

不同生育阶段灌水处理对谷子生长发育的调控效应

董孔军, 何继红, 任瑞玉, 刘天鹏, 冯克云, 南宏宇, 张磊, 杨天育

(甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在敦煌年降雨量 39 mm 条件下, 研究了拔节期、抽穗期、灌浆期不同生育阶段灌水处理对谷子农艺性状及产量的影响。试验结果表明: 不同生育阶段灌水对谷子主要农艺性状及产量都有较大影响, 与全生育期不灌水相比, 拔节期、抽穗期、灌浆期各灌 1 次水处理谷子生育期缩短 5.4 d, 株高增高 51.1 cm, 穗长增长 1.2 cm, 株穗重、株粒重和株草重分别增重 14.2、12.3 g 和 3.1 g, 产量增加 225.85 kg·666.7m⁻²; 全生育期不灌水处理谷子产量最低, 仅 105.78 kg·666.7m⁻², 抽穗期和灌浆期共灌 2 次水, 拔节期、抽穗期、灌浆期共灌 3 次水和抽穗期仅灌 1 次水各处理, 产量分别达 339.91、331.64 kg·666.7m⁻²和 288.31 kg·666.7m⁻², 灌 2 次水产量最高。表明抽穗期灌水对谷子产量形成影响最为显著。灰色关联度分析表明, 单株粒重、单株穗重和主穗长与产量相关性最为密切。

关键词: 谷子; 灌水处理; 农艺性状; 产量

中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Effects of irrigation on growth and development of foxtail millet at different growth stages

DONG Kong-jun, HE Ji-hong, REN Rui-yu, LIU Tian-peng, FENG Ke-yun,

NAN Hong-yu, ZHANG Lei, YANG Tian-yu

(Crop Research Institute, Gansu Province Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In Dunhuang city where annual rainfall is about 39mm, effects of irrigation at different growth stages on main morphological characteristics and yield of foxtail millet were studied. Additionally, gray correlative degree analyses were employed to study the correlations between main morphological characteristics and yield. The result showed that treatment with irrigation three times at jointing, heading and filling stages shortened the growth period by 5.4 days, increased plant height, length of panicle, panicle weight per plant, seed weight per plant, straw weight per plant, and yield per 667m² by 51.1 cm, 1.2 cm, 14.2, 12.3, 3.1 g, 225.85 kg than no irrigation, respectively. Yield by no irrigation treatment during the growth period was only 105.78 kg·666.7m⁻². However, treatments with irrigation three times at jointing, heading and filling stages, irrigation two times at heading and filling stages and only irrigation once at heading stage caused high yields of 339.91, 331.6 kg·666.7m⁻² and 288.31 kg·666.7m⁻², respectively. The results demonstrated that irrigation at the heading stage of foxtail millet is most effective. There were close correlations between seed weight per plant, panicle weight per plant, length of panicle and yield by gray correlative degree analysis.

Keywords: foxtail millet; irrigation treatment; agronomic traits; yield; growth stages

谷子是起源于中国的古老农作物, 也是我国北方旱薄地主要粮食作物, 其栽培历史悠久, 遗传资源丰富^[1]。谷子根系发达^[2], 受旱后补偿效应明显^[3], 在禾本科作物中表现出较为突出的抗旱性^[4]。在干

旱半干旱地区, 限制谷子产量提高的主要因子是农田水分亏缺^[5], 不同谷子品种不同生育阶段对水分亏缺的响应存在较大差异, 李荫梅^[5-6]、温琪汾等^[7]对我国部分农家品种和育成品种进行了苗期抗旱性

收稿日期: 2015-07-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD07B01, 2013BAD01B05-9)

作者简介: 董孔军(1979—), 男, 甘肃甘谷人, 副研究员, 主要从事谷子、糜子新品种选育及栽培技术的研究。E-mail: broommillet@163.com。

通信作者: 杨天育(1968—), 研究员, 硕导, 主要从事小杂粮品种选育研究。E-mail: 13519638111@163.com。

鉴定并抗旱能力进行分级,筛选出一批抗旱种质;张锦鹏^[8]和朱学海等^[9]对谷子品种萌芽期抗旱性进行鉴定并提出相对发芽率、相对根长可以作为谷子萌芽期抗旱的指标;张文英等^[10-11]利用抗旱指数法对谷子品种全生育期抗旱性进行了研究,提出相对根干重、相对单穗重、相对株高和气孔导度可以作为全生育期抗旱鉴定的参考指标。前人对旱作区谷田的水分利用效率也进行了大量研究,结果表明地膜覆盖种植能明显提高谷田的水分利用效率,进而获得较高产量^[12-18],旱作谷田补充灌水可以改变谷子的形态特征,影响谷子生长发育进程和品质与产量提高^[19-20]。上述研究对认识谷子品种不同阶段对水分亏缺的响应、利用栽培措施改善谷田水分供给提高谷子产量和品质提供了科学依据,但很少涉及不同生育阶段谷田补充灌水对谷子生长发育的影响研究,本文通过研究谷子不同生育阶段灌水处理对谷子农艺性状和产量的影响,旨在探讨旱作谷田补充灌溉的适宜时期,为旱作谷田高产栽培提供科学依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年在甘肃省敦煌市甘肃省农业科学院敦煌试验站进行(东经 94°43',北纬 40°08'),该区属于典型的暖温带干旱型气候,海拔 1 187 m,年均降水量 39 mm 左右,年均蒸发量 2 486 mm,干燥度

19.6,年平均气温 9.4℃,年均无霜期 142 d,年日照时数 3 246.7 h。试验地土壤为灌淤土。

1.2 试验设计与试验材料

试验品种为陇谷 13 号。试验采用随机区组设计,3 次重复,小区面积 12 m²。谷子不同生育阶段灌水处理设计 8 个水平,分别是: T0(全生育期不灌水)、T1-1(拔节期灌水)、T1-2(抽穗期灌水)、T1-3(灌浆期灌水)、T2-12(拔节期+抽穗期灌水)、T2-13(拔节期+灌浆期灌水)、T2-23(抽穗期+灌浆期灌水)、T3(全生育期充足灌水)(表 1),不同处理间设 1 m 宽防渗带,灌水方法采用管灌,水表计量。播前整地时施 N 211 kg·666.7m⁻²、P₂O₅ 13 kg·666.7m⁻²、K₂O 7 kg·666.7m⁻²作为底肥,谷子全生育期不再追肥。4 月 12 日播种,播种一周前为保证出苗统一灌 60 m³·666.7m⁻²的底墒水,基本苗为 3 万株·666.7m⁻²。

1.3 测定项目及方法

观察记载生育期,成熟后各处理每小区中间连续取样 10 株,参照《谷子种质资源描述规范和数据标准》^[21],分别对株高、主穗长、单株穗重、单株粒重、千粒重及单株草重 6 个性状进行室内考种,并收获各小区测定产量,以 3 次重复平均作为各处理性状指标的代表值。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 整理数据,采用 DPS^[22]进行方差分析及关联度分析。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Milking	灌水次数 irrigation Times	灌水量/(m ³ ·666.7m ⁻²) Irrigation quota
T0	0	0	0	0	0
T1-1	60	0	0	1	60
T1-2	0	60	0	1	60
T1-3	0	0	60	1	60
T2-12	60	60	0	2	120
T2-13	60	0	60	2	120
T2-23	0	60	60	2	120
T3	60	60	60	3	180

2 结果与分析

2.1 不同生育阶段灌水处理对谷子产量的影响

从表 2 可见,谷子不同生育阶段灌水抽穗+灌浆期灌水处理和全生育期充足灌水处理产量最高,分别为 339.91 kg·666.7m⁻²和 331.64 kg·666.7m⁻²,方差分析表明,两水平间产量差异不显著,但与其它

处理间产量差异极显著;拔节期灌水处理和全生育期不灌水处理产量最低,产量分别为 113.36 kg·666.7m⁻²和 105.78 kg·666.7m⁻²,两处理间产量差异不显著。不同阶段灌水处理产量大小顺序为抽穗期灌水处理>灌浆期灌水处理>拔节期灌水处理,说明抽穗期、灌浆期和拔节期水分供给虽然都对谷子产量有影响,但抽穗期水分供给的影响更大。

表2 不同处理产量结果

Table 2 Yields of foxtail millet by different treatments

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·6667m ⁻²)			
	I	II	III	平均 Average
T0	100.70	116.58	100.07	105.78
T1-1	122.23	129.97	111.88	121.36
T1-2	251.38	326.43	287.13	288.31**
T1-3	195.18	261.79	250.81	235.93**
T2-12	225.34	270.24	307.57	267.72**
T2-13	252.71	306.17	295.76	284.88**
T2-23	327.51	346.37	345.86	339.91**
T3	313.29	335.76	345.86	331.64**

注: ** 表示 1% 水平上差异显著。

Note: ** indicates a significant difference at the 0.01 level.

2.2 不同生育阶段灌水处理对谷子主要农艺性状的影响

从表3看出,灌水处理后株高、穗长、株穗重、株粒重等主要农艺性状都有较大提高,不同阶段灌水处理对谷子不同农艺性状的影响不同。多重比较分析结果显示,拔节期灌水处理下植株明显增高,株草重明显增加,表明拔节期是谷子植株生长的关键期,该时期灌水处理有利于促进植株生长,增加单株产

草量;拔节期不灌水处理谷子穗长最短,接近全生育期不灌水处理,而抽穗期灌水处理穗长最长,表明拔节期和抽穗期对谷子穗分化和发育有重要影响,拔节期和抽穗期是谷子营养与生殖生长并进期;抽穗期和灌浆期灌水处理谷子的株穗重、株粒重明显增加,说明这一阶段对谷子籽粒形成影响较大,是谷子粒重增加的关键时期。不同阶段灌水处理对谷子千粒重的影响较小,说明千粒重是一个相对稳定的性状。

2.3 不同生育阶段灌水处理对谷子生育期的影响

从表4可以看出,灌浆期灌水处理谷子平均生育期最长达134.4 d,抽穗期不灌水处理谷子生育期最短只有122.3 d,其他处理生育期在129.4~126.7 d之间。谷子灌浆期灌水生育期最长可能因为灌水造成谷子发育延缓使成熟时间加长,而抽穗期不灌水生育期最短则可能因为不灌水促使谷子早衰使成熟时间缩短。把谷子整个生育期划分成出苗-抽穗、抽穗-成熟两个阶段,全生育期不灌水处理出苗-抽穗时间最长(95.3 d),而抽穗-成熟时间最短(34.1 d),这可能是由于不灌水使谷子“卡脖旱”抽穗推迟,出苗-抽穗的时间拉长,而后期谷子早衰抽穗-成熟时间缩短。

表3 不同处理对谷子农艺性状的影响

Table 3 Effects on agronomic characteristics of foxtail millet by different treatments

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	主穗长 Length of panicle /cm	单株穗重 Panicle weight per plant/g	单株粒重 Seed weight per plant/g	单株草重 Straw weight per plant/g	千粒重 1000-seed weight/g
T0	105.8	13.7	7.7	4.4	24.3	2.89
T1-1	158.2**	17.7**	12.7**	7.0**	29.6**	2.83
T1-2	156.6**	20.0**	19.1**	12.2**	24.8	2.89
T1-3	126.0**	17.4**	17.4**	12.0**	21.3*	2.80
T2-12	154.2**	16.4**	14.5**	9.2**	24.4	2.69
T2-13	146.1**	18.7**	18.8**	13.1**	26.8**	2.82
T2-23	105.7	14.9*	19.2**	13.7**	22.2*	2.77
T3	156.9**	21.3**	21.5**	16.7**	27.4**	2.79
平均值 Verage	138.7	17.5	16.4	11.0	25.9	2.81

注: ** 表示 1% 水平上差异显著, * 表示 5% 水平上差异显著。

Note: ** indicates a significant difference at the 0.01 level and * indicates a significant difference at the 0.05 level.

2.4 主要农艺性状与产量的关联度分析

以产量为母序列,株高、穗长、株穗重、株粒重、株草重、千粒重、生育期为子序列,对数据进行标准化,当分辨系数0.1,分析参数 $\Delta_{\min} = 0$ 时计算不同处理下各性状与产量的关联系数和关联度。从表5可以看出,全生育期不灌水处理与产量密切相关的性状是单株粒重和单株穗重,拔节期灌水处理与产量密切相关的性状是主穗长、千粒重和株高,抽穗期

灌水处理与产量密切相关的性状是单株穗重和单株粒重,灌浆期灌水处理与产量密切相关的性状是单株粒重、主穗长和单株穗重;不同性状对产量贡献关联度大小排序依次为单株粒重>单株穗重>主穗长>株高>千粒重>株草重>生育期,说明单株粒重、单株穗重和主穗长与产量密切相关,是灌水处理影响谷子产量的主要性状,而对单株粒重和单株穗重影响最大的灌水时期是抽穗期和灌浆期,这也说明

谷子抽穗期和灌浆期是谷子产量形成关键时期。

表 4 不同处理对谷子生育期的影响

Table 4 Effects on growth period of foxtail millet by different treatments

处理 Treatments	出苗~抽穗 Seeding~heading /d	抽穗~成熟 Heading~mature /d	生育期 Growth /d
T0	95.3	34.1	129.4
T1-1	90.1	36.6	126.7**
T1-2	83.8	43.7	126.6**
T1-3	94.5	39.9	134.4**
T2-12	87.4	37.4	124.7**
T2-13	86.5	35.8	122.3**
T2-23	84.2	41.4	125.6**
T3	84.1	40.8	124.9**

表 5 各农艺性状对产量的关联系数及关联度

Table 5 The correlation coefficients and correlations between agronomic traits and yield

处理 Treatments	株高 Plant height	主穗长 Length of panicle length	单株穗重 Panicle weight per plant	单株粒重 Seed weight per plant	单株草重 Straw weight per plant	千粒重 1000-seed weight	生育期 Growth
T0	0.37471	0.42498	0.64948	0.65535	0.19156	0.46268	0.19339
T1-1	0.40305	0.45527	0.35710	0.39078	0.17716	0.41109	0.18079
T1-2	0.39294	0.39033	0.70128	0.65590	0.39289	0.41493	0.38320
T1-3	0.33236	0.44785	0.42985	0.59200	0.35396	0.34187	0.30577
T2-12	0.35053	0.33549	0.57283	0.56335	0.16251	0.39497	0.17883
T2-13	0.29309	0.48999	0.42141	0.48358	0.41093	0.41764	0.29880
T2-23	0.23338	0.31432	0.42321	0.40589	0.33488	0.24096	0.39903
T3	0.43860	0.35379	0.50324	0.50245	0.38012	0.33113	0.40513
关联度 Association degree	0.35233	0.40150	0.52876	0.53116	0.30050	0.37691	0.29312

谷子拔节期以营养生长为主,灌浆期则是以籽粒干物质积累为主的生殖生长,抽穗期是营养与生殖生长并存的阶段,三个不同阶段灌水处理对谷子生长发育有显著影响。株高、株草重等性状建成的关键期在拔节期,拔节期灌水明显增加了谷子的株高、株草重,拔节期干旱胁迫则明显减小株高、株草重,这与张文英等的研究结果基本一致^[27]。穗的形成与分化在营养生长与生殖生长并进阶段,即谷子抽穗前后,拔节期和抽穗期灌水处理都对其有显著影响,这两个时期灌水处理影响穗长。灌浆期籽粒形成是生殖生长的主要特征,与籽粒形成相关的性状有单株粒重、单株穗重,灌浆期水分处理对其影响显著高于对其它性状的影响。千粒重是与品种密切相关的性状,代表了品种独有特性,与水分处理的关系不密切。

3 结论与讨论

3.1 不同生育阶段灌水处理对谷子主要农艺性状的影响

作物不同生育阶段对缺水的反应很大^[23],水分亏缺对与作物产量密切相关的生理过程影响的先后顺序为:生长—蒸腾—光合—运输^[24]。水分亏缺条件下水稻株高和分蘖数都受到了不同程度的抑制,穗长缩短,空秕粒增加,结实率下降,千粒重低,产量下降^[24]。玉米生育前期干旱胁迫使生育进程明显延缓,严重干旱胁迫可使抽雄、吐丝期较水分充足滞后 4 d 左右,并引起成熟期推迟^[25]。干旱胁迫下不同色彩棉花的单株成铃数、单铃重、株高、花铃期叶片数、有效果枝数、收获指数、果节数、籽指、茎粗和果茎节间长度减少,衣分增加^[26]。

3.2 谷子产量形成的水分敏感期

作物的生长最终要反映到产量上,这既是物种繁衍生息的自身要求,也是作物生长的外在表现与人们对经济产量的追求。不同作物对水分需求的关键时期存在差异,即水分敏感期不同。水稻对水分最为敏感的时期是抽穗开花期^[28],孕穗期也应保持土壤湿润状态^[29],否则造成一定程度减产;冬小麦的需水关键期为拔节期^[30-31];制种玉米的水分敏感时期为母本吐丝期>大喇叭口期>灌浆中期^[32]。谷子产量密切相关的性状是株粒重、株穗重,而对株粒重效应最大的水分处理时期是灌浆期和抽穗期,对株穗重效应最大的水分处理时期是抽穗期和灌浆期,因此谷子抽穗期和灌浆期是水分需求的关键时期,该时期水分亏缺影响谷子的籽粒的建成和干物质运转,是谷子产量形成的水分敏感期。

参考文献:

- [1] 游修龄. 黍粟的起源及传播问题[J]. 中国农史, 1993, 12(3): 1-13.
- [2] 刘为红, 孙黛珍, 卢布, 等. 谷子根系生长发育规律及环境条件对其影响的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 20-25.
- [3] 郭贤仕. 谷子旱后的补偿效应研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 563-566.
- [4] 张锡梅, 徐勇. 谷子、糜子、高粱、玉米抗旱品种气孔扩散阻力、蒸腾速率、叶水势关系的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1987, (3): 80-85.
- [5] 李荫梅. 谷子(粟)品种资源抗旱性鉴定研究[J]. 华北农学报, 1991, 6(3): 20-25.
- [6] 李荫梅. 苗期反复干旱法鉴定谷子抗旱性的可靠性与实用性[J]. 河北农业科学, 1992, (4): 9-11.
- [7] 温琪汾, 王纶, 王星玉. 山西省谷子种质资源及抗旱种质的筛选利用[J]. 山西农业科学, 2005, 33(4): 32-33.
- [8] 张锦鹏, 王茅雁, 白云凤, 等. 谷子品种抗旱性的苗期快速鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(1): 59-62.
- [9] 朱学海, 宋燕春, 赵治海, 等. 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 62-67.
- [10] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 等. 谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 560-565.
- [11] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 等. 谷子孕穗期抗旱指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 765-772.
- [12] 郭志利, 古世禄. 覆膜栽培方式对谷子(粟)产量及效益的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 33-39.
- [13] 蒋骏, 王俊鹏, 贾志宽. 宁南旱地谷子地膜穴播栽培试验初报[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 31-36.
- [14] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 宁南旱区谷子集水保水技术效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 51-53.
- [15] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 旱地谷子集水保水技术的生理生态效应[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 738-742.
- [16] 杨开宝, 李景林, 吴存良, 等. 陕北地区谷子双料沟垄组合覆盖增产机理[J]. 西北农业学报, 2001, 10(4): 63-66, 79.
- [17] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 宁南旱区谷子地膜覆盖的土壤水温效应[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2069-2075.
- [18] 董孔军, 杨天育, 何继红, 等. 西北旱作区不同地膜覆盖种植方式对谷子生长发育的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 36-40.
- [19] 周广业, 孙志强, 曹亚芬. 黄土旱塬施肥和集雨补灌的效应研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 106-109.
- [20] 何继红, 董孔军, 杨天育. 控水补灌对旱地谷子品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 55-59.
- [21] 陆平. 谷子种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 38-47.
- [22] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 46-70.
- [23] 山仑, 徐萌. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报, 1992, 2(1): 70-76.
- [24] 张卫星, 朱德峰. 水分亏缺对水稻生长发育、产量和稻米品质影响的相关研究[J]. 中国稻米, 2007, (5): 1-4.
- [25] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [26] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 等. 干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(11): 2074-2082.
- [27] 张文英, 杨立军, 田再明, 等. 苗期水分胁迫对谷子主要农艺性状的影响[J]. 河北农业科学, 2012, 16(9): 1-3.
- [28] 司昌亮, 卢文喜, 侯泽宇, 等. 水稻各生育阶段分别受旱条件下产量及敏感系数差异研究[J]. 节水灌溉, 2013, (7): 10-15.
- [29] 蔡亮, 姜洋. 水稻不同需水关键期适宜灌水下限指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 94-96, 104.
- [30] 夏国军, 阎耀礼, 程水明, 等. 旱地冬小麦水分亏缺补偿效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 79-82.
- [31] 房全孝, 陈雨海. 节水灌溉条件下冬小麦耗水规律及其生态基础研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(3): 18-22.
- [32] 樊廷录, 杨珍, 王建华, 等. 灌水时期和灌水量对甘肃河西玉米制种产量和水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 1-6.