

稻草还田配施催腐菌剂对晚稻根际土壤微生物与酶活性及产量的影响

倪国荣¹, 涂国全², 魏赛金^{1,2}, 吴建富¹, 石庆华¹, 潘晓华^{1*}

(1. 江西农业大学作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 南昌 330045; 2. 江西农业大学生物科学与工程学院, 南昌 330045)

摘要:稻草还田有利于土壤的可持续耕作,但往往影响土壤的当季生产力。以五丰优 T025 为供试作物,红壤为供试土壤,在大田条件下研究了微生物制剂在稻草还田中对土壤中微生物数量和酶活性的影响,并以水稻农艺性状和产量检验了土壤的生产力。结果表明,稻草全量还田并添加微生物制剂能够显著提高土壤中细菌、真菌和放线菌的数量,增强蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶和纤维素酶的活力;提高晚稻的单穗粒数、结实率、千粒重和产量。微生物制剂在稻草全量直接还田中具有较好的应用前景。

关键词:微生物菌剂;稻草还田;土壤微生物;土壤酶;产量

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)01-0149-06

Effects of Straw-Returning Using Agent on Microbe and Enzyme Activity in Rhizosphere Soils and Yield of Late Rice

NI Guo-rong¹, TU Guo-quan², WEI Sai-jin^{1,2}, WU Jian-fu¹, SHI Qing-hua¹, PAN Xiao-hua^{1*}

(1. Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetics, Ministry of Education /Key Laboratory of Double-crop Rice Physiology, Ecology and Cultivation, Ministry of Agriculture/ Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Bioscience and Biotechnology College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Straw-returning isn't only beneficial to the soil sustainability, but also influences on the soil productivity. Using the red soils and late rice Wufengyou T025 as the tested materials, we studied the influence of straw returning with straw decomposition agent on microbe, enzyme in rhizosphere soils and the late rice yield in field experiments. The microbial quantity, enzyme activity in rhizosphere soils were investigated with the different ways of straw return, and the soil productivity was examined with yield and agricultural traits of late rice. The results showed that straw returning with microbial agent could significantly improve the quantity of bacteria, fungi and actinomycetes in soil, enhance the activity of sucrase, urease, catalase and cellulase, improve the grain numbers per spike and the 1 000 grain weight and yield. The straw returning with microbial has good application prospects.

Keywords: microbial agent; straw returning; soil microbe; soil enzyme; yield

我国年产稻草约 2 亿 t,不仅资源丰富和可再生,而且稻草中含有大量的氮、磷、钾、硅及丰富的有机质。稻草焚烧,不仅造成资源的极大浪费和对环境的

严重污染,也大大减少了土壤有机质的投入,严重影响着土壤的可持续耕作^[1]。大量研究表明:进行稻草还田,能有效地提高土壤有机质积累和养分含量^[2],改变土壤腐殖质组成及特性,改善土壤的物理性状,增加土壤微生物种类和数量,提高生物活度和土壤酶的活性,从而促进作物生长发育,提高作物产量^[3-4],节省生产成本^[5-7]。但是,由于稻草的碳氮比较大,在稻草分解过程中存在微生物与作物“争氮”现象,影响苗期作物的生长,进而影响后期产量^[8]。因此,配施一定的氮肥,降低碳氮比,能够消除稻草还田过程中微生物“争氮”作用^[9]。

收稿日期:2011-05-10

基金项目:国家科技支撑计划项目-长江中游南部(江西)双季稻持续丰产技术集成创新与示范(2011BAD16B04);江西省研究生创新基金项目(YC10A056);江西农业大学自然科学基金自由申请项目(2010-2013);秸秆还田对水稻有机碳组分和微生物多样性的影响

作者简介:倪国荣(1983—),男,江苏兴化人,博士研究生,主要从事水稻根际生态和生化过程研究。E-mail: ngr314@163.com

* 通讯作者:潘晓华 E-mail: Xhuapan@163.com

稻草还田有直接还田和间接还田两种,现有的研究显示,直接还田具有省时省力、有效防止秸秆腐烂过程中养分的流失等优点,被认为是一条合理利用秸秆资源、养地培肥的有效途径^[10]。前人对稻草的还田量进行了研究,研究表明,最佳还田量因耕作方式的不同而存在差别,翻耕情况下最佳还田量为 33%,免耕条件下,最佳还田量为 67%^[11-12]。但是随着机械收割的发展,稻草直接全量还田成为趋势,在稻草全量还田条件下,如何促进稻草的快速分解腐烂、消除稻草还田带来的微生物争氮和病原菌数量增加等不利影响,最终提高水稻产量和品质,是当前水稻生产中亟待解决的一个重大问题。

近年来,江西农业大学在国家粮食丰产工程项目的资助下,筛选出能够快速分解秸秆的微生物,并研制成了腐秆菌剂,通过盆栽试验表现出良好效果。为进一步研究快速分解秸秆的微生物菌剂的作用,于 2009 年进行了大田应用,研究了稻草全量还田条件下添加菌剂对双季晚稻产量、根际土壤微生物数量、土壤酶活性的影响,旨在为稻草分解菌剂的大田应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009 年晚季在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行。供试土壤的 pH 值 6.5,含有机质 $42.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $1.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $151 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $178 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试水稻品种为五丰优 T025。稻草高效分解菌剂由江西农业大学生物科学与工程学院应用微生物教研室自行研制,以购自佛山金葵子植物营养有限公司的腐秆灵为对照。供试复合肥的有效含量为 36%(18-6-12),无机氮、磷、钾肥分别是尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和氯化钾(含 K_2O 60%)。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理:稻草不还田对照(CK1),即将机械收割后的早稻稻草全部清除出试验田块;稻草全量还田(CK2);稻草全量还田+自制菌剂(T1),稻草分解菌剂用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;稻草全量还田+腐秆灵(T2),腐秆灵用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。利用收割机在收割过程中将早稻稻草切割成为 10 cm 左右长度后全量还田,灌水添加菌剂后进行旋耕。晚稻于 6 月 28 日播种,7 月 23 日移栽,行株距为 $26.4 \text{ cm} \times 13.2 \text{ cm}$ 。采用大区试验,每区 100 m^2 ($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$),每个大区之间筑

埂并用塑料薄膜包埋,防止窜水窜肥,试验设 3 个重复,每个小区的是全量还田,按谷草比 1:1 计算,稻草还田量为 $8175 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (即每个区放鲜稻草 81.8 kg)。各处理统一水肥管理,基肥(栽前 1 d)为 36%复合肥 $600.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分蘖肥(栽后 7 d)施尿素 $187.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾 $112.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其他管理措施同一般高产田块。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤中 3 大类微生物数量及土壤酶活性的测定

在早稻收割后及晚稻的分蘖期、抽穗期、灌浆期和成熟期取根际土样^[13],操作方法:将整株水稻连同土壤挖起,去除根部外围的大部分土壤,仅剩附着在根上的土,用无菌的刷子将粘附的土刷下,即得到根际土壤。将根际土壤放入冰盒中灭菌后的三角瓶内马上带回实验室分析,如果当天来不及分析,则置于 4°C 冰箱中供次日分析用。土壤微生物数量采用稀释涂布平板法测定^[14]。培养细菌用营养琼脂培养基,真菌用孟加拉红琼脂培养基,放线菌用改良高氏一号培养基进行培养测定^[14]。蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[15],以 $\text{mg}(\text{葡萄糖}) \cdot \text{g}^{-1}$ 土样(37°C , 24 h)表示;脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定^[15],以 $\text{mg}(\text{NH}_3\text{-N}) \cdot \text{g}^{-1}$ 土样(37°C , 24 h)表示;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定^[13],以 $\text{mL} \cdot 10 \text{ g}^{-1}$ ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4$)土样(25°C , 20 min)表示;土壤纤维素酶活性采用蒽酮比色法测定^[13],以 $\text{mg}(\text{葡萄糖}) \cdot \text{g}^{-1}$ 土样(37°C , 24 h)表示。

1.3.2 考种与测产

成熟期调查有效穗的基础上,每个处理按 3 点取样法进行取样和测产,每点按平均数法取 5 蔸进行考种;每个点割 25 m^2 进行测产。

1.4 数据处理

利用 Excel 进行数据统计,利用 DPS7.05 进行数据的方差分析及 Duncan's 新复极差检验。

2 结果与分析

2.1 稻草还田添加菌剂对根际土壤中微生物数量的影响

2.1.1 对土壤中细菌数量的影响

不同处理下土壤中的细菌数量如图 1 所示。在水稻生长各生长发育时期,根际土壤中细菌的数量在分蘖期最多,分蘖期以后,随着水稻的生长,细菌数量减少,到成熟期最少。根际土壤中的细菌数量除灌浆期 T1 和 T2 处理间无差异外,其余各时期均为 $\text{T1} > \text{T2} >$

CK2>CK1。(1)分蘖期:T1比CK1和CK2高168.39%和151.34%,T1比T2高9.88%,差异均极显著;CK2较CK1增加6.78%,差异不显著。(2)抽穗期:T1比CK1、CK2和T2分别高123.12%、42.61%和14.42%;T2比CK1和CK2分别高95.01%和24.64%;CK2比CK1增加56.46%,差异均极显著。(3)灌浆期:T1比CK1和CK2分别高106.38%和60.36%,差异极显著;T2较T1高0.98%,差异不显著;CK2比CK1增加28.70%,差异极显著。(4)成熟期:T1比CK1、CK2和T2分别高131.67%、90.35%和14.41%;T2较CK1和CK2分别高102.49%和66.37%;CK2比CK1高21.71%,差异均极显著。表明添加微生物菌剂的稻草全量还田处理能够显著提高晚稻生长各时期土壤中细菌的数量。

2.1.2 对土壤中放线菌数量的影响

不同还田处理下不同生育时期根际土壤中的放线菌数量见图2。结果表明,在水稻的不同生育时期,

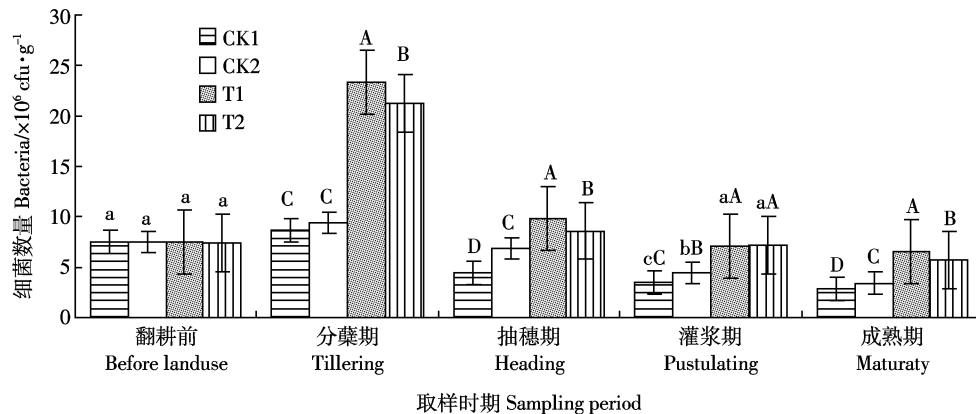
根际土壤中放线菌数量均依次为T2>T1>CK2>CK1。在稻草不还田(CK1)时,各生育时期根际土壤放线菌数量依次为分蘖期>灌浆期>抽穗期>成熟期;稻草还田下(CK2、T1、T2)各时期根际土壤放线菌数量则依次为抽穗期>灌浆期>分蘖期>成熟期。

在分蘖期,各处理间根际土壤中放线菌数量的差异极显著:T2比CK1、CK2和T1分别高156.16%、41.30%和4.08%;T1比CK1和CK2分别高146.11%和35.77%;CK2比CK1高96.80%。

在抽穗期:T2比CK1、CK2和T1分别高236.54%、40.56%和28.68%;T1比CK1和CK2分别高161.54%和9.24%;CK2比CK1高139.42%,差异均极显著。

在灌浆期:T2的根际土壤中放线菌数量最多,较CK1、CK2和T1分别高188.12%、46.40%和18.83%;T1比CK1和CK2分别高142.47%和23.20%;CK2比CK1高96.80%,差异均极显著。

在成熟期,处理间根际土壤中放线菌数量差异均



不同大、小写字母表示同时期不同处理间差异达 0.01 和 0.05 显著水平。下同
different capital and small letters among different treatments at the same stage are different at $P<0.01$ and $P<0.05$ levels, respectively. The same as follow.

图1 不同处理下晚稻种植各时期根际土壤细菌数量

Figure 1 Bacteria quantity in rhizosphere soil of different treatment at different growth stage of late rice

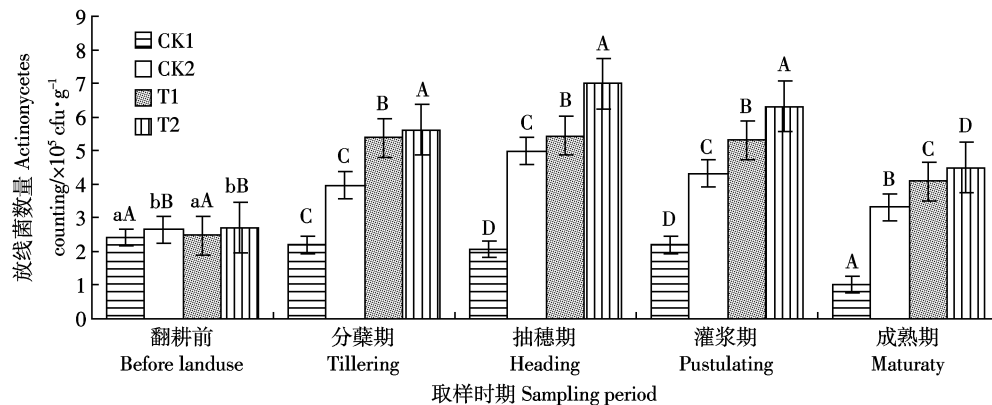


图2 不同处理下晚稻种植各时期根际土壤放线菌数量

Figure 2 Actinomycetes quantity in rhizosphere soil with the different treatment at each period of late rice

极显著;T2比CK1、CK2和T1分别高345.54%、35.54%和10.02%;T1比CK1和CK2分别高304.95%和23.19%;CK2较CK1高228.71%。

上述结果表明,稻草全量还田添加菌剂能更加有效促进晚稻各生育时期土壤中的放线菌数量。

2.1.3 对土壤中真菌数量的影响

不同时期各处理的根际土壤中真菌数量见图3。在不同生育时期,根际土壤中真菌数量依次为分蘖期>抽穗期>灌浆期>成熟期。(1)分蘖期:T2较CK1、CK2和T1分别多133.45%、69.78%和7.97%;T1比CK1和CK2分别多116.22%和57.25%;CK1比CK2多37.50%,差异均极显著。(2)抽穗期:T1较CK1、CK2和T2分别多120.31%、60.17%和6.68%;T2较CK1和CK2分别多106.51%和50.14%;CK1比CK2多37.55%,差异均极显著。(3)灌浆期:T1比CK1、CK2分别多111.01%和42.56%;T2比CK1、CK2分别多106.61%和39.58%;CK1比CK2多48.02%,差异均极显著;T1比T2多2.13%,差异不显著。(4)成熟期:T1比CK1、CK2分别多298.86%和97.19%,T2比CK1、CK2分别多286.36%和91.01%,CK1比CK2多102.27%,差异均极显著;T1比T2多3.24%,差异显著。表明稻草全量还田配施微生物制剂能够显著提高晚稻各生育时期土壤中真菌的数量。

2.2 稻草还田添加菌剂对根际土壤中土壤酶活性的影响

图4表明,与对照稻草不还田处理相比,稻草还田显著提高土壤酶活性,不同处理间的酶活性依次为T2>T1>CK2>CK1。(1)土壤纤维素酶活性:CK1较T2、T1、CK2分别低412.05%、315.66%和98.22%;T2较T1和CK2分别提高23.19%和187.16%,T1比CK2提高133.11%,差异均极显著。(2)土壤过氧化氢酶活性:4

个处理间土壤过氧化氢酶活性均达极显著差异。其中,T2较CK1、CK2和T1分别提高64.69%、29.14%和5.66%;T1较CK1和CK2分别高55.87%和22.22%;CK1比CK2高27.53%。(3)土壤脲酶活性:各处理间土壤脲酶活力均达极显著差异。其中,T2较CK1、CK2和T1分别提高279.47%、139.30%和29.44%;T1较CK1和CK2分别高193.16%和84.88%;CK1比CK2高58.57%。(4)蔗糖酶活性:4个处理间蔗糖酶活性均达极显著差异。其中,T2比CK1、CK2和T1分别提高90.81%、39.90%和17.9%;T1较CK1和CK2分别高61.83%和18.65%;CK1比CK2高36.40%。表明稻草全量还田能够显著提高土壤中4种酶的酶活力,且添加菌剂处理较未添加菌剂处理的影响更显著。对4种酶影响的幅度也有所不同,其影响幅度大小顺序为纤维素酶>脲酶>蔗糖酶>过氧化氢酶,表明微生物菌剂能够有效提高土壤中4种酶的活性,更有利于水稻的生长。

2.3 稻草还田添加菌剂对晚稻产量及其构成因素的影响

稻草还田添加菌剂对晚稻产量及其构成要素的影响见表1,结果显示,稻草还田添加菌剂能够显著提高晚稻的产量,且比单一稻草全量还田的增产效果更加明显。

3 讨论

现有的研究表明,在翻耕条件下1/3的还田量是最适合的还田量^[1]。在免耕条件下,67%和100%的还田量显著提高微生物数量和功能多样性^[2],但在实际的生产实践中,尤其是南方双季稻稻区的“双抢”时期,由于时间紧任务重,如果进行非全量还田,势必增加工作量,延长工作时间,对晚稻的优质高产造成不利影响。同时,随着机械化收割的发展,稻草全量直接

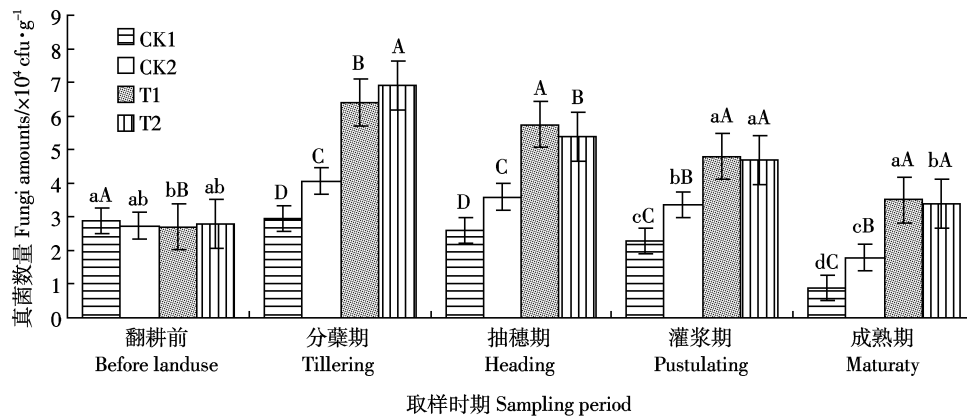
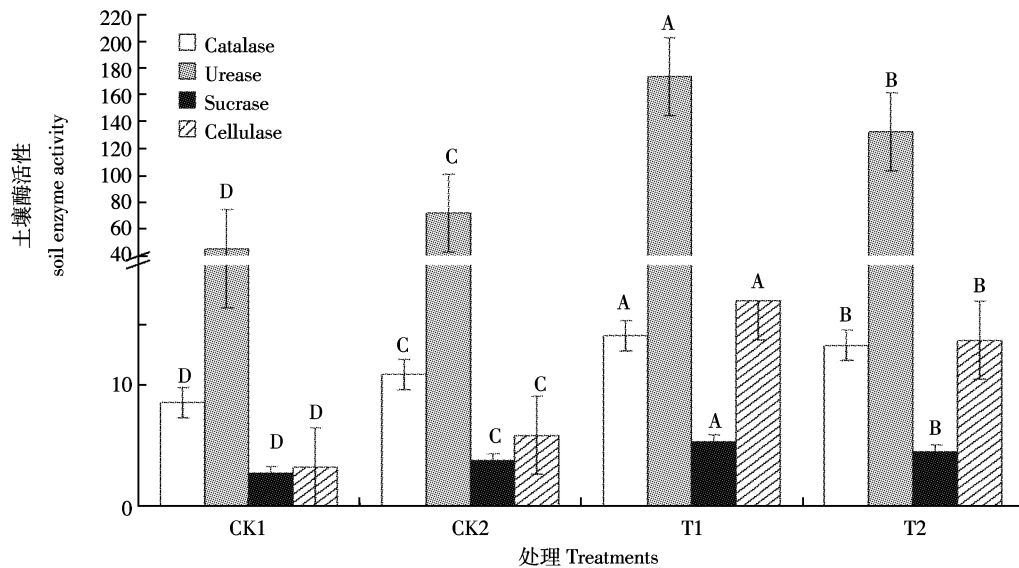


图3 不同处理下晚稻种植各时期根际土壤真菌数量

Figure 3 Fungi quantity in rhizosphere soil with the different treatment at each period of late rice



蔗糖酶活力单位为: $\text{mg}(\text{葡萄糖}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$; 脲酶活力单位为: $\text{mg}(\text{NH}_3\text{-N}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$; 过氧化氢酶活力单位为: $\text{mL}(0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4) \cdot 10\text{ g}^{-1}(25^\circ\text{C}, 20\text{ min})$; 纤维素酶活力单位为: $\text{mg}(\text{葡萄糖}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$

The unit of sucrase is $\text{mg}(\text{glucose}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$, the unit of urease is $\text{mg}(\text{NH}_3\text{-N}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$, the unit of catalase is $0.1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KMnO}_4 \cdot \text{mL} \cdot 10\text{ g}^{-1}(25^\circ\text{C}, 20\text{ min})$, the unit of cellulase is $\text{mg}(\text{glucose}) \cdot \text{g}^{-1}(37^\circ\text{C}, 24\text{ h})$

图 4 不同还田方式对土壤酶活性的影响

Figure 4 Influence on the soil enzyme activity with different treatments

表 1 不同处理下对产量及其构成因素的影响

Table 1 The yield and its components of different treatments

处理	有效穗/ $10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$	每穗粒数/ 粒	结实率/ %	千粒重/ g	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
CK1	333.43	143.40C	85.56a	23.10bB	7 704.87cC
CK2	285.10	164.64BC	89.69a	23.07 bB	8 957.73bB
T1	301.45	187.06AB	87.60a	22.80 aA	9 198.60aA
T2	288.33	195.85A	87.68a	22.77aA	9 166.28aA

还田成为一种趋势。本研究认为,稻草添加菌剂直接全量还田富集了大量的稻草分解微生物,可显著增加土壤微生物数量和提高土壤中脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和纤维素酶的活性,提高了晚稻产量。可能原因是:稻草还田配施菌剂后,丰富的有机质含量促使菌剂中的细菌和真菌大量繁殖,提高了有益微生物的数量^[16],抑制了土壤致病微生物生长^[17];另一方面,土壤酶主要来源于土壤中的微生物及作物,微生物的大量繁殖,势必会增加土壤中酶的种类和活性^[16],这些酶能够有效促进土壤中营养元素的转化,有利于水稻的吸收,促进水稻生长^[18]。综上所述,在南方双季稻区实行早稻稻草全量直接还田是可行的。

由于稻草的碳氮比高,一般为(60~80):1,在稻草大量还田情况下微生物的繁殖生长会与水稻争氮,同时还会产生大量的还原性物质^[19],影响水稻的苗期生长,最终影响后期的产量^[20]。因此,在生产中要根据

实际情况选择合理的还田方式和有效的水肥管理,消除争氮作用和病原菌数量增加等可能产生对水稻生长的不利影响,充分发挥稻草还田的优越性和环境效益^[21]。本研究用自制的稻草分解菌剂在稻草全量还田中的应用,结果显示,添加微生物制剂的稻草全量还田处理比单一的稻草全量还田处理,在提高土壤微生物数量、土壤酶活性及晚稻产量上更加显著。可能的原因是:添加了微生物菌剂的稻草还田处理中,前期大量快速繁殖的微生物主要是稻草分解菌,很快形成了优势菌群,使得非稻草分解菌的生长受到抑制,为稻草的快速腐烂创造了条件,而后由于碳源的耗尽,微生物生长趋于平稳,使得微生物与水稻生长的需氮高峰期在时间上错开,这在一定程度上减小了微生物与水稻争氮的情况。

研究结果显示,添加自制的微生物菌剂的处理(T1)的细菌数量及土壤酶活力都比添加腐秆灵的处理(T2)要高,但是两者的产量差异不显著,这表明同样取得增产的情况下,自制菌剂在改善土壤方面具有明显的优势,其生态效应比腐秆灵更好,显示了微生物菌剂大田应用的良好前景。

4 结论

稻草直接全量还田配施微生物菌剂,能够增加土壤中细菌、真菌和放线菌的数量,提高土壤中脲酶、蔗

糖酶、过氧化氢酶和纤维素酶的活力,增加晚稻的产量,且添加菌剂还田处理较单一还田处理,其效果更加明显。显示出微生物菌剂在稻草全量还田中具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 区惠平, 何佳, 宁伟军, 等. 稻草还田在水稻生产上的应用与研究进展[J]. 作物杂志, 2007, 6: 6-10.
QU Hui-ping, HE Jia, NING Wei-jun, et al. Straw counters-field in rice production on the application and research progress[J]. *Crops*, 2007, 6: 6-10.
- [2] 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.
- [3] 徐祖祥. 长期秸秆还田对冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 山地农业生物学报, 2010, 01: 10-13.
XU Zhu-xiang. The influence of long-term rice straw returned to farmland on yield of winter wheat and soil fertility[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2010, 01: 10-13.
- [4] 区惠平, 何明菊, 黄景, 等. 稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响[J]. 生态学报, 2010, 24: 6812-6820.
OU Hui-ping, HE Ming-ju, HUANG Jing, et al. Effect of no-tillage and rice straw manuring on the combined forms of humus and microbial activities in paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 24: 6812-6820.
- [5] 张力. 农作物秸秆利用技术[M]. 石家庄: 河北科技出版社, 1998: 75-86.
ZHANG Li. The crops straw using technology[M]. Shijiazhuang: Hebei Technology Press, 1998: 75-86.
- [6] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 5: 54-58.
JIANG Yong-hong, YU Zheng-rong, MA Yong-liang, et al. The effect or stubble return on agro-ecological system and crop growth[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 5: 54-58.
- [7] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕对土壤细菌菌群的影响[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 27-32.
GAO Yun-chao, ZHU Wen-shan, CHEN Wen-xin. Bacterial community structure in straw mulch no-tillage soils[J]. *Ecologic Science*, 2000, 19(3): 27-32.
- [8] 卜毓坚, 不同耕作方式和稻草还田量对晚稻生长发育与土壤肥力的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
PU Yi-jian. The effects of different tillage and rice-straw returning on the rice growth and soil fertility [D]. Changsha: Hunan Agriculture University, 2007.
- [9] 周江明, 徐大连, 薛才余. 稻草还田综合效益研究[J]. 中国农学通报, 2002, 4: 7-10.
ZHOU Jiang-ming, XU Da-lian, XUE Cai-yu. Study of comprehensive utilization efficiency of returning rice straw to field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, 4: 7-10.
- [10] 王友联, 谢道云, 丁祖芬, 等. 稻草还田是培肥土壤的有效方法[J]. 安徽农业, 1997(4): 20.
WANG You-lian, XIE Dao-yun, DING Zhu-feng, et al. Straw counters-field is the effective method of soil fertility buildup [J]. *Anhui Agriculture*, 1997(4): 20.
- [11] 谭周进, 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.
TAN Zhou-jin, LI Qian, LI Jian-guo, et al. Effect of returning quantity of rice-straw to soil on quantities and activity of microbial in paddy soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3): 670-673.
- [12] 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): 326-30.
ZHOU W X, CHEN D L, BU Y J, et al. Effects of rice-straw returning to the field on the metabolic diversity of soil microbial communities[J]. *Acta Scientiae Circum Stantiae*, 2008, 28(2): 326-330.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 59-63.
Nanjing Institute of the Chinese Academy of Sciences of Soil Microbial Room. Soil microbial research[M]. Beijing: Science Press, 1985: 59-63.
- [14] 胡开辉. 微生物学实验[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 36-39.
HU Kai-hui. Microbiology experiment [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004: 36-39.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 27-30.
GUAN Song-yin. Soil enzymes and research[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986: 27-30.
- [16] 季立声, 张圣武. 秸秆直接还田的土壤生物学效应 [J]. 山东农业大学学报, 1992, 23(4): 375-379.
JI Li-sheng, ZHANG Sheng-wu. Biological effects of straw direct-aplocation into soil[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1992, 23(4): 375-379.
- [17] Govaerts B, Mezzalama M, Sayre K D, et al. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on selected soil micro-flora groups in the subtropical highlands[J]. *Appl Soil Eco*, 2008, 38: 197-210.
- [18] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根系微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-480.
PANG Xin, ZHANG Fu-suo, WANG Jing-guo. Effect of different nitrogen levels on SMB-N and microbial activity[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(4): 476-480.
- [19] 彭娜, 王开峰, 王凯荣, 等. 不同水分管理下施用稻草对土壤有机酸和养分有效性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 857-862.
PENG Na, WANG Kai-feng, WANG Kai-rong, et al. Effects of rice straw incorporation on accumulation of organic acids and nutrients availability under different water regimes [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(5): 857-862.
- [20] 陆斌, 李涛, 丁兆禄, 等. 稻草还田技术 [J]. 垦殖与稻作, 2004, 4: 74-76.
LU Bin, LI Tao, DING Zhao-lu, et al. The technology of rice-straw returning[J]. *Reclaiming and Rice Cultivation*, 2004, 4: 74-76.
- [21] 戴志刚. 秸秆养分释放规律及秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
DAI Zhi-gang. Study on nutrient release characteristics of crop residue and effect of crop residue returning on crop yield and soil fertility[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.