

秸秆配施氮肥还田对水稻土酶活性的影响^①

王倩倩, 尧水红*, 张斌, 岳龙凯, 韩亚, 张月玲, 周璇

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 耕地培肥技术国家工程实验室, 北京 100081)

摘要: 通过田间试验研究秸秆还田时间及配施氮肥比例对水稻土酶活性的影响, 以期为培育水稻土肥力和稳定稻田生态系统功能提供理论依据。试验设置 2 个秸秆还田时间(W_S , 冬季还田; S_S , 春季还田)和 4 个氮肥配施量(N_0 , 秸秆还田, 试验期内全程不添加矿质氮; N_B , 常规施肥, 还田时不添加矿质氮; N_{30B} , 秸秆还田时添加早稻基肥用量的 30% 矿质氮; N_{60B} , 秸秆还田时添加早稻基肥用量的 60% 矿质氮)。研究表明: 冬季秸秆翻耕还田能增加冬闲期 6 种与土壤碳周转相关酶(β -葡萄糖苷酶、 β -纤维二糖苷酶、 β -木糖苷酶、多酚氧化酶、过氧化物酶和蔗糖酶)的活性, 冬闲期冬季秸秆还田条件下土壤酶活性均高于春季还田, 生育期内冬季秸秆翻耕还田措施对土壤 β -葡萄糖苷酶和过氧化物酶有增加作用; 秸秆还田并配施氮肥措施显著地增加冬闲期和生育期 β -纤维二糖苷酶的活性, 但配施氮肥的 3 个比例间土壤酶活性并无显著差异; 除多酚氧化酶外, 其他 5 种酶均与其有机碳投入量呈显著正相关。因此, 冬季秸秆还田及配施氮肥能在一定程度上调控与碳周转相关的土壤酶活性, 对推广冬闲期秸秆翻耕还田及保障作物的产量具有重要的生态学意义。

关键词: 水稻土; 秸秆还田时间; 秸秆还田配施氮肥; 酶活性

中图分类号: S154 **文献标识码:** A

水稻土是我国最主要的耕作土壤类型之一, 其中约 90% 分布在我国热带亚热带双季稻产区^[1]。该区土壤主要为酸性土壤, 碳氮转化活性较弱, 合理的农田管理措施有利于提高该区土壤生产力^[2]。秸秆还田能够增加土壤有机质含量, 改善土壤理化性状^[3], 提高作物产量和品质^[4-7], 被认为是一种有效的农田培肥措施。但由于劳力缺乏、没有冬季耕作习惯和机械耕作作业等因素, 在我国双季稻产区目前秸秆还田量只有水稻秸秆收获量的近 1/2。因此, 改变双季稻产区的冬闲习惯, 将水稻秸秆冬季翻耕还田有利于秸秆还田这一农田培肥措施的推广^[8]。

农作物秸秆自然状态下碳氮比较高, 难以被微生物分解, 直接施入土壤会刺激微生物剧烈活动而将固持一部分有效氮, 造成与作物争氮的矛盾, 从而影响作物苗期生长^[9-11]。因此, 秸秆还田通常配施一定量无机氮肥, 用以补充土壤氮含量^[12-14]。秸秆配施氮肥还田不仅能改土培肥、固碳减排^[15-18], 还能增加细菌数量^[19-20]以及提高土壤酶活性^[20-21], 改善土壤微环境。

土壤酶是由微生物、动植物活体分泌及动植物残骸分解释放于土壤中的一类具有催化能力的生物活性物质^[22]。土壤酶活性控制土壤中各种生物化学反应的强度和方向^[23-24], 可以敏感地反映土壤肥力和生态系统功能的变化^[25-27]。秸秆进入土壤后, 其微生物分解过程必然影响土壤的酶活性和碳周转^[28-29]。秸秆还田在减少环境污染、保持土壤肥力和增加作物产量^[14-15, 30-33]等方面已有较多研究, 而冬闲期合理利用水稻秸秆还田对后季早稻土壤酶活性影响方面的报道较少。因此本研究试图揭示我国双季稻产区冬闲期秸秆还田与氮肥配施模式对稻田土壤秸秆腐解的生物学过程的影响, 测量秸秆还田与碳周转相关的土壤酶活性变化, 为更好地推广秸秆还田措施和保障土壤肥力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验地位于江西省鹰潭市余江县邓家埠水稻原种场(116°55'E, 28°15'N), 该地区属于典型中亚热带

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471187)、国家重点研发项目(2016YFD0300907)和中国农业科学院知识创新工程优秀青年项目(634-6)资助。

* 通讯作者(yaoshuihong@caas.cn)

作者简介: 王倩倩(1990—), 女, 山西长治人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力演变和土壤生物物理研究。E-mail: wangqianqian127@163.com

湿润季风气候区,月平均最高气温与最低气温分别为 29.9℃ 和 5.5℃,年均温度 17.6℃,全年有效积温 6 480℃,年均降雨量 1 727 mm,全年无霜期 289 d。当地轮作方式为:早稻-晚稻-冬季休闲。本试验供试稻田土壤属于河流冲积物发育而成的潴育型水稻土,供试材料早稻品种为中早 33,晚稻品种为农香 98,株行距 20 cm × 20 cm。2008 年晚稻种植前,土壤基础养分含量为有机碳 19.20 g/kg、全氮 1.64 g/kg、全磷 0.30 g/kg、全钾 27.26 g/kg、碱解氮 139.04 g/kg、速效磷 5.76 mg/kg、速效钾 81.60 mg/kg,pH 为 4.94。

1.2 试验设计

试验采用两因素完全随机区组的裂区设计,主区处理:冬季还田(W_S);春季还田(S_S);副区处理:秸秆还田,试验期内全程不添加矿质氮(N_0);常规施肥,还田时不添加矿质氮(N_B);还田时添加早稻基肥用量的 30% 矿质氮(N_{30B});还田时添加早稻

基肥用量的 60% 矿质氮(N_{60B});秸秆移除(CK);3 次重复,共 30 个小区,小区面积为 10 m × 8 m。

秸秆还田处理是将晚稻收获的全部稻草粉碎至 5~10 cm,均匀分散于田面,并按主区处理分别在冬季(12 月中旬)或春季犁田(来年 4 月中旬)时将田面秸秆翻入小区耕层土壤中,秸秆还田量为 7 500 kg/hm²。秸秆移除处理是将晚稻收获的全部稻草移出小区,秸秆不还田,秸秆处理与移除处理的留茬高度均为 10 cm 左右。

早稻施肥量氮肥为 N 180 kg/hm²,磷肥为 P₂O₅ 75 kg/hm²,钾肥为 K₂O 150 kg/hm²,所用的肥料氮肥为尿素,磷肥为钙镁磷肥,钾肥为氯化钾;磷肥作为基肥一次性施入,钾肥按基肥:分蘖肥:穗肥 = 3:4:3 施入。常规施肥的 N_B 处理按基肥:分蘖肥:穗肥 = 5:3:2 施入,其余不施氮肥以及基肥氮前施的处理其氮肥施用方案具体见表 1。

表 1 大田试验各处理氮肥运筹方案
Table 1 Nitrogen fertilization treatments in field experiment

施肥处理	秸秆还田量 (kg/hm ²)	翻耕时施氮量 (kg/hm ²)	基肥施氮量 (kg/hm ²)	分蘖肥施氮量 (kg/hm ²)	穗肥施氮量 (kg/hm ²)
CK	0	0	90	54	36
N_0	7 500	0	0	0	0
N_B	7 500	0	90	54	36
N_{30B}	7 500	27	63	54	36
N_{60B}	7 500	54	36	54	36

1.3 取样与测定

2013 年晚稻收获后,在水稻冬闲期(11 月至次年 4 月)内共取 4 次样,分别于 1—4 月的 10 号定期进行取样(冬季秸秆翻耕在 2014 年 1 月 10 日),记作:冬闲、冬闲、冬闲和冬闲;在 2014 年早稻生育期(4 月中旬至 7 月中旬)的分蘖期、拔节期、齐穗期和成熟期各取一次。

样品采集于 0~15 cm 的耕层土壤,每个小区按“S”形 5 点采样并混匀。土样放置于冰桶中,迅速带回实验室,拣去土壤中的可见根系、秸秆等杂质后,置于冰箱 -20℃ 冷冻保存,用于土壤酶活性的测定。

1.4 测定项目及方法

蔗糖转化酶(INV)活性的测定:采用改进的二硝基水杨酸比色法测定蔗糖转化酶的活性。土壤与蔗糖在 50℃ 下培养 3 h,测定其还原糖释放数量,蔗糖转化酶活性以每克土壤每小时葡萄糖毫克数表示(mg/(g·h),50℃,3 h)。

β-葡萄糖苷酶(BG)、β-纤维二糖苷酶(CEL)、β-木糖苷酶(BXYL)、多酚氧化酶(PHOX)和过氧化物酶

(PEOX)的活性分析采用荧光微型板检测技术^[34]。4-羟甲基-7-香豆素(MUB)在 365 nm 波长处激发,能在 460 nm 处检测到荧光,它与某些物质(例如 β-D-纤维二糖)结合荧光特性消失,通过酶的水解特性将 MUB 释放出来,通过检测荧光量来表征酶的活性。

首先对 96 孔微型板按照不同测定的酶进行编号、分区,黑色和白色微型板(其中,黑色微型板测定非氧化还原酶活性,白色微型板测定氧化还原酶活性)分为缓冲液+缓冲液区、缓冲液+标准底物区、缓冲液+荧光底物区、待测液+缓冲液区、待测液+标准底物区、待测液+荧光底物区;其次为制备土壤悬浊液试剂:称取相当于 1 g 干土的鲜土,置于 250 ml 灭菌白色塑料瓶中,加入缓冲液 125 ml,震荡制备成土壤悬浊液作为待测液;然后将配置好的缓冲液、待测液用 8 通道移液枪按照顺序加入已经编号分区的微型板中,最后将配置好的标准底物加入微型板,迅速加入荧光底物溶液,将微型板放入 25 的培养箱黑暗培养,其中黑板培养 4 h 后上机测定(测定前加 10 μl 0.5 mol/L NaOH 溶液结束反应),白板培养 20 h

上机测定。

1.5 统计分析

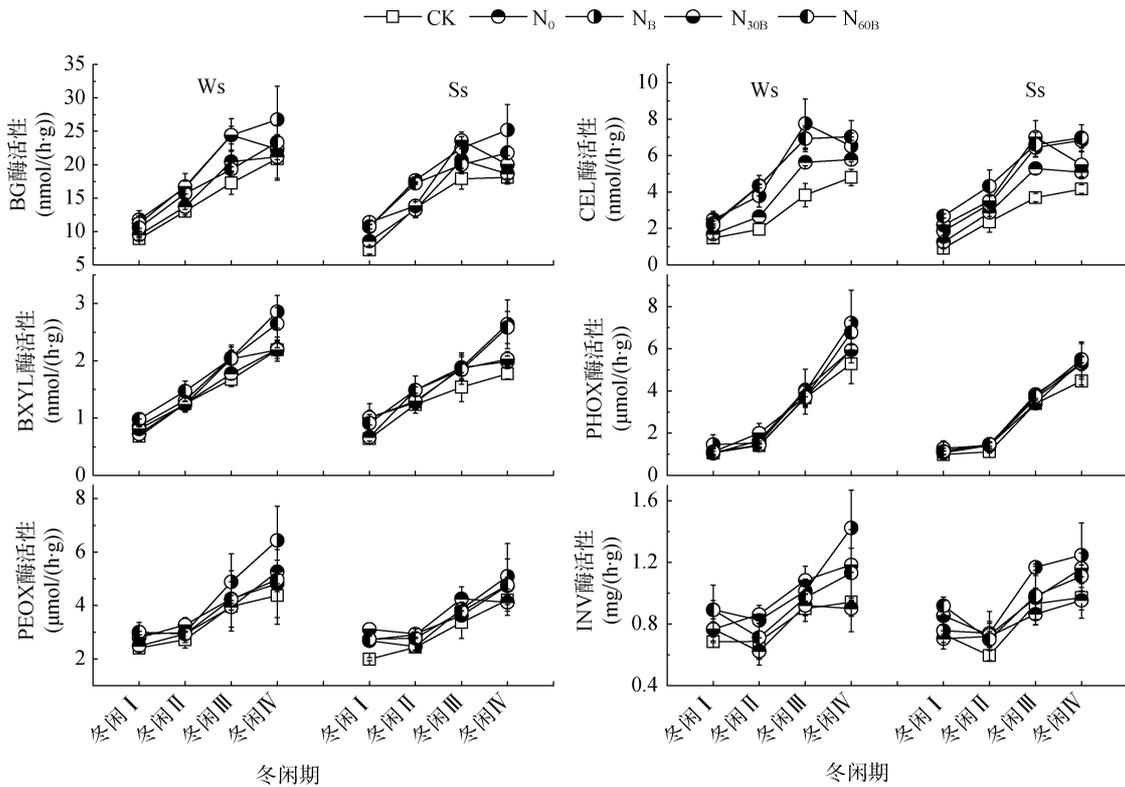
酶活性测定每个样品设置 8 个平行,利用平行数值求平均值,每个样品获得一个测定值,然后利用 SPSS19.0 软件进行处理间的方差分析。

2 结果与分析

2.1 稻田土壤酶活性在冬闲期的动态变化

由图 1 可知,各处理碳周转相关 6 种土壤酶(BG、

CEL、BXYL、PHOX、PEOX 和 INV)活性在冬闲期整体随着时间的延长呈现增加的趋势,这可能与冬闲期(12 月中旬至次年 4 月中旬)气温的上升有关。BXYL、PHOX 和冬季还田(Ws)条件下的 PEOX 活性,在冬闲的 4 个采样期全程增加,且速度较快;除个别处理外,BG 和 CEL 这 2 种酶活性冬闲前期增加较快,而在冬闲期却增加平缓;而 INV 和春季还田(Ss)条件下的 PEOX 活性,在冬闲期略有降低,其他 2 个采样期仍呈增加趋势。



(Ws, 冬季还田; Ss, 春季还田。N₀, 试验期内全程不添加矿质氮; N_B, 常规施肥, 还田时不添加矿质氮; N_{30B}, 还田时添加早稻基肥用量的 30% 矿质氮; N_{60B}, 还田时添加早稻基肥用量的 60% 矿质氮; CK, 秸秆移除, 下同)

图 1 土壤酶活性随水稻冬闲期的动态变化

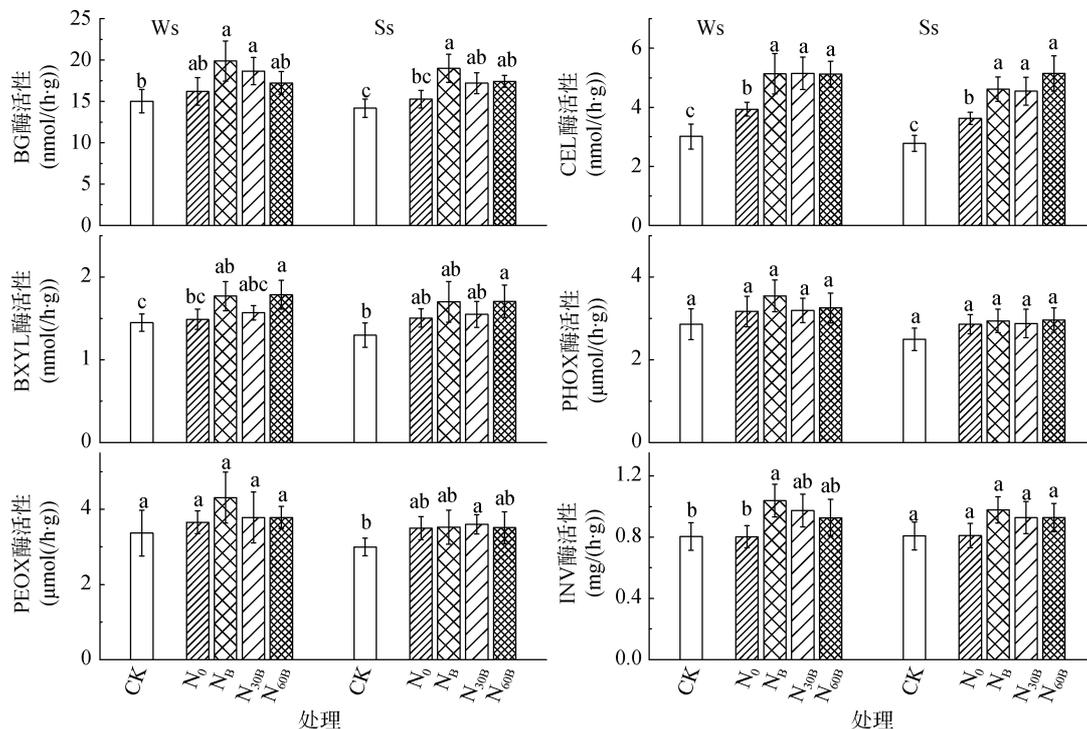
Fig. 1 Dynamic changes of soil enzyme activities under different treatments in wintry fallow period

2.2 秸秆配施氮肥还田对冬闲期稻田土壤酶活性的影响

利用冬闲期秸秆翻耕还田能增加冬闲期土壤碳周转相关酶的活性,冬闲期冬季还田(Ws)条件下各处理酶活性高于春季还田(图 1)。冬季还田(Ws)条件下的 BG 活性范围在 8.90 ~ 26.75 nmol/(h·g), 高于春季还田(Ss)的 BG 活性 7.22 ~ 25.18 nmol/(h·g)。其他 5 种酶活性 CEL、BXYL、PHOX、PEOX 和 INV 冬季还田(Ws)条件下各处理的活性范围分别在 1.47 ~ 7.75 nmol/(h·g)、0.68 ~ 2.85 nmol/(h·g)、1.06 ~ 7.21 μmol/(h·g)、2.40 ~ 6.44 μmol/(h·g) 和 0.62 ~ 1.42

mg/(h·g), 均高于春季还田(Ss)条件下各处理的酶活性 0.90 ~ 6.97 nmol/(h·g)、0.64 ~ 2.64 nmol/(h·g)、0.99 ~ 5.5 μmol/(h·g)、1.98 ~ 5.09 μmol/(h·g) 和 0.59 ~ 2.64 mg/(h·g)。

从图 2 可知,秸秆还田及秸秆还田并配施氮肥的处理显著地增加冬闲期 CEL 的活性,但秸秆还田时配施氮肥的比例对 CEL 的活性影响并不显著。冬季还田(Ws)条件下的 N₀、N_B、N_{30B} 和 N_{60B} 秸秆还田处理 CEL 活性均值为: 3.94 ~ 5.15 nmol/(h·g), N_B、N_{30B} 和 N_{60B} 3 个配施氮肥的处理 CEL 活性均值为: 5.12 ~ 5.15 nmol/(h·g), 3 个处理间无显著差异(P>0.05); 3 个配施氮肥的处理 CEL 活性均值均显著高于秸秆还



(图中小写字母不同表示不同处理间差异显著($P < 0.05$), 酶活性由同一处理早稻生育期 4 个时期酶活性算数平均值得到, 下同)

图 2 各处理冬闲期土壤酶活性

Fig. 2 Comparison of soil enzyme activities under different treatments in wintry fallow period

田但不施氮肥的 N_0 处理(3.94 nmol/(h·g))和秸秆不还田的 CK 处理(3.01 nmol/(h·g))。春季还田(Ss)条件下 4 个秸秆还田处理 CEL 活性冬闲期均值为: 3.62 ~ 5.14 nmol/(h·g); 3 个配施氮肥的处理中, CEL 活性在 N_B (4.62 nmol/(h·g))和 N_{30B} (4.55 nmol/(h·g))处理间无显著的差异, 且均低于 N_{60B} (5.14 nmol/(h·g))处理; 3 个配施氮肥的处理春季还田(Ss)条件下的 CEL 活性均显著高于秸秆还田但不施氮肥的 N_0 处理(3.62 nmol/(h·g))和秸秆不还田的 CK 处理(2.78 nmol/(h·g))。而秸秆还田及秸秆还田并配施氮肥的处理总体上并未显著地改变冬闲期内其他 5 种酶(BG、BXYL、PHOX、PEOX 和 INV)的活性(图 2)。

2.3 稻田土壤酶活性在早稻生育期的动态变化

土壤中碳周转相关的 BG、CEL、BXYL、PHOX、PEOX 和 INV 6 种酶的活性在早稻生育期均呈现先降低后升高再降低(拔节期低、齐穗期增高、成熟期降低)的趋势(图 3)。这可能与拔节期和成熟期排水搁田有关。此外, 利用冬闲期秸秆翻耕还田这一农田管理对早稻生育期内与碳周转相关 6 种酶的活性并无显著的影响, 冬季还田(Ws)条件下的各处理 6 种酶活性与春季还田(Ss)条件下的各处理无显著差异($P > 0.05$, 图 3)。

2.4 秸秆配施氮肥还田对早稻生育期稻田土壤酶活性的影响

由图 3 可知, 秸秆还田处理显著地增加水稻生育期内 BG、CEL 和 BXYL 的活性, 但对另外 3 种酶(PHOX、PEOX 和 INV)无显著的影响。图 4 的结果进一步证明了上述结论, 由图 4 可知: 冬季还田(Ws)条件下的 N_0 、 N_B 、 N_{30B} 和 N_{60B} 秸秆还田处理 BG、CEL 和 BXYL 活性在生育期内的均值分别为: 19.54 ~ 23.80、3.58 ~ 5.25 和 2.19 ~ 2.39 nmol/(h·g), 显著高于秸秆不还田的 CK 处理(17.39、2.39 和 1.82 nmol/(h·g)); 春季还田(Ss)条件下的 4 个秸秆还田处理的 BG、CEL 和 BXYL 酶活性在生育期内的均值分别为: 18.38 ~ 23.54、3.79 ~ 5.08 和 2.01 ~ 2.41 nmol/(h·g), 也显著高于秸秆不还田的 CK 处理(15.76、2.22 和 1.86 nmol/(h·g))。但秸秆还田配施氮肥的处理仅增加水稻生育期内 BG 和 CEL 的活性(图 3, 图 4)。3 个配施氮肥的处理(N_B 、 N_{30B} 和 N_{60B})BG 和 CEL 活性在水稻生育期内均值为: 22.05 ~ 23.67 和 4.70 ~ 5.06 nmol/(h·g), 均高于秸秆还田但不施氮肥的 N_0 处理(18.96 和 3.68 nmol/(h·g)); 且 3 个配施氮肥的处理(N_B 、 N_{30B} 和 N_{60B})间 BG 和 CEL 活性无显著的差异($P > 0.05$)。

2.5 土壤酶活性与有机碳投入量及养分指标的相关性

表 2 中各处理土壤酶活性的相关性分析结果表

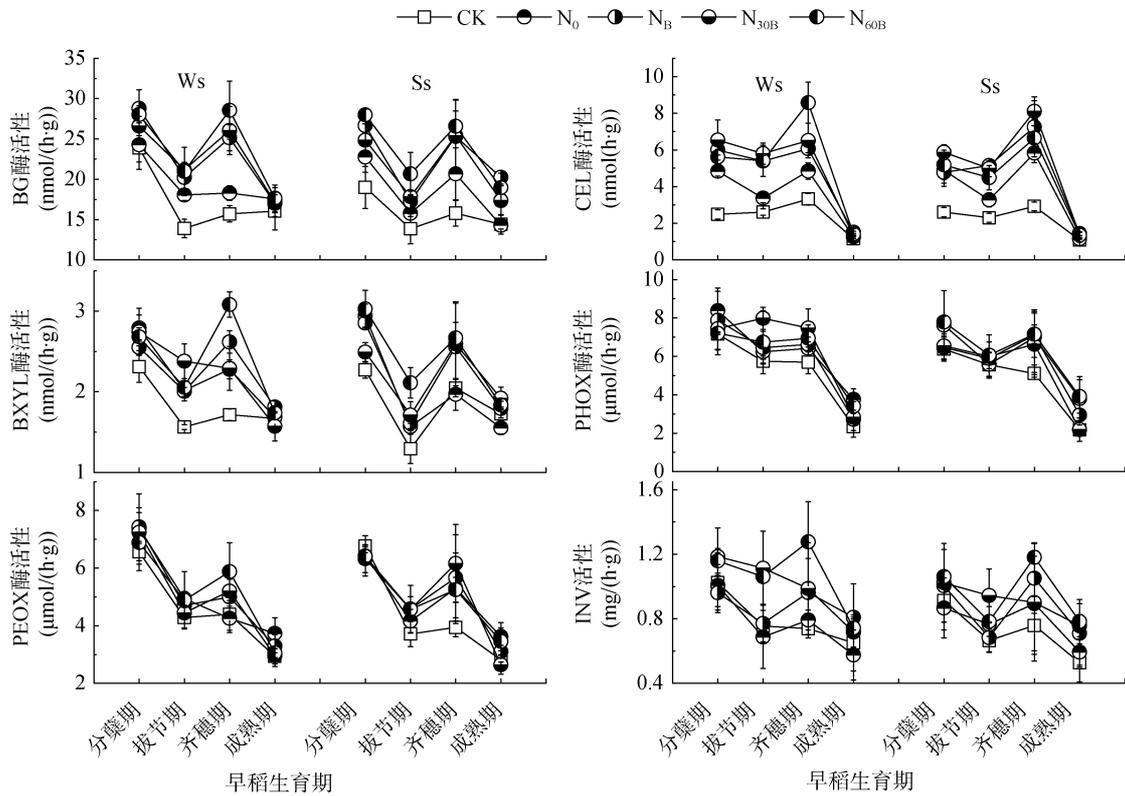


图 3 土壤酶活性随早稻生育期的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of soil enzyme activities under different treatments in early-rice growth stages

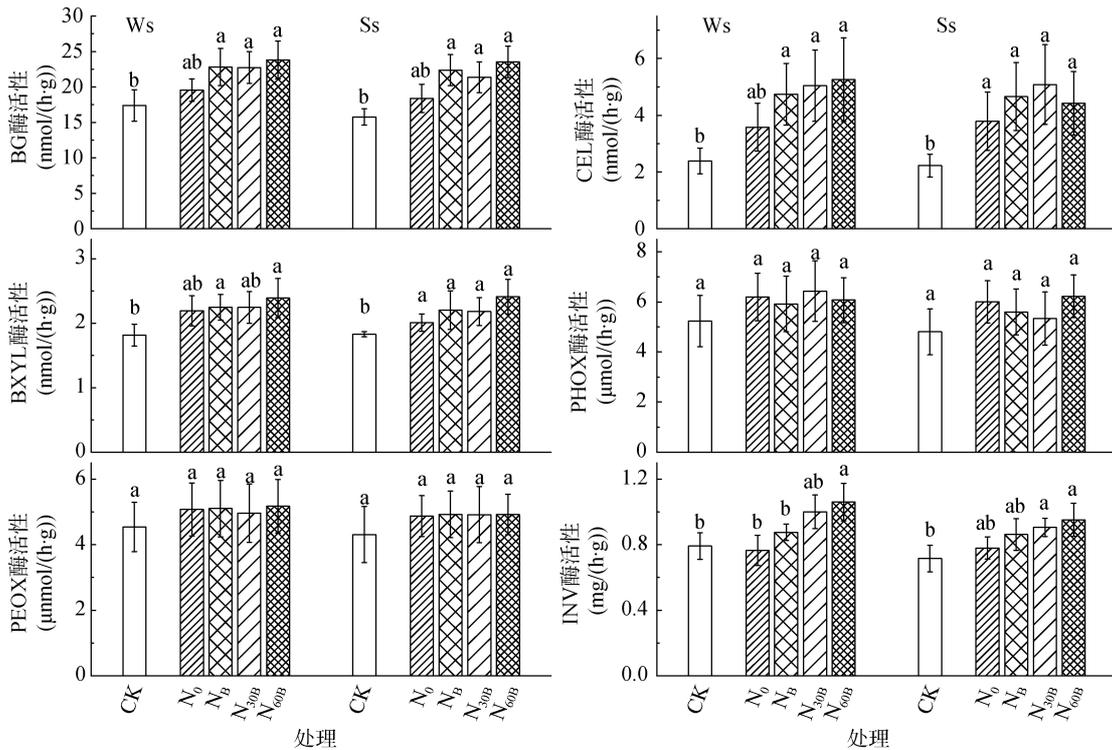


图 4 各处理早稻生育期土壤酶活性

Fig. 4 Comparison of soil enzyme activities under different treatments in early-rice growth stages

明：PHOX 除与 CEL 和 INV 之间无显著相关关系外 ($P>0.05$)，与 BG 和 BXYL 呈显著正相关 ($P<0.05$)，

与 PEOX 呈极显著正相关 ($P<0.01$)；其他酶活性两两之间均呈极显著正相关 ($P<0.01$)。由此可见，催化秸

表 2 土壤酶活性、有机碳投入量及养分指标间的相关性
Table 2 Correlation coefficients of soil enzyme activities, organic C input and soil nutrients in early-rice growth period

土壤酶	BG	CEL	BXYL	PHOX	PEOX	INV	有机碳投入量	全磷	碱解氮	有效磷	速效钾
BG	1	0.919**	0.934**	0.669*	0.819**	0.877**	0.938***	0.064	0.420	0.029	0.126
CEL		1	0.857**	0.608	0.839**	0.832**	0.942***	0.032	0.376	0.095	0.329
BXYL			1	0.711*	0.828**	0.798*	0.858**	0.208	0.286	0.143	0.198
PHOX				1	0.797**	0.566	0.544	0.593*	-0.030	0.561*	0.561*
PEOX					1	0.633*	0.778*	0.549	0.041	0.503	0.598*
INV						1	0.824**	-0.091	0.627*	-0.147	0.007

注：*** 表示相关性达到 $P < 0.001$ 显著水平；**表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平；* 表示相关性达到在 $P < 0.05$ 显著水平。

秆分解、促进土壤碳周转的 6 种酶之间是相互紧密联系的，共同调控土壤的物质循环和能量流动。

各处理土壤酶活性与其有机碳投入量及部分养分指标的相关性分析表明(表 2)：除 PHOX 外，其他 5 种酶与其有机碳投入量呈显著正相关；这表明与碳周转相关的 6 种酶在促进土壤有机质转化过程中，不仅具有专有特性，同时也存在着共性关系。但由于土壤酶参与土壤物质循环的同时会受到土壤环境的综合影响，因此参与土壤碳周转的 6 种酶仅与部分土壤养分指标具有一定的相关性。从表 2 结果可见 PHOX 与全磷、有效磷和速效钾这 3 个养分指标之间存在正相关关系，且达到显著水平($P < 0.05$)；PEOX 与速效钾之间存在显著的正相关关系；INV 与碱解氮之间存在显著的正相关关系。

3 讨论

利用冬闲期秸秆翻耕还田，能增加秸秆的腐解时间，提高冬闲期土壤碳周转相关酶的活性，促进土壤有机质转化。据统计，我国南方稻区约有冬闲田 2 000 万 hm^2 ，土地、温度、光照、水分、肥力等自然资源丰富^[35]，若能充分利用南方稻田冬、春自然资源，在冬闲期合理进行水稻秸秆还田，不仅可以减少稻草焚烧产生的环境危害，而且可能替代绿肥，在低温和非淹水条件下实现“固碳保氮”^[36]。本研究的田间试验位于江西鹰潭，该区冬季 0°C 积温为 $1\,737.0 \sim 2\,003.2^\circ\text{C}$ ，平均气温 $7.6 \sim 10.5^\circ\text{C}$ ，最冷月平均气温 $3.1 \sim 5.7^\circ\text{C}$ ，太阳辐射 $1\,219.9 \sim 1\,669.5 \text{ MJ/m}^2$ ^[37]。该区冬季太阳辐射较丰富，利于秸秆的腐解。本试验研究结果显示，冬季还田处理在冬闲期碳周转相关 6 种酶活性均高于春季还田处理，但在生育期仅 BG 与 PEOX 酶的全部处理以及其他 4 种酶的大部分处理在冬季秸秆还田处理高于春季还田。这进一步说明本试验稻区适合推广冬闲期秸秆翻耕还田的农田管理措施。

秸秆还田时配施氮肥在一定程度上影响土壤酶活性。在秸秆腐熟过程中，大量微生物的繁殖与对秸秆的分解会消耗土壤中大量的氮素，引起与作物生长对氮素的竞争，造成土壤对作物的氮素供应不足，从而影响作物生长^[38]，需要配施一定量的氮肥调节 C/N 比，以满足微生物分解秸秆过程中要吸收土壤速效氮^[12]。因此秸秆还田配施氮肥逐渐成为普遍的农田施肥管理措施。钱海燕等^[28]研究了秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响，结果表明：与单施秸秆相比，秸秆还田配施氮磷钾及微生物菌剂后，土壤过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性分别提高了 $37.5\% \sim 68.8\%$ 、 $32.3\% \sim 61.5\%$ 和 $48.8\% \sim 102\%$ 。与秸秆不还田处理相比，秸秆还田处理显著提高了土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性^[39]，这与矫丽娜等^[40]研究高量秸秆不同深度还田对黑土酶活性的影响结果相同。本试验研究结果显示，冬闲期秸秆还田时配施氮肥处理的 CEL 活性高于秸秆还田但不施氮肥的处理，生育期内秸秆还田配施氮肥处理的 BG 和 CEL 酶活性也高于秸秆还田但不施氮肥的处理，而不论是冬季还田还是春季还田，秸秆还田时配施的矿质氮肥比例并未造成 3 个氮肥处理间酶活性的显著差异。这说明尽管配施氮肥影响水稻土碳周转相关酶的活性，但由于后期基肥、分蘖肥和穗肥追施对氮素的补充，秸秆还田时氮肥前移处理，对土壤酶活性并未造成显著影响。因此，秸秆还田配施氮肥尤其是还田时配施氮肥的量对调控土壤碳周转的酶活性及其动力学机理仍有必要进一步研究。

4 结论

1) 利用冬闲期秸秆翻耕还田能增加冬闲期土壤与碳周转相关酶的活性，但对早稻生育期内这 6 种土壤酶活性的影响不一致。冬闲期冬季还田条件下各处理酶活性高于春季还田，但生育期内冬季秸秆翻耕还

田措施仅对土壤 β -葡糖苷酶和过氧化物酶有增加作用,其他酶个别处理表现不一致。

2) 秸秆还田配施氮肥在一定程度上影响土壤酶活性,但秸秆还田时配施氮肥的比例对土壤酶活性影响并不显著。秸秆还田时配施氮肥措施显著地增加冬闲期 β -纤维二糖苷酶活性,而对生育期内 β -葡糖苷酶活性和 β -纤维二糖苷酶有一定的增加作用,但秸秆还田时配施氮肥的 3 个比例间土壤酶活性并无显著差异。

3) 在秸秆还田并配施氮肥处理中,土壤酶活性之间关系密切。除多酚氧化酶与 β -纤维二糖苷酶和蔗糖酶之间无显著相关外,其他酶活性两两之间均呈显著正相关。对与碳周转相关的土壤酶活性影响最大的是各处理的有机碳投入量,除多酚氧化酶外,其他 5 种酶与其有机碳投入量呈显著正相关。而与碳周转相关的土壤酶活性与大多土壤养分指标间并无显著相关。多酚氧化酶与全磷、有效磷和速效钾之间存在正相关,过氧化物酶与速效钾间、蔗糖酶与碱解氮间存在正相关。

综上所述,在南方稻区尤其是江西双季稻产区,秸秆还田时间的提前能有效利用冬季积温及太阳辐射,增加秸秆的腐解时间,因此,在该区推广冬闲期秸秆翻耕还田措施能增加稻田土壤碳周转相关的酶活性,影响土壤有机质的周转,进而影响土壤的综合肥力水平,对土壤有机培肥的机理研究有重要意义。秸秆还田时配施氮肥能在一定程度上调控与碳周转相关的土壤酶活性,缓解秸秆分解的耗氮过程与作物生长需氮的竞争,对保障作物的生产具有重要的农学指导意义。

参考文献:

- [1] 李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [2] 李忠佩, 吴大付. 红壤水稻土有机碳库的平衡值确定及固碳潜力分析[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 46-52
- [3] 武际, 郭照盛, 鲁剑巍, 等. 水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 587-594
- [4] 李勇, 曹红娣, 邓九胜, 等. 小麦秸秆全量还田对土壤速效氮及水稻产量的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 46-51
- [5] 曾文伟, 石小江, 张礼红, 等. 稻草还田在双季稻生产中的应用效果研究[J]. 作物研究, 2011, 25(3): 215-217
- [6] 陈培峰, 董明辉, 顾俊荣, 等. 麦秸还田与氮肥运筹对超级稻强弱势粒粒重与品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(6): 715-722
- [7] 陈桂荣. 稻草还田-施用腐熟剂对晚稻产量及土壤肥力的影响[J]. 福建农业科技, 2014(6): 5-7
- [8] 庞成庆, 秦江涛, 李辉信. 水稻秸秆冬季还田对早稻产量和土壤钾素含量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(3): 83-88
- [9] Jawson M D, Elliott L F. Carbon and nitrogen transformations during wheat straw and root decomposition[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1986, 18(1): 15-22
- [10] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 等. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578
- [11] 曹一平. 秸秆还田后应补速效氮肥[N]. 农民日报, 2011: 7
- [12] 蒋云芳, 蒋新和, 周玲. 秸秆还田与化学氮肥配施技术探讨[J]. 江苏农业科学, 1998(4): 43-45
- [13] 朱培立, 王志明, 黄东迈, 等. 无机氮对土壤中有有机碳矿化影响的探讨[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 457-463
- [14] 葛立立, 马义虎, 卞金龙, 等. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 153-160
- [15] 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
- [16] Xie Z B, Liu G, Bei Q C, et al. CO₂ mitigation potential in farmland of China by altering current organic matter amendment pattern[J]. Science China(Earth Sciences), 2010, 53(9): 1351-1357
- [17] 马晓丽, 贾志宽, 肖恩时, 等. 渭北旱塬秸秆还田对土壤水分及作物水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 59-64
- [18] 马超, 周静, 刘满强, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 915-921
- [19] 缪彦, 许爱霞, 于倩倩, 等. 秸秆还田、有机肥以及化学氮肥对稻田耕地质量和水稻产量的影响[J]. 农民致富之友, 2015(11): 167-169
- [20] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 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[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 150-157
- [21] 高金虎, 孙占祥, 冯良山, 等. 秸秆与氮肥配施对辽西旱区土壤酶活性与土壤养分的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(4): 677-681
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [23] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987
- [24] 万忠梅, 宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J]. 土壤通报, 2009(4): 951-956
- [25] Caldwell B A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review[J]. Pedobiologia, 2005, 49: 637-644
- [26] Sinsabaugh R L, Gallo M E, Lauber C, et al. Extracellular enzyme activities and soil organic matter dynamics for northern hardwood forests receiving simulated nitrogen deposition[J]. Biogeochemistry, 2005, 75(2): 201-215
- [27] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 等. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. 生态环境, 2008, 19(2): 688-692
- [28] 钱海燕, 杨滨娟, 严玉平, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 440-445

- [29] 闫慧荣, 曹永昌, 谢伟, 等. 玉米秸秆还田对土壤酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2015, 43(7): 177-184
- [30] 冀保毅, 赵亚丽, 郭海斌, 等. 深耕条件下秸秆还田对不同质地土壤肥力的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(4): 104-109
- [31] 柳开楼, 李亚贞, 秦江涛, 等. 中亚热带稻田不同耕作栽培和施肥模式对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2015, 47(2): 310-317
- [32] 徐蒋来, 胡乃娟, 张政文, 等. 连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 71-75
- [33] 吴其聪, 张丛志, 张佳宝, 等. 不同施肥及秸秆还田对潮土有机质及其组分的影响[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1034-1039
- [34] Stemmer M. Multiple-substrate enzyme assays: A useful approach for profiling enzyme activity in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(3): 519-527
- [35] 徐琪. 中国稻田生态系统[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [36] Bird J A, Kessel C, Horwath W R. Stabilization of C-Carbon and Immobilization of N-Nitrogen from Rice Straw in Humic Fractions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(3): 806-816
- [37] 魏丽, 殷剑敏, 王怀清. GIS 支持下的江西省冬季农业合理布局气候区划[J]. 江西气象科技, 2000, 23(1): 27-32
- [38] 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): 7-8
- [39] 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
- [40] 矫丽娜, 李志洪, 殷程程, 等. 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 665-672

Effects of Rice Straw Returning Timing Combined with Nitrogen Fertilization on Enzyme Activities of Paddy Soil

WANG Qianqian, YAO Shuihong*, ZHANG Bin, YUE Longkai, HAN Ya, ZHANG Yueling, ZHOU Xuan
(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of straw returning timing combined with nitrogen (N) fertilizer application ratio on enzyme activities in paddy soil in order to provide theoretical basis for fostering soil fertility and stabilizing paddy field ecosystem function. The experiment consisted of two rice straw returning times (W_S : returning in winter; S_S : returning in spring) and four N fertilizer application levels (N_0 , straw returning and no N fertilization during all the experimental course; N_B , conventional fertilization, and no N fertilization when straw returning; N_{30B} , 30% N of base fertilizer applied when straw returning; N_{60B} , 60% N of base fertilizer applied when straw returning). The results showed that: 1) Straw returning in winter increased the activities of six soil enzymes (β -Glucosidase, β -Cellobiosidase, β -Xylosidase, Phenol oxidase, Peroxidase and Invertase) related to C turnover. In winter fallow period, enzyme activities were higher at winter straw returning than those at spring straw returning, and winter straw returning increased both the activities of β -Glucosidase and Peroxidase during early-rice growth stage. 2) Rice straw returning combined with N fertilization application significantly increased β -cellobiosidase activity both in winter fallow period and in early-rice growth stage, but there was no significant difference in soil enzyme activities under the three levels of N fertilizer application. 3) All the enzyme activities, except Phenol oxidase, had significantly positive correlations with organic C inputs. Therefore, rice straw returning combined with N fertilizer application in winter can regulate soil enzyme activities related to C turnover to some extent, which has ecological significance to promoting straw returning in winter and ensuring the crop yield.

Key words: Paddy soil; Straw returning timing; Straw returning combined with N fertilizer application; Enzyme activities