

淦鑫 203 根系生长特征与产量 及产量构成的相关性研究

胡启锋, 曾勇军*, 石庆华, 潘晓华, 李素佳, 易引辉

(江西农业大学 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/农业部双季稻生理生态与栽培重点开放实验室 / 江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室 江西 南昌 330045)

摘要:以淦鑫 203 为材料,通过秧龄、密度和施氮量处理研究其根系生长特征与产量及产量构成的关系。结果表明:淦鑫 203 产量与根系总干重、根系总体积、根系伤流量以及 5~15 cm 根系干重和体积均呈极显著或显著的正相关关系;10~15 cm 20~30 cm 内围根系($r \leq 5$ cm)干重和体积以及 10~15 cm 外围($r \geq 5$ cm)根系干重和体积均与产量呈显著正相关关系;0~5 cm 内围根系干重与千粒重呈显著正相关;0~10 cm 外围根系干重和根系体积与每穗粒数呈显著正相关。研究结果还表明,影响淦鑫 203 产量的主要因素是每穗粒数,其与齐穗期、乳熟期的根系伤流量也呈极显著正相关关系。

关键词:双季早稻;根系;产量;产量构成;相关性

中图分类号:S511.01 文献标识码:A 文章编号:1000-2286(2010)01-0001-08

Correlation Analysis of Root Growth Characteristics and Yield and Yield Components of Early Season Rice Ganxin203

HU Qi-feng, ZENG Yong-jun*, SHI Qing-hua,
PAN Xiao-hua, LI Su-jia, YI Yin-hui

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation of Double Cropping Rice, Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: Ganxin 203 was used to study the correlation between root growth characteristics and yield and yield components by treatment with different seedling ages, transplanting densities and nitrogen applications. The results showed that yield was significantly or very significantly positively correlated with weight, volume and bleeding intensity of the total root and the roots weight, volume of the soil layer 5-15 cm. Significant or very significant positive correlations between yields and roots weights, volumes of the layer 10-15 cm and 20-30 cm of inner circle ($r \leq 5$ cm) and the layer 10-15 cm of outer circle ($r \geq 5$ cm) were also observed. 1 000-grain weight was significantly positively correlated with root weight of the layer 0-5 cm of inner circle. Spikelet number per panicle was significantly positively correlated with root weight and volume of the layer 0-10 cm of outer circle. Besides, the results indicated that the main factor affecting grain yield was spikelet number per panicle and it was significantly positively correlated with root bleeding intensity in full heading and milk stage.

Key words: early-season rice; roots; yield; yield components; correlation

收稿日期:2009-09-03 修回日期:2009-12-15

基金项目:国家粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A04)、超级稻配套栽培技术集成项目(超级稻专项)和江西省科技计划项目(20051B0200101)

作者简介:胡启锋(1986-),男,硕士生,主要从事水稻高产理论与技术研究, E-mail: huqifeng0514@163.com; * 通讯作者:曾勇军,博士。

根系是水稻植株的重要组成部分,是水稻吸收水分、养分的器官,同时也是重要的代谢器官,在作物的生长发育和产量的形成过程中起着非常重要的作用^[1]。石庆华等^[2]研究表明,水稻根数、根系体积、根系干重、根系吸收面积、根系活力等与产量及产量构成密切相关。川田^[3]、Mortia^[4]、朱德峰^[5]、蔡昆争等^[6]认为水稻产量与下层根(10 cm 以下)关系密切。郑景生等^[7]认为水稻 20 cm 以下根系与产量没有显著的相关性。而刘桃菊等^[8]以汕优 63 和两优培特为材料对水稻根系分布与产量形成关系进行研究后认为,水稻产量及产量构成与上层根(10 cm 以上)关系的密切程度比下层根高,凌启鸿等^[9]的研究也表明,水稻上层根系对每穗粒数、结实率和产量的影响大于下层根系。由此可见,前人对水稻根系及其与产量的关系作了较多研究,但研究对象主要以上下不同层次的根系为主,而对内外围根系的分布及其与产量形成的关系研究较少,同时由于品种、土壤及栽培管理等试验条件的差异,所得结果也不尽一致。为了进一步探明双季稻根系生长特征与产量及产量构成的关系,明确内围根系和外围根系在双季稻产量形成中的作用,本研究以超级早稻淦鑫 203 为材料,通过秧龄、氮素和密度处理,塑造不同产量结构的水稻群体,系统研究其根系生长特征及其与产量及产量构成的关系,旨在为双季早稻的高产栽培和根系育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2008 年在江西省进贤县温圳镇杨溪村进行,以超级早稻组合淦鑫 203 为材料,秧龄和氮肥分别设 4 个水平,密度设 3 个水平,采用 $L_{16}(4^3)$ 正交设计(表 1)。氮肥按 $m_{基肥}:m_{分蘖肥}:m_{穗肥}=5:2:3$ 施用;施钾量(K_2O)为 210 kg/hm^2 ,按 $m_{基肥}:m_{穗肥}=7:3$ 施用;施磷量(P_2O_5)为 105 kg/hm^2 ,全部作基肥施用。小区面积 13.98 m^2 ,重复 4 次。试验于 3 月 23 日播种,育秧方式为旱床育秧,分别于 4 月 12 日、4 月 17 日、4 月 22 日和 4 月 27 日移栽,每穴插 3 粒谷苗,7 月 15 日收获。

1.2 取样方法

根系取样采用田间土柱法。钢质取样器分两种形状:方形和圆形,方形钢筒的规格(株距×行距×深)分别为 $13.33\text{ cm} \times 23.33\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, $16.67\text{ cm} \times 23.33\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, $20.00\text{ cm} \times 23.33\text{ cm} \times 30\text{ cm}$;圆形钢筒的半径为 5 cm,深为 30 cm。齐穗期每小区按平均数选 3 株有代表性的稻株,沿其基部 5 cm 处将稻株剪掉,然后以稻株为中心,用相应规格的取样器垂直打下,把钢筒四周的泥土挖掉,将钢筒连同土柱一起取出,后用小刀沿筒壁小心把土柱取出,将土柱自上而下分成 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~30 cm 5 层,再用圆形钢筒在各层的中心将土样分为内围($r \leq 5\text{ cm}$)和外围($r \geq 5\text{ cm}$),分别装入网袋,用水小心冲洗干净待测。

表 1 试验设计

Tab. 1 Experiment design

处理 Treatments	代号 Code	秧龄/d Seedling age	施 N 量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Nitrogen application	移栽密度/ ($\text{cm} \times \text{cm}$) Transplanting density
T ₁	A ₁ B ₁ C ₁	20	225	13.33 × 23.33
T ₂	A ₁ B ₂ C ₂	20	0	16.67 × 23.33
T ₃	A ₁ B ₃ C ₃	20	105	20.00 × 23.33
T ₄	A ₁ B ₄ C ₄	20	165	13.33 × 23.33
T ₅	A ₂ B ₁ C ₂	25	225	16.67 × 23.33
T ₆	A ₂ B ₂ C ₁	25	0	13.33 × 23.33
T ₇	A ₂ B ₃ C ₄	25	105	13.33 × 23.33
T ₈	A ₂ B ₄ C ₃	25	165	20.00 × 23.33
T ₉	A ₃ B ₁ C ₃	30	225	20.00 × 23.33
T ₁₀	A ₃ B ₂ C ₄	30	0	13.33 × 23.33
T ₁₁	A ₃ B ₃ C ₁	30	105	13.33 × 23.33
T ₁₂	A ₃ B ₄ C ₂	30	165	16.67 × 23.33
T ₁₃	A ₄ B ₁ C ₄	35	225	13.33 × 23.33
T ₁₄	A ₄ B ₂ C ₃	35	0	20.00 × 23.33
T ₁₅	A ₄ B ₃ C ₂	35	105	16.67 × 23.33
T ₁₆	A ₄ B ₄ C ₁	35	165	13.33 × 23.33

1.3 考查测定内容

齐穗期将取好洗净后的根系用排水法测其体积,然后在 80 °C 温度下烘 2 d,冷却至室温后称其干重。齐穗期和乳熟期用套袋法测定根系伤流量,每处理 5 株。成熟期每小区按平均数选具有代表性的稻株 5 株考种,每小区割 150 蔸进行实割测产。

2 结果与分析

2.1 各处理的产量及产量构成

表 2 显示,16 个处理中 T₁ 处理产量最高,达到 9 614.85 kg/hm²,各处理平均产量为 7 733.40 kg/hm²,达到了较高的产量水平。相关分析表明(表 3) 淦鑫 203 产量与每穗粒数呈显著正相关关系($r=0.633 9^*$)。

表 2 淦鑫 203 产量及产量构成

Tab. 2 Yield and yield components of Ganxin203

处理 Treatments	每穗粒数/粒 Grains per panicle	结实率/% Filled grains	千粒重/g 1 000 - grain weight	有效穗数/(10 ⁴ · hm ⁻²) Effective panicle number	产量/(kg · hm ⁻²) Yield
T ₁	112.77	86.83	28.03	363.30	9 614.85
T ₂	94.32	93.14	28.55	223.35	5 462.10
T ₃	130.36	88.94	28.75	272.40	8 423.85
T ₄	119.01	85.73	28.32	362.55	9 066.15
T ₅	115.43	84.29	27.46	360.60	8 703.15
T ₆	85.17	93.31	28.44	264.00	5 743.80
T ₇	107.61	89.15	28.48	362.85	9 080.25
T ₈	115.51	89.58	28.35	308.85	8 340.15
T ₉	106.77	85.13	27.51	381.15	7 487.55
T ₁₀	91.67	93.40	29.12	261.60	5 904.75
T ₁₁	102.21	92.06	28.60	338.10	8 181.30
T ₁₂	106.30	89.25	27.29	370.50	8 257.05
T ₁₃	95.02	84.95	28.17	395.85	7 790.25
T ₁₄	102.42	95.37	28.85	232.65	5 802.15
T ₁₅	104.83	93.92	28.86	310.35	7 706.55
T ₁₆	97.78	91.38	28.47	367.65	8 170.50

表 3 淦鑫 203 产量与产量构成的相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis between yield and yield components of Ganxin203

相关分析 Correlation analysis	每穗粒数/粒 Grains per panicle	结实率/% Filled grains percent	千粒重/g 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number
产量 Yield	0.633 9 [*]	-0.227 8	0.004 1	0.015 7

$\alpha=0.05$ 时 $r=0.576 0$; $\alpha=0.01$ 时 $r=0.707 9$, “*” 表示达显著水平。

When $\alpha=0.05$ $r=0.576 0$; $\alpha=0.01$ 时 $r=0.707 9$, “*” indicate significant level.

2.2 秧龄、氮肥、密度 3 因子对根系生长特征的影响

由表 4 可知,各因子对根系总干重的影响大小依次表现为秧龄、氮肥、密度,对根系总体积的影响大小依次表现为秧龄、密度、氮肥。随着秧龄的延长,根系总干重、总体积呈先增加后减小的趋势,25 d 时最大,这表明适宜的短秧龄有利于促进根系的生长。移栽密度为 13.33 cm × 23.33 cm 时根系总干重、根系总体积最大;当氮肥施用量为 165 kg/hm² 时,根系总干重、总根系体积最大。

表 4 不同处理因子对根系总干重、总体积影响的直观分析

Tab.4 Intuitional analysis of effect between differnt treatment factors and roots dry weight and roots volume

处理 Treatments	A(秧龄) A(Seedling age)	B(氮肥) B(Nitrogen)	C(密度) C(Density)	根系总干重 /(kg · hm ⁻²) Total roots weight	根系总体积 /(m ³ · hm ⁻²) Total roots volume
T ₁	1	1	1	1 286.250 0	7.060 7
T ₂	1	2	2	1 411.862 1	5.541 4
T ₃	1	3	3	1 239.735 7	7.560 7
T ₄	1	4	4	1 408.767 9	8.761 6
T ₅	2	1	2	1 223.674 3	6.994 3
T ₆	2	2	1	1 405.382 1	9.865 2
T ₇	2	3	4	1 501.467 9	8.010 7
T ₉	3	1	3	935.114 3	5.182 1
T ₁₀	3	2	4	1 103.678 6	7.154 5
T ₁₁	3	3	1	1 292.721 4	7.042 0
T ₁₂	3	4	2	1 003.680 0	5.798 6
T ₁₃	4	1	4	943.714 3	6.345 5
T ₁₄	4	2	3	1 029.214 3	6.708 9
T ₁₅	4	3	2	960.634 3	5.667 9
T ₁₆	4	4	1	799.907 1	5.879 5
根系总干重 Total roots weight	I	5 346.615 7	4 388.752 9	4 784.260 7	$S_R = 18 827.268 6$
	II	5 411.988 6	4 950.137 1	4 599.850 7	
	III	4 335.194 3	4 994.559 3	4 485.528 6	
	IV	3 733.470 0	4 493.819 3	4 957.628 6	
	R	1 678.518 6	605.806 4	472.100 0	
根系总体积 Total roots volume	I	28.924 5	25.582 7	29.847 3	$S_R = 114.341 4$
	II	35.638 0	29.270 0	24.002 1	
	III	25.177 1	31.038 4	27.462 5	
	IV	24.601 8	28.450 4	33.029 5	
	R	11.036 3	5.455 7	9.027 3	

2.3 根系总干重、根系总体积和根系伤流量与产量及产量构成的关系

由表 5、表 6 可知 根系主要分布在 0 ~ 15 cm 土层中 ,占总根系的 70% 以上。随着土层的加深根系干重和体积逐渐减小 ,外围根系比内围根系要多 ,这与朱德峰、蔡昆争等^[5-6]研究的结果较为一致。对表 2、表 5 及表 6 的有关数据进行相关分析 ,结果显示(表 7) ,齐穗期根系总干重和总体积分别与产量呈极显著($r=0.742 3^{**}$)和显著($r=0.668 9^*$)正相关。齐穗期、乳熟期单茎根系伤流量(表略)均与产量呈极显著正相关($r=0.687 9^{**}$ 和 $r=0.701 5^{**}$) ;根系总干重与每穗粒数呈显著正相关($r=0.585 9^*$) ,与结实率、千粒重和有效穗数相关不显著。齐穗期、乳熟期根系伤流量与每穗粒数呈极显著正相关($r=0.719 8^{**}$ 和 $r=0.878 3^{**}$)。

2.4 各土层根系干重、根系体积与产量及产量构成的关系

2.4.1 各土层根系干重与产量及产量构成的关系 表 8 显示 5 ~ 10 cm 和 10 ~ 15 cm 土层根系干重

与产量关系密切, 分别呈显著 ($r=0.613 1^*$) 和极显著 ($r=0.774 9^{**}$) 正相关。0~5 cm 土层根系干重与每穗粒数呈显著正相关 ($r=0.586 5^*$) , 其它各层次根系与产量及产量构成因素之间相关性不显著。

表 5 不同处理各土层根系干重

Tab. 5 Roots dry weight of different soil layer with different treatment

处理 Treatments	0~5 cm		5~10 cm		10~15 cm		15~20 cm		20~30 cm		总根重/(kg·hm ⁻²) Total roots weight
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
T ₁	249.642 9	324.642 9	127.500 0	199.285 7	67.500 0	197.678 6	11.785 7	71.785 7	19.285 7	17.142 9	1 286.250 0
T ₂	238.242 9	518.014 3	75.042 9	340.971 4	15.300 0	147.900 0	5.828 6	25.500 0	14.207 1	30.855 0	1 411.862 1
T ₃	272.142 9	384.642 9	54.642 9	272.857 1	32.142 9	158.571 4	6.792 9	36.557 1	8.528 6	12.857 1	1 239.735 7
T ₄	354.642 9	454.285 7	96.428 6	235.714 3	51.428 6	166.071 4	7.500 0	32.335 7	0.342 9	10.017 9	1 408.767 9
T ₅	281.142 9	359.142 9	96.000 0	243.428 6	56.571 4	133.714 3	3.900 0	16.285 7	1.782 9	5.134 3	1 223.674 3
T ₆	326.785 7	498.214 3	85.714 3	217.500 0	46.071 4	181.607 1	9.792 9	22.500 0	1.125 0	16.071 4	1 405.382 1
T ₇	370.714 3	411.428 6	115.714 3	300.000 0	64.285 7	176.785 7	6.878 6	37.285 7	6.589 3	11.785 7	1 501.467 9
T ₈	257.142 9	416.428 6	77.142 9	303.571 4	34.285 7	141.428 6	2.500 0	40.000 0	0.285 7	8.678 6	1 281.464 3
T ₉	259.285 7	281.428 6	72.142 9	162.857 1	15.000 0	106.428 6	3.321 4	23.571 4	1.228 6	9.850 0	935.114 3
T ₁₀	241.071 4	258.750 0	147.857 1	168.214 3	39.642 9	162.857 1	22.500 0	47.925 0	4.103 6	10.757 1	1 103.678 6
T ₁₁	364.821 4	257.142 9	149.464 3	170.357 1	45.000 0	200.346 4	15.010 7	77.142 9	3.792 9	9.642 9	1 292.721 4
T ₁₂	156.857 1	275.142 9	124.277 1	194.580 0	29.571 4	128.571 4	14.580 0	61.714 3	1.671 4	16.714 3	1 003.680 0
T ₁₃	292.500 0	174.632 1	121.082 1	171.417 9	25.714 3	106.071 4	8.485 7	27.321 4	2.571 4	13.917 9	943.714 3
T ₁₄	163.928 6	346.071 4	97.071 4	218.571 4	30.000 0	105.000 0	8.571 4	48.214 3	1.071 4	10.714 3	1 029.214 3
T ₁₅	286.714 3	287.151 4	104.142 9	131.991 4	18.000 0	91.285 7	5.785 7	25.714 3	2.134 3	7.714 3	960.634 3
T ₁₆	297.321 4	181.607 1	72.867 9	116.775 0	19.285 7	53.035 7	8.453 6	38.571 4	1.607 1	10.382 1	799.907 1

“ I ”表示内围根系, “ II ”表示外围根系。

“ I ”indicate inner circle roots, “ II ” indicate outer circle.

表 6 不同处理各土层的根系体积

Tab. 6 Roots volume of different soil layer with different treatment

处理 Treatments	0~5 cm		5~10 cm		10~15 cm		15~20 cm		20~30 cm		总根体积/(m ³ ·hm ⁻²) Total roots volume
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
T ₁	1.735 7	1.494 6	0.717 9	1.100 9	0.369 6	1.084 8	0.075 0	0.321 4	0.064 3	0.096 4	7.060 7
T ₂	1.607 1	1.877 1	0.360 0	0.964 3	0.102 9	0.411 4	0.025 7	0.102 9	0.064 3	0.025 7	5.541 4
T ₃	1.917 9	2.057 1	0.332 1	1.692 9	0.171 4	0.857 1	0.078 6	0.250 0	0.042 9	0.160 7	7.560 7
T ₄	2.357 1	2.177 7	0.546 4	1.473 2	0.535 7	0.996 4	0.085 7	0.417 9	0.042 9	0.128 6	8.761 6
T ₅	1.885 7	1.819 3	0.638 6	1.485 0	0.154 3	0.681 4	0.060 0	0.154 3	0.047 1	0.068 6	6.994 3
T ₆	2.196 4	3.254 5	0.712 5	1.414 3	0.450 0	1.125 0	0.225 0	0.321 4	0.058 9	0.107 1	9.865 2
T ₇	2.957 1	2.705 4	0.723 2	2.003 6	0.321 4	1.157 1	0.139 3	0.492 9	0.075 0	0.192 9	10.767 9
T ₈	1.939 3	2.403 6	0.600 0	1.753 6	0.128 6	0.685 7	0.071 4	0.300 0	0.021 4	0.107 1	8.010 7
T ₉	1.485 7	1.339 3	0.414 3	0.882 1	0.092 9	0.632 1	0.035 7	0.192 9	0.021 4	0.085 7	5.182 1
T ₁₀	1.516 1	1.583 0	1.012 5	1.125 0	0.450 0	0.883 9	0.080 4	0.353 6	0.053 6	0.096 4	7.154 5
T ₁₁	1.125 0	1.639 3	1.028 6	0.972 3	0.417 9	1.205 4	0.112 5	0.369 6	0.053 6	0.117 9	7.042 0
T ₁₂	0.932 1	1.485 0	0.630 0	1.195 7	0.180 0	0.831 4	0.051 4	0.368 6	0.034 3	0.090 0	5.798 6
T ₁₃	2.081 3	1.098 2	0.835 7	1.007 1	0.273 2	0.514 3	0.117 9	0.182 1	0.042 9	0.192 9	6.345 5
T ₁₄	1.044 6	1.828 6	0.664 3	1.357 1	0.321 4	0.878 6	0.082 1	0.375 0	0.028 6	0.128 6	6.708 9
T ₁₅	1.714 3	1.485 0	0.570 0	0.805 7	0.077 1	0.557 1	0.060 0	0.291 4	0.025 7	0.081 4	5.667 9
T ₁₆	2.065 2	1.307 1	0.482 1	0.948 2	0.144 6	0.364 3	0.053 6	0.385 7	0.032 1	0.096 4	5.879 5

“ I ”表示内围根系, “ II ”表示外围根系。

“ I ”indicate inner circle roots, “ II ” indicate outer circle.

表 7 根系总干重、体积和伤流量与产量及产量构成的相关性分析

Tab. 7 Correlation analysis between roots dry weight, volume and breeding intensity and yield and yield components

因素 Factors	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
根系总干重 Total roots weight	0.585 9*	-0.137 0	0.197 1	-0.251 4	0.742 3**
根系总体积 Total roots volume	0.387 3	-0.072 7	0.329 2	-0.151 2	0.668 9*
齐穗期伤流 Full heading stage bleeding	0.719 8**	-0.229 9	-0.140 2	-0.363 2	0.687 9**
乳熟期伤流 Milky stage bleeding	0.878 3**	-0.299 3	-0.027 0	-0.395 7	0.701 5**

$\alpha=0.05$ 时 $r=0.576 0$; $\alpha=0.01$ 时 $r=0.707 9$; “*” 表示显著相关, “**” 表示极显著相关。

When $\alpha=0.05$ $r=0.576 0$; $\alpha=0.01$ 时 $r=0.707 9$; “*” indicate significant correlation, “**” indicate positive significant correlation.

表 8 不同层次根系干重与产量及产量构成的相关性分析

Tab. 8 Correlation analysis between roots dry weights of different soil layer and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0 ~ 5	0.586 5*	-0.086 5	0.371 3	-0.328 5	0.545 3
5 ~ 10	0.461 5	-0.209 8	-0.014 6	-0.176 7	0.613 1*
10 ~ 15	0.437 4	-0.177 2	0.049 3	-0.108 3	0.774 9**
15 ~ 20	-0.137 3	0.347 9	0.037 1	0.010 3	0.327 7
20 ~ 30	0.560 7	-0.080 7	0.002 4	0.039 9	0.549 1

“*” 表示显著相关 “**” 表示极显著相关。

“*” indicate significant correlation, “**” indicate positive significant correlation.

2.4.2 各土层根系体积与产量及产量构成的关系 表 9 显示, 产量与 5 ~ 10 cm 和 10 ~ 15 cm 土层根系体积关系密切, 其相关性均达显著水平 $r=0.579 2^*$ 和 $r=0.677 9^*$ 。各土层根系体积与产量构成因素间相关性不显著。

表 9 各层根系体积与产量及产量构成的相关分析

Tab. 9 Correlation analysis between roots volume of different soil layer and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0 ~ 5	0.403 0	-0.087 4	0.377 4	-0.200 8	0.520 0
5 ~ 10	0.360 2	-0.122 4	0.121 4	-0.165 9	0.579 2*
10 ~ 15	0.261 2	-0.066 8	0.133 4	0.020 6	0.677 9*
15 ~ 20	-0.095 3	0.415 8	0.429 8	0.022 7	0.477 3
20 ~ 30	0.010 5	-0.137 1	0.371 4	0.072 1	0.332 7

“*” 表示显著相关 “**” indicate significant correlation.

2.5 各土层内围和外围根系干重、体积与产量及产量构成的关系

2.5.1 各土层内围和外围根系干重与产量及产量构成的关系 从表 10 中可以看出, 10~15 cm、20~30 cm 土层内围根系干重分别与产量呈极显著 ($r=0.9129^{**}$) 和显著 ($r=0.6287^*$) 正相关, 0~5 cm 土层内围根系干重与千粒重呈显著正相关 ($r=0.5975^*$)。其余因素之间的相关性不显著。表 11 显示, 0~5 cm、10~15 cm 土层外围根系干重与产量呈显著正相关 ($r=0.5849^*$ 和 $r=0.6705^*$)。0~5 cm 和 5~10 cm 外围根系干重分别与每穗粒数呈极显著 ($r=0.8082^{**}$) 和显著 ($r=0.6835^*$) 正相关。

表 10 各土层内围根系干重与产量及产量构成的相关性分析

Tab. 10 Correlation analysis between inner circle roots dry weight and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0~5	-0.068 9	0.098 6	0.597 5*	-0.011 5	0.192 3
5~10	-0.481 8	0.110 3	-0.089 6	0.394 9	0.220 8
10~15	0.340 3	-0.284 1	-0.048 6	0.088 4	0.912 9**
15~20	-0.305 3	0.275 9	-0.033 8	0.206 5	0.195 7
20~30	0.248 3	-0.062 3	0.110 6	-0.093 5	0.628 7*

* 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

** indicate significant correlation, *** indicate positive significant correlation.

表 11 各土层外围根系干重与产量及产量构成的相关分析

Tab. 11 Correlation analysis between outer circle roots dry weight and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0~5	0.808 2**	-0.176 5	0.095 3	-0.420 1	0.584 9*
5~10	0.683 5*	-0.262 1	0.025 3	-0.355 9	0.522 7
10~15	0.450 5	-0.122 3	0.085 2	-0.182 7	0.670 5*
15~20	-0.098 1	0.353 5	0.051 6	-0.031 4	0.346 5
20~30	-0.067 3	-0.087 5	-0.162 4	0.231 9	0.284 6

* 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

** indicate significant correlation, *** indicate positive significant correlation.

2.5.2 各土层内围和外围根系体积与产量及产量构成的关系 表 12 显示, 10~15 cm 和 20~30 cm 土层内围根系体积与产量密切相关, 相关性分别达显著 ($r=0.6133^*$) 和极显著 ($r=0.7324^{**}$) 水平。对于外围根系来说, 10~15 cm 土层根系体积与产量关系密切 (表 13), 其相关性达显著 ($r=0.6447^*$) 水平, 而 0~5 cm、5~10 cm 土层外围根系体积与每穗粒数呈显著正相关 ($r=0.5862^*$ 和 $r=0.6203^*$)。

表 12 内围根系体积与产量及产量构成的相关分析

Tab. 12 Correlation analysis between inner circle roots volume and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0~5	0.148 1	-0.193 1	0.386 2	0.042 3	0.405 6
5~10	-0.511 8	0.095 5	0.047 3	0.320 6	0.133 5
10~15	0.075 3	-0.197 0	0.168 2	0.245 9	0.613 3*
15~20	-0.134 7	0.027 5	0.451 8	0.059 6	0.316 3
20~30	0.067 2	-0.136 4	0.123 8	0.175 8	0.732 4**

* 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

** indicate significant correlation, *** indicate positive significant correlation.

表 13 外围根系体积与产量及产量构成的相关分析

Tab. 13 The relevance analysis between outer circle roots volume and yield and yield components

土层/cm Soil layer	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains percent	千粒重 1 000 - grain weight	有效穗数 Effective panicle number	产量 Yield
0 ~ 5	0.586 2 [*]	0.048 6	0.280 5	-0.418 5	0.516 4
5 ~ 10	0.620 3 [*]	-0.173 4	0.105 1	-0.326 4	0.541 4
10 ~ 15	0.334 4	0.009 5	0.101 8	-0.101 9	0.644 7 [*]
15 ~ 20	-0.069 4	0.470 3	0.351 2	0.008 2	0.454 8
20 ~ 30	-0.013 4	-0.116 9	0.411 8	0.020 9	0.125 7

“* ”表示显著相关 “* ”indicate significant correlation.

3 小结与讨论

在本试验条件下, 滄鑫 203 产量最优处理组合为 20 d 秧龄、165 kg/hm² 的施 N 量以及 13.33 cm × 23.33 cm 的移栽密度, 试验中各处理产量水平较高, 具有较好的代表性。

研究表明, 双季早稻滄鑫 203 产量与齐穗期根系总干重、根系总体积特别是 5 ~ 15 cm 土层的根系干重、根系体积密切相关。每穗粒数与 0 ~ 5 cm 土层根系干重呈显著正相关, 这与石庆华、刘桃菊、凌启鸿等^[2, 8-9]研究的结论较为一致, 但与蔡昆争等^[6]的结论差异较大, 其原因可能是生育季节及土壤条件的差异造成的。

从内围和外围根系分布情况来看, 10 ~ 15 cm 和 20 ~ 30 cm 土层内围根系干重和体积与产量及产量构成呈显著或极显著正相关, 10 ~ 15 cm 土层外围根系干重和体积与产量呈显著正相关关系。同时, 每穗粒数受 0 ~ 10 cm 外围根系干重和根系体积影响较大, 而千粒重受 0 ~ 5 cm 内围根系干重影响较大。说明穗分化后的根系(即上层根系)特征对每穗粒数影响较大, 促进这段时期的根系生长对每穗粒数的提高有积极意义^[9]。

滄鑫 203 产量受每穗粒数影响较大, 而每穗粒数受 0 ~ 10 cm 外围根系干重和根系体积的影响较大, 同时与齐穗期、乳熟期的根系伤流量关系密切, 说明结实期发达的表层根系以及较强的根系活力对双季早稻产量的形成至关重要。

由于根系生长与产量的相关性受到品种、土壤、气候及栽培管理等诸多因素的影响, 本试验结果为 1 年试验所得, 因此其适用性还有待于进一步验证。

参考文献:

- [1] 魏雪娇, 吴建富, 方加海. 水稻根系生长与产量形成的关系及根系生长调控途径研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(36): 11785 - 11786, 11788.
- [2] 石庆华, 李木英, 徐益群. 水稻根系特征与地上部关系的研究 [J]. 江西农业大学学报, 1995, 17(2): 110 - 115.
- [3] 川田信一郎. 水稻的根系 [M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [4] Monita S, Suga T, Yamazaki K. The relationship between root length density and yield in rice plants [J]. Japan J of Crop Science, 1988, 57(3): 438 - 443.
- [5] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 超高产水稻品种的根系分布特点 [J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(4): 5 - 8.
- [6] 蔡昆争, 骆世明. 水稻根系的空分布及其与产量的关系 [J]. 华南农业大学学报, 2003, 24(3): 1 - 4.
- [7] 郑景生, 林文, 姜照伟, 等. 超高产水稻根系发育形成学研究 [J]. 福建农业大学学报, 1999, 14(3): 1 - 6.
- [8] 刘桃菊, 戚昌瀚, 唐建军, 等. 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.
- [9] 凌启鸿, 陆卫平, 蒋建中, 等. 水稻不同层次根系的功能及对产量形成作用的研究 [J]. 中国农业科学, 1984, 8(5): 3 - 11.