

# 水条播对寒地水稻农艺性状和产量构成因素的影响

王鹤璎<sup>1</sup> 郭晓红<sup>1</sup> 张钦明<sup>2</sup> 马艳<sup>2</sup> 李猛<sup>3</sup> 姜红芳<sup>1</sup>  
胡月<sup>1</sup> 兰宇辰<sup>1</sup> 徐令旗<sup>1</sup> 郭洪涛<sup>1</sup> 吕艳东<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室, 163319, 黑龙江大庆;

<sup>2</sup> 山东省成武县农业局, 274200, 山东菏泽; <sup>3</sup> 牡丹江市农业技术推广总站, 157000, 黑龙江牡丹江)

**摘 要** 随着劳动力的短缺, 直播水稻具有省工省力的优点逐渐受到重视, 因此筛选适宜水条播(直播)的水稻品种是极其重要的。为此, 以29份寒地水稻为材料, 采用随机区组试验设计, 研究水条播对寒地水稻农艺性状、产量构成因素和产量的影响。结果表明, 水条播对寒地水稻单位面积穗数的影响为偏正向, 对株高、穗长、穗重、一次枝梗数、二次枝梗数、穗粒数、成粒率、千粒重、生物产量、经济系数和理论产量的影响都是偏负向的。水条播提高了穗重、一次枝梗数、二次枝梗数、单位面积穗数、穗粒数、成粒率、千粒重、生物产量、经济系数和理论产量的变异程度, 而千粒重的变异系数较小。穗重、成粒率和生物产量对水条播反应较敏感的材料, 一般其理论产量对水条播的反应也较敏感。

**关键词** 水稻; 水条播; 寒地; 农艺性状; 产量

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



水稻在我国粮食安全中占有极其重要的地位, 据统计, 水稻产量是全国粮食总产量的38%<sup>[1]</sup>。目前, 我国水稻种植大部分采用传统的人工育秧移栽的栽培方式, 育苗移栽的过程中耗费了较多的人力、物力资源。随着农村劳动力的流失、水资源短缺严重<sup>[2]</sup>, 传统的移栽种植模式已不能适应当前水稻生产发展的需要, 种植方式正向直播方式转变。直播技术的优势日益凸现, 直播稻的生产成本低、操作过程简便<sup>[3-4]</sup>, 用直播方式种植水稻不仅省去了育苗移栽的过程, 减轻了劳动强度, 节约了成本, 并且缓解了目前农村劳动力短缺等问题, 对实现水稻规模化生产具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。

水稻直播在国外很受认可, 美国水稻大部分采用直播方式<sup>[3,7-8]</sup>, 东南亚等地区也开始转变水稻种植模式, 由传统的人工育苗移栽模式向直播转型, 直播稻的种植面积逐年递增<sup>[9]</sup>。在中国, 直播水稻因省工高效且有利于机械化大面积种植, 在浙江一带发展迅速, 显示出巨大的发展潜力<sup>[10-15]</sup>。上海、江苏、广东、安徽等沿海地区直播稻面积迅速扩大,

部分地区直播已成为第一大稻作方式<sup>[16]</sup>。浙江部分地区早稻直播面积已达到早稻播种面积的80%以上<sup>[17]</sup>, 直播稻较移栽稻比重有进一步扩大的趋势。黑龙江省的直播稻种植面积也逐步上升, 根据调查, 2017年黑龙江省直播稻种植面积已占其水稻种植面积的近10%<sup>[18]</sup>。黑龙江位于寒地稻作区, 如何选用直播水稻品种是搞好直播稻生产非常重要的基础工作, 对实现直播稻高产、稳产、优质、高效至关重要<sup>[19]</sup>。水稻直播分为水直播和旱直播, 水直播又可分为穴播和条播两种播种方式。本研究选用黑龙江省寒地稻作区具有高产潜力的29个主栽水稻品种作为试验材料, 主茎叶片数为11或12, 以水稻产量构成因素和理论产量为分析对象, 对水稻水条播适应性进行系统研究, 以期对适合水条播水稻品种筛选提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选取29个主茎11或12片叶的寒地早粳稻品

作者简介: 王鹤璎, 主要从事水稻栽培研究, E-mail: whey949@163.com

郭晓红为通信作者, 主要从事水稻栽培研究, E-mail: guoxh1980@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0300502-6); 黑龙江省自然科学基金(C2017046); 黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(YJSCX2018-Y03)

收稿日期: 2019-05-08; 修回日期: 2019-09-29; 网络出版日期: 2019-11-06

种资源为材料，编号及品种名称见表 1。

表 1 供试材料及编号  
Table 1 Experiment materials and number

编号 Number	品种 Variety	编号 Number	品种 Variety
T01	绥粳 4 号	T16	垦粳 3 号
T02	绥粳 8 号	T17	龙粳 64 号
T03	绥粳 15 号	T18	龙粳 20 号
T04	绥粳 17 号	T19	龙粳 21 号
T05	垦鉴稻 5 号	T20	龙粳 47 号
T06	垦鉴稻 6 号	T21	龙粳 48 号
T07	垦稻 12 号	T22	龙粳 50 号
T08	垦稻 17 号	T23	龙粳 51 号
T09	垦稻 23 号	T24	龙粳 52 号
T10	垦粳 6 号	T25	龙粳 55 号
T11	龙庆稻 1 号	T26	龙粳 57 号
T12	龙庆稻 2 号	T27	龙粳 58 号
T13	龙庆稻 3 号	T28	龙粳 59 号
T14	龙庆稻 5 号	T29	龙粳 60 号
T15	龙庆稻 20 号		

1.2 试验设计

试验以水条播为处理，以旱育稀植为对照，对两者进行比较。试验土壤为草甸土，基本理化性质：碱解氮含量为 175.01mg/kg，有效磷含量为 26.45mg/kg，速效钾含量为 90.62mg/kg，有机质含量为 3.05%，土壤 pH 为 8.38。

试验于 2017 年在黑龙江省大庆市王家围子水田试验基地（东经 125°07′39.56″，北纬 46°40′49.03″）大田条件下进行。所在地属北温带大陆性季风气候区，水稻生育期平均气温 18.35℃，年降水量 476.1mm。5 月 3 日施底肥整地、封闭除草，5 月 5 日护苗种衣剂包衣，5 月 6 日浸种，5 月 13 日人工条播。行距 25cm，水条播芽谷，播量为 150kg/hm<sup>2</sup>；每品种 6 行，行长 8m；随机区组排列，3 次重复。对照 5 月 21 日插秧，行距 30cm，穴距 13.3cm。

1.3 调查指标

农艺性状及产量测定：水稻成熟时，每个品种的各处理选取连续的 25 穗，对照选取有代表性的植株 4 穴，考察农艺性状、产量构成因素及穗部性状。考察项目包括株高、单位面积穗数、穗长、穗重、稻草重、一次枝梗数、二次枝梗数、实粒数、空秕粒数等，并称得粒重，计算成粒率[实粒数/(实粒数+空秕粒数)×100%]、千粒重、理论产量（单位面积穗数×穗粒数×成粒率×千粒重）和经济系数（理论产量/生物产量）。

1.4 数据分析

水条播适应性反应指数(adaptive response index, ARI) = (水条播处理区性状表型值/对照区性状表型值) × 100%。ARI 值大小表明各品种对水条播反应的敏感程度，ARI 值越大，则说明对水条播的反应比较迟钝，否则相反。利用 Excel 2013 和 DPS 7.05 统计软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 水条播对寒地水稻株高和穗部性状的影响

2.1.1 水条播对寒地水稻株高的影响 水条播处理各品种的株高发生了变化（图 1），与旱育稀植相比，株高降低，80%≤ARI<90% 的材料有 9 份；90%≤ARI≤100% 的材料有 14 份；株高增加，ARI>100% 的材料有 6 份。结果表明，水条播对株高的影响具有双向性，ARI≤100% 的材料占参试材料总数的 79%，水条播对水稻株高的影响偏向于负向。

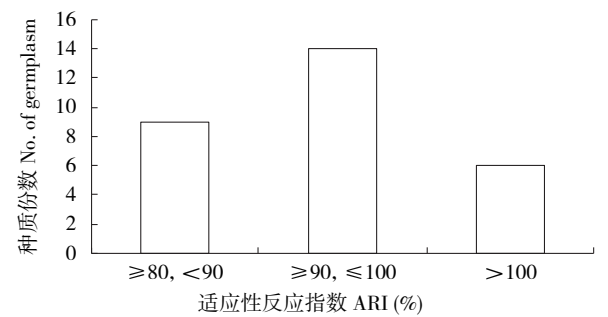


图 1 株高的水条播适应性反应指数分布  
Fig.1 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of plant height

供试品种在旱育稀植条件下株高的变异系数为 6.26%；水条播处理其变异系数为 7.43%；其 ARI 的变异系数为 6.96%（表 2）。水条播处理株高的变异系数大于旱育稀植，说明水条播增加了该性状的变异程度。

2.1.2 水条播对寒地水稻穗部性状的影响 水条播处理各品种的穗长发生了变化（图 2），与旱育稀植相比，穗长减小，ARI<80% 的材料仅有 1 份，80%≤ARI<90% 的材料有 10 份，90%≤ARI≤100% 的材料有 14 份；穗长增加，ARI>100% 的材料有 4 份。表明水条播对穗长的影响具有双向性，ARI≤100% 的材料占参试材料总数的 86%，水条播对水稻穗长的影响偏向于负向。

水条播处理各品种的穗重发生了变化（图 3），

表 2 旱育稀植和水条播处理性状的差异  
Table 2 Difference of traits under dry breeding seedlings and sparse planting and sowing in line under water

性状 Trait	旱育稀植 Dry breeding seedlings and sparse planting		水条播 Sowing in line under water		水条播适应性反应指数 ARI	
	平均 Mean	变异系数 CV(%)	平均 Mean	变异系数 CV(%)	平均 Mean	变异系数 CV(%)
株高 Plant height (cm)	98.0	6.26	91.6	7.43	93.6	6.96
穗长 Panicle length (cm)	18.3	10.33	16.9	10.12	92.5	8.12
穗重 Panicle weight (g)	1.98	14.89	1.70	20.67	86.4	19.17
一次枝梗数 Primary branches	10.2	11.92	10.2	14.84	100.0	11.31
二次枝梗数 Secondary branches	17.6	20.41	15.2	32.18	87.8	32.71

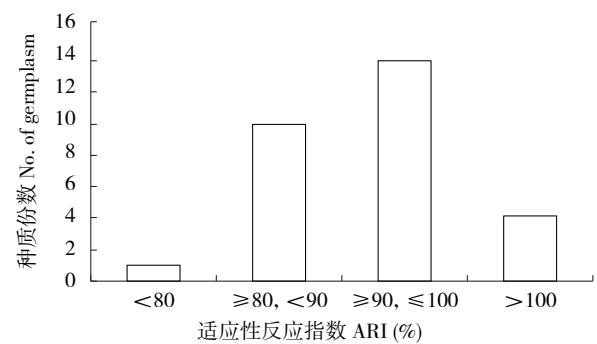


图 2 穗长的水条播适应性反应指数分布  
Fig.2 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of panicle length

与旱育稀植相比，穗重减小，ARI<80% 的材料有 12 份，80%≤ARI<90% 的材料有 7 份，90%≤ARI≤100% 的材料有 5 份；穗重增加，ARI>100% 的材料有 5 份。表明水条播对穗重的影响具有双向性，ARI≤100% 的材料占参试材料总数的 83%，水条播对水稻穗重的影响偏向于负向。

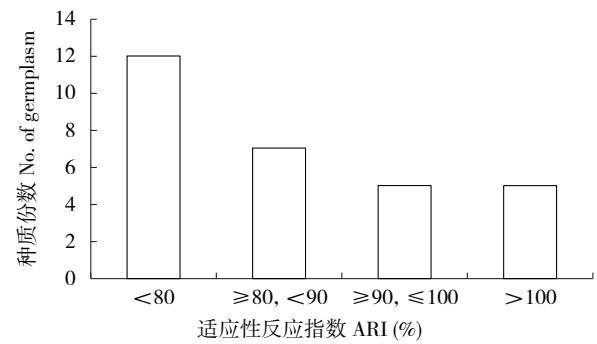


图 3 穗重的水条播适应性反应指数分布  
Fig.3 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of panicle weight

供试品种在旱育稀植条件下穗长和穗重的变异系数分别为 10.33% 和 14.89%；水条播处理其变异系数分别为 10.12% 和 20.67%；其 ARI 的变异系数分别为 8.12% 和 19.17%（表 2）。可见旱育稀植和水条播处理穗重的变异系数都大于穗长的变异系

数，说明穗重的稳定性比穗长的稳定性差；水条播处理穗长的变异系数小于旱育稀植条件下穗长的变异系数，说明水条播降低了该性状的变异程度；水条播处理穗重的变异系数大于旱育稀植条件下穗重的变异系数，说明水条播增加了该性状的变异程度；穗重 ARI 的变异系数大于穗长 ARI 的变异系数，说明穗重对水条播的反应更敏感。

水条播处理各品种的一、二次枝梗数发生了变化（图 4，图 5），与旱育稀植相比，一次枝梗数减少，ARI<80%、80%≤ARI<90% 和 90%≤ARI≤100% 的材料分别有 1、6 和 8 份；一次枝梗数增加，ARI>

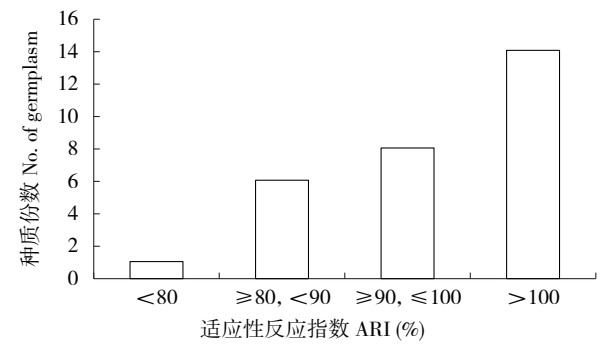


图 4 一次枝梗数的水条播适应性反应指数分布  
Fig.4 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of primary branches

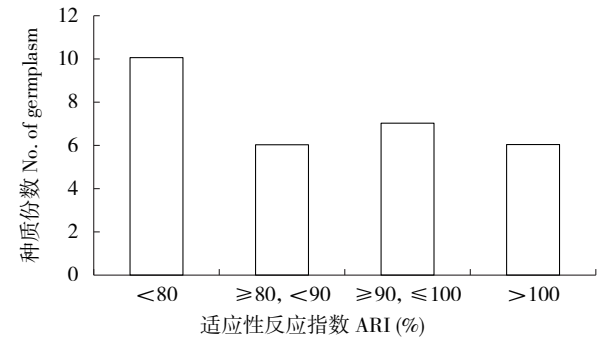


图 5 二次枝梗数的水条播适应性反应指数分布  
Fig.5 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of secondary branches

100% 的材料有 14 份,说明水条播对一次枝梗数的影响具有双向性,且以  $ARI \leq 100\%$  的材料最多,占参试材料总数的 52%,水条播对水稻一次枝梗数的影响偏向于负向。与旱育稀植相比,二次枝梗数减少,  $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 10、6 和 7 份;二次枝梗数增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 6 份。结果表明,水条播对二次枝梗数的影响具有双向性,且偏向负向影响。

供试品种在旱育稀植条件下一、二次枝梗数的变异系数分别为 11.92% 和 20.41%;水条播处理其

变异系数分别为 14.84% 和 32.18%;其 ARI 的变异系数分别为 11.31% 和 32.71% (表 2)。水条播处理一、二次枝梗数的变异系数均大于旱育稀植处理,说明水条播增加了该性状的变异程度。

从水条播处理各性状间相关关系(表 3 右上角)可见,穗重与一次枝梗数、二次枝梗数均呈极显著正相关,二次枝梗数与穗长呈显著正相关,二次枝梗数与一次枝梗数呈极显著正相关,且理论产量与穗重呈极显著正相关。由此可以推出,穗重较大的水稻种质具有相对较强的水条播适应性,穗重较小的水稻种质水条播适应性相对较弱。

表 3 水条播处理穗部性状与产量间及水条播适应性反应指数间相关关系  
Table 3 Correlation coefficients between panicle traits and yield and correlation coefficients among their ARI under sowing in line under water treatment

性状 Trait	穗长 Panicle length	穗重 Panicle weight	一次枝梗数 Primary branches	二次枝梗数 Secondary branches	理论产量 Theoretical yield
穗长 Panicle length	1	0.35	0.13	0.45*	0.08
穗重 Panicle weight	0.48**	1	0.58**	0.61**	0.56**
一次枝梗数 Primary branches	0.37*	0.62**	1	0.47**	0.22
二次枝梗数 Secondary branches	0.75**	0.55**	0.42*	1	0.19
理论产量 Theoretical yield	-0.06	0.40*	0.14	-0.13	1

注: “\*”, “\*\*” 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著。下同  
Note: “\*”, “\*\*” mean significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below

从水条播适应反应指数间相关关系(表 3 左下角)可见,理论产量的 ARI 与穗重的 ARI 呈显著正相关;穗重的 ARI 与一次枝梗数、二次枝梗数的 ARI 均呈极显著正相关;穗长的 ARI 与一次枝梗数、二次枝梗数的 ARI 呈显著或极显著正相关;二次枝梗数的 ARI 与一次枝梗数的 ARI 呈显著正相关。结果表明,穗重对水条播反应较敏感的材料,其理论产量对水条播的反应也较敏感;一次、二次枝梗数对水条播反应较敏感的材料,其穗重对水条播的反应也较敏感;一次、二次枝梗数对水条播反应较敏感的材料,其穗长对水条播的反应也较敏感;二次枝梗数对水条播反应较敏感的材料,其一次枝梗数对水条播的反应也较敏感,反之不够敏感。

2.2 水条播对水稻产量及产量构成因素的影响

2.2.1 水条播对水稻产量构成因素的影响 水条播处理各品种的单位面积穗数发生了变化(图 6),与旱育稀植相比,单位面积穗数减少,  $ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 1 和 6 份;单位面积穗数增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 22 份。结果表明,水条播对单位面积穗数的影响具有双向性,且以  $ARI > 100\%$  的材料居多,占参试材料总数的

76%,水条播对水稻单位面积穗数的影响偏向于正向。

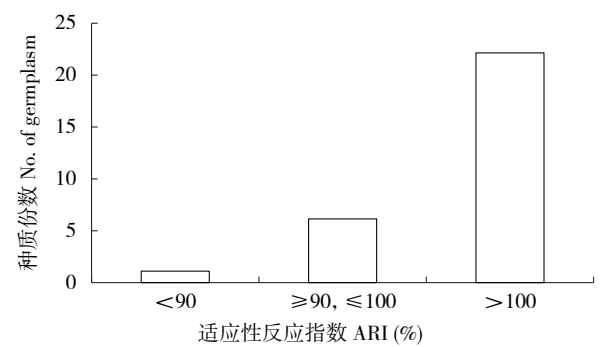


图 6 单位面积穗数的水条播适应性反应指数分布  
Fig.6 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of panicles per unit area

水条播处理各品种的穗粒数发生了变化(图 7),与旱育稀植相比,穗粒数减少,  $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 13、8 和 5 份;穗粒数增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 3 份。结果表明,水条播对穗粒数的影响具有双向性,且以  $ARI \leq 100\%$  的材料较多,占参试材料总数的 90%,水条播对水稻穗粒数的影响偏向于负向。



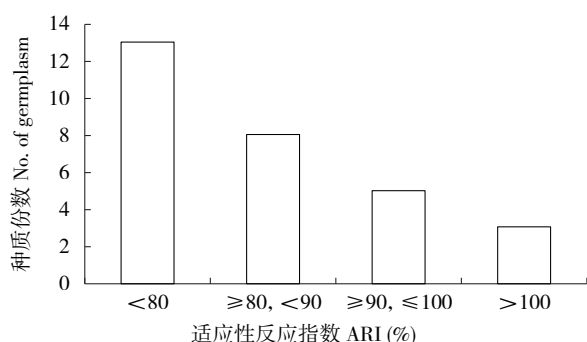


图 7 穗粒数的水条播适应性反应指数分布

Fig.7 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of grains per panicle

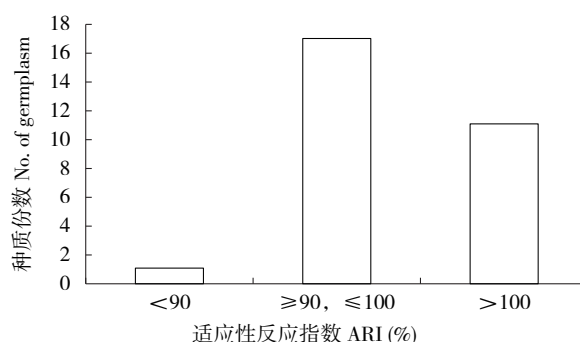


图 9 千粒重的水条播适应性反应指数分布

Fig.9 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of 1000-grain weight

水条播处理各品种的成粒率发生了变化 (图 8), 与旱育稀植相比, 成粒率降低,  $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 6、6 和 10 份; 成粒率增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 7 份。结果表明, 水条播对成粒率的影响具有双向性, 且以  $ARI \leq 100\%$  的材料居多, 占参试材料总数的 76%, 水条播对水稻成粒率的影响偏向于负向。

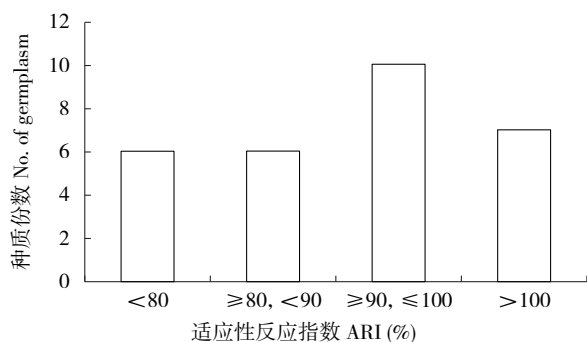


图 8 成粒率的水条播适应性反应指数分布

Fig.8 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of kernel setting rate

水条播处理各品种的千粒重发生了变化 (图 9), 与旱育稀植相比, 千粒重减小,  $ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 1 和 17 份; 千粒重增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 11 份。结果表明, 水条播对千粒重的影响具有双向性, 且以  $ARI \leq 100\%$  的材料居多, 占参试材料总数的 62%, 水条播对水稻千粒重的影响偏向于负向。

### 2.2.2 水条播对水稻生物产量和经济系数的影响

水条播处理各品种的生物产量发生了变化 (图 10), 与旱育稀植相比, 生物产量降低,  $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 5、7 和 10 份;  $ARI > 100\%$  的材料有 7 份。结果表明, 水条播对生物产量的影响具有双向性, 且以

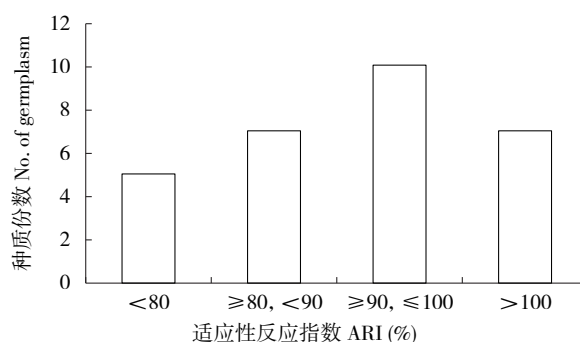


图 10 生物产量的水条播适应性反应指数分布

Fig.10 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of biological yield

$ARI \leq 100\%$  的材料居多, 占参试材料总数的 76%, 水条播对水稻生物产量的影响偏向于负向。

水条播处理各品种的经济系数发生了变化 (图 11), 与旱育稀植相比, 经济系数减小,  $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 4、5 和 10 份; 经济系数增加,  $ARI > 100\%$  的材料有 10 份。结果表明, 水条播对经济系数的影响具有双向性, 且以  $ARI < 100\%$  的材料居多, 占参试材料总数的 66%, 水条播对水稻生物产量的影响

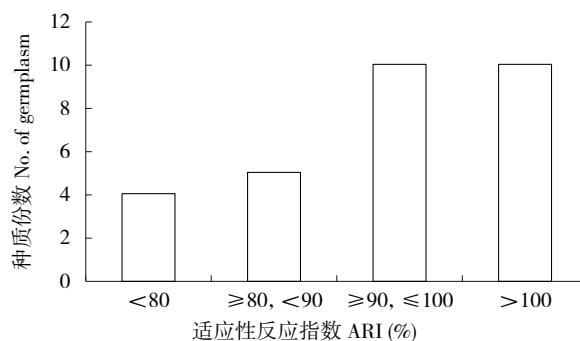


图 11 经济系数的水条播适应性反应指数分布

Fig.11 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of economic coefficient

偏向于负向。

2.2.3 水条播对水稻产量的影响 水条播处理各品种的理论产量发生了变化（图 12），与旱育稀植相

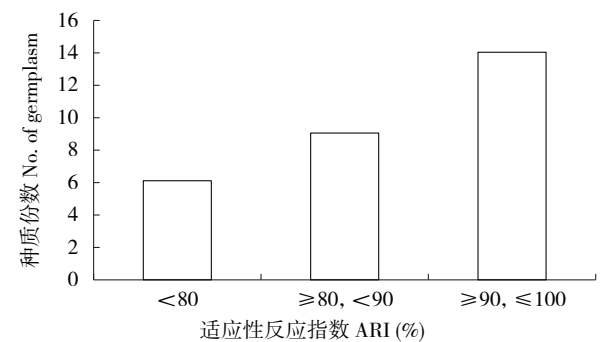


图 12 理论产量的水条播适应性反应指数分布  
Fig.12 Distribution of adaptive response index of sowing in line under water (ARI) of theoretical yield

比，水条播处理供试材料的理论产量降低， $ARI < 80\%$ 、 $80\% \leq ARI < 90\%$  和  $90\% \leq ARI \leq 100\%$  的材料分别有 6、9 和 14 份。结果表明，水条播对理论产量的影响偏向负向。

水条播处理单位面积穗数、穗粒数、成粒率、千粒重、生物产量、经济系数和理论产量的变异系数均大于旱育稀植条件下相应指标的变异系数，说明水条播增加了这些性状的变异程度。从水条播适应性反应指数的变异系数来看，单位面积穗数、穗粒数、成粒率、生物产量、经济系数和理论产量的变异系数较大，分别为 14.95%、15.75%、15.89%、17.33%、13.07% 和 14.01%，对水条播的反应较敏感；千粒重的变异系数较小，为 4.12%，对水条播的反应较迟钝（表 4）。

表 4 旱育稀植和水条播处理水稻产量及产量构成因素的差异  
Table 4 Difference of yield and yield components under dry breeding seedlings and sparse planting and sowing in line under water

性状 Trait	旱育稀植 Dry breeding seedlings and sparse planting		水条播 Sowing in line under water		适应性反应指数 ARI	
	平均 Mean	变异系数 CV(%)	平均 Mean	变异系数 CV(%)	平均 Mean	变异系数 CV(%)
单位面积穗数 Panicles per square meter	506.3	12.45	592.1	16.47	117.4	14.95
穗粒数 Grains per panicle	86.6	18.63	70.8	20.35	82.4	15.75
成粒率 Kernel setting rate (%)	81.2	12.44	74.6	16.08	92.5	15.89
千粒重 1000-grain weight (g)	26.5	5.29	26.2	7.55	98.6	4.12
生物产量 Biological yield (t/hm <sup>2</sup> )	18.6	11.88	17.1	15.38	93.0	17.33
经济系数 Economic coefficient	0.499	10.17	0.464	13.16	93.413	13.07
理论产量 Theoretical yield (t/hm <sup>2</sup> )	9.2	12.81	7.9	16.33	85.8	14.01

2.2.4 产量构成因素与产量之间的关系 从水条播处理各性状间相关关系（表 5 右上角）可见，理论产量与成粒率呈显著正相关，单位面积穗数与穗粒数呈显著负相关，成粒率与千粒重呈极显著正相关。结果表明，成粒率较高的水稻种质具有相对较

强的水条播适应性，反之相反。从水条播适应性反应指数间相关关系（表 5 左下角）可见，理论产量的 ARI 与成粒率的 ARI 呈极显著正相关，穗粒数的 ARI 和单位面积穗数的 ARI 呈极显著负相关。结果表明，成粒率对水条播反应较敏感的材料，其

表 5 水条播处理产量构成因素与产量间及水条播适应性反应指数间相关关系  
Table 5 Correlation coefficients between yield components and yield and correlation coefficients among their ARI under sowing in line under water treatment

性状 Trait	单位面积穗数 Panicles per square meter	穗粒数 Grains per panicle	成粒率 Kernel setting rate	千粒重 1000-grain weight	理论产量 Theoretical yield
单位面积穗数 Panicles per square meter	1	-0.37*	-0.36	-0.28	0.04
穗粒数 Grains per panicle	-0.53**	1	-0.32	-0.35	0.31
成粒率 Kernel setting rate	-0.34	-0.19	1	0.49**	0.45*
千粒重 1000-grain weight	-0.07	-0.05	-0.09	1	0.32
理论产量 Theoretical yield	0.03	0.33	0.51**	0.06	1

理论产量对水条播的反应较敏感，反之相反。

从水条播处理各性状与水条播适应性反应指数间相关关系（表 6）可见，产量构成因素的 ARI 与

其自身的表型值均呈极显著正相关。说明产量构成因素对水条播的反应程度与其自身性状的表型值大小联系密切。

表 6 水条播处理产量构成因素和产量的表型值与其水条播适应性反应指数间相关关系  
Table 6 Correlation coefficients between panicle traits and yield phenotypic values and their ARI under sowing in line under water treatment

性状 Trait	单位面积穗数 Panicles per square meter	穗粒数 Grains per panicle	成粒率 Kernel setting rate	千粒重 1000-grain weight	理论产量 Theoretical yield
单位面积穗数 Panicles per square meter	0.67**	-0.23	-0.47**	-0.14	-0.11
穗粒数 Grains per panicle	-0.27	0.48**	-0.03	-0.31	0.13
成粒率 Kernel setting rate	-0.15	-0.16	0.64**	0.40*	0.50**
千粒重 1000-grain weight	-0.08	-0.12	0.09	0.76**	0.15
理论产量 Theoretical yield	0.15	0.16	0.13	0.28	0.62**

2.2.5 生物产量和经济系数与产量的关系 理论产量与生物产量和经济系数在 0.01 水平上均呈极显著正相关，相关系数分别为 0.60 和 0.54。结果表明，生物产量和经济系数较高的水稻种质具有相对较强的水条播适应性，反之水条播适应性较弱。理论产量的 ARI 与生物产量的 ARI 在 0.01 水平上呈极显著正相关，相关系数为 0.58，结果表明，生物产量对水条播反应较敏感的材料，其理论产量对水条播的反应较敏感，反之相反。

3 讨论

水稻直播在黑龙江省种植面积逐年增大。直播作为一项轻简化栽培技术，种植过程中省去了常规育苗移栽的环节，不仅可以减少移栽过程中的伤苗伤根，还能解决劳动力不足等问题，从而节省支出提高经济效益。关于水稻直播的播种量、播种时期、播种密度及肥料等对直播稻群体构建和产量形成的影响前人做了大量研究<sup>[20-26]</sup>。然而，水稻的品种选择也是制约直播稻产量潜力的重要因素，品种的优劣直接影响生育各进程以及最终产量。目前，有关水稻与水条播相适应的品种选择方面的研究鲜有报道。水稻品种的选择是直播栽培成功最重要的一项因素，由于直播与移栽对品种的选择标准并不一致，如何选择适宜水条播栽培的品种是目前生产上面临的重要问题。大田栽培上一般选用的水稻品种是在直播条件下具有较好适应性和产量表现最优的移栽稻品种或组合<sup>[27]</sup>。根据黑龙江省的情况选择在本地推广的移栽优质水稻品种，不同的水稻品种通过农艺性状及产量构成因素进行水条播适应性试验，从中筛选适宜黑龙江省水稻水条播的优良种质资源，同时也可作为亲本的选择依据进行育种工作，对促进现代农业的轻简化栽培、高效优质育种保证粮食安全生产具有重要的科学和实践意义。本研究结果

表明，水条播提高了水稻品种的穗重、一次枝梗数、二次枝梗数、单位面积穗数、穗粒数、成粒率、千粒重、生物产量、经济系数和理论产量的变异程度，减少了穗长的变异程度。单位面积穗数、穗粒数、成粒率、生物产量、经济系数和理论产量的变异系数较大，对水条播的反应较敏感，千粒重的变异系数较小，对水条播的反应较迟钝。穗重 ARI 的变异系数大于穗长 ARI 的变异系数，说明穗重对水条播的影响反应更敏感。二次枝梗数对水条播反应较敏感的材料，其一次枝梗数对水条播的反应也较敏感。成粒率对水条播反应较敏感的材料，其理论产量对水条播的反应较敏感。产量构成因素对水条播的反应程度与其自身性状的表型值大小联系密切。理论产量的水条播适应性反应指数变异系数较大，说明其对水条播的反应较敏感。生物产量对水条播反应较敏感的材料，其理论产量对水条播的反应也较敏感。

4 结论

综上所述，在水条播条件下，穗重、成粒率和生物产量对水条播反应较敏感的材料，一般其理论产量对水条播的反应也较敏感。穗重较大、成粒率较高、生物产量较高和经济系数较大的水稻种质具有相对较强的水条播适应性。

参考文献

[1]唐海明,肖小平,逢焕成,等. 双季稻区不同栽培方式对水稻光合生理特性、粒叶比及产量的影响. 中国农业大学学报,2015,20(4): 48-56.  
[2]郑洪帆. 不同直播栽培方式对水稻生长发育特性及产量形成的影响. 雅安:四川农业大学,2012.  
[3]金千瑜,欧阳由男,陆永良,等. 我国南方直播稻若干问题及其技术对策研究. 中国农学通报,2001,17(5):44-48.  
[4]李旭毅,池忠志,姜心禄,等. 成都平原水稻直播方式对出苗状况及产量形成的影响. 中国农学通报,2015,31(9):51-55.  
[5]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.  
[6]罗锡文,刘涛,蒋恩臣,等. 水稻精量穴直播播种轮的设计与试验.

- 农业工程学报, 2007, 23(3): 108–112.
- [7] 邹应斌, 李克勤, 任泽民. 水稻的直播与免耕直播栽培研究进展. 作物研究, 2003(1): 52–59.
- [8] 王洋, 张祖立, 张亚双, 等. 国内外水稻直播种植发展概况. 农机化研究, 2007(1): 48–50.
- [9] 杜娟, 刘国华. 水稻栽培方式研究进展. 作物研究, 2007(S1): 593–597.
- [10] 冯跃华, 邹应斌, 王淑红, 等. 免耕对土壤理化性状和直播稻生长及产量形成的影响. 作物研究, 2004(3): 137–140.
- [11] 张祖建, 谢成林, 谢仁康, 等. 苏中地区直播水稻的群体生产力及氮肥运筹的效应. 作物学报, 2011, 37(4): 677–685.
- [12] 张银平, 杜瑞成, 刁培松, 等. 山东省水稻免耕旱直播试验及可行性分析. 农业工程学报, 2016, 32(12): 24–30.
- [13] 李艳大, 叶厚专, 古新序, 等. 江西水稻种植机械化的现状与发展趋势分析. 中国农机化, 2012(5): 13–16.
- [14] 孙海正. 直播栽培在黑龙江省水稻生产中的应用与技术措施. 中国种业, 2012(2): 60–61.
- [15] 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.
- [16] 吴文革, 陈烨, 钱银飞, 等. 水稻直播栽培的发展概况与研究进展. 中国农业科技导报, 2006, 8(4): 32–36.
- [17] 俞法明, 杨曙东, 金庆生, 等. 早籼稻直播适应性种质的筛选研究. 中国农学通报, 2013, 29(36): 59–62.
- [18] 谭可菲, 刘传增, 马波, 等. 黑龙江西部直播水稻适宜品种筛选. 中国稻米, 2019, 25(1): 105–107.
- [19] 朱傅祥, 戴凌云, 郭登兄, 等. 不同水稻品种直播产量及其构成因素比较. 安徽农业科学, 2018, 46(18): 39–41.
- [20] 刘元英, 吴振雨, 彭显龙, 等. 养分管理对寒地直播稻生长发育及产量的影响. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 1–8.
- [21] 赵田芬, 韩根成, 沈庆雷. 不同播期对直播稻株型及穗部性状影响的研究. 中国稻米, 2014, 20(6): 78–80.
- [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] 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.
- [24] 霍中洋, 姚义, 张洪程, 等. 不同生育期温光条件对直播稻产量的影响. 核农学报, 2012, 26(7): 1043–1052.
- [25] 王美娥, 钟宗石, 陈明, 等. 机直播稻不同播期分蘖特性及其与产量构成的关系. 安徽农业科学, 2015, 43(27): 55–57.
- [26] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 播期对麦茬直播粳稻产量及品质的影响. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3098–3107.
- [27] 袁志章, 胡祝祥, 华荣. 直播稻生产现状与应用前景分析. 农业科技通讯, 2009(1): 89–92.

## Effects of Sowing in Line under Water on Agronomic Characters and Yield Components of Rice in Cold Region

Wang Heying<sup>1</sup>, Guo Xiaohong<sup>1</sup>, Zhang Qinming<sup>2</sup>, Ma Yan<sup>2</sup>, Li Meng<sup>3</sup>, Jiang Hongfang<sup>1</sup>,  
Hu Yue<sup>1</sup>, Lan Yuchen<sup>1</sup>, Xu Lingqi<sup>1</sup>, Guo Hongtao<sup>1</sup>, Lü Yandong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation Technology and Crop Germplasm Improvement in Heilongjiang Province, Daqing 163319, Heilongjiang, China;

<sup>2</sup>Agricultural Bureau of Chengwu County of Shandong Province, Heze 274200, Shandong, China; <sup>3</sup>Agricultural Technology Extension Station of Mudanjiang, Mudanjiang 157000, Heilongjiang, China)

**Abstract** In recent years, with the shortage of labor, the advantages of saving labor of direct seeding rice have gradually received attention, so it is extremely important to choose rice varieties suitable for sowing in line under water (direct seeding). To this end, using 29 rice varieties from cold region as materials, the effects of sowing in line under water on agronomic traits, yield components and yield of rice in cold region were studied by randomized block design. The effects of sowing in line under water on panicle number per unit area of rice in cold region was positive, the effects on plant height, panicle length, panicle weight, number of primary branches, number of secondary branches, number of grains per panicle, grain formation rate, 1000-grain weight, biological yield, economic coefficient and theoretical yield were negative. Sowing in line under water increased the variability of panicle weight, primary branch number, secondary branch number, panicle number per unit area, grain number per panicle, grain formation rate, 1000-grain weight, biological yield, economic coefficient and theoretical yield, while the variation coefficient of 1000-grain weight was smaller, and its response to sowing in line under water was slow. The response of panicle weight, grain formation rate and biomass to sowing in line under water was more sensitive, and the response of theoretical yield to sowing in line under water was also more sensitive.

**Key words** Rice; Sowing in line under water; Cold region; Agronomic traits; Yield