

不同耐旱基因型玉米根系大量元素含量分析

刘胜群¹, 宋凤斌¹, 王晓波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. 吉林农业大学农学院, 吉林 长春 130118)

摘 要: 以生长于田间的玉米掖单 13(耐旱基因型玉米)和丹玉 13(不耐旱基因型玉米)为试验材料,应用 ICP 对供试玉米的初生根和第一、二、三、四、五、六、七、八和第九层次生根的大量元素氮、磷、钾、钙和镁等项指标进行了测定和比较分析。结果表明:除个别根外,耐旱基因型玉米不同类型根中的全氮含量和速效氮含量极显著低于不耐旱基因型玉米根系($P<0.01$);根中的钙元素含量和镁元素含量极显著高于不耐旱基因型玉米根系($P<0.01$);根系中磷元素含量和根系中的钾元素含量在两基因型玉米根系之间差异不显著($P>0.05$)。

关键词: 玉米;根系;大量元素;耐旱性

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0148-06

根系作为植物重要的吸收器官和代谢器官,它的生长发育直接影响到地上部茎叶的生长和作物产量的高低。近年来,作物根系研究取得了重大进展^[1~3]。人们对作物根系的功能有了重新认识,从起初的固定、支持、合成和分泌作用到近年来的感受环境变化和产生并传递信息、调控地上部的形态和生理反应,以致影响整个群落的生态环境。毫无疑问,根系是植物一生中感受环境最敏感、调节能力最强的生长发育调节中心,特别是对逆境下植物的适应性生存尤为重要。玉米对干旱较敏感,经常因干旱胁迫而造成产量损失^[4]。不同基因型玉米对干旱胁迫的反应和适应性是不同的,因此种植耐旱基因型玉米已成为减少干旱造成产量损失的有效手段^[5]。作为植株体吸收水分和养分的重要器官,根系与耐旱能力存在着十分密切的关系^[6],耐旱基因型玉米的根系必然存在着与耐旱能力相适应的稳定的遗传特性,这一特性对于植株在干旱条件下仍能吸收水分和养分从而保证植株正常生长尤为重要。大量元素在根系吸收的养分中占有重要地位,大量元素在植物代谢中具有其特殊的、不可代替的功能,植物体内大量元素的浓度及其变化一直受农学家和植物生理学家的重视^[7]。从含量差异角度出发,研究不同耐旱基因型玉米初生根和各层次生根中的大量元素含量,探讨不同耐旱基因型玉米根系中大量元素含量的差别,对于明确耐旱基因型玉米的耐旱生理机制,培育耐旱基因型玉米是十分必要的。因此本文测定了不同耐旱基因型玉米初生根和各层次生根中的氮、磷、钾、钙和镁的含量,同时分析比较了

二者之间存在的差别,以期玉米耐旱育种及耐旱生理研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

供试玉米为耐旱基因型玉米“掖单 13”(文中简称为 YD—13)和不耐旱基因型玉米“丹玉 13”(文中简称为 DY—13)(已经过耐旱性鉴定)^[8]。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。5~9 月平均总降水量为 376.9 mm,属于偏少年份。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 457 kg/hm²,P₂O₅ 145 kg/hm²,K₂O 60 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。于灌浆期采用挖掘法于大田取样。取样时,沿着每条根的走势,用镊子和小铲逐渐将每条根周围的土拨开,顺着根在土壤中的走向逐渐进入深层土壤,直至露出根尖为止,将所得根按不同层次分开,带回实验室,经冲洗,晾干,样品粉碎后,进行元素含量的测定。

1.2 测定方法

测定时条件为测定温度 20℃,湿度 45%。
测定仪器:速效 N、全 N 使用 SKAIAR 连续流动

分析仪,P、K、Ca 和 Mg 使用 ICP 等离子发射光谱仪测定。

1.3 文中代号说明

玉米根系名称见图 1。如图 1 中所示,玉米的初生胚根文中用“P0”表示;初生不定根用“P1”表示;初生根用“P0+P1”表示,次生根根据发生时间各层次次生根分别称为“第一层次生根”(文中用“P2”表示),第二层次生根(文中用“P3”表示)……,余类推。

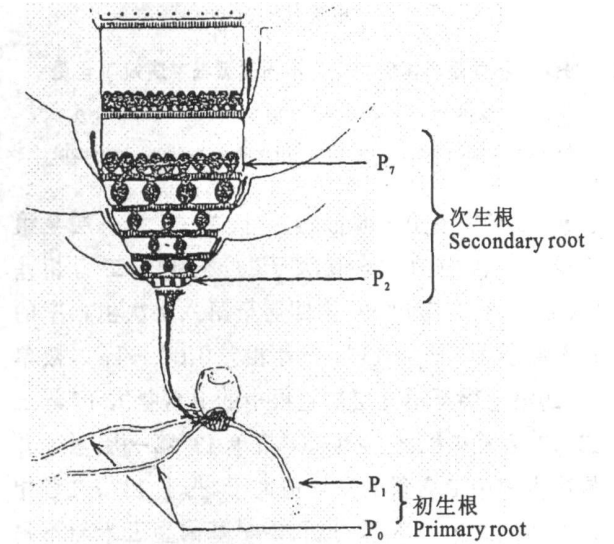


图 1 玉米根系名称示意图(引自 Girardian 等,1986^[9])
Fig.1 Structure of the bottom part of a maize plant and nomenclature used for the root system (adapted from Girardian et al., 1986).

1.4 数据分析

文中数据采用 SPSS 13.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同耐旱基因型玉米不同类型根干重比较分析

不同耐旱基因型玉米不同类型根干重占总根干重的百分比(图 2)不同,耐旱基因型玉米“掖单 13”不同类型根干重占总根干重的比率随着根的发生次序而逐渐增加,第九层次生根干重占总根干重的比率最大,而不耐旱基因型玉米“丹玉 13”不同类型根干重占总根干重的比率最初也是随着根的发生次序而逐渐增加,第八层次生根达到最高值,第九层次生根干重不及第八层次生根。产生这种现象的原因是与根干重与根的长度、根直径、根数量等因素有关,“丹玉 13”第九层次生根的根数量不及第八层次生根数量多(另文待发)。“掖单 13”第九层次生根干重大于第八层次生根干重是因为“掖单 13”第九层次生根数量大于第八层次生根数量,且第九层次生

根直径大于第八层次生根直径^[10]。

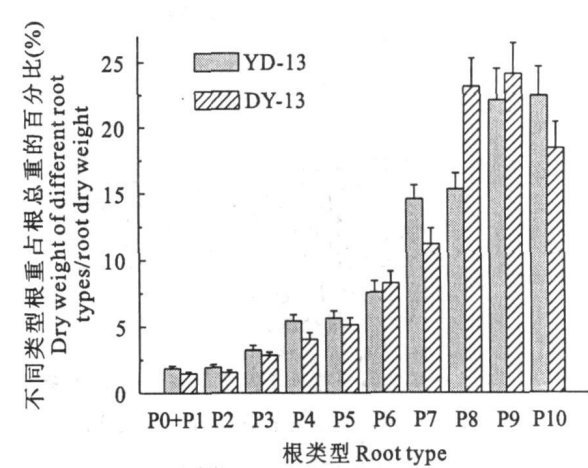


图 2 不同耐旱基因型玉米不同类型根干重与根总重的比率
Fig.2 Dry weight of different root types/root dry weight per plant between maize genotypes with different resistance to drought

2.2 不同耐旱基因型玉米根中大量元素含量比较分析

2.2.1 不同耐旱基因型玉米根中氮元素含量比较分析 氮素是作物主要的营养元素之一,氮素对作物根系的生长、形态以及根系在介质中的分布影响极为明显^[11,12]。不同耐旱基因型玉米根中的全氮含量见图 3,不同耐旱基因型玉米根中的速效氮含量见图 4。不同耐旱基因型玉米根系中的全氮含量存在差异。比较而言不耐旱基因型玉米“丹玉 13”初生根中全氮含量略高于耐旱基因型玉米“掖单 13”初生根中全氮的含量,二者相差 1.29 g/kg。两基因型玉米不同层次次生根中的全氮含量比较,第一层次次生根到第九层次生根中的全氮含量均是“丹玉 13”大于“掖单 13”,“丹玉 13”的第一层次生根至第九层次生根中全氮含量的平均值与“掖单 13”的平均值相差 3.93 g/kg。不同耐旱基因型玉米根中的速效氮含量不同。“丹玉 13”的第一层次生根至第八层次生根和初生根中的速效氮含量均大于“掖单 13”,初生根中的速效氮含量相差较大,相差 11.28 mg/kg。第一层次生根至第八层次生根中的速效氮含量相比较,“丹玉 13”第一层至第八层次生根中速效氮含量的平均值较“掖单 13”的平均值多 11.02 mg/kg。第九层次生根中的速效氮含量是“掖单 13”大于“丹玉 13”,二者相差 1.88 mg/kg。经 t 检验,不同耐旱基因型玉米不同类型根中总氮含量差异极显著 ($P<0.01$),不同耐旱基因型玉米不同类型根中速效氮含量差异极显著 ($P<0.01$)。

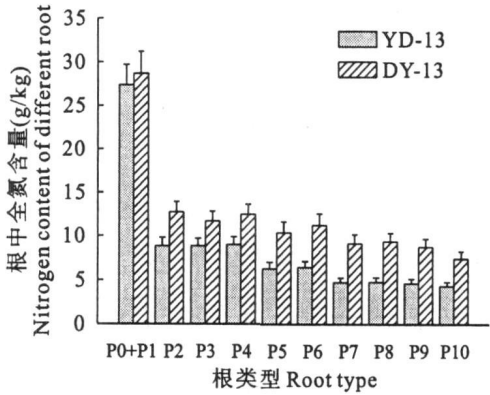


图 3 不同耐旱基因型玉米不同类型根中全 N 含量

Fig.3 Nitrogen content of different root types between maize genotypes with different resistance to drought

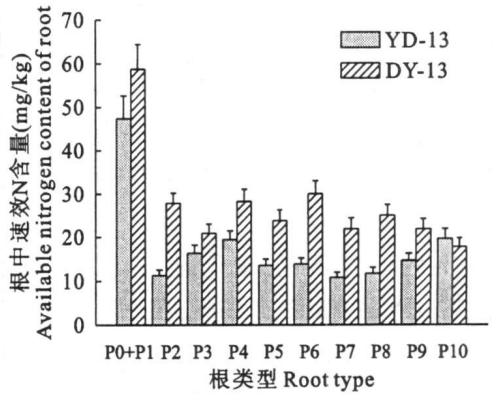


图 4 不同耐旱基因型玉米不同类型根中速效 N 含量

Fig.4 Content of available nitrogen of different root types between maize genotypes with different resistance to drought

2.2.2 不同耐旱基因型玉米根中磷元素含量比较分析 磷是植物生长发育不可缺少的大量营养元素之一,以多种方式参与植物体内各种生理生化过程,对促进植物的生长发育和新陈代谢起着重要的作用。同时由于P的存在,使植物代谢过程协调,植株生长健壮,抗逆性增强。不同耐旱基因型玉米根中磷元素含量不同(图5)。“丹玉13”各类型根中的P含量变幅较小,“掖单13”各类型根中的P含量变幅大于“丹玉13”。不同耐旱基因型玉米根系P含量相比较,不耐旱基因型玉米“丹玉13”初生根中的P含量大于耐旱基因型玉米“掖单13”初生根中的P

含量,二者相差0.898 g/kg。“掖单13”第一层至第三层次生根中的P含量大于“丹玉13”,二者相差0.0657 g/kg,“掖单13”第四层至第六层次生根中的P含量小于“丹玉13”,二者相差0.07 g/kg,“掖单13”的第七层至第九层次生根中的P含量大于“丹玉13”,二者相差0.092 g/kg。“掖单13”第一层至第九层次生根中P含量的平均值大于“丹玉13”,二者相差0.093 g/kg。*t*检验分析,耐旱基因型玉米与不耐旱基因型玉米不同类型根中P含量差异未达到显著水平($P>0.05$)。

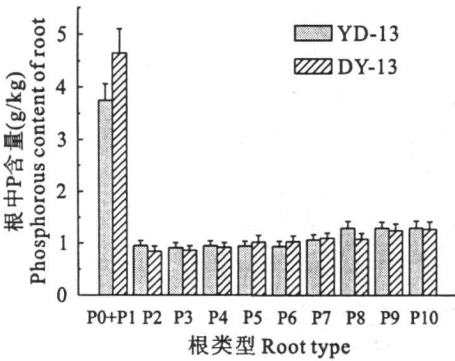


图 5 不同耐旱基因型玉米不同类型根中 P 含量

Fig.5 Phosphorous content of different root types between maize genotypes with different tolerance to drought

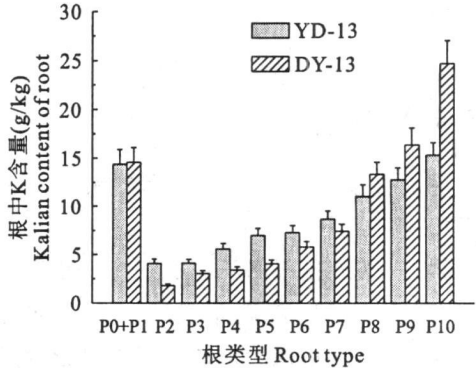


图 6 不同耐旱基因型玉米不同类型根中 K 含量

Fig.6 Kalian content of different root types between maize genotypes with different tolerance to drought

2.2.3 不同耐旱基因型玉米根中钾元素含量比较分析 钾是作物生活的必需元素,根系的发育状况及其获取钾的能力在很大程度上影响着植物的钾营养状况。 K^+ 是高等植物体液的重要渗透活性成分,能提高细胞液的渗透压,对于克服干旱条件下显著升高的土壤溶液渗透压的影响,使根系能吸收到土壤水分十分重要。不同耐旱基因型玉米根系中K

含量不同(图6)。耐旱基因型玉米“掖单13”初生根中K含量小于不耐旱基因型玉米“丹玉13”,二者相差0.2 g/kg,“掖单13”第一层至第六层次生根中K含量均大于“丹玉13”,“掖单13”第一层至第六层次生根中K含量的平均值较“丹玉13”多1.875 g/kg。“掖单13”第七层至第九层次生根中K含量小于“丹玉13”,第七层至第九层次生根中K含量的平均值

二者相差 5.10 g/kg。对不同耐旱基因型玉米不同类型根中 K 含量进行 *t* 检验分析,结果表明二者根中 K 含量差异均不显著($P<0.01$)。

2.2.4 不同耐旱基因型玉米根中钙元素含量比较分析 钙不仅是植物必需的一种大量元素,而且对植物生长发育具有重要作用。钙是植物细胞壁中胶层中果胶酸钙的成份,钙离子能作为磷脂的磷酸蛋白质的羧基间联结的桥梁,具有稳定膜结构的作用。同时钙是偶联胞外刺激与胞内反应的第二信使,调

节着植物生长发育的各个方面。不同耐旱基因型玉米根系中 Ca 含量不同(图 7)。比较发现耐旱基因型玉米“掖单 13”初生根中 Ca 含量略低于不耐旱基因型玉米“丹玉 13”,二者相差 0.135 g/kg。各层次生根中 Ca 含量相比较,除第六层次生根外的其余次生根中 Ca 含量均是“掖单 13”高于“丹玉 13”。对不同耐旱基因型玉米根系中 Ca 含量进行 *t* 检验,结果显示不同耐旱基因型玉米不同类型根中 Ca 含量差异极显著($P<0.01$)。

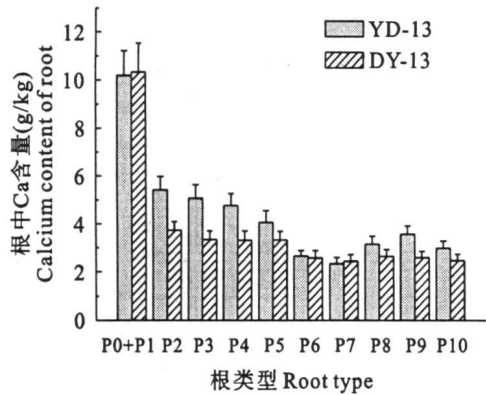


图 7 不同耐旱基因型玉米不同类型根中 Ca 含量
Fig.7 Calcium content of different root types between maize genotypes with different tolerance to drought

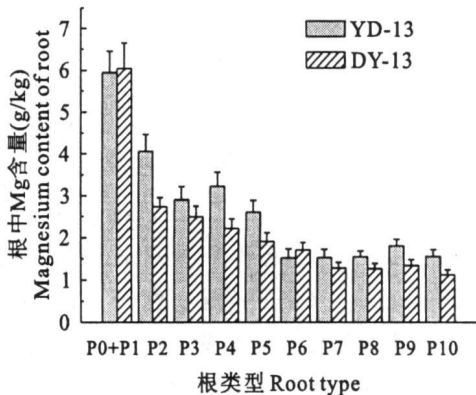


图 8 不同耐旱基因型玉米不同类型根中 Mg 含量
Fig.8 Magnesium content of different root types between maize genotypes with different tolerance to drought

2.2.5 不同耐旱基因型玉米不同类型根中镁元素含量分析 镁的功能主要表现在两大方面,一是参与光合作用,镁在光能的吸收、传递、转换过程中起重要作用;二是许多酶的激活剂或组分尤其是转移磷酸基酶类的活化剂。由图 8 可知,耐旱基因型玉米“掖单 13”初生根中 Mg 含量与不耐旱基因型玉米“丹玉 13”初生根中 Mg 含量相比较二者相差不大,“掖单 13”略低于“丹玉 13”。不同耐旱基因型玉米各层次生根中 Mg 含量相比较,除第五层次生根外,均是“掖单 13”次生根中 Mg 含量大于“丹玉 13”。对不同耐旱基因型玉米根中 Mg 含量进行 *t* 检验,结果显示不同耐旱基因型玉米不同类型根中 Mg 含量差异极显著($P<0.01$)。

3 结论与讨论

本试验中对不同耐旱基因型玉米初生根和各层次生根中的全 N、速效氮、P、K、Ca 和 Mg 的测定结果进行了比较分析,结果显示耐旱基因型玉米与不耐旱基因型玉米的初生根和各层次生根中的大量元素 N 和 Ca、Mg 的含量存在着显著或极显著差异。根系是玉米植株体氮素吸收的直接器官,氮在植物生命活动过程中占据首要地位,它是植株体内许多化

合物的组分,也是参与物质代谢和能量代谢的组分。氮肥能促进冠、根的分枝并增加根毛的密度和长度,从而提高吸收面积和吸收能力。目前关于氮素与根系的研究主要集中在氮肥的施用方式^[13]、氮肥用量^[14,15]、氮素施用形态^[16]、植株氮素胁迫^[17]对根系生长的影响以及植株氮素利用等方面。由于我国的许多玉米种植区经常遭受到干旱的威胁,国内外学者从不同角度加强了玉米耐旱性的研究。有研究者对氮营养与植株耐旱能力进行了相关研究工作。一些研究认为,氮营养可以改善土壤水分胁迫下作物植株体水分状况,增强作物的耐旱性^[18,19]。本研究从根系角度出发考察不同耐旱基因型玉米根系中氮元素情况,测定结果显示耐旱基因型玉米不同类型根中的氮元素含量显著低于不耐旱基因型玉米根系中的氮元素含量。在植物抗逆性的研究中,钙的作用引起了人们的兴趣并有大量的报道。钙是植物必需的营养元素,Ca²⁺不仅作为植物必需营养元素,它还具有稳定膜结构的功能,还作为某些酶分子的结构“稳定剂”,作为耦联胞外信号与胞内生理生化反应的第二信使在植物的生长中起着重要的作用。在植物的抗旱性研究中,无机元素 Ca²⁺对植物抗旱性的影响是一个十分重要的方面,Ca²⁺能够调节植物

体内的生理变化,直接或间接地促进植物在干旱胁迫下的渗透调节,从而促进植物的正常生长发育。 Ca^{2+} 作为第二信使在植株体对外界信号的感应、传递和响应过程中起着重要作用,细胞内 Ca^{2+} 浓度低而胞外、细胞器中浓度高,胞外 Ca^{2+} 的进入及细胞器中 Ca^{2+} 的释放均能引起胞质中 Ca^{2+} 的较大升高,当达阈值时 Ca^{2+} 与CaM形成 $\text{Ca}-\text{CaM}$ 复合物,此复合物作用于靶酶或磷酸化等激活某些酶类,最终启动各种生理生化适应机制^[20]。本试验测定结果显示,耐旱基因型玉米不同类型根中的钙元素含量显著高于不耐旱基因型玉米根中的钙元素含量,耐旱基因型玉米根系的这一特点对于植株耐旱能力的提高具有重要作用。 Mg 参与光合作用,是许多酶的激活剂或组分尤其是转移磷酸基酶类的活化剂。由 Mg 所活化的酶类关系到糖类、脂类、蛋白质、核酸等物质代谢与能量转化,它在玉米的生长发育过程中起着重要作用。本文测定结果显示不同耐旱基因型玉米不同类型根中的 Mg 含量存在显著差异,但这种差异是否与植株体的耐旱能力存在相关关系、 Mg 在根中含量的多少是否与玉米的耐旱能力有关还需要进一步进行研究。

本试验测定结果显示,无论是耐旱还是不耐旱基因型玉米,其根系都含有丰富的大量元素。这些元素存在于玉米根系中,玉米收获后根系本身所含有的大量元素在土壤中得以保留,这对土壤有效性元素的含量有很大影响。而且还可以增强土壤的生物活性,同时也促进了土壤新鲜腐殖质的形成和有机酸等居间产物的产生。

玉米对干旱胁迫的耐受性反应是一个非常复杂的生理生化过程,其形态结构的变化与生理指标的变化等都是紧密联系在一起的,是综合性的反应,其确切的耐旱机理还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 刘小芳,张岁岐,山仑,等.玉米单根吸水能力的杂种优势[J].作物学报,2007,33(10):1625—1629.
- [2] 赵黎明,郑殿峰,冯乃杰,等.不同植物生长调节剂对大豆根系生理代谢的影响[J].大豆科学,2008,27(2):242—246.
- [3] 王丹英,韩勃,章秀福,等.水稻根际含氧量对根系生长的影响[J].作物学报,2008,34(5):803—808.
- [4] 王晓琴,袁继超,熊庆娥.玉米抗旱性研究的现状 & 展望[J].玉米科学,2002,10(1):57—60.
- [5] 王春虎,陈士林,赵新亮,等.玉米不同品种幼苗期根水势测定及其抗旱性鉴定[J].河南职业技术学院学报,2004,32(2):9—11.
- [6] Davies W J, Zhang J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil[J]. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1991,42:55—76.
- [7] 陈铭,陈超子,尹崇仁,等.锰、锌对土壤和小麦根系中营养元素浓度的效应[J].土壤通报,1995,96(4):174—177.
- [8] 宋凤斌.玉米生殖器官旱害机理及抗旱应变措施的研究[D].沈阳:沈阳农业大学博士学位论文,1996.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak T. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients[J]. J Exp Bot, 1996, 47:1255—1263.
- [12] 李潮海,刘奎,连艳鲜.玉米碳氮代谢研究进展[J].河南农业大学学报,2000,34(4):318—323.
- [13] 王进军,柯福来,白鸥,等.不同施氮方式对玉米干物质积累及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2008,39(4):392—395.
- [14] 吕丽华,陶洪斌,王璞,等.施氮量对夏玉米碳、氮代谢和氮利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):630—637.
- [15] 周桦,姜子邵,宇万太,等.氮肥用量对玉米体内养分浓度和养分分配的影响[J].中国土壤与肥料,2008,(4):18—21.
- [16] 陈冬梅,司江英,封克.介质pH和氮形态对玉米苗期根系发育的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2006,27(2):36—39.
- [17] 张卫星,赵致,柏光晓,等.不同玉米杂交种对水分和氮胁迫的响应及其抗逆性[J].中国农业科学,2007,40(7):1361—1370.
- [18] 李生秀,李世清,高亚军,等.施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J].干旱地区农业研究,1994,12(1):39—45.
- [19] 张殿忠,汪沛洪.水分胁迫与植物氮代谢的关系 II.水分胁迫时氮素对小麦叶片氮代谢的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),1988,(4):15—21.
- [20] Webb A A R, Mcainsh M R, Taylor J E. Calcium ions as intracellular second messengers in higher plants[J]. Adv Bot Res, 1996, 22:45—96.

Analysis of the content of macro-elements in root system between maize genotypes with different tolerance to drought

LIU Sheng-qun¹, SONG Feng-bin¹, WANG Xiao-bo²

(1. Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;
2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The primary root and the first to ninth layer secondary roots of two maize genotypes of Yedan-13 (drought-tolerant) and Danyu-13 (non drought-tolerant) with different tolerance to drought in the field condition were investigated to study their content of nitrogen, phosphorous, kalin, calcium and magnesium by ICP. The results showed that the total nitrogen and available nitrogen of Danyu-13 were higher than that of Yedan-13 at the most significant difference level ($P<0.01$). And the calcium and magnesium of Yedan-13 were higher than that of Danyu-13 at the most significant difference level ($P<0.01$). However, there were no significant differences in phosphorous and kalin of root between the two genotypes ($P>0.05$).

Keywords: maize; root system; macro-element; tolerance to drought.

(上接第 147 页)

Combination effects of nitrogen, phosphorus, potassium and organic manure on winter wheat in dryland of the Loess Plateau

XU Jing-jing¹, HAO Ming-de², ZHAO Yun-ying³

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect of different fertilizing treatments on dryland wheat yield and water and fertilizer use efficiency was studied. The results show that: The combination of N and P application has the highest fertilizing contribution rate, with a wheat yield of $5\,099.8\text{ kg/hm}^2$ and an increasing rate of 21.5% ; the yield-increasing rate of the combination of N and P application is 14.0% and 18.4% higher than that of N application and P application separately, and there is obviously positive interaction; the increasing rate of wheat yield of the single application of organic manure is 6.63% , 4.12% and 11.3% higher than that of the combination of N and M, P and M, NP and M respectively. Fertilizer complication application can increase wheat yield, water use efficiency and fertilizer utilization, and the complication application of organic manure and N and P can increase fertilizer use efficiency of N and P by 17.71 and 12.55 percentage points; the combination of N and P can both increase the fertilizer use efficiency of N and P, with 15.53% of the contribution ratio of fertilizer component of N and 12.26% of P, which can reduce water consumption coefficient by 21.4% , and increase water use efficiency by 17.57% .

Keywords: winter wheat; yield; water and fertilize use efficiency; Loess Plateau