

文章编号: 1005-0906(2007)05-0076-03

玉米苗期不同供水条件下水分利用效率鉴定指标研究

崔震海¹, 张立军¹, 樊金娟¹, 阮燕晔¹, 马兴林²

(1. 沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳 110161; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100018)

摘要: 试验在防雨棚中盆栽条件下进行。供试玉米杂交种 5 个, 苗期设置正常供水、轻度干旱胁迫和中度干旱胁迫 3 种处理, 拔节期均复水到正常水平。分别在拔节期、吐丝期和成熟期对相关形态及生理指标进行测定, 并与水分利用效率(water use efficiency, WUE)进行多元逐步回归分析。结果表明: 在吐丝期, 正常供水和中度干旱时散粉至抽丝间隔(anthesis-silking interval, ASI)短的品种 WUE 高; 在成熟期, 正常供水时粒叶比高、茎较粗和轻度干旱时粒深的品种 WUE 高; 在正常供水时, 拔节期植株矮小、叶片失水率小、成熟期收获指数(harvest index, HI)较高和穗位比较大的品种在轻度干旱胁迫下具有较高 WUE; 在正常供水时, 出籽率较高、行粒数较少的品种在中度干旱胁迫下具有较高 WUE。

关键词: 玉米; 苗期; 水分利用效率; 鉴定指标**中图分类号:** S513.01**文献标识码:** A

Studies on Identify Indices of Water Use Efficiency of Maize During Seedling Stage with Different Water Supply

CUI Zhen-hai¹, ZHANG Li-jun¹, FAN Jin-juan¹, RUAN Yan-ye¹, MA Xing-lin²

(1. College of Biological Science and Technology, Shenyang Agricultural University Shenyang 110161;

2. Institute of Crop Science Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Pot experiment was carried out with 5 maize hybrids under three levels of water supply treatment(light drought stress, modest drought stress and CK) during seedling stage in a rain shelter. And normal water treatment was recovered in the joining stage. The relative indices were measured in the joining stage, silking stage and harvest stage respectively. Multiple regression analysis was made between water use efficiency(WUE) and all measured indices. The result showed that the varieties with short anthesis-silking interval(ASI) had high WUE in silking stage under both normal water condition and modest water drought stress level. In harvest stage, the varieties with high grain-leaf ratio and thick stem had high WUE under normal water condition, the varieties with deep gain deepness had high WUE under light water drought stress level. The varieties with slim plant and low water losing rate in the joining stage, high harvest index(HI) and high spike/plant-highness rate in the harvest stage under normal water condition have high WUE under light water drought stress level. The varieties with high kernel percentage and little kernel number per row in the harvest stage under normal water condition have high WUE under modest water drought stress level.

Key words: Maize; Seedling stage; Water use efficiency(WUE); Identify indices**收稿日期:** 2007-02-28**基金项目:** “863”国家高技术研究发展计划基金项目(2006AA100200、2006AA100201)**作者简介:** 崔震海(1978-), 男, 硕士, 助教, 从事植物发育与环境生理研究。

马兴林为本文通讯作者。E-mail: maxinglin518@126.com

苗期干旱是玉米生产的重要限制因素之一。在我国北方雨养农业区, 玉米生长的苗期正值干旱缺雨季节, 旱情较重的年份常造成缺苗、断垄, 导致减产。培育抗旱、高效用水品种是解决这一问题的有效途径之一。对苗期干旱条件下不同玉米品种 WUE 的研究表明, 不同玉米品种 WUE 差异显著, 有的品种在苗期轻度干旱和中度干旱下, 产量降低幅度

小,耗水量小,WUE 明显提高,实现了节水、稳产协同的目标。但是,WUE 的获取需要测定土体中的水分,工作耗时费力,对大量品种材料的 WUE 进行直接鉴定工作难度非常大。因此,快速简易的 WUE 鉴定指标成为关键。本研究为选用抗旱、高 WUE 品种及新品种选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

2004 年在中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所试验站(北京)内的防雨棚中进行盆栽试验。供试玉米杂交种 5 个:郑单 958、郑单 19、四单 19、龙单 13、鲁单 981。试验用盆为自行设计的子母盆,母盆高 35 cm,直径 29 cm;子盆高 28.7 cm、直径 25.2 cm。盆土取自中国农业科学院气象所试验站试验田耕层,每盆装土量相等,为 13.75 kg/盆,基肥为优质农家肥,500 g/盆,种肥为磷酸二铵 5 g/盆,拔节期、吐丝期、灌浆期 3 次追肥,每次施尿素 3 g/盆, KCl 1 g/盆。5 月 23 日播种,每盆播 3 粒种子,4 叶期定苗,每盆留 1 株。3 次重复。每个处理设置 3 个空白盆,计算水分的非蒸腾散失,最终计算出蒸腾耗水量。

水分控制与管理的主要措施为:播种后先浇 1 次透水,定苗后盖泡沫板,以防止水分地表蒸发,泡沫板上留出苗孔和灌水孔。采用称重法控水,在拔节以前每隔 5~7 d 灌水 1 次,拔节后每 3 d 灌水 1 次。水分处理为正常、轻度干旱和中度干旱 3 个水平,土壤含水量分别为最大持水量的 70%~75%、55%~60%和 45%~50%,水分胁迫在出苗时开始,拔节后复水至丰水水平。

1.2 指标测定

(1)生理指标:净光合速率(Pn)、蒸腾速率(E)、气孔导度(Gs)使用 CIRAS-1 光合仪 9:00~10:00 测定。Fv/Fm 使用 Handy PEA 便携式叶绿素荧光仪,测定前暗适应 15 min,照射饱和脉冲光为 1 900 μmol/(m²·s)。叶绿素采用乙醇丙酮法测定。

(2)穗部性状:百粒重、子粒产量等由考种获得。

(3)农艺性状调查:包括 ASI、叶面积、株高、茎粗、叶龄指数、生育期以及根系指标的测定,均采用常规方法。拔株后,迅速把根系放入水桶,保证被水完全浸没 5 h 以上或过夜,拿出完全擦干后称重,即为根饱和重。

所有指标在拔节期、吐丝期和成熟期进行 3 次取样测定,每处理 4 次重复。

1.3 WUE 的计算及统计分析

耗水量:本试验中实为蒸腾耗水量(简称耗水量)。为去掉盆体蒸发和植株的影响,其计算公式为:

耗水量=[灌水量+(播种时盆土重-收获时盆土重)]-[空白盆灌水量+(播种时空白盆土重-收获时空白盆土重)]

WUE=产量/耗水量

用 spss10.0 统计分析软件,以 WUE 为因变量(y),分别与不同供水条件、不同时期测定指标(x)进行多元回归分析,比较各指标对 WUE 的相对重要性。

2 结果与分析

2.1 不同供水条件下的鉴定指标

2.1.1 拔节期鉴定指标

在拔节期测定冠干重、根干重、根冠比、根体积、根饱和重、根长、根数、GS、Pn、E、失水率、脯氨酸含量、可溶性糖含量、正面气孔密度、反面气孔密度、正面气孔面积、反面气孔面积、叶绿素、Fv/Fm、株高、茎粗、叶面积和叶龄指数共 23 个指标(记为 $x_1, x_2, \dots, x_{23}$),与相应供水条件的 WUE 进行逐步回归(表 1)。结果显示,正常供水时,只有正面气孔面积对 WUE 的贡献达极显著水平,呈负相关;轻度干旱时,根冠比对 WUE 的贡献达极显著水平,呈负相关;中度干旱时,反面气孔面积、根干重和 E 对 WUE 的贡献达显著或极显著水平,前两者与 WUE 呈正相关, E 与 WUE 呈负相关。

表 1 拔节期 WUE 与各指标的逐步回归方程
Table 1 The regression equation of WUE and indices in the jointing stage

供水条件	回归方程
Water supply condition	Regression equation
正常供水	$y=4.417-0.011x_{16}^{**}$
轻度干旱胁迫	$y=-6.952-12.653x_3^{**}$
中度干旱胁迫	$y=-1.768+0.025x_{17}^{***}+0.289x_2^{***}-0.233x_{10}^{*}$

注:*和**分别代表 0.05 和 0.01 水平显著。下表同。
Notes: *and** indicate the significant at 5% and 1% level respectively.
The same as the following tables.

2.1.2 吐丝期鉴定指标

在吐丝期,测定冠干重、根干重、根冠比、根体积、根饱和重、根长、根数、Gs、Pn、E、正面气孔密度、反面气孔密度、正面气孔面积、反面气孔面积、叶绿素、Fv/Fm、株高、茎粗、叶面积、叶龄指数和 ASI 共 21 个指标(由于已经复水到正常水平,干旱相关指

标未进行测定)(记为 $x_1, x_2 \cdots x_{21}$), 与最终的相应供水条件的 WUE 进行逐步回归(表 2)。结果显示, 正常供水时, 根冠比、正面气孔面积和 ASI 对 WUE 的贡献达显著水平, 均呈负相关; 轻度干旱时, 根体积和根干重对 WUE 的贡献达显著或极显著水平, 均呈负相关; 中度干旱时, 只有 ASI 对 WUE 的贡献达极显著水平, 呈负相关, 其余指标的作用均不显著。

表 2 吐丝期 WUE 与各指标的逐步回归方程
Table 2 The regression equation of WUE and indices in the silking stage

供水条件	回归方程
Water supply condition	Regression equation
正常供水	$y=7.451-9.04x_3^{**}-0.011x_{13}^{**}-0.124x_{21}^*$
轻度干旱胁迫	$y=5.324-0.004x_4^{**}-0.014x_2^{**}$
中度干旱胁迫	$y=3.236-0.116x_{21}^{**}$

2.1.3 成熟期鉴定指标

在成熟期, 测定冠干重、根干重、根冠比、根体积、根饱和重、根长、根数、Gs、Pn、E、叶绿素、Fv/Fm、株高、茎粗、叶面积、穗行数、行粒数、百粒重、秃尖长、HI、粒叶比、穗位比、粒深、出籽率和生育期共 25 个指标(此时气孔影响不大, 气孔性状未进行测定)(记为 $x_1, x_2 \cdots x_{25}$), 与最终的相应供水条件的 WUE 进行逐步回归(表 3)。结果显示, 正常供水时, 粒叶比、茎粗和根体积对 WUE 的贡献达极显著水平, 前两者与 WUE 呈正相关, 根体积与 WUE 呈负相关; 轻度干旱时, 粒深、Fv/Fm 对 WUE 的贡献达极显著水平, 呈正相关; 中度干旱时, 根冠比对 WUE 的贡献达极显著水平, 呈负相关。

表 3 成熟期 WUE 与各指标的逐步回归方程
Table 3 The regression equation of WUE and indices in the harvest stage

供水条件	回归方程
Water supply condition	Regression equation
正常供水	$y=-8.292+196.409x_{22}^{**}+1.112x_{14}^{**}-0.005x_4^{**}$
轻度干旱胁迫	$y=-8.791+0.791x_{24}^{**}+11.029x_{12}^{**}$
中度干旱胁迫	$y=4.035-6.948x_3^{**}$

2.2 正常供水指标鉴定干旱胁迫的 WUE

比较同一时期同一供水条件下的多个指标与 WUE 的回归关系, 可以找出鉴定 WUE 的指标。但是试验过程中, 正干旱胁迫的程度往往因为时间、地域和土地的情况难以准确把握。若能在正常供水条件下, 找到可以鉴定干旱条件下 WUE 的指标更

有实际意义。因此, 将正常供水条件下的各指标(不同时期的测定指标如前所述)与干旱胁迫下的 WUE 做多元逐步回归。

2.2.1 正常供水下的指标鉴定轻度干旱 WUE

拔节期, 正常供水的株高和失水率对轻度干旱的 WUE 贡献达极显著水平, 均呈负相关; 吐丝期, 正常供水的根干重和 Pn 对轻度干旱的 WUE 贡献达极显著或显著水平, 前者与 WUE 呈负相关, 后者与 WUE 呈正相关; 成熟期, 正常供水的 HI 和穗位比对轻度干旱的 WUE 贡献达显著或极显著水平, 均呈正相关(表 4)。

表 4 轻度干旱 WUE 与正常供水指标的回归方程
Table 4 The regression equation of WUE under light drought stress level and indices under normal water condition

生育时期	回归方程
Growth stages	Regression equation
拔节期	$y=19.136-0.119x_{21}^{**}-0.057x_{11}^{**}$
吐丝期	$y=3.638-0.048x_2^{**}+0.04x_{9*}$
成熟期	$y=-4.144+0.103x_{39}^{**}+0.061x_{41}^*$

2.2.2 正常供水下的指标鉴定中度干旱 WUE

拔节期, 正面气孔密度对 WUE 的贡献达显著或极显著水平, 呈正相关; 吐丝期, 只有根干重对 WUE 的贡献达极显著水平, 呈负相关; 成熟期, 出籽率和行粒数对 WUE 的贡献达显著或极显著水平, 前者与 WUE 呈正相关, 后者与 WUE 呈负相关(表 5)。

表 5 中度干旱 WUE 与正常供水指标的回归方程
Table 5 The regression equation of WUE under modest drought stress level and indices under normal water condition

生育时期	回归方程
Growth stages	Regression equation
拔节期	$y=1.215+0.008x_{14}^{**}$
吐丝期	$y=4.242-0.0463x_2^{**}$
成熟期	$y=-7.736+0.155x_{24}^{**}-0.092x_{17}^{**}$

3 结论与讨论

WUE 是由多因素控制的, 不同生育时期, 不同干旱胁迫条件下, 玉米 WUE 的鉴定指标都不相同。WUE 的鉴定对象往往是大量的品种, 鉴定地点是在田间。因此, “快速易得、科学有效”是选定鉴定指标的重要原则。

(上接第 78 页)

(1)在拔节期,未得出快速鉴定指标。

(2)吐丝期的鉴定指标:正常供水及中度干旱条件下为 ASI 短。ASI 以其测定简单和准确,作为抗旱指标被普遍认同。同时从以上的结果可以看出,干旱复水条件下,ASI 短可以认为是品种高效节水的特性。

(3)成熟期的鉴定指标:正常供水时为粒叶比高、茎较粗;轻度干旱时为粒深;中度干旱时未得出快速鉴定指标。可见,扩库、畅流是这一时期 WUE 提高的关键。

(4)在正常供水时,拔节期植株矮小,叶片失水率小,成熟期 HI 较高、穗位比较大的品种在轻度干旱胁迫下具有较高 WUE。

(5)在正常供水时,成熟期出籽率较高、行粒数较少的品种在中度干旱胁迫下具有较高 WUE。行粒数较少的中小穗品种可能出籽率等其它代表库容量的指标会较大,最终的子粒产量较高。

参考文献:

- [1] 崔震海,马兴林,张立军,等. 苗期干旱对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 玉米科学,2005,13(2):79-81.
- [2] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1990.
- [3] Edmeades, G O, Bolanos J, Lafitte H R. Paper presented at the fourth meeting of the asia region maize program [A]. Islamabad, Pakistan. 1990.
- [4] Edmeades, G O, Bolanos J, Lafitte H R. 47th Corn and Sorghum Res [A]. Chicago, Illinois, 1992.

(责任编辑:朴红梅)