

小麦秸秆腐解对自身锌释放及土壤供锌能力的影响

杨芳, 田霄鸿*, 陆欣春, 杨习文, 李秀丽

(西北农林科技大学资源环境学院, 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为探讨秸秆在土壤中腐解对其本身所含锌的释放及其对土壤原有锌、外源施入锌形态转化以及对微生物量锌(Mic-Zn)含量的影响,进行了为期42 d的小麦秸秆腐解室内培养试验。结果表明,秸秆在土壤中腐解时CO₂-C累积释放量和土壤微生物量碳(Mic-C)随着秸秆添加量的增加而显著增加,而秸秆自身锌含量高低以及外源施锌对其均无明显影响。土壤中无论是否添加秸秆,施入外源锌均明显增加了土壤Mic-Zn和土壤有效锌(DTPA-Zn)含量,土壤交换态锌(Ex-Zn)和松散有机态锌(Wbo-Zn)含量也明显增加;与低锌秸秆相比,高锌秸秆在土壤中腐解可明显增加土壤Mic-Zn和DTPA-Zn含量,提高土壤Ex-Zn和Wbo-Zn的比例;秸秆腐解本身释放的锌主要转化为有效性较高的Ex-Zn。因此,增加秸秆还田量以及使用高锌秸秆还田能显著增加土壤Wbo-Zn的比例,提高土壤有效锌含量,从而增强土壤供锌能力。

关键词: 秸秆腐解; 土壤微生物量 Zn; Zn 形态; 土壤供 Zn 能力

中图分类号: S143.72; Q945.12 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2011)05-1188-09

Effects of application of wheat straw on straw Zn release and soil Zn supply capacity during the decomposition

YANG Fang, TIAN Xiao-hong*, LU Xin-chun, YANG Xi-wen, LI Xiu-li

(College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An incubation experiment was carried out for 42 days to study the effects of straw decomposition on Zn release from straw, the changes of Zn fractions and the content of soil microbial biomass Zn (Mic-Zn). The results show that the cumulative amount of CO₂-C evolution and the content of soil microbial biomass C (Mic-C) are significantly increased with the increase of the straw amount, and these increases are affected by Zn concentration in straw and the inorganic Zn application. Moreover, whether the straw is added in soil or not, the contents of soil Mic-Zn, DTPA-Zn, exchangeable Zn (Ex-Zn) and loosely organic bound Zn (Wbo-Zn) are significantly increased when organic Zn fertilizer is added, and these four Zn fractions are also increased to some extent when high Zn concentration straw is added to soil compared to the low Zn concentration straw application. In conclusion, the addition of higher amount of straw as well as using straw with high Zn concentration can significantly increase the content of Wbo-Zn in soil, and increase the content of available Zn and soil Zn supplying capacity as well.

Key words: straw decomposition; soil microbial biomass Zn; fractions of Zn; soil Zn-supplying capacity

我国农业生产中每年产生作物秸秆量约7亿吨^[1]。农作物秸秆既富含有机物质,还含有较多的氮、磷、钾元素和一定数量的中微量元素。将这些秸

秆直接或间接归还到土壤中,可以使秸秆所含养分资源得到循环利用,是增加土壤碳库,减少因燃烧等造成的大气污染和CO₂排放,提高土壤肥力和改善

收稿日期: 2011-01-23 接受日期: 2011-05-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971179,31071863); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0866)项目资助。

作者简介: 杨芳(1984—),女,内蒙古鄂尔多斯人,硕士研究生,主要从事旱地养分调控方面的研究。E-mail: yzfang139@126.com

* 通讯作者 E-mail: txhong@hotmail.com

土壤理化性状的有效手段之一;在干旱缺水的黄土高原地区,秸秆覆盖还能蓄水保墒、减少水土流失^[2-6]。

陕西关中平原农田以冬小麦-夏玉米一年两熟轮作制为主,每年小麦秸秆产量 488.5 万吨左右,秸秆还田是合理处置这些秸秆的最重要途径之一^[7-9]。30 多年来,关中地区目前农田土壤有效锌(DTPA-Zn)含量大多处于 0.5 ~ 2.0 mg/kg 范围内,其中,20.69% 的面积处于缺锌临界水平(0.5 mg/kg)之下,37.93% 的面积处于低锌范围(0.5 ~ 1.0 mg/kg)^[10],属于所谓潜在缺锌水平。土壤有效锌含量低成为制约提高小麦和玉米子粒锌营养价值的障碍因子。引起土壤锌生物有效性低的原因很多,如土壤全锌含量、有机质含量低,CaCO₃、HCO₃⁻、Na、Mg、Ca 等含量高^[11]。有研究表明,秸秆还田后在土壤微生物作用下腐解,秸秆中有机碳和有机氮的矿化是秸秆释放养分的主要过程^[12-16],此过程中会产生大量的轻有机质,它们既是微量元素养分的重要来源,也能活化土壤中原有锌,提高其生物有效性^[10, 17-18];另一方面,秸秆腐解也能提高土壤微生物数量和活性,土壤微生物量碳、氮含量也随之会增加^[19]。也就是说,秸秆腐解既提供了锌源,又创造了改变土壤锌生物有效性的条件,可能会使土壤原有锌和外源施入锌的形态发生变化,进而影响其生物有效性。迄今,针对秸秆还田后腐解能否明显提高有效锌含量,尤其是秸秆腐解生成的有机化合物能否显著提高松结有机态锌的比例,腐解过程中能否提高外源施入锌的生物有效性等方面的报道较少。大量秸秆进入土壤后腐解会产生大量微生物,是否锌会进入微生物体中而影响其有效性,进而可能会对土壤供锌能力和锌平衡产生一定影响。为此,本研究通过秸秆还田的室内模拟试验,为揭示秸秆腐解本身所含锌的释放、对土壤原有锌形态的影响以及对外源施入锌形态的影响提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

供试土壤采自西北农林科技大学农作一站大田土壤(0—20 cm),土壤类型为褐土类塿土亚类红油土属。土壤 pH 7.98(水土比 1:1),有机质含量 13.79 g/kg, NH₄⁺ - N 3.65 mg/kg, NO₃⁻ - N 12.9 mg/kg, Olsen-P 17.2 mg/kg, 速效钾 166.2 mg/kg, CaCO₃ 含量 65.1 g/kg, DTPA-Zn 1.46 mg/kg, 全锌 74.81 mg/kg。土样采回后自然风干,除去杂质,研

磨过 2 mm 筛后备用。供试石英砂为分析纯。

供试秸秆为不同锌含量小麦秸秆(在 4 m² 田间小麦植株冠部共喷施 0.3% ZnSO₄ · 7H₂O 溶液 3 次,每隔 6 d 喷施 1 次,获得高含锌量秸秆;在另外相同面积小麦植株上喷施清水获得低含锌量秸秆。小麦成熟收获后采集地上部分,用去离子水反复清洗 3 次,70℃ 烘干后粉碎待用),低锌秸秆和高锌秸秆锌含量分别为 6.7 mg/kg、14.6 mg/kg。所用培养容器为高 15 cm、直径 9 cm 的带密封盖塑料圆盆。

试验设 10 个处理,分别为:1)土壤(CK);2)土壤+锌肥;3)土壤+低量高锌秸秆;4)土壤+低量低锌秸秆;5)土壤+低量低锌秸秆+锌肥;6)土壤+高量高锌秸秆;7)土壤+高量低锌秸秆;8)石英砂+低量高锌秸秆;9)石英砂+低量低锌秸秆;10)石英砂+低量低锌秸秆+锌肥。秸秆用量中低量为 1.8 g/pot,高量为 3.6 g/pot;锌肥使用 ZnSO₄ · 7H₂O,施用量为 7 mg/kg 土(石英砂)。重复 6 次,共 60 盆。

采取室内模拟恒温培养方法,培养温度为 28℃,每个培养盆装入供试风干土样或者石英砂 200 g,将小麦秸秆加入,混匀,培养过程中土壤水分保持田间持水量的 60%。调节 C/N 为 25:1,对照处理每盆加 N 0.012 g,其他处理根据添加秸秆量加入相应氮量。

为收集排放的 CO₂,每盆放置一个装有 10 mL 1 mol/L NaOH 的小烧杯(容积 25 mL)。培养盆加盖密封,放置于恒温培养箱中培养。CO₂ 收集于第 2、4、6、8、12、16、20、27、34、42 d 分别进行并测定。培养过程中土壤水分含量采用重量法控制—加蒸馏水至初始重量。

1.2 测定项目与方法

培养期间 CO₂ 释放量采用 BaCl₂ 沉淀滴定法测定。土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸法,以 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提(水土比为 4:1)。微生物量碳用 TOC 总有机碳分析仪测定;微生物量氮用消煮氧化法测定。土壤有效锌含量采用 DTPA 浸提法,AA320CRT 型原子吸收分光光度计测定。土壤各形态锌含量的测定:参考魏孝荣^[20]等土壤锌形态分级方法。全锌含量用 HNO₃ - HClO₄ - HF 消化,AA320CRT 型原子吸收分光光度计测定。

微生物量锌(Mic-Zn)的测定:1)氯仿熏蒸 取 1 份新鲜土样 12.5 g 置于 25 mL 小塑料瓶中,同装有 60 mL 去乙醇氯仿的小烧杯(内放少许小玻璃球以抗暴沸)一起放入真空干燥器内,用真空泵抽至

真空,使氯仿沸腾 5 min 后关闭真空干燥器阀门,重复 3 次,然后将真空干燥器放入 25℃ 黑暗培养箱中熏蒸 24 h; 同时取 1 份土样作为对照,不做熏蒸处理。2) 提取 分别取经熏蒸和未熏蒸的土样,用 DTPA 浸提液浸提(水土比为 2:1),得到待测液。3) 测定 采用 AA320CRT 型原子吸收分光光度计测定溶液中锌含量; 4) 计算 微生物量锌含量 = 熏蒸土样锌含量 - 未熏蒸土样锌含量。

试验数据均用 Microsoft Excel、DPS (Data processing system) 7.05 统计软件进行方差分析和多重比较(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同处理下秸秆腐解对 CO₂ 释放量及微生物量碳、氮含量的影响

培养过程中外源锌对土壤本身 CO₂-C 累积释放量无明显影响。表 1 看出,无论土壤中施入锌肥与否,土壤自身 CO₂ 释放量平均为 97.81 mg/kg。秸秆在土壤中腐解时 CO₂-C 累积释放量随着秸秆添加量的增加明显增加,而秸秆本身锌含量高低以及外源施锌对其均无明显影响,秸秆添加到土壤中

促进了 CO₂ 的排放。如秸秆添加到土壤中,无论秸秆锌含量如何以及是否施入锌肥,添加低量与高量秸秆时,其 CO₂-C 累积释放量平均分别为 397.52 和 544.69 mg/pot,后者较前者增加了 37.02%; 石英砂中,施入低量秸秆时,其 CO₂ 释放量平均为 207.78 mg/pot; 土壤和低量秸秆本身 CO₂ 释放总和为 305.65 mg/pot,较等量秸秆添加到土壤中的 CO₂-C 累积释放量减少了 23.13% (397.60 mg/pot)。显然,土壤环境加速了秸秆的矿化,秸秆返回土壤更有利于其腐解。

表 1 还看出,锌肥施入与否对土壤和秸秆的微生物量碳(Mic-C)含量无明显影响,秸秆本身锌含量高对其 Mic-C 亦无明显影响。秸秆添加到土壤后明显增加了土壤中 Mic-C 含量,无论秸秆锌含量多少以及是否施入锌肥,添加低量与高量秸秆时 Mic-C 平均含量分别较对照增加 44.07% 和 98.61%; 添加高量秸秆较低量秸秆增加 37.85%。锌肥施入以及秸秆添加到土壤中对土壤微生物量氮(Mic-N)无明显影响,而秸秆本身锌含量高低在一定程度上增加了其含量。土壤中添加低量高锌和高量高锌秸秆时, Mic-N 含量较对照分别增加了 5.31% 和 24.43%。

表 1 不同条件下秸秆腐解对 CO₂ 的释放规律以及土壤微生物量碳、氮的影响

Table 1 Effects of straw decomposition on CO₂ emission and soil microbial biomass C, soil microbial biomass N under different conditions

处理 Treatment	CO ₂ -C (mg/pot)	Mic-C (mg/kg)	Mic-N (mg/kg)
土壤 Soil(CK)	99.64 d	225.04 de	24.48 ab
土壤 + 锌 Soil + Zn-fertilizer	95.97 d	252.83 de	28.05 ab
土壤 + 低量高锌秸秆 Soil + low-quantity high Zn conc. straw	393.87 b	304.29 cd	25.78 ab
土壤 + 低量低锌秸秆 Soil + low-quantity low Zn conc. straw	397.60 b	344.15 bcd	25.32 ab
土壤 + 低量低锌秸秆 + 锌 Soil + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer	401.08 b	459.59 ab	29.97 a
土壤 + 高量高锌秸秆 Soil + high-quantity high Zn conc. straw	543.50 a	487.43 a	30.46 a
土壤 + 高量低锌秸秆 Soil + high-quantity low Zn conc. straw	545.88 a	406.45 abc	27.91 ab
石英砂 + 低量高锌秸秆 Quartz + low-quantity high Zn conc. straw	199.46 c	128.12 ef	18.27 bc
石英砂 + 低量低锌秸秆 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw	212.86 c	126.25 ef	12.03 c
石英砂 + 低量低锌秸秆 + 锌 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer	211.03 c	90.87 f	22.61 abc

注(Note): Mic-C—Soil microbial biomass C; Mic-N—Soil microbial biomass N. 同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$) Values followed by different letters within the same column are significantly different at the $P < 0.05$ level.

2.2 秸秆腐解对土壤微生物量锌和有效锌的影响

在土壤环境中, 无论是否添加秸秆, 施入外源锌明显增加了土壤中微生物量锌(Mic-Zn)和 DTPA-

Zn 含量; 秸秆添加量对土壤 Mic-Zn 含量无明显影响; 添加高锌含量的秸秆后, 土壤 Mic-Zn 有所增加, 土壤 DTPA-Zn 含量显著增加(表 2)。与对对比

较,添加高锌秸秆的土壤处理,土壤 Mic-Zn 含量分别增加 19.05% 和 42.86%; 仅施入外源锌以及同时添加外源锌和低量低锌秸秆处理中, Mic-Zn 含量分别增加 204.76% 和 123.81%, DTPA-Zn 含量分别增加 158.99% 和 187.05%。添加高锌和低锌含量秸秆后,土壤 DTPA-Zn 平均含量分别为 2.44 和 1.49 mg/kg; 与添加低锌秸秆处理比较,添加高锌含量秸秆后土壤 DTPA-Zn 平均含量增加 63.76%。在石英砂介质中,同时添加秸秆和施锌明显增加了石英砂中 DTPA-Zn 含量,但对其 Mic-Zn 没有明显

影响。可见,土壤中微生物数量高于石英砂中,外源施锌后,增加了微生物的繁殖,有利于秸秆的腐解和矿化,从而增加了土壤有机态锌比例和有效锌含量,提高土壤的供锌能力。表 2 看出,土壤环境中,不同处理 Mic-Zn 平均含量约占 DTPA-Zn 含量的 13.76%,也许土壤 Mic-Zn 可作为土壤 DTPA-Zn 的组分,对提高土壤有效锌含量具有重要意义。但是,土壤 Mic-Zn 这一概念是本研究首次提出的,它本身就是 DTPA-Zn 的组成成分以及概念本身都值得进一步探讨和商榷。

表 2 不同条件下秸秆腐解对土壤微生物量锌和有效锌的影响

Table 2 Effects of straw decomposition on soil microbial biomass Zn and DTPA-Zn under different conditions

处理 Treatment	均值 Average(mg/kg)		Mic-Zn/DTPA-Zn (%)
	Mic-Zn	DTPA-Zn	
土壤 Soil(CK)	0.21 bc	1.39 fg	15.11
土壤 + 锌 Soil + Zn-fertilizer	0.64 a	3.60 c	17.78
土壤 + 低量高锌秸秆 Soil + low-quantity high Zn conc. straw	0.25 bc	2.08 e	12.02
土壤 + 低量低锌秸秆 Soil + low-quantity low Zn conc. straw	0.24 bc	1.49 f	16.11
土壤 + 低量低锌秸秆 + 锌 Soil + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer	0.47 ab	3.99 b	11.78
土壤 + 高量高锌秸秆 Soil + high-quantity high Zn conc. straw	0.30 bc	2.80 d	10.71
土壤 + 高量低锌秸秆 Soil + high-quantity low Zn conc. straw	0.21 bc	1.49 f	14.09
石英砂 + 低量高锌秸秆 Quartz + low-quantity high Zn conc. straw	0.18 bc	1.06 g	16.98
石英砂 + 低量低锌秸秆 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw	0.09 c	0.29 h	31.03
石英砂 + 低量低锌秸秆 + 锌 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer	0.15 c	5.04 a	2.98

注(Note): Mic-Zn—Soil microbial biomass Zn. 同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$) Values followed by different letters within the same column are significantly different at the $P < 0.05$ level.

2.3 秸秆腐解对土壤不同形态锌和全锌的影响

不同培养时期土壤各形态锌的变化规律[图 1(1)至图 1(5)]看出,培养期间各形态锌含量变化较大,从腐解开始至结束各形态锌含量总体呈降低的趋势,但土壤介质中交换态锌(Ex-Zn)和松结有机态锌(Wbo-Zn)含量仍然较高,其平均含量分别占全锌含量的 1.19% 和 3.09%。处理间相比,高锌秸秆腐解后较低锌秸秆腐解后土壤中各形态锌含量均有不同程度的增加;土壤添加低量秸秆且同时施锌时,除氧化锰结合态锌(OxMn-Zn)外,各形态锌含量较相同处理但不施锌时分别增加了 9.71%、90.59%、38.98%、10%。与对照相比,土壤中施锌并添加低量秸秆时,Ex-Zn 和 Wbo-Zn 含量分别增加 14.14% 和 130.54%。此外,图 1(5)还看出,秸秆在土壤中腐解明显降低了土壤紧结有机态锌(Sbo-Zn)含量,与培养至 7 d 时相比,培养结束土壤 Sbo-Zn 含量平均降低了 50.69%。

在石英砂介质中,同时添加秸秆和施锌明显增加了石英砂中 Ex-Zn 含量,但对其他形态锌含量无明显影响。说明秸秆腐解本身释放的锌很大一部分转化成为有效性较高的 Ex-Zn。

秸秆腐解同时施锌较为明显地增加了土壤全锌含量。图 1(6)表明,与对照相比,土壤中添加秸秆后,全锌含量平均增加 4%,而土壤施锌以及同时施锌并添加秸秆,全锌含量分别增加 10% 和 9.81%。进一步说明秸秆还田能有效提高土壤全锌含量,秸秆腐解同时配施锌肥时对提高土壤的供锌能力的影响更加明显。

2.4 土壤 Mic-Zn、各形态锌与 DTPA-Zn 的相关关系

秸秆添加到土壤中后,其腐解促进了土壤微生物量锌和各形态锌含量的增加,特别是 Ex-Zn 和 Wbo-Zn(图 1)。为了表征它们含量增加对提高土壤

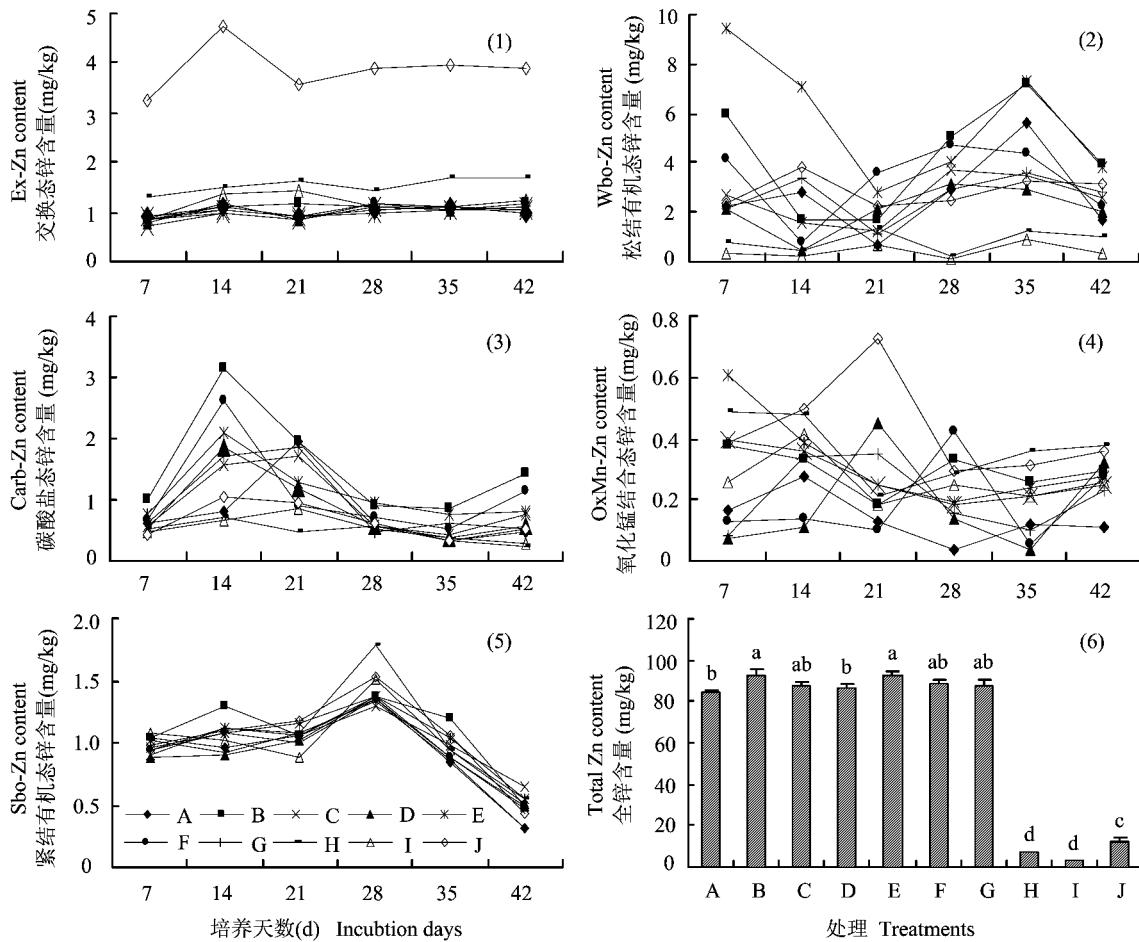


图1 不同培养时期土壤各形态锌和全锌的变化规律

Fig. 1 The changes of soil zinc forms and total zinc at different incubation periods

[注(Note) : Ex-Zn—Exchangeable Zn; Wbo-Zn—Loosely organic bound Zn; Carb-Zn—Carbonate combined Zn; OxMn-Zn—MnO₂-bound Zn; Sbo-Zn—Tightly organic bound Zn; A—土壤 Soil(CK); B—土壤 + 锌肥 Soil + Zn-fertilizer; C—土壤 + 低量高锌秸秆 Soil + low-quantity high Zn conc. straw; D—土壤 + 低量低锌秸秆 Soil + low-quantity low Zn conc. straw; E—土壤 + 低量低锌秸秆 + 锌肥 Soil + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer; F—土壤 + 高量高锌秸秆 Soil + high-quantity high Zn conc. straw; G—土壤 + 高量低锌秸秆 Soil + high-quantity low Zn conc. straw; H—石英砂 + 低量高锌秸秆 Quartz + low-quantity high Zn conc. straw; I—石英砂 + 低量低锌秸秆 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw; J—石英砂 + 低量低锌秸秆 + 锌肥 Quartz + low-quantity low Zn conc. straw + Zn-fertilizer. 图1(6)中柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant different at the 5% level in Fig. 1(6).]

供锌能力的影响和贡献,进行了土壤微生物量锌、各形态锌与土壤 DTPA-Zn 之间的相关分析。表 3 看出,土壤 DTPA-Zn 与 Wbo-Zn 含量间呈极显著正相关($r=0.8300^{**}$),而与其他形态锌无显著性相关关系;不同形态锌之间,Carb-Zn 与 Wbo-Zn 呈显著正相关关系;此外,土壤 Mic-Zn 分别与 Wbo-Zn 和 Carb-Zn 均呈极显著相关关系。

3 讨论

3.1 秸秆腐解对 CO₂-C 累积释放与土壤微生物量碳、氮含量的影响

前人研究表明,作物秸秆进入土壤在土壤微生物

物的作用下发生复杂的物质和能量转化,土壤微生物在降解作物秸秆过程中释放大量的 CO₂,同时也增加了土壤微生物生物量碳、氮含量(表 1)。本研究以土壤和石英砂两种介质作为培养基质,分别添加秸秆和外源锌进行为期 6 周的培养。在两种培养基质环境里添加秸秆比不添加秸秆均不同程度增加了 CO₂-C 累积释放量和微生物量碳、氮的含量。从添加量上看,添加高量秸秆比添加低量秸秆 CO₂-C 累积释放量多,微生物量碳、氮也不同程度的增多;从添加秸秆锌含量高低上看,无论添加的是高锌秸秆还是低锌秸秆,各处理间 CO₂-C 累积释放量和微生物量碳并没有显著差异,但增加了微生物量氮的

表 3 土壤各形态锌与 DTPA-Zn 的相关关系
Table 3 The correlation coefficients between DTPA-Zn and various forms of Zn

项目 Item	DTPA-Zn	锌形态 Zn fractions					微生物 生物量锌 Mic-Zn
		交换态锌 Ex-Zn	松结态锌 Wbo-Zn	碳酸盐态锌 Carb-Zn	氧化锰态锌 OxMn-Zn	紧结态锌 Sbo-Zn	
DTPA-Zn	1.0000	0.5800	0.8300**	0.5300	0.2900	0.0600	0.5000
交换态锌 Ex-Zn		1.0000	0.1500	-0.2400	0.3200	-0.0500	-0.2900
松结态锌 Wbo-Zn			1.0000	0.6900*	0.0500	-0.0300	0.7500**
碳酸盐态锌 Carb-Zn				1.0000	-0.0500	0.1200	0.8700**
氧化锰态锌 OxMn-Zn					1.0000	0.1800	-0.0100
紧结态锌 Sbo-Zn						1.0000	0.1400
微生物生物量锌 Mic-Zn							1.0000

注(Note): Ex-Zn—Exchangeable Zn; Wbo-Zn—Loosely organic bound Zn; Carb-Zn—Carbonate combined Zn; OxMn-Zn—MnO₂-bound Zn; Sbo-Zn—Tightly organic bound Zn; Mic-Zn—Soil microbial biomass Zn. *— $P < 0.05$; **— $P < 0.01$.

含量。表明秸秆的添加量明显影响了 CO₂-C 累积释放量及微生物量碳、氮含量,添加的秸秆类型对 CO₂-C 累积释放量及微生物量碳影响较小,微生物量氮含量在一定程度上有所增加。

3.2 秸秆腐解对土壤微生物量锌的影响

土壤微生物是土壤物质循环的调节者,土壤微生物量的多少及其变化是土壤肥力高低及其变化的重要依据之一。微生物生物量已被许多学者用作因人为管理导致土壤变化的灵敏指标之一^[21-22]。广义的土壤微生物生物量包括微生物生物量碳、微生物生物量氮、微生物生物量磷和微生物生物量硫,上述微生物生物量的测定方法基本一致,其原理是新鲜土壤经过氯仿熏蒸一定时间后,被杀死的土壤微生物生物量,能够以一定的比例被提取剂提取并被定量地测定出来;根据熏蒸土壤与未熏蒸土壤测定结果的差值和提取效率(或转换系数 K)^[23-25]计算土壤微生物生物量。以土壤微生物量碳为例,使用这种方法提取出来的微生物量碳是土壤可溶性有机碳和通过转化系数计算得出的不溶碳的加和,其加和值就是微生物量碳的值。土壤微生物量锌测定方法参考了微生物量碳的测定方法^[26],利用土壤有效锌提取液(DTPA 浸提液)提取,通过计算熏蒸和不熏蒸微生物量锌差值得到,由于锌是金属元素,故不存在除以转化系数。土壤微生物量碳、氮的概念已众所周知,但是,土壤微生物量锌则是首次提出,从结果可以看到微生物量锌占土壤 DTPA-Zn 含量的 13.76%。通过相关性分析可知,微生物量锌与土壤 Wbo-Zn 极显著相关。Khan 等^[26]研究结果显示,氯

仿熏蒸、差减法计算得到的锌即微生物所固持的锌与土壤中全锌含量有关,与土壤微生物生物量显著相关,说明土壤微生物可以固持一部分锌成为土壤微生物量锌,我们的研究结果与其相同。尽管如此,关于微生物量锌仍需做不少探索工作。

土壤微生物对土壤中锌的利用和转化较多的是占土壤绝大部分的土壤矿物以外的无机锌和土壤有机物质结合态锌。土壤微生物在利用和转化土壤中锌的同时,通过自身的新陈代谢将固定的锌归还土壤,且微生物生物量锌在土壤中非常重要,因此通过微生物的转化可使不能被植物直接吸收和利用的锌,尤其是有机锌转化为植物可直接吸收的无机锌;同时通过微生物对土壤中部分无机锌的生物固定,从而有效地减少土壤对锌的固定,增强土壤锌的有效性。土壤无机锌中一小部分存在于土壤矿物中,土壤有机物质结合态锌主要以松结有机态锌和紧结有机态锌形式存在;土壤微生物生物量锌是土壤有机物质结合态锌的一部分,与土壤有机锌化合物相比,微生物生物量锌更容易矿化为植物可利用的有效锌。微生物生物量锌是有机物质结合态锌中活性较高的部分,它不仅是土壤有效锌的重要供给源,而且与土壤有效锌直接相平衡。

秸秆施入土壤后的转化过程是微生物主导的生物化学过程^[7]。作物秸秆施入土壤后,在土壤微生物的作用下开始腐解。微生物利用碳源物质大量地进行自身繁殖^[27],促进了自身活性。随着腐解的进行,土壤微生物群落发生复杂的变化,土壤微生物群落对土壤有机碳的矿化能力增大^[28],促进了秸秆中

微量元素的释放,这与前人的研究结果一致^[29]。本研究表明,添加秸秆后,土壤微生物量锌含量明显较对照高(表2)。添加高量秸秆微生物量锌含量大于添加低量秸秆的处理。添加相同量的高锌秸秆与加入相同量低锌秸秆相比,各处理微生物量锌含量均不同程度增加。有外源锌加入后,微生物量锌显著增加。土壤中加入秸秆同时有外源锌加入时,微生物量锌亦显著增加。说明秸秆腐解能够促进土壤微生物量锌含量的增加;外源锌的施入更加显著地增加了微生物量锌的含量,增加了土壤有机态锌的比例,对提高土壤供锌能力起到了不可忽视的作用。

3.3 秸秆腐解对土壤 DTPA-Zn、锌形态以及全锌含量的影响

锌是作物正常生长所需的微量元素,缺锌影响植株生长发育。土壤中有效锌含量过低,是造成缺锌的主要原因^[30]。Alloway^[11]指出,提高谷类作物子粒锌含量有两个措施,即育种和正确施用锌肥。本研究通过模拟秸秆还田配施锌肥以提高土壤供锌能力。结果发现,添加秸秆后土壤中 DTPA-Zn、交换态锌、松结有机态锌的含量明显增加,尤其是添加了高锌秸秆,与添加了低锌秸秆比较,DTPA-Zn 含量显著增加,交换态锌和松结有机态锌也明显增加;其他形态的锌,尤其是氧化锰结合态锌明显降低。说明秸秆添加到土壤中有利于土壤中的锌转化为有效锌,或者转化为对有效锌贡献较大的交换态锌或松结有机态锌。本研究中,在土壤介质中添加秸秆同时施锌,DTPA-Zn、交换态锌和松结有机态锌含量均相对最高(表2,图1)。因此,秸秆添加到土壤中配施锌肥能够有效增加土壤有效锌的含量,提高了土壤的供锌能力。值得注意的是,在石英砂介质中,DTPA-Zn、交换态锌、松结有机态锌含量较高,尤其是添加了高锌秸秆和有外源锌加入时更为明显,说明秸秆腐解能够使本身所含的锌释放出来,并且转化为有效锌或者对有效锌贡献较大的交换态锌和松结有机态锌。显然,秸秆添加到土壤后在土壤微生物的作用下腐解,不仅使秸秆本身所含的锌释放出来进入土壤,腐解也可以使土壤中原有锌的形态发生改变,有利于作物吸收,并且能够影响外源施入的锌,使其同样转化为有效锌或对有效锌贡献较大的交换态锌和松结有机态锌。

土壤全锌是土壤供应锌的基础,其含量受到多种因素的影响。土壤各形态锌随着全锌含量的变化而变化,特别是占全锌比例较大的交换态锌和松结有机态锌,因此,土壤全锌含量的高低直接影响土壤

的供锌能力。土壤中添加秸秆后,全锌含量较对照有所增加但不明显,但是土壤中施入外源锌时,全锌含量明显增加。可见,秸秆腐解能够增加土壤全锌含量,添加锌肥后效果更明显。

3.4 土壤 DTPA-Zn 和各形态锌的相关关系

土壤锌的生物有效性与其化学形态有很大关系,土壤中各形态锌之间存在着相互转化和平衡关系。研究表明,在锌养分供应上,松结有机态锌供应持久,且对 DTPA-Zn 有很好的补给作用。从土壤各形态锌和 DTPA-Zn 相关关系分析来看(表3),松结有机态锌与 DTPA-Zn 呈极显著正相关关系,这与前人的研究结果一致^[31-34]。

另外,逐步回归分析表明,DTPA-Zn 除与 Wbo-Zn 有关系外,还与土壤 Ex-Zn 及 Carb-Zn 存在一定的关系,它们之间的回归方程为:

$$y = 0.953x_1 + 0.694x_2 + 1.181x_3 - 1.474 \quad (r = 0.9670^{**})$$

(其中, y 为 DTPA-Zn; x_1 为 Ex-Zn; x_2 为 Wbo-Zn; x_3 为 Carb-Zn)。这似乎说明 Ex-Zn 和 Carb-Zn 对 DTPA-Zn 也有一定的贡献。可见,土壤中 Wbo-Zn 对 DTPA-Zn 的贡献可能是最大的; Mic-Zn 与 Wbo-Zn 的极显著相关性则说明土壤 Mic-Zn 也可能会发挥一定的供锌作用。总体来看,土壤有机物质结合态锌的生物有效性较高,其中松结有机态锌对活性锌的贡献又远远大于紧结有机态锌。因此,提高土壤有效锌含量,提高土壤松结有机态锌比例对提高土壤的供锌能力具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王旭东,陈鲜妮,王彩霞,等. 农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. 农业工程学报,2009,25(10): 252-257.
Wang X D, Chen X N, Wang C X *et al.* Decomposition of corn stalk in cropland with different fertility [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2009, 25(10): 252-257.
- [2] 南雄雄,田霄鸿,张琳,等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3): 626-633.
Nan X X, Tian X H, Zhang L *et al.* Decomposition characteristics of maize and wheat straw and their effects on soil carbon and nitrogen contents [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(3): 626-633.
- [3] Reicosky D C, Reeves D W, Prior S A *et al.* Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss [J]. Soil Till. Res., 1999, 52: 153-165.
- [4] Abiven S, Recons S. Mineralization of crop residues on the soil surface or incorporated in the soil under controlled conditions [J]. Biol. Fert. Soils, 2007, 43: 849-852.
- [5] 李贵桐,张宝贵,李保国. 秸秆预处理对土壤微生物量及呼吸

- 活性的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(12): 2225-2228.
- Li G T, Zhang B G, Li B G. Effect of straw pretreatment on soil microbial biomass and respiration activity [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2225-2228.
- [6] 张薇,王子芳,王辉,等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6): 1013-1019.
- Zhang W, Wang Z F, Wang H *et al.* Organic carbon mineralization affected by water content and plant residues in purple paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(6): 1013-1019.
- [7] 陈兴丽,周建斌,刘建亮,等. 不同施肥处理对玉米秸秆碳氮比及其矿化特性的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(2): 314-319.
- Chen X L, Zhou J B, Liu J L *et al.* Effects of fertilization on carbon/nitrogen ratio of maize straw and its mineralization in soil [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2009, 20(2): 314-319.
- [8] 江晓东,迟淑筠,王芸,等. 少免耕对小麦/玉米农田玉米还田秸秆腐解的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 247-251
- Jiang X D, Chi S Y, Wang Y *et al.* Effect of less tillage and no tillage patterns on decomposition of returned maize straw in wheat/maize system [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2009, 25(10): 247-251.
- [9] 戴志刚,鲁剑巍,李小坤,等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报,2010,26(6): 272-276.
- Dai Z G, Lu J W, Li X K *et al.* Nutrient release characteristics of different crop straws manure [J]. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2010, 26(6): 272-276.
- [10] 刘合满,张兴昌,苏少华. 黄土高原主要土壤锌有效性及其影响因素[J]. 农业环境科学学报,2008,27(3): 898-902.
- Liu H M, Zhang X C, Su S H. Available zinc content and related properties of main soils in the Loess Plateau [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2008, 27(3): 898-902.
- [11] Alloway B J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans [J]. Environ. Geochem. Health, 2009, 31: 537-548.
- [12] Cayuela M L, Sinicco T, Mondini C. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soils [J]. Appl. Soil Ecol., 2009, 41: 118-127.
- [13] Gabrielle B, Mary B, Roche R *et al.* Simulation of carbon and nitrogen dynamics in arable soils: A comparison of approaches [J]. Eur. J. Agron., 2002, 18: 107-120.
- [14] Gregorich E G, Janzen H H. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter [A]. Carter M R, Stewart B A (eds.). Advance in soil science. Structure and organic matter storage in agriculture soils [C]. Boca Raton: CRC Lewis Publisher, 1996. 167-190.
- [15] Hadas A, Kautsky L, Goke M, Kara E E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulations of carbon and nitrogen turnover [J]. Soils Biol. Biochem., 2004, 36: 255-266.
- [16] Marhan S, Demin D, Erbs M *et al.* Soil organic matter mineralization and residue decomposition of spring wheat grown under elevated CO₂ atmosphere [J]. Agric. Ecosyst. Environ., 2008, 123: 63-68.
- [17] Monaghan R, Barraclough D. Contributions to gross N mineralization from ¹⁵N labeled soil macro-organic matter fractions during laboratory incubation [J]. Soil Biol. Biochem., 1995, 27: 1623-1628.
- [18] Potthoff M, Dyckmans J, Flessa H *et al.* Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen [J]. Soil Biol. Biochem., 2005, 37: 1259-1266.
- [19] 金发会,李世清,卢红玲,李生秀. 石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系[J]. 应用生态学报, 2007,18(12): 2739-2746.
- Jin F H, Li S Q, Lu H L, Li S X. Relationships of microbial biomass carbon and nitrogen with particle composition and nitrogen mineralization potential in calcareous soil [J]. Chin. Appl. Ecol., 2007, 18(12): 2739-2746.
- [20] 魏孝荣,郝明德,张春霞. 黄土高原地区连续施锌条件下土壤锌的形态及有效性[J]. 中国农业科学,2005,38(7): 1386-1393.
- Wei X R, Hao M D, Zhang C X. Zinc fractions and availability in the soil of the Loess Plateau after long-term continuous application of zinc fertilizer [J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(7): 1386-1393.
- [21] Jenkinson D S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil [A]. Wilson J R. Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems [C]. Wallingford: CAB International, England, 1988. 368-386.
- [22] Pankhurst C E. Biological indicators of soil health and sustainable productivity [A]. Greenland D J, Szabolcs I. Soil resilience and sustainable land use [M]. Wallingford: CAB International, UK, 1994. 331-351.
- [23] 崔纪超,毛艳玲,杨智杰,等. 土壤微生物生物量磷研究进展[J]. 亚热带资源与环境学报,2008,3(4): 80-89.
- Cui J C, Mao Y L, Yang Z J *et al.* Advances in soil microbial biomass phosphorus [J]. J. Subtrop. Resour. Environ., 2008, 3(4): 80-89.
- [24] 陈安磊,谢小立,王凯荣,高超. 长期有机物循环利用对红壤稻田土壤供磷能力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008, 14(5): 874-879
- Chen A L, Xie X L, Wang K R, Gao C. Effects of long-term cycling of organic matter on soil phosphorus supplying capacity in a red soil paddy ecosystem [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 874-879.
- [25] 李娟,赵秉强,李秀英,So Hwat Bing. 长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2009,15(5): 1093-1099.
- Li J, Zhao B Q, Li X Y, So Hwat Bing. Seasonal variation of soil microbial biomass and soil enzyme activities in different long-term fertilizer regimes [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15

- (5): 1093–1099.
- [26] Khan K S, Heinze S, Joergensen R G. Simultaneous measurement of S, macronutrients, and heavy metals in the soil microbial biomass with CHCl_3 fumigation and NH_4NO_3 extraction [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2009, 41: 309–314.
- [27] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 96–99.
Zhang C E, Wang S Q. Study on soil microbial biomass during decomposition of crop straws [J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2000, 14(3): 96–99.
- [28] 于建光, 常志州, 黄红英, 等. 秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(3): 563–570.
Yu J G, Chang Z Z, Huang H Y *et al.* Effect of microbial inoculants for straw decomposing on soil microorganisms and the nutrients [J]. *J. Agro-Environ. Sci.*, 2010, 29(3): 563–570.
- [29] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 806–809.
Chen S H, Zhu Z L, Liu D H *et al.* Influence of straw mulching with no-tillage on soil nutrients and carbon pool management index [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(4): 806–809.
- [30] 郝明德, 魏孝荣, 党廷辉. 旱地小麦长期施用锌肥的增产作用及土壤效应 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(3): 377–380.
Hao M D, Wei X R, Dang T H. Effect of long term applying zinc fertilizer on wheat yield and content of zinc in dryland [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2003, 9(3): 377–380.
- [31] 陆欣春, 田霄鸿, 杨习文, 等. 氮锌配施对石灰性土壤锌形态及肥效的影响 [J]. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1202–1213.
Lu X C, Tian X H, Yang X W *et al.* Effects of combined application of nitrogen and zinc on zinc fractions and fertilizer efficiency in calcareous soil [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2010, 47(6): 1202–1213.
- [32] 韩凤祥, 胡霭堂, 秦怀英. 土壤有机结合态锌的分级及其活性的研究 [J]. *南京农业大学学报*, 1990, 13(1): 68–74.
Han F X, Hu A T, Qin H Y. Fractionation of zinc bound to organic matter in soil [J]. *J. Nanjing Agric. Univ.*, 1990, 13(1): 68–74.
- [33] 蒋廷惠, 胡霭堂, 秦怀英. 土壤中锌的形态分布及其影响因素 [J]. *土壤学报*, 1993, 30(3): 260–266.
Jiang T H, Hu A T, Qin H Y. Distribution of zinc fractions in soils in relation to soil properties [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1993, 30(3): 260–266.
- [34] Obrador A, Alvarez J M, Lopez-Valdivia L M *et al.* Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop [J]. *Geoderma*, 2007, 137: 432–443.