

栽培模式对寒地水稻产量和营养品质的影响

胡月¹,郭晓红¹,李猛¹,姜红芳¹,那永光²,蓝金路¹,王洪洋¹,宋蕊¹

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江省农垦科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:以龙粳46和龙庆稻3号为试验材料,设置不施氮空白栽培模式(N0)、当地农民高产栽培模式(FP)、高产高效栽培模式(HYHE)和超高产栽培模式(SHY),探究不同栽培模式对寒地水稻产量及稻米蛋白质组分、蛋白质、氨基酸和矿质元素含量的影响,以期为寒地水稻高产优质栽培提供理论依据。结果表明,龙粳46和龙庆稻3号的产量均以SHY模式最高,分别较HYHE模式显著提高14.24%和30.65%,较FP模式显著提高22.19%和40.21%;与FP模式相比,2个水稻品种在SHY模式下,水稻籽粒清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白、总蛋白质含量分别显著提高20.37%、12.94%、10.74%、28.26%、10.04%和26.79%、12.90%、9.96%、27.45%、8.72%,氨基酸总量、必需氨基酸含量、非必需氨基酸含量分别显著提高5.30%、4.95%、5.48%和7.52%、12.38%、4.87%,而HYHE模式对其影响不显著;栽培模式对水稻籽粒矿质元素含量的影响程度因品种和矿质元素种类而异,SHY模式对龙粳46 Zn、Na、Ca、Cu含量的影响较大,分别较FP模式显著提高46.77%、48.56%、69.35%、56.15%,而对龙庆稻3号Mg、K含量影响较大,分别较FP模式显著提高63.18%、46.16%;球蛋白、谷蛋白含量分别与Mn含量呈极显著、显著正相关,醇溶蛋白含量与Mg含量呈显著负相关。综上,超高产栽培模式可以在保证寒地水稻高产的基础上,有效改善稻米的营养品质,高产高效栽培模式次之。

关键词:水稻;寒地;栽培模式;蛋白质组分;矿质元素

中图分类号:S511 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2019)03-0017-08

Effects of Cultivation Modes on Yield and Nutrient Quality of Rice in Cold Region

HU Yue¹, GUO Xiaohong¹, LI Meng¹, JIANG Hongfang¹, NA Yongguang²,
LAN Jinlu¹, WANG Hongyang¹, SONG Rui¹

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing 163319, China;
2. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: Taking Longjing 46 and Longqingdao No. 3 as experimental materials, the local high-yield cultivation (FP), high-yield and high-efficiency cultivation (HYHE) and super-high-yield cultivation (SHY) modes were set up to explore the effects of different cultivation modes on rice yield, protein components, amino acids and mineral elements contents in cold region with the blank cultivation mode without nitrogen, so as to provide theoretical basis for high-yield and high-quality cultivation of rice in cold region. The results showed that the yields of Longjing 46 and Longqingdao No. 3 were the highest under SHY mode, which were 14.24% and 30.65% higher than those of HYHE mode, 22.19% and 40.21%

收稿日期:2018-10-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300104,2017YFD0300502-6);黑龙江省自然科学基金面上项目(C2017046);黑龙江八一农垦大学青年创新人才项目(CXRC2017001)

作者简介:胡月(1994-),女,黑龙江鹤岗人,在读硕士研究生,研究方向:水稻栽培学。E-mail:Hupp1994@163.com

通信作者:郭晓红(1980-),女,黑龙江宁安人,副教授,博士,主要从事水稻栽培学研究。E-mail:guoxh1980@163.com

higher than those of FP mode, respectively. Compared with FP mode, the contents of albumin, globulin, glutenin, gliadin, total protein in rice grains of Longjing 46 and Longqingdao No. 3 significantly increased by 20.37%, 12.94%, 10.74%, 28.26%, 10.04% and 26.79%, 12.90%, 9.96%, 27.45%, 8.72% respectively under SHY mode, and the contents of total, essential, non-essential amino acids significantly increased by 5.30%, 4.95%, 5.48% and 7.52%, 12.38%, 4.87% respectively, but the effect of HYHE mode was not significant. The influence degree of cultivation mode on mineral element content of rice grain varied with varieties and mineral elements. SHY mode had a greater impact on Zn, Na, Ca and Cu contents of Longjing 46, which were 46.77%, 48.56%, 69.35% and 56.15% higher than those of FP mode respectively; SHY mode had a greater impact on Mg and K contents of Longqingdao No. 3, which were 63.18% and 46.16% higher than those of FP mode respectively. The contents of globulin and glutenin were significantly positively correlated with Mn content, while the content of gliadin was significantly negatively correlated with Mg content. In conclusion, the super-high yield cultivation mode could effectively improve the nutritional quality of rice on the basis of ensuring high yield of rice in cold region, followed by high-yield and high-efficiency cultivation mode.

Key words: Rice; Cold region; Cultivation mode; Protein component; Mineral element

水稻是我国重要的粮食作物,稻米产量居世界第一^[1-2]。近年来,随着我国经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,人们的饮食习惯逐渐发生变化,优质稻米越来越受到广大消费者的青睐^[3]。因此,有关稻米品质的研究也越来越受到重视。黑龙江省作为全国粳米优质生态区和重要商品粮基地,是世界上仅存的三大黑土带之一,其自然条件优越,土地肥沃、昼夜温差大、光照充足,这些因素是寒地稻米品质优良、食用价值高的基础。蛋白质、氨基酸和矿质元素等是衡量稻米营养品质的重要指标。稻米品质既受遗传因素影响,也受环境和农艺措施等因素影响^[4-5]。研究表明,通过肥料运筹可以提高稻米中蛋白质和氨基酸含量^[6-7]。稻米蛋白质含量随施氮量增加而增加^[8];增施氮、钾肥可以明显提高稻米籽粒中氨基酸总量^[9]。目前,关于栽培模式对水稻产量的影响研究较多^[10],而对稻米品质的影响研究,尤其是对稻米营养品质的影响研究较少,且主要集中于蛋白质、氨基酸方面^[9,11-13],而矿质元素作为稻米营养品质的重要指标却未见报道。为此,在大田条件下,研究不同栽培模式对寒地水稻籽粒蛋白质组分及蛋白质、氨基酸、矿质元素含量等重要营养品质指标的影响,以期为寒地水稻高产优质栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验地概况及试验材料

试验于2017年在黑龙江省绥化市绥棱县上集镇水稻试验站(127°18'48.91"E, 47°09'31.64"N)大田条件下进行。4月11日播种,5月15日移栽,每

穴4株,9月28日收获。水稻生育期(4—9月)平均气温为16.06°C,降雨量为423 mm。试验地土壤为黑土,pH值为6.3,有机质含量为44.5 g/kg,碱解氮含量为155.4 mg/kg,有效磷含量为10.6 mg/kg,速效钾含量为229 mg/kg。

供试水稻品种为当地高产品种龙粳46和龙庆稻3号。化学肥料分别为尿素(含N 46%)、磷酸二铵(含N 18%、P₂O₅ 46%)、硫酸钾(含K₂O 50%),复合肥为纳米硅肥(含有效硅≥55%,黑龙江省齐齐哈尔市松土肥业有限公司生产),有机肥为归复记有机肥(含N+P+K≥5%、有机质≥40%,黑龙江归复记生物科技有限公司生产)。

1.2 试验设计

试验共设置4种栽培模式:不施氮空白栽培模式(N0)、当地农民高产栽培模式(FP,对照)、高产高效栽培模式(HYHE)、超高产栽培模式(SHY),详见表1。采用随机区组试验设计,3次重复。氮肥以基肥:蘖肥:调节肥:穗肥=4:3:1:2的比例施入,磷肥作为基肥一次性施入,钾肥以基肥:穗肥=6:4的比例施入,有机肥和复合肥作为基肥一次性施入。基肥、分蘖肥、调节肥、穗肥分别于移栽前12 d(5月3日)、返青期(5月20日)、8.5叶幼穗分化期(6月30日)、10.5叶拔节期(7月8日)施用。试验期间各处理水分管理采用单排单灌方式,防止相互影响。各栽培模式肥料运筹情况详见表1。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 产量 成熟时,2个水稻品种各处理选取长势一致的8穴植株,带回室内进行考种,计产。
1.3.2 蛋白质及矿质元素含量 收获后,将水稻籽

表1 不同栽培模式下肥料运筹及栽培措施

Tab. 1 Fertilizer management and cultivation measures under different cultivation modes

| 栽培模式 Cultivation modes | 化学肥料用量/(kg/hm ²) Chemical fertilizer amount | | | 复合肥用量/(kg/hm ²) Compound fertilizer amount | 有机肥用量/(kg/hm ²) Organic fertilizer amount | 育苗方式 Seedling raising modes | 行距×穴距/(cm×cm) Row spacing × hole spacing |
|------------------------------|--|-------------------------------|------------------|--|---|-----------------------------------|--|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | | |
| NO | | | | | | 常规育苗 | 30×13.3 |
| FP | 150 | 70 | 70 | | | 常规育苗 | 30×13.3 |
| HYHE | 180 | 90 | 130 | | 300 | 常规育苗 | 30×13.3 |
| SHY | 180 | 90 | 180 | 15 | 450 | 钵育苗 | 20×13.3, 40×13.3 |

粒风干存放1个月,然后用FC-2K型实验砻谷机(YAMAMOTO)加工成糙米,再用日本山本有限公司生产的VP-32型实验碾米机加工成精米,最后用瑞安市百信制药机械有限公司生产的LG-50型粉碎机粉碎,分别过0.20 mm和0.076 mm孔径筛,供分析用。

1.3.2.1 蛋白质组分及蛋白质含量 采用李合生^[14]的连续提取法对清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白进行提取,采用凯氏定氮法测定水稻籽粒中的氮含量,再乘以换算系数5.95,即为蛋白质含量。

1.3.2.2 氨基酸含量 参照GB/T 5009.124—2003^[15]测定籽粒中氨基酸含量。用6 mol/L的盐酸水解氨基酸样品,用氮吹仪去除水解管内空气,用酒精喷灯封口,然后放入烘箱,110℃水解22 h。将水解液全部转移到50 mL容量瓶内定容。吸取滤液1 mL于5 mL容量瓶内,用真空干燥器在40~50℃干燥。干燥后的样品用pH值2.2的柠檬酸钠缓冲溶液溶解,溶解液用0.22 μm滤膜过滤,用日立高新技术公司生产的L-8900高速氨基酸分析仪进行分析。

1.3.2.3 矿质元素含量 称取0.5 g样品置于聚四氟乙烯消解罐中,加入5 mL硝酸、3 mL水和2滴过氧化氢,放在微波消解仪(WX-8000,上海屹尧仪器科技发展有限公司)上进行消解,消解液全部转移到50 mL容量瓶内定容,用美国Thermo Fisher Scientific公司生产的ICP-MS型电感耦合等离子光谱仪测定锌(Zn)、镁(Mg)、钠(Na)、铁(Fe)、钙(Ca)、钾(K)、铜(Cu)、锰(Mn)含量。

1.4 数据统计与分析

应用Excel 2003和DPS 7.05进行数据整理和统计,采用LSD法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 栽培模式对寒地水稻产量的影响

由表2可知,不同栽培模式对水稻产量有显著

影响,2个水稻品种的产量均表现为:SHY>HYHE>FP>NO,模式间差异均达到显著水平。龙粳46和龙庆稻3号SHY模式的产量分别达到了10 079.09 kg/hm²和11 067.76 kg/hm²,较HYHE模式分别增产14.24%和30.65%,较FP模式分别增产22.19%和40.21%;HYHE模式产量分别为8 822.96 kg/hm²和8 471.36 kg/hm²,较FP模式分别增产6.96%和7.32%。可见,SHY和HYHE模式均较FP模式显著提高水稻产量。

表2 栽培模式对寒地水稻产量的影响

Tab. 2 Effects of cultivation modes on rice yield in cold region

| 品种 Varieties | 栽培模式 Cultivation modes | 产量/(kg/hm ²) Yield | | |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----|------|
| | | NO | FP | HYHE |
| 龙粳46 Longjing 46 | NO | 5 607.92d | | |
| | FP | 8 248.90c | | |
| | HYHE | 8 822.96b | | |
| | SHY | 10 079.09a | | |
| 龙庆稻3号 Longqingdao No. 3 | NO | 5 725.84d | | |
| | FP | 7 893.54c | | |
| | HYHE | 8 471.36b | | |
| | SHY | 11 067.76a | | |

注:同列数据后不同字母表示同一品种不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters after the data of same column indicate that the differences among different treatments of the same variety reached significant level ($P < 0.05$), the same below.

2.2 栽培模式对寒地水稻籽粒蛋白质组分及总蛋白质含量的影响

蛋白质含量是反映稻米营养品质的重要指标。从表3可以看出,2个水稻品种的4种蛋白质组分含量及总蛋白质含量均以SHY模式最高,均表现为SHY>HYHE>FP>NO。龙粳46 SHY模式的清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白含量分别较HYHE模式显著增加12.07%、3.23%、6.50%、13.46%,分别较FP模式显著增加20.37%、12.94%、10.74%、28.26%;HYHE模式分别较FP模式显著增加7.41%、9.41%、3.98%、13.04%。龙庆稻3号SHY模式的

清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白含量分别较 HYHE 和 FP 模式显著增加 16.39%、3.96%、6.83%、8.33% 和 26.79%、12.90%、9.96%、27.45%；HYHE 模式分别较 FP 模式增加 8.93%、8.60%、2.93%、17.65%，除清蛋白含量外，差异均达到显著水平。龙梗 46 SHY 模式的总蛋白质含量较 HYHE

和 FP 模式分别显著增加 5.81% 和 10.04%，HYHE 模式较 FP 模式显著增加 3.99%；龙庆稻 3 号 SHY 模式分别较 HYHE 和 FP 模式显著增加 4.80% 和 8.72%，HYHE 模式较 FP 模式增加 3.74%，差异不显著。

表 3 栽培模式对寒地水稻籽粒蛋白质组分及总蛋白质含量的影响

Tab. 3 Effects of cultivation modes on protein components and total protein contents of rice grain in cold region

| 品种 Varieties | 栽培模式 Cultivation modes | 蛋白质组分/(g/kg) | | | | 总蛋白质/% Total protein | |
|---------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--|
| | | Protein components | | | | | |
| | | 清蛋白 Albumin | 球蛋白 Globulin | 谷蛋白 Glutenin | 醇溶蛋白 Gliadin | | |
| 龙梗 46 Longjing 46 | NO | 4.72d | 8.14c | 44.71d | 4.32c | 8.10c | |
| | FP | 5.43c | 8.56c | 50.31c | 4.62c | 8.27c | |
| | HYHE | 5.81b | 9.30b | 52.13b | 5.20b | 8.60b | |
| | SHY | 6.50a | 9.60a | 55.70a | 5.91a | 9.10a | |
| 龙庆稻 3 号 Longqingdao No. 3 | NO | 5.00c | 8.90c | 48.47c | 4.92c | 7.83c | |
| | FP | 5.61bc | 9.30c | 51.20c | 5.14c | 8.03bc | |
| | HYHE | 6.10b | 10.15b | 52.76b | 6.00b | 8.33b | |
| | SHY | 7.12a | 10.52a | 56.30a | 6.51a | 8.73a | |

2.3 栽培模式对寒地水稻籽粒氨基酸含量的影响

由表 4 可知，2 个水稻品种均以谷氨酸含量最高，均表现为 SHY 模式氨基酸总量、必需氨基酸（苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸）和非必需氨基酸（天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸）含量显著高于其他模式；而 HYHE 模式的氨基酸总量、必需和非必需氨基酸含量均较 FP 模式有所提高，但差异不显著。对于龙梗 46 而言，SHY 模式的氨基酸总量、必需氨基酸含量、非必需氨基酸含量分别较 FP 和 HYHE 模式提高 5.30%、4.95%、5.48% 和 4.04%、4.02%、4.05%；对于龙庆稻 3 号而言，SHY 模式的氨基酸总量、必需氨基

酸含量、非必需氨基酸含量分别较 FP 和 HYHE 模式提高 7.52%、12.38%、4.87% 和 5.11%、9.66%、2.86%。

苏氨酸和赖氨酸是衡量蛋白质质量好坏的限制性必需氨基酸，龙梗 46 SHY 模式的苏氨酸、赖氨酸含量分别较 FP 和 HYHE 模式增加 8.33%、8.70% 和 4.00%、8.70%，龙庆稻 3 号 SHY 模式的苏氨酸、赖氨酸含量分别较 FP 和 HYHE 模式增加 13.64%、4.34% 和 8.70%、4.34%。

由此看出，在不同栽培模式下，SHY 模式可以显著增加稻米中氨基酸总量、必需和非必需氨基酸含量，提高稻米的蛋白质质量，进而提高稻米的营养品质。

表 4 栽培模式对寒地水稻籽粒氨基酸含量的影响

Tab. 4 Effects of cultivation modes on amino acids contents of rice grain in cold region

| 氨基酸 Amino acids | 龙梗 46 Longjing 46 | | | | 龙庆稻 3 号 Longqingdao No. 3 | | | | % |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
| | NO | FP | HYHE | SHY | NO | FP | HYHE | SHY | |
| 天门冬氨酸 Aspartate | 0.57 ± 0.06 | 0.57 ± 0.06 | 0.59 ± 0.06 | 0.62 ± 0.08 | 0.52 ± 0.05 | 0.56 ± 0.05 | 0.57 ± 0.06 | 0.58 ± 0.06 | |
| 苏氨酸 Threonine | 0.24 ± 0.03 | 0.24 ± 0.03 | 0.25 ± 0.03 | 0.26 ± 0.03 | 0.21 ± 0.03 | 0.22 ± 0.03 | 0.23 ± 0.03 | 0.25 ± 0.04 | |
| 丝氨酸 Serine | 0.33 ± 0.04 | 0.34 ± 0.04 | 0.34 ± 0.05 | 0.35 ± 0.05 | 0.29 ± 0.03 | 0.32 ± 0.04 | 0.32 ± 0.04 | 0.32 ± 0.04 | |
| 谷氨酸 Glutamate | 1.33 ± 0.12 | 1.34 ± 0.15 | 1.34 ± 0.15 | 1.40 ± 0.20 | 1.14 ± 0.10 | 1.20 ± 0.15 | 1.25 ± 0.15 | 1.26 ± 0.17 | |

续表4 栽培模式对寒地水稻籽粒氨基酸含量的影响

Tab. 4 (Continued) Effects of cultivation modes on amino acids contents of rice grain in cold region %

| 氨基酸 Amino acids | 龙梗46 Longjing 46 | | | | 龙庆稻3号 Longqingdao No. 3 | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | NO | | FP | | HYHE | | SHY | |
| | NO | FP | HYHE | SHY | NO | FP | HYHE | SHY |
| 甘氨酸 Glycine | 0.28 ± 0.03 | 0.28 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 | 0.26 ± 0.03 | 0.27 ± 0.03 | 0.28 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 |
| 丙氨酸 Alanine | 0.36 ± 0.04 | 0.37 ± 0.03 | 0.37 ± 0.05 | 0.38 ± 0.05 | 0.33 ± 0.04 | 0.35 ± 0.04 | 0.35 ± 0.04 | 0.37 ± 0.04 |
| 胱氨酸 Cystine | 0.14 ± 0.02 | 0.15 ± 0.03 | 0.15 ± 0.04 | 0.16 ± 0.04 | 0.10 ± 0.01 | 0.12 ± 0.01 | 0.14 ± 0.02 | 0.15 ± 0.02 |
| 缬氨酸 Valine | 0.36 ± 0.04 | 0.37 ± 0.04 | 0.37 ± 0.04 | 0.38 ± 0.03 | 0.32 ± 0.03 | 0.33 ± 0.03 | 0.33 ± 0.03 | 0.38 ± 0.04 |
| 蛋氨酸 Methionine | 0.14 ± 0.02 | 0.15 ± 0.02 | 0.16 ± 0.02 | 0.17 ± 0.03 | 0.11 ± 0.01 | 0.13 ± 0.02 | 0.14 ± 0.02 | 0.17 ± 0.03 |
| 异亮氨酸 Isoleucine | 0.26 ± 0.03 | 0.28 ± 0.03 | 0.28 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 | 0.25 ± 0.04 | 0.25 ± 0.04 | 0.25 ± 0.03 | 0.29 ± 0.04 |
| 亮氨酸 Leucine | 0.57 ± 0.05 | 0.57 ± 0.05 | 0.57 ± 0.06 | 0.59 ± 0.06 | 0.50 ± 0.04 | 0.50 ± 0.03 | 0.53 ± 0.05 | 0.58 ± 0.07 |
| 酪氨酸 Leucine | 0.33 ± 0.03 | 0.33 ± 0.03 | 0.34 ± 0.03 | 0.35 ± 0.03 | 0.29 ± 0.03 | 0.31 ± 0.03 | 0.30 ± 0.03 | 0.33 ± 0.02 |
| 苯丙氨酸 Phenylalanine | 0.37 ± 0.03 | 0.38 ± 0.04 | 0.38 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.33 ± 0.02 | 0.36 ± 0.03 | 0.36 ± 0.03 | 0.36 ± 0.03 |
| 赖氨酸 Lysine | 0.22 ± 0.02 | 0.23 ± 0.02 | 0.23 ± 0.02 | 0.25 ± 0.03 | 0.22 ± 0.03 | 0.23 ± 0.03 | 0.23 ± 0.03 | 0.24 ± 0.04 |
| 组氨酸 Arginine | 0.18 ± 0.02 | 0.19 ± 0.02 | 0.20 ± 0.03 | 0.20 ± 0.02 | 0.16 ± 0.02 | 0.17 ± 0.02 | 0.18 ± 0.03 | 0.19 ± 0.03 |
| 精氨酸 Arginine | 0.57 ± 0.05 | 0.57 ± 0.04 | 0.57 ± 0.04 | 0.61 ± 0.05 | 0.51 ± 0.04 | 0.56 ± 0.04 | 0.56 ± 0.04 | 0.57 ± 0.05 |
| 脯氨酸 Proline | 0.24 ± 0.02 | 0.24 ± 0.02 | 0.25 ± 0.03 | 0.26 ± 0.04 | 0.22 ± 0.03 | 0.24 ± 0.03 | 0.24 ± 0.04 | 0.25 ± 0.03 |
| 氨基酸总量 Total amino acids | 6.49c | 6.60b | 6.68b | 6.95a | 5.76c | 6.12b | 6.26b | 6.58a |
| 必需氨基酸 Essential amino acid | 2.16b | 2.22b | 2.24b | 2.33a | 1.94b | 2.02b | 2.07b | 2.27a |
| 非必需氨基酸 Non-essential amino acids | 4.33b | 4.38b | 4.44b | 4.62a | 3.82c | 4.11b | 4.19b | 4.31a |

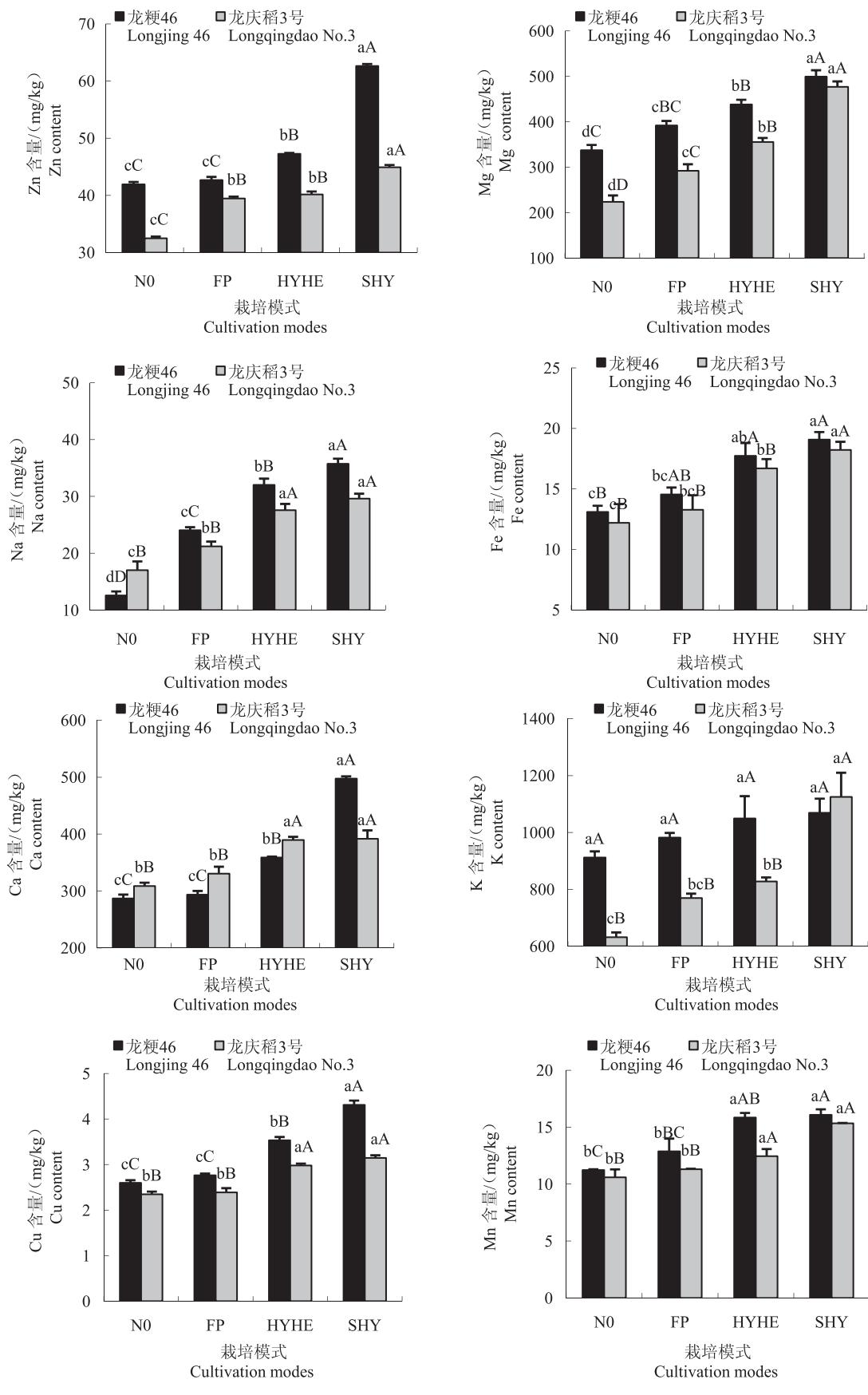
2.4 栽培模式对寒地水稻籽粒矿质元素含量的影响

稻米中的矿质元素是影响稻米营养品质的指标之一,矿质元素也在一定程度上影响人体健康。由图1可知,不同栽培模式对稻米矿质元素含量有较大影响,且2个水稻品种的变化趋势一致,均表现为SHY > HYHE > FP > NO。龙梗46 SHY模式的Zn、Mg、Na、Fe、Ca、K、Cu、Mn含量分别较FP模式增加46.77%、27.46%、48.56%、31.22%、69.35%、8.85%、56.15%、24.94%,除K含量外,差异均达到显著水平;HYHE模式较FP模式显著提高Zn、Mg、Na、Ca、Cu、Mn含量,但对Fe和K含量的影响均不显著。龙庆稻3号SHY模式8种矿质元素含量分别较FP模式显著增加13.84%、63.18%、39.59%、37.20%、18.55%、46.16%、31.80%、35.54%;HYHE模式较

FP模式显著提高Mg、Na、Ca、Cu、Mn含量,但对Zn、Fe、K含量的影响均未达到显著水平。其中,在SHY模式下,龙梗46以Zn、Na、Ca、Cu含量增幅较大,而龙庆稻3号则以Mg、K含量增幅较大。可见,不同栽培模式对稻米矿质元素影响较大,尤其是SHY模式可以显著提高稻米中矿质元素含量,但对不同品种和矿质元素的影响程度不一致。

2.5 寒地水稻籽粒蛋白质组分及总蛋白质含量与矿质元素含量间的相关分析

由表5可知,稻米球蛋白、谷蛋白含量分别与Mn含量呈极显著、显著正相关,相关系数分别为0.80、0.74,醇溶蛋白含量与Mg含量呈显著负相关。由此可知,随着球蛋白和谷蛋白含量的增加,Mn含量增加;随着醇溶蛋白含量的增加,Mg含量下降。



不同字母表示同一品种不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Different letters indicate that the differences among different treatments of the same variety reached significant level($P < 0.05$)

图 1 栽培模式对寒地水稻籽粒中 Zn、Mg、Na、Fe、Ca、K、Cu 和 Mn 含量的影响

Fig. 1 Effects of cultivation modes on contents of Zn, Mg, Na, Fe, Ca, K, Cu and Mn in rice grain in cold region

表5 寒地水稻籽粒蛋白质组分及总蛋白质含量与矿质元素含量的相关系数

Tab. 5 Coefficient of correlation between mineral elements contents and contents of protein components and total protein

| 指标 Indexes | Zn | Mg | Na | Fe | Ca | K | Cu | Mn |
|--------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|------|---------|
| 清蛋白 Albumin | 0.01 | -0.63 | -0.37 | -0.21 | 0.21 | -0.52 | 0.09 | 0.56 |
| 球蛋白 Globulin | -0.07 | -0.49 | -0.22 | -0.16 | 0.25 | -0.36 | 0.31 | 0.80 ** |
| 谷蛋白 Glutemin | 0 | -0.57 | -0.28 | -0.20 | 0.15 | -0.42 | 0.22 | 0.74 * |
| 醇溶蛋白 Gliadin | -0.08 | -0.70 * | -0.38 | -0.09 | 0.23 | -0.64 | 0.08 | 0.53 |
| 总蛋白质 Total protein | 0.34 | -0.27 | -0.27 | -0.18 | 0.19 | -0.15 | 0.43 | 0.43 |

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著、极显著相关。

Note: * , ** indicate significant and extremely significant correlations at 0.05, 0.01 levels, respectively.

3 结论与讨论

本研究结果表明,2个水稻品种均以 SHY 模式产量最高,其次是 HYHE 模式,FP 模式产量相对较低。前人研究表明,增施氮、磷、钾肥可以有效提高水稻的分蘖能力,增加水稻叶面积指数,促进水稻干物质积累,进而提高水稻产量^[16];归复记有机肥能有效提高水稻产量^[17]。本研究结果表明,HYHE 模式产量显著高于 FP 模式,原因在于 HYHE 模式较 FP 模式增施了氮、磷、钾肥及归复记有机肥,这与前人研究结果一致。而 SHY 模式产量最高,并显著高于 HYHE 和 FP 模式。推测原因是 SHY 模式较 HYHE 模式增施了纳米硅肥,同时采用钵苗摆栽和宽窄行等栽培技术。相关研究表明,施用纳米硅肥可以显著提高水稻产量^[18-19];水稻采用钵盘育秧移栽,基本无缓苗现象,分蘖发生早,有效分蘖多^[20];宽窄行栽培使植株通风透光性良好,光合作用增强,从而提高产量^[21]。因此,4 种栽培模式中 SHY 模式增产效果最明显。

石吕^[22]研究表明,增加施氮量可以显著提高 4 种蛋白质组分含量。商全玉等^[23]研究表明,在一定范围内施用硅肥,可以显著提高稻米蛋白质含量。邢志鹏等^[24]研究发现,水稻钵苗机插方式下的稻米蛋白质含量高于其他方式。本研究结果表明,与 FP 模式相比,SHY 模式显著提高 2 个水稻品种稻米中 4 种蛋白质组分及总蛋白质含量。推测原因是 SHY 模式较 FP 模式增施了氮肥和纳米硅肥,并使用了钵苗摆栽方式,这与前人研究结果相似,说明 SHY 模式可以改善稻米的营养品质。

前人研究表明,增施氮、钾肥可以明显提高水稻籽粒氨基酸总量^[25]。本研究结果发现,SHY 模式氨基酸总量及必需、非必需氨基酸含量均显著高于其他 3 个栽培模式。这是因为 SHY 模式施氮、钾量均最高,与前人^[25]研究结果基本相符。此外,本研究中 SHY 模式较其他 3 种栽培模式增施了纳米硅肥、归复记有机肥,并采用了宽窄行栽培技术,但目前并

未有以上 3 个因素对稻米氨基酸含量影响的报道,因此,本研究结果有待进一步验证。

水稻中含有的矿质元素种类和数量不仅影响稻米的品质,还对人类的健康有重要的影响。矿质元素参与人体新陈代谢过程^[26],但不同矿质元素的重要程度不尽相同。Zn、Fe、Cu 和 Mn 属于人体必需的矿质元素,它们摄入过多、缺乏或失衡,都会不同程度地引起人体疾病发生和生理异常。本研究结果表明,SHY 模式较 FP 模式显著增加水稻籽粒 Zn、Fe、Cu、Mn 含量;HYHE 模式较 FP 模式在一定程度上增加了水稻籽粒 Zn、Fe、Cu、Mn 含量。说明 SHY 和 HYHE 模式均能提高水稻籽粒中人体必需矿质元素的含量,但 SHY 模式提高效果更为明显。目前,关于水稻矿质元素的研究主要集中于氮肥对水稻矿质元素的影响方面。前人研究表明,增施氮肥会提高稻米中 Fe 和 Zn 含量^[27]。本研究中 SHY 和 HYHE 模式均较 FP 模式增施了氮肥,Fe 和 Zn 含量都较 FP 模式不同程度提高,这与前人研究结果相似^[27-28]。值得注意的是,SHY 模式对矿质元素的影响因品种和矿质元素种类而异,龙粳 46 的 Zn、Na、Ca、Cu 含量受影响较大,而龙庆稻 3 号则以 Mg、K 含量受影响较大,可见不同栽培模式对水稻矿质元素含量的影响程度受品种自身遗传机制影响。因而,在讨论栽培模式对水稻矿质元素含量的影响时,还应考虑品种因素。此外,本研究通过对稻米中 4 种蛋白质组分含量与 8 种矿质元素含量进行相关分析发现,球蛋白、谷蛋白含量分别与 Mn 含量呈极显著、显著正相关,醇溶蛋白含量与 Mg 含量呈显著负相关。可见,球蛋白和谷蛋白含量对矿质元素含量影响较大,且多为正效应;而醇溶蛋白含量对矿质元素含量的影响为负效应。因此,根据本研究结果可以推测,蛋白质组分和矿质元素含量均影响稻米的营养品质,但两者之间存在一定程度的拮抗作用。目前,关于稻米蛋白质组分含量与矿质元素含量间的相关性研究尚未见报道,所以此结果有待进一步验证。综上所述,SHY 和 HYHE 模式均可在高产基

础上有效改善寒地稻米的营养品质,为寒地水稻高产优质栽培提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 吴金水,葛体达,胡亚军.稻田土壤关键元素的生物地球化学耦合过程及其微生物调控机制[J].生态学报,2015,35(20):6626-6634.
- [2] 陈海飞,冯洋,蔡红梅,等.氮肥与移栽密度互作对低产田水稻群体结构及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1319-1328.
- [3] 王在满,罗锡文,陈雄飞,等.水稻机械化穴播技术对稻米品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(16):16-21.
- [4] 龚金龙,张洪程,胡雅杰,等.灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响[J].生态学杂志,2013,32(2):482-491.
- [5] 邢志鹏,曹伟伟,钱海军,等.稻麦两熟地区机插水稻品质形成的播期效应[J].生态学杂志,2016,35(1):1-10.
- [6] 贺帆,黄见良,崔克辉,等.实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J].中国农业科学,2007,40(1):123-132.
- [7] 周培南,冯惟珠,许乃霞,等.施氮量和移栽密度对水稻产量及稻米品质的影响[J].江苏农业研究,2001,22(1):27-31.
- [8] 张其芳,刘奎刚,苏达,等.氮素和水分处理对稻米植酸含量和蛋白组分的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):542-550.
- [9] 王德鹏.栽培模式、温光条件和土壤肥力对双季稻物质生产和产量形成的影响及其机理研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [10] 陈宇眺.栽培模式对水稻产量和氮肥利用率的影响及生理机制的研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [11] 梁玉刚,张启飞,周晶,等.不同栽培模式对稻米品质及经济效益的影响[J].华北农学报,2016,31(S):265-269.
- [12] 徐大勇,金军,杜永,等.氮磷钾肥运筹对水稻籽粒蛋白质和氨基酸含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):506-508.
- [13] SARAH B, TERRY J, PAUL A, et al. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality [J]. Field Crops Research, 2011, 124 (1):132-136
- [14] 李合生.现代植物生理学[J].3 版.生命世界,2012(11):2.
- [15] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所.食品中氨基酸含量的测定:GB/T 5009.124—2003[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [16] 饶鸣钿.氮、磷、钾、有机肥配施对杂交稻特优 73 产量形成与氮吸收的影响[J].江西农业学报,2011,23(6):108-110.
- [17] 唐国江.水稻应用复合肥有机肥效果初探[J].农业开发与装备,2016(1):66.
- [18] 张国良.硅肥对水稻产量和品质的影响及硅对水稻纹枯病抗性的初步研究[D].扬州:扬州大学,2005.
- [19] 徐俊.纳米硅肥对水稻抗旱和增产作用研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [20] 吴文革,周永进,张健美,等.杂交中籼稻钵苗机插群体特征及产量形成优势分析[J].核农学报,2016,30(7):1427-1434.
- [21] 伍峰.水稻宽窄行栽培技术推广研究[J].园艺与种苗,2015(4):11-13.
- [22] 石昌.水稻精米蛋白质含量与稻米品质变化的关系[D].扬州:扬州大学,2017.
- [23] 商全玉,张文忠,韩亚东,等.硅肥对北方粳稻产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2009,23(6):661-664.
- [24] 邢志鹏,朱明,吴培,等.稻麦两熟制条件下钵苗机插方式对不同类型水稻品种米质的影响[J].作物学报,2017,43(4):581-595.
- [25] CHANG E H, ZHANG S F, WANG Z Q, et al. Effect of nitrogen and phosphorus on the amino acids in root exudates and grains of rice during grain filling[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4):612-618.
- [26] 文建成,张忠林,汤利,等.杂草稻和粳稻品系稻米铁锌矿质元素含量差异分析[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(1):55-59.
- [27] CHANDEL G, BANERJEE S, SEE S, et al. Effects of different nitrogen fertilizer levels and native soil properties on rice grain Fe, Zn and protein contents[J]. Rice Science, 2010, 17(3):213-227.
- [28] 张国良,戴其根,王建武,等.施硅量对粳稻品种武育粳 3 号产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2007,21(3):299-303.