

甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的株型特征

孟天瑶¹ 李晓芸¹ 李超¹ 韦还和¹ 史天宇¹ 马荣荣² 王晓燕³ 杨筠文⁴ 戴其根^{1,*}
张洪程^{1,*}

(¹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; ²浙江省宁波市农业科学院 作物研究所, 浙江 宁波 315101; ³浙江省宁波市种子有限公司, 浙江 宁波 315101; ⁴浙江省宁波市鄞州区农业技术服务站, 浙江 宁波 315100; * 通讯联系人, E-mail: qgdai@yzu.edu.cn, hc Zhang@yzu.edu.cn)

Plant-type Characteristics of High-Yielding Lines of Yongyou *japonica/indica* Hybrid Rice with Medium Maturity

MENG Tian-yao¹, LI Xiao-yun¹, LI Chao¹, WEI Huan-he¹, SHI Tian-yu¹, MA Rong-rong², WANG Xiao-yan³,
YANG Jun-wen⁴, DAI Qi-gen^{1,*}, ZHANG Hong-cheng^{1,*}

(¹ 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 225009, China; ² Crop Research Institute, Ningbo Academy of Agricultural Sciences of Zhejiang Province, Ningbo 315101, China; ³ Ningbo Seed Company of Zhejiang Province, Ningbo 315101, China; ⁴ Yinzhou District Agricultural Technology Service Station, Ningbo 315100, China; * Corresponding author, E-mail: qgdai@yzu.edu.cn, hc Zhang@yzu.edu.cn)

MENG Tianyao, LI Xiaoyun, LI Chao, et al. Plant-type characteristics of high-yielding lines of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice with medium-maturity. *Chin J Rice Sci*, 2016, 30(2): 170-180.

Abstract: A field experiment was conducted using Yongyou *japonica/indica* hybrids with medium maturity as material, conventional *japonica* rice (CJR) Ningjing 3 and Wuyunjing 29, hybrid *indica* rice (HIR) Fengliangyouxiang 1 and Xinliangyou 6380 as the check. Differences in panicle, leaf, and culm traits of various rice types were compared. The results were follows: 1) Yongyou *japonica/indica* hybrids were divided into two types: high-yielding lines (HYL, over 10.5 t/hm²) and medium-yielding lines (MYL, less than 10.5 t/hm²) based on yield performance. HYL includes Yongyou 2638, Yongyou 2640, Yongyou 1610, Yongyou 1612, and Yongyou 1640, while MYL includes Yongyou 1851, Yongyou 1852, Yongyou 1763, Yongyou 7753, and Yongyou 5854. CJR had the highest number of panicles, seed-setting rate, and 1000-grain weight, while HYL had the highest spikelet number per panicle. 2) HIR had the longest panicle length, while HYL had the highest grain weight per panicle and grain density. HIR had the highest number of spikelets on the low secondary rachis branches, while HYL and MYL had the highest number of spikelets in other panicle positions, especially on the upper secondary rachis branches and the middle secondary rachis branches of panicle. 3) Leaf length and width of the top-three leaves followed a tendency of MYL > HIR > HYL > CJR. HYL had consistently higher rolling rate of top-three leaves than MYL. HYL had the lowest leaf basic angle and dropping angle of the 1st and 2nd leaf from the top. 4) Plant height of HYL was 118.7 cm, higher than CJR (96.6 cm), shorter than HIR (132.9 cm) and MYL (144.1 cm). MYL had the highest length of top-three nodes, while CJR showed the opposite. HYL had the lowest rate of panicle and neck internode to plant height and rate of neck internode to stalk length, while HYL had the highest dry weight per stem, dry weight per sheath, and dry weight per unit internode among different rice types. Breeding index on plant-type characteristics of high-yielding lines of Yongyou *japonica/indica* hybrid rice with medium maturity and corresponding cultivation methods were proposed.

Key words: medium-maturity; Yongyou; high-yielding; panicle traits; plant type; rice

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. *中国水稻科学*, 2016, 30(2): 170-180.

摘要: 以甬优系列籼粳杂交稻中熟类型品系为试材, 常规粳稻宁粳 3 号和武运粳 29、杂交籼稻丰两优香 1 号和新两优 6380 为对照, 比较各类型在穗部特征、叶片形态以及茎秆特性上的差异。结果表明, 1) 依据甬优系列籼粳杂交稻两年中的产量表现, 将其分成高产品系(产量 > 10.5 t/hm²)和中产品系(产量 < 10.5 t/hm²)。两年中, 甬优系列籼粳杂交稻高产品系为

收稿日期: 2015-09-14; 修改稿收到日期: 2015-10-29。

基金项目: 农业部超级稻专项(02318802013231); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303102); 宁波市重大科技资助项目(2013C11001); 江苏省重点研发项目(BE2015340)。

甬优 2638、甬优 2640、甬优 1610、甬优 1612 和甬优 1640, 中产品系为甬优 1851、甬优 1852、甬优 7753、甬优 1763 和甬优 5854。产量构成因素方面, 不同类型品种单株穗数、结实率和千粒重以常规粳稻最高, 每穗粒数以高产品系最高。2) 穗长以杂交籼稻最高, 单穗重和着粒密度以高产品系最高; 除穗下部二次枝梗籽粒数以外, 穗部其余 5 部位籽粒数均以高产品系、中产品系显著高于常规粳稻和杂交籼稻, 且籽粒数以上部二次枝梗和中部二次枝梗的增加最为明显。3) 上三叶的叶长和叶宽为中产品系 > 杂交籼稻 > 高产品系 > 常规粳稻, 高产品系上三叶的卷曲率高于对应的中产品系; 上部第 1、2 叶的叶基角和披垂角以高产品系最低。4) 高产品系株高为 118.7 cm, 高于常规粳稻 (96.6 cm), 低于杂交籼稻 (132.9 cm) 和中产品系 (144.1 cm); 上部第 1、2、3 节间长度以中产品系最高、常规粳稻最低; 穗长与穗下节间长占株高比例、穗下节间占秆长比例均以高产品系最低。单茎干质量、单茎鞘干质量、茎秆单位节间干质量以高产品系最高。提出了甬优籼粳交中熟高产品系的株型选育指标及配套高产栽培措施。

关键词: 中熟; 甬优; 高产; 穗部特征; 株型; 水稻

中图分类号: S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2016)02-0170-11

理想株型与籼粳杂种优势利用相结合是进一步挖掘水稻产量潜力的重要途径^[1]。国内外研究者根据不同稻作区生态特点和品种特性提出了相应的理想株型模式^[2-4], 如国际水稻研究所的超级稻新株型模式^[2]、国家杂交稻研究中心的超级杂交稻株型模式^[3]。此外, 众多研究者通过研究不同基因型品种^[5,6]、产量差异群体^[7,8]等在株型特征上的差异, 探讨了水稻高产株型模式。近几年, 甬优系列籼粳杂交稻已在生产上表现出较高的产量优势^[9], 多个品种被农业部认定为超级稻, 如甬优 12、甬优 15 和甬优 538, 甬优 12 和甬优 2640 更是在长江中下游地区连续多年创造 13.5 t/hm² 以上高产实绩^[10,11]。许德海等^[12] 和马荣荣等^[13] 研究了甬优 6 号超高产群体的生理特性和株型特征。姜元华等从产量构成因素^[14]、光合物质生产^[15]、根系形态生理^[16] 等角度对甬优系列籼粳杂交稻的高产形成机理进行了分析。当前对甬优系列籼粳杂交稻的株型特征已有相关报道, 但只针对其中个别品种, 对甬优系列籼粳杂交稻株型特征的系统研究相对较少。与常规粳稻和杂交籼稻相比, 甬优系列籼粳杂交稻在穗部特征、叶片形态以及茎秆特性上具有哪些差异, 尚缺乏较为系统的比较研究。为此, 本研究以生育期与甬优 2640 较为相近(中熟品系)的甬优籼粳交组合为试材, 以常规粳稻宁粳 3 号和武运粳 29、杂交籼稻丰两优香 1 号和新两优 6380 为对照, 依据甬优籼粳交组合的产量表现将其分成高产品系(产量 > 10.5 t/hm²) 和中产品系(产量 < 10.5 t/hm²), 系统比较甬优籼粳交组合中的高产品系、中产品系、常规粳稻和杂交籼稻在穗部特征、叶片形态以及茎秆特性上的差异, 试图揭示甬优系列籼粳杂交稻的株型特征与产量优势形成机理, 以为籼粳杂交稻高产栽培与育种实践提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验材料与栽培管理

以甬优籼粳交品系甬优 2640、甬优 2638、甬优 1640、甬优 1612、甬优 1610、甬优 1851、甬优 1852、甬优 7753、甬优 1763、甬优 5854 为试材(生育期 141~143 d), 以常规粳稻宁粳 3 号和武运粳 29(生育期 150~152 d)、杂交籼稻丰两优香 1 号和新两优 6380 为对照(生育期 143~145 d)。甬优籼粳交材料由宁波市种子公司提供。

试验于 2013—2014 年在浙江省宁波市鄞州区洞桥镇百梁桥村进行。土壤类型为黄化青紫泥田, pH 5.51, 有机质 38.37 g/kg, 全氮 0.16%, 碱解氮 82.45 mg/kg, 速效磷 20.14 mg/kg, 速效钾 78.45 mg/kg, 水溶性盐总量 0.13 g/kg, 有效硅 88.64 mg/kg。两年中水稻生长期间的平均温度、日照时数、降雨量见表 1。

采取完全随机区组设计, 小区面积 25 m², 2 次重复。小区间筑埂隔离, 并用塑料薄膜覆盖埂体, 保证单独排灌。塑料软盘育秧, 2013 年播期为 5 月 18 日(2014 年为 5 月 19 日), 播种量 100 g/盘, 秧龄 20 d, 人工栽插, 栽插株行距为 30 cm × 13.2 cm。籼粳杂交稻和杂交籼稻每穴 2 苗, 常规粳稻每穴 4 苗。籼粳杂交稻和常规粳稻施纯氮 270 kg/hm², 杂交籼稻施纯氮 225 kg/hm², 施用比例按 $m_{\text{基肥}} : m_{\text{穗粒肥}} = 5 : 5$ 施用。各小区磷、钾肥施用量一致, 即施过磷酸钙(含 12% P₂O₅) 1125 kg/hm²(折合 P₂O₅ 为 135 kg/hm², 全部基施。施氯化钾(含 60% K₂O) 450 kg/hm²(折合 K₂O 为 270 kg/hm²), 按 $m_{\text{基肥}} : m_{\text{穗粒肥}} = 5 : 5$ 施用。移栽后采用湿润灌溉为主, 建立浅水层; 群体达到目标穗数的 80% 时进行搁田, 控制无效分蘖发生; 抽穗扬花期田间保持 3 cm 水层, 灌浆结实期间歇灌溉, 干湿交替, 收割前 7 d

表1 水稻生长期间的气象资料

Table 1. Climate conditions during rice growing seasons.

月份 Month	平均温度		日照时数		降雨量	
	Mean temperature/°C		Sunshine hours/h		Rainfall/mm	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
5月 May	22.2	21.7	192.4	139.1	73.6	144.8
6月 June	24.9	23.9	100.6	90.2	324.2	186.1
7月 July	31.5	28.5	338.3	195.3	69.3	149.9
8月 August	30.7	27.6	263.1	173.1	251.6	326.2
9月 September	25.5	25.2	223.8	165.2	32.9	53.2
10月 October	19.9	20.7	161.3	150.7	424.0	371.4
11月 November	13.8	15.4	178.3	163.9	42.6	54.7

断水搁田。病虫害按常规高产栽培要求防治。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 穗部性状

于成熟期,各小区按平均穗数取20穴考种,并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。具体分类方法如下:先将整穗按一次枝梗数平均分成上、中、下3部分,若遇不能平均三等分的,则上部和下部取平均数的整数部分,剩余的归为中部。之后上、中、下部再按籽粒着粒位置分成一次枝梗籽粒和二次枝梗籽粒。考查穗长、每穗粒数、单穗重、结实率和穗部6部位籽粒数。

1.2.2 上三叶的叶基角和叶披垂角

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

1.2.3 上三叶长、宽和卷曲率

于齐穗期,各小区选取生长基本一致的20穴植株,选定主茎,测量上三叶的长度、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。

1.2.4 茎秆性状

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

1.2.5 叶面积和干物质量

于拔节期、抽穗期、成熟期按每小区茎蘖数的平均值取10穴测定叶面积和干物质量。叶面积测定按长宽系数法进行。取样植株分叶、茎、鞘、穗后在

105℃下杀青30 min,80℃烘干至恒重,测定干物质量。

1.2.6 产量

成熟期每小区调查100穴,计算有效穗数,取20穴调查每穗粒数、结实率,测定千粒重;每小区实产收割面积8 m²,脱粒后晾晒,并称重。

1.3 数据处理

运用Microsoft Excel软件录入数据、计算,用DPS软件作统计分析。由于2013和2014年两年试验趋势一致,若无特殊说明,主要以2014年数据展开分析。

2 结果与分析

2.1 产量及其构成因素

依据甬优籼粳交中熟品系两年中的产量表现,将产量高于10.5 t/hm²的列为高产品系,低于10.5 t/hm²的列为中产品系。两年中,高产品系为甬优2640、甬优2638、甬优1610、甬优1640和甬优1612;中产品系为甬优1851、甬优1852、甬优5854、甬优1763和甬优7753。两年中甬优籼粳交高产品系的产量较常规粳稻高出8.6%~15.4%,较杂交籼稻高出14.2%~20.5%。比较产量构成因素,单位面积株穗数表现为常规粳稻>高产品系>杂交籼稻>中产品系,每穗粒数高产品系、中产品系显著高于常规粳稻和杂交籼稻,结实率和千粒重以常规粳稻最高(表2)。

2.2 穗部性状

分析各品种的穗部性状可知,穗长以杂交籼稻最高,高产品系单穗重和着粒密度分别为5.8和13.1,均显著高于其他3种类型。穗部6部位籽粒数除穗下部二次枝梗籽粒数以杂交籼稻最高外,其余5部位籽粒数均以高产品系、中产品系显著高于

表 2 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系产量及其构成因素

Table 2. Grain yield and its components of high-yielding Youngyou *indica/japonica* hybrid rice with medium maturity.

年份、品种和类型 Year, variety and type	单位面积穗数 No. of panicles /($\times 10^4$ hm $^{-2}$)	每穗粒数 Spikelet number per panicle	结实率 Seed-setting rate/%	千粒重 1000-grain weight /g	实际产量 Actual yield /(t · hm $^{-2}$)
2013					
高产品系 HYL	204.0	328.7	82.9	21.5	11.7
甬优 2638 Yongyou 2638	196.5	337.7	81.6	22.4	11.1
甬优 1610 Yongyou 1610	223.5	311.9	82.6	21.3	10.9
甬优 1640 Yongyou 1640	213.0	301.6	80.5	22.4	10.8
甬优 1612 Yongyou 1612	207.0	323.5	83.4	22.1	11.1
平均 Mean	208.8 \pm 10.9 b	320.7 \pm 23.7 a	82.2 \pm 1.5 c	21.9 \pm 0.5 c	11.1 \pm 0.3 a
中产品系 MYL					
甬优 1851 Yongyou 1851	220.5	301.6	78.3	20.9	10.2
甬优 1852 Yongyou 1852	193.5	309.1	80.4	22.7	10.2
甬优 5854 Yongyou 5854	198.0	294.5	76.5	23.3	9.8
甬优 1763 Yongyou 1763	183.0	317.5	78.4	23.4	10.1
甬优 7753 Yongyou 7753	193.5	336.3	79.2	20.7	10.3
平均 Mean	197.7 \pm 13.5 c	311.8 \pm 18.2 ab	78.6 \pm 1.5 d	22.2 \pm 1.2 c	10.1 \pm 0.2 b
常规粳稻 CJR					
武运粳 30 Wuyunjing 30	289.5	159.2	89.3	25.9	10.0
宁粳 3 号 Ningjing 3	310.5	136.7	90.2	26.2	9.8
平均 Mean	300.0 \pm 12.8 a	148.0 \pm 14.6 c	89.8 \pm 0.9 a	26.1 \pm 0.3 a	9.9 \pm 0.1 c
杂交籼稻 HIR					
新两优 6380 Xinliangyou 6380	207.0	205.9	88.1	25.2	9.2
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	202.5	217.7	89.1	24.9	9.4
平均 Mean	204.8 \pm 6.2 b	211.8 \pm 12.3 b	88.6 \pm 0.7 b	25.1 \pm 0.4 b	9.3 \pm 0.1 d
2014					
高产品系 HYL					
甬优 2640 Yongyou 2640	214.5	285.2	85.8	22.4	11.5
甬优 2638 Yongyou 2638	208.5	294.2	86.7	23.2	11.2
甬优 1610 Yongyou 1610	237.0	262.7	84.7	22.1	10.8
甬优 1640 Yongyou 1640	234.0	250.6	83.5	23.1	10.9
甬优 1612 Yongyou 1612	225.0	268.4	84.3	23.4	10.9
平均 Mean	223.8 \pm 12.6 b	272.2 \pm 19.1 a	85.0 \pm 1.3 b	22.8 \pm 0.6 c	11.0 \pm 0.3 a
中产品系 MYL					
甬优 1851 Yongyou 1851	234.0	253.1	82.1	21.7	10.0
甬优 1852 Yongyou 1852	205.5	264.2	83.2	24.0	10.2
甬优 5854 Yongyou 5854	216.0	243.7	83.5	24.1	10.1
甬优 1763 Yongyou 1763	204.0	263.6	83.7	24.2	10.0
甬优 7753 Yongyou 7753	210.0	294.1	82.5	21.8	10.3
平均 Mean	213.9 \pm 12.6 c	263.7 \pm 21.5 a	83.0 \pm 1.2 c	23.2 \pm 1.3 c	10.1 \pm 0.1 b
常规粳稻 CJR					
武运粳 30 Wuyunjing 30	301.5	144.3	90.5	26.8	9.9
宁粳 3 号 Ningjing 3	328.5	127.0	91.1	27.1	9.7
平均 Mean	315.0 \pm 17.3 a	135.7 \pm 12.3 c	90.8 \pm 0.3 a	27.0 \pm 0.2 a	9.8 \pm 0.1 c
杂交籼稻 HIR					
新两优 6380 Xinliangyou 6380	216.0	190.5	89.9	26.3	9.1
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	219.0	194.8	90.5	25.7	9.3
平均 Mean	217.5 \pm 4.5 b	192.7 \pm 9.7 b	90.2 \pm 0.6 ab	26.0 \pm 0.4 b	9.2 \pm 0.1 d

数据后跟不同字母表示经 LSD 法测验同一年份在 5% 水平上差异显著。下同。

Values followed by different letters are significantly different at 5% level in the same year by LSD test. HYL, High-yielding lines of Yongyou *japonica/indica* lines; MYL, Medium-yielding lines of Yongyou *japonica/indica* lines; CJR, Conventional *japonica* rice; HIR, Hybrid *indica* rice. The same as below.

表3 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的穗部性状

Table 3. Panicle traits of high-yielding *Yongyou japonica/indica* hybrid rice with medium maturity.

品种与类型 Variety and type	穗长 PL/cm	单穗重 GWPP/g	着粒密度 GD	上部一次	上部二次	中部一次	中部二次	下部一次	下部二次枝
				枝梗籽粒数	枝梗籽粒数	枝梗籽粒数	枝梗籽粒数	枝梗籽粒数	梗籽粒数
				NGUP	NGUS	NGMP	NGMS	NGLP	NGLS
高产品系 HYL									
甬优 2640 Yongyou 2640	22.3	6.0	12.8	29.2	93.8	27.0	78.8	27.4	28.9
甬优 2638 Yongyou 2638	22.0	5.9	13.4	34.9	78.0	36.2	78.4	35.7	30.9
甬优 1610 Yongyou 1610	20.4	5.7	12.9	25.4	86.4	24.9	77.7	25.3	23.0
甬优 1640 Yongyou 1640	19.9	5.8	12.6	29.7	63.8	33.1	66.8	30.4	26.7
甬优 1612 Yongyou 1612	19.6	5.8	13.7	28.9	77.5	29.3	75.5	29.2	28.0
平均 Mean	20.8±1.3 c	5.8±0.2 a	13.1±0.6 a	29.6±3.5 a	79.9±10.9 a	30.1±5.0 a	75.4±7.3 a	29.6±3.7 a	27.5±3.2 ab
中产品系 MYL									
甬优 1851 Yongyou 1851	22.4	5.1	11.3	24.5	76.7	25.7	74.9	24.4	27.0
甬优 1852 Yongyou 1852	21.7	5.3	12.2	29.6	69.7	32.5	73.1	32.1	27.2
甬优 5854 Yongyou 5854	23.7	5.1	10.3	26.2	70.4	26.6	68.5	26.5	25.4
甬优 1763 Yongyou 1763	22.5	5.3	11.7	27.0	82.8	25.0	78.0	25.4	25.4
甬优 7753 Yongyou 7753	23.7	5.3	12.4	34.9	73.2	36.2	78.4	35.7	35.7
平均 Mean	22.8±1.2 b	5.2±0.2 b	11.6±0.8 b	28.5±3.9 a	74.6±5.5 a	29.2±4.8 a	74.6±4.2 a	28.8±4.7 a	28.2±4.2 a
常规粳稻 CJR									
武运粳 30 Wuyunjing 30	16.6	3.5	8.7	23.4	13.0	23.7	33.5	23.7	27.0
宁粳 3 号 Ningjing 3	17.4	3.1	7.3	20.8	11.6	22.5	32.5	20.1	19.4
平均 Mean	17.0±1.1 d	3.3±0.4 d	8.0±0.8 c	22.1±1.6 b	12.3±1.0 c	23.1±1.1 b	33.0±0.8 c	21.9±2.3 b	23.2±4.5 b
杂交籼稻 HIR									
新两优 6380 Xinliangyou 6380	23.2	4.5	8.2	21.1	40.8	22.5	55.4	23.6	27.1
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	24.7	4.5	7.9	18.6	49.3	20.7	54.7	20.9	30.5
平均 Mean	23.9±1.1 a	4.5±0.2 c	8.1±0.2 c	19.9±1.6 b	45.1±5.1 b	21.6±1.6 b	55.0±1.0 b	22.2±2.2 b	28.8±2.2 a

数据后跟不同字母表示经 LSD 法测验在 5% 水平上差异显著。下同。

Values followed by different letters are significantly different at 5% level by LSD test. PL, Panicle length; GD, Grain density; GWPP, Grain weight per panicle; NGUP, Number of grains on the upper primary rachis branches; NGUS, Number of grains on the upper secondary rachis branches; NGMP, Number of grains on the middle primary rachis branches; NGMS, Number of grains on the middle secondary rachis branches; NGLP, Number of grains on the low primary rachis branches; NGLS, Number of grains on the low secondary rachis branches; HYL, High-yielding lines of *Yongyou japonica/indica* lines; MYL, medium-yielding lines of *Yongyou japonica/indica* lines; CJR, Conventional *japonica* rice; HIR, Hybrid *indica* rice. The same as below.

常规粳稻和杂交籼稻,尤其是上部二次枝梗籽粒数和中部二次枝梗籽粒数(表3)。

2.3 上三叶的形态特征

由表4可知,上部3叶的叶长和叶宽为中产品系>杂交籼稻>高产品系>常规粳稻。高产品系上部第1、2、3叶的卷曲率分别为1.62、1.33、1.20,高于对应的中产品系(表4)。至于上三叶叶角,剑叶和倒2叶的叶基角以中产品系最高,剑叶和倒2叶披垂角及倒3叶的叶基角和披垂角则以杂交籼稻高于其余3种类型(表5)。

2.4 不同生育期的叶面积指数和比叶重

不同类型品种抽穗期的叶面积指数以杂交籼稻最高,达8.5。上3叶的叶面积指数及所占比例以中产品系最高。高产品系成熟期叶面积指数达3.7,较中产品系、常规粳稻和杂交籼稻分别高出13.5%、8.1%和27.0%,差异显著(表6)。

2.5 茎秆特征

中产品系株高达144 cm,高产品种为118.7

cm。穗高和秆长呈中产品系>杂交籼稻>高产品系>常规粳稻。倒1和倒3节间长度为中产品系>杂交籼稻>高产品系>常规粳稻,倒2节间为中产品系>高产品系>杂交籼稻>常规粳稻。穗长与穗下节间长占株高比例以杂交籼稻最高(49.5%),穗下节间占秆长比例以中产品系最高,达43.5%(表7)。高产品系单茎茎、鞘干质量,茎秆单位节间干质量分别为1.81、1.38和0.0645,均高于对应的中产品系、常规粳稻和杂交籼稻(表8)。

3 讨论

3.1 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的穗部特征

穗大粒多是甬优系列籼粳杂交稻产量优势形成的重要基础^[14]。姜元华等^[14]研究表明,甬优系列籼粳杂交稻穗部总粒数、着粒密度、单穗重、一次和二次枝梗数以及一次和二次枝梗籽粒数均显著高于杂交粳稻、常规粳稻和杂交籼稻。马荣荣等^[13]研究

表 4 甬优系列籼粳杂交稻中熟品种上三叶的叶长、叶宽和卷曲率

Table 4. Length, width and rolling rate of top-three leaves of high-yielding *Youngyou japonica/indica* hybrid rice with medium maturity.

品种与类型 Variety and type	剑叶 Flag leaf			倒 2 叶 Second leaf from top			倒 3 叶 Third leaf from top		
	叶长	叶宽	卷曲率	叶长	叶宽	卷曲率	叶长	叶宽	卷曲率
	Length/cm	Width/cm	Rolling rate	Length/cm	Width/cm	Rolling rate	Length/cm	Width/cm	Rolling rate
高产品系 HYL									
甬优 2640 Yongyou 2640	33.8	2.3	1.58	43.6	2.1	1.26	45.5	1.9	1.14
甬优 2638 Yongyou 2638	26.1	2.3	1.62	36.4	2.2	1.35	38.1	2.0	1.20
甬优 1610 Yongyou 1610	28.9	2.4	1.54	40.8	2.2	1.29	42.1	2.0	1.19
甬优 1640 Yongyou 1640	30.3	2.2	1.66	41.6	2.0	1.34	42.8	1.8	1.21
甬优 1612 Yongyou 1612	32.1	2.3	1.72	44.5	2.0	1.41	45.2	1.8	1.25
平均 Mean	30.2±2.9 c	2.3±0.1 b	1.62±0.1	41.4±3.7 c	2.1±0.2 b	1.33±0.1	42.7±2.9 c	1.9±0.2 b	1.20±0.2
中产品系 MYL									
甬优 1851 Yongyou 1851	42.5	2.7	1.48	53.4	2.4	1.22	54.5	2.2	1.12
甬优 1852 Yongyou 1852	43.2	2.6	1.52	54.7	2.2	1.23	56.4	2.1	1.11
甬优 5854 Yongyou 5854	41.3	2.8	1.43	57.4	2.5	1.17	59.3	2.2	1.09
甬优 1763 Yongyou 1763	47.0	2.6	1.52	58.5	2.2	1.27	60.6	2.0	1.14
甬优 7753 Yongyou 7753	48.9	2.7	1.45	61.0	2.3	1.15	62.8	2.0	1.07
平均 Mean	44.6±3.1 a	2.7±0.2 a	1.48±0.1	57.0±2.9 a	2.3±0.2 a	1.21±0.1	58.7±3.3 a	2.1±0.1 a	1.11±0.1
常规粳稻 CJR									
武运粳 30 Wuyunjing 30	22.8	1.5	0.00	30.9	1.4	0.00	31.6	1.3	0.00
宁粳 3 号 Ningjing 3	23.0	1.6	0.00	31.2	1.5	0.00	32.4	1.4	0.00
平均 Mean	22.9±1.0 d	1.6±0.1 c	0.00	31.1±0.4 d	1.5±0.1 c	0.00	32.0±0.7 d	1.4±0.1 d	0.00
杂交籼稻 HIR									
新两优 6380 Xinliangyou 6380	42.9	2.5	0.00	51.9	2.3	0.00	55.5	1.8	0.00
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	39.7	2.3	0.00	50.1	2.2	0.00	53.3	1.8	0.00
平均 Mean	41.3±1.8 b	2.4±0.1 ab	0.00	51.0±1.1 b	2.3±0.1 a	0.00	54.4±1.6 b	1.8±0.1 c	0.00

表 5 甬优系列籼粳杂交稻中熟品种上三叶的叶基角和披垂角

Table 5. Leaf basic angle and drooping angle of top-three leaves of high-yielding *Youngyou indica/japonica* hybrid rice with medium maturity.

品种与类型 Variety and type	剑叶 Flag leaf		倒 2 叶 Second leaf from top		倒 3 叶 Third leaf from top	
	叶基角	披垂角	叶基角	披垂角	叶基角	披垂角
	Basic angle/°	Drooping angle/°	Basic angle/°	Drooping angle/°	Basic angle/°	Drooping angle/°
高产品系 HYL						
甬优 2640 Yongyou 2640	7.5	2.4	12.2	4.0	16.1	5.4
甬优 2638 Yongyou 2638	6.8	1.5	11.5	3.8	15.5	6.2
甬优 1610 Yongyou 1610	8.2	1.9	11.9	4.5	16.2	5.8
甬优 1640 Yongyou 1640	7.2	2.2	11.2	4.0	14.9	6.2
甬优 1612 Yongyou 1612	6.5	2.0	10.8	3.7	15.2	5.8
平均 Mean	7.2±0.6 c	2.0±0.3 c	11.5±0.6 c	4.0±0.3 c	15.6±0.8 d	5.9±0.4 c
中产品系 MYL						
甬优 1851 Yongyou 1851	10.5	3.8	15.8	6.1	20.3	8.2
甬优 1852 Yongyou 1852	11.6	4.5	16.7	7.2	21.6	10.9
甬优 5854 Yongyou 5854	9.9	5.2	17.2	7.5	23.5	11.3
甬优 1763 Yongyou 1763	11.4	4.1	17.4	8.3	21.5	11.7
甬优 7753 Yongyou 7753	12.5	3.9	16.5	5.8	22.3	8.1
平均 Mean	11.2±1.0 a	4.3±0.6 b	16.7±0.7 a	7.0±1.0 b	21.8±1.2 b	10.0±1.7 b
常规粳稻 CJR						
武运粳 30 Wuyunjing 30	8.5	2.1	15.4	3.8	18.6	5.2
宁粳 3 号 Ningjing 3	9.1	2.3	14.8	4.2	19.2	5.8
平均 Mean	8.8±0.5 b	2.2±0.2 c	15.1±0.5 b	4.0±0.3 c	18.9±0.6 c	5.5±0.4 c
杂交籼稻 HIR						
新两优 6380 Xinliangyou 6380	7.7	6.1	15.2	10.6	23.7	13.4
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	6.9	5.2	16.8	9.2	21.5	12.7
平均 Mean	7.3±0.5 c	5.7±0.6 a	16.0±1.1 a	9.9±1.0 a	22.6±1.5 a	13.1±0.7 a

表6 甬优系列籼粳杂交稻中熟品种不同生育期叶面积指数和比叶重

Table 6. Leaf area index and specific leaf weight at different growth stages of high-yielding Youngyou indica/japonica hybrid rice with medium maturity.

品种与类型 Variety and type	抽穗期 Heading stage				成熟期 叶面积指数 LAI at maturity
	叶面积指数 LAI	上三叶叶面积指数	所占比例	比叶重 SLW /(mg·cm ⁻²)	
		LAI of top-three leaves	Rate of LAI of top-three leaves to LAI		
高产品系 HYL					
甬优 2640 Yongyou 2640	7.1	4.2	59.2	5.2	3.7
甬优 2638 Yongyou 2638	7.6	3.5	45.5	5.5	3.9
甬优 1610 Yongyou 1610	7.3	4.4	60.6	5.3	3.7
甬优 1640 Yongyou 1640	7.4	4.1	55.0	5.6	3.6
甬优 1612 Yongyou 1612	7.3	4.2	57.7	5.4	3.6
平均 Mean	7.3±0.3 b	4.1±0.4 c	55.6±5.7 c	5.4±0.3 a	3.7±0.2 a
中产品系 MYL					
甬优 1851 Yongyou 1851	8.4	6.5	77.5	5.1	3.4
甬优 1852 Yongyou 1852	8.1	5.5	68.3	5.0	3.2
甬优 5854 Yongyou 5854	8.7	6.5	74.2	4.8	3.3
甬优 1763 Yongyou 1763	8.1	5.8	71.9	5.1	3.1
甬优 7753 Yongyou 7753	8.2	6.4	78.1	4.9	2.9
平均 Mean	8.3±0.3 a	6.1±0.5 a	74.0±4.1 a	5.0±0.2 b	3.2±0.2 b
常规粳稻 CJR					
武运粳 30 Wuyunjing 30	6.9	3.7	53.6	5.6	3.3
宁粳 3 号 Ningjing 3	7.2	3.9	54.2	5.6	3.4
平均 Mean	7.1±0.3 c	3.8±0.2 d	53.9±0.6 c	5.6±0.3 a	3.4±0.2 b
杂交籼稻 HIR					
新两优 6380 Xinliangyou 6380	8.4	5.4	64.4	4.8	2.8
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	8.5	5.0	58.8	5.1	2.6
平均 Mean	8.5±0.3 a	5.2±0.3 b	61.6±3.3 b	5.0±0.3 b	2.7±0.2 c

LAI, Leaf area index; SLW, Specific leaf weight.

表7 甬优系列籼粳杂交稻中熟品种茎秆特征

Table 7. Culm traits of high-yielding Youngyou indica/japonica hybrid rice with medium maturity.

品种与类型 Variety and type	株高 Plant height /cm	穗长 Panicle length /cm	秆长 Culm length /cm	节间长 Top internode length/cm			穗长+穗下节间 长/株高 Rate of length of panicle and neck internode to plant height /%	
							倒 3 节间 Third node	穗下节间/秆长 Rate of neck internode to culm length /%
				倒 1 节间 First node	倒 2 节间 Second node	倒 3 节间 Third node		
高产品系 HYL								
甬优 2640 Yongyou 2640	116.6	113.8	88.2	30.6	21.6	14.9	45.3	34.7
甬优 2638 Yongyou 2638	117.9	117.8	94.8	31.6	21.0	17.4	45.4	33.3
甬优 1610 Yongyou 1610	121.8	119.5	94.8	34.7	23.0	12.7	45.2	36.6
甬优 1640 Yongyou 1640	119.3	116.5	92.8	34.7	21.0	17.6	45.8	37.4
甬优 1612 Yongyou 1612	117.8	115.6	92.9	35.6	23.5	15.6	46.9	38.3
平均 Mean	118.7±3.3 c	116.6±2.4 c	92.7±2.7 c	33.4±2.3 c	22.0±1.3 c	15.6±2.0 c	45.7±0.9 c	36.1±2.1 d
中产品系 MYL								
甬优 1851 Yongyou 1851	144.9	134.6	109.2	46.2	24.2	20.1	47.3	42.3
甬优 1852 Yongyou 1852	141.1	124.7	99.2	40.6	23.9	19.4	44.1	40.9
甬优 5854 Yongyou 5854	151.5	142.0	112.5	47.5	25.3	21.0	47.0	42.2
甬优 1763 Yongyou 1763	142.6	129.0	99.5	45.5	22.4	18.1	47.7	45.7
甬优 7753 Yongyou 7753	140.6	128.8	97.3	45.3	25.2	18.4	49.1	46.5
平均 Mean	144.1±4.3 a	131.8±6.4 a	103.5±6.6 a	45.0±2.5 a	24.2±1.2 a	19.4±1.4 a	47.0±2.4 b	43.5±2.4 a
常规粳稻 CJR								
武运粳 30 Wuyunjing 30	98.1	95.4	77.3	31.4	19.2	12.1	48.9	40.6
宁粳 3 号 Ningjing 3	95.1	95.3	75.7	28.6	18.5	11.7	48.4	37.8
平均 Mean	96.6±1.7 d	95.3±0.4 d	76.5±1.1 d	30.0±1.7 c	18.8±0.6 d	11.9±0.6 d	48.6±0.4 b	39.2±1.7 c
杂交籼稻 HIR								
新两优 6380 Xinliangyou 6380	138.8	130.3	100.4	44.7	24.0	16.6	48.9	44.5
丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	127.0	123.2	97.5	39.0	19.4	17.9	50.1	40.0
平均 Mean	132.9±6.8 b	126.8±4.1 b	98.9±1.8 b	41.8±3.3 b	21.7±2.7 b	17.2±1.2 b	49.5±0.7 a	42.2±2.6 b

表 8 甬优系列籼粳杂交稻中熟品种单茎茎干、鞘干质量

Table 8. Culm and sheath dry weight per stem of high-yielding Youngyou *indica/japonica* hybrid rice with medium maturity.

品种类型 Variety type	品种 Variety	茎干质量 Dry weight per stem/g	鞘干质量 Dry weight per sheath /g	茎秆单位节间干质量 Dry weight per unit internode /(g · cm ⁻¹)
高产品系 HYL	甬优 2640 Yongyou 2640	1.83	1.46	0.0673
	甬优 2638 Yongyou 2638	1.74	1.22	0.0612
	甬优 1610 Yongyou 1610	1.92	1.53	0.0664
	甬优 1640 Yongyou 1640	1.81	1.37	0.0643
	甬优 1612 Yongyou 1612	1.74	1.33	0.0630
	平均 Mean	1.81±0.08 a	1.38±0.11 a	0.0645±0.0024 a
中产品系 MYL	甬优 1851 Yongyou 1851	1.76	1.22	0.0573
	甬优 1852 Yongyou 1852	1.69	1.17	0.0588
	甬优 5854 Yongyou 5854	1.52	1.18	0.0540
	甬优 1763 Yongyou 1763	1.46	1.01	0.0548
	甬优 7753 Yongyou 7753	1.61	1.18	0.0587
	平均 Mean	1.61±0.12 b	1.15±0.08 b	0.0567±0.0021 b
常规粳稻 CJR	武运粳 30 Wuyunjing 30	1.18	0.64	0.0535
	宁粳 3 号 Ningjing 3	1.22	0.66	0.0548
	平均 Mean	1.20±0.03 c	0.65±0.05 d	0.0542±0.0010 b
杂交籼稻 HIR	新两优 6380 Xinliangyou 6380	1.18	0.83	0.0500
	丰两优香 1 号 Fengliangyouxiang 1	1.15	0.75	0.0495
	平均 Mean	1.17±0.05 d	0.79±0.07 c	0.0498±0.0005 c

表明,成熟期籼粳交超级稻甬优 6 号穗呈弧形、一次和二次枝梗数特别多,粒形偏团。龚金龙等^[17]研究表明,甬优系列杂交稻穗长、每穗粒数、着粒密度和单穗重均显著高于对对照常规粳稻。本研究表明,甬优系列高产品系产量均高出对对照常规粳稻和杂交籼稻 8% 以上,且每穗粒数、着粒密度和单穗重均显著高于中产品系以及对照。此外,本研究将各品种穗部分成 6 部分,比较这 6 部分的籽粒数发现,除下部二次枝梗籽粒数低于杂交籼稻外,高产品系和中产品系在其余 5 部分的籽粒数均显著高于对照,尤其是上部二次枝梗和中部二次枝梗籽粒数。

本研究按一次枝梗数三等分原则将穗部分成上、中、下部,比较这 3 部分籽粒数发现,常规粳稻这 3 部分籽粒数比例为 1 : 1.63 : 1.31、杂交籼稻为 1 : 1.18 : 0.78、高产品系为 1 : 0.96 : 0.52、中产品系为 1 : 1 : 0.55(数据未列出)。该结果表明,与常规粳稻和杂交籼稻相比,甬优系列高产品系穗部籽粒数主要集中在上部和中部,下部较少。由于着生在稻穗中上部的籽粒开花早、灌浆快,充实好^[18],因此,对大穗型品种而言,这种籽粒数主要集中在中上部的配置可尽可能地充分利用光合产物进行灌浆充实,以提高结实率,这与李红宇等^[19]提出的水稻理

想穗型参数中籽粒应偏向穗轴中上部分布的思路是一致的。

3.2 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的叶片形态和株高特性

上三叶作为水稻生殖生长阶段的主要功能叶,其形态特征(叶片大小和着生角度)对获得高产至关重要,上三叶的叶片形态特征也一直是理想株型中的重要内容^[20]。马均等^[4]提出重穗型水稻品种理想株型中上三叶形态配置如下:倒 1、2、3 叶叶长分别为 40~45 cm、50~55 cm、50~60 cm,叶宽分别为 2.0~2.2 cm、1.6~1.8 cm、1.4~1.6 cm,叶角分别为 10°、20°、30°。程式华等^[21]提出单产水平 12 t/hm² 以上超高产杂交水稻的理想株型中上三叶形态配置如下:叶片挺立、微内卷,倒 1、2、3 叶叶长分别为 45 cm、50~55 cm、50~60 cm,叶宽分别为 2.5 cm、2.1 cm、2.1 cm,叶角分别小于 10°、20°、30°。杜永等^[22]提出黄淮地区中粳水稻品种超高产(>12 t/hm²)株型中上三叶配置为倒 1、2、3 叶叶长分别为 26~28 cm、35~40 cm、32~38 cm;剑叶角度<20°。本研究表明,与对照相比,甬优系列高产品系上三叶内卷,倒 1、2、3 叶叶长分别为 30.2 cm、41.4 cm、42.7 cm,叶宽分别为 2.3 cm、2.1 cm、1.9 cm,均低于

表9 甬优系列籼粳交中熟高产品系的株型选育指标

Table 9. Breeding index on plant-type characteristics of high-yielding *Yongyou japonica/indica* hybrids with medium maturity.

株型指标 Plant-type index	参考值 Reference value
每穗粒数 Spikelet number per panicle	>250
单穗重 Panicle weight/g	>5.5
剑叶叶片形态 Morphological traits of the flag leaf	叶长 28~33 cm, 叶宽 2.2~2.4 cm, 叶基角 < 9°, 卷曲率 > 1.6 Leaf length 28-33 cm, leaf width 2.2-2.4 cm, leaf basic angle lower than 9° and rolling rate higher than 1.6
倒2叶叶片形态 Morphological traits of the 2nd leaf from the top	叶长 40~43 cm, 叶宽 2.0~2.2 cm, 叶基角 < 12°, 卷曲率 > 1.4 Leaf length 40-43 cm, leaf width 2.0-2.2 cm, leaf basic angle lower than 12° and rolling rate higher than 1.4
倒3叶叶片形态 Morphological traits of the 3rd leaf from the top	叶长 40~45 cm, 叶宽 1.8~2.0 cm, 叶基角 < 16°, 卷曲率 > 1.2 Leaf length 40-45 cm, leaf width 1.8-2.0 cm, leaf basic angle lower than 16° and rolling rate higher than 1.2
株高 Plant height /cm	115~120

对应的杂交籼稻、高于对应的常规粳稻,这与姜元华等^[15]报道的产量较高的甬优系列籼粳杂交稻的倒1、2、3叶的叶长和叶宽均显著高于常规粳稻、杂交籼稻和杂交粳稻的结论有所不同,造成差异的原因可能与试验材料有关。姜元华等^[15]研究的甬优籼粳杂交稻(甬优11、甬优12、甬优13、甬优15、甬优17)在当地生育期较长(170~180d),属晚熟类型,而本研究所选的甬优籼粳杂交稻生育期较短(141~143d),属中熟类型。中产品系尽管上三叶的叶长、叶宽显著高于对照,但其叶型披散(叶基角和披垂角大),不利于群体中、下层的透光以及维持后期根系活力和叶片不早衰。因此,对于甬优系列中熟类型品系而言,上三叶的叶长和叶宽不宜过大,本研究条件下,以倒1、2、3叶叶长分别为28~33cm、40~43cm、40~45cm、叶宽分别为2.2~2.4cm、2.0~2.2cm、1.8~2.0cm的配置较为适宜。甬优系列高产品系上三叶的叶基角和披垂角均小于对应的常规粳稻和杂交籼稻,叶型更为直挺。

增加植株高度是提高水稻产量潜力的可行途径,但株高过大也会增加群体倒伏的风险,因此,适宜的植株高度一直是水稻工作者们关注的焦点^[23]。就长江中下游地区而言,双季稻中早稻株高以95~105cm、中稻以115~125cm^[21]、晚稻以100~110cm^[5]较适宜。马荣荣等^[13]研究表明,甬优6号株高146cm,显著高于对照秀水63和汕优63。姜元华等^[24]研究表明,机插条件下甬优系列籼粳杂交稻(甬优11、甬优12、甬优13、甬优15、甬优17)平均株高达161.1cm,显著高于对照常规粳稻、杂交籼稻和杂交粳稻。韦还和等^[7]研究表明,甬优12不同产量群体的株高随产量增加而增加,其超高产群体株高达143.5cm。本研究条件下,甬优系列中熟高产

品系株高为118.7cm,高于常规粳稻(96.6cm),低于杂交籼稻(132.9cm)和中产品系(144.1cm)。与上述研究报道的甬优系列杂交稻品种相比,本研究中的甬优系列中熟高产品系株高较矮,差异可能主要与品种生育期类型有关,上述研究中的甬优系列籼粳杂交稻属晚熟类型,本研究中的甬优系列籼粳杂交稻属中熟类型。2013年试验过程中,生育后期遭受台风影响(9月28日),部分中产品系(甬优5854和甬优1763)出现轻微倒伏。因此,甬优系列杂交稻中熟类型品种株高不宜过高,以115~120cm为宜,对于晚熟类型品种而言,其适宜株高可更高些。

3.3 甬优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的株型选育指标及栽培要点

根据本研究结果,将甬优系列籼粳交中熟高产品系的株型选育指标列于表9。依据株型特点,其配套的栽培措施:1)适当稀植。穗大粒多是甬优系列籼粳交中熟高产品系产量优势形成的重要基础。前人研究表明稀植化栽培有利于发挥个体优势,依靠大穗增产^[25,26]。胡雅杰等^[11]报道的甬优2640超高产群体(13.5 t/hm²) in 江苏东海、兴化和海安等地的栽插密度为21.7×10⁴穴/hm²(33cm×14cm)。2)氮肥适当后移。甬优籼粳交中熟高产品系依靠大穗增产,因此,氮肥施用应适当后移,建议按 $m_{\text{基肥}} : m_{\text{穗肥}} = 4 : 6 \sim 5 : 5$ 的比例施用,促进壮秆大穗形成。3)水分合理调控。移栽后采用湿润灌溉;有效分蘖临界叶龄期至拔节期多次轻搁田,稳定提高穗数、调控群体;灌浆结实期间歇灌溉,干湿交替,不仅利于根系下扎,且利于维持植株茎秆和上三叶叶片直挺^[27]。

综上所述,与对照常规粳稻和杂交籼稻相比,甬

优系列籼粳杂交稻中熟高产品系的每穗粒数、穗重、着粒密度显著高于对照,且以籽粒数在上部二次枝梗和中部二次枝梗的增加最为明显。上三叶的叶长和叶宽高于常规粳稻、低于杂交籼稻,叶基角和披垂角小、叶型直挺。株高适中(120 cm左右),单茎茎、鞘干质量和单位长度节间干质量均高于对照,茎秆充实好。

参考文献:

- [1] 徐海, 宫彦龙, 夏原野, 等. 中日水稻品种杂交后代株型性状的变化及其相互关系. 中国水稻科学, 2015, 29(4): 363-372. Xu H, Gong Y L, Xia Y Y, et al. Variations in plant type traits and their relationship of progeny derived from the cross between Chinese rice variety and Japanese rice variety. *Chin J Rice Sci*, 2015, 29: 363-372 (in Chinese with English abstract).
- [2] Khush G S, Peng S B. Breaking the yield frontier of rice. *Geo J*, 1995, 35: 329-332.
- [3] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种. 杂交水稻, 1997, 12: 1-6. Yuan L P. Hybrid rice breeding for super high yield. *Hybrid Rice*, 1997, 12: 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [4] 马均, 马文波, 明东风, 等. 重穗型水稻株型特性研究. 中国农业科学, 2006, 39: 679-685. Ma J, Ma W B, Ming D F, et al. Studies on the characteristics of rice plant with heavy panicle. *Sci Agric Sin*, 2006, 39: 679-685. (in Chinese with English abstract)
- [5] 曾勇军, 石庆华, 潘晓华, 等. 长江中下游双季稻高产株型特征初步研究. 作物学报, 2009, 35: 546-551. Zeng Y J, Shi Q H, Pan X H, et al. Preliminary study on the plant type characteristics of double cropping rice in middle and lower reaches of Changjiang River. *Acta Agron Sin*, 2009, 35: 546-551. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张庆, 殷春渊, 张洪程, 等. 水稻氮高产高效与低产低效两类品种株型差异研究. 作物学报, 2010, 36: 1011-1021. Zhang Q, Yin C Y, Zhang H C, et al. Differences of plant-type characteristics between rice cultivars with high and low levels in yield and nitrogen use efficiency. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1011-1021 (in Chinese with English abstract).
- [7] 韦还和, 李超, 张洪程, 等. 水稻甬优 12 不同产量群体的株型特征. 作物学报, 2014, 40: 2160-2168. Wei H H, Li C, Zhang H C, et al. Plant-type characteristics in populations with different yield of Yongyou 12. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 2160-2168. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张洪程, 吴桂成, 李德剑, 等. 杂交粳稻 13.5 t/hm² 超高产群体动态特征及形成机制的探讨. 作物学报, 2010, 36: 1547-1558. Zhang H C, Wu G C, Li D J, et al. Population characteristics and formation mechanism for super-high-yielding hybrid *japonica* rice (13.5 t ha⁻¹). *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1547-1558. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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. 作物学报, 2013, 39: 2201-2210. Wei H H, Jiang Y H, Zhao K, et al. Characteristics of super-high yield population in Yongyou series of hybrid rice. *Acta Agron Sin*, 2013, 39: 2201-2210. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王晓燕, 韦还和, 张洪程, 等. 水稻甬优 12 产量 13.5 t/hm² 以上超高产群体的生育特征. 作物学报, 2014, 40: 2149-2159. Wang X Y, Wei H H, Zhang H C, et al. Population characteristics for super-high yielding hybrid rice Yongyou 12 (>13.5 t ha⁻¹). *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 2149-2159. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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. 作物学报, 2014, 40: 2016-2027. Hu Y J, Zhu D W, Qian H J, et al. Some characteristics of mechanically transplanted pot seedlings in super high yielding population of *indica-japonica* hybrid rice Yongyou 2640. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 2016-2027. (in Chinese with English abstract)
- [12] 许德海, 王晓燕, 马荣荣, 等. 重穗型籼粳杂交稻甬优 6 号超高产生理特性. 中国农业科学, 2010, 43: 4796-4804. Xu D H, Wang X Y, Ma R R, et al. Analysis on physiological properties of the heavy panicle type of *indica-japonica* intersubspecific hybrid rice Yongyou 6. *Sci Agric Sin*, 2010, 43: 4796-4804. (in Chinese with English abstract)
- [13] 马荣荣, 许德海, 王晓燕, 等. 籼粳亚种间杂交稻甬优 6 号超高产株型特征与竞争优势分析. 中国水稻科学, 2007, 21: 281-286. Ma R R, Xu D H, Wang X Y, et al. Heterosis on plant morphology of Yongyou 6, an *indica-japonica* inter-subspecific super high-yielding hybrid rice. *Chin J Rice Sci*, 2007, 21: 281-286. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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. 中国水稻科学, 2014, 28: 621-631. Jiang Y H, Zhang H C, Zhao K, et al. Difference in yield and its components characteristics of different type rice cultivars in the lower reaches of the Yangtze River. *Chin J Rice Sci*, 2014, 28: 621-631. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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. 作物学报, 2015, 41: 286-296. Jiang Y H, Xu K, Zhao K, et al. Canopy structure and photosynthetic characteristics of Yongyou series of *indica-japonica* hybrid rice under high-yielding cultivation condition. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 286-296. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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. 作物学报, 2015, 41: 89-99. Jiang Y H, Xu J W, Zhao K, et al. Root system morphological and physiological characteristics of *Indica-japonica* hybrid rice of Yongyou series. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 89-99. (in Chinese with English abstract)
- [17] 龚金龙, 胡雅杰, 龙厚元, 等. 大穗型杂交粳稻产量构成因素协同特征及穗部性状. 中国农业科学, 2012, 45: 2147-2158. Gong L J, Hu Y J, Long H Y, et al. Study on collaborating characteristics of grain yield components and panicle traits of large panicle hybrid *japonica* rice. *Sci Agric Sin*, 2012, 45: 2147-2158. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨建昌. 水稻弱势粒灌浆机理与调控途径. 作物学报, 2010, 36: 2011-2019.

- Yang J C. Mechanism and regulation in the filling of inferior spikelets of rice. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 2011-2019. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李红宇, 侯昱铭, 陈英华, 等. 东北地区水稻主要性状比较分析. 作物学报, 2009, 35: 921-929.
Li H Y, Hou Y M, Chen Y H, et al. Comparison of rice plant types in northeast region of China. *Acta Agron Sin*, 2009, 35: 921-929. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李敏, 张洪程, 杨雄, 等. 高产氮高效粳稻品种的叶片光合及衰老特性研究. 中国水稻科学, 2013, 27: 168-176.
Li M, Zhang H C, Yang X, et al. Leaf photosynthesis and senescence characteristics of japonica rice cultivars with high yield and high N-efficiency. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27: 168-176. (in Chinese with English abstract)
- [21] 程式华, 翟虎渠. 水稻亚种间超高产杂交组合若干株型因子的比较. 作物学报, 2000, 26: 713-718.
Cheng S H, Zhai H Q. Comparison of some plant type components in super high-yielding hybrids of inter-subspecific rice. *Acta Agron Sin*, 2000, 26: 713-718. (in Chinese with English abstract)
- [22] 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. 作物学报, 2007, 33: 1079-1085.
Du Y, Wang Y, Wang X H, et al. Comparisons of plant type, grain yield, and quality of different japonica rice cultivars in Huanghe-Huaihe River area. *Acta Agron Sin*, 2007, 33: 1079-1085. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李敏, 张洪程, 杨雄, 等. 不同氮利用效率基因型水稻茎秆特性比较. 作物学报, 2012, 38: 1277-1285.
Li M, Zhang H C, Yang X, et al. Comparison of culm characteristics with different nitrogen use efficiencies for rice cultivars. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 1277-1285. (in Chinese with English abstract)
- [24] 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. 农业工程学报, 2014, 30: 19-29.
Jiang Y H, Zhang H C, Zhao K, et al. Evaluation and cause analysis of rice-stem lodging resistance for mechanical transplanted indica-japonica hybrid rice. *Trans CSAE*, 2014, 30: 19-29. (in Chinese with English abstract)
- [25] 蒋彭炎, 冯来定, 姚长溪. 从水稻稀少平栽培法的高产效应看栽培技术与株型的关系. 中国水稻科学, 1987, 1: 111-117.
Jiang P Y, Feng L D, Yao C X. The effect of cultivation techniques on plant type in view of the high yield result induced by TFS * cultivation method in paddy rice. *Chin J Rice Sci*, 1987, 1: 111-117. (in Chinese with English abstract)
- [26] Duy P Q, Sagawa S, Hirano M, et al. Varietal differences in the responses of yield components of rice plants to nitrogen-free basal dressing accompanied with sparse planting density in the Tohoku region of Japan. *Plant Prod Sci*, 2004, 7: 109-117.
- [27] 张耗, 剧成欣, 陈婷婷, 等. 节水灌溉对节水抗旱水稻品种产量的影响及生理基础. 中国农业科学, 2012, 45: 4782-4793
Zhang H, Ju C X, Chen T T, et al. Effect of water-saving irrigation on the grain yield of water-saving and drought-resistance rice and its physiological bases. *Sci Agric Sin*, 2012, 45: 4782-4793. (in Chinese with English abstract)