

# 播期对直播水稻产量、花后各器官干物质和氮素积累及转运的影响

孙琪 耿艳秋 金峰 刘丽新 郑浣彤 郭丽颖 邵玺文

(吉林农业大学农学院, 130118, 吉林长春)

**摘要** 为探究播期对直播水稻产量、花后干物质和氮素积累与转运的影响,以水稻品种白粳1号、长白9号和龙粳31号为供试材料,设置3个播期(SD1、SD2和SD3),比较不同播期条件下3个品种的产量、抽穗期和成熟期各器官干物质及氮素积累与转运特点。3个品种抽穗期和成熟期各器官干物质及氮素积累量、抽穗至成熟期各器官干物质及氮素转运量和产量均表现为SD2>SD3>SD1。相关分析表明,产量与成熟期穗干物质及氮素积累量呈显著正相关,与叶片干物质和氮素转运量呈显著正相关。在本试验条件下,播期的推迟提高了3个品种有效穗数及结实率,进而提高了产量,同时促进了各器官物质转运量与转运率的提高。各品种SD2处理的产量及花后干物质、氮素积累量最高,SD2为适宜播期。

**关键词** 直播稻;播期;产量;干物质;氮素;积累与转运

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



传统水稻种植方式以人工育苗移栽为主,该种植方式劳动强度大,需水量高。近年来,水稻机械化生产发展迅速,以机插秧和机直播为主,但各地区发展不均衡,机械化种植普及水平低<sup>[1]</sup>。随着社会发展、农村劳动力转移和劳动力成本的增加,直播水稻因用工少、劳动强度低、效益高和用水量少而日益受到人们的重视<sup>[2-4]</sup>。随着机械化发展、高效除草剂技术的成熟和早熟水稻品种的育成,许多国家和地区将直播作为水稻主要的栽培方式,美国、澳大利亚及欧洲一些国家和地区以机械化直播为主<sup>[1,5]</sup>。近年来,我国直播水稻技术得到了大面积推广,江苏、上海、宁夏和黑龙江等地直播水稻面积逐年增加。

适宜的播期可协调直播水稻的生育进程,使产量形成与光合生产效率同步,保证水稻正常成熟,从而充分发挥水稻品种生产潜力<sup>[6]</sup>。前人针对播期对水稻产量及生长发育的影响已有大量研究。余鹏等<sup>[7]</sup>研究认为,播期过早或过迟均会使直播稻生育期发生变化,从而对结实率、千粒重和产量产生影

响,合理安排播期是获得高产稳产的关键。杜斌<sup>[6]</sup>研究表明,在淮北地区,根据不同品种选择麦茬直播稻适宜的播期,是直播稻高产的关键,适宜播期可提高直播稻群体干物质质量及氮素积累量、有效穗数、结实率、每穗粒数,穗大粒多,籽粒充实度高,进而提高直播稻产量。姚义等<sup>[8]</sup>研究表明,随着播期的推迟,麦茬直播稻抽穗至成熟期干物质积累量减少,结实率和每穗粒数显著下降,空秕粒增加,穗小粒少,产量降低。霍中洋等<sup>[9]</sup>研究发现,水稻茎鞘及叶片转运至穗部的干物质质量随播期的推迟而减少,穗部干物质积累量降低,最终导致直播稻产量降低。

不同地区温光资源差异较大,因而直播稻适宜播期也有所不同<sup>[10]</sup>。东北地区无霜期短,光照时数少,适宜水稻生长的活动积温较少,又易出现“倒春寒”现象,因此确定适宜播期是东北地区直播稻高产稳产的基础<sup>[3]</sup>。目前,关于东北地区播期对直播稻产量影响的研究较少,为此,以3个常规水稻品种为试验材料,研究播期对直播水稻产量及产量

作者简介:孙琪,主要从事水稻优质高产高效理论与技术研究,E-mail: sunqi03@163.com

郭丽颖为通信作者,主要从事水稻优质高产高效理论与技术研究,E-mail: guoliying0621@163.com;邵玺文为共同通信作者,主要从事水稻优质高产高效理论与技术研究,E-mail: shaoxiwen@126.com

基金项目:吉林省科技发展计划(20180201037NY);吉林省教育厅“十三五”科学技术研究规划项目(JJKH20190933KJ);国家重点研发计划项目(2016YFC0501204,2018YFD0300207-3);吉林农业大学博士启动基金(201706)

收稿日期:2020-02-03;修回日期:2020-05-06;网络出版日期:2020-07-24

构成因素、花后干物质和氮素积累与转运的影响,为吉林省直播水稻适宜播期的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验于2018年5月-10月和2019年5月-10月在吉林省长春市吉林农业大学水稻试验田进行,该地区春季干旱多风,近5年年平均降水量659.62mm,年平均气温5.27℃,无霜期138d左右。试验地连作水稻,土壤有机质含量为3.84g/kg,全氮含量为0.35g/kg, pH值为6.7。

### 1.2 试验设计

供试水稻品种为白粳1号、长白9号和龙粳31号,全生育期均约130d。根据试验地无霜期天数及品种生育期设置3个播期,分别为5月5日(SD1)、5月10日(SD2)和5月15日(SD3)。试验采用二因素裂区设计,播期为主区,品种为副区,共计9个处理,每个小区面积均为36m<sup>2</sup>,3次重复,共27个处理。

试验采用湿润条播,播前1周泡田,播种时保持田面湿润无积水。播种量均为80kg/hm<sup>2</sup>(根据千粒重计算),将浸种催芽至破胸露白的种子于播种日人工划行播种。施纯氮150kg/hm<sup>2</sup>,基肥:分蘖肥:穗肥=5:3:2;磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)75kg/hm<sup>2</sup>全部基施;钾肥(K<sub>2</sub>O)75kg/hm<sup>2</sup>,基肥:穗肥=8:2。基肥均于播前1周施入,分蘖肥于播种30d后施入,穗肥在倒四叶期施入。在播前苗后进行化学除草。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质 分别在水稻抽穗期和成熟期选取长势一致行长2m稻株,取地上部分,洗净后带回实验室,记录分蘖数和穗数,然后将植株分成茎鞘、叶片和穗3部分,105℃杀青30min,80℃烘干至恒重,测定干物质质量。

1.3.2 考种与计产 成熟期每小区收取5m<sup>2</sup>长势均匀的植株,3次重复,待谷物风干后,去除杂质,测定籽粒含水量,以14%含水量折算产量。每小区取2m行长的植株带回实验室,分别考察每穗粒数、结实率及千粒重等产量构成因素。

1.3.3 氮素积累量 按平均茎蘖数在抽穗期和成熟期分别选择长势一致的5株水稻,并将烘干的茎鞘、叶片和穗各部分用粉碎机粉碎。将粉碎的样品用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O消化,采用FOSS 8200全自动凯氏定氮仪测定各部分氮素含量。

1.3.4 计算公式 干物质(氮)积累量=某生育期单位面积某器官的干物质(氮)的积累量,干物质(氮)转运量=抽穗期某器官的干物质(氮)积累量-成熟期该器官的干物质(氮)积累量,干物质(氮)转运率=[植株叶、茎鞘的干物质(氮)的转运量/抽穗期叶、茎鞘的干物质(氮)积累量]×100%,干物质(氮)转运贡献率=[茎鞘和叶片的干物质(氮)转运量之和/抽穗至成熟期穗部干物质(氮)积累总量]×100%。

### 1.4 数据处理和分析

利用Microsoft Excel 2016和SPSS 19.0(LSD法,α=0.05)软件进行数据统计和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 播期对直播稻产量及产量构成因素的影响

通过对2018和2019年各处理的产量及其构成因素的分析发现,各处理产量及其构成因素变化趋势基本一致(表1)。在相同品种不同播期的条件下,3个品种SD2和SD3播期处理的有效穗数均显著高于SD1播期。随着播期的推迟,白粳1号和龙粳31号的每穗粒数逐渐降低;长白9号的每穗粒数表现为SD2>SD1>SD3;3个品种的结实率均逐渐升高,在SD3播期达到最高。千粒重受播期影响不大。

由表1可知,在相同品种不同播期的条件下,3个品种产量变化随着播期的推迟均呈先升高后降低趋势,在SD2播期达到最高,SD3播期次之,SD1播期最低。2018年白粳1号、长白9号和龙粳31号SD2播期处理的产量分别比SD3播期高22.01%、10.28%和15.22%,分别比SD1播期高54.69%、20.41%和20.08%。2019年白粳1号、长白9号和龙粳31号SD2播期处理的产量分别比SD3播期高24.18%、6.06%和25.30%,分别比SD1播期高44.87%、32.91%和38.67%。2年产量结果显示,3个品种SD2和SD3播期处理的产量均高于SD1播期,表明早播不利于直播稻产量形成。

### 2.2 播期对直播稻抽穗期和成熟期各器官干物质积累与转运的影响

由表2可知,在相同品种不同播期的条件下,2018和2019年抽穗期和成熟期地上部干物质积累量与产量均表现为SD2>SD3>SD1。2018和2019年,抽穗期和成熟期干物质积累量变化趋势相同,3个品种茎鞘和穗干物质积累量均表现为SD2>

表 1 播期对直播稻产量及产量构成因素的影响  
Table 1 Effects of sowing date on yield and yield components of direct seeding rice

年份 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date	有效穗数 Productive panicles ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ )	每穗粒数 Grains per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting rate (%)	产量 Yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
2018	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	338.72b	109.69a	20.57b	84.35b	4 480.00c
		SD2	443.67a	107.48a	22.84a	93.44a	6 930.00a
		SD3	423.00a	78.59b	21.29ab	94.05a	5 680.00b
	长白 9 号 Changbai 9	SD1	367.60b	88.99b	22.46a	88.00b	4 900.00c
		SD2	452.39a	91.25a	23.32a	93.18a	5 900.00a
		SD3	443.91a	66.55c	23.49a	93.65a	5 350.00b
	龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	339.11b	92.16a	23.22a	92.40c	4 980.00c
		SD2	465.50a	84.39b	23.15a	93.05b	5 980.00a
		SD3	450.33a	79.07c	22.96a	95.63a	5 190.00b
2019	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	369.99b	102.45a	20.95b	86.54b	3 900.00c
		SD2	456.67a	94.47b	23.43a	92.73a	5 650.00a
		SD3	426.08a	87.31c	21.17b	93.68a	4 550.00b
	长白 9 号 Changbai 9	SD1	346.67b	79.36b	19.84c	90.68b	3 950.00c
		SD2	430.78a	88.04a	22.57a	91.31ab	5 250.00a
		SD3	413.43a	63.35c	23.98b	92.84a	4 950.00b
	龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	330.39b	78.00a	23.08a	90.41c	3 750.00c
		SD2	430.54a	75.88a	21.98ab	93.09b	5 200.00a
		SD3	423.33a	69.42b	20.75b	95.94a	4 150.00b

注：同列数据中同一品种不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。下同

Note: Values followed by different lowercase letters in the same column of the same variety are significantly different ( $P < 0.05$ ). The same below

表 2 播期对直播稻抽穗期和成熟期各器官干物质积累量的影响  
Table 2 Effects of sowing dates on dry matter accumulation in various organs of direct seeding rice at heading stage and maturity stage

年份 Year	生育时期 Growth stage	品种 Cultivar	播期 Sowing date	茎鞘 Stem-sheath	叶片 Leaf	穗 Panicle	地上部 Aboveground
2018	抽穗期 Heading stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	3 210.94c	1 382.41b	992.83c	5 586.18c
			SD2	5 148.82a	2 092.75a	1 900.82a	9 142.39a
			SD3	4 508.91b	1 665.30b	1 466.75b	7 640.96b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	3 951.23b	1 877.36a	1 028.74a	6 857.33b
			SD2	4 610.26a	1 590.16a	1 482.47a	7 682.89a
			SD3	4 164.96b	1 413.07a	1 316.49a	6 894.52b
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	3 482.55b	1 839.55b	885.58b	6 207.68b
			SD2	4 308.44a	2 273.16a	1 254.36a	7 835.96a
			SD3	4 138.72a	2 072.94a	1 178.59a	7 390.25a
	成熟期 Maturity stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	2 989.08c	1 132.26b	5 637.11c	9 758.45c
			SD2	4 721.90a	1 562.48a	8 230.73a	14 515.11a
			SD3	4 155.94b	1 313.16ab	6 791.36b	12 260.46b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	3 727.61b	1 720.80a	6 576.07c	12 024.48b
			SD2	4 286.10a	1 256.19b	7 918.24a	13 460.53a
			SD3	3 891.43b	1 126.33b	7 103.09b	12 120.85b
龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	3 306.72a	1 526.52a	6 550.88b	11 384.12b		
	SD2	3 953.35a	1 720.58a	7 497.13a	13 171.06a		
	SD3	3 816.92a	1 641.43a	7 306.17a	12 764.52ab		
2019	抽穗期 Heading stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	3 493.33c	1 268.89c	638.89c	5 401.11c
			SD2	5 196.36a	2 300.60a	1 767.27a	9 264.23a
			SD3	4 801.23b	1 483.78b	1 281.35b	7 566.36b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	4 348.16b	1 787.45a	1 014.79a	7 150.40a
			SD2	4 715.05a	1 468.12b	1 314.21a	7 497.38a
			SD3	4 528.64ab	1 389.63b	1 257.12a	7 175.39a
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	2 968.38c	899.34c	518.12b	4 385.84c

续表2 Table 2 (continued)

年份 Year	生育时期 Growth stage	品种 Cultivar	播期 Sowing date	茎鞘 Stem-sheath	叶片 Leaf	穗 Panicle	地上部 Aboveground
			SD2	4 478.60a	1 921.97a	1 207.91a	8 808.48a
			SD3	3 561.95b	1 345.08b	1 110.24a	6 017.27b
	成熟期 Maturity stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	3 227.77b	1 157.78b	5 255.55c	9 641.10c
			SD2	4 528.48a	1 801.21a	7 278.17a	13 607.86a
			SD3	4 414.95a	1 198.10b	6 721.26b	12 334.31b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	4 081.97a	1 677.90a	4 983.75c	10 743.62b
			SD2	4 228.08a	1 211.64b	7 112.23a	12 551.95a
			SD3	4 190.66a	1 178.51b	6 086.43b	11 455.60a
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	2 771.50b	814.29c	4 533.62c	8 119.41c
			SD2	3 919.60a	1 601.42a	7 164.05a	12 685.07a
			SD3	3 283.35b	1 172.25b	5 977.68b	10 433.28b

SD3>SD1; 白粳 1 号和龙粳 31 号叶片干物质积累量均表现为 SD2>SD3>SD1, 长白 9 号叶片干物质积累量随着播期推迟逐渐降低。

由表 3 可知, 在相同品种不同播期的条件下,

3 个品种茎鞘和叶片的干物质转运量与干物质转运率、穗部干物质增加量和干物质转运对穗部的贡献率均表现为 SD2>SD3>SD1。另外, 3 个品种的叶片干物质转运率均比同播期茎鞘干物质转运率高。

表 3 播期对直播稻抽穗至成熟期各器官干物质转运的影响  
Table 3 Effects of sowing dates on dry matter translocation in stem-sheath and leaves of direct seeding rice from heading to maturity stage

年份 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date	茎鞘 Stem-sheath		叶片 Leaf		穗部干物质增加量 Increase of dry matter in panicle (kg/hm <sup>2</sup> )	干物质转运对穗部的贡献率 Contribution of dry matter translocation to panicle (%)
			转运量 Translocation amount (kg/hm <sup>2</sup> )	转运率 Translocation rate (%)	转运量 Translocation amount (kg/hm <sup>2</sup> )	转运率 Translocation rate (%)		
2018	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	221.86b	6.91a	250.15c	18.10b	4 644.28c	10.16b
		SD2	426.92a	8.29a	530.27a	25.34a	6 329.91a	15.12a
		SD3	352.97a	7.83a	352.14b	21.15a	5 324.61b	13.24a
	长白 9 号 Changbai 9	SD1	223.62b	5.66a	156.56c	8.34b	5 547.33b	6.85b
		SD2	324.16a	7.03a	333.97a	21.00a	6 435.77a	10.23a
		SD3	273.53b	6.57a	286.74b	20.29a	5 786.60b	9.68ab
龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	175.83b	5.05a	313.03c	17.02b	5 665.30b	8.63b	
	SD2	355.09a	8.24a	552.58a	25.52a	6 242.77a	14.54a	
	SD3	321.80a	7.78a	431.51b	25.22a	6 127.58ab	12.29ab	
2019	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	265.56c	7.60b	111.11c	8.76b	4 616.66b	8.16b
		SD2	667.88a	12.85a	499.39a	21.71a	5 510.90a	21.18a
		SD3	386.28b	8.05b	285.68b	19.25a	5 439.91a	12.35b
	长白 9 号 Changbai 9	SD1	266.19c	6.12b	109.55c	6.13b	3 968.96c	9.47a
		SD2	486.97a	10.33a	256.48a	17.47a	5 798.02a	12.82a
		SD3	337.98b	7.46ab	211.12b	15.19a	4 829.31b	11.37a
龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	196.88b	6.63b	85.05b	9.46b	4 015.50c	7.02b	
	SD2	559.00a	12.48a	320.55a	16.68a	5 956.14a	14.77a	
	SD3	278.60b	7.82b	172.83b	12.85ab	4 867.44b	9.27b	

### 2.3 播期对直播稻抽穗期和成熟期各器官氮素积累量及转运的影响

由表 4 可知, 3 个品种抽穗期和成熟期各器官氮素积累量及氮素积累量与产量变化规律一致, 均表现为 SD2>SD3>SD1, 抽穗期各品种氮素积累量在不同播期间差异均达到显著水平。2018 年白粳 1 号、长白 9 号和龙粳 31 号 SD2 播期处理的成

熟期地上部氮素积累量分别比 SD3 播期高 7.09%、9.02% 和 7.99%, 分别比 SD1 播期高 16.42%、24.77% 和 14.72%。2019 年白粳 1 号、长白 9 号和龙粳 31 号 SD2 播期处理的成熟期地上部氮素积累量分别比 SD3 播期高 19.82%、15.54% 和 13.94%, 分别比 SD1 播期高 50.08%、41.23% 和 50.14%。

由表 5 可知, 3 个品种抽穗至成熟期茎鞘氮素

表 4 播期对直播稻抽穗期和成熟期各器官氮素积累量的影响  
Table 4 Effects of sowing dates on nitrogen accumulation in various organs of direct seeding rice at heading stage and maturity stage

年份 Year	生育时期 Growth stage	品种 Cultivar	播期 Sowing date	茎鞘 Stem-sheath	叶片 Leaf	穗 Panicle	地上部 Aboveground
2018	抽穗期 Heading stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	19.84b	23.57c	5.72b	49.13c
			SD2	23.51a	31.92a	8.57a	64.00a
			SD3	22.42a	27.43b	7.96a	57.81b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	19.24b	22.69b	5.26a	47.19c
			SD2	24.43a	30.28a	8.12a	62.83a
			SD3	22.04ab	26.79b	6.48a	55.31b
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	16.79a	20.01b	5.44a	42.24b
			SD2	19.99a	26.26a	7.06a	53.31a
			SD3	17.85a	24.39ab	6.21a	48.45b
	成熟期 Maturity stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	16.87a	12.72a	44.59b	74.18b
			SD2	17.07a	15.79a	53.50a	86.36a
			SD3	16.93a	13.96a	49.75a	80.64a
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	15.20a	12.50a	41.63b	69.33c
			SD2	17.92a	15.83a	52.75a	86.50a
			SD3	16.47a	14.25a	48.62ab	79.34b
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	12.66b	11.46a	48.43b	72.55c
			SD2	14.19a	13.54a	55.50a	83.23a
			SD3	12.93b	12.82a	51.32ab	77.07b
2019	抽穗期 Heading stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	14.27b	13.44b	5.29b	33.00c
			SD2	23.88a	20.07a	9.71a	53.66a
			SD3	20.07a	15.94b	7.16ab	43.17b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	17.01b	10.69b	5.01b	32.71c
			SD2	24.69a	21.55a	9.23a	55.47a
			SD3	23.06a	14.47b	6.34b	43.87b
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	14.58b	10.25b	5.55b	30.38c
			SD2	21.72a	17.08a	10.64a	49.44a
			SD3	17.42b	15.27ab	7.37ab	40.06b
	成熟期 Maturity stage	白粳 1 号 Baijing 1	SD1	11.70b	7.93b	33.03c	52.66c
			SD2	16.79a	11.29a	50.95a	79.03a
			SD3	15.01a	9.12ab	41.83b	65.96b
		长白 9 号 Changbai 9	SD1	13.38b	5.71b	36.65c	55.74c
			SD2	18.22a	10.59a	49.91a	78.72a
			SD3	17.26a	7.56ab	43.31b	68.13b
		龙粳 31 号 Longjing 31	SD1	10.67b	6.12a	28.12c	44.91b
			SD2	15.52a	9.02a	42.89a	67.43a
			SD3	12.68ab	8.73a	37.77b	59.18ab

转运量和氮素转运率、抽穗至成熟期叶片氮素转运量和氮素转运率，以及抽穗至成熟期穗氮素增加量和氮素转运对穗部的贡献率均表现为 SD2>SD3>SD1。

#### 2.4 水稻各器官干物质和氮素积累量与产量的关系

由表 6 可知，2018 年，水稻抽穗期和成熟期茎鞘干物质积累量均与产量呈极显著正相关，抽穗期茎鞘氮素积累量与产量呈极显著正相关；抽穗期和成熟期叶片氮素积累量均分别与产量呈极显著正相关；成熟期穗干物质积累量与产量呈极显著正相关，抽穗期穗氮素积累量与产量呈极显著正相关，

在成熟期呈显著正相关。2019 年，水稻茎鞘干物质积累量和氮素积累量在抽穗期和成熟期均分别与产量呈极显著正相关；叶片氮素积累量在抽穗期和成熟期均分别与产量呈极显著正相关；成熟期穗干物质积累量与产量呈极显著正相关，穗氮素积累量在抽穗期和成熟期与产量呈极显著正相关。

从表 7 可知，2018 年，水稻茎鞘和叶片的干物质转运量与产量呈极显著正相关，叶片氮素转运量与产量呈显著正相关；穗干物质转运量与产量呈显著正相关。2019 年，水稻茎鞘、叶片和穗的干物质转运量和氮素转运量均与产量呈极显著正相关。

表5 播期对直播稻抽穗至成熟期各器官氮素转运的影响

Table 5 Effects of sowing date on nitrogen translocation in stem-sheath and leaves of direct seeding rice from the heading to maturity stage

年份 Year	品种 Cultivar	播期 Sowing date	茎鞘 Stem-sheath		叶片 Leaf		穗部氮增加量 Increase of nitrogen in panicle (kg/hm <sup>2</sup> )	氮素转运对穗部的贡献率 Contribution of nitrogen translocation to panicle (%)
			转运量 Translocation amount (kg/hm <sup>2</sup> )	转运率 Translocation rate (%)	转运量 Translocation amount (kg/hm <sup>2</sup> )	转运率 Translocation rate (%)		
2018	白粳1号 Baijing 1	SD1	2.97c	14.97b	10.85b	46.03a	38.87b	35.55c
		SD2	6.44a	27.39a	16.13a	50.53a	44.93a	50.23a
		SD3	5.49b	24.49a	13.47b	49.11a	41.79ab	45.37b
	长白9号 Changbai 9	SD1	4.04a	21.00a	10.19c	44.91a	36.37b	39.13b
		SD2	6.51a	26.65a	14.45a	47.72a	44.63a	46.96a
		SD3	5.57a	25.27a	12.54ab	46.81a	42.14a	42.98ab
	龙粳31号 Longjing 31	SD1	4.13a	24.60a	8.55b	42.73b	42.99b	29.50b
		SD2	5.80a	29.01a	12.72a	48.44a	48.44a	38.23a
		SD3	4.92a	27.56ab	11.57ab	47.44a	45.11b	36.56a
2019	白粳1号 Baijing 1	SD1	2.57b	18.01c	5.51a	41.00a	27.74c	29.13b
		SD2	7.09a	29.69a	8.78a	43.75a	41.24a	38.48a
		SD3	5.06a	25.21b	6.82a	42.79a	34.67b	34.27ab
	长白9号 Changbai 9	SD1	3.63b	21.34a	4.98b	46.59a	31.64b	27.21c
		SD2	6.47a	26.20a	10.96a	50.86a	40.68a	42.85a
		SD3	5.80a	25.15a	6.91b	47.75a	36.97ab	34.38b
	龙粳31号 Longjing 31	SD1	3.91c	26.82a	4.13b	40.29b	22.57b	35.62b
		SD2	6.20a	28.55a	8.06a	47.19a	32.25a	44.22a
		SD3	4.74b	27.21a	6.54ab	42.83ab	30.40a	37.11b

表6 水稻各器官抽穗至成熟阶段干物质和氮素积累量与产量的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between rice yields and accumulations of dry matter and nitrogen

年份 Year	器官 Organ	干物质积累量 Translocation of dry matter		氮素积累量 Translocation of nitrogen	
		抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage
2018	茎鞘 Stem-sheath	0.949**	0.934**	0.559**	0.451
	叶片 Leaf	0.413	0.223	0.822**	0.843**
	穗 Panicle	0.643	0.894**	0.885**	0.679*
2019	茎鞘 Stem-sheath	0.857**	0.804**	0.936**	0.931**
	叶片 Leaf	0.901	0.825	0.891**	0.924**
	穗 Panicle	0.428	0.911**	0.859**	0.941**

注: \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。下同

Note: \* and \*\* indicate significant correlation at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below

表7 各器官干物质和氮素转运量与产量的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between rice yields and translocations of dry matter and nitrogen

年份 Year	器官 Organ	干物质转运量 Translocation of dry matter	氮素转运量 Translocation of nitrogen
2018	茎鞘 Stem-sheath	0.918**	0.548
	叶片 Leaf	0.813**	0.769*
	穗 Panicle	0.716*	0.533
2019	茎鞘 Stem-sheath	0.992**	0.826**
	叶片 Leaf	0.956**	0.924**
	穗 Panicle	0.937**	0.870**

### 3 讨论

播期影响水稻的生育进程, 改变生育期的长短, 进而影响水稻群体的光合物质积累和产量形

成, 对直播稻产量及产量构成因素均有显著影响, 但不同研究因试验地点、栽培方式和品种等的不同, 产量及产量构成因素的变化也不相同<sup>[11-12]</sup>。杨稚愚等<sup>[13]</sup>和李秀芬等<sup>[14]</sup>研究表明, 早播或晚播均不能提高水稻产量, 早播会导致水稻灌浆期高温病害, 晚播会导致地温冷害, 适宜播期产量最高。播期推迟使灌浆期日平均气温和有效积温下降, 导致籽粒充实度差, 空秕粒增加, 实粒数和千粒重降低, 造成产量降低。研究表明, 随着播期推迟, 生育期在 144~158d 的水稻品种产量先升高后降低, 生育期 125d 的水稻品种产量逐渐升高<sup>[15]</sup>。本试验结果表明, 播期的推迟可提高直播稻有效穗数与结实率, 但降低了每穗粒数, 且对不同品种千粒重变化的影响不同。相关性分析表明, 产量与花后干物质

积累量与转运量呈显著正相关,说明花后干物质积累与转运是提高直播稻产量的基础。3个品种 SD2 播期处理的有效穗数均高于 SD1 和 SD3 播期处理,群体干物质积累量有所增加,茎鞘和叶片转运至穗部的干物质质量及穗部干物质积累量高,籽粒充实度好,空秕粒减少,SD2 播期处理产量高于 SD1 和 SD3 播期处理,与杨稚愚等<sup>[13]</sup>的研究结果相同,早播和迟播均不利于提高直播稻产量。播种时间早,前期温度过低,直播稻出苗率降低,单位面积株数和茎蘖数减少,基本穗数和结实率降低,空秕粒增加;播种时间迟,有效穗数降低,每穗粒数减少,产量下降。适宜播期能够提高直播稻有效穗数和结实率,可以进一步发挥多穗和小穗的优势,对产量构成及高产稳产起关键性作用。

干物质积累与转运是水稻产量的基础,直播稻群体的大小对干物质积累的影响较大。群体小,干物质积累总量小;但群体过大,群体通风性差,遮蔽性强,叶面积指数降低,物质生产能力弱,物质的转运和分配不协调,导致干物质积累量减少。水稻干物质一部分来自光合产物,另一部分来自抽穗后茎鞘和叶片的物质转运,茎鞘和叶片转运至穗部的干物质比例大,有利于增产<sup>[6,10]</sup>。有研究<sup>[16-18]</sup>发现,在高产栽培条件下,早播有助于形成“前小、中高、后强”的干物质积累模式,为高产奠定基础,播期的推迟会缩短直播稻的营养生长期,群体小,影响水稻干物质积累量。李杰等<sup>[19]</sup>和霍中洋等<sup>[20]</sup>研究表明,茎鞘和叶贮藏的干物质转运至穗部的比例大,有利于提高穗部干物质积累量。本试验结果表明,3个品种播期 SD2 与 SD3 的抽穗期和成熟期干物质积累总量与茎鞘和叶片干物质转运率显著高于 SD1 播期,转运至穗部的干物质质量较高,提高了穗部干物质积累量,从而进一步提高了产量。此外,相关性分析表明,成熟期茎鞘及穗干物质积累量与产量呈极显著正相关,茎鞘和叶片干物质转运量及穗干物质增加量均与产量呈显著正相关。说明产量的形成除花后物质积累外,还与营养器官物质转运量有关。SD1 和 SD3 播期处理的直播稻群体较小,干物质积累总量小,茎鞘和叶片物质输出率和物质转运率低于 SD2 播期,抽穗后干物质积累量降低,无法形成高产所需的物质生产基础。

氮素是影响水稻物质生产和产量的重要因素,氮素的吸收积累受水稻品种、种植方式及播期的影

响<sup>[20-22]</sup>。在保证茎鞘氮素积累量的同时,提高叶片氮素转运量、穗部氮素增加量和成熟期氮素积累量,有利于增加水稻产量<sup>[23-26]</sup>。本试验结果表明,3个品种抽穗期和成熟期各器官氮素积累量、抽穗至成熟期茎鞘与叶片的转运量、穗部干物质增加量、抽穗至成熟期茎鞘与叶片的转运率及氮素对穗部的贡献率均以 SD2 播期最高,SD3 播期次之,SD1 播期最低。相关性分析表明,叶片与穗氮素积累量均与产量呈显著正相关,叶片氮素转运量与产量呈显著正相关,说明抽穗后茎鞘主要起支撑作用,抽穗后叶片氮素的积累量与转运量的提高可以增加穗部氮素积累量,对产量的形成有重要影响。本试验条件下,SD1 抽穗期和成熟期氮素积累量最低,由于 SD1 播种时间早,气温低,导致出苗晚,生育前期氮素流失较多,水稻群体小,抽穗后氮素吸收量低;SD3 播种时间晚,温度高,出苗早,生育进程加快,营养生长期缩短,氮素吸收量减少,导致穗部氮素积累量有所减少。因此,直播稻在适宜播期时,植株长势好,群体结构合理,抽穗后氮素吸收与转运量高,有助于提高产量。

#### 4 结论

水稻品种白粳 1 号、长白 9 号和龙粳 31 号的产量、花后干物质积累总量及氮素积累总量均随着播期的推迟先升高后降低,SD2 处理最高。3个品种茎鞘和叶片干物质转运率、干物质转运对穗部的贡献率、茎鞘和叶片氮素转运率及氮素转运对穗部的贡献率均表现为 SD2>SD3>SD1。本试验中,直播稻最适播期为 SD2 处理(5月10日)。

#### 参考文献

- [1]郑盛华,陈红琳,朱孟琦,等.播期对川西平原直播稻光合特性和产量的影响.核农学报,2019,33(3):574-582.
- [2]Zhang Y P,Zhu D F,Xiong H,et al. Development and transition of rice planting in China. Agricultural Science and Technology,2012,13(6):1270-1276.
- [3]张文忠,苏悦,殷延勃,等.北方水稻直播栽培的农艺问题与对策.沈阳农业大学学报,2012,43(6):699-703.
- [4]张喜娟,来永才,孟英,等.种植方式对寒地粳稻生育期、产量和温度利用的影响.作物杂志,2017(5):124-128.
- [5]朱德峰,张玉屏,陈惠哲,等.中国水稻高产栽培技术创新与实践.中国农业科学,2015,48(17):3404-3414.
- [6]杜斌.直播播期对淮东北地区水稻不同类型品种综合生产力的影响.扬州:扬州大学,2010.
- [7]余鹏,李小华,叶胜海,等.播期对浙江省常规晚粳稻品种农艺性状及产量的影响.核农学报,2016,30(5):978-987.
- [8]姚义,霍中洋,张洪程,等.播期对不同类型品种直播稻生长特性的影响.生态学杂志,2010,29(11):2131-2138.

- [9]霍中洋,姚义,张洪程,等. 播期对直播稻光合物质生产特征的影响. 中国农业科学, 2012, 45(13):2592-2606.
- [10]孔飞扬,江立庚,文娟,等. 直播水稻产量、产量构成因子和干物质积累的变化特点及其相互关系. 华中农业大学学报, 2018, 37(5):11-17.
- [11]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.
- [12]刘国涛. 播期对淮地区机插水稻产量及稻米品质的影响. 扬州:扬州大学, 2015.
- [13]杨稚愚,汪汉林,邹应斌. 播种期对杂交水稻生育期和产量的影响. 耕作与栽培, 2004, 145(3): 18-20.
- [14]李秀芬,贾燕,黄元才,等. 播栽期对水稻产量和产量构成因素及生育期的影响. 生态学杂志, 2004, 23(5):98-100.
- [15]Balwinder-Singh, Humphreys E, Sudhir-Yadav, et al. Options for increasing the productivity of the rice-wheat system of north-west India while reducing groundwater depletion. Part 1. Rice variety duration, sowing date and inclusion of mungbean. Field Crops Research, 2015, 173(1):68-80.
- [16]Rajinder P, Mahajan G, Sardana V, et al. Impact of sowing date on yield, dry matter and nitrogen accumulation, and nitrogen translocation in dry-seeded rice in North-West India. Field Crops Research, 2017, 206(1):138-148.
- [17]邢志鹏,曹伟伟,钱海军,等. 播期对不同类型机插稻产量及光合物质生产特性的影响. 核农学报, 2015, 29(3):528-537.
- [18]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.
- [19]李杰,张洪程,龚金龙,等. 不同种植方式水稻高产栽培条件下的光合物质生产特征研究. 作物学报, 2011, 37(7):1235-1248.
- [20]霍中洋,杨雄,张洪程,等. 不同氮肥群体最高生产力水稻品种各器官的干物质和氮素的积累与转运. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5):1035-1045.
- [21]廖育林,鲁艳红,谢坚,等. 紫云英配施控释氮肥对早稻产量及氮素吸收利用的影响. 水土保持学报, 2015, 29(3):190-195, 201.
- [22]霍中洋,姚义,张洪程,等. 不同播期直播稻氮素吸收、利用效率的差异. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2012, 33(4):39-45, 71.
- [23]霍中洋,李杰,张洪程,等. 不同种植方式下水稻氮素吸收利用的特性. 作物学报, 2012, 38(10):1908-1919.
- [24]Liu H Y, Hussain S, Zheng M M, et al. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(1):285-294.
- [25]王春雨,余华清,何艳,等. 播栽方式与施氮量对杂交籼稻氮肥利用特征及产量的影响. 中国生态农业学报, 2017, 25(12):1792-1801.
- [26]罗盛国,周婷,尹宇龙,等. 寒地直播稻氮素积累与转运特征. 东北农业大学学报, 2015, 46(9):16-22.

## Effects of Sowing Dates on Yield, Dry Matter and Nitrogen Accumulation and Translocation in Organs after Anthesis of Direct Seeding Rice

Sun Qi, Geng Yanqiu, Jin Feng, Liu Lixin, Zheng Huantong, Guo Liying, Shao Xiwen

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China)

**Abstract** The present research aimed to explore effects of sowing date on yield of direct seeding rice, the accumulation and translocation of dry matter and nitrogen after anthesis. Direct seeding rice Baijing 1, Changbai 9 and Longjing 31 were used as experimental materials, and three sowing dates (SD1, SD2, SD3) were set up. The yield, the accumulation and translocation of dry matter and nitrogen at the heading and maturity stage under three different sowing dates were determined. The results showed that the dry matter and nitrogen accumulation of each organ of the three varieties at heading stage and maturity stage, the dry matter and nitrogen transport of each organ from heading to maturity stage are shown as SD2 > SD3 > SD1. Correlation analysis indicated that existed significant positive correlations between yield and dry matter accumulation at maturity stage, from heading to maturity stage, significant positive correlations between yield and dry matter translocation of leaf at maturity stage. Under the experimental condition, the delayed sowing date, the productive panicle number and seed setting rate of the varieties were increased, and enhanced the yield, increased dry matter translocation amount and translocation rate of each organ. The yield, accumulation amount of dry matter and nitrogen of all varieties were the highest under SD2 treatment, and the SD2 treatment was the suitable sowing date.

**Key words** Direct seeding rice; Sowing date; Yield; Dry matter; Nitrogen; Accumulation and translocation