

杨波,王宝祥,郭保卫,等.直播稻品种根系特性与抗倒伏能力的研究[J].江苏农业科学,2018,46(23):75-78.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.018

直播稻品种根系特性与抗倒伏能力的研究

杨波¹,王宝祥¹,郭保卫²,徐波¹,邢运高¹,迟铭¹,卢百关¹,秦德荣¹,陈庭木¹,徐大勇¹

(1.江苏徐淮地区连云港农业科学研究所/江苏省现代作物生产协同创新中心,江苏连云港 222001;

2.扬州大学/农业部长江流域稻作技术创新中心/江苏省作物遗传生理重点实验室,江苏扬州 225009)

摘要:为阐明直播稻根系特性与抗倒伏能力的关系,以抗倒伏能力存在差异的中熟中粳抗倒伏品种连梗 7 号、徐稻 3 号和中熟中粳(早熟)连梗 15 号、连梗 13ZJ61 为供试品种品系,在稻麦两熟制下,对齐穗期和蜡熟期根系在土层中的分布和物理性状等方面进行比较研究。结果表明:(1)地上部干质量和根干质量协调发展的前提下,根冠比大,根干质量大,根干质量在蜡熟期不衰减是根系抗倒伏能力强的特征之一。(2)从根系在不同耕层土壤中比例看,中下层根占全根比例大,蜡熟期中下层根系不衰减是根系抗倒伏能力强的显著特征之一。(3)根数多、根直径大,后期根长和根数减少是根部抗倒伏能力强的特征之一。(4)选育直播稻抗倒伏品种宜选择根冠比大、根干质量大、根粗且多、中下层根系占比例高等根部性状。

关键词:直播稻;根系特性;根干质量;根直径;中下层根系;抗倒伏能力

中图分类号:S511.034 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)23-0075-03

近年来,直播稻在黄淮稻区不推自广,倒伏现象严重,对水稻稳产影响很大。直播稻具有生育期短、茎秆细、根系浅、群体过大等特点,极易倒伏、抗倒伏性成为直播稻高产稳产的主要限制因子之一。水稻倒伏可分为根倒伏和茎倒伏 2 种情况,一般多发生于抽穗后。本试验选用生产上抗倒伏能力不同的材料,采用直播稻栽培方式研究根系相关性状表现及其与抗倒伏的关系,为直播稻抗倒伏育种和栽培提供参考。

1 材料与与方法

1.1 试验地点及供试品种

试验于 2016—2017 年在江苏徐淮地区连云港农业科学研究所东辛试验基地进行。试验地前茬为空茬,土壤类型潮盐土,质地较黏。0~20 cm 土层含有机质 22.34 g/kg、全氮 1.79 g/kg、速效磷 12.8 mg/kg、速效钾 121.6 mg/kg。供试品种品系为中熟中粳连梗 7 号、徐稻 3 号和中熟中粳(早熟)连梗 15 号、连梗 13ZJ61。

1.2 试验方法

根据当地生产实际于 6 月 20 日播种,播种方式为人工模拟机条播,行距 25 cm,小区面积 15 m²,试验为随机区组设计,重复 3 次,小区间隔 40 cm。播种量 90 kg/hm²。

氮肥的基肥:基肥=穗肥=3:3:4,穗肥分别于倒 4 叶和倒 2 叶各施 50%,基肥一次性施入磷肥(P₂O₅) 112.4 kg/hm²、钾

肥(K₂O)112.4 kg/hm²。各播期肥料和水分单独管理。分蘖期保持浅水层,促进分蘖,至田间总苗数达到预期穗数 70%~80% 时开始搁田,并多次轻搁;抽穗后实行间歇灌溉、干湿交替。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系固持力测定 于蜡熟期测定,选择长势一致的单株,离地面 20 cm 处用胶带粘住并与弹簧秤挂钩相连,垂直地面向上拉到根系慢慢拔出地面,记录弹簧称最大值为根系固持力(单位为 N),测定 10 株。

1.3.2 根系形态 齐穗期和蜡熟期取样测定根条数、根粗、根干质量。取样时每小区选择长势一致、具有代表性的植株 50 株,挖取 15 cm 土层内根系,洗净泥土,逐株计数;根粗为单根直径,测定方法为:单株根系无间隙排列在一平面上,用游标卡尺测定宽带,平均根直径为根粗。测定总根数和根粗后的植株再用于测定干质量。于齐穗期和蜡熟期从每小区各取 50 株,置 40 目尼龙网袋中用流水冲洗获得完整根系,剪取所有根系,测定根长、根数、根粗等形态性状指标;同时所取稻株鲜根及地上部稻株置恒温箱内,105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒质量,称取根质量和地上部干质量,计算根冠比。

于齐穗期和蜡熟期从每小区各取均匀分布的、根系完整的稻株,从上至下将圆柱形土体切割为上、中、下 3 层(分别是 0~5、5~10、10~15 cm),分别置于 40 目尼龙网袋中用流水冲洗干净,105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒质量,测定并计算各层根质量及占根总干质量比例。

1.3.3 产量及倒伏情况 成熟期每小区取 2 个观察点,每点取 10 个单株共 20 个单株,考察每穗粒数、结实率;500 粒实粒样本称质量,重复 3 次求千粒质量。以人工脱粒实收产量 12 m²,测定水分,去除杂质,折算产量。

1.4 数据统计与分析

取 2016、2017 年 2 年的平均数,使用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理,DPS 软件进行其他统计分析。

收稿日期:2018-05-15

基金项目:国家现代农业技术体系建设专项(编号:CARS-01-61);江苏省连云港市财政专项(编号:QNJJ1713)。

作者简介:杨波(1978—),男,江苏灌云人,硕士,高级农艺师,从事水稻育种与栽培研究。E-mail:819495823@qq.com。

通信作者:徐大勇,博士,研究员,从事水稻遗传育种研究。E-mail:xudayong3030@sina.com。

2 结果与分析

2.1 不同生态条件下直播稻的倒伏、产量构成

由表 1 可知,从田间倒伏情况看连梗 7 号、徐稻 3 号、连

梗 15 号抗倒伏能力强,连梗 13ZJ61 抗倒伏能力差。结合表 2 可知,连梗 15 号和连梗 13ZJ61 熟期早,其结实率较连梗 7 号和徐稻 3 号呈极显著差异;实产表现为连梗 7 号 > 连梗 15 号 > 徐稻 3 号 > 连梗 13ZJ61。

表 1 直播稻的倒伏率、产量构成因素

品种	倒伏性		有效穗数 (万/hm ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	理论产量 (t/hm ²)	实收产量 (t/hm ²)
	面积占比 (%)	程度						
连梗 7 号	0	直立	322.35Cc	140.20Aa	89.66Cc	24.71Aa	10.01Aa	9.56Aa
徐稻 3 号	0	直立	341.85Aa	118.80Cc	90.66Cc	23.84Cc	8.76Cc	8.32Cc
连梗 15 号	0	直立	337.35Bb	127.20Bb	93.30Bb	24.25Bb	9.67Bb	9.24Bb
连梗 13ZJ61	40	倒	327.60Cc	114.00Cc	94.60Aa	24.84Aa	8.36Cc	8.05Cc

表 2 直播稻的生育时期差异

品种	齐穗期(月-日)		成熟期(月-日)	
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年
连梗 7 号	09-12	09-08	10-24	10-26
徐稻 3 号	09-10	09-07	10-25	10-25
连梗 15 号	09-08	09-02	10-20	10-18
连梗 13ZJ61	09-06	08-31	10-15	10-14

2.2 齐穗期和蜡熟期单茎根质量、地上部干质量、根冠比的差异

根冠比是水稻地下部和地上部是否协调生长的重要指标。由表 3 知,蜡熟期根冠比较齐穗期(除连梗 7 号外)均下降;根干质量连梗 15 号和连梗 7 号呈增长趋势,连梗 13ZJ61 和徐稻 3 号呈衰减趋势。值得注意的是蜡熟期根干质量较齐穗期连梗 7 号和连梗 15 号正增长,徐稻 3 号和连梗 13ZJ61

表 3 齐穗期和蜡熟期单茎根质量、地上部干质量、根冠比的差异

品种	齐穗期			根冠比 (%)	蜡熟期		蜡熟期较齐穗期衰减情况		
	根冠比 (%)	根干质量 (g)	地上部干 质量(g)		根干质量 (g)	地上部干 质量(g)	根冠比 (%)	根干质量 (%)	地上部干 质量(%)
连梗 7 号	0.062Dd	0.183Cc	2.97Aa	0.079Cc	0.391Aa	4.95Aa	27.42Bb	113.66Aa	66.67Aa
徐稻 3 号	0.076Cc	0.227Bb	2.99Aa	0.048Dd	0.187Cc	3.90Bb	-36.84Dd	-17.62Cc	30.43Bb
连梗 15 号	0.087ABab	0.212Bb	2.44Bb	0.070Aa	0.236Bb	3.39Dd	-19.54Aa	11.32Bb	38.93Cc
连梗 13ZJ61	0.090Aa	0.264Aa	2.92Aa	0.058Bb	0.210Bbc	3.60Cc	-35.56Cc	-20.45Cc	23.29Dd

负增长,表明连梗 7 号和连梗 15 号后期根不早衰。

2.3 不同品种根系在土层中的分布

齐穗期根系分布是反映水稻生育中后期群体质量的重要指标之一,在一定程度上影响水稻抽穗后光合物质生产与积累、矿质营养吸收与转移、籽粒灌浆与充实、抗倒伏支撑能力。由表 4 知,齐穗期根干质量表现为连梗 15 号 > 连梗 7 号 > 徐稻 3 号 > 连梗 13ZJ61;连梗 15 号和连梗 7 号根干质量大于

45 g,徐稻 3 号和连梗 13ZJ61 根干质量分别为 33.20、30.60 g,与前两者呈极显著差异。连梗 7 号和连梗 15 号中下层根所占比例分别为 41.23% 和 30.17%,徐稻 3 号和连梗 13ZJ61 分别为 26.72% 和 21.90%,与前两者呈极显著差异。齐穗期连梗 7 号根干质量和中下层根占全根比例大是其抗倒伏的主因。由此可见,根干质量大、根系优化分布及深扎根性是梗稻根系分布的重要抗倒伏特征之一。

表 4 直播稻齐穗期在不同深度土壤中根系分布情况(100 株)

品种	根总干质量 (g)	0~5 cm 土层		5~10 cm 土层		10~15 cm 土层	
		根干质量(g)	占全根比例(%)	根干质量(g)	占全根比例(%)	根干质量(g)	占全根比例(%)
连梗 7 号	45.60Bb	26.80Bb	58.77Dd	15.34Aa	33.64Aa	3.46Aa	7.59Aa
徐稻 3 号	33.20Cc	24.33Cc	73.28Bb	7.21Cc	21.73Bb	1.66Cc	4.99Bc
连梗 15 号	47.30Aa	33.03Aa	69.84Cc	10.79Bb	22.82Bb	3.47Aa	7.34Aab
连梗 13ZJ61	30.60Dd	23.91Cc	78.13Aa	5.52Dd	18.03Cc	1.18Cc	3.84Cd

研究表明,成熟期土壤 0~5 cm 的根系生物量达 70% 以上,0~10 cm 的根系质量所占比例达 90% 以上,即大部分的根系分布在土壤表层^[1]。由表 5 可知,蜡熟期根干质量依次表现为连梗 15 号 > 连梗 7 号 > 连梗 13ZJ61 > 徐稻 3 号;连梗 15 号蜡熟期根干质量达 42.80 g,比其他品种高 30% 以上,且中下层根干质量 13 g 左右,其他品种 8 g 左右;连梗 13ZJ61 中下层根占全根比例 23.13%,与其他品种 30% 左右的水平呈极显著差异。本研究中各处理上层根干质量最高,随土层深度增加而逐渐下降;连梗 15 号、徐稻 3 号中下层根占全根比例均超过 30%,在土壤中分布较深且深层根比例大。

由表 6 可知,根总干质量衰减表现为连梗 7 号 > 徐稻 3

号 > 连梗 15 号 > 连梗 13ZJ61。连梗 7 号上层根占全根比例增加显著,徐稻 3 号显著减少;连梗 7 号中层根占全根比例呈显著减少,其他品种极显著增加;徐稻 3 号下层根占全根比例呈增加趋势,其他品种极显著衰减。连梗 7 号根总干质量衰减最多,中下层根衰减多;徐稻 3 号上层根干质量衰减较多,中层根干质量衰减较少,下层根干质量呈极显著增加 16.87%,表明徐稻 3 号后期不早衰;占全根比例中熟中梗(早熟)连梗 15 号和连梗 13ZJ61 两者上层根系占全根的比例衰减较少,中层根系占全根的比例呈增长趋势,下层根占全根的比例呈衰减趋势,衰减幅度连梗 13ZJ61 较大。

根长、根数、根直径及其衰减是衡量根系形态性状与根系

表 5 直播稻蜡熟期根系在不同深度土壤中分布情况

品种	根总干质量 (g)	蜡熟期根系在土壤中的分布(100 株)					
		0 ~ 5 cm 土层		5 ~ 10 cm 土层		10 ~ 15 cm 土层	
		根干质量(g)	占全根比例(%)	根干质量(g)	占全根比例(%)	根干质量(g)	占全根比例(%)
连梗 7 号	30.10Bb	21.57Bb	71.66Bb	6.61Bb	21.96Bb	1.92Bb	6.38Bb
徐稻 3 号	24.70Dd	16.67Cc	67.49Cc	6.09Bb	24.66Aa	1.94Bb	7.85Aa
连梗 15 号	42.81Aa	29.53Aa	68.95Cc	10.60Aa	24.76Aa	2.68Aa	6.26Bb
连梗 13ZJ61	27.91Cc	21.45Bb	76.85Aa	5.76Cc	20.64Cc	0.70Cc	2.51Cc

表 6 直播稻蜡熟期比齐穗期根系在土壤中的分布增减情况(100 株)

品种	根总干质量 (%)	0 ~ 5 cm 土层		5 ~ 10 cm 土层		10 ~ 15 cm 土层	
		根干质量(%)	占全根比例(%)	根干质量(%)	占全根比例(%)	根干质量(%)	占全根比例(%)
连梗 7 号	-33.99Bb	-19.52Bb	21.93Aa	-56.91Dd	-34.69Cc	-44.51Dd	-16.07Bb
徐稻 3 号	-25.60Bb	-31.48Cc	-7.93Cc	-15.53Cc	13.53Bba	16.87Aa	57.52Aa
连梗 15 号	-9.51Aab	-10.60Aa	-1.22Bb	-1.76Bb	8.50Aab	-22.77Bb	-14.85Bb
连梗 13ZJ61	-8.82Aa	-10.29Aa	-1.61Bb	4.35Aa	14.42Bb	-40.68Cc	-34.90Cc

固持力关系的几个重要指标^[2]。由表 7 可知,齐穗期根长、根数、根直径表现为连梗 7 号 > 连梗 13ZJ61 > 连梗 15 > 徐稻 3 号、连梗 7 号 > 徐稻 3 号 > 连梗 13ZJ61 > 连梗 15、连梗 7 号 > 连梗 15 > 徐稻 3 号 > 连梗 13ZJ61,连梗 7 号根直径最大,与其他品种呈显著或极显著差异。蜡熟期根长、根数、根直径均表现为连梗 7 号 > 连梗 15 > 徐稻 3 号 > 连梗 13ZJ61。较齐穗期衰减情况,连根除连梗 13ZJ61 变短外其他品种均增长;根数呈减少趋势,连梗 13ZJ61 衰减达 -26.25%,连梗 15 号衰减最少只有 -2.63%。齐穗期、蜡熟期单茎根系固持力

连梗 13ZJ61 与其他品种呈极显著差异;蜡熟期较齐穗期单茎根系固持力衰减依次表现为连梗 7 号 > 徐稻 3 号 > 连梗 15 > 连梗 13ZJ61。

由表 8 可知,单株根系固持力与根冠比相关系数达显著或极显著正相关,与不同时期根干质量相关系数达极显著正相关,与中层根质量相关系数达显著或极显著正相关,与根直径达显著正相关,与根数达显著正相关。与蜡熟期上层根质量、较齐穗期根质量衰减、较齐穗期根数衰减、较齐穗期根直径衰减衰减呈显著负相关。

表 7 直播稻根形态特征和单株根系固持力衰减差异

品种	齐穗期			蜡熟期			蜡熟期较齐穗期衰减情况			茎根系固持力(N)	
	根长(cm)	根数(条)	根直径(mm)	根长(cm)	根数(条)	根直径(mm)	根长(%)	根数(%)	根直径(%)	齐穗期	蜡熟期
连梗 7 号	17.27Aa	37.40Aa	1.16Aa	18.46Aa	35.29Aa	1.08Aa	6.89ABab	-5.64Bb	-6.90Aa	198.54Aa	119.80Bb
徐稻 3 号	15.68Cc	33.75Bb	1.09Bb	15.79Cc	29.86Bb	1.01BCed	0.70Cd	-11.53Cc	-7.34Cc	184.50Bb	120.70Bb
连梗 15 号	16.09Bb	31.08Cc	1.12ABab	17.31ABab	30.27Bb	1.04Bb	7.58Aa	-2.61Aa	-7.14Bb	195.60Aa	137.36Aa
连梗 13ZJ61	16.82ABab	33.22Bb	1.04Cc	15.8Cc	24.5Cc	0.96De	-6.06De	-26.25Dd	-7.69Cd	133.68Bb	80.21Cc

表 8 单株根系固持力与不同时期根主要物理性状的相关系数

根系性状	相关系数	
	齐穗期	蜡熟期
根冠比	0.821 **	0.632 *
根干质量	0.911 **	0.772 **
上层根质量	-0.362	-0.589 *
中层根质量	0.627 **	0.516 *
下层根质量	0.369	0.373
根长	0.331	0.416
根数	0.693 *	0.539 *
根直径	0.576 *	0.481 *
较齐穗期根质量衰减		-0.436 *
较齐穗期根长衰减		-0.418
较齐穗期根数衰减		-0.497 *
较齐穗期根直径衰减		-0.498 *

注: *、** 分别表示显著或极显著相关。

3 关于直播稻根系形态的差异与根抗倒伏的关系

直播稻近年来面积呈爆发式增长,倒伏造成的产量损失越来越大。关于直播稻根系与抗倒伏关系研究比较少见,其核心问题是直播稻应具有怎样的根系才能抗根倒。目前大多数研究认为,地下部的根倒伏与根粗、根长、根数、根干物质

量、根冠比等根系性状相关^[3]。水稻 20 cm 土层内各层根系具有较大的干质量、体积和总长,分枝根十分发达,在土壤中密集成网,根质量增长率较地上增长率偏低,根冠比大,维持了地上、地下部形态及机能的平衡^[4]。本研究结果表明,抗倒伏能力与地下部性状中根冠比、根干质量、中层根质量、根直径、根数呈显著或极显著正相关关系,与蜡熟期上层根质量、较齐穗期根干质量衰减、较齐穗期根数衰减、较齐穗期根直径衰减呈显著负相关关系。

直播稻根系固持力与表土层根系数量极显著相关外,还与根系质量有关,如与根系的干质量和纤维素含量有关^[5]。李木英等认为,根系固持力与单茎根质量和根数显著正相关^[6]。水稻根系主要分布在土壤 0 ~ 20 cm 耕作层内,其中 60% ~ 80% 分布于土壤表层 0 ~ 10 cm 内,深层土壤分布较少。相关研究发现,深层土壤的根干物质质量、根系分布是水稻抗倒伏的主要决定因子^[7]。本研究表明,直播栽培条件下连梗 7 号根干质量大、根系较粗是其根部抗倒伏的主要特征,其中下层根系干质量和根直径极显著高于其他品种。徐稻 3 号上层根分部少,中下层根分布多且后期衰减少,其中下层根蜡熟期还保持活力是其根部抗倒伏的显著特征。连梗 15 号根干质量大,根粗且根系分布深、中下层根比例大,蜡熟期根长

顾大路,钱新民,吴雪芬,等. 调理剂对小麦抗旱性的生理效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):78-80.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.019

调理剂对小麦抗旱性的生理效应

顾大路,钱新民,吴雪芬,孙爱侠,杜小凤,杨文飞,吴传万,施洪泉,王伟中

(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001)

摘要:为研究调理剂对小麦抗旱性的生理效应影响,以淮麦 33 为材料,分别于越冬期、返青期和开花期叶面喷施粒宝宝(新型氨基酸水溶肥料)与黄腐酸,于返青期、拔节期和灌浆期随机取小麦剑叶 50 张,测定相关生理指标,分析粒宝宝、黄腐酸对小麦生理特性的影响。结果表明,喷施粒宝宝、黄腐酸都能提高小麦叶片相对含水量、叶绿素含量、游离脯氨酸含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性,降低丙二醛含量。其中,以喷施粒宝宝效果较好,较对照小麦叶片相对含水量、叶绿素含量、游离脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性分别增加 6.96%、9.83%、7.87% 和 6.53%,降低丙二醛含量达 7.24%。3 个生育时期相比,返青期喷施效果最好。

关键词:调理剂;粒宝宝;小麦;抗旱性;生理效应

中图分类号:S512.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)23-0078-03

随着温室效应不断增加,全球气候变暖,干旱、高温等农业气象灾害频发,特别在冬季、春季易发生旱情,造成小麦生长发育与生理活动异常,严重影响小麦正常生长发育,导致产量大幅下降,品质降低,影响小麦种植效益。广大农业科技工作者通过肥水管理等栽培措施来提高小麦抗旱性,减轻旱情

对小麦生产的影响,取得了一定进展,但是在小麦生产上应用还具有一定局限性,如冬春季的沟渠中没有水,浇灌有一定难度。抽取地下水进行浇灌又会增加小麦生产成本和降低地下水位。通过合理的调理剂提高小麦抗旱性,预防或减轻旱情对小麦的危害具有一定现实意义。通过在小麦越冬期、返青期和开花期喷施粒宝宝(新型氨基酸水溶肥料)和黄腐酸,研究不同调理剂对小麦形态特征和生理特性的影响,以便为小麦抗干旱逆境栽培调控提供产品支持、理论依据和技术支撑。

收稿日期:2018-03-13

基金项目:国家小麦产业技术体系建设专项(编号:CARS-3-2-13);江苏省农业三新工程项目(编号: SXGC[2017]117)。

作者简介:顾大路(1972—),男,江苏新沂人,副研究员,主要从事作物栽培技术及植物生长调节剂的研究与应用工作。E-mail: gudalu666@aliyun.com。

通信作者:王伟中,研究员,主要从事作物栽培技术及植物生长调节剂的研究与应用工作。E-mail: wwz8390@sina.com。

和根数无显著降低。连梗 13ZJ61 根干质量小,中下层根比例少,抗倒伏能力差。不同品种其根部抗倒伏特征不同。在水稻育种过程中要培育具有稳定根系发展特征,推迟根系衰老,延缓衰老进程,减少生育后期活力下降程度,使根系在整个生育期保持与地上部生物学优势相适宜的根系生长,对更好发挥品种的抗倒伏能力和稳产具有直接贡献。

栽培条件对根系发育也有重要影响,首先,在黄淮地区适期播种是抗倒伏的重要方面,应选用最佳播期防止根部受到后期降温影响产生根衰。其次,直播稻播量大,苗期应以限水管理为主,促进根系深扎,中后期湿润灌溉,保持通气良好的土壤环境,促进上位根系下扎、提高后期根系活力和维持较高根系质量的重要措施。最后,水稻直播栽培,加强生育前期田间管理,精确定量播种和施肥,以控制基本苗数和无效分蘖;中期适时适量施用穗肥,后期养根保叶延缓衰老、减少茎鞘和根系物质外运,为提高植株抗倒伏力奠定物质基础。

4 小结

黄淮地区直播稻抗倒伏品种根系性状存在差异,直播稻抗倒伏品种选育应该把根干质量大、中下层根系占比高、后

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试小麦品种为淮麦 33(江苏天丰种业生产)。

供试药剂为粒宝宝(淮安飞龙农业科技发展有限公司生产并

期不早衰、根粗、根数多作为育种目标。

参考文献:

- [1] 龚金龙,邢志鹏,胡雅杰,等. 粳、梗超级稻品种根系形态及若干生理特征的差异[J]. 作物学报, 2014, 40(6): 1066-1080.
- [2] 魏海燕,张洪程,张胜飞,等. 不同氮利用效率水稻基因型的根系形态与生理指标的研究[J]. 作物学报, 2008, 34: 429-436.
- [3] 吴伟明,程式华. 水稻根系育种的意义与前景[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(2): 174-179.
- [4] Fitter A H. Roots as dynamic systems: the developmental ecology of roots and root systems[M]//Press M C, Scholes J D, Barker M G. Plant physiological ecology. London: Blackwell Scientific, 1999: 115-131.
- [5] 郭保卫,张春华,陈厚存,等. 抛秧立苗的根系特点及其对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(6): 621-628.
- [6] 李木英,陈关,潘晓华,等. 直播稻不同品种茎秆和根系性状与抗倒伏性关系[C]. 全国水稻优质高产理论与技术研讨会, 2011.
- [7] Inukai Y, Ashikari M, Kitano H. Function of the root system and molecular mechanism of crown root formation in rice[J]. Plant Cell Physiol, 2004, 45: 17.