

## 施氮量对黑龙江省第二积温区粳稻生长及产量性状的影响

刘丹<sup>1</sup>, 邓力喜<sup>1</sup>, 孙玉友<sup>2</sup>, 冯章丽<sup>1</sup>, 李洪亮<sup>2</sup>, 魏才强<sup>2</sup>, 程杜娟<sup>2</sup>, 吴亚男<sup>1</sup>, 陈银华<sup>1</sup>, 隋常玲<sup>1\*</sup>

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

**摘要** 为了阐明氮肥用量对黑龙江省第二积温区粳稻生长及产量的影响, 选取适宜于该积温区种植的 20 个粳稻品种/系为材料, 对高低 2 个不同氮肥水平下粳稻的分蘖动态、叶绿素含量、干物重以及产量性状进行分析。结果表明, 高氮肥施用量能够增加参试粳稻的分蘖数, 提高分蘖期和抽穗期粳稻叶片叶绿素含量, 促进干物质积累, 但与低氮施用量间差异未达显著水平。对产量及其相关农艺性状的调查分析表明, 不同氮肥施用量对有效穗数、穗粒数和实粒数 3 个性状影响较大, 其变异系数均超过 10.00%, 且产量的变异系数也达 9.63%。相关分析结果表明, 2 个氮肥用量下第二积温区粳稻穗部性状之间的相关性趋势基本一致, 其中穗长与穗粒数、实粒数呈显著正相关; 穗粒数与实粒数呈极显著正相关, 与结实率呈显著负相关。

**关键词** 粳稻; 施氮量; 积温区; 生长; 产量

**中图分类号** S511.2<sup>+</sup>2 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)04-0145-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.04.040



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effect of Nitrogen Application Rate on the Growth and Yield Related Traits of Japonica Rice in the Second Accumulated Temperature Zone of Heilongjiang Province

LIU Dan<sup>1</sup>, DENG Li-xi<sup>1</sup>, SUN Yu-you<sup>2</sup> et al (1. College of Biology and Agriculture, Zunyi Normal University, Zunyi, Guizhou 563006; 2. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang, Heilongjiang 157041)

**Abstract** In order to explore the effects of rice growth and yield related traits under different fertilizing nitrogen for the second accumulated temperature zone of Heilongjiang Province, 20 japonica rice varieties were used to analyze the tillering dynamics, SPAD value, dry weight and yield related traits on the two N fertilizer levels. The results showed that the tillering number, SPAD values of leaf in tillering stage and heading stage, and dry weight were increased during the high nitrogen fertilizer application, but the difference was not significant compared with low nitrogen application. Investigation on the yield related agronomic traits showed that different nitrogen application had large effects on the three agronomic traits such as effective panicles, spikelet number per panicle and filled grains, which the variable coefficient all were above 10.00%, and the coefficient of variation of yield also reached 9.63%. The correlation analysis showed that the correlation had basically the same trends of panicle traits in the second accumulated temperature zone of japonica rice under two nitrogen fertilizer, which the panicle length was significantly positively correlated with the spikelet number per panicle and filled grains, and the spikelet number per panicle was extremely significantly positively correlated with the filled grains, while it significantly negative with seed setting rate.

**Key words** Japonica rice; Nitrogen application rate; Accumulated temperature zone; Growth; Yield

我国水稻种植面积约占世界种植面积的 20%, 但水稻氮肥用量占全球水稻氮肥总用量的 37%<sup>[1]</sup>。过多地施入氮肥, 不仅浪费了资源和能源, 而且出现了环境污染和稻米品质下降等问题。为了改变当前“肥料用量大、环境污染严重”的局面, 贯彻落实农业农村部提出的“2020 年化肥、农药使用量零增长行动”方案, 提高水稻的氮肥利用效率迫在眉睫<sup>[2]</sup>。近年来, 研究者已开展了水稻氮高效方面的研究, 并取得了阶段性的进展<sup>[3-9]</sup>。Fan 等<sup>[3]</sup>找到了提高水稻氮肥利用率“开关”。Li 等<sup>[4]</sup>筛选到一个氮素吸收速率显著增加的新品系, 通过 QTL 定位、图位克隆等技术获得了氮肥高效利用的关键基因 *GRF4*。Wu 等<sup>[5]</sup>阐明了 *NGR5* 是赤霉素信号传导途径的一个新的关键元件, 其高水平积累不仅可以保持“绿色革命”的半矮化优良性状, 而且能增加水稻分蘖数, 促进氮肥的吸收与利用, 从而实现了在减少氮肥投入的条件下进一步提高产量。这些研究对于开展水稻氮高效育种奠定了理论

基础。

黑龙江省是我国最重要的优质口粮生产基地, 水稻种植区域大致分为 5 个积温带, 第二积温区是优质粳稻的主产区, 历经数代育种工作者的不懈努力, 培育出了一系列高产优质品种, 为国家粮食安全作出了重要贡献<sup>[10]</sup>。前人对黑龙江省第二积温区水稻的产量性状<sup>[11]</sup>、品质性状<sup>[12]</sup>以及耐冷性<sup>[13]</sup>等都进行了相关研究。然而, 至今为止, 尚未见对黑龙江省第二积温区粳稻的氮肥响应规律的研究。减少氮肥用量、提高粳稻品质、保护生态环境对于满足人们对高品质生活的追求至关重要。基于此, 笔者通过分析不同施氮量下黑龙江省第二积温区粳稻生长及产量变化, 旨在阐明黑龙江省第二积温区粳稻对氮肥的响应规律, 为今后深入开展寒地优质粳稻氮高效育种提高指导。

#### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 以收集于黑龙江省第二积温区的 20 份粳稻常规品种/系为材料, 试验材料信息见表 1。

**1.2 试验地概况** 试验在黑龙江省农业科学院牡丹江分院水稻研究所温春试验田进行, 该地区位于第二积温区, 土质为河淤泥, 地力中等、平衡。土壤理化性质: 土壤有机质 18.5 g/kg, 全氮 2.6 g/kg, 碱解氮 87.6 mg/kg, 速效磷 13.2 mg/kg, 速效钾 96.8 mg/kg。

**1.3 试验设计** 采用大棚旱育苗移栽的种植方式, 2019 年 4

**基金项目** 国家重点研发计划项目(2018YFD0200308); 遵义师范学院博士基金项目(遵师 BS[2019]45 号); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教合 KY 字[2015]413 号); 黑龙江省农业科学院院级科研项目(2020FJZX016, 2019JJPY016, 2019CGJL005)。

**作者简介** 刘丹(1984—), 男, 湖北蕲春人, 助理研究员, 从事水稻种质资源评价利用及粳稻育种研究。\* 通信作者, 教授, 从事植物营养研究。

**收稿日期** 2020-07-20

月15日播种,5月25日移栽,插秧规格为30.0 cm×13.3 cm,每个品种插植6行,行长6 m,小区面积10.8 m<sup>2</sup>。设置2个氮肥梯度(折合成纯氮量)(NL: 60 kg/hm<sup>2</sup>, NH: 180 kg/hm<sup>2</sup>),氮肥依据含氮率折算成尿素施用,其中基肥、分蘖肥和穗肥各占50%、10%和40%。磷肥和钾肥分别用磷

酸二铵和硫酸钾,用量为250和200 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥作基肥100%一次施用,硫酸钾作基肥和穗肥各施50%。采用随机区组设计,3次重复,氮肥水平作为主区,品种作为副区,随机区组排列,其他田间栽培管理同当地一般生产田。

表1 试验材料相关信息

Table 1 Information of experimental materials

编号 No.	名称 Materials name	来源 Source	编号 No.	名称 Materials name	来源 Source
N1	苗稻2	黑龙江省苗氏种业有限责任公司	N11	绥粳17	黑龙江省农业科学院绥化分院等
N2	龙庆稻6	庆安县北方绿洲稻作研究所	N12	绥粳18	黑龙江省农业科学院绥化分院
N3	莲稻2号	虎林市绿都种子有限责任公司等	N13	绥粳19	黑龙江省农业科学院绥化分院等
N4	龙粳2号	黑龙江田友种业有限公司	N14	牡丹江28	黑龙江省农业科学院牡丹江农业科学研究所
N5	垦稻12	黑龙江省农垦科学院水稻研究所	N15	牡丹江35	黑龙江省农业科学院牡丹江分院
N6	龙粳49	黑龙江省龙科种业集团有限公司等	N16	牡育稻42	黑龙江省农业科学院牡丹江分院
N7	龙粳21	黑龙江省农业科学院佳木斯水稻研究所	N17	牡育稻49	黑龙江省农业科学院牡丹江分院
N8	龙稻5	黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所	N18	牡育稻50	黑龙江省农业科学院牡丹江分院
N9	绥稻3	绥化市盛昌种子繁育有限责任公司	N19	牡育稻63	黑龙江省农业科学院牡丹江分院
N10	绥粳4	黑龙江省农业科学院绥化农业科学研究所	N20	牡育稻64	黑龙江省农业科学院牡丹江分院

## 1.4 测定项目与方法

**1.4.1 分蘖动态。**大田移栽后,定植10穴,每穴保证4苗。于插秧后10 d开始调查分蘖,每隔7 d调查一次。在第一次调查分蘖数量时,连续选出5穴植株标记,下一次调查在标记的5株上进行,调查至分蘖盛期为止。

**1.4.2 叶片叶绿素含量。**于分蘖盛期、抽穗期和成熟期利用SPAD-502 plus叶绿素仪连续测定3穴水稻倒一叶上部的SPAD值,取平均值作为SPAD测定值。

**1.4.3 单株干物重。**于抽穗期、抽穗后10 d、抽穗后20 d以及成熟期测定水稻单株干物重,每个小区取1株,去根后装入信封,置于烘箱,先105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重称重。

**1.4.4 穗部性状及产量。**于成熟期,取中间区1株全部穗装入信封,选取长势一致的5个穗进行穗部性状调查,包括穗长、穗重、实粒数、结实率以及千粒重等。成熟期取中间行连续3株,剪下所有穗,选取有代表性的5个穗,风干至恒重后,进行穗部性状调查。性状调查参照《水稻种质资源描述规范和数据标准》<sup>[14]</sup>的方法略作修改,调查指标包括有效穗数(effective panicles, EP)、穗长(panicle length, PL)、穗粒数(spikelet number per panicle, SNP)、实粒数(filled grains, FG)、结实率(seed setting rate, SSR)以及千粒重(1 000-grain weight, TGW)6个穗部性状。同时对田间每个小区实收5.4 m<sup>2</sup>(除去边行)进行测产。

**1.5 数据处理** 采用Excel和IBM SPSS Statistics 20软件进行数据处理,利用GraphPad Prism 6进行作图。

## 2 结果与分析

**2.1 施氮量对粳稻分蘖动态的影响** 由图1可知,不同施氮量对黑龙江省第二积温区粳稻分蘖动态的影响存在差异。高氮肥水平下粳稻的分蘖数量高于低氮水平。进一步分析可知,2种氮肥水平下参试材料的分蘖盛期均出现在7月13日,其中高氮水平粳稻的平均分蘖数为17.19,低氮水平粳稻

的平均分蘖数为16.56。方差分析结果显示两者间差异未达显著水平。

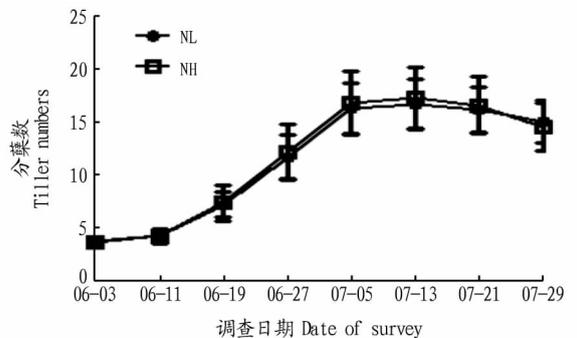


图1 施氮量对粳稻分蘖动态的影响

Fig.1 Effect of nitrogen rates on tillering dynamics of japonica rice

**2.2 施氮量对粳稻叶片叶绿素含量的影响** 由图2可知,施氮量对第二积温区粳稻叶片叶绿素含量存在影响。2种氮肥水平下,在分蘖盛期、抽穗期和成熟期,叶片叶绿素含量均呈先增加后降低的趋势,其中低氮(NL)水平下叶片SPAD值分别为39.43、41.07和31.21;高氮(NH)水平下叶片SPAD值分别为40.05、41.15和35.22。进一步分析发现,在不同施氮

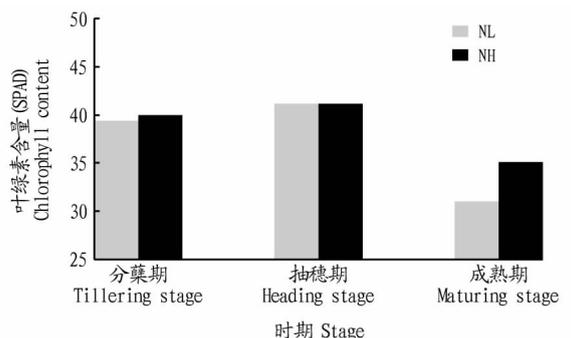


图2 施氮量对粳稻叶绿素含量的影响

Fig.2 Effect of nitrogen rates on SPAD value of japonica rice

量下,同一时期叶片叶绿素含量表现为高氮处理大于低氮处理。方差分析结果表明,叶绿素含量在前2个时期差异不显著,但在成熟期,2个氮肥之间差异达极显著水平。

**2.3 施氮量对粳稻单株干物重的影响** 对不同施氮处理下参试粳稻的单株干物重进行测定。由图3可知,2个氮肥处理下,随着生育进程的变化,参试材料在4个调查时期的干物重均呈上升趋势。从抽穗期到成熟期,低氮水平下,参试材料的单株干物重增加0.024 kg;高氮水平下,参试材料的单株干物重增加0.025 kg。进一步方差分析结果发现,2种氮肥处理下,单株干物重的增加量差异未达显著水平。

**2.4 施氮量对粳稻产量相关性状的影响** 由表2可知,在2种施氮水平下6个产量相关性状测定值存在差异。除千粒重外,其他5个重要农艺性状测定值均表现为高氮水平高于低氮水平。方差分析结果表明,2种氮肥处理对6个产量相关农艺性状的影响差异未达显著水平。进一步分析发现,有

效穗数、穗粒数和实粒数3个性状的变异系数超过10%,表明受氮肥影响较大。同时,不同氮肥水平下,粳稻产量随着氮肥用量的增加而有所提高,平均极差为2 098.76 kg/hm<sup>2</sup>,平均变异系数也达9.63%。

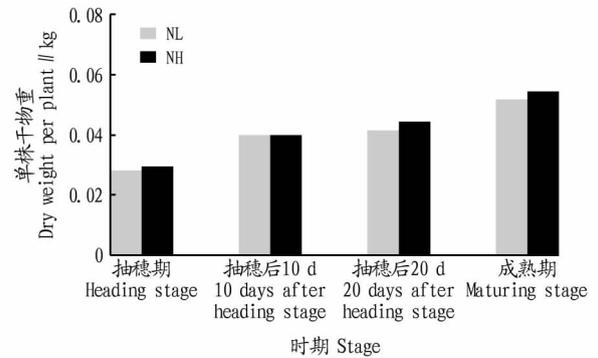


图3 施氮量对粳稻干物重的影响

Fig.3 Effect of nitrogen rates on dry weight of japonica rice

表2 施氮量对粳稻产量相关性状的影响

Table 2 Effect of nitrogen rates on the yield related traits of japonica rice

项目 Item	有效穗数 Effective panicles			穗长 Panicle length//cm			穗粒数 Spikelets number per panicle			实粒数 Filled grains		
	NL	NH	平均 Average	NL	NH	平均 Average	NL	NH	平均 Average	NL	NH	平均 Average
平均值 Mean	14.92	15.72	15.32	18.20	18.31	18.26	103.46	108.06	105.76	92.93	98.66	95.80
标准差 SD	2.71	2.34	2.53	1.22	1.22	1.22	15.37	19.72	17.55	12.72	16.03	14.38
最大值 Max	19.67	22.33	21.00	20.32	21.61	20.97	123.60	144.13	133.87	116.80	124.93	120.87
最小值 Min	10.67	10.33	10.50	16.37	15.94	16.16	76.93	81.07	79.00	73.33	74.13	73.73
极差 Range	9.00	12.00	10.50	3.95	5.67	4.81	46.67	63.07	54.87	43.47	50.80	47.14
变异系数 CV//%	18.15	14.92	16.54	6.73	6.66	6.70	14.86	18.25	16.56	13.69	16.25	14.97

项目 Item	结实率 Seed setting rate//%			千粒重 1 000-grain weight//g			产量 Yield//kg/hm <sup>2</sup>		
	NL	NH	平均 Average	NL	NH	平均 Average	NL	NH	平均 Average
平均值 Mean	90.30	91.64	90.97	27.55	27.54	27.55	5 577.15	6 120.36	5 848.76
标准差 SD	3.74	3.31	3.53	1.25	1.63	1.44	506.15	623.43	564.79
最大值 Max	95.33	96.48	95.91	29.05	30.27	29.66	6 635.80	7 253.08	6 944.44
最小值 Min	79.33	82.56	80.95	24.82	23.53	24.18	4 722.22	4 969.13	4 845.67
极差 Range	16.01	13.92	14.97	4.23	6.73	5.48	1 913.58	2 283.95	2 098.76
变异系数 CV//%	4.14	3.62	3.88	4.52	5.94	5.23	9.08	10.19	9.63

对不同氮肥施入量的黑龙江省第二积温区粳稻穗部性状的相关性进行分析,结果见表3。由表3可知,2个氮肥处

理水平下参数材料穗部性状之间的相关性趋势基本一致。在低氮水平下,穗长与穗粒数、实粒数呈显著正相关,相关性

表3 不同氮肥量下粳稻穗部性状相关性系数

Table 3 The correlation coefficient for japonica rice panicle traits between different nitrogen fertilizer rate

氮肥水平 N levels	穗部性状 Panicle traits	穗部性状 Panicle traits					
		EP	PL	SNP	FG	SSR	TGW
NL	EP	1					
	PL	-0.211	1				
	SNP	-0.342	0.539*	1			
	FG	-0.250	0.598**	0.953**	1		
	SSR	0.358	-0.032	-0.478*	-0.191	1	
	TGW	0.163	-0.218	-0.567**	-0.539*	0.284	1
NH	EP	1					
	PL	-0.176	1				
	SNP	-0.418	0.731**	1			
	FG	-0.438	0.778**	0.981**	1		
	SSR	0.089	-0.231	-0.588**	-0.423	1	
	TGW	-0.045	0.020	-0.407	-0.283	0.704**	1

注:\* 和\*\* 分别表示在0.05和0.01水平显著相关

Note: \* and \*\* indicated significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

数分别为 0.539 和 0.598; 穗粒数与实粒数呈极显著正相关, 与结实率和千粒重呈显著负相关, 相关系数分别为 0.953、-0.478 和 -0.567; 此外, 实粒数与千粒重也呈显著负相关, 相关系数为 -0.539。在高氮水平下, 穗长与穗粒数、实粒数呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.731 和 0.778; 穗粒数与实粒数呈极显著正相关, 与结实率呈极显著负相关, 相关系数分别为 0.981 和 -0.588; 此外, 结实率与千粒重也呈极显著正相关, 相关系数为 0.704。

### 3 结论与讨论

氮是影响水稻生产和产量形成的最关键营养元素之一。筛选氮高效的水稻材料, 对于提高水稻氮肥利用率、降低氮肥用量、避免环境污染具有重要意义。氮高效型品种由于对氮素的利用效率更高, 因此在较低氮水平下能发生更多的分蘖, 成穗率和收获指数也高于中效型品种<sup>[15-16]</sup>。张兆冬等<sup>[17]</sup>研究表明, 两优 100 在氮水平较低的情况下, 可以获得更高的干物质积累量、分蘖数、氮肥农学利用率及氮肥偏生产力, 是氮高效品种。该研究结果表明, 参试材料在高氮肥水平下的生长及产量性状高于低氮肥水平, 除 SPAD 值外, 其他测定值差异均未达显著水平, 暗示参试材料可能为氮不敏感型材料, 有待于进一步研究。

研究表明, 合理地施入氮肥能够提高水稻功能叶的叶绿素含量, 进而增加干物质积累, 增加水稻产量<sup>[18-19]</sup>。该研究结果表明, 参试材料叶片 SPAD 值随着氮肥使用量的增加呈逐渐增加趋势, 这一点与前人研究结果完全吻合。同时, 研究还发现在不同施氮量下, 叶绿素含量在分蘖盛期和抽穗期差异不显著, 但在成熟期, 2 个氮肥水平之间差异达极显著水平, 这也直接证明了氮肥施入量增加会导致水稻贪青晚熟的观点。

对穗部产量性状分析发现, 不同氮肥施用量对有效穗数、穗粒数和实粒数 3 个性状影响较大, 其变异系数均超过 10%。由此可知, 氮肥施用量的增加, 直接提高了参试梗稻的有效穗数、穗粒数和实粒数, 最终实现增产。然而, 考虑到环境和农业的可持续发展, 在减肥不减产的前提下, 筛选出氮高效的水稻品种, 提高氮肥利用效率将是下一步工作的

重点。

### 参考文献

- [1] FAO.FAO statistical databases [Z].Rome:Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 2004.
- [2] 刘丹, 孙玉友, 柴永山, 等. 水稻氮高效基因型筛选及相关基因研究进展 [J]. 中国种业, 2018(10): 18-21.
- [3] FAN X R, TANG Z, TAN Y W, et al. Overexpression of a pH-sensitive nitrate transporter in rice increases crop yields [J]. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 2016, 113(26): 7118-7123.
- [4] LI S, TIAN Y H, WU K, et al. Modulating plant growth-metabolism coordination for sustainable agriculture [J]. Nature, 2018, 560: 595-600.
- [5] WU K, WANG S S, SONG W Z, et al. Enhanced sustainable green revolution yield via nitrogen-responsive chromatin modulation in rice [J/OL]. Science, 2020, 367(6478) [2020-03-25]. https://science.sciencemag.org/content/367/6478/eaaz2046.DOI:10.1126/science.aaz2046.
- [6] ZHU G L, PENG S B, HUANG J L, et al. Genetic improvements in rice yield and concomitant increases in Radiation-and Nitrogen use efficiency in middle reaches of Yangtze River [J]. Scientific reports, 2016, 6: 1-12.
- [7] TANG W J, YE J, YAO X M, et al. Genome-wide associated study identifies NAC42-activated nitrate transporter conferring high nitrogen use efficiency in rice [J]. Nature communications, 2019, 10: 1-11.
- [8] GAO Z Y, WANG Y F, CHEN G, et al. The *indica* nitrate reductase gene *OsNR2* allele enhances rice yield potential and nitrogen use efficiency [J]. Nature communications, 2019, 10: 1-10.
- [9] 郑兴飞, 胡建林, 董华林, 等. 水稻氮高效利用相关基因的研究进展与展望 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(24): 1-4.
- [10] 刘晴, 刘宇强, 高世伟, 等. 黑龙江省第二积温带水稻新品种产量稳定性分析 [J]. 中国稻米, 2017, 23(2): 50-52.
- [11] 高世伟, 聂守军, 史淑春, 等. 黑龙江省第二积温带水稻产量性状分析 [J]. 中国稻米, 2016, 22(5): 44-47.
- [12] 薛英会, 李靖阳. 黑龙江省第二积温带水稻品种食味品质性状稳定性分析 [J]. 中国稻米, 2017, 23(5): 32-34, 37.
- [13] 王翠玲. 黑龙江省第二积温带水稻品种 (系) 耐冷性鉴定 [J]. 黑龙江农业科学, 2014(12): 1-3.
- [14] 韩龙植, 魏兴华. 水稻种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [15] 袁嫚嫚, 郭刚, 李若清, 等. 配方肥对早、晚稻的茎蘖动态、养分积累和产量的影响 [J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(2): 43-45.
- [16] 孙志贵. 氮肥施用量对江汉平原机插水稻分蘖成穗及产量的影响 [D]. 荆州: 长江大学, 2019.
- [17] 张兆冬, 王家宝, 郭刚, 等. 不同水稻品种对施氮量的响应研究 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 147-149.
- [18] 杨安中, 段素梅, 朱启升, 等. 孕穗肥氮用量对抛栽杂交中稻后期光合性能及产量的影响 [J]. 杂交水稻, 2011, 26(3): 68-70.
- [19] 刘丹, 孙玉友, 刘天生, 等. 氮肥水平对黑龙江省梗稻叶片 SPAD 值和产量性状的影响 [J]. 中国稻米, 2018, 24(S1): 6-11.
- [20] 张兆冬, 王家宝, 郭刚, 等. 不同水稻品种对施氮量的响应研究 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 147-149.
- [21] 杨安中, 段素梅, 朱启升, 等. 孕穗肥氮用量对抛栽杂交中稻后期光合性能及产量的影响 [J]. 杂交水稻, 2011, 26(3): 68-70.
- [22] 刘丹, 孙玉友, 刘天生, 等. 氮肥水平对黑龙江省梗稻叶片 SPAD 值和产量性状的影响 [J]. 中国稻米, 2018, 24(S1): 6-11.
- [23] RANDHAWA M A. The effect of dimethyl sulfoxide (DMSO) on the growth of dermatophytes [J]. Nippon ishinkin gakkai zasshi, 2006, 47(4): 313-318.
- [24] BASCH H, GADEBUSCH H H. In vitro antimicrobial activity of dimethylsulfoxide [J]. Applied microbiology, 1968, 16(12): 1953-1954.
- [25] ELOFF J N, MASOKO P, PICARD J. Resistance of animal fungal pathogens to solvents used in bioassays [J]. South African journal of botany, 2007, 73(4): 667-669.
- [26] WADHWANI T, DESAI K, PATEL D, et al. Effect of various solvents on bacterial growth in context of determining MIC of various antimicrobials [J]. The internet journal of microbiology, 2007, 7(1): 1-14.
- [27] LWIN M, RANAMUKHAARACHCHI S L. Development of biological control of *Ralstonia solanacearum* through antagonistic microbial populations [J]. International journal of agriculture and biology, 2006, 8(5): 657-660.

(上接第 133 页)

- [30] WARD O P, SINGH A. Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production [J]. Process biochemistry, 2005, 40(12): 3627-3652.
- [31] MENDIOLA J A, TORRES C F, TORÉ A, et al. Use of supercritical CO<sub>2</sub> to obtain extracts with antimicrobial activity from *Chaetoceros muelleri* microalga. A correlation with their lipidic content [J]. European food research and technology, 2007, 224(4): 505-510.
- [32] HERRERO M, IBÁÑEZ E, CIFUENTES A, et al. Dunaliella salina microalga pressurized liquid extracts as potential antimicrobials [J]. Journal of food protection, 2006, 69(10): 2471-2477.
- [33] MOLINA GRIMA E, BELARBI E H, ACIÉN FERNÁNDEZ F G, et al. Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics [J]. Biotechnology advances, 2003, 20(7/8): 491-515.