

# 中熟类型甬优籼粳杂交稻组合产量优势形成及其形态生理特征

李晓芸 孟天瑶 戴其根\*

(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: 2412067696@qq.com; 通讯作者: qgdai@yzu.edu.cn)

**摘要:**以中熟类型甬优籼粳杂交稻组合甬优 2640、甬优 1640 为材料, 常规粳稻镇稻 11、武运粳 30 和杂交籼稻丰两优香 1 号、新两优 6380 为对照, 比较各类型品种在干物质积累、穗部特征、叶片形态及茎秆特性上的差异。结果表明, 甬优籼粳杂交稻两年平均产量为  $11.3 \text{ t/hm}^2$  ( $11.1$ 、 $11.4 \text{ t/hm}^2$ ), 较常规粳稻和杂交籼稻分别高  $6.6\%$  和  $13.0\%$ ; 产量构成上, 甬优籼粳杂交稻的每穗粒数和群体颖花量显著高于对照, 有效穗数、结实率和千粒重低于对照; 甬优籼粳杂交稻抽穗期、成熟期的干物质质量及抽穗至成熟期的干物质积累量依次为  $13.4 \text{ t/hm}^2$ 、 $21.6 \text{ t/hm}^2$ 、 $6.9 \text{ t/hm}^2$ , 均显著高于对照; 穗部特征上, 甬优籼粳杂交稻的单穗质量和着粒密度高于对照, 穗长略低于杂交籼稻, 近  $80\%$  的籽粒集中于中上部, 而常规粳稻  $75\%$  的籽粒集中于中下部, 杂交籼稻籽粒分布相对匀称; 甬优籼粳杂交稻上 3 叶的叶宽和卷曲率高于对照, 叶长和叶基角处于对照之间(以杂交籼稻最大), 披垂度最低, 上部 1、3 叶差异显著; 株高、穗高、秆长及穗下节间占秆长的比例以杂交籼稻>甬优籼粳杂交稻>常规粳稻; 成熟期单茎秆干质量、单茎秆干质量及基部节间单位长度干质量以甬优籼粳杂交稻最高。中熟类型甬优籼粳杂交稻组合产量优势特征为足穗基础上, 主攻大穗, 并保持较高的结实率和千粒重; 形态生理特征表现为籽粒集中于中上部, 上 3 叶大小适宜, 叶片内卷且直立, 株高及穗下节间占秆长的比例适中, 成熟期茎秆充实度好。

**关键词:**籼粳杂交稻; 中熟; 产量优势; 干物质积累; 穗部特征; 叶片形态; 茎秆特性

**中图分类号:**S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)01-0010-07

籼稻和粳稻杂交产生的杂种  $F_1$  代在干物质生产等方面具有较强的杂种优势<sup>[1]</sup>, 但其杂种后代普遍存在的结实率偏低、生育期超亲晚熟等问题限制了其在生产上的推广利用<sup>[2-3]</sup>。近年来, 我国在籼粳杂交稻的育种工作上取得了重要进展, 选育出了一批高产品种(组合), 如甬优系列<sup>[4]</sup>、浙优系列<sup>[5]</sup>、春优系列<sup>[6]</sup>等, 发展势头良好。甬优 2640、甬优 12、春优 927 等组合相继在长江中下游地区创造了  $13.5 \text{ t/hm}^2$  以上的高产纪录<sup>[7-9]</sup>。

按生育期类型分类, 可将甬优籼粳杂交稻组合大致分成中熟类型和晚熟类型。以往研究已基本阐明甬优籼粳交晚熟类型品种在生产上的产量优势<sup>[10]</sup>, 并从产量构成因素<sup>[11]</sup>、干物质生产与积累<sup>[12-13]</sup>、茎秆形态<sup>[14]</sup>、根系形态生理<sup>[15]</sup>等方面分析了产量优势形成的基础。近年来, 以甬优 2640 为代表的中熟类型甬优籼粳杂交稻组合在江苏里下河地区和淮北地区的水稻生产上产量表现突出<sup>[7]</sup>, 但当前对中熟类型甬优籼粳杂交稻组合产量优势形成及其相应形态生理基础的研究相对较少, 且缺乏系统的比较研究。为此, 本研究以在里下河地区(扬州)生育期较适宜的中熟类型甬优籼粳杂交稻组合为试验材料, 以当地产量表现较好的常规粳稻和

杂交籼稻为对照, 系统比较研究了中熟类型甬优籼粳杂交稻组合的产量优势及其形态生理基础, 以期为籼粳杂交稻高产栽培和育种实践提供理论与实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以中熟类型籼粳杂交稻组合甬优 2640、甬优 1640 为试验材料, 以常规粳稻镇稻 11 和武运粳 30、杂交籼稻丰两优香 1 号和新两优 6380 为对照, 两年中各品种主要生育阶段天数见表 1。

### 1.2 试验设计与栽培管理

试验于 2014-2015 年在扬州大学农学院试验农场进行。土壤类型为沙壤土, 含全氮  $0.14\%$ 、碱解氮  $86.6 \text{ mg/kg}$ 、速效磷  $32.3 \text{ mg/kg}$ 、速效钾  $86.3 \text{ mg/kg}$ 。

收稿日期: 2016-10-21

**基金项目:**国家公益性行业(农业)科研专项“粮食作物精确定量栽培技术与示范项目”(201303102); 农业部超级稻专项(02318802013231); 宁波市重大科技项目(2013C11001); 江苏省重点研发项目(BE2015340)

表 1 各水稻品种主要生育阶段天数

年份	品种类型	品种名称	播种-抽穗 (d)	抽穗-成熟 (d)	全生育期 (d)
2014	籼粳杂交稻	甬优 2640	90	61	151
		甬优 1640	92	60	152
	常规粳稻	镇稻 11	104	52	156
		武运粳 30	100	54	154
	杂交籼稻	丰两优香 1 号	92	53	145
		新两优 6380	98	50	148
2015	籼粳杂交稻	甬优 2640	83	67	150
		甬优 1640	85	65	150
	常规粳稻	镇稻 11	103	56	159
		武运粳 30	97	59	156
	杂交籼稻	丰两优香 1 号	94	52	146
		新两优 6380	94	53	147

表 2 各水稻品种产量及产量构成

年份	品种类型	品种名称	有效穗数 (万 hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒)	群体颖花量 (万 hm <sup>2</sup> )	结实率 (%)	千粒重 (g)	实际产量 (t/hm <sup>2</sup> )
2014	籼粳杂交稻	甬优 2640	209.0	273.5	57 161.5	86.3	22.3	10.9
		甬优 1640	200.1	281.6	56 348.2	88.0	23.6	11.3
		平均	204.6 b	277.6 a	56 754.9 a	87.2 a	23.0 b	11.1 a
	常规粳稻	镇稻 11	300.8	150.5	45 270.4	90.6	25.7	10.3
		武运粳 30	286.0	163.7	46 818.2	89.9	26.3	10.7
		平均	293.4 a	157.1 c	46 044.3 b	90.3 a	26.0 a	10.5 b
	杂交籼稻	丰两优香 1 号	210.5	203.6	42 857.8	89.1	26.5	9.7
		新两优 6380	214.8	203.0	43 604.4	89.3	27.4	10.3
		平均	212.6 b	203.3 b	43 231.1 c	89.2 a	27.0 a	10.0 c
2015	籼粳杂交稻	甬优 2640	198.0	284.9	56 410.2	88.7	23.5	11.2
		甬优 1640	190.5	306.0	58 293.0	87.6	22.9	11.5
		平均	194.3 b	295.5 a	57 351.6 a	88.2 b	23.2 b	11.4 a
	常规粳稻	镇稻 11	289.5	157.4	45 567.3	91.9	26.0	10.6
		武运粳 30	265.5	182.6	48 480.3	90.8	25.9	10.7
		平均	277.5 a	170.0 b	47 023.8 b	91.4 a	26.0 ab	10.7 b
	杂交籼稻	丰两优香 1 号	219.0	197.4	43 230.6	89.5	26.8	9.8
		新两优 6380	211.5	201.8	42 680.7	89.4	28.1	10.1
		平均	215.3 b	199.6 b	42 955.7 b	89.5 b	27.5 a	10.0 c

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

试验采用完全随机区组设计, 小区面积 25 m<sup>2</sup>, 2 次重复。小区间做埂隔离, 并用塑料薄膜覆盖埂体, 保证单独排灌。机插软盘育秧, 5 月 24 日播种, 6 月 11 日移栽。栽插密度 25.2 万丛/hm<sup>2</sup> (13.2 cm×30.0 cm), 籼粳杂交稻和杂交籼稻双本栽插, 常规粳稻 3 本栽插。总施氮量 262.5 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥: 蘖肥: 穗肥=3:3:4, 基肥于移栽前 1 d 施用, 分蘖肥于移栽后 7 d、14 d 等量施用, 穗肥于倒 4 叶、倒 2 叶期各施 50%。每 hm<sup>2</sup> 施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 各 150 kg, 全部基施。移栽后水分管理以湿润灌溉为主; 当茎蘖数达到预期穗数的 80% 时, 排水搁田; 灌浆结实期间歇灌溉, 干湿交替; 收割前 7 d 断水。病虫害防治按常规高产栽培要求进行。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 干物质量

于拔节期、抽穗期、成熟期, 按每小区茎蘖数的平均值取 10 丛测定干物质量。取样植株分好器官后放在 105℃烘箱杀青 30 min, 80℃烘干至恒重, 测定干物质量。

1.3.2 穗部性状

于成熟期, 各小区按平均穗数取 20 丛考种, 将每个穗样本分成上部一次枝梗籽粒、上部二次枝梗籽粒、中部一次枝梗籽粒、中部二次枝梗籽粒、下部一次枝梗籽粒、下部二次枝梗籽粒 6 个部分。先将整穗按一次枝梗数平均分成上、中、下 3 部分, 遇到不能分的, 则上部和下部取平均数的整数部分, 多余的归为中部。之后上、中、下部各部分再按籽粒着粒位置分成一次枝梗粒

表 3 各水稻品种关键生育期干物质量及阶段积累量

品种类型	品种名称	干物质量(t/hm <sup>2</sup> )			干物质积累量(t/hm <sup>2</sup> )	
		拔节期	抽穗期	成熟期	拔节-抽穗期	抽穗-成熟期
籼粳杂交稻	甬优 2640	4.6	13.2	21.4	8.6	8.2
	甬优 1640	4.9	13.6	21.9	8.8	8.3
	平均	4.7 a	13.4 a	21.7a	8.7 a	8.3 a
常规粳稻	镇稻 11	4.3	12.6	20.0	8.3	7.4
	武运粳 30	4.4	13.1	20.8	8.7	7.7
	平均	4.4 b	12.9 b	20.4 b	8.5 ab	7.6 b
杂交籼稻	丰两优香 1 号	4.8	12.7	19.6	7.8	7.0
	新两优 6380	4.5	11.9	18.6	7.4	6.7
	平均	4.7 a	12.3 b	19.1 c	7.6 b	6.9 c

表 4 各水稻品种穗部性状差异

品种类型	品种名称	穗长 (cm)	单穗质量 (g)	着粒密度 (粒/cm)	上部所占比例(%)		中部所占比例(%)		下部所占比例(%)	
					一次枝梗 籽粒数	二次枝梗 籽粒数	一次枝梗 籽粒数	二次枝梗 籽粒数	一次枝梗 籽粒数	二次枝梗 籽粒数
籼粳杂交稻	甬优 2640	21.5	5.9	13.3	10.2	32.9	9.5	27.6	9.6	10.1
	甬优 1640	22.7	6.1	13.5	11.9	25.5	13.2	26.7	12.1	10.7
	平均	22.1 a	6.0 a	13.4 a	11.1	29.2	11.4	27.2	10.9	10.4
常规粳稻	镇稻 11	17.4	3.8	9.1	16.2	9.0	16.4	23.2	16.4	18.7
	武运粳 30	17.1	4.3	10.7	16.4	9.1	17.7	25.6	15.8	15.3
	平均	17.3 b	4.1 c	9.9 ab	16.3	9.1	17.1	24.4	16.1	17.0
杂交籼稻	丰两优香 1 号	23.8	4.7	8.3	9.6	25.3	10.6	28.1	10.7	15.7
	新两优 6380	25.9	5.1	7.6	11.1	21.4	11.8	29.1	12.4	14.2
	平均	24.9 a	4.9 b	8.0 b	10.4	23.4	11.2	28.6	11.6	15.0

数和二次枝梗籽粒。考察穗长、每穗粒数、单穗质量、结实率和穗部 6 部位籽粒数。

1.3.3 上 3 叶的叶基角和叶披垂度

于齐穗期,各小区挑选生长基本一致的植株 20 丛,选定主茎,测量叶基角(茎秆与叶片基部夹角)和披垂角(茎秆与叶枕至叶尖连线的夹角),披垂度等于披垂角与叶基角之差。

1.3.4 上 3 叶的大小和卷曲率

于齐穗期,各小区选取生长基本一致的 20 丛植株,选定主茎,测量上 3 叶的长度、宽度(分别测量叶片完全展平时的宽度和未失水自然状态下的宽度)。卷曲率=叶片完全展平时的宽度/未失水自然状态下的宽度。

1.3.5 茎秆性状

于乳熟期,各小区选取生长基本一致的植株 20 丛,选定主茎,测定株高、秆长、各节间长度、上部第 1、2、3 节间的茎壁厚度和茎秆粗度等茎秆性状。

1.3.6 产量

成熟期,每小区取 100 丛,调查有效穗数,取 10 丛调查每穗粒数、结实率、测定千粒重,计算理论产量,并实收核产。

1.4 数据处理

采用 Excel、DPS 等软件进行统计分析。由于 2014

年和 2015 年试验趋势基本一致,若无特殊说明,本文数据以 2015 年数据为主进行分析。

2 结果与分析

2.1 产量及产量构成

中熟类型甬优籼粳杂交稻两年的产量分别为 11.1 t/hm<sup>2</sup>、11.4 t/hm<sup>2</sup>,均显著高于对照。如 2015 年,甬优籼粳杂交稻比常规粳稻和杂交籼稻分别增产 6.5%、14.0%。从产量构成来看,甬优籼粳杂交稻的群体颖花量和每穗粒数均显著高于常规粳稻和杂交籼稻;有效穗数、结实率和千粒重低于对照;有效穗数和结实率以常规粳稻最高,千粒重以杂交籼稻最高。

2.2 关键生育期干物质量及阶段积累量

中熟类型甬优籼粳杂交稻拔节期、抽穗期、成熟期的干物质量分别为 4.7 t/hm<sup>2</sup>、13.4 t/hm<sup>2</sup>、21.6 t/hm<sup>2</sup>,除拔节期外,均高于对应的常规粳稻和杂交籼稻。从阶段干物质积累量来看,拔节-抽穗期和抽穗-成熟期的干物质积累量均以甬优籼粳杂交稻最高,其中抽穗-成熟期的干物质积累量显著高于对照(表 3)。

2.3 穗部特征

从表 4 可以看出,由于品种差异,穗部性状截然不同。穗长以杂交籼稻最长;单穗质量和着粒密度甬优籼粳杂交稻显著高于对照。从稻穗上、中、下 3 部分的一

表 5 各水稻品种上部 3 叶叶长、叶宽、卷曲率

品种类型	品种名称	上部第 1 叶			上部第 2 叶			上部第 3 叶		
		叶长(cm)	叶宽(cm)	卷曲率	叶长(cm)	叶宽(cm)	卷曲率	叶长(cm)	叶宽(cm)	卷曲率
籼粳杂交稻	甬优 2640	33.2	2.37	1.58	44.7	1.93	1.26	49.1	1.83	1.14
	甬优 1640	30.3	2.24	1.66	41.8	2.04	1.34	42.8	1.81	1.25
	平均	31.8 b	2.31 a	1.62	43.3 a	1.99 a	1.30	46.0 ab	1.82 a	1.20
常规粳稻	镇稻 11	26.3	1.67	1.00	39.3	1.07	0	36.0	1.00	1.00
	武运粳 30	29.4	1.97	1.00	42.7	1.67	0	40.4	1.53	1.00
	平均	27.9 b	1.82 a	1.00	41.0 a	1.37 a	0	38.2 b	1.27 a	1.00
杂交籼稻	丰两优香 1 号	42.4	2.07	1.00	55.6	1.8	0	62.5	1.57	1.00
	新两优 6380	43.7	2.17	1.00	51.3	1.7	0	71.3	1.30	1.00
	平均	43.1 a	2.12 a	1.00	53.5 a	1.75 a	0	66.9 a	1.44 a	1.00

表 6 各水稻品种叶基角和披垂度

品种类型	品种名称	上部第 1 叶		上部第 2 叶		上部第 3 叶	
		叶基角(°)	披垂度(°)	叶基角(°)	披垂度(°)	叶基角(°)	披垂度(°)
籼粳杂交稻	甬优 2640	7.9	2.2	8.3	2.8	11.3	3.6
	甬优 1640	8.2	1.9	11.9	3.4	14.3	4.1
	平均	8.1 a	2.1 c	10.1 a	3.1 a	12.8 ab	3.9 c
常规粳稻	镇稻 11	7.8	2.6	9.9	3.8	10.1	5.2
	武运粳 30	7.8	2.4	9.5	3.5	11.6	5.7
	平均	7.8 a	2.5 b	9.7 a	3.7 a	10.9 b	5.5 b
杂交籼稻	丰两优香 1 号	11.9	3.1	14.2	5.3	16.8	7.1
	新两优 6380	10.1	2.7	13.8	4.1	16.5	7.4
	平均	11.0 a	2.9 a	14.0 a	4.7 a	16.7 a	7.3 a

表 7 各水稻品种茎秆特性差异

品种类型	品种名称	株高 (cm)	穗高 (cm)	秆长 (cm)	上部节间长(cm)			穗下节间/秆长 (%)
					第 1 节	第 2 节	第 3 节	
籼粳杂交稻	甬优 2640	116.5	107.7	86.2	29.7	20.6	14.0	34.4
	甬优 1640	114.0	107.3	84.6	30.6	21.0	12.7	36.1
	平均	115.3 b	107.5 b	85.4 b	30.2 b	20.8 a	13.4 a	35.3
常规粳稻	镇稻 11	112.5	103.0	85.6	28.6	19.7	15.3	33.4
	武运粳 30	110.8	99.6	82.5	25.3	20.8	16.0	30.7
	平均	111.7 b	101.3 b	84.1 b	27.0 b	20.3 a	15.7 a	32.1
杂交籼稻	丰两优香 1 号	135.7	121.3	97.5	40.2	20.0	16.1	41.0
	新两优 6380	138.0	122.1	96.2	44.7	24.0	16.6	46.5
	平均	136.9 a	121.7 a	96.9 a	42.5 a	22.0 a	16.4 a	43.8

次枝梗、二次枝梗上着生籽粒数来看,籼粳杂交稻近 80%的籽粒集中于中上部,常规粳稻 75%的籽粒集中于中下部,杂交籼稻则分布相对匀称。

2.4 上 3 叶特征

各水稻品种上部第 1、2、3 叶的叶长表现为杂交籼稻>甬优籼粳杂交稻>常规粳稻,而叶宽以甬优籼粳杂交稻最高,杂交籼稻其次,但差异不显著。常规粳稻和杂交籼稻上部 3 叶的卷曲率均为 1.00,籼粳杂交稻依次为 1.62、1.30 和 1.20(表 5)。从叶片角度分析,上部 3 叶的叶基角以杂交籼稻最高,籼粳杂交稻其次,类型间差异较小;但上部 3 叶的披垂度以籼粳杂交稻最小,且上部第 1 叶、第 3 叶的差异达显著水平(表 6)。

2.5 茎秆特征

由表 7 可知,各水稻品种的株高、穗高及秆长均以

杂交籼稻最高,甬优籼粳杂交稻其次,常规粳稻最低。上部 3 节间长度除第 3 节间外,也表现为杂交籼稻>甬优籼粳杂交稻>常规粳稻,其中,甬优籼粳杂交稻的株高、穗高、秆长及上部第 1 节间长度显著小于杂交籼稻。甬优籼粳杂交稻穗下节间占秆长的比例为 35.3%,对应的常规粳稻和杂交籼稻分别为 32.1%、43.8%。成熟期甬优籼粳杂交稻的单茎茎干质量、单茎鞘干质量及基部节间单位长度干质量分别为 1.79 g、1.39 g、0.0643 g/cm,均显著高于对应的常规粳稻和杂交籼稻(表 8)。

3 讨论

3.1 中熟类型甬优籼粳杂交稻组合产量优势和干物质生产特征

表 8 成熟期各品种茎、鞘干质量

品种类型	品种名称	单茎茎干质量 (g)	单茎鞘干质量 (g)	基部节间单位长度干质量 (g/cm)
籼粳杂交稻	甬优 2640	1.83	1.45	0.0673
	甬优 1640	1.74	1.33	0.0612
	平均	1.79 a	1.39 a	0.0643 a
常规粳稻	镇稻 11	1.18	0.64	0.0548
	武运粳 30	1.22	0.66	0.0535
	平均	1.20 b	0.65 b	0.0542 b
杂交籼稻	丰两优香 1 号	1.18	0.83	0.0500
	新两优 6380	1.15	0.75	0.0495
	平均	1.17 b	0.79 b	0.0498 b

不断扩大群体颖花量是实现水稻产量突破的重要前提<sup>[11,16-18]</sup>,但目前就穗数和每穗粒数两者对颖花量的贡献大小尚存在歧义。杨惠杰等<sup>[19]</sup>认为,要想获得高产,每穗粒数和穗数均需增加,但穗数对颖花量的贡献更大。姚立生等<sup>[20]</sup>分析了 50 多年来江苏省中籼稻品种改良产量提高的原因,认为每穗粒数的增加是主导因素,穗数、结实率和粒重与以往相比变化不大。王晓燕等<sup>[8]</sup>以甬优 12 为材料研究发现,产量由高产到更高产,群体颖花量的增加以穗数的直接作用较大;更高产到超高产,则以每穗粒数对颖花量的贡献率较大。本试验条件下,甬优籼粳杂交稻群体颖花量显著高于对照,其较高的颖花量主要是由于其较多的每穗粒数(穗数低于对照)。其次,甬优籼粳杂交稻的结实率与对照相比差异较小。一般情况下,增加每穗粒数会降低结实率<sup>[21]</sup>。本试验条件下,中熟类型甬优籼粳杂交稻每穗粒数大致在 280~300 粒、结实率稳定在 87%~88%,可见,中熟类型甬优籼粳杂交稻较好地实现了每穗粒数和结实率的协同提高,这与杨建昌等<sup>[22]</sup>提出的每穗粒数与结实率可同步提高的观点基本一致。

水稻产量是植株生长过程中干物质积累、分配、运输与转运的结果<sup>[23]</sup>,其中,以花后干物质积累量对产量的影响较大<sup>[24-25]</sup>。韦还和等<sup>[26]</sup>在探讨甬优系列杂交稻组合超高产群体特征时,发现与高产群体相比,超高产群体成熟期总干物质积累量及抽穗期至成熟期的干物质质量均较高,且达显著水平。花劲等<sup>[27]</sup>发现,甬优系列杂交稻组合超高产群体的花后干物质积累量相对较高。本试验条件下,中熟类型甬优籼粳杂交稻在拔节期干物质质量与对照差异不大,而在抽穗期和成熟期干物质质量均高于常规粳稻和杂交籼稻,差异显著。对抽穗至成熟期的干物质积累量而言,籼粳杂交稻比常规粳稻和杂交籼稻分别高 7.89%和 20.59%。由此可见,中熟类型甬优籼粳杂交稻花后积累量较高是其产量优势形成的重要原因。

3.2 中熟类型甬优籼粳杂交稻组合品种形态特征

3.2.1 穗部

姜元华等<sup>[11]</sup>认为,穗大粒多是甬优籼粳杂交稻获得高产的前提,并对其穗部特征进行研究,发现甬优籼粳杂交稻的每穗粒数、着粒密度、单穗质量、一次枝梗数、一次枝梗总粒数、二次枝梗数、二次枝梗总粒数均高于常规粳稻、杂交籼稻和杂交粳稻。韦还和等<sup>[28]</sup>研究发现,甬优 538 的单穗质量、着粒密度、穗部 6 部位籽粒数均高于对应的常规粳稻和杂交籼稻。本研究条件下,甬优籼粳杂交稻的每穗粒数、着粒密度及单穗质量均高于对照常规粳稻和杂交籼稻,突显了中熟类型甬优籼粳杂交稻组合穗大粒多的特征。

此外,本研究将稻穗分为上、中、下 3 部分,通过比较各部分一、二次枝梗上着生籽粒占穗部总粒数的百分比发现,甬优籼粳杂交稻上、中部籽粒所占比例较高,而下部籽粒所占比例相对较低,与常规粳稻和杂交籼稻籽粒分布差异较大。杨建昌等<sup>[29]</sup>认为,籽粒在穗上的着生部位与其充实的优劣有关,着生在稻穗中上部的开花早、灌浆快、充实好,而着生在稻穗下部的则开花迟、灌浆慢、充实差。因此,中熟类型甬优籼粳杂交稻组合较多的籽粒着生于穗部中上部的配置可能是其结实率相对较高的一个重要的分布特征。

3.2.2 叶片

叶片是水稻的主要同化器官,尤其是上部 3 叶,与穗分化同步,是水稻抽穗后光合作用的主要场所<sup>[30]</sup>。吕川根等<sup>[31]</sup>提出,长江下游平原单季稻(中籼型)上 3 叶的理想形态为剑叶长 35~40 cm、宽 2 cm,倒 2 叶、倒 3 叶叶长分别为 50~55 cm 和 55~60 cm,齐穗期 3 叶与茎秆夹角分别为 5°、10°和 15°,叶面内卷,剑叶最卷处叶面曲率在 1.0~1.5 之间。孟天瑶等<sup>[32]</sup>认为,中熟类型甬优系列杂交稻组合的上 3 叶叶长和叶宽不宜过大,倒 1、倒 2、倒 3 叶叶长分别在 28~33 cm、40~43 cm、40~45 cm,叶宽分别在 2.2~2.4 cm、2.0~2.2 cm、1.8~2.0

cm 的配置较为适宜。本试验条件下,甬优籼粳杂交稻上 3 叶内卷,倒 1、倒 2、倒 3 叶的叶长分别为 31.8 cm、43.3 cm、46.0 cm,叶宽分别为 2.31 cm、1.99 cm、1.82 cm,大体在孟天瑶等<sup>[32]</sup>提出的范围内。此外,本试验中,甬优籼粳杂交稻上 3 叶的叶基角依次增大,呈现马均等<sup>[33]</sup>提出的宝塔形的叶层结构,而且上 3 叶的叶基角均位于对对照常规粳稻和杂交籼稻之间,披垂度均小于对照,可见叶片较为挺直,有利于下层叶片捕获较多的阳光,提高光能利用率。

### 3.2.3 茎秆

水稻倒伏与茎秆的性状密切相关。就株高而言,杨惠杰等<sup>[34]</sup>认为,适当控制株高,增加茎秆填充物质积累有利于抗倒。凌启鸿等<sup>[24]</sup>认为,在一定范围内株高是与产量呈正比的。孟天瑶等<sup>[32]</sup>认为,中熟类型甬优系列杂交稻组合株高不宜过高,以 115~120 cm 较为适宜,而晚熟组合应适当高些。本试验中,中熟类型甬优籼粳杂交稻组合的平均株高为 115.3 cm,低于杂交籼稻,高于常规粳稻。穗下节间长占株高的比例是衡量群体优劣的重要形态特征。凌启鸿等<sup>[24]</sup>研究认为,穗下节间长在株高中应占较大的比例。而苏祖芳等<sup>[35]</sup>认为,穗下节间长占秆长的比例存在一个相对适宜的范围,并不是越大越好。本试验中的甬优籼粳杂交稻该比例的平均值为 35.3%,与株高性状一样在常规粳稻和杂交籼稻之间。一般研究认为,抗倒性与茎秆粗度、茎壁厚度、茎秆干质量以及节间干质量等呈正相关<sup>[36]</sup>。本试验条件下,成熟期甬优籼粳杂交稻的单茎茎干质量、鞘干质量及基部节间单位长度干质量均显著高于对照常规粳稻和杂交籼稻。因此,中熟类型甬优籼粳杂交稻组合茎秆特征为:株高适宜,穗下节间长占秆长的比例适当,后期茎秆充实度好,抗倒能力较强,有利于高产。

## 4 结论

与对照杂交籼稻和常规粳稻相比,中熟类型甬优籼粳杂交稻组合具有较明显的产量优势,其形成为在足穗的基础上,依托大穗,扩大群体库容,同时保持较高的结实率和千粒重。在形态特征上,中熟类型甬优籼粳杂交稻组合的籽粒集中于稻穗的中上部,上部 3 张功能叶大小适宜,叶片内卷且直立,株高及穗下节间长占秆长的比例适中,成熟期茎秆充实度好,不易倒伏。

### 参考文献

[1] Yang J C, Peng S B, Zhang Z J, et al. Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in *japonica/indica* hybrid rice[J]. *Crop Sci*,

2002, 42: 766-772.

- [2] Yang J C, Zhang J H, Liu L J, et al. Carbon remobilization and grain filling in *Japonica/Indica* hybrid rice subjected to postanthesis water deficits[J]. *Agron J*, 2002, 94: 102-109.
- [3] 林建荣,宋昕蔚,吴明国. 4 份籼粳中间型广亲和恢复系的生物学特性及其杂种优势利用[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(6): 656-662.
- [4] 陆永法,马荣荣,王晓燕,等. 甬优系列杂交水稻 SSR 标记指纹图谱和籼粳属性[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4): 443-446.
- [5] 吴明国,林建荣,宋昕蔚,等. 籼粳亚种间杂交水稻新组合春优 84 的选育[J]. 杂交水稻, 2014, 29(2): 19-21.
- [6] 王林友,张礼霞,勾晓霞,等. 利用 Indel 标记鉴定浙优系列杂交稻籼粳属性和预测杂种优势 [J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1 243-1 255.
- [7] 胡雅杰,朱大伟,钱海军,等. 籼粳杂交稻甬优 2640 钵苗机插超高产群体若干特征探讨 [J]. 作物学报, 2014, 40 (11): 2 016 - 2 027.
- [8] 王晓燕,韦还和,张洪程,等. 水稻甬优 12 产量 13.5 t/hm<sup>2</sup> 以上超高产群体的生育特征[J]. 作物学报, 2014, 40(12): 2 149-2 159.
- [9] 林建荣,宋昕蔚,吴明国,等. 籼粳超级杂交稻育种技术创新与品种培育[J]. 中国农业科学, 2016, 49(2): 207-218.
- [10] Wei H H, Li C, Xing Z P, et al. Suitable growing zone and yield potential for late-maturity type of *Yongyou japonica/indica* hybrid rice in the lower reaches of Yangtze River[J]. *China. J Integr Agric*, 2016, 15: 50-62.
- [11] 姜元华,张洪程,赵可,等. 长江下游地区不同类型水稻品种产量及其构成因素特征的研究[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(6): 621-631.
- [12] 姜元华,许轲,赵可,等. 甬优系列籼粳杂交稻的冠层结构与光合特性[J]. 作物学报, 2015, 41(2): 286-296.
- [13] 韦还和,孟天瑶,李超,等. 甬优籼粳杂交稻花后干物质积累模型与特征分析[J]. 作物学报, 2016, 42(2): 265-277.
- [14] 姜元华,张洪程,赵可,等. 机插条件下籼粳杂交稻茎秆的抗倒性评价及成因分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 19-29.
- [15] 姜元华,许俊伟,赵可,等. 甬优系列籼粳杂交稻根系形态与生理特征[J]. 作物学报, 2015, 41(1): 89-99.
- [16] 许恒道,潘启明,齐运田,等. 赣化 2 号亩产 1 800 斤以上田块群体及其调控技术[J]. 中国农业科学, 1984, 57: 71-84.
- [17] Yoshida H, Horie T, Shiraiwa T. A model explaining genotypic and environment variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-location experiments in Asia [J]. *Field Crop Res*, 2006, 97: 337-343.
- [18] 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.
- [19] 杨惠杰,李义珍,杨仁崔,等. 超高产水稻的干物质生产特性研究 [J]. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 265-270.
- [20] 姚立生,高恒广,杨立彬,等. 江苏省五十年代以来中籼稻品种产量及有关性状的演变[J]. 江苏农业学报, 1990, 6(3): 38-44.
- [21] Mohapatra P K, Sahu S K. Heterogeneity of primary branch develop-

- ment and spikelet survival in rice in relation to assimilates of primary branches[J]. *J Exp Bot*, 1991, 42: 871-879.
- [22] 杨建昌, 杜永, 吴长付, 等. 超高产粳型水稻发育特性的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1 336-1 345.
- [23] 孟天瑶, 许俊伟, 邵子彬, 等. 甬优系列籼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.
- [24] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [25] Murata Y, Matsushima S. In *Crop Physiology*, ed. L.T. Evans [M]. London: Cambridge University Press, 1975.
- [26] 韦还和, 姜元华, 赵可, 等. 甬优系列杂交稻品种的超高产群体特征[J]. 作物学报, 2013, 39(12): 2 201-2 210.
- [27] 花劲, 周年兵, 张军, 等. 双季晚稻甬优系列籼粳杂交稻超高产结构与群体形成特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 1 023-1 034.
- [28] 韦还和, 孟天瑶, 李超, 等. 籼粳交超级稻甬优 538 的穗部特征及籽粒灌浆特性[J]. 作物学报, 2015, 4(12): 1 858-1 869.
- [29] 杨建昌. 水稻弱势粒灌浆机理与调控途径[J]. 作物学报, 2010, 36 (12): 2 011-2 019.
- [30] 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[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 1-11.
- [31] 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.
- [32] 孟天瑶, 李晓芸, 李超, 等. 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的株型特征[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(2): 170-180.
- [33] 马均, 马文波, 明东风, 等. 重穗型水稻株型特性研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 679-685.
- [34] 杨惠杰, 杨仁崔, 李艺珍, 等. 水稻茎秆性状与抗倒性的关系[J]. 福建农业学报, 2000, 15(2): 1-7.
- [35] 苏祖芳, 张亚洁, 孙成明. 水稻高产株型指标的研究[J]. 中国稻米, 2003(4): 5-6.
- [36] 韦还和, 姜元华, 赵可, 等. 甬优系列杂交稻品种的超高产群体特征[J]. 作物学报, 2013, 39(12): 2 201-2 210.

## Yield Formation and Morphological and Physiological Characteristics of Medium-maturity Type of Yongyou *Japonica/Indica* Hybrid Rice

LI Xiaoyun, MENG Tianyao, DAI Qigen\*

(Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze River Valley, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 1st author: 2412067696@qq.com; \*Corresponding author: qgdai@yzu.edu.cn)

**Abstract:** A field experiment was conducted to study the differences of dry matter accumulation, panicle traits, leaf morphology traits and culm traits in different types of rice varieties, using medium-maturity type of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice (Yongyou 2640, Yongyou 11640) as the material, conventional *japonica* rice (Zhengdao 11, Wuyungeng 30) and hybrid *indica* rice (Fengliangyouxiang 1, Xinliangyou 6380) as the control. The results were as follows: the grain yield of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice was 11.3 t/hm<sup>2</sup>, which was 6.6% and 13.0% higher than that of conventional *japonica* rice and hybrid *indica* rice, respectively. As for yield components, Yongyou *japonica/indica* hybrid rice had highest spikelets per panicle and total spikelets among the different type of rice varieties, but its 1 000-grain weight, seed setting rate and effective panicles were lower than CK. The dry matter of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice was 13.4 t/hm<sup>2</sup> at heading stage and 21.6 t/hm<sup>2</sup> at maturity stage (6.9 t/hm<sup>2</sup> from heading to maturity), significantly higher than CK. In terms of panicle traits, Yongyou *japonica/indica* hybrids rice had the highest grain weight per panicle and grain density, but its panicle length was less than hybrid *indica* rice. The 80% grains of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice were concentrated on the middle and upper part of the panicle, while the 75% grains of conventional *japonica* rice were concentrated on the middle and lower part of the panicle, and the grains of hybrid *indica* rice distributed relatively uniform. The leaf width and rolling rate of the top-three leaves of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice were higher than CK. The top-three leaves of hybrid *indica* rice had medium leaf length and basic leaf angle. Drooping angle of the top-three leaves of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice were lower than CK, and the differences of the top 1 leaf and top 3 leaf were significant. The plant height, panicle height, stalk length and the proportion of neck internode to stalk length showed hybrid *indica* rice > Yongyou *japonica/indica* hybrid rice > conventional *japonica* rice. Among the different type of rice varieties, Yongyou *japonica/indica* hybrid rice had the highest dry weight of stem, sheath and per unit internode at maturity stage. The yield advantage of medium-maturity type of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice were characterized by enough spikes and large spike, higher seed setting rate and 1 000 grain weight. The morphological and physiological characteristic of medium-maturity type of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice were showed that grains concentrated on middle and upper part of panicle, appropriate size of top-three leaves, curled and upright leaves, moderate plant height, suitable ratio of neck internode to stalk length, and good fullness degree of stem at maturity stage.

**Key words:** *japonica / indica* hybrid rice; medium maturity; yield advantage; dry matter accumulation; panicle traits; leaf morphological traits; stem characteristics