

刘红江, 蒋银涛, 陈留根, 等. 不同播栽方式对水稻根系生长及产量形成的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2): 310-316.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.02.014

不同播栽方式对水稻根系生长及产量形成的影响

刘红江¹, 蒋银涛², 陈留根¹, 郑建初¹

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏明天种业科技有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了揭示不同播栽方式对水稻根系生长动态的影响, 以及水稻根系生长与产量形成之间的关系。以武运梗 24 号为供试材料, 设置直播稻 I(2013 年 6 月 1 日播种)、直播稻 II(2013 年 6 月 17 日播种)、手栽秧、机插秧 4 个处理, 对水稻根系性状及其与产量的关系进行研究。结果显示: 机插秧的水稻产量最高, 手栽秧其次, 直播稻最低。不定根数、不定根总长度、根体积和根干质量水稻生育前期直播稻较大, 生育中、后期手栽秧和机插秧的较大。水稻生育中、后期手栽秧和机插秧的水稻单茎根数和单茎总根长均显著高于直播稻。抽穗期和穗后 20 d 的水稻不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量、单茎根数和单茎总根长与产量均呈正相关关系, 说明生育中、后期水稻根量增加有利于水稻高产, 手栽秧和机插秧更符合高产水稻根系生长特点。

关键词: 不同播栽方式; 水稻; 根系; 生长动态; 产量

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)02-0310-07

Influence of planting modes on root growth and yield of *Oryza sativa* L.

LIU Hong-jiang¹, JIANG Yin-tao², CHEN Liu-gen¹, ZHENG Jian-chu¹

(1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Mingtian Seed Technology Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: To investigate the effect of different planting modes on rice root growth dynamics, and the correlation between root growth and yield formation of rice, a japonica rice cultivar Wuyunjing 24 was studied under four planting modes, which were two direct seedings at June 1 and June 17 in 2013, respectively, and manual transplanting and mechanical transplanting in Taihu lake area. The grain yield followed the order of mechanical transplanting > manual transplanting > direct seeding. Among four planting modes, direct seeding increased total root number, total root length, total root volume and total root weight at early stage which under manual transplanting and mechanical transplanting were higher at middle and late stages. Manual transplanting and mechanical transplanting significantly boosted root number per stem and root length per stem at middle and late stages. There were positive correlations between grain yield and total root number, total root length, total root volume, total root weight, root number per stem and root length per stem at heading stage and 20 d after

heading. It indicated that the increment of total root quantity at middle and late stages were propitious to achieve higher grain yield. Therefore, manual transplanting and mechanical transplanting were favorable rice high yield.

Key words: planting mode; rice; root system; growth dynamics; grain yield

收稿日期: 2014-09-02

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)3003]

作者简介: 刘红江(1979-), 男, 江苏建湖人, 博士, 副研究员, 主要从事农业生态和水稻栽培生理生态研究。(Tel) 025-84390192; (E-mail) LiuHongjiang2004@sohu.com

通讯作者: 郑建初, (E-mail) zjc@jaas.ac.cn

根系是水稻植株的重要组成部分,是吸收水分和养分的主要器官,又是合成多种激素、有机酸和某些氨基酸等生理活性物质的重要场所,其形态特征与生理活性及地上部生长发育、养分吸收、产量和品质形成有着密切关系^[1-6]。研究不同播栽方式对水稻根系性状的影响及其与产量的关系,有助于生产上通过栽培措施调控水稻根系生长发育,获得水稻高产。有关学者对水稻根系形态建成^[7],根系形态与根系生理活性^[8-9]、养分吸收^[10]、地上部生长及产量^[11]的关系,根系生长调控^[12],根系对环境的响应^[13-14]等方面已经做了大量研究。水稻是中国主要的粮食作物之一,江苏省水稻播种面积常年在 $2.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上^[15],随着农业产业结构的调整以及农村劳动力的大量转移,水稻播栽方式也发生了相应的变化,目前江苏水稻种植主要有手栽、机插、直播3种播栽方式。关于不同播栽方式对水稻生长发育、光合生产、产量形成等^[16-18]的影响已有许多研究。由于根系生长在地下,较地上部的观测研究相对困难,目前为止,关于不同播栽方式对水稻根系生长动态影响的研究较少。为此,本试验设置直播稻、手栽秧、机插秧3种播栽方式,就不同播栽方式对水稻根系生长发育特性及其与水稻产量的关系进行研究,以期太湖流域水稻高产栽培根系生长调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验于2013年5~11月在江苏省苏州市望亭镇项路村农业示范园实验田($31^\circ 27' \text{N}$, $120^\circ 25' \text{E}$)中进行,该地属于北亚热带季风气候,年降水量1 100 mm左右,年平均温度约 15.7°C ,年日照时间大于2 000 h,年无霜期大于230 d,种植制度为水稻、冬小麦轮作。土壤类型为黄泥土,土壤基本理化性质为:全氮 1.70 g/kg ,速效氮 45.8 mg/kg ,总磷 0.41 g/kg ,速效磷 16.6 mg/kg ,速效钾 161.4 mg/kg ,容重 1.25 g/cm^3 ,有机质 23.60 g/kg ,pH 6.8。

1.2 供试材料

试验设直播、手栽、机插3种播栽方式。联合收割机收获上季小麦时将秸秆切碎,然后用中拖耕翻秸秆还田。直播稻分2013年6月1日(直播稻Ⅰ)和2013年6月17日(直播稻Ⅱ)2个播种时期,播种量均为 60 kg/hm^2 ;手栽秧于2013年6月17日移

栽,密度为 $1 \text{ m}^2 25$ 穴,行距为25 cm,株距为16 cm,每穴3苗;机插秧于2013年6月17日插秧,密度为 $1 \text{ m}^2 24$ 穴,行距为30 cm,株距为14 cm,每穴3~4苗(不同播栽方式水稻的播种量和栽插密度均参照本地区生产上的常用规格),共4个处理,重复3次,随机区组设计,各小区间作埂隔开,小区面积 200 m^2 。供试水稻品种为:武运粳24号。氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)施用量分别为 270 kg/hm^2 、 60 kg/hm^2 、 90 kg/hm^2 ,其中氮肥运筹按照手栽秧基肥:分蘖肥:穗肥为4:2:4,分蘖肥于移栽后7 d一次性施用,穗肥于倒四叶期和倒二叶期分2次施用;机插秧基肥:分蘖肥:穗肥为2:4:4;分蘖肥于移栽后7 d和15 d分2次施用,穗肥于倒四叶期和倒三叶期分2次施用;直播稻基肥:分蘖肥:穗肥为2:4:4,分蘖肥于3叶1心期施用,穗肥在叶龄余数3.5~3.0和1.5~1.0时分2次施用;磷肥全部作为基肥施用,钾肥分别于耕翻前、拔节期等量施用。除生育中期达到穗数苗时,进行分次排水搁田,其余时期保持浅水层,至收割前10 d停止灌水。适时进行病虫草害防治,水稻正常生长发育。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系形态性状 分别于分蘖中期、拔节期、抽穗期、穗后20 d每小区调查100穴有效茎蘖(穗)数,取其中有代表性的植株5穴(株),每穴以植株为中心,取长25.0 cm、宽16.7 cm、深20.0 cm的土块,用清水冲洗后,将水稻植株以单茎为单位分开,记数每穴不定根数;根数记数完毕,再将水稻根系剪切开,整齐摆放,以首尾相连接的方法测量每穴不定根总长度;用容积法测定剪切好的每穴根系体积。

1.3.2 根干质量和根冠比 将水稻根系及地上部分分开,置于恒温箱内, 105°C 杀青30 min、 80°C 烘至恒质量(一般为72 h),称量根系干质量和地上部干质量,计算根冠比。

1.3.3 水稻产量 在水稻成熟期,每小区调查100穴植株的穗数,根据调查的平均穗数取代表性植株5穴,测定每穗颖花数,用水漂法区分饱粒(沉入水底者)和空瘪粒,计算结实率和千粒质量,计算理论产量,并实测各小区产量。

1.4 统计分析方法

采用SPSS 13.0软件进行统计分析,作图采用Excel作图软件。各处理的比较采用最小显著差数(LSD)法。

2 结果与分析

2.1 不同播栽方式对水稻产量的影响

不同播栽方式对水稻产量及其构成因素的影响如表 1 所示,由表 1 可知,机插秧水稻理论产量和实收产量均最高,机插秧实收产量分别比手栽秧、直播稻 I 和直播稻 II 增加 5.4%、6.4% 和 16.1%。手栽秧与直播稻 I 的产量差异不显著,但均要显著大于直播稻 II,不同播栽方式水稻实收产量与理论产量的变化趋势基本一致。说明适当早播有利于提高直播稻的产量。

从产量构成因素看,直播稻的有效穗数较多,穗型相对较小;而手栽秧和机插秧有效穗数较少,穗型

相对较大。直播稻 I 和直播稻 II 平均有效穗数分别比手栽秧和机插秧提高了 19.5% 和 12.5%,同时,直播稻 I 的有效穗数比直播稻 II 提高了 10.2% ($P < 0.05$);直播稻 I 和直播稻 II 平均每穗粒数比手栽秧和机插秧下降了 18.3% 和 15.5% ($P < 0.05$);直播稻 I 和直播稻 II 平均结实率比手栽秧和机插秧分别下降了 2.7% 和 4.4%,机插秧显著大于手栽秧,且两者均显著大于直播稻;直播稻 I 和直播稻 II 千粒质量比手栽秧和机插秧分别下降了 0.4% 和 0.9%,机插秧显著大于手栽秧和直播稻。直播稻 I 的产量与手栽秧和机插秧相比下降幅度不大,主要是因为直播稻 I 提早播种,促进分蘖早发,最终显著增加了其有效穗数。

表 1 不同播栽方式对水稻产量及其构成因素的影响

Table 1 Effect of different planting modes on yield and yield components of rice

处理	1 m ² 有效穗数 (穗)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	理论产量 (g/m ²)	实收产量 (g/m ²)
直播稻 I	340.0a	119.9c	91.1d	25.50b	946.5b	931.8b
直播稻 II	308.4b	120.4c	91.9c	25.46b	869.3c	854.1c
手栽秧	271.4d	147.1a	94.1b	25.59ab	960.3b	940.4b
机插秧	288.1c	142.2b	95.7a	25.70a	1008.2a	991.3a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.2 不同播栽方式对水稻不定根数的影响

不同播栽方式对水稻单位面积不定根数的影响如表 2 所示,由表 2 可知,直播稻 I 和直播稻 II 分蘖中期、拔节期不定根数均显著大于手栽秧和机插秧;到抽穗期、穗后 20 d 4 种处理的水稻不定根数间差异不明显。

水稻播栽至穗后 20 d 可分为播栽至有效分蘖临界叶龄期^[19]、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期和抽穗至穗后 20 d 等 4 个生育阶段。直播稻播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 1 m² 不定根的平均发生数分别为 1.45×10^4 条、 0.27×10^4 条、 0.54×10^4 条、 0.29×10^4 条;手栽秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 1 m² 不定根的发生数分别为 1.13×10^4 条、 0.36×10^4 条、 1.00×10^4 条、 0.10×10^4 条;机插秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 1 m² 不定根的发生数分别为 0.78×10^4 条、 0.25×10^4 条、 1.23×10^4 条、 $0.47 \times$

10^4 条,说明在水稻生育前期,直播稻的根系发生快,而到生育中、后期手栽秧和机插秧的根系发生明显加快,到穗后 20 d 时,不同播栽方式下水稻 1 m² 不定根数间差异不显著。

表 2 不同播栽方式对水稻不定根数的影响

Table 2 Effect of different planting modes on total root number of rice

处理	1 m ² 不定根数 ($\times 10^4$ 条)			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	1.63a	1.91a	2.23a	2.67a
直播稻 II	1.28b	1.54b	2.30a	2.43a
手栽秧	1.13c	1.47c	2.47a	2.57a
机插秧	0.78d	1.03d	2.26a	2.73a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.3 不同播栽方式对水稻不定根总长度的影响

不同播栽方式对水稻单位面积不定根总长度的影响如表 3 所示,由表 3 可知,分蘖中期直播稻 I 不定根总长度显著大于直播稻 II、手栽秧和机插秧;拔节期、抽穗期、穗后 20 d 直播稻 I 不定根总长度均

明显高于其他处理。

直播稻I和直播稻II播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 不定根总长度的平均生长量分别为 $1.12 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.10 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $1.02 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.27 \times 10^3 \text{ m/m}^2$;手栽秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 不定根总长度分别为 $0.97 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.42 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.82 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.16 \times 10^3 \text{ m/m}^2$;机插秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 不定根总长度的生长量分别为 $0.66 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.23 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $1.28 \times 10^3 \text{ m/m}^2$ 、 $0.38 \times 10^3 \text{ m/m}^2$,说明在水稻生育前期,直播稻和手栽秧的不定根总长度增加较快,而到生育中后期机插秧的不定根总长度增加较快,到穗后 20 d 时,不同播栽方式下水稻不定根总长度间差异不显著。

表 3 不同播栽方式对水稻不定根总长度的影响

Table 3 Effect of different planting modes on total root length of rice

处理	不定根总长度 ($\times 10^3 \text{ m/m}^2$)			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	1.29a	1.44a	2.40a	2.65a
直播稻 II	0.94b	0.98b	2.06b	2.35b
手栽秧	0.97b	1.39a	2.21ab	2.36b
机插秧	0.66c	0.89c	2.17ab	2.55ab

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.4 不同播栽方式对水稻根体积的影响

不同播栽方式对水稻根体积的影响如表 4 所示,由表 4 可知,分蘖中期、拔节期直播稻根体积显著大于手栽秧和机插秧;到抽穗期、穗后 20 d 手栽秧和机插秧根体积明显大于直播稻,其中,抽穗期不同处理间的差异达显著水平。

直播稻播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根体积的平均增加量分别为 0.35 L/m^2 、 0.14 L/m^2 、 0.48 L/m^2 、 0.14 L/m^2 ;手栽秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根体积的增加量分别为 0.27 L/m^2 、 0.14 L/m^2 、 0.75 L/m^2 、 0.02 L/m^2 ;机插秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至

拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根体积的增加量分别为 0.22 L/m^2 、 0.16 L/m^2 、 0.75 L/m^2 、 0.05 L/m^2 ;说明直播稻根体积在水稻生育前期增加较快,手栽秧和机插秧根体积在水稻拔节长穗期迅速增加,抽穗后手栽秧和机插秧根体积增加缓慢。

表 4 不同播栽方式对水稻根体积的影响

Table 4 Effect of different planting modes on total root volume of rice

处理	根体积 (L/m^2)			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	0.39a	0.54a	1.05b	1.14a
直播稻 II	0.32b	0.45b	0.90c	1.08a
手栽秧	0.27c	0.41bc	1.16a	1.17a
机插秧	0.22d	0.38c	1.13ab	1.18a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.5 不同播栽方式对水稻根干质量及根冠比的影响

不同播栽方式对水稻根干质量的影响如表 5 所示,由表 5 可知,分蘖中期直播稻根干质量显著大于手栽秧和机插秧;拔节期手栽秧根干质量显著增加;抽穗期不同播栽方式下水稻根干质量间差异均不明显。

直播稻播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根干质量的平均增长量分别为 28.6 g/m^2 、 26.5 g/m^2 、 43.7 g/m^2 、 -8.0 g/m^2 ;手栽秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根干质量的增长量分别为 19.9 g/m^2 、 54.5 g/m^2 、 32.5 g/m^2 、 0.5 g/m^2 ;机插秧播栽至有效分蘖临界叶龄期、有效分蘖临界叶龄期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗至穗后 20 d 根干质量的增长量分别为 16.3 g/m^2 、 34.6 g/m^2 、 42.8 g/m^2 、 9.4 g/m^2 ;说明直播稻根干质量在水稻生育前期增长较快,抽穗后逐渐停止生长,手栽秧和机插秧根干质量在水稻拔节长穗后迅速增长。

根冠比是表征水稻植株地上与地下两部分生长是否协调的重要指标。总体来看,随着生育进程的推进,不同播栽方式水稻根冠比不断减小(表 5)。由表 5 还可以看出,不同播栽方式水稻根冠比,分蘖中期和拔节期直播稻根冠比明显大于手栽秧和机插秧;到抽穗期不同播栽方式下水稻的根冠比相对接近,穗后 20 d 手栽秧和机插秧根冠比显著大于直播稻。说明直播稻根冠比在水稻生育前期较大,到水

稻生育中后期,手栽秧和机插秧的根冠比逐渐大于直播稻。

2.6 不同播栽方式对水稻单茎根数和单茎总根长的影响

不同播栽方式对水稻单茎根数的影响如表 6 所

示,由表 6 可知,水稻分蘖中期,手栽秧的单茎根数最多,直播稻其次,机插秧最小,且处理间差异达显著水平;拔节期和抽穗期手栽秧的单茎根数最多,显著高于其他处理;穗后 20 d 手栽秧和机插秧的单茎根数相当,且均显著大于直播稻。

表 5 不同播栽方式对水稻根干质量及根冠比的影响

Table 5 Effect of different planting modes on the ratio of total root weight to root shoot of rice

处理	根干质量(g/m ²)				根冠比			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	33.1a	58.4b	105.6a	100.2a	0.256 1a	0.166 6b	0.097 9a	0.063 9b
直播稻 II	24.0b	51.8b	91.9a	81.3b	0.228 4b	0.186 2a	0.098 5a	0.059 1b
手栽秧	19.9c	74.3a	106.9a	107.4a	0.167 4c	0.124 0c	0.101 4a	0.072 7a
机插秧	16.3d	51.0b	93.8a	103.2a	0.210 2b	0.121 0c	0.092 2a	0.071 0a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

表 6 不同播栽方式对水稻单茎根数的影响

Table 6 Effect of different planting modes on root number per stem of rice

处理	单茎根数			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	23.70b	33.66b	65.50c	78.50b
直播稻 II	19.38c	25.40c	74.04b	78.69b
手栽秧	29.23a	45.71a	90.04a	94.88a
机插秧	19.06c	29.02bc	77.33b	94.76a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

不同播栽方式对水稻单茎总根长的影响如表 7 所示,由表 7 可知,水稻分蘖中期和拔节期,手栽秧的单茎总根长显著大于其他处理;抽穗期手栽秧单茎总根长最大,机插秧单茎总根长明显大于直播稻;穗后 20 d 机插秧的单茎总根长继续快速增加,最终与手栽秧相当,且两者均显著大于直播稻。

表 7 不同播栽方式对水稻单茎总根长的影响

Table 7 Effect of different planting modes on root length per stem of rice

处理	单茎总根长(m)			
	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
直播稻 I	1.88b	2.54b	7.05b	7.81b
直播稻 II	1.43c	1.62c	6.65b	7.63b
手栽秧	2.52a	4.32a	8.07a	8.72a
机插秧	1.61c	2.50b	7.44ab	8.86a

竖栏数据后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.7 水稻根系性状与产量的相关关系

结果(表 8)显示,水稻产量与分蘖中期和拔节期不定根数、不定根总长度、根体积及分蘖中期根干质量呈负相关关系;与抽穗期和穗后 20 d 不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量均呈正相关关系,且相关性多达显著水平。说明水稻生育前期,不定根数、不定根长、体积、干质量大,可能来自于茎蘖数过多,而过高的茎蘖数会造成水稻群体质量下降,最终影响产量。而水稻生育中、后期根量加大,有利于提高水稻的产量。

水稻产量与不同生育时期单茎根数和单茎总根长均呈正相关关系,其中抽穗期和穗后 20 d 相关性多达显著或极显著水平。说明在控制合理群体的基础上,促进水稻单茎根系生长,特别是增加水稻抽穗后的单茎根系量,有利于进一步提高水稻的产量水平。

表 8 水稻根系性状与产量的相关系数

Table 8 Coefficients between root system traits and grain yield of rice

根系性状	分蘖中期	拔节期	抽穗期	穗后 20 d
不定根数	-0.517	-0.490	0.184	0.607 *
不定根总长度	-0.316	-0.014	0.806 **	0.518
根体积	-0.539	-0.360	0.890 **	0.648 *
根干质量	-0.385	0.147	0.700 *	0.873 **
单茎根数	0.191	0.386	0.303	0.704 *
单茎总根长	0.348	0.487	0.641 *	0.784 **

* 与 ** 分别表示相关性达 0.05 和 0.01 显著水平。

3 讨论

3.1 不同播栽方式对水稻根系生长动态的影响

水稻根系生长受到品种的遗传背景和环境条件的共同影响,同时,根系生长的数量与水稻养分吸收、物质生产和产量建成关系密切^[20]。关于不同播栽方式对水稻物质生产和产量形成的影响,刘红江等^[21]研究表明,在水稻生育前期,手栽秧生物产量较大,机插秧相对较小;到水稻成熟期,机插秧和手栽秧的生物产量明显大于较迟播种的直播稻。最终,机插秧水稻产量最高,手栽秧产量其次,直播稻产量最低;通过适当早播,能够提高直播稻的产量,增加其经济效益。关于不同播栽方式对水稻根系生长的影响,本研究结果表明,水稻生育前期直播稻不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量均较大,到生育中后期则是手栽秧和机插秧的较大。原因主要在于,直播稻播种量较大,其生育前期茎蘖数多,群体较大,到生育中后期由于搁田后其无效分蘖大量消亡,根系数量也大量减少,其根数也随之显著减少。任万军等^[8]通过对常规手插秧、常规抛秧和免耕留茬抛秧的比较研究,发现常规手栽秧处理植株在水稻拔节至抽穗期发根力最强基本一致。

进一步将水稻播栽至穗后 20 d 分为有效分蘖期、无效分蘖期、拔节长穗期和灌浆前期 4 个生育阶段。唐文帮等^[22]研究发现,不同高产杂交组合水稻品种的发根力均是在分蘖盛期或孕穗期最强,之后呈递减趋势,特别是从抽穗期至灌浆期发根力下降幅度最大。董桂春等^[23]在水培条件下的研究表明,库容量较大的水稻品种,单位面积不定根数、不定根总长、不定根干质量等在水稻抽穗期得到显著提高。本研究结果表明,在生育前期,直播稻不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量增长较快;在水稻拔节长穗期,手栽秧和机插秧的不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量增长较快。其原因可能是由于直播稻的播种量较大,生育前期群体较大,因此根系生长迅速,但到生育后期,直播稻群体过大^[21],容易出现早衰,根系的生长幅度下降。而机插秧和手栽秧能保证株行距的一致性,便于田间管理,促进壮苗,同时机插秧和手栽秧田间通风、采光性好,水稻长势好,茎秆粗壮,与直播稻相比较,机插秧和手栽秧生育中、后期的单位面积根系发生量明显增加。本研究手栽秧和机插秧水稻的根系发育特征与前人

研究的高产水稻根系发育特征具有更多相似之处,可能是手栽秧和机插秧水稻产量较高的原因之一。

3.2 水稻根系形态特征与产量形成的关系

关于水稻根系特征与产量的关系,唐文帮等^[22]对杂交水稻的研究结果表明,抽穗期根系干质量、不定根条数、不定根总长以及灌浆期和乳熟期的发根力与单株产量呈显著或极显著正相关,并认为抽穗期的不定根数和根系活力是水稻高产的主要影响因素,可作为水稻高产栽培和水稻品种遗传改良的可靠指标。刘桃菊等^[24]通过建立数学回归模型的方法,研究了水稻上位根系参数与产量形成的关系,结果表明,齐穗期上位根的根干质量密度、根长密度与水稻产量之间呈显著正相关。本研究表明,水稻产量与分蘖中期和拔节期 1 m^2 不定根数、不定根总长度、根体积及分蘖中期根干质量呈负相关关系;与抽穗期和穗后 20 d 1 m^2 不定根数、不定根总长度、根体积、根干质量均呈正相关关系。说明手栽秧和机插秧增加水稻生育中后期的发根量,延缓根系衰老消亡速度,保持水稻抽穗后较大的群体根系量和根系活性,确保根系可以充分吸收养分和水分,以满足地上部生长和籽粒灌浆充实的需要,对于提高水稻产量水平具有非常重要的作用。此外,不同播栽方式下水稻根系活性与产量形成的关系研究结果表明,机插秧提高了水稻生育中后期的根系活力^[21],最终提高了水稻籽粒产量。

关于如何通过促进根系生长,进而提高水稻产量的相关技术措施,徐春梅等^[25]在水培条件下研究表明,增氧处理能促进水稻苗期水稻根系生长,提高根系活力;徐芬芬等^[26]研究表明,水稻抽穗以后间歇灌溉,使土表 10 cm 以下根系生物量高于淹灌处理,同时间歇灌溉处理水稻最大根长平均比淹灌处理长 5 cm,说明间歇灌溉有利于促进水稻生育中后期的根系生长;董桂春等^[27]研究表明,早施促蘖肥和穗肥,能够促进水稻分蘖的发生,促进水稻根系的发展,巩固分蘖成穗,提高水稻产量。因此,在实际生产中,可以通过适当早施分蘖肥和穗肥,促进水稻根系的早发快发;并注意适时搁田,在水稻生育后期进行间隙灌溉,增加稻田土壤的含氧量,促进水稻根系的生长和下扎,提高水稻根系生理活性,防止水稻根系出现早衰,进而促进水稻生长,增加水稻生育后期干物质积累量,最终提高水稻产量。

本研究结果表明,从单茎根数看,在水稻分蘖中

期、拔节期和抽穗期手栽秧的最多;抽穗后手栽秧和机插秧相当,且两者均显著大于直播稻。从单茎总根长看,在水稻分蘖中期、拔节期和抽穗期手栽秧的最长;抽穗期和抽穗后机插秧的单茎总根长迅速增加,最终与手栽秧相当,且两者均显著大于直播稻。水稻产量与不同生育时期单茎根数和单茎总根长均呈正相关关系。周小冬等^[28]在水培条件下研究结果表明,抽穗期水稻每条不定根根粗和根质量、单位长度根干质量、每穗根干质量、每穗不定根长、每穗根条数、每穗根系活力与单穗重均呈显著或极显著正相关。说明,合理控制群体的基本苗数和高峰苗数,协调群体和个体生长的关系,改善水稻单茎根系质量,增加单茎根数和单茎总根长,有利于进一步提高水稻产量。

参考文献:

- [1] INUKAI Y, ASHIKARI M, KITANO H. Function of the root system and molecular mechanism of crown root formation in rice[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2004, 45(Suppl): 17.
- [2] 朱德峰,林贤青,曹卫星. 水稻深层根系对生长和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(4): 429-432.
- [3] 李木英,石庆华,许锦彪,等. 不同早稻品种灌浆期高温胁迫后根系生理差异研究[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 105-107.
- [4] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 36-46.
- [5] 高华健,任 静,蔡凤香,等. MAPK 调节水稻幼苗根系生长的分子机制[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(1): 18-21.
- [6] 刘少华,谢鹏飞,徐国华,等. 根际 pH 值对高产杂交稻幼苗根系生长特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(1): 70-72.
- [7] SHIMIZU H, TANABATA T, XIE X Z, et al. Physiological function of phytochromes in seminal root growth of rice seedling[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2006, 47(Suppl): 203-206.
- [8] 任万军,杨文钰,樊高琼,等. 不同种植方式对水稻植株发根力的影响[J]. *核农学报*, 2007, 21(3): 287-290.
- [9] ZHANG H, TAN G, YANG L, et al. Hormones in the grains and roots in relation to post-anthesis development of inferior and superior spikelets in *japonica/indica* hybrid rice[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47: 195-204.
- [10] 常二华,张慎凤,王志琴,等. 结实期氮磷营养水平对水稻根系和籽粒氨基酸含量的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(4): 612-618.
- [11] 赵全志,乔江方,刘 辉,等. 水稻根系与叶片光合特性的关系[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(5): 1064-1068.
- [12] 徐晓燕,杨肖娥,杨玉爱. 重碳酸氢根对水稻根区重要有机酸分布的影响与水稻品种耐缺 Zn 关系的研究[J]. *作物学报*, 2001, 27(3): 387-391.
- [13] 史 锟,张福锁,刘学军,等. 不同栽培方式对籼、粳稻根表铁膜和根铁、镉含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1273-1277.
- [14] 姜秀娟,张素红,苗立新,等. 盐胁迫对水稻幼苗的影响研究[J]. *北方水稻*, 2010, 40(1): 21-24.
- [15] 邓建平. 对江苏省实现水稻亩产跨越 600 kg 的思考[J]. *中国农技推广*, 2011, 27(10): 6-7, 17.
- [16] 程建平,罗锡文,樊启洲,等. 不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(1): 1-5.
- [17] KUNNIKA N, SHU F, KESORN N. Growth of rice cultivars by direct seeding and transplanting under upland and low land conditions[J]. *Field Crops Research*, 1996, 48: 115-123.
- [18] 李 杰,张洪程,董洋阳,等. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(13): 2661-2672.
- [19] 凌启鸿,苏祖芳,张洪程,等. 水稻品种不同生育类型的叶龄模式[J]. *中国农业科学*, 1983, 16(1): 1-8.
- [20] 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(3): 429-436.
- [21] 刘红江,郑建初,陈留根,等. 不同播栽方式对水稻生长发育特性的影响[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(9): 2326-2331.
- [22] 唐文帮,邓化冰,肖应辉,等. 两系杂交水稻 C 两优系列组合的高产根系特征[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2859-2868.
- [23] 董桂春,董燕萍,张 彪,等. 不同库容量类型籼稻品种根系性状的差异[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3058-3066.
- [24] 刘桃菊,戚昌瀚,唐建军. 水稻根系建成与产量及其构成关系的研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1416-1419.
- [25] 徐春梅,王丹英,陈 松,等. 增氧对水稻根系生长与氮代谢的影响[J]. *中国水稻科学*, 2012, 26(3): 320-324.
- [26] 徐芬芬,曾春晓,石庆华,等. 不同灌溉方式对水稻根系生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(1): 102-104.
- [27] 董桂春,王余龙,吴 华,等. 水稻主要根系性状对施氮时期反应的品种间差异[J]. *作物学报*, 2003, 29(6): 871-877.
- [28] 周小冬,董桂春,张岳芳,等. 水稻穗重构成因子与根系性状关系的研究[J]. *江苏农业科学*, 2007(4): 5-8.

(责任编辑:袁 伟)