

施氮对北方粳稻产量、品质及氮肥利用率的影响

姬景红, 刘双全, 马星竹, 郝小雨, 郑雨, 赵月, 刘颖, 张明怡, 暴帅

(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/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 哈尔滨 150086)

摘要: 通过两年田间试验, 研究了不同氮肥施用处理对龙稻 18 和绥粳 18 产量、品质和氮肥利用率的影响。结果表明, 施用氮肥增产的原因主要是增加了水稻单位面积有效穗数和穗粒数。各施肥处理中, 与目标产量施氮量相比, 减施氮肥 15%, 2022 年和 2023 年龙稻 18 和绥粳 18 两个品种水稻产量及产量构成因素均未产生显著差异, 氮肥利用率分别平均增加了 4.52% 和 5.51%; 而采用控释尿素与普通尿素混合施用, 龙稻 18 和绥粳 18 的穗数平均增加了 19.8 穗/m² 和 20.9 穗/m², 穗粒数平均降低了 8.3 粒/穗和 6.2 粒/穗, 两处理氮肥利用率差异均不显著, 但该施肥方式减少了追肥次数, 节约了劳动力。施用氮肥增加了龙稻 18 的出糙率和整精米率, 对绥粳 18 影响不显著; 施用氮肥对两个品种的直接淀粉含量影响不大, 显著增加了蛋白质含量, 降低了垩白粒率、垩白度和食味评分。同等施氮量条件下, 控释尿素与普通尿素混合一次性施用较普通尿素分次施用显著提高了水稻的外观品质, 龙稻 18 垩白粒率和垩白度分别平均降低了 1.59% 和 0.66%, 绥粳 18 垩白粒率和垩白度分别平均降低了 0.31% 和 0.13%, 其他各施氮处理的加工品质、营养品质和食味品质之间差异不显著。

关键词: 水稻; 产量; 品质; 氮肥利用率

中图分类号: S511.04

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)01-0001-06

Effects of Nitrogen Application on Yield, Quality and Fertilizer Efficiency of Japonica Rice in Northern China

Ji Jinghong, Liu Shuangquan, Ma Xingzhu, Hao Xiaoyu, Zheng Yu, Zhao Yue, Liu Ying, Zhang Mingyi, Bao Shuai

(Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization/Key Laboratory of Black Soil Protection and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Areas/The Key Lab of Soil Environment and Plant Nutrition, Harbin 150086, China)

Abstract: The effects of nitrogen application on yield, quality and nitrogen fertilizer use efficiency of Longdao 18 and Suijing 18 varieties were studied through field experiments for two years. The results showed that the main reason for increasing rice production was the increase of effective panicle number and grain number per panicle. In each fertilization treatment, when nitrogen application was reduced by 15% compared with the applying amount of target yield, there was no significant difference in the yield and yield components of Longdao 18 and Suijing 18 varieties in 2022 and 2023, and the nitrogen utilization rate increased by 4.52% and 5.51% respectively. However, when controlled release urea was mixed with ordinary urea, the panicle number of Longdao 18 and Suijing 18 increased by 19.8 panicle and 20.9 panicle per square meters on average, and the panicle number decreased by 8.3 panicle and 6.2 panicle per ear on average. The difference in nitrogen utilization rate was not significant, but this method of nitrogen application reduced the topdressing twice and saved labor. Nitrogen application significantly increased the roughness and milled rice ratio of Longdao 18, but had no significant effect on Suijing 18. Application of nitrogen fertilizer had little effect on amylose content of the two varieties, but significantly increased protein content and decreased chalky grain rate, chalkiness degree and food taste score. Under the condition of same nitrogen application rate, controlled release urea and common urea mixed one times application than application ordinary urea fer-

收稿日期: 2023-12-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2301605、2023YDF1501305); 黑龙江省水稻现代农业产业技术协同创新推广体系项目([2020]1号)

作者简介: 姬景红(1979-), 女, 研究员, 博士, 从事土壤肥力与植物营养研究工作。

tilizer in stages significantly improved the rice appearance quality, chalky rice percentage and chalk rice whiteness rate by an average of 1.59% and 0.66% respectively of Longdao 18, chalky rice percentage and chalk white rate by an average of 0.31% and 0.13% respectively of suijiang18, and other various nitrogen treatment processing quality, nutritional quality, and no significant difference between eating quality.

Key words: Rice; Yield; Quality; Nitrogen fertilizer use efficiency

随着人们生活水平提高,环境效益凸显,目前的水稻生产不仅以高产为目标,而应在保持稳定产量的基础上更加注重稻米品质及环境效应。合理施用氮肥不仅提高了水稻产量和品质,也有利于肥料利用率的提高^[1-2],降低氮素损失带来的环境风险^[3]。卢铁钢等^[4]分析了不同氮素水平对北方超级稻产量及品质的影响,结果表明,铁粳7号和沈农265在147 kg/hm²施氮水平下可以提高稻米整精米率、降低蛋白质含量、提高食味值,但垩白粒率、垩白度等外观品质表现不一致。许仁良等^[5]研究了施氮量对不同品种类型稻米品质的影响,结果表明,施氮可以显著提高稻米蛋白质含量。董作珍等^[6]研究结果表明,直链淀粉含量受施肥处理的影响较小。

黑龙江省是我国最大的粳稻生产省份,年种植面积在6 000万亩以上。彭显龙等^[7]调查了2005年、2008年和2015年黑龙江省水稻主产区638户农民施肥状况,并进行黑龙江省水稻减肥

潜力分析,结果表明,黑龙江省作为全国施肥量最低的省份,有约70%的农户处于高产不高效或者低产低效水平,过量施肥问题突出,节肥潜力20%以上。目前,关于水稻节肥方面的研究较多,但水稻生产肥料的减施应该根据不同品种不同地区的具体情况制定,减肥后对水稻的产量及品质会产生怎样的影响仍需进一步研究。因此,本文以国家审定的一级优质稻龙稻18和目前我省年推广面积超过1 000万亩的绥粳18为试验材料,研究不同施氮措施对水稻产量、品质及氮肥利用率的影响,为北方粳稻肥料减施及优质高效生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试土壤:土壤类型为草甸土和暗棕壤,土壤基本化学性质如表1所示。

表1 土壤基本化学性质

地点	土壤	pH值	有机质 /g·kg ⁻¹	速效氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
方正县水稻研究院	草甸土	5.86	33.0	102.7	20.0	163.0
牡丹江分院试验基地	暗棕壤	6.01	34.6	132.6	34.1	175.4

供试品种:水稻品种为龙稻18和绥粳18。

供试肥料:氮肥用尿素(含N 46%)、控释尿素(美国产树脂包膜控释尿素,含N 42%,控释期90 d),磷肥用重过磷酸钙(含P₂O₅ 46%),钾肥用氯化钾(含K₂O 60%),各处理磷、钾肥用量均为P₂O₅ 60 kg/hm²、K₂O 75 kg/hm²。

1.2 氮肥施用量的确定

巨晓棠^[8]通过研究分析认为氮素管理比较合理的情况下,稻田气态氮损失量和除肥料以外其他来源的氮量大致相等,理论施氮量等于作物收获时带走的养分量。Peng等^[9]的研究表明,黑龙江省稻田氮素损失量与除肥料外其他来源的氮量大致相等,因此,为降低环境污染和维持地力,黑龙江省稻田氮肥合理施用量可用公式(1)进行

估算。

$$\text{理论施氮量} = \frac{\text{目标产量}}{100} \times \text{百千克收获物需氮量} \dots\dots\dots (1)$$

本试验调查方正县水稻研究院和牡丹江分院试验基地试验地过去三年的水稻平均产量分别为7 850 kg/hm²和6 500 kg/hm²,据此估计目标产量(过去三年平均产量基础上增加15%)分别为9 028 kg/hm²和7 475 kg/hm²,通过2020和2021年在该地区试验,龙稻18和绥粳18百公斤收获物平均需氮量为1.75 kg和2.06 kg。因此,可以得出本试验条件下方正县水稻研究院试验地龙稻18和牡丹江分院试验基地试验地绥粳18合理施氮量分别为158 kg/hm²和152 kg/hm²。

1.3 试验设计

试验于2022年、2023年设在方正县水稻研究院和黑龙江省农业科学院牡丹江分院试验基地,每

年秋季秸秆粉碎还田。设4个处理,3次重复,小区面积30 m²,随机区组排列。小区单排单灌,以免影响肥料效果,试验处理及氮养分用量如表2所示。

表2 试验处理施氮量及施用方法

处理	处理描述	龙稻18施氮量 /kg·hm ⁻²	绥粳18施氮量 /kg·hm ⁻²	施肥方法
1	不施氮肥	0	0	全部磷钾肥一次性基施
2	目标产量施氮量	158	152	磷肥、钾肥及50%氮肥做基肥,30%氮肥分蘖期施,20%氮肥穗分化期施(氮一基两追,施用比例为5:3:2)
3	目标产量施氮量基础上减氮15%	135	130	同处理2
4	目标产量施氮量,尿素与控释尿素混合基施	158	152	全部氮、磷、钾肥做基肥一次性施用,其中普通尿素与控释尿素氮养分比例1:1

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤基本理化性质

试验前采集0~20 cm土层土壤样品(S点取样法),采用常规方法分析土壤基本理化性质^[10]。

1.4.2 水稻吸氮量及产量

收获时,每小区取2 m²水稻考种、测产;将水稻秸秆和籽粒105 °C杀青0.5 h,70 °C烘干,称重,采用凯氏定氮法测定全氮含量。

1.4.3 水稻品质

收获时,取1 kg籽粒于室内保存3个月,各处理样品用风选机统一风选。参照优质稻谷GB/T 17891-1999标准^[11]测定加工品质;大米外观品质判别仪(日本静岡制机株式会社ES-1000)测定垩白粒率和垩白度;参照徐正进等^[12]的测定方法,用近红外透过式PS-500食味分析仪(日本静岡机械制造有限公司)测定精米的直链淀粉含量、蛋白质含量和食味评分。

1.5 数据处理及计算公式

采用Excel 2010和SPSS 13.0进行数据的统计分析。

氮肥利用率(NUE,%)=[(施氮区植株地上部吸氮量-不施氮区植株地上部吸氮量)/施氮量]×100

氮肥农学效率(NAE,kg/kg)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/施氮量

2 结果与分析

2.1 不同施氮措施对水稻产量及产量构成因素的影响

不同施氮处理对水稻产量及产量构成因素具有显著的影响。表3数据表明,与不施氮肥(处理

1)相比,施氮(处理2、处理3和处理4)显著增加了水稻的株高、穗长、穗数、穗粒数及产量,千粒重有所降低。这可能是由于施氮后植株养分充足,分蘖力强,库容量高,使得单位面积穗数和穗粒数均增加,而不施氮处理,由于养分缺乏,水稻提前进入生殖生长期,籽粒灌浆时间长,灌浆充分,且穗粒数少,每个籽粒获得的养分相对较高,因此,水稻千粒重较施氮处理反而高。可见,施氮增产的原因主要是增加了单位面积的有效穗数和穗粒数。

各施肥处理中,与处理2相比,处理3氮肥减施15%时,2022年和2023年龙稻18和绥粳18两个品种水稻株高、穗长、穗数、穗粒数、千粒重及产量均未产生显著差异;处理4控释尿素与普通尿素混合施用,虽然龙稻18和绥粳18穗数平均增加了19.8穗/m²和20.9穗/m²,但穗粒数平均降低了8.3粒/穗和6.2粒/穗,水稻的株高、穗长、产量也未产生显著差异。其原因可能是,虽然处理2与处理4氮肥用量相同,但处理4将氮肥一次性施用,相当于增加了基肥施用比例,促进了水稻分蘖,因此增加了穗数,虽然控释尿素具有控制养分缓慢释放的作用,但处理2分别在水稻分蘖期和穗分化期进行了两次追肥,尤其是穗分化期的追肥,保证了颖花数量,因此促进了水稻穗粒数的增加。

2.2 不同施氮措施对水稻氮肥利用效率的影响

由表4可知,施氮显著增加了植株氮素吸收量,各施肥处理之间差异不显著。2022年和2023年龙稻18和绥粳18的氮肥农学效率和氮肥利用率均表现为处理3最高。龙稻18的氮肥农学效率处理3较处理2和处理4分别平均增加了4.15 kg/kg

表3 不同施肥处理对水稻产量及产量构成因素的影响

品种	年份	处理	株高/cm	穗长/cm	穗数/穗·m ⁻²	穗粒数/粒·穗 ⁻¹	千粒重/g	产量/kg·hm ⁻²
龙稻18	2022	1	90.0b	20.7b	240.3b	95.6c	27.1a	5 611b
		2	97.0a	23.4a	295.2a	133.6a	26.2b	9 277a
		3	96.0a	22.3a	286.5a	134.9a	26.3b	9 192a
		4	98.0a	22.3a	307.2a	125.8b	26.0b	8 967a
	2023	1	87.0b	20.3b	188.2c	108.6c	26.5a	4 865b
		2	99.0a	22.5a	293.2ab	129.3a	25.9b	8 765a
		3	97.0a	22.2a	287.4b	132.5a	25.6b	8 812a
		4	98.0a	22.4a	320.7a	120.6b	25.8b	8 904a
绥粳18	2022	1	96.8b	17.0b	232.4b	90.5c	25.7a	4 933b
		2	102.2a	18.7a	282.5a	110.1a	25.1b	6 903a
		3	101.2a	18.8a	283.2a	107.9a	25.3b	6 889a
		4	103.8a	18.0a	295.6a	104.7b	25.2b	6 951a
	2023	1	91.2b	17.1b	241.2c	89.8b	26.1a	5 021b
		2	108.3a	18.4a	300.3ab	116.6a	25.4a	7 875a
		3	106.7a	18.5a	292.8b	118.2a	25.4a	7 754a
		4	108.8a	17.9a	328.9a	109.6b	25.2a	8 015a

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

表4 不同施肥处理对水稻氮肥利用效率的影响

品种	年份	处理	植株吸氮量 /kg·hm ⁻²	氮肥农学效率 /kg·kg ⁻¹	氮肥利用率 /%
龙稻18	2022	1	102.52b	-	-
		2	160.06a	23.20b	36.42b
		3	158.71a	26.53a	41.62a
		4	163.23a	21.24b	38.42ab
	2023	1	98.13b	-	-
		2	154.82a	24.68b	35.88b
		3	151.34a	29.64a	39.41a
		4	156.88a	25.56b	37.18b
绥粳18	2022	1	98.05b	-	-
		2	145.69a	12.96a	31.34b
		3	147.08a	15.05a	37.72a
		4	144.32a	13.28a	30.44b
	2023	1	103.63b	-	-
		2	148.99a	18.78a	29.84b
		3	148.07a	21.02a	34.18a
		4	149.28a	19.70a	30.03b

和4.69 kg/kg,氮肥利用率分别平均增加了4.36%和2.72%;绥粳18的氮肥农学效率各处理之间差异未达显著水平,氮肥利用率平均增加了5.36%和5.72%。相同施氮量条件下,处理4和处理2的氮肥农学效率和氮肥利用率差异均不显著,但处理4采用了控释尿素与普通尿素混合一次性施用的施肥方式,减少了两次追肥,节约了劳

动力;处理3则表现出两个品种连续两年在估算施氮量的基础上减氮15%,均未降低水稻养分吸收量和产量。

2.3 不同施氮措施对水稻品质的影响

由表5可知,从水稻加工品质、外观品质、营养品质和食味综合评分来分析,与处理1相比,施用氮肥在2022年和2023年均显著增加了龙稻18

表5 不同施氮措施对水稻品质的影响

品种	年份	处理	出糙率/%	整精米率/%	垩白粒率/%	垩白度/%	直链淀粉/%	蛋白质含量/%	食味综合评分
龙稻18	2022	1	79.62b	64.14b	4.55 a	2.30a	18.07a	7.40b	83.53a
		2	81.80a	69.28a	5.08 a	2.58a	17.07a	8.57a	76.77b
		3	81.40a	70.38a	4.15 ab	1.97ab	17.63a	8.47a	77.72b
		4	81.46a	72.46a	3.60 b	1.78b	17.83a	8.30a	76.74b
	2023	1	80.26a	67.18b	4.24a	0.84ab	18.11a	7.35b	83.68a
		2	81.86a	71.21a	4.86a	1.02a	17.86a	8.47a	77.58b
		3	82.10a	71.87a	3.84ab	0.61b	17.47a	8.22a	78.57b
		4	81.39a	72.54a	3.15b	0.51b	17.48a	8.18a	78.36b
绥粳18	2022	1	81.83a	68.89a	1.30a	0.78a	17.63a	7.60b	73.40a
		2	81.59a	67.23a	1.05ab	0.58a	16.97a	8.13a	71.99a
		3	81.74a	67.38a	1.25a	0.55a	16.87a	8.17a	72.07a
		4	82.44a	69.03a	0.85b	0.55a	16.87a	8.37a	71.38a
	2023	1	80.54a	70.21a	1.82a	1.32a	17.58a	7.54b	75.65a
		2	81.65a	71.02a	1.63a	1.21a	17.02a	8.25a	72.64b
		3	82.31a	71.14a	1.61a	1.01ab	17.16a	8.23a	73.41ab
		4	82.84a	72.12a	1.21b	0.98b	17.28a	8.21a	72.31b

的出糙率和整精米率,而对绥粳18影响不显著;施用氮肥对两个品种的直链淀粉含量影响不大,而显著增加了蛋白质含量,降低了垩白粒率、垩白度和食味评分。处理4较处理2显著提高了水稻的外观品质,龙稻18垩白粒率和垩白度分别平均降低了1.59%和0.66%,绥粳18垩白粒率和垩白度分别平均降低了0.31%和0.13%,各施氮处理的加工品质、营养品质和食味品质之间差异不显著。

3 讨论与结论

3.1 氮肥施用对稻米品质的影响

关于氮肥施用对稻米加工品质和外观品质的影响不同研究者得出的结论亦不相同。徐年龙等^[13]研究表明,无氮区整精米率、垩白粒率、垩白度最高,随着有机肥料用量的减少,无机肥料施用量的增加,整精米率、垩白粒率、垩白度呈下降趋势;而张洪程等^[14]研究表明,无氮区出糙率、整精米率、垩白粒率和垩白度最低,随着氮肥施用量的增加,稻米的加工和外观品质变劣。徐春梅等^[15]研究表明,施用氮肥能增加天优华占的整精米率,且处理间差异达显著水平;对华占整精米

率没有显著影响;而天丰施氮后整精米率反而降低;华占和天丰施用氮肥后垩白粒率较对照显著降低。本研究结果表明,施氮显著增加了龙稻18的出糙率和整精米率,而对绥粳18影响不显著;绥粳18无氮区的垩白粒率、垩白度最高,与徐春梅等^[15]的研究结果一致。可见,氮肥施用对稻米品质的影响与水稻品种密切相关。

施氮对水稻的蛋白质含量有显著影响。金正勋等^[16]认为,随着氮肥施用量的增加,蛋白质含量提高;石吕等^[17]认为,品种对氮素的反应存在明显不同,但肥料处理效应大于品种间差异。本研究中,施用氮肥蛋白质含量显著提高,这与前人的研究结果一致。关于氮肥施用对水稻直链淀粉含量的影响结论不尽一致。一些研究认为,增施氮肥后稻米直链淀粉含量提高^[14,18],另一些研究结果则认为,增施氮肥稻米直链淀粉含量降低^[16,19]。还有的研究表明,各施肥处理间的直链淀粉含量均无显著差异。本研究中增施氮肥稻米直链淀粉含量有降低的趋势,但差异不显著,说明在本研究条件下直链淀粉含量受施肥处理的影响较小^[6]。产生上述研究结果差异的原因可能与品种

和施氮量的差异有关。由于稻米的品质主要受遗传和环境因素影响,在氮肥的施用中,应结合水稻品种,综合考虑土壤、水分、温度等因素,采取合理的氮肥用量及施氮措施,才能达到水稻的高产优质。

3.2 氮肥施用对水稻产量、氮肥利用率及土壤养分平衡的影响

陈琨等^[20]研究表明,与普通尿素相比,在等氮量情况下,控释尿素增产稻谷 3.61%~11.36%,氮肥利用率提高 10 个百分点以上,氮肥农学效率增加 24.97%~54.02%;姬景红等^[21]研究也表明,控释尿素与普通尿素以一定比例混合施用均较普通尿素一次性施用增加植株吸氮量、氮肥农学效率和氮肥利用率。本研究结果中施用控释尿素与普通尿素掺混与仅施用普通尿素相比,并未增加水稻产量、氮肥农学效率和氮肥利用率,主要是由于施肥方式的不同,其他研究者是在氮肥用量和施用次数一致的情况下得出的结论,而本研究中虽然处理 2 和处理 4 施氮量一致,但处理 2 施用普通尿素,采用一次基肥结合两次追肥,处理 4 采用控释尿素与普通尿素混合仅进行了一次基肥施用。

水稻施氮量应根据当地实际情况确定,本研究中确定的方正县水稻研究院试验点龙稻 18 和黑龙江省农业科学院牡丹江分院试验基地试验点绥粳 18 合理氮肥施用量分别为 158 kg/hm² 和 152 kg/hm²,该值与当地农民施氮量 160 kg/hm² 和 150 kg/hm² (调查当地三年施氮量计算平均数得出)基本相当,说明该区农民常规施肥量比较合理,也进一步说明化肥的减施并不是一概而论的,要根据实际情况减施。本研究中在理论施氮量的基础上两地点连续两年氮肥减施 15%,水稻产量没有降低,但这是否是以消耗土壤肥力为代价,而减氮能够持续多久再增加施氮量以维持土壤氮素平衡和持续稳定高产,也是一个值得研究的科学问题^[8],还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 马巍,齐春艳,刘亮,等.氮肥减量后对超级稻吉粳 88 氮素利用效率及产量的影响[J].东北农业科学,2016,41(1):23-27.

[2] 王蒙,赵兰坡,王立春,等.氮素运筹对吉林超高产水稻的产量及氮效率的研究[J].吉林农业科学,2012,37(6):25-28,31.

[3] 巨晓棠.氮肥有效率的观念及意义—兼论对传统氮肥利用率的误解[J].土壤学报,2014,51(5):921-933.

[4] 卢铁钢,孙国才,王俊茹,等.氮肥对北方超级稻产量及品质的影响[J].中国稻米,2010,16(6):35-38.

[5] 许仁良,戴其根,霍中洋,等.施氮量对水稻不同品种类型稻米品质的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2005,26(1):66-84.

[6] 董作珍,吴良欢,柴婕,等.不同氮磷钾处理对中浙优 1 号水稻产量、品质、养分吸收利用及经济效益的影响[J].中国水稻科学,2015,29(4):399-407.

[7] 彭显龙,王伟,周娜,等.基于农户施肥和土壤肥力的黑龙江水稻减肥潜力分析[J].中国农业科学,2019,52(12):2092-2100.

[8] 巨晓棠.理论施氮量的改进及验证—兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J].土壤学报,2015,52(2):249-261.

[9] Peng X L, Yang Y M, Yu C L, et al. Crop management for increasing rice yield and nitrogen use efficiency in Northeast China[J]. Agronomy Journal, 2015, 107(5): 1682-1690.

[10] 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,2000:146-195.

[11] 唐瑞明,龙伶俐,熊宁,等.优质稻谷(GB/T 17891—1999)标准[S].北京:中国标准出版社,1999.

[12] 徐正进,陈温福,马殿荣,等.辽宁水稻食味值及其与品质性状的关系[J].作物学报,2005,31(8):1092-1094.

[13] 徐年龙,于洪喜,叶仁宏,等.不同肥料种类及运筹对水稻产量和外观品质的影响[J].大麦与谷类科学,2018,35(6):35-39.

[14] 张洪程,王秀芹,戴其根,等.施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响[J].中国农业科学,2003,36(7):800-806.

[15] 徐春梅,王丹英,陈丽萍,等.氮肥施用对杂交稻天优华占及其父母本产量与品质的影响[J].中国土壤与肥料,2013(1):59-63.

[16] 金正勋,秋太权,孙艳丽,等.氮肥对稻米蛋白及蒸煮食味品质特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(1):31-35.

[17] 石吕,张新月,孙惠艳,等.不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J].中国水稻科学,2019,33(6):541-552.

[18] 从夕汉,施伏芝,阮新民,等.氮肥水平对不同基因型水稻氮素利用率、产量和品质的影响[J].应用生态学报,2017,28(4):1219-1226.

[19] 王成瑗,张文香,赵磊,等.氮磷钾肥料用量对水稻产量与品质的影响[J].吉林农业科学,2010,35(1):28-33.

[20] 陈琨,秦鱼生,喻华,等.控释氮肥对一季中稻产量及氮肥利用率的影响[J].西南农业学报,2018,31(3):507-512.

[21] 姬景红,李玉影,刘双全,等.控释尿素对黑龙江地区水稻产量及氮肥利用率的影响[J].土壤通报,2018,49(4):876-881.

(责任编辑:范杰英)