

全程与阶段性非充分灌溉条件下水稻的 生长及部分生理反应*

钱晓晴¹ 沈其荣^{1,†} 王娟娟² 周明耀³ 柏彦超² 杨建昌²

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 扬州大学农学院, 江苏扬州 225009)

(3 扬州大学水利与建筑工程学院, 江苏扬州 225009)

RICE GROWTH AND SOME PHYSIOLOGICAL RESPONSES TO WHOLE AND PERIODIC NON-FULL IRRIGATION

Q an X ao q ng¹ Shen Q rong^{1,†} Wang J uan j uan² Zhou M ng yao³ Ba Y an chao² Yang J an ch ang²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

(3 College of Hydraulic and Civil Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

关键词 非充分灌溉; 水稻; 生长; 生理反应

中图分类号 S274 文献标识码 A

有关水分胁迫改变水稻生长形态、组织结构与生理代谢方面的研究已有不少报道, 但试验结果间颇有差异^[1~9]。在以往水分胁迫的植物效应研究中, 往往只讨论水分胁迫处理本身对试验结果的影响, 较少涉及处理前水稻生长环境的影响。至今尚未见有作物对全程和阶段性非充分灌溉反应差异的试验报道。本研究拟通过作物体对水分胁迫较为敏感的叶片水分含量、叶绿素含量和丙二醛(MDA)含量、根系活力、叶片气孔阻抗和光合速率等指标进行测定, 探讨抽穗后(即阶段性)与全程非充分灌溉影响水稻产量形成的差异及其生理机制, 为发展水稻节水栽培技术提供理论依据。

1 材料与试验地点

1.1 材料与试验地点

试验于 2002 年在扬州大学实验农场进行。供

试水稻为籼型三系杂交稻组合汕优 63。试验地前茬为小麦, 土壤质地为砂壤土, 耕作层有机质和全氮含量分别为 21.4 和 1.33 g kg⁻¹, 土壤碱解 N、速效 P(0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 浸提)和速效 K(1 mol L⁻¹ 中性 NH₄Ac 浸提)含量分别为 117.3、44.8 和 77.6 mg kg⁻¹。

1.2 试验设计

采用水泥池微区(2 m × 1.5 m)进行土培, 5 月 23 日直播, 齐苗后按 20 cm × 15 cm 定植, 每穴 2 苗。试验设常规水作、始穗后非充分灌溉和全程非充分灌溉 3 个处理。常规水作(Waterlogged cultivation, WC): 移栽至返青期田间保持水层, 以后间隙湿润灌溉, 收获前 1 周断水; 始穗后非充分灌溉(Stress after heading, SAH): 水吸力 0~50 kPa, 地下水埋深控制在 60 cm; 全程非充分灌溉(Stress in whole stage, SWS): 水吸力 0~50 kPa, 地下水埋深控制在 60 cm; 各处理重复 3 次。尿素、磷酸二氢钾的施用量均为 45 g m⁻², 播前作基肥全层施

* 国家自然科学基金项目(30070446)资助

† 通讯作者, E-mail: qshen@njau.edu.cn

作者简介: 钱晓晴(1962~), 男, 江苏泰兴人, 博士, 主要从事植物营养与肥水耦合关系研究。E-mail: xiaoqingqian@163.com

收稿日期: 2003-04-20; 收到修改稿日期: 2003-08-22

用。

1.3 观测项目

各处理选择 2 处代表性的植株各 10 穴, 自播后 30 d 至抽穗观察其分蘖消长动态, 记录叶龄。

1.3.1 叶片水分含量、叶绿素和丙二醛(MDA)含量 分别于抽穗后的 0、7、14、21 和 28 d, 采样测定最后 3 张功能叶叶片含水率和相对含水率, 用热乙醇快速提取法测定剑叶和倒 2 叶的叶绿素含量以及丙二醛(MDA)含量^[11]。

1.3.2 根系活力 分别于抽穗后的 0、7、14、21 和 28 d, 挖取各处理稻根 3 穴(每穴以稻株基部为中心, 挖取行距向 10 cm、株距向 8.5 cm、深度 20 cm 的土块), 装于 70 目的网袋中, 先用流水冲洗, 再用农用压缩喷雾器将根冲洗干净, 用纱布轻轻吸去游离水后, 称取鲜重。取部分根用 α -NA 法测定根系氧化力^[10]。其余根烘干称重。

1.3.3 叶片气孔阻抗和光合速率 气孔阻抗使用美国 LICOR 公司生产的 LI-1600 型稳态气孔仪进行测

定。选取典型植株的典型叶片分上、中、下 3 个部位进行测定。同日, 采用 CID 光合测定仪(美国 CID 公司制造)测定主茎剑叶的光合速率, 各处理重复测定 6 叶。

1.3.4 考种与计产 成熟期对所定观测点进行有效穗数的调查, 各处理取两个代表性 5 穴用于考种, 测定每穗粒数、结实率和千粒重。

2 结果与分析

2.1 叶片水分含量、叶绿素含量与光合效率

作物叶片相对含水量是作物体内水分状况的综合指标之一^[2]。本试验中, 水稻抽穗以后最后 3 张功能叶平均相对含水量随生育进程呈逐渐降低趋势(表 1)。WC 处理从 93.5% 下降到处理 28 d 后的 88.3%, 而 SAH 处理植株的相对含水量从 93.2% 降为 76.2%。SWS 处理水稻植株的相对含水量从 90.7% 下降到 85.3%, 与常规水作的降幅十分接近。可见, 长时间处于水分胁迫下生长的水稻植株具备了某些获得性的持水能力。

表 1 不同水分处理下水稻叶片的相对含水量(%)

处理	处理天数(d)				
	0	7	14	21	28
WC ¹⁾	93.5 a	92.8 a	90.5 a	89.1 a	88.3 a
SAH ²⁾	93.2 a	83.0 b	80.4b a	77.8 b	76.2 b
SWS ³⁾	90.7 a	90.4 a	88.4 a	87.6 a	85.3 a

注: 同列中平均数后的相同字母表示平均数间的差数小于 $LSD_{0.05}$; 1) WC: 水作; 2) SAH: 始穗后非充分灌溉; 3) SWS: 全程非充分灌溉。下同

前人关于水分胁迫对植物叶片叶绿素含量的研究结果很不一致^[2,4-6]。从表 2 中可以看出, 从抽穗开始到抽穗后 28 d, 水稻功能叶片的平均叶绿素含量(以鲜重计)均以 WC 处理为最高, SWS 处理略低于常规水作处理, 但二者差异并不显著。可见, SWS 处理引起作物叶片叶绿素含量下降十分有限。SWS 处理在减少叶绿素合成(或增加叶绿素分解)的同时, 也限制了植物营养体(包括叶片面积和厚度)的增大。SAH 处理的作物叶片叶绿素含量在处

理后 7 d 不仅未见有明显下降, 反而略高于常规水作处理。但至抽穗后 21 d, 其叶片叶绿素含量开始显著低于 WC 处理, 至抽穗后 28 d, 其差距更大, 且显著低于 SWS 处理。抽穗后遭遇水分胁迫, 作物可能已经难以通过改变株型和叶片大小以及生物量来适应胁迫环境。在这种条件下, 叶片叶绿素含量明显下降。在开花后 28 d 内, WC 处理、SAH 处理和 SWS 处理水稻叶片叶绿素含量分别下降了 2.73、3.17 和 2.78 $g\ kg^{-1}$, 以 SAH 处理下降最多。

表 2 不同水分处理叶片的叶绿素含量($g\ kg^{-1}$)

处理	处理天数(d)				
	0	7	14	21	28
WC	4.17 a	3.91 a	3.16 a	2.75 a	1.44 a
SAH	4.18 a	4.14 a	3.13 a	2.46 b	1.01 b
SWS	4.13 a	3.87 a	3.15 a	2.61a b	1.35 a

一般认为,水分胁迫降低作物叶片的光合效率^[4],但有少数试验报道适度水分胁迫增强了作物叶片的光合作用^[1,2]。本试验中,SAH 处理的水稻,其叶片光合效率受到了严重影响,从表 3 中可以看

出,这种影响从处理 7 d 后即明显地表现出来,并一直保持到处理后第 28 天。同期处于非充分灌溉状况下的 SWS 处理水稻叶片的光合速率与 WC 处理相比并无显著差异。

表 3 不同水分处理对剑叶光合速率的影响($\text{CO}_2, \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

处理	处理天数(d)				
	0	7	14	21	28
WC	15.13 a	14.27 a	17.43 a	14.29 a	10.88 a
SAH	15.11 a	10.37 b	12.68 b	9.74 b	8.45 b
SWS	14.99 a	14.05 a	16.87 a	14.31 a	10.03 a

2.2 叶片气孔阻力与丙二醛含量

从表 4 可看出,WC 处理水稻叶片的气孔阻力在观察期间始终较低,介于 $0.67 \sim 1.10 \text{ S cm}^{-1}$ 之间,变幅较小。SWS 处理水稻叶片阻力稳定在 $1.58 \sim 2.26 \text{ S cm}^{-1}$ 范围内,变幅也不大。而 SAH 处理的水稻气孔阻力随水分胁迫天数和土壤水吸力增加而迅速提高。这虽然有利于减少水稻体内水分的损失,但对光合原料 CO_2 进入叶内无疑也会产生制

约作用。播种后一直处于非充分灌溉条件下的水稻植株为适应水分胁迫条件下高光合生产的需要,可能在气孔数量、大小、构造及其开闭运动方式与机制方面已逐渐形成了某种程度上的阻力“不对称”机理。而在充分灌溉条件下生长的水稻植株骤然遇到水分胁迫,只能产生一些“应急”反应和有限适应调节。在这种情况下,水稻植株的生长和产量形成机制必然受到不良影响。

表 4 不同水分处理对叶片气孔阻力的影响(S cm^{-1})

处理	处理天数(d)				
	0	7	14	21	28
WC	0.67 b	0.73 b	0.85 b	1.10 b	0.94 c
SAH	0.65 b	1.98 a	2.62 a	2.83 a	3.75 a
SWS	1.58 a	1.71 a	2.18 a	2.26 a	2.03 b

处理 14 d 后水稻最后 3 张功能叶叶片丙二醛含量(以干重计)的测定结果(见表 5)表明,其含量在水分胁迫条件下显著提高。变化幅度与不同处理方式有关。尽管测定时 SAH 处理土壤水吸力(27 MPa)低于 SWS 处理(33 MPa),但前一处理水稻倒 2 和倒 3 叶叶片丙二醛含量均显著高于后一处理。丙二醛是膜脂氧化的产物,其含量变化代表了膜脂氧化的程度。因此,SAH 处理水稻细胞膜受到水分胁迫的不良影响更大。

表 5 不同水分处理对叶片丙二醛含量的影响($\mu\text{mol g}^{-1}$)

处理	剑叶	倒 2 叶	倒 3 叶
WC	14.7 b	16.3 c	17.1 c
SAH	20.5 a	24.4 a	29.4 a
SWS	18.8 a	20.6 b	21.9 b

2.3 根系活力

从图 1 看出,抽穗初期(0~7 d)SWS 处理水稻的根系活力明显高于常规水作,但抽穗 21 d 后低于常规水作。SAH 处理水稻 7~14 d 根系活力略高于

常规水作,而 21 d 后迅速下降,至 28 d 时甚至低于 SWS 处理。可见,SAH 处理对水稻作物后期早衰起到推波助澜的作用。

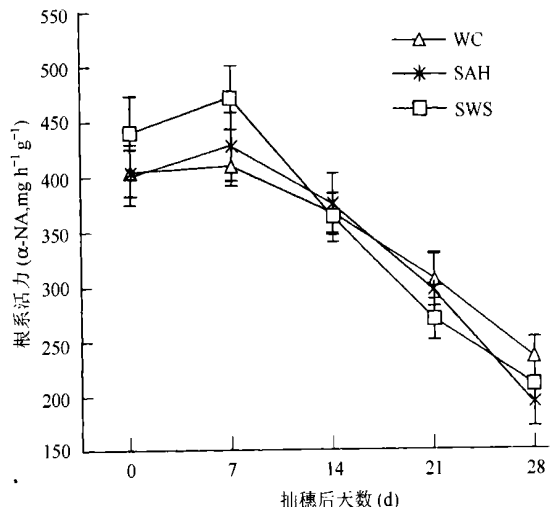


图 1 不同水分处理对根系活力的影响

2.4 水稻籽粒产量构成因素

至成熟期, SWS 处理土壤水吸力为 36 MPa, 略高于 SAH 处理的 32 MPa, WC 处理土壤水吸力仍为 0 MPa。表 6 中数据表明, SWS 处理单位面积上水稻有效穗数不仅没有减少, 反而比 WC 处理略有增加。非充分灌溉处理水稻的每穗总粒数比常规水作处理略有降低。由于 SAH 处理是在水稻抽穗期才开始进行水

分胁迫处理, 因此未影响到水稻的有效穗数和每穗总粒数。此前这两个产量构成因素业已确定。SAH 处理水稻结实率与千粒重比 WC 处理分别下降了 7.93% 和 6.25%, 而 SWS 处理比常规水作处理仅分别下降了 1.84% 和 2.91%。可见, SAH 处理比 SWS 处理危害更大, 尽管至成熟期, 土壤水分含量仍以 SWS 处理为最低。

表 6 不同水分处理对水稻籽粒产量构成因素的影响

处理	有效穗数 (sp kes m ⁻²)	每穗总粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	籽粒产量 (g m ⁻²)
WC	248.1 a	165.7 a	89.12 a	27.85 a	1 020 a
SAH	247.8 a	166.0 a	82.05 b	26.11 b	881 b
SWS	252.7 a	161.2 a	87.48 a	27.04 a	963 ab

3 讨论

综合前人研究^[4,8]和本试验结果, 阶段性非充分灌溉与全程非充分灌溉对水稻作物生长的影响有所不同。播种后一直处于非充分灌溉条件下, 水稻作物会通过形态学、生理学等特性的改变来全面适应水分胁迫环境。当然, 这种诱导改变在水稻品种间可能存在差异, 最终导致不同品种水稻在非充分灌溉时的生长及产量形成所受到的影响有所不同^[7]。与全程非充分灌溉不同的是, 水稻作物骤遇水分胁迫环境, 则难以对作物形态结构(如叶片大小与结构、气孔形状与密度、根系数量与分布等)加以有效的诱导改变, 只能通过相对需时较短的体内生理生化过程及其相应产物的形成, 或者被动地关闭气孔、改变叶片体态^[3,4,8,9]等消极行为对水分胁迫作出“应急”反应。这种“应急”反应虽然有利于植物体保持水分, 但往往引起植物光合生产能力的下降, 而且消耗更多的贮藏物质, 导致作物在生长及产量形成等方面的更大损失。

参考文献

[1] Green P B. Metabolic and physical control of cell elongation role. Plant

Physiol. 1971, 47: 423~ 430

- [2] 张让康, 刘本坤. 水、旱种稻若干形态和生理性状比较研究. 湖南农业科学, 1988, 14(1): 13~ 16
- [3] Alcocer R M, Roberedht R, Thll D C. The response of *Bouteloua scirpoides* to water stress at two phenological stages. Botanical Gazette, 1989, 150(4): 456~ 461
- [4] 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫抑制水稻光合作用的机理. 作物学报, 1994, 20(5): 601~ 606.
- [5] 钱晓晴, 沈其荣, 徐勇, 等. 不同水分管理方式下水稻的水分利用效率与产量. 应用生态学报, 2003, 14(3): 399~ 404.
- [6] 钱晓晴, 沈其荣, 徐国华. 配合施用 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 对旱作水稻生长与水分利用效率的影响. 土壤学报, 2003, 40(6): 894~ 900
- [7] 文汉, 聂凡. 干旱对水稻抽穗后旗叶衰老和产量构成因子的影响. 安徽农业大学学报, 2000, 27(2): 135~ 137.
- [8] 施积炎, 袁小凤, 丁贵杰. 作物水分亏缺补偿与超补偿效应的研究现状. 山地农业生物学报, 2000, 19(3): 226~ 233.
- [9] 范晓荣, 沈其荣, 崔国贤, 等. 旱作水稻内源激素变化及其与水稻形态和生理特性的关系. 土壤学报, 2002, 39(2): 206~ 213.
- [10] 张志良. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1990. 59~ 62, 65~ 68.
- [11] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 213~ 215.