

秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响*

杨滨娟¹ 黄国勤^{1†} 钱海燕^{2,3}

(1 江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(3 江西省山江湖开发治理委员会办公室, 南昌 330046)

摘要 以单施秸秆为对照, 研究秸秆还田配施不同比例化肥对土壤温度、土壤根际微生物和酶活性的影响。结果表明: (1) 在水稻不同生育期, 与对照相比秸秆还田配施化肥各处理在 8:00 和 20:00 均提高了土壤温度, 而在 14:00 降低了土壤温度。从地温日较差分析可知, 秸秆还田配施化肥处理的整日地温变化幅度低于对照, 且差异显著。此外随着土层深度的增加, 秸秆还田配施化肥处理与对照间的差距逐渐减少, 调温作用逐渐减弱。(2) 秸秆还田配施化肥各处理能够增加根际土壤总细菌、放线菌、真菌、氨氧化细菌、好气性自生固氮菌、亚硝酸细菌、磷细菌和好气性纤维素分解菌的数量, 但普遍区组间差异不显著。除了秸秆还田配施低量 NP 处理 (SNP₁, 秸秆 3 000 kg hm⁻² + N 150 kg hm⁻² + P₂O₅ 75 kg hm⁻²) 以外, 秸秆还田配施化肥各处理的过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性均高于对照, 但区组间均未达到显著差异。因此, 秸秆还田配施化肥能合理调节土壤温度, 显著提高土壤微生物的数量与活性, 有利于土壤生态环境的改善, 其中秸秆还田配施 NPK 处理 (SNPK₁, 秸秆 3 000 kg hm⁻² + N 150 kg hm⁻² + P₂O₅ 75 kg hm⁻² + K₂O 37.5 kg hm⁻²; SNPK₂, 秸秆 3 000 kg hm⁻² + N 225 kg hm⁻² + P₂O₅ 112.5 kg hm⁻² + K₂O 56.3 kg hm⁻²) 效果最为显著。

关键词 秸秆还田; 不同比例化肥; 土壤温度; 根际; 微生物; 酶活性

中图分类号 S143; S154.36; S511

文献标识码 A

我国年产稻草约 2 亿 t, 但近年来作物秸秆、残留物等资源浪费问题越来越严重, 秸秆利用的现代科技手段滞后, 造成在部分地区农作物秸秆被大量焚烧^[1], 使得土壤肥力逐年下降, 农田生态平衡遭受破坏, 而且严重污染空气, 对农业生态环境造成严重影响^[2]。研究表明, 秸秆含有丰富的有机碳和大量的氮、磷、钾、硅等矿质营养元素, 是一种强化土壤有机质积累、调节土壤温度和水分的水肥措施^[3], 能够影响土壤对光辐射的吸收转化和热量的传导, 在地表形成一层与大气热交换的障碍层, 既可阻止太阳直接辐射, 也可减少土壤热量向大气中散发, 同时还可能有效地反射长波辐射, 使秸秆还田具有低温时的“增温”和高温时的“降温”双重效应^[4]。但秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素三

大部分组成, C/N 一般为 60 ~ 80 左右, 使秸秆在土壤中难以被微生物分解^[5-7]。因此秸秆还田要配施一定比例的 N、P 调解土壤 C/N 比, 加速秸秆分解、腐熟过程, 以保证土壤全期的肥力^[8]。倪国荣等^[9]研究表明, 秸秆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。目前多数研究集中在有机无机肥配合施用的培肥效果及作物的产量效应方面, 但对化肥配施比例的研究较少, 而关于不同比例化肥施入土壤后土壤温度、土壤根际微生物活性等土壤生态环境指标的综合研究值得进一步探讨。因此, 本研究以前期试验不同秸秆还田方式对早稻的效应研究确定的最佳还田方式和还田量 (粉碎还田 3 000 kg hm⁻²)^[10] 为研

* 江西省研究生创新专项资助项目 (YC2012 - B016)、国家科技支撑计划课题 (2012BAD14B14 - 01) 和江西省科技支撑计划项目 (2009BNA09300) 共同资助

† 通讯作者: 黄国勤, 教授, 博士研究生导师。E-mail: hgqjnc@sina.com

作者简介: 杨滨娟 (1985—), 女, 山东淄博人, 博士研究生, 研究方向为耕作制度与农业生态。Tel: 0791 - 83828143, E-mail: yangbinjuan27@sina.com

收稿日期: 2013 - 01 - 17; 收到修改稿日期: 2013 - 08 - 22

究基础,通过研究秸秆还田配施不同比例化肥对土壤温度、土壤根系微生物及酶活性的影响,揭示秸秆覆盖的技术原理与效应,为确定合理利用的秸秆资源及培肥地力提供一定的理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

于2010—2012年,试验在江西农业大学科技园水稻实验田(28°46' N, 115°55' E)进行。试验地属于亚热带季风性湿润气候,年均太阳总辐射量为 $4.79 \times 10^{13} \text{ J hm}^{-2}$,年均日照时数为1 852 h,年日均温 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的积温达6 450 $^\circ\text{C}$,年降水量1 624 mm,年平均气温在17.1~17.8 $^\circ\text{C}$ 之间。供试土壤为发育于第四纪的红黏土,为亚热带典型红壤分布区。试验前表层土壤(0~20 cm) pH4.85,有机质39.01 g kg^{-1} ,全氮2.17 g kg^{-1} ,碱解氮119.2 mg kg^{-1} ,全磷0.49 g kg^{-1} ,有效磷41.28 mg kg^{-1} ,全钾35.85 g kg^{-1} ,速效钾73.46 mg kg^{-1} ,C/N比9.04。

1.2 试验设计

试验共设9个处理:(1)CK(单施秸秆3 000 kg hm^{-2});(2)SN₁(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 150 kg hm^{-2});(3)SN₂(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 225 kg hm^{-2});(4)SP₁(秸秆3 000 kg hm^{-2} + P₂O₅ 75 kg hm^{-2});(5)SP₂(秸秆3 000 kg hm^{-2} + P₂O₅ 112.5 kg hm^{-2});(6)SNP₁(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 150 kg hm^{-2} + P₂O₅ 75 kg hm^{-2});(7)SNP₂(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 225 kg hm^{-2} + P₂O₅ 112.5 kg hm^{-2});(8)SNPK₁(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 150 kg hm^{-2} + P₂O₅ 75 kg hm^{-2} + K₂O 37.5 kg hm^{-2});(9)SNPK₂(秸秆3 000 kg hm^{-2} + N 225 kg hm^{-2} + P₂O₅ 112.5 kg hm^{-2} + K₂O 56.3 kg hm^{-2}),其中秸秆均为干重,还田时使用秸秆还田粉碎机粉碎,秸秆粉碎长度为150~200 mm。每个处理重复3次,随机排列。小区面积为33 m²(11 m × 3 m),小区间用高30 cm的水泥埂隔开。所用氮肥为尿素,磷肥为钙镁磷肥,钾肥为氯化钾。具体试验设计见表1。

表1 试验处理

Table 1 Treatments of the experiment

处理 Treatment	秸秆 Straw(kg hm^{-2})	N (kg hm^{-2})	P ₂ O ₅ (kg hm^{-2})	K ₂ O (kg hm^{-2})
CK	3 000	—	—	—
SN ₁	3 000	150	—	—
SN ₂	3 000	225	—	—
SP ₁	3 000	—	75	—
SP ₂	3 000	—	112.5	—
SNP ₁	3 000	150	75	—
SNP ₂	3 000	225	112.5	—
SNPK ₁	3 000	150	75	37.5
SNPK ₂	3 000	225	112.5	56.3

1.3 测定项目与方法

土壤温度选取水稻的主要生育阶段孕穗期、齐穗期和成熟期测定。在测定前一天埋下土壤地温计,使其适应土壤温度,连续3天在当日8:00、14:00和20:00测定0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm和15~20 cm土层地温,最终数据取3天的平均值。

于水稻成熟期采集根际土样^[11]测定根际生物学性状。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,用无菌的刷子将黏附的土刷下,即得到根际土壤。

每小区5点取样并混匀为一个样品,置阴凉处风干后过1 mm筛,并置于4 $^\circ\text{C}$ 冰箱中保存。细菌、真菌、放线菌和固氮菌计数采用平板稀释涂布法。细菌培养用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用高氏1号培养基,固氮菌用瓦克斯曼氏77号培养基,嫌气性细菌采用液体石蜡油法。具体测定方法参考文献[11]。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定,转化酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法^[12]。土壤过氧化氢酶活性以单位土质量的

0.05 mol L⁻¹高锰酸钾毫克数表示,脲酶活性以24 h后1 g土壤中NH₃-N的毫克数表示,转化酶活性以24 h后1 g土壤中葡萄糖的毫克数表示。

1.4 数据处理

连续3年试验测定数据趋势一致,本文以2012年测定数据为例。运用Microsoft Excel 2010处理数据。用DPS V7.05系统软件分析数据,用LSD(least significant difference test)进行样本平均数的差异显著性比较。

2 结果与讨论

2.1 秸秆还田配施不同比例化肥对土壤温度的影响

由表2可知,孕穗期0~5 cm土层,与对照(单施秸秆处理)相比,秸秆还田配施化肥处理8:00地温提高了0.2~3.7℃,而14:00地温除SN₁和SNP₁外,降低了0.7~6.9℃,在20:00地温提高了0.8~2.8℃。齐穗期0~5 cm土层,与对照相比,秸秆还田配施化肥处理8:00地温提高了0.3~3.3℃,而14:00地温只有SN₁和SN₂低于对照,分别降低了1.8、1.0℃,在20:00地温提高了0.7~2.1℃。成熟期0~5 cm土层,除SN₁与对照温度一致外,秸秆还田配施化肥处理8:00地温比对照提高了0.1~1.3℃,而14:00地温除SP₁和SNP₁外,降低了0.3~1.1℃,在20:00地温提高了0.1~0.6℃。此外从地温日较差看(图1),孕穗期0~5 cm,秸秆还田配施化肥处理的整日地温变化幅度为3.5~7.9℃,较对照低0.9~5.3℃,降低幅度为10.23%~60.23%,差异显著($p < 0.05$);齐穗期0~5 cm的整日地温变化幅度为5.9~8.0℃,低于对照2.44%~28.05%,差异显著($p < 0.05$);成熟期0~5 cm的整日地温变化幅度为5.7~7.8℃,低于对照1.27%~27.85%,差异显著($p < 0.05$)。

随着土层深度的增加,秸秆还田的调温作用有逐渐减弱的趋势。孕穗期在5~10 cm土层,秸秆还田配施化肥处理的地温日较差较对照低1.8~3.9℃,降低幅度为30%~65%;而在10~15 cm土层处理间差距仅为0.3~3.0℃,降低幅度为6.25%~62.5%;在15~20 cm土层处理间差距仅为0.1~1.5℃,降低幅度为4%~60%。齐穗期在5~10 cm土层,秸秆还田配施化肥处理的地温日较差较对照低1.6~3.5℃,降低幅度为24.62%~53.85%;而在10~15 cm土层处理间差距为1.1~

1.7℃,降低幅度为24.44%~37.78%;在15~20 cm土层处理间差距仅为0.3~1.4℃,降低幅度为7.69%~35.90%。成熟期在5~10 cm土层,秸秆还田配施化肥处理的地温日较差较对照低1.2~3.4℃,降低幅度为21.43%~60.71%;而在10~15 cm土层处理间差距为0.6~2.1℃,降低幅度为13.04%~45.65%;在15~20 cm土层处理间差距仅为0.1~1.0℃,降低幅度为2.50%~25.00%。

地表是土壤与大气热量交换的界面,其温度受气温变化的直接影响^[13]。土壤温度是植物生长的重要生态因子,对植物根系水分、营养的吸收有重要影响^[14],土壤空气和土壤水分的运动也与土壤温度有密切关系。据Ramakrishna等^[15]研究,秸秆覆盖主要影响10 cm以内浅层土壤的温度,对10 cm以下土层温度的调控作用不显著。苏伟等^[16]研究表明,稻草覆盖后,土壤温度日变化趋于缓和,且随着土层深度的增加,其调温作用有逐渐减弱的趋势。肖国华等^[17]测定表明,夏季采用稻草还田免耕覆盖较无草犁耙插秧水温降低3.4~5.1℃,5 cm深处土温降低1.2~4.2℃,10 cm深处土温降低1.5~2.0℃。稻草覆盖还田夏季降低土壤温度,早春升高土壤温度,分别有利于晚稻、早稻插后水稻秧苗的返青和分蘖。本试验结果与以上结论一致,水稻不同生育期与对照相比,秸秆还田配施化肥处理在8:00和20:00提高土壤温度,而在14:00降低土壤温度。从地温日较差分析可以看出,秸秆还田配施化肥处理的整日地温变化幅度均低于对照处理,且差异显著。此外随着土层深度的增加,秸秆还田与对照间的差距逐渐减少,调温作用逐渐减弱。

2.2 秸秆还田配施不同比例化肥对根际土壤微生物的影响

不同处理下根际土壤微生物数量如表3所示。除了SN₁外,秸秆还田配施化肥处理的根际土壤总细菌数量显著高于对照(单施秸秆处理)($p < 0.05$),增加幅度为7.16%~135.8%,其中SNPK₂数量最多,达到38.50 10⁵ CFU g⁻¹;除了秸秆还田配施NP区组间达到显著性差异外,其他区组均未达到显著性差异。放线菌方面,秸秆还田配施化肥各处理均显著高于对照($p < 0.05$),增加幅度较大,为61.36%~196.7%,其中SNPK₁数量最多;除了秸秆还田配施N区组间未达到显著性差异外,其他区组间差异显著。真菌方面,秸秆还田配施化肥处理高于对照2.27%~20.45%,其中SNPK₁达到最大,但处理间均未达到显著性差异。除了SN₁外,秸秆还

表 2 秸秆还田配施不同比例化肥对不同时间不同土层深度地温(℃)的影响
Table 2 Effect of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in ratio on soil temperature
 in different growing periods and at different soil depths

土层深度 Soil depth (cm)	处理 Treatments	孕穗期 Booting stage				齐穗期 Full heading stage				成熟期 Maturing stage			
		时刻 Hour		日较差 Daily range	时刻 Hour		日较差 Daily range	时刻 Hour		日较差 Daily range			
		8:00	14:00		20:00	8:00		14:00	20:00		8:00	14:00	20:00
0~5	CK	21.1	29.9	24.0	8.8 a	25.6	33.8	28.2	8.2a	27.9	35.8	29.8	7.9a
	SN ₁	24.0	31.9	26.1	7.9 ab	25.9	32.0	28.9	6.1b	27.9	35.1	30.0	7.2ab
	SN ₂	22.5	23.0	26.0	3.5 d	26.2	32.8	29.1	6.6ab	28.0	35.3	31.2	7.3ab
	SP ₁	21.3	29.1	25.0	7.8 ab	26.0	34.0	29.0	8.0a	28.3	36.1	31.2	7.8a
	SP ₂	22.8	29.3	24.8	6.5 bc	27.3	33.8	30.2	6.6ab	28.8	35.5	29.9	6.7ab
	SNP ₁	24.8	30.1	26.8	5.3 c	27.2	33.8	30.1	6.6ab	28.8	35.8	31.0	7.0ab
	SNP ₂	23.2	28.2	25.8	5.0 ed	27.9	33.0	30.1	5.1b	29.1	32.4	31.3	3.3c
	SNPK ₁	23.1	29.0	26.0	5.9 c	28.9	34.9	30.3	6.0b	29.2	35.1	31.4	5.9b
	SNPK ₂	23.2	28.7	24.8	5.5 c	28.4	34.5	30.1	6.1b	29.0	34.7	31.3	5.7b
5~10	CK	20.0	26.0	24.0	6.0a	25.3	31.8	29.2	6.5a	27.5	33.1	31.2	5.6ab
	SN ₁	21.0	25.2	25.2	4.2b	26.0	29.8	29.8	3.8bc	28.1	32.4	30.0	4.3ab
	SN ₂	21.0	24.0	24.9	3.9bc	25.9	30.1	30.0	4.2bc	28.5	32.9	31.1	4.4abc
	SP ₁	22.0	26.2	25.8	4.2b	25.8	30.6	29.0	4.8ab	28.8	32.5	30.1	3.7bc
	SP ₂	22.1	26.0	25.0	3.9 bc	27.1	31.2	30.3	4.1bc	28.7	32.6	30.0	3.9abc
	SNP ₁	24.1	26.3	25.8	2.2 ed	27.2	31.8	30.3	4.6bc	29.0	32.7	30.7	3.7bc
	SNP ₂	23.1	26.0	25.2	2.9bcd	27.2	31.5	29.7	4.3bc	28.9	32.7	31.0	3.8bc
	SNPK ₁	23.2	23.5	26.0	2.8bcd	27.2	30.2	30.0	3.0c	29.3	32.9	31.0	3.6bc
	SNPK ₂	23.2	25.3	24.8	2.1 d	27.6	32.5	30.2	4.9ab	28.8	31.0	30.2	2.2c
10~15	CK	20.0	24.8	23.0	4.8a	25.2	29.7	28.3	4.5a	27.5	32.1	30.1	4.6a
	SN ₁	21.8	26.2	24.9	4.4 abc	25.8	28.0	29.0	3.2a	27.5	30.5	30.1	3.0abc
	SN ₂	21.5	26.0	24.1	4.5ab	25.2	28.0	28.0	2.8a	27.2	29.9	31.2	4.0ab
	SP ₁	22.2	24.0	24.0	1.8d	24.8	27.8	28.2	3.4a	28.2	31.9	30.0	3.7abc
	SP ₂	21.0	23.5	24.0	3.0bcd	26.4	29.0	29.8	3.4a	28.2	30.3	30.1	2.1c
	SNP ₁	22.3	24.0	25.0	2.7ed	26.5	28.8	29.6	3.1a	28.0	31.5	30.9	3.5abc
	SNP ₂	22.0	24.0	24.9	2.9bcd	26.8	28.9	29.8	3.0a	28.7	30.2	31.0	2.3bc
	SNPK ₁	22.8	23.2	24.8	2.0d	26.1	29.2	29.5	3.4a	29.4	32.1	30.7	2.7bc
	SNPK ₂	22.3	24.2	23.8	1.9 ed	26.8	29.0	29.7	2.9a	28.9	30.3	31.4	2.5bc
15~20	CK	21.5	23.8	24.0	2.5 a	24.0	27.9	27.2	3.9a	26.8	30.8	28.9	4.0a
	SN ₁	22.0	24.0	24.1	2.1 a	25.5	26.9	29.0	3.5a	27.8	29.3	30.9	3.1a
	SN ₂	22.0	22.8	24.4	2.4 a	25.6	27.0	29.2	3.6a	26.9	29.0	30.1	3.2a
	SP ₁	22.0	23.2	24.0	2.0 a	25.3	26.9	27.8	2.5a	27.0	29.9	30.9	3.9a
	SP ₂	22.5	23.8	24.1	1.6a	26.5	28.0	29.0	2.5a	27.0	30.5	29.0	3.5a
	SNP ₁	23.1	23.1	24.7	1.6a	25.4	27.8	29.0	3.6a	27.9	30.9	29.8	3.0a
	SNP ₂	23.1	23.1	24.1	1.0a	26.8	28.0	29.3	2.5a	27.2	29.6	30.7	3.5a
	SNPK ₁	23.2	23.1	24.3	1.2a	26.8	27.8	29.4	2.6a	27.8	30.2	31.4	3.6a
	SNPK ₂	23.4	23.5	24.8	1.4a	25.5	28.2	28.2	2.7a	27.6	29.7	30.8	3.2a

注:同一土层同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Note: Values followed by different letters for the same soil layer in the same column are significantly different between the treatments at 5% level

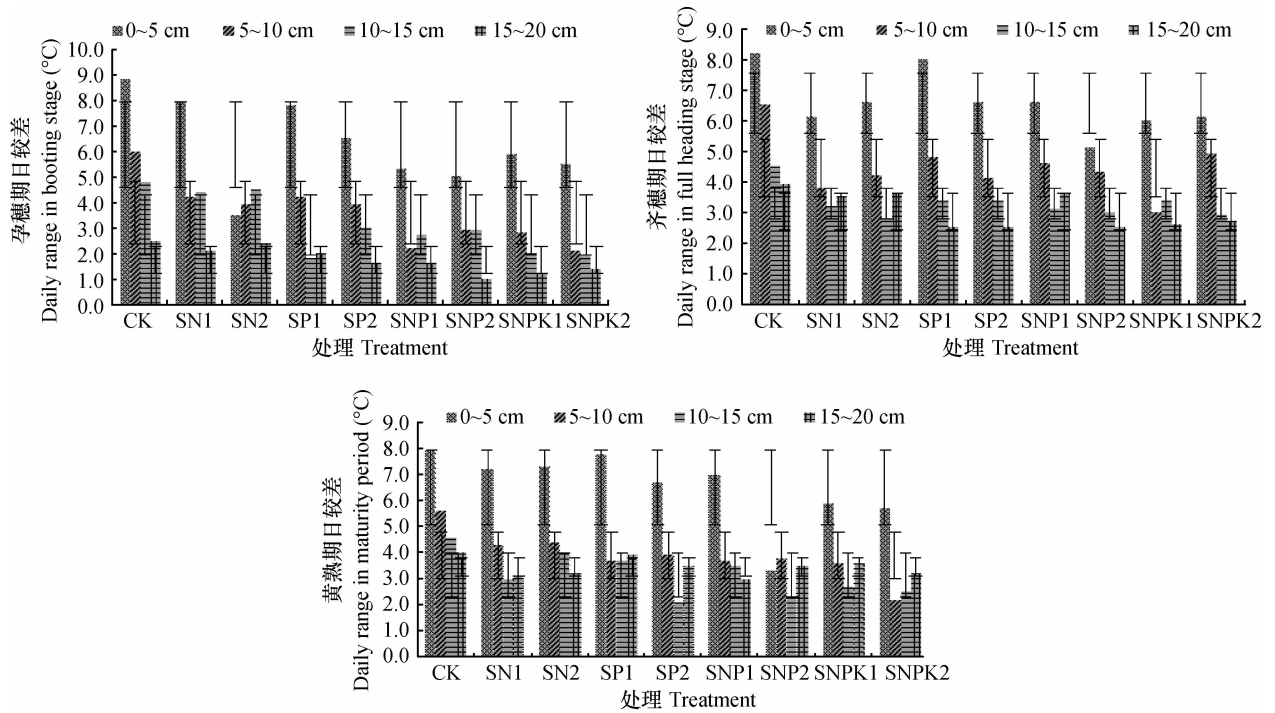


图 1 秸秆还田配施不同比例化肥对不同土层日较差的影响

Fig. 1 Effect of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in ratio on daily variation range of soil temperature relative to soil depth

表 3 秸秆还田配施不同比例化肥对根际土壤微生物的影响

Table 3 Effect of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in ratio on soil root micro-organisms

处理 Treatment	总细菌 Bacteria (10 ⁵ CFU g ⁻¹)	放线菌 Actinomyces (10 ⁵ CFU g ⁻¹)	真菌 Fungi (10 ⁵ CFU g ⁻¹)	氨氧化细菌 AOB (10 ⁵ CFU g ⁻¹)
CK	16.33f	19.80g	0.44a	11.53d
SN ₁	17.50ef	31.95f	0.47a	12.39d
SN ₂	18.83de	32.40f	0.51a	17.91bc
SP ₁	28.33b	34.50e	0.49a	18.37bc
SP ₂	26.67b	36.34d	0.45a	17.25c
SNP ₁	19.50d	43.43c	0.46a	19.04b
SNP ₂	23.00c	37.50d	0.45a	20.88a
SNPK ₁	38.00a	58.75a	0.53a	18.42bc
SNPK ₂	38.50a	56.40b	0.51a	18.72bc
处理 Treatment	自生固氮菌 AANF (10 ⁵ CFU g ⁻¹)	亚硝酸细菌 NB (10 ⁴ CFU g ⁻¹)	磷细菌 PB (10 ⁵ CFU g ⁻¹)	纤维素分解菌 ACD (10 ⁴ CFU g ⁻¹)
CK	4.17e	0.45e	3.48c	0.75d
SN1	5.88de	0.47e	3.61bc	0.95d
SN2	5.84de	1.50bcd	3.69bc	2.00cd
SP1	5.79de	1.15cde	3.99abc	1.74cd
SP2	9.15c	1.50bcd	4.19abc	3.55b
SNP1	6.36d	0.70de	5.64a	4.09ab
SNP2	8.76c	2.00b	5.02abc	2.72bc
SNPK1	14.64b	1.75bc	5.56a	5.48a
SNPK2	24.24a	4.00a	5.22ab	5.33a

注:数据为 3 个重复的平均值;同列不同的字母分别表示差异达 5% 显著水平 Note: The data in the table are means of 3 replicates. The different letter in the same column indicate significant difference at 5% level. AOB; ammonia-oxidizing bacteria; AANF; aerobic autigenic nitrogen-fixing; NB; nitrite bacteria; PB; phosphorus bacteria; ACD; aerobic cellulose decomposing

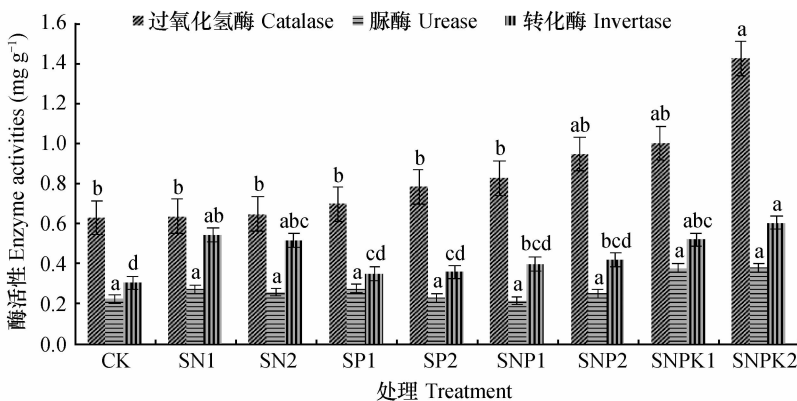
田配施化肥处理的氨氧化细菌数量显著高于对照 ($p < 0.05$), 增加幅度为 7.46% ~ 81.09%; 除了秸秆还田配施 NPK 区组间差异不显著外, 其他区组间均达到显著性差异。好气性自生固氮菌方面, 除了 SN_1 、 SN_2 和 SP_1 外, 其他秸秆还田配施化肥处理显著高于对照 ($p < 0.05$), 增加幅度为 40.05% ~ 481.3%, 其中 $SNPK_2$ 数量最多, 达到 24.24×10^5 CFU g^{-1} 。亚硝酸细菌方面, 除了 SN_1 外, 秸秆还田配施化肥处理显著高于对照 ($p < 0.05$), 其中 $SNPK_2$ 数量最多, 对照最低, 前者是后者的 7.89 倍; 除了秸秆还田配施 P 区组间差异不显著外, 其他区组均达到显著性差异 ($p < 0.05$)。秸秆还田配施化肥各处理的磷细菌数量高于对照, 增加幅度为 3.74% ~ 62.07%, 其中 SNP_1 、 $SNPK_1$ 和 $SNPK_2$ 与对照相比差异显著 ($p < 0.05$), 但区组间均未达到显著差异。土壤好气性纤维素分解菌方面, 除了 SN_1 、 SN_2 和 SP_1 外, 其他处理显著高于对照 ($p < 0.05$), 其中 $SNPK_1$ 达到最大, 对照最低, 前者是后者的 6.31 倍。

2.3 秸秆还田配施不同比例化肥对根际土壤酶活性的影响

由图 2 可以看出, 秸秆还田配施化肥各处理对根际土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性均有明显的提高作用, 但处理间存在一定的差异。过氧化氢酶活性方面, 秸秆还田配施化肥各处理的过氧化氢酶活性高于对照 1.11% ~ 126.2%, 其中处理 $SNPK_2$ 达到最大, 各处理大小顺序依次为 $SNPK_2 > SNPK_1 > SNP_2 > SNP_1 > SP_2 > SP_1 > SN_2 > SN_1 > CK$, 处理 $SNPK_2$ 、 $SNPK_1$ 、 SNP_2 与对照相比差异显著 ($p < 0.05$)。脲酶活性方面, 土壤脲酶活性变化范围为

0.217 ~ 0.381 $mg\ g^{-1}\ h^{-1}$ 之间, 其中 $SNPK_2$ 达到最大, SNP_1 最低, 各处理大小顺序表现为 $SNPK_2 > SNPK_1 > SP_1 > SN_1 > SN_2 > SNP_2 > SP_2 > CK > SNP_1$, 除了 SNP_1 外, 秸秆还田配施化肥各处理的脲酶活性均高于对照, 提高了 2.67% ~ 69.33%, 但均未达到显著性差异。转化酶活性方面, 土壤转化酶活性变化范围为 0.305 ~ 0.606 $mg\ g^{-1}\ h^{-1}$ 之间, 其中对照最低, 各处理大小顺序表现为 $SNPK_2 > SN_1 > SNPK_1 > SN_2 > SNP_2 > SNP_1 > SP_2 > SP_1 > CK$ 。秸秆还田配施不同比例化肥各处理的转化酶活性均显著高于对照, 提高了 15.41% ~ 98.69%, 但区组间均未达到显著性差异。

土壤微生物和酶是土壤生态系统的重要组成部分, 二者通过参与土壤 C、N、P 等元素的循环、土壤矿化过程和复杂的生物化学过程, 共同推动土壤代谢过程, 影响着作物的生长, 有利于土壤有机质的转化^[18-20]。大量研究表明, 耕作方式与施肥措施对土壤微生物数量及活性有重要影响, 能显著提高土壤微生物的数量与活性^[21], 从而有利于土壤质量的维护。本试验同样表明, 秸秆还田配施一定比例的化肥能增加土壤根际总细菌、放线菌、真菌、氨氧化细菌、好气性自生固氮菌、亚硝酸细菌、磷细菌和好气性纤维素分解菌的数量, 但普遍区组间差异不显著。除了秸秆还田配施低量 NP 处理 (SNP_1) 以外, 秸秆还田配施化肥各处理的过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性均高于对照。综合来看, 秸秆还田配施 NPK 处理 ($SNPK_1$, 秸秆 3 000 $kg\ hm^{-2}$ + N 150 $kg\ hm^{-2}$ + P_2O_5 75 $kg\ hm^{-2}$ + K_2O 37.5 $kg\ hm^{-2}$; $SNPK_2$, 秸秆 3 000 $kg\ hm^{-2}$ + N 225 $kg\ hm^{-2}$ + P_2O_5 112.5 $kg\ hm^{-2}$ + K_2O 56.3 $kg\ hm^{-2}$) 效果较为显著。



注: 数据为3个重复的平均值; 柱形图上的不同字母分别表示差异达5%显著水平 Note: The data in the figure are means of 3 replicates. Histograms capped with different letters indicate significant difference at 5% level

图 2 秸秆还田配施不同比例化肥对根际土壤酶活性的影响

Fig. 2 Effect of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in ratio on enzyme activities in the rhizosphere

3 结 论

与单施秸秆相比,秸秆还田配施不同比例化肥对于合理调节土壤温度、提高根际土壤微生物数量及酶活性方面有较好的促进作用。水稻不同生育期秸秆还田配施化肥处理在 8:00 和 20:00 提高土壤温度,在 14:00 降低土壤温度,而且整日地温变化幅度低于单施秸秆处理,但随着土层深度的增加,秸秆还田配施化肥处理的调温作用逐渐减弱。秸秆还田配施一定比例的化肥能增加土壤根际土壤微生物数量;除了秸秆还田配施低量 NP 处理外,秸秆还田配施化肥各处理对于根际土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性的提高也有促进作用。综合来看,秸秆还田配施 NPK 处理(SNPK₁, 秸秆 3 000 kg hm⁻² + N 150 kg hm⁻² + P₂O₅ 75 kg hm⁻² + K₂O 37.5 kg hm⁻²; SNPK₂, 秸秆 3 000 kg hm⁻² + N 225 kg hm⁻² + P₂O₅ 112.5 kg hm⁻² + K₂O 56.3 kg hm⁻²)效果较为显著。

参 考 文 献

- [1] 杨文钰,王兰英. 作物秸秆还田的现状和展望. 四川农业大学学报, 1999, 17(2): 211—216. Yang W Y, Wang L Y. Present situation and prospects of returning application of crop straw (In Chinese). Journal of Sichuan Agricultural University, 1999, 17(2): 211—216
- [2] 杨滨娟,钱海燕,黄国勤,等. 秸秆还田及其研究进展. 农学学报, 2012, 2(05): 1—4. Yang B J, Qian H Y, Huang G Q, et al. Research progress and rice-straw returning (In Chinese). Journal of Agriculture, 2012, 2(05): 1—4
- [3] 苏衍涛,王凯荣,刘迎新,等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分调控效应. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 670—676. Su Y T, Wang K R, Liu Y X, et al. Effects of rice straw mulching on soil temperature and moisture regulation in an upland red soil (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2): 670—676
- [4] Sauer T J, Hatfield J L, Prueger J H, et al. Surface energy balance of a corn residue-covered field. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 89(3/4): 155—168
- [5] 程励励,文启孝,李洪. 稻草还田对土壤氮素及水稻产量的影响. 土壤, 1992, 14(5): 234—238. Cheng L L, Wen Q X, Li H. Effect of straw mulching on soil nitrogen and rice yield (In Chinese). Soils, 1992, 14(5): 234—238
- [6] 席北斗,刘鸿亮,孟伟. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用. 环境科学, 2001, 22(5): 122—125. Xi B D, Liu H L, Meng W. Composting process of municipal solid waste with high effective complex microbial community (In Chinese). Environmental Science, 2001, 22(5): 122—125
- [7] 陈冬林. 多熟复种稻田土壤耕作和秸秆还田的效应研究. 长沙: 湖南农业大学农学院, 2009: 22. Chen D L. Studies on effect of soil tillage and straw returning to field in multi-cropping paddy field (In Chinese). Changsha: College of Agricultural in Hunan Agricultural University, 2009: 22
- [8] 杜守宇,田恩平,温敏,等. 秸秆覆盖还田的综合效应与系列化技术研究. 宁夏农林科技, 1995(2): 10—14. Du S Y, Tian E P, Wen M, et al. Studies on comprehensive effects and serialized techniques of covering of fields with the straws (In Chinese). Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 1995(2): 10—14, 7
- [9] 倪国荣,涂国全,魏赛金,等. 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. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 149—154. Ni G R, Tu G Q, Wei S J, et al. Effects of straw-returning using agent on microbe and enzyme activity in rhizosphere soils and yield of late rice (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(1): 149—154
- [10] 杨滨娟,黄国勤,钱海燕,等. 秸秆还田对稻田生态系统环境质量影响的初步研究. 中国农学通报, 2012, 28(02): 200—208. Yang B J, Huang G Q, Qian H Y, et al. The preliminary research about the influence of rice-straw returning on the rice ecosystem environment quality (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(02): 200—208
- [11] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 59—63. The Microbial Research Office in Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. The methods of soil microbial research (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985: 59—63
- [12] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 27—30. Guan S Y. Soil enzyme and its methodology (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986: 27—30
- [13] 陈继康,李素娟,张宇,等. 不同耕作方式麦田土壤温度及其对气温的响应特征——土壤温度日变化及其对气温的响应. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2592—2600. Chen J K, Li S J, Zhang Y, et al. Characteristics of soil temperature and response to air temperature under different tillage systems—Diurnal dynamic of soil temperature and its response to air temperature (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 2592—2600
- [14] 易建华,贾志红,孙在军. 不同根系土壤温度对烤烟生理生态的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 62—66. Yi J H, Jia Z H, Sun Z J. Physiological and ecological effect of rhizospheric soil temperature on flue-cured tobacco (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(1): 62—66
- [15] Ramakrishna A, Tam H M, Wani S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. Field Crops Research, 2006, 95: 115—125
- [16] 苏伟,鲁剑巍,周广生,等. 稻草还田对油菜生长、土壤温度及湿度的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 366—373. Su W, Lu J W, Zhou G S, et al. Influence of straw-returning on rapeseed (*Brassic napus* L.) growth, soil temperature and moisture (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 366—373

- [17] 肖国华, 欧阳先辉, 陈同旺, 等. 稻草覆盖还田晚稻免耕节水栽培技术应用研究. 作物研究, 2006, 20(3): 220—222. Xiao G H, Ouyang X H, Chen T W, et al. The research of straw-returning on late rice in water-saving cultivation techniques applied (In Chinese). Crop Research, 2006, 20(3): 220—222
- [18] Frankenberger W T, Dick W A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil frankenberger. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 945—951
- [19] 李东坡, 武志杰, 陈利军. 有机农业施肥方式对土壤微生物活性的影响研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(12): 178—181. Li D P, Wu Z J, Chen L J. Influence of fertilizing modes of organic agriculture on the soil microbial activities (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(12): 178—181
- [20] 张星杰, 刘景辉, 李立军, 等. 保护性耕作方式下土壤养分、微生物及酶活性研究. 土壤通报, 2009, 40(3): 542—546. Zhang X J, Liu J H, Li L J, et al. Effects of different conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in dry cultivation (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(3): 542—546
- [21] 汪娟. 土壤微生物特性对不同耕作方式的响应. 兰州: 甘肃农业大学资源与环境学院, 2009: 2. Wang J. The responses of soil microbial properties to different tillage (In Chinese). Lanzhou: College of Resource and Environment in Gansu Agricultural University, 2009: 2

EFFECTS OF STRAW INCORPORATION PLUS CHEMICAL FERTILIZER ON SOIL TEMPERATURE, ROOT MICRO-ORGANISMS AND ENZYME ACTIVITIES

Yang Binjuan¹ Huang Guoqin^{1*} Qian Haiyan^{2,3}

(1 Research Center on Ecological Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 Office of the Mountain-River-Lake Development Committee of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China)

Abstract In order to explore effects of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in NPK ratio on soil temperature and moisture conservation and soil-root biological properties, a field experiment was conducted. Results show that the treatments of straw incorporation plus application of chemical fertilizer varying in ratio raised soil temperature at 8:00 and 20:00 and lowered at 14:00 in all the growing periods, compared with the control. Analysis of soil temperature shows that the range of its daily variation was narrower in the treatments than in the control and the difference was significant. However, the difference was getting less significant with the increasing soil depth, which means that the soil temperature regulating effect of the treatments was declining gradually. Besides, the treatments significantly increased the populations of bacteria, actinomyces, fungi, ammonia-oxidizing bacteria, aerobic autigenic nitrogen-fixing bacteria, nitrite bacteria, phosphorus bacteria and aerobic cellulose decomposing bacteria, but generally the difference between the treatments in the effect was not significant. All the treatments, except Treatment SNP₁ (3 000 kg hm⁻² crushed straw + 150 kg hm⁻² N + 75 kg hm⁻² P₂O₅), were higher than the control in activity of catalase, urease and invertase, but the differences were not very significant. The findings demonstrate that straw incorporation plus application of chemical fertilizer, though varying in ratio, may reasonably regulate, increase the population and activity of soil microbes and help improve the soil eco-environment. Among the treatments, Treatment SNPK₁ (3 000 kg hm⁻² straw + 150 kg hm⁻² N + 75 kg hm⁻² P₂O₅ + 37.5 kg hm⁻² K₂O) and Treatment SNPK₂ (3 000 kg hm⁻² straw + 225 kg hm⁻² N + 112.5 kg hm⁻² P₂O₅ + 56.3 kg hm⁻² K₂O) are the most significant in this effect.

Key words Straw incorporation; Different ratio of fertilizer; Soil temperature; Rhizosphere; Microbes; Enzyme activity

(责任编辑:汪枫生)