

玉米植株叶片和根系的抗旱性差异分析

刘胜群¹, 宋凤斌¹, 周璇^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了研究玉米 (*Zea mays* L.) 的叶片和根系抗旱性差异, 以田间种植的玉米品种‘掖单 13’和‘丹玉 13’为材料, 在拔节期取样, 分别对玉米的叶片、叶鞘及初生根、第 1 层至第 5 层次生根的基部、中部和根尖的保水能力进行了研究。结果显示, 拔节期玉米不同器官保水能力不同, 叶鞘的保水能力最强, 其次是根系, 叶片的保水能力最弱。初生根和各层次生根不同部位相比较, 根基部保水能力最强, 其次是根中部, 根尖的保水能力最弱; 不同类型根保水能力相比较, 初生根基部、中部和根尖部分的保水能力均最弱; 第 1 层至第 5 层次生根基部的保水能力是根系发生时间越晚, 其保水能力越强; 根中部和根尖的保水能力在第 1 层至第 5 层次生根中有不同表现。

关键词: 玉米; 叶鞘; 初生根; 次生根; 保水

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0054-05

玉米是对干旱胁迫比较敏感的作物^[1], 近年来, 我国北方地区频繁出现的干旱给玉米生产造成了很大的影响^[2]。干旱是影响玉米生产最重要的非生物胁迫因子, 干旱阻碍玉米生长发育、干扰生理过程, 严重影响籽粒产量。根系作为在土壤—植物—大气间的水分循环过程中最关键的部分之一, 与玉米抗旱能力存在着十分密切的关系^[3]。研究表明, 对植株水分状况的测量往往更能精确地反映出植株有效水分状况^[4-6]。植株体内维持一定的水分含量是植株进行生命活动的基础, 叶片和根系的保水能力, 可以很好地表征抗旱性差异。关于植物保水能力的研究, 以叶片居多。Dedio^[7]认为离体叶片水分损失速率可以反映试材的抗旱性。叶片保水力可以说明叶片抗脱水的能力^[8-11], 其数值的高低与植物遗传特性有关, 与细胞特性、特别是原生质胶体特性有关。有人认为可将叶片的保水能力作为作物品种抗旱性筛选的简单易行的指标^[12]。玉米根系是水分吸收的重要器官, 在植株水分代谢过程中起着重要作用。玉米根系由初生根和次生根组成, 不同类型根行使的功能及对产量的贡献存在差异^[13]。叶鞘也是植株的重要组成部分, 据报道, 小麦和水稻的叶鞘对产量具有重要的贡献^[14,15]。玉米叶鞘和根系的保水能力如何, 与叶片研究相比, 这方面的研究相对薄弱^[16]。拔节期是玉米整个生育期对水肥需求的第一个关键时期, 这一时期是玉米对水分敏感的关键时期^[17]。研究拔节期玉米叶片、叶鞘以及根系(包括初生根和不同层次次生根)的不同部位的保水能

力, 明确玉米不同器官和不同类型根系的保水能力及其根系不同部位保水能力的差异, 可以为玉米抗旱生理的研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料及取样方法

供试玉米 (*Zea mays* L.) 品种为‘掖单 13’ (Yedan 13) 和‘丹玉 13’ (Danyu 13)。试验在位于吉林省德惠市的中国科学院东北地理与农业生态研究所试验示范基地实施。供试土壤为黑土, 0~20 cm 耕层土壤有机质含量为 26.9 g/kg, 全氮 1.21 g/kg, 全磷 1.06 g/kg, 全钾 16.87 g/kg, 速效氮 118.8 mg/kg, 速效磷 18.0 mg/kg, 速效钾 111.0 mg/kg, 土壤容重 1.12 g/cm³, pH 6.6。大田试验均按 60 cm × 30 cm 的行株距种植, 行长 5 m, 小区面积为 15 m², 3 次重复。施肥量为 N 189 kg/hm², P₂O₅ 94 kg/hm², K₂O 95 kg/hm²。于 4 月 28 日播种, 9 月 28 日收获。播种、田间管理等一切农事活动与当地大田生产相同。

于拔节期取样。取第 6 片全展叶位的叶片和叶鞘作为试材, 选取叶片中部主脉两侧 2 cm × 2 cm 的叶片作为测试对象, 叶鞘选择部位为整个叶鞘中心部位的 2 cm × 2 cm 叶鞘作为测试对象。根系采用挖掘法于大田取样, 取样数量为 5 条。测试根系失水速率是以单株根系的整体为对象进行测量。根不同部位失水速率测定的取样部位如下: 初生胚根和次生胚根的根基部测定部位为根与基部茎节连接处

收稿日期: 2009-09-22

基金项目: 国家“863 计划”项目(2006AA10Z227); 吉林省科技发展计划(20090166); 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士青年基金项目

作者简介: 刘胜群(1976—), 女, 吉林四平人, 博士, 助理研究员, 从事植物生理生态与农业环境方面的研究。E-mail: lsq@neigae.ac.cn。

至下方 10 cm 长的根段,根中部取样部位为根总长的 1/2 处,以此为中心,其上部 and 下部各取 5 cm,共 10 cm 的根段,根尖取样部位为根冠及其上部,取样长度为 10 cm 的根段。取材后,迅速装入塑料袋中密封遮光。在温度和湿度相对恒定的实验室中迅速称取试材的初始质量,隔一定时段分别称重,最后试材烘干至恒重,并记录干重(DW)。3 次重复。

1.2 测试方法

测定采用称重法。

失水速率 = $(FW_1 - FW_2) / (FW_1 - DW)$, FW_1 代表第一次称量鲜样质量, FW_2 代表 3 h 后称量的样品质量, DW 为干重。

水分损失率 = $(W_{h(n+1)} - W_{hn}) / DW_0$ 。 $W_{h(n+1)}$ 和 W_{hn} 分别代表离体第 $n + 1$ 小时样品质量和第 n 小时样品质量。

1.3 文中代号说明

玉米的初生胚根文中用“P0”表示;次生根根据发生时间各层次生根分别称为“第 1 层次生根”(文中用“P1”表示),第 2 层次生根(文中用“P2”表示)……,余类推^[18]。

1.4 数据分析

做图采用 Origin 7.5,分析用 SPSS16.0 的 Duncan 检验方法, $P < 0.05$ 时为差异显著。

2 结果与分析

2.1 玉米叶片、叶鞘和根系保水能力分析

玉米植株不同部位失水速率不同(图 1)。不同部位相比,叶片的失水速率最高,其次是根系,叶鞘的最低,品种‘丹玉 13’的叶片和根系失水速率差异未达到显著水平($P > 0.05$)。不同品种比较,叶片和根系失水速率差异均达到显著水平($P < 0.01$),叶鞘的失水速率差异未达到显著水平($P > 0.05$)。

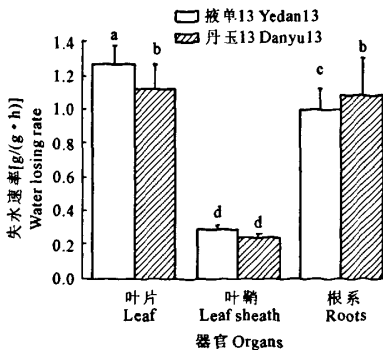


图 1 玉米不同部位失水速率
Fig.1 Water losing rate of different part of maize

2.2 玉米初生根和次生根基部保水能力分析

玉米初生根和次生根基部的失水速率不同(图 2)。总体而言,随着根系发生时间的延后,根部失水速率呈现显著下降的趋势。也就是说初生根和第 1 层次生根基部的失水速率最高,其次是第 2 层、第 3 层和第 4 层次生根,第 5 层次生根的失水速率最低。但‘掖单 13’的第 1 层次生根基部失水速率显著大于初生根($P < 0.01$),第 3 层和第 4 层次生根之间差异未达到显著水平($P > 0.05$)。

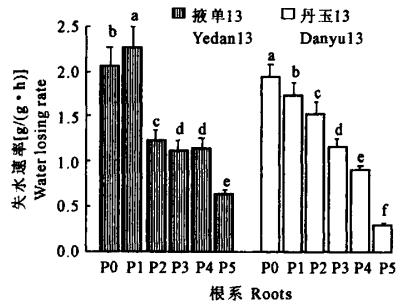


图 2 玉米初生根和次生根基部失水速率
Fig.2 Water losing rate of base of seminal roots and adventitious nodal roots in maize

注:不同字母表示在 0.05 水平上的差异显著($P < 0.05$),采用 SPSS 13.0 进行 ANOVA 的 Duncan 多重比较检验方法。下同。

Note: Different letters within a column indicate significant difference at $P < 0.05$, Duncan' multiple tests were used. They are the same in the following.

2.3 玉米初生根和次生根中部保水能力分析

玉米初生根和第 1 层至第 5 层次生根中部的失水速率不同(图 3)。初生根的失水速率最高,第 5 层次生根中部的失水速率最低。各层次生根中部失水速率比较,‘掖单 13’除第 2 层次生根和第 4 层次生根失水速率差异未达到显著水平外,其它差异均达到显著水平,‘丹玉 13’的第 1 层和第 2 层次生根差异未达到显著水平,其它差异均达到显著水平。

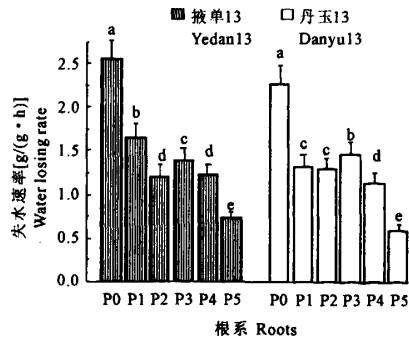


图 3 玉米初生根和次生根中部失水速率
Fig.3 Water losing rate of middle part of seminal roots and adventitious nodal roots in maize

2.4 玉米初生根和次生根根尖保水能力分析

玉米初生根和各层次生根根尖的失水速率不同(图4)。均以初生根的根尖失水速率最高,显著高于各层次生根根尖的失水速率。各层次生根根尖的失水速率相比较,‘掖单13’的第1层次生根的最高,最低值则出现在第4层次生根。‘丹玉13’的第1层和第2层次生根的高,第3层次生根根尖的失水速率最低。第1层和第2层次生根根尖的失水速率差异未达到显著水平。

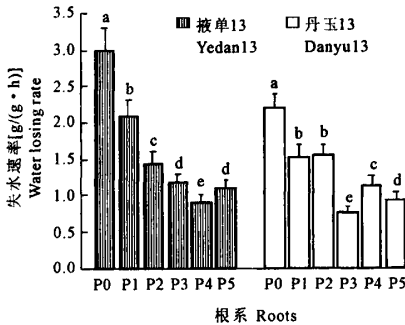


图4 玉米初生根和次生根根尖失水速率

Fig.4 Water losing rate of root tips of seminal roots and adventitious nodal roots in maize

2.5 玉米初生根和次生根的水分损失率

玉米初生根和第1层至第5层次生根的基部、中部和根尖的离体根系水分损失率的动态变化如图5。初生根和第1层至第5层次生根的基部、中部和根尖的水分损失率各不相同,总的来说其最高值都出现在离体的最初1 h,而后随着时间延长而逐渐下降。初生根和各层次生根的离体根系水分损失率相比较,初生根的离体根系水分损失率高于次生根,不同层次的次生根相比较,发生时间越晚,次生根的离体根系水分损失率越低。根不同部位的离体根系水分损失率比较,同一类型根不同部位的离体根系水分损失率从大到小的顺序依次为:根尖、根中部、根基部。

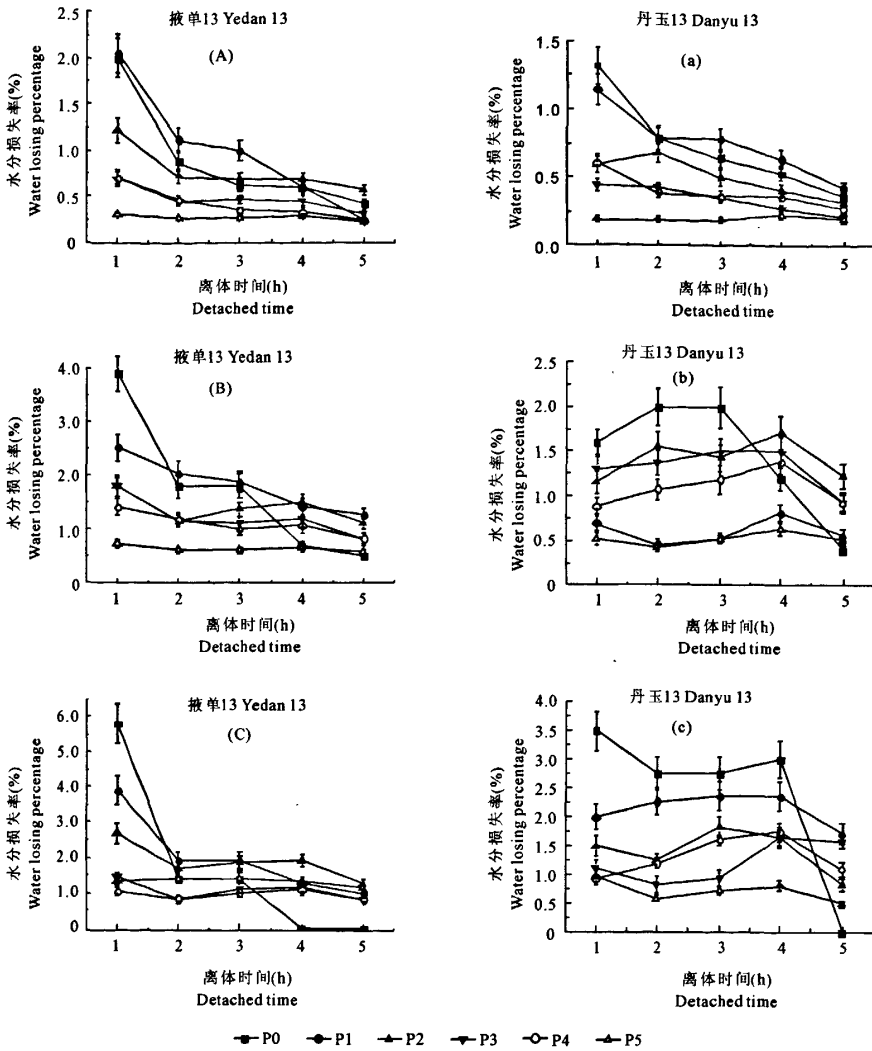
3 结论与讨论

由于保水能力与失水速率呈反比,失水速率越大,说明保水能力越差。因此,本文研究结果显示,从不同部位比较,以叶鞘的保水能力最强,其次是根系,叶片的保水能力最弱。根系不同部位相比较,根基部保水能力最强,其次是根中部,根尖的保水能力最弱。不同类型根保水能力相比较,初生根基部、中部和根尖部分的保水能力均最弱;第1层至第5层

次生根基部的保水能力是根系发生时间越晚,其保水能力越强;根中部和根尖的保水能力在第1层至第5层次生根中有不同表现。

本文中关于离体根系失水速率的研究中,根据对轴根不同部位水分损失率的测定结果来看,部分根尖在离体4 h以后的水分损失率不再变化或是变化极其微弱(图5中的C和c),而在1~4 h内,水分损失率在不同基因型以及不同试材中的差异明显。马瑞昆等^[19]报道,在冬小麦叶片中的研究结果显示叶片基因型差异以离体2~3 h更为明显,此时叶片膨压未完全消失,质膜未损伤到严重影响各种生理机能,并有可能恢复,具有更大生理意义。因此,建议离体2~3 h为测定离体叶片失水速率的适宜时间。因此本文建议,如以根系整体,或是完整的单条根,或是轴根的基部至根冠为试材进行根系保水能力研究时,建议以离体1~4 h为测定离体根系失水速率的适宜时间。

玉米对土壤干旱最先感受的器官是根系,在植物的水分生理领域中,关于抗旱性与根系特性的研究工作多侧重于根系的形态和分布^[20-22]等方面,水分状况对植物的生理过程具有重要的影响,特别是在环境胁迫条件下,水分状况变化比较明显。植物对水分分子变化的响应主要通过根系进行,因此对根系失水和保水能力研究是抗旱性研究所需要的。对于植物材料的保水力研究结果表明,离体叶片保水力与玉米抗旱能力有关。通常保水力越强,失水速度越弱,抗旱性也就越强。而对于离体根系保水力的研究中,张彦芹指出^[23]离体根系的失水速率越快,其保水能力越弱。本研究显示,玉米初生根和不同层次次生根的发生时间不同,其保水能力也存在差异,相同类型根不同部位的保水能力也存在差异。轴根的不同部位(基部、中部和根尖)的保水能力存在差异。其中以根基部保水能力最强,其次是根的中部,根尖的保水能力最弱。从根的生长发育进程来看,根基部首先在茎节基部产生,而后根尖逐渐向下生长,从土壤的表层逐渐深入,一直向土壤深处发展。最先形成的根基部形成时间最长,而后是根的中部,根尖的形成时间最短,也就是说根尖部位是幼嫩的组织,其皮层细胞相对较少,细胞壁相对较薄^[24],细胞内的水分相对于根基部和根中部而言,更容易从细胞内散失,因此其失水速率最大。另外,从根系所处的环境来看,根系基部位于土壤表层,其所处的环境受气候条件的影响很大。而根尖相位于较深层的土壤,深层土壤环境相对稳定,外



A, a: 根基部 Base of root; B, b: 根中部 Middle part of root; C, c: 根尖 Root tip

图 5 玉米初生根和次生根的各部位离体根系水分损失率动态变化

Fig.5 Dynamic changes of water losing percentage of uncontacted base of seminal and adventitious nodal roots

界环境条件的变化对其影响小。从这一角度考虑,根系基部为了适应外界水分和温度等环境条件不断变化这一特点,为了更好地生存,要求自身必须具备一定的保水能力,根基部保水能力强于其它部位。

关于失水速率差异形成的原因在以往报道中较少,Taleranik^[25]认为具有外皮带或外皮层厚的根系保水力强。另外有研究认为植物材料的保水能力与植物遗传特性有关,与细胞特性、特别是原生质胶体特性有关。关于根系在解剖结构方面,如皮层细胞层数,中柱鞘细胞排列的紧密程度,以及木质素的厚度等指标与根系保水能力之间相关性以及根系的哪些解剖结构能起到保水作用,这些结构与保水能力

之间的内在量化关系究竟怎样,这一系列问题还有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Vamerali S M, Bona S, Mosca G, et al. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two corn hybrids[J]. Plant Soil, 2003, 255:157—167.
- [2] 王晓琴,袁继超.玉米抗旱性研究的现状及展望[J].玉米科学, 2002, 10(1):57—60.
- [3] Tuberosa R, Sanguineti M C, Landi P, et al. Identification of QTLs for root characteristics in maize grown in hydroponics and analysis of their overlap with QTLs for grain yield in the field at two water regimes [J]. Plant Molecular Biology, 2002, 48:697—712.
- [4] Kent J Bradford. Water stress and the water relations of seed develop-

- ment: A critical review[J]. *Crop Sci*, 1994, 34: 1—11.
- [5] O'Toole J C, Turner N C, Namuco O P, et al. Comparison of some crops water stress measurement methods [J]. *Crop Sci*, 1984, 24: 1121—1128.
- [6] Ehdai B. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: II pot and field experiments [J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 1617—1626.
- [7] Dedio W. Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance [J]. *Can J Plant Sci*, 1975, 55: 369—378.
- [8] 孙明亮, 石浩来. 山东青石山区主要经济树种的抗旱性 [J]. *山东农业大学学报*, 1999, 23(4): 13—16.
- [9] 李雪华, 蒋德明, 阿拉木萨. 科尔沁沙地 4 种植物抗旱性的比较研究 [J]. *植物生态学报*, 2002, 13(1): 1385—1388.
- [10] 肖春旺, 董 鸣, 周广胜, 等. 鄂尔多斯高原沙柳幼苗对模拟降水量变化的响应 [J]. *生态学报*, 2001, 21(1): 171—176.
- [11] 董学军, 杨宝珍, 郭 柯, 等. 几种沙生植物水分生理生态特征的研究 [J]. *植物生态学报*, 1994, 18(1): 86—94.
- [12] 何海燕, 许国辉, 马国强, 等. 青海东部主要造林树种的水分生理研究 [J]. *西北林学院学报*, 2003, 18(2): 9—12.
- [13] 黄农荣, 钟旭华, 王 丰, 等. 超级杂交稻结实期根系活力与籽粒灌浆特性研究 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(9): 1772—1779.
- [14] 魏爱丽, 王志敏, 陈 斌. 土壤干旱对小麦绿色器官光合电子传递和光合磷酸化活力的影响 [J]. *作物学报*, 2004, 30(5): 487—490.
- [15] 郭兆武, 萧浪涛. 超级杂交稻“两优培九”剑叶鞘的光合功能 [J]. *中国水稻科学*, 2007, 21(4): 379—385.
- [16] 刘胜群, 宋凤斌. 不同耐旱基因型玉米根系生理性状研究 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2007, 33(4): 407—412.
- [17] 贺冬梅, 张崇玉, 王丹妮, 等. 玉米拔节期水肥耦合效应研究 [J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 164—166.
- [18] Girardin P, Jordan M O, Picard D, et al. Harmonisation des notations concernant la description morphologique d'un pied de maïs (*Zea mays* L.) [J]. *Agronomie*, 1986, 6: 873—875.
- [19] 马瑞昆, 贾秀领, 蹇家利, 等. 冬小麦基因型离体叶片失水与产量结构和植株性状的关系 [J]. *华北农学报*, 1998, 13(3): 5—10.
- [20] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 等. 模拟降雨量条件下沟垄集雨种植对土壤养分分布及夏玉米根系生长的影响 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 94—99.
- [21] 刘胜群, 宋凤斌. 玉米不同耐旱性品种根系构型和动态建成研究 [J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2007, 28(1): 68—71, 78.
- [22] 米国华, 陈范峻, 春 亮, 等. 玉米氮高效品种的生物化学特征 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 155—159.
- [23] 张彦芹, 贾玮瑰, 杨丽莉, 等. 不同玉米品种苗期抗旱性研究 [J]. *中国农学通报*, 2001, 19(1): 83—86, 92.
- [24] 刘胜群, 宋凤斌. 不同耐旱性玉米根系解剖结构比较研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(2): 86—91.
- [25] Taleranik E, Peyrano G, Córdoba A, et al. Water retention capacity in root segments differing in the degree of exodermis development [J]. *Ann Bot*, 1999, 83(1): 19—27.

Difference in drought resistance of root and leaf in maize

LIU Sheng-qun¹, SONG Feng-bin¹, ZHOU Xuan^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to study different drought resistance of root and leaf in maize, water retention ability of leaf, leaf sheath and root at jointing stage of maize (*Zea mays* L.) two varieties of Yedan 13 and Danyu 13 were examined in field trails. Leaf and sheath of the lower sixth leaf, seminal root and adventitious nodal roots from first layer to fifth layer were used as the test materials. Root was sampled by mining method. The results showed that the water retention ability of different organs were different at jointing stage. From strong to low water retention ability was leaf sheath, root and leaf. To compare water retention ability of different parts of root, from strong to low were base part, middle part and root tip; while to compare that of different root types, water retention ability of seminal root was the weakest. The water retention ability of base part of adventitious nodal roots, from strong to low was the fifth layer, the fourth layer, the third layer, the second layer and the first layer. Water retention ability of middle part and root tip among adventitious nodal roots from first layer to fifth layer showed different.

Keywords: maize; leaf sheath; seminal roots; adventitious nodal roots; water retention