

不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响

韩新忠¹, 朱利群², 杨敏芳¹, 俞琦², 卞新民^{1,2*}

(1.南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2.南京农业大学农学院, 南京 210095)

摘要:通过大田试验研究了不同小麦秸秆还田量(0、1500、3000、4500、6000 kg·hm⁻²)对水稻生长、土壤微生物量及酶活性的影响。结果表明:秸秆还田后,水稻分蘖数、株高、SPAD 及干物质积累量均高于秸秆不还田(对照),但是未全部达到显著性差异;50%秸秆还田处理增产效果最显著($P<0.05$),与对照相比,理论增产 10.2%,实际增产 9.0%;秸秆还田处理显著增加了土壤全氮和速效氮含量,对土壤有机质、有效磷和速效钾含量影响不显著;50%秸秆还田处理对微生物量碳、氮的提高作用最明显($P<0.05$),分别较对照提高 46.0%和 90.0%;25%和 50%秸秆还田显著提高了土壤脲酶活性($P<0.05$);25%、50%和 75%秸秆还田土壤过氧化氢酶活性较对照提高 9.3%、12.1%和 8.5%($P<0.05$);与对照相比,50%秸秆还田土壤蔗糖酶活性提高 20.3%($P<0.05$)。鉴于秸秆还田对作物产量和土壤肥力的长期效应以及对土壤微生物生理代谢影响的复杂性,合理秸秆还田量的选择还需进行长期定位试验研究。

关键词:水稻;秸秆还田;产量;土壤微生物量碳、氮;土壤酶活性

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)11-2192-08

Effects of Different Amount of Wheat Straw Returning on Rice Growth, Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity

HAN Xin-zhong¹, ZHU Li-qun², YANG Min-fang¹, YU Qi², BIAN Xin-min^{1,2*}

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effects of different amount of wheat straw returning on yield of rice, microbial biomass-C, N and soil enzyme activity were studied through a *in-situ* experiment. The results showed that straw returning increased the number of tillers, plant height, the relative content of chlorophyll and aboveground dry matter, but the effect degree of different amounts were different; compared to the control, 50% straw returning treatment significantly increased yield of rice($P<0.05$) with the increase of 10.2% in the theoretical yield and 9.0% in actual yield, respectively; Straw returning significantly improved soil total nitrogen and available nitrogen, and also had no obvious influence on soil organic matter, available phosphorus and available potassium; 50% straw returning treatments enhanced microbial biomass-C, N($P<0.05$), and its microbial biomass-C, N were 1.5 times and 1.9 times higher than those from the control; 25% and 50% straw returning treatments increased urease activity significantly($P<0.05$); 25%, 50% and 75% straw returning treatments promoted catalase activity with the increase of 9.28%, 12.11% and 8.51%($P<0.05$); 50% straw returning treatment significantly increased invertase activity by 20.30% in comparison to the control($P<0.05$). Due to long-term effects on yield of rice and soil fertility of straw returning and the complexity of effects of straw returning on microbial physiological metabolism, long-term *in-situ* study need to be carried out to better understand the reasonable amount of straw returning.

Keywords: rice; straw returning; yield; soil microbial biomass-C, N; soil enzyme activity

收稿日期:2012-05-15

基金项目:公益性行业(农业)科研专项课题(201103001)

作者简介:韩新忠(1987—),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要从事农业生态研究。E-mail:2010103024@njau.edu.cn

* 通信作者:卞新民 E-mail:bjxlm1@163.com

秸秆作为能量和养分的载体^[1],含有丰富的氮、磷、钾及微量营养元素,但利用指数不高,大部分被焚烧,造成对环境的污染^[2],随着粮食单产水平的提高,作物秸秆的剩余量也越来越多。秸秆还田作为一种直接有效的秸秆利用方式,不但可以解决秸秆的环境污染问题,也可以促进农村养分资源的循环利用和农业可持续发展^[3]。秸秆也是土壤生物活性的主要和有效能源,秸秆还田能激发土壤微生物活性及各种土壤酶的活性。土壤微生物量是植物营养物质的源与库,并积极参与养分循环,添加有机物质对微生物种群影响比矿质肥料更大^[4-5],而常被用来评价土壤的生物学性状;土壤酶活性可以表征土壤的综合肥力特征及土壤养分转化进程,反映土壤中各种生物化学过程的强度和方向^[6],可作为土壤质量的生物学指标。

近年来,关于秸秆还田的研究报道较多,主要集中在对土壤物理性状、土壤养分、作物产量及温室气体 CH₄ 和 N₂O 排放的影响等方面。其中,关于秸秆还田能有效增加作物产量及土壤肥力已得到学术界的广泛认同。张静等^[7]研究了不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响,结果表明 9000 kg·hm⁻² 的玉米秸秆还田处理效果最好,土壤微生物固持碳、氮的效果增强及接茬冬小麦增产显著。张振江^[8]研究了长期麦秆还田对作物产量与土壤肥力的影响,结果表明麦秆还田可使作物增产,并能明显增加土壤有机质和有效氮磷。关于秸秆还田对于土壤微生物生物量及酶活性方面的影响也有一些报道。Sun 等^[9]和 Gianfreda 等^[10]研究发现秸秆还田对土壤酶活性具有促进作用。目前,利用土壤微生物学指标的变化来评价麦秸还田对稻田土壤生态学效应的研究相对较多,而关于稻麦轮作条件下不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量和酶活性影响的系统性研究尚未见详细报道。本试验通过研究长江下游地区不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量和土壤酶活性的影响及前述三者间的相关性,以探索适宜当地生产和生态条件的秸秆还田量,为完善该地区秸秆还田技术、提高土壤生产力以及保护生态环境提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011 年 6 月至 11 月在江苏省扬州市槐泗镇肖胡村长期定位试验田进行。该区处于江淮平原南端,属于亚热带季风性湿润气候向温带季风气候的

过渡区,年平均气温为 14.8 ℃,日照 2140 h,降水量 1020 mm,无霜期 220 d。试验地土壤质地为砂壤土,0~20 cm 土层土壤基本理化性状为:有机质 27.7 g·kg⁻¹、全氮 1.49 g·kg⁻¹、pH(H₂O)6.65、容重 1.41 g·cm⁻³。

1.2 试验设计与田间管理

试验设置不同秸秆还田量处理,具体试验设计见表 1。试验采用单因素随机区组排列,5 个处理,3 次重复,小区面积为 30 m²,小区之间用田埂隔开。试验前先将上季的小麦收获,留茬 10 cm 左右,然后通过收割机将小麦秸秆粉碎,长度为 5~10 cm。秸秆晒干后于 6 月 11 日采用常规旋耕还田,深度 10~15 cm。水稻秧苗于 6 月 13 日移栽,品种为淮稻 5 号,11 月 7 日收获。各处理肥料施用情况为:6 月 13 日施入基肥(45%复合肥 375 kg·hm⁻²、尿素 150 kg·hm⁻²);7 月 9 日施入分蘖肥(尿素 150 kg·hm⁻²);8 月 15 日施入穗肥(尿素 150 kg·hm⁻²)。除草、病虫害防治等按照当地常规管理。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理代码	处理	秸秆还田量/kg·hm ⁻²
CK	秸秆不还田	0
SR1	25%秸秆还田	1500
SR2	50%秸秆还田	3000
SR3	75%秸秆还田	4500
SR4	100%秸秆还田	6000

1.3 取样测定方法

水稻生长及产量测定:水稻移栽后每隔 10 d 调查每小区分蘖动态,各小区定点调查 10 穴,直至分蘖数稳定;在水稻幼苗期(6 月 23 日)、分蘖前期(7 月 3 日)、分蘖后期(7 月 18 日)、拔节期(8 月 3 日)、孕穗期(8 月 18 日)、抽穗期(8 月 31 日)、灌浆期(9 月 11 日)、黄熟期(10 月 13 日)主要生育期对株高、叶片叶绿素相对含量(SPAD)及地上部分干物质质量进行测定;于水稻成熟期(11 月 7 日),在各小区内取代表性植株 5 穴,测每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重等,按小区单收计实际产量。

土壤养分、土壤微生物量碳、氮及土壤酶活性测定:在水稻成熟期(11 月 7 日),采用五点取样法在各试验小区采集深度为 0~20 cm 的土壤样品。土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾外加热法;全氮(TN)采用半微量开氏法;速效氮(AN,主要包括铵态氮和硝态氮)采用 0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂ 浸提-AA3 流动分析仪测定^[11-12];有效磷(AP)采用钼锑抗比色法;速效钾(AK)采用火

焰光度计比色法;土壤微生物生物量碳、氮(SMBC、SMBN)采用氯仿熏蒸浸提法^[13];脲酶(Urease)采用靛酚比色法^[14];过氧化氢酶(Catalase)采用高锰酸钾滴定法^[15];蔗糖酶(Invertase)采用二硝基水杨酸比色法^[14]。

1.4 数据分析方法

试验所获得数据采用 Microsoft Excel 2003 进行初步整理、分析和绘制图表,用 SPSS 16.0 进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

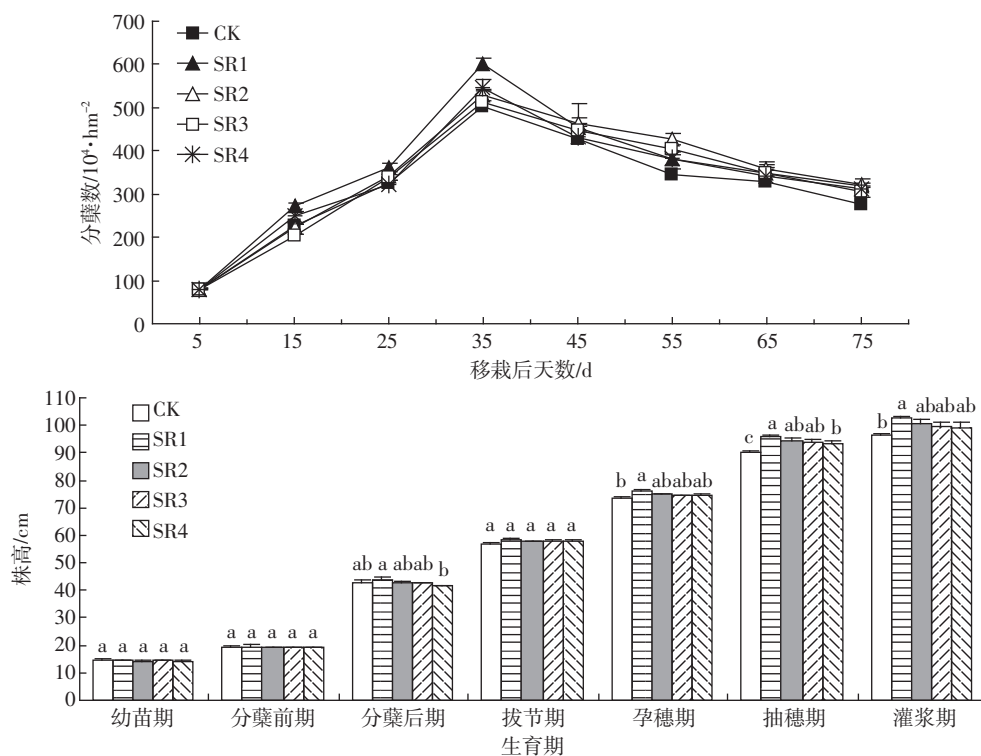
2.1 秸秆还田量对水稻生长及产量的影响

2.1.1 水稻生长动态

图 1 是不同秸秆还田量处理对水稻分蘖数和株高影响的动态。从中可以看出,水稻分蘖数呈现先上升后下降最后逐渐趋于稳定的动态变化趋势。各处理在移栽后 35 d 左右达到分蘖最高峰,且 SR1 较 CK 显著促进分蘖 ($P<0.05$),平均每公顷分蘖数比 CK 多 96 万;在移栽后 75 d 左右,与 CK 相比,SR2 和 SR1 均显著促进了水稻分蘖($P<0.05$),平均每公顷分蘖数分别比 CK 多 44 万和 40 万,其余两个处理与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$)。秸秆还田对株高的影响在分蘖后

期以后逐渐显现。在水稻幼苗期、分蘖前期、分蘖后期和拔节期,不同秸秆还田量处理对水稻株高的影响与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$)。在水稻孕穗期,SR1 显著促进水稻生长($P<0.05$),平均株高比 CK 高 2.6 cm,其余处理与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$),在水稻抽穗期,4 个处理与 CK 相比,均显著促进水稻植株生长($P<0.05$),其中 SR1 和 SR2 平均株高较 CK 分别增加了 5.3 cm 和 4.1 cm;在水稻灌浆期,SR1 显著促进了水稻生长($P<0.05$),平均株高增加了 6.0 cm,其余 3 个处理与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$)。

图 2 是不同秸秆还田量处理对水稻叶片 SPAD 和地上部分干物质积累量影响的动态。叶片 SPAD 在整个水稻生育期主要呈现先上升后下降的动态变化趋势。在灌浆期之前的各生育期,不同秸秆还田量处理对叶片 SPAD 的影响与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$),在灌浆期与黄熟期,SR1、SR2 和 SR3 都显著提高了叶片 SPAD ($P<0.05$),各处理均值大小是 SR1>SR2>SR3>SR4。秸秆还田对水稻地上部分干物质积累量的影响主要体现在分蘖期和拔节期。在分蘖期,SR1 对地上部分干物质积累量的影响与其他处理相比,达到显著差异($P<0.05$);在拔节期,SR2 与 CK 相



图中不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$),下同

图 1 不同秸秆还田量处理对水稻分蘖数和株高的影响

Figure 1 Effects of different amount of straw returning on tiller number and height of rice

比,显著促进了地上部分干物质的积累($P<0.05$),而在抽穗期和黄熟期各处理间干物质积累无明显差异($P>0.05$)。

2.1.2 水稻产量及其构成

表 2 为不同秸秆还田量处理下水稻产量及其构成因素结果。可以看出,不同秸秆还田处理下的有效穗数、结实率、千粒重、每穗粒数及产量存在一定的差异性。方差分析结果表明:不同秸秆还田量处理下的水稻结实率与千粒重之间没有显著差异($P>0.05$)。对于有效穗数,SR1、SR2 和 SR4 较 CK 显著增加了水稻的有效穗数 ($P<0.05$), 分别比 CK 高 12.4%、13.1%、

11.2%,而 SR3 与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$)。对于每穗粒数,SR3 显著提高了每穗粒数 ($P<0.05$),是 CK(不还田处理)的 1.1 倍,而其余 3 个处理与 CK 相比,无显著差异($P>0.05$)。在产量方面,不同秸秆还田量处理下的水稻理论产量均高于不还田处理, 其中 SR2 增产效果最显著 ($P<0.05$), 与 CK 相比,增产 10.2%;实际产量测定结果趋势与理论产量一致,不同秸秆还田处理下的水稻实际产量均高于不还田处理,与 CK 相比,SR2 和 SR1 显著地增加了水稻的产量 ($P<0.05$),分别增产 9.0%和 8.6%,不同处理间均值大小表现为 SR2>SR1>SR3>SR4>CK 的趋势。

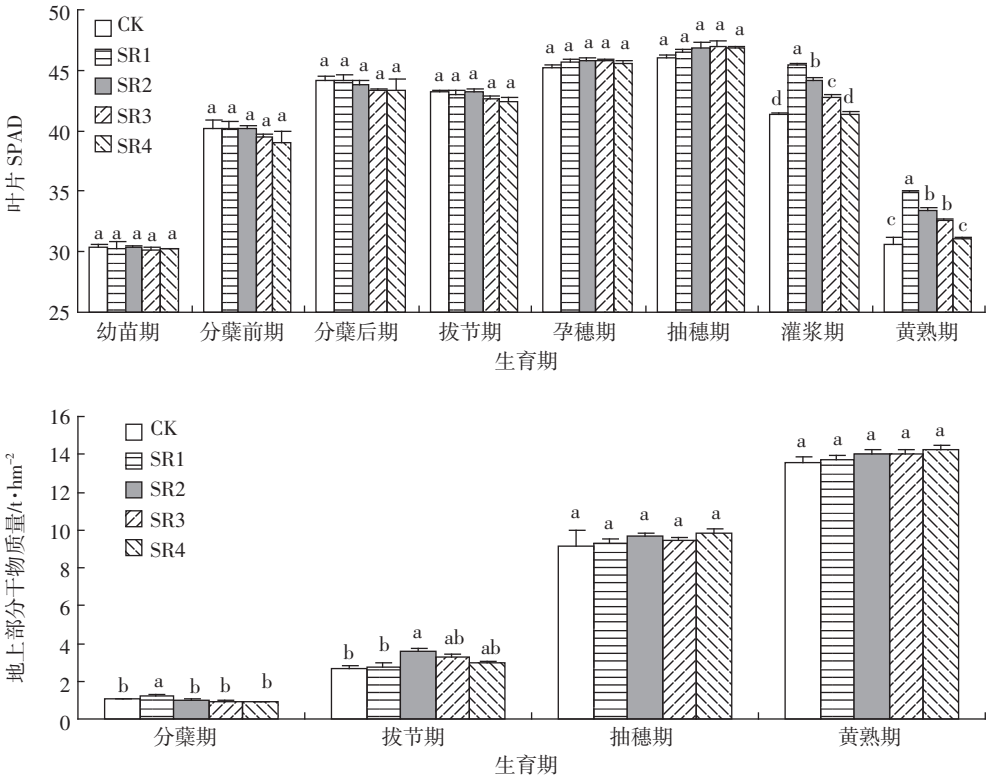


图 2 不同秸秆还田量处理对水稻叶片 SPAD 和地上部分干物质积累量的影响

Figure 2 Effects of different amount of straw returning on SPAD value and aboveground dry matter accumulation of rice

表 2 不同秸秆还田量处理对水稻产量及其构成的影响

Table 2 Effects of different amount of straw on yield and components of rice

处理	有效穗数/10 ⁶ ·hm ⁻²	结实率/%	千粒重/g	每穗粒数/粒	理论产量/t·hm ⁻²	实际产量/t·hm ⁻²
CK	2.51b	96.58a	28.15a	109.20b	7.46b	6.86b
SR1	2.82a	96.25a	28.15a	106.67b	8.16a	7.45a
SR2	2.84a	96.23a	27.52a	109.48b	8.22a	7.48a
SR3	2.56b	96.59a	27.96a	116.72a	8.07ab	7.38ab
SR4	2.79a	95.99a	27.88a	103.52b	7.73ab	7.06ab

注:不同小写字母表示处理间有显著差异($P<0.05$)。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same below.

2.2 秸秆还田量对土壤养分的影响

从表 3 可以看出,经过一季秸秆还田后,各处理较对照秸秆不还田土壤养分含量均有不同程度的提高,其中 SR1 和 SR2 秸秆还田量处理的全氮和速效氮含量提高作用达到显著水平($P<0.05$);而各处理间有机质、有效磷以及速效钾含量则没有显著差异。

2.3 秸秆还田量对土壤微生物生物量碳、氮的影响

土壤微生物量碳能反映土壤有效养分状况和生物活性,能在很大程度上反应土壤微生物数量,是评价土壤微生物数量和活性及土壤肥力的重要指标^[16]。微生物生物量氮是土壤氮素的一个重要储备库,土壤微生物本身也是土壤氮素的转化的活性库之一^[17-18],研究土壤微生物态氮的消长有助于揭示进入土壤肥料氮素的生物固持和释放的本质。从图 3 可以看出,不同秸秆还田量处理土壤微生物量碳、氮均高于 CK 处理,且表现出 SR2>SR1>SR3>SR4>CK 的趋势。方差分析结果表明,与 CK 相比,SR2 对微生物量碳、氮的提高作用最明显($P<0.05$),分别显著提高 46.0%和 90.0%;而其他处理的微生物量碳、氮与 CK 相比,提高程度均没有达到显著差异($P>0.05$)。

2.4 秸秆还田量对土壤酶活性的影响

土壤酶能够催化土壤中的生物化学反应,对土壤肥力有重要影响。土壤脲酶活性催化尿素水解成氨,

可以用来表征土壤的氮素状况;过氧化氢酶能酶促水解过氧化氢,其活性与土壤的微生物数量和活性有关,也与植物根系有关,可以用来表征土壤的生化活性^[19];蔗糖酶广泛存在于所有土壤中,它是表征土壤生物活性的重要酶,对于增加土壤中能被植物和微生物利用的可溶性物质有重要作用。由表 4 可知,不同秸秆还田量处理后土壤酶活性均高于 CK 处理,其中 SR1 和 SR2 显著提高了土壤脲酶活性($P<0.05$);SR1、SR2 和 SR3 土壤过氧化氢酶活性分别较 CK 显著提高 9.3%、12.1%和 8.5%($P<0.05$),而 SR4 对土壤过氧化氢酶活性提高作用没有达到显著差异($P>0.05$);与 CK 相比,SR2 土壤蔗糖酶活性显著提高 20.30%($P<0.05$),而其他处理没有显著差异($P>0.05$)。

2.5 水稻产量与土壤微生物量碳氮、土壤酶活性及土壤养分的相关性分析

表 5 是对土壤酶活性、微生物量碳氮、土壤养分与水稻产量进行相关性分析的结果,可以看出,除了脲酶与蔗糖酶之间无显著相关性外,其余土壤酶之间的相关性均达到极显著或显著水平,这说明土壤酶在进行催化反应时,不但具有专一性,相互之间还存在共性,总体上可以反映土壤肥力的水平。水稻产量与土壤脲酶、过氧化氢酶、微生物碳呈极显著相关,表明土壤酶活性和微生物量碳在一定程度上能够反应土

表 3 不同秸秆还田量处理对土壤养分的影响
Table 3 Effects of different amount of straw on soil nutrient

处理 Treatments	有机质 SOM/g·kg ⁻¹	全氮 TN/g·kg ⁻¹	速效氮 AN/mg·kg ⁻¹	有效磷 AP/mg·kg ⁻¹	速效钾 AK/mg·kg ⁻¹
CK	27.57a	1.16c	11.30c	5.22a	75.29b
SR1	28.06a	1.47b	17.44ab	5.54a	83.35ab
SR2	28.07a	1.68a	18.33a	5.60a	81.88ab
SR3	27.97a	1.40b	14.64b	5.38a	86.00ab
SR4	27.89a	1.38b	14.30bc	5.43a	91.89a

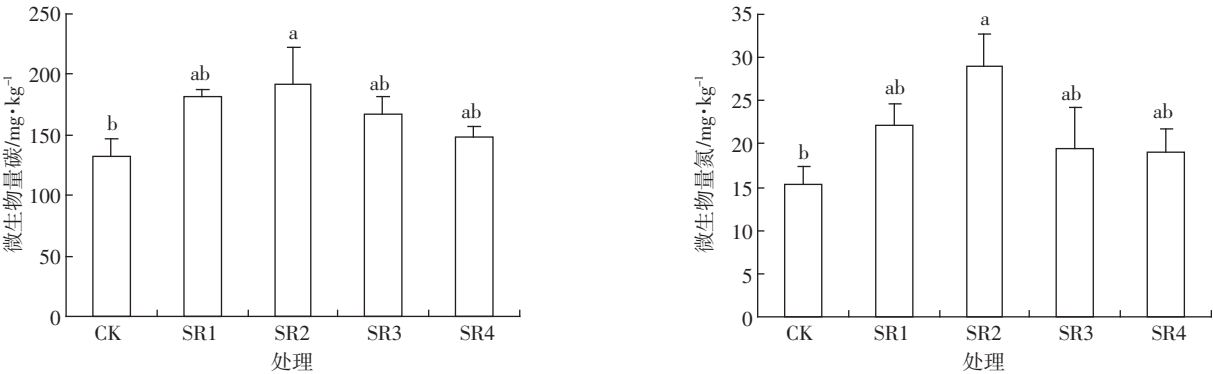


图 3 不同秸秆还田量处理对土壤微生物量碳、氮的影响
Figure 3 Effects of different amount of straw on soil microbial biomass-C, N

壤肥力和土壤质量状况;水稻产量还与土壤全氮、速效氮呈极显著相关,这说明氮素是水稻生长的重要营养元素。

3 讨论

作物秸秆作为重要的有机肥源之一,含有相当数量作物生长必需的碳、氮、磷、钾等营养元素^[20],秸秆还田后,经过腐解会增加土壤养分含量,供作物生长需要,对作物生长发育有促进作用。小麦秸秆 C/N 一般较高,还田后在分解初期微生物自身繁殖生长表现为缺氮,为了满足自身对氮素的需求,微生物会从土壤中吸收矿质氮素,造成微生物和植株竞争氮素养分^[21],而秸秆中含有的养分大部分以有机态形式存在而以矿质态存在的相对较少,有机态分解速度慢,短期内向土壤中释放的养分效果不明显,这样会导致土壤 C/N 失衡。在同一施肥水平下,秸秆还田过高会导致土壤 C/N 提高,土壤中没有足够的氮素供微生物繁殖生长,微生物的数量和活性降低,从而导致秸秆腐解速率降低。本研究发现,在本试验的施肥水平下,

50%秸秆还田量处理较对照显著提高了土壤微生物量碳、氮以及酶活性,这说明在该还田量下,C/N 被控制在适宜的范围,这样有利于提高土壤微生物生物量和微生物活性,而土壤微生物量的增加又会进一步提高包括土壤酶在内的分泌物数量^[22],从而提高土壤酶活性。周文新等^[23]研究了不同秸秆还田量对土壤微生物群落功能多样性的影响,发现秸秆还田增加了土壤细菌数量,并以 2/3 秸秆还田效果最好;陈冬林等^[24]研究发现了秸秆还田量对土壤微生物活度的影响在不同耕作方式下表现不同,耕翻条件下以 2/3 还田量处理的土壤微生物活度高,而少免耕条件下 1/3 还田量处理最高。这些研究结果都说明土壤微生物数量和活性受到了秸秆还田量等因素的影响,本试验也证明了这一点。而路文涛等^[25]研究发现经过秸秆还田后,各处理 0~20 cm 土层各种土壤酶活性未全部达到显著性差异,这可能是不同的土壤质地、种植制度以及气候条件造成的。

本研究发现经过一季秸秆还田后,不同处理土壤主要养分含量均大于对照不还田处理,其中 50%和

表 4 不同秸秆还田量处理对土壤酶活性的影响
Table 4 Effects of different amount of straw on soil enzyme activity

处理 Treatments	脲酶 Urease/NH ₃ -N mg·g ⁻¹ (24 h, 37 ℃)	过氧化氢酶 Catalase/ 0.1 mol·L ⁻¹ KMnO ₄ mg·g ⁻¹ (20 min, 37 ℃)	蔗糖酶 Invertase/Glucose mg·g ⁻¹ (24 h, 37 ℃)
CK	0.40±0.05b	3.88±0.01c	59.95±1.13b
SR1	0.79±0.13a	4.24±0.03a	69.16±4.21ab
SR2	0.79±0.14a	4.35±0.02a	72.12±0.95a
SR3	0.62±0.10ab	4.21±0.15ab	67.29±2.36ab
SR4	0.57±0.06ab	4.00±0.02bc	68.74±3.71ab

表 5 水稻产量与土壤微生物量碳氮、土壤酶活性及土壤养分的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between yield of rice and soil enzyme activity and soil microbial biomass-C, N and soil nutrient

指标 Factors	脲酶 Urease	过氧化氢酶 Catalase	蔗糖酶 Invertase	微生物量碳 SMBC	微生物量氮 SMBN	有机质 SOM	全氮 TN	速效氮 AN	有效磷 AP	速效钾 AK	产量 Rice yield
脲酶 Urease	1										
过氧化氢酶 Catalase	0.787**	1									
蔗糖酶 Invertase	0.457	0.555*	1								
微生物量碳 SMBC	0.892**	0.771**	0.345	1							
微生物量氮 SMBN	0.518*	0.693**	0.546*	0.329	1						
有机质 SOM	0.604	0.563*	0.037	0.644**	0.319	1					
全氮 TN	0.837**	0.859**	0.507	0.817**	0.645**	0.599*	1				
速效氮 AN	0.908**	0.888**	0.584*	0.851**	0.679**	0.589*	0.921**	1			
有效磷 AP	0.632*	0.456	0.304	0.540*	0.401	0.374	0.366	0.563*	1		
速效钾 AK	0.581*	0.419	0.400	0.485	0.266	0.577*	0.404	0.460	0.646**	1	
产量 Rice yield	0.889**	0.758**	0.228	0.861**	0.499	0.604*	0.785**	0.834**	0.604*	0.464	1

注: * 在 0.05 水平上相关性显著(n=15); ** 在 0.01 水平上相关性显著(n=15)。
Note: * Correlation is signifigcant at the 0.05 level(n=15); ** Correlation is signifigcant at the 0.01 level(n=15).

25%秸秆还田量处理对土壤全氮和速效氮含量提高作用最显著。这是因为 50%和 25%秸秆还田量提供了适宜微生物分解活动的 C/N 环境,在提高了土壤微生物数量和活性的同时,也提高了秸秆的腐解速率,从而更快地向土壤释放有效的养分。本试验中 50%和 25%秸秆还田量处理水稻增产效果也最明显,跟土壤氮素含量有很好的相关性,这说明土壤氮素尤其是速效氮作为水稻生长的最重要营养元素之一,对水稻生长发育具有重要作用。另外,本研究还发现在秸秆还田后的初期,秸秆还田对水稻分蘖数、株高、SPAD 及干物质积累量的作用并不明显,而在水稻生育后期,秸秆还田对水稻生长的促进作用才逐渐显现,这与马宗国等^[26]认为秸秆还田表现为前期抑制水稻生长,中后期促进水稻生长的结论基本一致。究其原因可能是由于秸秆还田后,麦秸经水泡发酵,分解产生一些对水稻生长不利的物质,如各种有机酸^[27]和 CO₂,初期会抑制水稻幼苗生长,但是由于夏季温度较高,秸秆很快会被腐解向土壤释放养分,在水稻生育后期土壤碱解氮含量得到显著提高^[24],从而提供水稻营养生长和生殖生长所需营养物质。

近年来,农作物秸秆已成为农村面源污染的新源头。每年夏收和秋冬之际,总有大量的作物秸秆在田间焚烧,造成严重的大气污染,且常造成交通延误。农民之所以这样做主要是因为缺乏完善的秸秆还田技术。在数量把握不当或翻压质量不好的情况下,秸秆还田反而会表现出不利影响^[28]。因此,急需解决秸秆适宜还田量、秸秆还田与耕作方式的结合及秸秆还田与无机化肥的配合等问题,以完善秸秆还田技术。本研究为本地区水稻栽培适宜秸秆还田量的选择提供了有用参数,为完善合理的秸秆还田技术、保护生态环境以及建立土壤培肥制度提供理论和实践依据。

4 结论

本文综合探讨了稻麦轮作条件下,不同秸秆还田量对水稻产量、土壤养分、土壤微生物量碳、氮以及酶活性的影响,并分析了四者之间的相关性。结论如下:

(1)秸秆还田处理的水稻分蘖数、株高、SPAD 及干物质积累量均高于对照(秸秆不还田),但不同秸秆还田量之间存在差异;以 50%秸秆还田处理增产效果最为显著,与对照相比,理论增产 10.2%,实际增产 9.0%。

(2)25%和 50%秸秆还田量处理的全氮和速效氮含量提高作用达到显著水平;各处理间有机质、有效

磷以及速效钾含量则没有显著差异。

(3)50%秸秆还田处理对微生物量碳、氮的提高作用最明显,分别较对照显著提高 46.0%和 90.0%,而其他处理均没有达到显著差异。

(4)不同秸秆还田量处理后土壤酶活性较对照秸秆不还田处理均有所提高,提高程度因秸秆还田量的多少而异。

(5)相关性分析表明,水稻产量与脲酶、过氧化氢酶、微生物碳、全氮和速效氮呈极显著相关,表明土壤酶活性和微生物量碳在一定程度上能够反应土壤肥力和土壤质量状况,是描述土壤质量的良好指标,同时表明氮素是水稻生长的重要营养元素。

(6)在本试验的施肥水平以及常规田间管理条件下,本地区以 3000 kg·hm⁻² 的小麦秸秆还田量处理效果最佳,表现出水稻增产显著和土壤肥力提高明显。鉴于秸秆还田对作物产量和土壤肥力的长期效应以及对土壤微生物生理代谢影响的复杂性,适宜秸秆还田量的选择还需进行长期定位试验研究。

参考文献:

- [1] 强学彩,袁红莉,高旺盛. 秸秆还田量对土壤 CO₂ 释放和土壤微生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3):469-472.
- [2] 谭国进,李倩,李建国,等. 稻草还田量对晚稻土壤微生物数量及活度的动态影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3):670-673.
- [3] 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望[J]. 土壤学报, 1996, 33:414-420.
- [4] Angers D A, Bissomet N, Legere A, et al. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in soil under barley production [J]. *Can J Soil Sci*, 1993, 73:39-50.
- [5] Parkin T B. Spatial variability of microbial processes in soil: A view[J]. *J Environ Qual*, 1993, 22:409-417.
- [6] 姜勇,梁文举,闻大中. 免耕对农田土壤生物学特性的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(3):347-351.
- [7] 张静,温晓霞,廖允成,等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3):612-619.

- wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3):612-619.
- [8] 张振江. 长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(4):154-155.
- ZHANG Zhen-jiang. Effects of long-term wheat-straw returning on yield of crop and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29(4):154-155.
- [9] Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S, et al. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting-controlling soil fertility[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer*, 2003, 9:406-410.
- [10] Gianfreda L, Rao M A, Piotrowska A, et al. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: Intensive agricultural practices and organic pollution[J]. *Sciences of the Total Environment*, 2005, 341:265-279.
- [11] 邵孝侯, 张毅华, 汪耀富, 等. 烟田土壤及污泥 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 浸提液中 N 素形态测定[J]. 河海大学学报, 2002, 30(2):42-44.
- SHAO Xiao-hou, ZHANG Yi-hua, WANG Yao-fu, et al. Determination of nitrogen fractions in $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ extraction solution used in tobacco planting soil and sludge [J]. *Journal of Hohai University*, 2002, 30(2):42-44.
- [12] 李立平, 张佳宝, 邢维琴, 等. CaCl_2 和 SrCl_2 提取土壤氮钾的比较[J]. 土壤通报, 2007, 38(5):984-989.
- LI Li-ping, ZHANG Jia-bao, XING Wei-qin, et al. Comparison of CaCl_2 and SrCl_2 for soil N and K extraction[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(5):984-989.
- [13] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006:65-74.
- WU Jin-shui, LIN Qi-mei, HUANG Qiao-yun, et al. Determine of soil microbial biomass and its application[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006:65-74.
- [14] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- XU Guang-hui, ZHENG Hong-yuan. Soil microbial analysis methods manual[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986:274-328.
- GUAN Song-yin. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986:274-328.
- [16] Nsabimana D, Haynes R J, Wallis F M. Size activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2):81-92.
- [17] Juma N G, Paul E A. Mineralizable soil nitrogen: Amounts and extractability ratios[J]. *Soil Sci Am J*, 1984, 48:76-80.
- [18] Jenkinson D S, Parry L C. The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: A model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass[J]. *Soil Biol Biochem*, 1989, 21(4):535-541.
- [19] 高明, 周保同, 魏朝富, 等. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7):1177-1181.
- GAO Ming, ZHOU Bao-tong, WEI Chao-fu, et al. Effect of tillage system on soil animal, microorganism and enzyme activity in paddy field [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7):1177-1181.
- [20] 叶文培, 谢小立, 王凯荣, 等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(1):65-70.
- YE Wen-pei, XIE Xiao-li, WANG Kai-rong, et al. Effects of rice straw manuring in different periods on growth and yield of rice[J]. *Chinese J Rice Sci*, 2008, 22(1):65-70.
- [21] 陈长青, 胡清宇, 孙波, 等. 长期施肥下石灰性潮土有机碳变化的DNDC模型预测[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6):1410-1417.
- CHEN Chang-qing, HU Qing-yu, SUN Bo, et al. Simulating trends in soil organic carbon in calcareous fluvo-aquic soil under long-term fertilization using the DNDC model[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(6):1410-1417.
- [22] 任万军, 黄云, 吴锦秀, 等. 免耕与秸秆高留茬还田对抛秧稻田土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11):2913-2918.
- REN Wan-jun, HUANG Yun, WU Jin-xiu, et al. Effects of no-tillage and stubble-remaining on soil enzyme activities in broadcasting rice seedlings paddy field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11):2913-2918.
- [23] 周文新, 陈冬林, 卜毓坚, 等. 稻草还田对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2):326-330.
- ZHOU Wen-xin, CHEN Dong-lin, BU Yu-jian, et al. Effects of rice-straw returning to the field on the metabolic diversity of soil microbial communities[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(2):326-330.
- [24] 陈冬林, 易镇邪, 周文新, 等. 不同土壤耕作方式下秸秆还田量对晚稻土壤养分与微生物的影响[J]. 环境科学学报, 2010, 30(8):1722-1728.
- CHEN Dong-lin, YI Zhen-xie, ZHOU Wen-xin, et al. Effects of straw return on soil nutrients and microorganisms in late rice under different soil tillage systems[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(8):1722-1728.
- [25] 路文涛, 贾志宽, 张鹏, 等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3):522-528.
- LU Wen-tao, JIA Zhi-kuan, ZHANG Peng, et al. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid areas of southern Ningxia, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(3):522-528.
- [26] 马宗国, 卢绪奎, 万丽, 等. 小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响[J]. 作物杂志, 2003(5):37-38.
- MA Zong-guo, LU Xu-kui, WAN Li, et al. Effects of wheat straw returning on rice growth and soil fertility[J]. *Crops*, 2003(5):37-38.
- [27] 单玉华, 蔡祖聪, 韩勇, 等. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. 土壤学报, 2006, 43(6):941-947.
- SHAN Yu-hua, CAI Zu-cong, HAN Yong, et al. Accumulation of organic acids in relation to C:N ratios of straws and N application in flooded soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6):941-947.
- [28] 张力. 农作物秸秆利用技术[M]. 石家庄: 河北科学技术委员会、河北省科技情报研究所, 1998.
- ZHANG Li. Technology for crop straw utilization[M]. Shijiazhuang: Science and Technology Committee of Hebei, Science and Technological Information Institute of Hebei, 1998.