

水稻群体根系特征与地上部生长发育和产量的关系

蔡昆争¹, 骆世明¹, 段舜山²

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 暨南大学 水生态研究所, 广东 广州 510632)

摘要: 通过大田试验与网袋法相结合, 研究了目前生产上推广的 10 个典型水稻品种群体根系特征与地上部及产量的相关关系。结果表明: 根质量在各生育期均与地上部质量、总质量呈显著或极显著正相关关系, 根活力与分蘖期地上部各性状和成熟期产量呈显著正相关关系, 而抽穗期和成熟期的根冠比均与产量呈极显著负相关关系, 相关系数分别达 -0.8616 和 -0.8890 。以产量最大化为目标, 根冠比大的品种存在根系的生长冗余。

关键词: 水稻; 根系; 产量; 相互关系

中图分类号: S181; S314

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2005)02-0001-04

The relationship between root system of rice and aboveground characteristics and yield

CAI Kun-zheng¹, LUO Shi-ming¹, DUAN Shun-shan²

(1 College of Agriculture, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Institute of Aquatic Ecoscience, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Ten typical rice varieties were selected to study the relationships between the characteristics of root system and aboveground parts through field experiments and field root bag methods. The results showed that root mass had positive correlation with aboveground mass and total mass at different growth stages. The oxidizing activities of root had significant correlation with aboveground performance at tillering stage and rice yield at ripening stage. However, root/shoot ratio had negative significant correlation with yield at heading and ripening stage, the correlation coefficients were -0.8616 and -0.8890 respectively. In order to obtain maximize yield, the results implied that reduction of root system to a reasonable size may be an effective way to improve the yield of crop.

Key words: rice; root system; yield; relationship

水稻根系与地上部生长发育和产量形成密切相关^[1-4]。前人研究表明, 根系性状中根质量和根体积与地上部质量、总质量和产量呈显著相关关系^[1,2], 结实期颖花根活量(根质量 $\times$ 根系活力/单位面积颖花量)与籽粒的灌浆强度、结实率、粒质量均呈显著正相关, 认为增加颖花根活量是提高水稻结实率和粒质量的有效途径^[3]。目前国际上正在进行的超级稻研究认为, 其株型特征是少分蘖、大穗、根活性高^[6]。传统上普遍认为, 根系越大, 获得的水分越多, 因而产量就越高^[7,8], 即高产需要庞大根系来支撑。然而, 与地上部相比, 过于庞大的根系往往消耗

大量的光合产物, 减少输送到地上部的同化物质。对半干旱区小麦根系的研究结果表明在未进行人工定向选择前大根系小麦品种存在生长冗余^[9,10]。本研究选用 10 个生产上应用面积较大的水稻品种, 通过大田试验与网袋法试验, 研究了根系与地上部性状特别是产量的相关关系, 以揭示根系与产量的一些变化规律, 从而为指导生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

水稻品种为广陆矮、二青矮、七山占、粤香占、粳

收稿日期: 2004-05-10

作者简介: 蔡昆争(1970-), 男, 副教授, 博士; E-mail: kzcai@scau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39770138 和 30100107); 教育部博士点基金资助项目(2000065402); 广东省自然科学

基金资助项目(980145 和 20000636)

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

粳 88、培杂 72、培杂青珍、粳粳 89、丰矮占 1 号和特三矮,其中培杂 72、培杂青珍为杂交稻,其余均为常规稻。粳粳 89、丰矮占 1 号、特三矮由广东省农业科学院水稻研究所提供,其他由华南农业大学农学院提供。

1.2 试验设计

1999 年早造和晚造在华南农业大学试验农场进行,土壤为水稻土,有机质为 18.20 g/kg,速效氮为 98.85 mg/kg,速效磷为 51.2 mg/kg,速效钾为 162.2 mg/kg。早造播期为 3 月 5 日,移栽时间为 4 月 5 日,插植规格为 20 cm×20 cm,每科插 2 苗。小区面积为 18 m²,设 3 个重复,随机区组排列。本田施肥量为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²,进行常规水分管理。晚造播期为 7 月 25 日,移栽时间为 8 月 10 日,其余设计同早造。

1.3 根系样本设置与测试方法

参照文献[11,12]的方法并加以改进。每个试验小区随机设置 9~12 个样点,在样点上挖去深 30 cm,直径为 15 cm 的孔洞,然后将套有尼龙袋的铁筒插入孔洞,将铁筒填满泥土,然后小心取出铁筒。这样在每个样点上就安置了一个直径为 15 cm,深度为

30 cm 的尼龙袋。每个袋里按规格插植 2 棵苗。分别在分蘖期、抽穗期、成熟期,从每个小区的样点上取样 3~4 棵共 6~8 株。取样时,将尼龙袋连同稻株带土取出,洗净泥土,获取完整的根系,用于各种指标的测定。在水稻的各生育期调查株高、分蘖、干物质量的变化,同时测定根系指标,包括根质量、根体积、根长、根活力、根体积用排水法,根活力用 α-萘胺法^[13],成熟时每个处理取样 10 棵进行测产、考种。

2 结果与分析

2.1 各品种的根系性状与地上部的相关性

2.1.1 分蘖期和抽穗期的相关性 从表 1 可看出,在分蘖期水稻根系体积、根质量、根系活力与株高、地上部质量、植株总质量、单茎质量呈极显著的正相关关系,而与分蘖数、绿叶数相关不显著。根冠比则与地上部有关性状相关均未达到显著水平。此外经统计分析,分蘖期根系活力与成熟期产量相关系数为 0.676 7,达显著水平。可见,分蘖期水稻群体根系特征与地上部有关性状关系密切。

表 1 分蘖期和抽穗期根系性状与地上部性状的相关关系¹⁾

Tab. 1 Relationship between root characteristics and aboveground parts at tillering and heading stage n=10

性状 characteristics	根体积 root volume		根质量 root mass		根冠比 root/shoot ratio		根活力 root activity	
	I	II	I	II	I	II	I	II
分蘖数 tiller number	-0.536 0	0.128 5	-0.561 0	-0.211 0	-0.322 0	0.397 0	-0.491 0	-0.272 0
株高 plant height	0.930 5 **	0.326 6	0.918 8 **	0.512 0	0.602 2	-0.071 0	0.835 2 **	0.249 6
绿叶数 green leaf number	-0.400 0	0.492 3	-0.453 0	0.203 7	-0.219 0	0.733 9 *	-0.436 0	-0.476 0
地上部质量 shoot mass	0.923 0 **	0.432 3	0.893 1 **	0.701 2 *	0.502 8	-0.349 0	0.826 2 **	-0.083 0
总质量 total mass	0.943 9 **	0.491 4	0.922 3 **	0.749 7 *	0.560 8	-0.283 0	0.852 7 **	-0.118 0
单茎质量 mass per stem	0.877 9 **	0.187 1	0.873 4 **	0.525 6	0.563 9	-0.412 0	0.757 6 *	0.136 4

1) I: 分蘖期, II: 抽穗期; $r_{(8,0.05)}=0.632$ $r_{(8,0.01)}=0.765$

抽穗期水稻根系干质量与地上部质量、总质量呈显著相关关系,而与其他地上部性状相关不显著。根冠比与绿叶数呈显著相关关系。而根体积、根活力则与地上部各有关性状相关不显著。另据统计分析,抽穗期根系活力与最后产量成极显著正相关关系,相关系数达 0.867 7。

2.1.2 成熟期的相关性 成熟期 10 个水稻品种的根系性状与地上部的相关关系见表 2。从表中可看出,成熟期水稻根系体积与株高、绿叶数呈显著正相关关系,而与其他性状相关不显著;根质量与地上部质量、总质量呈显著正相关关系,与株高和绿叶数呈极显著正相关关系;根活力与产量呈极显著正相关关系,相关系数为 0.874 0,达极显著水平;根冠比大小与每穗粒数呈显著负相关关系,与产量呈极显著

负相关关系,相关系数达 -0.888 9,而根质量则与产量没有明显的相关关系。另据对抽穗期 10 个品种根冠比与成熟期产量的相关关系比较,相关系数为 -0.861 6,达极显著的负相关关系。可见,无论是在抽穗期还是成熟期,根冠比均与产量呈负相关关系,即根冠比大的品种产量较低,根冠比小的品种产量较高。根据本试验取样调查结果来看,高产水稻群体抽穗期根系的根冠比以 0.10 左右为好;成熟期则以 0.05 左右为好(表 3)。

2.2 各品种的根系活力的动态变化及其与产量的关系

从表 3 中可看出,不同品种的根系活力均是分蘖期最高,抽穗期下降,成熟期最低。品种二青矮、粤香占、培杂 72、培杂青珍、特三矮在分蘖期、抽穗期、

成熟期均保持较高的根系活力, 如在成熟期各品种 α -萘胺氧化力分别为 78.9、75.9、96.4、97.4、84.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 这对于促进穗粒和产量的形成有积极的作用. 而其他品种则在抽穗期和成熟期根系活力下降到很低的程度, 从而对产量结构造成很大的影响. 品种二青矮、粤香占、培杂 72、培杂青珍、特三矮

产量较高, 二青矮品种是大穗型, 有效穗数少但每穗粒数多, 千粒质量大; 粤香占品种是穗数型, 有效穗数多, 结实率高而每穗粒数少. 广陆矮 4 号、七山占、粳粳 88、粳粳 89、丰矮占 1 号品种产量较低. 在抽穗期和成熟期都维持较高根系活力的品种产量均较高, 相反中后期根系活力低的品种产量较低.

表 2 成熟期根系性状与地上部的相关关系¹⁾

Tab. 2 Correlation coefficient between the characteristics of root and aboveground parts at ripening stage n= 10					
性状 characteristics	根体积 root volume	根质量 root mass	最长根长 root length	根冠比 root/ shoot ratio	根活力 root activity
分蘖数 tiller number	0. 504 1	0. 269 3	-0. 036 0	0. 434 8	0. 383 9
株高 plant height	0. 880 4 **	0. 850 8 **	0. 839 4	-0. 312 0	0. 585 6
绿叶数 leaf number	0. 947 6 **	0. 970 6 **	0. 781 5	0. 072 2	0. 412 8
地上部质量 shoot mass	0. 514 7	0. 706 7 *	0. 131 7	-0. 584 0	0. 716 4 *
总质量 total mass	0. 541 7	0. 731 5 *	0. 153 6	-0. 555 0	0. 700 3 *
单茎质量 mass per stem	0. 086 7	0. 371 8	0. 218 7	-0. 605 0	0. 459 6
有效穗数 effective panicles	0. 142 2	-0. 161 4	-0. 126 5	0. 494 7	0. 179 1
每穗粒数 grains per panicle	-0. 280 0	0. 057 3	-0. 265 0	-0. 677 0 *	-0. 148 0
结实率 filled percentage	0. 311 8	0. 000 2	0. 422 7	0. 727 2 *	0. 554 2
千粒质量 1 000-grain mass	-0. 208 0	-0. 233 0	0. 015 6	-0. 337 0	0. 163 6
产量 yield	-0. 202 0	0. 036 0	-0. 263 0	-0. 888 9 *	0. 874 0 **

1) $r_{(8, 0.05)}=0. 632$ $r_{(8, 0.01)}=0. 765$

表 3 不同品种的根系活力、产量构成及根冠比特征

Tab. 3 Root activity, yield, yield component and root/ shoot ratio with different varieties

品种 variety	根系活力 root activity/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)			有效穗数	每穗	结实率	千粒质量	实测	根冠比	
				effective	粒数	filled	1 000-	产量	root/ shoot ratio	
	分蘖期	抽穗期	成熟期	panicle number	grains	grains	grain	actual	抽穗期	成熟期
	tillering stage	heading stage	ripening stage	$\times 10^4 /$ (条 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	per panicle	percentage / %	mass / g	yield ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	heading stage	ripening stage
广陆矮 4 号 Guanglu' ai 4	94.0	89.7	58.0	20.4	90	86.67	25.9	4 324.5	0.138 0	0.066 3
二青矮 Erqing' ai	104.5	82.5	78.9	17.6	140	85.70	23.9	6 507.0	0.091 3	0.054 2
七山占 Qishanzhan	103.8	74.3	70.2	21.6	115	87.83	18.1	4 951.5	0.141 7	0.069 1
粤香占 Yuexiangzhan	118.9	84.5	75.9	24.2	110	92.73	18.8	6 798.0	0.103 2	0.055 6
粳粳 88 Jingxian 88	93.9	68.7	52.3	19.3	160	84.38	16.3	4 663.5	0.137 2	0.075 8
培杂 72 Peiza 72	229.2	103.9	96.4	16.3	255	70.98	19.2	8 020.5	0.098 7	0.052 1
培杂青珍 Peiza Qingzhen	217.9	139.2	97.4	20.2	200	71.50	20.4	8 215.5	0.098 9	0.051 7
粳粳 89 Jingxian 89	182.8	72.2	60.6	19.1	204	70.58	19.9	6 204.0	0.120 0	0.062 9
丰矮占 1 号 Feng' aizhan 1	150.9	85.5	59.2	16.5	214	63.08	20.6	6 150.0	0.117 9	0.058 1
特三矮 Tesan' ai	165.4	91.0	84.2	13.9	172	66.86	28.9	7 930.5	0.106 8	0.054 9

3 讨论

水稻吸收水分和养分的能力与根系形态特征密切相关. 因此, 选育具有理想根系形态特征的水稻品种是提高水稻吸收土壤水分和养分能力的有效途径. 有关研究表明, 水稻根系形态特征如根长、根粗、根质量、根长密度等性状是受多基因控制的数量性

状, 且这些性状的狭义遗传力多数超过 50%^[14, 15]. 本研究表明根系性状中根质量在各生育期均稳定地与地上部质量、总质量呈显著或极显著正相关关系, 根体积则在分蘖期、成熟期与地上部性状相关显著, 这些研究结果与前人研究相似^[1, 2]. 根活力与分蘖期有关性状相关显著, 与成熟期产量有显著的正相关关系. 这些性状可作为选育水稻品种考虑的有关

根系方面的因素。由于根系研究的困难,在实践中很少把根系形态特征的改良作为水稻育种的计划。目前随着分子生物学特别是分子标记技术的发展,为在DNA水平上研究根系数量性状的遗传因子提供了有效手段^[15~19]。Champoux等^[17],方萍等^[14]利用重组自交系群体的RFLP标记连锁图对水稻根粗、根茎比、根质量、根体积、根长等性状进行连锁分析,分别检测出多个标记位点与这些性状相关联。

Passioura^[20]提供的证据表明,根系是吸收水肥的主要器官,与地上部相比,生产相同的单位干物质质量需要的能量是地上部的2倍,许多作物的根系实在是没有必要那么大。而且如果根系适当变小,将会有更多的同化产物分配到地上部,这对于谷物产量是十分有利的。蔡昆争等^[21]的研究结果也表明适当降低根冠比的大小不会对植株性状产生明显不良影响,甚至在某种程度上还促进了根系和地上部生理活性的提高。本研究表明,成熟期根系活力与产量有显著的正相关关系,因此生育后期保持较高的根系活力是水稻高产的重要基础。品种二青矮、粤香占、培杂72、培杂青珍和特三矮在成熟期相对其他品种仍具有较高的根系氧化力,这对于防止植株过早衰老,争取高产有积极的促进作用。同时抽穗期和成熟期根冠比与产量呈极显著和显著的负相关关系,如品种七山占和粳粳88抽穗期根冠比分别为0.1417和0.1372,为所有品种中较高的,而产量则分别为4951.5和4663.5 kg/hm²,相对较低。说明根系在一定范围内所占同化物的比例越小,产量越高。由此推断根冠比大的品种存在根系方面的生长冗余,产量较低,适当降低根系大小有利于产量的提高。

参考文献:

- [1] 陈健. 粳粳稻及其杂交育成种根系的比较研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1990, 22(增刊): 99—105.
- [2] 石庆华, 黄英金, 李木英, 等. 水稻根系性状与地上部的相关性及其根系性状的遗传研究[J]. 中国农业科学, 1997, 30(4): 61—67.
- [3] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星, 等. 水稻深层根系对生长和发育的影响[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 429—432.
- [4] 蔡昆争, 骆世明, 段舜山. 水稻群体根系的空间分布及其与产量的关系研究[J]. 华南农业大学学报, 2003, 24(3): 1—4.
- [5] 王余龙, 蔡建中, 何杰升, 等. 水稻颖花根活力与籽粒灌浆结实的关系[J]. 作物学报, 1992, 18(2): 81—89.
- [6] KHUSH G S. Increasing the genetic yield potential of rice; prospects and approaches[J]. International Rice Commission Newsletter, 1994, 43(1): 1—8.
- [7] LILLEY J M, FUKAI S. Effect of timing and severity of water deficient on four diverse rice cultivars. I. Rooting pattern and soil water extraction[J]. Field Crop Research, 1994, 37(3): 205—213.
- [8] YAMAZAKI K. Root system and its relation to grain yield in rice plants[J]. Korean Journal of Crop Science, 1989, 34(4): 449—459.
- [9] 李话, 张大勇. 半干旱地区春小麦根系形态特征与生长冗余的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 26—30.
- [10] 张大勇, 姜新华. 关于作物生产的生态学思考[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 383—384.
- [11] STEEN E. Variation of root growth in a grass ley studied with a mesh bag technique[J]. Swed J Agric Res, 1984, 14: 93—97.
- [12] 吴岳轩, 吴振球. 土壤温度对亚种间杂交稻根系生长发育和代谢活性的影响[J]. 湖南农学院学报, 1995, 21(3): 218—225.
- [13] 张志良. 植物生理学实验手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998, 36—38.
- [14] 方萍, 吴平, 陶勤南. 应用分子标记研究水稻根系形态特征数量性状位点[J]. 作物学报, 1999, 25(2): 181—185.
- [15] EKANAYAKE I J, TOOLE J C O, GARRITY D P, et al. Inheritance of root characters and their relations to drought resistance in rice[J]. Crop Science, 1985, 25: 927—933.
- [16] PRICE A H, TOMOS A D. Genetic dissection of root growth in rice (*Oryza sativa* L): II. Mapping quantitative trait loci using molecular markers[J]. Theor Appl Genet, 1997, 95: 143—152.
- [17] CHAMPOUX M C, WANG G L, SAKARUNG S, et al. Locating genes associated with root morphology and drought avoidance via linkage to molecular markers[J]. Theor Appl Genet, 1995, 90: 969—981.
- [18] RAY J D, YU L, McCOUCH S R, et al. Mapping quantitative trait loci associated with root penetration ability in rice (*Oryza sativa* L)[J]. Theor Appl Genet, 1996, 92: 627—636.
- [19] 徐吉臣, 李晶昭, 郑先武, 等. 苗期水稻根部性状的QTL定位[J]. 遗传学报, 2001, 28(1): 433—438.
- [20] PASSIOURA J B. Roots and drought resistance[J]. Agricultural Water Management, 1983, 7: 265—280.
- [21] 蔡昆争, 骆世明, 段舜山. 水稻根系在根袋处理条件下对氮养分的反应[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1109—1116.

【责任编辑 周志红】