



冯延聪,文春燕,朱振华,等.氮肥后移对优质稻井冈软粘产量及品质的影响[J].江西农业大学学报,2023,45(4):830-840.
FENG Y C,WENG C Y,ZHU Z H,et al.Effect of postponing nitrogen application on yield and quality of high quality rice Jinggang soft clay[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2023,45(4):830-840.

氮肥后移对优质稻井冈软粘产量及品质的影响

冯延聪^{1,2},文春燕³,朱振华⁴,陈金^{1,5},陈先茂^{1,5},刘文安⁶,邱才飞^{1,5*}

(1.江西省农业科学院 土壤肥料与资源环境研究所,江西 南昌 330200;2.华南农业大学 园艺学院,广东 广州 510610;3.江西省农业科学院 水稻研究所,江西 南昌 330299;4.江西农业大学 农学院,江西 南昌 330045;5.井冈山红壤研究所/江西省农业科学院 井冈山分院,江西 吉安 343016;6.吉安市农作物良种场,江西 吉安 343229)

摘要:【目的】探究优质稻井冈软粘施氮后移对其生长、产量及稻米品质的影响,明确其最佳基肥与穗粒肥的施用比例。【方法】于2021年在井冈山国家农业科技园设置大田试验,在总施氮量(TN)180 kg/hm²的基础上,按基肥:穗肥:粒肥施用比例设置4种施肥方案(N1=10:0:0:0、N2=5:5:0:0、N3=5:3:2:0、N4=5:2:2:1),以不施用氮肥为对照(CK),共5个处理。采集井冈软粘的生长性状、产量及稻米品质等数据,测定其分蘖期、拔节期、齐穗期和成熟期的茎蘖数、叶片叶绿素含量(SPAD值)、叶面积系数(LAI)和干物质含量,并分析成熟期水稻品质、产量及其构成、植株茎叶穗的含氮素量、总氮素吸收量及其氮素利用效率等。【结果】前两个生长时期茎蘖数最高是N2处理,而后两个生长时期的最高茎蘖数为N3处理;前3个水稻发育时期的SPAD值差异不大,成熟期表现为N3处理最高。总干物质含量变化与产量变化表现一致。总产上N4>N1>CK,最高值N4处理分别高出N1处理和CK9.34%、73.09%;氮肥后移对井冈软粘的外观品质和加工品质的影响较小,但处理间稻米直链淀粉、粗蛋白和出糙率间有显著水平差异,N4处理比CK按顺序分别高出2.75%、1.10%、1.56%,施氮处理的直链淀粉和粗蛋白区间为13.0%~15.0%、10.17%~10.57%,表明不同氮肥运筹对井冈软粘的米质影响较小。此外,水稻各生长时期的氮肥利用率和含氮量表现为从N1处理到N4处理依次增加,最高值N4处理的氮肥利用效率较N1处理提高了11.06%。【结论】上述结果表明在TN180 kg/hm²条件下,优质常规稻井冈软粘的最适宜氮肥施用方式为基肥:穗肥:粒肥为5:2:2:1。

关键词:井冈软粘;产量;稻米品质;氮肥运筹;氮素效率

中图分类号:S511 文献标志码:A
文章编号:1000-2286(2023)04-0830-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Postponing Nitrogen Application on Yield and Quality of High Quality Rice Jinggang Soft Clay

FENG Yancong^{1,2}, WENG Chunyan³, ZHU Zhenghua⁴, CHENG Jin^{1,5},
CHENG Xianmao^{1,5}, LIU Wen'an⁶, QIU Caifei^{1,5*}

收稿日期:2023-04-10 修回日期:2023-05-15

基金项目:国家自然科学基金项目(32060431)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(32060431)

作者简介:冯延聪,硕士生,orcid.org/0009-0002-5045-6375,13535950103@163.com;*通信作者:邱才飞,研究员,主要从事作物栽培、红壤利用和生态农业研究,orcid.org/0000-0002-0696-3284,qcftfs@sina.com。

(1. Institute of Soil Fertilizer & Resource Environment, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. College of Horticulture South China Agricultural University, Guangzhou 510610, China; 3. Institute of Rice, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 4. School of Agricultural Science Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 5. Jinggangshan Institute of Red Soil/Branch of Jinggangshan, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Jinggangshan, Jiangxi 330200, China; 6. Ji'an Crop Farm, Ji'an, Jiangxi 343229, China)

Abstract: [Objective] This study explored the influence of different nitrogen application to the growth, yield and rice quality of Jinggang Soft-clay high-quality rice, and determine the optimal application ratio of basal tiller fertilizer to panicle fertilizer. [Method] A field experiment was conducted in Jinggangshan National Agricultural Science and Technology Park in 2021. Based on the total nitrogen application rate (TN) of 180 kg/hm², four fertilization schemes were set according to the application ratio of base fertilizer: tiller fertilizer: spike fertilizer: grain fertilizer (N1=10:0:0:0, N2=5:5:0:0, N3=5:3:2:0, N4=5:2:2:1). The data of growth traits, yield and rice quality of Jinggang Soft Sticky were collected, and the tiller number, chlorophyll content (SPAD value), leaf area index (LAI) and dry matter content at tillering stage, jointing stage, full heading stage and maturity stage were determined. The rice quality, yield and its components at maturity stage, nitrogen content in plant stems and leaves, total nitrogen absorption and nitrogen utilization efficiency were analyzed. [Result] N2 treatment produces the highest tiller number in the first two growth stages, while N3 treatment produces and the highest tiller number in the last two growth stages. The SPAD values of the first three rice development stages had little difference, and the highest value was in the N3 treatment at the mature stage. The change of total dry matter content was consistent with the change of yield. The total yield of N4>N1>CK, and the highest value N4 treatment was 9.34% and 73.09% higher than N1 treatment and CK respectively. The postponed application of nitrogen fertilizer had little effect on the appearance quality and processing quality of Jinggang soft-sticky rice, but there were significant horizontal differences among the treatments. The amylose, crude protein and roughness of rice treated with N4 were 2.75%, 1.10% and 1.56% higher than CK respectively, and the ranges of amylose and crude protein treated with nitrogen fertilizer were 13.0%–15.0% and 10.17%–10.57. In addition, the nitrogen use efficiency and nitrogen content of rice increased from N1 treatment to N4 treatment in turn, and the nitrogen use efficiency of N4 treatment, which was the highest, was 11.06% higher than that of N1 treatment. [Conclusion] Under the condition of TN 180 kg/hm², the most suitable nitrogen fertilizer application mode for high-quality conventional rice was base fertilizer: tiller fertilizer: panicle fertilizer: grain fertilizer of 5:2:2:1.

Keywords: Jinggang Soft-clay Rice; production; rice quality; nitrogen application; nitrogen efficiency

【研究意义】水稻是我国最重要的粮食作物之一,2021年种植面积达2 992.12万hm²,占粮食播种面积的25.44%,稻谷总产21 284.30万t,占粮食总产的31.17%^[1]。在过去50多年中,在耕地面积没有扩大的情况下,我国水稻产量增长了近3倍,其中50%归功于化学肥料的使用,其中又以氮肥的贡献最为显著^[2-4]。在水稻各生育时期施用恰当比例的氮肥可有助于其生长代谢,对其产量和品质形成过程中起重要作用^[5-6]。氮肥施用量与水稻产量呈开口向下的抛物线关系,且基肥、穗肥运筹比例对产量的影响因地力水平的差异而不同,因此确认适宜氮肥用量对于水稻的群体生长和产量品质至关重要^[7]。**【前人研究结果】**刘芳艳等^[8]研究结果显示,以杂交籼稻广优447(优质食味)和F优498(高产低食味)品种为材料,在总施氮量150 kg/hm²条件下,基肥、穗肥、粒肥的施用比例为3:3:4时能显著提高以上2种杂交籼稻的产量,并能有效改善和提升稻米食味品质。王子阳^[9]的研究结果显示,植株的氮含量受氮肥运筹方式影响较大,以晚稻甬优538作为供试品种,抽穗期施用穗肥比例为40%时,植株的全氮含量最高;成熟期基肥:穗肥为8:2时,其籽粒中的全氮含量偏低;即适当的将氮肥后移能够促进晚稻对于氮素的吸收利用。蔡一震等^[10]研究结果表明,基肥氮后移至抽穗期施用,整精米率和籽粒粗蛋白含量显著增加,并且改

善了部分稻米品质 and 提高了稻米产量。朱镇等^[11]研究结果显示,以南粳505品种为试验材料,直链淀粉含量在不同氮肥运筹处理间有差异但未达显著性水平,但直链淀粉不同氮肥施用比例处理间变异系数较大。殷春渊等^[12]研究表明,在最适氮(255 kg/hm²)水平下,随施氮量提高,稻米品质的精米率提高、垩白降低,有呈先增后降的趋势。【本研究切入点】由前人大量研究结果可见,每个品种都有其适宜的氮肥运筹方式,而且要考虑基肥和穗肥的比例;稻米产量及品质特性虽然受氮素营养的影响很大,但不同品种或品质特性对氮素营养的反应敏感程度有差异^[13-14]。井冈软粘是江西省的十大优质籼稻之一,是吉安市自行培育的优质常规稻品种,年种植面积在50万hm²以上,因其口感好、米质佳而具有十分广阔的商业前景。以井冈软粘为核心品种的商品粮价格要显著高出普通水稻种植的晚米价格,市场认可度较高^[4,15]。但是,其产量和品质表现不稳定,而相关技术研究在此地区尚未有报道。【拟解决的关键问题】因此,探究井冈软粘籼稻品种的最适氮肥使用量及施用时期等科学问题,是本研究开展氮肥运筹的试验目的。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验于2021年6月至2021年11月在江西省吉安市农高区农业科技示范园(26°27'N,114°17'E)开展。地区年均日照1756.4 h,年均气温18.6℃,年无霜期281 d,年平均降雨量1726 mm,典型的中亚热带湿润季风气候。测定土壤部分养分基质如下:pH值5.89,有机质17.68 g/kg,全氮1.31 g/kg,速效氮122.36 mg/kg,全磷0.58 mg/kg,有效磷12.37 mg/kg,全钾12.37 mg/kg,速效钾1124.06 mg/kg。供试田块平整,排灌水方便。

1.2 试验设计

1.2.1 供试品种 井冈软粘,2018年由吉安市种子管理局、吉安市农业科学研究所通过“中二软占”变异株系选育而成的籼型常规优质晚稻品种,稻米米粒外观好,米饭口感佳,经农业部食品质量监督检验测试中心(武汉)米质分析结果为部优3级米^[15]。

1.2.2 试验处理 试验采用随机区组设计,5个处理各3次重复共15各试验小区,每个小区面积30 m²。其中按基肥:基肥:穗肥:粒肥施用比例设置4种施肥方案(N1=10:0:0:0、N2=5:5:0:0、N3=5:3:2:0、N4=5:2:2:1),以不施用氮肥为对照(CK)。于6月28日播种,7月22日移栽。移栽前做好小区田埂,埂宽25 cm,埂高20 cm,并用塑料薄膜覆盖埂体防渗水,各小区单独排灌水,大田四周留2 m以上保护行。种植密度30 蔸/m²。各处理养分使用量相同,即施用总氮含量为180 kg/hm²,P₂O₅90 kg/hm²,K₂O 180 kg/hm²。翻耙均匀后沉土2 d,全生育期进行病虫害防治,其他栽培管理措施同一般大田。

1.2.3 施肥时间 做好小区后下基肥,分蘖肥在栽后7 d施下,穗肥在幼穗分化二期(幼穗1~2 mm)施,粒肥在始穗期施。其中,磷肥和钾肥做基肥一次性施用,氮肥按各处理的运筹方式进行。

1.3 试验测定内容与方法

1.3.1 稻田基础土壤养分测定 于稻田翻耕前2 d,按5点法取0~20 cm层混合土样,测定土壤有机质、pH值、全氮、速效氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾的含量。

1.3.2 植株生长性状的测定 于有效分蘖末期、拔节期、抽穗期和成熟期,每处理调查30穴植株的有效分蘖数,每个重复取代表性植株3穴,分茎、叶、穗测定干物重。在移栽后的有效分蘖末期、拔节期、抽穗期和成熟期分别利用日产SPAD-502叶绿素仪在田间测定植株倒2完全叶的SPAD值,每个小区测定20片叶,计算平均值。在移栽后的有效分蘖末期、拔节期、抽穗期和成熟期分别取3穴代表性植株,利用小样干重法测定植株叶片的叶面积,并根据叶面积计算叶面积系数(LAI)。

1.3.3 植株氮磷养分含量测定 结合干物重测定,不同处理于有效分蘖末期、拔节期、抽穗期和成熟期,用凯氏定氮法分别测定茎、叶、穗含氮量。

1.3.4 氮素吸收利用效率 成熟期各小区取代表性植株分茎、叶、穗测定含氮量和干物质量,计算氮素养分的吸收量,并按氮肥吸收利用率=(施肥区作物氮素积累量-空白区氮素积累量)/施用氮肥总氮量(即施肥区作物氮素积累量与空白区氮素积累量的差占施用氮肥总氮量的百分数)^[16]计算氮素利用效率。

1.3.5 取样考种 成熟期每小区先按5点取样法调查100蔸的平均穗数,然后根据平均穗数每小区取5蔸考种,3次重复,各小区实收计产(成熟期考种样计入产量)。

1.3.6 稻米品质的测定 稻米收获晒干贮藏3个月后,使其含水量稳定在14%左右。主要测定稻米的加工、外观、营养品质以及稻米的蒸煮品质。依照《GB/T178912017 优质稻谷》测定稻米的糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率和垩白度。采用碘蓝比色法测定稻米直链淀粉含量,采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,粗蛋白含量(%)=稻米全氮含量 $\times 5.95^{[17]}$ 。

1.3.7 数据分析 采用Excel对数据进行初步处理,使用DPS、IBM SPSS Statistic 26进行方差分析,多重比较采用Duncan's LSD检验法($P < 0.05$),SigmaPlot 14.0作图。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥运筹对井冈软粘生长的影响

2.1.1 对茎蘖数的影响 由图1可知,前两个生育时期表现为基肥:蘖肥=5:5时最高,后两个生育时期则表现为基肥:蘖肥:穗肥=5:3:2时最高,4个时期茎蘖数发展趋势基本一致,并且均显著高于CK处理。由此可见,随着基肥施用比例的减少,生长前期的茎蘖数量相应的减少,减少了无效分蘖的发生,提高有效穗数,有利于成穗率的增加。

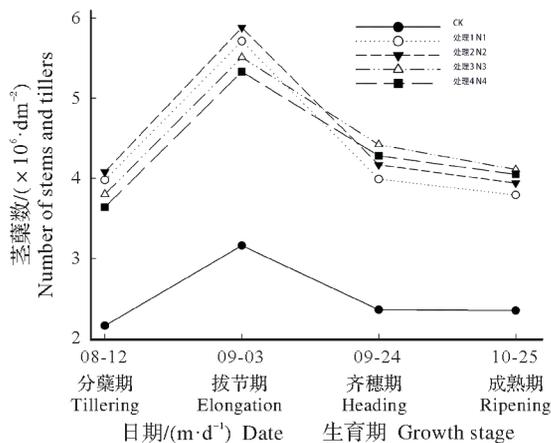


图1 不同处理下茎蘖动态变化

Fig.1 The dynamic changes of stem and tillers under different treatments

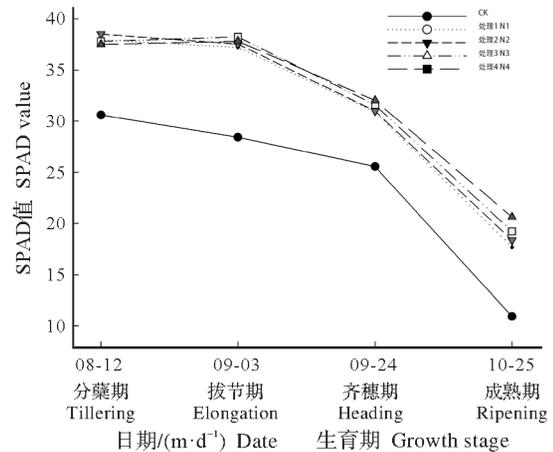


图2 不同处理下SPAD值动态变化

Fig.1 The dynamic changes of SPAD under different treatments

2.1.2 对SPAD值的影响 由图2可知,各处理间的分蘖期、拔节期的SPAD值均明显高于齐穗期和成熟期的SPAD值,但前两个时期的SPAD值处理间差异较小。随着生长时期后移,各处理的SPAD值均呈下降趋势;而分蘖期、拔节期的SPAD值的施肥处理间并无明显的变化趋势。最后,齐穗期、成熟期的SPAD值从N4到N1逐渐降低,即表现为随着处理间蘖肥和穗肥施加比例的增加而导致SPAD值不断上升的变化趋势,这在成熟期更为明显。可见,多次施肥更有利于保持叶片后期的活力,延缓叶片的衰老。

2.1.3 对叶面积指数(LAI)的影响 由表1数据分析可知,4个生长时期的LAI处理间比较均存在显著或极显著性($F=44\sim 908, P < 0.01$)水平差异。4个时期的LAI与CK处理均有显著性水平差异,分蘖期、拔节期两个时期的LAI变化不存在显著性水平差异,齐穗期的N4、N3、N2之间无显著差异,但3个处理均显著高于N1;成熟期则表现为 $N4 > N2 > N1$,N3与N4无显著差异。总结可得,4个生长时期的LAI是先上升后下降的变化趋势,N2和N3两个处理在各个时期的LAI均是最高值;而随着处理间氮肥后移,LAI有呈先迅速增加后减缓下降的变化规律。

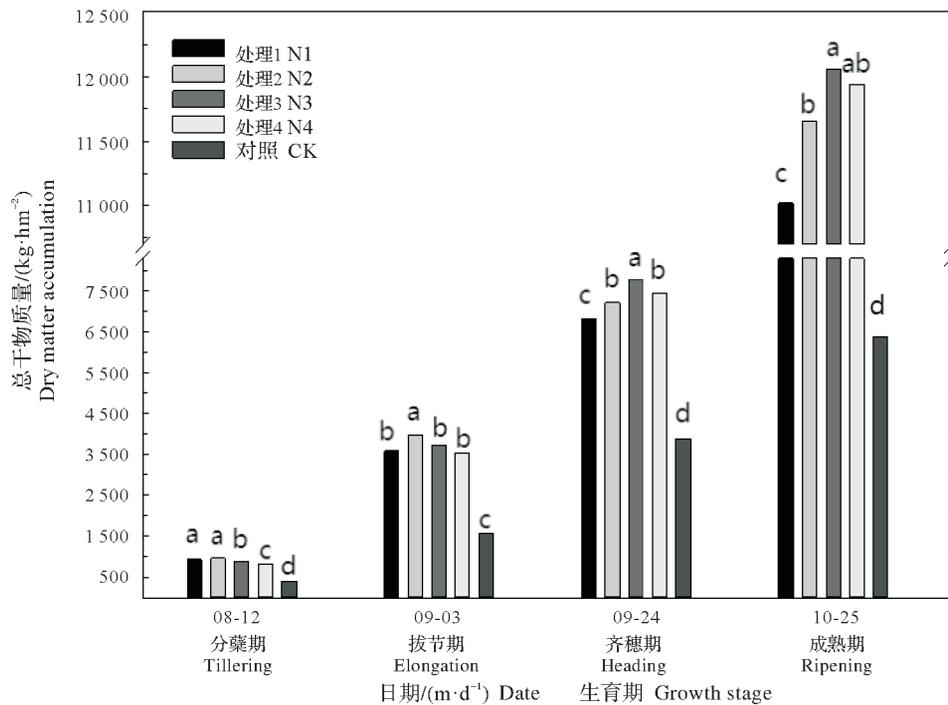
2.1.4 对干物质质量的影响 由图3可知,井冈软粘的总干物质质量随着生长时期的后移,处理间差异变化不断增加,并且施肥与不施肥的空白对照间差异也随之增加。分蘖期的总干物质质量,处理间基本差异不明显;拔节期时, $N2 > N3 > CK$,处理间开始呈现有较明显的差异;齐穗期中, $N3 > N4 > N1 > CK$,并且各处理间的差异水平较拔节期有上升趋势;成熟期中, $N4 > N2 > N1 > CK$,表明随着基肥施加的比例减少,蘖肥、穗肥施加的比例增加,最终结果表现为干物质质量不断上升的变化趋势。说明,N1和N2有利于水稻生育前期的干物质积累,而N3和N4则更有利于中后期干物质的积累,总体表现为N3和N4的最终干物质质量较大。

表 1 不同处理下叶面积(LAI)结果比较分析
Tab.1 Comparative analysis of leaf area(LAI)result under different treatments

处理 Treatments	分蘖期 Tillering	拔节期 Elongation	齐穗期 Heading	成熟期 Ripening
N1	2.61a	5.18a	3.88b	0.88c
N2	2.71a	6.00a	4.41ab	0.92b
N3	2.63a	5.60a	4.66a	0.97a
N4	2.59a	5.40a	4.09ab	1.00a
CK	1.16b	1.82b	1.68c	0.44d
<i>F</i>	69.307	30.808	44.991	908.904
(<i>P</i>)	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1

采用LSD多重比较法, $P < 0.05$ 为处理间有显著性差异; 不同字母间代表可靠性不小于 95% 的可能性有显著性水平差异。

The LSD multiple comparison method was adopted, and $P < 0.05$ indicated that there was significant difference between treatments; The probability of not less than 95% of the reliability of the representatives between different letters is significantly different.



前两个时期是茎叶,后两个时期是茎叶穗的干物质量总和。

The first two stages were stem and leaf, and the later two stages were the sum of dry matter mass of stem, leaf and spike.

图 3 不同处理下的总干物质量动态变化

Fig.3 The dynamic changes of all dry matter accumulation under different treatments

2.2 不同氮肥运筹对井冈软粘产量的影响

由表 2 可知,产量及其构成因素在 5 个处理的多重比较下均显示有极显著性差异关系 ($F_{0.01}(4, 15) = 4.89, F = 64.46^{**}, P < 0.001$), 说明不同施肥方式下能够对井冈软粘的产量及其构成因素有统计学意义。在产量上, $N4 > N1 > CK$, 前 3 个处理无显著性差异, $N4$ 产量显著高于 $N1$ 、 CK 的产量, $N4$ 分别高出 $N1$ 、 CK 产量 9.34%、73.09%, $N1$ 产量显著高于 CK 产量; 其中, 前 4 个处理的每穗粒数、有效穗数、结实率的数量变化趋势与产量变化趋势基本一致。说明施加氮肥均显著增加总产量。有效穗数中, $N3 > N1 > CK$, $N3$ 显著高于 $N1$ 、 CK , 但前 3 个处理并无显著性差异; 每穗粒数中, $N4 > N2 > N1 > CK$, $N3$ 与 $N4$ 无显著性差异, $N4$ 与 $N3$ 显著高于 $N1$ 、 CK , $N1$ 显著高于 CK , 并且每穗粒数的变化趋势与产量变化趋势相一致; 千粒重中, $CK > N1 > N3$, CK 显著高于其他 4 个处理, 这与产量变化趋势相反; 结实率中, $CK > N4 > N3 >$, CK 显著高于 $N4$, 这同样与产量变化趋势相反。即在不施肥条件下, CK 的千粒重和结实率均显著高于施肥处理, 这与产量变化趋势不相一致。综上, 产量最高的 $N4$ 处理, 其结实率和每穗粒数均最高, 两者与其他处理间均

有显著性差异,说明结实率和每穗粒数是造成产量差异的主要因素。

表2 不同施氮处理下产量和产量构成比较

Tab.2 Grain yield and yield components under different treatments

处理 Treatments	有效穗数/ ($\times 10^4/\text{hm}^2$) Effective panicles	穗粒数 Spikelets (No./panicle)	千粒重/g 1 000-grain weight	结实率/% Seed setting rate	实际产量/ (t/hm^2) Grain yield
N1	379.00b	116.39c	16.85b	84.25c	8.91b
N2	394.00ab	120.60bc	16.82b	84.72c	9.40ab
N3	411.00a	124.46ab	16.58bc	85.87c	9.58ab
N4	405.00a	128.32a	16.51c	88.90b	9.75a
CK	235.00c	107.22d	17.18a	92.71a	5.63c
(P)	0.000 1	0.000 1	0.006 1	0.000 1	0.000 1

2.3 不同氮肥运筹对井冈软粘常规稻米品质的影响

由表3可知,不同施肥处理下对井冈软粘的常规稻米品质并不都呈显著性水平差异,仅出糙率、直链淀粉和粗蛋白的处理间有显著性水平差异,其他品质无显著性水平差异。稻米加工品质的出糙率、精米率和整精米率中,出糙率的CK处理显著高于其他4个处理的出糙率,分别高出1.09%~1.56%,其他4个处理间无显著性水平相关;而精米率、整精米率的处理间均无显著性水平相关,均以CK值最高。外观品质中,垩白粒率、垩白度的处理间无显著性水平相关;随着施加基肥比例减少而蘖肥、粒肥比例增加,两者的百分比均呈现先升后降的趋势,最高值N3处理分别高于CK处理1.41%、0.7%。蒸熟品质的直链淀粉中,CK处理显著高于N4处理2.13%;随着施加基肥比例减少而蘖肥、穗肥比例增加,直链淀粉含量呈现持续下降的趋势,说明氮肥运筹对直链淀粉影响较大。营养品质的粗蛋白中, $N4 > N1 > CK$,N4处理显著或极显著水平高于N1、CK处理,分别高于0.40%、1.10%,表明随着施加基肥比例减少而蘖肥、穗肥比例增加而粗蛋白呈现持续上升的趋势,说明氮肥运筹对粗蛋白的影响较大。综合以上结果,在总施氮量不变前提下,施用氮肥后移,蒸熟品质的直链淀粉含量呈持续下降的变化规律,营养品质的粗蛋白呈持续上升的变化规律,各个稻米品质的变化趋势不相一致。

2.4 不同氮肥运筹对井冈软粘氮肥吸收量及氮素利用率的影响

由图4可知,井冈软粘的4个施氮处理的含氮量由大到小依次为穗、叶和茎,变化规律在4个处理间均是随着氮肥后移而呈不断上升的变化趋势。这表明,随着基肥施用比例的减少而蘖肥、穗肥施用比例的增加,表现出含氮量不断上升的变化趋势。氮肥利用效率即施肥区作物氮素积累量与空白区氮素积累量的差占施用氮肥总氮量的百分数。井冈软粘的氮利用效率由N1处理到N4处理呈现出不断上升的变化趋势。即N1的氮肥利用效率最低(31.53%),N4的氮肥利用效率最高(41.59%),最大值与最小值相差为9.94%,N4较N1提高了31.53%,表明随着基肥比例的减少而蘖肥、穗肥比例的增加而呈现氮肥利用率上升的变化趋势。

表3 不同施氮处理下常规稻米品质分析

Tab.3 Conventional analysis of rice quality under different nitrogen treatments

处理 Treatments	加工品质 Processing quality			外观品质 Appearance quality		蒸熟品质 Steamed quality	营养品质 Nutritional quality
	出糙率/%	精米率/%	整精米率/%	垩白粒率/%	垩白度/%	直链淀粉/%	粗蛋白/%
	BR	MR	HR	CR	C	AC	PC
N1	77.00b	65.19a	54.30a	14.90a	4.36a	15.50ab	10.17b
N2	77.05b	64.68a	53.99a	15.84a	4.62a	15.19ab	10.33ab
N3	77.06b	65.30a	54.40a	16.09a	5.05a	14.21ab	10.47a
N4	76.53b	64.65a	54.30a	15.90a	4.78a	13.59b	10.57a
CK	78.09a	65.17a	55.13a	14.68a	4.35a	16.34a	9.47c
F值	4.039	0.4510	0.3600	0.9040	1.3880	2.107	27.008
(P)值	0.0442	0.7699	0.8304	0.5050	0.3203	0.1849	0.0001

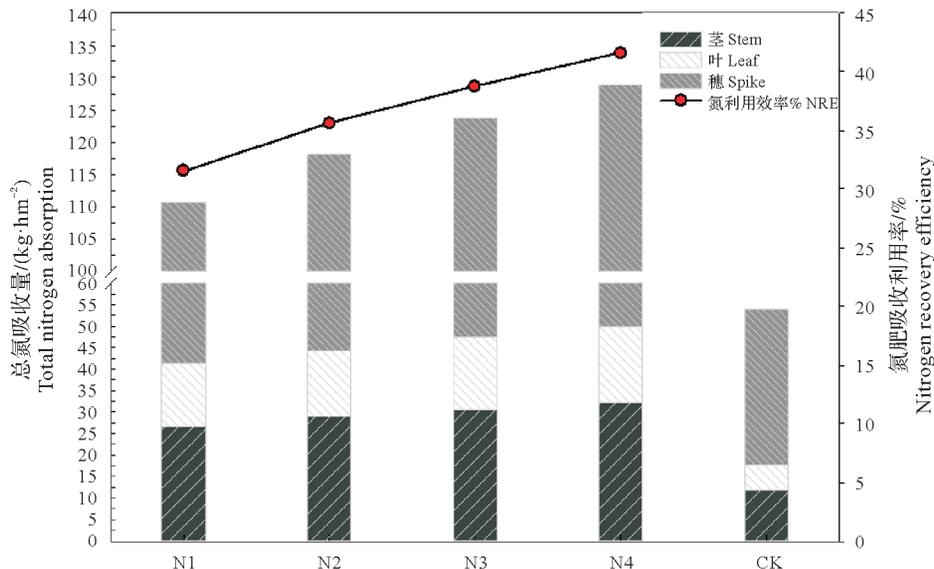


图4 不同处理下茎、叶、穗的总氮吸收量以及氮肥吸收利用率

Fig.4 Total nitrogen uptake of stem and leaf and spike under different treatments

3 讨论

3.1 不同氮肥运筹对井冈软粘生长的影响

关于氮肥运筹对水稻生长的研究中,研究对象多以粳稻和一季稻为主^[18]。王维金等^[19]采用常规稻和杂交稻进行组合品种试验,研究结果显示,重施穗肥的大穗品种和杂交稻较常规施肥 LAI 平均上升 1.2,叶片含 N 率提高 11%~15%,干物质量增加 14.4%,这表明氮肥分期施用有利于提高稻米的群体性状。王维金等^[19]提出的“杂交中稻‘稀、控、重’高产高效栽培模式”,较常规栽培法增产一成以上,节省化肥用量 25% 左右。曾勇军等^[18]在江西双季稻区采用两系超级杂交稻为供试材料,结果显示,分次追施氮肥有利于提高上部三节间的长度,培育壮秆,塑造理想株型,延缓后期叶片中叶绿素含量的下降,增加后期光合物质生产的量,促进产量的提高。吴自明等^[20]选用 6 个杂交稻组合,限水的同时增施氮肥明显缓解水分亏缺胁迫的影响,83.33% 品种因增施氮肥明显提高了气孔导度,但增氮效果组合间存在较大差异。结合本文,作者认为氮肥后移和分次施用有利于改善水稻的生长性状从而提高产量,并且这可能与交替性胁迫灌溉有互补作用,可能对节水灌溉有一定帮助,具体有待进一步深入研究。

3.2 不同氮肥运筹对井冈软粘产量的影响

水稻是否高产取决于水稻的几个主要产量构成因素。氮高效水稻品种能促进各营养器官光合同化物及氮素的累积,从而促进有效穗数和每穗粒数的增加,而具有较高的有效穗数和每穗实粒数是优质丰产类水稻品种的特征^[21]。本研究结果是基肥:蘖肥:穗肥:粒肥为 5:2:2:1 时取得最优效果,这与前人研究结果基本一致。刘彦卓等^[22]以早稻和晚稻进行试验,在减氮后移的条件下,早稻 3 次追肥、晚稻 2 次追肥取得最优效果。与孙永健等^[23]结果进行比较,在水氮互作条件下,施氮后移比例为基肥:蘖肥:穗肥为 5:3:2 时取得最优产量。刘劲松等^[24]以杂交晚稻组合为试验材料,在前作稻田秸秆全量还田基础上进行总施氮量为 195 kg/hm² 氮肥分施试验,氮肥在基、蘖、穗肥中的施用比例为 5:3:2 时,有利于协调其丰产和优质。Zhu 等^[25]以两个粳稻为试验材料,在总氮量 300 kg/hm²,基肥氮、分蘖肥氮、穗肥氮比例为 4:2:4 可获得高产。吴天琦等^[26]以甬优 538 和扬产 1601 两个品种为试验材料,在基肥氮、分蘖肥氮、穗肥氮比例为 4:3:3 时,两个品种的稻曲病发生率较小,病穗率降低,进而形成高产优质。王维金等^[19]认为,重施穗肥对大穗品种特别是杂交稻增产显著,但对穗数型品种,则会引起结实率大大下降,造成不同程度的减产;并且认为在分蘖期和拔节期重施氮肥,会引起无效分蘖增大和结实率下降引起倒伏而减产。以上结论与本试验结果施氮后移提高产量基本一致。笔者认为恰当比例的施氮后移能够增加水稻后期叶片的光合效率,增强了水稻后期的免疫力从而减少病穗达到增产目的。但部分品种如大穗品种则结果不相一致,因此水稻高产氮肥运筹模式要因地和因种分析,不可盲目采用。

3.3 不同氮肥运筹对井冈软粘常规稻米品质的影响

在南方双季稻作区,氮肥施用、氮肥分配比例和双季稻稻米品质有着密不可分的关系,其适宜的氮肥运筹可在适当增产的基础上改善稻米品质^[27]。有研究表明,在总氮量(240 kg/hm²)条件下,提高后期穗肥氮占比则会降低加工品质,提高稻米垩白率和垩白度^[28]。本研究结果表明,氮肥后移降低了水稻出糙率,精米率、整精米率处理间差异不显著,降低了加工品质,而外观品质好坏则随氮肥后移表现出先增后减的趋势,且在氮肥运筹在5:3:2时达到最高,这与乔中英等^[29]研究结果相似。而朱建方等^[30]研究结果表明,将水稻氮肥运筹8:2后移为6:4,提高了糙米率、精米率、整精米率,降低了垩白粒率和垩白度,对稻米外观品质和加工品质都有所改善,其产生不同结果可能是品种间的差异导致,另外也可能由于试验所处生态区的温光条件不同^[31]。过往的大量研究均认为稻米中蛋白质含量随施氮时期的后移而提高^[31-32]。本研究表明与以上研究结果保持一致,稻米蛋白含量随着施氮向生育后期转移,呈现增加趋势,且氮肥运筹为基肥:蘖肥:穗肥:粒肥5:2:2:1处理均显著高于其他处理。

3.4 不同氮肥运筹对井冈软粘氮肥吸收量及氮素利用率的影响

作物的氮素吸收利用率受诸多因素影响,前人已有广泛研究^[33-34]。不同的氮肥运筹方式对水稻氮肥利用率有很大影响。前人研究表明在亚洲地区中,作物对全氮吸收受品种、氮素和水分有效性的影响^[31]。刘桃菊等^[35]以超级杂交中稻扬两优6号为试验品种,结果显示,氮肥分次施用和氮肥适当后移有利于提高籽粒产量和氮肥利用率。段里成等^[36]以杂交早稻鄱优364为试验材料,在施氮量为180 kg/hm²、增加穗肥的施用比例时,产量较高,并且明显有利于提高氮肥利用率和水稻千粒重。另外,Haefele等^[37]研究结果表明,适当提高基肥比例(基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3),可提高水稻氮积累量和氮肥利用效率。李晓峰等^[38]以两种常规粳稻为试验材料,在TN为300 kg/hm²、6种不同的基蘖肥与穗肥比例运筹方式下,结合秸秆全量还田,随基蘖肥占总施氮量比例的下降,氮肥表观利用率、氮肥农学利用率、氮肥生理利用率及氮肥偏生产力均呈现先增后减趋势,当基蘖肥氮与穗肥氮比例为7:3时最高。以上结论表明,水稻的氮肥利用率高低受品种和地区条件的影响。本试验结果与前人结论有相似之处,即随着氮肥后移能够显著的提高水稻氮肥吸收量和氮素利用率。

4 结 论

本研究结果表明,井冈软粘的生长性状发展趋势可分为两种情况。当施肥比例为基肥、蘖肥为5:5时分蘖期、拔节期的生长性状最优;当施肥比例为基肥、蘖肥、穗肥、粒肥为5:2:2:1时后两个生长时期的生长性状最优。基肥:蘖肥:穗肥:粒肥的施肥比例为5:2:2:1时,其结实率、每穗粒数和产量均为最高值,即最佳施肥方式是N4处理。施氮后移对井冈软粘的外观品质(垩白度、垩白粒率)呈现先升后降的趋势,蒸熟品质的直链淀粉含量表现为不断下降的趋势,而营养品质的粗蛋白含量则表现为不断上升的结果。氮肥后移,均明显有利于各时期氮肥利用率和含氮量的提高,并且在基肥、蘖肥、穗肥、粒肥比例为5:2:2:1时,可以获得最优的氮肥利用效率。

致谢:国家重点研发计划项目子课题(2018YFD0800503-02)和井冈山农高区科技计划项目(井农科字[2021]51号)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 国家统计局,国家统计局关于2021年粮食产量数据的公告[EB/OL].(2021-12-06)[2023-04-10].http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230203_1901294.html.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Bulletin on the National grain output in 2021 [EB/OL]. (2021-12-06)[2023-04-10].http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230203_1901294.html.
- [2] FAO.Statistical databases[B/OL].Food and agriculture organization of the United Nations, 2019.
- [3] WU L, YUAN S, HUANG L, et al.Physiological mechanisms underlying the high-grain yield and high-nitrogen use efficiency of elite rice varieties under a low rate of nitrogen application in China[J].Frontiers in plant science, 2016, 7: 1 024.
- [4] 余艳锋,余永琦,尹建华,等.江西“优质晚稻早种”模式的调查与思考[J].中国稻米, 2021, 27(2): 38-43.
YU Y F, YU Y Q, YI J H, et al.Investigation and thinking on the pattern of “good quality late rice variety used in early rice

- planting” in Jiangxi Province[J].China rice,2021,27(2):38-43.
- [5] 吕艳东,徐令旗,姜红芳,等.氮肥运筹对苏打盐碱地水稻养分积累、转运及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(1):103-111.
LYU Y D, XU L Q, JIANG H F, et al. Effects of nitrogen fertilization managements on nutrient accumulation, transport and yield of rice under soda saline-alkali paddy field[J].Agricultural research in the arid areas,2021,39(1):103-111.
- [6] 陈鸽,李祖胜,李中希,等.播种量、施氮量和氮肥运筹对直播杂交稻产量及干物质生产的影响[J].杂交水稻,2020,35(6):43-48.
CHENG G, LI Z S, LI Z X, et al. Effects of seeding rate, nitrogen rate and nitrogen fertilizer management method on yield and dry matter production of direct-seeding hybrid rice[J].Hybrid rice,2020,35(6):43-48.
- [7] 胡雅杰,钱海军,吴培,等.秸秆还田条件下氮磷钾用量对软米粳稻产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):817-824.
HU Y J, QIAN H J, WU P, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer rates on yield and grain quality of soft japonica rice under straw returning condition[J].Journal of plant nutrition and fertilizers,2018,24(3):817-824.
- [8] 刘芳艳,武云霞,孙永健,等.氮肥运筹对杂交籼稻食味差异品种产量及米质的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2021,47(5):487-494.
LIU F Y, WU Y X, SUN Y J, et al. Effects of nitrogen application regime on the yield and quality of indica hybrid rice varieties with different taste value[J]. Journal of Hunan agricultural university(natural sciences),2021,47(5):487-494.
- [9] 王子阳.秸秆还田与氮肥运筹对双季稻产量、品质与土壤养分的影响[D].扬州:扬州大学,2021.
WANG Z Y. Effects of straw returning and nitrogen application on yield, quality and soil nutrient of double cropping rice[D]. Yangzhou: Yangzhou university,2021.
- [10] 蔡一霞,刘春香,王维,等.基肥氮后移对早造杂交稻产量、品质及米粉糊化特征的影响[J].华南农业大学学报,2011,32(2):1-5.
CHAI Y X, LIU C X, WANG W, et al. Grain yield, quality and the gelatinization of rice flour in early hybrid rice as affected by basic nitrogen postponed for heading stage[J].Journal of south China agricultural university,2011,32(2):1-5.
- [11] 朱镇,张亚东,朱峰峰,等.氮肥运筹对南粳505稻米蒸煮食用品质相关理化指标的影响[J].江苏农业科学,2021,49(8):84-89.
ZHE Z, ZHANG Y D, ZHU F F, et al. Impact of nitrogen fertilizer management on physicochemical indices related to cooking and eating qualities of japonica rice cultivar Nanjing 505[J].Jiangsu agricultural sciences,2021,49(8):84-89.
- [12] 殷春渊,王书玉,薛应征,等.水稻高产、优质和氮高效协同的氮素调控研究[J].西北农业学报,2015,24(1):68-72.
YIN C Y, WANG S Y, XUE Y Z, et al. Study on nitrogen regulation of high yield, superior quality and high nitrogen use efficiency in rice[J].Acta agriculturae boreali-occidentalis Sinica,2015,24(1):68-72.
- [13] MO, Z, LI, Y, NIE, J. et al. Nitrogen application and different water regimes at booting stage improved yield and 2-acetyl-pyrroline(2AP) formation in fragrant rice[J].Rice,2019,12(1):74.
- [14] 金正勋,秋太权,孙艳丽,等.氮肥对稻米垩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.
JIN Z X, QIU T Q, SUN Y L, et al. Effects of nitrogen fertilizer on chalkness ratio and cooking and eating quality properties of rice grain[J].Journal of plant nutrition and fertilizers,2001,7(1):31-35.
- [15] 肖武,王根发,刘福恩,等.优质常规晚籼稻新品种井冈软粘的选育与栽培技术[J].种子科技,2019,37(7):77.
XIAO W, WANG G F, LIU F E, et al. Breeding and cultivation techniques of a new high-quality conventional late indica rice variety Jinggang clay rice[J].Seed science & technology,2019,37(7):77
- [16] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J].中国农业科学,2002(9):1095-1103.
PENG S B, HUANG J L, ZHONG X H, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J].Scientia agricultura Sinica,2002(9):1095-1103.
- [17] 周乾聪,陈乐,罗亢,等.氮素穗肥运筹方式对杂交晚粳稻产量和品质的影响[J].作物杂志,2021(6):129-133.
ZHOU Y C, CHENG L, LUO K, et al. Effects of nitrogen panicle fertilizer management on yield and quality of hybrid late japonica rice[J].Crops,2021(6):129-133.
- [18] 曾勇军,吕伟生,潘晓华,等.氮肥追施方法和追用时期对超级早稻株型及物质生产的影响[J].作物学报,2014,40(11):2008-2015.
ZHENG Y J, LYU W S, PANG X H, et al. Effects of nitrogen topdressing method and time on plant type and dry mass pro-

- duction of super early-rice[J].Acta agronomica Sinica,2014,40(11):2008-2015.
- [19] 王维金,徐竹生,鲍隆清.重施穗肥对杂交水稻的产量和氮素营养的影响[J].华中农业大学学报,1993(3):209-214.
WANG W J, XU Z S, BAO L Q.Effect of heavy spike fertilizer on yield and nitrogen nutrition in middle-season hybrid rice [J].Journal of Huazhong agricultural university, 1993(3):209-214.
- [20] 吴自明,王竹青,李木英,等.后期水分亏缺与增施氮肥对杂交稻叶片光合功能的影响[J].作物学报,2013,39(3):494-505.
WU Z M, WANG Z Q, LI M Y, et al.Effect of water shortage and increasing nitrogen application on photosynthetic function of different hybrid rice combinations at grain filling stage[J].Acta agronomica Sinica, 2013,39(3):494-505.
- [21] 孙永健,孙园园,严奉君,等.氮肥后移对不同氮效率水稻花后碳氮代谢的影响[J].作物学报,2017,43(3):407-419.
SUN Y J, SUN Y Y, YAN F J, et al.Effects of postponing nitrogen topdressing on post-anthesis carbon and nitrogen metabolism in rice cultivars with different nitrogen use efficiencies[J].Acta agronomica Sinica, 2017,43(3):407-419.
- [22] 刘彦卓,胡香玉,黄农荣,等.氮肥减量后移对华南双季稻产量和氮肥利用率的影响[J].广东农业科学,2021,48(10):132-140.
LIU Y Z, HU X Y, HUANG N R, et al.Grain yield and nitrogen utilization efficiency of double-cropping rice in response to reduced and delayed application of nitrogen in south China[J].Guangdong agricultural sciences, 2021,48(10):132-140.
- [23] 孙永健,马均,孙园园,等.水氮管理模式对杂交籼稻冈优527群体质量和产量的影响[J].中国农业科学,2014,47(10):2047-2061.
SUN Y J, MA J, SUN Y Y, et al.Effects of water and nitrogen management patterns on population quality and yield of hybrid rice gangyou 527[J].Scientia agricultura Sinica, 2014,47(10):2047-2061.
- [24] 刘劲松,曾勇军,黄山,等.不同穗肥氮比例对优质杂交晚稻泰优871产量和米质的影响[J].杂交水稻,2021,36(4):54-57.
LIU J S, ZHENG Y J, HUANG S, et al.Effects of nitrogen rate of panicle fertilizer on grain yield and quality of high-quality late hybrid rice taiyou 871[J].Hybrid rice, 2021,36(4):54-57.
- [25] ZHU D W, ZHANG H C, GUO B W, et al.Effects of nitrogen level on yield and quality of japonica soft super rice[J].Journal of integrative agriculture, 2017,16(5):1018-1027.
- [26] 吴天琦,刘浪,卞传飞,等.栽培方式与氮肥运筹对江西双季晚粳稻曲病及产量的影响[J].中国农业科技导报,2021,23(2):159-169.
WU T Q, LIU L, BIAN C F, et al.Effects of cultivation patterns and nitrogen application on the rice false smut and yield of double cropping late japonica rice in Jiangxi Province[J].Journal of agricultural science and technology, 2021,23(2):159-169.
- [27] 赵春芳,岳红亮,黄双杰,等.南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性[J].中国农业科学,2019,52(5):909-920.
ZHAO C F, YUE H L, HUANG S J, et al.Eating quality and physicochemical properties in Nanjing rice varieties[J].Scientia agricultura Sinica, 2019,52(5):909-920.
- [28] 王新其,程灿,方军,等.氮肥运筹对杂交粳稻‘申优17’主要品质性状效应分析[J].上海农业学报,2020,36(4):25-30.
WANG X Q, CHENG C, FANG J, et al.Effects of nitrogen application on main quality traits of japonica hybrid rice‘Shenyou17’[J].Acta agriculturae Shanghai, 2020,36(4):25-30.
- [29] 乔中英,陈培峰,顾俊荣,等.氮肥运筹与栽插密度对籼粳杂交稻甬优1538产量形成和米质的影响[J].西南农业学报,2016,29(9):2068-2073.
QIAO Z Y, CHENG P F, GU J R, et al.Effects of nitrogen managements and transplanting density on yield formation and rice quality of indica-japonica hybrid rice Yongyou 1538[J].Southwest China journal of agricultural sciences, 2016,29(9):2068-2073.
- [30] 朱建方,冯伟勋,陈水华.密度和氮肥运筹对稻米品质的影响[J].耕作与栽培,2003(5):35-60.
ZHU J F, FENG W X, CHENG S H, et al.Effects of density and nitrogen fertilizer application on rice quality[J].Tillage and cultivation, 2003(5):35-60.
- [31] 袁帅,苏雨婷,陈平平,等.施氮对稻米品质的影响研究进展与展望[J].作物研究,2021,35(4):394-400.
YUAN S, SU Y T, CHENG P P, et al.Research progress and prospect of the effect of nitrogen application on rice quality[J].Crop research, 2021,35(4):394-400.
- [32] 万靓军,霍中洋,龚振恺,等.氮肥运筹对杂交稻主要品质性状及淀粉RVA谱特征的影响[J].作物学报,2006,32(10):1491-1497.
WANG L J, HUO Z Y, GONG Z K, et al.Effect of nitrogen application on main quality and RVA profile characters of hybrid

- rice[J].Acta agronomica Sinica,2006,32(10):1491-1497.
- [33] 董桂春,王余龙,张岳芳,等.不同氮素籽粒生产效率类型籼稻品种产量及其构成的基本特点[J].作物学报,2006,32(10):1511-1518.
- DONG G C, WANG Y L, ZHANG Y F, et al.Characteristics of yield and yield components in conventional indica rice cultivars with different nitrogen use efficiencies for grain output[J].Acta agronomica Sinica,2006,32(10):1511-1518.
- [34] PENG S B, CASSMAN K G.Upper thresholds of nitrogen uptake rates and associated nitrogen fertilizer efficiencies in irrigated rice[J].Agronomy journal,1998,90(2):178-185.
- [35] 刘桃菊,唐建军,江绍琳,等.氮肥后移对超级稻扬两优6号产量及氮肥利用率的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(7):57-61.
- LIU T J, TANG J J, JIANG S L, et al.Effect of postponing nitrogen fertilizer application on yield and nitrogen using efficiency of super rice Yangliangyou6[J].Journal of northeast agricultural university,2012,43(7):57-61.
- [36] 段里成,吕伟生,吴自明,等.施氮量和每穴苗数对双季杂交早稻产量及氮肥利用率的影响[J].生态学杂志,2018,37(10):2959-2967.
- DUAN L C, LYU W S, WU Z M, et al.Effects of nitrogen application rate and seedlings per hole on yield and nitrogen use efficiency of double-season early hybrid rice[J].Chinese journal of ecology,2018,37(10):2959-2967.
- [37] HAEFELE S M, JABBAR S M A, SIOPONGCO J D L C, et al.Nitrogen use efficiency in selected rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under different water regimes and nitrogen levels[J].Field crops research,2008,107(2),137-146.
- [38] 李晓峰,程金秋,梁健,等.秸秆全量还田与氮肥运筹对机插粳稻产量及氮素吸收利用的影响[J].作物学报,2017,43(6):912-924.
- LI X F, CHENG J Q, LIANG J, et al.Effects of total straw returning and nitrogen application on grain yield and nitrogen absorption and utilization of machine transplanted japonica rice[J].Acta agronomica Sinica,2017,43(6):912-924.

《江西农业大学学报》入选 2023—2024 年度 中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊核心库

近日,中国科学院文献情报中心发布了中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称 CSCD)2023—2024 年度来源期刊遴选结果,《江西农业大学学报》被《中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊(2023—2024 年度)》核心库收录。这是《江西农业大学学报》连续三次入列 CSCD 核心刊(2019—2020、2021—2022、2023—2024 版)。

中国科学引文数据库(CSCD)创建于 1989 年,是我国第一个引文数据库,收录我国数学、物理、化学、天文学、地学、生物学、农林科学、医药卫生、工程技术、环境科学和管理科学等领域出版的中英文科技核心期刊和优秀期刊,具有发现我国重要研究成果的导航作用。中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊每两年遴选一次。每次遴选均采用定量与定性相结合的方法,定量数据来自于中国科学引文数据库,定性评价则通过聘请国内专家定性评估对期刊进行评审。定量与定性综合评估结果构成了中国科学引文数据库来源期刊。2023—2024 年度中国科学引文数据库(CSCD)收录来源期刊 1 339 种,其中中国出版的英文期刊 316 种,中文期刊 1 023 种。中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊分为核心库和扩展库两部分,其中核心库 995 种;扩展库 344 种。

CSCD 创建于 1989 年,是我国第一个引文数据库,收录我国数学、物理、化学、天文学、地学、生物学、农林科学、医药卫生、工程技术、环境科学和管理科学等领域出版的中英文科技核心期刊和优秀期刊,具有发现我国重要研究成果的导航作用。CSCD 及其成果在我国科研院所、高等学校的课题查新、基金资助、项目评估、成果申报、人才选拔等多方面作为权威文献检索工具获得广泛应用,是自然科学基金委国家杰出青年基金、自然科学基金委国家重点实验室评估和教育部学科评估等指定查询库。