



闵凡华,徐新朋,何萍,等.智能化推荐施肥技术在寒地水稻生产中的应用效果[J].黑龙江农业科学,2025(1):1-5,6.

智能化推荐施肥技术在寒地水稻生产中的应用效果

闵凡华^{1,2},徐新朋¹,何萍¹,王西亚¹,李庆彪²,郭震²,袁海龙²,张明²

(1. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所,北京 100081; 2. 黑龙江佳木斯国家农业高新技术产业示范区管理委员会,黑龙江 佳木斯 156300)

摘要:为了减少长期大量施用化肥对寒地水稻土壤及环境的影响,基于产量及上季肥料残效,依据养分专家系统(简称 NE 系统)在寒地水稻上进行智能化推荐施肥,采用大区对比试验设计设置不同施肥量,调查不同施肥处理对水稻生育期、产量构成因子、理论产量、实测产量及经济效益的影响,并分析不同施肥处理肥料偏生产力。结果表明,相较于农民习惯施肥(FP)三大肥料($N-P_2O_5-K_2O$)施用量 161.59 和 106 $kg \cdot hm^{-2}$,智能化推荐($N-P_2O_5-K_2O$)施肥量为 151.56 和 69 $kg \cdot hm^{-2}$,减施氮、磷、钾纯用量分别为 10.3 和 37 $kg \cdot hm^{-2}$ 。各处理之间的生育进程、产量构成因子、实际产量都存在一定差异且变化规律不明显。处理 2 的成熟期最早,为 9 月 1 日,与 FP 的相差 2 d;处理 3 三大肥料的 PFP 都是最高的,分别为 73.98,199.49 和 161.91 $kg \cdot kg^{-1}$,比 FP 的分别高 8.86,21.78 和 63.00 $kg \cdot kg^{-1}$ 。4 个处理在减肥条件下均实现增产,处理 3 实际增产最高,产量达到 11 171.67 $kg \cdot hm^{-2}$,增产量 686.73 $kg \cdot hm^{-2}$,增产率 6.5%,各处理增产、肥料偏生产力高低顺序相一致。说明通过增施生物有机肥能有效提高水稻的产量。

关键词:寒地水稻;养分专家系统;推荐施肥;生物有机肥;产量;偏生产力

NE 系统提出的推荐施肥方案符合 4R 养分管理策略(最佳肥料品种、最佳用量、最佳施用时间和最佳施用位置),同时兼顾施肥的农学、经济和环境效应。多点田间验证试验证实,NE 系统推荐施肥兼顾科学性和实用性,且易于掌握,是一种能够保障作物增产增收、提高肥料利用率和保护环境的科学推荐施肥方法。它具有优化肥料种类和用量、提高水稻产量和肥料利用率、增加农民收入的功能,是实现我国小农户推荐施肥行之有效的智能技术系统^[1-2]。

王静等^[3]在砂姜黑土区连续 2 a 开展试验,以常糯 1 号为材料,研究化肥减量配施秸秆和生物炭对水稻产量、养分吸收、土壤总有机碳和微生物量碳等的影响,明确秸秆和生物炭在砂姜黑土区的节肥增产效果,并探讨其调控土壤碳库的内在机制。结果表明,化肥减量 20% 配施生物炭或者氮钾减量 20% 配施秸秆可增加或维持水稻产量,提高水稻对养分的吸收能力^[3]。本研究采用 NE 系统智能化推荐施肥技术,第一次在东北稻作区寒地水稻田开展试验示范,通过减施常规三大肥料、增施生物有机肥,可以有效活化土壤养分,改良土壤理化性状,保护农业生态环境,并实现水稻增产增效,对东北寒地黑土农业资源永续

利用具有重要的现实意义。韩墨等^[4]研究寒地水稻减施化肥增施有机肥结果表明,不减少化肥用量,增施 1 年量有机肥能够促进水稻增产;减少化肥用量 10%,增施有机肥 1 年量,水稻稍有减产;减少化肥用量 10%,增施有机肥 3 年量增产效果最好。使用生物肥能够一定程度上增加水稻产量,增施生物有机肥与常规施肥相比较,结实率和穴穗粒数指标显著增加,能提高水稻的单株分蘖数,能增加水稻的干物质积累量,提高了水稻的收获穗数,为减量高效施肥技术的合理应用提供依据^[5-7]。

许多研究结果表明,侧深施肥方式可显著提高水稻单位面积有效穗数,从而显著增加产量。侧深施肥和点状施肥产量均优于全层施肥,氮肥运筹下基肥同施优于基肥分施,其中以侧深施肥、基肥同施处理可获得较高的产量^[8-9]。刘梦红等^[10]研究表明,寒地水稻试验中侧深施肥较全层施肥增产 7.49%。施肥量、穴内插秧密度和二者的互作对不同寒地粳稻品种产量和品质具有不同程度的影响,在发挥品种特性的前提下,可以通过协调施肥量和穴内插秧密度来实现寒地粳稻高产和优质^[11]。

由此可见,智能化推荐施肥技术可以合理调

收稿日期:2024-10-25

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2300402)。

第一作者:闵凡华(1982—),男,硕士,高级农艺师,从事植物营养与高效施肥相关研究。E-mail: fanhua_666@126.com。

通信作者:何萍(1970—),女,博士,研究员,从事养分管理研究。E-mail: heping02@caas.cn。

控氮、磷、钾三大肥料施用量,同时增施生物有机肥,采用农艺农机农户相结合、良技良田良法相配套的方法,对东北常年连作的寒地稻田单一施用化学肥料增产效果非常明显。本研究旨在通过NE 系统智能化推荐施肥技术,验证其在佳木斯国家农高区寒地水稻上应用效果,初步探索出最佳推荐施肥模式,为黑龙江省佳木斯地区水稻种植落实“三减”中的减肥措施并促进寒地水稻增产增效,以及下一步大面积示范推广提供科学依据。

1 材料与方

1.1 试验地概况

试验布设在黑龙江佳木斯国家农业高新技术产业示范区管理委员会大兴农场第四管理区第22 作业站,试验面积 16.73 hm²。土壤类型为草甸白浆土,肥力中上等,种植制度为一年一熟制,作物为水稻。土壤基本理化性状为 pH6.3,碱解氮 161.4 mg·kg⁻¹,有效磷 29.8 mg·kg⁻¹,速效钾 131.3 mg·kg⁻¹,有机质 44.2 g·kg⁻¹。2024 年有效积温 2 640.4 ℃,无霜期 133 d,属于黑龙江省第二积温带四区,年日照时数 2 023.1 h,降雨量 530.3 mm 左右。

1.2 前期种植情况调查

通过对农户 2023 年种植情况进行调查,结果显示,该区域稻田全年化学肥料(N-P₂O₅-K₂O)施用量为 161,59 和 106 kg·hm⁻²,施肥 3 次,第 1 次插秧期采用中化化肥侧深施肥(21-15-16)375 kg·hm⁻²;第 2 次返青期施农垦瑞晨硫铵 150 kg·hm⁻²、云天化尿素(46%)150 kg·hm⁻²;第 3 次拔节期施

氯化钾(62%)100 kg·hm⁻²。全区水稻平均产量大约 9.15 t·hm⁻²。

1.3 材料

供试肥料为根力多掺混肥料(20-13-12),根力多生物科技股份有限公司生产;海状元生物有机肥(有效活菌数≥5.0 亿·g⁻¹),青岛海大生物集团股份有限公司生产;黑魔粒复合肥料(15-15-15),含腐殖酸有机质(腐殖酸+有机质≥5%),宜都兴发化工有限公司生产;尿素(46% N),山东润银生物化工股份有限公司生产;氯化钾(62% K₂O),中化集团生产。

供试水稻品种为龙粳 31,粳稻品种,主茎 11 片叶。

1.4 方法

1.4.1 试验设计 采用大区对比示范试验设计,顺序排列,共设 5 个处理,各处理 2 次重复。处理 1 为养分专家系统推荐施肥(NE)100%氮肥,两个试验小区面积分别为 1.98 和 1.56 hm²;处理 2 为 NE 80%N+生物有机肥,小区面积分别为 1.93 和 1.50 hm²;处理 3 为 NE 100%N+生物有机肥+增密处理,增密处理是水稻插秧时插秧量平均每穴增加 1 株,小区面积分别为 1.92 和 1.52 hm²;处理 4 为 NE 100%N+增效肥,小区面积分别为 1.58 和 1.50 hm²;对照为农民习惯施肥(FP),小区面积分别为 1.67 和 1.60 hm²。

试验时间是 2024 年 5 月至 9 月,试验各处理肥料施用具体时间分别是基肥 5 月 9 日—10 日,分蘖肥 6 月 3 日,拔节肥 7 月 5 日。不同时期不同肥料施用量详见表 1。

表 1 试验各处理不同时期不同施肥量明细

单位:kg·hm⁻²

处理	基肥			分蘖肥		拔节肥	
	根力多	生物有机肥	黑魔粒	尿素	尿素	氯化钾	
1	429.73	0.00	0.00	70.71	70.71	28.79	
2	430.30	600.00	0.00	37.76	37.76	28.97	
3	430.73	600.00	0.00	70.31	70.31	28.65	
4	0.00	0.00	373.42	103.16	103.16	21.52	
FP	中化化肥(21-15-16) 375.00			150.00	0.00	100.00	

严格按照试验方案和生育时期进行施肥,基肥生物有机肥无人机施入,其他的以侧深施肥施入,分蘖肥、拔节肥无人机施入。

1.4.2 调查项目及方法 试验期间,按照寒地水稻田间调查标准方法调查水稻插秧至成熟各个生育时期;9 月 29 日水稻成熟后,各处理小区选择有代表性的田间调查取样,分别调查单位面积平方

米穗数、每穗实粒数、千粒重等理论产量构成因子,计算理论产量;各小区选定有代表性的 666.67 m² 进行田间实收测产,测定含水量,折算成 14.5% 水稻标准含水量,计算实际产量。

1.4.3 数据分析 试验数据采用 Excel 2007 软件进行整理、统计和分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理水稻田间生育期分析

由表 2 可知,5 月 17 日开始插秧,返青期为 5 月 21 日,随着水稻返青后生育进程的不断推进,各处理之间生育进程表现出一定的差异,但差异变化规律不明显,处理 2 随着生育进程的不断推

进生育期逐渐提前。
通过田间调查对比分析,各处理之间生育进程差异较小,水稻分蘖期至齐穗期最多相差 1 d;成熟期出现一定的差异,处理 2 的成熟期最早,为 9 月 1 日,与 FP 处理相差 2 d,其他处理成熟期均为 9 月 2 日。

表 2 不同施肥处理对水稻田间生育时期的影响

处理	插秧期	返青期	分蘖期	拔节期	始穗期	抽穗期	齐穗期	成熟期
1	5 月 10 日	5 月 21 日	5 月 29 日	7 月 6 日	7 月 21 日	7 月 25 日	7 月 29 日	9 月 2 日
2	5 月 10 日	5 月 21 日	5 月 28 日	7 月 5 日	7 月 21 日	7 月 25 日	7 月 29 日	9 月 1 日
3	5 月 10 日	5 月 21 日	5 月 28 日	7 月 5 日	7 月 21 日	7 月 25 日	7 月 30 日	9 月 2 日
4	5 月 10 日	5 月 21 日	5 月 29 日	7 月 6 日	7 月 22 日	7 月 26 日	7 月 30 日	9 月 2 日
FP	5 月 10 日	5 月 21 日	5 月 29 日	7 月 6 日	7 月 22 日	7 月 26 日	7 月 30 日	9 月 3 日

2.2 不同施肥处理对水稻产量构成因子及理论产量的影响

由表 3 可知,各处理之间的穗数、穗实粒数、千粒重都存在一定的差异,且各处理的穗数、穗实粒数都高于 FP 处理,但变化规律不明显。各智能化推荐施肥处理中处理 3 的穗数最多,达到 535.05 万穗·hm⁻²,处理 4 最少,两者之间相差 14.70 万穗·hm⁻²;但在穗实粒数上,处理 4 的最多,达到 92.8 粒·穗⁻¹,处理 1 的最少,为 87.2 粒·穗⁻¹,千粒重则表现为处理 3 的最高,达到 28.3 g,处理 1 与处理 4 的相一致,处理 2 的最低,与处理 3 相差 0.6 g。

通过计算理论产量,各智能化推荐施肥处理的理论产量均高于 FP 处理,其中处理 3 的理论产量最高,达到 11 506.34 kg·hm⁻²,与 FP 相比产量高 1 087.89 kg·hm⁻²,理论增产率达到 10.4%,处理 1 的理论产量最低,为 10 974.60 kg·hm⁻²,比最高产量低 531.74 kg·hm⁻²。各处理的理论产量高低顺序为处理 3>处理 4>处理 2>处理 1>FP。

表 3 不同施肥处理对水稻产量构成因子及产量的影响

处理	穗数/ (万穗· hm ⁻²)	穗实 粒数/ (粒·穗 ⁻¹)	千粒重/ g	理论 产量/ (kg·hm ⁻²)	理论 增产率/ %
1	530.70	87.2	27.9	10974.60	5.3
2	528.75	89.9	27.7	11192.03	7.4
3	535.05	89.4	28.3	11506.34	10.4
4	520.35	92.8	27.9	11451.61	9.9
FP	511.95	84.6	28.3	10418.45	—

2.3 不同施肥处理水稻实测产量及经济效益分析

由表 4 可知,各智能化推荐施肥处理的实际产量都高于 FP 处理,相比较 FP 处理,处理 3 的

实际产量最高,达到 11 171.67 kg·hm⁻²,实际增产效果最好,增产量达到 686.73 kg·hm⁻²,实际增产率 6.5%,其次是处理 2(11 040.82 kg·hm⁻²),处理 4 的实际产量最低,为 10 748.38 kg·hm⁻²,与最高产量相差 423.29 kg·hm⁻²,实际增产率 2.5%,与最高的处理 3 相比减少 3.79%。

表 4 不同施肥处理水稻实际产量及经济效益分析

处理	实际 产量/ (kg·hm ⁻²)	实际 增产量/ (kg·hm ⁻²)	实际 增产率/ %	经济 效益/ (元·hm ⁻²)	净增 效益/ (元·hm ⁻²)
1	10865.57	380.63	3.6	28250.48	989.64
2	11040.82	555.88	5.3	28706.13	1445.29
3	11171.67	686.73	6.5	29046.33	1785.49
4	10748.38	263.44	2.5	27945.80	684.95
FP	10484.94	—	—	27260.85	—

注:水稻稻谷时价 2.60 元·kg⁻¹。

直接对水稻实际收获产量进行经济效益分析可以看出,相比较 FP 的,处理 3 的经济效益最高,净增效益达到 1 785.49 元·hm⁻²,其次是处理 2,净增效益为 1 445.29 元·hm⁻²,处理 4 最低,与最高的相差 1 100.53 元·hm⁻²。综上分析,试验中各智能化推荐施肥处理的实际收获产量、经济效益和净增效益都高于 FP 处理,其中处理 3 和处理 2 的各项实际指标相对较好。

2.4 不同施肥处理肥料偏生产力(PFP)分析

由表 5 可知,各智能化推荐施肥处理水稻氮肥(N)、磷肥(P₂O₅)、钾肥(K₂O)的 PFP 值都高于 FP 处理,处理 3 氮肥(N)、磷肥(P₂O₅)、钾肥(K₂O)的 PFP 值均最高,分别为 73.98,199.49 和 161.91 kg·kg⁻¹,比 FP 的分别高 8.86,21.78 和 63.00 kg·kg⁻¹。各处理三大肥料 PFP 进行对比,高低顺序是处理 3>处理 2>处理 1>处理 4>FP。综合表中数据进行分析,氮肥(N)、磷肥

(P_2O_5)、钾肥(K_2O)的 PFP 是磷肥(P_2O_5)>钾肥(K_2O)>氮肥(N),说明生产单位质量的稻谷,水稻籽粒吸收的氮肥最多,其次是钾肥,最少的是磷肥。

表 5 不同施肥处理肥料偏生产力分析

处理	偏生产力/($kg\cdot kg^{-1}$)		
	氮肥(N)	磷肥(P_2O_5)	钾肥(K_2O)
1	71.96	194.03	157.47
2	73.12	197.16	160.01
3	73.98	199.49	161.91
4	71.18	191.94	155.77
FP	65.12	177.71	98.91

3 讨论

本研究水稻插秧后遇到了持续约 40 d 的低温天气,一直到 6 月底气温才回升,前期低温条件下水稻生长受到严重影响。6 月 20 日,通过田间调查结果显示,叶龄指标比正常年份慢 1.0 叶龄至 1.5 叶龄,水稻生育进程晚 7~10 d,导致水稻分蘖期有效分蘖数减少,结实期田间有效穗数不足,成熟期水稻籽粒空瘪率增加,千粒重下降,造成水稻收获后特别是长粒水稻品种不同程度减产。本研究优选当地主栽优质高产圆粒粳稻品种龙粳 31,在 2024 年前期天气极其异常的情况下,有效降低了农户种植风险和田间试验风险,结合良技、良田、良种、良法、良机的“五良”配套,可以在天气异常年份大面积种植,既保障农业生产安全,又能实现粮食稳产丰产,对实际的农业生产具有重要的指导意义。

建立科学的养分推荐和管理方法对于保障作物高产优质、提高肥料利用率和保护环境具有重要意义。NE 系统推荐施肥在保证作物产量的前提下,能够科学平衡氮、磷和钾肥的施用,提高肥料利用率和农民收入,特别适合我国作物种植茬口紧、测土施肥不及时以及测试条件不具备的国情,是当前协调农学、经济和环境的重要的推荐施肥方法^[1-2]。水稻养分专家系统在苏北地区依据地块信息和智能化施肥系统,指导优化了氮、磷、钾肥的施用量和施用方法,促进了水稻对氮、磷、钾养分的吸收和利用,提高了肥料利用率,具有较好的增产增收效果^[12]。本研究采用中国农业科学院养分专家系统开展智能化推荐施肥技术,第一年在东北地区寒地水稻上试验示范,2024 年第一次开展实施取得了较好的田间试验效果,其试验结果也与前人的类似研究结果基本相一致^[3-6,12]。

王素萍等^[13]研究结果表明,在水稻上等施肥量情况下,有机肥替代化肥水稻产量增加 5.63%~14.43%,同时化肥施用量降低了 15.37%~46.16%,综合考虑各方面经济因素,有机肥替代 30%化肥经济效益最高,比农民习惯施肥增收 6 140.38 元· hm^{-2} 。在东北一季稻的田间验证结果显示,与农民习惯施肥和测土施肥相比,养分专家系统不仅可以节省土壤测试费用,而且推荐的施肥量、施用时间和比例都更加符合作物的养分需求,能够平衡氮、磷和钾肥料用量,其中产量分别较农民习惯施肥处理和测土施肥处理增加了 344 和 196 $kg\cdot hm^{-2}$,经济效益分别增加了 1 043 和 537 元· hm^{-2} ,同时提高了肥料利用效率,表明该方法在我国东北一季稻种植区进行施肥推荐更加方便可行^[14]。养分专家系统推荐的氮肥用量施用条件下,早、晚稻产量及氮素养分吸收量均达到最高,氮肥利用率也保持在较高水平^[15]。本研究在寒地水稻上通过开展智能化推荐施肥技术,通过 NE 系统推荐减施 N 10 $kg\cdot hm^{-2}$,在 NE 100%N 前提条件下减施 20%N 或者 NE 100%N 推荐施用且密植,同时增施生物有机肥,实际产量增加 5.3%~6.5%,这与上述两者的研究结果也相一致。

化肥减量增效施用推荐施肥方法较农户习惯施肥方法具有明显的节肥增产增收效果^[16],化肥减量 10%和 30%,配施复合微生物菌肥均能提高水稻产量^[17],减少氮肥总量的前提下,加大氮肥基施比例并配合基肥深施加少量撒施,是提高水稻产量和效益的适宜措施^[18]。推荐施肥模式也较好地协调了土壤养分供应,提高了氮肥偏生产力,有利于菜-菜-稻轮作实现作物高产和氮肥的高效利用^[19],有研究表明,与普通尿素一次性施用相比,控释尿素平均可增加水稻产量 10%以上^[20]。由此可见,优化水稻施肥模式、减肥增效及改良栽培技术仍是当前研究重点^[21],肥料运筹上重视有机肥和化肥投入比例,提高有机肥补贴力度,增加有机肥施用数量,开展有机肥替代化肥行动,巩固秸秆还田成果,提高肥料养分利用率及土壤肥力,进一步减轻化肥施用强度^[22]。

本研究仅选择寒地稻田高产水平地块开展试验示范,并没有在中产水平和低产水平地块上开展试验,所以试验仅代表部分地块类型的结果;此外,2024 年前期遭遇多年不遇的连续长时间低温天气,这可能会影响水稻对各个品种肥料的正常吸收利用,其试验结果也仅代表本年度天气条件下的结果。下一步可以考虑在正常天气年份下,分别在不同地力水平的田块上开展试验示范,并

固定地块连续开展两年以上,最后将试验结果进行统一对比分析,进一步验证智能化推荐施肥技术的田间试验效果。并在田间试验的基础上尝试在佳木斯国家农业高新技术产业示范区大面积推广应用到实际农业生产中,以期促进连作寒地水稻种植增产增效,在有效保障国家粮食安全的同时,实现寒地黑土农业可持续发展。

4 结论

不同施肥处理水稻生育期表现出一定的差异,但差异变化规律不明显。不同智能化推荐施肥处理之间的产量构成因子都存在一定差异,且穗数、穗实粒数都高于 FP 的,但变化规律不明显,理论产量、实际产量都高于 FP 处理,处理 3 的实际产量最高,达到 $11\,171.67\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,增产率 6.5%,处理 4 的实际产量最低,为 $10\,748.38\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。处理 3 氮肥(N)、磷肥(P_2O_5)、钾肥(K_2O)的 PFP 值均最高,分别为 73.98,199.49 和 $161.91\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。各处理实际产量高低顺序与 PFP 高低顺序相一致,均表现为处理 3>处理 2>处理 1>处理 4>FP。

对水稻实际收获产量进行经济效益分析,处理 3 的经济效益最高,净增效益达到 $1\,785.49\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,处理 4 的最低,与处理 3 相差 $1\,100.53\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

综合以上分析,通过 NE 系统智能化推荐施肥技术第一年在佳木斯农高区田间示范试验初步验证,寒地连作老稻田土壤中氮、磷、钾大量养分具有一定的储备,采取增密+增施生物有机肥或减氮+增施生物有机肥措施,都能明显提高水稻的产量。

参考文献:

[1] 何萍,徐新朋,丁文成,等.基于作物产量反应和农学效率的智能化推荐施肥原理与实践[J].植物营养与肥料学报,2023,29(7):1181-1189.

[2] 徐新朋,丁文成,何萍,等.基于产量反应和农学效率的水稻智能化推荐施肥方法研究[J].植物营养与肥料学报,2023,29(5):802-812.

[3] 王静,丁树文,程益涵,等.化肥减量配施生物炭和秸秆对砂姜黑土区水稻产量、养分吸收和土壤碳的影响[J].华中农业大学学报,2024,43(5):116-125.

[4] 韩墨,朱蕾,李心,等.寒地水稻减施化肥增施有机肥试验探

究[J].现代农业,2020(10):39-40.

[5] 姜巍,王安东,杜明,等.生物肥对寒地水稻产量影响的研究[J].现代化农业,2017(6):14-16.

[6] 怀宝东,隋文志,徐飞,等.减量施肥技术对寒地水稻生长及产量性状的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2019,31(2):1-6.

[7] 徐洪斌,陈秋雪,韩兆明.硅肥与生物肥配合施用对寒地水稻的影响[J].现代农业,2011(5):54-55.

[8] 卞景阳,刘琳帅,孙兴荣,等.施肥方式对寒地粳稻产量及品质的影响[J].中国稻米,2019,25(3):105-107.

[9] 赵海成,杜春影,魏媛媛,等.施肥方式和氮肥运筹对寒地水稻产量与品质的影响[J].中国土壤与肥料,2019(3):76-86.

[10] 刘梦红,张喜娟,李红宇,等.施肥方式和减施氮肥对寒地水稻抗倒性的影响[J].上海农业学报,2024,40(3):17-22.

[11] 张忠臣,刘海英,高红秀,等.施肥量和穴内插秧密度对寒地粳稻产量和品质性状的影响[J].作物杂质,2012(3):99-104.

[12] 宋蝶,陈新兵,董洋阳,等.养分专家系统推荐施肥对苏北地区水稻产量和肥料利用率的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(1):68-75.

[13] 王素萍,杜雷,张贵友,等.有机无机肥配施对水稻产量·品质及土壤养分状况的影响[J].安徽农业科学,2024,52(7):143-146.

[14] 徐新朋,王寅,刘双全,等.基于产量反应的东北一季稻推荐施肥方法的可行性[J].植物营养与肥料学报,2020,26(10):1818-1826.

[15] 胡丹丹,李大明,宋惠洁,等.养分专家系统在双季常规稻模式下的减氮效应[J].中国土壤与肥料,2022(9):32-38.

[16] 方克明,肖欣,秦蕾影,等.南方粳稻化肥减量增效施用方法研究[J].中国农学通报,2022,38(31):6-11.

[17] 姜钦龙,王苏影,祝飞,等.化肥减量配施复合微生物菌肥对土壤养分和水稻产量的影响[J].耕作与栽培,2023,43(5):49-51,58.

[18] 曾科,朱文彬,田玉华,等.尿素施肥方式对水稻增产增效和土壤氮素损失的影响[J].植物营养与肥料学报,2023,29(3):427-436.

[19] 张立成,李娟,章明清.施肥模式对菜-稻轮作周年氮素吸收及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2024(4):181-189.

[20] 乔艳,胡诚,李双来,等.基于水稻养分专家系统的控释尿素适宜释放期研究[J].中国土壤与肥料,2022(7):16-22.

[21] 严如玉,甘国渝,赵希梅,等.我国水稻优势产区生产格局及施肥现状研究[J].中国稻米,2023,29(3):1-8.

[22] 王站付,董晖,张逸鸣,等.上海市水稻施肥情况及肥料偏生产力分析[J].中国农技推广,2024,40(4):75-79.

Application Effects of Intelligent Fertilizer Recommendation Technology in Cold Rice

MIN Fanhua^{1,2}, XU Xinpeng¹, HE Ping¹, WANG Xiya¹, LI Qingbiao², GUO Zhen², YUAN Hailong², ZHANG Ming²

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Management Committee of Jiamusi National Agricultural High-Tech Industry Demonstration Zone of Heilongjiang, Jiamusi 156300, China)



朱莹雪,陈圣杰,匡恩俊,等. 变量追氮对土壤化学性质及玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2025(1):6-13.

变量追氮对土壤化学性质及玉米产量的影响

朱莹雪¹,陈圣杰^{1,2},匡恩俊¹,袁佳慧¹,迟凤琴¹,张久明¹

(1. 黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部黑土地保护与利用重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 哈尔滨师范大学 生命科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要:为促进东北黑土区玉米绿色精准施肥,采取变量追氮的施肥方式在八五五农场和八五六农场试验区玉米田进行田间大区试验,以高空间分辨率遥感影像数据为基础,以当地常规追氮量 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为标准,设置 5 个施肥梯度并生成处方图,研究精准变量追氮施肥技术对土壤化学性质及玉米产量等指标的影响。结果表明,八五五农场试验基地土壤有机质和碱解氮含量均表现为少量减氮处理显著高于其他处理,分别较常规追氮处理提高 17.0% 和 44.1%,相较于追氮前,有机质含量提高 $8.2\%\sim70.3\%$; pH 在变量追氮后少量减氮、少量增氮显著高于常规追氮处理 $4.8\%\sim5.7\%$,大量增氮处理高于常规追氮处理 1.7%; 各变量追氮处理玉米产量虽低于常规追氮处理,但差异不显著。八五六农场试验基地土壤有机质含量经变量追氮后均有所提高 ($3.0\%\sim36.4\%$),各处理间差异不显著; 变量追氮后常规追氮处理的碱解氮含量最高 ($46.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),与大量增氮处理差异显著; 变量追氮后除少量增氮处理 pH 低于常规追氮处理,其他变量追氮处理均高于常规追氮处理 $4.2\%\sim5.5\%$,各处理间差异不显著; 减氮处理的玉米产量较高,增氮处理的产量较低,各处理间差异不显著。综上,变量追氮一年虽然在降低土壤速效养分空间差异上未表现出明显效果,但增加了有机质的含量,促进地块保持产量均一稳定,能够达到稳产增产的效果。

关键词:玉米; 精准施肥; 变量追氮; 增产增效; 平衡地力; 增产

化肥在提高农田生产力与作物产量等方面发挥了关键作用,科学的肥料施用是提高玉米产量

的重要前提。然而目前许多地区农民施肥存在盲目性,在东北平原玉米产区一些农户的施氮量(N)

收稿日期:2024-06-07

基金项目:现代农业省实验室项目资助(ZY04JD05-009); 黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z23266); 黑龙江省农业科技创新跨越工程项目(CX23BS03); 黑龙江省自然基金项目(PL2024D024, LH2024D031)。

第一作者:朱莹雪(1996—),女,硕士,研究实习员,从事土壤肥力与土壤改良研究。E-mail:zyx23008@163.com。

通信作者:张久明(1980—),男,博士,副研究员,从事土壤肥力演变与高效施肥研究。E-mail:zjm_8049@163.com。

Abstract: In order to reduce the impact of long-term excessive use of chemical fertilizers on the soil and environment of cold rice. Intelligent fertilizer recommendation of according to the Nutrient Expert System (NE) based on yield and residual nutrients from previous season. Adopting a regional comparative experimental design with different fertilization rates, investigate the effects of different fertilization treatments on rice growth period, yield composition factors, theoretical yield, measured yield, and economic benefits, and analyze the partial factor productivity of fertilizer (PFP) under different fertilization treatments. The experimental results showed that compared with farmers used to three fertilizer ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) application amount of 161, 59, 106 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, intelligent fertilizer recommendation ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) application amount of 151, 56, 69 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the reduced application amount of N, P_2O_5 , K_2O were 10, 3, 37 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. There were some differences among the development process, yield factors, the actual yield, and the variation was not obvious. The maturity stage of treatment 2 was the earliest on September 1st, two days prior to FP. The PFP of the three fertilizers were the highest on treatment 3, there were 73.98, 199.49, 161.91 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The higher than FP of 8.86, 21.78, 63.00 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The yield was increased of 4 treatments based on the condition of reducing fertilizer. The actual increase yield was the highest of treatment 3, the actual yield reached 11 171.67 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the increasing yield of 686.73 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the increasing rate of 6.5%. The order of increasing yield, PFP of 4 treatments were consistent. The yield of rice could be increased by applying bio-organic fertilizer.

Keywords: cold rice; Nutrient Expert System; fertilizer recommendation; bio-organic fertilizer; yield; partial factor productivity of fertilizer