

肥料配施对寒地粳稻生长及产量和品质的影响

李洪亮¹ 孙玉友¹ 魏才强¹ 刘丹² 程杜娟¹ 曲金玲¹ 孟祥海¹
宋泽¹ 刘春光¹ 姜龙¹ 徐德海¹ 王丽¹

(¹黑龙江省农业科学院牡丹江分院,牡丹江 157041; ²遵义师范学院生物与农业科技学院,贵州遵义 563006)

摘要:通过精确控灌开展无机肥和复合肥配施试验,明确不同肥料处理对水稻叶片 SPAD、植株干物质积累、产量及稻米品质的影响。结果表明:在常规灌溉(500m³/667m²,W1)和节水灌溉(400m³/667m²,W2)两种灌溉方式下,无机肥和复合肥配施(T1处理)更有利于灌浆结实期水稻植株进行光合作用和干物质积累,其产量分别为8611.1kg/hm²和8796.3kg/hm²,与单一施用无机肥(CK)相比增产比例分别为6.3%和8.0%。单一施用复合肥(T2处理)产量虽低于T1处理,但其稻米品质略优于T1处理,其稻米直链淀粉含量在两种灌溉方式下分别为18.54%和18.92%,食味评分达到87~89分。单一施用无机肥(CK)在水稻产量和品质方面均低于无机肥和复合肥配施(T1处理)和单一施用复合肥(T2处理)。无机肥和复合肥合理配施是水稻获得高产和改善品质的有效措施。

关键词:氮肥;复合肥;粳稻;产量;品质

Effects of Combined Application of Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Japonica Rice in Cold Region

LI Hongliang¹, SUN Yuyou¹, WEI Caiqiang¹, LIU Dan², CHENG Dujuan¹, QU Jinling¹,
MENG Xianghai¹, SONG Ze¹, LIU Chunguang¹, JIANG Long¹, XU Dehai¹, WANG Li¹

(¹Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157041, Heilongjiang;

²College of Biology and Agriculture, Zunyi Normal University, Zunyi 563006, Guizhou)

水稻产量和品质受水肥调控因素的影响,肥料运筹和灌溉方式是否合理在一定程度上决定了水稻最终产量和稻米品质。随着科技发展和市场需求转变,水稻优质高产栽培技术措施也不断得以完善^[1]。氮是水稻生长所必需的养分,氮肥对水稻产量和品质影响很大^[2-3],通常水田施用的氮肥主要来源于无机肥尿素,近些年来,复合肥料在水稻生产中的应用也越来越多。复合肥料通常含有2种或2种以上植物生长所需的重要营养元素,副成分少且物理性状好,施用一次便能提供多种养分^[4-5]。有机无机肥料配施既能满足水稻高产稳产的养分需求,又能保证土壤肥力的持续提高和土壤性状的改善^[6],且有机无机复合肥配施培肥作用非常明显^[7],有机

无机肥配合施用及相关研究已经成为国内外研究热点^[8-10]。本研究通过精确控灌开展无机肥和复合肥配施试验,测定水稻产量、品质等指标,明确无机肥和复合肥配施对水稻生长、产量和品质的影响,为寒地粳稻稳产提质生产提供理论参考和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试水稻品种为绥粳18;供试肥料为隆福天下控失复合肥(N:P:K=20:8:12),同时含有15%的钙、镁、硫、硅以及3%的锌、硼、钼、锰等中微量营养元素。试验地点为黑龙江省农业科学院牡丹江分院,土壤基本理化性状:pH值7.2,有机质1.85%,全氮0.26%,全磷0.15%,碱解氮87.6mg/kg,速效磷13.2mg/kg,速效钾96.8mg/kg,有效镁86.2mg/kg。

1.2 试验设计 试验设置两种灌溉方式,分别为

基金项目:黑龙江省重点研发计划(GA21B002);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-60)

W1 常规灌溉(总量 $500\text{m}^3/667\text{m}^2$)和 W2 节水灌溉(总量 $400\text{m}^3/667\text{m}^2$),每个小区用单独水表精确计量灌水量,单排单灌,记录水稻各生育时期试验地点的天然降雨量,在水稻每个生育时期进行小区灌溉时从设计灌水量中扣除天然降雨量,水稻各生育时期设计灌水量详见表 1。设置 3 个施肥处理:(1)单一施用无机肥(底肥尿素 $130\text{kg}/\text{hm}^2$ + 分蘖肥尿素 $100\text{kg}/\text{hm}^2$,CK);(2)无机肥和复合肥配施(底肥复合肥 $300\text{kg}/\text{hm}^2$ + 分蘖肥尿素 $100\text{kg}/\text{hm}^2$,T1);(3)单一施用复合肥(底肥复合肥 $440\text{kg}/\text{hm}^2$ + 分蘖肥复合肥 $80\text{kg}/\text{hm}^2$,T2)。试验中各处理总纯氮量

$7\text{kg}/667\text{m}^2$,磷、钾肥控制相同量施入。CK:补纯磷 $41.6\text{kg}/\text{hm}^2$ (底肥,补时 18%N 从底肥中扣出去),补纯钾 $62.4\text{kg}/\text{hm}^2$ (底肥占 60%,穗肥占 40%)。T1:补纯磷 $17.6\text{kg}/\text{hm}^2$ (底肥,补时 18%N 从分蘖肥中扣出去),补纯钾 $26.4\text{kg}/\text{hm}^2$ (穗肥)。T2:纯磷量为 $41.6\text{kg}/\text{hm}^2$,纯钾量为 $62.4\text{kg}/\text{hm}^2$ 。试验于 2021 年 4 月 20 日播种,5 月 22 日插秧,2022 年 4 月 18 日播种,5 月 21 日插秧,插秧规格为 $30\text{cm} \times 14\text{cm}$,16 行区、9m 行长,小区面积 43.2m^2 ,3 次重复,试验除灌水方式与施肥处理不同外,其他田间管理措施同粳稻高产栽培技术。

表 1 水稻不同生育时期灌溉水量

处理	总量	泡田定额	返青期	分蘖期			拔节孕穗期	抽穗灌浆期	黄熟期
				前期	中期	末期			
W1	500m^3	100m^3	1 次, 40m^3	1 次, 40m^3	2 次, 80m^3	晒田	3 次, 120m^3	3 次, 120m^3	0
W2	400m^3	100m^3	1 次, 30m^3	1 次, 30m^3	2 次, 60m^3	晒田	3 次, 90m^3	3 次, 90m^3	0

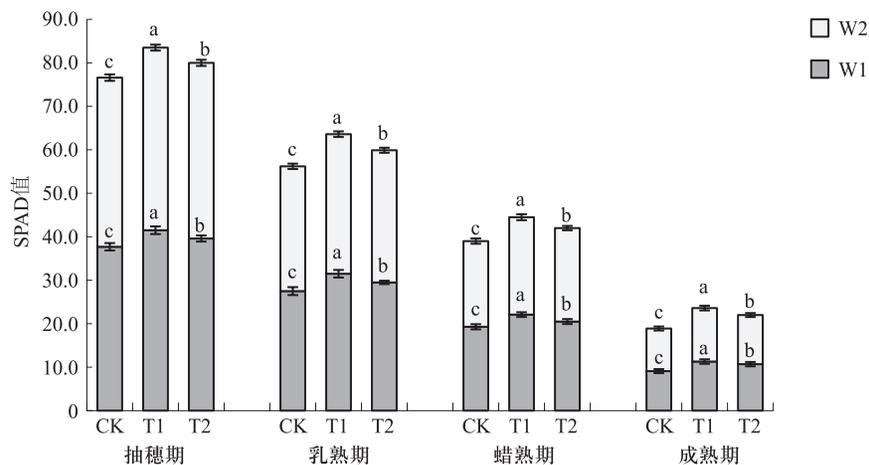
1.3 测定项目与方法 观察记录试验品种分蘖动态。抽穗期、乳熟期、蜡熟期和成熟期测定干物重,每小区取 3 株,去根后装入信封,置于烘箱, 105°C 杀青 30min, 80°C 烘干至恒重称重。抽穗期、乳熟期、蜡熟期和成熟期利用 SPAD-502plus 叶绿素仪连续测定 5 穴水稻倒 1 叶上部的 SPAD 值,取其平均值作为测定值。成熟后每小区连续取样 5 穴,室内考查每穗粒数、结实率和千粒重等指标,同时每小区实收 21.6m^2 进行测产。利用 SHIZUOKA SEIKI 公司生产的 PS-500 食味分析计对稻米的蛋白质含量、直链淀粉含量及食味评分进行测定,以 W1 常规灌

溉方式下的 CK 处理作为标准米样,设定其食味评分为 85 分,测定其他处理的相对数值。

1.4 数据处理及分析 使用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,DPS 7.05 软件进行统计分析。2021 年和 2022 年 2 年试验结果总体趋势一致,本文主要以 2022 年的数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻各生育时期叶片 SPAD 值的影响 由图 1 分析可知,W1 和 W2 两种灌溉方式下,水稻不同生育时期叶片 SPAD 值变化趋势表现一致,不同施肥处理对水稻叶片 SPAD 值影响不同,



同一灌溉处理,不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著,下同

图 1 水稻各生育时期叶片 SPAD 值

在抽穗期至成熟期叶片 SPAD 值由高到低均表现为 T1>T2>CK,即无机肥和复合肥配施条件下水稻各生育时期叶片 SPAD 值更高。同一施肥处理下,叶片 SPAD 值随着水稻生育进程表现为逐渐降低,W2 节水灌溉方式下 T1 处理抽穗期至成熟期叶片 SPAD 值分别为 42.0、32.1、22.4 和 12.3。本试验结果表明,T1 处理即无机肥和复合肥配施更有利于灌浆结实期水稻植株进行光合作用。

2.2 不同处理对水稻各生育时期地上部干物质重的影响 由图 2 分析可知,W1 和 W2 两种灌溉方式下,水稻不同生育时期干物质积累变化趋势表现一致,不同施肥处理对水稻干物质积累的影响不同。在抽穗期至成熟期不同施肥处理干物质积累量由高到低均表现为 T1>T2>CK,即水稻各生育时期干物质积累量在无机肥和复合肥配施条件下表现为最大。同一施肥处理下,干物质积累量随着水稻生育进程表现为逐渐增大,W1 和 W2 两种灌溉方式下,成熟期 T1 处理干物质积累量分别为 80.4g/穴和 82.6g/穴。本试验结果表明,T1 处理即无机肥和复合肥配施更有利于灌浆结实期水稻干物质的积累。

2.3 不同处理对水稻产量及产量构成因素的影响

由表 2 分析可知,W1 和 W2 两种灌溉方式下,水稻产量及产量构成因素等整体变化趋势一致。不同施肥处理间,在株高、穗长、有效穗数、结实率和产量等表现上有所差异。在 W1 灌溉方式下,T1 处理在株高、每穗粒数及产量方面要显著高于 CK 和 T2 处理;在 W2 灌溉方式下,T1 处理在株高、穗长、结实率、千粒重及产量方面要显著高于 CK 和 T2 处理;T1 处理在 W1 和 W2 灌溉方式下的产量分别为 8611.1kg/hm² 和 8796.3kg/hm²,与 CK 相比增产比例分别为 6.3% 和 8.0%。本试验结果表明,T1 处理即无机肥和复合肥配施水稻产量最高,其次是单一施用复合肥处理,而单一施用无机肥处理产量则表现为最低。W2 灌溉方式下,各处理水稻产量均高于 W1 灌溉方式,说明 W2 节水灌溉方式有利于寒地粳稻获得更高的产量。

2.4 不同处理对稻米蛋白质和直链淀粉含量及食味评分的影响 由表 3 分析可知,W1 和 W2 两种灌溉方式下,不同施肥处理之间蛋白质含量、直链淀粉含量和食味评分上均表现为差异显著。W1 常规灌溉方式下,蛋白质含量由高至低表现为 CK>T1>T2,直链淀粉含量和食味评分由高至低表

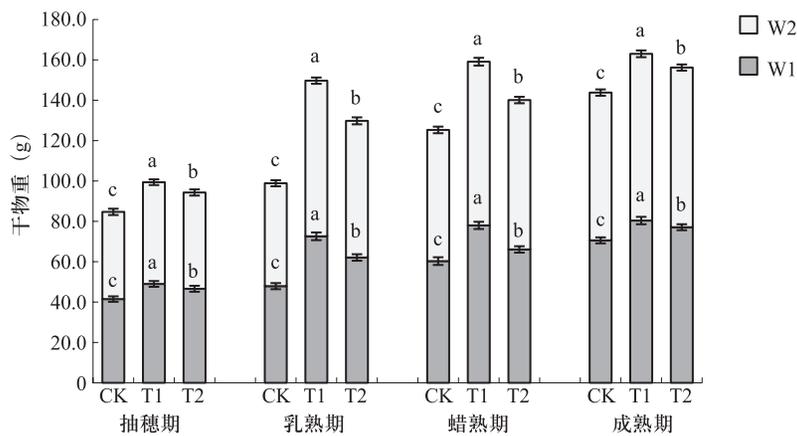


图 2 水稻各生育时期地上部干物质重

表 2 水稻产量及产量构成因素

处理	株高 (cm)	穗长 (cm)	有效穗数	每穗粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	小区产量 (kg)	折合产量 (kg/hm ²)	增产比例 (%)
W1	CK	102.3c	17.3b	293.5c	123.7b	94.1b	28.1a	17.5c	—
	T1	106.6a	17.7a	297.7b	126.0a	94.7ab	28.2a	18.6a	6.3
	T2	105.1b	17.4ab	305.4a	123.7b	94.8a	28.1a	18.4b	5.1
W2	CK	103.3c	17.4b	291.5c	124.3b	94.3c	28.0b	17.6c	—
	T1	106.7a	17.8a	298.9b	127.3a	95.3a	28.2a	19.0a	8.0
	T2	105.5b	17.5b	301.5a	126.3a	94.8b	27.9b	18.7b	6.3

表3 稻米蛋白质和直链淀粉含量及食味评分

W1 处理	蛋白质含量 (%)	直链淀粉含量 (%)	食味评分	W2 处理	蛋白质含量 (%)	直链淀粉含量 (%)	食味评分
CK	6.8a	18.15c	85c	CK	6.5a	18.38c	86c
T1	6.6b	18.35b	86b	T1	6.3b	18.53b	87b
T2	6.5c	18.54a	87a	T2	6.1c	18.92a	89a

现为 T2>T1>CK。W2 节水灌溉方式与 W1 常规灌溉方式在蛋白质含量、直链淀粉含量和食味评分上整体趋势表现一致,而相同施肥处理方式下,W2 节水灌溉处理蛋白质含量低于 W1 常规灌溉处理,W2 节水灌溉处理直链淀粉含量和食味评分高于 W1 常规灌溉处理。在 W1 和 W2 两种灌溉方式下,T2 处理即单一施用复合肥的稻米直链淀粉含量最高,为 18.54%~18.92%,食味评分达到 87~89 分,高于单一施用无机肥(CK)处理 2~3 分。

3 结论与讨论

水稻生长发育受水肥等诸多因素影响,其中氮肥对水稻产量和稻米品质起着至关重要的决定作用,氮肥既可以提高产量也能改善稻米品质。单一氮肥施用虽然肥效直接,但肥料损失较大,肥料利用率低,已有研究表明,施用控释肥/缓释配方肥的水稻比施用常规配方肥水稻产量要高^[11-12],施用控释尿素水稻的产量也明显高于普通尿素^[13]。有研究认为植株干物质累积是水稻获得高产的一个主要原因,累积过程来自植物的光合作用,所以水稻产量高的原因与光合作用密切相关^[14-15]。控释肥处理下的干物质生产量在分蘖盛期之前比普通尿素处理低,到孕穗期之后则明显高于普通尿素处理^[16]。在养分相同情况下,不同的包膜肥料处理与常规复合肥处理相比,水稻的干物质积累量、生物产量明显提高^[17-18]。本研究表明,无机肥和复合肥配施更有利于水稻生育后期的干物质积累,有利于使水稻获得更高产量。稻米蛋白质含量和食味品质之间呈负相关,蛋白质含量的提高不利于直链淀粉和稻米食味品质的形成^[19-20]。本研究在保证各处理间氮、磷、钾养分总含量相同的前提下开展肥料配施试验,结果表明,T1 处理即无机肥和复合肥配施水稻产量最高,W1 和 W2 两种灌溉方式下产量分别为 8611.1kg/hm² 和 8796.3kg/hm²;W2 节水灌溉方式下,T2 处理即单一施用复合肥稻米的食味评分最高,达 89 分,说明控失复合肥在提高水稻产量和改善稻米

品质方面发挥了重要作用。究其原因无机肥主要成分为氮、磷、钾,而本试验中的控失复合肥除可为水稻生长提供氮、磷、钾养分外,还含有钙、镁、硫、硅、锌、硼、钼等中微量营养元素,且复合肥中的控失剂可使肥料中营养成分缓慢释放,有利于提高肥料利用率。

无机肥和复合肥配施水稻产量最高,其次是单一施用复合肥处理,而单一施用无机肥处理产量则表现为最低。同时,节水灌溉方式下(W2),各处理水稻产量均高于常规灌溉方式(W1),说明节水灌溉方式有利于寒地粳稻获得更高的产量;且节水灌溉处理蛋白质含量低于常规灌溉处理,直链淀粉含量和食味评分则表现为高于常规灌溉处理。因此,在节水灌溉方式下,无机肥和复合肥合理配施是寒地粳稻获得高产和改善品质的有效措施。

参考文献

- [1] 陈露. 江苏不同年代中粳品种对施氮量的响应及其生理机制. 扬州:扬州大学,2014
- [2] Perez C M, Juliano B O, Liboon S P, Alcantara J M, Cassman K G. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal Chemistry*, 1996, 73, 556-560
- [3] 刘博, 吕军, 姚继攀. 氮肥施入量对水稻辽粳 401 产量及品质的影响. *辽宁农业科学*, 2022 (6): 80-82
- [4] 杨立帆, 许泽华, 万波, 刘宜贵. 不同复合肥对水稻产量及其构成因素的影响. *现代农业科技*, 2019 (11): 18, 21
- [5] 李进前, 杨立年, 周定邦, 左京, 魏丽者. 绿先机、绿聚能两种复合肥对水稻产量及效益的影响. *中国稻米*, 2017, 23 (1): 90-91
- [6] 苏瑞芳. 商品有机肥对水稻生长及产量的影响. 南京:南京农业大学, 2015
- [7] 田苗, 李鹏, 赵坤, 姜虹, 赵婷婷, 贺丹. 有机无机肥配施对水稻产量、品质及土壤肥力的影响. *安徽农学通报*, 2023, 29 (1): 120-122, 128
- [8] Li Z P, Liu M, Wu X C, Han F X, Zhang T L. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 2010, 106: 268-274

(下转第 76 页)

高,冬小麦超高产逐渐由 600kg/667m² 以上演变为 650kg/667m²、700kg/667m² 以上^[14-15],现阶段各地冬小麦高产攻关田产量已突破 800kg/667m² 甚至 900kg/667m²^[16-17]。本试验 12 个处理组合中有 10 个组合产量达到 650kg/667m² 以上,3 个处理组合产量在 700kg/667m² 以上。因此本项试验研究所取得的适宜播期播量主要技术指标,可以在豫东平原及其相似生态类型区郑麦 1342 等优质小麦超高产栽培及订单生产产业化进程中推广应用。

参考文献

- [1] 周伟,娄华敏,徐久飞,庄倩梅. 不同播期、播量对济麦 22 号产量及构成因素的影响. 浙江农业科学,2017,58(2): 246-248
- [2] 马瑞,康明辉,范黎明,赵永英,张丹,海燕. 小麦品种花培 5 号适宜播期、播量试验. 河南农业科学,2009(10): 64-65
- [3] 陈洁,周星,王振,周娜娜,金何玉,陈许兵,王升. 播期播量对宁麦 13 产量及其构成因素的影响. 浙江农业科学,2022,63(8): 67-70
- [4] 曹燕燕,李雷雷,于蕾,王君,张振永,齐双丽,乔冀良,黄杰,廖平安,葛昌斌,郭春强. 播期播量对小麦新品种深麦 163 产量及其构成因素的影响. 陕西农业科学,2021,67(10): 98-102
- [5] 衣政伟,胡中泽,杨大柳,孙婧婧,张岳芳,陈留根,王显,陈志德. 播量和播期对苏中地区小麦生长发育及产量的影响. 江苏农业科学,2020,48(11): 67-72
- [6] 陈巧艳,李新华,王紫娟,欧阳娟,乔红,欧行奇. 晚播和密度对百农 207 产量及相关农艺性状的影响. 河南科技学院学报:自然科学版,2021,49(6): 1-7
- [7] 范家霖,张福彦,程仲杰,王嘉欢,齐红志,陈晓杰,张建伟,杨保安.

不同种植模式对小麦新品种豫丰 11 生长发育及产量的影响. 东北农业科学,2022,47(6): 14-19

- [8] 闫文利,李伟,刘旭,杨兆生,蔡忠民,闫素红. 不同播期播量对小麦中育 9302 产量及部分性状的影响. 江苏农业科学,2021,(49) 20: 84-88,123
- [9] 田伟,郭振升,张慎举,侯乐新. 超高产条件下农艺措施与小麦产量关系的研究. 中国农学通报,2012,28(6): 126-130
- [10] 龚学臣. SPSS18.0 在裂区试验结果方差分析中的应用. 河北北方学院学报:自然科学版,2014,30(5): 52-54,58
- [11] 路易三十六. SPSS 实现多因素方差分析模型. (2019-05-13) [2023-07-31]. https://blog.csdn.net/LuYi_WeiLin/article/details/90145935
- [12] 汪冬华,马艳梅. 多元统计分析 with SPSS 应用(第 2 版). 上海:华东理工大学出版社,2018
- [13] 朱静,张志东,刘晓静,唐琦勇,王博,顾美英,宋素琴,王玮,张丽娟. 黑色素与生物农药配伍优化及其对棉田产量的影响. 新疆农业科学,2018,55(9): 1728-1736
- [14] 赵志宏,王建设,郭振升,赵洪献,皇甫自起,张慎举. 豫东平原冬小麦超高产栽培技术路线探讨. 中国农学通报,2020,36(15): 12-17
- [15] 王红光,李东晓,李雁鸣,李瑞奇. 河北省 10000kg·hm⁻² 以上冬小麦产量构成及群体生育特性. 中国农业科学,2015,48(14): 2718-2729
- [16] 郭俊娟,齐学礼,郭瑞. 高产稳产 广适高效 郑麦 1860:“麦”向丰收“面”向未来. 河南经济报,2022-06-16(第 5 版)
- [17] 王姝. 河南多个小麦新品种最高亩产破 900 公斤 丰产背后你可知麦种更新多少代. (2022-06-07) [2023-07-31]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1734965784491641581&wfr=spider&for=pc>

(收稿日期: 2023-07-31)

(上接第 70 页)

- [9] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,李祖章,刘益仁,黄永兰,冀建华,邵彩虹,王福全. 有机无机肥配比比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响. 中国农业科学,2011,44(3): 516-523
- [10] 高菊生,黄晶,董春华,徐明岗,曾希柏,文石林. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响. 土壤学报,2014,51(2): 314-324
- [11] 建颖颖,王新新. 缓释配方肥对机插水稻主要性状及产量的影响. 上海农业科技,2013(2): 74,84
- [12] 陈萍,迟海峰,张骞,谷传申,杜婉君. 缓控释肥对水稻产量及其构成因素的影响. 黑龙江农业科学,2012(6): 71-73
- [13] 孙锡发,涂仕华,秦鱼生,冯文强,廖鸣兰,喻华. 控释尿素对水稻产量和肥料利用率的影响研究. 西南农业学报,2009,22(4): 984-989
- [14] 陈新. 水稻高产影响因素分析. 农业开发与装备,2015(5): 37
- [15] 赵黎明,李明,郑殿峰,顾春梅,那永光,解保胜. 灌溉方式与种植密度对寒地水稻产量及光合物质生产特性的影响. 农业工程学

报,2015,31(6): 159-169

- [16] 聂军,郑圣先. 控释肥料不同用量水平对水稻氮素利用和产量的影响. 湖南农业科学,2002(6): 37-39
- [17] 阴红彬,韩晓日,宋正国,曹宏杰,于成广. 水稻专用控释肥的养分释放规律及对养分利用的影响. 中国农学通报,2006,22(2): 234-236
- [18] 王胜佳,王家玉,陈义. 复膜尿素对水稻的增产效应及其生理基础. 浙江农业学报,1997,9(3): 7-11
- [19] 徐春梅,王丹英,邵国胜,章秀福. 施氮量和栽插密度对超高产水稻中早 22 产量和品质的影响. 中国水稻科学,2008,22(5): 507-512
- [20] 崔月峰,孙国才,卢铁钢,王俊茹,王桂艳,王健. 氮肥运筹对超级稻铁梗 7 号产量形成及品质的影响. 湖北农业科学,2013,52(8): 1760-1763,1767

(收稿日期: 2023-08-20)