

# 不同播期对直播早稻干物质积累的影响

段里成<sup>1,3</sup> 郭瑞鸽<sup>1</sup> 张坤<sup>1</sup> 章起明<sup>2</sup> 刘丹<sup>3</sup>  
杨爱萍<sup>1</sup> 桂保玉<sup>1</sup> 金国花<sup>1</sup> 蔡哲<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>江西省农业气象中心, 330096, 江西南昌; <sup>2</sup>宜春市气象局, 336000, 江西宜春; <sup>3</sup>江西省气象科学研究所, 330045, 江西南昌)

**摘要** 为明确播期对直播早稻个体和群体干物质积累的影响。以常规籼稻中早 35 和中早 39 为材料, 利用大田分期播种试验, 分析不同播期直播早稻干物质积累及转运的差异。结果表明, 随播期推迟, 全生育期积温逐渐减少, 抽穗后积温逐渐增加。成苗率随分蘖前日平均温度升高而增加, 成苗率与单株干物质积累量呈系数为 0.83 以上的极显著负相关关系, 与单位面积干物质积累量呈系数为 0.72 以上的显著正相关关系。随播期推迟, 茎叶干物质向子粒输出转化逐渐减少, 单株和单位面积茎叶干物质输出转化与抽穗后积温呈负相关关系, 单株抽穗后光合产物积累量随积温增加而减少, 单位面积抽穗后光合产物积累量随积温增加而增加。在水稻直播生产过程中, 提前播种, 保证一定基本苗, 协调好个体和群体干物质积累和转化, 能获得较高产量。

**关键词** 早稻; 播期; 积温; 干物质

江西作为我国重要的双季稻产区, 双季稻种植面积占水稻总种植面积的 89% 左右, 占全国双季稻种植面积的 1/4, 且呈逐年增大的趋势, 江西的水稻产量对保障国家粮食安全意义重大<sup>[1]</sup>。直播稻作为一种较为原始的种植技术, 技术简单, 劳动强度轻, 生产成本低, 加上除草剂施用水平提高, 机械化程度增加, 直播稻在江西种植面积不断增加<sup>[2]</sup>。播期作为影响直播稻产量的关键因素之一, 选择适宜播期是直播稻高产的关键<sup>[3]</sup>。播种期主要影响温光利用<sup>[4]</sup>、生育期<sup>[5]</sup>和干物质积累量<sup>[6-7]</sup>等, 最终表现为产量变化。水稻产量一小部分来自茎鞘储存转运, 另一大部分为抽穗后叶片光合作用积累的干物质<sup>[8-9]</sup>, 茎叶储存转运的干物质与个体生长状况有密切关系, 受播期的影响, 不同播期内个体与群体之间存在显著差异, 个体对产量的贡献差异明显<sup>[10]</sup>。因此, 在水稻直播生产中, 调整播期, 获得适宜成苗率, 协调好个体与群体之间的关系, 对保证水稻产量尤为重要。本试验以此为切入点, 研究直播早稻不同播期对水稻个体和群体干物质积累

的影响, 以期对直播早稻生产选择适宜播期提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2017 年在江西省南昌县泾口乡 (116° 12' 6" E, 28° 38' 57" N) 进行, 供试品种为中早 35 和中早 39, 均属中熟籼型常规品种, 适宜在长江中下游作双季早稻种植。试验土壤为沙壤土, 耕层深度为 0~20cm。土壤全氮 1.85g/kg; 速效氮 129.40mg/kg; 有机质 29.82g/kg; 速效磷 25.54mg/kg; 速效钾 139.56 mg/kg; pH 5.73。

试验采用裂区设计, 设置 9 个播期, 分别为 3 月 6 日 (B1)、3 月 11 日 (B2)、3 月 16 日 (B3)、3 月 21 日 (B4)、3 月 26 日 (B5)、3 月 31 日 (B6)、4 月 5 日 (B7)、4 月 10 日 (B8) 和 4 月 15 日 (B9), 播种量为 60kg/hm<sup>2</sup>, 水稻种子催芽至芽长为谷粒长的一半时采用撒播的方式进行水直播。每个播期设置 3 个重复, 每个重复小区面积 15m<sup>2</sup> (3m×5m)。氮肥施用量为 120kg/hm<sup>2</sup>, 按基肥: 分蘖肥: 穗肥 = 5: 3: 2 施用; 钾肥施用量为 120kg/hm<sup>2</sup>, 按基肥: 穗肥 = 7: 3 施用; 磷肥施用量为 150kg/hm<sup>2</sup>, 全部作基肥施用。

不同处理间做田埂隔开, 防止窜水窜肥, 田埂用薄膜覆盖, 防止杂草生长。直播播种后, 在秧苗达到两叶时进行杂草防治。试验田块在分蘖期保持

作者简介: 段里成, 助理工程师, 主要从事作物高产栽培和农业气象灾害研究

蔡哲为通信作者, 高级工程师, 主要从事农业气象灾害研究

基金项目: 江西省重点研发计划项目 (20171ACF60018); 江西省气象局重点项目 (早春气候资源在水稻生产中的利用技术研究); 江西省气象科技项目 2018 年重点项目 (特色农产品气候品质评价技术研究); 南昌市农业气象重点实验室开放研究基金 (2018NNZS102; 2018 NNZS103)

收稿日期: 2019-04-15; 修回日期: 2019-07-22

浅层水, 以促进分蘖生长; 达到基本苗时, 严格进行水分管理, 以控制无效分蘖; 成熟时田块采取干湿交替灌溉, 以发挥产量潜力。病虫害于分蘖盛期和破口期集中防治, 其余时段根据病虫害发生情况及时防治。

试验期间的气象数据来源于试验田中央的农田小气候观测站, 气象要素包括气温、降水、日照等。

### 1.2 测定指标

成苗率 (C) 测定: 水稻播种后, 根据播种量、播种面积及千粒重, 确定单位面积水稻种子数量, 据此, 在播种较均匀的部分, 选择 400cm<sup>2</sup> (20cm×20cm) 面积, 测定该面积内播种量 (M), 在水稻分蘖期再次测定该面积内的水稻苗数作为成苗数 (N), 成苗率 C=N/M×100%。

干物质测定: 分别在抽穗期和成熟期对各品种每个播期处理取 3 蔸植株, 同时将茎 (包括茎和叶鞘)、叶和穗分开, 分别用牛皮纸袋进行包装, 置于 70℃ 烘箱内烘干至恒重, 设 3 个重复。

### 1.3 指标计算

将水稻茎、叶灌浆期 (抽穗 - 成熟) 对穗干物质的贡献通过干物质输出率 (dry matter export rate, DMER) 和转化率 (dry matter transformation rate,

DMTR) 来描述, 计算方法如下:

$$DMER = (DM_{max} - DM_{min}) / DM_{max} \times 100\%$$

$$DMTR = (DM_{max} - DM_{min}) / P \times 100\%$$

式中, DMER 为干物质输出率 (%), DMTR 为干物质转化率 (%); DM<sub>max</sub> 和 DM<sub>min</sub> 分别表示抽穗期 (80% 抽穗) 和成熟期水稻茎 (叶) 的干物质重; P 为成熟期穗干重。

全生育期和灌浆期积温计算方法如下:

全生育期积温等于从播种至成熟收割时 ≥ 10℃ 的温度总和;

灌浆期积温等于从抽穗 (80% 抽穗) 至成熟收获时 ≥ 10℃ 的温度总和。

### 1.4 数据分析

通过 DPS 7.0 进行相关性分析, 通过 Microsoft office 2010 进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 全生育期气温变化

由图 1 可知, 平均气温随日期推进总体呈增加的趋势, 4 月 9-11 日虽出现了降温天气, 但持续时间较短, 因此对水稻幼苗生长影响不大; 进入 5 月以后, 平均气温维持在 20℃ 以上, 未出现 “小满寒”

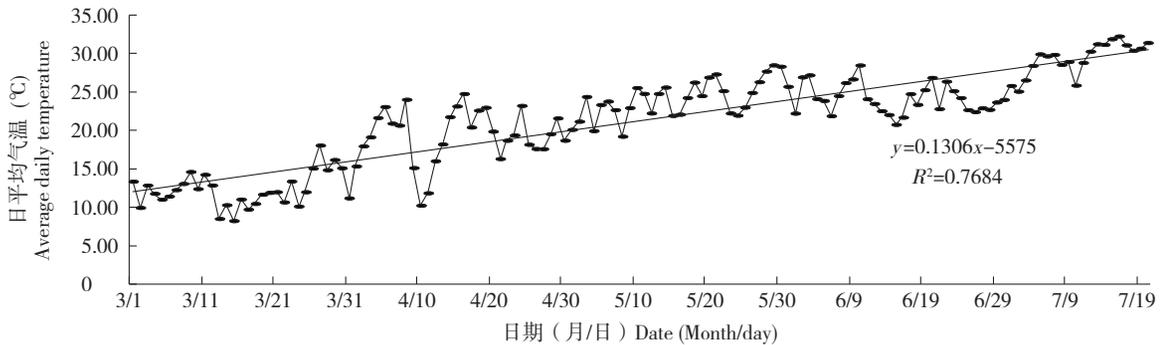


图 1 水稻全生育期气温变化

Fig.1 Temperature change during the whole growth period of rice

情况, 对水稻生长基本无影响。

### 2.2 不同生育时期积温随播期的变化

由表 1 可知, 两水稻品种抽穗后积温随播期推

迟逐渐增加, 两品种曲线拟合度分别达到 0.89 (中早 35) 和 0.85 (中早 39), 而全生育期积温随播期推迟逐渐减少。其原因是抽穗后气温整体较高, 随

表 1 积温与播期的线性关系

Table 1 Linear relationship between accumulated temperature and sowing date

品种 Variety	项目 Project	方程 Equation	R <sup>2</sup>
中早 35 Zhongzao 35	抽穗后积温与播期 Accumulated temperature and sowing date after heading	y=19.287x+759.62	0.89
	全生育期积温与播期 Accumulated temperature and sowing date during the whole growth period	y=-6.5567x+2616.2	0.54
中早 39 Zhongzao 39	抽穗后积温与播期 Accumulated temperature and sowing date after heading	y=20.945x+748.90	0.85
	全生育期积温与播期 Accumulated temperature and sowing date during the whole growth period	y=-2.6442x+2559.9	0.05

着播期推迟，迟播较早播成熟更晚，日平均气温较高所致；全生育期积温与播期呈负线性关系主要是因为早播全生育期较长，从而使全生育期积温较高。

2.3 不同播期的气温条件对水稻成苗率的影响

日平均气温对水稻出苗及成苗具有明显影响，气温越低，水稻成苗率越低，气温升高，水稻出苗加快，成苗率增加。由表 2 可知，两品种成苗率与播期呈正线性关系；水稻分蘖前日平均气温与播期也呈正线性关系，随着播期推迟，日平均气温升高，

成苗率增加。成苗率与单株和单位面积干物质积累量相关关系表明，成苗率与单株干物质积累量呈极显著负相关关系，与单位面积干物质积累量呈显著正相关关系。原因可能是在相同播种量条件下，较早的播期处理因生育期气温低，成苗率低，单位面积基本苗少，群体较稀，单株生长较好，单株干物质积累量更多；播期推迟，成苗率升高，群体密度增大，单株干物质积累量相对较少，但具有较大的水稻群体，单位面积干物质积累量与成苗率呈显著正相关关系。

表 2 播期与气温及成苗率的关系  
Table 2 Relationship between sowing date and temperature, seedling rate

品种 Variety	项目 Project	方程 Equation	成苗率与单株干物质积累量相关性 Correlation between seedling rate and dry matter accumulation per plant	成苗率与单位面积干物质积累量相关性 Correlation between seedling rate and dry matter accumulation per unit area
中早 35 Zhongzao 35	成苗率与播期 Seedling rate and sowing date	$y=2.9227x+36.042$	-0.83**	0.72*
	分蘖前日平均气温与播期 Average daily temperature and sowing date before the tillering	$y=0.6304x+15.185$	-	-
中早 39 Zhongzao 39	成苗率与播期 Seedling rate and sowing date	$y=3.9253x+29.658$	-0.95**	0.73*
	分蘖前日平均气温与播期 Average daily temperature and sowing date before the tillering	$y=0.8851x+14.519$	-	-

注：\*，\*\* 分别表示相关显著、极显著。下同  
Note: \*, \*\* indicate significant, extremely significant correlation, respectively. The same below

2.4 单株及单位面积总干物质积累量与积温的线性关系

气温的高低对于干物质积累量具有明显影响，受播期影响，各播期处理气温变化明显。分析各品种单株总干物质积累量与播期的关系（表 3）可知，单株总干物质积累量与播期呈负线性关系，随播期推迟，单株总干物质积累量逐渐减少，单株总干物

质积累量与积温呈正相关关系，且中早 35 达到显著正相关，相关系数为 0.75；单位面积总干物质积累量与播期呈正线性关系，受播期推迟影响，单位面积总干物质积累量逐渐增加。这可能受出苗率影响，较早的播期处理生育期气温低，成苗率低，种植密度较稀，单株生长不受抑制，气温低，生育期延长，生育期内总积温增加，单株总干物质积累更

表 3 总干物质积累量与积温的关系  
Table 3 Relationship between total dry matter accumulation and accumulated temperature

品种 Variety	项目 Project	方程 Equation	干物质积累量与积温的相关性 Correlation of dry matter accumulation and accumulated temperature
中早 35 Zhongzao 35	单株总干物质积累量与播期 Total dry matter accumulation per plant and sowing date	$y=-0.3735x+12.375$	0.75*
	单位面积总干物质积累量与播期 Total dry matter accumulation per unit area and sowing date	$y=324.91x+10327.00$	-0.34
中早 39 Zhongzao 39	单株总干物质积累量与播期 Total dry matter accumulation per plant and sowing date	$y=-0.6439x+12.823$	0.09
	单位面积总干物质积累量与播期 Total dry matter accumulation per unit area and sowing date	$y=216.27x+9335.10$	-0.04

多;播期推迟,气温升高,生育期逐渐缩短,但成苗率逐渐增加,群体密度增大,茎蘖数减少,单位面积茎蘖数较多,后期播种的单位面积总干物质积累量较前期播种多。

### 2.5 灌浆成熟期各器官干物质输出及转化情况

水稻产量受抽穗后光合作用积累的干物质影响最大,但茎叶向穗转移的干物质对水稻产量也具有明显的影响,由表 4 可知,中早 35 和中早 39 两

品种干物质输出率和干物质转化率整体均随着播期的推迟而减少,均以第 1 播期(3月6日)输出率和转化率最高,单株茎叶输出转化对产量的影响随着播期推迟逐渐减小;由表 4 可知,茎输出率和转化率整体高于叶输出率和转化率。由此可见,水稻产量形成过程中,直播较早的水稻茎叶对产量影响更大,茎干物质对产量的贡献整体大于叶干物质的贡献。

表 4 各器官干物质输出及转化  
Table 4 Changes of dry matter output and transformation in organs

播期 Sowing date	中早 35 Zhongzao 35				中早 39 Zhongzao 39			
	干物质输出率 Dry matter output rate		干物质转化率 Dry matter transformation rate		干物质输出率 Dry matter output rate		干物质转化率 Dry matter transformation rate	
	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf
B1	29.60	20.10	25.94	6.29	22.62	22.49	22.74	9.80
B2	24.89	19.01	24.71	6.14	17.12	16.43	17.98	5.87
B3	20.87	18.83	21.93	6.09	13.24	11.91	11.17	4.14
B4	18.85	17.71	19.21	5.60	13.48	11.72	11.59	4.10
B5	19.65	16.48	15.42	5.39	13.05	9.57	11.27	3.48
B6	14.96	14.04	13.22	4.78	6.92	10.47	5.67	3.48
B7	17.57	12.89	12.62	4.89	8.47	9.91	6.87	3.91
B8	10.44	11.72	11.01	4.74	6.24	10.12	5.57	4.18
B9	11.33	11.27	11.35	4.25	8.81	9.10	8.69	4.47

### 2.6 抽穗后干物质转运与积温的关系

干物质转运的多少与气温有负相关关系。由表 5 可知,茎叶干物质输出量与积温呈负相关关系,中早 35 单株茎叶干物质输出量与积温呈显著或极显著关系。抽穗后单株光合产物与积温呈负相关关系,单位面积光合产物与积温呈正相关关系。究其原因,抽穗后第 1 播期日平均气温为

25.0℃~25.2℃,第 9 播期日平均气温为 28.8℃~29.2℃,较第 1 播期高出近 4℃,气温越高越不利于茎叶干物质转化<sup>[11]</sup>,因此,抽穗后随着日平均气温升高和积温的增加,单株和单位面积干物质输出量均减少。由源库效应可知,茎叶输出转化减少,抽穗后光合产物逐渐增加,因此,抽穗后单位面积光合产物积累量随着播期推迟逐渐增加。

表 5 抽穗后干物质转运与积温的相关性  
Table 5 Correlation between dry matter transport and accumulated temperature after heading

品种 Variety	项目 Project	茎输出量 Stem output	叶输出量 Leaf output	光合产物 Photosynthate
中早 35 Zhongzao 35	单株 Per plant	-0.76*	-0.79**	-0.66*
	单位面积 Per unit area	-0.46	-0.69*	0.52
中早 39 Zhongzao 39	单株 Per plant	-0.60	-0.47	-0.12
	单位面积 Per unit area	-0.59	-0.50	0.40

## 3 讨论

播期的提前和推迟主要影响水稻生长过程中的温度,早稻直播生产过程中,随着播期推迟,温度逐渐升高<sup>[12]</sup>。水稻的播种出苗及成苗主要受温度影响,黄永兰等<sup>[13]</sup>、肖宇龙等<sup>[14]</sup>、赵杨等<sup>[15]</sup>研究温

度对水稻出苗的影响发现,不同品种出苗对温度的响应存在差异,但都表现为一定温度范围内,随着播种后日平均气温的升高,出苗率逐渐升高。本研究结论与黄永兰等<sup>[13]</sup>、肖宇龙等<sup>[14]</sup>和赵杨等<sup>[15]</sup>研究结果基本一致。刘功朋等<sup>[16]</sup>研究认为,随着早稻直播播期推迟,水稻出苗率和成苗率逐渐增加。

本试验结果与刘功朋等<sup>[16]</sup>研究结论相一致,本试验中,中早35和中早39的成苗率分别与播期呈斜率为2.9227和3.9253的正线性相关关系。在同一播种量条件下,播期越早,群体密度越小,播期推迟,群体密度增加,这主要受播后成苗率影响。

温度可以调控植物代谢速率和光合速率等,从而通过影响干物质积累来影响生育进程<sup>[17]</sup>。解保胜等<sup>[18]</sup>研究发现,生育期内活动积温与生物量、抽穗期茎鞘干物质重及群体生长速率均呈二次函数关系。刘军等<sup>[19]</sup>研究表明,高产水稻一般前中期茎叶中贮藏的光合产物较多,抽穗后光合产物向子粒分配的比例大,且茎叶向子粒转运的干物质增多。本试验由于是直播生产试验,第1播期单株前中期贮藏的光合产物较多,茎叶输出率第1播期较第9播期分别高出13.81、8.83个百分点,转化率第1播期较第9播期分别高出14.05、2.04个百分点,但直播稻出苗率较低,群体密度较小,导致整体产量较低,与刘军等<sup>[19]</sup>得出的水稻前中期茎叶贮藏的干物质越多、后期转运增加的结论相同。姚义<sup>[20]</sup>研究结果表明,直播稻随播期的推迟,茎叶干物质输出量和转化率呈显著或极显著下降的趋势,本研究结论与姚义<sup>[20]</sup>相一致。分析抽穗后积温与茎叶输出转化和光合作用积累的干物质相关关系发现,抽穗后第1播期日平均气温为25.0℃~25.2℃,第9播期日平均气温为28.8℃~29.2℃,较第1播期高出近4℃,在一定范围内,温度越高越不利于茎叶干物质转化<sup>[11]</sup>,因此,单株和单位面积茎叶干物质转化与抽穗后积温呈负相关关系,中早35达到显著相关水平,中早39相关性不显著,品种间存在一定差异,这可能与品种对温度敏感性差异有关<sup>[21]</sup>。

受源库关系的影响,播期越早,成苗率越低,群体密度越小,单株生长良好,前中期茎叶中积累的干物质越多,抽穗后向子粒中输出转运增加,使抽穗后光合作用产物积累所占比例减少;播期推迟,生育期缩短,前中期积累光合产物减少<sup>[22]</sup>,抽穗后温度较高,茎叶干物质向子粒转运减少,随着群体密度增加,单位面积温光利用率增加,使单位面积光合产物增加,因此抽穗后单位面积光合产物与积温呈正相关关系。由于试验中选用的品种是耐低温能力较弱的常规稻,杂交水稻品种的干物质积累、输出和转运与积温的关系尚不清楚,还有待进一步研究。

## 4 结论

双季早稻直播生产过程中,播期适宜,能显著提高水稻成苗率,提高茎叶积累的干物质向子粒的转运量。播期过早,茎叶干物质积累转运虽然增加,但成苗率低,产量较低;播期推迟,不利于茎叶干物质转运。

### 参考文献

- [1]潘晓华,李木英,曾勇军,等.江西双季稻主要种植方式及其配套栽培对策.江西农业大学学报,2013,35(1):1-6.
- [2]李木英,石庆华,潘晓华.江西省直播稻发展趋势与存在的问题及对策.现代农业科技,2008(21):236-238.
- [3]杜斌,陈留根,赵田芬,等.直播播期对不同类型水稻品种生育期及产量形成的影响.湖南农业科学,2012(15):18-21.
- [4]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.中国农业科学,2013,46(20):4222-4233.
- [5]姚义,霍中洋,张洪程,等.不同生态区播期对直播稻生育期及温光利用的影响.中国农业科学,2012,45(4):633-647.
- [6]李迪秦,秦建权,张运波,等.品种与播期对齐穗期水稻群体光能截获量和干物质垂直分布的影响.核农学报,2009,23(5):858-863.
- [7]于文颖,纪瑞鹏,冯锐,等.基于分期播种的水稻生长动态及产量对热量条件的响应.中国农学通报,2015,31(24):6-13.
- [8]王亚梁,张玉屏,朱德峰,等.水稻器官形态和干物质积累对穗分化不同时期高温的响应.中国水稻科学,2016,30(2):161-169.
- [9]顾俊荣,董明辉,赵步洪,等.不同水氮管理对水稻干物质积累和茎鞘物质运转及产量的影响.核农学报,2016,30(2):347-354.
- [10]刘树金.栽培地点和密度对不同品种水稻形态特征与群体质量影响.雅安:四川农业大学,2010.
- [11]吕艳梅,谭伟平,肖层林.高温胁迫对水稻生长发育及经济性状的影响.湖南农业科学,2014(9):17-19,24.
- [12]曹秀霞,万素琴,吴铭.湖北省早稻适宜播期及其气候风险.中国农业气象,2014,35(4):429-433.
- [13]黄永兰,龙起樟,丁芸,等.江西省早稻品种芽期耐冷性鉴定评价研究.江西农业大学学报,2016,38(3):440-447.
- [14]肖宇龙,钟家有,胡启锋,等.江西省早稻主栽品种可控条件下芽期耐冷性鉴定.江西农业大学学报,2014,36(2):243-248.
- [15]赵杨,魏颖娟,邹应斌.低温胁迫下早稻幼苗叶片和根系的生理指标变化及其品种间差异.核农学报,2015,29(4):792-798.
- [16]刘功朋,陈恺林,张玉焯,等.播期与播量对直播早稻生长特性及产量的影响.湖南农业科学,2013(1):13-16,21.
- [17]Condon A G, Botwright T L, Long M, et al. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat. Field Crops Research, 2007, 100(1): 10-23.
- [18]解保胜,赵黎明,那永光,等.温光条件与寒地水稻产量和源库特征的关系.生态学杂志,2016,35(4):917-924.
- [19]刘军,余铁桥.大穗型水稻超高产产量形成特点及物质生产分析.湖南农业大学学报,1998,24(1):4-5,7-10.
- [20]姚义.江淮下游地区直播稻播期与品种综合生产力及其利用的研究.扬州:扬州大学,2012.
- [21]徐俊锋,魏祥进,江玲,等.我国部分早籼品种及杂交早籼骨干亲本抽穗期遗传分析.中国水稻科学,2010,24(3):215-222.
- [22]陈可伟,陈俊义,解平,等.播期对直播稻的影响.上海农业科技,2010(4):42,31.

