doi：10.11838/sfsc.1673-6257.18471

栽培模式对寒地粳稻产量及养分吸收积累的影响

吕艳东[1]，胡　月[1]，李　猛[2]，姜红芳[1]，兰宇辰[1]，王鹤璎[1]，郭晓红[1*]

（1. 黑龙江八一农垦大学 / 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. 牡丹江市农业技术推广总站，黑龙江　牡丹江　157000）

摘　要：为探讨寒地粳稻高产与养分高效利用协调的栽培技术，以龙庆稻3号为试验材料，设置未施氮处理（N0）、当地农民栽培（对照，FP）、高产高效栽培（HYHE）和超高产栽培（SHY）4种栽培模式，分析不同栽培模式对水稻产量和养分吸收利用的影响。结果表明：高产高效栽培和超高产栽培两年的平均产量分别为8.58和11.73 t/hm^2，分别较对照提高13.19%和54.74%。与对照相比，在高产高效和超高产栽培模式下，水稻各器官及全株氮、磷、钾含量均显著提高，并在齐穗期保持了较高的全株氮素积累量，同时提高了全株氮、磷、钾素积累能力；在成熟期，植株各器官氮、磷、钾素积累量表现为穗部 > 茎鞘 > 叶片；高产高效和超高产栽培模式降低了氮、磷、钾素干物质和稻谷生产效率，不同栽培模式下的叶片和茎鞘氮素转运量、氮素表观转运率以及氮素转运贡献率和氮素收获指数均表现为：超高产栽培 > 高产高效栽培 > 当地农民高产栽培 > 未施氮空白对照。综上所述，高产高效和超高产栽培模式在保证水稻高产的同时，显著提高各器官及全株的氮、磷、钾含量以及氮、磷、钾的积累量，有利于寒地水稻养分的高效吸收与利用，从而获得高产高效。

关键词：水稻；栽培模式；产量；养分吸收

水稻是我国最重要的粮食作物之一，其产量的高低直接影响到国家的粮食安全。氮、磷、钾是水稻生长发育过程中必需的三大营养元素，其丰缺程度直接影响水稻最终产量的形成。然而随着我国水稻产量的不断提升，氮肥的施用量也在持续增加。目前中国是世界氮肥消费的第一大国，其中水稻生产中的氮肥用量占全球氮肥用量的30%[1]。而中国稻田氮肥利用率仅为30% ~ 35%，磷肥利用率为10% ~ 20%，钾肥利用率为35% ~ 50%[2-3]。因此，在获得水稻高产的同时，提高养分利用效率是目前农业研究的一个热点问题。

提高水稻氮、磷、钾等养分的吸收、利用、降低污染是现代水稻生产发展的迫切需要。迄今为止，关于栽培模式对水稻氮、磷、钾吸收特性影响的研究报道较少。氮肥方面，水稻植株在成熟期的穗部氮素积累量依靠于氮素的转运，合理的氮肥施用量可以提高水稻在各生育时期养分吸收总量，同时在水稻生育后期提高秸秆中氮、磷、钾向籽粒中的转运量[4]。磷肥方面，有研究认为水稻在成熟期穗部的磷素积累量较高时，有利于水稻后期形成高产[5-6]。钾肥方面，王强盛等[7]研究认为增施钾肥可以提高水稻成熟期叶片、茎鞘和穗部的钾素分配比例，且可以提高植株钾素积累量。钵苗摆栽方面，有研究报道钵苗稀植高产栽培条件下氮素吸收利用与产量的相关关系，结果表明，水稻不同生育时期氮素吸收量，抽穗至成熟期叶、茎鞘氮素转运量与产量均呈显著或极显著的相关关系[8]。密度方面，已有研究表明不同的移栽密度对水稻氮素吸收利用具有较大影响[9-11]。然而，关于对水稻养分吸收利用的影响多集中在上述某单一因素的研究[12-13]，而通过多项栽培技术的集成与优化使水稻达到高产高效的栽培模式研究却鲜有报道。

黑龙江省是中国最北部的寒地稻作区，也是中国最大的、最重要的粳稻生产区，2017年黑龙江省水稻种植面积达到330万hm^2，总产量达到2 377.4万t[14]。为此，本试验比较了不同栽培模式

收稿日期：2018-12-01；**录用日期：**2019-01-19

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0300104）；黑龙江省自然基金面上项目（C2017046）；黑龙江八一农垦大学青年创新人才项目（CXRC2017001）；黑龙江八一农垦大学科研团队平台支持计划（TDJH201802）。

作者简介：吕艳东（1978-），男，黑龙江省肇州县人，博士，副研究员，从事水稻栽培学研究。E-mail：lvyd_1978@163.com。

通讯作者：郭晓红，E-mail: guoxh1980@163.com。

下水稻产量、氮、磷和钾素积累、分配及转运的影响，为构建寒地水稻高产高效栽培技术体系提供理论与实践依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试验地基本情况

试验于2017~2018年在黑龙江省绥化市绥棱县上集镇水稻试验站（E127° 18′ 48.91″，N47° 09′ 31.64″）进行。试验地土壤为黑土，土壤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。供试品种为当地高产品种龙庆稻3号（主茎为11片叶）。播种时间分别为2017年4月11日和2018年4月9日，移栽时间分别为2017年5月15日和2018年5月13日，基本苗数每穴4株，收获时间分别为2017年9月28日和2018年9月27日。

1.2　试验设计

试验采用随机区组设计，共设置4个处理，即：未施氮空白处理（N0）、当地农民高产栽培模式（对照，FP）、高产高效栽培模式（HYHE）和超高产栽培模式（SHY），各处理重复3次。其中HYHE模式的氮肥、磷肥和钾肥总量投入分别较SHY模式减少12.5%、12.5%和38%。化学肥料分别为尿素（N 46%）、磷酸二铵（N 18%，P_2O_5 46%）、硫酸钾（K_2O 50%），复合肥为纳米硅肥（有效硅≥55%），有机肥料为生物有机肥（N+P+K≥5%，有机质≥40%）。N肥以基肥：分蘖肥：调节肥：穗肥=4：3：1：2的比例施入，P肥作为基肥一次性施入，K肥以基肥：穗肥=6：4的比例施入。基肥、分蘖肥、调节肥、穗肥分别于移栽前12 d（2017年5月3日和2018年5月1日）、返青期（2017年5月20日和2018年5月19日）、8.5叶幼穗分化期（2017年6月30日和2018年7月2日）和10.5叶拔节期（2017年7月8日和2018年7月6日）施用。试验期间各处理水分管理采用单排单灌，防止相互影响。各处理间肥料运筹和主要栽培措施如表1所示。

表1　不同栽培模式下肥料运筹及栽培措施

栽培模式	化学肥料（kg/hm²）			复合肥（kg/hm²）	有机肥（kg/hm²）	育苗方式	行距×穴距（cm）
	N总量	P_2O_5总量	K_2O总量	纳米硅	生物有机肥		
N0	—	—	—	—	—	常规育苗	等行30×13.3
FP	150	70	70	—	—	常规育苗	等行30×13.3
HYHE	160	80	130	—	300	常规育苗	等行30×13.3
SHY	180	90	180	15	450	钵育苗	宽窄行（20 ~ 40）×13.3

1.3　测定项目与方法

1.3.1　产量测定

水稻成熟时每小区选择长势均匀的4点，调查连续10穴穗数，计算平均穗数，每点按照平均穗数取样2穴，带回室内考种。记录每穴穗数、实粒数、空秕粒数等，计算理论产量。

理论产量=单位面积穗数×单位面积单穗粒数×结实率×千粒重

1.3.2　植株氮、磷和钾含量测定

用LG-50型粉碎机（瑞安某公司）将水稻全株及各器官分别粉碎，并过0.25 mm筛，采用全自动凯氏定氮仪（KjeltecTM8400，丹麦）测定氮，用钒钼黄比色法测定磷，用火焰光度法测定钾。

1.4　数据处理与统计方法

采用吴文革等[15]的方法进行氮素、磷素和钾素吸收与利用效率的计算。

（1）植株含氮（磷、钾）量（g/kg）=［叶片干物重×叶片含氮（磷、钾）量+茎鞘干物重×茎鞘含氮（磷、钾）率+穗部干物重×穗部含氮（磷、钾）率］/植株地上部干物重×1 000

（2）氮（磷、钾）素积累量（kg/hm²）=地上部（叶片、茎鞘、穗）干物重×地上部（叶片、茎鞘、穗）含氮（磷、钾）量

（3）氮（磷、钾）素总积累量（kg/hm²）=成熟期植株地上部氮（磷、钾）素积累量的总和

（4）氮（磷、钾）素转运量（kg/hm²）=抽穗期某器官氮（磷、钾）素积累量-成熟期该器官氮

（磷、钾）素积累量

（5）氮（磷、钾）素表观转运率（%）= 叶片（茎鞘）氮（磷、钾）素转运量 / 抽穗期叶片（茎鞘）氮（磷、钾）素积累量 ×100

（6）氮（磷、钾）素表观转运贡献率（%）= 氮（磷、钾）素转运量 / 成熟期穗部氮（磷、钾）素积累量 ×100

（7）氮（磷、钾）素干物质生产效率（kg/kg）= 成熟期地上部干物重 / 地上部氮（磷、钾）素总积累量

（8）氮（磷、钾）素稻谷生产效率（kg/kg）= 产量 / 地上部氮（磷、钾）素总积累量

（9）氮（磷、钾）素收获指数（%）= 成熟期穗部氮（磷、钾）素积累量 / 植株地上部氮（磷、钾）素积累总量 ×100

由于两年试验结果基本一致，故除产量用两年数据外其他数据取 2017 年测定值，采用 Excel 2003 软件进行试验数据处理和相关分析，DPS 7.05 统计软件进行方差分析，采用 LSD 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　不同栽培模式对水稻产量的影响

由图 1 可知，两年试验产量变化趋势基本一致，N0、FP、HYHE 和 SHY 两年（2017、2018 年）的平均产量分别为 5.16、7.58、8.58 和 11.73 t/hm^2。HYHE 和 SHY 的产量分别较 FP 高出 13.19% 和 54.74%。

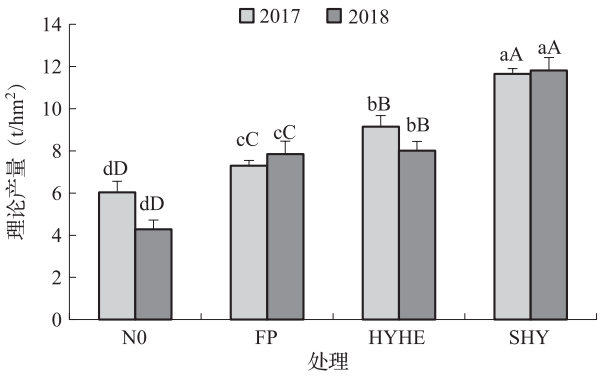

图 1　不同栽培模式下水稻的产量变化

注：同列数据后不同大小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平。下同。

2.2　不同栽培模式对水稻氮素积累及氮素生产效率的影响

2.2.1　不同栽培模式下全株含氮量的变化

由图 2 可知，全株含氮量在齐穗期和成熟期均呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。在齐穗期，HYHE 和 SHY 的全株含氮量分别较 FP 显著提高 24.87% 和 38.05%，SHY 与 HYHE 相比提高 10.55%，但差异不显著；在成熟期，HYHE 和 SHY 的全株含氮量分别较 FP 显著提高 10.19% 和 14.94%，SHY 较 HYHE 显著提高 4.75%。可见，在齐穗期和成熟期，HYHE 和 SHY 均能显著提高全株含氮量，其中，SHY 对全株含氮量的影响大于 HYHE。

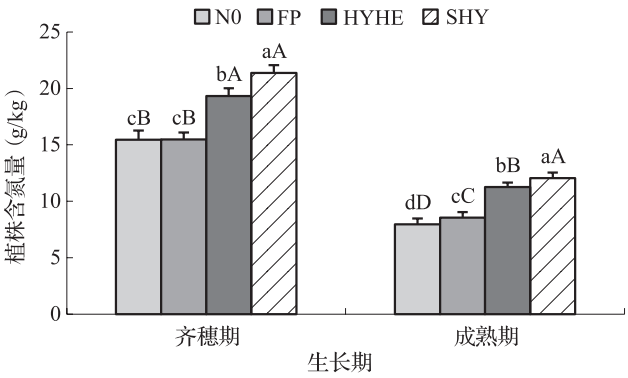

图 2　不同栽培模式下水稻全株在齐穗期和成熟期的含氮量变化

2.2.2　不同栽培模式下全株及各器官氮素积累量的变化

由表 2 可知，在齐穗期，除 HYHE 穗部氮素积累量外，HYHE 叶片、茎鞘、穗部氮素积累量分别较 FP 显著提高 24.87%、26.19%、10.89%；SHY 分别较 FP 显著提高 58.75%、43.83%、33.40%。氮素积累量表现为叶片 > 茎鞘 > 穗。在成熟期，除 HYHE 茎鞘氮素积累量外，HYHE 叶片、茎鞘、穗部氮素积累量分别较 FP 显著提高 32.35%、22.77%、11.32%，SHY 分别较 FP 显著提高 100.20%、30.08%、20.32%。全株氮素总积累量 HYHE 和 SHY 分别较 FP 显著提高 50.99% 和 71.58%。氮素积累量表现为穗 > 茎鞘 > 叶片，全株氮素总积累量均呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。由此可见，水稻从齐穗期到成熟期的过程中，叶片和茎鞘中的氮素积累逐渐减少，穗部的氮素积累逐渐增多。

2.2.3　不同栽培模式下全株及各器官氮素转运比较

由表 3 可知，叶片氮素转运量和氮素表观转运率均高于茎鞘，叶片和茎鞘的氮素转运量、氮素表观转运率、氮素转运贡献率和氮素收获指数均呈现出 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势，但氮素干物质生产效率则呈现 N0>FP>HYHE>SHY 的趋势，稻谷氮素生产效率并未呈现一致的规律。从氮素转运情况来看，HYHE 和 SHY 的氮素转运贡献率分别较 FP 显

著提高 5.96%、17.30%。HYHE 和 SHY 的穗部氮增加量分别较 FP 显著提高 12.71% 和 39.40%。HYHE 和 SHY 的氮素干物质效率和稻谷氮素生产效率均显著低于 FP。氮素收获指数维持在 50% ~ 65% 之间。HYHE 的氮素收获指数较 FP 均有所提高，但差异不显著，SHY 较 FP 提高 9.75%，差异达到显著水平。

表 2　不同栽培模式下水稻全株及各器官氮素积累量的比较　（kg/hm²）

栽培模式	叶片		茎鞘		穗		全株氮素总积累量
	齐穗期	成熟期	齐穗期	成熟期	齐穗期	成熟期	
N0	29.31dC	3.56dD	32.35dD	27.75cB	16.05cC	39.36dD	70.67dD
FP	55.44cB	9.25cC	46.58cC	38.70bAB	23.59bB	65.57cC	113.51cC
HYHE	69.23bAB	17.17bB	67.76bB	46.71abA	26.16bAB	99.01bB	162.89bB
SHY	88.01aA	20.19aA	99.86aA	50.34aA	31.47aA	124.23aA	194.76aA

注：同列数据后不同大小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平，下同。

表 3　不同栽培模式下水稻全株及各器官氮素转运的比较

栽培模式	氮素转运量（kg/hm²）		氮素表观转运率（%）		穗部氮增加量（kg/hm²）	氮素转运贡献率（%）	氮素生产效率（kg/kg）		氮素收获指数（%）
	叶片	茎鞘	叶片	茎鞘			干物质	稻谷	
N0	25.75cC	4.60cB	74.99cB	16.58dC	25.75cC	73.82cB	133.01aA	75.69cC	55.48bB
FP	46.19bB	7.89cB	77.03bcB	30.81cC	46.19cB	78.00cB	128.71aA	96.75aA	58.12bAB
HYHE	52.06bAB	21.04bB	81.97aAB	47.30bB	52.06bAB	82.65bA	102.22bB	93.17bB	60.87bAB
SHY	67.82aA	49.52aA	87.98aA	80.18aA	67.82aA	94.65aA	88.98bB	78.36bB	63.79aA

2.3　不同栽培模式对水稻磷素积累及磷素生产效率的影响

2.3.1　不同栽培模式下对全株含磷量的变化

不同栽培模式下水稻全株含磷量在成熟期的变化如图 3 所示，全株含磷量呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。HYHE 和 SHY 的全株含磷量分别较 FP 显著提高 4.58% 和 12.17%。而 SHY 全株含磷量较 HYHE 进一步提高 10.68%。可见，SHY 对水稻全株含磷量的影响要显著高于 HYHE。

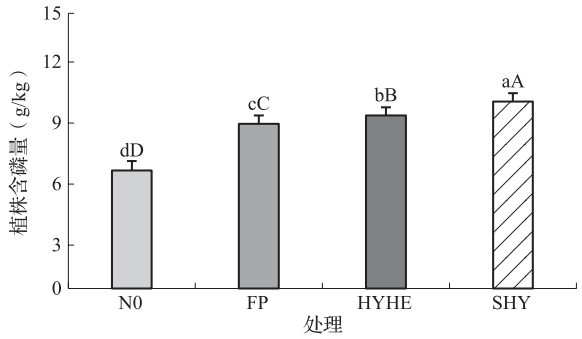

图 3　不同栽培模式下水稻全株在成熟期的含磷量变化

2.3.2　不同栽培模式下全株及各器官磷素积累及生产效率的变化

成熟期叶片、茎鞘、穗部和全株磷素积累量的变化如表 4 所示，均呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势，水稻全株各器官磷素积累量表现为穗部 > 茎鞘 > 叶片。而 HYHE 和 SHY 磷素生产效率较 FP 相比，均有所降低。磷素收获指数维持在 50% ~ 65%，且呈现出 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。除 N0 外的其它 3 个处理间的磷素收获指数并无显著差异。可见，HYHE 和 SHY 对水稻全株磷素收获指数的影响增幅较小，且不显著。

表 4　不同栽培模式下成熟期水稻全株及各器官磷素积累量及生产效率的比较

栽培模式	叶片（kg/hm²）	茎鞘（kg/hm²）	穗（kg/hm²）	全株磷素总积累量（kg/hm²）	磷素生产效率（kg/kg）		磷素收获指数（%）
					干物质	稻谷	
N0	4.05cC	24.68bB	30.36dD	59.10dC	116.00aA	159.05aA	51.23bB
FP	11.95bB	33.02abAB	73.87cC	118.83cB	94.12bB	122.95bB	62.40aA
HYHE	12.37bB	38.52aA	84.74bB	135.62bB	90.53bB	122.77bB	62.57aA
SHY	14.81aA	41.59aA	106.05aA	162.44aA	88.92bC	106.69bB	65.29aA

2.4　不同栽培模式对水稻钾素积累及钾素生产效率的影响

2.4.1　不同栽培模式下全株含钾量的变化

由图 4 可知，全株含钾量在成熟期呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。HYHE 和 SHY 的全株含钾量得到极显著提高，分别是 FP 的 2.6 和 4.7 倍。SHY 全株含钾量是 HYHE 的 1.8 倍。

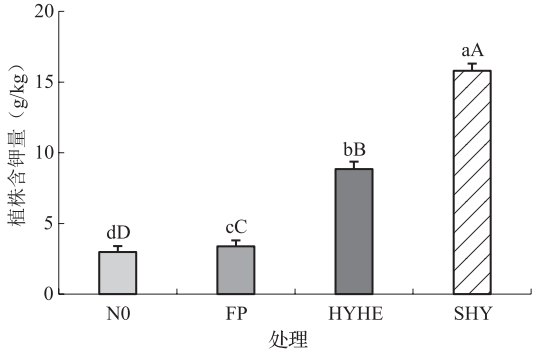

图 4　不同栽培模式下水稻全株在成熟期的含钾量变化

2.4.2　不同栽培模式下全株及各器官钾素积累及生产效率比较

由表 5 可知，成熟期叶片、茎鞘、穗部和全株钾素积累量的变化均呈现 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势。水稻全株各器官钾素积累量表现为穗部 > 茎鞘 > 叶片。从叶片的钾素积累量来看，HYHE 和 SHY 较 FP 均有极显著提高；从茎鞘钾素积累量来看，只有 SHY 较 FP 显著提高；从穗部钾素积累量来看，HYHE 和 SHY 均显著或极显著高于 FP。HYHE 和 SHY 的钾素生产效率较 FP 均显著降低。钾素收获指数维持在 60% ~ 75% 之间，且呈现出 SHY>HYHE>FP>N0 的趋势，只有 SHY 的收获指数较 FP 显著提高 7.27%。

表 5　不同栽培模式下成熟期水稻全株及各器官钾素积累量的比较

栽培模式	叶片（kg/hm²）	茎鞘（kg/hm²）	穗（kg/hm²）	全株钾素总积累量（kg/hm²）	钾素生产效率（kg/kg）		钾素收获指数（%）
					干物质	稻谷	
N0	1.53dD	7.60cC	17.43dC	26.56dD	201.72aA	353.92aA	64.81cB
FP	4.27cC	9.94bcBC	30.71cC	44.92cC	235.07aA	325.24aA	69.02bcAB
HYHE	27.94bB	12.70abAB	87.42bB	128.05bB	99.59bB	130.03bB	68.66bAB
SHY	51.48aA	14.88aA	188.87aA	255.24aA	73.78bB	67.90cC	73.65aA

3　讨论

水稻产量受到品种、温光环境、栽培模式，或三者间交互作用的影响[16]。在不同的温光环境下，不同的水稻品种需要采用相应的栽培模式才能实现高产。研究已表明，单一因素栽培管理方式的优化不能有效地提高水稻产量[17]。水稻产量的提高需要更多地依靠多因素集成的超高产栽培模式[17-18]。本研究中为了获得更高的水稻产量，采取了高产高效和超高产栽培模式，其中高产高效栽培模式较当地农民栽培模式增加了氮、磷、钾肥的用量及增施了生物有机肥，而超高产栽培模式又在高产高效栽培模式基础上，增施了纳米硅肥，且采用了钵苗摆栽及宽窄行栽培技术，这些措施的综合运用是水稻获得高产的基础。因此，高产高效和超高产栽培模式增产效果最明显，尤以超高产栽培模式增产最高。

江立庚等[19]研究认为水稻植株在齐穗前氮素大部分积累在叶片，而在成熟期则大部分积累在穗部。本研究中水稻植株从齐穗期到成熟期的过程中，叶片和茎鞘的氮素积累量逐渐减少，穗部的氮素积累量随之增加，说明水稻植株在齐穗期后，叶片和茎鞘中的氮素逐渐转向穗部积累，这与前人研究结果一致。Zhang 等[9]研究认为随着施氮量的增加，水稻植株的氮素吸收量和氮素转运量得到显著提高。此外，张小平等[10]还认为使用水稻宽窄行栽培技术可以提高植株氮素积累量和氮素利用效率，但氮素收获指数会显著降低，本研究中，高产高效和超高产栽培模式均能在不同程度上提高水稻植株含氮量、氮素积累量和氮素转运量，且能有效调节植株中氮素在各器官的分配比例，各器官氮素积累量也有显著优势。高产高效和超高产栽培模式显著提高了水稻植株含氮量，为成熟期水稻各器官氮素积累能力加强奠定了基础，这也是水稻高产的

关键所在，这与前人研究基本一致。但在本研究中使用宽窄行栽培技术的超高产栽培模式中，氮素收获指数并未下降，反而得到显著提高，与张小平等[10]研究结果不一致。本研究中超高产栽培模式还采用钵育苗方式，而胡雅杰等[11]研究发现：钵育苗会提高水稻氮素收获指数。此外，氮素收获指数还受生态条件、品种自身遗传特性等因素制约。因此，此结果有待进一步验证。

磷素是水稻生产上必不可少，也是需求量较大的营养元素之一[20]。李前等[20]研究表明，施磷量与水稻植株磷素积累量呈正比。有研究认为[5-6]水稻在成熟期穗部的磷素积累量较高时，有利于水稻后期形成高产。本研究中，高产高效和超高产两种栽培模式的植株磷素总积累量和穗部磷素积累量均有不同程度的提高，且与产量呈现一致的趋势，这与前人研究结果基本一致。本研究中超高产栽培模式的氮、磷、钾肥施入量均高于高产高效栽培模式，且各器官的磷素积累量均高于高产高效栽培模式，推测原因为超高产栽培模式除氮、磷、钾肥施入量最高外，还增施了纳米硅肥。硅肥对植株磷素吸收有促进作用，提高水稻根系氧化力，促进水稻的生长发育[21]，从而促进植株对磷素的吸收。

钾素在水稻产量形成的过程中起着重要作用，它也是实现水稻优质高产的重要营养元素[22]。刘国栋等[23]认为不同品种在吸钾量方面有着显著差异。水稻植株中的钾素多在茎鞘当中积累[24]。王强盛等[7]认为增施钾肥可以提高水稻成熟期叶片、茎鞘和穗部的钾素分配比例，且可以提高植株钾素积累量。韦还和等[25]认为增施钾肥可以促进水稻的光合利用，增强抗逆性的同时提高植株钾素积累量。本研究中，高产高效和超高产栽培模式的含钾量、各器官的钾素积累量显著提高，且超高产栽培模式更优于高产高效栽培模式，这可能是由于超高产栽培模式在4种栽培模式中施钾量最高，且采用的宽窄行栽培技术可通过增加行间距离有效改善水稻植株群体冠层结构，提高水稻植株的光合能力和群体通风透光性，显著提高了植株钾素积累量，这与前人研究结果相一致。由此可见，整合的栽培技术措施对提高水稻养分利用效率以及保护生态环境具有重要意义。

4 结论

综上所述，高产高效栽培、超高产栽培模式通过合理的施肥，与高产栽培技术相结合，促进寒地水稻植株对氮、磷和钾素的吸收，从而提高植株氮、磷和钾素的积累能力，实现寒地水稻对养分的高效吸收与利用，从而获得高产高效，并为寒地水稻高产优质栽培模式提供理论支持。

参考文献：

[1] 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，2002，35（9）：1095-1103.

[2] 李荣刚，杨林章，皮家欢. 苏南地区稻田土壤肥力演变，养分平衡和合理施肥[J]. 应用生态学报，2003，14（11）：1889-1892.

[3] 李庆奎，朱兆良，于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌：江西科学技术出版社，1998.38-51.

[4] 邓飞，王丽，任万军，等. 不同生态条件下栽植方式对中籼迟熟杂交稻组合Ⅱ优498氮素积累与分配的影响[J]. 中国农业科学，2012，45（20）：4310-4325.

[5] 杨雄. 不同氮肥群体最高生产力水稻品种氮磷钾的积累、分配与转运的差异性分析[D]. 扬州：扬州大学，2012.

[6] 郭鑫年，孙娇，梁锦绣，等. 栽培方式与施磷量对水稻养分累积、分配及磷素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料，2017，（4）：104-111.

[7] 王强盛，丁艳锋，朱艳，等. 不同基因型水稻钾素吸收利用对施钾量的生理响应[J]. 水土保持学报，2009，23（4）：190-194，199.

[8] 许轲，周兴涛，曹利强，等. 不同类型钵苗及摆栽密度对粳型超级稻氮素吸收利用与转运特征的影响[J]. 中国农业科学，2013，46（23）：4876-4892.

[9] Zhang Y H，Fan J B，Zhang Y L，et al. N accumulation and translocation in four japonica rice cultivars at different N rates[J]. Pedosphere，2007，17（6）：792-800.

[10] 张小平，吴小京，易镇邪，等. 栽培方式对陆两优996产量形成与氮利用效率的影响[J]. 作物研究，2010，24（1）：12-15，18.

[11] 胡雅杰，吴培，朱明，等. 钵苗机插水稻氮素吸收与利用特征[J]. 中国水稻科学，2018，32（3）：257-264.

[12] 郭保卫，许轲，张洪程，等. 有序摆抛栽超高产栽培对水稻根系形态生理特征的影响[J]. 中国水稻科学，2016，30（6）：611-625.

[13] 剧成欣，陈尧杰，赵步洪，等. 实地氮肥管理对不同氮响应粳稻品种产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学，2018，32（3）：237-246.

[14] 代滢芸. 2017年黑龙江省水稻市场分析报告[J]. 黑龙江粮食，2018，（5）：15-18.

[15] 吴文革，张洪程，陈烨，等. 超级中籼杂交水稻氮素积累利用特性与物质生产[J]. 作物学报，2008，34（6）：1060-1068.

[16] Peng S B，Khush G S，Virk P，et al. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential[J]. Field Crops Research，2008，108（1）：32-38.

[17] Qin J，Impa S.M，Tang Q，et al. Integrated nutrient，water and other agronomic options to enhance rice grain yield and N use efficiency in double-season rice crop［J］. Field Crops Research，2013，148：15-23.

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

[19] 江立庚，甘秀芹，韦善清，等.水稻物质生产与氮、磷、钾、硅素积累特点及其相互关系［J］. 应用生态学报，2004，15（2）：226-230.

[20] 李前，侯云鹏，高军，等.不同供磷水平对水稻干物质累积、磷素吸收分配及产量的影响［J］. 吉林农业科学，2015，40（3）：37-41.

[21] 陈建国，张杨珠，曾希柏，等.平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应［J］. 生态学报，2011，31（7）：1877-1887.

[22] 鲁艳红，廖育林，聂军，等.五年定位试验钾肥用量对双季稻产量和施钾效应的影响［J］. 植物营养与肥料学报，2014，20（3）：598-605.

[23] 刘国栋，刘更另.籼型杂交稻耐低钾基因型的筛选［J］. 中国农业科学，2002，35（9）：1044-1048.

[24] 姜照伟，李小萍，赵雅静，等.杂交水稻氮钾素吸收积累特性及氮素营养诊断［J］. 福建农业学报，2011，26（5）：852-859.

[25] 韦还和，孟天瑶，李超，等.钾肥用量对甬优籼粳杂交稻物质积累及其产量的影响［J］. 作物学报，2016，42（8）：1201-1214.

Effects of cultivation patterns on yield and nutrient absorption and accumulation of japonica rice

LÜ Yan-dong[1]，HU Yue[1]，LI Meng[2]，JIANG Hong-fang[1]，LAN Yu-chen[1]，WANG He-ying[1]，GUO Xiao-hong[1*]

（1. College of Agronmy，Heilongjiang Bayi Agricultural University/Hei-longjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement，Heilongjiang Daqing 163319；2. Agricultural Technology Extension Station of Mudanjiang，Heilongjiang Mudanjiang 157000）

Abstract：The objective of this study was to investigate if a cultivation technique could coordinately increase both grain yield and nutrient use efficiency of rice. The japonica rice cultivar Longqingdao 3 was used and four cultivation patterns were conducted. No nitrogen application（N0），local farmers cultivation（control），high-yielding and high efficiency cultivation（HYHE）and super high-yielding cultivation（SHY）were designed. The characteristics of grain yield formation under different cultivation patterns and their nutrient absorption and utilization efficiencies were analyzed. The results showed that the average yields under HYHE and SHY were 8.58 t/hm^2 and 11.73 t/hm^2，respectively and increased by 13.19% and 54.74 %，respectively，compared with that under FP in two years. Relative to FP treatment，the N，P，and K content of rice organs and whole plant was significantly increased under HYHE and SHY and the higher N，P，and K accumulation of the whole plant was maintained at full heading stage，while the nitrogen（phosphorus，potassium）accumulation ability of whole plant was increased；At the maturity stage，accumulation of N，P，and K in the plant was highest in the panicle，followed by the stem-sheath，and lowest in the leaf. The dry matter of N，P，K and the production efficiency of rice decreased under HYHE and SHY. The N transport capacity，apparent N translocation rate，N transport contribution rate，and N harvest index of leaves and stem-sheaths among the treatments were ranked as follows：SHY>HYHE>FP>N0. In summary，while ensuring high yield，HYHE and SHY could reduce the production efficiency of N，P，and K in the whole plant，but significantly increase the N，P，and K content in all organs and plants，and increase the accumulation capacity of N，P，and K which was conducive to the efficient absorption and utilization of nutrients in rice in cold regions. It can be used to obtain high yield and high efficiency.

Key words：rice；cultivation mode；yield；nutrient uptake