

淮北地区机插超级粳稻产量形成及氮素吸收利用特征

梁健 李晓峰 舒鹏 张洪程 霍中洋* 戴其根 许轲 魏海燕 郭保卫

(扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心/江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009;

第一作者: 365460342@qq.com; 通讯作者: huozy69@163.com)

摘要:为探究淮北地区不同氮肥水平下粳型超级稻产量形成及氮素吸收利用特征。在大田机插条件下,以常规中熟中粳超级稻和非超级稻(对照)为试材,设置3个氮肥水平即0、225、300 kg/hm²。从产量构成因素、干物质和氮素积累、茎蘖动态、叶面积指数等角度分析不同氮肥水平下粳型超级稻产量形成及氮素吸收利用特征。结果表明,随着氮肥施用量的增加超级稻平均产量呈增加趋势,对照产量则是先增加后减少。粳型超级稻最高产量平均值较对照最高产量平均值高10.98%。与对照相比,超级稻在3个氮肥水平下每穗粒数和群体颖花量高,结实率和千粒重与之相当;群体茎蘖移栽后早发快长,最终成穗率高;拔节前叶面积指数和光合势比对照低,拔节后比对照高,超级稻粒叶比在3个氮肥处理下均高于对照;拔节前,超级稻干物质积累量比对照低,而拔节至抽穗、抽穗至成熟阶段干物质积累量分别比对照高7.77%和6.96%;植株氮素阶段积累量和植株阶段吸收速率,移栽至拔节、拔节至抽穗、抽穗至成熟阶段超级稻均比对照高。淮北地区粳型超级稻籽粒产量在3个氮肥处理下均表现出明显的增产优势。超级稻移栽后叶面积指数、粒叶比和光合势较高,最终茎蘖成穗率高;穗型大,群体总颖花量高,穗后干物质积累量多;生育期相近的中熟中粳超级稻产量高于对照与其较强的氮素吸收特性有关。

关键词:中熟中粳;超级稻;产量;氮素吸收

中图分类号:S511.2+2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2016)04-0046-07

我国是人口大国,约有60%的人口以稻米为主食,因此水稻的高产栽培是我国水稻工作永恒的主题^[1-2]。农业部1996年启动“中国超级稻育种计划”,2005年开始实施超级稻新品种选育与示范推广项目,多年来取得了丰硕成果^[3]。超级稻是通过理想株型创造与杂种优势利用相结合选育的抗性强、品质优、单产高的新型水稻品种组合,有着巨大的增产潜力^[4]。淮北稻区为江苏省水稻生产的主要稻作区,但由于淮北地区地理位置的原因,使得淮北地区土壤地力分布不均,且当地普遍存在施肥不够合理的情况。在稻麦两熟种植制度下,淮北地区以种植中熟中粳水稻品种为主,但传统的常规粳稻品种繁多,经济效益不明显。近几年,随着超级粳稻的培育和推广,产量、品质、效益方面的优势明显,在淮北地区种植面积逐渐扩大。

在水稻生产上,氮肥投入是提高产量的主要栽培措施。但过量、盲目投入氮肥不仅不能带来高产,而且会降低水稻的产量和品质,污染环境,降低氮肥利用率,造成经济损失^[5-6],这与水稻生产“高产、优质、高效、生态、安全”的综合目标背道而驰。所以,通过研究该地区水稻合理的施氮水平和栽培技术,既能保证水稻产量又能保护环境、节约成本和提高农民收益。由于机械化设备制造水平的不断提高及农艺农机融合的进一步深入,机插稻已经成为我国稻作发展的主要方向^[7],淮

北地区水稻机插水平和面积得到大幅度提高。科学运用机插技术并配套适宜的品种类型对实现氮素的高效吸收和利用具有重要意义^[8]。因此,有必要研究该地区机插条件下超级粳稻产量形成特征及其对氮肥的响应,以期找到合理的施肥模式,为淮北地区机插水稻合理施氮提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 供试品种

选用品种为淮北地区普遍种植、生育期基本一致的4个中熟中粳水稻品种:连梗7号(153 d)、宁梗4号(155 d)、连梗4号(154 d)、武运梗21号(152 d)。连梗7号、宁梗4号为超级稻,连梗4号和武运梗21号为非超级稻(CK)。

1.2 试验设计

试验于2013年和2014年在扬州大学校外试验基地江苏省连云港市东海县平明镇,属北亚热带温湿气候区,雨水充沛,日照充足。试验土质为沙壤土,地力中等,前茬小麦。土壤含氮量为1.53 g/kg、碱解氮90.25

收稿日期:2016-04-04

基金项目:国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B03);扬州大学科技创新基金(2015CXJ042)

表 1 不同氮肥水平下不同类型品种水稻产量及其构成因素

施氮水平 (kg/hm ²)	品种类型	品种名称	穗数 (万/hm ²)	每穗粒数 (粒)	总颖花数 (万/hm ²)	结实率 (%)	千粒重 (g)	实际产量(kg/hm ²)	
								2013	2014
300	超级粳稻	连梗 7 号	296.04 cC	160.2 aA	48 021 aA	85.45 cB	25.6 bA	10 628.68 aA	10 736.13 aA
		宁梗 4 号	289.32 dC	157.3 aA	47 987 aA	86.14 bcAB	26.6 aA	10 574.80 aA	10 696.11 aA
	非超级粳稻	连梗 4 号	320.50 aA	138.7 bB	42 165 bB	88.45 aA	25.4 bA	9 350.24 bB	9 385.95 bB
		武运梗 21 号	308.43 bB	128.3 cB	40 451 cC	87.29 abAB	25.2 bA	9 013.00 cC	9 121.02 cC
225	超级粳稻	连梗 7 号	270.06 bB	145.1 aA	44 890 aA	88.12 cC	26.8 bAB	9 885.46 aA	9 976.05 aA
		宁梗 4 号	260.06 cC	136.8 bAB	44 396 bB	91.03 bB	27.2 aA	9 757.45 bB	9 858.59 aAB
	非超级粳稻	连梗 4 号	283.65 aA	130.6 bBC	43 976 cC	91.83 bAB	26.4 cB	9 613.24 cC	9 756.06 bBC
		武运梗 21 号	285.54 aA	121.1 cC	43 682 dD	93.19 aA	26.4 cB	9 449.92 dD	9 555.99 cC
0	超级粳稻	连梗 7 号	203.75 aA	129.2 aA	36 532 aA	96.24 aA	27.6 bB	8 296.79 aA	8 327.05 aA
		宁梗 4 号	190.43 aA	121.0 bAB	35 332 bB	96.94 aA	28.4 aA	8 213.40 bB	8 313.38 aA
	非超级粳稻	连梗 4 号	201.22 aA	113.8 bcB	34 054 dD	96.19 aA	27.2 cBC	7 803.18 cC	7 963.31 bB
		武运梗 21 号	197.74 aA	108.0 cB	34 982 cC	96.67 aA	27.0 cC	7 823.10 cC	7 945.71 bB

同列数据后不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著。下同。

mg/kg、速效磷含量 34.5 mg/kg、速效钾 88.5 mg/kg。采用裂区设计,以施氮量(纯 N)水平为主区,设置 3 个施氮水平,0、225、300 kg/hm² (分别用 N0、N225 和 N300 表示)。品种为裂区,裂区面积为 10 m²,品种随机排列,3 次重复,共 36 个小区。主区间做埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂体,保证各主区单独排灌。试验采用机插软盘育秧,2 年均于 5 月 30 日播种,6 月 20 日移栽机插。栽插密度为 28.5 万丛/hm²(11.7 cm×30.0 cm),每丛 4 苗。氮肥按基肥:蘖肥:穗肥=3:3:4 施用,其中穗肥分别于倒 4 叶和倒 2 叶叶龄期等量施入。此外,每个小区分别施 P₂O₅ 和 K₂O 各 135 kg/hm²,磷肥于前作收获后耕翻前基施,钾肥于耕翻前、拔节期分 2 次等量施入。其他管理措施按照常规栽培要求实施。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 茎蘖动态

在各处理小区定点 20 丛作为观察点,于有效分蘖叶龄期、拔节期、抽穗期、成熟期观察茎蘖消长动态。

1.3.2 叶面积和干物质

分别于拔节期、抽穗期、成熟期,每小区取代表性的植株 2 丛,用 LI-3000A 型自动叶面积仪测量植株叶面积。105℃下杀青 30 min,80℃烘干 72 h 后称质量,计算干物质量。

1.3.3 植株全氮测定

将拔节期、抽穗期、成熟期取样的 2 丛整株粉碎,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化,以半微量凯氏定氮法测定氮素含量。

1.3.4 产量的测定

成熟期每小区连续成片收割 60 丛,重复 3 次,脱粒、晒干,测定实际产量。每处理随机取 20 株成熟稻

穗,自然风干用于测定产量构成因素,即每穗粒数、结实率和千粒重。

1.4 数据处理

叶日积(m²·d) = 1/2(L₁+L₂)×(t₂-t₁)。式中 L₁ 和 L₂ 为前后 2 次测定的单位土地面积叶面积 (m²),t₁ 和 t₂ 为前后测定的时间(d)

氮素吸收量 (kg/hm²) = 该时期地上部干物质量×含氮率

氮素总吸收量 (kg/hm²) = 成熟期地上部干物质量×含氮率

氮素阶段吸收量(kg/hm²)=后一时期氮素吸收量-前一时期氮素吸收量

氮素阶段吸收速率 [kg/(hm²·d)] = 氮素阶段吸收量/前后两时期间隔的天数

氮素吸收利用率(%) = (施氮区植株总吸氮量-无氮区植株总吸氮量)/氮肥施用量×100

百千克籽粒吸氮量 (kg) = 总吸氮量/稻谷产量×100

使用 Microsoft Excel 2003 处理数据,用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 超级粳稻产量及构成因素

从表 1 可见,参试品种 2014 年产量较 2013 年稍高,2 年产量变化趋势一致,以 2014 年为例。2014 年,2 个超级粳稻品种均在 N300 水平达到最高产,平均为 10.72 t/hm²,极显著高于对照;而非超级粳稻品种在 N225 水平达到最高产,平均为 9.66 t/hm²;N0 水平下超级粳稻产量极显著高于对照。超级粳稻最高产量较对

表 2 不同氮肥水平下不同类型水稻品种茎蘖数及成穗率

施氮水平 (kg/hm ²)	品种类型	品种名称	茎蘖数(万/hm ²)				成穗率 (%)
			有效分蘖临界期	拔节期	抽穗期	成熟期	
300	超级梗稻	连梗 7 号	301.23 aA	386.32 bB	330.50 cC	296.04 cC	76.63 aA
		宁梗 4 号	301.54 aA	385.68 bB	334.50 dC	289.32 dC	75.02 bA
	非超级梗稻	连梗 4 号	314.54 aA	434.57 aA	355.43 aA	320.50 aA	69.15 cB
		武运梗 21 号	309.65 aA	432.53 aA	346.76 bB	308.43 bB	71.31 dB
225	超级梗稻	连梗 7 号	264.12 abA	345.76 aA	312.76 cA	270.06 bB	78.11 aA
		宁梗 4 号	254.56 bA	343.54 aA	313.32 bcA	260.06 cC	77.29 bA
	非超级梗稻	连梗 4 号	278.73 aA	350.43 aA	326.25 aA	283.65 aA	73.20 dB
		武运梗 21 号	268.87 abA	348.32 aA	321.47 abA	285.54 aA	74.36 cB
0	超级梗稻	连梗 7 号	198.51 bB	240.34 bcAB	219.25 bcB	203.75 aA	84.77 aA
		宁梗 4 号	187.46 cC	231.43 cB	218.43 cB	190.43 aA	82.28 bA
	非超级梗稻	连梗 4 号	208.65 aA	254.56 aA	224.32 aA	201.22 aA	79.05 cB
		武运梗 21 号	201.67 bAB	246.76 abAB	221.43 bAB	197.74 aA	80.13 cB

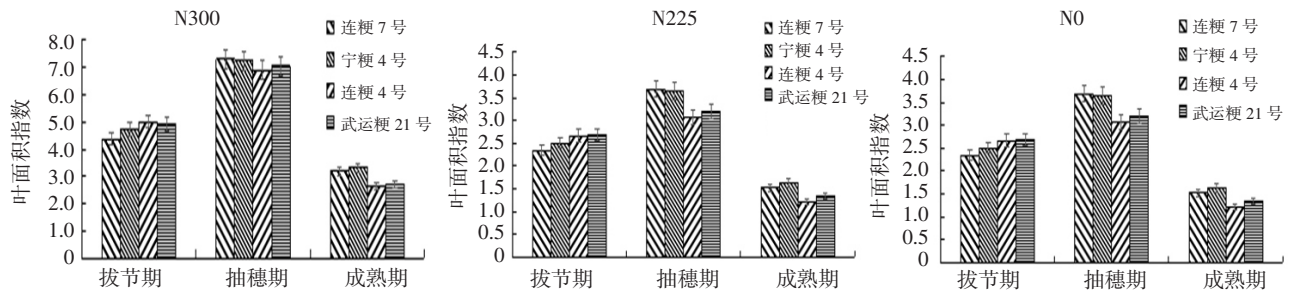


图 1 不同氮肥水平下不同类型水稻品种各生育期的叶面积指数

照最高产量高 10.98%, 差异极显著。说明超级梗稻增产潜力高, 需氮量更大, 非超级梗稻氮肥的过量投入并不能引起产量大幅度提高, 甚至还会使产量降低。

3 个氮肥水平下, 超级梗稻单位面积穗数低于对照, 在 N0 水平差异不显著, 在 N300 和 N225 水平达极显著差异。随着施氮量的增加, 超级梗稻和对照的穗粒数和总颖花数均增多, 但同一氮肥水平下超级梗稻比对照表现出明显的优势, 说明提高穗粒数、总颖花量均能促进产量的提高。与对照相比, 不同氮肥处理下超级梗稻千粒重略高, 结实率略低, 且均随施氮量的增加而降低。因此, 在生产上通过肥水管理、调控等措施, 在稳定穗数的基础上培育大穗提高颖花数, 保持稳定的结实率和千粒重, 是机插超级梗稻夺取高产的重要方法。

2.2 超级梗稻的群体特征

2.2.1 群体茎蘖动态特征

超级梗稻各生育时期的茎蘖数和最终穗数较普通梗稻少, 拔节后超级梗稻茎蘖下降较平缓, 最终有效穗数稳定, 成穗率高(表 2)。在 N300 水平, 除有效分蘖临界期外, 其余各生育期超级梗稻与非超级梗稻茎蘖数差异极显著, 成熟期超级梗稻茎蘖数较对照平均低 6.93%; 在 N225 水平, 拔节后超级梗稻与对照茎蘖数表现出显著或极显著差异; 在 N0 水平, 成熟期茎蘖数

两者差异不明显。超级稻各氮肥处理的茎蘖成穗率均高于对照, 最高茎蘖成穗率(N0 水平下)相对对照最高成穗率(N0 水平下)平均高 5.01%, 达极显著水平。由此可以看出, 超级梗稻群体在拔节期后分蘖更稳定, 在获得较高穗数的前提下是通过提高群体的茎蘖成穗率来获得高产的。

2.2.2 群体叶面积指数、叶面积率、粒叶比和光合势

3 个氮肥处理下, 超级梗稻拔节期的叶面积指数比对照低, 拔节后叶面积指数比对照高(图 1)。抽穗期 4 个水稻品种叶面积指数达到最大, 但超级梗稻群体叶面积最大值(N300)较对照群体叶面积最大值(N300)高, 增幅达 4.10%。抽穗以后, 超级梗稻和对照群体叶面积平缓降低, 但超级梗稻叶面积至成熟期仍保持在较高水平, 且极显著高于对照。

超级梗稻在 N300 水平有效叶面积率和高效叶面积率达到最大值, 分别为 94.36% 和 78.11%, 比对照高 3.9% 和 8.11%, 达极显著水平; 对照在 N225 水平略高于超级梗稻, 但差异不显著(表 3)。本试验用粒叶比表示库源比。3 个氮肥水平下, 超级梗稻的颖花/叶、实粒/叶、粒重/叶均比对照高, 达到显著或极显著水平, 随着施氮量的提高, 超级梗稻的粒叶比增加, 而对照粒叶比则表现出先增加后降低的趋势, 对照在 N225 水平最

表 3 不同氮肥水平下不同类型水稻品种的叶面积率、粒叶比和各生育阶段的光合势

施氮水平 (kg/hm ²)	品种类型	品种名称	有效	高效	粒叶比			光合势(m ² ·d)		
			叶面积率 (%)	叶面积率 (%)	颖花/叶 (朵/cm ²)	实粒/叶 (粒/cm ²)	粒重/叶 (mg/cm ²)	移栽-拔节	拔节-抽穗	抽穗-成熟
300	超级粳稻	连梗 7 号	94.21 aA	78.48 aA	0.602 aA	0.528 aA	13.43 aA	99.35 dC	216.32 aA	283.54 bA
		宁梗 4 号	94.51 aA	77.73 bA	0.592 aA	0.520 aA	13.26 aA	104.23 cB	215.68 abA	285.52 aA
	非超级粳稻	连梗 4 号	90.45 bB	72.34 cB	0.532 bB	0.462 bB	12.65 bB	110.44 aA	214.92 bAB	257.72 dC
		武运梗 21 号	91.18 bB	72.15 cB	0.521 bB	0.457 bB	12.50 bB	105.84 bB	213.58 cB	263.04 cB
225	超级粳稻	连梗 7 号	92.61 aA	73.65 aA	0.581 aA	0.502 aA	13.06 aA	77.74 cB	187.54 aA	263.83 bB
		宁梗 4 号	92.55 aA	73.59 aA	0.575 abA	0.504 aA	13.01 aA	76.69 dB	186.20 bAB	266.99 aA
	非超级粳稻	连梗 4 号	93.13 aA	73.69 aA	0.566 bAB	0.488 bB	12.87 bB	85.79 aA	185.26 cB	230.21 dD
		武运梗 21 号	92.52 aA	73.62 aA	0.554 cB	0.467 cC	12.71 bB	84.60 bA	182.70 dC	236.62 cC
0	超级粳稻	连梗 7 号	86.38 bB	68.32 aA	0.485 aA	0.423 aA	12.08 aA	76.44 aA	175.01 aA	230.06 aA
		宁梗 4 号	87.29 aA	67.93 aAB	0.486 aA	0.427 aA	11.92 bB	73.82 bB	169.56 bB	223.19 bB
	非超级粳稻	连梗 4 号	83.46 cC	66.37 bC	0.459 bB	0.404 cB	11.72 cC	69.20 cC	164.11 cC	216.33 cC
		武运梗 21 号	83.33 cC	66.72 bBC	0.455 bB	0.411 bB	11.67 dC	65.59 dD	158.66 dD	209.47 dD

表 4 不同氮肥水平下不同类型品种阶段干物质积累量及比例

施氮水平 (kg/hm ²)	品种类型	品种名称	总生物量 (t/hm ²)	移栽-拔节		拔节-抽穗		抽穗-成熟	
				积累量(t/hm ²)	比例(%)	积累量(t/hm ²)	比例(%)	积累量(t/hm ²)	比例(%)
300	超级粳稻	连梗 7 号	20.0 aA	4.24 dC	21.20	8.65 aA	43.23	7.11 bB	35.57
		宁梗 4 号	20.1 aA	4.29 cB	21.34	8.56 bA	42.57	7.26 aA	36.10
	非超级粳稻	连梗 4 号	19.6 bB	4.69 bA	23.93	8.05 cB	41.05	6.86 cC	35.02
		武运梗 21 号	19.2 cC	4.72 aA	24.56	7.91 dC	41.22	6.57 dD	34.22
225	超级粳稻	连梗 7 号	18.1 aA	4.04 aA	22.32	7.70 aA	42.56	6.36 aA	35.12
		宁梗 4 号	17.4 bB	4.06 aA	23.34	7.35 bB	42.23	5.99 cC	34.43
	非超级粳稻	连梗 4 号	17.2 cBC	3.97 bA	23.05	7.06 cC	41.03	6.108 bB	35.91
		武运梗 21 号	17.0 dC	3.99 bA	23.48	7.01 cC	41.24	6.00 cC	35.28
0	超级粳稻	连梗 7 号	13.5 aA	3.53 aA	26.12	5.77 aA	42.75	4.20 aA	31.13
		宁梗 4 号	13.4 aA	3.65 aA	27.23	5.54 bB	41.33	4.21 aA	31.44
	非超级粳稻	连梗 4 号	13.0 bB	3.70 aA	28.43	5.24 cC	40.33	4.06 cC	31.24
		武运梗 21 号	12.8 bC	3.53 aA	27.55	5.12 dD	40.01	4.15 bB	32.44

高,与产量规律一致。

叶日积表现出与叶面积类似的规律。拔节前,对照的叶日积比超级粳稻高,拔节后超级粳稻较对照略高,在 N0 水平差异极显著。抽穗至成熟阶段,超级粳稻和对照的叶日积均在 N300 水平达到最大值,但前者比后者高 9.28%,达极显著水平。

2.2.3 群体干物质积累及比例

拔节前,N0 和 N225 处理下超级粳稻和对照干物质积累量差异不明显,在 N300 处理下对照干物质积累量极显著高于超级粳稻,增幅达 10.27%(表 4)。3 个氮肥水平下,对照干物质积累比例均显著或极显著高于超级粳稻。拔节至抽穗期阶段,超级粳稻和对照干物质积累量均有增加,在 N300 水平达最大值,且超级粳稻群体的干物质积累速度更快。超级粳稻在 N0、N225、N300 处理下较对照分别高 4.66%、3.05%、4.28%,平均高 4.00%,达显著水平。抽穗至成熟阶段,随着施氮量的增加,超级粳稻干物质积累比例增加,而对照呈先增加后降低的趋势。N300 水平下,对照群体平均干物质

积累量达 6.72 t/hm²,超级粳稻群体平均干物质积累量达 7.18 t/hm²,比对照平均高 7.96%,差异达极显著水平。超级粳稻总干质量较对照高 3.35%~4.26%,平均高出 3.81%,达显著水平。这说明超级粳稻群体在拔节前干物质积累量较低,而生育中后期干物质积累量优势明显,且高氮条件下更利于干物质积累。

2.3 超级粳稻氮素积累特征

2.3.1 氮素阶段积累量及比例

由表 5 可以看出,3 种氮肥水平下超级粳稻总吸氮量均明显高于对照,3 个氮肥处理下平均高 13.16%。移栽至拔节期,在 N0 水平超级粳稻氮素积累量低于对照,而在 N225 和 N300 水平高于对照。拔节至抽穗阶段超级粳稻施氮区氮素积累量迅速增加,而对照则增加不明显或下降,说明拔节后超级粳稻的吸氮量明显高于非超级粳稻。抽穗至成熟阶段超级粳稻氮素积累量仍高于对照,在 N300 水平差异尤其明显,平均高 20.6%。

不同类型品种间,拔节前超级粳稻吸氮比例较对

表 5 不同氮肥水平下不同类型品种水稻阶段氮素积累量及比例

施氮水平 (kg/hm ²)	品种类型	品种名称	积累量 (kg/hm ²)	移栽-拔节		拔节-抽穗		抽穗-成熟	
				积累量(t/hm ²)	比例(%)	积累量(t/hm ²)	比例(%)	积累量(t/hm ²)	比例(%)
300	超级粳稻	连梗 7 号	217.51 aA	85.07 aA	39.11	94.60 aA	43.49	37.85 aA	17.4
		宁梗 4 号	213.34 bB	82.29 bB	38.57	94.15 aA	44.13	36.91 bA	17.3
	非超级粳稻	连梗 4 号	180.34 cC	72.88 cC	40.41	76.99 bB	42.69	30.48 cB	16.9
		武运梗 21 号	176.60 dC	72.18 dC	40.87	74.16 cC	41.99	30.27 cB	17.14
225	超级粳稻	连梗 7 号	165.41 aA	66.61 aA	40.27	68.58 aA	41.46	30.22 aA	18.27
		宁梗 4 号	162.13 bAB	65.42 abAB	40.35	67.23 bA	41.47	29.48 aAB	18.18
	非超级粳稻	连梗 4 号	158.02 cBC	65.80 bcAB	41.64	64.23 cB	40.65	27.99 bB	17.71
		武运梗 21 号	155.09 dC	64.75 cB	41.75	63.22 dB	40.76	27.13 bB	17.49
0	超级粳稻	连梗 7 号	99.50 aA	42.11 aA	42.32	35.29 aA	35.47	21.41 bA	21.52
		宁梗 4 号	98.27 bB	42.27 aA	43.01	34.07 bA	34.67	21.93 aA	22.32
	非超级粳稻	连梗 4 号	90.55 cC	40.33 bAB	44.54	31.00 cB	34.23	19.22 cB	21.23
		武运梗 21 号	84.35 dD	38.03 cB	45.09	28.75 dC	34.08	17.57 dC	20.83

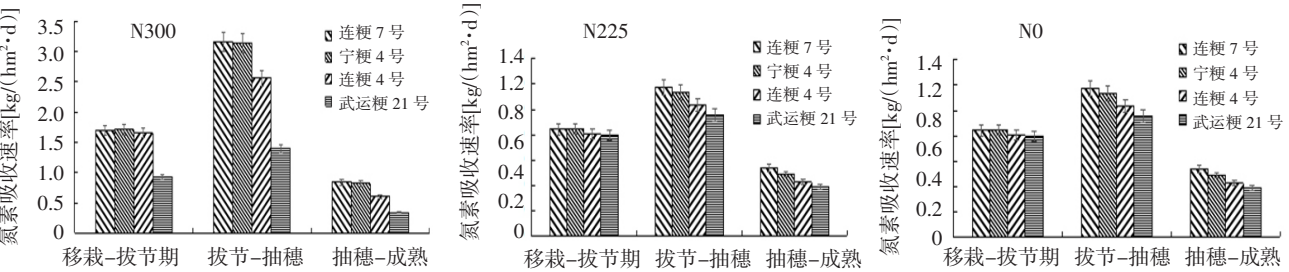


图 2 不同氮肥水平下不同类型品种水稻氮素阶段吸收速率差异

照低,拔节后超级粳稻吸氮量比对照高。随着施氮量的增加,移栽至拔节阶段超级粳稻和对照氮素积累比例均表现为下降趋势;拔节至抽穗阶段则表现为增加趋势;抽穗至成熟阶段表现为减少的趋势。从表 5 还可看出,不同品种水稻氮吸收比例均以抽穗至成熟期最小,而拔节至抽穗期的氮肥积累量及比例与籽粒产量有关。

2.3.2 氮素阶段性吸收速率的差异

从图 2 可以看出,N0 和 N300 处理下 3 个生育阶段水稻氮素吸收速率均表现为超级粳稻高于对照。在 N225 处理下,移栽至拔节期,抽穗至成熟期氮素吸收率两者差异不明显,而拔节至抽穗期超级粳稻显著高于对照。氮素吸收速率以拔节至抽穗期最大,对照平均为 1.70 kg/(hm²·d),超级粳稻平均为 2.19 kg/(hm²·d),比对照高 28.66%。抽穗至成熟期氮素吸收速率最小,超级粳稻平均比对照高 22.50%,达极显著水平。

3 讨论

3.1 超级粳稻在不同施氮水平下产量构成因素的协同关系

本试验研究表明,随着施氮量的增加超级粳稻产量显著增加。大量研究显示,颖花数与产量呈正相关^[9-11]。本试验对 3 个氮肥水平下的颖花数进行比较分析,

得到的结论和其他学者的研究结果一致,且在 N300 条件下超级粳稻的颖花数达 4.80×10⁸ /hm²,达到杨建昌等^[12]提出的超高产水稻的颖花量需要超过 4.50×10⁸ /hm² 的要求。水稻产量由单位面积颖花数(单位面积穗数×每穗粒数)、结实率和千粒重组成,即库容和充实度决定。张军等^[13]对淮北区超级稻产量形成的研究表明,在地力中等条件下,随着施氮量的增加(0~300 kg/hm²),单位面积穗数和每穗粒数均增加。葛梦婕等^[14]的研究也表明,当施氮量在 0~300 kg/hm² 之间时,随着施氮量的增加单位面积穗数和每穗粒数增加。本研究表明,施氮量从 0 到 300 kg/hm²,超级粳稻的单位面积穗数增加,每穗粒数增加,与前人研究结果一致。关于水稻在不同施氮水平下的千粒重和结实率规律,前人研究结果不一,且变化往往较小^[15-16],因此在水稻生产中常常将其忽略。但是从以往超级稻高产栽培的实践来看,保持库容与充实的协调,尤其是穗粒数与千粒重的关系,仍有一定的产量潜力可挖掘。吴文革等^[10]通过对 5 个籼型超级稻品种籽粒库容特征的分析提出“培育大穗是超级稻扩大库容的主要途径”。本试验研究表明,淮北区超级稻施氮量从 0 到 300 kg/hm²,结实率下降,千粒重上升。由此可见,高氮水平下的超级粳稻较之低氮水平有相对更大的库容从而获得更高的充实量,因此千粒重和结实率对产量的作用也不容忽视。

3.2 淮北地区超级粳稻 N300 水平下的群体生长特征

关于不同生育类型水稻品种氮肥高效高产和群体特征的研究前人已经做过很多^[17]。魏海燕等^[18]对早熟晚粳超级稻的研究表明,早熟晚粳稻施氮量在 300 kg/hm² 条件下能获得最高产。孟天瑶等^[19]研究表明,杂交粳稻群体最高生产力对应的施氮量集中在 225~262 kg/hm²,常规粳稻在 300 kg/hm² 左右,杂交粳稻和粳粳杂交稻在 262~300 kg/hm²。在本研究中,超级粳稻在施氮量为 300 kg/hm² 时产量最高,达到 10.72 t/hm² 以上。

本试验研究表明,N300 水平下,超级粳稻生育前期分蘖低于非超级粳稻,虽干物质生产量较低,但有效控制了无效分蘖的增长。拔节后无效分蘖逐渐消亡,群体生长环境适宜,有效分蘖趋于稳定。表现在叶面积指数、叶日积、干物质积累、粒叶比等显著高于非超级粳稻。超级粳稻成熟期干物质质量及抽穗至成熟阶段干物质积累量显著增加,与凌启鸿等^[20]认为的“要提高产量,关键是提高抽穗至成熟期的干物质积累”吻合,这也是现代超级稻品种夺取高产的重要原因。茎蘖成穗率作为衡量水稻群体质量的综合指标,成熟期超级粳稻的茎蘖成穗率较非超级粳稻高,可显著提高产量^[21-23]。因此,在 N300 水平下,超级粳稻有利于协调水稻群体各指标,具有极大的增产潜力。此外,还需配套相应更优化的栽培技术,着眼于结实期的高光效和光积累,尽可能的压缩群体的起点和前期的总生长量,为经济器官分化形成期各器官的健壮发展让出空间。通过壮个体去发展群体,最后达到高产群体所具备的各项质量指标要求。

3.3 淮北地区超级粳稻与非超级粳稻氮素吸收利用差异及超级粳稻经济最佳施氮量

有关水稻品种群体间氮素吸收利用差异的研究已经有很多^[24-28]。殷春渊等^[29]认为,仅依靠成熟期的氮素利用指标来反映水稻自身的氮素吸收特性具有一定的局限性,需研究其具体生育期的吸氮特性,才能全面评价水稻品种间氮素吸收差异。本试验中超级粳稻各生育时期氮素积累量及氮素吸收速率均高于非超级粳稻,说明超级粳稻有更强的氮素吸收能力。相关研究表明,无论粳稻还是籼稻,植株阶段吸氮量和产量呈正相关关系。李敏等^[30]研究表明,非超级粳稻在 N262 时产量最高,在 N300 水平下由于吸氮量过多,会导致无效分蘖过多或倒伏,反而造成产量降低。超级粳稻由于较高的吸氮量和氮肥利用率,在 N300 时产量更高。本试验表明,非超级粳稻在 N225 时更易获得高产,而对于超级粳稻,N225 至 N300 时产量并未出现拐点,仍呈上

升态势,适当再增加氮肥的用量产量也更高。这进一步说明超级稻较强的氮素吸收能力是其高产潜力大的生理基础。

淮北地区地理条件独特,农民在对氮肥的使用上往往要比其他地区更多。有研究表明,江苏省淮北地区平均施氮量为 266.4 kg/hm²,苏南地区平均施氮量为 230.1 kg/hm²,淮北地区比苏南地区高出 15.8%^[31]。但是在实际的水稻生产中,获得最高产量的施氮量,并不一定能使农户获得最高的经济收益。笔者在江苏省淮北地区几个市、县的走访调查得到的数据,常规 50 kg 规格的尿素(氮素含量为 46.3%)平均价格在 95 元。2015 年江苏省水稻最低收购价格为每 kg 3.10 元。结合尿素平均价格、水稻最低收购价格及 2015 年超级稻实产平均值,对淮北地区超级稻在 N225 和 N300 时的经济效益进行分析,N300 时超级稻总收入 33 220.0 元/hm²,N225 时为 30 743.7 元/hm²。减去多施氮肥的成本,N300 水平比 N225 水平每 hm² 多收入 1 860.7 元,效果明显。由此可见,淮北地区超级粳稻的经济最佳施氮量应维持在 300 kg/hm² 左右。

4 结论

淮北超级粳稻籽粒产量在 3 个氮肥处理下均较非超级粳稻表现出明显的增产优势。超级粳稻穗型大,群体总颖花量高,移栽后早发快长,叶面积指数、粒叶比和叶日积较高,花后干物质积累量多。超级粳稻较强的氮素吸收积累能力是其高产形成的重要营养学基础。

参考文献

- [1] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J]. 中国稻米,2005(1):3-7.
- [2] 王志敏,王树安. 发展超高产技术,确保中国未来 16 亿人口的粮食安全[J]. 中国农业科技导报,2000,2(7):8-11.
- [3] 陈温福,徐正进,唐亮. 中国超级稻育种研究进展与前景[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(6):643-649.
- [4] 程式华,曹立勇,陈深广,等. 后期功能型超级杂交稻的概念及生物学意义[J]. 中国水稻科学,2005,19(3):280-284.
- [5] Ramasamy S, Ten Berge H F M, Purushothaman S. Yield formation in rice in response to drainage and nitrogen application [J]. *Field Crop Res*, 1997, 51: 65-82.
- [6] 巨晓棠,谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [7] 张洪程,龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J]. 中国农业科学,2014,47(7):1 273-1 289.
- [8] 霍中洋,李杰,张洪程,等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性[J]. 作物学报,2012,38(10):1 908-1 919.
- [9] 张洪程,马群,杨雄,等. 水稻品种氮肥群体最高生产力及其增长规律[J]. 作物学报,2012,38(1):86-98.

- [10] 霍中洋, 顾海永, 马群, 等. 不同氮肥群体最高生产力水稻品种的氮素吸收利用差异[J]. 作物学报, 2012, 38(11): 2 061-2 068.
- [11] 吴文革, 张洪程, 吴桂成, 等. 超级稻群体籽粒库容特征的初步研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 250-257.
- [12] 杨建昌, 杜永, 吴长付, 等. 超高产粳型水稻生长发育特性的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1 336-1 345.
- [13] 张军, 张洪程, 戴其根, 等. 淮北不同地力水平麦茬田上施氮量对超级稻产量形成的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2 297-2 305.
- [14] 葛梦婕, 王亚江, 颜希亭, 等. 长江中下游稻区粳型超级稻高产形成及氮素利用的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 259-270.
- [15] Yoshida H, Horie T, Shiraiwa T. A model explaining genotypic and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-locational experiments in Asia[J]. *Field Crop Res*, 2006, 97: 337-343.
- [16] 黄育民, 陈启锋, 李义珍. 我国水稻品种改良过程库源特征的变化[J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(3): 271-278.
- [17] 慕永红, 孙海燕, 孙建勇, 等. 不同施氮比例对水稻产量与品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2000(3): 18-19.
- [18] 魏海燕, 王亚江, 孟天瑶, 等. 机插超级粳稻产量、品质及氮肥利用率对氮肥的响应[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 488-496.
- [19] 孟天瑶, 许俊伟, 邵子彬, 等. 甬优系列粳杂交稻氮肥群体最高生产力的优势及形成特征[J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1 711-1 725.
- [20] 凌启鸿, 张洪程, 丁艳峰. 水稻丰产高效技术及理论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [21] 凌启鸿, 苏祖芳, 张海泉. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究[J]. 作物学报, 1995, 21(3): 463-469.
- [22] 苏祖芳, 张娟, 王辉斌, 等. 水稻群体茎蘖动态与成穗率和产量形成关系的研究[J]. 江苏农学院学报, 1997, 18(1): 36-41.
- [23] 凌励. 机插水稻分蘖发生特点及配套高产栽培技术改进的研究[J]. 江苏农业科学, 2005(3): 14-19.
- [24] 万靚军, 霍中洋, 龚振恺, 等. 氮肥运筹对杂交稻主要品质性状及淀粉 RVA 谱特征的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(2): 175-182.
- [25] 刘立军, 薛亚光, 孙小淋, 等. 水分管理方式对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(3): 282-288.
- [26] 梁天锋, 徐世宏, 刘开强, 等. 栽培方式对水稻氮素吸收利用与分配特性影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 20-26.
- [27] 董桂春, 于小凤, 赵江宁, 等. 不同穗型常规粳稻品种氮素吸收利用的基本特点[J]. 作物学报, 2009, 35(11): 2 091-2 100.
- [28] Jing J, Yamamoto Y, Wang Y L, et al. Genotypic differences in grain yield, and nitrogen absorption and utilization in recombinant inbred lines of rice under hydroponic culture[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 2006, 52: 321-330.
- [29] 殷春渊, 魏海燕, 张庆, 等. 不同氮肥水平下中熟粳稻和粳稻产量、氮素吸收利用差异及相互关系[J]. 作物学报, 2009, 35(2): 348-355.
- [30] 李敏, 张洪程, 杨雄, 等. 水稻高产氮高效型品种的物质积累与转运特性[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 101-109.
- [31] 马立珩. 江苏省水稻、小麦施肥现状的分析与评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.

The Yield Formation, Nitrogen Absorption and Utilization of Mechanical Transplanting Super Japonica Rice in Huaibei Area

LIANG Jian, LI Xiaofeng, SHU Peng, ZHANG HongCheng, HUO ZhongYang*, DAI QiGen, XU Ke, WEI HaiYan, GUO BaoWei

(Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze River Valley, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 1st author: 365460342@qq.com; *Corresponding author: huozy69@163.com)

Abstract: The aim for this study was to research the yield formation and characteristics of nitrogen utilization about super japonica rice in Huaibei Area. A field experiment was conducted using medium-maturing medium super japonica rice and non-super japonica rice cultivars(contrast) as materials, investigating the effects of different nitrogen application levels (0, 225, 300 kg/hm²). The results showed that, with the increase of N application amount, the grain yield of super japonica rice increased continuously. The highest average grain yield of the super japonica rice cultivars was 10.98% higher than that of the contrast. Compared with the contrast, more grains per panicle and population spikelets (4.8×10⁸/hm²) were observed in super japonica rice, with the same level of seed setting rate and thousand seed weight. The numbers of stems and tillers of super japonica rice grow earlier and faster, and the percentage of productive tillers was higher. The leaf area index and photosynthetic potential of super japonica rice was relatively low before jointing stage, and increased significantly after jointing stage. Compared with the contrast, the grain-leaf ratio of super japonica rice was higher in 3 nitrogen application levels. Compared with the contrast, the dry matter accumulation of super japonica rice was relatively lower before jointing stage, but 7.77% higher at jointing-heading stage, 6.96% higher at heading-maturity stage respectively. The N accumulations and N uptake rates of super japonica rice were higher than the contrast at every stage. This study showed that, in 3 nitrogen application levels, the super japonica rice showed obvious advantage to production in Huaibei Area. Compared with the non-super japonica rice, super japonica rice has more grains per panicle and population spikelets. And the leaf area index, photosynthetic potential, grain-leaf ratio, total dry matter accumulation and percentage of productive tillers were high. The reason why the yield of medium-maturing medium super japonica rice is higher than the contrast with similar growth period related to its strong characteristics of nitrogen absorption.

Key words: medium-maturing medium japonica; super japonica rice; yield; N uptake