

不同时期干旱胁迫对谷子农艺性状的影响

王永丽¹, 王 珏¹, 杜金哲¹, 管延安²

(1. 青岛农业大学 山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109; 2. 山东省农业科学院, 山东 济南 250000)

摘要: 采用盆栽控水方法, 研究不同生育时期干旱胁迫对谷子物候期、株高、叶片数、顶叶叶面积、穗长、根轮数等农艺性状及产量的影响。结果表明, 干旱延迟谷子物候期的出现; 拔节期干旱对谷子株高的影响最大; 干旱不会引起谷子总叶片数的改变, 但对叶片发生时间有一定影响; 拔节期干旱和孕穗期干旱使谷子顶叶叶面积减小; 干旱抑制谷子根系的生长, 但复水后生长迅速恢复。拔节期干旱对谷子农艺性状造成的影响最严重、最持久, 干旱胁迫使谷子的产量降低, 尤以灌浆期干旱对产量影响最显著。

关键词: 谷子; 干旱胁迫; 农艺性状; 产量

中图分类号: S515.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)06-0125-05

Effects of Drought Stress at Different Periods on Agronomic Traits of Millet

WANG Yong-li¹, WANG Jue¹, DU Jin-zhe¹, GUAN Yan-an²

(1. Qingdao Agricultural University, Shandong Key Laboratory of Dry Farming Techniques, Qingdao 266109, China; 2. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250000, China)

Abstract: Using movable rain shelter shed to keep off precipitation, the pot experiment was carried out to study effects of drought stress at different periods on agronomic traits of millet. Phenological periods, plant height, the leaf number, flag leaf's area, spike length, and the roots sheaves number were investigated. Yields were measured after harvest. The results showed that phenological periods were delayed under drought stress. The drought treatment at jointing stage had the worst effects on plant height. Water stress could affect the leaves' growth, but it hadn't affected the whole leaf number at all. Flag leaf's area under jointing and earing stage was smaller than other stages. The roots' growth was restrained by drought stress, it could recovered rapidly after restoring water, however. Drought stress at jointing stage had the biggest effect on agronomic traits. Grain yield could be lowered by drought stress especially the stress at pustulation period.

Key words: Millet; Drought stress; Agronomic characters; Yield

谷子(*Setaria italica* Beauv) 属禾本科黍族狗尾草属, 古称粟^[1]。我国是世界上水资源紧缺的国家^[2], 旱区面积占国土总面积的 74%, 华北地区的干旱尤为严重^[3]。谷子是我国北方传统旱粮作物之一, 主要种植在旱薄地, 属于耐旱稳产的作物^[4]。与其他的作物一样, 谷子在遇到干旱胁迫时会调整其形态发育及生理生化反应来适应干旱环境而求得生存^[5]。谷世禄等^[6] 研究分析了谷子水分利用的特性及其与生态因素的关系, 证明谷子水分利用效率较高。曹玲等^[7] 的研究表明, 谷子产量与气象

因素相关性非常显著, 气候暖干化对谷子产量影响非常突出。张文英等^[5] 研究了谷子在不同生育阶段为适应干旱环境而在光合特性方面发生的变化。刘为红等^[8] 研究了谷子根系发育规律, 得出增施磷肥、覆盖地膜、适期晚播可促进谷子根系的生长发育。国外有学者研究了水分亏缺和不同钾水平下谷子生长和光合的特性^[9]。

在谷子的各类研究之中, 抗旱性研究是一个很重要的方向, 但关于不同时期干旱处理以及谷子农艺性状方面的研究较为缺乏, 本研究利用旱棚控水

收稿日期: 2012-08-12

基金项目: 山东省作物栽培学与育种学泰山学者岗位资金资助; 现代农业产业技术体系建设专项资金-谷子产业技术体系科学家岗位夏谷栽培与土肥项目(CARS-07-12.5-A11)

作者简介: 王永丽(1987-), 女, 山东招远人, 在读硕士, 主要从事作物高产优质栽培理论与技术研究。

通讯作者: 杜金哲(1972-), 女, 辽宁新金人, 副教授, 博士, 主要从事作物高产优质栽培理论与技术研究。

试验将这 2 个方面结合起来,通过谷子不同生育时期干旱胁迫与非胁迫下农艺性状的测定比较,旨在探讨谷子农艺性状与抗旱性的关系,为谷子节水栽培提供理论依据和实践指导。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试谷子品种为济谷 14。

1.2 试验方法

试验于 2011 年 6—10 月在青岛农业大学农学与植物保护学院试验站内进行,试验地为砂美黑土。干旱处理在旱棚中进行,在夜间和降雨天气下进行遮盖,采用盆栽控水方法,完全随机设计,设置 5 个处理:CK—全生育期不干旱;D1—拔节期干旱;D2—孕穗期干旱;D3—抽穗开花期干旱;D4—灌浆期干旱(各处理干旱胁迫期不灌水,直至土壤相对含水量降到 30%,若低于 30% 时,就补充水分到 30%,其余生育时期土壤相对含水量均为 70%)。每处理重复 18 盆(塑料盆内径 30 cm 高 30 cm),每盆 8 株,于 2011 年 6 月 20 日足墒播种。肥料施用为:成品有机肥 1 800 kg/hm²(有机质 ≥ 40%,总养分 ≥ 12%,6-2-4),氮肥用量 225 kg/hm²,P₂O₅用量 120 kg/hm²,K₂O 用量 120 kg/hm²。谷子生长期精细管理,盆土含水量采用时域土壤水分仪 TRIME-IPH TDR T3 测定,依对照的生育时期为准进行水分控制。

1.3 性状考察

观测记录各处理主要物候期出现的日期(以 50% 以上的植株达到某一物候期为标准^[10])。谷子出苗后,在各生育时期控水结束后的第 1 天以及开花后每隔 7 d 进行农艺性状调查。每个处理每次调查 8 株。考察项目为:株高、穗长、叶片数、顶叶叶面积、根轮数。成熟时室内考察单株穗质量、单株粒质量、出谷率(单株粒质量 ÷ 单株穗质量)、千粒质量、秕谷率、产量。

1.4 数据处理及分析

试验数据采用 Excel 处理,统计分析用 DPS 软件进行(LSD 法多重比较)。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期干旱胁迫对谷子主要物候期的影响

从表 1 可以看出,与对照相比,拔节期干旱(D1)使谷子的抽穗盛期推迟 3 d,开花盛期推迟 4 d,灌浆盛期推迟 5 d;孕穗期干旱(D2)使谷子的抽穗盛期推迟 4 d,开花盛期推迟 4 d,灌浆盛期推迟

5 d;抽穗开花期干旱(D3)使谷子的灌浆盛期推迟 4 d。表明干旱胁迫影响了谷子的物候期,使其出现日期推迟,进而影响到了谷子的发育进程,延长了其生育期。

表 1 不同时期干旱胁迫对谷子物候期的影响

Tab. 1 Effects of drought stress at different periods on phonological periods of millet

处理 Treatment	抽穗期 /(月-日) Earing	开花期 /(月-日) Anthesis	灌浆期 /(月-日) Filling
CK	08-14	08-15	08-23
D1	08-17	08-19	08-28
D2	08-18	08-19	08-28
D3	08-14	08-15	08-27
D4	08-14	08-15	08-23

2.2 不同生育时期干旱胁迫对谷子株高的影响

方差分析表明,谷子株高的不同干旱处理间差异达极显著水平。从表 2 可以看出,拔节期 D1 与 CK 差异极显著,平均值差为 -36.8 cm,表明拔节期干旱抑制了茎秆的伸长;D2 与 CK 差异极显著,平均值差为 -8.9 cm,这一差异可能是由于拔节末期 D2 已开始逐步控水引起的。孕穗期 D1 与 CK 差异极显著,平均值差为 -30.5 cm;D2 与 CK 差异极显著,平均值差为 -18.2 cm,表明孕穗期干旱抑制茎秆的伸长。抽穗开花期 D1、D2、D3 与 CK 差异均极显著,表明抽穗开花期干旱也抑制了茎秆的伸长。在开花后整个灌浆期,D1、D2、D3 与 CK 差异均极显著,表明灌浆期之前的干旱胁迫对谷子株高造成的影响是不可恢复的;D4 与 CK 无显著性差异,表明在灌浆期谷子已完全转入生殖生长,干旱胁迫不会对株高造成影响。尽管拔节、孕穗、抽穗开花期均会抑制谷子茎秆的伸长,但以拔节期干旱对谷子株高增加的抑制性最大。

2.3 不同生育时期干旱胁迫对谷子叶片数的影响

不同干旱处理间谷子叶片数有一定的差异。表 3 表明,在谷子生育后期各干旱处理与 CK 间差异均不显著,表明干旱胁迫不会引起谷子叶片数的改变,谷子总叶片数主要由品种遗传特性决定。拔节期 D1、D2 与 CK 有极显著差异;孕穗期 D1 与 CK 有极显著差异、D2 与 CK 有显著性差异,表明拔节期和孕穗期干旱胁迫抑制谷子叶片的生长,但这种影响只持续到孕穗期,之后随着供水的恢复差异消失。D3 和 D4 未对谷子叶片数造成显著影响,因为此时谷子已转入以生殖生长为中心,叶片的生长在孕穗期结束时就已停止。D4 在开花后 35 d 与 CK 有显著性差异可能是由叶片衰老造成的。

表 2 不同时期干旱胁迫对谷子株高的影响

Tab.2 Effects of drought stress at different periods on plant height of millet

处理 Treatment	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗开花期 Earing-anthesis	花后 7 d 7 days post anthesis	花后 14 d 14 days post anthesis	花后 21 d 21 days post anthesis	花后 28 d 28 days post anthesis	花后 35 d 35 days post anthesis
CK	98.9abA	112.6aAB	123.6aA	125.8aA	130.7aA	130.5aA	129.9aA	129.2aA
D1	62.1dC	82.1dD	90.0dD	93.2eD	99.5dD	100.5dD	102.2dD	100.3dD
D2	90.0cB	94.4cC	107.1cC	109.5dC	108.7cC	113.8cC	115.6cC	115.9cC
D3	98.5bA	111.9bB	113.0bB	123.9cB	122.5bB	121.9bB	121.3bB	120.5bB
D4	99.4aA	113.0aA	122.6aA	125.2bA	130.4aA	130.3aA	129.4aA	129.1aA

注: 数据后不同大小写字母表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平(LSD 法)。表 3~6 同。
Note: Values followed by a different common and capital letter are significant different at 0.05 and 0.01 probability levels respectively by LSD method. The same as Tab. 3-6.

表 3 不同时期干旱胁迫对谷子叶片数的影响

Tab.3 Effects of drought stress at different periods on the leaf number of millet

处理 Treatment	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗开花期 Earing-anthesis	花后 7 d 7 days post anthesis	花后 14 d 14 days post anthesis	花后 21 d 21 days post anthesis	花后 28 d 28 days post anthesis	花后 35 d 35 days post anthesis
CK	11.3aA	12.0aA	12.0aA	12.0bA	13.0aA	13.0aA	12.3aA	12.0bA
D1	8.0cC	10.0cB	12.0aA	12.0bA	12.0bB	12.7aA	12.3aA	12.0bA
D2	10.0bB	11.3bA	12.3aA	12.7aA	12.7aAB	12.7aA	12.7aA	12.0bA
D3	11.3aA	12.0aA	12.3aA	12.0bA	13.0aA	12.7aA	12.7aA	12.0bA
D4	11.3aA	12.0aA	12.3aA	12.3abA	13.0aA	13.0aA	12.7aA	12.7aA

2.4 不同生育时期干旱胁迫对谷子顶叶叶面积的影响

不同时期干旱胁迫对谷子顶叶叶面积有显著影响。从图 1 可以看出,不同时期干旱胁迫下谷子顶叶叶面积呈先急速上升后略有下降趋势,后期下降可能是由后期叶片衰老残缺引起的。与对照在花后 21 d 顶叶叶面积达最大值相比,拔节期干旱(D1)最大值出现时间延后,为花后 28 d,其余各处理与对照相同。不同时期干旱处理间同期顶叶叶面积的值有很大的差异,其中 D1 与 CK 差异最大,顶叶叶面积最小, D2 次之, D3、D4 与 CK 相似。表明拔节期干旱对谷子顶叶叶面积的影响最大。

2.5 不同生育时期干旱胁迫对谷子穗长的影响

从表 4 的方差分析可以看出,孕穗期开始的整个生育期, D1、D2 均极显著低于 CK,且 D1 极显著低于 D2,表明拔节期干旱和孕穗期干旱抑制谷子穗

的伸长,且拔节期干旱的抑制性更强,这种抑制性是不可恢复的,不会因为供水的恢复而达到正常水平。D3 除开花后 21 d 外,从干旱胁迫开始的抽穗开花期至收获,都极显著高于 CK,表明抽穗开花期干旱

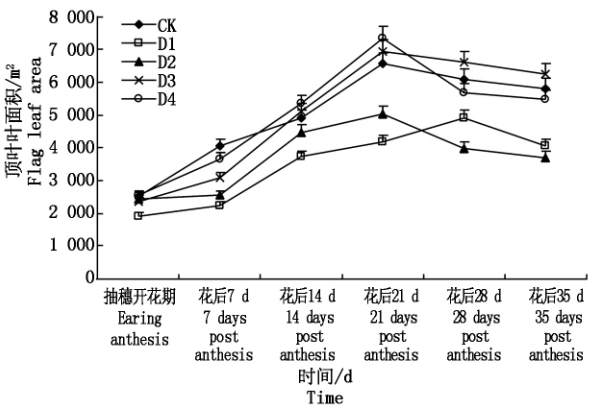


图 1 不同时期干旱胁迫下谷子顶叶叶面积变化
Fig.1 Change of millet Flag leaf's area under drought stress at different periods

表 4 不同时期干旱胁迫对谷子穗长的影响

Tab.4 Effects of drought stress at different periods on spike length of millet

处理 Treatment	孕穗期 Booting	抽穗开花期 Earing-anthesis	花后 7 d 7 days post anthesis	花后 14 d 14 days post anthesis	花后 21 d 21 days post anthesis	花后 28 d 28 days post anthesis	花后 35 d 35 days post anthesis
CK	10.03aA	14.83bB	14.73bB	14.70cC	15.27aA	13.40cC	13.87bB
D1	4.53cC	12.50dD	12.37dD	12.40eE	12.43eD	10.53eE	12.33dD
D2	8.37bB	13.87cC	13.40cC	13.77dD	13.83dC	12.87dD	13.17cC
D3	9.87aA	15.47aA	15.67aA	15.87aA	14.87bB	14.90aA	14.40aA
D4	9.83aA	15.17aAB	15.40aA	15.20bB	14.67cB	14.07bB	14.20aAB

促进谷子穗的伸长。D4 除开花后 21 d 外,整个灌浆期都极显著高于 CK,表明灌浆期干旱也促进谷子穗的伸长。D3 和 D4 除在开花后 14、28 d 差异极显著外,其余各时期均无显著性差异,表明抽穗开花和灌浆期干旱胁迫对谷子穗长的影响相似。

2.6 不同生育时期干旱胁迫对谷子根轮数的影响

表 5 方差分析显示,D1 的根轮数除在拔节期极显著少于 CK 外,其余生育时期与 CK 无显著性差异,开花后 7 d 和 35 d 甚至极显著多于 CK,表明拔节期干旱立即抑制谷子拔节期根系的生长,复水之后根系迅速恢复生长。D2 的根轮数除在抽穗开花

期极显著少于 CK 外,其余各生育时期均与 CK 无显著性差异,表明孕穗期干旱的影响未立即显现,到抽穗开花期才开始抑制谷子根系的生长,但随着供水的恢复,之后达到正常水平。D3 的根轮数除在抽穗开花期极显著少于 CK,开花后 14、28、35 d 极显著多于 CK 外,其余各生育时期与 CK 无显著性差异,表明抽穗开花期干旱立即抑制谷子抽穗开花期根系的生长,复水之后根系迅速恢复生长。D4 的根轮数除在开花后 21 d 极显著低于 CK 外,其余各生育时期均与 CK 无显著性差异,表明灌浆期干旱只会在开花后 14~21 d 抑制谷子根系的生长。

表 5 不同时期干旱胁迫对谷子根轮数的影响

Tab. 5 Effects of drought stress at different periods on the number of millet roots sheaves

处理 Treatment	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗开花期 Earing- anthesis	花后 7 d 7 days post anthesis	花后 14 d 14 days post anthesis	花后 21 d 21 days post anthesis	花后 28 d 28 days post anthesis	花后 35 d 35 days post anthesis
CK	4.0aA	4.0aA	5.3aA	5.3bB	5.5bcBC	5.7aAB	5.7bcB	5.8cC
D1	2.6cC	4.0aA	5.3aA	5.5aA	5.6abAB	5.6aAB	5.8bB	6.0bB
D2	4.0aA	4.0aA	4.9bB	5.5aA	5.5bAB	5.6aAB	5.6cB	5.7cC
D3	4.0aA	4.1aA	5.0bB	5.3bB	5.7aA	5.8aA	6.2aA	6.3aA
D4	4.0aA	4.0aA	5.3aA	5.3bB	5.4cC	5.4cC	5.8bB	5.8cC

2.7 不同生育时期干旱胁迫对谷子产量的影响

从表 6 可以看出,每个产量指标的各个处理间均有极显著差异。干旱胁迫下的单株穗质量、单株粒质量、产量均极显著低于 CK。D4 灌浆期干旱胁迫的单株穗质量、单株粒质量和产量最低,秕谷率最高。其中,单株穗质量比 CK 少 26%,单株粒质量和

产量比对照少 24.6%,原因在于,灌浆期的干旱使籽粒灌浆受到严重影响,秕谷率升高。其次,拔节期干旱对谷子整个植株生长发育影响较大,穗分化减省,谷子粒数下降,进而产量下降,比对照减产 17.7%。可见,拔节期和灌浆期是谷子水分利用的关键期。

表 6 不同时期干旱胁迫对谷子产量的影响

Tab. 6 Effects of drought stress at different periods on yields

处理 Treatment	单株穗质量/g Spike weight	单株粒质量/g Kernel weight per spike	出谷率/% The grain percentage	千粒质量/g 1000-kernel weight	秕谷率/% Abortive grain rate	产量/(kg/hm ²) Yield
CK	10.23aA	8.61aA	83.74eE	2.58eE	12cC	6199aA
D1	8.06dD	7.08dD	87.61bB	2.61dD	12cC	5098dD
D2	8.71bB	7.67bB	88.06aA	2.74bB	13bB	5522bB
D3	8.44cC	7.33cC	86.75cC	2.78aA	17aA	5278cC
D4	7.57eE	6.49eE	85.73dD	2.64cC	17aA	4672eE

3 讨论

水分在谷子生长发育和形态建成中具有十分重要的作用,干旱胁迫导致植株体内水分匮乏,必然影响到生理生化过程和器官建成,对生长发育造成伤害^[11]。与其他作物一样,谷子在遇到干旱胁迫时,会调整其形态发育及生理生化反应来适应干旱环境而求得生存^[5],而致使各农艺性状出现相应变化,这必然导致以形态特征为判断标准的物候期出现变化。

本研究结果得出,拔节期和孕穗期干旱会对谷子株高、叶片数、顶叶叶面积和穗长产生一定的影响,这可能与这几个指标的生长都在孕穗期之前完成有关。

每种作物的主茎叶片数是比较稳定的品种特征。在同一地区、同一品种中,除播种期显著推迟而使叶片稍有减少外,一般很少发生变化,但如果条件改变,影响到生育阶段的加速或延迟,则叶片数也会相应减少或增加^[12]。本研究结果显示,尽管拔节期和孕穗期干旱会延迟谷子叶片的生长,但任一时期

的干旱都未引起谷子总叶片数的改变,说明叶片数主要由遗传特性决定。

根在固定谷株及从土壤中吸收水分和各种营养元素方面的生理作用是其他器官不可替代的^[8]。水分是影响根系生长的主要因素,过于干燥和潮湿的土壤都不利于根系的生长及其功能的发挥。一般来说,当根系受到土壤水分胁迫的影响时其生长减缓或停止。遭受干旱的作物根系通常在土壤变湿几天后,其根系的吸水能力才能恢复到原来的程度^[12]。

灌浆期干旱对谷子单株穗质量、单株粒质量、秕谷率及产量的影响最严重,减产幅度最大,原因在于灌浆期干旱影响籽粒灌浆,使秕谷率显著提高,穗质量下降,进而产量下降。

4 结论

拔节期、孕穗期和抽穗开花期干旱均会使谷子物候期出现的日期推迟。灌浆期之前干旱胁迫使谷子株高降低,以拔节期干旱影响最为严重。任一时期干旱均不会引起谷子总叶片数的改变,但拔节期和孕穗期干旱抑制谷子孕穗期前叶片的生长。拔节期干旱和孕穗期干旱使谷子顶叶叶面积及穗长小于同期对照,其中拔节期干旱的影响最严重。干旱抑制谷子根系的生长,但复水后根系迅速恢复生长。干旱胁迫使谷子产量显著降低,以灌浆期干旱影响最大,其次由于拔节期干旱对农艺性状的严重影响,进而使产量也有大幅度降低。由此可见,拔节期和灌浆期是谷子的水分敏感期,生产上需确保此2个时期有足够的水分供应。

参考文献:

- [1] 山西省农业科学院. 中国谷子栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [2] 陈百明. 中国土地资源生产能力及人口承载力研究[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1992.
- [3] 林性粹. 我国北方旱区发展节水灌溉农业刍议[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 79-83.
- [4] 李清泉 王 成 季生栋. 北方旱地谷子绿豆立体栽培技术研究[J]. 黑龙江农业科学, 2007(5): 38-40.
- [5] 张文英 智 慧 柳斌辉 等. 干旱胁迫对谷子孕穗期光合特性的影响[J]. 河北农业科学, 2011, 15(6): 7-11.
- [6] 谷世禄 马建萍 刘子坚 等. 谷子(粟)的水分利用及节水技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 19(1): 40-47.
- [7] 曹 玲 王 强 邓振镛 等. 气候暖干化对甘肃省谷子产量的影响及对策[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2931-2937.
- [8] 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.
- [9] Ashraf M, Ahmad A, Meneilly T. Growth and photosynthetic characteristics in pearl millet under water stress and different potassium supply [J]. Photosyntheica, 2001, 39(3): 389-394.
- [10] 董 钻 沈秀英. 作物栽培学总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 许海霞 李 伟 程西永 等. 干旱胁迫对小麦农艺性状的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(3): 125-129.
- [12] 曹卫星. 作物学通论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.