淮南大通矿区复垦土壤微生物量碳氮的分布特征

张杰琼[1]，方凤满[1,2]，余 健[1]，江培龙[1]，邓正伟[1]，林跃胜[1]

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院，安徽 芜湖 241003；
2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室，安徽 芜湖 241003)

摘 要：通过野外调查和室内分析，研究了淮南大通煤矿复垦区表层(0—10 cm)土壤理化性质及微生物量碳(SMBC)、微生物量氮(SMBN)的分布特征。结果表明，耕地(油菜地、小麦地、蔬菜大棚)土壤有机碳、氮、磷等含量均高于林地，而土壤 pH 值则相反。土壤 SMBC 含量依次为：蔬菜大棚＞油菜地＞小麦地＞林地＞对照样，蔬菜大棚显著高于其他农业用地方式。土壤 SMBN 则为：蔬菜大棚＞小麦地＞油菜地＞林地，林地土壤微生物量氮显著低于其他农业用地方式。林地土壤微生物商最高，表明在有机质积累的同时林地更有利于土壤微生物活动。土壤微生物量碳氮之间显著相关，进一步证实土壤微生物量碳、氮可以作为表征土壤肥力的敏感因子。

关键词：煤矿复垦区；土壤微生物量碳；土壤微生物量氮；农业用地方式；大通矿区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)03-0267-04 **中图分类号**：X75

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.053

Spatial Characteristics of Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Datong Reclaimed Coal Mine Area of Huainan Region

ZHANG Jie-qiong[1], FANG Feng-man[1,2], YU Jian[1], JIANG Pei-long[1], DENG Zheng-wei[1], LIN Yue-sheng[1]

(1. *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241003, *China*;
2. *Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui* 241003, *China*)

Abstract: Spatial characteristics of soil physiochemical properties, soil microbial biomass carbon(SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN) within 10 cm of soil surface in the Huainan reclaimed coal mine area were studied through field investigation and laboratory analysis. Results showed that contents of soil organic matter, nitrogen, phosphorus in cultivated lands(rape, wheat and vegetable greenhouse) were higher than those in woodland, but soil pH value was opposite. The land uses, in order of decreasing SMBC content, were vegetable greenhouse, rape, wheat, woodland and the control. Moreover, the SMBC content in vegetable greenhouse was significantly higher than the other cultivted land uses. The land uses, in order of decreasing SMBN content, were vegetable greenhouse, wheat, rape and woodland. The SMBN content in woodland was significantly higher than the other agricultural land uses. The soil microbial quotient was the highest in woodland, indicating that woodland was more suitable to soil microbial activities and soil organic matter accumulation. There was a significant correlation between the SMBC and SMBN, which further confirms that the SMBC and SMBN can be used as the sensitive factors to characterize the soil fertility.

Keywords: reclaimed coal mine area; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; cultivted land use patterns; Datong reclaimed coal mine area

土壤是人类赖以生存发展的重要物质基础。随着煤炭资源的开采，特别是井工开采造成大面积的地面塌陷，严重破坏了矿区土壤资源，使可耕地面积减少，影响了矿区农业生产，同时会导致民事纠纷增多，诱发严重的社会问题[1-2]。因此，采煤塌陷地土壤的生态恢复成为矿区复垦的研究热点之一。

收稿日期：2013-05-22 **修回日期**：2013-07-20

资助项目：教育部博士点基金博导类课题“矿区重金属污染土壤的健康风险评估及生态安全调控研究”(20103424110002)；国家自然科学基金项目“煤矿区儿童对室内细粒径灰尘中重金属暴露特征及健康风险研究”(41371480)

作者简介：张杰琼(1989—)，女(汉族)，安徽省六安市人，硕士研究生，研究方向为表生环境中污染物的迁移与转化研究。E-mail:172468101@qq.com。

通信作者：方凤满(1974—)，女(汉族)，安徽省池州市人，博士，教授，博士生导师，主要从事表生环境中污染物的迁移与转化研究。E-mail:ffm1974@mail.ahnu.edu.cn。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分，在有机质分解，养分循环和植物养分利用过程中发挥着关键作用，同时对外部环境变化敏感，因此，土壤微生物量可以作为综合评价土壤质量和肥力状况的指标之一[3]。与自然土壤相比，复垦区土壤表土扰动剧烈，土壤理化性质和性状受到较大破坏，使得土壤微生物的生存环境发生变化，因而矿区土壤的微生物种群数量的多少可以作为矿区复垦土壤性质演变的指标之一。现有采煤塌陷地复垦土壤研究多集中在复垦后土壤可耕性及污染状况时空变化及评价等方面[4-5]，而有关煤矿复垦区内部土壤微生物量碳氮的空间分布特征研究较少。本文以淮南市大通区九龙岗煤矿复垦区为研究对象，通过比较不同农业用地方式下土壤微生物量碳、氮的分布特征并分析其影响因素，探讨煤矿复垦区土壤微生物量和农业用地方式之间的相关性，以期为煤矿复垦区土壤肥力的维持和培育提供一定的参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

安徽省淮南市大通老矿区，随着煤炭资源的枯竭，矿井报废，形成了大面积耕地沉陷，为典型的稳定塌陷区，于 2004 年完成复垦，其生态修复工程已成为矿区塌陷地复垦的成功典范。该区复垦方式是利用矿区废物煤矸石、污泥等充填后，表层覆正常农田土壤造田种植，覆土厚度为 40 cm(油菜地、蔬菜大棚覆土多为表层土，小麦地、林地覆土表层土相对较少)。该区属于亚热带季风气候，气候温和，雨热同期，日照充足，积温较高降水集中于春夏季节，年日照时数为 2 279～2 323 h，年平均气温 15 ℃左右，年平均降水量 900 mm。土壤类型主要为黄棕壤。

1.2 样品采集与处理

2012 年 4 月底，通过实地考察和资料收集，采用网格布点法，结合土地利用现状，根据农业用地方式的不同(油菜地、林地(灌木桃林)、蔬菜大棚、小麦地)分别设置 3～8 个采样点，采样前去除地表植被及杂物，每个样点分别采集 3 个土样均匀混合成一个样品，现场取一部分装铝盒，用烘干法测定土壤水分。采样深度为 0—10 cm。并采集塌陷地未复垦土壤作为对照样，共采集土样 18 个，所得土样储存于 4 ℃以下的便携式冷藏箱中。同时记录采样点周边环境特征并调查肥料施用状况。

样品带回实验室后，除去土壤动植物残体和碎石，碾碎过 2 mm 筛，混合均匀，分为两份。一份鲜样测定土壤微生物量碳氮；另一份土样经风干磨细，过 60 目筛，测定土壤理化性质。

1.3 分析方法

微生物量碳、氮的测定采用氯仿熏蒸—K_2SO_4 提取法，分别用重铬酸钾氧化法和开氏定氮法测定浸提液中的碳、氮[6]。土壤理化性质采用实验室常规分析方法[7]。

本文采用 SPSS 和 Excel 软件进行统计数据分析，处理间的差异显著性采用单因素方差分析检验，变量间的相关关系采用 Pearson 相关统计方法。

2 结果与讨论

2.1 土壤理化性质

由表 1 可知，复垦区土壤理化性状差异显著，pH 值约为 7.41±0.32，呈中性。土壤有机碳的变化由高到低依次为：油菜地＞蔬菜大棚＞小麦地＞林地，且达到显著性水平(小麦地与林地除外)($p<0.05$)。同为旱作粮田，油菜地土壤有机碳含量显著高于小麦地、林地和蔬菜大棚。主要是由于油菜地上覆表土为当地基本农田表层土，而其他农业利用方式土壤上覆表土土壤主要来自深层土壤，故油菜地土壤有机碳含量显著高于其他农业用地方式。蔬菜大棚有机碳含量显著高于林地和小麦地，可能是由于大棚内施用有机肥和化肥的频率较高，强度较大所致。土壤全氮和全磷的变化趋势与有机碳分布具有很好的相关关系。受施肥频率及施肥种类的的影响，土壤中全氮、全磷的变化趋势与碱解氮和有效磷的变化并不一致，土壤碱解氮和有效磷的高低变化顺序则表现为蔬菜大棚、油菜地、小麦地、林地。林地碱解氮含量显著低于其他农业用地方式($p<0.05$)。蔬菜大棚有效磷含量显著高于其他农业用地方式。可见，施用有机肥和进行秸秆还田可提高复垦区土壤有机碳含量，大量施用化肥会造成土壤氮、磷含量较高，pH 值下降。

总体上，耕地(蔬菜大棚、小麦地、油菜地)的有机碳、氮、磷含量均高于林地；pH 值则是林地高于耕地。对照全国第二次土壤普查土壤养分分级标准[8]，发现研究区土壤养分普遍缺乏，属于低肥力土壤生态系统，需通过各种方式改善土壤肥力。

2.2 土壤微生物量碳和微生物量氮

土壤微生物量的高低反映了土壤矿化和同化能力的大小，是土壤生态系统肥力的重要生物学指标[9]。不同农业管理措施对土壤微生物生物量具有明显的影响[10]。由图 1 可知，复垦区土壤微生物量碳含量变幅在 116.89～432.58 mg/kg，平均值为 254.45±81.54 mg/kg；与对照样相比，土壤微生物量碳含量有明显提高。

表 1　淮南煤矿复垦区土壤理化性质分布特征

土壤理化性质	小麦地	林地	蔬菜大棚	油菜地	平均值	对照
有机碳/(g·kg^{-1})	13.76±1.62c	11.36±1.27c	23.18±3.64b	35.81±2.19a	17.49±9.66	34.17
全氮/(g·kg^{-1})	0.93±0.04c	0.90±0.08c	1.09±0.01b	1.56±0.118a	1.04±0.26	1.40
碱解氮/(mg·kg^{-1})	69.11±1.98a	54.66±5.83b	73.73±0.98a	69.69±10.81a	62.11±10.00	53.90
碳氮比	14.88±1.89b	12.56±1.02b	21.33±3.54a	22.99±0.38a	15.85±4.61	24.42
全磷/(g·kg^{-1})	0.42±0.06c	0.27±0.02d	0.51±0.002b	0.62±0.091a	0.39±0.143	0.48
有效磷/(mg·kg^{-1})	11.54±6.57b	6.03±3.69b	56.25±0.622a	22.92±0.54b	15.89±16.83	13.77
pH 值(H_2O)	7.09±0.11b	7.37±0.30ab	7.08±0.10b	7.76±0.18a	7.41±0.32	7.76
含水量/%	19.05±1.47b	19.45±2.29b	25.67±3.57a	15.38±1.69c	19.39±3.50	19.44

注:不同小写字母表示处理间差异达显著性($p<0.05$)。

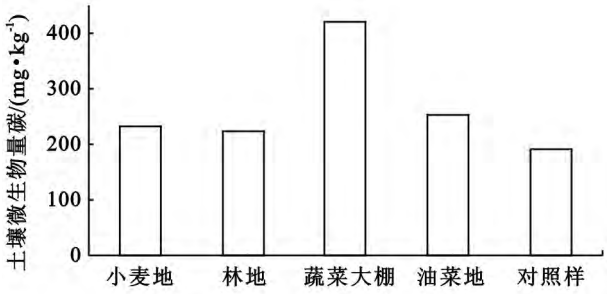


图 1　复垦区土壤微生物量碳分布特征

土壤微生物量碳由高到低依次为蔬菜大棚(421.19±16.09 mg/kg)>油菜地(254.69±32.53 mg/kg)>小麦地(232.58±2.89 mg/kg)>林地(224.60±63.88 mg/kg),蔬菜大棚土壤微生物量碳显著高于其他农业用地方式($p<0.05$)。这与刘文娜等[11]的研究结果(粮田>菜地>林地)并不一致。一方面可能是由于该区蔬菜大棚施用有机肥和化肥的频率和强度明显高于林地和粮田(小麦地、油菜地),使得土壤外来有机碳源增加,土壤理化性状得到改善,植物根系生物量及根系分泌物增加,进而提高了土壤微生物量碳含量。另一方面是由于大棚覆盖使得土壤能够保持相对稳定的温度和湿度,同时减少了太阳光照射对土壤微生物的损害,从而提高土壤微生物的活性。与刘文娜等[11]的研究结果相比,研究区林地土壤微生物量碳和粮田(小麦地、油菜地)差异性并不显著,可能是由于采样期间正值农作物生长季节,作物生长迅速与土壤微生物竞争养分,最终导致粮田土壤微生物量较低。另一方面是由于复垦年限尚短,不同农业用地方式和农业管理对土壤微生物量碳的影响尚未充分显现。

由图 2 可知,土壤微生物量氮含量变幅在 10.81~26.56 mg/kg,平均值为 19.0±4.87 mg/kg。在不同农业用地方式下依次为:蔬菜大棚(25.7±1.253 mg/kg)>小麦地(21.92±0.095 mg/kg)>油菜地(21.63±0.908 mg/kg)>林地(15.65±4.177 mg/kg)。

差异性分析表明,林地土壤微生物量氮显著低于其他农业用地方式($p<0.05$)。但赵先丽等[12]研究表明林地土壤微生物量氮含量显著高于耕地,这可能是因为本研究区林地是典型的速生灌木林地,与一般天然林地相比,生长年限较短,且常年不施肥,土壤有效氮匮乏,微生物对土壤氮素的固定量降低。而小麦地、油菜地和蔬菜大棚由于长期施用有机肥和化肥有效地补充了土壤有效氮源,故微生物量氮含量要显著高于速生林地。

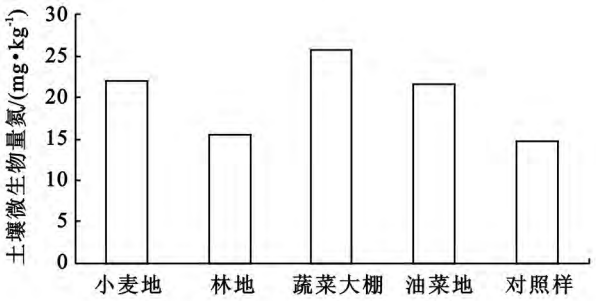


图 2　复垦区土壤微生物量氮分布特征

2.3　土壤微生物熵

土壤微生物碳/土壤有机碳称为微生物熵,对有机质含量不同的土壤进行比较时,比土壤微生物碳更具优势[13]。由图 3 可知,复垦区土壤微生物熵在 0.65%~2.81%,平均值为 1.71±0.68%。与未复垦对照样(0.56%)相比,不同农业用地方式下土壤微生物熵均有较大提高,说明复垦后土壤环境更有利于土壤微生物的生长。

由图 3 可知,4 种农业用地方式下,林地土壤微生物熵最高为 2.01±0.65%,油菜地最低为 0.71±10.1%,小麦地(1.71±0.23%)与蔬菜大棚(1.85±0.35%)相差不大。说明林地在有机质积累过程中更有利于土壤微生物量的提高,这可能是由于林地表层土壤受人类扰动少,土壤结构适宜,更有利于土壤微生物的生长。同为旱作粮田,油菜地土壤微生物熵显

著低于小麦地，可能是由于复垦土壤由于人为扰动较大，使得土壤微生物生存环境发生变化，从而影响了油菜地土壤微生物商的大小。

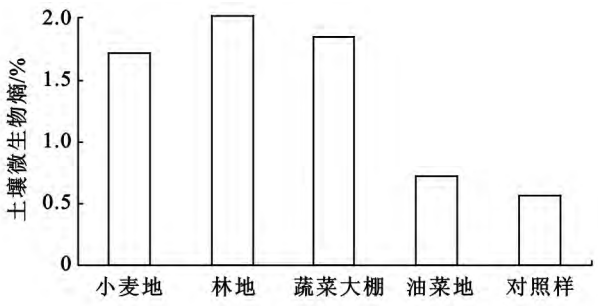


图 3 复垦区土壤微生物商分布特征

2.4 土壤微生物量碳氮与土壤理化性质相关性分析

土壤微生物量碳与有效磷之间呈极显著正相关（$R=0.755$，$p<0.05$）；土壤微生物量氮与土壤有机碳、碱解氮、全磷、有效磷呈显著正相关（$R=0.485$，0.485，0.621，0.644，$p<0.05$）。土壤微生物量碳、氮之间极显著正相关（$R=0.623$，$p<0.05$，表 2）。与前人研究结果相比[11,14]，土壤微生物量碳和有机碳、全氮的相关性并未达到显著性水平，而土壤微生物量碳与有效磷呈显著相关。这可能是由于磷肥的施入可以刺激植物根系发育，地下生物量增加促进了根系分泌物的释放，增加根系残茬的还田量。另一方面可能是磷素的加入使得土壤 pH 值改变或盐浓度改变，创造了有利于土壤微生物生存的环境。

表 2 土壤微生物量碳氮与土壤理化性质相关性分析

土壤理化分布	有机碳	全氮	碱解氮	全磷	有效磷	pH 值	含水量	微生物量碳
微生物量碳	0.295	0.199	0.390	0.328	0.755**	−0.334 6	0.379 0	1.00
微生物量氮	0.485*	0.390	0.485*	0.621*	0.644*	−0.333 0	0.033 6	0.623**

注：* 表示相关性达显著性水平（$p<0.05$）；** 表示相关性达到极显著性水平（$p<0.01$）。

3 结 论

淮南煤矿复垦区土壤理化性质与土壤微生物量碳、氮差异显著。油菜地和蔬菜大棚的土壤有机碳、全氮、全磷含量显著大于小麦地和林地，受施肥措施的影响，林地土壤 pH 值较大，碱解氮和有效磷显著小于其他农业用地方式。土壤微生物量碳、氮及微生物熵与对未复垦对照样相比均有较大提高，复垦区土壤微生物量碳、氮，均表现为蔬菜大棚最高，油菜地和小麦地相差不大，林地最低。微生物熵分析表明，林地具有较高的微生物维持能力；土壤微生物量碳、氮之间显著相关，表明土壤微生物量碳、氮可以作为表征土壤肥力的敏感因子。

[参 考 文 献]

[1] 刘飞，陆林. 采煤塌陷区的生态恢复研究进展[J]. 自然资源学报，2009，24(4)：612-620.

[2] 李新举，胡振琪，李晶，等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. 农业工程学报，2007，23(6)：276-280.

[3] 李新爱，肖和艾，吴金水，等. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报，2006，17(10)：1827-1831.

[4] 梁利宝，洪坚平，谢英荷，等. 不同培肥处理对采煤塌陷地复垦不同年限土壤熟化的影响[J]. 水土保持学报，2010，24(3)：140-145.

[5] 李玲，高畅，董洋洋，等. 典型煤矿工业园区土壤重金属污染评价[J]. 土壤通报，2013(1)：227-231.

[6] 彭佩钦，吴金水，黄道友，等. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 生态学报，2006，26(7)：2261-2267.

[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] 王小利，苏以荣，黄道友，等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. 中国农业科学，2006，39(4)：750-757.

[9] 董莉丽，郑粉莉. 土地利用类型对土壤微生物量和有机质的影响[J]. 水土保持通报，2009，29(6)：10-16.

[10] 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土微生物碳氮量及基因多样性变化[J]. 生态学报，2004，24(12)：2818-2824.

[11] 刘文娜，吴文良，王秀斌，等. 不同土壤类型和农业用地方式对土壤微生物量碳的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(3)：406-411.

[12] 赵先丽，吕国红，于文颖，等. 辽宁省不同土地利用对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报 2010，29(10)：1966-1970.

[13] 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.

[14] 王晓龙，胡锋，李辉信，等. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报，2006，25(1)：143-147.