

Effects of Returned-Straw on Soil Fertility and Soil Biological Traits in Wheat-Maize Rotation Systems

Liang Dong^{1,2}, Shenzhong Tian^{1,3}, Yufeng Zhang^{1,2}, Honghai Guo^{1,3*}, Zheng Ma^{1,2}, Wenfan Bian^{2,3}, Ruiqin Li¹, Jiafa Luo²

¹Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan Shandong

²Key Laboratory of Agro-environment in Huanghuaihai Plain Ministry of Agriculture Shandong Provincial, Jinan Shandong

³Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Jinan Shandong

Email: dl_xm@163.com, honghaig@163.com

Received: Sep. 22nd, 2017; accepted: Oct. 6th, 2017; published: Oct. 11th, 2017

Abstract

In order to test effects of returned-straw on soil fertility and soil biological traits in wheat-maize rotation systems, we investigated the soil organic matter, soil nutrient capacity, soil microorganism and soil enzyme activity. The results showed that returned-straw increased wheat yield (2 seasons) and maize yield (2 seasons) by 5.3% - 25.0% and 15.8% - 26.1% respectively, increased the soil organic matter by 0.2 - 0.4 g/kg under the condition of 50%, 100%, 150%, increased available nitrogen by 6.64 - 9.00 mg/kg, increased available phosphorus by 3.37 - 4.07 mg/kg, increased available potassium by 10.33 - 19.00 mg/kg, increased the amount of soil bacteria, fungi and actinomycetes respectively by 2.2×10^8 - 3.1×10^8 /g, 0.5×10^6 - 3.5×10^6 /g, 1.3×10^7 - 1.9×10^7 /g, and increased the activity of soil dehydrogenase, soil urease, soil acid phosphatase respectively by 3.82% - 12.98%, 36.0% - 80.0%, 12.99% - 37.80%. But excessive amount of straw returned 150% was not beneficial from farmland productivity because of its negative turning point in soil fertility and soil biological traits. We suggested the amount of returned-straw was not more than 100%.

Keywords

Returned-Straw Amount, Wheat-Maize Rotation Systems, Soil Fertility, Soil Microorganism, Soil Enzyme Activity

秸秆还田对麦-玉轮作中土壤肥力及生物学性状的影响

董亮^{1,2}, 田慎重^{1,3}, 张玉凤^{1,2}, 郭洪海^{1,3*}, 马征^{1,2}, 边文范^{2,3}, 李瑞琴¹, 罗加法²

*通讯作者。

文章引用: 董亮, 田慎重, 张玉凤, 郭洪海, 马征, 边文范, 李瑞琴, 罗加法. 秸秆还田对麦-玉轮作中土壤肥力及生物学性状的影响[J]. 世界生态学, 2017, 6(4): 159-166. DOI: 10.12677/ije.2017.64019

¹山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东 济南

²农业部黄淮海平原农业环境重点实验室, 山东 济南

³山东省植物营养与肥料重点实验室, 山东 济南

Email: dl_xm@163.com, honghaig@163.com

收稿日期: 2017年9月22日; 录用日期: 2017年10月6日; 发布日期: 2017年10月11日

摘要

为探明秸秆还田对麦-玉轮作中土壤肥力及生物学性状的影响, 利用田间长期定位试验, 研究了不同秸秆还田量条件下的作物产量、土壤有机质、速效养分、微生物数量及土壤酶活性。研究表明, 秸秆还田能增加小麦(两季)、玉米(两季)产量, 增幅分别为5.3%~25.0%、15.8%~26.1%。秸秆还田后, 土壤有机质含量, 50%、100%和150%秸秆还田条件下, 增幅分别为0.2~0.4 g/kg, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量增加6.64~9.00 mg/kg、3.37~4.07 mg/kg、10.33~19.00 mg/kg, 细菌、真菌、放线菌增幅分别为 $2.2 \times 10^8 \sim 3.1 \times 10^8$ 、 $0.5 \times 10^6 \sim 3.5 \times 10^6$ 、 $1.3 \times 10^7 \sim 1.9 \times 10^7$ 个/g, 土壤脱氢酶、脲酶、酸性磷酸酶活性分别增加3.82%~12.98%、36.0%~80.0%、12.99%~37.80%。但秸秆还田量达到150%时, 在土壤肥力及生物学指标方面出现转折点, 建议不超过100%秸秆还田为宜。

关键词

秸秆还田量, 麦-玉轮作, 土壤肥力, 土壤微生物, 土壤酶活性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为农业大国, 我国秸秆资源十分丰富。据统计, 2010年中国的三大粮食作物秸秆理论资源量达8.4亿吨, 约占全世界年产农作物秸秆量的30%左右, 列世界之首。但目前我国秸秆利用率较低, 仅为33%, 秸秆本身的利用价值与目前存在的高消耗、高污染、低产出的现象相矛盾, 急需开发利用[1]。

研究发现, 秸秆中含有大量的有机质、氮磷钾等养分, 秸秆归还于土壤可构建良好的土壤生态体系[2], 提升土壤肥力。秸秆还田后, 一方面能增加作物产量, 另一方面能增加土壤有机质及速效养分含量[3][4]、改善土壤结构[5]、提高肥料利用效率[6]、减少温室气体排放[7], 并且由于秸秆中含有大量的钾元素, 还田后可替代部分化肥钾, 缓解我国钾肥资源压力。因此秸秆还田是发展可持续农业的有效途径[8]。

秸秆还田操作对作物根际土壤微生态环境的影响也非常重要。土壤微生物数量关系到土壤中有有机质的分解和矿质元素的转化, 影响作物对营养元素的吸收和利用[9], 生物多样性越高的生态系统越稳定的Elton假说, 受到大多数学者的认同[10], 秸秆还田后有助于构建良好生态系统与此相符。徐国伟等[11]、刘定辉等[12]研究发现, 秸秆还田会影响土壤酶效应, 秸秆覆盖可使土壤蔗糖酶、碱性磷酸酶和脲酶活性增加46.9%、9.0%和39.0%。

在黄淮海区域小麦-玉米一年两熟的轮作制度下, 秸秆还田技术得到日益推广, 但是由此引起的作物

出苗率低、病害草等问题也日趋显现[13]。在农业生产过程中秸秆不能有效分解的情况下,秸秆还田量的多少会不同程度的影响其培肥改土作用[14][15]。因此,长期的秸秆还田操作对土壤肥力及土壤生物学性状影响如何?秸秆原位还田的量为多少较合适?本研究即针对上述问题,选择黄淮海区域的德州市平原县,在小麦-玉米轮作制度下,通过2013年10月至2015年10月两季小麦、两季玉米的试验,探讨长期秸秆还田对土壤肥力及生物学指标的影响情况,并综合从“作物产量-土壤肥力-土壤生物学”的角度阐明秸秆原位还田的科学阈值,从而为黄淮海平原区小麦-玉米轮作制度下秸秆科学原位还田及粮食稳产高产提供科学支撑。

2. 材料和方法

2.1. 试验点概况

德州市平原县位于东经116.44°,北纬37.16°,属于鲁西北黄河冲积平原,为暖温带大陆性季风气候,干湿明显,四季分明,春季干旱多风,夏季湿热多雨,秋季凉爽,冬季干冷,光照充足。年均温12.7°C,年平均降水量535 mm。该地区土层深厚,地形平坦,为我国粮食高产地区,小麦-玉米一年两熟。土壤类型为潮土,试验区土壤的基本理化性质见表1。

2.2. 试验设计及方法

试验共设4个处理,每个处理重复3次。小区按照长期定位试验池标准,四周用水泥板围砌,防止串水串肥。小区规格宽6.0 m×长7.0 m,小区面积42 m²。具体试验设计见表2。

施肥方式:均按照当地农民习惯施肥。即小麦季施肥量为N 240.0 kg/hm²、P₂O₅ 130 kg/hm²、K₂O 105 kg/hm²,磷、钾肥在小麦播种时一次性施入,氮肥基追比为6:4;玉米季施肥量为N 260.0 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 105 kg/hm²,磷、钾在玉米播种时一次性施入,氮肥基追比为5:5。

秸秆还田方式:为达到试验研究目的,秸秆还田时,按照表2中秸秆还田量进行。其中,50%秸秆还田处理即移出一半秸秆,100%秸秆还田处理为全量还田,150%秸秆还田处理即从50%秸秆还田处理的田块中取用一半秸秆添入。具体的秸秆处理方式是小麦秸秆粉碎后地表覆盖还田、玉米秸秆粉碎后旋耕还田。

试验方法:长期定位试验时间(秸秆原位还田)开始于2013年,实行小麦-玉米一年两作,品种均为当地主导品种,其中玉米为郑单958,小麦为济麦22号。播种、灌溉等田间管理按照当地农民习惯操作。收获后取小区内(2.0 m×2.0 m)样方计产,统计作物产量。2015年玉米收获后环刀或土钻取土测定土壤0~20 cm土层土壤有机质、养分(碱解氮、有效磷、速效钾)、土壤微生物(细菌、真菌、放线菌)数量、土壤酶(脱氢酶、脲酶、酸性磷酸酶)活性等指标。

2.3. 测试方法及数据处理分析

土壤肥力指标测定方法参照鲁如坤《土壤农化分析》[16]。土壤微生物参照姚槐应的方法[17]。土壤酶活性参照关松萌的方法[18]。

数据分析采用DPS软件,用Duncan新复极差法进行多重比较。

3. 结果与分析

3.1. 秸秆还田对小麦-玉米产量的影响

不同秸秆还田量可显著影响小麦、玉米产量(表3)。对于小麦来说,与秸秆不还田的对照处理相比,50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的2013~2014年小麦产量分别增加5.3%、10.7%、10.6%,

Table 1. Basic properties of soil**表 1.** 土壤基本理化性质

有机质 g/kg organic matter	容重 g/cm ³ Bulk density	碱解氮 mg/kg available nitrogen	有效磷 mg/kg Available phosphorus	速效钾 mg/kg available potassium	pH
13.4	1.42	65.1	23.4	156.0	8.47

Table 2. Experiment design**表 2.** 试验设计

编号 number	试验处理 experiment design	秸秆还田量 returned-straw amount
CK	秸秆不还田	0 kg/hm ² 秸秆还田
50%ST	50%小麦、玉米秸秆还田	3375 kg/hm ² (干重)玉米秸秆, 4125 kg/hm ² (干重)小麦秸秆
100%ST	100%小麦、玉米秸秆还田	6750 kg/hm ² (干重)玉米秸秆, 8250 kg/hm ² (干重)小麦秸秆
150%ST	150%小麦、玉米秸秆还田	10,125 kg/hm ² (干重)玉米秸秆, 12,375 kg/hm ² (干重)小麦秸秆

Table 3. Effect of returned-straw on maize-wheat's yield**表 3.** 秸秆还田对玉米-小麦产量的影响

处理 treatment	2013~2014 年小麦季产量 (kg/hm ²) wheat yield	2014 年玉米季产量 (kg/hm ²) maize yield	2014~2015 年小麦季产量 (kg/hm ²) wheat yield	2015 年玉米季产量 (kg/hm ²) maize yield
CK	7156.5 ± 20.0 c	8124.9 ± 132.8 b	7600.3 ± 54.5 c	8320.5 ± 46.9 c
50%ST	7536.9 ± 49.9 b	9449.1 ± 112.1 a	8175.3 ± 75.8 b	9638.7 ± 66.5 b
100%ST	7921.7 ± 76.4 a	10241.9 ± 203.1 a	8600.4 ± 49.9 a	10456.1 ± 86.1 a
150%ST	7914.0 ± 50.7 a	10068.8 ± 128.3 a	8294.1 ± 81.1 a	10291.5 ± 82.4 a

注: 表中不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

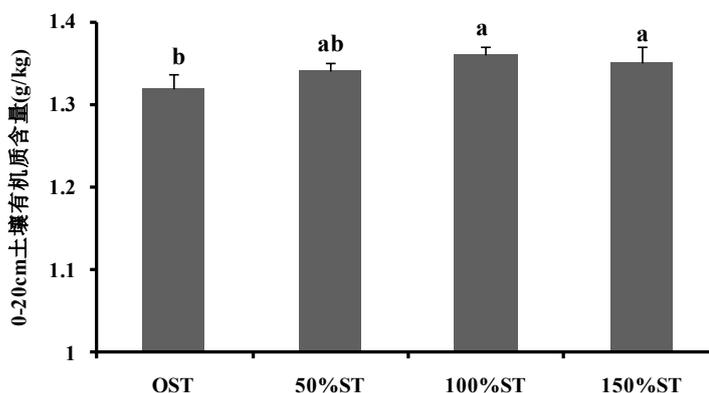
处理的 2014~2015 年小麦产量分别增加 19.4%、25.0%、21.0%，100%秸秆还田与 150%秸秆还田处理间差异不显著。对于玉米来说，与秸秆不还田的对照处理相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的 2014 年玉米产量分别增加 16.3%、26.1%、23.9%，处理的 2015 年玉米产量分别增加 15.8%、25.7%、23.7%。但当秸秆还田量达到 150%时，玉米、小麦产量出现下降的趋势，分析原因可能是因为秸秆还田量过大，土壤微生物活动消耗而与作物竞争养分，而给玉米幼苗返青、分蘖生长带来负面影响，从而影响作物生长及产量的形成。具体原因还需要进一步验证分析。

3.2. 秸秆还田对 0~20 cm 土层土壤有机质含量的影响

土壤有机质含量是衡量土壤肥力高低的决定因素。作物秸秆由于本身含有大量碳，是重要的有机肥源。由图 1 可以看出，秸秆还田能增加土壤有机质含量。与对照相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的耕层土壤有机质分别增加 0.02、0.04、0.03 g/kg。分析原因，应该是秸秆还田促进了土壤微生物活动，加速了微生物对秸秆中有机态养分的分解释放，因此提高了土壤有机质含量[19]。本试验中秸秆还田连续处理了两年，从结果能看出秸秆还田能增加土壤有机质，但增幅不明显，这与土壤有机质的提高是一个长期的积累过程有关。

3.3. 秸秆还田对 0~20 cm 土层土壤养分的影响

由表 4 看出，秸秆还田能增加土壤养分。与对照相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤碱解氮分别增加 6.43 mg/kg、9.00 mg/kg、6.80 mg/kg，处理的土壤有效磷分别增加 3.50



注：表中不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

Figure 1. Effect of returned-straw on 0 - 20 cm soil organic

图 1. 秸秆还田对 0~20 cm 土层土壤有机质含量的影响

Table 4. Effect of returned-straw on soil nutrients

表 4. 秸秆还田对土壤养分的影响

处理 treatment	碱解氮(mg/kg) available nitrogen	有效磷(mg/kg) available phosphorus	速效钾(mg/kg) available potassium
OST	71.17 ± 1.35 c	28.33 ± 2.51 b	104.67 ± 2.31 d
50%ST	77.60 ± 2.21 b	31.83 ± 2.12 a	117.00 ± 4.36 b
100%ST	80.17 ± 1.25 a	32.40 ± 0.53 a	123.67 ± 6.66 a
150%ST	77.97 ± 3.02 b	31.70 ± 1.35 a	110.00 ± 9.54 c

注：表中不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

mg/kg、4.07 mg/kg、3.37 mg/kg，处理的土壤速效钾分别增加 12.33 mg/kg、19.00 mg/kg、10.33 mg/kg。尤其在土壤钾素方面，秸秆还田向土壤中贡献的钾与氮、磷相比更多，这与秸秆中含有较多的钾元素有关。150%秸秆还田的土壤养分出现了一个下降趋势，分析原因可能是因为过大的秸秆还田量在腐解时需要的更多的微生物活动消耗掉了部分土壤养分。

3.4. 秸秆还田对 0~20 cm 土壤微生物数量的影响

由表 5 看出，与秸秆不还田的对照处理相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤细菌数量分别增加 3.1×10^8 个/g、 2.5×10^8 个/g、 2.2×10^8 个/g，处理的土壤真菌数量分别增加 2.0×10^6 个/g、 3.5×10^6 个/g、 0.5×10^6 个/g，处理的土壤放线菌数量分别增加 1.3×10^7 个/g、 1.9×10^7 个/g、 1.7×10^7 个/g。因此，秸秆还田能增加了土壤微生物数量，原因是随着秸秆的腐解，向土壤中输送大量的碳源，为土壤微生物繁殖提供营养，使土壤微生物群落结构得到改善[20]。

由本结果也可以看出，土壤微生物数量亦受秸秆还田量的影响。并非秸秆还田量越多，土壤微生物数量越多，150%秸秆还田处理的土壤微生物数量有下降趋势。分析原因可能是因为，秸秆中的养分大部分以分解速度慢的有机态存在，短期内向土壤中释放的养分效果不明显，因此在同一施肥水平下，秸秆还田量过多(150%秸秆还田)会导致土壤 C/N 比升高，土壤 C/N 比失衡，土壤中没有足够的氮素供应微生物活动，因此导致土壤微生物数量出现下降的趋势。

3.5. 秸秆还田对 0~20 cm 土壤酶活性的影响

土壤脱氢酶活性可作为指示土壤微生物活性的指标。由表 6 看出，秸秆还田后，土壤脱氢酶活性增

Table 5. Effect of returned-straw on 0 - 20 cm soil microorganism amount**表 5.** 秸秆还田对耕层土壤微生物数量的影响

处理 experiment design	细菌/($\times 10^8$ 个/g) bacteria	真菌/($\times 10^6$ 个/g) fungi	放线菌/($\times 10^7$ 个/g) actinomycetes
0ST	9.5 \pm 0.3 a	5.9 \pm 0.5 a	10.4 \pm 1.3 a
50%ST	12.6 \pm 1.2 b	7.9 \pm 1.0 ab	11.7 \pm 2.0 b
100%ST	12.0 \pm 0.5 b	9.4 \pm 0.5 b	12.3 \pm 1.6 b
150%ST	11.7 \pm 0.9 b	6.4 \pm 0.7 a	12.1 \pm 0.8 b

注：表中不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

Table 6. Effect of returned-straw on 0 - 20 cm soil enzyme activity**表 6.** 秸秆还田对 0~20 cm 土壤酶活的影响

处理 experiment design	土壤脱氢酶 ug·(g·h) ⁻¹ soil dehydrogenase	土壤脲酶 mgNH ₃ -N·g ⁻¹ ·(24h) ⁻¹ soil urease	土壤酸性磷酸酶 mg·g ⁻¹ (24 h) ⁻¹ soil acid phosphatase
0ST	1.31 \pm 0.2 a	0.25 \pm 0.05 a	2.54 \pm 0.10 a
50%ST	1.36 \pm 0.5 a	0.34 \pm 0.02 b	2.89 \pm 0.15 b
100%ST	1.48 \pm 0.5 b	0.45 \pm 0.04 c	3.46 \pm 0.09 c
150%ST	1.46 \pm 0.7 b	0.43 \pm 0.06 c	3.50 \pm 0.14 c

注：表中不同小写字母表示差异达 5%显著水平。

强，与秸秆不还田的对照相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤脱氢酶活性分别增加 3.82%、12.98%、11.45%。秸秆还田有效提高了土壤脱氢酶活性，究其原因可能是因为秸秆还田能增加土壤有机质含量(见图 1 结果)，为微生物的生长提供了充足的碳源，增加了脱氢酶的来源[8]。

脲酶与土壤供氮能力有着密切的关系。由表 6 看出，秸秆还田增加了土壤脲酶活性，与秸秆不还田相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤脲酶活性分别增加 0.09 mg NH₄⁺-N·g⁻¹·24 h⁻¹、0.20 mgNH₄⁺-N·g⁻¹·24 h⁻¹、0.18 mgNH₄⁺-N·g⁻¹·24 h⁻¹，其中，以 100%秸秆还田处理的土壤脲酶活性最高。

酸性磷酸酶活性的高低直接影响土壤中有有机磷的分解转化和生物有效性，秸秆还田有利于提高土壤酸性磷酸酶活性，增加土壤磷素的有效性。与秸秆不还田相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤磷酸酶活性分别增加 12.99%、36.22%、37.80%。

4. 讨论与结论

2013 年 10 月开始至 2014 年 6 月试验区小麦季降水量为 291 mm，2014 年 6 月至 2014 年 10 月试验区玉米季降水量为 389 mm，2014 年 10 月至 2015 年 6 月试验区小麦季降水量为 256 mm，2015 年 6 月至 2015 年 10 月试验区玉米降水量为 354 mm，以小麦-玉米轮作计的两个年份降水量分别为 680 mm、610 mm，较试验区正常 535 mm 的年平均降水量偏多，属于偏丰水年份。因此在本试验条件下，推测秸秆还田后由于降水的关系，腐解速度加快，故而对土壤肥力指标及土壤生物学指标起到了积极的促进作用。因为秸秆本身含有丰富的纤维素、木质素等富碳物质以及氮、磷、钾多种营养元素，腐解能使土壤综合生态因子得到改善，作物产量得到提高，土壤中的微生物活性增加、活性更趋活跃，促进了土壤养分与有机碳的转化及有效性，也促进酶活性的提高；而酶活性的提高又增强了土壤微生物活动，形成了良好的互动效应，因此，土壤有机质、土壤养分及土壤生物学指标之间相互影响，相互促进。

通过两季小麦、两季玉米试验，在本试验条件下：

1) **秸秆还田能提高作物产量。**50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的小麦产量增幅5.3%~25.0%，玉米产量增幅15.8%~26.1%。

2) **秸秆还田能增加土壤有机质与土壤速效养分含量。**50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤有机质增幅为0.2~0.4 g/kg，处理的土壤碱解氮、有效磷、速效钾的增幅分别为6.64~9.00 mg/kg、3.37~4.07 mg/kg、10.33~19.00 mg/kg。

3) **秸秆还田能增加土壤微生物的丰富度。**50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的细菌、真菌、放线菌的数量分别增加 2.2×10^8 个/g~ 3.1×10^8 个/g、 0.5×10^6 个/g~ 3.5×10^6 个/g、 1.3×10^7 个/g~ 1.9×10^7 个/g。

4) **秸秆还田能提高土壤酶活性。**50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤脱氢酶、脲酶、酸性磷酸酶活性分别增加3.82%~12.98%、36.0%~80.0%、12.99%~37.80%。

5) **秸秆还田存在还田量阈值问题。**秸秆还田虽然能改善土壤肥力及生物学性状，但从本试验结果看，存在还田量阈值问题。秸秆还田量过多，不仅对土壤性状无明显的促进作用，而且徒增劳动成本。因此基于本试验，建议秸秆还田量不超过100%秸秆还田。

基金项目

山东省农业科学院青年科研基金(2014QNM51)、省重点研发(产业关键技术)“盐碱地粮经饲绿色开发关键技术研究示范”(2016CYJS05A01)、海外泰山学者建设工程专项经费资助。

参考文献 (References)

- [1] 曹稳根, 高贵珍, 方雪梅, 等. 我国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 宿州学院学报, 2007, 22(6): 110-113.
- [2] 李秋梅, 陈新平, 张福锁, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 152-156.
- [3] 胡乃娟, 张四伟, 杨敏芳, 等. 秸秆还田与耕作方式对稻麦轮作农田土壤碳库及结构的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(4): 7-12.
- [4] Tanhan, P., Kruatrachue, M., Pokethitayook, P., et al. (2007) Uptake and Accumulation of Cadmium, Lead and Zinc by Siam Weed (*Chromolaena odorata* (L.). *Chemosphere*, **68**, 323-329.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.064>
- [5] 安婷婷, 汪景宽, 李双异, 等. 施用有机肥对黑土团聚体有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 369-373.
- [6] 赵鹏, 陈阜, 李莉. 秸秆还田对冬小麦农田土壤无机氮和土壤脲酶的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 165-169.
- [7] Bakken, L.R. (1990) Microbial Growth and Immobilization/Mineralization of N in the Rhizosphere. *Symbiosis*, **9**, 37-41.
- [8] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [9] 李卓棣. 土壤微生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [10] 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等. 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5210-5218.
- [11] 徐国伟, 段骅, 王志琴, 等. 麦秸还田对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 934-942.
- [12] 刘定辉, 舒丽, 陈强, 等. 秸秆还田少耕对冲积土微生物多样性及微生物碳氮的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(2): 158-161.
- [13] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 等. 秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 612-619.
- [14] 刘义国, 刘永红, 刘洪军, 等. 秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 131-135.
- [15] 杨思存, 霍临, 王建成. 秸秆还田的生化他感效应研究初报[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 52-56.
- [16] 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.

- [17] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [18] 关松荫. 土壤酶及研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] 王应, 袁建国. 秸秆还田对农田土壤有机质提升的探索研究[J]. 山西农业大学学报, 2007, 27(6): 120-121, 126.
- [20] 马瑞霞, 刘秀芬, 袁光林, 等. 小麦根区微生物分解小麦残体产生的化感物质及其生物活性的研究[J]. 生态学报, 1996, 16(6): 632-639.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ije@hanspub.org