

# 晚稻不同受旱程度对产量结构的影响规律研究

毛江虎<sup>1,2</sup>, 谢亨旺<sup>1,2</sup>, 靳伟荣<sup>1,2</sup>, 邓海龙<sup>1,2</sup>, 万小丽<sup>1,2</sup>

(1. 江西省赣抚平原水利工程管理局, 江西 南昌 330096; 2. 江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330096)

**摘要:**为有效解决降雨时空分布不均导致水稻受旱减产,为政府职能部门制定抗旱政策,提高水资源利用率,本项目通过设置移动式防雨大棚,采用测筒区(称重式蒸渗仪)和大田区对比试验,在晚稻分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期等4个生育期分别设不受旱(正常灌溉)、轻旱、中旱、重旱、特旱五个受旱级别,以及设置2个生育期或3个生育期的连旱进行试验.通过试验得出结论:分蘖期受旱,水稻有效穗数减少;拔节孕穗期和抽穗开花期受旱,水稻穗粒数减少;抽穗开花期和乳熟期受旱,水稻千粒重和结实率下降;两个生育期以上的连续受旱,对产量的影响远大于单个时期受旱;同一生育期受旱程度越大,产量越低。

**关键词:**受旱程度;产量结构;千粒重;有效穗数

**中图分类号:**S274 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2018)06-0399-05

## 0 引言

2013年7月江西省发生长时间干旱,江西省防汛抗旱总指挥部办公室召开抗旱会商会,会议要求加强旱情监测,提高科学抗旱水平。为此,江西省水利科学研究院联合江西省灌溉试验中心站在初步建立的江西省旱情监测预测系统平台基础上,提出了要进一步改进优化江西省旱情监测预测系统,围绕旱情基本数据库的更新补充、系统模型的改进优化和模型参数的率定、区域旱情评价指标的核定等工作内容,进行系统后续完善,逐步提高系统分析成果的可靠性和准确性。

水稻干旱胁迫,即水分胁迫,指的是在非充分灌溉条件下,水稻生理需水和生态需水得不到满足而受到的胁迫,随着节水技术水平的提高和作物水分高效利用理论的发展,非充分灌溉条件下水稻蒸发蒸腾的研究已成为水稻节水灌溉技术发展迫切需要解决的问题。20世纪90年代初期,国内科研学者就开始对水稻非充分灌溉进行研究,如1989年,方宣钧等研究了干旱缺水对水稻的生理反应<sup>[1]</sup>;张明柱,李远华,崔远来等分析了水分胁迫对水稻主要形态指标、生理机制及产量的影响,对非充分灌溉条件下水稻所持有的生理机制进行了较细致的研究<sup>[2]</sup>。之后,越来越多的学者投入到水稻非

充分灌溉的研究中,研究范围广,学科跨度大,包括对水稻光合作用的影响<sup>[3]</sup>,对水稻叶片气孔特征的影响<sup>[4,5]</sup>,对水稻的膜透性与渗透调节的影响<sup>[6]</sup>,对一些酶类活性的影响<sup>[7]</sup>,对水稻产量的影响<sup>[8]</sup>等。很少有研究者从水稻的生育时期和干旱程度2个指标出发,探讨水稻如何在持续干旱条件下,应对干旱胁迫的生理机制。本项目研究通过设定不同干旱历时的水分处理,探明水稻干旱时长对水稻产量结构的影响。

水稻作为江西省耗水量最大且主要的粮食作物之一,其灌溉用水量占全省农业灌溉用水量的85%~90%以上,而由于年际和年内降雨不均导致水稻干旱的情况时有发生<sup>[9]</sup>。本项目通过水分胁迫,研究水稻不同生育期不同受旱程度水稻的产量结构的影响,为江西省水稻受旱监测系统提供基础数据储备,同时在水稻受旱时期,为政府职能部门制定抗旱政策,提高水资源利用率提供依据<sup>[10]</sup>。

## 1 试验处理设计

### 1.1 试验地点

试验场地位于江西省灌溉试验中心站试验基地水田试区,本试验安排在大田小区进行,并设遮雨棚对水稻进行受旱处理,并在测筒区作相应的受旱试验辅助研究。

收稿日期:2017-12-26

项目来源:江西水利厅重点科技课题(KT201428)

作者简介:毛江虎(1978-),男,大学本科。

## 1.2 供试作物及管理

(1) 供试品种。采用天优华占(超级杂交晚稻,全生育期平均119.2 d,区域试验平均亩产523.7 kg,稻米品质达到国家《优质稻谷》标准1级)。

(2) 种植管理。晚稻于6月17日播种,7月29日移栽,2苗/穴,株行距为16.5 cm × 19.8 cm。

试验分别在测筒和大田小区中同时进行。其中,测筒区共有测筒40个,测筒大小为0.3 m<sup>2</sup>,蒸渗器为圆形,钢板制成,内径0.618 m,高0.80 m,下设15 cm厚的滤层,桶底设侧向排水孔,平时关闭,定时开孔排水,器内填55 cm厚原装土,蒸渗器采用地理双套筒方式安装,器内土面与地面齐平,各个外筒之间空地种植草坪,外筒置于现浇混凝土上,各器均可用防雨棚遮挡降雨。大田小区每块田大小为3.00 m × 6.00 m,共划分30块。肥料运筹方式:氮肥均以45%的复合肥为肥源,氮肥总用量为每公顷纯氮180 kg,采用基肥:蘖肥:穗肥 = 5: 3: 2方式施用,磷肥用钙镁磷肥,钾肥用氯化钾,其中磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)标准为67.5 kg/hm<sup>2</sup>,全部作基肥;钾肥

(K<sub>2</sub>O)标准为150 kg/hm<sup>2</sup>,按基肥:穗肥 = 9: 11施用。基肥于移栽前1 d施用,分蘖肥在移栽后10 d施用,孕穗肥在移栽后35~40 d(叶龄余数为2)时施用。灌溉模式采用间歇灌溉。

## 1.3 试验设计

(1) 大田实验区:针对晚稻不同生育期不同受旱程度试验研究,安排在分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期等4个生育期进行受旱试验,这4个生育期分别设正常灌溉、中旱、特旱,另设分蘖期到乳熟期连续中旱共10个处理。以不受旱(正常灌溉)为对照处理,正常灌溉采用间歇灌溉<sup>[11]</sup>。

由于返青期有泡田余水,且时间较短,生产实践中不会受旱,黄熟期排水落干,此首末两个阶段均按丰产要求进行正常的水分处理。上述正常灌溉、中旱、特旱水平,系指阶段内20 cm稻田土壤相对湿度(土壤含水率占田间持水量的百分比),中旱为60%、特旱为40%,各处理重复3次,本次试验共分30块田,具体处理设计见表1。

表1 晚稻大田受旱试验布置表

正常灌溉1(1)	抽穗开花期中旱2(11)	分蘖期至乳熟期连续中旱3(21)
乳熟期特旱1(2)	拔节孕穗期中旱2(12)	分蘖期至乳熟期连续中旱2(22)
拔节孕穗期中旱1(3)	乳熟期中旱2(13)	抽穗开花期特旱3(23)
分蘖中旱3(4)	正常灌溉2(14)	拔节孕穗期中旱3(24)
抽穗开花期中旱1(5)	分蘖特旱2(15)	乳熟期特旱3(25)
乳熟期中旱1(6)	分蘖特旱3(16)	抽穗开花期中旱3(26)
拔节孕穗期特旱2(7)	乳熟期中旱3(17)	分蘖特旱1(27)
抽穗开花期特旱1(8)	分蘖中旱2(18)	乳熟期特旱2(28)
分蘖中旱1(9)	拔节孕穗期特旱1(19)	拔节孕穗期特旱3(29)
分蘖期至乳熟期连续中旱1(10)	抽穗开花期特旱2(20)	正常灌溉3(30)

测筒试验区:测筒区共使用39个测筒,系指阶段内20 cm稻田土壤相对湿度(土壤含水率占田间持水量的百分比),改为轻旱为70%,重旱为50%,分蘖拔节、拔节抽穗、抽穗乳熟、分蘖拔节抽穗连旱、全生育期连旱和正常共13个处理,各处理重复3次。具体处理设计见表2。

## 1.4 观测项目与方法

(1) 田面水位或土壤含水率的测定。在田面有水层时,用水位测针或钢尺进行测量,在田面无水层时,用TDR便携式土壤含水率测定仪进行测定。每天早上8:00进行测定,并当日对测定数据进行分析计算,绘出

水稻含水率变化曲线。

(2) 水稻发育进度观察。测定划分水稻各生长发育阶段(返青期、分叶前期、分叶后期、拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期、黄熟期)的具体日期。

(3) 产量及产量结构测定。包括产量测定(按各试验小区单收、单打、单晒验产。统计其产量);产量结构(即有效穗数、穗长、实粒数、空粒数、千粒重、谷草比等)测定(插秧时每个处理固定小株样品、收割前取样,晾干后进行室内考种,每小区取样5株进行考种)。

(4) 各种气象要素。气象要素按《地面气象观测规范》中要求的方法观测。

表2 晚稻测筒受旱试验布置表

抽穗乳熟连旱(31)	拔节抽穗连旱(21)	分蘖拔节抽穗连旱(11)	分蘖轻旱(1)
抽穗乳熟连旱(32)	拔节抽穗连旱(22)	分蘖拔节抽穗连旱(12)	分蘖轻旱(2)
抽穗乳熟连旱(33)	拔节抽穗连旱(23)	分蘖拔节抽穗连旱(13)	分蘖轻旱(3)
乳熟轻旱(34)	抽穗轻旱(24)	拔节轻旱(14)	分蘖重旱(4)
乳熟轻旱(35)	抽穗轻旱(25)	拔节轻旱(15)	分蘖重旱(5)
乳熟轻旱(36)	抽穗轻旱(26)	拔节轻旱(16)	分蘖重旱(6)
乳熟重旱(37)	抽穗重旱(27)	拔节重旱(17)	分蘖拔节连旱(7)
乳熟重旱(38)	抽穗重旱(28)	拔节重旱(18)	分蘖拔节连旱(8)
乳熟重旱(39)	抽穗重旱(29)	拔节重旱(19)	分蘖拔节连旱(9)
正常灌溉(对照)(40)	正常灌溉(对照)(30)	正常灌溉(对照)(20)	

表3 大田水稻产量与构成因子

水稻处理	水稻亩产量/kg	有效穗数/个	平均每穗粒数/粒	千粒重/g	结实率/%
正常灌溉(CK)	577.37	12.00	131.07	24.75	81.42
分蘖期中旱	500.48	10.33	131.73	24.44	81.01
分蘖期特旱	474.86	10.11	132.76	24.44	79.26
拔节孕穗期中旱	507.50	11.44	126.35	24.45	78.66
拔节孕穗期特旱	485.83	11.33	124.38	24.34	77.93
抽穗开花期中旱	487.67	11.89	129.92	23.50	73.92
抽穗开花期特旱	442.88	11.78	126.80	22.95	70.74
乳熟期中旱	512.06	11.56	131.27	23.64	78.29
乳熟期特旱	485.40	11.56	130.71	23.05	76.53
分蘖期到乳熟期连续中旱	397.15	10.22	124.31	23.25	73.70

## 2 试验结果分析

### 2.1 大田区水稻产量与构成因子分析

#### 2.1.1 有效穗数分析

分析表3数据可得,与正常灌溉相比,分蘖期单阶段受旱的田块平均每穴有效穗数明显降低,降幅为13.89%~15.74%,而且随着受旱程度的增加,有效穗数越低。其他几个生育期单阶段受旱也会降低有效穗数,降幅为0.93%~5.56%,降幅不大。四个生育期连续中旱,水稻有效穗降幅为14.81%,降幅仅次于分蘖期特旱。这主要是由于水稻分蘖期受旱,降低了水稻的分蘖数量,从而降低了有效穗数量。

#### 2.1.2 穗粒数分析

与正常灌溉相比,拔节孕穗期受旱和抽穗开花期受旱对晚稻穗粒数影响比较大,减幅在0.87%~5.10%,其他几个生育期单阶段受旱对穗粒数影响不大,分蘖期到乳熟期连续中旱穗粒数减少最大,减幅为5.15%。这主要是由于拔节孕穗期和抽穗开花期是穗粒数形成的关键时期,分蘖期单阶段受旱,穗粒数还有所增加,增

幅为0.51%~1.29%,由于水稻受旱使有效穗数减少,从而减少穗粒数之间的竞争,复水后的补偿效应使穗粒数增大。

#### 2.1.3 结实率分析

与正常灌溉相比,各个生育阶段受旱水稻结实率都会降低,单个阶段受旱越严重,结实率越低。抽穗开花期受旱,结实率最低,降幅为9.20%~13.10%,乳熟期和抽穗开花期次之,降幅为3.39%~6.01%。分蘖期对水稻结实率影响最小,降幅为0.51%~2.65%。4个生育阶段连续中旱降幅为9.48%,降幅仅次于抽穗开花期特旱。产生上述现象的原因是抽穗开花期需要大量的水分和营养,这个生育期缺水势必会影响土壤养分供给及花体的发育,导致大量不孕,从而导致结实率降低。

#### 2.1.4 千粒重分析

与正常灌溉相比,从整体上看千粒重都有所降低,但抽穗开花期和乳熟期对千粒重的影响比较大,降幅在4.47%~7.26%,而且随着受旱程度的增加,降幅增大。分蘖期和拔节孕穗期单阶段受旱对水稻千粒重影响不大,降幅在1.23%~1.67%。分蘖期到乳熟期连续中

旱千粒重降幅为 6.05%，仅次于抽穗开花期和乳熟期特旱。产生上述现象的原因是抽穗开花后是水稻生殖生长期，主要以开花、授粉、结实、灌浆为主，这些生育期受旱，直接影响水稻的结实灌浆程度，从而影响水稻千粒重。

### 2.1.5 理论产量分析

与正常灌溉相比，分蘖期单阶段受旱产量降幅为 13.32%~17.75%，拔节孕穗期单阶段受旱产量降幅为 12.10%~15.85%，抽穗开花期单阶段受旱产量降幅为 15.54%~23.29%，乳熟期单阶段受旱产量降幅为 11.31%~15.93%，分蘖期到乳熟期连续中旱产量降幅最大，降幅为 31.21%。由此可以看出水稻无论哪个阶段受旱对产量的影响都是不利的，抽穗开花期受旱对水稻产量影响最大，分蘖期次之。

## 2.2 测筒区水稻产量与构成因子分析

### 2.2.1 穗粒数和有效粒数分析

由表 4 可以看出，在各个生育期阶段相同受旱程度处理中，分蘖期受旱的处理对水稻有效穗数的影响最为严重，这是由于分蘖期水稻正处于生长旺盛期，分蘖期是决定有效穗的关键时期，所以分蘖期受旱处理有效穗数与对照处理相比减少许多，由表还可以看出，无论是那个时期的重旱处理，有效穗数相比正常灌溉都明显减少，说明不论是在水稻生长的哪个时期严重缺水都会影响到穗数。

另外，由表 4 可知不同受旱处理对水稻穗粒数的影响程度与其受旱的生育阶段及受旱程度有关，各个处理中对总穗粒数影响较大的是处理 5、处理 7 和处理 10，

说明拔节孕穗期和抽穗开花期受旱对穗粒数的增加不利，并且进行连续干旱的处理，对水稻穗粒数影响也比较大，而在乳熟灌浆期进行受旱，对水稻穗粒数影响不大，且同阶段不同控水强度也差异不显著。

### 2.2.2 千粒重分析

千粒重也是产量形成的重要因素之一，千粒重对各个时期不同干旱处理的反应如表 4 所示，由表可知，处理 7、9、11 千粒重相比正常灌溉下较小，这是由于抽穗期和乳熟期干旱处理或长时间连续受旱影响了水稻的正常发育，灌浆阶段其生产难以达到对照水平，造成了水稻在形成千粒重指标的灌浆期所吸收营养与水分比正常灌溉减少了很多，故千粒重指标下降较其他处理更明显。

### 2.2.3 理论产量分析

不同水分处理对水稻生长、发育状况以及生理活动所产生的各种影响，最终都会体现在产量水平上，同一生育期不同程度的水分处理对产量的影响程度不同。其不同差异如表 4 所示，根据表 4 可知，在所有受旱的阶段中，减产率在 5.61%~29.48% 之间，各个时期重旱处理都会造成严重的减产，分蘖期重旱高达 29.48%，为所有处理中最大值。分蘖期是决定穗数的关键时期，如果分蘖期严重受旱，势必会影响到水稻最终的有效穗数，进而影响产量；4 个连续干旱处理的最终产量也受到了较为严重影响，其中分蘖至抽穗连旱处理高达 23.71%，相对来说，乳熟期干旱处理对产量的影响较小，另外根据表 4 还可以得知，同一生育阶段，受旱越严重，水稻最终减产也越严重。

表 4 测筒产量与构成因子

处理方式	穗长 (cm)	平均总粒 (粒)	平均空粒 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)	有效穗 (个)	亩产量 (kg/亩)
1 正常灌溉	20.5	144	25	82.64	23.21	15.3	688.92
2 分蘖轻旱	21.0	143	35	75.52	22.75	13.1	534.69
3 分蘖重旱	20.6	138	42	69.57	22.68	12.6	485.80
4 拔节轻旱	22.5	135	23	82.96	22.91	14.5	591.14
5 拔节重旱	20.3	126	34	73.02	22.90	13.4	530.47
6 抽穗轻旱	21.0	140	29	79.29	23.02	15.3	640.25
7 抽穗重旱	19.7	132	30	77.27	22.16	14.3	533.14
8 乳熟轻旱	20.1	140	11	92.09	22.34	14.3	616.25
9 乳熟重旱	19.6	138	18	86.57	22.19	13.9	541.58
10 分蘖拔节连旱	20.4	132	21	84.09	21.67	15.0	542.92
11 分蘖拔节抽穗连旱	21.0	136	37	75.33	22.22	13.1	525.58
12 拔节抽穗连旱	20.4	135	30	79.17	22.96	14.8	612.03
13 抽穗乳熟连旱	20.1	134	31	76.87	22.86	13.6	650.25

### 3 结 论

综合以上测筒和大田区结果可以发现,不同生育期受旱对产量构成因子的影响程度由大到小为:千粒重——抽穗开花期,乳熟期,拔节孕穗期,分蘖期;有效穗数——分蘖期,拔节孕穗期,乳熟期,抽穗开花期;穗粒数——拔节孕穗期,抽穗开花期,乳熟期,分蘖期;结实率——抽穗开花期,乳熟期,拔节孕穗期,分蘖期。其中主要原因是,分蘖期是水稻有效穗数形成的关键时期,这一阶段受旱,会减少分蘖,进而使有效穗数减少;拔节孕穗期和抽穗开花期是水稻穗粒数形成的关键时期,这两个时期水分亏缺,影响土壤养分的供给和花体的发育,从而使穗粒数减少;抽穗开花期和乳熟期是水稻粒充实的关键时期,这一时期受旱,直接影响水稻粒的充实和灌浆,从而影响水稻的千粒重和结实率。

通过测筒和大田观测结果发现,水稻分蘖期和抽穗开花期对水稻产量影响比较显著,水稻分蘖期受旱,减少有效穗数,进而对产量构成影响,而抽穗开花期则是水稻千粒重的敏感时期,这一时期受旱,直接影响水稻的结实率和水稻粒重,进而使产量降低。而两个生育期以上的连续受旱,对产量的影响远大于单个时期受旱对产量的影响。同一生育期受旱程度越大,产量越低。因此在水稻生产中,除应避免单一生育阶段受严重干旱,还应避免水稻长时间的连续干旱。

### 参考文献:

- [1] 方宣钧,廉平湖,倪文. 干旱缺水对水稻的生理反应[J]. 农田水利与小水电,1989(01):16~18.
- [2] 张明柱,李远华,崔远来,等. 非充分灌溉条件下水稻生长发育及生理机制研究[J]. 灌溉排水,1994(04):6~10.
- [3] 胡继超,姜东,曹卫星,等. 短期干旱对水稻时水势、光合作用及干物质分配的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(1):63~67.
- [4] 孟雷,李磊鑫,陈温福,等. 水分胁迫对水稻叶片气孔密度、大小及净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1999,30(5):477~480.
- [5] 杨建昌,乔纳圣·威尔斯,朱庆森,等. 水分胁迫对水稻叶片气孔频率、气孔导度及脱落酸含量的影响[J]. 作物学报,1995,21(5):532~539.
- [6] 杨建昌,王志琴,朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究[J]. 中国农业科学,1995,28(5):65~72.
- [7] 王秀珍,李红云. 早稻与水稻苗期的淀粉酶同工酶及其活性的研究[J]. 北京农业大学学报,1985,11(2):135~140.
- [8] 陈新红,徐国伟,孙华山. 结实期土壤水分与氮素营养对水稻产量与品质的影响[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2003,24(3):37~41.
- [9] 靳伟荣,柳根水,徐兰,等. 鄱阳湖流域主要旱作物需水规律研究[J]. 江西水利科技,2015(05):355~359.
- [10] 王君,俞双恩,丁继辉,等. 水稻不同生育阶段稻田水位调控对产量因子及产量的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012(06):664~669.
- [11] 刘方平,梁举,熊晓光. 江西水稻需水规律和灌溉用水变化规律分析[J]. 江西农业学报,2011(06):16~18+22.

编辑:张绍付

## Rice in different drought degree of influence on the structure of product rules

MAO Jianghu<sup>1,2</sup>, XIE Hengwang<sup>1,2</sup>, JIN Weirong<sup>1,2</sup>, DENG Hailong<sup>1,2</sup>, WAN Xiaoli<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Provincial Ganfu Plain Hydraulic Engineering Administration, Nanchang 330096, China;

2. Jiangxi Provincial Irrigation Experimental Station, Nanchang330096, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the problem of rice drought and yield reduction caused by uneven spatial and temporal distribution of rainfall, and formulate drought-resistant policies for government functional departments to improve water resources utilization rate, the project set up mobile rain-proof greenhouses, used barrel-measuring area (weighing transpiration meter) and field comparative experiments, and set up four growth stages of late rice, namely, tillering stage, jointing booting stage, heading flowering stage and milk ripening stage, respectively. Normal irrigation, light drought, moderate drought, heavy drought and extreme drought, and according to the actual situation of Jiangxi Province, set two or three growth periods of continuous drought. It is concluded that the tillering period is drought, the number of effective panicles of rice is reduced, the number of grains per panicle is reduced, the number of grains per panicle is reduced, the heading and flowering period is drought, the 1 000-grain weight and seed setting rate of rice are drought. The continuous drought of more than two growth periods has a greater impact on yield than that of a single period. The higher the degree of drought in the same growth period, the lower the yield.

**Key words:** Drought degree; Product structure; 1 000-grain weight; Effective panicles number

翻译:毛江虎