



孙思淼,王晓军,高洪生. 矿质生物肥和秸秆还田耦合技术对水稻产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023(2):17-22.

矿质生物肥和秸秆还田耦合技术对水稻产量的影响

孙思淼,王晓军,高洪生

(黑龙江省肥料工程技术研究中心/黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部东北平原农业环境重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为改善农业用地品质,促进作物生长及农业可持续发展,针对黑龙江省不同积温带特点,选用不同矿质生物肥施用模式,对不同积温带水稻生产区水稻的生物学特性、产量及构成因子等指标进行分析。结果表明:当矿质生物肥水平设置为优茵·沃能 $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、生物活性硅 $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、硫酸锌 $7.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,水稻生长及产量促进作用最显著。在黑龙江省三个积温带水稻主产区施用矿质生物肥和秸秆还田耦合技术,均在不同程度上提高了产量,第一积温带水稻增产率在 $4.58\%\sim 16.34\%$ 之间,第二积温带水稻增产率在 $6.78\%\sim 21.19\%$ 之间,第三积温带水稻增产率在 $2.61\%\sim 17.39\%$ 之间。建议进行秸秆还田的同时增施生物菌肥和微肥,可对土壤质量改良起到积极作用,同时增加水稻产量。

关键词:生物菌肥;微肥;秸秆还田

“民为国基,谷为民命”。粮食安全是国家安全的重要基础,保障粮食安全,一直是我国治国安邦的首要任务^[1]。全国现代农业发展规划“十二五”规划中提出“树立绿色、低碳发展理念,不断增强农业可持续发展能力”“鼓励使用生物农药、高效低毒低残留农药和有机肥料”等。为满足农业可持续发展的新形势,生产中可采用矿质生物肥替代部分化学肥料^[2]。水稻(*Oryza sativa* L.)是中国最重要的粮食作物之一,全国约 $2/3$ 的人口均以水稻为主食^[3]。提高水稻产量对我国粮食安全具有重要意义。水稻的产量和品质除了受遗传特性影响外,同时也受到肥料的影响^[4]。为了提高产量,过多的肥料被应用于农业生产中。据统计,2020年我国的肥料使用量约达到525.07亿 kg ^[5]。但是化学肥料施用不合理会导致土壤板结、酸化、土壤微生物多样性减少等一系列环境问题,进而影响作物的品质和产量。因此实现水稻生产中肥料的高效利用对粮食安全和环境安全具有重要的现实意义。针对水田化肥单一持续过量施用、土壤肥力持续下降、土壤理化性质持续变差、稻草秸秆焚烧难等问题,应广泛开展高效生物菌肥、微肥研发,秸秆还田技术研究以及矿质生物肥和秸秆

还田耦合技术研究。

矿质生物肥在水稻生产中应用广泛,对水稻增产具有重要促进作用。矿质生物肥是由多种有益微生物经发酵而来的生物性肥料^[6],特定的矿质生物肥具有改善根际微环境,提高土壤养分含量,促进根系生长等多种特性^[7]。矿质生物肥含有多种微量元素^[8],当土壤中微量元素无法满足作物需求时,就会出现生长缓慢、品质差、产量低的现象。施用矿质生物肥有利于土壤中微生物的生长和繁殖,同时促进作物生长发育,有利于发挥土壤潜在肥力^[9]。农田土壤有机碳的净固存量取决于土壤中有有机物质腐殖化过程和矿质化过程之间的平衡,增加外源有机物料的投入是提高土壤碳固存的重要手段。秸秆占作物生物总量的 50% 左右,黑土区广泛分布的耕地产出了大量秸秆,黑龙江省每年产出的秸秆约1.3亿 t ^[10]。作物秸秆是农田土壤重要的碳源之一,实行秸秆还田有利于农田土壤的碳固持^[11]。本试验主要对不同积温带的水稻各生育期需肥规律,筛选矿质生物肥优化配方,构建水稻秸秆还田无机-矿物-生物平衡施肥技术模式,为推动优质水稻施肥标准建设,满足优质稻米生产的品质要求并促进水稻产业绿色发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻品种为香9号、龙洋16和天隆粳311。

供试肥料选择40%红万稼基肥($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=\text{}$

收稿日期:2022-10-29

基金项目:黑龙江省应用技术与开发计划项目(GA20BI01-02)。

第一作者:孙思淼(1996—),女,硕士,研究实习生,从事修复生态学研究。E-mail:550456722@qq.com。

通信作者:高洪生(1968—),男,硕士,研究员,从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail:ghs6837@163.com。

18-10-12)、35%红万稼返青分蘖肥(N-P₂O₅-K₂O=20-0-15)、54%红万稼穗肥(N-P₂O₅-K₂O=20-17-17,黑龙江省秋然米业有限公司)、46%多肽尿素(谷聚丰)、57%磷酸二铵(宏福)、60%氯化钾、33%硫酸锌颗粒、生物活性硅(有效活菌数≥2亿·g⁻¹、SiO₂≥20%,K₂O≥2%、Ca+Mg+S≥12%,黑龙江省硕磊农业科技发展有限公司)、优茵·沃能(有效活菌数≥5.0亿·g⁻¹,雷邦斯生物技术(北京)有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 矿质生物肥筛选试验 试验采用大区对比设计,于2020年4月在哈尔滨市方正县秋然米业稻作园(45°53′12.33″N,128°49′3.09″E)进行,试验地位于松花江中游南岸,属于黑龙江省第二积温带水稻生产区,寒温带大陆性季风气候。土壤类型为草甸黑土型水稻土,肥力中等。

试验设7个处理,具体如表1所示,3次重复,随机区组排列。

表1 不同处理试验养分用量

处理		常规施肥/(kg·hm ⁻²)			其他成分/ (kg·hm ⁻²)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
CK 基肥		67.50	37.50	45.00	Zn≥0.05%
	追肥				
	返青分蘖肥	31.50		5.25	B≥0.03%
	返青分蘖肥+穗肥	57.38		28.13	
	调节肥	22.50		22.50	
T1 基肥		67.50	56.25	45.00	优茵·沃能112.5
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	
	调节肥	22.50		22.50	
T2 基肥		67.50	56.25	45.00	优茵·沃能112.5
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	+硫酸锌 7.5
	调节肥	22.50		22.50	
T3 基肥		67.50	56.25	45.00	优茵·沃能75+
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	生物活性硅 37.5
	调节肥	22.50		22.50	+硫酸锌 7.5
T4 基肥		63.75	56.25	48.75	生物活性硅 158.5
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	
	调节肥	22.50		22.50	
T5 基肥		63.75	56.25	48.75	生物活性硅 75
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	+硫酸锌 7.5
	调节肥	22.50		22.50	
T6 基肥		63.75	56.25	48.75	优茵·沃能37.5+
	追肥				
	返青肥	37.50		7.50	生物活性硅 37.5+
	调节肥	22.50		22.50	硫酸锌 7.5

供试水稻品种为香9号,育秧、稻田整地以及插秧同当地常规。基肥整地前施用,返青肥插秧后5~7 d施用,调节肥孕穗前施用。稻田水分管理、病虫害防治以及收获同当地常规。在水稻孕穗期,对水稻进行田间调查。于6月24日进行水稻生物学性状调查,10月3日收获。

1.2.2 田间试验 2021年4月分别在位于黑龙江省第一积温带的哈尔滨市阿城区、第二积温带的哈尔滨市方正县、第三积温带的哈尔滨市通河县。阿城区试验点位于金水河农业园区,土壤类型为黑土,供试水稻品种为龙洋16;方正县试验点位于秋然米业稻作园,土壤类型为草甸土,供试水稻品种为天隆粳311;通河县试验点位于乌鸦泡镇柞树村,土壤类型为黑土,供试水稻品种为天隆粳311。

采用大区对比设计,设5个处理,顺序排列。筛选矿质生物肥:优茵·沃能37.5 kg·hm⁻²、生物活性硅 37.5 kg·hm⁻²、硫酸锌 7.5 kg·hm⁻²。CK:水稻专用肥(N-P₂O₅-K₂O:16-16-16)450 kg·hm⁻²(第二积温带为 N-P₂O₅-K₂O:16-16-18),追尿素 300 kg·hm⁻²;T1:常规+2‰矿质生物肥(返青肥、穗肥各 150 kg·hm⁻²);T2:常规+2‰矿质生物肥(返青肥 150 kg·hm⁻²);T3:常规+2‰矿质生物肥(返青肥 225 kg·hm⁻²);T4:常规+2‰矿质生物肥(返青肥 300 kg·hm⁻²)。试验采用秸秆全量还田,粳稻育秧、稻田整地以及粳稻插秧同当地常规。基肥整地前施用,返青肥插秧后5~7 d施用,调节肥孕穗前施用。稻田水分管理、病虫害防治以及收获同当地常规。在水稻孕穗期,对水稻进行田间调查。于6月23日进行水稻生物学性状调查,10月7日收获。

1.2.3 测定项目及方法 植株收获后用米尺测定株高和根长,记录分蘖数,考种。取倒一叶利用日本叶绿素快速测定仪(SPAD-502)测定叶绿素,并测定叶面积和长宽比。自来水反复清洗整个植株,用滤纸吸干表面水分,使用电子天平分别测定地上部、根部的鲜重和干重。每个处理随机选择3穴。

1.2.4 数据分析 利用Excel 2019和SPSS 25软件对数据进行统计分析和图表处理。用Duncan's新复极差法进行样本间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 矿质生物肥筛选试验结果

2.1.1 不同施肥处理对水稻生物学特性的影响

由表2可知,孕穗期各施肥处理的水稻株高均高于CK处理,增加幅度在0.62%~9.19%之间,其中T1、T3、T6处理株高显著高于CK、T2和T4处理。各施肥处理叶绿素值均高于CK处理,增加幅度在2.60%~17.70%之间,T4和T5处理显著高于其他处理。T1和T5处理的叶面积显著高于其他处理。CK处理的叶片长宽比值

最高,与除T4之外的其他处理达到显著水平,其中各施肥处理间差异不显著。T3和T6处理地上部鲜重显著高于其他处理。T5和T6处理根鲜重显著高于其他处理。T3处理地上部干重和根干重均显著高于其他处理。综合上述结果可见,T3、T5、T6处理的水稻生长表现良好,说明在水稻栽培生产中增施菌肥、生物活性硅、硫酸锌能促进水稻生长,矿质生物肥能在不同程度上改变其生长性状和生物量,进而促进水稻光合作用和养分运移。

表2 不同施肥处理对水稻生物学特性的影响

处理	株高/cm	分蘖数/ (个·穴 ⁻¹)	叶绿素值	叶面积/ cm ²	长宽比	地上部鲜重	根鲜重/g	地上部 干重/g	根干重/g
CK	61.06 b	22.33 a	36.94 b	514.07 b	7.59 a	213.33 b	198.33 b	42.64 b	80.70 b
T1	66.07 a	22.44 a	39.11 b	572.36 a	5.83 b	236.67 b	221.67 b	44.64 b	97.54 b
T2	62.89 b	21.00 a	37.90 b	518.66 b	6.10 b	225.00 b	201.67 b	45.98 b	121.64 b
T3	66.33 a	23.44 a	37.98 b	532.12 b	4.05 b	295.00 a	216.67 b	49.91 a	133.03 a
T4	61.44 b	22.67 a	40.04 a	558.92 b	6.70 ab	211.67 b	201.00 b	43.22 b	92.63 b
T5	63.22 ab	22.67 a	43.48 a	575.10 a	4.94 b	216.67 b	255.00 a	42.93 b	108.71 b
T6	66.67 a	22.33 a	38.49 b	503.37 b	5.15 b	260.00 a	250.00 a	45.11 b	96.66 b

注:不同小写字母表示处理间在P<0.05水平差异显著。下同。

2.1.2 不同施肥处理对水稻产量及相关性状的影响 由表3可知,收获时T3处理株高最高,显著高于其他处理。分蘖数、穗长、单穗粒重和千粒重在各处理之间无显著差异。CK处理空瘪率高达9.31%,与T1、T2、T3和T4处理有显著差异。与CK处理对比,各施肥处理均提高了水稻产量,增产幅度在4.85%~13.56%之间。矿质生物肥

可能通过对穗长、单穗粒重和千粒重的调控以达到增产的效果。综上所述,T6处理产量最高,达到9125.00 kg·hm⁻²,其次是T5、T3、T4、T1、T2处理,CK处理最低,仅为8035.05 kg·hm⁻²,各施肥处理均呈现不同程度的增产现象,表明矿质生物肥在提高水稻产量上肥效显著且稳定。因此,将T6处理矿质生物肥用于后续试验。

表3 不同施肥处理对水稻产量及产量构成因素的影响

处理	株高/cm	分蘖数/(个·穴 ⁻¹)	穗长/cm	空瘪率/%	单穗粒重/g	千粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%
CK	87.39 b	21.11 a	19.78 a	9.31 a	2.07 a	27.40 a	8035.05 b	-
T1	82.00 b	19.78 a	21.94 a	4.08 b	2.44 a	28.38 a	8725.00 a	8.59
T2	89.22 b	19.33 a	21.00 a	4.13 b	2.40 a	28.72 a	8425.00 b	4.85
T3	94.67 a	17.33 a	21.22 a	2.80 b	2.54 a	28.12 a	8965.00 a	11.57
T4	80.94 b	19.22 a	20.56 a	3.04 b	2.03 a	27.73 a	8900.00 a	10.76
T5	85.22 b	20.11 a	21.67 a	7.69 a	2.17 a	27.67 a	9079.95 a	13.00
T6	82.33 b	21.44 a	21.39 a	7.37 a	2.27 a	28.95 a	9125.00 a	13.56

2.2 田间试验结果

2.2.1 矿质生物肥不同施用量对水稻生物学特性的影响 由表4可知,在阿城的田间试验结果表明,与CK处理对比,T1~T4处理孕穗期株高均显著低于CK处理,各施肥处理间差异不显著;在分蘖数方面,T1、T2和T4处理均高于CK处理,增加幅度在3.74%~43.35%之间,T4与T3处理间差异显著。在叶绿素值方面,T2和T4处理显著高于CK处理,分别增加了23.01%和

14.17%,其中T2与T3处理间差异显著。与CK处理对比,T1~T4处理根鲜重均显著高于CK处理,增加幅度在109.71%~227.49%之间,其中T4与T2处理间差异显著。地上部鲜重、地上部干重和根长各处理之间差异均不显著,但T1~T4处理均高于CK处理。T1~T4处理的根干重处理间差异不显著,但均显著高于CK。结果表明,T2和T4处理对水稻生物学特性均有促进作用,但促进作用存在细微差异。

在方正的田间试验结果表明,与 CK 处理对比,T1~T4 处理株高、地上部鲜重、根鲜重和地上部干重均显著高于 CK 处理;分蘖数、叶绿素值、根干重和根长各处理之间差异均不显著,但 T1~T4 处理均高于 CK 处理。结果表明,各施肥处理均不同程度上改良了水稻生物学特性。

在通河的田间试验结果表明,与 CK 处理对比,各处理株高、分蘖数、叶绿素值和根长均不显著;T1~T4 处理的地上部鲜重均高于 CK 处理,其中 T2 处理显著高于 CK,增加了 73.91%。T1~T4 处理的根鲜重均高于 CK 处理,其中 T2、T3

和 T4 处理显著高于 CK,增加幅度在 91.19%~146.09%之间。T1~T4 处理的地上部干重均显著高于 CK 处理。T1~T4 处理的根干重均高于 CK 处理,其中 T2、T3 和 T4 处理显著高于 CK,T2 与 T4 处理显著高于 T1。结果表明,施用适量的矿质生物肥可以显著提高水稻生物量,且 T4 处理尤为突出。

可见,3 个积温带的最适宜施肥量有所差异,但差异不显著,试验趋势大致相同,表现为在水稻不同生育期施用矿质生物肥均能有效促进水稻生长发育,水稻根系发达,利于养分运移。

表 4 矿质生物肥(2‰)不同施用量对水稻生物学特性的影响

地点	处理	株高/cm	分蘖数/ (个·穴 ⁻¹)	叶绿素值	地上部鲜重/g	根鲜重/g	地上部干重/g	根干重/g	根长/cm
阿城	CK	68.33 a	17.67 ab	36.20 c	42.12 a	11.64 c	9.42 a	1.42 b	21.67 a
	T1	61.67 b	19.33 ab	40.27 abc	53.26 a	29.60 ab	11.27 a	10.44 a	25.33 a
	T2	59.67 b	18.33 ab	44.53 a	51.02 a	24.41 b	11.20 a	9.31 a	21.67 a
	T3	61.00 b	15.00 b	37.07 bc	52.92 a	30.54 ab	11.34 a	8.02 a	28.00 a
	T4	61.33 b	25.33 a	41.33 ab	58.68 a	38.12 a	13.78 a	11.79 a	28.33 a
方正	CK	32.00 b	18.67 a	36.10 a	11.13 b	15.43 c	1.93 b	4.31 a	17.00 a
	T1	42.67 a	23.33 a	37.17 a	27.87 a	27.17 a	5.18 a	8.87 a	19.67 a
	T2	40.00 a	22.00 a	38.13 a	21.10 a	18.67 ab	3.89 a	6.00 a	20.33 a
	T3	38.00 a	19.67 a	37.73 a	19.83 a	16.50 ab	3.72 a	5.51 a	19.33 a
	T4	38.67 a	21.67 a	47.30 a	20.17 a	21.70 ab	3.65 a	7.89 a	21.33 a
通河	CK	51.67 a	20.33 a	42.07 a	37.07 b	26.10 c	8.81 b	7.32 c	21.67 a
	T1	53.67 a	24.67 a	39.27 a	50.73 ab	35.17 bc	15.28 a	12.81 bc	22.33 a
	T2	55.67 a	29.33 a	40.30 a	64.47 a	64.23 a	16.48 a	23.77 a	19.67 a
	T3	56.33 a	25.33 a	41.53 a	58.40 ab	49.90 ab	14.63 a	18.03 ab	21.67 a
	T4	54.67 a	26.33 a	39.97 a	57.37 ab	50.00 ab	16.27 a	23.87 a	22.33 a

注:同一地点同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2.2 矿质生物肥不同施用量对水稻产量及产量构成因子的影响 由表 5 可知,阿城的考种结果表明,各处理分蘖数、穗长、单穗粒重、千粒重差异不显著。在成熟期株高方面,T1~T4 处理显著高于 CK 处理,增加幅度在 4.78%~13.83%之间。T1~T3 处理籽粒空瘪率与 CK 处理无显著差异。各处理水稻产量在 7 347.40~8 548.00 kg·hm⁻²之间。与 CK 处理对比,T1~T4 处理均有不同程度的增产现象,增产率在 4.58%~16.34%之间,表现为 T2>T4>T3>T1,T2 处理增产率最高。

方正的考种结果表明,各处理株高、分蘖数、空瘪率和单穗粒重差异不显著。在千粒重方面,T1 和 T3 处理显著高于 CK 处理,分别增加了 1.95%和 3.21%。各处理水稻产量在 7 870.60~9 538.10 kg·hm⁻²之间。与 CK 处理对比,T1~T4 处理均有不同程度的增产现象,增产率在

6.78%~21.19%之间,表现为 T4>T3>T1>T2,T4 处理增产率最高。

通河的考种结果表明,各处理分蘖数、穗长、空瘪率和单穗粒重差异不显著。在株高方面,T4 处理为最大值,与 CK 处理差异显著。在千粒重方面,T1 处理为最大值,高达 24.80 g,与 T2 和 T4 处理差异显著。各处理水稻产量在 7 670.50~9 004.50 kg·hm⁻²之间。与 CK 处理对比,T1~T4 处理均有不同程度的增产现象,增产率在 2.61%~17.39%之间,表现为 T1>T3>T2>T4,T1 处理增产率最高。

可见,水稻秸秆还田无机-矿物-生物平衡施肥技术对提高稻米千粒重的效果明显,这也是增加稻米产量的重要原因之一。因此该技术对水稻产量的构成起到促进作用。

表 5 矿质生物肥(2‰)不同施用量对水稻产量及产量构成因子的影响

地点	处理	株高/cm	分蘖数/ (个·穴 ⁻¹)	穗长/cm	空瘪率/%	单穗粒重/g	千粒重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)	增产率/%
阿城	CK	105.27 b	12.53 a	15.21 a	12.11 a	1.65 a	23.97 a	7347.40 a	-
	T1	119.83 a	14.20 a	15.06 a	13.17 a	1.52 a	24.13 a	7683.78 a	4.58
	T2	116.87 a	14.10 a	14.93 a	12.73 a	1.68 a	24.33 a	8548.00 c	16.34
	T3	117.30 a	14.00 a	14.64 a	14.98 a	1.48 a	23.96 a	7915.53 b	7.73
	T4	110.30 a	12.57 a	15.11 a	8.15 b	1.54 a	24.37 a	8053.43 b	9.61
方正	CK	85.89 a	19.22 a	16.00 ab	8.60 a	2.23 a	23.02 c	7870.60 a	-
	T1	88.89 a	19.44 a	14.89 b	8.31 a	2.09 a	23.47 b	9071.20 c	15.25
	T2	88.56 a	20.11 a	15.67 ab	9.18 a	1.85 a	22.98 c	8404.20 b	6.78
	T3	88.33 a	20.33 a	15.56 ab	6.64 a	2.21 a	23.76 a	9424.71 d	19.74
	T4	87.67 a	23.22 a	17.11 a	8.26 a	2.17 a	23.06 c	9538.10 d	21.19
通河	CK	79.56 bc	20.89 a	14.78 a	10.53 a	1.60 a	24.71 a	7670.50 a	-
	T1	77.22 c	20.44 a	15.67 a	8.52 a	2.11 a	24.80 a	9004.50 c	17.39
	T2	79.33 bc	19.67 a	15.00 a	12.48 a	1.69 a	24.38 b	8604.30 b	12.17
	T3	83.56 bc	21.33 a	15.78 a	10.32 a	1.69 a	24.62 ab	8737.70 b	13.91
	T4	85.67 a	19.67 a	16.56 a	12.92 a	1.74 a	24.18 b	7870.40 a	2.61

3 讨论

菌肥施用量和土壤质量状况是影响水稻高效群体质量构建和产量的重要调控因素。该研究结果表明,与常规施肥对比,配施矿质生物肥能够提高水稻产量,这与吴云艳等^[12]和陈书强等^[13]的研究结果相似。增施生物菌肥和微肥能显著提高水稻产量,可能与以下因素有关:(1)微量营养元素加高了水稻缺素短板,平衡了微量营养元素与氮、磷、钾之间的关系,改善了水稻的经济性状,如千粒重和穗长等^[14]。(2)生物菌肥中有益菌参与土壤物质转化,活化了土壤酶活性,从而加速土壤中有机物质的分解,促进土壤中固定养分向有效养分的转化,进一步促进植株根系及地上部的生长^[15]。同时作物产量主要受土壤水分、温度以及养分变化影响,秸秆还田不仅能增强土壤蓄水保墒能力,调节土壤温度,还能显著提高土壤养分供应水平和能力,从而产生明显的增产效应^[16]。吴玉红等^[17]研究发现秸秆还田对水稻穗粒数影响显著,对有效穗影响极显著。这与本试验结果基本一致,各处理施用有机肥较未施用有机肥的CK处理,促进水稻产量效果显著,且对水稻的生长具有促进作用。

在土壤中施入生物菌肥和微肥,有利于改善土壤内部结构,提高土壤肥力,进而提高植株对养分的利用率。其次秸秆降解会使土壤中有机质含量明显提升,有机质含有丰富的碳源和其他营养元素可以刺激植物根系生长,增加其抗逆性从而

使植物更好地适应环境保产增产^[18]。实际生产中大量施用有机肥的情况比较普遍,不仅会造成资源的浪费,也会影响肥料吸收率。孙源蔚等^[19]研究表明,随着有机肥等投入量的增加,苹果产量呈不同程度先增后减的趋势,说明有机肥养分投入整体表现出报酬递减的趋势,从而说明有机肥施用量并不是越多越好。本试验研究结果表明,在其他管理条件一致的情况下,施用不同用量的矿质生物肥较未施用矿质生物肥的水稻产量增加2.61%~21.19%。但是不同积温带间增产效果存在差异,因此,要想发挥生物肥料的最佳肥效,还需要因地制宜。此外需要细化与水稻产量密切相关的土壤理化参数对耦合技术的响应研究,探究多因素的交互作用。建设优质水稻施肥标准,实现稻田用地养地、水稻产量品质并重对稻米产业可持续发展具有一定的实践意义。

4 结论

本研究筛选矿质生物肥优化配方,当施用优菌·沃能37.5 kg·hm⁻²、生物活性硅 37.5 kg·hm⁻²、硫酸锌 7.5 kg·hm⁻²时,能够有效提高水稻产量。根据水稻各生育期供肥规律,在黑龙江省第一、二、三积温带水稻主产区构建高效生物菌肥、微肥和秸秆还田耦合技术;其中除常规施肥外,第一积温带2‰矿质生物肥作为返青肥施用 150 kg·hm⁻²,产量达到 8 548.00 kg·hm⁻²;第二积温带2‰矿质生物肥作为返青肥施用 300 kg·hm⁻²时,产量达到 9 538.10 kg·hm⁻²;第三积温带2‰矿质生物肥作

为返青肥、穗肥各施用 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,产量达到 $9\ 004.50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在不同程度上实现了水稻增产,应用效果显著,是一种适合东北地区农业高质量发展的新模式,研究结果为黑土地稻作区减肥节本,稳产增效奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 魏泳安. 习近平新时代粮食安全观研究[J]. 上海经济研究, 2020(6):14-23.
- [2] 张春云,王新建,吉海,等. “光合元”生物菌肥在红枣南疆红上的应用研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(9):1644-1651.
- [3] 王丽群,郭振海,孙庆申,等. 稻米适度加工技术及其应用[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(2):91-98.
- [4] 李文秀,周行,刘琅,等. 稻作生产中水、肥、药高效利用及对水稻的影响研究进展[J]. 河南农业科学, 2022, 51(6):1-12.
- [5] 胡汉舟,孙守亮. 中国环境统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2021:141-142.
- [6] 朱丹,张磊,韦泽秀,等. 菌肥对青稞根际土壤理化性质以及微生物群落的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(3):627-637.
- [7] 刘晓燕,张磊,韦泽秀,等. 用 PCR-DGGE 研究菌肥对西藏青稞土壤微生物群落多样性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(7):39-48.
- [8] 马琦琦,李丽君,王斌,等. 微肥对植物生长作用及施用技术的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(13):4-6.
- [9] 杜萌,马凌霄,任海,等. 微肥对水稻生长发育影响研究[J]. 北方水稻, 2021, 51(2):21-23.

- [10] 张光辉,杨扬,刘瑛娜,等. 秸秆还田阻控黑土侵蚀机理及效应[J]. 土壤与作物, 2022, 11(2):115-128.
- [11] de CLERCQ T, HEILING M, DERCON G, et al. Predicting soil organic matter stability in agricultural fields through carbon and nitrogen stable isotopes[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 88:29-38.
- [12] 吴云艳,王鑫厚. 生物菌肥对水稻氮素利用率及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(5):18-20, 70.
- [13] 陈书强,魏中华,谢树鹏,等. 不同生物菌肥节氮效果及对水稻生长发育和产量的影响[J]. 北方水稻, 2021, 51(1):1-5, 10.
- [14] 谢映泉,万强,周艳. 不同配方多元长效微肥在水稻上施用效果的研究[J]. 湖南农业科学, 2019(7):58-60.
- [15] 王涛,辛世杰,乔卫花,等. 几种微生物菌肥对连作黄瓜生长及土壤理化性状的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(18):52-57.
- [16] 黄容,高明,万毅林,等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(11):4446-4456.
- [17] 吴玉红,王吕,崔月贞,等. 轮作模式及秸秆还田对水稻产量、稻米品质及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(11):1926-1937.
- [18] 李本旭,张小峰,金海洋. 微生物制剂在秸秆直接还田中的应用试验初报[J]. 上海农业科技, 2019(3):96-97.
- [19] 孙源蔚,任保刚,王海荣,等. 有机肥施用方式对冀北山区苹果产量和果实品质的影响[J]. 中国果树, 2018(5):19-22.

Effects of Coupling Technology of Mineral Biofertilizer and Straw Returning on Rice Yield

SUN Simiao, WANG Xiaojun, GAO Hongsheng

(Heilongjiang Fertilizer Engineering Technology Research Center/Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation & Utilization/Northeast Plain Agricultural Environment Key Laboratory of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to improve the quality of agricultural land, promote crop growth and agricultural sustainable development, given the characteristics of different accumulated temperature zones in Heilongjiang Province, different application modes of mineral biological fertilizer were selected to analyze the biological characteristics, yield and composition factors of rice production areas in different accumulated temperature zones. The results showed that when the level of mineral biological fertilizer was set as Youjun · Woneng $37.5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, bioactive silicon $37.5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, zinc sulfate $7.5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the growth and yield of rice were most significantly promoted. The results showed that the application of mineral biological fertilizer and straw returning coupling technology in the three main rice production areas of the accumulated temperature zone in Heilongjiang Province improved the yield to varying degrees. The yield increase rate of rice in the first accumulated temperature zone was 4.58%-16.34%, that in the second accumulated temperature zone was 6.78%-21.19%, and that in the third accumulated temperature zone was 2.61%-17.39%. It is suggested that the application of bio bacterial fertilizer and micro fertilizer together with straw returning can play a positive role in soil quality improvement and increase rice yield.

Keywords: biological bacterial fertilizer; micro fertilizer; straw returning