

稻油轮作机插秧水稻群体特征及 产量形成机制研究^①

方立魁^{1,2}, 隗 冥¹, 丛云飞³, 李 杰², 何光华¹

1. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401120;
3. 重庆市农业广播电视学校, 重庆 401120

摘要: 为阐明稻油轮作机插秧水稻产量构成特征和群体动态特征以及产量形成机制, 2014 年选用 5 个不同生育期水稻品种为材料, 以冬闲稻田机插秧水稻群体(早播)为对照, 对稻油轮作模式下机插秧水稻(晚播)产量及其产量构成、群体茎蘖动态、叶面积指数和干物质积累等特征进行了分析. 结果表明, 晚播机插秧水稻产量显著下降, 但下降程度不等, 生育期越长的品种下降幅度越大. 晚播机插秧水稻穗粒数显著下降, 有效穗、千粒质量变化差异无统计学意义. 晚播处理叶面积指数、群体干质量等指标, 拔节期较早播处理呈下降趋势, 有效分蘖临界期、抽穗期表现因品种而异. 抽穗期株型特征和源库特征研究表明, 晚播处理株型更紧凑、比叶质量更高. 晚播中熟品种叶面积指数、群体干质量和粒叶比更符合高产群体特征.

关键词: 水稻; 稻油轮作; 产量构成特征; 群体动态特征

中图分类号: S511

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)10-0033-07

多熟种植是指 1 年内在同一块土地上种植两种或几种农作物, 是作物种植在时间与空间上的集约化, 其中以水稻为核心的稻油复种种植模式在重庆、四川等西南地区具有广泛的代表性^[1]. 稻油水旱复种能减少病虫害发生, 有利于保护和提高土壤肥力, 提高耕地利用效率^[2]. 水稻和油菜都是重庆的主要农作物, 但受气候的制约, 重庆油菜收获普遍在 5 月, 而水稻插秧则在 4 月, 其间存在 15~20 d 的交叉期, 使稻油轮作在茬口衔接上存在难度. 传统上, 稻油复种轮作模式多采用培育水稻大龄壮秧, 人工栽插的方式解决茬口矛盾. 近年来, 受劳动力成本高、机械化程度低、良种良法不配套等因素制约, 传统的稻油复种模式生产效益逐年走低, 因此迫切需要以现代机械化生产技术对这种传统模式进行技术升级. 针对重庆稻油复种轮作模式下水稻机插秧的茬口问题, 高升等^[3]人对不同秧龄水稻移栽后发育情况进行了系统研究, 结果表明移栽时秧龄越小, 播种至抽穗的天数愈短, 主茎总叶数愈少, 所以在重庆市积温不充足的高海拔地区, 两熟制迟茬口采取短秧龄迟播迟栽(如机插秧)方式, 需特别防止孕穗期和抽穗开花期的低温危害; 而在重庆市沿江河谷、浅丘平坝的高温伏旱区, 需防止高温对杂交水稻抽穗开花的高温危害. 本研究选择在重庆推广的早、中、晚熟水稻品种为试验材料, 以冬闲田机插水稻为对照, 阐明不同熟期杂交稻品种稻油复种轮作模式下机插群体动态特征与产量形成机制, 以为稻油轮作模式水稻全程机械化栽培技术优化提供理论依据.

① 收稿日期: 2017-09-20

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303129).

作者简介: 方立魁(1982-), 男, 高级农艺师, 博士, 主要从事水稻栽培技术的研究.

通信作者: 何光华, 教授, 博士研究生导师.

1 材料与方法

1.1 试验地点

南川区大观镇铁桥村 3 组, 该镇是重庆重要的优质稻产区 and 传统稻油模式推广区^[4]. 试验地海拔高度为 720 m, 地理位置为东经 107°01', 北纬 29°15', 土质为沙溪庙组的沙壤土、土壤地力均匀、肥力中等.

1.2 试验材料

2015 年选用 5 个适宜长江中上游推广应用且具有不同生育期特征的籼型杂交中稻品种, 品种名称及特征如下:

准两优 527: 该组合属中籼中迟熟杂交水稻, 全生育期 157.2 d 左右, 比对照汕优 63 长 1.7 d. 穗长 25.10 cm, 穗平着粒数 156.20 粒, 穗平实粒数 135.20 粒, 结实率 65.30%~93.90%, 千粒质量 29.90 g.

深两优 5814: 该组合属中籼迟熟两系杂交水稻, 海拔 400 m 以上平均生育期 162.5 d, 比对照 II 优 838 长 1.2 d. 穗平着粒数 176.1 粒, 结实率 87.08%, 千粒质量 26.33 g.

天优华占: 全生育期平均 152.9 d, 比对照 II 优 838 短 4.9 d. 穗长 22.7 cm, 每穗总粒数 177.8 粒, 结实率 81.7%, 千粒质量 25.4 g.

宜香优 2115: 全生育期平均 156.7 d, 比对照 II 优 838 短 1.5 d. 穗长 26.8 cm, 每穗总粒数 156.5 粒, 结实率 82.2%, 千粒质量 32.9 g.

川优 8377: 全生育期平均 156.9 d, 比对照 II 优 838 短 1.8 d. 穗长 25.2 cm, 每穗总粒数 172.4 粒, 结实率 74.8%, 千粒质量 28.0 g.

1.3 试验设计

根据冬闲田和稻油复种轮作茬口特征设 4 月 5 日和 5 月 5 日两个播期(以下称早播和晚播处理), 用软盘育秧, 早播处理 5 月 12 日机插, 晚播处理 5 月 29 日机插, 每 666.7 m² 植 1.1 万穴, 基本苗 2~3 万, 随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 12 m², 施肥等管理同常规.

1.4 测定内容与方法

1.4.1 茎蘖动态

机插后各小区定点 10 穴作为观察点, 每隔 5 d 调查记载 1 次茎蘖动态. 干物质和叶面积分别于有效分蘖临界叶龄期、拔节期、抽穗期和成熟期, 按小区茎蘖数的平均数取代表性植株 3 穴, 105 °C 下杀青 30 min, 80 °C 下烘干至恒质量, 测定各器官干物质量, 并采用比重法测定叶面积.

1.4.2 株型

于抽穗期选取不同处理群体生长一致的 10 穴, 选定主茎, 测定剑叶、倒 2 叶、倒 3 叶的长、宽、叶基角(叶片基部与茎秆的夹角)、叶开角(叶尖与叶枕连成的直线与茎秆之间的夹角)、披垂度(叶开角与叶基角的差值).

1.4.3 计产

成熟期采用五点法, 每小区普查 10 穴, 计算有效穗数, 并根据平均成穗数取 5 穴调查每穗粒数、结实率, 测定千粒质量, 计算理论产量, 并实收核产.

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2013 进行数据的录入和计算, 运用 SPSS 软件进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 产量及构成特征分析

如表 1, 5 个品种早播处理实际产量显著或极显著高于晚播处理, 其中早熟型品种增产 17.6%, 迟熟品种平均增产 45%, 中熟品种增产 41.4%. 从产量构成因素分析, 处理间单位面积有效穗差异无统计学意义. 穗粒数、结实率和群体颖花量早播处理显著或极显著高于晚播处理. 早熟品种早播处理群体颖花量较晚播

处理增加 40.3%, 晚熟品种增加 39.8%, 中熟品种增加 28.1%。穗粒数早播处理较晚播处理平均增加 23.4%, 早熟品种增加 35.2%, 晚熟品种增加 26.1%, 中熟品种增加 14.7%。播期对结实率的影响相对较小, 早播处理较晚播处理平均增加 4.7%, 说明早播处理水稻高产主要由于群体颖花量较高, 表现为“穗型大, 粒数多”。

表 1 不同移栽期水稻产量及其构成因素

品种	播期	有效穗/ (万穗·hm ⁻²)	穗粒数/ 粒	群体颖花量/ (万·hm ⁻²)	千粒质量/ g	结实率/ %	理论产量/ (kg·hm ⁻²)	实际产量/ (kg·hm ⁻²)
天优华占	晚播	316.5Aa	132.05a	4.18E+08A	23.19	64A	6 173.49A	6 260.48A
	早播	328.5Aa	178.59b	5.87E+08B	24.28	73B	10 351.21B	7 363.46B
深两优 5814	晚播	273.75Aa	148.50a	4.07E+08A	22.12	74A	6 652.30A	6 378.37A
	早播	338.25Aa	177.50b	6.00E+08B	22.94	78A	10 758.77B	9 588.96B
准两优 527	晚播	231.75Aa	149.85a	3.47E+08A	26.97	71A	6 672.04A	6 463.74A
	早播	247.00Aa	199.03b	4.59E+08B	27.90	77B	9 811.37B	9 028.91B
宜香优 2115	晚播	251.25Aa	135.45a	3.40E+08A	31.65	70A	7 583.68A	6 219.82A
	早播	284.25Aa	179.57b	5.10E+08B	30.79	81B	12 640.27B	8 508.56B
川优 8377	晚播	269.25Aa	183.40a	4.94E+08A	26.03	66A	8 541.45A	6 744.24A
	早播	275.25Aa	190.86b	5.25E+08B	28.02	78B	11 519.11B	9 850.03B

注: 大、小写字母分别表示在 1% 和 5% 水平下差异有统计学意义。

2.2 不同播期水稻群体特征

2.2.1 群体茎蘖动态特征

如表 2, 不同品种不同播期水稻群体茎蘖动态存在明显差异。中早熟品种有效分蘖临界期, 处理间差异较小, 天优华占、川优 8377 茎蘖数晚播处理略高于早播处理; 中晚熟品种早播处理茎蘖数大于晚播处理, 其中深两优 5814 早播处理茎蘖数较晚播处理多 19.3%。拔节期 5 个品种均表现早播处理茎蘖数大于晚播处理的趋势, 其中深两优 5814 早播处理茎蘖数较晚播处理多 18%。茎蘖动态品种间差异较大, 晚熟品种深两优 5814 表现出分蘖能力强、高峰苗量大、无效分蘖多、茎蘖消减较快的特征, 而中早熟天优华占、川优 8377 品种具有更高的分蘖成穗率。

2.2.2 群体叶面积动态及群体干物质量特征

如表 3, 5 个品种中除宜香优 2115 外, 其余品种有效分蘖临界期叶面积指数均表现为晚播处理高于早播处理。拔节期表现出早播处理高于晚播处理的趋势; 抽穗期迟熟品种叶面积指数早播处理小于晚播处理, 中早熟品种早播处理大于晚播处理, 但是差异无统计学意义。群体干物质量具有与叶面积指数相同的特征, 如表 4。

表 2 不同移栽期水稻群体茎蘖动态的影响

/(万茎·hm⁻²)

		有效分蘖临界期	拔节期	抽穗期	成熟期	成穗率/%
天优华占	晚播	268.50	363.00	326.50	316.50	87
	早播	258.00	401.50	333.00	328.50	82
深两优 5814	晚播	266.50	442.00	366.00	273.75	62
	早播	318.00	522.00	350.00	338.25	65
准两优 527	晚播	234.00	310.00	242.50	231.75	75
	早播	239.50	362.50	230.00	247.00	68
宜香优 2115	晚播	218.50	331.50	279.00	251.25	76
	早播	269.50	337.50	266.50	284.25	84
川优 8377	晚播	258.00	332.50	288.50	269.25	81
	早播	251.00	334.00	270.50	275.25	82

表 3 不同移栽期水稻群体叶面积指数动态

品种	播期	有效分蘖临界期	拔节期	抽穗期
天优华占	晚播	2.25	6.88	6.24
	早播	1.70	7.71	7.50
深两优 5814	晚播	1.86	5.90	7.29
	早播	1.17	7.84	6.73
准两优 527	晚播	2.20	7.15	6.50
	早播	1.54	6.19	4.67
宜香优 2115	晚播	1.87	6.47	6.10
	早播	2.04	7.67	6.39
川优 8377	晚播	2.53	5.89	6.10
	早播	1.63	8.11	7.15

表 4 不同移栽期水稻主要生育期单株干物质量

/g

品种	播期	有效分蘖临界期	拔节期	抽穗期
天优华占	晚播	10.48	52.59	83.59
	早播	9.53	49.88	84.33
深两优 5814	晚播	8.17	47.43	96.16
	早播	7.93	49.83	89.27
准两优 527	晚播	10.34	61.05	94.70
	早播	9.70	44.41	98.42
宜香优 1108	晚播	8.68	54.32	86.57
	早播	12.23	47.48	94.33
川优 8377	晚播	11.51	48.96	83.99
	早播	10.29	57.30	94.27

2.3 不同播期水稻产量形成机制

2.3.1 栽后地上和地下部分干物质积累

如表 5, 对不同播期水稻有效分蘖临界期、拔节期、抽穗期, 地上、地下干物质积累的分析表明, 在有效分蘖临界期, 晚播处理地上干质量大于早播处理, 而地下干质量则小于早播处理, 说明晚播处理移栽后适宜的光温条件有利于水稻叶的生长. 拔节期、抽穗期早播处理地上干质量与晚播处理差异无统计学意义, 但是总体上有大于晚播处理的趋势. 晚播品种处理间在有效分蘖临界期、拔节期差异无统计学意义, 至抽穗期则表现为迟熟品种地上干物质积累高于早、中熟品种, 反映出迟熟品种在抽穗前干物质的积累优势.

2.3.2 抽穗期不同播期群体特征

如表 6, 抽穗期除中熟品种川优 8377 外, 其余早、中、迟熟品种颖花、实粒均为早播处理大于晚播处理. 粒质量早熟品种早播处理与晚播处理相当, 中熟品种、迟熟品种早播较晚播分别增 26%, 78.3%. 粒质量比晚播处理品种间由大到小表现为迟熟、中熟、早熟.

2.3.3 抽穗期不同播期株型特征

如表 7, 对抽穗期各品种的株型特征分析表明, 除深两优 5814 外, 其余品种剑叶披垂度早播处理大于晚播处理. 倒 2 叶早、中熟品种披垂度早播大于晚播处理, 迟熟品种差异无统计学意义; 倒 3 叶所有品种均为早播处理大于晚播处理. 品种间早、中熟品种上 3 叶披垂度大于迟熟品种, 特别是倒 2 叶. 对早、晚播处理比叶质量表现出晚播处理大于早播处理的趋势, 品种间差异无统计学意义. 株高则呈现早播处理大于晚播处理的趋势.

表 5 不同播期水稻移栽后单株地上部分和地下部分干物质积累

/g

品 种	播期	有效分蘖临界期		拔 节 期		抽 穗 期	
		地下	地上	地下	地上	地下	地上
天优华占	晚播	1.23	9.24	4.33	48.25	4.93	78.65
	早播	2.27	4.10	4.32	43.71	4.03	80.30
深两优 5814	晚播	0.95	7.22	6.74	40.69	5.18	90.98
	早播	1.45	3.52	5.86	45.97	5.27	84.01
准两优 527	晚播	1.48	8.86	6.29	54.77	4.54	90.16
	早播	1.69	4.53	5.37	39.38	7.57	90.85
宜香优 2115	晚播	1.15	7.53	6.20	48.12	4.37	82.20
	早播	2.06	5.12	6.23	39.62	7.81	86.52
川优 8377	晚播	1.61	9.90	3.81	45.15	3.67	80.32
	早播	1.92	4.19	5.48	50.02	4.14	90.14

表 6 不同移栽期水稻抽穗期叶面积 (cm²) 组成与粒叶比

品 种	播期	颖花/朵	实粒/粒	粒质量/g
天优华占	晚播	0.64	0.41	9.59
	早播	0.76	0.55	9.33
深两优 5814	晚播	0.61	0.45	9.54
	早播	0.99	0.77	15.91
准两优 527	晚播	0.53	0.38	9.90
	早播	0.92	0.71	18.81
宜香优 1108	晚播	0.55	0.39	10.03
	早播	0.76	0.61	12.59
川优 8377	晚播	0.85	0.57	11.65
	早播	0.73	0.57	14.73

表 7 不同移栽期水稻抽穗期株型特征

株型指标	天优华占		深两优 5814		准两优 527		宜香优 2115		川优 8377		
	早播	晚播	早播	晚播	早播	晚播	早播	晚播	早播	晚播	
剑叶	叶基角/°	2.67	5.67	1.33	4.67	2.00	5.33	1.33	5.33	4.33	6.67
	叶开角/°	7.33	6.00	3.67	7.67	4.00	5.67	4.00	5.33	6.67	6.67
	披垂度/°	4.67	0.33	2.33	3.00	2.00	0.33	2.67	0.00	2.33	0.00
倒 2 叶	叶基角/°	12.33	10.33	6.33	6.33	8.00	8.33	6.33	8.67	8.00	9.67
	叶开角/°	26.00	15.00	9.67	10.33	11.33	11.33	29.00	12.67	15.67	14.00
	披垂度/°	13.67	4.67	3.33	4.00	3.33	3.00	22.67	4.00	7.67	4.33
倒 3 叶	叶基角/°	12.67	12.67	12.33	8.33	10.67	10.33	12.33	10.67	12.67	12.33
	叶开角/°	22.00	19.67	22.67	12.00	18.00	13.33	26.67	15.67	28.33	18.67
	披垂度/°	9.33	7.00	10.33	3.67	7.33	3.00	14.33	5.00	15.67	6.33
比叶质量/g	5.38	5.56	5.38	5.97	5.41	5.80	5.10	5.59	5.09	5.91	
株高/cm	107.30	105.30	116.00	106.70	124.00	111.00	130.30	112.70	132.00	123.70	

3 讨论与结论

在不同耕作制度、品种、栽培措施下协调产量构成因素提高水稻产量是栽培技术研究的重点,其中通过研究水稻播期对水稻产量及构成因素的影响,确定合理播期,对于充分利用当地的气候资源,确保水稻的稳产高产具有指导作用.朱练峰等^[5]研究表明播栽期对水稻有效穗、结实率和千粒质量影响显著,而对每穗粒数影响不明显.朱红霞等^[6]通过分期播种,研究了不同播期对水稻生长和产量的影响,播期对水稻单株穗数、每穗粒数、结实率、千粒质量均有影响.许柯等^[7]研究表明播期对 5 种类型水稻产量构成因素的影响,按变化系数大小可分为两类,变化较小的 1 类为千粒质量和穗数,平均变异系数分别为 1.2%,1.9%;变化较大的一类为结实率和每穗颖花数,平均变异系数分别为 2.9%,2.3%.前人研究限于试验地气候、试验品种等对产量影响结果不同,但是播期对产量的影响结果基本一致,即随着播期推迟产量降低.在重庆市稻油轮作复种模式下,水稻机插秧育秧的播期,最晚需要比冬闲田机插秧晚 1 个月,对产量构成的影响最显著的表现是穗粒数和群体颖花量显著下降,对有效穗的影响甚微,这与许柯等人的研究结果基本一致^[7-8].另外,早播处理的颖花/叶、实粒/叶和粒质量/叶都比晚播处理的略高,表明植株所负载库容量大、单位叶面积负载库容量大于晚播处理,早播处理植株抽穗前灌浆物质多和抽穗后的光合生产力强,植株的源强、库大和流畅.中早熟品种川优 8377 晚播处理颖花/叶、实粒/叶和粒质量/叶等指标优于其他品种显示出较好的源库特征.因此选用生育期适宜的大穗型品种,在确保足够穗数的基础上增加籽粒数,在可能的情况下争取早播以提高结实率,从而达到高产的效果.在栽培措施上,在施适量分蘖肥的基础上增施穗粒肥,促进粒数的形成.

水稻高产群体抽穗前后必须有一个适宜的叶面积指数,而抽穗期适宜的叶面积要通过生育前期合理的叶面积动态来实现^[9].水稻群体叶面积指数的演化是与群体茎蘖消长动态相伴而行的,本研究晚播处理有效分蘖临界期较高的叶面积指数得益于叶生长速度和叶片大小,而拔节期、抽穗期较小的叶面积指数则与茎蘖数的多少相关.所有参试品种早播处理均在拔节期达到最大叶面积指数,只有迟熟品种深两优 5814 和中早熟品种川优 8377 晚播处理、叶面积指数动态符合高产群体特征^[9].王卫等^[10]对阴雨寡照地区高产水稻的生物学特征研究表明,产量与最大叶面积指数呈极显著正相关,建议在阴雨寡照地区选择耐密品种.抽穗期多数品种上 3 叶披垂度晚播小于早播,表明晚播水稻抽穗期株型更紧凑的特征,因此在重庆地区稻油轮作机插水稻可以同时通过增加基本苗、提高茎蘖数而达到增穗增产.

参考文献:

- [1] 官春云,黄 璜,黄国勤,等.中国南方稻田多熟种植存在的问题及对策 [J].作物杂志,2016(2):1-7.
- [2] 杜兴彬,罗利军,陈 晨,等.稻-油轮作连续免耕直播对作物产量及土壤理化性状的影响 [J].中国水稻科学,2013,27(6):617-623.
- [3] 高 升,钟万顺,隗 溟,等.水稻不同秧龄和气温对生育初期生育的影响研究 [J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(11):23-29.
- [4] 张 风,姚 雄.重庆市倒置低山区优质水稻栽培技术及推广建议 [J].农业科技通讯,2014(12):164-166.
- [5] 朱练峰,禹盛苗,欧阳由男,等.播栽期对水稻生长和产量及产量构成因素的影响 [J].中国稻米,2009(3):13-17.
- [6] 朱红霞,杨沈斌,吴鹏飞,等.播期对不同类型水稻生长及产量构成因素的影响 [J].南京信息工程大学学报,2014(3):240-243.
- [7] 许 轲,孙 圳,霍中洋,等.播期、品种类型对水稻产量、生育期及温光利用的影响 [J].中国农业科学,2013,46(20):4222-4233.
- [8] 孙建军,张洪程,王生轩,等.播期对不同品种类型机插稻生长特性的影响 [J].农业工程学报,2015,31(21):76-86.

- [9] 张林青, 苏祖芳, 张亚洁, 等. 水稻拔节期群体茎蘖结构与叶面积指数及产量关系的研究 [J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(1): 55—58.
- [10] 王 卫, 谢小立, 陈安磊. 阴雨寡照地区高产水稻的生物学特征研究 [J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 52—57.

Study on the Population Characteristics and Yield Formation Mechanisms of Mechanically Transplanted Rice in a Rice/Rapeseed Rotation System

FANG Li-kui^{1,2}, WEI Ming¹, CONG Yun-fei³,
LI Jie², HE Guang-hua¹

1. School of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Chongqing Municipal Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401120, China;
3. Chongqing Agricultural Broadcast and TV School, Chongqing 401120, China

Abstract: A field experiment was conducted in 2014 with 5 rice varieties differing in growth duration to study the characteristics of yield formation and population dynamics and mechanisms of yield formation in mechanically transplanted indica rice. With winter fallow field of mechanically transplanted rice (early seeding) as the control (CK), the yield and yield-forming factors, number of population stem and tiller, leaf area index (LAI) and dry matter accumulation of the mechanically transplanted rice in a rice/rapeseed rotation system (late seeding) were investigated, and yielding formation mechanisms were also explored in respect of matter accumulation after transplanting and plant type at heading stage. With delay of seeding date, the grain yield of the five rice varieties all decreased significantly, but the yield decreasing range of different varieties varied: late-maturing medium rice varieties > medium-maturing medium rice varieties > early-maturing rice varieties. Different seeding dates had a significant influence on number of spikelets, but non-significant influence on 1000-grain weight and seed-bearing panicle number. Leaf area index and dry matter accumulation in ES were higher at the elongating stage but showed different results at the critical stage for effective tillers and after the booting stage. At the heading stage, LS had a more compact plant-type and higher specific leaf weight. Especially medium-maturing rice varieties in LS showed better leaf area index and dry matter accumulation dynamic characteristics and greater grain-leaf ratio to form high yield.

Key words: paddy rice; rice/rapeseed rotation; yield formation characteristics; population dynamic characteristics