

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

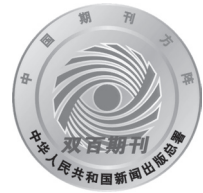
第52卷 第3期

Vol.52 No.3



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

目 次

综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- ¹³C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入¹⁵N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像 (由张中彬提供)

DOI: 10.11766/trxb201403120106

高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响*

矫丽娜¹ 李志洪^{1†} 殷程程¹ 王晓飞² 辛士颖¹ 于磊¹

(1 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

(2 黑龙江省科学院大庆分院, 黑龙江大庆 163319)

摘要 在田间耕作条件下黑土3个土层(0~20、20~40、40~60cm)添加4%和8%高量玉米秸秆于尼龙袋中原位培养近4年后, 研究不同层次土壤秸秆转化与有机碳积累特征, 以及腐殖质各组分和土壤酶活性的变化。结果表明, 添加4%的秸秆量0~20、20~40和40~60cm土层有机碳分别增加31.8%、96.4%和171.1%, 8%秸秆添加量分别增加了86.2%、193.5%和265.9%, 增加秸秆还田深度有利于土壤有机碳的积累。0~20 cm土层在无秸秆还田情况下有机碳下降了29.3%, 而20~40 cm土层仅下降了1.8%。土壤有机碳含量和酶活性均随秸秆添加量的增加而提高, 腐殖质胡敏酸/富里酸(HA/FA)比值发生较大变化, 改善了腐殖质品质。各处理腐殖酸碳(HS-C)和胡敏酸碳(HA-C)的大小为20~40 cm土层>0~20 cm土层>40~60 cm土层, 而40~60 cm土层则更有利于富里酸碳(FA-C)的积累。土壤过氧化氢酶活性、脲酶和蔗糖酶活性分别与HA-C、FA-C含量呈极显著正相关、显著正相关。研究结果为深层秸秆还田促进土壤有机质的积累提供了理论依据。

关键词 秸秆还田; 土层; 腐殖质积累特征; 土壤酶活性

中图分类号 S151.9 **文献标识码** A

中国是农业生产大国, 也是秸秆资源最为丰富的国家之一。大量的秸秆被焚烧导致秸秆作为能源比重下降, 同时带来了环境污染和经济损失^[1-2], 如何使秸秆资源利用合理化、经济化和环保化成为当务之急。作物秸秆中除含有N、P、K和有机碳养分外, 还可提供相当数量的中量、微量元素和氨基酸、核酸、糖、维生素等有机营养成分^[3], 因此, 秸秆还田可以作为土壤培肥和养分元素补充的有效途径之一。

近十几年来关于秸秆还田能够提高土壤有机质含量的报道较多, 肯定其对增加和更新有机质的作用。慕平等^[4]分别连续3、6和9年秸秆还田, 0~30 cm土层土壤有机质明显增加, 并随还田年限的增加有机质积累的更多。Lenka和Rattan等^[5]连续15年以8 t hm⁻²和16 t hm⁻²秸秆覆盖免耕

轮作, 0~10 cm土层有机质含量分别增加25%和50%左右, 而其他土层有机质含量的变化并未予以报道。近来也有对秸秆不同深度还田腐解特征的研究^[6-7], 但仅是对0~20 cm内再划分3个土层还田进行的。在北方旱作耕地经根茬还田和部分秸秆还田, 土壤有机质可以维持较稳定的水平, 但20 cm以下的犁底层坚实, 根系难以下扎, 进入的有机质残体数量很少, 土壤有机质数量较低, 导致基础肥力不高, 所以在东北地区大力提倡深层秸秆还田, 旨在提高下层土壤肥力, 而较深土层秸秆还田的腐殖化特点研究鲜为报道。本文为探索不同深度土层秸秆还田腐殖化特征而采用田间原位培养方法进行的研究。生产中秸秆还田土壤微域有机残体一般呈非均匀性分布, 可能在某些区域有机物料的比例非常高, 所以本文选择耕作黑土的3个土层,

*吉林省科技厅重点基金项目(LFGC14213)和科技部丰粮工程项目(2012BAD04B02)资助

†通讯作者: 李志洪(1957—), 博士, 教授, 主要从事土壤培肥、土壤-作物养分高效利用、农业信息技术与精准农业等研究。E-mail: lizhihong21@163.com

作者简介: 矫丽娜(1986—), 女, 内蒙古呼伦贝尔市人, 硕士研究生, 主要从事土壤有机培肥研究。E-mail: 564973784@qq.com

收稿日期: 2014-03-12, 收到修改稿日期: 2014-09-14

添加高量秸秆在尼龙袋内培养转化4年,分析不同深度土层有机质积累、腐殖质组分、含量和土壤酶活性的变化,以此揭示不同深度土层秸秆腐殖化特征,并为秸秆还田快速培肥土壤提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自吉林农业大学试验站耕地(43°48′05″N、125°24′06″E),土壤类型为黑土。分三层(0~20、20~40和40~60cm)取样,依次以A、B、C来表示,为研究方便起见,各土层原始土壤分别用Ack、Bck、Cck来表示。土壤Ack有机质含量为24.96 g kg⁻¹、全氮1.25 g kg⁻¹、全磷0.34 g kg⁻¹、碱解氮127 mg kg⁻¹、pH 6.24。Bck土壤有机质含量为17.39 g kg⁻¹、全氮1.06 g kg⁻¹、全磷0.30 g kg⁻¹、碱解氮117 mg kg⁻¹、pH 6.44; Cck土壤有机质含量为12.08 g kg⁻¹、全氮1.01 g kg⁻¹、全磷0.24 g kg⁻¹、碱解氮112 mg kg⁻¹、pH 6.52。土壤经风干过2 mm筛备用。

供试作物残体为成熟期的玉米秸秆,75℃下烘干至恒重,粉碎过0.25 mm筛,加入一定量的尿素将有机物料的碳氮比调节至25:1。

1.2 试验设计

试验设不加玉米秸秆(A0、B0、C0)、加4%(A4、B4、C4)和8%(A8、B8、C8)玉米秸秆共9个处理,重复3次。本文认为土壤中的有机物料无论以何种方式进入,在微观区域内多数情况下是非均匀的,秸秆(残根等)—土壤界面有机物料的比例可能是非常高的,所以本文采用4%和8%的秸秆添加量。有机物料的湿度调节至60%左右,与4 kg土壤充分混合装入尼龙袋中,于2009年5月埋入原耕地土层中,在自然条件下进行培养转化,并于同年10月将其取出,进行风干,并分离少量土样用于测定有机碳,2010年7月再埋入土层中进行培养转化至2012年9月取出,确定土壤无有机残体,风干后过2 mm筛备用。

1.3 分析方法

土壤氮、磷、钾采用常规方法进行分析^[8],全氮采用半微量开氏法测定;碱解氮采用碱解扩散法;全磷采用HClO₄-H₂SO₄法测定;pH采用pHS-3C型pH计测定;土壤总有机碳(TOC)采用重铬酸钾外加热法测定;胡敏酸(HA)、富里

酸(FA)的提取和分离采用腐殖质组成修改法测定^[9-10];色调系数(ΔLogK)参照Kumada等的方法^[9];土壤腐殖质各组分有机碳均采用重铬酸钾容量(外加热)法测定;酶活性参照关松荫^[11]的方法测定,其中过氧化氢酶的活性采用高锰酸钾滴定法测定,活性以1 g土所消耗的高锰酸钾的毫升(ml)数表示;脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定,酶活性在37℃恒温培养24 h后,以1 g土中NH₃-N的毫克(mg)数表示;蔗糖酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定,以单位土重的0.1 mol l⁻¹硫代硫酸钠毫升(ml)数表示。

1.4 数据处理

试验数据采用Excel2010软件和SPSS17.0软件进行统计分析。采用最小显著法(LSD)检验试验数据的差异显著性水平($p < 0.05$)。

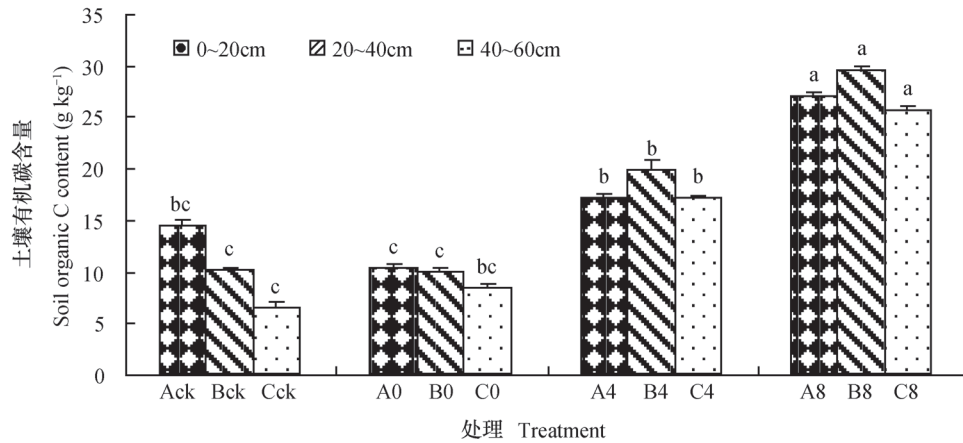
2 结果

2.1 不同深度秸秆还田对土壤总有机碳积累特征的影响

近4年的培养试验表明,玉米秸秆腐解对土壤总有机碳含量的影响非常明显,经方差分析表明各处理间有机碳含量均呈显著性差异。由图1可知,相同土层,秸秆还田量增加可显著提高土壤有机碳累积量,A4和A8处理有机碳分别增加4.61和12.48 g kg⁻¹,较Ack增加31.8%和86.2%,B4和B8有机碳分别增加9.73和19.52 g kg⁻¹,较Bck分别增加96.4%和193.5%,而C4和C8有机碳分别增加11.98和18.61 g kg⁻¹,较Cck分别增加171.1%和265.9%。

不同层次土壤有机碳变化量表明20 cm以下土层更有利于腐殖质的积累,可能是因为深层土壤通气性差,导致秸秆分解速度降低,缓慢的分解转化有利于腐殖质的积累。

从图1同时还可以看出未添加秸秆的A0有机碳含量较Ack降低29.3%,B0较Bck降低1.8%,C0较Cck增加19.8%,说明不同深度土层原有机碳在无外源有机物料添加经过4年的转化情况下,有机碳的数量变化存在明显差异。A层土壤水热变化频繁且通气性好于下层,有机质的分解矿化速度快,原有机碳数量下降明显,而B层原有机碳数量仅有微弱的降低,说明20cm以下土层有机质分解速度降低,C层有机碳略有增加可能是因为截留上层下移的水溶性有机碳所致。



注：图中A、B、C分别代表0~20、20~40和40~60cm土层，ck代表原始土壤，0、4和8分别代表秸秆还田量为0、4%和8%。图中相同土层的各处理间的不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)，下同 Note: A, B and C stands for the 0~20, 20~40 and 40~60cm soil layer, respectively, CK for control, 0, 4 and 8 for straw incorporation rate, 0, 40 and 80 g kg⁻¹ of soil. Different letters in the same soil layer represent significant difference ($p < 0.05$), The same below

图1 不同深度秸秆还田土壤有机碳含量

Fig.1 Soil organic carbon content relative to different depth of straw incorporation

2.2 不同深度秸秆腐解对土壤腐殖质各组分含量和结构特征的影响

相同土层，秸秆添加量明显提高了土壤腐殖酸碳 (HS-C) 含量。与A0处理相比，A4和A8处理分别增加24.2%和56.8%，B4和B8处理分别较B0处理增加33.5%和86.7%，C4和C8处理分别较C0处理增加了62.7%和93.4%。比较A、B和C各土层，添加8%秸秆HS-C的相对增加量分别是4%秸秆处理相对增加量的2.4倍、2.6倍和1.5倍。胡敏酸碳 (HA-C) 和富里酸碳 (FA-C) 含量在相同土层土壤中也随秸秆添加量的增加呈明显的增加趋势。秸秆还田腐殖化4年后HA-C在B层土壤中的含量最高，在B4处理下为3.17 g kg⁻¹，B8处理下为4.38 g kg⁻¹，而HA-C相对增加量最高出现在C层，C4处理增加58.6%，C8处理增加95.9%。FA-C亦较多地趋向于积累在C层土壤中。

表1表明，随深度的增加未添加秸秆的处理，HA-C/HS-C比值有下降的趋势；添加秸秆的处理，HA-C/HS-C的比值大小为B > A > C。从土壤腐殖酸的组成来看，未添加秸秆处理，胡富比 (HA-C/FA-C) 随土层深度的增加比值下降；添加秸秆的处理，不同土层深度的HA-C/FA-C发生了变化，大小为B > A > C，说明添加秸秆后，土壤腐殖质的品质得到了提高。

采用色调系数 (ΔLogK) 作为指标比较添加

秸秆后土壤腐殖质各组分结构特征。一般认为，色调系数 (ΔLogK) 能够反映腐殖质分子结构的复杂程度，即 ΔLogK 越高，说明其分子结构越简单；反之， ΔLogK 越低则说明其分子结构越复杂^[12]。与未添加玉米秸秆的处理相比，添加玉米秸秆后，HA和FA的 ΔLogK 值增加，而且随着添加秸秆量的增加呈总体增加的趋势，说明添加秸秆后各组分均向分子结构简单化的方向发展。不添加秸秆的处理，随着土层深度的增加，胡敏酸和富里酸的 ΔLogK 降低；而添加秸秆，不同土层腐殖质各分组的 ΔLogK 大小顺序为B > A > C。

2.3 不同深度秸秆还田对土壤酶活性的影响

2.3.1 过氧化氢酶活性

过氧化氢酶活性是土壤物质转化过程中一种重要的氧化酶，表征土壤腐殖化强度大小和有机质积累程度，同时又是土壤肥力的指标。测定过氧化氢酶不仅能间接了解有机质的含量水平，而且可以判断土壤有机质的转化状况^[13]。图2是不同秸秆添加量对土壤过氧化氢酶的影响，可以看出随着添加秸秆量的增加，过氧化氢酶活性呈总体增加的趋势。A层土壤中，A4和A8处理较A0过氧化氢酶活性分别增加了14.9%和29.2%，说明添加秸秆对过氧化氢酶活性有很大的促进作用。在B层土壤中B8处理过氧化氢酶较B0增加了39.6%，B4较B0增加了12.7%。C层土壤过氧化氢酶的大小为 (C8、C4处理) > C0处理。添加

表1 土壤腐殖酸各组分碳和 ΔLogK 的变化Table 1 Variation of soil HS in composition and ΔLogK

处理	腐殖酸碳HS-C (g kg ⁻¹)	胡敏酸碳 HA-C (g kg ⁻¹)	富里酸碳FA-C (g kg ⁻¹)	HA-C/ HS-C (%)	FA-C/ HS-C (%)	胡富比 HA-C/ FA-C	色调系数 ΔLogK	
							HA	FA
A0	3.85 ± 0.34g	2.37 ± 0.03g	1.48 ± 0.27g	61.56	38.40	1.60	0.62	1.27
B0	3.76 ± 0.14h	2.32 ± 0.58g	1.44 ± 0.16h	61.70	38.30	1.61	0.58	1.23
C0	3.03 ± 0.23i	1.74 ± 0.19h	1.29 ± 0.14i	57.43	42.60	1.35	0.55	1.17
A4	4.78 ± 0.16f	2.90 ± 0.34e	1.88 ± 0.23e	60.67	39.30	1.54	0.63	1.44
B4	5.02 ± 0.26d	3.17 ± 0.05d	1.85 ± 0.43f	63.15	36.90	1.71	0.66	1.59
C4	4.93 ± 0.06e	2.76 ± 0.21f	2.17 ± 0.72d	55.98	44.00	1.27	0.63	1.30
A8	6.04 ± 0.67b	3.73 ± 0.09b	2.31 ± 0.32c	61.75	38.20	1.61	0.67	1.37
B8	7.02 ± 0.17a	4.38 ± 0.04a	2.64 ± 0.07a	62.39	37.60	1.66	0.68	1.54
C8	5.86 ± 0.25c	3.41 ± 0.08c	2.45 ± 0.03b	58.19	41.80	1.39	0.66	1.36

注：表中同列不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$) Note: Different letters in the same column represent significant difference ($p < 0.05$)

4% 秸秆的B层和C层土壤过氧化氢酶活性较A层有明显的增加，这可能与B和C层土壤有机碳数量明显增加有关。

2.3.2 土壤脲酶活性 从图3可以看出，土层深度相同时，与未添加秸秆处理相比，随着秸秆添加量的增加土壤脲酶活性呈总体增加的趋势。0~20 cm土层A4和A8处理分别较A0增加了298.8%和319.3%，20~40 cm土层B4和B8处理分别较B0增加了112.2%和259.8%，40~60cm土层C8处理脲酶活性最高，较C0增加了249.5%，添加秸秆能显

著增强土壤脲酶活性 ($p < 0.05$)。

2.3.3 蔗糖酶活性 蔗糖酶存在于所有的土壤里，是现今研究最多的土壤酶之一。土壤的蔗糖酶活性与腐殖质、水溶性有机质和黏粒含量以及微生物的数量呈正相关^[14]。图4显示土层深度相同时，添加秸秆的土壤中蔗糖酶的活性显著提高，并且均与不加秸秆处理达到显著差异，添加4%和8%秸秆间蔗糖酶的活性无显著差异。秸秆添加量相同时，土壤蔗糖酶的活性在各土层的排列顺序为A > B > C。

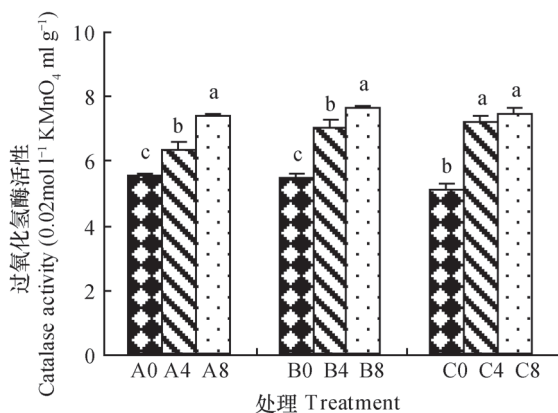


图2 不同深度秸秆还田土壤过氧化氢酶活性

Fig.2 Activity of soil catalase relative to depth of straw incorporation

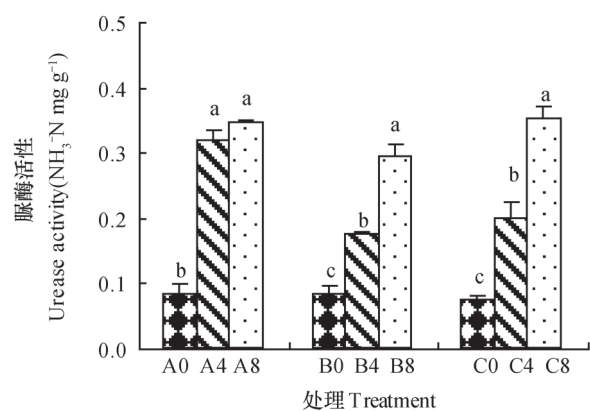


图3 不同深度秸秆还田土壤脲酶活性

Fig.3 Activity of soil urease relative to depth of straw incorporation

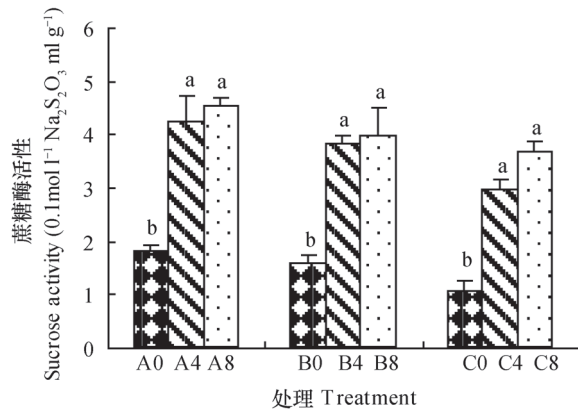


图4 不同深度秸秆还田土壤蔗糖酶活性

Fig.4 Activity of soil sucrose relative to depth of straw incorporation

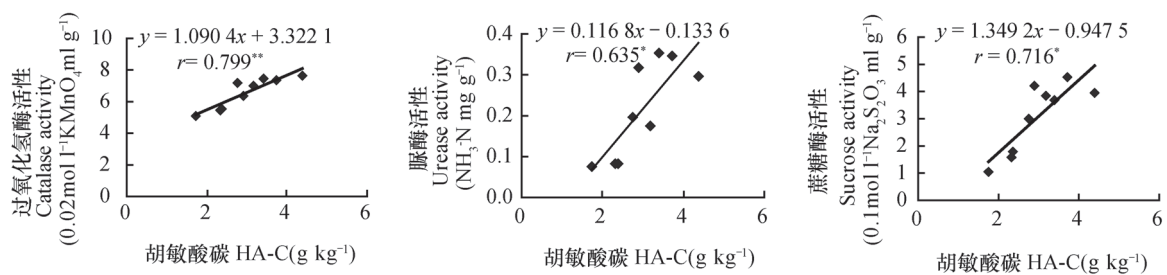


图5 土壤酶活性与HA-C的相关性

Fig.5 Correlation between soil enzyme activity and HA-C

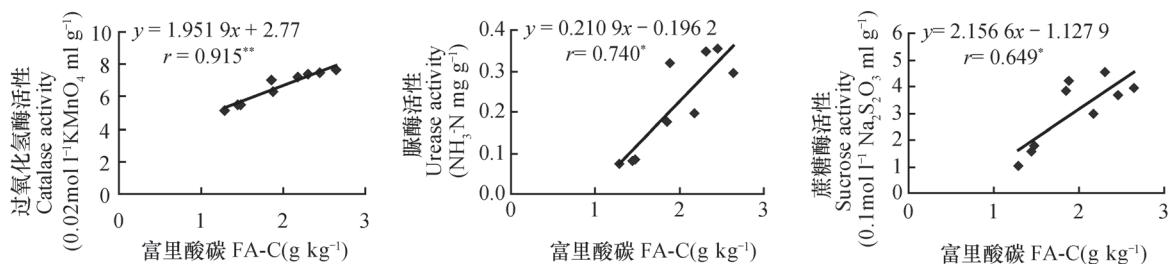
注：*和** 分别表示在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上相关性显著 ($n=9$) Note: *, ** Signify correlation is significant at the 0.05 level and 0.01 level ($n=9$)

图6 土壤酶活性与富里酸碳 (FA-C) 的相关性

Fig.6 Correlation between soil enzyme activity and FA-C

3 讨论

土壤添加4%~8%的玉米秸秆远远超过了耕地秸秆还田的平均量,但一般情况下土壤局部微域的秸秆比例可能超过此量,致使局部有机质的增加量非常大,本文高量秸秆还田显著增加了土壤有机碳可能是对秸秆或死亡根系不均匀分布的有机质积累过程和途径的揭示;同样在局部微域土壤中可能无有机残体来源,因此有机质数量势必降低。这两个

2.4 土壤酶活性与土壤腐殖质含量的关系

为了探究土壤外加秸秆形成的腐殖质对土壤酶活性的影响,对土壤酶活性与土壤HA-C、FA-C含量进行相关性分析。由图5和图6可以看出,土壤过氧化氢酶与HA-C、FA-C呈极显著正相关,这一结果表明,过氧化氢酶是土壤有机质转化过程中关系最为密切的酶类。脲酶、蔗糖酶与HA-C、FA-C呈显著正相关性。土壤酶在土壤中的积累数量,在很大程度上决定着土壤分解外加有机物料的能力,即土壤中积累酶的数量越多,活性越高,对外加有机物料的分解能力就越强。土壤酶活性与土壤腐殖物质存在显著相关关系。

过程在土壤中均可发生,只不过耕作过程中土壤均匀化使整体土层有机质未发生显著的变化。本文有机物料超高量添加经过近4年的腐解转化显著增加了土壤有机碳含量,而未添加秸秆的表层土壤有机碳含量明显降低可能是土壤整体有机质保持平衡的有效证据之一。

不同深度土层秸秆还田,还入越深并有足够的时间转化可以积累更多的有机质,其原因是表层土壤通气性高以分解矿化过程为主,秸秆分解以

CO₂形式释放,较深土层由于通气性较低分解转化变缓,更利于有机质的积累。本文以4%和8%的秸秆还田经过4年的转化20~60 cm土层有机碳绝对增加量为9~19 g kg⁻¹,而0~20 cm土层为4~12 g kg⁻¹,这是由于深层土壤原有机碳含量低,土壤中的黏土矿物与新腐殖质形成有机无机复合体而显著增加土壤有机碳含量。所以较深土层秸秆还田一方面使土壤物理化学性质得到改善从而其基础肥力得到提高,另一方面可使土壤更多地固定有机碳,发挥土壤碳汇作用。

比较而言,耕地土壤无新的有机物质加入,经过4年自然转化耕层土壤较原始土壤有机质降低了29.3%,说明农田土壤若有有机质更新受阻,基础肥力退化最快的是耕层土壤。这与张孝存等^[15]对不同开垦年限黑土区坡耕地土壤表层有机质含量随着耕种年限延长逐渐降低的研究结果在理论上是一致的。

秸秆还田后HA-C与FA-C相比,B层HA-C明显高于FA-C说明,土壤B层更有利于HA-C的积累,腐殖化程度较高;而C层更有利于FA-C的积累,腐殖化程度较低,这可能与FA溶解性较大,易随水分等迁移至下层有关^[12]。

土壤酶活性的时空动态变化是土壤酶对土壤理化性质、土壤类型、植被、气候等综合环境因素的响应^[16]。张电学等^[17]秸秆还田试验表明,在小麦一玉米轮作周期内,土壤表层过氧化氢酶、转化酶、脲酶和磷酸酶活性均表现为秸秆还田处理高于对照,秸秆还田有助于提高土壤的生物活性,本研究也证明了这一点。

4 结 论

在田间耕作条件下黑土3个土层(0~20, 20~40, 40~60 cm)添加4%和8%高量玉米秸秆于尼龙袋中原位培养近4年后,土壤腐殖质含量随秸秆添加量的增加呈增加趋势。增加秸秆还田深度有利于土壤有机碳的积累。高量秸秆还田不仅可以快速增加了土壤有机碳含量,而且改变了土壤腐殖质组分,提高了土壤腐殖质的品质,也提高了土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶的活性。而未添加秸秆经4年转化后表层土壤有机质明显降低,这充分说明更新耕地有机质对保持土壤肥力的重要作用。

参 考 文 献

- [1] 郭莉,陈静,朱晓东,等.农村秸秆焚烧的原因及对策研究.中国人口·资源与环境,2001,11(1):110—112. Wu L, Chen J, Zhu X D, et al. Straw-burning in rural areas of China: Causes and controlling strategy (In Chinese). *China Population, Resources and Environment*, 2001, 11(1): 110—112
- [2] 徐玉宏.我国秸秆焚烧污染与防治对策.环境与可持续发展,2007(3):21—23. Xu Y H. Straw burning pollution and counter measures in China (In Chinese). *Environment and Sustainable Development*, 2007(3): 21—23
- [3] 杨玉爱,王珂,叶正钱,等.有机肥料资源及其对微量元素螯溶和利用研究.土壤通报,1994,25(7):21—25. Yang Y A, Wang K, Ye Z Q, et al. Organic fertilizer resources and its utilization of dissolved trace elements (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1994, 25(7): 21—25
- [4] 慕平,张恩和,王汉宁,等.不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响.中国生态农业学报,2012,20(3):291—296. Mu P, Zhang E H, Wang H N, et al. Effects of continuous straw return to soil on maize growth and soil chemical and physical characteristics (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(3): 291—296
- [5] Lenka N K, Rattan Lal. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. *Soil & Tillage Research*, 2013, 126: 78—89
- [6] 李新举,张志国,李贻学.土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响.土壤学报,2001,38(1):135—138. Li X J, Zhang Z G, Li Y X. Effects soil depth on decay speed of staw (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(1): 135—138
- [7] 胡宏祥,程燕,马友华,等.油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用.中国生态农业学报,2012,20(3):297—302. Hu H X, Cheng Y, Ma Y H, et al. Decomposition characteristics of returned rapeseed straw in soil and effects on soil fertility (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(3): 297—302
- [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [9] Kumada K, Sato O, Ohsumi Y, et al. Humus composition of maintain soil in central Japan with special reference to the distribution of P type humic

- acid. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1967, 13: 151—158
- [10] 于水强, 窦森, 张晋京, 等. 不同氧气浓度对玉米秸秆分解期间腐殖物质形成的影响. *吉林农业大学学报*, 2005, 27 (5): 528—532. Yu S Q, Dou S, Zhang J J, et al. Effects of different oxygen concentrations on formation of humic substances during corn stalk decomposition (In Chinese). *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27 (5): 528—532
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. Guan S Y. *Soil enzyme and its research methods* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [12] 张晋京, 窦森, 李翠兰, 等. 土壤腐殖质分组研究. *土壤通报*, 2004, 35 (6): 706—709. Zhang J J, Dou S, Li C L, et al. Studies on fractionation of soil humus (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35 (6): 706—709
- [13] 张伟, 龚久平, 刘建国. 秸秆还田对连作棉田土壤酶活性的影响. *生态环境学报*, 2011, 20 (5): 881—885. Zhang W, Gong J P, Liu J G. Effect of returning cotton stalk to long-term continuous cropping field on soil enzyme activities (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20 (5): 881—885
- [14] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. Zhou L K. *Soil enzymology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1987
- [15] 张孝存, 郑粉莉, 王彬, 等. 不同开垦年限黑土区坡耕地土壤团聚体稳定性与有机质关系. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 39 (5): 90—95. Zhang X C, Zheng F L, Wang B, et al. The relationships between aggregate water stability and soil organic matter of slope land with different reclamation years in black soil region (In Chinese). *Journal of Shaanxi Normal University, Natural Science Edition*, 2011, 39 (5): 90—95
- [16] 万忠梅, 宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展. *土壤通报*, 2009, 40 (4): 951—956. Wan Z M, Song C C. Advance on response of soil enzyme activity to ecological environment (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40 (4): 951—956
- [17] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11 (6): 742—749. Zhang D X, Han Z Q, Liu W, et al. Biological effect of maize stalk return to field directly under different accretion decay conditions (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11 (6): 742—749

EFFECT OF INCORPORATION OF CROP STRAW ON COMPOSITION OF SOIL ORGANIC MATTER AND ENZYME ACTIVITY IN BLACK SOIL RELATIVE TO DEPTH AND RATE OF THE INCORPORATION

Jiao Lina¹ Li Zhihong^{1†} Yin Chengcheng¹ Wang Xiaofei² Xin Shiyong¹ Yu Lei¹
 (1 College of Resources and Environment of Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)
 (2 Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract Soil organic matter, as a basic substance of soil fertility, is not only a major source of soil nutrients, but also a critical factor controlling soil physic-chemical properties, biological properties and various fertility factors. In China and other countries, soil organic matter in farmland is maintained and raised mostly through incorporation of crop straw. Humification processes of the straw incorporated, and accumulation of organic carbon, composition of soil humus and soil enzyme activities varied sharply between soils different in depth of straw incorporation, and also between soils different in straw incorporation rate. To verify the effects of depth and rate of straw incorporation on these factors, a field experiment was carried out in a tract of farmland of black soil. In the field experiment, corn stalk packed at a rate of 40 g kg⁻¹ and 80 g kg⁻¹ soil in nylon bags was buried into three soil layers different in depth (0 ~ 20, 20 ~ 40 and 40 ~ 60 cm) for 4 years of in situ incubation for monitoring variations of corn stalk transformation, organic carbon accumulation, humus composition and soil enzyme activities. Results show that the addition of 40g kg⁻¹ soil of the straw increased organic carbon by 31.8%, 96.4% and 171.1%, respectively, at the 0 ~ 20,

20 ~ 40 and 40 ~ 60 cm soil layers, and the addition of 80 g kg⁻¹ soil of the straw did by 86.2%, 193.5% and 265.9 %, respectively; demonstrating that depth of the incorporation is conducive to soil organic carbon accumulation, because poor aeration in deep soil layers slows decomposition and transformation of the straw, thus favoring humus accumulation. However, in control (no straw incorporated), organic carbon declined by 29.3% in the 0 ~ 20 cm soil layer, but only by 1.8% in the 20 ~ 40 cm soil layer . The reason is that soil enzyme activity is higher in the shallow soil layer than in the deep soil layer, and hence, soil humus mineralization rate is much higher in the former than in the latter. Higher straw incorporation rate (80 g kg⁻¹ soil) increased soil organic carbon and soil enzyme activity. As a result humus HA / FA ratio in the soil changed greatly, towards improving humus in quality. Accumulation of humine acid carbon (HS-C) and humic acid carbon (HA-C) varied with soil depth, exhibiting a decreasing order of 20 ~ 40 cm > 0 ~ 20 cm > 40 ~ 60 cm, while accumulation of fulvic acid carbon (FA-C) in the 40 ~ 60 cm soil layer was more prominent. The contents of HA-C and FA-C were in extremely significant positive relationship with catalase activity and in significant positive one with urease and invertase activities. The above-listed findings suggest that incorporation of a high amount of straw may quickly increase soil organic carbon content, and deeper incorporation contributes to accumulation of organic carbon. Straw incorporation also alters soil humus composition and promotes activities of catalase, urease and invertase. For comparison, after the four years of experiment, the control was found to be much lower in soil organic matter content in the surface layer, which indicates that renewal of soil organic matter in farmland is very important to maintenance of soil fertility.

Key words Straw return; Soil layers; Humus accumulation characteristics; Soil enzyme activity

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Application of reductive soil disinfestation to suppress soil-borne pathogens Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. (475)
- A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua (488)

Research Articles

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. (498)
- Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. (506)
- Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. (515)
- Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. (526)
- Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. (536)
- Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin (546)
- Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. (556)
- Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. (565)
- Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using ¹³C pulse labeling technique Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei (574)
- Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. (585)
- Residual of applied ¹⁵N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin (595)
- Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. (605)
- Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. (618)
- Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. (527)
- Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. (635)
- Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. (645)
- Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. (653)
- Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu (663)
- Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. (671)
- Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. (681)

Research Notes

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang (689)
- Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice rootsZheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. (695)
- The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. (705)
- Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. (712)

Cover Picture: Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field (by Zhang Zhongbin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

