

机插栽培籼杂交稻的日产量及与株型的关系

何连华¹, 陈多¹, 张驰¹, 田青兰¹, 吴振元¹, 李秋萍¹, 钟晓媛¹, 邓飞¹, 胡剑锋¹, 凌俊英², 任万军¹

(¹四川农业大学/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川温江 611130; ²大邑县农村发展服务中心, 四川大邑 611330)

摘要:【目的】探讨日产量作为中籼杂交稻机插栽培品种筛选指标的可行性, 系统研究中籼杂交稻品种株型特征及与日产量的关系, 筛选出适宜四川地区机插栽培的高产品种, 以期为中籼杂交稻机插高产栽培和育种工作提供理论和实践依据。【方法】以 34 个中籼杂交稻品种为材料, 采用单因素随机区组田间试验收集数据, 通过聚类分析、方差分析等方法对机插栽培下中籼杂交稻品种的株型特征及日产量进行研究。【结果】(1) 机插栽培不同水稻品种全生育期、日产量及产量差异较大, 以 2017 年为例, 供试品种全生育期为 141—168 d, 以 154—164 d 的品种为主, 占供试品种的 82.4%; 产量变幅为 10 261.05—13 099.34 kg·hm⁻², 天优华占产量最高, 宜香 3728 最低, 产量在 11 110.90—12 827.15 kg·hm⁻² 范围内的品种占供试品种的 76.5%; 供试品种的日产量主要分布在 67—80 kg·hm⁻²·d⁻¹, 占供试品种的 82.4%, 天优华占、繁优 609 和晶两优 534 日产量较高, 均超过 80 kg·hm⁻²·d⁻¹, 但仅占供试品种的 8.8%。(2) 聚类分析显示, 高日产量类型品种占总数的 29.4%; 中日产量类型占总数的 38.2%; 低日产量类型占总数的 32.4%。(3) 与低日产量类型品种相比, 高日产量类型品种具有较高的每穗粒数和群体颖花量, 且有效穗充足, 结实率较高, 故其产量较高。(4) 不同类型品种株型特征差异较大, 相关分析表明株高、秆长、N3 节间长、N4 节间长、穗长与日产量呈显著或极显著负相关, 着粒密度与日产量呈极显著正相关。【结论】日产量可以作为中籼杂交稻机插栽培品种筛选的重要指标之一, 日产量较高的品种, 其机插适应性较强。株高、秆长适宜, 第三、四节间长较短, 着粒密度高是高日产量品种的重要株型特征。此外, 适宜四川地区机插的中籼杂交稻品种还具有全生育期适中、穗足粒多、群体颖花量和结实率高的基本特征。综合来看, 天优华占、繁优 609、晶两优 534、Y 两优 1 号、C 两优华占及 F 优 498 是适宜在四川地区机插种植的品种。

关键词: 水稻; 机插; 日产量; 株型

The Daily Yield of Medium Hybrid Rice in Machine Transplanting and Its Relationship with Plant Type

HE LianHua¹, CHEN Duo¹, ZHANG Chi¹, TIAN QingLan¹, WU ZhenYuan¹, LI QiuPing¹, ZHONG XiaoYuan¹,
DENG Fei¹, HU JianFeng¹, LING JunYing², REN WanJun¹

(¹Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Wenjiang 611130, Sichuan; ²Dayi County Rural Development Service Center, Dayi 611330, Sichuan)

Abstract:【Objective】To explore the feasibility of daily yield as a screening of medium-indica hybrid rice varieties by machine transplanted, systematically study the plant type characteristics of medium-indica hybrid rice varieties and their relationship with daily yield, and screen out high-yield varieties suitable for machine-planting in Sichuan, the theory and practice basis were provided for the high-yield cultivation and breeding of medium-indica hybrid rice.【Method】The 34 planting hybrid rice varieties were used as materials, and the data were collected by single-factor randomized block field experiment, and then the plant type and daily yield of the hybrid rice varieties under machine transplanting were studied by cluster analysis and analysis of variance analysis. 【Result】(1)The whole rice growth period, daily yield and yield of different varieties of machine-planting cultivation were different. The

收稿日期: 2018-11-14; 接受日期: 2019-01-15

基金项目: 国家粮食丰产增效科技创新专项 (2016YFD0300506, 2017YFD0301702)、四川省育种攻关项目 (2016NYZ0051)

联系方式: 何连华, E-mail: 781684601@qq.com. 通信作者任万军, E-mail: rwjun@126.com

whole growth period of the tested rice varieties was 141-168 d, mainly 154-164 d, accounting for 82.4% of the tested varieties; The yield variation was 10 261.05 -13 099.34 kg·hm⁻², of which Tianyouhuazhan accounted for the highest yield, Yixiang 3728 was the lowest, the yield in the range of 11 110.90-12 827.15 kg·hm⁻² accounted for 76.5% of the tested varieties; The daily yield of the tested varieties was mainly distributed in the range of 67-80 kg·hm⁻²·d⁻¹, accounting for 82.4% of the tested varieties. The daily yields of Tianyouhuazhan, Fanyou 609 and Jingliangyou 534 were higher than 80 kg·hm⁻²·d⁻¹, but only 8.8% of the tested varieties. (2) Cluster analysis showed that 29.4% of the total varieties were high-daily yield, 38.2% were middle-daily yield and 32.4% were low-daily yield. (3) Compared with the low-yield varieties, the high-yield varieties had higher grain per panicle and group spikes, and the effective panicles were sufficient, and the seed setting rate was higher, so the yield was higher. (4) There were significant differences in plant type characteristics of different varieties. Correlation analysis showed that plant height, stalk length, N3 internode length, N4 internode length, panicle length and daily yield were significantly or significantly negative correlation, grain density was significantly positively correlated with daily yield. 【Conclusion】 The daily yield could be used as one of the important indicators for screening of Chinese cultivars for hybrid rice cultivars, and the varieties with higher daily yields had stronger adaptability. Plant height and stalk length were suitable, and the third and fourth internode lengths were short, and high grain density was an important plant type characteristic of high daily yield varieties. In addition, the medium-indica hybrid rice varieties suitable for machine transplanting in Sichuan also had the basic characteristics of moderate growth period, more spikelets, higher group spikelets and higher seed setting rate. On the whole, Tianyouhuazhan, Fanyou 609, Jingliangyou 534, Y Liangyou 1, C Liangyouhuazhan and F You 498 were suitable for planting in Sichuan.

Key words: rice; mechanical transplanting; daily yield; plant type

0 引言

【研究意义】现阶段我国的农村年轻剩余劳动力大量转移,导致从事农业生产的优质劳动力锐减,加快我国水稻生产的全程机械化已迫在眉睫,而种植机械化是关键^[1]。目前我国的水稻种植机械化技术主要是毯状小苗机插,杂交稻(特别是杂交籼稻)在该技术上的应用还较困难^[2],而四川稻区是我国杂交籼稻的主栽区之一,如何发挥杂交稻品种的产量潜力是机插高产稳产的重要前提,如何解决杂交籼稻机插适应性差的问题是该地区机械化发展的关键。高产是水稻育种和栽培的永恒追求目标^[3],理想株型与杂种优势利用结合是进一步挖掘水稻产量潜力的重要途径^[4],而株型的栽培调控也被赋予新的内容,塑造个体优良的株型与优化群体结构是增产的前提^[5-6]。【前人研究进展】研究表明齐穗期株型特征是影响水稻产量的关键性因素,显著影响水稻冠层的光合作用^[3]。水稻株型特征除受种植方式^[6-7]、水肥管理^[8]、密度^[9]、生态环境^[10]等影响外,还与品种特性密切相关。早年研究认为“理想株型”的水稻上三叶片要短、厚、直立^[11],但随着品种的更新换代,其株型也在不断改变^[12],不同品种在不同稻作地区有各自的株型特征^[13-15],因此,探讨不同品种机插栽培株型特征具有重要现实意义。前人对不同基因型品种^[16]、不同产量水平^[17]、不同穗型品种^[18]的株型特征进行了较多研究,同时也对中籼杂交稻机插^[19]或机直播^[20]适应性机

理进行了一定研究,取得了不错的成果,但研究大多是在人工栽插或模拟机插的条件下进行的,且大多是以抽穗期或齐穗期植株主茎作为研究对象,相对缺乏对整穴株型特征的系统研究,同时存在品种较少、研究方法不同、生态环境差异较大的限制,得出的结论也具有一定的局限性。【本研究切入点】以四川为代表的西南稻田农作制度主要为小麦(油菜)-杂交中稻两熟或晚秋填闲一年三熟。不论两熟或三熟,均面临前作小麦(油菜)收获较迟,水稻栽插季节紧与机插植伤导致生育期延长等矛盾,但目前尚缺乏该地区适宜机插杂交籼稻的品种筛选标准及评价方法。为弥补这一缺陷,笔者在中籼杂交稻机插品种筛选与生产应用中,引入了日产量概念,即指单位土地面积上每日所生产的稻谷质量,在应用中表现出了良好效果。【拟解决的关键问题】本研究选用西南地区近年来审定或选育的34个杂交籼稻为试验材料,拟研究明确中籼杂交稻品种机插栽培的日产量特征,以日产量为对象进行聚类划分,进一步分析其与株型的关系,探讨日产量作为中籼杂交稻机插栽培品种筛选指标的科学性和适应性,为四川及类似生态区机插高产栽培和育种工作提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2017年供试品种为西南地区(云、贵、川、渝)近年来选育或审定的34个(米质达国家标准3级或以

上) 中籼杂交稻品种。在 2017 年的基础上, 通过日产量聚类划分, 剔除倒伏严重的品种, 分别从高日产量类型、中日产量类型、低日产量类型品种中选择 7 个、5 个、8 个品种进行 2018 年试验。具体材料见表 1。

表 1 供试杂交籼稻品种信息
Table 1 Information of hybrid rice varieties tested

年份 Year	供试品种 The tested variety						
2017	天优华占	中优 295	蜀优 217	花香优 1618	F 优 498	吉优 9 号	川优 8377
	Tianyouhuazhan	Zhongyou 295	Shuyou 217	Huaxiangyou 1618	Fyou 498	Jiyou 9	Chuanyou 8377
	渝优 7109	渝香 203	丰优香占	德优 4923	宜香优 2115	宜香 4245	旌优 127
	Yuyou 7109	Yuxiang 203	Fengyouxiangzhan	Deyou 4923	Yixiangyou 2115	Yixiang 4245	Jingyou 127
	繁优 609	宜香优 1108	内 5 优 39	蓉 18 优 2348	宜香优 7633	宜香优 2168	德优 4727
	Fanyou 609	Yixiangyou 1108	Nei 5 you 39	Rong 18 you 2348	Yixiangyou 7633	Yixiangyou 2168	Deyou 4727
	绿优 4923	川优 6203	中 9 优 2 号	宜香 3728	两优 2161	晶两优华占	晶两优 534
	Lvyou 4923	Chuanyou 6203	Zhong 9 you 2	Yixiang 3728	Liangyou 2161	Jiangliangyouhuazhan	Jingliangyou 534
	晶两优 1377	隆两优 1206	隆两优 1146	Y 两优 1 号	Y 两优 585	C 两优华占	
	Jiangliangyou 1377	Longliangyou 1206	Longliangyou 1146	Y liangyou 1	Y liangyou 585	C liangyouhuazhan	
2018	天优华占	中优 295	蜀优 217	花香优 1618	F 优 498	川优 8377	渝优 7109
	Tianyouhuazhan	Zhongyou 295	Shuyou 217	Huaxiangyou 1618	Fyou 498	Chuanyou 8377	Yuyou 7109
	渝香 203	宜香优 2115	宜香 4245	旌优 127	繁优 609	内 5 优 39	绿优 4923
	Yuxiang 203	Yixiangyou 2115	Yixiang 4245	Jingyou 127	Fanyou 609	Nei 5 you 39	Lvyou 4923
	川优 6203	中 9 优 2 号	晶两优 534	隆两优 1146	Y 两优 1 号	C 两优华占	
	Chuanyou 6203	Zhong 9 you 2	Jingliangyou 534	Longliangyou 1146	Y liangyou 1	C liangyouhuazhan	

1.2 试验地点及设计

试验于 2017—2018 年在四川省大邑县上安镇进行, 地处成都平原地区, 气象条件见图 1。前茬作物为蔬菜(类型为芥菜类, 抱子芥), 0—10 cm 土层含有机质 34.77g·kg⁻¹, 全氮 2.90 g·kg⁻¹, 全磷 0.44 g·kg⁻¹, 全钾 3.46 g·kg⁻¹, 碱解氮 94.79 mg·kg⁻¹, 速效磷 24.47 mg·kg⁻¹, 速效钾 103.21 mg·kg⁻¹, pH 为 5.73。采用单因素随机区组试验设计, 2017 年设置杂交籼稻品种 34 个进行试验, 3 次重复, 共 102 个小区; 2018 年设置 20 个杂交籼稻品种, 3 次重复, 共 60 个小区, 2 年试验小区面积均为 19.8 m²(长 11 m, 宽 1.8 m)。采用大田硬盘(规格为 58 cm×28 cm×2.5 cm)早育毯苗秧, 4 月 3 日播种, 5 月 3 日移栽, 30 d 秧龄; 插秧机型号为洋马 VP6D 乘坐式水稻插秧机, 行穴距为 30 cm×20 cm, 栽后 3 d 定苗, 每穴 3 苗。施纯氮 180 kg·hm⁻², 按基肥: 蘖肥=7: 3 施用。按 N: P₂O₅: K₂O=2: 1: 2 确定磷、钾肥施用量, 磷肥作基肥一次性施用, 钾肥按基肥: 分蘖肥=5: 5 的比例施用。水分管理及病虫害防治等相关栽培措施均按照当地常规高产栽培要求实施。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生育期记载 详细记录供试品种播种、移栽、拔节、抽穗和成熟的日期。

1.3.2 株型测定 齐穗期按平均有效穗数法, 每品种选取 6 穴植株进行株高、秆长、节间长、节间粗、叶长、叶宽、叶面积(长宽系数法)等茎、叶型指标测定。株高的测定是指从基部第一节间至剑叶的长度; 秆长是指从基部第一伸长节间至穗颈节间的长度。

1.3.3 穗型测定 成熟期按平均有效穗数法, 每品种选取 6 穴植株进行穗长、单穗重、着粒密度等穗型指标测定。

1.3.4 产量及其构成 成熟期各小区选取 60 穴考察平均有效穗数, 按照平均有效穗数取样法, 每小区取 5 穴穗子, 待其晾干后进行室内考种, 考察穗长、空瘪粒数、千粒重、总重, 计算每穗总粒数、结实率。各小区单打单收, 晾干后测定稻谷质量和含水率, 然后折算成容许含水量 13.5%记为实收产量。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据录入与计算, 用 GraphPad Prism 5 进行作图, 用 DPS 7.05 软件进行数据统计分析。日产量是指单位土地面积上每天所生产的稻谷质量, 即日产量(kg·hm⁻²·d⁻¹)=产量(kg·hm⁻²)/全生育期天数(d); 着粒密度(粒/cm)=每穗粒数(粒)/穗长(cm)。除产量、全生育期及日产量为 2 年数据外, 其余数据均来源于 2017 年。

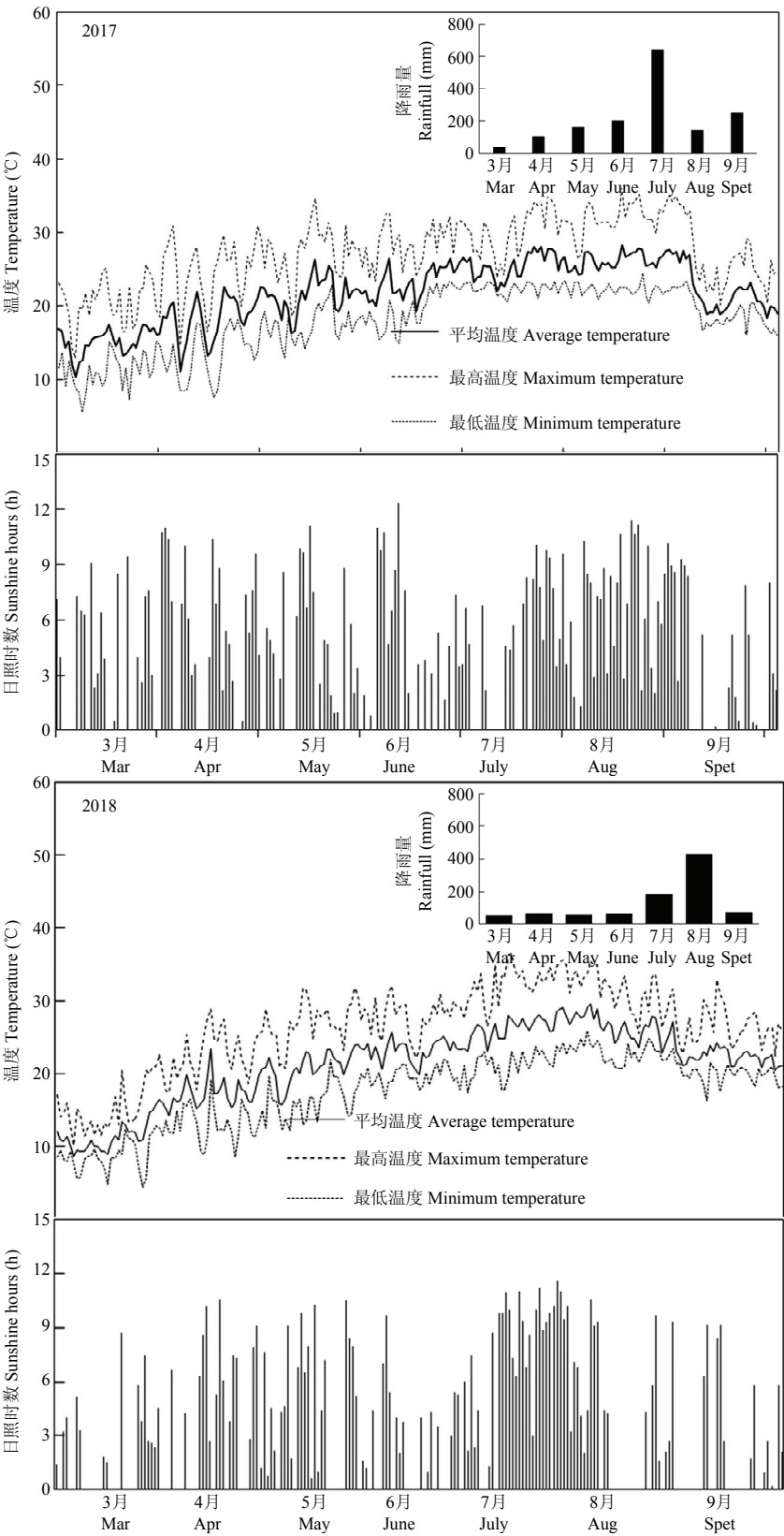


图 1 2017—2018 年大邑气象数据
Fig. 1 Dayi meteorological data in 2017 and 2018

2 结果

2.1 机插栽培水稻全生育期、产量及日产量

由表 2 可知, 机插条件下, 不同水稻品种产量、全生育期及日产量差异较大, 且年际间存在一定差异。2017 年供试品种全生育期范围为 141—168 d, 平均为 159.7 d, 其中以 154—164 d 的品种为主, 占供试品种的 82.4%; 有 21 个品种全生育期超过 160 d, 占供试品种的 61.8%, 低于 150 d 的仅有 2 个品种, 13 个品种全生育期在 151—159 d, 占供试品种的 32.4%。供试品种产量变幅为 10 261.05—13 099.34 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均为 11 702.54 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 变异系数为 6.58%, 其中天优华占产量最高, 宜香 3728 最低, 产量在 11 110.90—12 827.15 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内的品种占供试品种的 76.5%。从日产量来看, 供试品种变幅为 61.44—85.06 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 平均为 73.35 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 变异系数为 7.32%, 供试品种的日产量主要分布在 67—80 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 占供试品种的 82.4%。天优华占、繁优 609 和晶两优 534 的日产量较高, 均超过 80 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 但仅占供试品种的 8.8%; 宜香 3728、渝优 7109、隆两优 1146 等 10 个品种平均日产量低于 70 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2018 年供试水稻品种全生育期变幅为 146—162 d, 大部分品种在 152—159 d。与 2017 年相比, 所有品种的全生育期都有不同程度的缩短现象, 可能与年际间气象条件差异较大有关(图 1)。可以明显发现, 繁优 609、旌优 127 全生育期缩短幅度较小, 仅 1—3 d, 大部分品种全生育期缩短 4—6 d, 其余品种缩短幅度较大, 最高的达 7—8 d (宜香优 2115、川优 8377)。2018 年供试品种产量变幅为 8 847.48—12 137.81 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, C 两优华占最高, 川优 6203 最低。繁优 609、天优华占、Y 两优 1 号等 7 个品种产量在 11 625.00 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上, 与 2017 年相比, 除 F 优 498、中优 295 产量小幅增加外, 其余品种产量均出现不同程度的下降(主要与抽穗后年际间气象条件差异较大有关, 图 1), 其中内 5 优 39 和川优 6203 降幅较大, 减产均超过 1 500.00 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 但大部分品种减产幅度均小于 10%。从日产量来看, 除 F 优 498、中优 295、宜香优 2115 等 6 个品种日产量有小幅增加外, 其余品种日产量均呈下降趋势, 其中天优华占、中优 295、F 优 498、晶两优 534、Y 两优 1 号和 C 两优华占日产量较高, 均高于 75

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。综合来看, 年际间大部分品种的日产量表现出了比较稳定的趋势, 因此用“日产量”这一指标更稳定。

2.2 机插栽培中籼杂交稻品种日产量聚类分析

对 34 个不同杂交籼稻品种的日产量进行聚类分析, 品种间距离为欧式距离, 采用最长距离法作为聚类方法, 聚类结果见图 2。当欧式距离为 17.4 时, 将供试品种划分为 3 个类型, 高日产量类型(I)品种包括天优华占、中优 295、Y 两优 1 号等 10 个品种, 占供试品种的 29.4%; 中日产量类型(II)品种包括蜀优 217、花香优 1618、晶两优华占等 13 个品种, 占供试品种的 38.2%; 低日产量类型(III)品种包括渝优 7109、渝香 203 及隆两优 1146 等 11 个品种, 占供试品种的 32.4%。

2.3 机插栽培杂交籼稻品种不同类型间产量构成因素差异

从表 3 可以看出, 不同类型品种每穗粒数($F=230.1^{**}$)、群体颖花量($F=68.7^{**}$)和千粒重($F=805.1^{**}$)差异均达显著水平。有效穗表现为中日产量类型>高日产量类型>低日产量类型, 中日产量类型与低日产量类型差异达显著水平, 高日产量类型品种的有效穗并不占优势, 但总体较低日产量类型高; 每穗粒数随日产量的增加而增加, 表现为高日产量类型>中日产量类型>低日产量类型, 且差异达显著水平, 其中高日产量类型品种每穗粒数平均为 192.1, 分别较中日产量和低日产量类型品种高 9.8%和 14.1%; 从群体颖花量来看, 其规律与每穗粒数一致, 表现为高日产量类型>中日产量类型>低日产量类型, 且差异达显著水平, 高日产量类型品种群体颖花量分别较中、低日产量类型品种高出 8.2%、16.4%; 千粒重则与每穗粒数和群体颖花量规律相反, 表现为低日产量类型>中日产量类型>高日产量类型, 且差异显著; 3 种类型品种结实率差异不显著, 但总体表现为高日产量类型>中日产量类型>低日产量类型。由此可见, 高日产量类型品种千粒重并不占优势, 但其可以通过较高的每穗粒数和适中的有效穗, 形成高群体颖花量, 加之较高的结实率, 弥补千粒重不足的劣势, 从而获得高产。因此, 机插条件下, 高日产量类型品种的产量构成基本特征是有效穗充足、每穗粒数多(170—245 粒)、群体颖花量高(480×10^6 — $710\times 10^6\cdot\text{hm}^{-2}$)和结实率高(85%—94%)。

表 2 机插栽培中籼杂交稻产量、全生育期及日产量

Table 2 Yield, whole growth period and daily yield of *indica* hybrid rice cultivated by machine-transplanting

品种 Variety	全生育期 WGP (d)		产量 Yield (kg·hm ⁻²)		日产量 Daily yield (kg·hm ⁻² ·d ⁻¹)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
天优华占 Tianyouhuazhan	154	150	13099.34±443.99	12124.82±347.06	85.06±2.88	80.3±2.30
中优 295 Zhongyou 295	155	151	11759.15±552.47	11943.04±389.37	75.87±3.56	78.57±2.56
蜀优 217 Shuyou 217	164	158	12084.23±475.28	10984.07±636.25	73.68±2.90	69.08±4.00
花香优 1618Huaxiangyou 1618	164	158	12411.55±260.63	11000.27±547.23	75.68±1.59	69.18±3.44
F 优 498 Fyou 498	155	151	11516.95±538.43	11649.86±382.77	74.30±3.47	76.64±2.52
吉优 9 号 Jiyou 9	141	—	10731.90±165.00	—	76.11±1.17	—
川优 8377 Chuanyou 8377	164	156	11969.80±713.96	10672.45±562.12	72.99±4.35	67.98±3.58
绿优 4923 Lvyou 4923	159	154	11514.65±363.98	10482.76±775.70	72.42±2.29	67.63±5.00
中 9 优 2 号 Zhong 9 you 2	155	151	10861.80±329.85	10852.76±321.08	70.08±2.13	71.4±2.11
渝优 7109 Yuyou 7109	166	161	10416.00±1.20	10233.42±303.76	62.75±0.01	63.17±1.88
渝香 203 Yuxiang 203	166	161	10930.95±30.10	10083.56±385.03	65.85±0.18	62.24±2.38
丰优香占 Fengyouxiangzhan	164	—	11442.55±65.67	—	69.77±0.40	—
德优 4923 Deyou 4923	160	—	11110.90±82.43	—	69.44±0.52	—
宜香优 2115 Yixiangyou 2115	164	156	11221.95±184.95	10806.12±299.79	68.43±1.13	68.83±1.91
宜香 4245 Yixiang 4245	164	157	11139.30±412.91	10118.88±659.70	67.92±2.52	64.04±4.18
旌优 127 Jingyou 127	151	148	10312.10±579.08	9085.59±285.43	68.29±3.83	60.98±1.92
川优 6203 Chuanyou 6203	164	158	11410.55±619.34	8847.48±475.16	69.58±3.78	55.64±2.99
宜香 3728 Yixiang 3728	167	—	10261.05±76.80	—	61.44±0.46	—
繁优 609 Fanyou 609	147	146	12538.15±357.15	11703.51±129.52	85.29±2.43	80.16±0.89
宜香优 1108 Yixiangyou 1108	164	—	12447.80±444.83	—	75.90±2.71	—
内 5 优 39 Nei 5 you 39	160	155	12465.55±288.89	10832.29±53.05	77.91±1.81	69.44±0.34
蓉 18 优 2348 Rong 18 you 2348	158	—	12473.95±32.18	—	78.95±0.20	—
宜香优 7633 Yixiangyou 7633	168	—	12742.45±670.11	—	75.85±3.99	—
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	155	—	11455.25±487.09	—	73.90±3.14	—
德优 4727 Deyou 4727	160	—	11859.60±128.55	—	74.12±0.80	—
两优 2161 Liangyou 2161	158	—	11698.95±445.44	—	74.04±2.82	—
晶两优华占 Jiangliangyouhuazhan	160	—	12026.00±208.07	—	75.16±1.30	—
晶两优 534 Jingliangyou 534	160	155	12818.25±635.63	11813.38±329.10	80.11±3.97	75.73±2.11
晶两优 1377 Jiangliangyou 1377	162	—	12051.70±583.01	—	74.39±3.60	—
隆两优 1206 Longliangyou 1206	161	—	11487.85±59.33	—	71.35±0.37	—
隆两优 1146 Longliangyou 1146	158	154	10892.20±738.15	10779.89±481.43	68.94±4.67	69.55±3.11
Y 两优 1 号 Y liangyou 1	164	157	12827.15±698.75	11973.14±488.74	78.21±4.26	75.78±3.09
Y 两优 585 Y liangyou 585	161	—	11372.50±413.63	—	70.64±2.57	—
C 两优华占 C liangyouhuazhan	158	154	12534.20±44.18	12137.81±635.06	79.33±0.28	78.31±4.10
平均值 Mean	159.7	154.6	11702.54±769.56	10906.26±940.67	73.35±5.38	70.23±6.90

WGP: 全生育期。“—”表示 2018 年未种植该品种

WGP: Whole growth period. “—” indicates that the variety was not grown in 2018

表 3 机插栽培杂交籼稻品种不同类型间产量构成因素差异
Table 3 Differences in yield components of different types of *indica* hybrid rice cultivated by machine-transplanting

类型 Type	品种 Variety	有效穗 Effective panicle ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数 Spikelets per panicle	群体颖花量 Group spikelets ($\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting rate (%)
高日产量 High daily yield	天优华占 Tianyouhuazhan	322.9±3.3	173.2±5.9	559.2±15.2	26.2±0.6	93.2±0.2
	中优 295 Zhongyou 295	239.4±0.5	245.5±14.0	587.7±32.9	28.4±0.6	77.1±0.3
	繁优 609 Fanyou 609	267.5±75	181.9±4.2	486.3±7.3	29.7±0.9	87.7±1.6
	宜香优 1108 Yixiangyou 1108	274.7±0.5	176.0±18.2	483.3±49.3	30.7±0.1	85.5±1.7
	内 5 优 39 Nei 5 you 39	281.5±17.1	165.9±5.4	467.3±36.7	32.0±0.3	88.6±0.4
	蓉 18 优 2348 Rong 18 you 2348	248.5±1.5	196.3±3.4	487.8±6.9	31.5±0.5	84.8±4.7
	吉优 9 号 Jiyou 9	261.4±1.1	188.6±0.8	493.1±3.6	29.4±0.5	88.0±2.1
	晶两优 534 Jingliangyou 534	336.4±3.0	196.0±0.4	659.2±4.8	23.1±0.1	93.2±1.5
	C 两优华占 C liangyouhuazhan	334.3±6.7	212.9±4.1	711.7±21.0	23.6±0.2	84.6±1.7
	Y 两优 1 号 Y liangyou 1	295.0±1.5	185.1±4.1	546.0±15.0	27.9±0.4	87.0±1.3
	均值 Mean	286.1±34.9ab	192.1±23.1a	548.2±83.0a	28.2±3.1c	87.0±4.6a
中日产量 Medium daily yield	蜀优 217 Shuyou 217	273.5±2.3	165.6±4.0	453.1±13.3	30.4±0.7	90.3±2.1
	花香优 1618Huaxiangyou 1618	256.8±4.8	166.3±0.3	427.2±7.2	33.6±0.6	78.4±0.4
	F 优 498 Fyou 498	241.1±1.3	184.2±3.0	444.1±7.7	32.1±0.5	92.1±0.6
	川优 8377 Chuanyou 8377	287.1±0.8	153.2±4.7	440.0±14.7	30.5±0.1	85.5±1.0
	宜香优 7633 Yixiangyou 7633	297.5±16.7	184.6±2.6	549.1±28.3	29.7±0.3	81.7±0.2
	宜香优 2168 Yixiangyou 2168	329.2±1.5	111.7±0.2	367.9±2.1	33.4±0.3	84.8±4.7
	德优 4727 Deyou 4727	261.4±4.8	168.6±0.9	440.7±9.5	34.5±0.5	90.6±0.4
	绿优 4923 Lvyou 4923	285.9±10.2	158.4±5.5	452.3±2.5	31.4±0.9	80.4±0.5
	两优 2161 Liangyou 2161	281.1±0.8	172.5±3.8	484.7±10.1	30.0±0.2	90.4±0.7
	Y 两优 585 Y liangyou 585	300.3±0.8	187.1±3.7	562.0±9.7	26.5±0.2	88.6±0.2
	隆两优 1206 Longliangyou 1206	312.9±5.8	175.7±1.9	549.8±15.9	26.1±0.5	88.5±2.4
	晶两优 1377 Jiangliangyou 1377	299.0±17.0	236.1±0.3	705.9±39.2	23.4±0.3	84.4±0.5
	晶两优华占 Jiangliangyouhuazhan	338.1±0.2	210.0±2.4	710.1±8.3	22.6±0.5	86.2±1.6
	均值 Mean	289.5±27.8a	174.9±29.2b	506.7±105.1b	29.5±3.8b	86.3±4.3a
低日产量 Low daily yield	中 9 优 2 号 Zhong 9 you 2	285.9±3.0	173.4±2.1	495.7±9.8	28.0±0.6	86.4±1.3
	渝优 7109 Yuyou 7109	276.0±4.3	220.5±9.2	608.7±31.0	25.3±0.5	80.0±2.1
	渝香 203 Yuxiang 203	276.3±0.5	169.0±9.1	466.8±24.8	30.7±0.7	87.0±0.9
	丰优香占 Fengyouxiangzhan	240.2±3.3	208.6±5.3	501.0±11.1	28.8±0.3	86.7±2.7
	德优 4923 Deyou 4923	275.8±2.6	179.9±4.1	496.0±6.8	33.4±0.3	74.2±1.3
	宜香优 2115 Yixiangyou 2115	259.1±3.3	140.4±5.3	363.9±16.2	36.0±0.4	90.1±1.2
	宜香 4245 Yixiang 4245	271.4±2.8	202.0±7.8	548.2±24.2	29.5±0.2	83.9±2.5
	旌优 127 Jingyou 127	337.3±4.5	126.5±3.9	426.9±18.8	29.4±0.4	90.2±1.9
	川优 6203 Chuanyou 6203	277.3±3.3	140.9±1.5	390.8±4.0	30.5±0.2	87.5±2.2
	宜香 3728 Yixiang 3728	279.6±2.6	154.2±3.0	431.4±12.2	35.6±0.3	84.9±4.1
	隆两优 1146 Longliangyou 1146	334.7±19.1	135.3±1.6	452.8±22.0	33.6±0.6	92.6±1.4
	均值 Mean	283.0±28.9b	168.3±31.9c	471.1±69.9c	31.0±3.3a	85.8±5.1a
F 值	F-value	5.0	230.1**	68.7**	805.1**	3.4

同列中标以不同小写字母的值表示差异达 5% 显著水平，*代表差异达 5%显著水平，**代表差异达 1%显著水平。下同
Values followed by different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 5% level, * represents a significant difference at 5% level, and ** represents significant difference at 1% level. The same as below

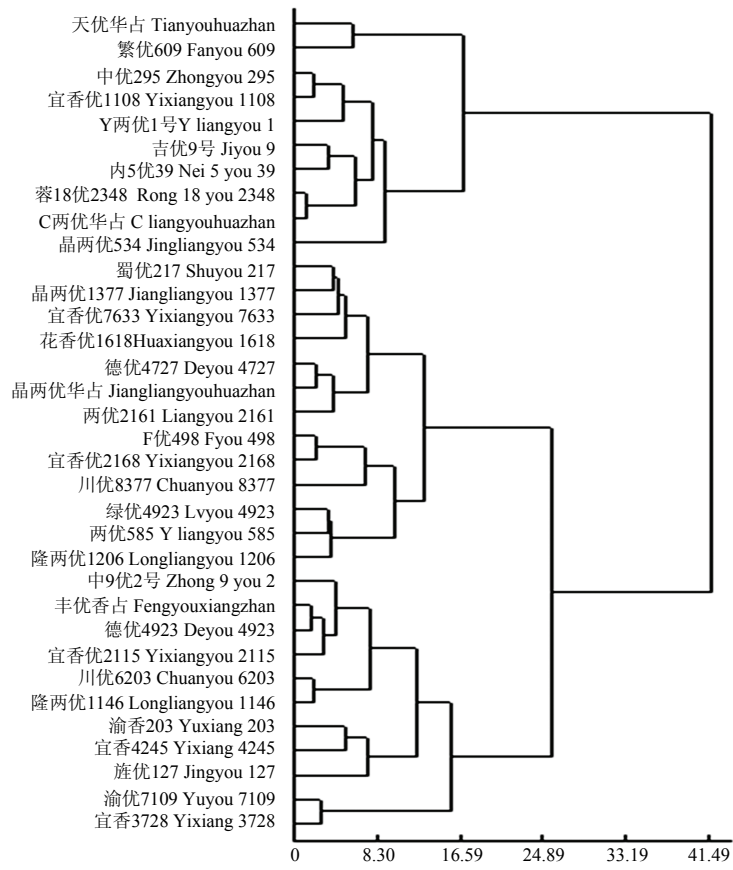


图 2 机插栽培中籼杂交稻品种日产量聚类图

Fig. 2 Clustering diagram of daily yield of hybrid rice varieties in machine transplanting

2.4 机插栽培杂交籼稻不同类型间株型特征

2.4.1 机插栽培杂交籼稻不同类型间茎型特征 不同类型品种茎型特征存在差异，部分差异达显著水平（表 4）。株高总体趋势表现为高日产量类型<中日产量类型<低日产量类型，且差异达显著水平，其中高日产量类型品种平均株高为 112.5 cm，分别较中、低日产量类型品种矮 4.7%、9.0%；秆长与株高规律一致，表现为低日产量类型最长，高日产量类型最短，低日产量类型品种秆长较中、高日产量类型品种分别高 10.5%、10.7%，差异显著；不同类型间 N1、N2 节间长差异均不显著，N1、N2 节间长总体在 3.0—4.5 cm 和 6.0—9.0 cm，N3、N4 节间长均表现为高日产量类型<中日产量类型<低日产量类型，高日产量类型与低日产量类型品种差异达显著水平。高日产量类型品种 N3 节间长平均为 13.3 cm，分别较中、低日产量类型品种短 3.8%、6.8%；N4 节间长平均为 15.3 cm，分别较中、低日产量类型品种短 9.8%、17.0%。3 种类型间 N1、N4 节间粗差异不显著，N2、N3 节间粗

均表现为高日产量类型<中日产量类型<低日产量类型，高日产量类型与低日产量类型差异达显著水平。由此可见，株高太高、秆长太长均不利于高日产量的形成，在株高适宜的前提下，第三、四节间较短有利于高日产量的形成。

2.4.2 机插栽培杂交籼稻不同类型间叶型特征 机插栽培条件下，不同日产量类型杂交籼稻品种剑叶、倒二叶、倒三叶叶长差异均不显著（表 5）。高日产量类型品种剑叶叶长范围为 28.6—40.4 cm，其中以 28.6—37.1 cm 的品种为主，占该类型的 80%；倒二叶叶长范围为 41.4—52.9 cm，其中叶长为 41.4—46.8 cm 和 49.4—52.9 cm 的品种各占该类型的 50.0%；倒三叶叶长范围为 49.4—61.8 cm，其中以 49.4—55.4 cm 的品种为主，占该类型的 70.0%。低日产量类型品种剑叶、倒二叶、倒三叶叶长分别以 31.3—36.8、46.4—53.9、55.4—61.5 cm 为主，分别占该类型的 81.8%、81.8%、72.7%。不同日产量水平品种剑叶、倒二叶、倒三叶叶宽差异均不显著，高日产量类型品

续表 4 Continued table 4

类型 Type	品种 Variety	株高 Plant height (cm)	秆长 Culm length (cm)	节间长 Internode length (cm)				节间粗 Internode diameter (mm)			
				N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4
低日产量 Low daily yield	中 9 优 2 号 Zhong 9 you 2	118.1±4.4	90.5±4.4	4.2±0.2	9.1±0.7	14.3±1.3	14.2±2.0	6.51±0.26	6.20±0.13	5.13±0.28	4.36±0.31
	渝优 7109 Yuyou 7109	126.8±3.0	98.4±3.0	3.8±0.3	7.3±0.3	14.9±0.9	19.1±1.0	6.88±0.30	5.86±0.24	5.28±0.25	4.84±0.11
	渝香 203 Yuxiang 203	127.3±2.8	96.5±3.0	3.0±0.2	7.6±0.6	15.1±0.6	18.6±0.6	5.81±0.27	5.96±0.31	5.13±0.50	4.64±0.37
	丰优香占 Fengyouxiangzhan	128.1±4.9	101.4±4.9	3.6±0.1	7.0±0.5	14.2±1.0	19.6±0.4	7.00±0.16	5.80±0.89	5.77±0.07	5.18±0.07
	德优 4923 Deyou 4923	126.9±4.6	99.9±5.0	3.6±0.2	7.7±0.2	13.5±0.2	17.4±1.6	6.76±0.23	6.38±0.11	5.52±0.28	5.11±0.24
	宜香优 2115 Yixiangyou 2115	129.3±3.8	99.1±3.2	3.6±0.1	7.0±0.5	12.7±0.7	17.6±0.1	6.88±0.25	6.05±0.30	5.72±0.20	5.05±0.17
	宜香 4245 Yixiang 4245	122.6±5.8	92.5±5.2	3.4±0.2	8.1±1.4	15.2±1.2	18.7±3.4	6.49±0.31	6.26±0.32	5.74±0.25	5.11±0.45
	旌优 127 Jingyou 127	106.5±4.9	81.9±5.4	4.2±0.5	8.7±1.0	12.3±1.0	14.8±1.0	6.42±0.16	5.92±0.30	4.94±0.11	4.30±0.14
	川优 6203 Chuanyou 6203	124.9±5.3	96.0±6.3	3.9±0.5	8.9±0.3	14.3±0.5	19.9±3.2	6.82±0.02	5.74±0.07	5.41±0.15	4.71±0.03
	宜香 3728 Yixiang 3728	128.6±2.8	100.1±1.7	3.9±0.4	8.4±1.8	15.0±1.5	19.8±0.5	6.64±0.13	6.17±0.11	5.48±0.23	4.86±0.41
	隆两优 1146 Longliangyou 1146	109.9±1.2	86.1±1.2	3.5±0.4	8.8±0.3	15.0±0.2	17.0±0.3	5.96±0.11	6.08±0.28	4.89±0.07	4.22±0.07
	均值 Mean	122.6±7.9a	94.8±6.3a	3.7±0.3a	8.1±0.8a	14.2±1.0a	17.9±1.9a	6.56±0.37a	6.04±0.20a	5.41±0.32a	4.76±0.35a

N1—N4 代表水稻第一节间至第四节间
N1- N4 represent the first to fourth internodes of rice

种剑叶、倒二叶、倒三叶叶宽范围分别为 1.9—2.3、1.6—2.0、1.4—1.9 cm；低日产量类型品种剑叶、倒二叶、倒三叶叶宽分别以 1.9—2.2、1.7—1.9、1.7—1.8 cm 为主。

2.4.3 机插栽培杂交籼稻不同类型穗型特征 机插栽培中籼杂交稻不同日产量类型品种穗长、单穗重及着粒密度存在差异（表 6）。高日产量类型品种穗长平均为 26.9 cm，分别比中、低日产量类型品种短 1.5%、3.7%；单穗重变化规律与穗长相反，表现为高日产量类型品种最大，平均为 5.0 g，分别较中、低日产量类型品种高 4.2%、4.2%，且差异达显著水平，中、低日产量类型单穗重差异不显著；不同日产量类型品种着粒密度差异达显著水平，表现为高日产量类型>中日产量类型>低日产量类型，高日产量类型品种着粒密度平均为 6.1 粒/cm，分别较中、低日产量类型品种高出 10.9%、15.1%。说明高日产量类型品种具有着粒密度高、单穗重大的优势，可以弥补穗长较短的劣势。

2.4.4 株型指标与日产量的相关性 机插栽培中籼杂交稻品种主要株型指标与日产量的相关分析见表 7。在上述株型指标中，株高（ $r=-0.49^{**}$ ）、秆长（ $r=-0.46^{**}$ ）与日产量呈极显著负相关关系，N3 节间长（ $r=-0.33^{*}$ ）、N4 节间长（ $r=-0.35^{*}$ ）与日产量呈显著负相关关系，着粒密度（ $r=0.44^{**}$ ）与日产量呈极显著正相关关系；上三叶叶长、叶宽与日产量大多呈负相关关系（除剑叶叶宽），但均未达显著水平；单穗重与日产量呈弱正相关关系（ $r=0.13$ ）。由此可见，在机插栽培过程中，株高适宜、秆长适中、第三、第四节间较短、着粒密度高是高日产量品种形成的重要特征。

3 讨论

3.1 日产量作为机插栽培籼杂交稻品种筛选指标的可行性

日产量是指单位土地面积上每天所生产的稻谷质量，这意味着日产量的高低要受到品种产量潜力的高

表 5 机插栽培杂交籼稻不同类型叶型特征

Table 5 Characteristics of different types of leaf types of *indica* hybrid rice cultivated by machine-transplanting

类型 Type	品种 Variety	剑叶 Flag leaf		倒二叶 2nd leaf		倒三叶 3rd leaf	
		长 Length (cm)	宽 Width (cm)	长 Length (cm)	宽 Width (cm)	长 Length (cm)	宽 Width (cm)
高日产量 High daily yield	天优华占 Tianyouhuazhan	28.6±1.3	2.0±0.03	44.7±1.7	1.7±0.05	52.4±2.5	1.5±0.05
	中优 295 Zhongyou 295	40.4±3.9	2.3±0.04	52.9±1.2	1.9±0.02	61.4±0.9	1.8±0.12
	繁优 609 Fanyou 609	32.9±0.6	2.3±0.02	44.5±3.5	2.0±0.03	54.2±1.6	1.8±0.06
	宜香优 1108 Yixiangyou 1108	36.8±3.8	2.3±0.11	52.6±1.3	2.0±0.05	60.8±4.3	1.9±0.08
	内 5 优 39 Nei 5 you 39	33.0±0.9	2.2±0.02	46.8±1.4	2.0±0.04	53.5±1.1	1.9±0.03
	蓉 18 优 2348 Rong 18 you 2348	36.3±0.5	2.2±0.10	52.0±2.3	2.0±0.12	61.8±4.6	1.9±0.12
	吉优 9 号 Jiyou 9	39.8±3.4	1.9±0.09	50.5±4.4	1.6±0.08	55.4±0.3	1.4±0.03
	晶两优 534 Jingliangyou 534	28.8±1.3	2.0±0.02	41.4±0.5	1.7±0.02	49.4±0.9	1.6±0.01
	C 两优华占 C liangyouhuazhan	37.1±0.7	1.9±0.04	49.4±1.4	1.6±0.06	53.7±2.7	1.7±0.12
	Y 两优 1 号 Y liangyou 1	29.8±1.2	2.1±0.05	41.5±0.4	1.8±0.05	53.5±2.1	1.6±0.03
均值 Mean		34.4±4.4a	2.1±0.18a	47.6±4.5a	1.80±0.15a	55.6±4.2a	1.7±0.17a
中日产量 Medium daily yield	蜀优 217 Shuyou 217	38.0±0.8	2.2±0.06	50.8±1.1	2.0±0.06	60.5±2.1	1.9±0.04
	花香优 1618Huaxiangyou 1618	32.9±0.3	2.2±0.07	50.6±3.3	2.0±0.06	59.1±2.9	1.9±0.05
	F 优 498 Fyou 498	39.7±0.1	2.3±0.07	54.8±2.5	2.0±0.06	61.6±3.5	1.8±0.08
	川优 8377 Chuanyou 8377	37.2±2.2	2.1±0.10	51.0±5.9	1.8±0.09	59.5±5.5	1.7±0.09
	宜香优 7633 Yixiangyou 7633	31.1±1.1	2.0±0.03	49.4±1.1	1.8±0.04	56.3±2.1	1.7±0.10
	宜香优 2168 Yixiangyou 2168	30.2±2.0	2.0±0.08	45.8±0.6	1.9±0.03	53.8±1.6	1.8±0.08
	德优 4727 Deyou 4727	31.1±0.4	2.2±0.13	45.1±3.1	2.0±0.06	53.2±3.3	1.9±0.08
	绿优 4923 Lvyou 4923	33.5±0.4	2.2±0.03	48.8±2.5	1.9±0.06	57.4±0.8	1.8±0.09
	两优 2161 Liangyou 2161	36.2±2.6	2.1±0.12	50.9±1.5	2.0±0.03	62.7±1.2	1.8±0.02
	Y 两优 585 Y liangyou 585	37.5±1.1	2.1±0.07	51.1±1.4	1.8±0.12	59.8±1.8	1.6±0.05
	隆两优 1206 Longliangyou 1206	35.1±1.6	2.0±0.02	48.4±0.8	1.8±0.30	56.0±1.6	1.4±0.04
	晶两优 1377 Jiangliangyou 1377	30.6±1.9	1.9±0.07	40.5±2.0	1.7±0.09	45.9±2.4	1.5±0.09
	晶两优华占 Jiangliangyouhuazhan	32.0±1.0	1.9±0.03	44.0±0.6	1.7±0.04	50.8±1.6	1.5±0.05
均值 Mean		34.2±3.2a	2.1±0.13a	48.6±3.8a	1.8±0.11a	56.7±4.7a	1.7±0.15a
低日产量 Low daily yield	中 9 优 2 号 Zhong 9 you 2	39.4±1.0	2.0±0.06	49.6±7.8	1.7±0.04	61.4±3.2	1.6±0.01
	渝优 7109 Yuyou 7109	35.2±0.8	2.1±0.04	51.4±0.7	1.9±0.03	57.5±1.0	1.7±0.08
	渝香 203 Yuxiang 203	34.0±0.6	2.1±0.09	50.3±0.5	1.9±0.07	55.7±2.2	1.8±0.06
	丰优香占 Fengyouxiangzhan	36.8±1.0	2.3±0.06	52.8±2.4	2.1±0.07	64.5±2.6	1.9±0.07
	德优 4923 Deyou 4923	34.9±2.2	2.2±0.09	48.0±0.8	1.9±0.03	55.5±0.5	1.8±0.07
	宜香优 2115 Yixiangyou 2115	36.4±0.1	2.2±0.06	53.9±1.8	2.0±0.03	61.5±0.5	1.9±0.02
	宜香 4245 Yixiang 4245	33.7±1.8	2.2±0.07	48.9±1.0	2.0±0.02	55.4±1.1	1.8±0.07
	旌优 127 Jingyou 127	29.1±1.9	2.1±0.02	41.7±1.5	1.8±0.06	51.2±3.1	1.7±0.12
	川优 6203 Chuanyou 6203	33.3±2.8	2.2±0.06	48.9±1.3	1.9±0.03	57.8±2.6	1.8±0.12
	宜香 3728 Yixiang 3728	31.3±1.3	2.0±0.05	46.4±0.6	1.9±0.06	55.7±3.0	1.8±0.08
	隆两优 1146 Longliangyou 1146	32.5±0.5	1.9±0.02	42.4±1.1	1.8±0.02	52.8±1.5	1.7±0.07
均值 Maen		34.2±2.8a	2.1±0.12a	48.6±3.8a	1.9±0.09a	57.2±3.9a	1.8±0.07a

表 6 机插栽培杂交籼稻不同类型穗型特征

Table 6 Characteristics of panicle types of *indica* hybrid rice cultivated by machine-transplanting

类型	品种	穗长	单穗重	着粒密度
Type	Variety	Panicle length (cm)	Single spike weight (g)	Particle density (particle /cm)
高日产量 High daily yield	天优华占 Tianyouhuazhan	23.2±0.5	4.5±0.3	6.8±0.03
	中优 295 Zhongyou 295	29.4±0.7	5.3±0.3	6.5±0.22
	繁优 609 Fanyou 609	23.7±0.2	5.2±0.2	6.6±0.35
	宜香优 1108 Yixiangyou 1108	29.3±0.9	5.1±0.5	5.1±0.28
	内 5 优 39 Nei 5 you 39	28.8±0.1	4.9±0.5	4.8±0.13
	蓉 18 优 2348 Rong 18 you 2348	25.7±1.8	5.8±0.4	6.5±0.30
	吉优 9 号 Jiyou 9	27.5±0.6	5.2±0.1	5.7±0.03
	晶两优 534 Jingliangyou 534	27.7±0.8	4.7±0.2	6.7±0.01
	C 两优华占 C liangyouhuazhan	25.5±0.7	4.5±0.2	6.9±0.07
	Y 两优 1 号 Y liangyou 1	27.8±1.1	4.9±0.1	5.8±0.11
	均值 Mean	26.9±2.2b	5.0±0.4a	6.1±0.72a
中日产量 Medium daily yield	蜀优 217 Shuyou 217	28.1±0.7	5.0±0.2	5.3±0.27
	花香优 1618Huaxiangyou 1618	29.1±0.1	5.2±0.3	4.8±0.29
	F 优 498 Fyou 498	27.3±0.5	5.9±0.4	5.9±0.14
	川优 8377 Chuanyou 8377	26.3±0.7	4.6±0.4	5.2±0.34
	宜香优 7633 Yixiangyou 7633	30.1±0.1	5.2±0.2	5.2±0.28
	宜香优 2168 Yixiangyou 2168	27.4±0.6	3.7±0.3	3.6±0.26
	德优 4727 Deyou 4727	27.3±1.0	5.5±0.2	5.4±0.16
	绿优 4923 Lvyou 4923	25.1±0.6	4.3±0.1	4.8±0.03
	两优 2161 Liangyou 2161	27.3±1.2	5.1±0.1	5.7±0.16
	Y 两优 585 Y liangyou 585	28.7±0.6	4.8±0.2	5.7±0.02
	隆两优 1206 Longliangyou 1206	23.9±0.1	4.5±0.1	6.3±0.06
	晶两优 1377 Jiangliangyou 1377	27.3±0.1	4.6±0.4	7.3±0.05
	晶两优华占 Jiangliangyouhuazhan	26.9±0.6	4.5±0.2	6.7±0.17
	均值 Mean	27.3±1.6a	4.8±0.6b	5.5±0.93b
低日产量 Low daily yield	中 9 优 2 号 Zhong 9 you 2	27.5±0.1	4.7±0.1	5.5±0.02
	渝优 7109 Yuyou 7109	28.4±0.1	5.1±0.1	6.2±0.12
	渝香 203 Yuxiang 203	30.8±0.3	5.5±0.1	5.1±0.30
	丰优香占 Fengyouxiangzhan	26.8±0.2	5.5±0.4	6.8±0.04
	德优 4923 Deyou 4923	26.9±0.6	4.7±0.3	5.4±0.28
	宜香优 2115 Yixiangyou 2115	30.2±1.3	5.0±0.2	4.4±0.09
	宜香 4245 Yixiang 4245	30.1±0.6	5.6±0.1	5.6±0.06
	旌优 127 Jingyou 127	24.6±0.9	3.7±0.1	4.7±0.09
	川优 6203 Chuangyou 6203	28.9±1.6	4.2±0.1	4.5±0.25
	宜香 3728 Yixiang 3728	28.6±1.1	4.5±0.1	4.4±0.28
	隆两优 1146 Longliangyou 1146	23.7±0.1	4.4±0.2	5.2±0.04
	均值 Mean	27.9±2.3a	4.8±0.6b	5.3±0.77c

表 7 株型指标与日产量的相关性

Table 7 Correlation between plant type index and daily yield

指标 Index	拟合方程 Fitted equation	相关系数 Correlation coefficient, <i>r</i>	<i>P</i>
株高 Plant height	$y = 0.01x^2 - 2.6016x + 240.09$	-0.49 **	<0.01
秆长 Culm length	$y = -0.2867x + 99.297$	-0.46 **	<0.01
N3 节间长 Third internode length	$y = 0.2556x^2 - 8.1573x + 136.66$	0.33 *	<0.05
N4 节间长 Fourth internode length	$y = -0.6592x + 84.38$	0.35 *	<0.05
剑叶长 Flag leaf length	$y = 0.1561x^2 - 10.942x + 263.26$	-0.13	>0.05
倒二叶长 2nd leaf length	$y = -0.2919x + 87.443$	-0.21	>0.05
倒三叶长 3rd leaf length	$y = -0.2561x + 87.821$	-0.20	>0.05
剑叶宽 Flag leaf width	$y = 134.86x^2 - 565.99x + 664.59$	0.01	>0.05
倒二叶宽 2nd leaf width	$y = 133.81x^2 - 501.39x + 541.06$	-0.22	>0.05
倒三叶宽 3rd leaf width	$y = -6.6356x + 84.832$	-0.18	>0.05
单穗重 Single spike weight	$y = 1.306x + 66.962$	0.13	>0.05
着粒密度 Particle density	$y = 2.6768x + 58.308$	0.44 **	<0.01

低和生育特性长短影响。从品种的角度来说，目前我国育成的杂交水稻品种较多，但现阶段我国品种选育主要是以常规手插进行，所育成的高产杂交籼稻品种机插适应性较差，适宜机插的杂交籼稻品种仍较为匮乏^[21]。从安全齐穗和茬口衔接来说，研究表明，较手插秧而言，机插秧栽后缓苗期长，同期播种，机插秧的生育期要延长 5—7 d^[22]，从而导致后茬作物衔接紧张，茬口矛盾突出。机插秧的秧龄弹性小，且秧龄不宜过大，一般要求在 25—30 d 较为合适^[23]。此外，四川地区具有弱光寡照的气候特点，为充分利用光温资源，水稻一般要求在 4 月初播种^[24]，能够获得高产。也有人认为播期适当推迟，通过高光效途径栽培也能获得高产^[25]。四川地区是典型的水旱两熟兼早三熟区，主要为麦（油）-稻两季田，一般来说，小麦、油菜常年收获时间在 5 月上中旬，常年播种时间在 10 月中下旬。这就造成水稻安全收获与后茬作物衔接存在茬口矛盾。因此，在这种茬口特性及气候条件下，如何缓解茬口矛盾与水稻高产实现是一个值得探讨的问题。前人以生育期^[19]或产量^[20]为对象，进行聚类分析研究中籼杂交稻机插或机直播适应性机理，取得了一些成果，但在四川这种特殊茬口及熟制条件下，以生育期或产量来进行分类研究都存在一定的局限性。生育期过短，则在有效的生产期内未充分利用光温资源，产量不高；生育期过长，产量虽高，但不能适应茬口衔接。本试验研究表明，机插栽培中籼杂交稻品种适应性差异较大，但可以发现一些共性特征，即全生育期太短（如吉优 9 号）或太长（如

宜香 3728、渝优 7109、渝香 203 等品种，全生育期均超过 166 d，产量均在 11 000 kg·hm⁻² 以下，且日产量均低于 70 kg·hm⁻²·d⁻¹）的品种都不利于高产形成或不能适应茬口衔接（如宜香优 7633，虽然产量较高，但全生育期太长）。日产量较高的品种，全生育期适中，不影响后茬作物高效生产，能够适应茬口衔接，且产量均较高。如天优华占日产量为 85.06 kg·hm⁻²·d⁻¹，全生育期为 154 d，产量最高。繁优 609、晶两优 534、Y 两优 1 号和 C 两优华占亦是如此。从 2018 年来看，上述品种日产量均出现下降现象，但均高于 75 kg·hm⁻²·d⁻¹，仍能够获得高产，且生育期适宜。部分品种年际间日产量较为稳定（如 F 优 498、中 9 优 2 号、宜香优 2115、隆两优 1146 等），其中 F 优 498 日产量较高，中 9 优 2 号、宜香优 2115、隆两优 1146 等品种日产量均较低，从日产量的稳定性及高产角度来说，F 优 498 在机插栽培下也能获得高产。本试验高日产量品种均在 9 月上中旬收获，不影响后茬作物的适期播种，因此在麦（油）-稻水旱两熟制下，选用本试验的推荐品种既能获得机插高产，又能适应茬口衔接。由此可见，机插条件下，综合考虑茬口衔接及光温资源等条件，筛选生育期较短的品种来适应茬口特性已成为大家公认的事实^[26]。但生育期缩短，在一定程度上会降低品种的产量潜力，通过增加品种的日产量来减轻因生育期缩短对产量带来的不利影响是一种增产的有效途径。袁隆平^[27]曾提出超高产水稻的产量指标，应随时代、生态地区和种植季别而异，在育种计划中以单位面积的日产量作为指标比较合

理。因此,日产量可以作为机插栽培中籼杂交稻高产品种筛选的重要指标之一,日产量较高的品种,其机插适应性较强。

3.2 机插栽培中籼杂交稻品种株型特征与日产量的关系

作物产量形成主要是来源于抽穗后光合作用的物质积累,良好的株型结构有利于提高抽穗后群体光合生产能力,从而提高产量^[28]。大多研究认为^[6-7,29],在一定范围内,株高与产量呈正相关关系,株高越高,生物量越高,从而产量越高;但株高过高,也会引起倒伏,导致产量下降。基部节间短粗、秆长较短有利于高产的形成^[28]。本研究表明日产量与株高($r=-0.49^{**}$)、秆长($r=-0.46^{**}$)均呈极显著负相关关系;N3节间长($r=-0.33^{*}$)、N4节间长($r=-0.35^{*}$)与日产量呈显著负相关关系;说明株高、秆长过高,第三、四节间过长不利于日产量的形成。本试验也发现,株高较高的品种均出现了不同程度的倒伏现象,导致其产量和日产量降低,如德优4923、丰优香占、宜香优7633等品种倒伏现象较多;株高较矮的品种,倒伏现象较少(如天优华占、繁优609、C两优华占等),产量和日产量均较高。

良好的叶型有利于高产群体产量的建成。李景蕻等^[30]研究认为,植株上部三叶叶长较长,上部三叶叶角较小,抽穗期叶片比叶重大,有利于高产。也有人研究发现,上三叶叶长和叶宽与产量均呈负相关^[6]。本试验研究发现,齐穗期剑叶、倒二叶、倒三叶叶长与日产量呈弱负相关关系,叶宽除剑叶与日产量呈正相关外,倒二叶、倒三叶均与日产量呈弱负相关关系,这与前人的研究有一定的差异,这可能与中、高日产量类型中两系杂交籼稻占比相对低日产量类型品种多有关(低日产量类型只有1个两系稻),可以发现两系杂交籼稻叶长、叶宽均较小,但日产量仍相对较高,具体机理还有待研究。马均等^[18]认为理想的穗型杂交稻叶型特征为剑叶、倒二叶、倒三叶长度分别达到40—45、50—55、50—60 cm,宽度分别为2.0—2.2、1.6—1.8、1.4—1.6 cm。杜永等^[13]研究表明黄淮地区具有高产潜力的粳稻品种的叶型特征为剑叶、倒二叶、倒三叶长度26—28、35—40、32—38 cm。本研究结果表明,日产量较高的品种,叶型特征为剑叶长28—37 cm,倒二叶长41—53 cm,倒三叶长50—55 cm;剑叶宽1.9—2.3 cm,倒二叶宽1.6—2.0 cm,倒三叶宽1.4—1.9 cm。

穗部性状是水稻株型的重要组成部分,能够最为

直接地体现与产量的关系。国际水稻研究所认为高产水稻每穗粒数为200—250粒^[31]。马均等^[18]研究认为穗型理想穗型为单穗重4.8 g以上,每穗粒数180—240粒。雷小龙等^[6]研究表明,杂交籼稻F优498机械化种植高产的株型特征表现为穗长23—25 cm,每穗粒数140—180粒。本研究发现,着粒密度与日产量呈极显著正相关关系,单穗重与日产量呈正相关关系,但未达显著水平,且研究表明,高日产量类型品种着粒密度较中、低日产量类型品种高,差异达显著水平,当着粒密度 >6 粒/cm时,能获得较高的日产量,单穗重一般在4.5 g以上。表明着粒密度较高、单穗重较大是高日产量品种机插栽培的重要特征。

4 结论

麦(油)-稻水旱两熟制下,日产量可以作为机插栽培中籼杂交稻品种筛选的重要指标,日产量较高的品种,机插栽培适应性较强。不同类型品种机插栽培株型特征差异较大,相关分析表明,株高、秆长、N3节间长、N4节间长与日产量呈显著或极显著负相关关系,着粒密度与日产量呈极显著正相关关系。表明在株高和秆长适宜时,第三、四节间长较短,着粒密度较高是高日产量品种的重要特征。此外,适宜四川地区机插的中籼杂交稻品种还具有全生育期适中、穗足粒多、群体颖花量和结实率高的基本特征。日产量较高的品种全生育期为147—160 d,有效穗 248×10^4 — $336 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$,每穗粒数170—245粒,群体颖花量 480×10^6 — $711 \times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$,结实率85%—94%。综合而言,天优华占、繁优609、晶两优534、Y两优1号、C两优华占及F优498是适宜在四川地区机插种植的品种。

References

- [1] 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. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1273-1289.
ZHANG H C, GONG J L. Research status and development discussion on high-yielding agronomy of mechanized planting rice in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(7): 1273-1289. (in Chinese)
- [2] 朱德峰, 章秀福, 张玉屏. 水稻高产栽培技术的发展与展望. 中国农业科学, 2007, 40(增刊 1): 127-132.
ZHU D F, ZHANG X F, ZHANG Y P. Development and prospect of high-yielding cultivation technology in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(Supplement.1): 127-132. (in Chinese)
- [3] LÜ C G, Hu N, YAO K M, XIA S J, QI Q M. Plant type and its effects on canopy structure at heading stage in various ecological areas for a

- two-line hybrid rice combination, Liangyoupeijiu. *Rice Science*, 2010, 17(3): 235-242.
- [4] 杨守仁, 陈温福, 张龙步. 水稻理想株型育种新动向. 中国水稻科学, 1988, 2(3): 129-135.
- YANG S R, CHEN W F, ZHANG L B. Trends in breeding rice for ideotype. *Chinese Journal of Rice Science*, 1988, 2(3): 129-135. (in Chinese)
- [5] 孙成明, 苏祖芳. 水稻株型的研究进展. 上海农业学报, 2004, 20(1): 41-44.
- SUN C M, SU Z F. Advance of research on rice plant type. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2004, 20(1): 41-44. (in Chinese)
- [6] 雷小龙, 刘利, 刘波, 黄光忠, 郭翔, 马荣朝, 任万军. 机械化种植对杂交籼稻 F 优 498 产量构成与株型特征的影响. 作物学报, 2014, 40(4): 719-730.
- LEI X L, LIU L, LIU B, HANG G Z, GUO X, MA R C, REN W J. Effects of mechanized planting methods on yield components and plant type characteristics of indica hybrid rice Fyou 498. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(4): 719-730. (in Chinese)
- [7] 邢志鹏, 吴培, 朱明, 钱海军, 曹伟伟, 胡雅杰, 郭保卫, 魏海燕, 许轲. 机械化种植方式对不同品种水稻株型及抗倒伏能力的影响. 农业工程学报, 2017, 33(1): 52-62.
- XING Z P, WU P, ZHU M, QIAN H J, CAO W W, HU Y J, GUO B W, WEI H Y, XU K, DAI Q G, HUO Z Y, ZHANG H C. Effect of mechanized planting methods on plant type and lodging resistance of different rice varieties. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(1): 52-62. (in Chinese)
- [8] 曾勇军, 吕伟生, 潘晓华, 朱德峰, 谭雪明, 黄山, 商庆银, 石庆华. 氮肥追施方法和追用时期对超级早稻株型及物质生产的影响. 作物学报, 2014, 40(11): 2008-2015.
- ZENG Y J, LÜ W S, PAN X H, ZHU D F, TAN X M, HUANG S, SHANG Q Y, SHI Q H. Effects of nitrogen topdressing method and time on plant type and dry mass production of super early-rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(11): 2008-2015. (in Chinese)
- [9] 胡雅杰, 曹伟伟, 钱海军, 邢志鹏, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫, 高辉, 沙安勤, 周有炎, 刘国林. 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. 作物学报, 2015, 41(5): 743-757.
- HU Y J, CAO W W, QIAN H J, XING Z P, ZHANG H C, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, WEI H Y, GUO B W, GAO H, SHAN A Q, ZHOU Y Y, LIU G L. Effect of planting density of mechanically transplanted pot seedlings on yield, plant type and lodging resistance in rice with different panicle types. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(5): 743-757. (in Chinese)
- [10] 金峰, 徐海, 江奕君, 赵明珠, 周平, 杨莉, 李茂柏, 徐正进, 陈温福, 郑家奎. 生态环境对籼粳交后代株型特性和产量构成的影响. 中国水稻科学, 2013, 27(1): 49-55.
- JIN F, XU H, JIANG Y J, ZHAO M Z, ZHOU P, YANG L, LI M B, XU Z J, CHEN W F, ZHENG J K. Effect of ecological environments on plant type traits and yield traits in F₂ of cross between indica and japonica. *Chinese Journal of Rice Science*, 2013, 27(1): 49-55. (in Chinese)
- [11] 松岛省三. 稻作的理论与技术. 庞诚(译). 北京: 农业出版社, 1979.
- Matsushima. *Theory and Technology of Rice Production*. PANG C(translate). Beijing: Agricultural press, 1979. (in Chinese)
- [12] 杨建昌, 王朋, 刘立军, 王志琴, 朱庆森. 中籼水稻品种产量与株型演进特征研究. 作物学报, 2006, 7(7): 949-955.
- YANG J C, WANG P, LIU L J, WANG Z Q, ZHU Q S. Evolution characteristics of grain yield and plant type for mid-season indica rice cultivars. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 7(7): 949-955. (in Chinese)
- [13] 杜永, 王艳, 王学红, 孙乃立, 杨建昌. 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(7): 1079-1085.
- DU Y, WANG Y, WANG X H, SUN N L, YANG J C. Comparisons of plant type, grain yield, and quality of different japonica rice cultivars in Huanghe-Huaihe river area. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(7): 1079-1085. (in Chinese)
- [14] 李红宇, 侯昱铭, 陈英华, 权成哲, 闫平, 刘梦红, 武洪涛, 陈温福, 徐正进. 东北地区水稻主要株型性状比较分析. 作物学报, 2009, 35(5): 921-929.
- LI H Y, HOU Y M, CENG Y H, QUAN C Z, YAN P, LIU M H, WU H T, CENG W F, XU Z J. Comparison of rice plant types in northeast region of China. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(5): 921-929. (in Chinese)
- [15] JIN F, WANG H T, XU H, LIU T S, TANG L, WANG X X, JIANG Y J, YANG L, LI M B, SUI M, LANG X D, XU Z J, CHEN W F. Comparisons of plant-type characteristics and yield components in filial generations of indica×japonica crosses grown in different regions in China. *Field Crops Research*, 2013, 154(12): 110-118.
- [16] 张庆, 殷春渊, 张洪程, 魏海燕, 马群, 杭杰, 李敏, 李国业. 水稻氮高产高效与低产低效两类品种株型特征差异研究. 作物学报, 2010, 36(6): 1011-1021.
- ZHANG Q, YIN C Y, ZHANG H C, WEI H Y, MA Q, HANG J, LI M, LI G Y. Differences of plant type characteristics between rice cultivars with high and low levels in yield and nitrogen use efficiency. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(6): 1011-1021. (in Chinese)
- [17] 韦还和, 李超, 张洪程, 孙玉海, 马荣荣, 王晓燕, 杨筠文, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫. 水稻稻优 12 不同产量群体的株型特征. 作物学报, 2014, 40(12): 2060-2068.

- WEI H H, LI C, ZHANG H C, SUN Y H, MA R R, WANG X Y, YANG J W, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, WEI H Y, GUO B W. Plant type characteristics in populations with different yield of Yongyou 12. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(12): 2060-2068. (in Chinese)
- [18] 马均, 马文波, 明东风, 杨世民, 朱庆森. 重穗型水稻株型特性研究. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 679-685.
- MA J, MA W B, MING D F, YANG S M, ZHU Q S. Studies on the characteristics of rice plant with heavy panicle. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 679-685. (in Chinese)
- [19] 卢庭启. 四川盆地油(麦)茬机插稻的品种适应性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- LU T Q. Study on varieties adaptability for rape stubble's mechanical transplanting rice in the Sichuan Basin[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [20] 郭长春, 孙知白, 孙永健, 殷尧嵩, 武云霞, 唐源, 杨志远, 向开宏, 马均. 优质丰产杂交籼稻品种机直播产量构成及其群体质量研究. *中国水稻科学*, 2018, 32(5): 462-474.
- GUO C C, SUN Z B, SUN Y J, YIN Y Z, WU Y X, TANG Y, YANG Z Y, XIANG K H, MA J. Study on yield formation and population quality of indica hybrid rice with good quality and high yield under mechanical direct seeding. *Chinese Journal of Rice Science*, 2018, 32(5): 462-474. (in Chinese)
- [21] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 林贤青, 陈惠哲. 全球水稻生产现状与制约因素分析. *中国农业科学*, 2010, 43(3): 474-479.
- ZHU D F, CHENG S H, ZHANG Y P, LIN X Q, CHEN H Z. Analysis of status and constraints of rice production in the world. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(3): 474-479. (in Chinese)
- [22] 姚雄, 任万军, 胡剑锋, 卢庭启, 杨文钰. 稻油两熟区机插水稻的适宜秧龄与品种鉴定研究. *杂交水稻*, 2009, 24(5): 43-47.
- YAO X, REN W J, HU J F, LU T Q, YANG W Y. Studies on suitable seedling age and variety for mechanized transplanting rice in rapeseed-rice planting area. *Hybrid Rice*, 2009, 24(5): 43-47. (in Chinese)
- [23] 刘琦, 周伟, 任万军. 1986-2015 年四川省杂交籼稻品种的产量构成因素与适应机插栽培的演进分析. *四川农业大学学报*, 2018, 36(1): 8-14.
- LIU Q, ZHOU W, REN W J. Evolution analysis on yield components and the machine-transplanted cultivation adaptability of indica hybrid rice varieties of Sichuan province during 1986-2015. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2018, 36(1): 8-14. (in Chinese)
- [24] 钟晓媛, 赵敏, 李俊杰, 陈多, 田青兰, 王丽, 黄光忠, 任万军. 播栽期对机插超级杂交籼稻分蘖成穗的影响及与气象因子的关系. *作物学报*, 2016, 42(11): 1708-1720.
- ZHONG X Y, ZHAO M, LI J J, CHEND, TIAN Q L, WANG L, HUANG G Z, REN W J. Effect of different seeding and transplanting dates on tillering characteristics of super indica hybrid rice with mechanized seeding and planting and its relationships with meteorological factors. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(11): 1708-1720. (in Chinese)
- [25] 唐启源, 邹应斌, 雷恩, 黄敏, 陈佳娜. 多熟种植制度下水稻高光效栽培的策略//作物多熟种植与国家粮油安全高峰论坛论文集. 中国作物学会, 2015: 59-64.
- TANG Q Y, ZOU Y B, LEI E, HUANG M, CHEN J N. Strategies of high-efficiency cultivation of rice under multi-cropping system//*Crop Multi-Cropping and National Cereals, Oils and Food Safety Summit Proceedings*. Chinese Crop Society, 2015: 59-64. (in Chinese)
- [26] 吕伟生, 肖国滨, 叶川, 李亚贞, 陈明, 肖小军, 赖诗盛, 郑伟, 吴艳, 黄天宝. 油-稻-稻三熟制下双季稻高产品种特征研究. *中国农业科学*, 2018, 51(1): 37-48.
- LÜ W S, XIAO G B, YE C, LI Y Z, CHEN M, XIAO X J, LAI S S, ZHENG W, WU Y, HUANG T B. Characteristics of high-yield double rice varieties in rice-rice-rapeseed cropping system. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1): 37-48. (in Chinese)
- [27] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种. *杂交水稻*, 1997(6): 1-6.
- YUAN L P. Super high yield breeding of hybrid rice. *Hybrid Rice*, 1997(6): 1-6. (in Chinese)
- [28] 苏祖芳, 许乃霞, 孙成明, 张亚洁. 水稻抽穗后株型指标与产量形成关系的研究. *中国农业科学*, 2003, 36(1): 115-120.
- SU Z F, XU N X, SUN C M, ZHANG Y J. Study on the relationship between rice plant type indices after heading stage and yield formation. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 115-120. (in Chinese)
- [29] 刘传光, 张桂权, 周汉钦, 冯道基, 郑海波. 华南地区常规籼稻品种产量和株型性状的遗传改良. *中国农业科学*, 2010, 43(19): 3901-3911.
- LIU C G, ZHANG G Q, ZHOU H Q, FENG D J, ZHENG H B. Genetic improvement of yield and plant-type traits of inbred indica rice cultivars in south China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(19): 3901-3911. (in Chinese)
- [30] 李景燕, 李刚华, 张应贵, 罗启荣, 杨从党, 王绍华, 刘正辉, 王强盛, 丁艳锋. 精确定量栽培对高海拔寒冷生态区水稻株型及产量的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3067-3077.
- LI J H, LI G H, ZHANG Y G, LUO Q R, YANG C D, WANG S H, LIU Z H, WANG Q S, DING Y F. Effects of precise and quantitative cultivation on plant type and yield of rice in high altitude and cold ecological area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3067-3077. (in Chinese)
- [31] KHUSH G S. Breeding the yield frontier of rice. *GeoJournal*, 1995, 35(3): 329-332.

(责任编辑 杨鑫浩)