

不同条件育秧提高水稻秧苗抗逆性的研究^①

于建光^{1,3}, 吴一凡^{1,2}, 贺笑^{1,2}, 顾克军¹, 汪吉东^{1,3}, 张永春^{1,3}, 常志州^{1*}

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095;

3 农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 南京 210014)

摘要: 稻麦轮作系统中, 麦秸还田腐解产生的有毒有害物质可对下茬水稻幼苗产生不利影响, 有效减缓或避免其负面影响对于水稻生产尤为重要, 而筛选能够提高水稻秧苗抗性的育秧技术不失为重要途径。通过采用 5 种不同育秧条件对水稻秧苗进行抗性锻炼, 以期提高水稻秧苗对麦秸还田条件的抗逆性和适应性, 并在移栽后采取相同的栽培措施(氮素和水肥管理)对其进行评估。试验结果表明, 干旱及低营养条件下育秧均降低了水稻株高、生物量以及叶绿素含量, 且增加了水稻植株丙二醛含量和脯氨酸含量, 使水稻的生长发育受到抑制; 而施用秸秆、浇施秸秆腐解液以及酚酸混合液进行育秧的处理均增加了水稻株高、地上部鲜重、叶绿素含量、总根长、根表面积、根体积、根尖数、根分枝数和平均根直径, 且均降低了水稻植株丙二醛含量和脯氨酸含量, 提高了水稻秧苗对麦秸腐解产生负面影响的抗逆性和适应性。通过在水稻育秧期添加适量麦秸、麦秸腐解液或酚酸混合液均可有效提高水稻秧苗对麦秸还田条件的适应性。

关键词: 水稻; 育秧; 抗逆性

中图分类号: S511 文献标识码: A

秸秆还田作为重要的处置措施被广泛采用, 长期秸秆还田不仅有助于增加土壤养分、改善土壤结构^[1-3], 同时有助于农田病虫害防治^[4]和杂草控制^[5]。在长江中下游稻麦轮作区, 由于茬口时间短, 小麦收获后大量秸秆还田对下茬作物水稻的生长发育产生不利影响^[6]; 我们的研究表明, 小麦秸秆浸提液和腐解液均对水稻产生化感效应^[7], 而且源于秸秆腐解产生的 10 种外源酚酸均对水稻种子的萌发以及生长发育产生低浓度促进、高浓度抑制作用^[8]。水稻育秧是水稻种植过程中的重要环节, 秧苗的品质对于水稻的生长至关重要, 而培育出适应麦秸还田条件的水稻“壮秧”有助于保证麦秸还田下水稻生产的可持续性。本研究拟在不同条件下进行水稻育秧, 通过调控并利用麦秸少量腐解物质对水稻生长发育的促进作用, 筛选出能够提高秧苗抗性的水稻育秧技术, 从而有效减缓麦秸还田对水稻的负面效应。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试小麦秸秆取自江苏省农业科学院小麦试验

基地, 秸秆粉碎至 2 cm 左右备用。供试土壤为黄泥土, 取自江苏省宜兴市周铁镇, 土壤基本理化性状: pH 6.3、有机质 26.89 g/kg、全氮 2.26 g/kg、碱解氮 174.8 mg/kg、有效磷 10.55 mg/kg、速效钾 107.47 mg/kg, 土壤风干过 4 mm 筛备用。供试有机肥取自江苏省农科院六合动物科学试验基地, 有机质 ≥ 450 g/kg, 氮磷钾总养分 ≥ 50 g/kg。供试水稻品种为南粳 9108, 由江苏省农业科学院提供。试验容器为塑料钵, 育秧钵长 15 cm、宽 10 cm、高 6 cm(方形), 移栽后所用钵钵直径 15 cm、高 13 cm(圆形)。

1.2 试验设计

试验设置 6 个处理: 常规条件育秧(CK), 指土壤采用传统施肥方式, 施肥量 N 为 0.15 g/kg、 P_2O_5 为 0.1 g/kg、 K_2O 为 0.15 g/kg, 常规水分供应; 低养分供应育秧(LN), 指不添加任何肥料; 干旱胁迫育秧(D), 指育秧期不建立水层, 旱育秧, 整个育秧期保持土壤干土含水率为 450 g/kg, 添加肥料; 添加秸秆育秧(S), 指按秸秆施用量占土壤 20 g/kg 计算, 添加肥料; 添加秸秆腐解液育秧(SD), 指添加腐解

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41271308)、公益性行业(农业)科研专项(201503136)和江苏省农业自主创新资金项目(CX(12)1002、CX(13)5049)资助。

* 通讯作者(czhizhou@hotmail.com)

作者简介: 于建光(1975—), 男, 山西忻州人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农田土壤退化与修复。E-mail: yujg@jaas.ac.cn

7 d 的秸秆腐解液代替水,土壤水层与对照保持一致,添加肥料。其中秸秆腐解液通过秸秆:土壤:纯水按 1:1:100 混合后,再于 30℃ 下淹水振荡培养 7 d,静置过滤获得;添加酚酸混合液育秧(PA)指添加 12 种外源酚酸混合溶液(没食子酸、原儿茶酸、龙胆酸、对羟基苯甲酸、绿原酸、香草酸、咖啡酸、丁香酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸、水杨酸,均为 10 mg/L)代替水,土壤水层与 CK 保持一致,添加肥料。

育秧盆钵每盆钵装风干土 0.4 kg,每处理 4 次重复,共计 24 盆。水稻种子在播种前均经浸种催芽,每盆播种经浸种催芽的水稻种子 140 粒。各处理盆钵在水稻播种前加水保持湿润状态,待幼苗长到二叶一心时,除 D 处理外均建立水层培养,无水层时加水,约 3 d 左右进行称重加水。所有处理盆钵于人工气候箱内培养,培养条件模拟田间育秧条件:温度每 4 h 为 1 时间段,全天共设 6 个时间段,温度依次以 22℃、24℃、28℃、30℃、28℃、24℃ 进行循环;光照时间分为两段,其中白天高温期为 12 h,光照强度为 16 000 Lux,夜晚常温期为 12 h,无光照,所有盆钵培养时间为 20 d。各处理秧苗经 20 d 育秧后,破坏性采样,每盆钵中选取 10 株秧苗测定植株 SPAD 值、株高和地上部鲜重,选用剪碎混匀的部分植株鲜样测定植株丙二醛含量。

将各处理中采样所剩的秧苗选取部分移栽于圆形盆钵,各处理培养条件相同。移栽后盆钵装风干土 1 kg、秸秆 20 g 充分混匀,且每盆均施用氮素约 0.771 g,不施用磷钾肥。每处理盆钵数为 4 个,总计 24 盆。培养条件模拟田间条件:温度每 4 h 为 1 时间段,全天共设 6 个时间段,温度依次以 27℃、28℃、30℃、35℃、32℃、28℃ 进行循环;光照时间分为两段,其

中白天高温期为 12 h,光照强度为 16 000 Lux,夜晚常温期为 12 h,无光照,培养 30 d 后所有盆钵破坏性采样,每盆钵中选取 10 株秧苗,小心洗净根部附着的土壤,然后立即测定植株 SPAD 值、株高、地上和地下部鲜重,选用剪碎混匀的植株鲜样测定植株丙二醛和脯氨酸含量,将植株根清洗干净后用于根系形态分析。

1.3 测定指标及方法

水稻植株株高通过直尺测定获得;水稻植株地上部、地下部鲜重通过称重法获得;水稻植株叶绿素含量采用 SPAD 值表征,通过 SPAD502 型叶绿素仪测定:选择水稻相同部位叶片在基部、中部和尖端进行重复测量多次后取其平均值作为 SPAD 值;植株丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法^[9];植株脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸法^[10];植株根系形态指标测定采用 Winrhizo 根系分析系统,指标包括总根长、根表面积、根体积、根尖数、根分枝数和平均根直径。

1.4 数据处理

数据统计分析采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行,显著性差异采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 不同条件育秧对水稻秧苗的影响

水稻秧苗在 20 d 不同方式育秧后,处理间水稻秧苗的株高大小依次为 SD>S>PA>CK>D>LN,其中 SD 和 S 处理相比于 CK 差异显著($P<0.05$,表 1)。不同处理下水稻植株地上部生物量大小依次为 S>SD>PA>CK>D>LN,其中 SD、S 和 PA 处理相比于 CK 均有显著性差异($P<0.05$)。LN 和 D 处理均降低了水稻秧苗株高和植株地上部生物量。

表 1 不同条件育秧对水稻秧苗生长发育的影响
Table 1 Effects of different methods of rice seedling raising on growths of rice seedling

处理	株高(cm)	地上部鲜重(g/plant)	植株 SPAD 值	丙二醛(nmol/g)
CK	25.13 ± 1.17 bc	0.16 ± 0.02 c	25.03 ± 1.59 c	29.65 ± 2.27 ab
LN	23.04 ± 0.65 c	0.14 ± 0.01 c	18.72 ± 0.8 d	33.49 ± 0.79 ab
D	23.47 ± 1.17 c	0.15 ± 0.04 c	19.88 ± 0.45 d	35.84 ± 3.65 a
S	30.31 ± 0.61 a	0.29 ± 0.06 a	30.07 ± 0.39 b	28.97 ± 4.01 ab
SD	31.50 ± 2.21 a	0.24 ± 0.01 ab	33.40 ± 0.74 a	27.41 ± 4.01 b
PA	26.60 ± 0.72 b	0.22 ± 0.02 b	31.35 ± 0.64 b	28.04 ± 3.56 b

注:同列数据小写字母不同表示处理间差异显著($P<0.05$),下表同。

不同处理下水稻秧苗植株 SPAD 值大小依次为 SD>PA>S>CK>D>LN,也即相比于 CK 处理,SD、PA 和 S 处理均显著提高了水稻植株叶绿素含量($P<0.05$),而 LN 和 D 处理均使水稻植株叶绿素含量显

著降低($P<0.05$,表 1)。

丙二醛含量的高低直接反映了植株细胞膜的伤害程度,植株丙二醛含量高代表细胞膜透性大,表明植株细胞膜受到了伤害。与 CK 相比,可知 S、SD 和

PA 处理均不同程度降低了水稻植株丙二醛含量,而 LN 和 D 处理均使水稻植株丙二醛含量略有增加(表 1)。

2.2 不同条件育秧对移栽后水稻幼苗生长的影响

不同条件下水稻育秧 20 d 后移栽,移栽后再生长 30 d 后,水稻植株株高、地上部鲜重和地下部鲜重均表现为 SD>S>PA>CK>D>LN(表 2)。可见,SD、

S 和 PA 条件下水稻秧苗在移栽后生长表现均好于 CK,其中 SD 处理对水稻生长的促进作用更为明显,SD 处理的株高、地上部鲜重和地下部鲜重均显著高于 CK($P<0.05$);相比于 CK,D 和 LN 处理似乎对移栽后水稻生长发育产生了轻微抑制作用,但差异不显著($P>0.05$)。

表 2 不同条件育秧对移栽后水稻幼苗株高和生物量的影响

Table 2 Effects of different methods of rice seedling raising on heights and biomass of rice seedlings after transplanting

处理	株高(cm)	地上部鲜重(g/plant)	地下部鲜重(g/plant)	根冠比
CK	32.80 ± 1.67 cd	0.85 ± 0.08 bc	0.17 ± 0.03 c	0.19 ± 0.03 a
LN	29.34 ± 0.92 d	0.51 ± 0.13 c	0.10 ± 0.03 d	0.19 ± 0.03 a
D	30.30 ± 1.34 d	0.70 ± 0.15 c	0.15 ± 0.06 cd	0.21 ± 0.05 a
S	36.72 ± 2.37 b	1.16 ± 0.19 b	0.25 ± 0.04 b	0.21 ± 0.01 a
SD	43.27 ± 4.04 a	1.73 ± 0.64 a	0.34 ± 0.07 a	0.21 ± 0.03 a
PA	35.86 ± 1.97 bc	1.07 ± 0.10 b	0.23 ± 0.07 b	0.22 ± 0.05 a

不同条件下水稻秧苗移栽后,水稻植株根冠比大小依次为 PA>S>D>SD>CK>LN(表 2)。可见与 CK 相比,除 LN 处理外,PA、S、D 和 SD 处理均使水稻植株幼苗根冠比上升,但不同处理间差异不显著($P>0.05$)。这表明在上述不同育秧条件下,水稻植株将分配更多的资源与能量在根系。

2.3 不同条件育秧对移栽后水稻幼苗生理生化过程的影响

不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后,测定水稻植株 SPAD 值大小依次为 SD>PA>S>CK>D>LN(表 3)。与 CK 处理相比,S、SD 和 PA 处理均显著提高了水稻幼苗叶绿素含量($P<0.05$);而 D 和 LN 处理则使水稻植株叶绿素含量下降,其中 LN 处理相比 CK 下降显著($P<0.05$)。

表 3 不同条件育秧对移栽后水稻植株生理生化过程的影响

Table 3 Effects of different methods of rice seedling raising on physiological and biochemical processes of rice plants after transplanting

处理	植株 SPAD 值	丙二醛 (nmol/g)	脯氨酸 (μg/g)
CK	38.56 ± 0.34 d	22.32 ± 4.33 ab	194.55 ± 9.95 c
LN	35.90 ± 0.47 e	23.23 ± 2.42 ab	213.86 ± 6.77 b
D	37.57 ± 0.32 d	24.47 ± 2.43 a	299.32 ± 5.68 a
S	39.64 ± 0.56 c	21.72 ± 2.47 ab	162.73 ± 5.27 d
SD	43.91 ± 1.43 a	18.75 ± 4.30 b	152.39 ± 8.75 de
PA	42.43 ± 0.54 b	21.68 ± 2.08 ab	150.00 ± 7.39 e

不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后,水稻植株丙二醛含量依次为 D>LN>CK>S>PA>SD(表 3)。与 CK 处理相比,D 和 LN 处理使水稻植株丙二醛含量略有增加,而 S、PA 和 SD 处理使其略有

降低。

植株脯氨酸含量在一定程度上能够反映植物的抗逆性,不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后,水稻幼苗脯氨酸含量大小依次为 D>LN>CK>S>SD>PA(表 3)。与 CK 相比,S、SD 和 PA 处理均显著降低了水稻植株脯氨酸含量($P<0.05$),而 D 和 LN 处理均显著增加了水稻植株脯氨酸含量($P<0.05$)。由于丙二醛含量和脯氨酸含量均是植物抗性指标,进一步的分析表明两个指标显著正相关($r = 0.436$, $P<0.05$, 数据未列),表明胁迫条件下均会导致水稻植株丙二醛含量和脯氨酸含量升高。

2.4 不同条件育秧对移栽后水稻幼苗根系形态的影响

根系是植物重要的吸收、代谢器官,其生长情况直接制约着植物对养分的吸收和植株地上部的生长。不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后,总根长大小依次为 SD>S>PA>CK>D>LN(表 4)。与 CK 处理相比,LN 和 D 处理均抑制了水稻总根长,抑制程度为 LN>D;而 SD、S 和 PA 处理均使水稻幼苗总根长增加,增幅为 SD>S>PA,且 SD 和 S 处理与 CK 相比均有显著性差异($P<0.05$)。

不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后,不同处理根表面积、根体积、根尖数、分枝数、平均根直径的大小均为 SD>S>PA>D>CK>LN(表 4)。与 CK 处理相比,仅 LN 处理对水稻根表面积、根体积、根尖数、根分枝数、平均根直径产生了抑制作用,而 SD、S、PA 和 D 处理均对它们产生促进作用,其中部分作用显著($P<0.05$)。

表 4 不同条件育秧对移栽后水稻幼苗期根系形态的影响
Table 4 Effects of different methods rice seedling raising on root morphologies of rice seedlings after transplanting

处理	总根长 (cm/plant)	根表面积 (cm ² /plant)	根体积 (cm ³ /plant)	根尖数 (count/plant)	分枝数 (count/plant)	平均根直径 (mm/plant)
CK	82.08 ± 12.55 cd	9.83 ± 0.89 cd	0.10 ± 0.02 cd	538 ± 135 c	439 ± 80 b	0.20 ± 0.07 c
LN	50.34 ± 5.99 d	6.33 ± 0.73 d	0.06 ± 0.01 d	331 ± 39 c	369 ± 37 b	0.10 ± 0.01 d
D	79.31 ± 6.75 cd	10.34 ± 0.74 cd	0.11 ± 0.01 bcd	539 ± 42 c	498 ± 45 b	0.21 ± 0.01 c
S	162.36 ± 60.3 b	17.17 ± 4.84 b	0.15 ± 0.03 b	1 261 ± 639 b	1 087 ± 724 b	0.34 ± 0.03 ab
SD	223.33 ± 68.64 a	23.37 ± 6.62 a	0.20 ± 0.06 a	1 891 ± 541 a	1 839 ± 830 a	0.40 ± 0.03 a
PA	115.81 ± 31.73 bc	14.33 ± 3.32 bc	0.14 ± 0.03 bc	908 ± 399 bc	839 ± 281 b	0.34 ± 0.04 b

2.5 移栽后水稻生理生化、根系形态与生长发育指标间的相关性

不同育秧条件下的水稻秧苗移栽生长 30 d 后, 水稻植株株高、地上部鲜重、地下部鲜重与叶绿素含量、总根长、根表面积、根体积、根尖数、根分枝数、平均根直径间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$, 表 5)。除地上部鲜重与丙二醛含量间的负相关关系差异不显著外, 株高、地下部鲜重与丙二醛、脯氨酸含量以及地上部鲜重与脯氨酸含量间均为显著或极显著负相关关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。由此可知, 水稻的生长发育主要与根系、植株叶绿素含量和抗逆性关联较好。

表 5 水稻生理生化、根系形态与生长发育指标间的相关性
Table 5 Correlation between indexes of rice physiological, biochemical, root morphology and growth

指标	株高	地上部鲜重	地下部鲜重
叶绿素	0.863**	0.853**	0.825**
丙二醛	-0.422*	-0.321 ^{NS}	-0.405*
脯氨酸	-0.640**	-0.572**	-0.585**
总根长	0.901**	0.935**	0.901**
根表面积	0.923**	0.945**	0.929**
根体积	0.911**	0.916**	0.920**
根尖数	0.893**	0.919**	0.899**
根分枝数	0.876**	0.904**	0.844**
根直径	0.801**	0.760**	0.846**

注: *, ** 分别表示相关性达到 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 显著水平; NS 表示相关性不显著。

3 讨论与结论

本试验中经不同方式育秧后, 与对照相比, 低营养(LN 处理)和干旱(D 处理)条件下育秧 20 d 后均不同程度地降低了水稻秧苗株高、地上部单株鲜重、叶绿素含量, 同时增加了水稻植株丙二醛含量, 这与前人的研究结果^[11-13]一致。而经施用秸秆(S 处理)、秸秆腐解液(SD 处理)以及酚酸混合液(PA 处理)育秧

20 d 后, 水稻秧苗株高、地上部生物量和叶绿素含量均有所提高, 而植株丙二醛含量则下降。本试验中, LN 和 D 处理不利于培育壮秧的原因可能在于二者的胁迫条件超出了水稻秧苗的耐受范围, 而 S、SD 和 PA 条件有利于培育壮秧也许与试验中适量的秸秆量或腐解液浓度或混合酚酸浓度有关。

不同育秧条件下秧苗移栽于相同条件下经 30 d 后, 水稻幼苗的生长表现迥异, 其中 LN 和 D 处理的水稻幼苗株高、生物量仍然因生长受到抑制而下降, 且未恢复到 CK 水平; 而 S、SD 和 PA 处理的水稻幼苗株高和生物量仍旧高于 CK 处理。也即经过 20 d 的不同条件育秧后, 尽管不同处理水稻秧苗在相同麦秸还田条件下重新开始恢复与生长, LN 和 D 处理的水稻幼苗仍旧延续其在秧苗期的弱秧劣势, 而 S、SD 和 PA 处理的水稻幼苗仍可保持其在秧苗期已形成的壮秧优势, 从而对麦秸还田稻田具有较好的抗逆性。

叶绿素是植物光合作用过程中吸收光能的主要色素, 与植物生长密切相关。与不同胁迫条件下秧苗移栽后水稻幼苗的生长表现相对应, 不同处理水稻幼苗的叶绿素含量也表现出类似趋势, 这也部分解释了移栽后 LN 和 D 处理的水稻幼苗生长差于 CK 处理, 而 S、SD 和 PA 处理的水稻幼苗生长优于 CK 处理。丙二醛是植物在逆境下受到活性氧伤害的过氧化产物, 而脯氨酸是多种植物体内最有效的一种亲和性渗透调节物质^[14], 其含量的变化是植物对逆境的适应结果。水稻秧苗经不同胁迫育秧处理并移栽后, LN 和 D 处理的水稻幼苗植株丙二醛含量与脯氨酸含量仍旧高于 CK 处理, 这与他人的研究结果相似^[15-16], 表明经过低营养和干旱育秧的水稻仍未适应麦秸还田条件; 而 S、SD 和 PA 处理则均低于 CK 处理, 表现出非胁迫适应现象。

LN 处理水稻秧苗经移栽生长 30 d 后幼苗根系的伸长受到抑制, 这与他人的研究结果类似^[17-19], 同时根表面积、根体积、根尖数、根分枝数和平均根直

径都表现出抑制效应；D 处理的根系形态变化与 CK 相比未有显著变化，与 D 处理的其他指标变化较一致；而 S、SD 和 PA 处理水稻秧苗经移栽生长 30 d 后幼苗根系各项上述指标均高于 CK 处理，这说明 S、SD 和 PA 处理有利于提高水稻幼苗对麦秸还田条件的抗逆性。本试验中各处理水稻的生长发育指标与根系、叶绿素含量以及逆境生理指标间的关联也表明 5 种不同非常规育秧均通过影响植物的生理生化过程进而改变了水稻幼苗对麦秸还田环境的适应和抗逆性。

总之，在本试验条件下，干旱及低营养条件育秧均降低了水稻株高、生物量以及叶绿素含量，且增加了水稻植株丙二醛和脯氨酸含量，使水稻的生长发育受到抑制；而施用秸秆、浇施秸秆腐解液以及酚酸混合液进行育秧的处理均增加了水稻株高、地上部生物量、叶绿素含量、总根长、根表面积、根体积、根尖数、根分枝数、平均根直径，且均降低了水稻植株丙二醛和脯氨酸含量，提高了水稻秧苗对麦秸腐解产生负面影响的抗逆性和适应性。在水稻育秧时适量添加麦秸、麦秸腐解液或酚酸混合液均可有效提高水稻秧苗的抗逆性，进而减缓麦秸还田对水稻幼苗生长发育的负作用。

参考文献：

- [1] Gaind S, Nain L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants[J]. *Biodegradation*, 2007, 18(4): 495-503
- [2] Becker M, Asch F, Maskey S L, et al. Effects of transition season management on soil N dynamics and system N balances in rice-wheat rotations of Nepal[J]. *Field Crops Research*, 2007, 103(2): 98-108
- [3] 蔡晓布, 钱成, 张永青, 等. 秸秆还田对西藏中部退化土壤环境的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(4): 411-415
- [4] 万年峰, 季香云, 张永兴, 等. 麦秸秆还田和翻耕深度对稻飞虱和蜘蛛群落数量影响[J]. *应用昆虫学报*, 2014(4): 1052-1059
- [5] 李贵, 冒宇翔, 沈俊明, 等. 小麦秸秆还田方式对水稻田杂草化学防治效果及水稻产量的影响[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(5): 1102-1109
- [6] 单玉华, 蔡祖聪, 韩勇, 等. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. *土壤学报*, 2006, 43(6): 941-947
- [7] 于建光, 顾元, 常志州, 等. 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J]. *土壤学报*, 2013, 50(2): 349-356
- [8] 顾元, 常志州, 于建光, 等. 外源酚酸对水稻种子和幼苗的化感效应[J]. *江苏农业学报*, 2013(2): 240-246
- [9] 郝建军, 康宗利, 于洋. *植物生理学实验技术*[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 55-160
- [10] 王学奎. *植物生理生化实验原理和技术*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 134-136
- [11] 覃鹏, 刘叶菊, 刘飞虎. 干旱胁迫对烟草叶片丙二醛含量和细胞膜透性的影响[J]. *亚热带植物科学*, 2004(4): 8-10
- [12] 段素梅, 杨安中, 黄义德, 等. 干旱胁迫对水稻生长、生理特性和产量的影响[J]. *核农学报*, 2014(6): 1124-1132
- [13] 刘娥娥, 宗会, 郭振飞, 等. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2000(3): 235-238
- [14] 李合生. *现代植物生理学*[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2012: 355-390
- [15] 齐永青, 肖凯, 李雁鸣. 作物在渗透胁迫下脯氨酸积累的研究进展[J]. *河北农业大学学报*, 2003(S1): 24-27
- [16] 彭志红, 彭克勤, 胡家金, 等. 渗透胁迫下植物脯氨酸积累的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2002(4): 80-83
- [17] 金剑, 王光华, 刘晓冰, 等. 不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响[J]. *大豆科学*, 2006(4): 360-364
- [18] 乔海涛, 杨洪强, 申为宝, 等. 缺氮和缺铁对平邑甜茶幼苗根系构型的影响[J]. *园艺学报*, 2009(3): 321-326
- [19] 翟丙年, 孙春梅, 王俊儒, 等. 氮素亏缺对冬小麦根系生长发育的影响[J]. *作物学报*, 2003(6): 913-918

Study on Different Methods of Rice Seedling Raising to Improve Its Resistance

YU Jianguang^{1,3}, WU Yifan^{1,2}, HE Xiao^{1,2}, GU Kejun¹, WANG Jidong^{1,3},
ZHANG Yongchun^{1,3}, CHANG Zhizhou^{1*}

(1 *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;*
2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;* 3 *Scientific
Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China*)

Abstract: In rice-wheat rotation system, the toxic and harmful substances produced from wheat straw decomposition can adversely affect the next stubble rice seedlings, how to reduce or avoid it is particularly important for rice production, and it is an important way to improve the resistance of rice seedling through its raising technique. In this experiment, five different resistance training methods were set up to investigate their resistance and adaptability of rice seedlings to the condition of wheat straw returning field. The results showed that drought and low nutrient stress conditions decreased plant height, biomass, chlorophyll content, and increased the contents of malondialdehyde and proline in rice plant, i.e. the rice growth was inhibited. Meanwhile, the application of wheat straw, watering of wheat straw decomposed liquid and phenolic mixture on rice seedlings nursing increased the plant height, aboveground fresh weight, chlorophyll content, total root length, root surface area, root volume, root number, branch number, root diameter, and decreased the contents of malondialdehyde and proline in rice plants. Adding moderate amount of wheat straw or wheat straw decomposed liquid and phenolic mixture in rice seedling nursing period can effectively improve the adaptability of rice seedling to the condition of wheat straw returning field.

Key words: Rice; Rice seedling raising; Resistance