

四川盆地不同类型水稻品种机插栽培的干物质生产及产量特性分析

刘琦[#] 胡剑锋[#] 周伟 杨志平 陈勇 任万军^{*}

(四川农业大学 农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 温江 611130; [#]共同第一作者; ^{*}通讯联系人, E-mail: rwjun@126.com)

Dry Matter Production and Yield Characteristics of Machine-transplanted Rice Varieties Falling into Different Types in Sichuan Basin

LIU Qi[#], HU Jianfeng[#], ZHOU Wei, YANG Zhiping, CHEN Yong, REN Wanjun^{*}

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Southwest China, Wenjiang 611130, China; [#] These authors contributed equally to this work; ^{*}Corresponding author, E-mail: rwjun@126.com)

Abstract: 【Objective】The objective is to elucidate the dry matter production and yield characteristics of machine-transplanted rice varieties. 【Method】The dry matter production and yield formation of 10 varieties of three different types, medium-maturing *indica* hybrid rice, late-maturing *indica* hybrid rice and *japonica* rice included, were analyzed under mechanical transplanting in Sichuan Basin in 2012. 【Result】The main results were as follows: 1) The processes of dry matter accumulation of the three different types of rice varieties after transplanting are in accordance with the Logistic curve. The dry matter accumulation of medium-maturing *indica* hybrid rice and late-maturing *indica* hybrid rice were faster than that of *japonica* rice, with shorter slow growth period and longer fast growth period. However, the dry matter accumulation of *japonica* rice was slower with longer incremental growth period and slow growth period and shorter fast growth period. Therefore the dry matter accumulation of medium-maturing *indica* hybrid rice and late-maturing *indica* hybrid rice was superior to that of *japonica* rice. 2) The medium-maturing hybrid rice had the lowest proportion of vegetative organs and the highest proportion of reproductive organs, the late-maturing hybrid rice had the highest proportion of leaves at maturity, whereas the *japonica* rice had high proportion for stem but low proportion for panicles. 3) The percentage of output and transformation of stem and leaf in medium-maturing hybrid rice and late-maturing hybrid rice were all positive. However, the percentage of output and transformation of stem and the percentage of transformation of leaf in *japonica* rice were all negative, and the percentage of output of leaf was only 1.26%. 4) Medium-maturing *indica* hybrid rice has largest yield, grain number per panicle, grain filling rate, and filling degree, late-maturing *indica* hybrid rice has largest seed setting rate and 1000-grain weight, and *japonica* rice has largest effective panicle number and productive tiller percentage, which indicates that the *indica* hybrid rice yield is mainly associated with panicle traits, and *japonica* rice is mainly related to the number of panicles in the field. 【Conclusion】Hybrid *indica* rice needs to increase its effective panicle number and the productive tiller percentage under the machine-transplanted conditions. For *japonica* rice, it's necessary to breed large panicle varieties and increase the grain number per panicle and grain filling degree.

Key words: rice; mechanical transplanting; dry matter production; yield

摘 要: 【目的】阐明机插栽培对不同类型水稻的干物质生产及产量特性的影响, 为四川盆地机插秧的推广、品种选育和高产栽培提供依据。【方法】于 2012 年在四川盆地以中籼中熟杂交稻、中籼迟熟杂交稻、粳稻三类共计 10 个品种为材料, 研究不同类型水稻品种在机插栽培条件下的干物质生产及产量形成特性。【结果】1) 三种不同类型品种的水稻移栽后干物质积累均很好地符合 Logistic 曲线。中籼中熟杂交稻、中籼迟熟杂交稻物质积累均较快, 缓增期短, 快增期长, 物质积累有一定优势; 粳稻物质积累速率小, 渐增期、缓增期较长, 快增期短, 物质积累处于劣势。2) 三种类型水稻品种相比, 在成熟期中籼中熟杂交稻营养器官干物质所占比例最低, 生殖器官干物质所占比例最高; 中籼迟熟杂交稻成熟期叶片占比最高, 而粳稻则是茎鞘比例高、穗比例低。3) 中籼中熟杂交

收稿日期: 2018-04-20; 修改稿收到日期: 2018-09-14。

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)。

稻、中粳迟熟杂交稻的茎鞘、叶片物质输出率和物质转化率均为正值,但粳稻茎鞘物质输出率、转化率和叶片物质转化率均小于0,叶片物质输出率也仅为1.26%。4)中粳中熟杂交稻的产量、每穗实粒数、籽粒充实率、充实度最高,中粳迟熟杂交稻的结实率、千粒重最大,粳稻的有效穗数、成穗率最高,说明粳稻产量主要与穗部性状有关,而粳稻主要与田间有效穗数有关。【结论】在四川盆地的机插栽培条件下,杂交粳稻需提高其有效穗数、成穗率;粳稻需筛选大穗型品种,提高每穗粒数和籽粒充实度。

关键词: 水稻;机插;物质生产;产量

中图分类号: S223.91;S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2019)01-0035-12

随着农业现代化进程的推进,水稻机械化种植逐渐取代传统的手工种植。机插栽培相对于手工栽插具有节本、省工,增产效果好、经济效益高的特点^[1-2]。但是,由于地形、茬口、土地经营制度、育秧技术等原因,机插秧在四川的发展起步较晚,推广速度较为缓慢^[3-4]。近年来,机插秧的发展势头较好,但因其起点低,总体占比仍较小。据统计,2016年四川机插秧的面积占全省水稻总面积的16.37%。关于机插秧,前人开展了大量研究,从播期^[5]、耕作方式^[6-7]、栽插规格^[8-9]、水肥运筹^[10]等方面研究营养元素吸收利用、光合物质生产、产量形成等特点。明确机插栽培下不同类型水稻各方面形成的差异,不仅可以促进水稻生产机械化的推广,还可以为适宜机插品种的选育提供依据^[11-12]。

在水稻生产过程中,物质生产是产量的基础,水稻产量的形成实际上是干物质生产与分配的过程。相关研究表明不同类型水稻在不同生育时期干物质生产差异显著,产量及产量构成因素同样存在显著差异^[13-15]。李木英等^[16]认为机插稻谷产量、干物质总产量与生育期显著正相关。研究发现不同光温条件下不同类型水稻产量表现存在显著差异,营养生长阶段温度较高(26~28℃),生殖生长阶段温度较低(22~27℃)容易形成高产^[17]。而统计资料显示,在水稻抽穗扬花期、灌浆结实期四川盆地中浅丘区热害发生频率呈现增加的趋势^[18]。因而明确不同类型水稻品种在四川盆地高温、高湿、寡日照的特殊气候条件下其干物质生产及产量特性显得极为重要。本研究以中粳中熟杂交稻、中粳迟熟杂交稻、粳稻三类共计10个品种为材料,研究不同类型水稻在机插栽培条件下干物质生产及产量形成特性,以期为四川盆地机插秧的推广、品种选育及高产突破提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验供试品种中粳中熟杂交稻、中粳迟熟杂交稻、粳稻共计10个品种,具体品种来源见表1。

1.2 试验设计

试验于2012年在四川成都郫县古城镇花牌村(N 30°52'53.90", E 103°55'54.40")实施。试验田前作为青菜。水稻生育期气候条件如图1所示。土壤主要理化性质如下:pH 5.96,有机质含量45.5 g/kg,全氮含量0.87 g/kg,速效氮含量147.2 mg/kg,速效磷含量54.5 mg/kg,速效钾含量65.5 mg/kg。试验采用单因素随机区组设计,重复3次。4月上旬育秧,试验采用全自动流水线播种,田间苗床育秧。播种前浸种24 h,滤干,不进行催芽处理,每个品种育6盘,播量为50 g/盘,秧龄32 d,2叶1心和移栽前2 d分别追施尿素6 g/m²。用洋马VP6E型插秧机移栽,栽插规格14 cm×30 cm,小区面积24 m²(10 m×2.4 m)。秧块质量、栽插质量如表2所示。施纯氮180 kg/hm²,各时期施氮比例为 $m_{基肥}:m_{穗肥}=3:2$,其中 $m_{基肥}:m_{分蘖肥}=7:3$, $m_{促花肥}:m_{保花肥}=3:2$ 。按N:P₂O₅:K₂O=2:1:2确定磷、钾肥用量。磷肥全作基肥,按 $m_{基肥}:m_{穗肥(促花肥)}=1:1$ 比例施钾肥。其他田间管理措施按大面积生产进行。

1.3 测定项目

1.3.1 生育进程及叶龄调查

移栽后详细记录每个处理的返青天数,以及各处理的分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期、成熟期。移栽后各小区连续选取10株水稻,每7 d标记1次主茎叶龄,直至主茎剑叶抽出,记录主茎总叶数。

1.3.2 群体物质积累与转运特性

于分蘖盛期、拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆中期、成熟期按平均茎蘖数法取样,每小区取3穴,去根,分解为茎、叶、穗(抽穗以后),装袋,在105℃下杀青60 min,80℃下烘干至恒重并称重,计算茎鞘物质输出率、茎鞘物质转化率、叶片物质输出率、叶片物质转化率。

茎鞘物质输出率(%)=(抽穗期茎鞘干物质质量-成熟期茎鞘干物质质量)/抽穗期茎鞘干物质质量×100;

茎鞘物质转化率(%)=(抽穗期茎鞘干物质质量-成熟期茎鞘干物质质量)/成熟期籽粒干物质质量×100;

叶片物质输出率(%)=(抽穗期叶片干物质质量-

表 1 供试水稻品种简介

Table 1. Introduction of rice varieties.

类型 Type	品种名称 Variety	亲本来源 Parental source	选育单位 Breeding unit
I 中粳中熟杂交稻 Medium-maturing <i>indica</i> hybrid rice	宜香优 2168	宜香 1A×HR2168	四川农业大学、宜宾市农业科学院、
	Yixiangyou 2168	Yixiang 1A×HR2168	四川省绿丹种业有限公司
	川香优 3 号	川香 29A×成恢 488	四川省农业科学院作物研究所
	Chuanxiangyou 3	Chuanxiang 29A×Chenghui 488	四川天宇种业有限公司
	F 优 498	FS3A×蜀恢 498	四川农业大学水稻研究所
II 中粳迟熟杂交稻 Late-maturing <i>indica</i> hybrid rice	F you 498	FS3A×Shuihui 498	江油市川江水稻研究所
	II 优 498	II -32A×蜀恢 498	湖南川农高科种业有限公司
	II you 498	II -32A×Shuhui 498	四川农业大学水稻研究所
	泰优 99	D62A×泸恢 1345	四川省农业科学院水稻高粱研究所
	Taiyou 99	D62A×Luhui 1345	
	德香 4103	德香 074A×泸恢 H103	四川省农业科学院水稻高粱研究所
	Dexiang 4013	Dexiang 074A×Luhui H103	
	69 优 8 号	69A×R11238	徐州农业科学研究所
III 粳稻 <i>japonica</i> rice	69 you 8		
	连粳 10 号	连粳 321/浙 405	连云港市农业科学院
	Lianjing 10	Lianjing 321/Zhe 405	
	徐稻 6 号	95-3/泸恢 1345	江苏徐州农科所
	Xudao 6	95-3/Luhui 1345	
	W021	镇稻 88/连粳 4 号//W003	南京农业大学
		Zhendao 88/Lianjing 4//W003	

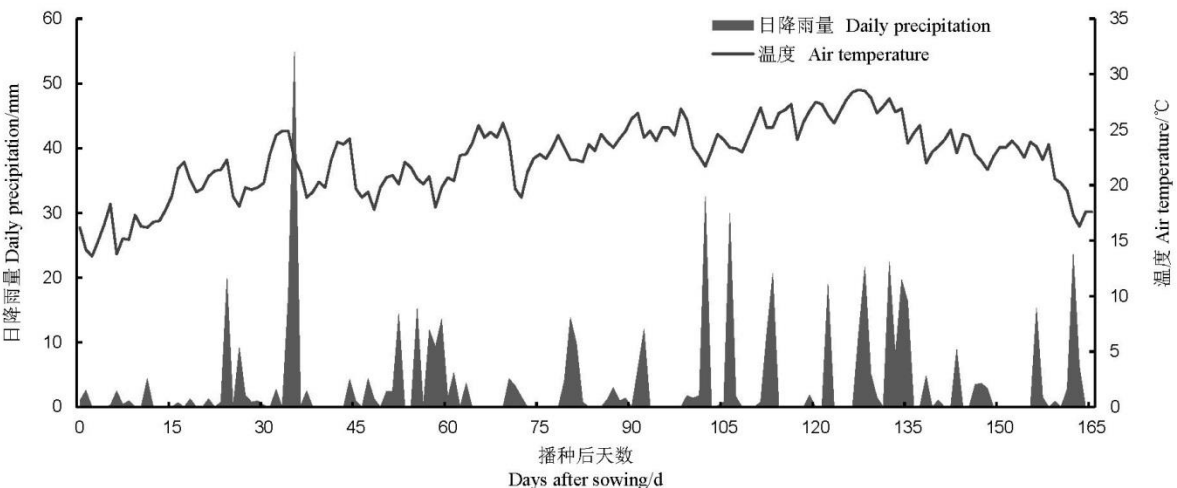


图 1 水稻全生育期日降雨量、温度

Fig. 1. Daily precipitation and air temperature from sowing to maturity.

表 2 不同品种秧块质量及栽插质量的差异

Table 2. Difference in seedling and planting quality between different varieties.

处理 Treatment	成苗率 Plant regeneration /%	盘结力 Roots twisting power /(kg dm ⁻²)	漏插率 Empty rate /%	基本苗 Basic seedling number /(×10 ⁴ hm ⁻²)
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	79.8±2.6	2.02±0.30	22.3±2.7	37.74±1.20
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	78.6±8.3	2.35±0.25	19.0±7.2	37.16±3.82
F 优 498 F you 498	79.5±6.1	2.88±0.11	14.7±1.8	37.58±2.89
II 优 498 II you 498	71.0±3.8	2.78±0.64	10.3±3.6	33.61±1.77
泰优 99 Taiyou 99	84.1±4.3	2.17±0.15	16.8±1.8	39.72±2.01
德香 4103 Dexiang 4103	83.2±3.0	2.17±0.12	19.0±4.7	39.17±1.50
69 优 8 号 69 you 8	80.4±5.5	2.49±0.28	11.0±5.2	37.91±2.61
连粳 10 号 Lianjing 10	58.7±4.0	3.60±0.22	4.4±1.0	27.80±1.83
徐稻 6 号 Xudao 6	63.6±2.3	2.78±0.15	7.4±1.0	30.01±0.86
W021	55.0±1.3	2.88±0.08	11.0±2.7	25.96±0.71

表 3 不同品种生育进程及主茎总叶片数

Table 3. Reproductive process and total leaf number on the main stem of different varieties.

品种 Variety	播种期 Date of sowing /(Month-Day)	移栽期 Date of transplanting /(Month-Day)	成熟期 Date of maturity /(Month-Day)	播种-拔节 Sowing- jointing/d	拔节-抽穗 Jointing- heading/d	抽穗-成熟 Heading- maturity/d	返青天数 Returning green/d	全生育期 Whole growth duration/d	总叶数 Number of leaves
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	04-06	05-08	09-06	73	42	37	6	152	15.0
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	04-06	05-08	09-04	73	42	35	6	150	15.0
F 优 498 F you 498	04-06	05-08	09-06	73	41	38	5	152	15.3
II 优 498 II you 498	04-06	05-08	09-14	75	47	38	6	160	15.6
泰优 99 Taiyou 99	04-06	05-08	09-14	75	47	38	5	160	15.7
德香 4103 Dexiang 4103	04-06	05-08	09-07	75	41	37	5	153	15.4
69 优 8 号 69 you 8	04-06	05-08	09-18	83	31	43	6	157	16.6
连梗 10 Lianjing 10	04-06	05-08	09-18	83	32	49	7	165	15.8
徐稻 6 号 Xudao 6	04-06	05-08	09-18	83	32	49	7	165	16.3
W021	04-06	05-08	09-18	83	32	49	7	165	16.5

成熟期叶片干物质质量)/抽穗期叶片干物质质量×100;

叶片物质转化率(%)=(抽穗期叶片干物质质量-成熟期叶片干物质质量)/成熟期籽粒干物质质量×100。

1.3.3 产量及其构成

每小区取 20 穴定点观察,从返青后开始每隔 7 d 调查一次茎蘖数,直至齐穗期。成熟期每小区选取 50 穴考查平均有效穗数,计算成穗率。按照平均有效穗数取样,每个小区取 5 穴,考查每穗颖花数、实粒数、空秕粒数和千粒重,测定水分含量,并调查浮粒数和沉粒数,沉粒自然风干后称量,测水分含量,而后计算结实率、充实度和充实率。各小区分别收割晒干计产。

1.4 数据处理及分析

运用 Microsoft Excel、DPS 7.05 系统软件处理分析数据,用 LSD (least significant difference test) 进行样本平均数的差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 供试品种生育进程及主茎总叶片数

试验点不同品种生育进程及总叶片数如表 3 所示。从总叶龄和全生育期来看,参试粳稻品种平均叶龄和生育期均高于参试籼稻品种。三种类型水稻中以粳稻品种生育期最长,平均达到 163 d,其次为中粳迟熟杂交稻和中粳中熟杂交稻,分别为 157.7 d 和 151.3 d,其中迟熟品种德香 4103 在机插条件下生育进程加快,生育期近似于中熟品种。籼稻品种的营养生长期(播种-抽穗)所占比重较大,达 75.65%,生殖生长期(抽穗-成熟)占比较小,为 24.35%;而粳稻的生殖生长期较长,占整个生育期的 28.57%,比所有籼稻品种中生殖生长期最长的 F 优 498 高 3.57 个百分点。从返青天数上看,粳稻(6.75

d)>中粳中熟杂交稻(5.7 d)>中粳迟熟杂交稻(5.3 d),说明粳稻在四川盆地机插移栽后恢复缓慢。

2.2 不同类型品种单位面积物质积累特性

对不同类型水稻移栽后单位面积干物质积累动态过程进行曲线拟合,其中决定系数 R^2 均大于 0.97,表明移栽后单位面积干物质积累动态较好地符合 Logistic 曲线(图 2)。综合而言,三类品种快增期均在拔节后 10 d 左右开始,至抽穗后 20 d 左右结束,最大增长速率出现在拔节-抽穗期。群体干物质积累最大增长速率、平均增长速率表现为中粳迟熟杂交稻>中粳中熟杂交稻>粳稻。结合图 2、表 4 可以看出,粳稻栽后物质积累速率慢,渐增期 d_1 、缓增期 d_3 均较长,分别占栽后生育天数的 42.75%、18.32%,快增期 d_2 所占比重较低,仅为 38.93%,物质积累处于劣势。其中 69 优 8 号的物质积累最

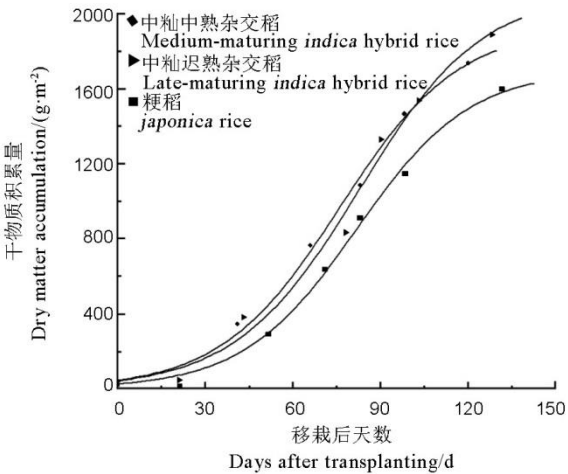


图 2 不同类型品种单位面积干物质积累的 Logistic 回归方程曲线

Fig. 2. Logistic curve regression equation for dry matter accumulation per unit area of different type rice varieties.

表 4 不同品种单位面积干物质积累的 Logistic 方程回归分析
Table 4. Logistic equation analysis for dry matter accumulation per unit area of different rice varieties.

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R^2	$V_m/(g\ m^{-2}d^{-1})$	$V_a/(g\ m^{-2}d^{-1})$	t_0	t_1	t_2	d_1/d	d_2/d	d_3/d
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	$Y=1993.61/(1+40.22\ e^{-0.0443x})$	0.9819	22.59	14.17	82	54	11	54	56	10
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	$Y=1742.57/(1+57.69\ e^{-0.0554x})$	0.9808	24.33	13.42	74	50	97	50	47	21
F 优 498 F you 498	$Y=2143.23/(1+33.11\ e^{-0.0472x})$	0.9892	26.30	15.95	73	46	10	46	54	20
II 优 498 II you 498	$Y=2197.30/(1+42.87\ e^{-0.0460x})$	0.9744	25.63	15.38	81	53	10	53	56	19
泰优 99 Taiyou 99	$Y=2194.80/(1+49.65\ e^{-0.0474x})$	0.9872	26.34	15.46	82	55	10	55	54	19
德香 4103 Dexiang 4103	$Y=1956.42/(1+60.60\ e^{-0.0491x})$	0.9495	26.02	14.12	77	53	10	53	48	20
69 优 8 号 69 you 8	$Y=1845.93/(1+81.09\ e^{-0.0584x})$	0.9926	28.17	14.39	75	53	97	53	44	28
连梗 10 Lianjing 10	$Y=1534.95/(1+163.29\ e^{-0.0635x})$	0.9978	24.42	11.24	80	60	10	60	51	31
徐稻 6 号 Xudao 6	$Y=1942.61/(1+38.60\ e^{-0.0384x})$	0.9790	18.88	11.95	94	61	12	61	66	5
W021	$Y=1651.80/(1+59.96\ e^{-0.0487x})$	0.9947	20.29	11.49	84	57	11	57	53	22
I	$Y=1933.09/(1+41.36\ e^{-0.0490x})$	0.9930	23.68	14.44	76	49	10	49	54	16
II	$Y=2120.75/(1+49.03\ e^{-0.0471x})$	0.9848	24.97	14.73	83	55	11	55	56	15
III	$Y=1700.59/(1+66.31\ e^{-0.0513x})$	0.9961	21.81	12.08	82	56	10	56	51	24

R^2 —决定系数; V_m —干物质最大积累速率; V_a —干物质平均积累速率; t_0 —干物质积累最大增长速率出现的天数; t_1 —速度函数的第一个拐点; t_2 —速度函数的第二个拐点; d_1 —干物质积累的渐增期天数; d_2 —干物质积累的快增期天数; d_3 —干物质积累的缓增期天数。I—中籼中熟杂交稻; II—中籼迟熟杂交稻; III—粳稻。下同。

R^2 , Decisive coefficient; V_m , Maximum rate of dry matter accumulation; V_a , Average rate of dry matter accumulation; t_0 , Days of the biggest growth rate of dry matter accumulation; t_1 , First inflection point of speed function; t_2 , Second inflection point of speed function; d_1 , Incremental period of dry matter accumulation; d_2 , Fast increase period of dry matter accumulation; d_3 , Slow increase period of dry matter accumulation. I, Medium-maturing indica hybrid rice; II, Late-maturing indica hybrid rice; III, japonica rice. The same as below.

表 5 不同类型品种成熟期单位面积干物质积累总量与分配的差异
Table 5. Difference in total dry matter accumulation per unit area and its partitioning of different types varieties in mature period.

处理 Treatment	茎鞘干质量 Dry matter of stem-sheath/(g m ⁻²)	叶片干质量 Dry matter of leaf/(g m ⁻²)	穗干质量 Dry matter of spikes/(g m ⁻²)	干物质积累总量 Total dry matter accumulation/(g m ⁻²)	茎鞘占比 Proportion of stem-sheath/%	叶片占比 Proportion of leaf/%	穗占比 Proportion of panicle/%
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	536.2±44.6 cBC	252.7±7.3 cB	891.3±56.6 cdeBCD	1680.2±61.8	31.9±2.1 bcdBCD	15.06±0.9 cdC	53.0±2.4 bcABC
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	507.9±13.3 cC	240.6±4.8 cB	835.3±38.4 deCDE	1583.8±50.4 deDEF	32.1±0.2 bcBCD	15.20±0.6 cdBC	52.7±0.8 bcABC
F 优 498 F you 498	553.9±30.9 bcBC	248.9±23.5 cB	1111.1±57.9 aA	1914.0±7.1 abAB	29.0±1.8 dD	13.01±1.3 eD	58.0±2.7 aA
II 优 498 II you 498	725.2±25.8 aA	336.1±3.5 aA	919.9±85.7 bcdBCD	1981.1±108.1 aA	36.6±0.7 aA	17.00±1.1 aA	46.4±1.8 eD
泰优 99 Taiyou 99	618.0±24.8 bB	330.0±25.4 abA	1017.6±75.3 abAB	1965.6±117.5 aA	31.5±0.8 bcdCD	16.79±0.8 abAB	51.7±0.9 bcdBCD
德香 4103 Dexiang 4103	519.6±40.2 cC	247.7±5.9 cB	941.8±48.3 bcBC	1709.1±89.7 cCD	30.4±0.8 cdCD	14.51±0.7 dCD	55.1±0.4 abAB
69 优 8 号 69 you 8	567.6±18.0 bcBC	302.0±20.1 bA	929.3±43.9 bcdBCD	1798.9±66.8 bcBC	31.6±0.7 bcdBC	16.79±1.0 abAB	51.7±0.6 bcdBCD
连梗 10 Lianjing 10	547.5±72.3 cBC	222.8±38.4 cB	712.7±41.2 fE	1483.0±103.8 eF	36.8±2.4 aA	14.97±1.8 cdC	48.2±4.2 deCD
徐稻 6 号 Xudao 6	539.8±48.3 cBC	243.0±10.3 cB	794.6±47.5 efDE	1577.3±67.5 deDEF	34.2±2.5 abABC	15.41±0.1	50.4±2.6 cdeBCD
W021	547.6±46.9 cBC	238.7±10.2 cB	730.4±70.2 fE	1516.8±30.2 eEF	36.1±3.4 aAB	15.74±0.8	48.1±4.2 deCD
F 值 F Value	7.45**	14.56**	13.58**	17.03**	6.92**	4.30**	6.11**
I	532.7±23.2 aA	247.4±6.2 aA	945.9±45.8 aA	1726.0±69.8 abA	31.0±1.8 aA	14.42±1.2 aA	54.6±3.0 aA
II	620.9±102.8 aA	304.6±49.4 aA	959.8±51.3 aA	1885.3±52.8 aA	32.8±3.3 aA	16.10±1.4 aA	51.1±4.4 aA
III	550.6±11.9 aA	251.6±34.7 aA	791.8±98.2 aA	1594.0±142.1 bA	34.7±2.4 aA	15.72±0.8 aA	49.6±1.7 aA
F 值 F Value	2.06	2.59	2.86	3.09	1.84	1.93	2.34

同一列中(n=30), 不同大、小写字母表示同一品种类型下各品种在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平上差异显著; 平均值(I 类和 II 类 $n=9$, III 类 $n=12$)后不同大、小写字母表示不同品种类型在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平差异显著。*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。

Values followed by different uppercase and lowercase letters in a column ($n=30$) are significantly different among varieties, and means (type I and II: $n=9$; type III: $n=12$) followed by different uppercase and lowercase letters are significantly different among cultivar types at $P=0.01$ and $P=0.05$ levels, respectively. * and ** mean significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same as below.

大增长速率 V_m 最大, 但渐增期 d_1 和缓增期 d_3 较长, 快增期 d_2 短, 其物质积累表现出明显阶段性爆发增长趋势。中籼迟熟杂交稻物质积累速率较快, 且缓增期 d_3 短, 为 11.90%, 快增期 d_2 较长, 达 44.44%, 因此, 其物质积累有一定优势。对于中籼中熟杂交稻而言, 其渐增期比中籼迟熟杂交稻短 6 d, 快增期短 2 d, 缓增期长 1 d。3 个中籼中熟杂交稻中, F 优 498 的物质积累速率 V_m 和 V_a 以及 d_1 、 d_2 和 d_3 所占全生育期比例的合理性都优于其余品种, 物质积累有明显优势。

2.3 不同类型品种单位面积物质分配特性

由表 5 可知, 在单位面积干物质积累总量上,

表 6 不同类型品种单位面积干物质转运特性差异
Table 6. Difference in dry matter transport per unit area in different type varieties.

处理 Treatment	物质输出率 Percentage of output/ %		物质转化率 Percentage of transformation/ %	
	叶片 Leaf	茎鞘 Stem-sheath	叶片 Leaf	茎鞘 Stem-sheath
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	23.34±5.43 aAB	11.47±8.84 aA	7.88±1.18 abA	9.77±7.07 aAB
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	18.61±15.92 abAB	18.35±6.04 aA	6.83±5.82 abcA	18.29±6.83 aA
F 优 498 F you 498	11.14±9.98 abcAB	13.29±4.51 aA	2.91±2.70 abcA	9.87±4.48 aAB
II 优 498 II you 498	14.28±11.54 abcAB	15.92±2.29 aA	7.12±6.46 abcA	21.84±21.33 aA
泰优 99 Taiyou 99	24.97±20.38 aAB	22.72±9.53 aA	6.10±1.16 abcA	22.67±13.27 aA
德香 4103 Dexiang 4103	32.97±15.08 aA	25.11±7.57 aA	10.30±4.31 aA	22.82±8.87 aA
69 优 8 号 69 you 8	13.50±9.97 abcAB	20.15±7.40 aA	5.63±4.33 abcA	16.83±12.96 aA
连梗 10 Lianjing 10	-0.82±16.73 bcB	-32.74±10.74 cB	0.42±6.67 bcA	-14.61±17.50 bB
徐稻 6 号 Xudao 6	-3.04±5.77 bcB	-24.60±15.31 bcB	-1.13±2.01 bcA	-15.34±9.47 bB
W021	-4.61±10.13 cB	-14.92±8.74 bB	-1.63±3.39 cA	-11.32±6.23 bB
F 值 F Value	2.88*	14.76**	1.63	5.24**
I	17.69±6.15 aAB	14.37±3.57 abA	5.87±2.62 abA	12.64±4.89 abAB
II	24.07±9.37 aA	21.25±4.77 aA	7.84±2.19 aA	22.44±0.53 aA
III	1.26±8.31 bB	-13.03±23.29 bA	0.82±3.32 bA	-6.11±15.39 bB
F 值 F Value	7.53*	4.85*	5.78*	6.86*

籼稻较粳稻具有明显优势，而中籼中熟杂交稻和中籼迟熟杂交稻之间无显著差异。在单位面积物质积累总量、茎鞘、叶、穗干质量 4 个指标上，中籼迟熟杂交稻分别比粳稻高 18.27%、12.77%、21.05%、21.22%。三种类型水稻品种相比，中籼中熟杂交稻在成熟期营养器官所占比例最低，茎鞘占比为 30.97%，叶片占比为 14.42%，生殖器官所占比例最高，为 54.60%。中籼迟熟杂交稻成熟期叶片占比最高，而粳稻则是茎鞘占比最高，穗占比最低。

从具体供试品种来看，单位面积干物质积累总量以泰优 99 最大，为 1981.1 g/m²；茎鞘、叶片干质量则以 II 优 498 最大，分别为 725.2 g/m²、336.1 g/m²，两者均为中籼迟熟杂交稻；而穗干质量最大是 F 优 498，达到 1111.1 g/m²，为中籼中熟杂交稻。所有品种中连梗 10 号的总积累量，茎鞘、叶片、穗干质量分别为 1483.0 g/m²、547.5 g/m²、222.8 g/m²和 712.8 g/m²。各供试品种中，茎鞘、叶片所占总干质量比例最小的均为 F 优 498，茎鞘占比最高的是连梗 10 号，叶片占比以 II 优 498 最高。所有 10 个品种中，F 优 498 穗部所占比例最大，为 58.05%，高出平均值 12.63%，最小的是 II 优 498，低于平均值 10.03%。

2.4 不同类型品种单位面积物质转运特性

对不同类型品种营养器官的物质转运进行多重比较，结果表明(表 6)，三种不同品种类型中，中籼迟熟杂交稻、中籼中熟杂交稻的茎鞘、叶片物质输出率和物质转化率都为正值，但差异未达到显著

水平，而粳稻茎鞘物质输出率和茎鞘、叶片物质转化率均小于 0，而叶片物质输出率大于 0，均显著低于中籼中熟杂交稻、中籼迟熟杂交稻的物质输出率、转化率。各籼型杂交稻品种间以德香 4103 的物质输出和转化能力最强，F 优 498 的物质转运能力较弱。粳稻 69 优 8 号的物质转运能力较强，而其余 3 个粳稻品种物质转运能力弱，物质输出率、转化率均为负值。

2.5 不同类型品种产量差异

从表 7 可以看出，籼、粳稻产量及产量构成因素有显著差异，粳稻的成穗率、有效穗数较籼稻高，但产量、每穗粒数、千粒重、结实率、充实度和充实率都低于籼稻；中籼中熟杂交稻和中籼迟熟杂交稻之间无显著差异。具体来看，中籼中熟杂交稻的产量、每穗实粒数、籽粒充实率、充实度最高，中籼迟熟杂交稻的结实率、千粒重最大，粳稻的有效穗数、成穗率最高，说明籼稻产量主要与穗部性状有关，而粳稻主要与田间有效穗数有关。从具体供试品种来看，F 优 498 产量最高，比同类型品种的平均产量高 4.92%，比所有品种的平均产量高出 14.08%。其每穗实粒数最高，达到 174.7 粒，比同类型品种平均值高 16.54%，但有效穗数和成穗率最低，分别比同类型品种平均值低 5.21%和 4.79%。宜香优 2168 的千粒重、充实率、充实度最高，分别达 32.70 g、97.4%和 98.5%；II 优 498 结实率最高，达到 92.6%。粳稻中连梗 10 号产量最低，其千粒重、充实率均最低，分别较同类型品种平均值低

表 7 不同类型品种产量及产量构成因素的差异

Table 7. Difference of yield and its components of different type varieties.

处理 Treatment	产量 Grain yield (kg hm ⁻²)	有效穗数 Effective panicle number/(×10 ⁴ hm ⁻²)	成穗率 Productive tiller percentage/%	每穗实粒数 Grain number per panicle/(No.ear ⁻¹)	结实率 Seed-setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	充实率 Filled grain rate/%	充实度 Filling degree
宜香优 2168 Yixiangyou 2168	9195.1±27.1 bA	222.8±13.5 bcBC	64.9±1.5 bcdBC	125.8±1.8 cCD	85.6±2.9 cdBC	32.70±0.32 aA	97.4±1.6 aA	98.5±0.9 aA
川香优 3 号 Chuanxiangyou 3	9141.6±298.5 bA	214.1±8.7 bcBC	59.3±2.4 cdC	149.3±4.2 bB	88.6±2.0 abcABC	29.56±0.46 cB	96.9±2.5 aA	98.2±1.5 aA
F 优 498 F you 498	9862.0±275.1 aA	201.8±6.4 cC	57.7±5.7 dC	174.7±4.8 aA	91.9±1.0 abA	31.53±0.44 bA	95.2±1.5 aA	97.1±0.8 aA
II 优 498 II you 498	9217.7±177.0 bA	217.1±6.6 bcBC	60.0±3.4 cdC	148.6±4.0 bB	92.6±2.0 aA	29.99±0.07 cB	97.0±0.8 aA	98.3±0.5 aA
泰优 99 Taiyou 99	9472.8±282.3 abA	221.2±17.0 bcBC	58.5±1.3 dC	143.8±3.4 bBC	91.0±2.1 abAB	32.49±0.91 abA	92.7±5.7 abA	96.6±2.2 aA
德香 4103 Dexiang 4103	9187.7±243.0 bA	215.7±3.9 bcBC	61.8±1.8 cdBC	152.8±1.0 bB	91.4±3.7 abA	31.89±0.36 abA	96.3±2.6 aA	97.5±1.2 aA
69 优 8 号 69 you 8	7970.9±602.2 cB	233.8±4.9 bB	67.4±6.9 bcABC	141.6±14.2 bBC	84.1±0.3 dC	25.29±0.55 dC	89.5±7.3 aAB	95.5±2.6 aA
连梗 10 Lianjing 10	7216.6±361.4 dC	235.2±24.2 bB	78.2±1.0 aA	113.1±1.9 cdD	88.2±3.4 bcdABC	22.74±0.63 fE	65.4±7.6 cD	79.1±4.3 cB
徐稻 6 号 Xudao 6	7606.2±371.4	269.3±16.3 aA	72.0±2.1 abAB	117.8±10.5 cdD	89.5±0.5 abcABC	23.73±1.05	70.4±4.4 cCD	78.9±2.0 cB
W021	7579.1±243.6	269.3±13.0 aA	76.9±12.0 aA	109.8±4.3 dD	89.4±3.6 abcABC	24.22±0.14	80.6±9.2 bBC	83.5±4.0 bB
F 值 F Value	26.14**	9.21**	6.94**	19.10**	3.89**	143.55**	15.88**	37.44**
I	9399.6±401.4 aA	212.9±10.6 bA	60.6±3.8 bB	149.9±24.5 aA	88.7±3.2 aA	31.26±1.59 aA	96.5±1.2 aA	97.9±0.7 aA
II	9292.7±156.7 aA	218.0±2.9 abA	60.1±1.7 bB	147.7±4.5 aA	91.7±0.8 aA	31.46±1.31 aA	95.3±2.3 aAB	97.5±0.9 aA
III	7593.2±308.1 bB	251.9±20.1 aA	73.6±4.9 aA	120.6±14.4 aA	87.8±2.5 aA	23.99±1.06 bB	76.5±10.7 bB	84.3±7.8 bA
F 值 F Value	39.43**	7.79*	13.80**	3.70	2.32	38.58**	8.85*	8.23*

5.21%和 14.51%。W021 有效穗数最高，比同类型品种平均值高 6.91%，但实粒数最少，比同类型品种平均实粒数低 8.96%。69 优 8 号结实率最低，仅为 84.1%；连梗 10 号和徐稻 6 号充实率、充实度均最低。

2.6 产量及其构成因素与物质生产的相关性分析

从表 8 可以看出，物质生产对产量及产量构成因素的影响不尽相同。产量与渐增期和快增期的物质积累量、物质积累速率、物质输出率以及物质转化率均呈显著或极显著正相关，而与成熟期茎鞘、叶片的物质分配呈负相关，但未达显著。对产量构成因素而言，有效穗与物质积累速率、物质输出率、物质转运率呈极显著负相关，只与成熟期茎鞘、叶片的物质分配呈正相关，但相关性不显著。每穗实粒数、充实率、充实度均与渐增期和快增期的物质积累量、物质积累速率、物质输出率以及物质转化率均呈显著或极显著正相关，而结实率、千粒重与物质生产未达显著相关。综合来看，产量及产量构成因素与渐增期和快增期的物质积累量、物质积累速率、物质输出率、物质转化率呈显著相关，而与缓增期物质积累量、物质分配相关不显著。

3 讨论

3.1 不同类型水稻品种机插栽培下物质生产差异

水稻物质生产特性是光合产物在植株中积累与分配的结果，而不同类型水稻品种其物质生产特

性不同。对于干物质积累，许多学者通过 Logistic 模型进行研究^[19-21]。研究发现，中籼稻、晚籼稻、粳稻的干物质积累均在拔节-抽穗期最盛^[22-23]，但也有研究认为杂交籼稻在生育前期干物质积累量高，粳稻在生育后期干物质积累量高^[24-25]。在四川盆地，机插杂交籼稻在拔节-抽穗期干物质积累量最高，对产量的贡献率最大^[26]；粳稻则是在齐穗-成熟期干物质积累量最高^[27]。本研究结果显示，三种不同类型水稻品种移栽后单位面积干物质积累均很好地符合 Logistic 曲线，快增期均在拔节后 10 d 左右开始，至抽穗后 20 d 左右结束，最大增长速率出现在拔节-抽穗期。从表 8 的相关性分析结果可以看出，在本研究条件下，物质分配对产量及其构成因素影响较小，相关性均未达显著水平。渐增期和快增期的物质积累量与充实度、充实率均显著正相关，与产量极显著正相关，而缓增期物质积累量与充实度、充实率和产量的相关性未达显著水平，表明籽粒充实主要受灌浆前物质积累的影响。具体来看，中籼中熟杂交稻、中籼迟熟杂交稻两者物质积累速率均较快，缓增期短，快增期较长，物质积累有一定优势，产量较高；粳稻栽后物质积累速率慢，渐增期、缓增期均较长，物质积累处于劣势，产量较低。

水稻籽粒的灌浆物质分为两部分，一部分是抽穗后的光合产物，另一部分是抽穗前叶和茎鞘贮藏的非结构性碳水化合物(NSC)的再分配。一般而言，茎鞘物质转化率在 20%~40%^[28]。Nagata 等^[29]认为

表 8 产量及产量构成因素与物质生产的相关性
Table 8. Correlation analysis between dry matter production and yield and its components.

品种类型 Variety type	产量 Yield	有效穗数 Number of productive panicles	每穗实粒数 Filled grain per panicle	结实率 Seed setting rate	千粒重 1000-grain weight	充实率 Filled grain rate	充实度 Fillness
物质积累量 Dry matter accumulation							
渐增期 Incremental period	0.77**	-0.48	0.63*	0.48	0.48	0.62*	0.61*
快增期 Fast increase period	0.77**	-0.48	0.63*	0.48	0.48	0.62*	0.61*
缓增期 Slow increase period	0.00	-0.34	0.27	-0.05	-0.05	0.08	0.19
物质积累速率 Dry matter accumulation rate	0.88**	-0.78**	0.86**	0.30	0.30	0.82**	0.86**
物质分配 Dry matter partitioning							
茎鞘占比例 Proportion of stem-sheath	-0.41	0.48	-0.19	-0.24	-0.24	-0.27	-0.29
叶占比例 Proportion of leaf	-0.21	0.17	-0.23	0.20	0.20	-0.40	-0.36
穗占比例 Proportion of spike	0.40	-0.44	0.23	0.12	0.12	0.35	0.35
物质输出率 Percentage of output							
叶片 Leaf	0.77**	-0.74**	0.60*	0.09	0.09	0.81**	0.85**
茎鞘 Stem-sheath	0.82**	-0.73*	0.77**	0.10	0.10	0.94**	0.96**
物质转化率 Percentage of transformation							
叶片 Leaf	0.71*	-0.75**	0.58	0.02	0.02	0.82**	0.88**
茎鞘 Stem-sheath	0.80**	-0.77**	0.76**	0.17	0.17	0.90**	0.94**

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关性显著。n=30。
* and ** mean significant correlation at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. n=30.

NSC 转运的最大比例仅为 48%，也有学者认为灌浆物质中来自抽穗前贮藏物质的比例会超过 50%^[30]。相关分析(表 8)结果表明，产量及其构成因素与茎鞘、叶片的物质输出率、转化率呈显著或极显著相关，尤其是充实度和充实率，说明籽粒填充以及产量形成受抽穗后物质转运的影响较大。在本研究条件下，中粳中熟杂交稻物质分配表现良好、产量表现最佳，干物质在成熟期分配到穗中较多，营养器官中较少，弥补了其叶片、茎鞘的物质输出率、转化率均较低的弱势，保证产量在较高的水平。中粳迟熟杂交稻干物质积累总量最高，成熟期分配到叶片、茎鞘中的物质较多，且叶片、茎鞘物质输出率、物质转化率高，但其在成熟期分配到穗中的物质较少，可能与迟熟稻在机插栽培下源大库不足有关。粳稻成熟期叶片干质量所占比例较高，表明在后期其物质生产仍在进行，但其茎鞘物质输出率、物质转化率和叶片物质转化率均小于 0，叶片物质输出率仅为 1.26%，说明叶片、茎鞘中的物质只有极少量转运到穗中，最终在成熟期干物质分配上呈现出叶高穗低的状态，导致产量较低。粳稻中三系杂交稻 69 优 8 号在物质分配、转运表现良好，但其产量仍不及粳稻。繆小建等^[31]、陈丽楠等^[32]均认为，氮素穗肥的施用使得齐穗至成熟期茎鞘非结构性碳水化合物转运量和转运率显著下降，籽粒产量主要来源于灌浆结实期的光合同化物，且若库容变

小，成熟期茎鞘中非结构性碳水化合物回流严重。本研究的结果与此相似。综上，在机插栽培条件下，中粳迟熟杂交稻表现最佳，但穗部干质量较低，可培育大穗、扩大“库”容，进一步提高产量；中粳中熟杂交稻表现良好，但是其成熟期茎叶占比较低，故在生育后期应注意防止功能叶早衰以及提高茎秆抗倒伏能力；在本研究条件下，粳稻适应四川盆地气候生态较差，物质分配茎鞘高穗低、物质转运能力弱，下一步需要筛选大穗品种并研究调节源、库、流的栽培技术措施，从而保证源强、库大、流畅。

3.2 不同类型水稻品种产量及产量构成因素差异

产量是产量构成因素直接作用形成的，但产量构成因素在不同类型水稻中的表现不尽相同。研究表明，不同水稻类型^[33]及不同栽培方式^[34]对水稻的产量及构成因素存在一定影响，而两者交互同样存在显著差异^[35-37]。胡雅杰等^[35-36]、姜元华等^[37]的研究结果都表明在机直播和机插秧(毯苗、钵苗)两种栽插方式下，粳稻的产量、有效穗数、结实率均优于杂交粳稻，而杂交粳稻的每穗粒数、群体颖花量、粒重大于粳稻。李木英等^[16]对机插栽培下不同品种产量的研究结果显示，早稻的有效穗数、结实率、千粒重均大于晚稻，但晚稻的产量、每穗粒数表现更好。在本研究中，粳稻的成穗率、有效穗较粳稻高，但产量、每穗粒数、千粒重、结实率、充实度

和充实率都低于籼稻; 中粳中熟杂交稻和中粳迟熟杂交稻在产量和产量构成因素上没有显著差异, 但中粳中熟杂交稻的有效穗、结实率稍低于迟熟稻。研究表明, 常规粳稻在 120~130 g/盘, 杂交粳稻在 80~90 g/盘的播种量(干种)下, 所有秧苗素质较好, 不仅秧苗成毯效果佳, 且大田的移栽质量更高^[38]。李刚华等^[39]研究发现, 单穴苗数对机插粳稻产量影响显著, 主要表现为有效穗差异显著。而在本研究中, 粳稻播种量采用的与籼稻相同 50g/盘, 播种密度低, 导致栽插时基本苗严重不足, 其有效穗高的优势没有得到发挥。因而在四川盆地气候条件下, 粳稻若要进一步提高产量, 则需增加用种量以大幅度提高田间有效穗数。

在所有杂交籼稻品种中, “F 优 498”产量最高, 每穗实粒数最大, 达 174.7 粒, 其余籼稻品种每穗实粒数在 125~150 粒之间, 显著低于 F 优 498。由此可见, 大穗仍是机插籼稻进一步提高产量的途径之一。本研究结果显示, 中粳中熟杂交稻、中粳迟熟杂交稻的有效穗、成穗率均显著低于粳稻, 因此杂交籼稻有效穗数、成穗率的提高对产量的增加将起到关键作用。研究表明, 可通过合理基本苗的确定、栽插质量的提高、适度搁田等方法调控分蘖的发生, 提高成穗率进而提高产量^[40]。对于粳稻而言, 其每穗实粒数、充实率、充实度均显著低于籼稻。钟楚等^[41]认为抽穗开始至齐穗后 10 d 这段时间是决定充实度、充实率和千粒重的关键时期。灌浆结实期高温会加快灌浆速度, 降低结实率和千粒重, 最后导致产量降低^[42]。而在本研究中, 粳稻播期较早, 4 月育秧、8 月抽穗, 结合图 1 不难发现, 粳稻灌浆结实期处于全生育期明显的高温阶段, 因粳稻耐低温但是对高温敏感, 耐热性较弱, 不利于灌浆物质的积累和转运, 进而影响了籽粒的形成和充实。因此, 在四川盆地, 需要进一步调整机插粳稻播栽期以避免灌浆结实期的高温天气, 提高穗粒数和籽粒充实度, 进而提高产量。

参考文献:

- [1] Chen S, Wang D, Xu C, Ji C, Zhang X, Zhao X, Zhang X, Chauhan B S. Responses of super rice (*Oryza sativa* L.) to different planting methods for grain yield and nitrogen-use efficiency in the single cropping season. *Plos One*, 2014, 9(8): e104950.
- [2] 池忠志, 姜心禄, 郑家国. 不同种植方式对水稻产量的影响及其经济效益比较. 作物杂志, 2008(02): 73-75.
Chi Z Z, Jiang X L, Zheng J G. Comparison of yield and economic effect of rice under different planting patterns. *Crops*, 2008, (02): 73-75. (in Chinese with English abstract)
- [3] 姜心禄, 池忠志, 郑家国. 成都平原机插秧推广的难点和对策探讨. 中国稻米, 2012, 18(1): 23-25.
Jiang X L, Chi Z Z, Zheng J G. Difficulties and countermeasures for popularizing transplanting machine in Chengdu Plain. *China Rice*, 2012, 18(1): 23-25. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李大烜. 丘陵山区机插秧技术推广现状与对策. 四川农业与农机, 2016(3): 20-21.
Li D X. The current situation and countermeasures of technology extension of machine transplanting in hilly mountainous regions. *Sichuan Agric Mach*, 2016 (3): 20-21. (in Chinese with English abstract)
- [5] Liu Q, Zhou X, Li J, Xin C. Effects of seedling age and cultivation density on agronomic characteristics and grain yield of mechanically transplanted rice. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 14072.
- [6] 王海月, 蒋明金, 孙永健, 郭长春, 殷尧翥, 何艳, 严田蓉, 杨志远, 徐徽, 马均. 常规氮肥与缓释氮肥配施对不同株距机插杂交稻磷素吸收、转运及分配特征的影响. 作物学报, 2018, 44(1): 115-125.
Wang H Y, Jiang M J, Sun Y J, Guo C C, Yin Y Z, He Y, Yan T R, Yang Z Y, Xu H, Ma J. Effects of conventional urea combined with slow-release urea application on phosphorus uptake, translocation and distribution in mechanically transplanted rice with different plant spacings. *Acta Agron Sin*, 2018, 44(1): 115-125. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨波, 霍晓玲, 吴健英, 杨文婷, 肖启银, 任万军. 耕作和育秧方式对机插水稻群体质量和产量的影响. 杂交水稻, 2017, 32(1): 62-65.
Yang B, Huo X L, Wu J Y, Yang W T, Xiao Q Y, Ren W J. Effects of farming and seedling-raising methods on population growth and grain yield of mechanized transplanting rice. *Hybrid Rice*, 2017, 32(1): 62-65. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王海月, 殷尧翥, 孙永健, 李应洪, 杨志远, 严奉君, 张绍文, 郭长春, 马均. 不同株距和缓释氮肥配施量下机插杂交稻的产量及光合特性. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 843-855.
Wang H Y, Yin Y Z, Sun Y J, Li Y H, Yang Z Y, Yan F J, Zhang S W, Guo C C, Ma J. Yield and photosynthetic characteristics of mechanical-transplanted rice under different slow-release nitrogen fertilizer rates and plant population. *J Plant Nutr Fert*, 2017, 23(4): 843-855. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙加威, 李娜, 王春雨, 张绍文, 蒋明金, 赵建红, 孙永健, 马均. 栽插方式和施钾量对杂交籼稻叶源特征及干物质积累与转运的影响. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2017, 43(2): 117-124.

- Sun J W, Li N, Wang C Y, Zhang S W, Jiang M G, Zhao J H, Sun Y J, Ma J. Effects of transplanting methods and potassium rates on leaf character and dry matter accumulation and translocation of hybrid rice. *J Hunan Agric Univ: Nat Sci*, 2017, 43(2): 117-124. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张军, 王兴龙, 方书亮, 张永进, 刘忠红, 杜乃通. 氮肥运筹对钵苗机插稻产量及形成的影响. *中国稻米*, 2016(2): 39-42.
- Zhang J, Wang X L, Fang S L, Zhang Y J, Liu Z H, Du N T. Effects of nitrogen application on yield and yield formation of pot-seedling mechanical transplanting rice. *China Rice*, 2016(2): 39-42. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李刚华, 刘正辉, 唐设, 丁承强, 王绍华, 凌启鸿, 丁艳锋. 南方水稻机插现状与发展分析. *中国稻米*, 2015, 21(5): 7-12.
- Li G H, Liu Z H, Tang S, Ding C Q, Wang S H, Ling Q H, Ding Y F. Present situation and development analysis of machine transplanting rice in southern China. *China Rice*, 2015, 21(5): 7-12. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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 with English abstract)
- [13] 龚金龙, 邢志鹏, 胡雅杰, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 高辉. 粳、粳超级稻光合物质生产与转运特征的差异. *作物学报*, 2014, 40(3): 497-510.
- Gong J L, Xing Z P, Hu Y J, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y. Difference of characteristics of photosynthesis, matter production and translocation between indica and japonica super rice. *Acta Agron Sin*, 2014, 40(3): 497-510. (in Chinese with English abstract)
- [14] Wei H, Meng T, Li C, Xu K, Huo Z, Wei H, Guo B, Zhang H, Dai Q. Comparisons of grain yield and nutrient accumulation and translocation in high-yielding japonica/indica hybrids, indica hybrids, and japonica conventional varieties. *Field Crop Res*, 2017, 204: 101-109.
- [15] Miah M N H, Yoshida T, Yamamoto Y, Nitta Y. Characteristics of dry matter production and partitioning of dry matter to panicles in high yielding semidwarf indica and japonica-indica hybrid rice varieties. *Jpn J Crop Sci*, 2008, 65(4): 672-685.
- [16] 李木英, 黄程宽, 谭雪明, 石庆华, 潘晓华. 不同机插条件下双季稻不同品种的产量和干物质生产力. *江西农业大学学报*, 2015, 37(1): 1-10.
- Li M Y, Huang C K, Tan X M, Shi Q H, Pan X H. The yield and matter productive capacity of different varieties of double season rice under different conditions of mechanical transplanting. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 2015, 37(1): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [17] Deng N, Ling X, Sun Y, Zhang C, Fahad S. Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system. *Eur J Agron*, 2015(64): 37-46.
- [18] 刘佳, 陈超, 张玉芳, 庞艳梅, 陈东东, 赖江. 四川单季稻抽穗扬花期和灌浆结实期高温热害时空特征. *中国农业气象*, 2018, 39(1): 46-58.
- Liu J, Chen C, Zhang Y F, Pang Y M, Cheng D D, Lai J. Space-time distribution of high temperature disasters on single-cropping rice during heading-flowering stage and filling-harvest stage in Sichuan Province. *Chin J Agrometeorol*, 2018(1): 46-58. (in Chinese with English abstract)
- [19] 赵姣, 郑志芳, 方艳茹, 周顺利, 廖树华, 王璞. 基于动态模拟模型分析冬小麦干物质积累特征对产量的影响. *作物学报*, 2013, 39(2): 300-308.
- Zhao J, Zheng Z F, Fang Y R, Zhou S L, Liao S H, Wang P. Effect of dry matter accumulation characteristics on yield of winter wheat analyzed by dynamic simulation model. *Acta Agron Sin*, 2013(2): 300-308. (in Chinese with English abstract)
- [20] 乔嘉, 朱金城, 赵姣, 郑志芳, 王璞, 廖树华. 基于 Logistic 模型的玉米干物质积累过程对产量影响研究. *中国农业大学学报*, 2011, 16(5): 32-38.
- Qiao J, Zhu J C, Zhao J, Zheng Z F, Wang P, Liao S H. Study on the effect of dry matter accumulation process on maize yield based on Logistic model. *J China Agric Univ*, 2011(5): 32-38. (in Chinese with English abstract)
- [21] 吴雨珊, 龚万灼, 杨文钰, 雍太文, 杨峰, 刘卫国, 武晓玲. 带状套作复光后不同大豆品种干物质积累模型与特征分析. *中国生态农业学报*, 2017, 25(4): 572-580.
- Wu Y S, Gong W Z, Yang W Y, Yong T W, Yang F, Liu W G, Wu X L. Dynamic model and characteristics analysis of dry matter production after light recovery of different soybean varieties in relay strip intercropping systems. *Chin J Eco-Agric*, 2017(4): 572-580. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李晓芸, 孟天瑶, 戴其根. 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. *中国稻米*, 2017, 23(1): 10-16.
- Li X Y, Meng T Y, Dai Q G. Yield formation and morphological and physiological characteristics of medium-maturity type of Yongyou japonica/indica hybrid rice. *China Rice*, 2017(1): 10-16. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李莉, 张锡洲, 李廷轩, 余海英, 戢林. 不同产量类型水稻基因型干物质积累与磷素吸收利用. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(3): 588-597.

- Li L, Zhang X Z, Li T X, Yu H Y, Ji L. Genotype differences in dry matter accumulation and phosphorus absorption and use efficiency in rice. *J Plant Nutr Fert*, 2014(3): 588-597. (in Chinese with English abstract)
- [24] Xiong J, Ding C Q, Wei G B, Ding Y F, Wang S H. Characteristic of dry-matter accumulation and nitrogen-uptake of super-high-yielding early rice in China. *Agron J*, 2013, 105(4): 1142.
- [25] 闫平, 张书利, 于艳敏, 牟凤臣, 武洪涛, 徐振华, 周劲松. 不同水稻品种干物质积累与产量性状的相关研究. *中国农学通报*, 2015, 31(18): 1-6.
- Yan P, Zhang S L, Yu Y M, Mu F C, Wu H T, Xu Z H, Zhou J S. Correlation research on dry matter accumulation and yield characters of different rice varieties. *Chin Agric Sci Bul*, 2015, 31(18): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [26] 田青兰, 刘波, 孙红, 何莎, 任万军. 不同播栽方式下杂交籼稻茎秆生长和穗粒形成特点及与气象因子的关系. *中国水稻科学*, 2016, 30(5): 507-524.
- Tian Q L, Liu B, Sun H, He S, Ren W J. Characteristics of stem growth and formation of grain of indica hybrid rice in different planting methods and their correlation with meteorological factors. *Chin J Rice Sci*, 2016, 30(5): 507-524. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李静. 2 种生态条件下栽培密度对水稻干物质积累与转运的影响. *西南农业学报*, 2016, 29(7): 1559-1565.
- Li J. Effect of planting density on dry matter accumulation and transportation under two different ecological conditions. *Southwest Chin J Agric Sci*, 2016, 29(7): 1559-1565. (in Chinese with English abstract)
- [28] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论. 南方本. 北京: 中国农业出版社, 2011: 25.
- Yang W Y, Tu N M. Crop Cultivation theory. South. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 25.
- [29] Nagata K, Yoshinaga S, Takanashi J, Terao T. Effects of dry matter production, translocation of nonstructural carbohydrates and nitrogen application on grain filling in rice cultivar Takanari, a cultivar bearing a large number of spikelets. *Plant Prod Sci*, 2001, 4(3): 173-183.
- [30] 凌启鸿, 张洪程, 苏祖芳, 凌励. 稻作新理论-水稻叶龄模式. 北京: 科学出版社, 1994: 71-72.
- Ling Q H, Zhang H C, Su Z F, Ling L. New rice theory - rice leaf age model. Beijing: Science Press, 1994: 71-72.
- [31] 缪小建, 王绍华, 李刚华, 丁艳锋. 疏花对杂交水稻灌浆期非结构性碳水化合物运转及稻米品质的影响. *杂交水稻*, 2008, 23(5): 55-59.
- Miao X J, Wang S H, Li G H, Ding Y F. Effects of spikelet removing on non-structural carbohydrate translocation in filling stage and grain quality of hybrid rice. *Hybrid Rice*, 2008, 23(5): 55-59. (in Chinese with English abstract)
- [32] 陈丽楠, 彭显龙, 刘元英, 李宗云, 张明聪, 李佳. 养分管理对寒地水稻干物质积累及运转的影响. *东北农业大学学报*, 2010, 41(5): 52-56.
- Chen L N, Peng X L, Liu Y Y, Li Z Y, Zhang M C, Li J. Effect of nutrient management on dry matter accumulation and translocation of rice in cold area. *J Northeast Agric Univ*, 2010, 41(5): 52-56. (in Chinese with English abstract)
- [33] 陈波, 李军, 花劲, 霍中洋, 张洪程, 程飞虎, 黄大山, 陈忠平, 陈恒, 郭保卫, 周年兵, 舒鹏. 双季晚稻不同类型品种产量与主要品质性状的差异. *作物学报*, 2017, 43(8): 1216-1225.
- Chen B, Li J, Hua J, Huo Z Y, Zhang H C, Cheng F H, Huang D S, Chen Z P, Chen H, Guo B W, Zhou N B, Shu P. Differences of yield and major quality characters between four late double-harvest rice varieties. *Acta Agron Sin*, 2017, 43(8): 1216-1225. (in Chinese with English abstract)
- [34] 李旭毅, 付明全, 池忠志, 姜心禄, 郑家国. 成都平原栽培方式对不同类型水稻生长发育及产量形成的影响. *中国农学通报*, 2018, 34(6): 1-7.
- Li X Y, Fu M Q, Chi Z Z, Jiang X L, Zheng J G. Cultivation methods in Chengdu Basin: effect on growth and development and yield formation of different rice types. *Chin Agric Sci Bul*, 2018, 34(6): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [35] 胡雅杰, 钱海军, 曹伟伟, 邢志鹏, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫. 机插方式和密度对不同类型水稻品种产量及其构成的影响. *中国水稻科学*, 2016, 30(5): 493-506.
- Hu Y J, Qian H J, Zeng W W, Xing Z P, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Guo B W. Effect of different mechanical transplant methods and density on yield and its components of different panicle-typed rice. *Chin J Rice Sci*, 2016, 30(5): 493-506. (in Chinese with English abstract)
- [36] 胡雅杰, 张洪程, 龚金龙, 龙厚元, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 李德剑, 沙安勤, 周有炎, 罗学超, 刘国林, 赵德亮. 不同栽培方式对水稻产量和物质生产特征影响. *中国稻米*, 2012, 18(5): 15-19.
- Hu Y J, Zhang H C, Gong J L, Long H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Li D J, Sha A Q, Zhou Y Y, Luo X C, Liu G L, Zhao D L. Effects of different cultivation methods on yield and material production characteristics of rice. *China Rice*, 2012, 18(5): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- [37] 姜元华, 张洪程, 赵可, 许俊伟, 韦还和, 龙厚元, 王文婷, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫. 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(6): 621-631.
- Jiang Y H, Zhang H C, Zhao K, Xu J W, Wei H H, Long H Y, Wang W T, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Guo B W. 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(6): 621-631. (in Chinese with English abstract)
- [38] 方书亮, 张军, 李必忠, 刘忠红, 张永进, 庾跃东, 杜芳通. 不同播种量对机插粳稻秧苗素质及大田栽插效果的影响. 中国稻米, 2016, 22(3): 81-84.
Fang S L, Zhang J, Li B Z, Liu Z H, Zhang Y J, Yu Y D, Du N T. Effects of different sowing rate on seedling quality and effectiveness of mechanized transplanting rice. *China Rice*, 2016, 22(3): 81-84. (in Chinese with English abstract)
- [39] 李刚华, 于林惠, 侯朋福, 王绍华, 刘正辉, 王强盛, 凌启鸿, 丁艳锋. 机插水稻适宜基本苗定量参数的获取与验证. 农业工程学报, 2012, 28(8): 98-104.
Li G H, YU L H, Hou P F, Wang S H, Llu Z H, Wang Q S, Ling Q H, Ding Y F. Calculation and verification of quantitative parameters of optimal planting density of machine-transplant rice. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2012, 28(8): 98-104. (in Chinese with English abstract)
- [40] 雷小龙, 刘利, 刘波, 黄光忠, 马荣朝, 任万军. 杂交籼稻机械化种植的分蘖特性. 作物学报, 2014, 40(6): 1044-1055.
Lei X L, Liu L, Liu B, Huang G Z, Ma R C, Ren W J. Tillering characteristics of indica hybrid rice under mechanized planting. *Acta Agron Sin*, 2014, 40(6): 1044-1055. (in Chinese with English abstract)
- [41] 钟楚, 朱颖墨, 朱勇, 朱斌, 张茂松, 徐梦莹. 云南不同类型一季稻产量形成及其与气象因子的关系. 应用生态学报, 2013, 23(10): 2831-2842.
Zhong C, Zhu Y M, Zhu Y, Zhu B, Zhang M S, Xu M Y. Yield formation of different single-season rice (*Oryza sativa* L.) types and its relationships with meteorological factors in Yunnan Province of Southwest China. *Chin J Appl Ecol*, 2013, 23(10): 2831-2842. (in Chinese with English abstract)
- [42] 方玲, 宋世枝, 段斌, 何世界, 童俊丽. 豫南粳稻播期调整后抽穗灌浆期间温度变化及对产量和品质的影响. 中国农学通报, 2006, 22(4): 218-220.
Fang L, Song S Z, Duan B, He S J, Tong J L. Effect of the change of temperature in filling stage on grain yield and rice quality after adjusting seeding time of japonica hybrid rice in south Henan. *Chin Agric Sci Bul*, 2006, 22(4): 218-220. (in Chinese with English abstract)