

株行距及穴苗数的配置对寒地水稻产量和品质的影响

曹 亮 黄炳林 王孟雪 张玉先

(黑龙江八一农垦大学农学院, 163319, 黑龙江大庆)

摘 要 为明确垦稻 26 和龙粳 31 高产优质栽培的株行距和穴苗数处理, 采取裂区设计进行试验研究。结果表明, 最优群体因品种而异, 垦稻 26 在株距 10cm、行距 30cm、5 苗/穴产量最佳, 龙粳 31 则以株距 13.3cm、行距 27cm、9 苗/穴产量最佳; 垦稻 26 在 5 苗/穴、行株距 30cm×10cm 处理, 有利于提高稻米的碾磨品质, 不利于改善稻米的外观品质, 营养品质较低, 利于改善稻米的食味品质, 且食味评分值高达 86.5, 显著高于最低处理; 龙粳 31 在 5 苗/穴、行株距 27cm×13.3cm 处理, 碾磨品质较高, 不利于营养品质和外观品质的改善, 食味品质得到明显改善, 食味评分值高达 86.0, 与最低处理差异达显著水平。因此, 高产优质栽培要因品种选择适宜的穴苗数和株行距, 是实现水稻高产优质最为快捷、最为经济有效的措施。

关键词 水稻; 株行距; 穴苗数; 产量; 品质

水稻是世界上最主要的粮食作物之一, 为近 30 亿人提供了 35%~60% 的膳食热量^[1]。随着我国经济的快速发展和人民生活水平的提高, 发展优质与高产并重的水稻生产模式是我国粮食生产的重要走向^[2-3]。在水稻高产栽培研究中, 植株的合理搭配和株行距的处理对产量提高起重要作用, 行株距的变化不仅影响水稻的栽插密度, 而且影响微环境的变化, 从而保证产量的提高^[4]。群体产量构成因素因品种而异^[5-6], 多方面因素影响水稻产量构成因素, 不同品种和栽培措施对产量构成因素影响不同, 同时也不可忽略重要的生态因子, 生态因子中的温、光、水、气等多因素影响群体产量。水稻超高产栽培最直接的影响因素是群体密度^[7-9], 水稻合理的栽插密度利于光合物质生产, 确保个体和群体的协调发展, 除了千粒重, 使其他产量构成因素得到统一, 进而获得高产^[10]。在宽窄行的栽培模式中, 行株距的增加有利于单位面积穗数、穗粒数、结实率的提高, 从而提高产量^[11]。

稻米品质性状的组成较为复杂, 主要包括碾磨加工品质、外观品质、蒸煮食味品质和营养品质等 4 个方面^[12-13], 稻米的外观品质和营养品质

主要受栽培密度的影响; 稻米品质在适宜的栽插密度条件下利于蛋白质含量的提高, 利于改善稻米的外观品质和食味品质, 不利于直链淀粉含量的提高^[14]。栽插密度对加工品质和营养品质影响较小, 栽插密度对整精米率、外观品质和胶稠度影响较大, 栽插密度的增加利于整精米率的提高, 提高稻米的外观品质^[15]。栽插密度的增加利于提高稻米的峰值黏度、崩解值, 但密度过大, 各蒸煮指标反而降低^[16]。

近年来, 人们不断从培育壮苗、肥水调控等角度来探讨水稻高产和优质的问题, 在提高水稻产量和品质方面做了大量研究^[17-19], 但随着品种的更新、施肥量增加、机械化程度的提高, 最优群体也在不断的变化^[20-21], 原有研究成果已不能满足高产的需求, 研究速度远远赶不上最优群体的更新速度。鉴于此, 探讨黑龙江省三积温带不同分蘖力的水稻主栽品种在不同群体条件下产量差异的意义重大, 可为高产优质栽培提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验田基本情况

试验于 2017 年在黑龙江省建三江管局创业农场科技园区进行, 供试土壤是草甸白浆土, 土壤耕层深度在 20cm, 土壤碱解氮含量 158.5mg/kg, 有效磷含量 44.4mg/kg, 速效钾含量 163.7mg/kg, 有效镁含量 28.9mg/kg, 有效锌含量 0.1μg/kg, 有

作者简介: 曹亮, 博士, 研究方向为作物栽培生理

张玉先为通信作者, 教授, 研究方向为作物栽培生理;

王孟雪为共同通信作者, 副教授, 主要从事农业水土工程研究

基金项目: “十二五”国家科技支撑(2015BAD23B05-08); 农垦总局“十三五”重点科技计划项目—寒地水稻高效、安全生产综合配套技术示范与应用(HNK135-02-02)

收稿日期: 2019-01-02; 修回日期: 2019-04-02

机质含量 35.8g/kg，土壤 pH 6.4，有效硅含量 346.0mg/kg，前茬为水稻，秋翻。

1.2 供试品种

供试水稻品种为垦稻 26 和龙粳 31。垦稻 26 主茎 11 片叶，抗倒性中等，分蘖力较强；龙粳 31 主茎 11 片叶，抗倒性和分蘖力一般。

1.3 供试肥料和试验设计

试验采用裂区设计，主处理 A 为不同穴苗数的 3 个水平，分别为 $A_1=5$ 苗/穴、 $A_2=7$ 苗/穴、 $A_3=9$ 苗/穴；副处理 B 为不同种植密度的 6 个水平，分别为 $B_1=24\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $B_2=24\text{cm} \times 13.3\text{cm}$ 、 $B_3=27\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $B_4=27\text{cm} \times 13.3\text{cm}$ 、 $B_5=30\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、

$B_6=30\text{cm} \times 13.3\text{cm}$ ，共 18 个处理（表 1），每小区插 10 行，行长 10m。同一重复均放在同一池子中进行，靠近池子边的小区设保护行。试验育秧采用钢骨架大棚，按照水稻旱育稀植“三化二管”栽培技术进行栽培管理。水稻 2017 年 4 月 10 日播种，5 月 10 日移栽，于 10 月 4 日成熟期收获。当地常规施肥总量 $420\text{kg}/\text{hm}^2$ ，其中尿素（N46%）为 $187.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ，硫酸钾（ $\text{K}_2\text{O}50\%$ ）为 $112.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ，磷酸二铵（N18%、P46%）为 $120\text{kg}/\text{hm}^2$ 。施肥时期、灌溉、防虫、除草等农事活动均按叶龄跟踪和生产现状进行，播种、插秧、取样、收获均在同一天内完成，调查取样时，各小区同法、同时

表 1 裂区设计处理
Table 1 Treatments of split-plot design

主处理 Main treatment	副处理 Ub-treatment	重复区组 Repeat groups		
A_1	B_1	A_1B_1 至 A_1B_6 6 个小区	A_1B_1 至 A_1B_6 6 个小区	A_1B_1 至 A_1B_6 6 个小区
	B_2			
	B_3			
	B_4			
	B_5			
	B_6			
A_2	B_1	A_2B_1 至 A_2B_6 6 个小区	A_2B_1 至 A_2B_6 6 个小区	A_2B_1 至 A_2B_6 6 个小区
	B_2			
	B_3			
	B_4			
	B_5			
	B_6			
A_3	B_1	A_3B_1 至 A_3B_6 6 个小区	A_3B_1 至 A_3B_6 6 个小区	A_3B_1 至 A_3B_6 6 个小区
	B_2			
	B_3			
	B_4			
	B_5			
	B_6			

进行。

1.4 产量及产量因素构成调查

水稻收获前，每小区选取长势均匀的 3 点，每点连续选择 10 株，求算单株的茎数，并据此测算单位面积穗数，风干后考种。考种项目：穗长、一次枝梗数、二次枝梗数、每穗粒数、结实率、千粒重，并据此计算出单位面积理论产量。

1.5 寒地水稻品质的测定

稻谷收获风干后存放 2~3 个月，按《中国农业标准汇编—粮油作物卷》的标准进行品质分析。

1.6 数据处理

相关系数采用 Microsoft Excel 2013 计算，并作图；利用唐启义^[22]DPS 数据处理系统分析数据。

2 结果与分析

2.1 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 产量及产量构成的影响

如表 2 所示，垦稻 26 穴苗数和行株间互作效应显著（ $P=0.0001<0.05$ ），以 A_1B_5 为最佳处理，产量高达 $11\,239.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ，较最低处理 A_2B_4 产量提高了 36.2%，二者间的差异达极显著水平，与最高产量相对应的穗数为 420.7 穗/ m^2 、穗粒数 113.5 粒/穗、结实率 88.2%、千粒重 26.0g；其次是 A_2B_6 ，产量达 $11\,049.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ，较最低处理产量提高 33.9%，二者间的差异达极显著水平。产量构成因素的变异系数表现为单位面积穗数>穗粒数>

表 2 垦稻 26 不同群体产量、产量构成及变异系数的比较

Table 2 Kendao 26 yield, yield components and the variation coefficient of different groups

处理 Treatment		单位面积穗数 Panicles per m ²	穗粒数 Spikelets per panicle	结实率 (%) Setting percentage	千粒重 (g) 1000-grain weight	产量 (kg/hm ²) Yield
A ₁	B ₁	479.0aAB	97.0ijHI	92.4aA	25.4efEF	9 895.5ghFGH
	B ₂	344.3jJ	110.8bcBC	86.5hiHI	26.3aAB	9 154.5jI
	B ₃	391.7gH	108.5cdCD	86.1iIJ	26.0abcABCD	10 111.5fgEFG
	B ₄	467.3bBC	102.8efgEFG	88.3fgEFGHI	25.2efF	10 888.5bcABC
	B ₅	420.7eF	113.5bB	88.2fghFGHI	26.0abABC	11 239.5aA
	B ₆	466.7bBC	105.4deDE	91.6abAB	25.5defCDEF	10 803.0bcBCD
A ₂	B ₁	407.0fG	101.5fghEFGH	84.1jJ	25.8bcdBCDE	9 847.5ghFGH
	B ₂	449.7cD	96.2jIJ	90.0bcdeBCDEF	25.5defDEF	9 732.0hiGH
	B ₃	422.7eEF	98.5hijGHI	89.3defCDEF	25.6cdeCDEF	9 510.0iHI
	B ₄	348.3ijIJ	104.3efDEF	89.0defDEFG	25.3efEF	8 250.0kJ
	B ₅	449.7cD	102.8efgEFG	89.6cdefBCDEF	25.6cdeCDEF	10 473.0deDE
	B ₆	485.3aA	101.3fghEFGH	89.5cdefBCDEF	25.2fF	11 049.0abAB
A ₃	B ₁	435.3dE	100.1ghiFGHI	91.0abcABCD	25.2efF	9 547.5iHI
	B ₂	357.0hiIJ	108.2cdCD	91.4abABC	25.1fF	8 395.5kJ
	B ₃	360.3hI	113.8bB	88.7efEFGH	26.4aA	9 691.5hiH
	B ₄	433.7dEF	92.3kJ	87.0ghiGHI	25.2efF	9 190.5jI
	B ₅	385.7gH	119.4aA	90.5bcdABCDE	25.2fF	10 198.5efEF
	B ₆	462.3bCD	98.8hijGHI	89.6cdefBCDEF	26.1abAB	10 621.5cdCD
变异系数 Coefficient of variation (%)		11.1	7.2	2.4	1.7	15.6

注：同列数据后不同大、小写字母分别表示差异极显著 ($P<0.01$)、显著 ($P<0.05$)，下同

Note: Different capital, lowercase letters after the same column data indicate extremely significant difference ($P<0.01$), significant difference ($P<0.05$), respectively, the same below

结实率>千粒重，即单位面积穗数最易受到穴苗数和行株距的影响，其次是穗粒数。

如表 3 所示，龙粳 31 穴苗数和株行距间互作效应显著 ($P=0.0001<0.05$)，以 9 苗/穴、行株

表 3 龙粳 31 不同群体产量、产量构成及变异系数的比较

Table 3 Longjing 31 yield, yield components and the variation coefficient of different groups

处理 Treatment		单位面积穗数 Panicles per m ²	穗粒数 Spikelets per panicle	结实率 (%) Setting percentage	千粒重 (g) 1000-grain weight	产量 (kg/hm ²) Yield
A ₁	B ₁	488.7dCD	69.9jI	87.9cdeABCDE	24.5gFG	7 365.0iIJ
	B ₂	457.7hH	78.3ghFG	84.8gG	25.1cdeCDE	7 629.0hHI
	B ₃	483.3eDE	73.5iH	87.8cdeBCDEF	25.8aA	8 052.0fgFG
	B ₄	428.3jJ	92.7bAB	89.9aA	25.6abAB	9 118.5bBC
	B ₅	394.3mM	84.8dC	86.eFEFG	24.8fEF	7 191.0iJ
	B ₆	493.0cBC	80.3fEF	88.8abcABCD	24.0hH	8 439.0dE
A ₂	B ₁	408.3lL	83.6deCD	88.1bcdeABCDE	25.2cdBCDE	7 581.0hI
	B ₂	475.0fF	78.9fghFG	87.0defCDEF	25.4bcBCD	8 262.0deEF
	B ₃	452.3iHI	84.0dCD	85.9fgFG	25.4bcBC	8 289.0deEF
	B ₄	497.3bB	79.4fgFG	88.3bcdABCDE	25.3bcBCD	8 829.0cD
	B ₅	534.7aA	70.9jI	88.7abcABCDE	24.4gG	8 205.0efEF
	B ₆	419.0kK	94.9aA	89.5abAB	25.6abAB	9 094.5bBC
A ₃	B ₁	466.0gG	77.3hG	87.1defCDEF	25.0defDE	7 857.0gGH
	B ₂	486.7deD	82.2eDE	88.9abcABC	24.9defF	8 863.5cCD
	B ₃	474.3fF	83.2deCD	89.0abcABC	24.9efEF	8 719.5cD
	B ₄	478.3fEF	90.8cB	86.8defDEF	25.4bcBCD	9 556.5aA
	B ₅	483.7eDE	83.7deCD	89.6abAB	25.6abAB	9 277.5bB
	B ₆	449.0iI	91.5bcB	88.1bcdeABCDE	25.3bcBCD	9 159.0bB
变异系数 Coefficient of variation (%)		9.5	8.7	1.6	1.9	8.4

距 27cm × 13.3cm 为最佳处理，产量高达 9 556.5 kg/hm²，较最低处理 5 苗/穴、行株距 30cm × 10cm 产量提高了 32.9%，二者间的差异达极显著水平，与最高产量相对应的穗数为 478.3 穗/m²、穗粒数 90.8 粒/穗、结实率 86.8%、千粒重 25.4g，处理 9 苗/穴、行株距 30cm × 10cm 的产量处于第二位，产量较最低处理提高 29.0%，处理 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 产量处于第三位，产量较最低处理提高了 27.4%。表明，对于分蘖能力较差的龙粳 31 较多的穴苗数，配合适宜的生长空间有利于单位面积穗数和穗粒数的提高，从而达到增产目的。产量构成因素的变异系数表现为单位面

积穗数>穗粒数>千粒重>结实率，即单位面积穗数最易受到穴苗数和行株距的影响，其次是穗粒数。

如表 4 所示，垦稻 26 单位面积穗数与其他产量构成因素各指标均呈负相关，其中穗粒数与单位面积穗数的相关性达显著水平，产量构成因素各指标与产量均呈正相关，单位面积穗数与产量呈极显著正相关；龙粳 31 的穗粒数与单位面积穗数、产量均呈极显著负相关，结实率与产量呈显著正相关。说明要因品种选择适宜的穴苗数和行株距来协调产量构成因素各指标，垦稻 26 可通过提高单位面积穗数提高产量，龙粳 31 可通过提高

表 4 垦稻 26 和龙粳 31 产量构成因素与产量的相关系数
Table 4 Correlation coefficient of yield components and yield of Kendao 26 and Longjing 31

品种 Variety	相关系数 Correlation coefficient	穗粒数 Spikelets per panicle	结实率 Setting percentage	千粒重 1000-grain weight	单位面积穗数 Panicles per m ²	产量 Yield
垦稻 26 Kendao 26	穗粒数 Spikelets per panicle	1				
	结实率 Setting percentage	0.1491	1			
	千粒重 1000-grain weight	0.3440	0.3901	1		
	单位面积穗数 Panicles per m ²	-0.5002*	-0.3439	-0.3324	1	
	产量 Yield	0.2823	0.0554	0.1556	0.6335**	1
龙粳 31 Longjing 31	穗粒数 Spikelets per panicle	1				
	结实率 Setting percentage	0.2557	1			
	千粒重 1000-grain weight	0.4424	0.0223	1		
	单位面积穗数 Panicles per m ²	-0.5834**	0.1405	-0.3517	1	
	产量 Yield	-0.6633**	0.5132*	0.3734	0.1951	1

注: **P*<0.05, ***P*<0.01 Note: **P*<0.05, ***P*<0.01

结实率或适当降低穗粒数达到增产、增收的目的。

2.2 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 品质的影响

如表 5 所示，垦稻 26 穴苗数和行株距间互作效应显著 (*P*=0.0001<0.05)，以处理 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 的糙米率最高，精米率以 9 苗/穴、行株距 30cm × 10cm 和 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 最高，整精米率以 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 最高，处理 7 苗/穴、行株距 27cm × 10cm 整精米率最低，二者间的差异达极显著水平。结果表明，垦稻 26 在 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 处理利于稻谷碾磨品质的提高，经济价值提高，商品价值变大。龙粳 31 穴苗数和株行距间互作效应显著 (*P*=0.02<0.05)，说明各处理的效应不是各单因素效应的简单相加，以 5 苗/穴、行株距 27cm × 13.3cm 为最佳处理，碾磨品质各指标均最高，精米率达到了 76.8%，整精米率达到

73%，与最低处理碾磨品质各指标间的差异均达到了极显著水平，有效改善了稻谷的碾磨品质。

如表 6 所示，垦稻 26 穴苗数和株行距间互作效应显著 (*P*=0.0001<0.05)，说明各处理的效应不是各单因素效应的简单相加，并以 7 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 为最佳处理，外观品质得到明显改善，垩白率和垩白度分别为 5.4% 和 2.9%，极显著低于最高处理。结果表明，垦稻 26 在穴苗数 7 苗/穴时，行株距增加利于外观品质的改善。龙粳 31 穴苗数和株行距间不存在互作效应 (*P*=0.13>0.05)，说明各处理的效应是各单因素效应的简单相加，以 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 为最佳处理，垩白率和垩白度分别为 3.4% 和 1.7%，外观品质较好，结果表明，在穴苗数多的条件下，适宜增加行株距利于改善稻米的外观品质，即表明通风透光好利于改善稻米的外观品质。

表 5 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 碾磨品质的影响
Table 5 Effects of different treatments on milling quality of Kendao 26 and Longjing 31 %

处理 Treatment		垦稻 26 Kendao 26			龙粳 31 Longjing 31		
		糙米率 Brown rice percentage	精米率 Milled rice percentage	整精米率 Head rice percentage	糙米率 Brown rice percentage	精米率 Milled rice percentage	整精米率 Head rice percentage
A ₁	B ₁	80.4cDEF	73.7abcAB	69.9abcABC	81.6eC	75.3fC	71.7bcdAB
	B ₂	79.9deEFG	70.5dC	66.4efDE	82.7abcAB	76.3abcdeAB	72.8aA
	B ₃	80.5cCDE	73.5bcAB	70.1abcABC	82.4bcABC	76.2abcdeAB	70.7defBCD
	B ₄	79.7eG	73.0cB	69.4cdABC	83.1aA	76.8aA	73.0aA
	B ₅	80.3cdDEF	73.8abcAB	70.1abcABC	82.1cdeBC	76.6abAB	72.6abA
	B ₆	80.5cCD	74.1abAB	70.2abcABC	82.2bcdeABC	75.8cdefBC	71.6bcdAB
A ₂	B ₁	80.4cDEF	73.8abcAB	69.2cdBCD	82.3bcdABC	76.1bcdeABC	71.6bcdAB
	B ₂	79.9deFG	66.4fD	62.7ghFG	82.3bcdABC	75.6efBC	70.9deBCD
	B ₃	80.3cdDEF	66.9efD	60.9hG	82.4abcABC	76.3abcdeAB	71.8abcdAB
	B ₄	80.4cDEF	67.1efD	68.2ghFG	82.2bcdeABC	76.1abcdeABC	72.7abA
	B ₅	80.4cDEF	67.5eD	64.4fgEF	82.7abcAB	76.4abcAB	70.0efCD
	B ₆	80.2cdDEFG	73.8abcAB	70.0abcABC	82.8abAB	76.4abcdAB	72.2abcAB
A ₃	B ₁	81.4abAB	73.8abcAB	69.2cdBCD	82.4abcABC	76.2abcdeABC	70.7defBCD
	B ₂	81.2bAB	73.4bcAB	67.4deCD	82.2bcdeABC	75.8cdefBC	71.1cdeBCD
	B ₃	81.4abAB	74.3abA	69.6bcABC	82.2bcdeBC	75.8cdefBC	69.8fD
	B ₄	81.3abAB	73.9abcAB	69.5bcdABC	82.5abcABC	76.2abcdeABC	71.5cdABC
	B ₅	81.0bBC	74.4aA	71.5abAB	82.4bcABC	76.0bcdeABC	71.0cdeBCD
	B ₆	81.7aA	74.4aA	72.0aA	81.7deC	75.7defBC	71.6bcdAB

表 6 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 外观品质的影响
Table 6 Effects of different treatments on appearance
quality of Kendao 26 and Longjing 31 %

处理 Treatment		垦稻 26 Kendao 26		龙粳 31 Longjing 31	
		垩白率 Chalk percentage	垩白度 Chalkiness degree	垩白率 Chalk percentage	垩白度 Chalkiness degree
A ₁	B ₁	9.4cdeBCDE	5.2cdefBCDE	4.1abcAB	1.7cA
	B ₂	13.0aA	7.4aA	4.5abcAB	2.3abcA
	B ₃	9.1cdefCDEF	5.7cdefCDE	4.1abcAB	2.0abcA
	B ₄	10.3bcdBCD	5.7bcdeBCD	3.9abcAB	2.0abcA
	B ₅	11.3bAB	6.2bB	4.4abcAB	2.3abcA
	B ₆	7.2ghFGH	3.8hijFGH	3.4cAB	1.8cA
A ₂	B ₁	9.1defCDEF	5.0efgCDE	5.2aA	2.6aA
	B ₂	10.6bcBC	5.8bcdBC	5.0abAB	2.6aA
	B ₃	10.5bcdBC	5.9bcBC	3.8abcAB	1.9abcA
	B ₄	6.0hiGH	3.1jkGH	5.0abAB	2.5abA
	B ₅	6.2hiGH	3.5ijkGH	4.2abcAB	2.1abcA
	B ₆	5.4iH	2.9kH	4.0abcAB	2.0abcA
A ₃	B ₁	9.1defCDEF	5.0defgCDE	3.8abcAB	1.9abcA
	B ₂	10.2bcdBCD	5.7bcdeBCD	3.7bcAB	2.0abcA
	B ₃	8.4efgDEF	4.6fgDEF	4.2abcAB	2.1abcA
	B ₄	10.3bcdBC	5.9bcBC	3.7bcAB	1.8bcA
	B ₅	7.7fgEFG	4.2ghiEFG	4.0abcAB	2.0abcA
	B ₆	9.9bcdBCD	5.7bcdeBCD	3.4cAB	1.7cA

作效应显著 ($P=0.008<0.05$), 说明各处理的效应

表 7 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 营养品质的影响
Table 7 Effects of different treatments on nutritional
quality of Kendao 26 and Longjing 31 %

处理 Treatment		垦稻 26 Kendao 26		龙粳 31 Longjing 31	
		蛋白质 Protein	直链淀粉 Amylose	蛋白质 Protein	直链淀粉 Amylose
A ₁	B ₁	7.5efgCDE	17.9bcdBCD	8.0bABC	16.4fgE
	B ₂	7.4fgDE	17.5eD	8.0abAB	16.5efgDE
	B ₃	7.6cdeBCD	17.7deCD	7.8bcdeBCDE	17.1abAB
	B ₄	7.4fgDE	17.6deCD	7.9bcdBCDE	16.9abcABCD
	B ₅	7.4fgDE	17.8cdeBCD	8.0abAB	16.4gE
	B ₆	7.9aA	17.6deCD	7.7deCDE	16.7cdefBCDE
A ₂	B ₁	7.4efgDE	18.1bcABC	7.8cdeBCDE	16.5defgCDE
	B ₂	7.4fgDE	18.3abAB	7.6eE	16.9abcABCD
	B ₃	7.3gE	18.1bcABC	7.8bcdeBCDE	17.1aAB
	B ₄	7.7bcdABC	17.6deD	8.0bcABCD	17.1aAB
	B ₅	7.8abAB	17.7deCD	7.9bcdBCDE	16.8bcdABCDE
	B ₆	7.7abcABC	18.2abAB	8.2aA	16.8bcdeABCDE
A ₃	B ₁	7.5efCDE	18.1bcABC	7.6eE	17.0abcABC
	B ₂	7.4fgDE	17.7deCD	7.7eE	17.2aA
	B ₃	7.5defCDE	18.5aA	7.7deDE	16.8bcdeABCDE
	B ₄	7.5efgCDE	17.7deCD	7.7deCDE	16.9abcABC
	B ₅	7.5efCDE	17.7deCD	7.7deDE	17.1aAB
	B ₆	7.4efgDE	17.8cdeBCD	7.7deDE	16.9abcABCD

如表 7 所示, 垦稻 26 穴苗数和株行距间互

不是各单因素效应的简单相加，蛋白质含量以 5 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 最高，直链淀粉含量以 9 苗/穴、行株距 27cm × 10cm 最高。龙粳 31 穴苗数和株行距间互作效应显著 ($P=0.002<0.05$)，说明各处理的效应不是各单因素效应的简单相加，蛋白质含量以 7 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 含量最高，直链淀粉含量以 9 苗/穴、行株距 24cm × 13.3cm 最高。

如表 8 所示，垦稻 26 穴苗数和行株距间互作效应显著 ($P=0.0001<0.05$)，说明各处理的效应不是各单因素效应的简单相加，以 5 苗/穴、行株距 30cm × 10cm 为最佳处理，食味评分值高达

86.5，较 5 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 的食味评分提高了 17.8%，二者间的差异达到了极显著水平，其次是 5 苗/穴、行株距 24cm × 13.3cm 和 7 苗/穴、行株距 27cm × 10cm，食味评分值均为 85.8。龙粳 31 穴苗数和株行距间互作效应显著 ($P=0.0018<0.05$)，说明各处理的效应不是各单因素效应的简单相加，食味品质以 5 苗/穴、行株距 27cm × 13.3cm 为最佳处理，食味评分值高达 86.0，较 5 苗/穴、行株距 30cm × 10cm 的食味评分提高了 4.8%，二者间的差异达到了极显著水平。适宜的行距配比可有效提高稻米的食味评分，改善稻米的食味品质。

表 8 不同处理对垦稻 26 和龙粳 31 食味品质的影响
Table 8 Effects of different treatments on eating quality of Kendao 26 and Longjing 31

处理 Treatment		垦稻 26 Kendao 26			龙粳 31 Longjing 31		
		食味评分 Taste score	5% 显著水平 Sig. at 5% level	1% 极显著水平 Sig. at 1% level	食味评分 Taste score	5% 显著水平 Sig. at 5% level	1% 极显著水平 Sig. at 1% level
A ₁	B ₁	85.7	abc	ABC	85.6	abc	AB
	B ₂	85.8	ab	AB	85.9	a	A
	B ₃	84.2	cdef	BCDE	85.2	abcd	ABC
	B ₄	85.5	abcd	ABC	86.0	a	A
	B ₅	86.5	a	A	82.0	i	F
	B ₆	81.9	h	F	85.7	ab	AB
A ₂	B ₁	84.0	def	BCDE	85.0	abcde	ABC
	B ₂	83.7	efg	CDEF	83.7	efgh	CDEF
	B ₃	85.8	ab	AB	85.1	abcd	ABC
	B ₄	84.3	bcdef	BCDE	84.4	bcdef	ABCD
	B ₅	82.3	gh	EF	82.6	hi	EF
	B ₆	83.2	fgh	DEF	82.6	hi	EF
A ₃	B ₁	84.1	def	BCDE	84.8	abcde	ABCD
	B ₂	85.4	abcd	ABC	84.0	defg	BCDE
	B ₃	84.1	def	BCDE	85.6	abc	AB
	B ₄	84.7	bcdef	ABCD	83.4	fgh	CDEF
	B ₅	85.1	abcde	ABCD	83.0	ghi	DEF
	B ₆	84.2	cdef	BCDE	84.4	cdef	ABCD

3 讨论

3.1 穴苗数和行株距对产量及产量构成的影响

合理密植既能充分发挥水稻较强的分蘖与群体自身的调节能力，减少群体内行间、株间竞争，同时又能保证稻田能充分利用光能，积累较多的有机物，从而实现增产、增收的目的。林洪鑫等^[23]研究指出，在等密度条件下，株行距处理能调节水稻群体的微环境，协调群体与个体的关系。本试验通过对 2 个品种的群体产量优化，表明寒地

水稻高产群体因品种而异，对于分蘖力较强的垦稻 26 以行距 30cm、株距 10cm、5 苗/穴的处理产量为最优处理，与凌启鸿等^[24]研究在保证总密度不变的条件下，合理扩大行距、缩小株距有利于获得高产的研究结果一致，这与郑桂萍等^[25]通过“缩株距、增穴数、减穴苗”能够实现大幅度增产的研究结果不完全一致；对于分蘖力较差的龙粳 31，以行距 27cm、株距 13.3cm、9 苗/穴的处理有效提高了单位面积穗数，增产效果显著，这与江海等^[26]研究结论一致。因此，寒地水稻高产栽培

要因地区和品种进行穴苗数和行株距的设计。

3.2 穴苗数和行株距对稻米品质的影响

本研究结果表明,不同群体对稻米品质的影响因品种而异,垦稻 26 在 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 处理精米率和整精米率为最高;龙粳 31 在 5 苗/穴、行株距 27cm × 13.3cm 处理精米率和整精米率为最高,在 9 苗/穴、行株距 30cm × 13.3cm 处理外观品质较好。唐亮等^[27]、江思民等^[28]研究表明,在适宜的范围内,适当扩大栽插行距和减少栽插穴苗数,有利于提高稻米的外观品质、蒸煮品质和营养品质,与本研究结果不完全一致。杨国才等^[15]研究表明栽插密度对糙米率、精米率和直链淀粉含量影响较小,对整精米率、垩白率、垩白度和胶稠度影响较大,整精米率随栽插密度的增加而提高,而外观品质下降,对稻米食味品质各项指标无明显影响与本研究结果不一致。因此,要因品种选择适宜的穴苗数和株行距,垦稻 26 适当降低插秧密度,提高稻米的碾磨品质;龙粳 31 可通过稀植,改善稻米的外观品质。如何协调群体各构成因素来实现不同品种各品质指标较优,最终达到食味最好,是较难、也是应努力开展的研究工作。

4 结论

因品种选择适宜的穴苗数和行株距来协调产量构成因素指标,对于垦稻 26 可通过提高单位面积穗数提高产量,龙粳 31 可通过提高结实率或适当降低穗粒数达到增产、增收的目的。垦稻 26 适当降低栽插基本苗数,降低行株距来提高稻米的碾磨品质和食味评分;龙粳 31 可通过降低穴苗数、减行距来改善稻米的外观品质,降低蛋白质含量,从而提高食味品质。因此,高产优质栽培要因品种选择适宜的穴苗数和株行距,是实现水稻高产优质最为快捷、最为经济有效的措施。

参考文献

[1] Wang Z, Zhang W, Beebout S S, et al. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crops Research*, 2016, 193: 54–69.
[2] Wang L, Sun Y, Zhang H C, et al. Effect of zn and si fertilizers applied at different stages on yield and quality of japonica rice with good eating quality. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(6): 885–898.
[3] 成臣, 曾勇军, 吕伟生, 等. 南方稻区优质晚粳稻产量和品质调优

的播期效应. *核农学报*, 2018, 32(10): 2019–2030.
[4] 王夫玉, 张洪程. 行株距对比对水稻群体特征的影响. *甘肃农业学报*, 2001, 13(3): 38–42.
[5] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论(南方本). 北京: 中国农业出版社, 2003: 8–11.
[6] 林文雄, 吴志强, 梁义元, 等. 杂交水稻高产栽培技术体系的研究 II: 晚季汕优 63 高产栽培的数学模型分析. *福建农学院学报*, 1989, 18(3): 269–274.
[7] 王雪仁, 梁康廷, 黄荣华, 等. 籼型杂交水稻穗颖花数和莲秆特性的遗传分析. *福建农林大学学报*, 2001, 30(1): 9–15.
[8] 吴志强, 林文雄, 梁义元. 杂交水稻的高产栽培技术体系研究 I: 杂交早稻高产栽培的数学模型分析. *福建农学院学报*, 1989, 18(1): 19–24.
[9] 凌启鸿. 作物群体质量. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 96–106.
[10] 陈万胜, 谢俊峰, 金海燕, 等. 水稻单产徘徊不前的原因及其对策. *中国农学通报*, 2003, 19(1): 102–103.
[11] 赵世龙, 金玉女, 田奉俊, 等. 水稻大养稀栽培的根系生长研究. *吉林农业科学*, 1999, 24(3): 17–19.
[12] Zhang Z, Gu T, Zhao B, et al. Effects of common *Echinochloa* varieties on grain yield and grain quality of rice. *Field Crops Research*, 2017: 163–172.
[13] 耿雷跃, 张薇, 邹拓, 等. 河北水稻地方种质品质多样性分析. *作物杂志*, 2018(1): 49–55.
[14] 王成媛, 王伯伦, 张文香, 等. 栽培密度对水稻产量及品质的影响. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(4): 318–322.
[15] 杨国才, 游艾青, 胡刚, 等. 施氮用量和栽插密度对杂交早稻 W 两优 3418 产量及米质的影响. *湖北农业科学*, 2009, 48(2): 2944–2946.
[16] 叶全宝, 张洪程, 李华, 等. 施氮水平和栽插密度对粳稻淀粉 RVA 谱特性的影响. *作物学报*, 2005, 31(1): 124–130.
[17] 成臣, 曾勇军, 王祺, 等. 施氮量对晚粳稻甬优 1538 产量、品质及氮素吸收利用的影响. *水土保持学报*, 2018, 32(5): 222–228.
[18] 李军, 肖丹丹, 邓先亮, 等. 镁锌肥追施时期对优良食味粳稻产量及品质的影响. *中国农业科学*, 2018, 51(8): 1448–1463.
[19] 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. *应用生态学报*, 2017, 28(4): 1219–1226.
[20] 贺云梅, 时佩佩, 何爱萍, 等. 氮肥运筹对钵苗水稻群体质量的影响. *安徽农业科学*, 2018, 46(9): 49–50, 62.
[21] 陈勇, 张海清, 刘爱民, 等. 杂交水稻制种父本机插秧与施肥方式对其群体生长发育的影响. *作物研究*, 2017, 31(4): 355–359, 376.
[22] 唐启义. DPS 统计软件简介. *中国医院统计*, 2009, 16(1): 99.
[23] 林洪鑫, 肖运萍, 袁展汽, 等. 水稻合理密植及其优质高产机理研究进展. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 1–4.
[24] 凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 等. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨. *中国农业科学*, 1993(6): 1–11.
[25] 郑桂萍, 梁金国, 赵洋, 等. 群体构建因素与寒地水稻产量关系的研究. *上海农业学报*, 2014, 30(3): 56–61.
[26] 江海, 王秋菊, 赵宏亮, 等. 寒地水稻不同群体密度品质优化研究. *黑龙江农业科学*, 2010(12): 10–13.
[27] 唐亮, 徐正进, 袁媛. 水稻 RIL 群体产量性状和品质性状与穗部性状的关系. *种子*, 2007, 26(5): 67–71.
[28] 江思民, 张子军. 寒地水稻穗部性状与稻米品质的关系研究. *现代化农业*, 2010(8): 24–25.

Effects of Row Spacing and Number of Seedling Per Hole on Yield and Quality of Rice in Cold Regions

Cao Liang, Huang Binglin, Wang Mengxue, Zhang Yuxian

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, Heilongjiang, China)

Abstract The split-plot design was adopted for the experimental study to determine the configuration of plant spacing, row spacing and seedling number per hole of Kendao 26 and Longjing 31 for high-yield and high-quality cultivation. Results showed that optimal rice population varied with rice variety, the best configuration of Kendao 26 for rice yield was plant spacing of 10cm, row spacing of 30cm and 5 seedlings/hole, while the best configuration of Longjing 31 for rice yield was plant spacing of 13.3cm, row spacing of 27cm and 9 seedlings/hole. Cultivation of rice Kendao 26 in the configuration of plant by row spacing of 10cm×30cm and 5 rice seedlings/hole was conducive to improve the milling quality of rice but had an adverse impact on the improvement of appearance quality. The relatively low nutrition content of rice had helped the improvement of eating quality of rice with the taste score of rice up to 86.5, which was significantly different from that of rice upon minimum processing. Rice Longjing 31 cultivated in the configuration of plant by row spacing of 13.3cm×27cm and 5 seedlings/hole had high milling quality. Cultivation in such configuration was not good for improving nutritional quality or appearance quality, but its eating quality was improved substantially with its taste score reached 86.0, which was significantly different from that of rice upon minimum processing. Therefore, the appropriate configuration of seedling number per hole, plant spacing and row spacing shall be chosen in respect of different rice varieties for high-yield and high-quality cultivation, and it is the fastest and the most economical and effective measure to achieve high-yield and high-quality of rice.

Key words Rice; Row spacing; Seedling number; Yield; Quality