

文章编号: 1007-7847(2000) 04-0351-05

# 干旱胁迫对水稻水分利用效率的影响

梁满中<sup>1</sup>, 谭周兹<sup>1</sup>, 陈良碧<sup>1</sup>, 周广洽<sup>1</sup>,  
雷博华<sup>2</sup>, 蒋邹义<sup>2</sup>

(1. 湖南师范大学 生命科学学院, 中国湖南 长沙 410081;

2. 湖南省冷水滩区农业局, 中国湖南 冷水滩 425100)

**摘要:** 通过特殊自然干旱胁迫的方法, 研究不同干旱胁迫对水稻的水分利用效率(WUE)的影响, 在一定供水量时, 水稻的 WUE 随供水量的增加而下降, 但水稻旱种时, 却因供水量过低, 干旱胁迫严重, WUE 值为最低. 不同品种的水稻 WUE 存在较大的差异, 抗旱性强的品种具有较高 WUE, 因此选用具有较高 WUE 的品种, 是水稻节水栽培的关键.

**关键词:** 水稻; 干旱胁迫; 耗水量; 水分利用效率(WUE)

中图分类号: Q945.78; S311; S511.034

文献标识码: A

## Influence of Drought Stress on Water Use Efficiency of Paddy Rice

LIANG Man-zhong<sup>1</sup>, TAN Zhou-ci<sup>1</sup>, CHEN Liang-bi<sup>1</sup>,  
ZHOU Guang-qi<sup>1</sup>, LEI Bo-hua<sup>2</sup>, JIANG Zou-yi<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, Hunan, China;

2. Agricultural Bureau of Lengshuitan Prefecture, Lengshuitan 425100, Hunan, China)

**Abstract:** Ten paddy rice (*orazy sativa* L.) varieties have been studied under different water stresses of natural condition. The result showed that when certain total water was used, WUE would be decreased as total water consumption was increased. But WUE of paddy rice would be lowest when paddy rice was grown on upland. WUE is varied among the varieties; the variety with high WUE possesses high dry resistance.

**Key words:** paddy rice (*orazy sativa* L.); drought stress; total water consumption; water use efficiency (WUE)

干旱是影响水稻高产、稳产的主要因素之一, 湖南的干旱主要是由于降水分布不均和排灌设施不完善引起水稻生长发育受阻而导致水稻减产, 甚至绝收. 水稻品种(组合)的抗旱性

收稿日期: 2000-06-05

基金项目: "九五"国家重点攻关项目(95-001-01-04)

作者简介: 梁满中(1962-), 男, 湖南溆浦人, 湖南师范大学高级农艺师, 从事作物育种和作物生理研究, E-mail:

liangmz@mail.hunnu.edu.cn.

研究已有许多报道<sup>[1~7]</sup>, 研究者从形态、生理以及产量等方面做了大量的工作, 但是耐旱高产水稻品种(组合)在不同干旱胁迫下的生产能力以及水分利用效率等方面未见报道, 而这正是水稻抗灾减灾, 节水栽培的关键所在. 本研究是在前三年国家水稻工程湖南湘乡基地研究的基础上, 利用从南方稻区推广的 1 350 份水稻材料中筛选出的耐旱高产品种(组合), 在模拟南方干旱特点的条件下, 研究耐旱高产品种的水分利用特性及其抗旱性, 为水稻的节水栽培提供科学依据.

## 1 材料与方 法

试验设在永州市冷水滩区伊塘镇东风村鸭角塘组, 供试土壤为第四纪红壤发育的浅红泥. 天水田、旱种, 无灌溉条件.

### 1.1 材 料

巴西陆稻(CK<sub>1</sub>)、威优晚 3、威优 46、威优 64、汕优 198、汕优 63、冈优缙恢 1 号、培两优 288、培两优余红、湘晚籼 9 号(CK<sub>2</sub>).

### 1.2 干旱栽培处理

采用 4 种栽培方式: 1) 旱种直播(6 月 4 日开沟条播, 泥土盖种); 2) 水种旱管(6 月 15 日播种, 7 月 15 日移栽, 移栽返青后开沟排干田中水至成熟); 3) 天水田种植(水耕水栽, 高田埂, 不灌水, 不排水); 4) 对照(按当地水种水管方式进行). 每个小区面积 20 m<sup>2</sup>, 2~3 次重复.

### 1.3 观测指标与方法

1) 气象指标: 采用冷水滩区气象局观测的降水量、气温和日照时数.  
2) 土壤含水量: 按 5 点取样法取土, 105 ℃ 烘干 24 h, 土壤含水量 = (土壤鲜重 - 土壤干重) / 干土重 × 100 %.

3) 田间水分利用效率(WUE)的计算: 田间水分利用效率(WUE) = 单位面积产量 GY / 单位面积耗水量 ET. 单位面积耗水量 ET = 灌水量 + (降雨量 - 田间实际排水量). 田间实际排灌水量以水表计量为准. 旱种和水种旱管由于犁底层开裂和各小区都开有排水沟, 下雨时田间不保留水层, 因此田间实际排水量为降雨量减去田间实际持水量(下雨后土壤含水量减去下雨前土壤含水量). 并进行经济性状考查与测产.

## 2 结果与分析

### 2.1 1999 年干旱特点及早情分析

1999 年水稻大田生长期出现两次高温干旱胁迫, 第一次持续时间 19 d(7 月 22 日至 8 月 9 日), 干旱时水稻正处分蘖期. 第二次干旱 11 d(9 月 1 日至 11 日), 出现在晚稻幼穗分化期和抽穗期, 两次干旱胁迫旱种的土壤含水量都降到了 15 % 以下, 所有材料都出现暂时萎蔫. 水种旱管和天水田的部分材料出现短时间的暂时萎蔫, 因而造成部分材料颖花退化, 抽穗延迟, 结实率和千粒重下降.

表 1 自然干旱胁迫时土壤含水量

Table 1 Soil moisture content of paddy rice under natural drought stresses

干旱处理 Drought treatment	第一次干旱/ % First drought/ %	第二次干旱/ % Second drought/ %
对 照 (CK)	42.14	39.62
旱 种 (DC)	12.09	10.39
水种旱管 (PD)	26.83	22.20
天 水 田 (RF)	35.16	22.20

注: 第一次干旱是 7 月 22 日至 8 月 9 日, 日平均气温 29.9 。第二次干旱是 9 月 1 日至 9 月 11 日, 日平均气温 28.7 。  
Note: The average temperature was 29.9 for the first natural drought from July 22 to Aug. 9 and 28.7 for the second natural drought from Sep. 1 ~ 11; CK = check; DC = drought cultivation; PD = transplanted in paddy field and dry cultivation; RF = rain field.

## 2.2 干旱胁迫的水稻耗水量和田间水分利用效率的分析

试验表明, 干旱胁迫各处理水稻的耗水量存在较大的差异, 就旱种而言, 水稻生长期间的降雨有大部分通过地表径流而流失. 水稻大田生长期(7 月 15 日至 10 月 12 日) 降水量为 390.5 mm, 旱种降水量(6 月 4 日至 10 月 12 日) 593.7 mm, 但降雨流失为 37.09%. 水种旱管降雨流失 28.59%. 耗水量最低的处理为水种旱管, 只有对照耗水量的 52.06%. 干旱处理结果表明, 水种旱管栽培的节水效果最好. 水稻田间水分利用效率(WUE) 比对照高  $4.18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 提高 35.82%. 旱种处理虽然耗水量较低(为对照的 69.71%), 但产量较低, WUE 反而最低. 这说明在一定供水量的范围内, 随着供水量的增加, 水稻的 WUE 降低, 但水稻旱种时例外.

表 2 干旱胁迫的水稻的耗水量和田间水分利用效率

Table 2 Total water used of paddy rice and water use efficiency of field under dry tolerance

处 理 Treatment	A	B	C	D	E	F	G
对照 (CK)	390.5	159.9	13.6	535.8	6254		11.7
旱种 (DC)	593.7	0	220.2	373.5	3395	- 45.7	9.1
水种旱管(PD)	390.5	0	111.6	278.9	4421	- 29.3	15.9
天水田 (RF)	390.5	65.4	3.0	452.9	5635	- 9.9	12.4

注: A = 降水量/mm; B = 灌水量/mm; C = 田间排水量/mm; D = 耗水量/mm; E = 产量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); F = 比  
±%; G = 田间水分利用效率/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ).

Note: A = Rainfall/mm; B = Irrigated water/mm; C = Drained water/mm; D = Water consumption/mm; E = Yield/  
( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); F = CK/±%; G = WUS of field/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ).

## 2.3 干旱胁迫对水稻经济性状的影响

耐旱水稻品种(组合)的总粒数、结实率和千粒重在天水田栽培条件下与常规栽培差异不明显(见表 3), 产量的差异主要是由于天水田的有效穗比对照低所致. 但在旱种栽培与水种旱管时品种间出现较大的差异, 尤其是千粒重有较大幅度的下降(3.45 g). 旱种栽培的结实率比对照低(14.45%). 品种间主要经济性状在干旱胁迫下表现出较大的差异, 耐旱性强的水稻品种结实率比耐旱性差的品种结实率高. 不同干旱胁迫对水稻水分利用效率(WUE)

和主要经济性状影响的相关分析结果表明, WUE 与单位面积的有效穗呈负相关, 相关系数高达- 0. 927. 与总粒数、实粒数、结实率呈正相关, 相关系数分别为 0. 678, 0. 512, 0. 404, 0. 510. 这说明随着单位面积的有效穗的增加, 群体的叶面积也随之加大, 耗水量增加, 由于干旱胁迫又导致结实率和千粒重的下降, 穗粒结构差, 因而 WUE 低.

表3 干旱胁迫对水稻主要经济性状的影响

Table 3 Effect of drought stresses on the economic characters of paddy rice

处理 Treatment	有效穗/ $10^4 \text{ hm}^{-2}$ Ear No/ $10^4 \text{ hm}^{-2}$	总粒数 Spikelets per ear	实粒数 Filled grains per ear	结实率/ % Seed fertility / %	千粒重/ g 1 000 grains weight / g
对照 (CK)	260	115.1	94.6	81.26	26.50
旱种 (DC)	264	88.8	59.0	66.80	23.05
水种旱管(PD)	219	111.5	83.6	75.05	25.34
天水田 (RF)	236	121.7	96.6	81.96	26.32

## 2.4 干旱胁迫对水稻品种的产量和田间水分利用效率的影响

干旱处理结果表明(见表4), 旱种栽培的10品种(组合)产量依次为汕优63> 威优46> 汕优198> 威优64> 培两优288> 威优晚3> 培两优余红> 巴西陆稻> 冈优缙恢1号> 湘晚粳9号. 水种旱管时产量和田间水分利用效率依次为威优64> 威优晚3> 汕优198> 冈优缙恢1号> 威优46> 培两优288> 汕优63> 湘晚粳9号> 培两优余红> 巴西陆稻.

表4 干旱胁迫对水稻品种产量和田间水分利用效率的影响

Table 4 Influence of drought stresses on the yield and water use efficiency of paddy rice

品种 (组合) Variety (hybrid)	对照(CK)		天水田(RF)		水种旱管(PD)		旱种(DC)	
	产量 Yield / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水分利 用效率 WUE	产量 Yield / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水分利 用效率 WUE	产量 Yield / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水分利 用效率 WUE	产量 Yield / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水分利 用效率 WUE
威优晚3	6417	11.98	6366	14.06	5411	19.40	3485	9.33
威优46	6471	12.08	6726	14.85	4592	16.46	4331	11.60
汕优198	6930	12.93	6329	13.97	5292	18.97	4004	10.72
巴西陆稻(CK <sub>1</sub> )	3644	6.80	2336	5.16	2997	10.74	2997	8.02
汕优63	7205	13.45	6704	14.80	4013	14.39	4422	11.84
威优64	7134	13.31	6594	14.56	5459	19.57	3840	10.28
培两优288	6387	11.92	5861	12.94	4515	16.19	3687	9.87
湘晚粳9号(CK <sub>2</sub> )	4620	8.62	3972	8.77	3632	13.02	1863	4.99
冈优缙恢1号	7367	13.75	7269	16.05	4736	16.98	2274	6.09
培两优余红	6255	11.67	4191	9.25	3564	12.78	3051	8.17

注: 田间水分利用效率(WUE)的单位是  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$

Note: The unit for WUE is  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$

## 3 讨论

干旱是农业生产中一种常见的自然灾害, 在干旱地区和干旱季节, 节水栽培的目的是最大限度地实现高产与节水的统一. 贾秀领<sup>①</sup> 在小麦试验中发现 WUE 和总耗水量呈负线性

相关,但在供水量较小的范围内变化时,供水量增加,WUE不一定下降.本试验结果表明,在一定供水量范围内随着供水量的增加,WUE下降.但水稻在旱种栽培条件下,水稻受干旱胁迫严重,WUE较低.水分利用效率作为作物和环境的综合效应的反映,使作物的抗旱生理和农艺指标达到较好的统一.因此,在抗旱栽培时在保证水稻水分临界期水分供应的前提下,推广耐旱品种(组合),由于其田间水分利用效率高,其产量较对照减幅较小,进行节水栽培,可以提高田间水分的利用效率,这说明种植这些耐旱品种和(组合),即使遇上较严重的旱灾时仍可获得较高的产量.

水稻抗旱的评价指标体系很多<sup>[4-7]</sup>,抗旱系数、胁迫指数反映了水稻品种对干旱胁迫的忍受能力或敏感程度,这些指标与在水分胁迫下产量相关不显著,田间水分利用效率使抗旱生理指标与农艺性状得到较好的统一,作为水稻品种抗旱性的指标更为有效.

#### 参考文献:

- [1] 姜孝成,周广洽,陈良碧,等.开花灌浆期干旱胁迫对水稻细胞膜透性和产量性状的影响[J].中国水稻科学(JIANG Xiao-cheng, ZHOU Guang-qia, CHEN Liang-bi, *et al.* Influence of drought stress at heading-filled stage on membrane permeability and yield component in paddy and upland rice[J]. Chinese Journal of Rice Science), 1998, 12(suppl.): 34-38.
- [2] 徐孟亮,周广洽,陈良碧,等.水稻抗旱高产品种(组合)筛选[J].中国水稻科学(XU Meng-liang, ZHOU Guang-qia, CHEN Liang-bi, *et al.* Screening for drought resistant rice cultivation (hybrids) with high grain yield[J]. Chinese Journal of Rice Science), 1998, 12(suppl.): 39-44.
- [3] 徐孟亮,姜孝成,周广洽,等.干旱对水稻根系活力与结实性状的影响[J].湖南师范大学自然科学学报(XU Meng-liang, JIANG Xiao-cheng, ZHOU Guang-qia, *et al.* Effect of drought on roots' activity and major characters of grain yield in rice (*oryza sativa* L.) [J]. Acta Sci Nat Univ Norm Hunan), 1998, 20(3): 64-68.
- [4] 徐孟亮,姜孝成,周广洽,等.水稻抗旱性与叶片抗脱水力、脯氨酸及糖的关系[J].生命科学研究(XU Meng-liang, JIANG Xiao-cheng, ZHOU Guang-qia, *et al.* Relation between rice (*oryza sativa* L.) Drought-resistance and its ability to resist water-escaping, proline and sugar[J]. Life Science Research), 1998, 2(2): 113-117.
- [5] 杨建昌,朱应森,王志琴,等.土壤水分对水稻产量与生理特性的影响[J].作物学报(YANG Jian-chang, ZHU Ying-sen, WANG Zhi-qin, *et al.* Effect of soil moisture on grain yield and physiological properties of rice (*oryza sativa* L.) [J]. Acta Agronomica), 1995, 21(1): 110-114.
- [6] 李长明,李锡贵.水稻抗旱机理研究[J].西南农业大学学报(LI Chang-min, LI Xi-gui. A study of drought resistant mechanism in paddy rice[J]. Acta Universitatis Agriculturalium Southwestern), 1993, 15(5): 409-413.
- [7] 金中男.稻的抗旱性机理与鉴定[J].杂交水稻(JIN Zhong-nan. Mechanism and identification of drought resistance for *oryza sativa* [J]. Hybrid Rice), 1993, 8(4): 45-48.
- [8] 贾秀领,蹇家利,马瑞昆,等.高产冬小麦水分利用效率及其组分特征分析[J].作物学报(JIA Xiu-ling, JIAN Jia-li, MA Rui-kun, *et al.* A study on water use efficiency and its components in high-yielding winter wheat [J]. Acta Agronomica), 1999, 25(3): 209-314.