

水稻根系在根袋处理条件下对不同光照强度的反应

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 水生态科学研究所, 广东 广州 510632)

摘要:选择品种梗粳 89, 设计水分和养分能自由通过而根系不能穿过的根袋[根袋 d 分别为 3、4、5 cm, h 为 25 cm], 通过水培试验研究水稻根系在根袋处理后对不同光照强度条件的反应. 结果表明, 在相同光照水平条件下, 不同根袋处理对植株地上部干物质积累和茎鞘贮存性碳水化合物含量无显著影响, 而对地下部影响较大. 根袋处理后根质量和根冠比明显降低, 而且根袋越小, 降低得越严重. 而遮阴处理无论是抽穗期还是成熟期根系和地上部干物质积累明显下降, 根系体积降低, 叶片叶绿素含量降低. 遮阴 70% 处理后无论是抽穗期还是成熟期, 较大根袋处理($d=5$ cm)的根系吸收能力均比不套根袋处理有提高的趋势, 其中在抽穗期根系总吸收面积、活跃吸收面积和比表面积分别增加 57.7%、26.0% 和 41.5%, 成熟期活跃吸收面积、活跃吸收面积所占比例分别增加 74.1%、58.2%, 均达显著水平.

关键词:水稻; 根系; 根冠比; 光照

中图分类号:S181;S314

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2007)01-0001-05

The Response of Rice Root System to Different Light Intensity After Root Confinement

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: A hydroponic experiment was conducted to study the physiological response of rice plant to different light intensity after decreasing root/shoot ratio. Root system was placed in cylindrical nylon bags to cause root confinement. The diameters of the root bags were 3, 4, 5 cm, respectively and the height was 25 cm. The results showed that under the same shading level, root confinement had no significant effects on the dry matter accumulation in the aboveground parts, but had significant effects on underground parts. The root mass and root/shoot ratio decreased significantly after root confinement, the smaller the root bag, the more the root/shoot ratio reduced. After shading, root and shoot dry matter accumulation, root volume, leaf chlorophyll content reduced significantly at heading and ripening stage. Under 70% shading treatment, the total surface area, active area and surface area per volume of the root system in 5 cm treatment increased by 57.7%, 26.0%, 41.5% at heading stage, and the active area and percentage of active area of root system increased by 74.1%, 58.2% at ripening stage compared with control.

Key words: rice; root system; root/shoot ratio; light

植物根系竞争能力的大小是衡量植物适应不良 主要限制因子是水分, 个体间竞争主要表现为根系
环境的重要指标之一. 在干旱半干旱区, 作物生产的 竞争. 但是若根系过于庞大则会对土壤储存水分过

收稿日期: 2005-10-17

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(39770138 和 30100107); 广东省自然科学基金(980145 和 20000636)

早、过快消耗,从而影响后期植物对水分的利用,进而影响最终产量^[1]. 段舜山等^[2]研究表明,小根系小麦品种抗旱性强,产量高;大根系品种抗旱性差,产量低,根量与产量之间存在显著的负相关关系. 研究结果显示根系在未进行人工定向选择前在数量和质量上都存在生长冗余^[3-5]. 根系冗余不仅使光合同化产物过多地分配到非光合性器官,而且,过分庞大的根系还会因根部呼吸消耗而浪费大量的同化物质^[6]. 通过品种试验和部分根系去除试验研究,初步证实了根冠比大的水稻品种根系存在一定程度的冗余^[7-9]. 光照是影响植物生长发育的重要生态因子,根系冗余的减少如何适应不同的光照条件还鲜见报道. 本研究试图通过根袋处理来降低根系大小或减小根冠比以减小根系的冗余,以便探讨根冠比降低后对不同光照条件的反应,分析根系和地上部的形态性状和生理性状所产生的变化,重点研究根冠比减小后对根系活性吸收方面的影响,从机制上了解减少根系冗余后的影响.

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为粳籼 89,由广东省农业科学院水稻研究所提供.

1.2 方法

试验在华南农业大学资源环境学院农化教研室网室进行. 取纯净水稻种子用 54~55℃ 的温水浸种 10 min 消毒. 然后在室温 35℃ 条件下催芽,把已催好芽的种子播在洗净的白瓷盘上的沙中,沙厚 5 cm. 沙培育苗,取大小一致的 10 d 幼苗洗去根部沙粒后移入塑料箱(64 cm×38 cm×15 cm),以国际水稻所推荐的水培液配方培养. 秧苗用塑料泡沫板固定,密度为 6 cm×6 cm,在玻璃网室自然光温条件下培养 30 d 后,将幼苗从塑料箱中转到 6 L 塑料桶中进行遮阴和根袋处理,每桶 2 棵. 设计 3 种大小不一的根袋(d 为 3、4、5 cm, h 为 25 cm 的 300 目尼龙网袋)套住根系(分别记为 R3、R4、R5). 这种根袋能让养分自由通过,而根系不能穿过,不套根袋的作为对照(R0). 根系生长在水培液的根袋中,可产生不同大小的根量. 遮阴设双层遮阴(遮阴 70%, S2)、单层遮阴(遮阴 55%, S1)和对照(不遮阴, S0)3 个处理,遮阴网用黑色遮阴网. 不同遮阴处理的光照强度用美国产光子(Quantum)/辐射强度(Radiometer)/照度计(Photometer)三位一体的 LI-188B 仪器测定. 4

种根袋处理×3 种遮阴条件×4 个重复,共 48 盆. 处理期间,每星期更换培养液 1 次,每天将 pH 调节在 4.5~5.0 之间.

在抽穗期和成熟期测定单株地上部各器官的干物质质量、叶片叶绿素含量、茎鞘贮存性碳水化合物含量,地下部根系质量、体积、总吸收面积、活性吸收面积、比表面积、根系活力等. 根质量用烘干法,根系体积用排水法,根系总吸收面积、活性吸收面积用甲稀蓝染色法,叶片叶绿素含量采用丙酮和无水乙醇混合液提取法,茎鞘贮藏性碳水化合物(包括可溶性糖、淀粉)的含量,采用蒽酮法^[10]. 以上生理指标和有关材料取样按文献[11]进行. 叶绿素含量的测定取主茎倒二叶,茎鞘可溶性糖和淀粉含量的测定取主茎倒二叶叶鞘和倒二节间,同一处理重复 3 次.

2 结果与分析

2.1 不同根袋处理在不同遮阴条件下对根系及地上部性状的影响

根袋处理在不同光照条件下对根系性状的影响见表 1. 从表 1 中可看出,无论是在抽穗期还是成熟期,经过根袋处理的根质量和根冠比在不同光照条件下大多相对于对照明显下降,根系体积除个别外普遍下降. 抽穗期双层遮阴条件下(S2), R3、R4、R5 根袋处理的根质量分别比对照降低 23.5%、10.7%、6.7%;根冠比对照为 0.197,不同根袋处理分别降低 25.4%、20.4%、6.9%. 成熟期单层遮阴条件下(S1), R3、R4、R5 处理的根冠比分别比对照降低 37.5%、27.3%和 28.3%,明显低于对照.

从表 1 中还可看出,同一光照处理条件下不同根袋处理对地上部和植株总质量没有明显影响. 而不同光照处理条件下则遮阴越严重,对根系、地上部质量及总质量影响越大,即干物质积累在抽穗期变化趋势为:双层遮阴(S2) < 单层遮阴(S1) < 无遮阴处理(S0),而在成熟期则为:单层遮阴(S1) < 双层遮阴(S2) < 无遮阴处理(S0).

2.2 对叶绿素含量的影响

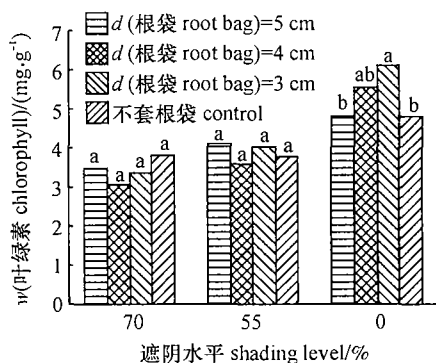
不同遮阴条件下根袋处理后对抽穗期叶片叶绿素含量的影响见图 1. 在双层遮阴条件下(S2)根袋处理(R3、R4、R5)后的叶绿素含量与对照相比有下降趋势,分别降低 8.5%、20.0%、12.3%,但未达到显著水平. 而在无遮阴条件(S0)下,根袋处理(R4、R5)的叶片叶绿素含量分别比对照增加 15.8%、26.8%. 单层遮阴条件下(S1)不同根袋处理对叶绿

表 1 根袋处理在不同遮阴条件下的根系及地上部性状

Tab. 1 The effects of root confinement on plant traits under different shading level at heading and ripening stage $n = 3$

光照 light	根袋 root bag	抽穗期 heading stage					成熟期 ripening stage				
		V(根 root)/cm ³	m(根 root)/g	根冠比 root/ shoot	m(地上部 shoot)/g	m(总 total)/g	V(根 root)/cm ³	m(根 root)/g	根冠比 root/ shoot	m(地上部 shoot)/g	m(总 total)/g
S2	R3	11.38a	1.14b	0.147b	7.75a	8.89a	34.78b	2.40ab	0.118b	20.35a	22.75a
	R4	15.68a	1.33ab	0.157b	8.46a	10.09a	33.90b	2.16b	0.108b	20.23a	22.39a
	R5	12.88a	1.39ab	0.184a	7.74a	9.13a	42.08a	2.85a	0.129ab	22.75a	25.60a
	R0	11.60a	1.49a	0.197a	7.55a	9.04a	40.25a	2.88a	0.143a	20.20a	23.08a
S1	R3	16.78a	1.51b	0.114b	13.47a	14.98a	34.93a	1.98a	0.085b	23.42a	25.40a
	R4	15.93a	1.65ab	0.152a	10.95a	12.59a	27.88b	1.89a	0.099b	19.33a	21.22a
	R5	18.08a	1.68ab	0.127b	13.36a	15.03a	37.00a	2.22a	0.097b	22.77a	24.99a
	R0	19.58a	1.96a	0.146a	13.45a	15.41a	32.95a	2.21a	0.136a	14.67b	16.88b
S0	R3	24.18a	2.31b	0.116b	19.99a	22.30a	68.90a	3.45b	0.090b	38.20a	41.65a
	R4	25.45a	2.61a	0.128b	20.32a	22.93a	60.75a	4.20a	0.118a	35.86a	40.06a
	R5	24.00a	2.46ab	0.123b	20.01a	22.47a	47.75b	3.11b	0.108ab	28.75a	31.86a
	R0	25.68a	2.68a	0.144a	18.71a	21.39a	62.38a	4.02a	0.119a	33.78a	37.80a

1) 根袋处理中 R0 为不套根袋, R3、R4、R5 分别指根袋 d 为 3、4、5 cm; 表中数据均按每棵计, 同一光照条件 (S2 为遮阴 70%, S1 为遮阴 55%, S0 为无遮阴处理) 下, 同列数据后不同小写字母表示 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著 (Duncan's 法)



图中同组标上标注的字母不同表示 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著 ($n = 3$, Duncan's 法)

Different letters on the top of bars indicate significant different at $\alpha = 0.05$ level (Duncan's method)

图 1 不同遮阴条件下根袋处理对抽穗期叶片叶绿素含量的影响

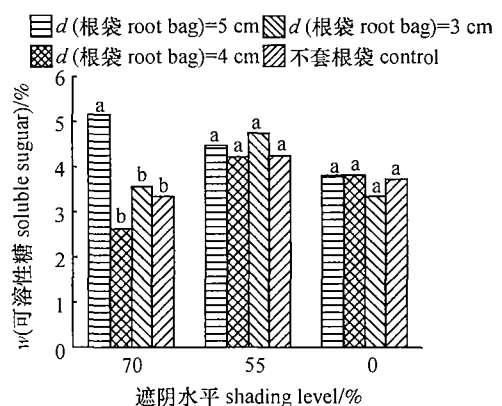
Fig. 1 Effects of root confinement on leaf chlorophyll content at heading stage under different shading level

素含量影响不大. 一般情况下, 遮阴越严重, 对叶绿素含量影响越大, 即 $S2 < S1 < S0$.

2.3 对茎鞘贮存性碳水化合物含量的影响

不同遮阴水平对抽穗期茎鞘贮存性碳水化合物含量 (可溶性糖和淀粉) 的影响见图 2 和图 3. 从图 2 可见, 不同根袋处理的茎鞘可溶性糖含量在单层遮阴 (S1) 和不遮阴条件 (S0) 下与对照差异不显著, 而在双层遮阴条件 (S2) 下, 除 R4 根袋处理降低外, R3、R5 根袋处理的可溶性糖含量分别比对照 (R0)

增加 54.3%、6.6%; 从图 3 可见, 对于淀粉含量, 不同根袋处理在双层遮阴 (S2) 和无遮阴条件 (S0) 下没有明显差异, 而在单层遮阴 (S1) 条件下, R3 根袋处理与对照差异不大, R4 根袋处理比对照减少 33.7%, R5 根袋处理比对照增加 36.7%. 总体上来说, 不同根袋处理的茎叶贮存性碳水化合物含量的变化趋势是以单层遮阴条件 (S1) 下最高, 其次是不遮阴条件 (S0), 最低是双层遮阴 (S2).

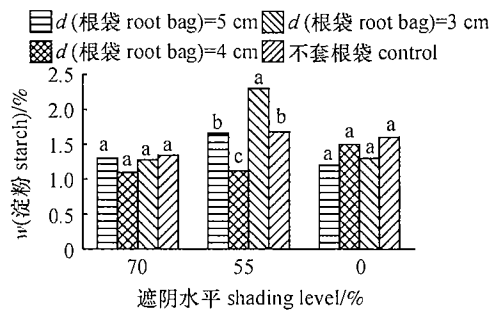


图中同组标上标注的字母不同表示 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著 ($n = 3$, Duncan's 法)

Different letters on the top of bars indicate significant different at $\alpha = 0.05$ level (Duncan's method)

图 2 不同遮阴条件下根袋处理对抽穗期茎鞘可溶性糖的影响

Fig. 2 Effects of root confinement on soluble sugar in stem and sheath at heading stage under different shading level



图中同组标上标注的字母不同表示 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著 ($n = 3$, Duncan's 法)

Different letters on the top of bars indicate significant different at $\alpha = 0.05$ level (Duncan's method)

图3 不同遮阴条件下根袋处理对抽穗期茎鞘淀粉含量的影响

Fig. 3 Effects of root confinement on starch content in stem and sheath at heading stage under different shading level

2.4 对根系活性的影响

根系的总吸收面积、活跃吸收面积是反映根系

活性大小和吸收范围的一个重要指标。抽穗期在双层遮阴条件(S2)下,不同根袋处理的根系总吸收面积、活跃吸收面积、比表面积均比对照有上升趋势(表2),如不同根袋处理(R3、R4、R5)根系总吸收面积分别比对照增加63.9%,31.1%,57.1%;活跃吸收面积分别增加52.1%,51.3%,25.2%;比表面积分别增加52.3%,10.4%,41.5%。在单层遮阴条件(S1)下,不同根袋处理的根系总吸收面积差异不大,活跃吸收面积及所占比例则R4根袋处理明显降低,比表面积则各根袋处理均显著下降。在无遮阴条件下,根袋太小的处理(R3、R4)根系活性吸收则与对照处理差异很大,抽穗期总吸收面积分别比对照降低47.2%、44.9%,活跃吸收面积降低44.0%、30.3%,比表面积降低34.1%、35.2%,而较大根袋处理(R5)则与对照相比差异不大。

表2 不同遮阴条件下根袋处理对根系生理活性的影响¹⁾

Tab. 2 Effects of root confinement on root system activity under different shading level

$n = 3$

光照 light	根袋 root bag	总吸收面积 TSA/ m^2		活跃吸收面积 ASA/ m^2		活跃吸收比例 (ASA/TSA)/%		比表面积 (TSA/V)/($\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$)		V/ cm^3	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
S2	R3	4.59a	5.32a	1.81a	1.75b	39.4a	32.9a	0.364a	0.179a	12.6a	29.8b
	R4	3.67ab	6.45a	1.80a	0.91b	49.1a	14.0b	0.266b	0.191a	13.8a	33.8b
	R5	4.40a	6.63a	1.49ab	2.77a	33.9b	41.8a	0.344a	0.151a	12.8a	43.8a
	R0	2.80b	5.93a	1.19b	1.59b	42.5a	26.8b	0.241b	0.147a	11.6a	40.3a
S1	R3	3.92a	4.65a	1.31ab	1.31b	33.4a	28.2a	0.236b	0.156b	16.6ab	29.8a
	R4	3.97a	5.74a	0.73b	1.44ab	18.4b	25.1a	0.207b	0.232a	19.2a	24.8a
	R5	3.90a	5.78a	1.27ab	1.74a	32.6a	30.1a	0.191b	0.154b	20.4a	37.5a
	R0	4.06a	5.28a	1.68a	1.90a	41.4a	36.0a	0.325a	0.162b	12.5b	32.6a
S0	R3	5.65b	6.85a	1.83b	2.61a	32.4a	38.1a	0.246b	0.152a	23.0a	45.0b
	R4	5.90b	7.91a	2.28b	2.84a	38.6a	35.6a	0.252b	0.122a	23.4a	65.0a
	R5	9.33a	6.39a	2.84ab	2.76a	30.4a	43.2a	0.389a	0.179a	24.0a	35.8b
	R0	10.70a	8.36a	3.27a	2.99a	30.6a	35.8a	0.374a	0.134a	28.6a	62.5a

1) TSA: total surface area, ASA: active surface area, I: 抽穗期 heading stage, II: 成熟期 ripening stage; 根袋处理中 R0 为不套根袋, R3、R4、R5 分别指根袋 d 为 3, 4, 5 cm; 表中数据均按每棵计, 同一光照条件(S2 为遮阴 70%, S1 为遮阴 55%, S0 为无遮阴处理)下, 同列数据后不同小写字母表示 $\alpha = 0.05$ 水平差异显著 (Duncan's 法)

从表2中可看出,成熟期在双层遮阴条件下(S2),较大根袋处理(R5)的根系总吸收面积、活跃吸收面积、活跃吸收面积所占比例、比表面积与对照相比,均有增加趋势,其中活跃吸收面积、活跃吸收面积所占比例2个指标分别比对照增加74.2%,58.2%,达到显著水平,而其他根袋处理(R3、R4)则与对照(R0)相比略有下降或差别不大。在单层遮阴(S1)条件下,不同根袋处理的根系吸收各指标差异

不大,只是中等大小根袋处理(R4)根袋处理的比表面积比对照显著上升,增加39.8%。在无遮阴处理条件下(S0),总体上来讲,不同根袋处理的根系活性吸收各指标则与对照相比差别不明显。

3 结论

本研究表明,不同根袋处理后,无论在抽穗期还是成熟期,根冠比显著降低,而且根袋越小,根冠比

就下降得越严重,与无遮阴相比,不同遮阴处理总体上降低了根系的形态、生理活性及地上部的有关特性,这与前人研究^[12-16]一致。然而根冠比下降后对地上部干物质积累影响不大,而且只要是在同一光照处理条件下(双层遮阴或单层遮阴或无遮阴)均有这种现象。与不套根袋相比,中等大小的根袋处理(R4)在无遮阴条件下增加了叶绿素含量,在单层遮阴条件下增加了可溶性糖和淀粉含量。在双层遮阴处理(S2)条件下无论是抽穗期还是成熟期,较大根袋处理(R5)的根系吸收能力均比对照有提高的趋势,其中在抽穗期根系总吸收面积、活跃吸收面积,成熟期活跃吸收面积、活跃吸收面积所占比例这些指标的增加到显著水平。而在其他遮阴条件下则根袋处理与对照的根系活性相比差异不大或略有降低。

可见,水稻植株根冠比适当降低后(即适当减少根系的冗余)在不同光照条件下,均没有明显降低根系的整体基本功能,不至于对植株的生长发育、光合产物积累、生理代谢产生明显不良影响。

参考文献:

- [1] 张大勇,姜新华,赵松龄,等.半干旱区作物根系生长冗余的生态学分析[J].西北植物学报,1995,15(5):110-114.
- [2] 段舜山,谷文祥,张大勇,等.半干旱地区小麦群体的根系特征与抗旱性的关系[J].应用生态学报,1997,8(2):134-138.
- [3] 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.
- [4] 张荣,张大勇.半干旱区不同年代春小麦品种根系生长冗余的比较实验研究[J].植物生态学报,2000,24(3):298-303.
- [5] GRAHAM E, BOBEL P S. Root water uptake, leaf water storage and gas exchange of a desert succulent: implications for root system redundancy[J]. Annals of Botany, 1999, 84:213-223.
- [6] PASSIOURA J B. Roots and drought resistance[J]. Agricultural Water Management, 1983, 7:265-280.
- [7] CAI Kun-zheng, LUO Shi-ming, DUAN Shun-shan. Effect of root damage on rice growth development and yield response [C]//HILL J E, HARDY B. Proceedings of the Second Temperate Rice Conference. Los Banos: International Rice Research Institute, 2002:109-111.
- [8] 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.
- [9] 蔡昆争,骆世明,段舜山.水稻群体根系特征与地上部生长发育和产量的关系[J].华南农业大学学报,2005,26(2):1-4.
- [10] 张志良.植物生理学实验手册[M].北京:高等教育出版社,1998.
- [11] 刘强,罗泽民,荣湘民,等.喷施双酸肥对水稻代谢机能及其产量影响初探[J].中国农业科学,1999,31(5):13-18.
- [12] DEMOTES M S, PELLERIN S. Effects of mutual shading on the emergence of nodal roots and the root:shoot ratio of maize[J]. Plant and Soil, 1992, 147:87-93.
- [13] OSAKI M, IYODA M, YAMADA S, et al. Effect of mutual shading on carbon distribution in rice plant[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(2):235-244.
- [14] HEBERT Y, GUINGO E, LOUDET O. The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes[J]. Crop Science, 2001, 41:363-371.
- [15] MAWAKI M, MORITA S, SUGA T, et al. Effect of shading on root system morphology and grain yield of rice plants[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1990, 59(1):89-99.
- [16] MORITA S, YAMAZAKI K. Effects of light condition on growth angle of rice roots grown with leaf-cutting method [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1992, 61(1):689-690.

【责任编辑 周志红】