

研究报告

Research Report

江淮稻区主要育成粳稻品种的耐淹性分析

迟铭 刘艳 邢运高 孙志广 徐波 卢百关 方兆伟 陈庭木 杨波 刘金波 李健 宋兆强 王宝祥 徐大勇*

江苏连云港市农业科学院, 江苏省现代作物生产协同创新中心, 连云港, 222006

* 通信作者, xudayong3030@sina.com

摘要 选择 4 个生态类型的 95 份水稻品种, 采用试管内种子耐淹萌发试验和模拟大田种子耐淹萌发试验两种不同试验方法进行耐淹性鉴定, 以水淹状态下种质萌发 7 d 的胚芽鞘长度作为调查指标, 结果表明: (1)不同的水稻品种在缺氧萌发时其胚芽鞘长度存在广泛差异。(2)两种耐淹性试验分析比较发现, 模拟大田试验方法与试管内种子耐水淹方式的种子芽鞘伸长长度差异较大, 模拟大田耐水淹试验结果表明芽鞘伸长受抑制主要是由于产生的低温环境造成的。(3)两种处理结果表明连粳 9 号、盐粳 7 号、连粳 7 号和连粳 15 号等水稻品种具有既耐低氧又耐低温特性, 可作为本稻区直播水稻品种。

关键词 江淮稻区, 粳稻, 耐淹, 筛选方法

Analysis for Rice Submergence Seedling of Japonica Varieties in Jiang-Huai Region

Chi Ming Liu Yan Xing Yungao Sun Zhiguang Xu Bo Lu Baiguan Fang Zhaowei Chen Tingmu Yang Bo Liu Jinbo Li Jian Song Zhaoqiang Wang Baoxiang Xu Dayong*

Lianyungang Agriculture Science Institute, Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Corp Production, Lianyungang, 222006

* Corresponding author, xudayong3030@sina.com

DOI: 10.5376/mpb.cn.2020.18.0042

Abstract The seed tolerance to anoxia were analyzed in vitro germination tolerance in tubes and under soil-media in order to simulate the field environment .Coleoptile length of seedlings under anoxia situation for 7 days as survey indicator among 95 rice varieties with 4 ecological types. Results show that: (1) the coleoptile length among different rice varieties had rich variatio. (2) the germination of rice seeds in the two kinds of flooding methods in vitro and soil medium is very different. The most significant inhibition of seed scabbard growth under soil-media is the low temperature environment of soil medium after flooding to seed germination. (3) Tthe rice varieties of Lianjing 9, Yanjing 7, Lianjing 7, Lianjing 15 had high tolerance to low temperature and anoxia through two methods,which provide the direct seedling cultivars for the local rice area.

Keywords Jianghuai rice area, Japonica rice, Submergence, Screening method

近年来, 随着条纹叶枯病在江淮地区对秧苗造成危害逐渐加重、农村劳动力紧张以及粮食生产效率不高等原因, 具有显著的省工、省力、高效、利于机械化操作等优点的直播稻越来越受到青睐, 推广

本文首次发表在《分子与植物育种》上, 现依据版权所有人授权的许可协议, 采用 Creative Commons Attribution License, 协议对其进行授权, 再次发表与传播

收稿日期: 2020 年 10 月 14 日; 接受日期: 2020 年 10 月 14 日; 发表日期: 2020 年 10 月 21 日

引用格式: 迟铭, 刘艳, 邢运高, 孙志广, 徐波, 卢百关, 方兆伟, 陈庭木, 杨波, 刘金波, 李健, 宋兆强, 王宝祥, 徐大勇, 2020, 江淮稻区主要育成粳稻品种的耐淹性分析, 分子植物育种(网络版), 18(42): 1-10 (doi: 10.5376/mpb.cn.2020.18.0042) (Chi M., Liu Y., Xing Y.G., Sun Zh.G., Xu B., Lu B.G., Fang Z.W., Chen T.M., Yang B., Liu J.B., Li J., Song Z.Q., Wang B.X., and Xu D.Y., 2020, Analysis for rice submergence seedling of Japonica varieties in Jiang-huai region, Fengzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding (online)), 18(42): 1-10 (doi: 10.5376/mpb.cn.2020.18.0042))

面积较快 (张涛等, 2008; 卢百关等, 2009; 陈雪飞等, 2018)。直播稻的播种方式和栽培措施不同于移栽稻, 因此直播品种的选择将直接影响到稻谷的产量和品质。当前直播稻生产上全部采用移栽稻品种, 直播品种的筛选上既要适于直播环境, 又有适当的熟期, 因此适于直播的水稻品种数量有限, 难以满足不同的生态地域或直播生产。随着水稻直播技术日益推广, 稻田灌溉、排水设施的的不健全, 稻田水环境控制不理想, 直播后的水稻种子存在田间遭遇不良气候的风险, 因此直播稻在生产中除了缺少直播稻可用品种, 还存在着播种后易水淹全苗难、易倒伏等弊端, 对直播稻产量影响较大。低温和低氧是影响直播稻出苗率的主要不良环境因素, 国内外学者研究发现不同水稻品种之间的耐低温、低氧能力差异明显 (Gibbs et al., 2000; Miura et al., 2004; 覃宝祥等, 2015; 王慧, 2017)。已有研究表明, 耐缺氧种质资源的胚芽鞘通常比不耐缺氧种质资源的胚芽鞘更长, 淹水发芽时胚芽鞘的长度可以直接反应水稻的耐淹性 (Magneschi et al., 2009), Fujino 等 (2004) 研究发现, *Italica Livorno* 和 *Hayamasari* 两品种在低温发芽能力方面存在巨大差异, 15°C 条件下 7 天的种子萌发率分别为 98.7% 和 26.8%。因此, 在低温、低氧不良环境下, 适于直播的水稻品种逆境萌发和成苗能力应强于一般水稻品种。

全苗匀苗是直播稻能否高产的关键, 除了可以通过耕作措施和种子包衣等处理技术来提高出苗率外 (李珣等, 2013; 姜心禄等, 2017), 从育种源头改良直播稻品种萌发期对逆境的适应性, 是解决直播稻出苗率的关键。研究通过不同试验方法对水稻种质进行耐淹性鉴定, 以期筛选出耐淹能力较好的种质, 为该稻区直播稻品种的选育提供理论参考。

1 结果与分析

1.1 试管内水稻种子耐淹能力测定

95 份水稻品种平均芽鞘长度为 4.13 ± 0.51 cm,

表 1 4 个生态类型品种试管内幼苗耐淹能力测定试验芽鞘长度的遗传变异

Table 1 The genetic variation of coleoptile length for four ecotypes under the flooding in tubes

生态类型 Ecotype	芽鞘长度(cm) Coleoptile length (cm)	遗传变异系数(%) Genetic coefficient of variation (%)
I	4.34 ± 0.67	15.4
II	4.04 ± 0.58	14.4
III	4.00 ± 0.56	14.0
IV	4.01 ± 0.33	0.80

全部萌发。试管内缺氧条件下水稻品种芽鞘长度在 2.77 ± 0.56 cm~ 5.70 ± 0.47 cm 之间, 其中芽鞘最短品种是扬粳 687, 最长的是连粳 446, 表明水稻品种间耐淹能力存在较大的变异范围。

试验结果表明, 试管内缺氧条件下品种间芽鞘长度的变异范围较大, 生态型 I、II、III、IV 芽鞘长度的次数分布 (图 1)。四个生态类型芽鞘长度 (表 1) 分别为: 中熟中粳 (I) 4.34 ± 0.67 cm, 迟熟中粳 (II) 4.04 ± 0.58 cm, 早熟晚粳 (III) 4.00 ± 0.56 cm, 中熟晚粳 (IV) 4.01 ± 0.33 cm。生态型 I、II、III、IV 的遗传变异系数分别为 15.4%、14.4%、14.0%、0.80% (表 1)。中熟中粳 (I) 生态型的幼苗耐水淹能力在四个不同生态型群体中遗传变异系数相对较高, 中熟中粳、迟熟中粳这两种生态型的芽鞘长度主要集中在 3.5~5.0 cm 之间, 在一定程度亦说明中熟中粳、迟熟中粳这两种类型品种耐淹能力高于其他生态型 (图 1)。

1.2 模拟大田水稻种子耐淹能力测定

模拟大田水稻种子耐淹能力测定试验中, 95 份水稻品种平均芽鞘长度为 2.68 ± 0.31 cm, 全部萌发。水稻品种芽鞘长度在 1.93 ± 0.3 cm~ 3.31 ± 0.22 cm 之间, 其中芽鞘最短品种是淮稻 13 号, 最长的是连粳 9 号, 也表明水稻品种间耐淹能力变异范围较大。

试验结果表明, 模拟大田耐淹试验中四个生态

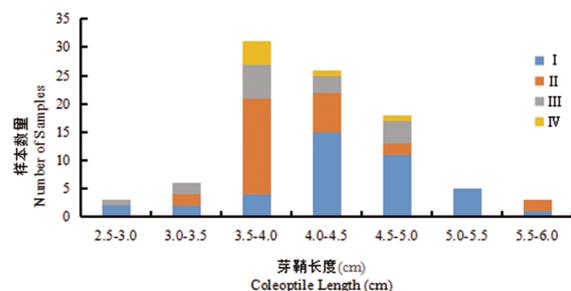


图 1 4 个生态类型品种试管内幼苗耐淹能力测定试验芽鞘长度的次数分布

Figure 1 Frequency distribution of coleoptile length in four types of rice varieties under waterlogged conditions in tubes

续表 3
Continuing table 3

生态型 Ecotype	品种 Varieties	试管内幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)	品种 Varieties	试管内幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)
	苏粳 2 号	2.97±0.52	2.71±0.37	0.26	盐粳 6 号	4.34±0.44	2.58±0.38	1.76				
	Sujing 2				Yanjing 6							
	连粳 5 号	4.66±0.74	2.65±0.32	2.01	盐糯 12	4.30±0.42	2.50±0.35	1.8				
	Lianjing 5				Yannuo 12							
	淮优粳 2 号	4.78±0.39	2.72±0.39	2.06	盐粳 7 号	4.28±0.51	3.27±0.25	1				
	Huayoujing 2				Yanjing 7							
	连粳 9 号	4.47±0.74	3.31±0.22	1.16	淮稻 2 号	4.76±0.46	2.36±0.11	2.4				
	Lianjing 9				Huaidao 2							
	盐稻 6 号	3.77±0.39	2.43±0.24	1.34	临稻 11 号	3.46±0.80	3.11±0.33	0.35				
	Yandao 6				Lindao 11							
	临稻 18	5.06±0.61	2.61±0.35	2.45	郑稻 18	4.60±0.34	2.79±0.33	1.81				
	Lindao 18				Zhengdao 18							
	连粳 15 号	4.99±0.61	3.26±0.54	1.73								
	Lianjing 15											
迟熟中粳 II	南粳 36	4.12±0.63	2.09±0.18	2.03	武运粳 11 号	3.76±0.77	3.00±0.32	0.76				
Later maturing	Nanjing 36				Wuyunjing 11							
medium japonica	淮稻 10 号	3.74±0.59	2.99±0.50	0.75	新稻 18	3.89±0.74	2.38±0.19	1.5				
rice variety II	Huaidao 10				Xindao 18							
	淮稻 11 号	5.58±0.51	2.10±0.32	3.48	南粳 45	3.95±0.51	3.10±0.73	0.85				
	Huaidao 11				Nanjing 45							
	淮稻 9 号	4.46±0.52	2.80±0.36	1.66	扬农粳 2 号	3.66±0.44	2.49±0.42	1.17				
	Huaidao 9				Yangnongjing 2							
	淮糯 12	3.73±0.63	2.67±0.27	1.06	淮稻 13 号	4.36±0.55	1.93±0.30	2.43				
	Huainuo 12				Huaidao 13							
	扬辐粳 8 号	3.34±0.57	2.77±0.45	0.57	淮稻 7 号	3.75±0.48	2.85±0.23	0.89				
	Yangfujing 8				Huaidao 7							
	华粳 3 号	3.76±0.43	2.73±0.28	1.03	华粳 4 号	3.78±0.47	2.71±0.35	1.06				
	Huajing 3				Huajing 4							

续表 3
Continuing table 3

生态型 Ecotype	品种 Varieties	试管内幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)	品种 Varieties	试管内幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)
		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)	芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)	芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)	芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)							
	扬粳 9538	3.55±0.56	2.14±0.27	1.41	盐粳 10 号	3.98±0.55	2.37±0.26	1.61				
	Yangjing 9538				Yangjing 10							
	连粳 446	5.70±0.47	3.09±0.35	2.61	南粳 41	3.42±0.59	2.82±0.17	0.6				
	Lianjing 446				Nanjing 41							
	南粳 40	3.59±0.89	2.51±0.12	1.08	泗稻 10 号	3.18±0.62	2.67±0.39	0.51				
	Nanjing 40				Sidao 10							
	盐粳 5 号	3.99±0.47	2.62±0.31	1.37	盐粳 2 号	3.52±0.47	2.85±0.41	0.66				
	Yangjing 5				Yangjing 2							
	镇稻 2 号	4.43±0.40	2.87±0.18	1.56	扬粳糯 1 号	4.24±0.64	2.82±0.37	1.41				
	Zhendao 2				Yangjingnuo 1							
	盐稻 7 号	3.87±0.52	3.27±0.31	1.61	新稻 10 号	4.13±0.56	2.42±0.30	1.71				
	Yandao 7				Xindao 10							
	临稻 10 号	4.31±0.41	2.77±0.22	1.54	盐稻 10 号	4.49±0.61	2.84±0.52	1.65				
	Lindao 10				Yandao 10							
	盐稻 9 号	4.52±0.56	2.94±0.42	1.58	盐稻 15	3.51±0.64	2.59±0.31	0.93				
	Yandao 9				Yandao 15							
	盐粳 4 号	4.13±0.48	2.59±0.29	1.54	武运粳 8 号	3.58±0.32	2.54±0.27	1.04				
	Yangjing 4				Wuyunjing 8							
	武育粳 3 号	4.69±0.31	2.62±0.52	2.05								
	Wuyujing 3											
早熟晚粳 III	香糯 8333	4.78±0.30	2.65±0.35	2.13	常农粳 4 号	4.10±0.36	2.42±0.24	1.66				
Early maturity late	Xiangnuo 8333				Changnongjing 4							
Japonica rice	宁粳 1 号	3.89±0.48	3.05±0.41	0.84	南粳 44	3.31±0.49	2.46±0.17	0.84				
variety III	Ningjing 1				Nanjing 44							
	宁粳 3 号	4.32±0.56	2.45±0.15	1.89	扬粳 4227	3.76±0.61	2.38±0.27	1.34				
	Ningjing 3				Yangjing 4227							
	武运粳 7 号	3.62±0.57	1.93±0.34	1.69	武 2401	4.99±0.46	2.10±0.34	2.82				
	Wuyunjing 7				Wu 2401							

续表 3
Continuing table 3

生态型 Ecotype	品种 Varieties	试管内幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		品种 Varieties	芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)		土壤介质幼苗 耐淹芽长(cm) Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		芽长降低值(cm) Reduction of bud length (cm)
		Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)	Coleoptile length under anoxia in soil (cm)	Coleoptile length under anoxia in vitro (cm)	Coleoptile length under anoxia in soil (cm)		Reduction of bud length (cm)	Reduction of bud length (cm)			
	扬粳 4038	2.97±0.87	2.46±0.30	0.51	2.60±0.31	镇稻 18	4.58±0.54	1.98			
	Yangjing 4038					Zhendao 18					
	武香粳 14	3.89±0.31	2.60±0.37	1.31	2.36±0.24	富友 33	3.82±0.56	1.46			
	Wuxiangjing 14					Fuyou 33					
	武育粳 7 号	4.05±0.37	2.42±0.23	1.65	2.95±0.35	武粳 15	3.50±0.40	0.56			
	Wuyujing 7					Wujing 15					
	武香粳 1 号	3.75±0.40	2.24±0.26	1.46							
	Wu xiangjing 1										
中熟晚梗IV	武育粳 18 号	3.82±0.76	2.37±0.25	1.45	2.71±0.46	南粳 43	4.53±0.25	1.81			
Medium maturing	Wuyujing 18					Nanjing 43					
late japonica	南粳 46	4.36±0.43	2.29±0.38	2.07	2.47±0.17	秀水 33	3.82±0.15	1.35			
rice variety IV	Nanjing 46					Xiushui 33					
	苏香粳 2 号	3.93±0.48	2.92±0.29	1.01	2.11±0.29	华粳 40	3.77±0.35	1.66			
	Suxiangjing 2					Huajing 40					

表 4 试管内种子耐淹萌发试验和土壤介质种子耐淹萌发试验的环境因素的比较
Table 4 Comparison of environmental settings for the flooding in tubes and soil medium

试验方法 Test method	芽鞘长度(cm) Coleoptile length (cm)	水淹方式 Flooding mode	温度均值 Mean temperature		光照 Illumination	水淹深度 Submergence depth	萌发介质 Germination medium
			环境 Environment	气温(°C) Air temperature (°C)			
试管内种子耐淹萌发试验 The rice seed under anoxia in tubes	4.15±0.54	试管内水淹环境 Submerged environment in test tube	室内 Indoors	25	25	20 cm 水层 20cm water depth	水 Water
模拟大田种子 耐淹萌发试验 The rice seed under anoxia under soil-media	2.66±0.33	土壤介质内水淹环境 Waterlogged environment in soil medium	室内 Indoors	25	18.2	5cm 水层+1cm 土层 5cm water depth and 1cm soil-media	覆土, 水 soil-media, water

子中贮藏大量淀粉、脂肪和蛋白质等营养物质,当种子萌发时,作为幼胚生长的营养物质,在水淹状态时,只有种子胚芽鞘快速生长,不需要进行光合作用,所以光照对水稻幼苗无显著性影响。

本试验研究表明,在模拟大田的试验中土壤介质对种子耐淹萌发试验的平均芽鞘长度短 1.45 cm 左右,说明种子萌发时的低温环境是抑制芽鞘生长的重要原因。

2 讨论

直播稻高产除了具备优异的农艺性状外,还应兼备一些特殊的生理生态特性,如在水淹状态或者深土环境下较强的发芽特性(杨平, 2015)。孙凯等(2019)研究指出,芽鞘长度与耐淹成苗率呈极显著正相关。因此,本试验将水稻在耐淹环境下芽鞘长度作为主要研究指标。

本试验结果表明,不同生态型水稻的耐淹性存在差异,中熟中粳类型水稻品种综合耐低温和耐缺氧能力较强。江淮地区由于播种后,易遭遇低温天气,尤其直播稻田遭遇水淹之后,直播稻耐淹育种必须要综合水稻低氧萌发和低温萌发双重胁迫的抗性。曹微(2018)等研究发现低温和低氧抗性这两个性状在遗传上没有明显的连锁关系,相关系数非常低,但是也有部分品种能够同时具备较好的低温和低氧萌发耐受条件。

本试验通过两种耐淹试验方法比较分析发现,模拟大田耐水淹试验方法更接近田间水稻直播状态,可同时筛选兼具耐低氧和耐低温特性的水稻品种。

在模拟大田水淹和试管内水淹环境下幼苗耐淹能力测定来看,两组实验数据表明连粳 15 号和盐粳 7 号等等品种具有较好的耐淹能力,尤其连粳 15 号,还具有熟期早、抗性好等优点,育成后作为直播稻推广面积较快。连粳 15 号的亲本之一为连粳 446,该品系是由籼稻与连粳 3 号杂交选育而成的,籼稻又叫水塘稻是中国江淮地区特有水稻资源,主要分布在江苏连云港市云台山地区及其周围的稻田、水塘、沟边等(魏兴华等, 2004),表现较好的耐水淹特性,在两组耐淹试验中,其芽鞘长度平均值分别为 5.7 cm 和 3.09 cm,可作为优异耐淹水稻种质资源。另外该水稻品种耐水淹遗传机制和生理尚不明确,下一步将加强水稻耐淹机制机理研究,以期选育更加优良的直播稻品种提供理论支撑。

3 材料与方法

3.1 供试材料

水稻(*Oryza sativa*)品种共 95 份(表 3),共 4 个生态类型,即中熟中粳品种(生态型 I)、迟熟中粳品种(生态型 II)、早熟晚粳品种(生态型 III)和中熟晚粳品种(生态型 IV)。

3.2 试验方法

每份品种取 150 粒种子,加入 2% H_2O_2 浸泡 20 min 进行灭菌,用纯净水反复冲洗 3~4 次,在 25℃ 条件下浸泡 48 h。挑选吸水膨胀,没有露白的种子,用于耐淹试验。

试管内种子耐淹萌发试验:挑选 16 粒吸水膨胀,没有露白的种子,放入一个大试管内,试管内注入纯净水,水面维持与种子 20 cm 的距离。

模拟大田种子耐淹萌发试验:参照刘艳等(2016)方法处理。

试管内土壤介质种子耐淹试验:为检验土壤介质缺氧环境下介质对稻谷萌发的影响,从供试品种中随机挑选 10 份水稻品种(每个生态型至少 2 份品种),10 份品种分别为扬粳 687、连粳 7 号、淮稻 6 号、扬农粳 2 号、淮稻 10 号、扬粳糯 1 号、宁粳 1 号、镇稻 18、武育粳 18 号和南粳 46。

试验方法为:挑选 16 粒吸水膨胀,没有露白的种子,放入一个大试管内,覆盖 1 cm 高度的土层在稻种表面上,缓慢注入纯水,水面到稻种底部的距离为 20 cm。

每组实验设置二次重复,培养条件:室内温度 25℃。

3.3 性状调查

以水淹状态下种质萌发 7 d 的胚芽鞘长度作为调查指标,每组试验分别调查每个重复中的 10 株芽鞘,用直尺测量胚芽鞘长度,去除双极值后统计性状平均值和标准差。

3.4 数据分析

数据的次数分布统计、方差分析及相关分析按照文献(2000, 试验统计方法, 中国农业出版社)在 Excel 软件上进行。

作者贡献

迟铭本实验研究的执行人,完成了论文初稿的

写作;刘艳、宋兆强、邢运高、孙志广、徐波、卢百关、方兆伟、陈庭木参与本实验材料的准备及实验设计建议;杨波、刘金波、李健、王宝祥参与部分实验;徐大勇提出实验想法,指导实验设计、完成文章的修改和定稿。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由现代农业技术体系建设专项资金资助(CARS-01-61)、江苏省科技支撑项目(BE2017323)、江苏省科技支撑项目(重点研发 BE2018337)和连云港市财政专项(QNJ1913, QNJ2001)共同资助。

参考文献

- Cao W., Wang Y., Tan B., Liu W., Chu L., Pan Z.Y., Zhao G.M., Cao G.Y., and Zhou Y.L., 2018, Evaluation of seed germination vigor of rice cultivars under low temperature or hypoxic condition related with direct seeding rice, *Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding)*, 16(10): 3259-3268 (曹微, 王燕, 谭斌, 刘伟, 储莉, 潘招远, 赵光苗, 曹桂元, 周玉亮, 2018, 水稻品种直播相关的种子低温和低氧萌发活力评价, *分子植物育种*, 16(10): 3259-3268)
- Chen X.F., Tang Y.P., Xie Y.J., Li S., Chu J.B., Ao F.Y., Peng W.Q., Li H.S., and Wan Y.H., 2018, Research advances of rice mechanical direct-seeding technology in China, *Zhongguo Daomi (China Rice)*, 24(4): 9-15 (陈雪飞, 唐艳萍, 谢英杰, 李尚, 楚建波, 敖方源, 彭维钦, 李海山, 万玉华, 2018, 我国机械化直播水稻生产技术研究进展, *中国稻米*, 24(4): 9-15)
- Frantz J.M., and Bugbee B., 2002, Anaerobic conditions improve germination of a gibberellic acid deficient rice, *Crop Sci*, 42(2): 651-654
- Fujino K., Sekiguchi H., Sato T., Kiuchi H., Nonoue Y., Takeuchi Y., Ando T., Lin S.Y., and Yano M., 2004 Mapping of quantitative trait loci controlling low-temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.), *Theoretical and Applied Genetics*, 108(5): 794-799
- Gibbs J., Morrell S., Valdez A., Setter T.L., and Greenway H., 2000, Regulation of alcoholic fermentation in coleoptiles of two rice cultivars differing in tolerance to anoxia, *Journal of Experimental Botany*, 51(345): 785-796
- Jiang X.L., Yang Y.B., Fu M.Q., Chi Z.Z., and Zheng J.G., 2017, Effects of seed treatments on seedling emergence and yield of direct seeding rice under different direct seeding methods, *Zhongguo Daomi (China Rice)*, 23(4): 111-114 (姜心禄, 杨永波, 付明全, 李旭毅, 池忠志, 郑家国, 2017, 不同直播方式下种子处理方式对直播稻出苗和产量的影响, *中国稻米*, 23(4): 111-114)
- Li X., Miao L.X., Liu Z.Z., and Yao H.J., 2013, Development and advance on the technology of rice direct-sowing, *Beifang Shuidao (North Rice)*, 43(1): 78-80 (李珣, 苗立新, 刘忠卓, 姚洪军, 2013, 水稻直播技术的发展现状及研究进展, *北方水稻*, 43(1): 78-80)
- Liu Y., Song Z.Q., and Xia X.H., 2016, Genetic variation of seed tolerance to anoxia among rice (*Oryza sativa* L.) varieties under simulated field environment, *Xinan Nongye Xuebao (Southwest China Journal of Agricultural Sciences)*, 29(10): 2279-2283 (刘艳, 宋兆强, 夏祥华, 2016, 大田模拟环境下水稻种子耐缺氧能力遗传研究, *西南农业学报*, 29(10): 2279-2283)
- Lu B.G., Qin D.R., Fan J.W., Fang Z.W., Li J., Li H., Chi M., and Xu D.Y., 2009, Current situation, trend and existing problems of direct-seeding rice production in Jiangsu province, *Zhongguo Daomi (China Rice)*, (2): 45-47 (卢百关, 秦德荣, 樊继伟, 方兆伟, 李健, 刘辉, 迟铭, 徐大勇, 2009, 江苏省直播稻生产现状、趋势及存在问题探讨, *中国稻米*, (2): 45-47)
- Magneschi L., Kudahettige R.L., and Alpi A., 2009, Comparative analysis of anoxic coleoptile elongation in rice varieties: relationship between coleoptile length and carbohydrate levels, fermentative metabolism and anaerobic gene expression, *Plant Biology*, 11(4): 561-573
- Miura K., Lin S. Y., Araki H., Nagamine T., Kuroki M., Shinizu H., Ando I., and Yano M., 2004, Genetical studies on germination of seed and seedling establishment for breeding of improved rice varieties suitable for direct seeding culture, *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38(1): 1-5
- Sun K., Li D.X., Yang J., Dong J.C., Yan X.C., Luo L.X., Liu Y. Z., Xiao W.M., Wang H., Chen Z.Q., and Guo T., 2019, Genome-wide association analysis for rice submergence seedling rate, *Scientia Agriculture Sinica*, 52 (3): 385-398 (孙凯, 李冬秀, 杨靖, 董骥驰, 严贤诚, 罗立新, 刘永柱, 肖武名, 王慧, 陈志强, 郭涛, 2019, 水稻耐淹成苗率相关性状全基因组的关联分析, *中国农业科学*, 52(3): 385-398)
- Tang B.X., Liu L.L., Han F.Y., Chen L., Li N., Huang M., and Li R.B., 2015, Study on cold tolerance of chromosome segment substitution lines derived from wild rice (*O. Rufipogon*) as donor at booting stage, *Jiyin Zuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology)*, 34(6): 1283-1289 (覃宝祥, 刘立龙, 韩飞怡, 陈霖, 李楠, 黄敏, 李容柏, 2015, 普通野生稻染色体片段代换系的孕穗期耐冷性研究, *基因组学与应用生物学*, 34(6): 1283-1289)
- Wang H., 2017, Characteristics and developing status of rice direct sowing technology, *Nongye Keji Yu Zhuangbei (Agricultural Science & Technology and Equipment)*, (1): 72-73

- (王慧, 2017, 水稻直播技术特点及发展现状, 农业科技与装备, (1): 72-73)
- Wei X.H., Yang Z.R., and Dong L., 2004, SSR evidence for taxonomic position of weedy rice 'Ludao', *Zhongguo Nongye Kexue (Science Agriculture Sinica)*, 37(7): 937-942 (魏兴华, 杨致荣, 董岚, 2004, 稗稻分类地位的 SSR 证据, *中国农业科学*, 37(7): 937-942)
- Yang P., Cheng C.L., Zhou G.X., Peng Z.Q., Wu Y.S., Huang Y.P., Xiong Y.H., and Yin J.H., 2015, Research progress in relevant theories of increasing breeding level of direct-seeding rice, *Jiangxi Nongye Xuebao (Acta Agriculture Jiangxi)*, 27(05): 33-35+38 (杨平, 陈春莲, 邹国兴, 彭志勤, 吴延寿, 黄永萍, 熊运华, 尹建华, 2015, 提高水稻直播育种水平相关理论研究进展, *江西农业学报*, 27(05): 33-35+38)
- Zhang T., Huang X.H., and Jia jun., 2008, Production status and high-yielding cultivation measures of direct-seeding rice in Jianghuai, *Nongye Keji Tongxun (Bulletin of Agricultural Science and Technology)*, (4): 91-93 (张涛, 黄秀华, 贾军, 2008, 江淮地区直播稻生产现状及高产栽培措施, *农业科技通讯*, (4): 91-93)