

秸秆还田配施腐熟剂对银北盐碱地改良效果研究

王 静^{1,2}, 肖国举², 张峰举², 王 军³, 许 兴¹

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学环境工程研究院, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏农垦局前进农场, 宁夏 平罗 753402)

摘要: 采用田间试验方法, 设置水稻秸秆不施腐熟剂为对照和水稻秸秆配施“沃土天地”、“鸿生源”、“谷霖”、“君德”、“农富康”等品牌秸秆腐熟剂为处理, 分析了不同处理水稻生育进程及群体结构、产量及其构成、水稻品质以及土壤物理和化学性质。结果显示: (1) 秸秆还田配施不同秸秆腐熟剂在不同程度上提高水稻的出苗率和保苗率, 以“君德”牌秸秆腐熟剂出苗率和保苗率最高; (2) “君德”牌秸秆腐熟剂处理结实率最高, 达到 77.3%; (3) 还田秸秆腐熟配施秸秆腐熟剂可不同程度的增加土壤养分, 土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量在秸秆还田+“君德”牌秸秆腐熟剂处理中明显高于对照。(4) 施用秸秆腐熟剂后土壤 >0.25 mm 团聚体含量显著增加, 含量均达 46.18% 以上; 以秸秆还田+“沃土天地”牌有机物料处理容重最低, 为 $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 比对照下降了 7.6%; 并提高了土壤含水量 1.88% ~ 10.8%; (5) 施用不同秸秆腐熟剂不同程度的增加了水稻产量, 最高增幅为 4.64%; (6) 不同处理的出糙率、精米率、整精米率都有所提高, 而垩白率、垩白度都有所降低, 但不同腐熟剂处理对稻米品质等级的影响差异不显著。综合评价盐碱地水稻秸秆还田及配施不同品牌秸秆腐熟剂对盐碱地种植水稻的影响, 以“君德”牌秸秆腐熟剂效果最佳。

关键词: 盐碱地; 秸秆还田; 秸秆腐熟剂; 土壤改良; 水稻品质

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A

Effect of returning straw with straw-decomposing inoculants on saline-alkali soil in North Yinchuan of China

WANG Jing^{1,2}, XIAO Guo-ju², ZHANG Feng-ju², WANG Jun³, XU Xing¹

(1. School of Agriculture Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Institute of Environmental Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Qianjin farm of bureau of reclamation in ningxia, Pingluo 753402, China)

Abstract: The effect of returning straw with different straw-decomposing inoculants on rice growth and the physical-chemical properties of soil. A field experiment, with six treatments: only straw returning as control, straw returning + “wotutiandi”, “hongshengyuan”, “guling”, “junde”, “nongfukang” straw-decomposing inoculants as treatments. Results showed that (1) applying straw-decomposing inoculants enhanced rice seedling emergence and survival rate of seedlings. In comparison to control, both rice seedling emergence and survival rate of seedlings were significantly increased with straw returning “junde” straw-decomposing inoculants. (2) In comparison to control, setting percentage was increased with straw returning + “junde” straw-decomposing inoculants up to 77.3%. (3) The concentration of soil organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolysable nitrogen, available phosphorus and available potassium under the treatment of returning straw + “junde” straw-decomposing inoculants were higher than those with the treatment of returning single straw only. (4) The percentage of soil dry-aggregates >0.25 mm under straw returning and straw-decomposing inoculants addition were increased by 46.18%, but those <0.25 mm were decreased. Straw returning + “wotutiandi” straw-decomposing inoculants decreased the bulk density by $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, down 7.6% than CK, and increased the soil water contents from 1.88% to 10.8%. (5) The rice yield were increased by straw-decomposing inoculants, and the highest increment rates were 4.64%. (6) The treatments of straw returning added with different straw-decomposing inoculants improved the appearance quality of rice, chalky rice rate but reduced the cooking quality of gel consistency. There were

收稿日期: 2017-01-23

修回日期: 2017-03-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501302); 国家科技支撑计划课题(2013BAC02B03); 宁夏自然科学基金(NZ16030)

作者简介: 王 静(1981—), 女, 山东烟台人, 助理, 博士生, 主要从事盐碱地改良与农业生态方面的研究。E-mail: wangjing@nxu.edu.cn。

通信作者: 许 兴, 男, 宁夏银川人, 教授, 博士, 主要从事农业生理生态方面的研究。E-mail: xuxingscience@126.com。

no significant influence on rice nutrition quality among different straw-decomposing inoculants treatments. In conclusion, straw returning added straw-decomposing inoculants improved rice yield and soil properties. Except the soil bulk density, all the tested items are enhanced with the treatments of straw returning plus inoculants than those with straw returning only. Therefore, the addition of straw-decomposing inoculants is recommended in saline-alkali soil for high efficient straw returning.

Keywords: saline-alkali soil; straw returning; straw-decomposing inoculant; soil improvement; rice quality

中国是世界盐碱地大国之一,盐碱地面积约为 $9.91 \times 10^7 \text{ hm}^2$,土壤盐渍化已经成为严重的生态环境问题^[1]。盐碱地因其表面盐分积聚,土壤渗透率低,不利于植物的生长^[2],严重影响土地生产力和农业可持续发展。因此,土壤盐渍化已经成为最危急的环境问题之一^[3]。宁夏银北地区盐碱地质地黏重,土壤湿时泥泞、不易透水,干时坚硬、透水性差,土壤肥力低。宁夏引黄灌区中低产田调查表明:灌区耕地面积为 $3.91 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其中不同盐渍化程度耕地占总耕地面积的 73.3%,大面积由盐渍化导致的中低产田严重制约着当地农业的发展^[4]。

中国秸秆资源丰富,每年生产约 7 亿 t 农作物秸秆^[5],据统计,作物秸秆类有机固体废弃物的数量每年以 5%~10% 的速度递增^[6],据测算,全部秸秆所含氮、磷、钾量相当于全国化肥用量的 1/3 左右,是非常可观的生物肥力资源。在发展循环农业的过程中,农作物秸秆已经成为不可或缺的重要资源。实践证明,秸秆还田腐熟是当前利用水稻秸秆的有效方法,有利于提高土壤有机质和土壤养分,改善土壤结构和土壤墒情,培肥地力,特别对缓解我国土壤氮、磷、钾比例失调的矛盾,弥补磷、钾肥不足,减少化肥用量,减少秸秆焚烧造成的大气污染、净化环境,保护生态环境,实现农业可持续发展具有十分重要的意义。但是,目前我国秸秆还田率不足 50%,与欧美国家高达 90% 的秸秆还田率相比,还具有很大的差距^[7]。

秸秆腐熟剂是现代农业迅速发展起来的一种高

效生物制剂,针对传统秸秆还田腐解时间长,不利于大面积推广的问题,通过增加土壤微生物群落的活性和功能多样性,加速农田秸秆等有机废弃物腐熟,使秸秆中所含的有机质及磷、钾等元素转换为植物生长所需的营养物质,并产生大量有益微生物,刺激作物生长、提高土壤有机质含量、增强植物抗逆性、提高作物产量。目前,已有较多关于秸秆腐熟剂的应用效果报道^[8-9],但均是在较高基础肥力土壤和高产栽培条件下进行的,对于障碍性土壤,尤其盐碱化土壤中鲜见报道。因此,随机选择市面上主推的几种秸秆腐熟剂辅以大田试验研究,开展秸秆还田配施不同秸秆腐熟剂施用效果的研究,以期为宁夏银北盐碱地改良利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2014—2015 年在宁夏石嘴山市平罗县西大滩前进农场试验基地 ($106^{\circ}13' \sim 106^{\circ}26' \text{ E}$, $38^{\circ}45' \sim 38^{\circ}55' \text{ N}$) 进行。试验地为 2014 年新开垦盐碱荒地,位于宁夏银川北部平原引黄灌区,西临贺兰山东麓,东接黄河冲积平原,属于黄河中上游灌溉地区,是我国龟裂碱土集中分布的典型区域。该地区属于干旱的大陆性气候,年降水量 150~205 mm,年蒸发量 2 000 mm 以上,年均气温 9.5°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,350^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上。一般地下水埋深 1.5 m 左右,地下水主要含硫酸盐、氯化物,并且普遍含有苏打。试验区龟裂碱土土层 0~40 cm,为壤质粘土。

表 1 试验区土壤基本理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of takyrsolonzets

化学性质 Chemical items					物理性质 Physical item					
pH 值 pH value	全盐 Total saline /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱化度 Exchangeable sodium saturation percentage/%	有机质 Organic matter /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷 Total P /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全钾 Total K /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	容重 Bulk density /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	各土壤粒径质量分数/%		
								黏粒 Clay ($< 2 \mu\text{m}$)	砂粒 Sand ($> 50 \mu\text{m}$)	粉粒 Silt ($2 \sim 50 \mu\text{m}$)
9.0~10.5	3.5	42.1	7.85	0.76	0.69	14.5	1.59	40.45	27.05	32.50

供试水稻品种为“富源 4 号”。为了验证不同商用腐熟剂品牌在盐碱地上的应用效果,随机选择腐熟剂品牌为北京沃土天地生物科技有限公司生产的“沃土天地”牌有机物料、广西鸿生源环保科技有限公司

公司生产的“鸿生源”牌秸秆腐熟剂,上海联业农业科技有限公司生产的“谷霖”牌腐秆剂,山东君德生物科技有限公司生产的“君德”牌秸秆腐熟剂,河南农富康生物科技有限公司生产的“农富康”牌秸秆发

酵剂。

试验设置秸秆还田不加腐熟剂为对照(CK),秸秆还田+“沃土天地”牌有机物料(straw returning + ‘wotutiandi’ straw-decomposing inoculants, SW),秸秆还田+“鸿生源”牌秸秆腐熟剂(straw returning + ‘hongshengyuan’ straw-decomposing inoculants, SH),秸秆还田+“谷霖”牌腐秆剂(straw returning + ‘gulin’ straw-decomposing inoculants, SG),秸秆还田+“君德”牌秸秆腐熟剂(straw returning + ‘junde’ straw-decomposing inoculants, SJ),秸秆还田+“农富康”牌秸秆发酵剂(straw returning + ‘nongfukang’ straw-decomposing inoculants, SN),共6个处理,3次重复,18个小区。各处理随机区组排列,小区面积45 m²。每小区单灌、单排,设埂隔离,周围设保护行。

按照腐熟剂使用说明处理水稻秸秆并观察腐解程度。采用原位还田秸秆堆腐的方式,利用收割机将秸秆粉碎后,按15~20 cm厚度逐层堆放,堆高1.5 m左右,堆积在离水源较近的地方,采用层间撒施腐熟剂,同时配合施用尿素5~10 kg或碳铵10~15 kg稀释液,使秸秆含水率保持在60%左右,外层用黑薄膜包裹,防止水分损失过快。当堆温升至55℃以上时翻堆,以后每隔5~7 d翻堆一次,翻堆3~4次后基本发酵腐熟。腐熟后撒施到田间,其中“沃土天地”牌有机物料、“鸿生源”牌秸秆腐熟剂、“谷霖”牌腐秆剂、“君德”牌秸秆腐熟剂用量30 kg·hm⁻²。灌水泡田2 d后播种,田间留3~4 cm浅水。“农富康”牌秸秆发酵剂采用100 g发酵剂与1 kg红糖、10 kg水配成活化成菌液后,兑水掺到粉碎秸秆中并压实发酵。基肥施用量为N 105 kg·hm⁻²,P₂O₅ 112.5 kg·hm⁻²,分别采用尿素(含N46.4%)、磷酸二铵(含P₂O₅ 46%,N18%),硫酸钾(含K₂O52%)。2014年5月2日整地后灌水10~15 cm,在水未下渗时撒播水稻,播种量900 kg·hm⁻²,2014年10月8日收获,次年同期播种水稻。各处理秸秆还田量和田间管理相同。

1.2 测试指标和方法

1.2.1 土壤理化性质的测定 于2014年、2015年水稻播种前和收获后采用“S”形取样法采集表层土壤样品(0~20 cm)。测定土壤容重,含水量、pH值、全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量,有机质含量。土壤团聚体分级参考沙维诺夫干筛法^[10],分离出>5 mm、2~5 mm、1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm团聚体。土壤容重的测定采用环刀法,土壤含水量的测定采用烘干法,土壤pH值

的测定采用电位法、全氮采用开氏法、碱解氮采用碱解扩散法、速效磷的测定采用碳酸氢钠法测定、速效钾采用火焰光度法,土壤有机质采用容量法,具体分析方法参照《土壤农业化学分析方法》^[11]。

1.2.2 水稻产量及其构成测定 成熟期每小区取50穴测定有效穗数;各小区按照平均穗数取10穴进行考种,分别测定穗长(穗颈节到穗的长度,不含芒)、穗粒数、结实率(水漂法),计算实粒千粒重(将实粒用105℃烘24 h,用感量0.01 g的电子天平称重),按照产量构成=亩穗数×穗粒数×千粒重,计算理论产量。

1.2.3 水稻品质的测定 籽粒品质的测定按照农业部行业标准:食用稻品种品质参照NY/T-593-2013,委托农业部稻米及制品质量监督检验测试中心测试(浙江)。将成熟期收获的籽粒置于阴凉通风处自然干燥,主要测定外观品质(粒长、长宽比、垩白粒率、垩白度、透明度),加工品质(糙米率、精米率、整精米率),蒸煮品质(碱消值、胶稠度、直链淀粉),营养品质(蛋白质)。

1.3 数据处理

采用SPSS 19.0统计分析软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同腐熟剂处理对水稻生长发育及群体结构的影响

由表2看出,各处理的出苗率和保苗率均高于对照,且保苗率在各处理间差异不大,其中“君德”牌秸秆腐熟剂出苗率和保苗率最高,分别为79.6%和95.5%。4个处理水稻生育进程基本一致,说明施用秸秆腐熟剂对水稻生长生育进程无明显影响。

2.2 不同秸秆腐熟剂处理对水稻产量及其构成的影响

水稻籽粒产量由收获期单位面积有效穗数、穗粒数和千粒重决定,而穗粒数受总粒数和结实率影响。由表3看出,“君德”牌秸秆腐熟剂处理株高最高,但与其它处理差异不显著;“沃土天地”牌有机物料和“谷霖”牌秸秆腐熟剂处理结实率均在75.8%以上;“鸿生源”牌秸秆腐熟剂千粒重处理最高,达到17.60 g;施用不同秸秆腐熟剂处理的水稻产量与不施用腐熟剂的处理相比,均有不同程度的增加,最高增幅为4.64%,说明秸秆还田配施腐熟剂对水稻株高、结实率、千粒重有一定的促进作用,但不同腐熟剂增产效果存在差异,以“君德”牌秸秆腐熟剂和“谷霖”牌腐秆剂增产效果较好。

表 2 水稻生育进程及群体结构

Table 2 Rice growth process and population structure

处理 Treatment	出苗期 Seedling stage (月-日) (m-d)	出苗率 Percentage of seedling emergence /%	保苗率 Survival rate of seedling /%	分蘖始期 Beginning tillering stage (月-日) (m-d)	始穗期 Initial heading stage (月-日) (m-d)	拔节期 Elongation stage (月-日) (m-d)	成熟期 Maturation stage (月-日) (m-d)
CK	05-10	48.5	78.2	05-21	07-19	07-27	09-25
SW	05-10	67.2	89.5	05-22	07-20	07-27	09-25
SH	05-10	75.3	93.5	05-22	07-19	07-27	09-25
SG	05-10	65.8	85.6	05-21	07-20	07-27	09-25
SJ	05-10	79.6	95.5	05-22	07-20	07-27	09-25
SN	05-10	65.2	83.2	05-22	07-20	07-27	09-25

表 3 不同处理对水稻产量及其构成因素的影响

Table 3 Influence of different treatments on rice yield and its components

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	穗长 Panicle length /cm	结实率 Setting percentage /%	千粒重 1000-grain weight/g	理论单产 Theoretical productivity /(kg·hm ⁻²)	实产 Actual yield /(kg·hm ⁻²)
CK	93.6a	19.6a	75.6a	16.08ab	2758b	2674c
SW	92.3a	20.1a	75.8a	15.48b	3001a	2743bc
SH	93.5a	19.3a	74.4a	17.60a	2810ab	2762b
SG	96.5a	19.6a	72.5a	15.68b	2916a	2788a
SJ	100.3a	19.6a	77.3a	15.90b	2827ab	2798a
SN	89.6b	18.9a	67.6ab	14.60c	2814ab	2756b

注:同一列不同小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著,下同。

Note: Values within the same column followed by different small letters represent significant difference among different treatments at the 5% levels. The same as below.

2.3 不同秸秆腐熟剂处理对土壤物理性质的影响

2.3.1 土壤团聚体及其稳定性

土壤团聚体及其稳定性影响土壤物理、生物、化学等过程,作为土壤结构的基本组成单元,其质量和数量不仅决定土壤肥力的高低,而且还与土壤的抗蚀能力、环境质量和固碳潜力等有直接的关系^[12]。本研究中各级土壤风干(干筛)团聚体百分含量分布为($> 5 \text{ mm}$) $>$ ($2 \sim 5 \text{ mm}$) $>$ ($1 \sim 2 \text{ mm}$) $>$ ($0.5 \sim 1 \text{ mm}$) $>$ ($0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$)。且施用秸秆腐熟剂后干筛($> 0.25 \text{ mm}$)团聚体含量显著增加,含量均达 46.18% 以上。与秸秆直接还田相比,秸秆还田配施不同品牌的腐熟剂处理 $> 0.25 \text{ mm}$ 土壤风干团聚体含量都有所增加, $< 0.25 \text{ mm}$ 机械稳定性团聚体含量有所降低(表 4)。总体来看,秸秆还田配施秸秆腐熟剂可显著增加盐碱化土壤 $> 0.25 \text{ mm}$ 土壤风干团聚体含量。

2.3.2 土壤容重和水分含量

土壤容重可以概括地反映土壤质地、结构状况以及腐殖质含量的高低,是反映土壤肥力的一个重要物理指标。而土壤含水量则决定了土壤的宜耕性,并与作物的正常生长发

育密切相关^[13]。2015 年实验收获后耕层土壤容重、含水量在不同处理间存在显著差异(表 5)。各处理土壤容重在 $1.46 \sim 1.54 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,其中秸秆还田 + “沃土天地”牌有机物料处理容重最低,为 $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,与对照相比降低了 7.6%;秸秆还田配施不同品牌秸秆腐熟剂处理均较秸秆直接还田处理土壤容重降低。吴婕等^[14]的研究表明,与秸秆不还田相比,秸秆还田后土壤总孔隙度增加,容重降低,与本研究的研究结果一致。秸秆还田配施不同品牌秸秆腐熟剂提高了土壤含水量,其中秸秆还田 + 不同品牌秸秆腐熟剂处理较秸秆常规还田处理土壤含水量提高了 1.88% ~ 10.8%。该结果表明秸秆还田配施秸秆腐熟剂,改善了土壤结构、增强了土壤保肥蓄水能力。

2.4 土壤化学性质

研究表明,秸秆经土壤微生物分解直接释放氮素增强土壤中氮素含量;同时增加土壤中微生物含量,促进了土壤微生物的生命活动,加快还田秸秆腐解进程,最终实现对土壤养分含量的有效提升^[15]。

表4 不同秸秆还田腐熟剂处理对土壤团聚体分布的影响/%
Table 4 Distribution of soil dry-aggregates in soils under different treatments

处理 Treatment	团聚体粒径 Aggregate size						
	> 5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm	>0.25 mm
CK	33.32 ± 2.75bA	12.43 ± 0.98cA	5.28 ± 0.17dA	3.96 ± 0.06dA	1.10 ± 0.23dA	1.21 ± 0.09dA	42.70 ± 1.26aC
SW	26.21 ± 1.25bA	15.86 ± 0.65cA	5.65 ± 0.09dA	3.42 ± 0.08dA	1.73 ± 0.09dA	0.95 ± 0.12eA	46.18 ± 1.16aC
SH	23.12 ± 1.36bA	13.27 ± 0.24cA	4.73 ± 0.16dA	2.86 ± 0.26A	1.24 ± 0.13dA	1.16 ± 0.14dA	53.62 ± 0.63aB
SG	22.12 ± 1.85bA	15.68 ± 0.38cA	5.31 ± 1.25dA	3.45 ± 0.18dA	1.30 ± 0.05dA	0.91 ± 0.07eA	51.23 ± 0.19aB
SJ	13.69 ± 1.06bA	11.43 ± 0.73bA	5.22 ± 0.32cA	2.31 ± 0.46cA	1.87 ± 0.04cA	1.12 ± 0.05cA	64.36 ± 2.15aA
SN	28.07 ± 1.12bA	14.78 ± 0.54cA	4.32 ± 0.13dA	3.19 ± 0.21dA	0.99 ± 0.11dA	0.67 ± 0.15eA	47.98 ± 0.05aC

注:同一行不同小写字母表示不同粒级团聚体在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著,同一列不同大写字母表示不同处理相同粒级团聚体在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Values within the same line followed by different small letters represent the difference among different aggregates were significant at the 5% levels, values within the same column followed by different capital letters represent the the difference among different treatments were significant at the 5% levels.

表5 不同处理土壤容重和含水量

Table 5 Effects of different treatments on soil bulk density and water content

处理 Treatment	容重 Soil bulk density ($g \cdot cm^{-3}$)	较秸秆直接 还田降低 Decrease /%	含水量 Soil water content /%	较秸秆直接 还田降低 Decrease /%
CK	1.58a	—	21.3b	—
SW	1.46b	7.59	22.2ab	4.23
SH	1.51ab	4.43	23.4a	9.86
SG	1.48b	6.32	23.6a	10.80
SJ	1.47b	6.96	22.9ab	7.51
SN	1.54a	2.53	21.7ab	1.88

本研究中,随着试验年份的推进,土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾发生了不同程度减少,而秸秆还田则在一定程度上缓解了土壤养分的下降。试验结果表明(表6),与对照相比,秸秆还田配施不同品牌秸秆腐熟剂处理对2015年水稻收获后土壤pH值的影响不显著,但提高了土壤全氮、碱解氮、速效磷、速效钾,降低了土壤全盐含量。其中,土壤全盐含量降低了1.21%~3.01%,以秸秆还田配施“沃土天地”牌有机物料对盐碱化土壤的改良效果最为显著,秸秆还田配施“农富康”牌秸秆发酵剂效果较差,但各处理与对照相比差异显著($P < 0.05$)。土壤全氮含量提高了5.89%~44.5%,同样以秸秆还田配施“沃土天地”牌有机物料增加效果最为显著。土壤碱解氮含量提高了2.28%~39.89%,以“鸿生源”牌秸秆腐熟剂处理增加效果最为显著,其次是处理“谷霖”牌腐熟剂,但各处理间均未达到显著性差异。研究结果表明,秸秆腐熟配施秸秆腐熟剂可不同程度的增加土壤养分,且不同品牌腐熟剂对不同养分含量的提高存在差异,但不显著。说明秸秆配施秸秆

腐熟剂不仅可以缩短秸秆腐熟时间,提高土壤养分,而且还可以降低土壤盐渍化的风险。

2.5 不同秸秆腐熟剂对水稻品质的影响

稻米品质性状除了由遗传因素控制外,还受水稻生长期间的环境条件和栽培技术条件的影响^[16-18]。稻米品质指标主要包括:加工品质、外观品质、蒸煮品质和营养品质等^[19]。多数研究认为秸秆还田有利于稻米品质的优化,但结论不一。

2.5.1 稻米的加工品质和外观品质 水稻秸秆还田配施秸秆腐熟剂可明显改善稻米的加工品质和外观品质。本研究结果表明(表7),不同处理的糙米率、精米率、整精米率都有所提高,而垩白粒率、垩白度都有所降低。尤其是整精米率和垩白度,秸秆还田配施“沃土天地”牌有机物料和秸秆还田配施“谷霖”牌腐熟剂处理间的差异均达到显著水平。秸秆还田配施“鸿生源”牌秸秆腐熟剂也能使整精米率提高,垩白率、垩白度略有降低。

2.5.2 稻米的蒸煮品质和营养品质 水稻秸秆还田配施秸秆腐熟剂对稻米的营养品质和蒸煮品质也有一定的影响。测定结果表明(表8),秸秆还田配施秸秆腐熟剂使稻米蛋白质含量提高,支链淀粉含量降低,胶稠度变软,稻米品质明显改善;但与不同品牌秸秆腐熟剂对稻米营养品质的影响相比,不同品牌间差异未达到显著水平。

3 讨论与结论

作物秸秆还田是有效利用秸秆资源的重要途径。大量研究表明,秸秆还田不仅可以改善土壤物理性质和生物学特性,还可以提高土壤有机质和养分有效性,提升作物产量和品质^[20]。当腐熟剂应用于秸秆还田中时,腐熟剂中的有益微生物以秸秆为

表 6 水稻收获后不同处理土壤化学性质

Table 6 Soil chemical properties under different treatments after rice harvesting

处理 Treatments	pH	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Hydrolisable nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	全盐 Salt content /(g·kg ⁻¹)	速效磷 Available prophorus /(mg·kg ⁻¹)	碱化度 Exchangea ble sodium saturation percentage/%	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)
CK	9.58	0.34a	26.70b	3.32a	5.3a	35.2a	170.6b	3.82b
SW	9.17	0.49a	29.6b	3.22a	1.63b	30.4a	203.6a	4.17ab
SH	9.36	0.46a	29.51b	3.27a	5.24a	31.2a	104.3c	4.74a
SG	9.22	0.39a	27.63b	3.23a	1.29b	29.9a	110.2c	2.56c
SJ	9.85	0.36a	37.35a	3.24a	1.03b	30.5a	125.9bc	5.96a
SN	9.18	0.41a	27.31b	3.28a	3.12a	29.6a	95.0c	4.01b

表 7 不同处理对水稻稻米加工品质和外观品质的影响

Table 7 Milling quality and appearance quality indices under different treatments

年份 Year	处理 Treatment	加工品质 Milling quality			外观品质 Appearance quality				
		糙米率 Brown rice rate/%	精米率 Milled rice rate/%	整精米率 Head milled rice rate/%	粒长 Grain length /mm	长宽比 Ratio of length to width	垩白粒率 Chalky grains rate/%	垩白度 Chalkiness degree/%	透明度 (级) Transparence
2014	CK	75.6a	73.2a	64.9b	4.6a	1.5a	9a	4.9a	2a
	SW	80.8a	73.5a	65.1b	4.6a	1.4a	7a	3.5a	2a
	SH	76.3a	73.8a	64.9b	4.6a	1.5a	5b	2.3a	2a
	SG	79.9a	73.6a	63.2a	4.7a	1.5a	3c	1.8a	2a
	SJ	76.3a	73.5a	61.8a	4.6a	1.5a	4d	2.2a	2a
	SN	77.9a	74.3a	56.5b	4.7a	1.5a	5b	3.9a	2a
2015	CK	75.6a	73.2a	65.2ab	4.7a	1.5a	9a	4.9a	2a
	SW	79.9a	73.3a	65.9a	4.7a	1.5a	8a	3.4a	2a
	SH	76.7a	74.2a	66.4a	4.7a	1.5a	6b	2.5a	2a
	SG	78.5a	74.2a	67.8a	4.7a	1.5a	3c	3.1a	2a
	SJ	77.3a	74.3a	70.2a	4.7a	1.5a	5b	3.5a	2a
	SN	78.6a	73.5a	65.4ab	4.7a	1.5a	9a	3.2a	2a

载体大量繁殖,产生大量有益微生物,能够加速秸秆的腐熟,增加土壤有机质,改善土壤物理化学性质,促进有效养分的释放,改良土壤结构,从而提高作物产量。秸秆腐熟剂施用效果受产品质量、腐解方式、区域气候、土壤特性以及土著微生物的拮抗/协同作用影响较大^[21]。在实际生产和操作过程中,受技术水平和生产设备的限制,生产企业鉴于多种原因,通常只是标注产品部分微生物种类、且较为笼统、模糊^[22],很难从生物技术角度来评定产品的优劣。

为了验证不同秸秆腐熟剂产品在水稻秸秆还田模式下的应用效果,在宁夏银北盐碱地进行了不同秸秆腐熟剂的应用筛选试验。本次试验结果表明,与秸秆直接还田相比,秸秆还田配施秸秆腐熟剂可显著提高作物的产量,施用不同秸秆腐熟剂不同程

度的增加了水稻产量,最高增幅为 4.64%,这与郑支林^[23],刘震^[24],李仟^[25]等的研究结果一致。团聚体是土壤的基本结构单元,是形成良好土壤结构的物质基础,能够反映土壤的整体肥力状况^[26]。盐碱化土壤的显著特征是土壤团粒结构破坏与消失,造成土壤物理性质恶化^[27]。> 0.25 mm 的土壤团聚体数量在一定程度上反映了土壤供储养分能力的高低。本文的研究结果表明,秸秆还田提高了 > 0.25 mm 风干团聚体含量,降低了 < 0.25 mm 风干团聚体含量。其中秸秆还田配施“君德”牌秸秆腐熟剂 > 5 mm 机械稳定性团聚体含量增加。同时,秸秆还田配施秸秆腐熟剂提高了土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量,降低了土壤容重。

表8 不同处理对水稻稻米蒸煮品质和营养品质的影响

Table 8 Rice cooking quality and nutritional quality under different treatments

年份 Year	处理 Treatment	蒸煮品质 Cooking quality			营养品质 nutritional quality
		碱消值(级) Alkali digestion value	胶稠度 Gel consistency /mm	直链淀粉 Amylose content /%	蛋白质 质量分数 Protein content/%
2014	CK	7.0a	79.3a	16.3a	6.5a
	SW	7.0a	81.8a	16.1a	6.5a
	SH	7.0a	80.5a	15.9a	6.5a
	SG	7.0a	82.1a	16.1a	6.7a
	SJ	7.0a	80.3	16.2a	6.6a
	SN	7.0a	79.5a	16.2a	6.4a
2015	CK	7.0a	79.5a	16.2a	6.5a
	SW	7.0a	85.5a	16.1a	6.7a
	SH	7.0a	82.3a	15.7a	6.5a
	SG	7.0a	81.5a	16.0a	6.5a
	SJ	7.0a	85.4a	16.2a	6.6a
	SN	7.0a	81.8a	16.1a	6.5a

多数研究认为秸秆还田有利于稻米品质的优化,但结论不一。葛立立等^[28]研究小麦秸秆还田后,稻米的垩白粒率、垩白度和支链淀粉含量明显下降,长宽比增加,胶稠度略有增加,表明秸秆还田可有效改善稻米的外观品质与蒸煮品质。刘世平^[29]等研究发现,小麦秸秆还田可提高稻米的出糙率、精米率和整精米率,降低垩白率和垩白度,明显改善了稻米的加工品质和外观品质;李宝灿^[30]的研究结果表明秸秆全量还田可提高水稻的整精米率、减少垩白,改善稻米的加工和外观品质,还可以降低米粒长度,增加米粒宽度,降低米粒的长宽比。本研究结果表明,秸秆还田配施腐熟剂提高了稻米糙米率、精米率、整精米率、蛋白质含量,降低了垩白率和垩白度。因此,秸秆还田配施秸秆腐熟剂是一种良好的盐碱地改良措施。

秸秆还田配施秸秆腐熟剂对宁夏银北盐碱地稻作土壤及水稻产量、品质的影响是多方面的:(1) 秸秆还田配施秸秆腐熟剂,加速了秸秆的快速腐熟,增加了土壤养分,改善了土壤物理结构,对作物的生长提供了有利的条件;(2) 改善了盐碱地水稻品质,提高了水稻产量,从而提高了农业生产水平。综合考虑水稻产量、品质和经济效益,在秸秆还田条件下,宁夏银北地区的土壤和气候及农作管理方式下,稻田秸秆还田以配施“君德”牌秸秆腐熟剂促进土壤理化性能改善、促进水稻生长发育和提高籽粒产量效

果最佳。为了更好地改良和利用盐碱地,今后还要加强秸秆还田配施秸秆腐熟剂和有机肥的研究,从而进一步优化秸秆还田后的施肥问题,改善盐碱地土壤环境。

参考文献:

- [1] 王 斌,马兴旺,单娜娜,等.新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):111-115.
- [2] 王利民,陈金林,梁海珍,等.盐碱土改良利用技术研究进展[J].浙江林学院学报,2010,27(1):143-148.
- [3] Ding J L, Yu D L. Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan-Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments[J]. Geoderma, 2014,235-236(4):316-322.
- [4] 樊丽琴,杜永霞,杨建国.宁夏银北中低产田土壤障碍性特征研究[J].河南农业科学,2008,37(7):61-63.
- [5] 张海林,高旺盛,陈 阜,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16-20.
- [6] 吕开宇,仇焕广,白军飞,等.中国玉米秸秆直接还田的现状与发展[J].中国人口·资源与环境,2013,23(3):171-176.
- [7] 潘剑玲,代万安,尚占环,等.秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(5):526-535.
- [8] 王喜枝,姚丽娟,孙笑梅,等.不同秸秆腐熟剂在河南省麦田的应用效果研究[J].河南农业科学,2013,42(10):59-62.
- [9] Mahanta K, Jha D K, Rajkhowa D J, et al. Isolation and evaluation of native cellulose degrading microorganisms for efficient bioconversion of weed biomass and rice straw[J]. Journal of Environmental Biology, 2014,35(4):721-725.
- [10] Singh R A. Soil Physical Analysis[M]. New Delhi - Ludhiana: Kalyani Publishers, 1980:52-56.
- [11] 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,1999.
- [12] 李 玮,郑子成,李廷轩,等.不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J].生态学报,2014,34(21):6326-6336.
- [13] 李 玮,乔玉强,陈 欢,等.秸秆还田和施肥对砂姜黑土理化性质及小麦-玉米产量的影响[J].生态学报,2014,34(17):5052-5061.
- [14] 吴 婕,朱钟麟,郑家国,等.秸秆覆盖还田对土壤理化性质剂作物产量的影响[J].西南农业学报,2006,31(2):92-95.
- [15] 李国学.不同通气方式和秸秆切碎程度对堆制效果和养分转化的影响[J].农业环境保护,1999,18(3):106-110.
- [16] 叶全宝,张洪程,李 华,等.施氮水平和栽插密度对梗稻淀粉RVA谱特性的影响[J].作物学报,2005,31(1):124-130.
- [17] 谢黎虹,杨仕华,陈 能,等.不同生态条件下籼稻米饭质地和淀粉RVA谱的特性[J].作物学报,2006,32(10):479-484.
- [18] 李录久,王家嘉,吴萍萍,等.秸秆还田下提高白土水稻产量和氮素利用率的氮肥运筹方式[J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):254-262.
- [19] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国国家标准稻谷:GB1350-1999[S].北京:中华人民共和国农业部,1999.

平及副热带西风急流进行预测。同时,基于北极海冰和北半球极涡的相互关系^[22],可依据海冰的异常信号,预测极涡面积和强度等指标的异常,进而对辽宁夏季降水趋势进行定性预测。然而,外强迫因素与大气环流是如何通过相互作用,从而造成要素异常的原因需要进一步分析研究。

参考文献:

[1] 程叶青,张平宇.中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应[J].地理科学,2005,25(5):513-520.

[2] 姚玉璧,董安祥,张秀云,等.中国夏季区域干旱特征比较研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):248-264.

[3] 贾小龙,王谦谦,周宁芳.近50 a东北地区降水异常的气候特征分析[J].南京气象学院学报,2003,26(2):164-171.

[4] 李广霞,陈传雷,才奎志.辽宁夏季降水变化特征分析[J].气象与环境科学,2008,31(2):31-34.

[5] 廉毅,安刚,等.吉林省近40年来气温和降水的变化[J].应用气象学报,1997,8(2):197-204.

[6] 孙力,安刚,等.中国东北地区夏季旱涝的大气环流异常特征[J].气候与环境研究,2002,7(1):102-112.

[7] 杨文艳,王谦谦.辽宁汛期降水异常的环流因子分析[J].高原气象,2006,25(5):969-974.

[8] 何金海,吴志伟,祁莉,等.北半球环状模和东北冷涡与我国东北夏季降水关系分析[J].气象与环境学报,2006,22(1):1-5.

[9] 沈柏竹,林中达,陆日宇,等.影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流特征分析[J].中国科学,2011,41(3):402-412.

[10] 李辑,房一禾,李菲,等.辽宁初夏降水大尺度环流影响因

子及年初夏异常多雨成因分析[J].气象,2014,40(9):1114-1122.

[11] 李辑,李菲,胡春丽.辽宁省盛夏降水大尺度环流影响因素及2010年降水异常[J].高原气象,2013,33(4):1076-1085.

[12] 房一禾,龚志强,赵连伟,等.中国东北区域盛夏雨季的客观识别[J].物理学报,2014,63(20):209202-1-209202-12.

[13] 白虎志,李栋梁,陆登荣,等.西北地区东部夏季降水日数的变化趋势及其气候特征[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):133-140.

[14] 贾小龙,王谦谦.东北地区汛期降水异常的大气环流特征分析[J].高原气象,2006,25(2):309-318.

[15] 王娜,方建刚,崔巍,等.陕西夏季旱涝环流特征及预测方法[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):246-251.

[16] 房一禾,龚志强,陈海山.东北冷涡降水集中期的客观识别研究[J].气象,2016,42(1):80-88.

[17] 刘明春,李玲萍,史志娟,等.石羊河流域径流量分布特征及对气候变化的响应—以西营河为例[J].干旱地区农业研究,2014,31(1):193-198.

[18] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:115-122.

[19] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理与方法[M].北京:气象出版社.

[20] 曹杰,尤亚磊,黄玮.夏季西太副高脊面年际变化与太平洋海温关系的研究[J].高原气象,2009,28(2):411-418.

[21] 吕俊梅,琚建华,张庆云,等.热带西太平洋海温距平与 Rossby 波传播对1993和1994年东亚夏季风异常影响的差异[J].大气科学,30(5):977-987.

[22] 贾建颖,孙照渤.北极海冰和北半球500 hPa极涡的相互关系[J].南京气象学院学报,2006,29(1):75-81.

(上接第215页)

[20] 游来勇,李冰,王昌全,等.秸秆还田量对麦-稻轮作体系作物产量、氮素吸收利用效率的影响[J].核农学报,2015,29(12):2394-2401.

[21] 李国媛.秸秆腐熟菌剂的细菌种群分析及其腐熟过程的动态研究[D].北京:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,2007.

[22] 李继福,鲁剑巍,李小坤,等.麦秸还田配施不同腐秆剂对水稻产量、秸秆腐解和土壤养分的影响[J].中国农学通报,2013,29(35):270-276.

[23] 郑支林.土壤肥力逐年下降,秸秆还田势在必行[J].现代化农业,1998,(10):205-206.

[24] 刘震,徐明岗,段英华,等.长期不同施肥下黑土和红壤团聚体氮库分布特征[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1386-1392.

[25] 李任,关小康,杨明达,等.不同秸秆还田处理对麦玉两熟制

作物产量及氮素利用的影响[J].河南农业大学学报,2015,49(2):171-176.

[26] Qadir M, Schubert S, Ghafoor A, et al. Amelioration strategies for sodic soil; a review[J]. Land Degradation & Development, 2001, 12(4):357-386.

[27] 胡乃娟,韩新忠,杨敏芳,等.秸秆还田对稻麦轮作农田活性有机碳组份含量、酶活性及产量的短期效应[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):371-377.

[28] 葛立立,王康君,范苗苗,等.秸秆还田对土壤培肥与水稻产量和米质的影响[J].中国农学通报,2012,28(12):1-6.

[29] 刘世平,聂新涛,戴其根,等.免耕套种秸秆还田对水稻生长和稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2007,21(1):71-76.

[30] 李宝灿.麦秸秆全量还田对水稻产量和品质的影响[J].现代农业科技,2011,(6):60-61.