

丘陵荒漠土稻区肥密运筹对北方粳稻辽粳 1402 产量与株型结构的影响

解文孝¹, 潘争艳¹, 吕 军¹, 姜秀英¹, 韩 勇¹, 史鸿儒², 李建国^{1*}

(1. 辽宁省水稻研究所, 沈阳 110101; 2. 辽宁省农业发展服务中心, 沈阳 110034)

摘 要: 为了探明丘陵荒漠土稻区氮肥和栽插密度对北方粳型超级稻产量及株型结构的影响, 以北方粳型超级稻辽粳 1402 为材料, 设置 3 种基肥施氮量 (纯氮 155、130、110 kg/hm²) 和 3 种栽插密度 (25、20、17 穴/m²), 研究了丘陵荒漠土稻区肥密耦合对水稻产量、产量参数、穗部性状、冠层结构配置、干物质积累量及氮肥利用率的影响, 阐明了肥密运筹下株型结构的变化特征。研究表明, 施氮量和栽插密度对水稻的最高分蘖数、有效穗数、二次枝梗数及产量均有显著影响; 提高施氮量或栽插密度均可提高群体的叶面积指数、有效叶面积指数和高效叶面积指数, 但透光率随冠层高度下降而显著降低; 同等氮肥水平下栽插密度对叶长和叶宽的影响在叶位间表现为剑叶<倒二叶<倒三叶, 而对叶基角叶位间的影响较为复杂, 表现为高氮水平下剑叶>倒二叶>倒三叶, 低氮水平下剑叶<倒二叶<倒三叶, 着粒密度随着施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势; 降低施氮量显著提高了氮肥偏生产力, 低氮处理比中氮和高氮处理分别提升了 8.16% 和 25.73%。北方粳型超级稻辽粳 1402 在丘陵荒漠土条件下, 栽插密度 25 穴/m² 和基肥施氮量 130 kg/hm² 有利于增加有效穗数, 提高分蘖成穗率和干物质积累量以及叶面积指数, 有利于产量和氮肥利用率的提高。

关键词: 丘陵; 荒漠土; 氮肥; 密度; 粳稻; 产量; 株型结构

中图分类号: S511.04

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)01-0012-07

Effect of Fertilization and Transplanting Density on the Plant Type and Yield of Northern Japonica Liaojing 1402 Grown in Hilly, Sandy Soil Areas

XIE Wenxiao¹, PAN Zhengyan¹, LYU Jun¹, JIANG Xiuying¹, HAN Yong¹, SHI Hongru², LI Jianguo^{1*}

(1. Liaoning Rice Research Institute, Shenyang 110101; 2. Liaoning Agricultural Development Service Center, Shenyang 110034, China)

Abstract: In order to identify the influence of nitrogen fertilizer and planting density on the yield and plant structure of the northern japonica super rice in sandy soil of hilly rice region, three levels of base-tiller nitrogen fertilizer (pure N 155, 130, 110 kg/ha) and three treatments of planting density (25, 20, 17 holes/m²) were set with the Japonica super rice variety Liaojing 1402. The effects of N fertilizer and density coupling on rice yield, yield component, panicle traits, canopy structure, dry matter accumulation and nitrogen use efficiency were studied in sandy soil of hilly region. The results showed that: The N fertilizer and planting density had significant effects on panicles number, secondary panicle branches and yield of the rice, but had no significant effects on grain number, seed-setting rate, 1000-grain weight and primary panicle branches. Increasing planting density significantly increased tiller numbers and effective panicle numbers, but had negative influence on other yield components, and the effect of planting density on yield was greater than that of N fertilizer. Population leaf area index, effective leaf area index and efficient leaf area index were increased by increasing N fertilizer or planting density, while the light transmittance decreased significantly with the decline of canopy height. Under the same nitrogen fertilizer level, the effects of planting density on leaf length and leaf width were as follows: basal leaf < inverted two-leaf < inverted three-leaf, while

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300304-05); 辽宁省农科院科技服务类项目(2112002); 辽宁省应用基础研究计划项目(2022JH/101300283)

作者简介: 解文孝(1982-), 男, 助理研究员, 硕士, 从事北方粳型超级稻品种选育及配套生理栽培技术研究。

通讯作者: 李建国, 男, 硕士, 研究员, E-mail: 476469584@qq.com

the effects on leaf base corner were more complex, as basal leaf < inverted two-leaf < inverted three-leaf, and basal leaf < inverted two-leaf < inverted three-leaf, respectively, at high nitrogen level. With the increase of nitrogen application rate, the grain density increased first and then decreased. The nitrogen partial productivity of low N treatment was increased by 8.16% and 25.73% compared with medium N treatment and high N treatment, respectively. Our result suggested that the treatments of planting density of 25 holes/m² and basal tiller N fertilizer amount of 130 kg/ha could be suitable for increasing effective panicle number, tiller panicle formation rate and dry matter, and also had reasonable leaf area index, basal leaf angle and light-interception form at heading stage, which could be beneficial to improve grain yield and N fertilizer utilization efficiency of northern japonica super rice in sandy soil of hilly region.

Key word: Hilly; Sandy soil; Nitrogen fertilizer; Density; Japonica rice; Yield; Plant type structure

辽宁省是我国最重要的粳稻种植区,也是优质大米的重要输出地,在我国粮食安全保障和品质提升中占有重要地位。辽宁省育成的粳型超级稻品种普遍分蘖力较强、根系发达、茎秆粗壮、耐肥、穗型偏大以半紧穗为主^[1-5]。因此,生产上移栽株行距逐渐增大,在稀植的条件下要想获得稳定的穗数,同时培育大穗并保持后期功能叶片和根系活力不早衰,必须提供充足的氮素供给才能保障高产和超高产的实现。目前,在水稻高产栽培中,氮肥(纯氮)施用量已达 300~350 kg/hm²,甚至高达 400~450 kg/hm²^[6]。侯云鹏^[7]、王丽妍^[8]、刘文杰^[9]等研究表明,通过增施氮肥不能弥补由于栽插密度降低而导致的有效穗数不足和产量下降,而且造成氮肥吸收利用率下降,土壤的背景氮上升。成臣等^[10]研究也认为,随施氮量增加,产量呈先增后降的趋势。在背景氮高的土壤和施氮量高的情况下,水稻对氮素会产生奢侈吸收现象。过量的氮素往往伴随着高呼吸消耗,病虫害加剧,易倒伏、收获指数降低,最终降低氮肥利用率^[6]。彭少兵等^[6]认为在中国大部分稻区,在水稻生长前期减少 30% 的氮肥用量也不会导致水稻产量明显降低。Khan^[11]、岳忠孝^[12]、胡雅杰^[13]、Zhou^[14]等认为合理增加栽插密度和降低氮肥用量,既可以实现水稻高产又能提高氮肥利用率。同时,合理的栽插密度和氮肥耦合能够优化株型的群体结构、改善水稻群体和个体受光姿态,提高光能利用效率,增强群体光合物质生产能力^[15-18]。然而,这些资料都是在土壤养分含量较高和高氮背景下建立的高产群体,并未考虑氮素利用率、农业生产成本以及环境污染等问题,在当前以高效农业和环境友好型农业的政策背景下,只有探索出以高产为前提的氮高效栽培技术,才是促进农业可持续发展的必由之路。

本试验在辽西丘陵荒漠稻区生态条件下,以

粳型超级稻品种辽梗 1402 为试验材料,研究栽插密度与氮肥耦合对超级稻株型及产量构成因素的影响,旨在探索超级稻辽梗 1402 在有机肥含量偏低的荒漠化土壤背景下,栽插规格和氮肥运筹对株型结构特征的影响以及增产的机理,以期为该品种在辽西丘陵区大面积推广应用提供配套的高产、高效栽培技术模式和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种及地点

以辽宁省粳型超级稻辽梗 1402 为试验材料,于 2022 年在辽宁省阜新市彰武县大冷乡中饶村(北纬 42°35',东经 122°19')进行大田栽培试验。试验田土壤为砂壤土,有机质 11.7 g/kg,全氮 0.86 g/kg,碱解氮 107.5 mg/kg,速效磷 32.4 mg/kg,速效钾 31.5 mg/kg, pH 值 7.4。试验田种植一季水稻冬季休耕。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,基肥施氮量为主处理,设高氮(N₁)、中氮(N₂)和低氮(N₃),详见表 1(N₁为对照,N₂为对照基肥氮用量的 85%,N₃为对照基肥氮用量的 70%)。以栽插密度为副处理,设 25、20、17 穴/m²,分别以 D₁、D₂和 D₃表示。小区面积 20 m²,3 次重复,随机排列。施入的氮肥为尿素,依据含氮量折合成纯氮,N₁(CK)按基肥:穗肥为 5:3:2 施用。磷肥、钾肥全部作为基肥一次性施入,磷酸二铵 150 kg/hm²、氯化钾 112.5 kg/hm²。主处理间作田埂,用塑料薄膜包埋,小区间用排水

表 1 氮肥水平处理

kg/hm²

处理	基肥	穗肥	孕穗肥	总氮量
N ₁ (高氮)	100.00	60.00	40.00	200.00
N ₂ (中氮)	85.00	51.00	40.00	176.00
N ₃ (低氮)	70.00	42.00	40.00	152.00

沟隔离,处理间单排单灌。其他田间管理按当地种植习惯进行。除密度和施氮量之外,各处理管理措施保持一致。4月16日播种,营养土保温早育苗,秧龄34 d,每穴插3苗。

1.3 测定项目与数据分析

株型指标:于移栽期、拔节期、齐穗期和成熟期各处理连续调查20穴,按平均数取5株,分别测定最高蘖数及各部位的干物质量;齐穗期取样测定株高、叶长、叶宽、叶基角(叶片基部与茎秆的夹角)、比叶重(单位面积叶片重量);分别求取齐穗期群体叶面积(所有茎蘖的叶面积)、有效叶面积(有效茎蘖的叶面积)和高效叶面积(有效茎蘖顶三叶的叶面积)。

产量指标:成熟期采用五点法每小区调查50穴,计算有效穗数,每小区按平均穗数取10穴考种,分别测定穗粒数、一次枝梗数、二次枝梗数、结实率和千粒重(含水量14%);着粒密度(粒/cm)=每穗粒数/穗长;收获指数=籽粒产量/生物产量。产量数据由小区实测折算。

透光率:由LI-cor185B型光量子辐射照度计测定并换算。

数据分析和图表绘制运用Excel 2007、SPSS 22.0软件进行。

2 结果与分析

2.1 基肥施氮量与栽插密度对产量及产量构成因素的影响

由表2可知,基肥施氮量和栽插密度以及二者互作对辽粳1402产量的影响均达到了显著或极显著水平。结果表明,不同氮肥水平下产量均随着密度的增加而增加,栽插密度处理D₃、D₂条件下,产量随着基肥施氮量的增加而增加,但在处理D₁水平下则表现为中氮(N₂)产量大于高氮(N₁)。在肥密耦合条件下处理N₂D₁产量最高、N₁D₁次之、N₃D₃最低。与N₁D₃相比,处理N₂D₁增产6.92%。说明合理密植的条件下,适度降低基肥氮的施入量也可获得高产,且在土壤有机质含量低、保肥能力差的丘陵荒漠土稻区栽插密度

表2 基肥施氮量与栽插密度对产量及其构成因子的影响

处理	最高蘖数 /株·m ⁻²	有效穗数 /个·m ⁻²	穗粒数 /个	结实率 /%	千粒重 /g	一次枝梗数 /个	二次枝梗数 /个	产量 /t·hm ⁻²
N ₁ D ₁	649.36a	443.2a	110.69d	80.96f	24.52a	12.75g	25.41g	9.74b
N ₁ D ₂	528.31d	361.08d	127.44c	81.71e	24.65a	13.05f	28.62e	9.47c
N ₁ D ₃	476.42f	318.04f	137.01b	83.48c	24.75a	13.52e	31.94d	9.25d
N ₂ D ₁	610.96b	426.11b	115.29d	83.11d	24.7a	13.54e	27.82f	9.89a
N ₂ D ₂	508.36e	347.48de	131.98bc	83.85c	24.69a	13.87d	31.73d	9.42c
N ₂ D ₃	450.41g	309.34f	144.58a	84.62b	24.78a	14.06c	33.14b	9.18d
N ₃ D ₁	579.12c	382.35c	118.48d	83.27d	24.72a	13.89d	28.66e	9.23d
N ₃ D ₂	486.27f	335.24e	124.56c	84.79b	24.85a	14.55b	32.72c	8.80e
N ₃ D ₃	438.48h	289.46g	140.38b	85.83a	24.91a	14.83a	36.42a	8.69f
N	**	**	ns	ns	ns	ns	**	*
D	**	**	**	*	ns	*	**	**
N×D	**	**	*	ns	ns	ns	**	*

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),ns表示相关性未达到显著水平;*表示显著相关性($P<0.05$);**表示极显著相关性($P<0.01$),下同

对产量的影响大于基肥氮施用量。

通过分析基肥施氮量、栽插密度以及肥密互作对产量及产量构成因子的影响可知,提高基肥施氮量和栽插密度均会显著增加单位面积有效穗数和最高分蘖数,呈现极显著的正相关关系,且二者互作也达到了极显著水平。栽插密度对穗粒数、二次枝梗数产生极显著影响,对结实率和一次枝梗数产生显著影响。基肥施氮量和

栽插密度互作对结实率、千粒重和一次枝梗数的影响未达到显著水平。

2.2 基肥施氮量与栽插密度对干物质质量的影响

由表3可知,移栽期、拔节期和齐穗期干物质积累量随着栽插密度的增加而增大,且栽插密度对各阶段干物质积累的影响显著大于基肥施氮量。除成熟期穗部以外,D₁条件下降低基肥氮15%用量并未对干物质积累量产生显著影响。处

表3 基肥施氮量与栽插密度对干物质积累量及收获指数的影响 kg/m²

处理	移栽期	拔节期	齐穗期			成熟期			总干物质量	收获指数 /%
			茎	叶	穗	茎	叶	穗		
N ₁ D ₁	0.13a	0.62a	0.88a	0.51a	0.25a	0.9a	0.38a	0.98b	2.26a	43.28i
N ₁ D ₂	0.10b	0.49c	0.79b	0.46bc	0.21cd	0.78c	0.37a	0.93c	2.08c	44.71g
N ₁ D ₃	0.08c	0.41ef	0.68d	0.41d	0.17e	0.68e	0.37a	0.9d	1.95d	46.23c
N ₂ D ₁	0.13a	0.59ab	0.86a	0.48ab	0.23ab	0.88ab	0.37a	1.01a	2.25a	44.93e
N ₂ D ₂	0.10b	0.47cd	0.77bc	0.44cd	0.2d	0.76cd	0.36b	0.92c	2.05c	44.98d
N ₂ D ₃	0.08c	0.39fg	0.66d	0.39ef	0.15fg	0.66e	0.36b	0.94c	1.97d	47.74b
N ₃ D ₁	0.13a	0.57b	0.85a	0.47b	0.22bc	0.86b	0.35b	0.94c	2.15b	43.61h
N ₃ D ₂	0.10b	0.44de	0.75c	0.41de	0.17ef	0.74d	0.35b	0.88e	1.97d	44.75f
N ₃ D ₃	0.08c	0.38g	0.64d	0.36f	0.14g	0.61f	0.34c	0.87e	1.82e	47.85a

理间干物质积累量差异表现为移栽期>拔节期>齐穗期>成熟期,可见处理间干物质积累量差距随着生育进程而逐渐缩小,说明水稻的群体调节作用逐渐显现。成熟期总干物重 N₁D₁ 处理最大, N₂D₁ 次之,且二者差异未达到显著水平。成熟期穗部最大干物质积累量出现在 N₂D₁ 处理中,说明在合理提高栽插密度的条件下适度降低基肥施氮量有利于提高穗部干物质的积累,而过度提高基肥施氮量将增加营养生长量,延缓并阻碍营养物质向籽粒中转移。处理间收获指数表现为,随着栽插密度的降低而增加, N₃D₃ 收获指数最高。

2.3 基肥施氮量与栽插密度对氮肥偏生产力的影响

氮肥偏生产力即氮肥投入和籽粒产出的比率,是较直观地反映氮肥利用率的指标。如图1所示,较高的氮肥偏生产力出现在低氮组合中,而高氮组合的氮肥偏生产力较低。低氮组合平均氮肥偏生产力比中氮和高氮组合分别提升了8.16%和25.73%。说明氮肥偏生产力随着基肥肥

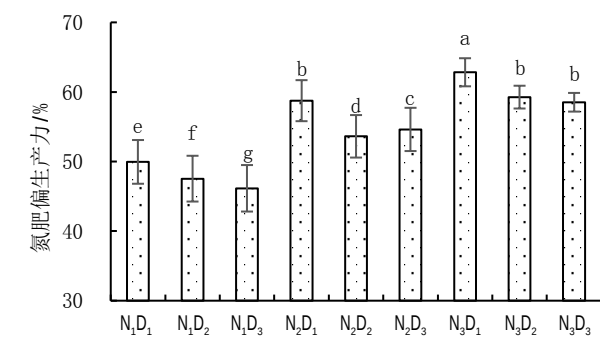


图1 基肥施氮量与栽插密度对氮肥偏生产力的影响
施氮量增加而降低。在同等基肥施氮量下氮肥偏生产力随着密度的降低而降低。

2.4 基肥施氮量与栽插密度对株型的影响

2.4.1 基肥施氮量与栽插密度对叶片形态及着粒密度的影响

由变异系数可知(表4),同等施氮量水平下栽插密度对株型因子的影响表现为:叶基角>叶长>叶宽>株高。不同氮肥水平下栽插密度对株高、叶长、叶宽和叶基角的影响表现为:随着施氮量的增

表4 不同氮肥水平下栽插密度对株型因子的影响

处 理	株 高	叶长/cm			叶宽/cm			叶基角/°			着粒密度 /粒·cm ⁻¹	
		剑叶	倒二叶	倒三叶	剑叶	倒二叶	倒三叶	剑叶	倒二叶	倒三叶		
N ₁	平均数 (AV)	109.32	25.78	30.25	40.72	2.15	1.87	1.36	15.42	17.21	22.67	8.39
	方差 (V)	2.54	4.96	6.65	8.67	0.17	0.21	0.23	4.42	3.95	3.58	1.24
	变异 系数 (CV)	4.31	12.97	15.31	19.22	8.95	9.85	10.35	28.36	26.74	25.61	16.73
N ₂	平均数 (AV)	107.26	22.42	28.85	38.64	2.21	1.88	1.21	16.71	18.64	23.96	8.64

续表 4

处 理	株 高 /cm	叶长/cm			叶宽/cm			叶基角/°			着粒密度 /粒·cm ⁻¹
		剑叶	倒二叶	倒三叶	剑叶	倒二叶	倒三叶	剑叶	倒二叶	倒三叶	
方差 (V)	2.14	4.49	5.95	7.43	0.15	0.19	0.18	3.86	3.67	3.32	1.48
变异 系数 (CV)	3.97	10.87	13.73	15.41	7.38	8.67	9.88	24.62	25.43	24.74	14.97
N ₃ 平均数 (AV)	105.62	20.15	27.07	36.89	2.24	1.89	1.14	16.96	19.12	24.58	8.15
方差 (V)	1.84	4.15	5.37	6.87	0.12	0.18	0.16	3.63	3.25	3.17	1.66
变异 系数 (CV)	3.51	9.73	11.63	13.22	7.12	7.85	9.63	22.15	23.67	24.32	13.26

加而增加,而着粒密度与之相反。同等氮肥水平下栽插密度对叶长和叶宽的影响在叶位间表现为:剑叶<倒二叶<倒三叶;而对叶基角叶位间的影响较为复杂,表现为:高氮水平下剑叶>倒二叶>倒三叶,在低氮水平下剑叶<倒二叶<倒三叶。着粒密度随着施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势。

2.4.2 基肥施氮量与栽插密度对叶面积指数、透光率及比叶重的影响

由表 5 可知,基肥施氮量与栽插密度及二者互作对齐穗期群体叶面积指数、有效叶面积指数的相关性都达到了极显著水平,表现为随着栽

插密度和基肥施氮量的降低而降低,在同等氮肥水平下栽插密度对群体叶面积指数、有效叶面积指数和高效叶面指数均产生显著影响,而相同栽插密度水平下施氮量未对群体叶面积指数、有效叶面积指数和高效叶面指数产生显著影响。透光率处理间均表现出随着距冠层高度的增加而急剧下降,降低栽插密度和基肥施氮量均可提高距冠层不同高度间的透光率。上三叶比叶重是衡量叶片光合性能的重要参数,表现为随着基肥施氮量和栽插密度的增加而降低,由 F 值可知栽插密度与上三叶比叶重相关性达显著水平,而基

表 5 施氮量与栽插密度对齐穗期叶面积指数、透光率及比叶重的影响

处理	群体叶面 积指数	有效叶面 积指数	高效叶 面积指数	距冠层不同高度透光率/%			上三叶比叶重 /mg·cm ⁻²
				20 cm	40 cm	60 cm	
D ₁ N ₁	8.93a	7.96a	5.94a	57.25d	22.97d	6.06e	4.57b
D ₁ N ₂	8.56a	7.74a	5.64a	62.49c	27.52c	9.34d	4.63b
D ₁ N ₃	8.13a	7.53a	5.34a	64.76c	30.58c	13.30c	4.68b
D ₂ N ₁	7.84b	7.23b	5.06b	64.53c	29.12c	11.06d	4.74ab
D ₂ N ₂	7.6b	7.06b	4.84b	67.65b	32.39c	13.36c	4.78ab
D ₂ N ₃	7.5b	6.87b	4.63b	69.81a	35.92b	15.86c	4.80a
D ₃ N ₁	6.94c	6.73c	4.47c	67.10b	35.97b	16.75c	4.82a
D ₃ N ₂	6.73c	6.55c	4.26c	69.17a	37.85b	19.25b	4.86a
D ₃ N ₃	6.67c	6.33c	4.04c	72.97a	42.29a	24.08a	4.94a
变异来源 F 值							
D	1047.05**	635.02**	486.68**	98.44*	148.83**	210.24**	22.62*
N	87.67**	67.37**	59.8*	32.05*	52.57*	78.2*	3.27ns
D×N	98.76**	85.79**	62.3**	30.87*	62.54*	135.57**	1.95ns

蘖肥施氮量及二者互作相关性不显著。

3 讨 论

3.1 基蘖肥施氮量与栽插密度对产量构成的影响

理想的株型是形成超高产群体的基础,科学合理的氮肥运筹和适宜的种植密度是获取水稻高产的两个重要栽培条件。在一定范围内,水稻产量随施氮量的增加而提高,超过这个范围后产量和部分产量构成因素则下降^[19]呈现出单峰曲线的趋势。然而不同的地域特征、土壤背景和品种特性对水稻高产群体的肥密耦合结论也不尽相同。在辽宁省荒漠壤土稻区,降穗数、促大穗、攻大粒是高生物产量和高产的主要方向^[20];重庆沙壤土稻区超高产水稻在有效穗数、穗粒数、千粒重和干物质积累量等方面均要有优势^[21]。在黑龙江省草甸白浆土低温冷凉稻区高产寒地水稻在现有株行配置下通过“缩株距、增穴数、减穴苗”,能够实现大幅度增产,对分蘖能力差的品种增产效果更为显著^[22]。已有研究表明,适度增加栽插密度及降低氮肥用量,既可以实现水稻高产又能提高氮素利用率^[23-25]。本研究结果表明,粳型超级稻辽梗1402在丘陵荒漠土稻区提高基蘖肥施氮量和增加栽插密度均能提高产量,同等肥力条件下产量随着栽插密度的增加而增加,高产组合均出现在高密处理条件下。同等栽插密度下氮肥处理 N_1 与 N_2 水平间除处理 D_1 产量达到差异显著水平外其他处理均未达到显著差异,但均显著高于 N_3 水平。这与前人研究结果存在一定差异^[26-27],可能是由于荒漠土有机质含量低、渗漏性强、保肥水能力差以及丘陵荒漠土稻区春季土壤增温慢且昼夜温差大不利于无机肥料的分解和释放等综合原因。在本试验设置的梯度下,产量最高组合出现在 N_2D_1 ,而并不是最高肥密水平(N_1D_1)处理中,说明在高密度水平下产量随着基蘖肥施氮量的增加而增加,当达到某一极值将出现拐点而下降。

水稻分蘖数及成穗率是决定穗数的关键因素,而穗数又是构成产量的必要条件。超级稻一般分蘖能力较强,栽培密度过大会缩短有效分蘖期,增加无效分蘖数及过度养分消耗,突出个体与群体矛盾^[28-31],然而大部分试验结果都建立在有机质含量较高的高产田中。本研究结果表明,丘陵荒漠土稻区基蘖肥施氮量和栽插密度对水稻产量的贡献,主要通过增加有效穗数来提高群体颖花数。提高基蘖肥施氮量增加了分蘖数量,尤其是二、三级分蘖数量;提高栽插密度增加了基

本苗数即主茎数和一级分蘖数的增加而提高有效穗数。随着有效穗数和总颖花数的增加,水稻库容量随之变大,但光合产物量无法满足其扩容库的需求,因而造成结实率下降。栽插密度对辽梗1402千粒重影响较小,而对有效穗数和每穗粒数影响较大,密植处理缩短了有效分蘖期同时也增加了无效分蘖数,密植处理 D_1 中有效穗数最多,每穗粒数最少,着粒密度下降,其原因主要是二次枝梗数及结实率的降低。

3.2 基蘖肥施氮量与栽插密度对水稻株型特征的影响

吕川根等^[32]将长江下游平原单季稻生态区超级杂交稻(中粳稻)理想光合株型主要特征特性描述为,株高为110~112 cm,穗长25~28 cm,着粒密度8~10粒/cm,弯曲穗;下位节间长2~4 cm,粗壮而壁厚;剑叶长35~40 cm,宽2 cm,倒二叶、倒三叶叶长分别为50~55 cm和55~60 cm,齐穗期上三叶与茎秆夹角分别为 5° 、 10° 、 15° ,叶面内卷,剑叶最卷处叶面曲率在1~1.5/cm,顶三叶功能期为70 d,最高叶面积指数(LAI)8~9,比叶重为2.5~3 g/cm²。胡雅杰等^[13]在江苏里下河腹部地区研究钵苗机插密度对不同穗型水稻品种株型及抗倒伏性的影响发现,大穗型品种采用中密度(株距14 cm),中、小穗型品种采用高密度(株距12 cm),有利于提高钵苗机插水稻产量。随着密度降低,上三叶的叶长、叶宽、叶基角、披垂度和比叶重呈增加趋势,基部3个节间长缩短,茎秆粗度、壁厚和充实度增加。李红宇等^[33]研究东北地区寒地水稻主要株型性状发现,东北高产品种的株型特征为株高在100~105 cm,穗型直立或半直立(茎穗弯曲度 $<60^\circ$),收获指数 >0.52 ;上三叶较长且宽(剑叶长25 cm、宽 >1.5 cm)、着生角度小(剑叶角度 $<20^\circ$),着粒密度和穗重较高,库容量大。本研究结果表明,不同基蘖氮肥水平下栽插密度对水稻株型性状变异系数的影响均表现为:叶基角 $>$ 叶长 $>$ 叶宽,在同等栽插密度水平下,叶基角、叶长、叶宽表现为随着基蘖肥施氮量的降低而下降。增加基蘖肥施氮量或增加栽插密均增加叶面积指数,从而导致叶片单位面积个体细胞被拉长,出现比叶重下降现象,这与胡雅杰等研究结果一致^[13]。当栽插密度达到 D_2 水平以上时,透光率随着群体叶面积指数的增加而下降,且距冠层越远下降趋势越显著。植株干物质积累量随着基蘖肥施氮量和栽插密度的增加而增加,但收获指数表现出相反的趋势。氮肥偏生产力随着基蘖肥施氮量的降

低而升高,随着栽插密度的增加而增加。

4 结 论

在丘陵荒漠土低产稻区,粳型超级稻辽粳1402的基肥施氮量为130.00 kg/hm²和栽插密度25穴/m²,为适宜当地水稻高产的栽培模式。且在降低基肥氮30%(N₃D₁)模式,产量仅略低于传统模式(N₁D₃)未达到显著差异,说明针对辽粳1402这类少穗大穗型品种适当增加栽插密度降低基肥氮用量,不仅能够改善穗部结构、增加干物质积累量,并通过调节功能叶片LAI和受光姿态来优化株型结构,提高氮肥利用率、节约生产成本和减少环境污染。本研究仅从基肥施氮量和栽插密度的角度分析了丘陵荒漠土条件下粳型超级稻的产量构成因素以及株型特征等指标,并未从荒漠土外来氮的固定以及植株的氮素吸收、转化、利用、积累等角度进行分析和研究,其相关机理以及内在联系还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 徐正进,林 晗,马殿荣,等.北方粳稻穗型改良理论与技术研究及应用[J].沈阳农业大学学报,2012,43(6):650-659.
- [2] 唐 亮,陈温福.北方粳稻新品种培育与发展[J].中国稻米,2022,28(5):79-81.
- [3] 徐正进,陈温福,韩 勇,等.辽宁水稻穗型分类及其与产量和品质的关系[J].作物学报,2007,33(9):1411-1418.
- [4] 徐正进,陈温福,张树林,等.辽宁水稻穗型指数品种间差异及其与产量和品质的关系[J].中国农业科学,2005,38(9):1926-1930.
- [5] 王会民,欧阳由男,刘法谋,等.株型对水稻光能利用效率影响的研究进展[J].中国稻米,2010,16(5):12-15.
- [6] 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.
- [7] 侯云鹏,孔丽丽,李 前,等.不同施肥模式对水稻养分吸收利用及土壤养分平衡的影响[J].东北农业科学,2018,43(1):1-8.
- [8] 王丽妍,杨成林,徐惠凤.氮肥运筹对寒地水稻生长及产量的影响[J].东北农业科学,2017,42(5):15-19.
- [9] 刘文杰,郑 磊,段 维.播期密度耦合对向日葵生长发育、产量及构成因素的影响[J].东北农业科学,2023,48(5):46-50.
- [10] 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[J].水土保持学报,2018,32(5):222-228.
- [11] Khan M R, Ren Tao, Li X K. Nitrogen rate and plant density interaction enhances radiation interception, yield and nitrogen use efficiency of mechanically transplanted rice[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2019, 26(9): 183-192.
- [12] 岳忠孝,张瑞栋,杨成元,等.播期和密度对谷子农艺性状及产量的影响[J].东北农业科学,2023,48(5):40-45.
- [13] 胡雅杰,曹伟伟,钱海军,等.钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J].作物学报,2015,41(5):743-757.
- [14] Zhou C Z, Huang Y C, Jia B Y. Effects of cultivar, nitrogen rate, and planting density on rice-grain quality[J]. Agronomy, 2018, 8(11): 246-248.
- [15] 刘立军,王志琴,桑大志,等.氮肥运筹对水稻产量及稻米品质的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2002,23(3):46-50.
- [16] 黄 波,张 妍,孙建强,等.氮密互作对淮北砂姜黑土区冬小麦冠层光合特性和产量的影响[J].麦类作物学报,2019,39(8):994-1002.
- [17] 龙文飞,傅志强,钟 娟,等.节水灌溉条件下氮密互作对双季晚稻光合特性的影响[J].华北农学报,2016,31(6):206-212.
- [18] An N, Wei W L, Qiao L. Agronomic and environmental causes of yield and nitrogen use efficiency gaps in Chinese rice farming systems[J]. European Journal of Agronomy, 2018, 9(3): 40-49.
- [19] 周瑞庆,萧光玉,汪大明.施肥量对水稻产量及产量构成因素的影响[J].作物研究,1991,6(S1):21-26.
- [20] 陈温福,徐正进,张龙步.水稻理想株型的研究[J].沈阳农业大学学报,1989,20(4):417-420.
- [21] 黄兴奇,宋令荣,程在全,等.高产和超高产水稻产量差异比较及其原因探讨[J].西南农业学报,1997,10(2):20-25.
- [22] 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[J].上海农业学报,2014,30(3):56-61.
- [23] 胡雅杰,邢志鹏,龚金龙,等.适宜机插株行距提高不同穗型粳稻产量[J].农业工程学报,2013,29(14):33-44.
- [24] 刘晓亮,齐春艳,侯立刚,等.肥水耦合对盐碱地水稻产量及其构成因素的影响[J].东北农业科学,2017,42(6):18-22.
- [25] 董一漩,屠乃美,魏 征,等.施肥模式对不同基础地力稻田培肥和水稻产量的动态影响[J].东北农业科学,2019,44(2):13-18.
- [26] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.
- [27] 朱聪聪,张洪程,郭保卫,等.钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J].作物学报,2014,40(3):122-133.
- [28] 苏祖芳,霍中洋.水稻合理密植研究进展[J].耕作与栽培,2006,15(5):6-9.
- [29] 孟祥宇,冉 成,李金平,等.秸秆还田对东北黑土稻区土壤养分及水稻产量的影响[J].东北农业科学,2023,48(2):64-67.
- [30] 舒 鹏,郭保卫,霍中洋,等.钵苗机插密度对双季晚稻产量及群体质量的影响[J].中国稻米,2017,23(6):23-31.
- [31] 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.
- [32] 吕川根,邹江石.两个超级杂交稻与汕优63光合株型的比较分析[J].中国农业科学,2003,36(6):633-639.
- [33] 李红宇,侯显铭,陈英华,等.东北地区水稻主要株型性状比较分析[J].作物学报,2009,35(5):921-929.

(责任编辑:范杰英)