发展。0~30cm 土壤 MBC 增幅是随着沼渣连续施用年限的延长先增加后减少, 这是因为第 1 年施用沼渣时土壤中有机碳含量骤然增高, 提供微生物生命活动的能源增多, 微生物活性增强; 多年持续施用沼渣时, 随着施用年限的增加, 对微生物的刺激效应减弱, 使得 0~30cm 土层 MBC 增幅随施用沼渣年限的增加而降低。

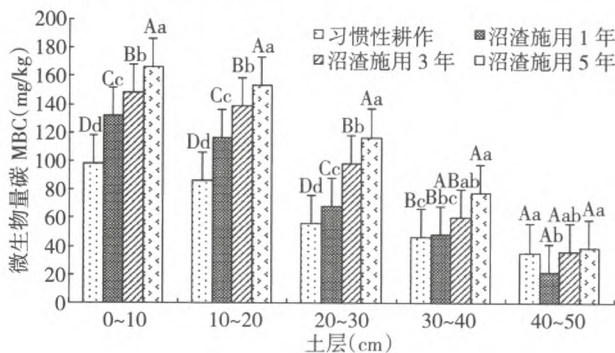


图 1 不同土层土壤微生物量碳含量

Fig. 1 Content of soil microbial biomass carbon in different soil layers

2.2 沼渣施用年限对土壤微生物量氮 (MBN) 含量的影响

MBN 是土壤有机氮中最活跃的组分, 与土壤氮素转化关系密切, MBN 的矿化率较高, 在土壤中很快发生矿化作用而释放出有效态氮, 在数量上低于或接近作物吸氮量^[11]。沼渣不同施用年限土壤中的 MBN 含量均为随土层的加深而减少 (图 2), 各土层 MBN 含量随沼渣的施用年限的增加而增加, 但其增幅随着沼渣施用年限的变化趋势不完全一致。对于 0~10cm、10~20cm 和 20~30cm 土层, 沼渣不同施用年限的 MBN 含量间均存在极显著性差异 ($P < 0.01$): $M_3 > M_2 > M_1 > CK$ 。0~10cm 土层 MBN 随施用年限的增加其增幅为先增加后减少, 其中 M_2 较 M_1 增幅最大, 值为 3.82 mg/kg, 增幅为 28.17%; 10~20cm 与 20~30cm 土层各处理 MBN 的增幅随施用年限的增加而减少, 其 M_1 较 CK 分别增加 3.47 mg/kg 和 2.05 mg/kg, 其增幅分别为 36.02% 和 28.00%。30~40cm 土层 M_1 与 CK 的 MBN 含量无显著性差异 ($P = 0.785$), MBN 含量随沼渣的施用年限的增加其增幅先增加后减少, 施用沼渣 1 年时 MBN 含量较传统耕作无明显变化, 施用沼渣 3 年 MBN 含量变化明显, 较施用

沼渣 1 年增加 2.82 mg/kg, 增幅最大, 值为 42.04%。40~50cm 土层仅 M_3 与 M_2 、 M_1 和 CK 的 MBN 含量达显著性差异, 其他各处理间均无显著性差异, 表明仅当沼渣施用 5 年时才显著影响该层土壤 MBN 的含量。0~10cm 土层 MBN 的增幅与 MBC 的变化趋势一致, 均随着施用沼渣年限的增加先增加后减少; 10~30cm 土层 MBN 的增幅随着施用沼渣年限的增加而减少, 这是由于沼渣施用年限的增加, 土壤微生物活性降低, 一部分转化为性质稳定的有机氮。

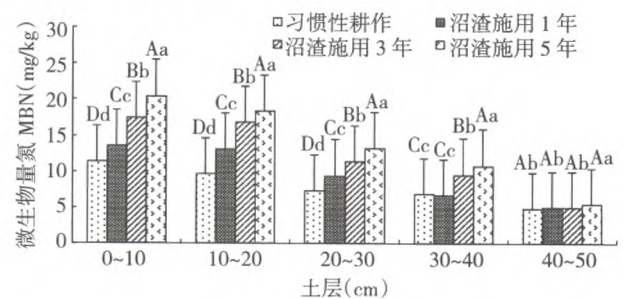


图 2 不同土层土壤微生物量氮含量

Fig. 2 Content of soil microbial biomass nitrogen in different soil layers

2.3 沼渣施用年限对 MBC/MBN 值的影响

各处理 MBC/MBN 随土层的加深而变小, 各土层随沼渣施用年限的变化趋势不一致 (表 1)。0~10cm 土层, MBC/MBN 随施用年限的增加先增加后减少, M_2 与 CK 无显著性差异 ($P = 0.436$), 在各处理中, M_1 的比值最大, M_3 的比值最小; 10~20cm 土层, M_1 较 CK、 M_3 较 M_2 的 MBC/MBN 值均无显著性差异 ($P = 0.576$ 和 $P = 0.402$), 其值随着施用年限的增加先减少后增加, M_1 较 CK 减少了 0.91%, M_3 较 M_2 增加了 1.55%; 20~30cm 土层, M_3 与 M_2 的 MBC/MBN 值无显著性差异 ($P = 0.246$), M_1 与 CK 的 MBC/MBN 值达显著性差异 ($P = 0.035$), 其值随着施用年限的增加先减少后增加, 但其增幅随着施用年限的增加而减少; 30~40cm 土层, MBC/MBN 含量随着施用年限的增加变化规律不明显, M_2 分别较 M_1 、 M_3 的 MBC/MBN 值达显著性差异 ($P = 0.017$ 、 $P = 0.021$), 其余各处理间 MBC/MBN 值均无显著性差异; 40~50cm 土层, 各处理间 MBC/MBN 均无显著差异。耕作层土壤 MBC/MBN 值变化在 8.15~9.73 之间, 与张平究等^[12]对太湖地区黄泥土的研究结果接近。

表1 施用沼渣不同处理的 MBC/MBN 值
Tab.1 Ratio of MBC/MBN in different soil layers

处理 深度	CK	M ₁	M ₂	M ₃
0~10	8.67 Bb	9.73 Aa	8.54 Bb	8.15 Cc
10~20	8.95 Aa	8.87Aa	8.27 Bb	8.40 Bb
20~30	7.61 Bb	7.27 Bc	8.63 Aa	8.80 Aa
30~40	6.83 Aab	7.23 Aa	6.31 Ab	7.18 Aa
40~50	7.41 Aa	7.36 Aa	7.31 Aa	7.10 Aa

2.4 沼渣施用年限对土壤 MBC/TOC 的影响

微生物对碳、氮等养分的利用率能够反映出土壤质量的重要特性,利用率越高,维持相同微生物量所需的能源越少,说明土壤环境越有利于微生物生长,土壤质量越高^[13]。各土层 MBC/TOC 值与 MBC 含量在剖面上的变化基本一致,总体随沼渣施用年限的增加而增加(表2)。0~10cm 土层, M₃ 较 M₁ 的 MBC/TOC 无显著性差异 (P = 0.583), 其它各处理之间均达极显著性差异, MBC/TOC 大小依次为 M₃ > M₁ > M₂ > CK, MBC/TOC 随着沼渣施用年限的增加呈“增-减-增”趋势, M₁ 较 CK 增加了 26.63%, 增幅最大; 10~20cm 土层, CK 较 M₁、M₂ 和 M₃ 的 MBC/TOC 值均达极显著性差异, 而 M₁、M₂ 和 M₃ 三者间均无显著性差异, 施用沼渣 1 年后 MBC/TOC 值变化较小; 20~30cm 土层, M₁ 与 CK 无显著性差异 (P = 0.152), M₂ 与 M₃ 达显著性差异 (P = 0.011), 随沼渣施用年限的增加, MBC/TOC 值不断增加, 其增幅先增加后减少, M₂ 较 M₁ 的 MBC/TOC 值增幅最大; 30~40cm 土层, CK 较 M₃ 的 MBC/TOC 值达显著性差异 (P = 0.015), M₁ 较 M₂ 无显著性差异 (P = 0.507), MBC/TOC 随沼渣施用年限的增加先减少后增加, 其中 M₂ 较 M₁ 的增幅大于 M₃ 较 M₂; 40~50cm 土层, 各处理之间 MBC/TOC 均无显著性差异, 且变化较小。

表2 施用沼渣不同处理的 MBC/TOC 值
Tab.2 Ratio of MBC/TOC in different soil layers

处理 深度	CK	M ₁	M ₂	M ₃
0~10	1.16 Cc	1.47 Aa	1.40 Bb	1.48 Aa
10~20	1.28 Bb	1.49 Aa	1.51 Aa	1.50 Aa
20~30	1.08 Bc	1.13 Bc	1.37 Ab	1.47 Aa
30~40	1.01 Ab	0.90 Bc	0.87 Bc	1.11 Aa
40~50	0.97 Aa	0.94 Aa	0.88 Aa	0.86 Ab

2.5 沼渣施用年限对土壤 MBN/TN 的影响

MBN/TN 值与 MBN 含量变化趋势一致(表3)。0~10cm 土层,各处理间 MBN/TN 值均达极显著性差异,MBN/TN 增幅随着施用年限的增加而减少,其值分别为 15.71%、11.44% 和 6.01%; 10~20cm 与 20~30cm 土层 MBN/TN 变化趋势一致, M₂ 与 M₃ 间无显著性差异 (P = 0.673 和 P = 0.473), 其余之间均达极显著性差异, MBN/TN 随着施用年限的增加而增加, 但沼渣施用 3 年后, 其值变化较小; 30~40cm 土层, CK 较 M₁ 的 MBN/TN 含量无显著性差异 (P = 0.318), MBN/TN 值随着施用年限的增加先减少后增加, 其增幅随着施用年限的增加而减少; 40~50cm 土层, CK 较 M₁、M₂ 和 M₃ 的 MBN/TN 含量达极显著性差异, 而 M₁、M₂ 和 M₃ 相互间均无显著性差异, 表明施用沼渣对该层无明显影响。由表 2 和表 3 可以看出: MBC/TOC 的变化幅度为 0.86%~1.51%, 低于国内外同类研究 (1%~4%), MBN/TN 的变化幅度为 1.27%~2.21%, 低于国内外研究 (2%~6%)^[14]。随着施用沼渣年限的增加, MBC/TOC 与 MBN/TN 的比值也随之增加, 这与“当可利用 C 源被加入土壤则比例上升, 当残留有机质变得更加稳定时, 这一比例会下降”^[15] 的研究结果相反, 说明施用沼渣有利提高微生物对土壤中碳和氮的利用率。各处理在垂直方向上 MBC/TOC 和 MBN/TN 的变化趋势与 MBC 和 MBN 变化一致, 与刘恩科^[16] 的研究结果一致。施用沼渣年限方面, MBC/TOC 与 MBN/TN 值均表现为: 5 年 > 3 年 > 1 年 > 习惯性耕作, 表明长期施用沼渣可以改善土壤质量, 提高微生物对有机碳和全氮利用率, 能有效地调节土壤养分循环, 与张明等的研究结果一致^[17]。

表3 施用沼渣不同处理得 MBN/TN 值
Tab.3 Ratio of MBN/SON in different soil layers

处理 深度	CK	M ₁	M ₂	M ₃
0~10	1.61 Dd	1.87 Cc	2.08 Bb	2.21 Aa
10~20	1.62 Cc	1.94 Bb	2.21 Aa	2.18 Aa
20~30	1.33 Cc	1.62 Bb	1.73 Aa	1.75 Aa
30~40	1.48 Cc	1.44 Cc	1.63 Bb	1.80 Aa
40~50	1.27 Ab	1.47 Aa	1.39 Aa	1.44 Aa

3 结论

3.1 土壤微生物量碳、微生物量氮含量随连续施用沼渣年限的延长而增加, 既有利于提高土壤有机

碳的活性,又有利于增加土壤中有效态氮。

3.2 对于不同的沼渣施用年限,各土层微生物量碳和微生物量氮的增幅变化趋势不一致。在 0~50cm 剖面分布上,施用沼渣 1~3 年 0~30cm 土壤微生物量碳、微生物量氮变化较大,施用沼渣 5 年时对 40~50cm 土层微生物量碳、微生物量氮无明显影响。随着施用沼渣年限的延长,0~20cm 土层微生物量碳和 10~30cm 土层微生物量氮含量增幅均为降低;30~40cm 土层微生物量碳含量增幅不断增大;20~30cm 土层微生物量碳、0~10cm 和 30~40cm 土层微生物量氮含量增幅均为先增加后下降。

参考文献:

- [1] 张 洁,姚宇卿,金 轲,等. 保护性耕作对坡耕地土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(4):126-129.
- [2] 任天志,Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学,2000,33(1):68-75.
- [3] 宋 日,吴春胜. 玉米根茬留田对土壤微生物量碳和酶活性动态变化特征的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(3):303-306.
- [4] 周智彬,李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J]. 应用生态学报,2003,14(8):1246-1250.
- [5] 杨劲峰,韩晓日,阴红彬,等. 不同施肥条件对玉米生长季耕层土壤微生物量碳的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(1):173-175.
- [6] 胡 诚,曹志平,罗艳蕊,等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(3):48-51.
- [7] 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.
- [8] 黄懿梅,安韶山,曲 东,等. 两种测定土壤微生物量氮方法的比较初探[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(6):830-835.
- [9] 林启美. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. 生态学杂志,1999,18(2):63-66.
- [10] 李香真,曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征[J]. 土壤学报,2002,39(1):97-104.
- [11] Srivastava S C. Microbial C,N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture[J]. Soil Biology & Biochemistry,1992,24(7):711-714.
- [12] 张平究,李恋卿,潘根兴,等. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土表微生物碳氮量及基因多样性变化[J]. 生态学报,2004,24(12):2818-2824.
- [13] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997,(2):61-69.
- [14] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology & Biochemistry,1985,17(6):837-842.
- [15] Anderson T H, Domsch K H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils[J]. Soil Biology & Biochemistry,1989,21(4):471-479.
- [16] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等. 不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落 16s rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析[J]. 生态学报,2007,27(3):1079-1085.
- [17] 张 明,白 震,张 威,等. 长期施肥农田黑土微生物量碳、氮季节性变化[J]. 生态环境,2007,16(5):1498-1503.

沼渣连续施用对土壤微生物量碳、氮剖面分布的影响

作者: [谢勇](#), [王昌全](#), [唐冲](#), [蔡春艳](#), [刘红辉](#), [XIE Yong](#), [WANG Chang-quan](#), [TANG Chong](#), [CAI Chun-yan](#), [LIU Hong-hui](#)

作者单位: [谢勇, 蔡春艳, XIE Yong, CAI Chun-yan \(四川农业大学资源环境学院, 四川雅安625014; 遂宁市安居区环境保护局, 四川遂宁629000\)](#), [王昌全, WANG Chang-quan \(四川农业大学资源环境学院, 四川雅安, 625014\)](#), [唐冲, 刘红辉, TANG Chong, LIU Hong-hui \(遂宁市安居区环境保护局, 四川遂宁, 629000\)](#)

刊名: [四川环境](#)

英文刊名: [Sichuan Environment](#)

年, 卷(期): 2014, 33(4)

引用本文格式: [谢勇. 王昌全. 唐冲. 蔡春艳. 刘红辉. XIE Yong. WANG Chang-quan. TANG Chong. CAI Chun-yan. LIU Hong-hui 沼渣连续施用对土壤微生物量碳、氮剖面分布的影响\[期刊论文\]-四川环境 2014\(4\)](#)