

玉米初生根和不同层次次生根的直径和大量元素含量的比较分析

刘胜群, 宋凤斌

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012)

摘要: 对大田条件下玉米品种‘掖单 13’(*Zea mays* ‘Yedan 13’)和‘丹玉 13’(*Z. mays* ‘Danyu 13’)初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根的直径及其中的 N、P、K、Ca 和 Mg 含量进行了比较分析。分析结果表明, ‘掖单 13’和‘丹玉 13’初生根直径总体上小于次生根;从第 1 层至第 7 层次生根,基本上为发生时间越晚,根直径越大;而 2 个品种第 7 层至第 9 层次生根基部直径的变化趋势有一定的差异。‘掖单 13’和‘丹玉 13’初生根和不同层次次生根中 N、P、K、Ca 和 Mg 含量差异显著($P < 0.05$);‘掖单 13’初生根中的 N、P、K、Ca 和 Mg 含量分别为 27.36、3.75、14.34、10.19 和 $5.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 不同层次次生根中的 N、P、K、Ca 和 Mg 含量分别为 4.31~8.99、0.91~1.29、4.07~15.27、2.35~5.42 和 $1.52 \sim 4.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;‘丹玉 13’初生根中的 N、P、K、Ca 和 Mg 含量分别为 28.65、4.65、14.54、10.33 和 $6.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 不同层次次生根中的 N、P、K、Ca 和 Mg 含量分别为 7.41~12.70、0.84~1.27、1.81~24.69、2.46~3.73 和 $1.12 \sim 2.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;2 个品种初生根中 N、P、Ca 和 Mg 含量均最高, K 含量也显著高于第 1 层至第 7 层次生根;总体上看,不同层次次生根中的 N、Ca 和 Mg 含量随发生时间的先后呈逐渐降低的趋势, P 和 K 含量随发生时间的先后呈逐渐增加的趋势,但 2 个品种间有一定的差异。研究结果显示,次生根根直径的增大与其对地上部分的固持能力有关。

关键词: 玉米; 初生根; 次生根; 根直径; 大量元素含量

中图分类号: S513.01 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)04-0009-07

Comparative analysis of diameter and macroelement content in primary roots and secondary roots from different layers of *Zea mays* LIU Sheng-qun, SONG Feng-bin (Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(4): 9-15

Abstract: The diameter and contents of N, P, K, Ca and Mg in primary roots (including primary radicle and secondary radicle) and secondary roots from different layers of *Zea mays* ‘Yedan 13’ and *Z. mays* ‘Danyu 13’ were compared and analyzed under the field condition. The analysis results show that the diameter of primary roots is smaller than that of secondary roots generally. The later the occurrence time, the bigger the diameter of secondary roots from the first to the seventh layer, but the changing trend of base diameter of secondary roots from the seventh to the ninth layer of two cultivars has a certain difference. The differences of contents of N, P, K, Ca and Mg in primary roots and secondary roots from different layers of *Z. mays* ‘Yedan 13’ and *Z. mays* ‘Danyu 13’ are significant ($P < 0.05$). The contents of N, P, K, Ca and Mg in primary roots of *Z. mays* ‘Yedan 13’ are 27.36, 3.75, 14.34, 10.19 and $5.94 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and those in secondary roots from different layers are 4.31-8.99, 0.91-1.29, 4.07-15.27, 2.35-5.42 and $1.52 \sim 4.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of N, P, K, Ca and Mg in primary roots of *Z. mays* ‘Danyu 13’ are 28.65, 4.65, 14.54, 10.33 and $6.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and those in secondary roots from different layers are 7.41-12.70, 0.84-1.27, 1.81-24.69, 2.46-3.73 and $1.12 \sim 2.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of N, P, Ca and Mg in primary roots

收稿日期: 2009-01-05

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA10Z227); 国家“973”计划项目(2009CB118601); 吉林省科技发展计划项目(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, 主要从事植物生理生态与农业环境方面的研究。

of two cultivars are the highest, and the content of K in primary roots is obviously higher than those in secondary roots from the first to the seventh layer. On the whole, as occurrence time delaying, N, Ca and Mg contents in secondary roots from different layers decrease, and P and K contents increase, but there is a certain difference between two cultivars. It is concluded that the increasing of secondary root diameter has a relationship with stability to above-ground part.

Key words: *Zea mays* L.; primary root; secondary root; root diameter; macroelement content

玉米(*Zea mays* L.)根系由初生根(种子根)及多轮次生根(节根)组成,随着发生时间和着生位置的不同,行使的功能及对产量的影响也各不相同^[1]。各种大量元素在植物代谢中都具有其特殊的、不可替代的功能,植物体内大量元素的浓度及其代谢变化一直是农学界和植物生理学家的研究热点之一^[2]。

在前期的研究工作中,作者对玉米不同类型根的解剖结构和氨基酸含量等进行了分析^[3],但对不同类型根中的大量元素含量及其分布特点未及研究。已有的研究报道是将单株玉米的全部根系作为一个研究整体,对玉米根系矿质元素的分布进行研究^[4],并未针对玉米根系中不同类型的根进行研究。而研究玉米根系中不同类型的根中大量元素的种类及其含量差异,对于明确不同类型根在玉米生长发育过程中所起的作用是必要的。为此,作者以大田生长的2个玉米品种‘掖单13’(*Z. mays* ‘Yedan 13’)和‘丹玉13’(*Z. mays* ‘Danyu 13’)为实验材料,对其初生根和不同层次的次生根进行划分,并对根直径及其中所含的N、P、K、Ca和Mg的含量进行了分析比较,为玉米根系生长及根系功能的研究提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的2个玉米品种为‘掖单13’(*Zea mays* ‘Yedan 13’)和‘丹玉13’(*Zea mays* ‘Danyu 13’),种植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内。栽培土壤为黑土,0~20 cm耕地层土壤中含有有机质 $26.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $1.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷 $1.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾 $16.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效氮 $118.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、速效磷 $18.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和速效钾 $111.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,土壤容重 $1.12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, pH 6.6。5月份至9月份月平均总降水量为

376.9 mm。于2005年4月28日,均按行距60 cm、株距30 cm进行播种,行长5 m,小区面积 15 m^2 ,3次重复。施肥量为 $457 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N、 $145 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ P_2O_5 、 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ K_2O ,作为底肥一次性施入。9月28日收获。播种及田间管理等措施与当地大田生产相同。

1.2 方法

1.2.1 根类型的划分 根据外部形态、发生部位和功能,将玉米根系分为初生根和次生根2大类。其中初生根包括初生胚根和次生胚根,分别用“P0”和“P1”表示。次生根则为茎基部节间处生长的根,茎的最基部第1节间标注为第1层,其上生长的根为“第1层次生根”,用“S1”表示,向上按节间依次为第2层、第3层……第9层次生根,分别用“S2、S3……S9”表示。

1.2.2 取样方法 采用挖掘法在大田取样。按单株取样,每一品种选取5株样株。于拔节期取初生根及第1层和第2层次生根,于灌浆期取第3层至第9层次生根。取样时,沿着每条根的走向,用镊子和小铲轻轻将根周围的土壤拨开,由浅入深,直至露出根尖为止。按上述方法分别将不同类型及不同层次的根分开,每种类型根均只取1条,带回实验室。将根上面附着的土壤用水冲洗干净,置于 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中处理20 min,然后于 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下烘干至恒质量,冷却至室温后,每条根分别粉碎,过60目筛,用于元素含量的测定。

1.2.3 根直径的测定 初生胚根和次生胚根基部直径的测定部位为根与种子连接处下方2 cm处,次生根基部直径的测定部位为根与茎节连接处下方2 cm。将根上附着的土壤用蒸馏水洗净后,迅速用锋利的刀片切成3~5 mm长的根段,置于FAA固定液中待用。

采用徒手切片的方法测量初生根和第1层至第7层次生根基部直径。将根段横切成厚度为100~200 μm 的薄片,置于载玻片上,在装有测微尺的显

显微镜下测量根直径;第8层和第9层次生根基部直径则用游标卡尺直接测量。

根中部直径的取样部位为根总长的1/2处,取样长度为3~5 mm;根尖直径的取样部位为根毛区,取样长度为3~5 mm。均采用徒手切片方法,在装有测微尺的显微镜下进行观察和测量。

每一品种每小区选10株样株,每一样株每种类型根均随机选择1条进行测量。每一品种每种类型根的直径数据均为30个测量值的平均值。

1.2.4 元素含量的测定 N含量使用连续流动化学分析仪(SKALAR SAN++)测定,Mg、P、K和Ca含量使用高频等离子体发射光谱仪(ICPS-7500)测定。仪器工作条件为温度20℃、相对湿度45%。

1.3 数据分析

采用SPSS 13.0软件对实验数据进行统计和分析;采用ANOVA中的Duncan多重比较检验法进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 玉米初生根和不同层次次生根不同根段根直径分析

玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根和不同层次次生根基部、中部和根毛区的根直径见表1。结果显示,不同玉米品种初生根和不同层次次生根

的基部直径不同,总体上看,初生根的基部直径小于次生根。在‘掖单13’的不同类型根中,次生胚根基部直径最小,初生胚根的基部直径略大于前者;次生根的基部直径均大于初生根,随着发生时间的推迟,从第1层次生根到第2层直至第9层次生根,根基部直径逐渐增大,第9层次生根的基部直径最大。在‘丹玉13’的不同类型根中,次生胚根基部直径最小,初生胚根基部直径略大于第1层和第2层次生根的基部直径,但小于其他层次的次生根;第7层次生根的基部直径最大,而后发生的第8层和第9层次生根基部直径逐渐减小。

就初生根而言,‘掖单13’和‘丹玉13’2个玉米品种初生胚根的基部、中部和根毛区的直径略有差别。‘掖单13’初生胚根不同部位的直径由小至大依次为:基部直径、中部直径、根毛区直径;‘丹玉13’初生胚根不同部位的直径由小至大依次为:根毛区直径、基部直径、中部直径。由此可见,在生育前期,不同品种玉米的初生胚根直径均略微增粗,在之后的生长过程中则表现出不同的趋势,即‘掖单13’的初生胚根随生长期延长略微增粗,‘丹玉13’的初生胚根直径则随生长期延长趋小。2个玉米品种的次生胚根基部、中部和根毛区直径的变化趋势与初生胚根类似。

就不同层次的次生根而言,‘掖单13’第1层和第3层次次生根根直径的变化趋势是:基部直径最大,

表1 玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根和不同层次次生根不同根段根直径的比较

Table 1 Comparison of root diameter of different parts of primary roots and secondary roots from different layers of *Zea mays* ‘Yedan 13’ and *Zea mays* ‘Danyu 13’

根类型 ¹⁾ Root type ¹⁾	‘掖单13’的根直径/mm Root diameter of ‘Yedan 13’			‘丹玉13’的根直径/mm Root diameter of ‘Danyu 13’		
	基部 Base	中部 Middle	根毛区 Root hair zone	基部 Base	中部 Middle	根毛区 Root hair zone
P0	1.125 ± 0.113	1.187 ± 0.182	1.202 ± 0.115	1.251 ± 0.127	1.300 ± 0.115	1.110 ± 0.145
P1	0.825 ± 0.085	0.824 ± 0.096	0.826 ± 0.096	0.652 ± 0.071	0.831 ± 0.094	0.852 ± 0.096
S1	1.175 ± 0.098	0.976 ± 0.099	1.051 ± 0.099	1.003 ± 0.103	0.625 ± 0.072	1.202 ± 0.123
S2	1.250 ± 0.113	1.175 ± 0.113	1.047 ± 0.121	1.175 ± 0.116	0.824 ± 0.091	1.203 ± 0.141
S3	2.625 ± 0.190	0.926 ± 0.097	1.021 ± 0.153	2.575 ± 0.254	1.701 ± 0.099	1.021 ± 0.112
S4	3.350 ± 0.312	1.327 ± 0.114	1.232 ± 0.116	3.751 ± 0.362	1.752 ± 0.163	1.103 ± 0.096
S5	3.525 ± 0.321	1.625 ± 0.153	1.191 ± 0.128	4.253 ± 0.398	1.511 ± 0.174	1.202 ± 0.151
S6	4.951 ± 0.502	1.701 ± 0.134	1.053 ± 0.116	4.804 ± 0.396	2.503 ± 0.263	1.115 ± 0.142
S7	6.001 ± 0.741	2.150 ± 0.228	0.931 ± 0.097	7.003 ± 0.698	3.075 ± 0.321	0.993 ± 0.096
S8	7.012 ± 0.756	0.875 ± 0.092	0.810 ± 0.068	5.501 ± 0.489	1.010 ± 0.111	0.804 ± 0.082
S9	7.503 ± 0.779	1.651 ± 0.135	0.782 ± 0.085	3.750 ± 0.412	1.575 ± 0.168	0.781 ± 0.069

¹⁾ P0和P1分别表示初生根中的初生胚根和次生胚根 P0 and P1 represent the primary radicle and the secondary radicle of primary roots, respectively; S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8和S9分别表示第1层、第2层、第3层、第4层、第5层、第6层、第7层、第8层和第9层次生根 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 and S9 represent the secondary roots from the first, second, third, fourth, fifth, sixth, seventh, eighth and ninth layer, respectively.

根毛区直径略小,中部直径最小;第2层次生根根直径的变化趋势是:基部直径最大,中部直径略小,根毛区直径最小。‘丹玉13’第1层和第2层次生根根直径的变化趋势是:根毛区直径最大,基部直径略小,中部直径最小;第3层次生根根直径的变化趋势是:基部直径最大,中部直径略小,根毛区直径最小。2个品种第4层至第9层次生根根直径的变化趋势均为:基部直径最大,中部直径略小,根毛区直径最小。说明这2个玉米品种的次生根从基部到根毛区根直径是逐渐变小的,尤其以第7层、第8层及第9层次生根根直径变幅较大。

对同一品种不同层次次生根的基部直径进行比

较,可以看出,品种‘掖单13’从第1层次生根到第9层次生根,发生时间越晚,基部直径越大;而品种‘丹玉13’从第1层次生根到第7层次生根也是发生时间越晚基部直径越大,至第7层次生根基部直径达到最大值,而后发生的第8层和第9层次生根基部直径逐渐减小。

2.2 玉米初生根和不同层次次生根中 N、P 和 K 含量分析

玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根中 N、P 和 K 含量的分析结果见表2。

表2 玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根和不同层次次生根中 N、P 和 K 含量的比较¹⁾

Table 2 Comparison of N, P and K contents in primary roots and secondary roots from different layers of *Zea mays* ‘Yedan 13’ and *Zea mays* ‘Danyu 13’¹⁾

根类型 Root type	N 含量/g · kg ⁻¹ N content		P 含量/g · kg ⁻¹ P content		K 含量/g · kg ⁻¹ K content	
	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13	掖单13 Yedan 13	丹玉13 Danyu 13
P0 + P1	27.36 ± 2.35a	28.65 ± 2.57a	3.75 ± 0.31a	4.65 ± 0.45a	14.34 ± 1.53b	14.54 ± 1.53c
S1	8.85 ± 0.98c	12.70 ± 1.21b	0.96 ± 0.10d	0.84 ± 0.10j	4.07 ± 0.46j	1.81 ± 0.16j
S2	8.81 ± 0.89c	11.66 ± 1.13d	0.91 ± 0.10g	0.86 ± 0.09i	4.07 ± 0.42i	3.02 ± 0.32i
S3	8.99 ± 0.88b	12.43 ± 1.15c	0.95 ± 0.11e	0.91 ± 0.11h	5.59 ± 0.56h	3.39 ± 0.35h
S4	6.27 ± 0.71e	10.38 ± 1.23f	0.94 ± 0.09f	1.03 ± 0.13g	6.99 ± 0.74g	4.03 ± 0.39g
S5	6.40 ± 0.69d	11.22 ± 1.33e	0.94 ± 0.13f	1.03 ± 0.11f	7.28 ± 0.76f	5.78 ± 0.56f
S6	4.73 ± 0.51f	9.17 ± 1.02h	1.07 ± 0.12c	1.10 ± 0.15d	8.68 ± 0.84e	7.42 ± 0.76e
S7	4.78 ± 0.49f	9.37 ± 0.99g	1.29 ± 0.13b	1.08 ± 0.14e	11.03 ± 1.24d	13.32 ± 1.23d
S8	4.63 ± 0.54g	8.77 ± 0.92i	1.29 ± 0.12b	1.25 ± 0.13c	12.73 ± 1.25c	16.34 ± 1.76b
S9	4.31 ± 0.47h	7.41 ± 0.86j	1.29 ± 0.14b	1.27 ± 0.14b	15.27 ± 1.33a	24.69 ± 2.35a

¹⁾ P0 和 P1 分别表示初生根中的初生胚根和次生胚根 P0 and P1 represent the primary radicle and the secondary radicle of primary roots, respectively; S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 和 S9 分别表示第1层、第2层、第3层、第4层、第5层、第6层、第7层、第8层和第9层次生根 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 and S9 represent the secondary roots from the first, second, third, fourth, fifth, sixth, seventh, eighth and ninth layer, respectively. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P=0.05$) The different small letters in the same column indicate the significant difference ($P=0.05$).

2.2.1 N 含量的比较 由表2可见,品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根中 N 含量有一定的差异,其中初生根中 N 含量均为最高,是各层次次生根中 N 含量平均值的 2.77 ~ 4.26 倍。‘掖单13’和‘丹玉13’不同层次次生根中的 N 含量也各异,总体趋势为:按发生时间的先后 N 含量逐渐减少,其中第1层、第2层和第3层次生根中 N 含量较高。‘掖单13’和‘丹玉13’第1层至第3层次生根中 N 含量的平均值分别为 8.88 和 12.26 g · kg⁻¹,第4层和第5层次生根中 N 含量的平均值分别为 6.34 和 10.80 g · kg⁻¹,第6层和第7层次生根中 N 含量的平均值分别为 4.76

和 9.27 g · kg⁻¹,第8层和第9层次生根中 N 含量的平均值分别为 4.47 和 8.09 g · kg⁻¹,显示出第8层和第9层次生根中的 N 含量最低。

对初生根及不同层次次生根中 N 含量进行差异显著性分析,结果表明,除‘掖单13’第1层和第2层次生根间及第6层和第7层次生根间的 N 含量差异不显著外($P>0.05$),‘掖单13’的初生根及各层次次生根间 N 含量的差异均达显著水平($P<0.05$);‘丹玉13’的初生根及第1层至第9层次生根间 N 含量的差异均达显著水平($P<0.05$)。

2.2.2 P 含量的比较 由表2可见,在‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)和

同层次次生根中,初生根中的P含量最高,是各层次次生根中P含量平均值的3.50~4.47倍。‘掖单13’和‘丹玉13’不同层次次生根中的P含量各不相同,但差异不大。2个品种不同层次次生根中P含量的总变化趋势为:先发生的次生根中P含量低于后发生的次生根。第1层至第5层次生根中的P含量低于各类型次生根P含量的平均值,第6层至第9层次生根中的P含量高于各类型次生根P含量的平均值。

对‘掖单13’和‘丹玉13’初生根及不同层次次生根中的P含量进行差异显著性分析,结果表明,除‘掖单13’第4层和第5层次生根间及第7层、第8层和第9层次生根间P含量的差异并未达显著水平($P>0.05$)外,‘掖单13’的初生根及各层次次生根中P含量的差异均达到显著水平($P<0.05$);‘丹玉13’的初生根及第1层至第9层次生根中P含量的差异均达到显著水平($P<0.05$)。

2.2.3 K含量的比较 由表2可见,玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)及不同层次次生根中的K含量有一定的差异。‘掖单13’和‘丹玉13’初生根中的K含量均相对较高,不同层次次生根中的K含量差异较大。‘掖单13’和‘丹玉13’第1层次生根中的K含量均最低,分别仅为4.07和1.81 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;随着次生根发生时间的推迟,第2层至第9层次生根中的K含量逐渐

增加,至第9层次生根中K含量最高,分别达到15.27和24.69 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;‘掖单13’和‘丹玉13’第9层次生根中的K含量分别是第1层次生根中K含量的3.75~13.64倍。

对‘掖单13’和‘丹玉13’初生根及不同层次次生根中K含量进行差异显著性分析,结果表明,‘掖单13’和‘丹玉13’的初生根及第1层至第9层次生根间K含量的差异均达到显著水平($P<0.05$)。

2.3 玉米初生根和不同层次次生根中Ca和Mg含量分析

玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根中Ca和Mg含量的分析结果见表3。

2.3.1 Ca含量的比较 由表3可以看出,玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根中的Ca含量有一定的差异,均以初生根中的Ca含量最高,是各层次次生根中Ca含量平均值的2.70~3.51倍;第1层次生根中的Ca含量低于初生根,较初生根的Ca含量低4.77~6.60 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,但高于其他层次次生根中的Ca含量。除‘丹玉13’的第3层次生根中的Ca含量略低外,总体上看,‘掖单13’和‘丹玉13’的第1层至第6层次生根中的Ca含量均呈逐渐降低的趋势;第7层至第9层次生根中Ca含量较第6层次生根又有所增加,与第6层次生根中的Ca含量相比,‘掖

表3 玉米品种‘掖单13’和‘丹玉13’初生根和不同层次次生根中Ca和Mg含量的比较¹⁾

Table 3 Comparison of Ca and Mg contents in primary roots and secondary roots from different layers of *Zea mays* ‘Yedan 13’ and *Zea mays* ‘Danyu 13’¹⁾

根类型 Root type	Ca 含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Ca content				Mg 含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Mg content			
	掖单13	Yedan 13	丹玉13	Danyu 13	掖单13	Yedan 13	丹玉13	Danyu 13
PO + PI	10.19 ± 1.03a		10.33 ± 1.24a		5.94 ± 0.51a		6.04 ± 0.61a	
S1	5.42 ± 0.57b		3.73 ± 0.36b		4.06 ± 0.41b		2.73 ± 0.23b	
S2	5.06 ± 0.59c		3.35 ± 0.34c		2.91 ± 0.31d		2.50 ± 0.25c	
S3	4.76 ± 0.51d		3.32 ± 0.38e		3.23 ± 0.33c		2.22 ± 0.23d	
S4	4.05 ± 0.49e		3.34 ± 0.34d		2.60 ± 0.29e		1.91 ± 0.28e	
S5	2.66 ± 0.23i		2.57 ± 0.32h		1.52 ± 0.22j		1.70 ± 0.18f	
S6	2.35 ± 0.25j		2.46 ± 0.26j		1.53 ± 0.19i		1.28 ± 0.14h	
S7	3.16 ± 0.32g		2.65 ± 0.28f		1.54 ± 0.14h		1.27 ± 0.12i	
S8	3.58 ± 0.33f		2.58 ± 0.27g		1.80 ± 0.16f		1.34 ± 0.14g	
S9	2.99 ± 0.31g		2.48 ± 0.25i		1.55 ± 0.17g		1.12 ± 0.13j	

¹⁾ PO和PI分别表示初生根中的初生胚根和次生胚根 PO and PI represent the primary radicle and the secondary radicle of primary roots, respectively; S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8和S9分别表示第1层、第2层、第3层、第4层、第5层、第6层、第7层、第8层和第9层次生根 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 and S9 represent the secondary roots from the first, second, third, fourth, fifth, sixth, seventh, eighth and ninth layer, respectively. 同列不同的小写字母表示差异显著($P=0.05$) The different small letters in the same column indicate the significant difference ($P=0.05$).

单13'和'丹玉13'第7层次生根中Ca含量增加了 $0.19 \sim 0.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,第8层次生根中Ca含量增加了 $0.12 \sim 1.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,第9层次生根中Ca含量增加了 $0.02 \sim 0.64 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

对'掖单13'和'丹玉13'初生根(包括初生胚根和次生胚根)及不同层次次生根中的Ca含量进行差异显著性分析,结果表明,'掖单13'和'丹玉13'的初生根及第1层至第9层次生根中Ca含量的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3.2 Mg含量的比较 由表3可见,玉米品种'掖单13'和'丹玉13'初生根(包括初生胚根和次生胚根)和不同层次次生根中Mg含量的变化趋势有一定的差异,初生根中的Mg含量均显著高于次生根,是各层次次生根中Mg含量平均值的 $2.58 \sim 3.38$ 倍。总体上看,随发生时间的先后,'掖单13'和'丹玉13'次生根中Mg含量呈逐渐降低的趋势,但2个品种间的变化趋势略有差异。'掖单13'第3层次生根的Mg含量高于第2层次生根,第8层次生根中的Mg含量则显著高于第7层和第9层次生根;而'丹玉13'则为第8层次生根中的Mg含量高于第7层和第9层次生根,其他各层次次生根中的Mg含量均随发生时间的推迟逐渐降低。

对'掖单13'和'丹玉13'初生根及次生根中的Mg含量进行差异显著性分析,结果表明,'掖单13'和'丹玉13'的初生根及第1层至第9层次生根中Mg含量的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

3 讨 论

根系直径是影响养分吸收的比较重要的指标^[5],并对植株的固持作用有重要影响^[6-7],但关于田间作物根系直径的研究很少。以往的研究结果显示,不同深度的土层中根系直径不同,通常情况下,表层土壤中的根系直径大于深层土壤中的根系直径^[8-9]。总的来说,玉米品种'掖单13'和'丹玉13'初生根(包括初生胚根和次生胚根)和次生根的根基部直径最大,根中部直径略细,根毛区直径最小,也说明了根系直径与土层深度的关系。因为从根系在土壤中的生长过程来看,玉米的根系首先是发生于土壤表层,而后逐渐向下生长,一般情况下根毛区入土最深(特殊情况除外),根毛区直径也最细。

不同播种方式下根系直径不同,通常是免耕大

于非免耕^[10],对这一现象的解释是,免耕条件下生育前期较低的土壤温度可能有利于根系直径增大。不同直径的根内部的解剖结构不同,在吸收和运输养分时所起的作用和能力也存在差异^[11],通常情况下粗根更易固持和伸展,并有利于根系的长久发展,而细根在增强植物对水分和养分的吸收中起着非常重要的作用^[12]。作者的研究结果显示,玉米品种'掖单13'的第7层至第9层次生根的根基部直径最大,玉米品种'丹玉13'的第6层至第8层次生根的根基部直径最大,推测与次生根对玉米地上部分的固持作用有关。此时,植株地上部高大,要求根系的固持能力增强,而发生时间较晚的次生根基部粗壮,则为强有力地支撑植株地上部提供了物质条件。此外,根的直径可能也与根的使用寿命相关^[13]。同时,根系所在的土壤养分状况也影响根系的形态,其中以N和P的供应对作物根系的生长、形态以及根系在介质中分布的影响最为明显^[14-15]。玉米初生根和次生根不同根段直径的差异也揭示出根系直径受到遗传与环境的共同影响。

玉米根系虽然是一个功能性整体,但由于不同类型根在生育期内的发生时间不同,导致它们在生长发育过程中所起的作用也存在差异。初生根在苗期吸收水分和养分方面起着重要作用,而在生长后期,植株吸收水分和养分主要依靠次生根^[16]。对玉米品种'掖单13'和'丹玉13'初生根和第1层至第9层次生根中元素含量的分析结果表明,'掖单13'和'丹玉13'的不同类型根间N、P、K、Ca和Mg含量均存在显著差异($P < 0.05$),其中,初生根(包括初生胚根和次生胚根)中的N、P、Ca和Mg含量均显著高于第1层至第9层次生根($P < 0.05$);初生根(包括初生胚根和次生胚根)中K含量也显著高于第1层至第6层次生根。

根据玉米品种'掖单13'和'丹玉13'不同层次次生根中N、P和K的含量分布特点,可将次生根划分为2组,第1层至第5层次生根为第1组,第6层至第9层次生根为第2组,其中,第1组次生根的N含量高于第2组,而P和K含量则低于第2组。根据不同层次次生根中Ca和Mg含量的分布特点,也可将次生根划分为2类,第1层至第4层次生根为第1类,第5层至第9层次生根为第2类,其中,第1类次生根的Ca和Mg含量高于第2类。对不同层次次生根中的N、P、K、Ca和Mg含量进行综合分析,可

将次生根分为2组,第1层至第4(5)层次生根为一组,第5(6)层至第9层次生根为另一组,将这一分组结果应用于以后的相关研究中,可以简化取样过程、节约实验成本。

玉米的初生根和次生根中营养元素含量存在一定的差异,特别是不同层次的次生根中 N、P、K、Ca 和 Mg 含量存在显著差异,这种差异形成的原因是什么?是否与不同类型的根在作物生命活动过程中所承担的不同生理功能有关?这种差异对玉米的生长发育有何意义?这一系列问题还有待进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 刘胜群,宋凤斌. 玉米生殖生长期根系主要游离氨基酸含量分析[J]. 华北农学报, 2007, 22(1): 35 - 39.
- [4] 李少昆,涂华玉,张旺峰. 玉米根系生长及其所含营养物质成分的研究[J]. 玉米科学, 1993, 1(1): 44 - 47.
- [5] Qin R J, Stamp P, Richner W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85: 50 - 61.
- [6] Ennos A R, Crook M J, Grimshaw C. A comparative study of the anchorage systems of Himalayan balsam *Impatiens glandulifera* and mature sunflower *Helianthus annuus* [J]. Journal of Experimental Botany; 1993, 44: 133 - 146.
- [7] Crook M J. 冬小麦的次生根性状与倒伏抗性[J]. 黄炳羽,译. 国外农学: 麦类作物, 1995(2): 31 - 34.
- [8] Schenk M K, Barber S A. Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics [J]. Plant and Soil, 1980, 54(1): 65 - 76.
- [9] Holanda F S R, Mengel D B, Paula M B, et al. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1998, 29: 2383 - 2394.
- [10] Mello Ivo W M P, Mielniczuk J. Influence of soil structure on the distribution and morphology of corn roots under three tillage methods [J]. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1999, 23: 135 - 143.
- [11] Doussan C, Pagès L, Vercambre G. Modelling of the hydraulic architecture of root systems: an integrated approach to water absorption-model description [J]. Annals of Botany, 1998, 81: 213 - 223.
- [12] McCully M E. Root xylem embolisms and refilling. Relation to water potentials of soil, roots, and leaves, and osmotic potentials of root xylem sap [J]. Plant Physiology, 1999, 119: 1001 - 1008.
- [13] Aguirrezabal L A N, Tardieu F. An architectural analysis of the elongation of field-grown sunflower root systems. Elements for modelling the effects of temperature and intercepted radiation [J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 411 - 420.
- [14] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients [J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1255 - 1263.
- [15] 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.
- [16] 戴俊英. 玉米形态与超微结构图谱[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1990.

《中国野生植物资源》2010年征订启事

《中国野生植物资源》是由中华全国供销合作总社主管、南京野生植物综合利用研究院主办的科技类期刊。1982年创刊,公开发行,双月刊。本刊是中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库和“万方数据——数字化期刊群”入编期刊。本刊宗旨是报道野生经济植物最新科研成果,介绍野生植物综合利用、栽培、引种技术,以普及与提高相结合的方式加强从事野生经济植物开发利用者的相互交流,为我国经济建设服务。主要栏目包括研究论文、资源介绍、综合开发、栽培技术、加工新工艺、新技术等。主要读者对象为农林、食品、医药、土特产、轻化工等部门的科研、教学及生产人员。

国内统一连续出版物号: CN 32 - 1381/Q, 国际标准连续出版物号: ISSN 1006 - 9690。每期定价 5.0 元,全年 6 期共 30.0 元;邮发代号: 28 - 245, 欢迎到当地邮局订阅。如需补订,可与编辑部直接联系。编辑部地址: 江苏省南京市蒋王庙街 4 号, 邮政编码 210042; 电话: 025 - 85472153; E-mail: yszy@co-plant.com。