

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.09.003

两种生态条件下栽培密度对 水稻根系形态的影响^①

李 静^{1,2}

1. 西昌学院 农业科学学院, 四川 西昌 615013; 2. 四川农业大学 农学院, 四川 温江 611130

摘要: 以金优 527、昌米 011、9 优 418 和合系 39 共 4 种不同类型水稻为材料, 研究了在西昌和雅安 2 种不同生态条件下栽培密度对水稻根系形态的影响, 分析了根系形态与产量的相关性。研究表明: 生态条件、栽培密度对水稻根系形态各个指标的影响因水稻品种不同存在差异, 西昌、雅安两地水稻产量和群体总根数、群体总根长、群体根干质量均呈正相关; 西昌试验地与雅安试验地相比, 水稻根系更发达, 群体总根数平均多 18.3%, 群体总根长平均大 13.8%, 单茎根干质量平均高 91.4%; 水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量等群体根系形态性状对水稻产量起着决定作用, 随着栽培密度增加, 西昌和雅安水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量均增加。

关键词: 水稻; 生态条件; 栽培密度; 根系; 形态

中图分类号: S511

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)09-0012-08

水稻根系是吸收水分和养分的重要器官, 也是合成氨基酸、内源激素的重要场所, 因此根系的发育情况及获取土壤营养元素的能力在很大程度上影响着水稻地上部的生长发育状况、穗粒结构和最终产量^[1-2]。水稻根系的生长情况和活力与品种自身的特性有关^[3-5], 施肥^[6-9]、水分^[10-12]、光温条件^[13-15]、栽培密度^[16-18]及耕作方式^[19-20]等因素对其也有较大影响。在众多因素中, 以施肥和耕作方式对根系性状的影响研究较为深入, 栽培密度的影响作用研究得较少。栽培密度是调节水稻群体结构, 提高产量, 降低成本的一种手段, 合理的栽插密度是水稻高产栽培重要的关键技术之一^[21-22], 虽然目前已有少数关于栽培密度影响水稻根系方面的研究报道, 但研究并不深入, 所得结果也不一致。本文以金优 527、昌米 011、9 优 418 和合系 39 共 4 种不同类型水稻为材料, 研究了在西昌和雅安 2 种不同生态条件下栽培密度对水稻根系形态的影响, 分析了根系形态与产量的相关性, 以为水稻的高产栽培提供理论依据, 并丰富水稻根系育种的研究内容。

1 材料与方法

1.1 试验材料

金优 527(杂交籼稻, 育成地为四川温江, 海拔 540 m)、昌米 011(常规籼稻, 育成地为四川西昌, 海拔 1 580 m)、9 优 418(杂交粳稻, 育成地为江苏徐州, 海拔 35 m)、合系 39(常规粳稻, 育成地为云南昆明, 海拔 1 890 m)。

^① 收稿日期: 2015-07-09

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(07JY029-002); 四川省科技厅富民强县项目(2069999); 四川省教育厅重点项目(13ZA0270); 四川省教育厅青年基金项目(07ZB081)。

作者简介: 李 静(1981-), 女, 山东淄博人, 博士, 副教授, 主要从事作物栽培及植物营养研究。

1.2 试验地点

大田试验于 2009—2010 年分别在四川雅安市四川农业大学湞江农场和西昌市西乡乡凤凰村进行. 试验点的地理位置和气象资料见表 1, 供试土壤理化性质见表 2.

表 1 试验点的地理位置和气象资料

试验点	地 理 位 置			灌浆期间气象条件(日均值)			
	海拔/	北纬	东经	最高温/	最低温/	日照时数/	降雨量/
	m			℃	℃	h	mm
西昌	1 557	27°57'	102°12'	28.2	18.6	6.1	6.5
雅安	600	29°50'	102°50'	29.7	21.4	3.2	14.6

表 2 供试土壤理化性质

试验点	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
西昌	5.43	31.6	2.20	141.8	0.54	34.7	32.7	131.9
雅安	6.02	42.3	2.58	156.2	0.32	31.6	33.6	142.7

1.3 试验设计

试验采用裂区设计, 设栽插密度和品种两因素. 栽插密度为主区, 设 7.5(A1), 18.75(A2), 30(A3) × 10⁴ 穴/hm² 3 个水平(简称稀植、中、高密), 栽插规格分别为 A1: 40 cm × 33.33 cm, A2: 26.67 cm × 20 cm; A3: 20 cm × 16.67 cm; 品种设为副区, 选择杂交籼稻、常规籼稻、杂交粳稻和常规粳稻品种各 1 个, 即金优 527(B1)、昌米 011(B2)、9 优 418(B3)及合系 39(B4). 处理组合共 12 个, 主区面积 64 m², 副区面积 16 m², 主、副区均随机排列, 重复 3 次, 共 36 个小区. 西昌副区规格为 6.4 m × 2.5 m = 16 m² (冬闲田), 于 3 月 14 日播种, 5 月 8 日移栽; 雅安副区规格为 4 m × 4 m = 16 m² (前茬作物为油菜), 于 4 月 7 日播种, 5 月 23 日移栽. 两地均采用湿润育秧, 选健壮一致的秧苗移栽, 杂交籼稻金优 527 每穴均栽单苗, 其他品种每穴均栽双苗.

试验肥料使用情况如下: 氮肥使用尿素, 总用量为 487.5 kg/hm², 其中基肥用量为 225 kg/hm², 移栽返青后施追肥 187.5 kg/hm², 拔节期用量为 75 kg/hm²; 另施过磷酸钙 750 kg/hm²、氯化钾 225 kg/hm², 其中过磷酸钙全作底肥, 氯化钾的基肥用量为 150 kg/hm², 拔节期用量为 75 kg/hm². 大田自分蘖初期起保持田间 3~5 cm 水层直到成熟前 20 d 左右停止灌溉, 任其自然落干, 田间精细管理, 同时防治病虫、草害、鼠害和鸟害.

1.4 测定项目

于齐穗后 5 d 内, 在每小区挖取其群体平均穗数的植株各 3 穴, 取样方法为以水稻植株为中心, 割取地上部分后, 铁铲挖取长、宽、深分别为 25 cm, 25 cm 和 35 cm 的土柱, 置 40 目尼龙网袋中用流水冲洗获得完整根系; 测定根长、根数、根总长度等形态性状, 然后将鲜根及地上部置于恒温箱内, 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒定质量, 称量根系干质量和地上部干质量, 计算根冠比; 水稻收获后每小区实收计产.

1.5 数据分析

用 DPS 软件对试验数据进行方差分析, 平均数用 LSD 法进行多重比较. 2 年试验结果趋势一致, 本文主要取 2009 年数据.

2 结果与分析

2.1 生态条件和栽培密度对水稻根系形态变异的影响

生态条件、栽培密度对水稻根系形态均有影响, 不同水稻品种间差异具有统计学意义(表 3). 生态条

件、栽培密度对水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量的影响均极具有统计学意义，生态条件和栽培密度是水稻群体总根数、群体总根长的主要影响因素，生态条件对水稻群体根干质量差异作用所占比例为 78.17%，对水稻群体根干质量差异起决定作用。生态条件对金优 527 单茎根数、单茎总根长差异作用所占比例分别为 95.29%，96.97%，对金优 527 单茎根数、单茎总根长差异起决定作用；生态条件对水稻单茎根干质量差异作用平均所占比例为 88.92%，对水稻单茎根干质量差异起决定作用。

表 3 生态条件和栽培密度对水稻根系形态变异的影响

品 种	生态条件		密 度		生态条件×密度		区 组	误差和
	MS	%	MS	%	MS	%		
群体总根数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)								
金优 527	32 707 063**	45.99	37 862 331**	53.24	546 566.6	0.77	491 029.6	175 861.0
昌米 011	16 077 852**	30.44	31 499 772**	59.64	5 235 357**	9.91	443 578.7	285 338.4
9 优 418	24 584 542**	25.77	68 800 603**	72.13	2 002 561	2.10	125 473.0	525 925.7
合系 39	57 252 131**	41.48	74 787 738**	54.19	5 982 820 *	4.33	886 686.8	923 660.0
群体总根长/(10 ⁴ ·hm ⁻²)								
金优 527	578 314.3**	65.85	272 200.7**	31.00	27 661.02*	3.15	5 854.083	6 668.808
昌米 011	38 808.98**	24.79	96 148.38**	61.43	21 570.89**	13.78	2 611.493	1 566.162
9 优 418	103 239.7**	17.16	488 854.8**	81.27	9 457.819	1.57	4 959.726	5 065.275
合系 39	860 759.5**	70.81	327 370**	26.93	27 541.22*	2.27	1 328.568	3 986.364
群体根干质量/(kg·hm ⁻²)								
金优 527	6 902 966**	71.65	2 089 031**	21.68	642 518.9**	6.67	3 626.75	16 129.9
昌米 011	8 587 750**	76.92	1 936 265**	17.34	640 292.7**	5.74	13 100.10	8 365.3
9 优 418	12 077 466**	77.24	3 231 995**	20.67	326 979.3*	2.09	24 277.18	52 703.0
合系 39	15 093 850**	86.85	1 923 934**	11.07	361 381.0**	2.08	23 723.36	33 771.2
单茎根数								
金优 527	1 549.389**	95.29	45.268 9**	2.78	31.315 5**	1.93	10.104 0	3.341 9
昌米 011	2.067	1.68	88.261 7**	71.80	32.593 9**	26.52	0.281 7	0.608 3
9 优 418	12.005*	5.54	119.935 6**	55.39	84.606 7**	39.07	1.935 6	1.386 9
合系 39	116.027**	47.83	45.420 6**	18.72	81.150 6**	33.45	3.937 1	3.004 6
单茎总根长/m								
金优 527	17.228 4**	96.97	0.380 4**	2.14	0.157 5**	0.89	0.020 4	0.006 7
昌米 011	0.226 7**	46.74	0.088 1**	18.16	0.170 2**	35.09	0.006 6	0.011 6
9 优 418	0.527 0**	32.26	0.572 9**	35.07	0.533 8**	32.67	0.001 9	0.008 6
合系 39	4.681 8**	82.59	0.009 6	0.17	0.9775**	17.24	0.049 8	0.029 7
单茎根干质量/g								
金优 527	0.243 4**	83.33	0.018 4**	6.30	0.030 3**	10.37	0.000 3	0.001 6
昌米 011	0.360 1**	84.65	0.040 2**	9.45	0.025 1**	5.90	0.000 6	0.000 5
9 优 418	0.586 8**	90.24	0.031 3**	4.81	0.032 2**	4.95	0.000 1	0.000 5
合系 39	1.270 9**	97.45	0.001 6	0.12	0.031 6**	2.42	0.001 2	0.000 5

注：* 和 ** 分别表示在 $p=0.05$ 和 $p=0.01$ 水平变异来源对水稻根系形态指标的差异具有统计学意义。

2.2 生态条件对水稻根系形态的影响

水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量、单茎根干质量西昌均显著高于雅安，单茎根数、单茎总根长西昌均显著低于雅安(表 4)。群体总根数、群体总根长、群体根干质量、单茎根干质量平均值西昌分别是雅安的 1.18, 1.14, 2.60, 1.91 倍，单茎根数、单茎总根长平均值西昌分别是雅安的 0.86, 0.84 倍。引起

上述差异的主要原因是相同栽培密度西昌水稻单穴平均分蘖数远高于雅安,同时也说明西昌水稻平均根粗明显大于雅安,此种结果利于西昌水稻抗倒伏能力的提高。

表 4 2 种生态条件下水稻根系形态的差异

性 状	生态点	处 理												平均值
		A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄	
群体总根数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	西昌	2 545.3b	3 719.6a	5 167.2a	5 645.6a	5 707.5b	9 138.4a	11 156.8a	12 299.1a	7 978.6b	9 338.5a	11 814.6a	14 230.3a	8 228.5a
	雅安	5 519.9a	3 939.9a	3 647.6b	4 384.5b	8 817.4a	5 806.4b	7 497.6b	7 611.7b	9 981.9a	6 779.5b	9 981.4b	9 478.1b	6 953.8b
群体总根长/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	西昌	220.0b	338.0a	466.0a	634.9a	445.4b	651.5a	912.0a	903.2a	514.0b	639.6a	1049.9a	1211.6a	665.5a
	雅安	473.5a	367.4a	380.7a	266.5b	755.4a	441.1b	672.5b	553.0b	1025.9a	542.0a	920.4b	618.2b	584.7b
群体根干质量/(kg·hm ⁻²)	西昌	1 387.8a	1 370.1a	1 499.1a	1 751.7a	2 314.2a	2 798.3a	2 871.8a	2 709.3a	3 221.3a	3 006.9a	3 361.0a	3 361.5a	2 471.1a
	雅安	788.5b	743.1b	394.9b	412.1b	1105.2b	1036.6b	1030.8b	875.8 b	1314.0b	1251.4b	1391.5b	1040.3b	948.7b
单茎根数	西昌	10.3b	13.9b	25.3a	29.3a	17.3b	25.7a	28.4b	34.0a	20.1b	22.8a	25.8b	40.8a	24.5b
	雅安	34.0a	19.9a	19.0b	28.7a	34.4a	23.2a	30.9a	33.0a	34.9a	21.2a	34.4a	27.3b	28.4a
单茎总根长/m	西昌	0.89b	1.26b	2.27a	3.29a	1.34b	1.83a	2.32b	2.49a	1.29b	1.56a	2.29b	3.21a	2.01b
	雅安	2.92a	1.86a	1.98b	1.75b	2.95a	1.76a	2.75a	2.40a	3.53a	1.71a	3.18a	1.78b	2.38a
单茎根干质量/g	西昌	0.562a	0.512a	0.733a	0.910a	0.701a	0.788a	0.727a	0.747a	0.810a	0.734a	0.733a	0.888a	0.737a
	雅安	0.486b	0.377b	0.205b	0.272b	0.431b	0.415b	0.424b	0.381b	0.458b	0.393b	0.481b	0.298b	0.385b

注:同一列不同字母表示达到5%的差异具有统计学意义,下同。

2.3 栽培密度对水稻根系形态的影响

随着栽培密度增加,西昌和雅安水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量均增加,单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量均降低,其中群体总根数增加幅度和单茎总根长降低幅度西昌高于雅安,但单茎根数降低幅度西昌也高于雅安。水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量在稀植、中密、高密间差异均具有统计学意义(表 5)。

表 5 不同栽培密度下水稻根系形态的差异

栽培密度		群体总根数/ (10 ⁴ ·hm ⁻²)	群体总根长/ (10 ⁴ ·hm ⁻²)	群体根干质量/ (kg·hm ⁻²)	单茎根数	单茎总根长/ m	单茎根干质量/ g
西昌	稀植	4 269.4 c	414.7 c	1 502.2 c	27.4 a	2.09 a	0.791 a
	中密	9 575.5 b	728.0 b	2 673.4 b	26.3 a	2.00 ab	0.741 b
	高密	10 840.5 a	853.8 a	3 237.7 a	19.7 b	1.93 b	0.679 c
雅安	稀植	4 373.0 c	372.0 c	584.6 c	30.4 a	2.55 a	0.413 a
	中密	7 433.3 b	605.5 b	1 012.1 b	29.5 a	2.47 a	0.407 a
	高密	9 055.3 a	776.6 a	1 249.3 a	25.4 b	2.13 b	0.335 b

水稻单茎根数稀植和中密差异不具有统计学意义,中密增加到高密时,统计学意义降低;西昌水稻单茎总根长在稀植增加到高密时统计学意义增加,稀植和中密、中密和高密间差异不具有统计学意义,雅安水稻单茎总根长稀植和中密差异不具有统计学意义,中密增加到高密时,统计学意义降低;西昌水稻单茎根干质量在稀植、中密、高密间差异均具有统计学意义,在雅安水稻单茎根干质量稀植和中密差异不具有统计学意义,中密增加到高密时,统计学意义降低(表 5)。

2.4 不同品种间水稻根系形态的差异

水稻群体总根数西昌从大到小依次为合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527,各个品种间差异均具有统计学意义;雅安从大到小依次为金优 527、合系 39、9 优 418、昌米 011,除 9 优 418 和合系 39 差异不具有统计学意义外,其他品种间差异均具有统计学意义(表 6)。水稻群体总根长西昌从大到小依次为

合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527，各个品种间差异均具有统计学意义；雅安从大到小依次为金优 527、9 优 418、合系 39、昌米 011，除昌米 011 和合系 39 差异不具有统计学意义外，其他品种间差异均具有统计学意义(表 6)。水稻群体根干质量西昌从大到小依次为合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527，雅安从大到小依次为金优 527、昌米 011、9 优 418、合系 39(表 6)。金优 527 群体总根数、群体总根长、群体根干质量西昌分别为雅安的 0.67, 0.52, 2.16 倍，群体总根数、群体总根长西昌均明显小于雅安，但群体根干质量明显大于雅安；昌米 011 群体总根数、群体总根长、群体根干质量西昌分别为雅安的 1.34, 1.21, 2.37 倍，9 优 418 群体总根数、群体总根长、群体根干质量西昌分别为雅安的 1.33, 1.23, 2.74 倍，合系 39 群体总根数、群体总根长、群体根干质量西昌分别为雅安的 1.50, 1.91, 3.36 倍，均为西昌大于雅安，以合系 39 的差异变化最大。

水稻单茎根数西昌从大到小依次为合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527，各个品种间差异均具有统计学意义；雅安从大到小依次为金优 527、合系 39、9 优 418、昌米 011，除 9 优 418 和合系 39 差异不具有统计学意义外，其他品种间差异均具有统计学意义(表 6)。水稻单茎总根长西昌从大到小依次为合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527，雅安从大到小依次为金优 527、9 优 418、合系 39、昌米 011，各个品种间差异均具有统计学意义(表 6)。水稻单茎根干质量西昌从大到小依次为合系 39、9 优 418、昌米 011、金优 527，雅安从大到小依次为金优 527、昌米 011、9 优 418、合系 39，各个品种间差异均具有统计学意义(表 6)。金优 527 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量西昌分别为雅安的 0.46, 0.38, 1.51 倍，昌米 011 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量西昌分别为雅安的 0.97, 0.87, 1.72 倍，9 优 418 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量西昌分别为雅安的 0.94, 0.87, 1.98 倍，金优 527、昌米 011、9 优 418 这 3 个水稻品种的单茎根数、单茎总根长西昌均小于雅安，单茎根干质量明显大于雅安，说明金优 527、昌米 011、9 优 418 这 3 个水稻品种根粗西昌明显大于雅安；合系 39 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量西昌分别为雅安的 1.17, 1.52, 2.68 倍，3 个单茎根系指标西昌大于雅安。西昌点无论是群体还是单茎的根数、根长和根质量均是 2 个粳稻品种高于 2 个籼稻品种，粳稻品种表现出一定的根系优势；而雅安则杂籼金优 527 表现出明显的根系优势。

表 6 不同水稻品种水稻根系形态的差异

水稻品种		群体总根数/ ($10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	群体总根长/ ($10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	群体根干质量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	单茎根数	单茎总根长/ m	单茎根干质量/ g
西昌	金优 527	5 410.5 d	393.1 d	2 307.8 c	15.9 d	1.18 d	0.691 c
	昌米 011	7 398.8 c	543.0 c	2 391.8 bc	20.8 c	1.55 c	0.678 c
	9 优 418	9 379.6 b	809.3 b	2 577.3 ab	26.5 b	2.29 b	0.731 b
	合系 39	10 725.0 a	916.6 a	2 607.5 a	34.7 a	3.00 a	0.848 a
雅安	金优 527	8 106.4 a	751.6 a	1 069.2 a	34.4 a	3.13 a	0.458 a
	昌米 011	5 508.6 c	450.2 c	1 010.3 ab	21.5 c	1.78 d	0.395 b
	9 优 418	7 042.2 b	657.8 b	939.1 b	28.1 b	2.64 b	0.370 c
	合系 39	7 158.1 b	479.2 c	776.1 c	29.7 b	1.98 c	0.317 d

2.5 根系形态与产量的简单相关分析

表 7 表明，西昌、雅安两地水稻产量和群体总根数、群体总根长、群体根干质量均呈正相关。在西昌，金优 527、合系 39 产量与群体总根数、群体根干质量的相关性具有统计学意义或极具有统计学意义，昌米 011、9 优 418 产量与群体总根数、群体总根长、群体根干质量等群体根系形态性状的相关性均极具有统计学意义。在雅安，金优 527、昌米 011、9 优 418、合系 39 这 4 个水稻品种产量与与群体总根数、群体总根长、群体根干质量等群体根系形态性状的相关性均具有统计学意义或极具有统计学意义。水稻单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量等根系形态性状与水稻产量的相关性因水稻品种和生态点不同差异较大。在西

昌, 金优 527、9 优 418 产量与单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量等根系形态性状均呈正相关, 其中金优 527 产量与单茎根数、单茎根干质量及 9 优 418 产量与单茎根数的相关性具有统计学意义或极具有统计学意义, 昌米 011、合系 39 产量与单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量等根系形态性状的相关性不具有统计学意义或极不具有统计学意义. 在雅安, 除 9 优 418 产量与单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量等根系形态性状的相关性具有统计学意义外, 其他水稻品种产量与单茎根系形态性状的相关性均不具有统计学意义或极不具有统计学意义.

表 7 根系形态性状与产量的相关系数

生态点	根系形态性状	水 稻 品 种			
		金优 527	昌米 011	9 优 418	合系 39
西昌	群体总根数	0.748 5*	0.743 6*	0.800 8**	0.784 8**
	群体总根长	0.519 1	0.839 0**	0.744 6*	0.562 1
	群体根干质量	0.777 6**	0.885 0**	0.921 6**	0.894 7**
	单茎根数	0.749 7*	0.067 7	0.639 2*	0.311 2
	单茎总根长	0.417 5	-0.036 1	0.246 1	-0.374 1
	单茎根干质量	0.877 7**	0.429 8	0.597 7	-0.134 4
雅安	群体总根数	0.791 8**	0.827 1**	0.752 8*	0.922 4**
	群体总根长	0.637 9*	0.800 8**	0.772 1**	0.955 2**
	群体根干质量	0.743 1*	0.877 1**	0.747 3*	0.918 9**
	单茎根数	0.434 5	0.310 9	0.680 5*	0.127 0
	单茎总根长	0.526 8	-0.443 0	0.748 0*	0.347 5
	单茎根干质量	-0.210 1	0.373 5	0.681 0*	0.477 1

注: * 和 ** 分别表示在 $p=0.05$ 和 $p=0.01$ 水平水稻根系形态性状与水稻产量相关性具有统计学意义.

3 讨 论

与雅安相比, 水稻在西昌群体总根数、群体总根长、群体根干质量显著增加, 单茎根数、单茎总根长显著减小, 单茎根干质量显著增加; 单茎根数、单茎总根长减小, 单茎根干质量增加, 意味着在西昌水稻根变粗, 增加了水稻基部稳定性. 栽培密度增加, 形态群体总根数、群体总根长、群体根干质量增加, 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量减小. 在根系形态上, 西昌与雅安相比根系更发达, 群体总根数平均多 18.3%, 群体总根长平均大 13.8%, 单茎根干质量平均高 91.4%, 由于西昌较雅安有更发达的根系, 因而有更强的吸收利用能力.

冯跃等^[16]研究发现, 栽培密度和产量构成因素与沈稻 3 号根部性状间均存在着密切的直接关系, 在拔节期和成熟期, 插秧穴距与根体积密度和根干质量密度均呈二次曲线关系, 本研究表明随着栽培密度增加, 西昌和雅安水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量均增加, 单茎根数、单茎总根长、单茎根干质量均降低, 这与试验设计时未过高设置栽培有关. 曾翔等^[17]对杂交水稻组合红莲优 6 和两优 1193 在强化栽培条件下不同群体生育后期的根系特性进行比较后认为, 水稻根系密度随着群体增大而增大, 但是根系活力却逐渐减小, 根系的质量与产量之间并没有表现出正相关关系, 与本文西昌、雅安两地水稻产量和群体总根数、群体总根长、群体根干质量均呈正相关存在分歧, 主要原因可能是根系形态群体性状测定时间不一致和栽培品种不同所致.

4 结 论

生态条件、栽培密度对水稻根系形态各个指标的影响因水稻品种不同存在差异, 西昌、雅安两地水稻产量和群体总根数、群体总根长、群体根干质量均呈正相关. 生态条件对金优 527 群体总根长、群体根干质

量、单茎根系形态指标起首要作用. 生态条件对昌米 011 群体根干质量、单茎总根长、单茎根干质量起首要作用; 栽培密度对昌米 011 群体总根数、群体总根长、单茎根数起首要作用. 生态条件对 9 优 418 群体根干质量、单茎根干质量起首要作用; 栽培密度对 9 优 418 群体总根数、群体总根长、单茎根数、单茎总根长起首要作用. 生态条件对合系 39 群体总根长、群体根干质量、单茎根系形态指标起首要作用; 栽培密度对合系 39 群体总根数起首要作用. 西昌与雅安相比, 根系更发达, 群体总根数平均多 18.3%, 群体总根长平均大 13.8%, 单茎根干质量平均高 91.4%.

水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量等群体根系形态性状对水稻产量起着决定作用, 而随着栽培密度增加, 西昌和雅安水稻群体总根数、群体总根长、群体根干质量均增加, 因此合理密植是水稻高产优质栽培的重要措施之一.

参考文献:

- [1] 刘 学, 欧阳由男, 王会民, 等. 水稻根系生长发育特征及其与产量形成的关系 [J]. 中国稻米, 2009, 15(4): 8—10.
- [2] 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.
- [3] 程建峰, 戴廷波, 荆 奇, 等. 不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收 [J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 266—272.
- [4] FAN J B, ZHANG Y L, TURNER D, et al. Root Physiological and Morphological Characteristics of Two Rice Cultivars with Different Nitrogen-Use Efficiency [J]. *Pedosphere*, 2010, 20(4): 446—455.
- [5] CHAITRA J, VINOD M S, SHARMA N. Validation of Markers Linked to Maximum Root Length in Rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Current Science*, 2006, 90(6): 835—838.
- [6] 周鑫斌, 于淑慧, 王文华, 等. 土壤施硒对水稻根表铁膜形成和汞吸收的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(1): 91—95.
- [7] 昌龙然, 谢德体, 慈 恩, 等. 稻田垄作免耕对根际土壤有机碳及颗粒态有机碳的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(11): 49—53.
- [8] 李宝珍, 王松伟, 冯慧敏, 等. 氮素供应形态对水稻根系形态和磷吸收的影响 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(5): 665—668.
- [9] 郑圣先, 聂 军, 戴平安, 等. 控释氮肥对杂交水稻生育后期根系形态生理特征和衰老的影响 [J]. 植物营养与肥料学报 2006, 12(2): 188—194.
- [10] 张凤翔, 周明耀, 周春林, 等. 水肥耦合对水稻根系形态与活力的影响 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 197—200.
- [11] YOICHIRO K, MIDORI O. Root Growth Dynamics and Stomatal Behavior of Rice (*Oryza sativa* L.) Grown Under Aerobic and Flooded Conditions [J]. *Field Crops Res*, 2010, 117(11): 9—17.
- [12] 曾 翔, 李阳生, 谢小立, 等. 不同灌溉模式对杂交水稻生育后期根系生理特性和剑叶光合特性的影响 [J]. 中国水稻科学, 2003, 17(4): 355—359.
- [13] 倪 文. 光对稻苗根系生长及其生理活性的影响 [J]. 作物学报, 1983, 9(3): 199—203.
- [14] 杨知建, 成诗瑜. 低温下土壤水分对籼稻及粳稻根系生长的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(5): 369—372.
- [15] 蔡昆争, 骆世明, 段舜山. 水稻根系在根袋处理条件下对不同光照强度的反应 [J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2007, 28(1): 1—5.
- [16] 冯 跃, 王伯伦, 王慧新, 等. 不同施肥水平和种植密度对水稻根部性状的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 467—471.
- [17] 曾 翔, 张玉烛, 屠乃美, 等. 强化栽培条件下水稻不同群体生育后期的根叶特性研究 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 193—196.
- [18] 徐春梅, 王丹英, 邵国胜, 等. 施氮量和栽插密度对超高产水稻中早 22 产量和品质的影响 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(5): 507—512.

- [19] 薛亚光, 王康君, 颜晓元, 等. 不同栽培模式对杂交粳稻常优 3 号产量及养分吸收利用效率的影响 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(23): 4781—4792.
- [20] 李 杰, 张洪程, 常 勇, 等. 高产栽培条件下种植方式对超级稻根系形态生理特征的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(12): 2208—2220.
- [21] 严明建, 黄文章, 吕直文. 栽培密度对不同生育时期水稻品种产量影响的研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 465—467.
- [22] 郑克武, 邹江石, 吕川根. 氮肥和栽插密度对杂交稻“两优培九”产量及氮素吸收利用的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32(6): 885—893.

Effect of Planting Density on Root Morphology of Rice under Two Different Ecological Conditions

LI Jing^{1,2}

1. Academy of Agricultural Sciences, Xichang College, Xichang Sichuan 615013, China;

2. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang Sichuan 611130, China

Abstract: Four different types of rice including Jingyou527, Changmi011, Jiuyou418 and Hexi39 was used as material to carry on field experiment in Xichang and Ya'an in order to discover effect of planting density on root morphology of rice and analyze the orrelation between root morphology and yield under the two different ecological conditions in this study. The results as follows: effect of ecological condition and planting density on root morphology was different for different rice varieties; there was positive correlation between the rice yield and the average group total root number, the average group total root number and the average root dry weight both in Xichang and Ya'an; the rice roots in Xichang was more developed than Ya'an, the average group total root number in Xichang was more than 18.3% in Ya'an, the average group total root length was 13.8% larger, the average root dry weight of the single-stem was 91.4% larger; the average group total root number, the average group total root number and the average root dry weight played a decisive role on rice yield, and the average group total root number, the average group total root number and the average root dry weight in Xichang and Ya'an increased with the increase of planting density.

Key words: rice; ecological conditions; planting density; root; morphology

责任编辑 夏 娟

