

不同产量水平超级杂交稻产量形成特征及其对施肥量的响应

程慧煌¹ 商庆银¹ 易振波¹ 郑厚亮² 曾勇军^{1*}

(¹ 江西农业大学 双季稻现代化生产协同创新中心/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室, 南昌 330045; ² 江西省成新农场, 南昌 330125; 第一作者: 805723624@qq.com;

* 通讯作者: 13979101602@163.com)

摘 要: 为了探究不同产量水平超级杂交稻产量形成特征及其对施肥量的响应, 以超级杂交稻两优培九、Y 两优 1 号、Y 两优 2 号、Y 两优 900 和超优千号为供试材料, 研究不同施肥水平 (纯 N 用量分别为 0、210、300 和 390 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O = 2:1:2, 以 F0、F1、F2、F3 表示) 对各品种产量及群体质量的影响。结果表明, 在施肥水平为 F0 和 F1 时, Y 两优 2 号的产量比两优培九和 Y 两优 1 号高, 主要表现在其具有较高的有效穗数, 以及茎蘖成穗率、叶面积指数、干物质积累量和收获指数; 在施肥水平为 F2 和 F3 时, Y 两优 900 和超优千号产量较高, 主要表现在其具有较高的每穗粒数, 以及粒叶比和收获指数。在不同施肥水平下, 随着施肥量的增加各品种的每穗粒数、粒叶比和收获指数呈先增后降的趋势, 有效穗数和叶面积指数呈增加的趋势 (两优培九除外)。由上可知, 在相对较低的施肥水平下, Y 两优 2 号相比于两优培九和 Y 两优 1 号能获得更高产量, 主要依靠的是其具有较高的有效穗数; 而在较高的施肥水平下, Y 两优 900 和超优千号更具有获得高产的潜力, 且主要依靠较高的每穗粒数, 较低的有效穗数是限制其获得更高产的主要原因。

关键词: 施肥量; 超级杂交稻; 产量; 群体质量

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)04-0081-08

水稻是我国最重要的粮食作物之一^[1]。水稻的种植面积有限, 人口数量却日益增长, 这就必须提高水稻单位面积产量来提高总产, 因此, 高产、更高产的超级稻应运而生。超级稻产量的不断提升, 主要靠增加有效穗数来获得高产, 并逐渐转向大穗型来实现超高产的突破。超级杂交稻能不断突破高产, 首先与其群体质量指标不断优化有关。前人研究表明, 水稻分蘖发生^[3-4]、叶面积指数^[5-6]、粒叶比^[7-8]、干物质积累^[7, 9-10]、收获指数^[11-12]等群体质量指标都是获得高产的重要前提, 其中, 肥料增施对水稻产量和群体质量变化起着显著影响。在以往的研究中, 大多针对施氮量对水稻产量构成、株型特征和生理性状等指标的影响^[13-17], 但对不同时期超级杂交稻产量形成特征及其对施肥水平响应的研究却不多见。因此, 本文在不同施肥量条件下进行试验, 比较分析五期超级杂交稻代表品种的产量形成特征和群体质量的差异, 阐明施肥量对超级杂交稻群体质量的调控机制, 并为超级杂交稻超高产栽培和育种提供技术支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2015-2016 年在江西省成新农场 (116°15′ E, 28°92′ N) 进行, 供试土壤类型为沙壤土。土壤基本理化性质: pH 值 5.3、全氮 1.4 g/kg、有机质 24.4 g/kg、有效磷 12.7 mg/kg、速效钾 123.0 mg/kg。

1.2 试验设计

以超级杂交稻研究各个时期具有代表性的品种两优培九、Y 两优 1 号、Y 两优 2 号、Y 两优 900 和超优千号 (湖南杂交水稻研究中心提供) 为试验材料, 其理论产量分别为 10.5、12.0、13.5、15.0、16.0 t/hm²。施肥水平设 4 个梯度, 分别以 F0、F1、F2、F3 表示, 其中氮肥 (纯 N) 施用量分别为 0、210、300 和 390 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O=2:1:2 (例如, 施 N 量为 210 kg/hm² 时, P₂O₅ 为 105 kg/hm², K₂O 为 210 kg/hm²)。采用裂区设计, 以肥料为

收稿日期: 2017-06-25

基金项目: 超级杂交稻不同生态区多点联合试验协作项目; 江西省科技计划项目 (20161BAB214174); 江西省重点研发专项 (20161ACF60013)

主区,品种为副区,3次重复,各小区面积30 m²。各小区间采用塑料薄膜包埂,避免窜肥。所施氮肥依据含氮率折合成尿素,按基肥:分蘖肥:穗肥=4:2:4的比例施用,其中基肥在移栽前1 d施,分蘖肥于移栽后7 d施,穗肥于幼穗分化Ⅳ期施。过磷酸钙作基肥一次性施入,钾肥50%作为基肥、50%作穗肥。当秧苗达到4.5叶龄左右时人工移栽,移栽规格20 cm×30 cm,每丛2苗,其他管理措施均按照相同的高产栽培方式进行。

为尽量保证各品种的抽穗扬花期(2015年8月19日左右,2016年8月22日左右)和成熟期(2015年10月10日左右,2016年10月12日左右)在相同时间,5个品种采取分期播种的方式。2015年Y两优900和超优千号于5月18号播种,两优培九、Y两优1号、Y两优2号于5月23号播种,6月11号5个品种同时移栽;2016年Y两优900和超优千号于5月19号播种,两优培九、Y两优1号、Y两优2号于5月24号播种,6月17号5个品种同时移栽。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 产量及产量构成

在未取样的区域收割60丛(6行10列),装入大网袋,晒干后人工脱粒,然后放入大水桶中水选,对下沉的饱满谷粒进行烘干称重,即实际产量;在收割前各小区调查50丛计算有效穗数,同时从各小区取5丛,重复3次,考察穗粒结构。

1.3.2 茎蘖动态

移栽后每7 d定点调查各小区15丛茎蘖数,直至茎蘖数趋于稳定。

1.3.3 干物质质量、收获指数与叶面积指数

分别于始穗期、乳熟期和成熟期取样,各小区取5丛(按群体平均茎蘖数取样),在室内进行分样并测定叶面积(采用小样叶面积法),然后在105℃下杀青30 min,并于80℃下烘干至恒质量,最后称重并计算干物质质量。成熟期干物质即为总生物量,收获指数为成熟期穗质量/总生物量。其中,在始穗期测定总叶面积、有效叶面积(有效分蘖的叶面积)和高效叶面积(有效分蘖顶部3张叶片的叶面积)。

1.3.4 粒叶比

粒叶比有3种表示形式,即颖花数/叶面积、实粒数/叶面积、粒质量/叶面积,颖花数、实粒数、粒质量分别指总颖花数、总实粒数、总粒质量,叶面积指始穗期叶面积。

1.4 数据分析

试验数据采用Origin 9.0作图,Microsoft Excel 2010、DPS 7.5进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种产量及其构成

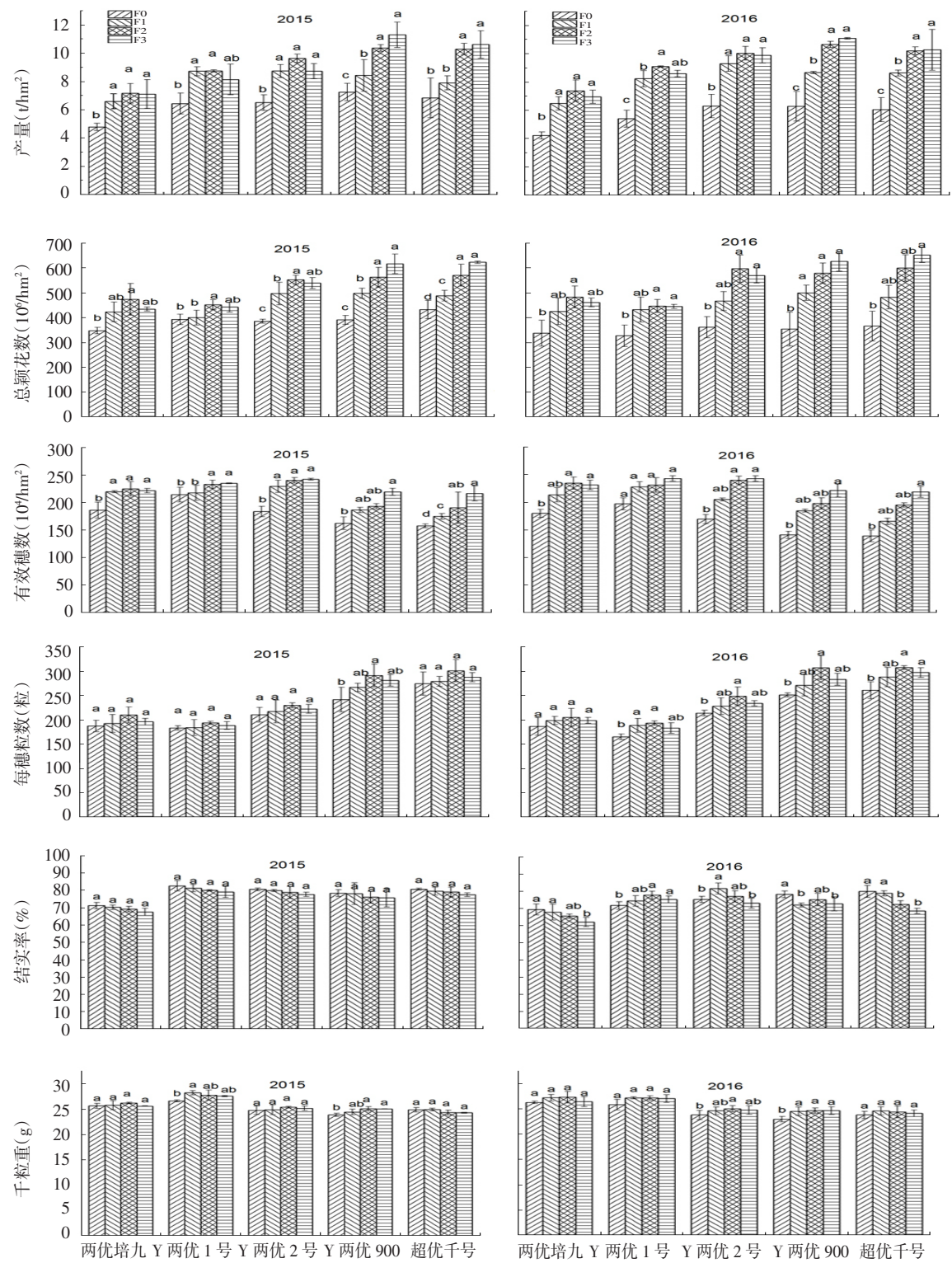
从图1可见,施肥量和品种对产量和产量构成因子都有显著影响($P<0.05$)。两优培九、Y两优1号和Y两优2号的产量均随着施肥量的增加呈先增加后降低的趋势,在施肥水平为F2时最高,2年平均单产分别为7.28 t/hm²、8.92 t/hm²、9.97 t/hm²;Y两优900和超优千号产量在施肥水平为F3时最高,2年平均产量分别为11.20 t/hm²、10.45 t/hm²;在施肥水平为F0和F1时Y两优2号产量最高,两优培九产量最低,且显著低于其他品种;在施肥水平为F2和F3时,Y两优900和超优千号产量较高,两优培九和Y两优1号产量显著低于Y两优2号、Y两优900和超优千号。可见,在较低施肥水平下(F0和F1)Y两优2号表现出较高的产量,而Y两优900和超优千号在较高的施肥水平才能获得更高的产量。

从图1可见,除两优培九外,其他品种的有效穗数均随着施肥量的增加而增加,在施肥水平为F0、F1和F2时,Y两优900和超优千号的有效穗数显著低于两优培九、Y两优1号和Y两优2号;在施肥水平为F3时,Y两优900和超优千号的有效穗数仍低于两优培九、Y两优1号和Y两优2号,且显著低于Y两优2号。在每穗粒数方面,各品种的每穗粒数均随着施肥量的增加呈先增后降的趋势,且均在施肥水平为F2时最高;在施肥和不施肥的情况下,Y两优900和超优千号的每穗粒数均显著高于两优培九、Y两优1号和Y两优2号。参试品种中,两优培九的结实率显著低于其他品种。参试品种的千粒重均随着施肥量的增加呈先增后减的趋势,其中两优培九、Y两优2号和Y两优900在施肥水平为F2时最高,Y两优1号和超优千号在施肥水平为F1时最高。

根据产量及产量构成因子间的相关性分析结果(表1)可知,有效穗数和每穗粒数与产量呈显著或极显著正相关,而结实率和千粒重对产量影响不显著,可见,有效穗数和每穗粒数是影响超级杂交稻产量的主要因子。

2.2 茎蘖动态和成穗率

从图2可见,不同施肥水平条件下,各品种的茎蘖数均随着生育进程推进逐渐增加,并在移栽后40 d左



不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
图 1 施肥量对不同品种产量及产量构成的影响

右达到高峰苗期,随后逐渐下降;除超优千号的最高分蘖数随着施肥量的增加而增加外,其他品种均随着施肥量的增加呈先增后减的趋势;各品种的最终有效穗数均随着施肥量的增加而增加。在施肥量为 F0 和 F1 水平下,两优培九和 Y 两优 1 号的最高分蘖数和最终有效穗数均高于其他品种,在施肥量为 F2 和 F3 水平

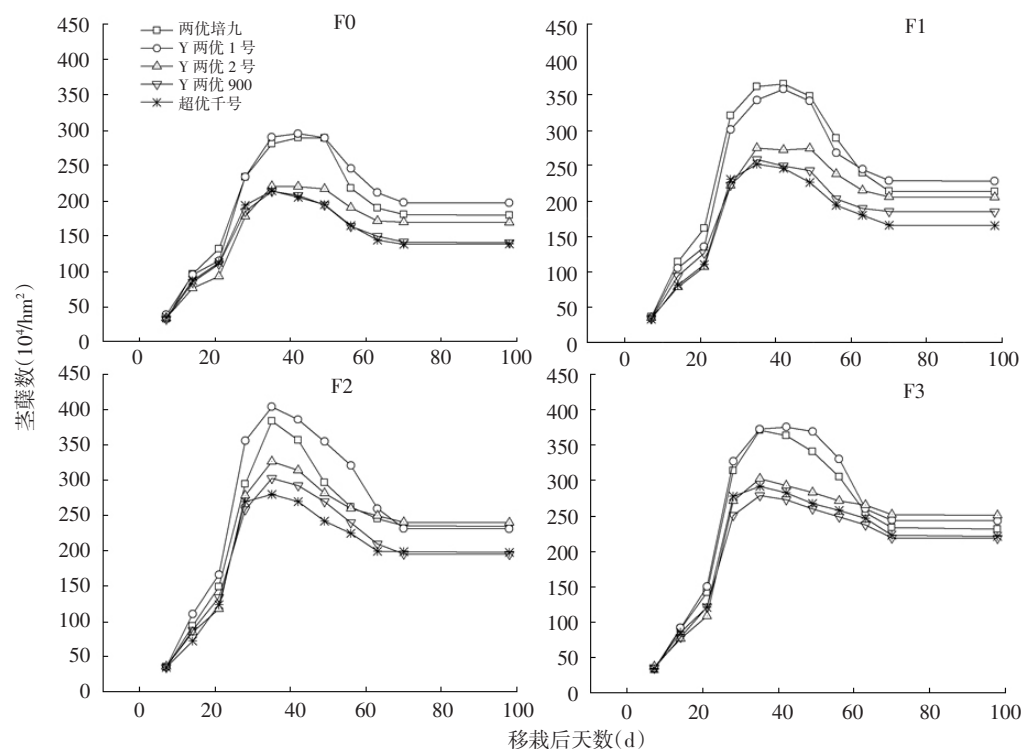


图 2 施肥量对各品种茎蘖数的影响

表 1 产量因子间相关系数分析

性状	相关系数				
	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
y	1				
x ₁	0.48*	1			
x ₂	0.65**	-0.27	1		
x ₃	0.33	-0.33	0.36	1	
x ₄	-0.20	0.62**	-0.71**	-0.54*	1

y 为产量;x₁ 为有效穗数;x₂ 为每穗粒数;x₃ 为结实率;x₄ 千粒重,ns 表示无显著性影响,“*”和“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著。下同。

下两优培九和 Y 两优 1 号的最高分蘖数仍最高,但最终有效穗数 Y 两优 2 号最大;在施肥或不施肥的情况下,Y 两优 900 和超优千号的最高分蘖数和最终有效穗数均处于较低水平;各品种成穗率随着施肥量的增加而增加,平均成穗率表现为 Y 两优 2 号>Y 两优 900>超优千号>Y 两优 1 号>两优培九。

2.3 始穗期叶面积指数

品种和施肥量对始穗期总叶面积指数、高效叶面积指数和有效叶面积指数均有极显著的影响,其相互作用也具有显著影响(P<0.05)。如表 2 所示,两优培九的叶面积指数随着施肥量的增加呈先增后减的趋势,在施氮水平为 F2 时达到最大,而其他品种均随着施肥量的增加而增加。Y 两优 900 和超优千号的叶面积指数在各施肥水平下相比于其他品种均保持在中等水

平。

2.4 粒叶比

从表 3 可见,施氮量对粒叶比(颖花/叶、实粒/叶、粒质量/叶)具有极显著的影响,随着施肥量的增加各品种粒叶比呈先增后减趋势。在施氮水平为 F0 时,各品种间的颖花/叶和实粒/叶没有显著差异,Y 两优 900 和超优千号的粒质量/叶显著大于两优培九和 Y 两优 1 号;在施氮水平为 F1 时,各品种间的颖花/叶没有显著差异,超优千号的实粒/叶和粒质量/叶显著大于两优培九;在施氮水平为 F2 时,超优千号的颖花/叶显著大于两优培九和 Y 两优 1 号,Y 两优 900 和超优千号的实粒/叶和粒质量/叶均显著大于两优培九和 Y 两优 1 号;在施氮水平为 F3 时,Y 两优 900 和超优千号的颖花/叶显著大于 Y 两优 1 号,超优千号的实粒/叶显著大于两优培九和 Y 两优 1 号,Y 两优 900 和超优千号粒质量/叶显著大于两优培九、Y 两优 1 号和 Y 两优 2 号。由此可知,Y 两优 900 和超优千号的粒叶比要比其他品种高,说明 Y 两优 900 和超优千号群体总颖花量的增加超过了叶面积指数的增加,即库的增加超过了叶量的增加,增加了叶源对产量的贡献,进而提高产量。

2.5 干物质积累

如图 3 所示,在施氮水平为 F0 和 F1 下,Y 两优 2 号在各时期的干物质积累量均高于其他品种,其中在

表 2 施肥量对不同超级杂交稻叶面积指数的影响

品种	处理	总 LAI	高效 LAI	有效 LAI
两优培九	F0	4.66 jk	2.82 ij	4.18 fg
	F1	5.84 fghi	3.74 defg	5.37 de
	F2	7.94 b	4.67 abc	7.36 b
	F3	6.49 defg	3.62 defgh	5.87 cd
Y 两优 1 号	F0	5.02 ij	3.20 ghi	4.59 efg
	F1	5.47 hij	3.50 efgh	5.04 def
	F2	7.48 bcd	4.46 bc	6.83 bc
	F3	7.81 b	4.93 ab	7.39 b
Y 两优 2 号	F0	4.89 ijk	3.08 ghij	4.44 efg
	F1	6.19 fgh	4.06 cdef	5.93 cd
	F2	7.60 bc	4.71 abc	7.21 b
	F3	8.88 a	5.31 a	8.52 a
Y 两优 900	F0	4.00 k	2.53 j	3.81 g
	F1	5.61 ghij	3.45 fghi	5.38 de
	F2	6.38 efgh	4.13 cde	5.45 de
	F3	7.34 bcde	4.26 cd	6.99 b
超优千号	F0	4.80 jk	2.80 lij	4.44 efg
	F1	5.08 ij	2.98 hij	4.82 efg
	F2	6.74 cdef	4.14 cde	6.58 bc
	F3	7.44 bed	4.42 bc	7.11 b
	F	**	**	**
	C	**	**	**
	F×C	**	**	**

F 表示施肥;C 表示品种。下同。

表 3 施肥量对不同超级杂交稻粒叶比的影响

品种	处理	颖花/叶	实粒/叶	粒重/叶
两优培九	F0	0.66 cde	0.47 cde	9.12 g
	F1	0.73 abcde	0.50 cde	11.20 efg
	F2	0.67 bcde	0.44 e	10.71 fg
	F3	0.61 de	0.43 e	10.44 fg
Y 两优 1 号	F0	0.65 cde	0.51 cde	10.85 efg
	F1	0.73 abcde	0.56 bcde	13.61 bcde
	F2	0.61 de	0.48 cde	12.44 def
	F3	0.57 e	0.45 de	11.05 efg
Y 两优 2 号	F0	0.74 abcde	0.58 abcde	12.95 cdef
	F1	0.76 abcde	0.59 abcde	15.15 abcd
	F2	0.79 abcde	0.61 abcde	13.64 bcde
	F3	0.66 cde	0.51 cde	11.50 efg
Y 两优 900	F0	0.89 abcd	0.64 abcde	15.15 abcd
	F1	0.93 abc	0.65 abcd	15.42 abc
	F2	0.96 ab	0.79 a	16.42 ab
	F3	0.88 abcd	0.63 abcde	14.78 abcd
超优千号	F0	0.92 abc	0.63 abcde	14.94 abcd
	F1	0.94 abc	0.74 ab	17.23 a
	F2	0.97 a	0.75 ab	15.96 ab
	F3	0.89 abcd	0.68 abc	14.97 abcd
	F	ns	ns	*
	C	**	**	**
	F×C	ns	ns	ns

F0 水平的成熟期达到显著水平,在 F1 水平的成熟期也显著高于两优培九和 Y 两优 1 号;在施氮水平为 F2

时,各品种的各个时期的干物质积累均没有显著差异;在施氮水平为 F3 时,始穗期 Y 两优 900 和超优千号的干物质积累显著高于两优培九,乳熟期和成熟期时 Y 两优 900 和超优千号的干物质积累均高于其他品种且显著高于两优培九和 Y 两优 1 号。总干物质积累表现为:在 F0 和 F1 水平,Y 两优 2 号>Y 两优 900>超优千号>Y 两优 1 号>两优培九;在 F2 和 F3 水平,超优千号>Y 两优 900>Y 两优 2 号>两优培九>Y 两优 1 号。由此表明,在施肥水平为 F0 和 F1 时,Y 两优 2 号的干物质积累量最高,在施肥水平为 F2 和 F3 时超优千号的干物质积累量最高,其次为 Y 两优 900,而两优培九和 Y 两优 1 号的干物质积累在施肥和不施肥的情况下都处于较低水平。

2.6 收获指数

如图 4 所示,除两优培九外,施肥量对 Y 两优 1 号、Y 两优 2 号、Y 两优 900 和超优千号收获指数均具有显著影响(P<0.05)。就不同施肥水平而言,各品种均随着施肥量的增加呈先增后减趋势,其中,两优培九、Y 两优 1 号和 Y 两优 2 号在施氮水平为 F1 时收获指数(HI)达到最高,分别为 0.425、0.496 和 0.527;Y 两优 900 和超优千号在施氮水平为 F2 时 HI 达到最高,分别为 0.510 和 0.508。就不同品种而言,在施肥量水平较低(F0 和 F1)时 Y 两优 2 号的 HI 高于其他品种;在施肥水平较高(F2 和 F3)时 Y 两优 900 和超优千号的 HI 高于其他品种。

3 讨论

3.1 各品种产量形成特征

水稻的分蘖成穗与产量具有显著相关性^[18-19],要获得更高产量,主要是依靠提高有效穗数和增加每穗粒数^[20]。本试验中相关分析表明,产量分别与有效穗数和每穗粒数呈显著和极显著正相关,两优培九和 Y 两优 1 号产量最低主要由于其有效穗数和每穗粒数都较少;Y 两优 900 和超优千号产量表现最高,与其每穗粒数显著大于其他品种有关;Y 两优 2 号的产量介于各品种之间,主要在于其具有较高的有效穗数,但每穗粒数显著低于 Y 两优 900 和超优千号,所以产量也低于 Y 两优 900 和超优千号。结果说明突破超高产除了要保证有效穗数还必须依靠大穗,这与前人^[21-22]的研究结果相同。

叶面积指数和粒叶比^[23]、花后干物质生产^[24-26]、收获指数^[12]等群体质量指标都与水稻的产量具有密切的关系。凌启鸿等^[27]认为,要提高产量,首先要增加颖花

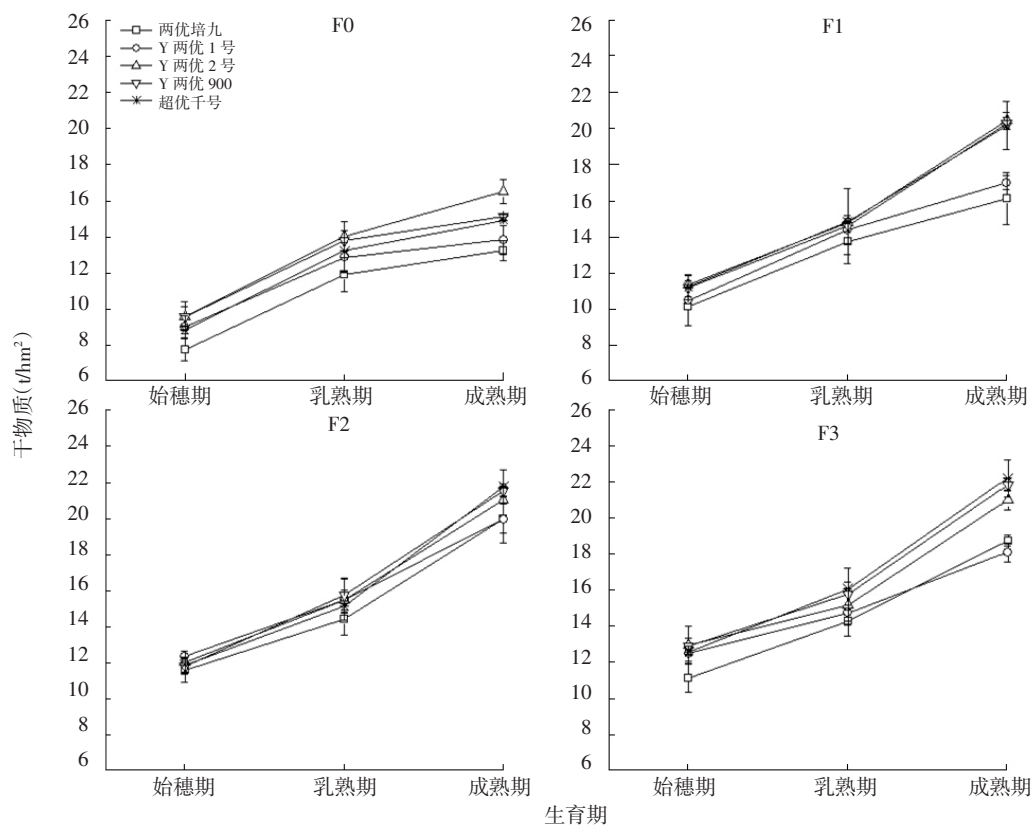


图3 施肥量对不同超级杂交稻各时期干物质积累的影响

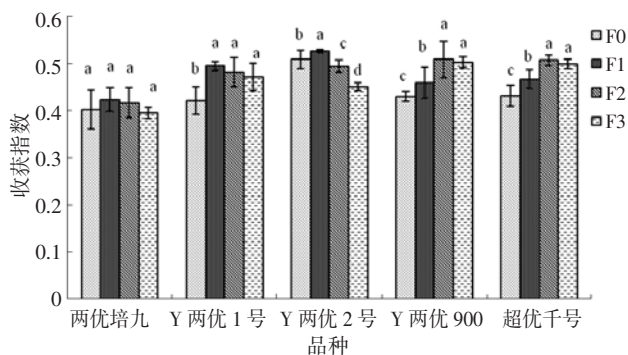


图4 施肥量对不同超级杂交稻收获指数的影响

量,但在生产上随着颖花的增加,叶面积的增加往往会超过颖花量的增加,由此提出粒叶比是衡量水稻源库关系是否协调的一个重要指标^[28]。还有研究认为,花后干物质生产是水稻群体质量最重要的一个指标,在高产栽培条件下,要达到一定的生物量,产量才能有所突破^[24-26]。也有人认为,提高生物产量而收获指数稳定甚至略有下降也是实现超高产的重要保证^[12]。

本研究发现,平均总叶面积指数Y两优2号最高,尤其在F3水平下比其他品种高13.7%~36.8%,这与其具有较高的有效穗数有关,有效穗数随着施肥量的增

加而增加(图1),从而增加了其整个群体的叶面积指数,但颖花量却低于Y两优900和超优千号。所以综合粒叶比可以看出,叶面积指数并非越高越好,相比于其他品种,Y两优900和超优千号具有更适宜的叶面积指数及更协调的粒叶比。

早期研究认为,水稻高产群体干物质生产优势在抽穗前^[29-30],也有的认为是在抽穗后^[31-32]。本研究发现,Y两优900和超优千号的干物质生产相比于其他品种,在始穗期前都没有表现出优势,总生物量甚至低于Y两优2号在F0和F1的较低施肥水平时的生物量,只有在F2和F3的较高施肥水平下,Y两优900和超优千号才表现出较高的总生物量;Y两优900和超优千号虽然在F3水平下收获指数低于F2水平,但在F3水平下总生物量高于F2水平。综合产量说明,Y两优900和超优千号更适合高肥水平下发挥出其干物质生产优势并获得高产,要实现超高产,生物量的作用比收获指数更大,这与吴文革等^[12]的研究结果相似。

3.2 施肥量对群体质量的调控机制

施肥量对水稻产量形成、群体茎蘖产生、叶面积指数、干物质积累等都具有较大影响^[33-34]。本研究发现,各品种随着施肥量的增加每穗粒数、千粒重、粒叶比和收

获指数呈先增后降的趋势,而有效穗数和叶面积呈增加的趋势(除两优培九叶面积外)。两优培九和Y两优1号在施肥量为F0和F1水平下的有效穗数高于其他品种,但每穗粒数、叶面积指数、粒叶比、干物质和收获指数均较低;在F2和F3水平下Y两优2号的有效穗数最高,而Y两优900和超优千号的有效穗数虽然随着施肥量的增加而增加,但不管在何种施肥水平下均小于其他品种,然而其每穗粒数、粒叶比、干物质积累和收获指数都较高,说明限制Y两优900和超优千号获得更高产的因子主要与有效穗数有关。

本研究中有有效穗数随着施肥量的增加而增加,如果为了增加有效穗数达到高产而增加施肥量,必然导致其他群体质量指标的下降,例如本试验中各品种的每穗粒数、结实率、千粒重、粒叶比、收获指数等,在施肥量超过F2水平后均出现不同程度的下降,而且过高的施肥量不仅会造成肥料利用率下降且对环境也会产生负面影响^[35-36]。但有研究表明,合理的增加每丛苗数和降低施肥量可以获得足够的单位面积有效穗数,还可以提高肥料利用效率^[37],如采用增加密度、减少基肥、稳定穗肥的“增密减氮”栽培模式可兼顾水稻高产和氮肥高效利用^[38]。为了突破各品种的高产潜力尤其是Y两优900和超优千号,采用“增苗减氮”或“增密减氮”这一技术是否可以达到目的,仍需做进一步的探究。

4 结论

在群体质量指标上,Y两优2号相比于两优培九和Y两优1号表现出更高产,主要在于其具有较高的有效穗数、每穗粒数、叶面积指数、干物质积累、粒叶比和收获指数;而Y两优900和超优千号在产量上相比其他品种更高,主要在于其具有较高的每穗粒数和粒叶比,但有效穗数是限制其获得更高产的主要原因。在不同施肥水平下,各品种均随着施肥量的增加每穗粒数、粒叶比和收获指数呈先增后降的趋势,有效穗数和叶面积指数呈增加的趋势(两优培九除外)。综上可得,两优培九、Y两优1号和Y两优2号最佳施肥量为纯N 210~300 kg/hm²、P₂O₅ 105~150 kg/hm²、K₂O 210~300 kg/hm²;而Y两优900和超优千号更适合较高的施肥水平,所以施肥量应达到纯N 300 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²、K₂O 300 kg/hm²。

参考文献

[1] 程式华. 中国超级稻育种技术的创新与发展 [J]. 作物杂志,

2012, 38(6):1-3.

- [2] 张满利,陈盈,侯守贵,等. 氮肥运筹对水稻分蘖、干物质积累和产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2011(3):6-8.
- [3] 贾东,孙雅君,韩雷,等. 氮肥不同用量对北方粳稻群体质量及品质的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(2):71-74.
- [4] 刘立军,徐伟,吴长付,等. 实地氮肥管理下的水稻生长发育和养分吸收特性[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(2):167-173.
- [5] 曾勇军,石庆华,潘晓华,等. 施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8):1 409-1 416.
- [6] 张国良,闫元景,宋宁垣,等. 氮肥对超级稻南粳 9108 群体质量和产量的影响[J]. 淮阴工学院学报, 2017(1):76-80.
- [7] 薛亚光,陈婷婷,杨成,等. 中梗稻不同栽培模式对产量及其生理特性的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(3):466-476.
- [8] Jiang L, Dai T, Jiang D, et al. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars [J]. *Field Crop Res*, 2004, 88(2): 239-250.
- [9] Ntanos D A, Koutroubas S D. Dry matter and N accumulation and translocation for indica and japonica rice under Mediterranean conditions[J]. *Field Crop Res*, 2002, 74(1): 93-101.
- [10] 杜永,王艳,王学红,等. 黄淮地区不同粳稻品种株型、产量与品质的比较分析[J]. 作物学报, 2007, 33(7):1 079-1 085.
- [11] 吴文革,张洪程,钱银飞,等. 超级杂交中粳水稻物质生产特性分析[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(3):287-293.
- [12] 杨耀华,刘明成. Y 两优 1 号水稻品种的特征特性及栽培技术 [J]. 种业导刊, 2010(5):16-17.
- [13] 张太明,刘礼明. Y 两优 2 号水稻特征特性及高产栽培技术[J]. 现代农业科技, 2014(1):62.
- [14] 李学武,郑明川,鲁亚军,等. 超高产水稻 Y 两优 900 在江汉平原的种植表现及高产栽培技术 [J]. 中国稻米, 2015, 21 (5):59-60.
- [15] 刘俊波,陈斌,杜海涛,等. 超级稻超优千号在鄂北岗地的种植表现及高产栽培技术[J]. 中国农技推广, 2016, 32(8):37-38.
- [16] 邹江石,姚克敏,吕川根,等. 水稻两优培九株型特征研究[J]. 作物学报, 2003, 29(5):652-657.
- [17] 张喜娟,孙晓杰,张淑萍,等. 水稻分蘖特性与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2):130-132.
- [18] 张娟. 水稻群体茎蘖动态与成穗率和产量形成关系的研究[D]. 扬州:扬州大学, 1995.
- [19] 吴桂成,张洪程,钱银飞,等. 粳型超级稻产量构成因素协同规律及超高产特征的研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2):266-276.
- [20] 熊洁,陈功磊,王绍华,等. 江苏省不同年代典型粳稻品种的产量及株型差异[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(5):1-6.
- [21] 杜永,王艳,王学红,等. 黄淮地区不同粳稻品种株型、产量与品质的比较分析[J]. 作物学报, 2007, 33(7):1 079-1 085.
- [22] 陈露,张伟杨,王志琴,等. 施氮量对江苏不同年代中梗稻品种产量与群体质量的影响[J]. 作物学报, 2014(8):1 412-1 423.
- [23] 凌启鸿,苏祖芳. 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(4):463-469.
- [24] 凌启鸿,张洪程. 水稻丰产高效技术及理论[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [25] 童平,杨世民,马均,等. 不同水稻品种在不同光照条件下的光合特性及干物质积累[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3):505-511.

- [26] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000.
- [27] 凌启鸿, 杨建昌. 水稻群体“粒叶比”与高产栽培途径的研究[J]. 中国农业科学, 1986, 19(3):1-8.
- [28] 陈温福, 徐正进, 张龙步. 水稻超高产育种生理基础[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 2003.
- [29] 张洪松, 岩田忠寿, 佐藤勉. 粳型杂交稻与常规稻的物质生产及营养特性的比较[J]. 西南农业学报, 1995, 8(4):11-16.
- [30] 敖和军, 王淑红, 邹应斌, 等. 超级杂交稻干物质生产特点与产量稳定性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7):1 927-1 936.
- [31] 马均, 朱庆森, 马文波, 等. 重穗型水稻光合作用、物质积累与运转的研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(4):375-381.
- [32] Zeng X, Han B, Xu F, et al. Effects of modified fertilization technology on the grain yield and nitrogen use efficiency of midseason rice[J]. *Field Crop Res*, 2012, 137(3): 203-212.
- [33] 李旭毅, 孙永健, 程洪彪, 等. 两种生态条件下氮素调控对不同栽培方式水稻干物质积累和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4):773-781.
- [34] 张福锁, 马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 生态环境学报, 2000(2):101-154.
- [35] 廖晓勇, 张杨珠, 刘学军, 等. 农田生态系统中土壤氮素行为的研究现状与展望[J]. 西南农业学报, 2001, 14(3):94-98.
- [36] 章起明, 曾勇军, 吕伟生, 等. 每穴苗数和施氮量对双季机插稻产量及氮肥利用效率的影响[J]. 作物杂志, 2016(3):144-150.
- [37] 朱相成, 张振平, 张俊, 等. 增密减氮对东北水稻产量、氮肥利用效率及温室效应的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27 (2):453-461.

Effects of Fertilizer Application Rate on Yield and Population Quality of Super Hybrid Rice at Different Yield Levels

CHENG Huihuang¹, SHANG Qingyin¹, YI Zhenbo¹, ZHENG Houliang², ZENG Yongjun^{1*}

(¹ Collaborative Innovation Center for the Modernization Production of Double Cropping Rice, Jiangxi Agricultural University / Jiangxi Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding/ Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, Nanchang 330045, China; ² Chengxin Farm in Jiangxi Province, Nanchang 330125, China; 1st author: 805723624@qq.com; *Corresponding author: 13979101602@163.com)

Abstract: The effects of different fertilization rate (nitrogen fertilizer rate was 0, 210, 300 and 390 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O =2:1:2, in F₀, F₁, F₂ and F₃, respectively) on yield and population quality was studied, using super hybrid rice LYPJ, YLY1, YLY2, YLY900 and CY1000 as materials. The results showed that the yield of YLY2 was highest in F₀ and F₁ level compared with LYPJ and YLY1, which showed higher effective panicles, earing percentage, leaf area index, dry matter accumulation and harvest index; the yield of YLY900 and CY1000 were higher when the fertilizer level was F₂ and F₃, which showed higher spikelet number per panicle, grain-leaf ratio and harvest index. With the increase of fertilizer amount, the spikelet per panicle, grain-leaf ratio and harvest index were increased first and then decreased, effective panicles and leaf area were increased (except LYPJ). As a result, YLY2 could obtain high yield in the lower fertilization level, mainly depended on the higher effective panicles. The yield of YLY900 and CY1000 had higher potential in the higher fertilization level, which mainly depended on higher spikelet number per panicle, their lower effective panicles was the main limiting factor for higher yield.

Key words: fertilization; super hybrid rice; yield; population quality

····· (上接第 80 页)

Effects of High Temperature during Reproductive Growth Phase on Yield of Rice

WANG Qiang¹, CHEN Lei^{1,2}, ZHANG Xiaoli¹, LIANG Tianfeng¹, GAO Guoqin¹, LV Ronghua¹, TAO Wei¹, TANG Maoyan^{1*}

(¹ Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science / Guangxi Key Laboratory of Rice Genetics and Breeding, Nanning 530007, China; ² Agriculture College, Guangxi University, Nanning 530004, China; 1st author: wangqiang@gxaas.net; *Corresponding author: tangmaoyan@gxaas.net)

Abstract: A pot experiment was conducted in phytotron to simulate the high temperature stress at reproductive growth phase, yield and yield characters were investigated under the high temperature stress with different occurring periods and duration. The results showed, the heading and flowering day was identified as 0 d, high temperature stress has been imposed at the period -9 d, -6 d, -3 d, 0 d, 3 d, 6 d, 9 d, 12 d across reproductive growth phase and the lasted two duration were 3 days and 5 days, respectively, the spikelets setting rate performed same variation tendency between the super hybrid rice variety Y Liangyou 1 and inbred perfect quality rice variety Guiyu 9. The lowest spikelets setting rate appeared at the heading and flowering day, namely 0 d, high temperature damage became more serious as the duration increased. Under the duration 5 days, high temperature stress occurred at the period -3 d reduced the spikelets setting rate seriously and even more than that of at the heading and flowering day with the duration 3 days. The different tolerance to high temperature stress among varieties existed, high temperature tolerance rice varieties should be employed to encounter the heat damage weather at locality ecological sit where high temperature stress is incident.

Key words: rice; growth period; high temperature stress; yield