

# 不同耐旱性玉米根系解剖结构比较研究

刘胜群<sup>1,2</sup>, 宋凤斌<sup>1\*</sup>

(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:** 以大田生长的不同耐旱性玉米品种为试验材料, 采用徒手切片法和常规石蜡切片法对玉米的初生根和各层次生根的基部、中部和根毛区显微结构进行了系统研究和比较。结果显示: 与不耐旱品种玉米的根系相比, 耐旱玉米的初生胚根的皮肤细胞层数较少, 木质部导管数量较多、导管直径较小; 各层次生根的皮肤细胞层数相对较少, 木质部导管数量相对较多, 导管直径相对较小。

**关键词:** 玉米; 耐旱性; 根系; 解剖结构

**中图分类号:** S 513.01   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0086-06

玉米对干旱较敏感, 经常因干旱胁迫而造成产量损失<sup>[1]</sup>。玉米的不同耐旱品种对干旱胁迫的反应和适应性不同, 因此种植耐旱品种已成为减少干旱造成产量损失的有效手段<sup>[2]</sup>。显然, 玉米耐旱品种在农业生产中占有重要位置。玉米耐旱性研究已愈来愈引起人们的高度重视。根系作为植株体吸收水分的重要器官, 与耐旱能力存在着十分密切的关系<sup>[3]</sup>。耐旱品种的根系必然存在着与耐旱能力相适应的稳定的遗传特性, 根系形态结构上的适应性便是其中的一部分。因此在耐旱性研究中, 对根系结构的研究是研究工作的基础<sup>[4]</sup>。但对根系解剖结构的研究, 国内外有关这方面的报道还不多<sup>[5,9]</sup>。本文研究和比较了生长于大田的不同耐旱品种玉米根系的显微结构, 从解剖结构角度阐明玉米耐旱性的机制, 本研究对于培育玉米耐旱新类型也是有必要的。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与试验设计

供试玉米为耐旱品种掖单 13 号(文中简称为 YD-13)和不耐旱品种丹玉 13(文中简称为 DY-13)(已经过耐旱性鉴定)<sup>[7]</sup>。

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。试验土壤为黑土, 土壤肥力为中上等水平。试验地共分为两个小区, 每一品种为一个小区, 每小区面积为 1 500 m<sup>2</sup>。播种、田间管理等一切农事活动与当地大田生产相同。

### 1.2 取样及测定方法

于拔节期取初生根和第一、第二层次生根, 于灌浆期取第三层至第九层次生根。取样采用挖掘法于大田取样。具体操作方法为沿着根的走向将根周围的土去除, 从根基部开始, 逐渐向下去除根周围的土, 直至露出根尖为止。

根基部直径测定部位为根与植株体相连接处以下 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, 放于 FAA 固定液中待用。初生根和第一层至第七层次生根基部的测量是采用制作徒手切片的方法, 将根段横切成 100~200 μm 的薄片, 放于载玻片上, 然后在装有测微尺的显微镜上进行根直径的测量, 与此同时进行显微结构观察; 第八层和第九层次生根基部直径的测量是用游标卡尺直接测量其直径, 而后制成徒手切片于显微镜下进行显微结构观察。根中部取样部位为根总长的 1/2 处, 取样长度为 3~5 mm, 采用制作徒手切片的方法, 借助装有测微尺的显微镜进行观察和测量; 根尖取样部位为根毛区, 取样长度为 3~5 mm, 观察和测量方法与根中部的的方法相同。以上测定结果为 30 次平行样的平均值。测定后选取有代表性的材料制作成石蜡切片。石蜡切片厚度为 10~12 μm, 番红-固绿双重染色, 光学显微镜下观察并照相。

玉米的初生胚根文中用简称“0”表示; 根据次生根发生时间各层次生根分别称为“第一层次生根”(文中用简称“1”表示), 第二层次生根(文中用“2”表示)……, 余类推。

收稿日期: 2006-07-17

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA10Z227)

作者简介: 刘胜群(1976-), 女, 吉林四平市人, 在读博士, 研究方向为农业环境与作物生理生态。E-mail: lsq@neigae.ac.cn。

\* 通讯作者: 宋凤斌. E-mail: songfb@neigae.ac.cn。

文中数据采用SPSS 11.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米不同耐旱品种根系直径比较研究

测定了玉米初生根和各层次生根的基部、中部和根尖根毛区的直径 ( $n=30$ ) (图1)。结果显示,同一植株不同类型根基部直径相比较,品种“掖单13”以初生胚根直径为最小,其次是第一层次生根,而后逐层增大,第九层次生根直径最大,为7.50 mm。品种“丹玉13”的初生胚根基部直径比第一层和第二层次生根基部直径略大,但小于其它层次生根;次生根直径最大值出现在第七层,直径达7.05 mm,第八层和第九层次生根基部直径小于第七层次生根基部直径。对于单条根而言,两品种的初生胚根的根基部、根中部和根毛区的直径相差不大。掖单13初生胚根各部位直径大小顺序为:基部直径<中部

直径<根毛区直径;丹玉13初生胚根各部位直径大小顺序为:根毛区直径<基部直径<中部直径。可见,两品种的初生胚根从基部至中部其直径略微增大,表明初生胚根在生育前期其直径略微增粗,而在以后的生长过程中则表现出了不同的趋势,即“掖单13”略微增粗,“丹玉13”则变细。第一层和第二层次生根与初生胚根直径大小相近,“掖单13”的第一层和第二层次生根各部位直径以的基部直径最大,其次是根毛区直径,中部直径最小;“丹玉13”则以根毛区的直径为最大,基部直径次之,中部直径最小。第三层至第九层次生根均以根基部直径最大,中部直径次之,根毛区直径最小,说明第三层至第九层次生根在生长过程中其直径是逐渐变细的,尤其第七层、第八层和第九层次生根在生长过程中变细的幅度最大。

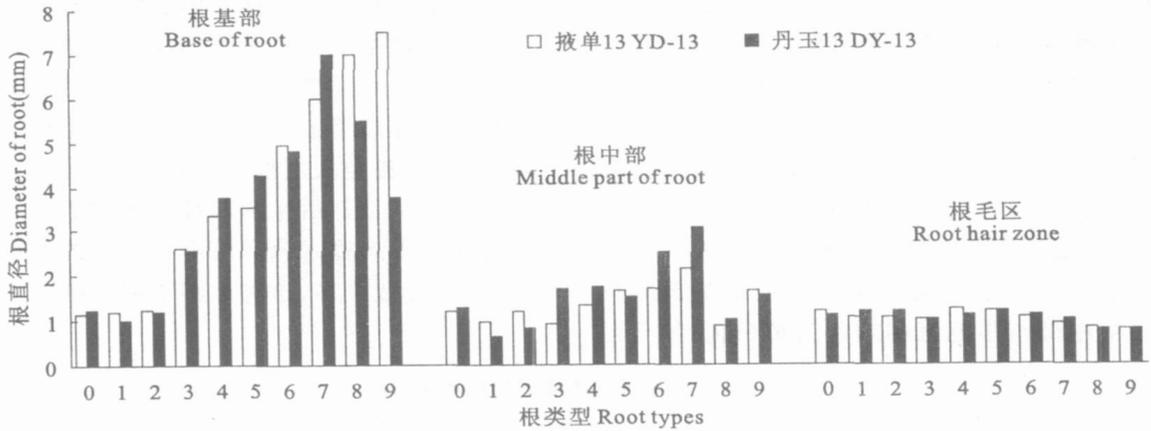


图1 玉米不同类型根直径

Fig. 1 The diameter of different root types of maize

两品种相比较,“掖单13”的第一、第二、第三、第六、第八和第九层次生根的基部直径大于“丹玉13”相对应的各层根的基部直径。比较两品种单株各层根系的平均值发现,耐旱品种“掖单13”的单株各层根基部直径均值(3.851 mm)大于不耐旱品种“丹玉13”的单株各层根基部直径均值(3.501 mm)。这一结果与安红卫<sup>[8]</sup>在水稻上的研究结果相一致。

### 2.2 玉米根横切面显微结构研究

玉米各类型根的横切面显微结构组成相似见图2。即根的最外一层为表皮细胞,细胞较小且细胞之间排列紧密。表皮以内的皮层由数列细胞构成,其中靠近表皮的几列皮层细胞和靠近中柱的内皮层细胞相对较小,中间的细胞相对较大,在根中部的皮层细胞间可见气腔,而根毛区的皮层薄壁细胞排列规

则,未见到气腔。根的内皮层细胞紧紧围绕着中柱鞘,细胞之间排列紧密,细胞扁平,平周壁长,马蹄形的凯氏带在各层根的基部和中部明显。根中柱的中柱鞘细胞排列紧密,且小于中柱内的薄壁细胞,根中柱鞘内几乎等距分散排列着若干个木质束,韧皮部与之相间排列。

2.2.1 玉米不同耐旱品种初生根横切面显微结构比较研究 玉米的初生根包括初生胚根和初生不定根。初生胚根是玉米籽粒萌发时最初发生的根,初生不定根是在中胚轴上长出的不定根。玉米的初生胚根基部、中部和根毛区的横切面显微结构观察显示,两品种的初生胚根基部和中部的表皮细胞和近表皮的皮层细胞偶见脱落现象,但根毛区的表皮细胞结构完好。在初生胚根的基部和中部的皮层薄壁细胞排列整齐,未见气腔,内皮层细胞排列紧密,凯

氏带明显。木质部导管较大,呈均匀散在排列。根基部和中部的后生木质部导管和中柱鞘之间排列着原生木质部导管,在原生木质部导管之间夹着韧皮组织,原生导管壁厚而孔小,之间的筛管更小,不易区分。

两品种初生胚根的显微结构相比较,发现“掖单 13”的皮层细胞为 6~10 层,细胞形状差别不大,后生木质部导管数量为 8,直径为 50~62.5  $\mu\text{m}$ (图版 1~3)。而“丹玉 13”皮层细胞为 9~12 层,层与层之间的细胞形状差别较大,外层细胞较小,从外到内逐渐增大,内层细胞较大。后生木质部导管 7 个,直径为 70~75  $\mu\text{m}$ (图版 4~6)。

玉米初生不定根的横切面显微结构与初生胚根相比,“掖单 13”初生不定根的直径减少了 20%~27%,其皮层细胞层数为 5~8 层,后生木质部导管数量和直径与初生胚根相近。而“丹玉 13”的初生不定根直径减少了 40%~50%,后生木质部导管为 5 个,并且在根中部的皮层细胞间发现气腔存在。

2.2.2 玉米不同耐旱品种各层次生根横切面显微结构研究比较 观察了不同耐旱品种各层次生根横切面显微结构,发现玉米各层次生根的显微结构存在差异,并且相同层次的次生根的根基部,根中部和根毛区的显微结构也存在明显差异。

从外观看,第一层至第六层次生根根基部颜色为暗褐色,根中部与根毛区的颜色为黄白色,第七层

次生根的基部、中部和根毛区颜色差异不大,呈现黄白色,第八层和第九层次生根的基部为绿色,根的中部和根毛区呈现黄白色。与初生根相比较,各层次生根的根基部后生木质部导管数量增加,皮层细胞层数增加。

两品种玉米的第一层至第九层次生根基部横切面显微结构观察(表 1)显示(图版 7, 10, 13, 16),表皮和近表皮的几列皮层细胞较小,排列紧密,细胞偶见脱落现象,细胞壁木栓化现象明显。尤其第六层至第九层次生根的表皮和近表皮的皮层细胞的细胞壁表现出特别明显的增厚栓化特征,并且发生时期越晚,发生这种增厚现象的细胞层数就越多。这一结构特征对于根系固定支持作用的发挥着极其重要的作用。这种栓化增厚结构可使根的支撑作用得以加强,对防止植株倒伏有很大作用。在根的内皮层和外皮层之间的薄壁细胞之间可见较多的气腔,且气腔面积较大。中柱鞘细胞的细胞壁及中柱内的薄壁细胞的细胞壁也可见明显的增厚栓化特征。中柱内的后生木质部导管随着次生根发生时期的延长其数量也逐渐增加,其中,第一层次生根的导管数目较少,其它各类次生根的导管较多,尤以第六层至第八层次生根基部后生木质部导管数最多。由于导管主要承担着运输水分和溶解于其中的无机盐的运输作用,导管数量多,这种运输功能也越强。

表 1 玉米次生根基部显微结构特征 ( $n=30$ )

Table 1 Microstructure on transverse section basilar part of secondary root of maize

特征值 Characteristic value	品种 Variety	1	2	3	4	5	6	7	8	9
中柱直径/根直径 Diameter stele / Diameter root	YD-13	0.44	0.46	0.58	0.61	0.64	0.66	0.63	0.68	0.65
	DY-13	0.51	0.64	0.58	0.67	0.55	0.67	0.67	0.65	0.68
皮层细胞层数 Layer numbers of cortex	YD-13	12	11	18	18	25	26	25	25	22
	DY-13	8	11	25	25	33	27	30	26	21
后生木质部导管数 Number of metaxylem vessel	YD-13	9	11	25	33	30	54	48	70	58
	DY-13	10	21	21	38	26	46	43	33	40
导管长径 ( $\mu\text{m}$ ) Long diameter of vessel	YD-13	92	101	132	123	115	117	128	151	132
	DY-13	111	118	141	181	123	142	148	143	128

注:YD-13 代表掖单 13;DY-13 代表丹玉 13;1,2,3,4,5,6,7,8,9 分别代表相对应的各层次生根,下同。

Note: YD-13: Yedan 13; DY-13: Danyu 13; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 denote corresponding secondary root, the same below.

各层次生根的中部(表 2)(图版 8, 11, 14, 17)和根毛区(表 3)(图版 9, 12, 15, 18)的显微结构观察显示,与其根基部相比较,根中部近表皮的皮层细胞的细胞壁增厚现象较少见,根毛区未见增厚现象。根中部和根毛区的皮层细胞层数少于根基部,且细胞之间排列紧密。各层次生根的中部后生木质部导管

的数量小于根基部,而大于根毛区的数量。

不同耐旱品种玉米次生根显微结构比较,“掖单 13”根基部与表皮相邻的 1~3 列皮层细胞较小,排列紧密,细胞壁增厚明显,表皮及近表皮的皮层细胞有脱落现象(图版 10, 16)。根中部近表皮的皮层细胞未见细胞壁增厚现象。而“丹玉 13”根基部近表皮

的1~3列皮层细胞的细胞壁增厚现象不及‘掖单13’(图版7,13)。“丹玉13”根中部皮层细胞数量较少,排列较疏松,且气腔较大(图版8)。“掖单13”除第二层

次生根根基部后生木质部导管数量少于“丹玉13”外,其它各层根的后生木质部导管数均大于“丹玉13”相应次生根的根基部后生木质部导管数量。

表2 次生根中部显微结构特征( $n=30$ )

Table 2 Microstructure on transverse section middle part of secondary root

特征值 Characteristic value	品种 Variety	1	2	3	4	5	6	7	8	9
中柱直径/根直径 Diameter stele / Diameter root	YD-13	0.60	0.58	0.53	0.45	0.52	0.60	0.55	0.55	0.36
	DY-13	0.46	0.43	0.52	0.60	0.54	0.58	0.58	0.55	0.59
皮层细胞层数 Layer numbers of cortex	YD-13	9	9	15	16	18	14	16	16	16
	DY-13	8	11	17	18	20	15	20	18	15
后生木质部导管数 Number of metaxylem vessel	YD-13	6	11	9	15	23	22	28	20	16
	DY-13	6	11	15	18	15	23	30	22	22
导管长径( $\mu\text{m}$ ) Long diameter of vessel	YD-13	71	112	97	108	126	119	103	126	53
	DY-13	110	115	178	129	127	141	111	102	112

表3 次生根根毛区显微结构特征( $n=30$ )

Table 3 Microstructure on transverse section root hair region of secondary root

特征值 Characteristic value	品种 Variety	1	2	3	4	5	6	7	8	9
中柱直径/根直径 Diameter stele / Diameter root	YD-13	0.37	0.37	0.36	0.35	0.46	0.42	0.40	0.41	0.41
	DY-13	0.33	0.32	0.34	0.45	0.43	0.41	0.42	0.41	0.37
皮层细胞层数 Layer numbers of cortex	YD-13	9	9	15	16	18	14	16	13	8
	DY-13	8	11	15	18	20	15	20	14	10
后生木质部导管数 Number of metaxylem vessel	YD-13	5	7	5	12	12	12	14	6	5
	DY-13	5	8	8	8	9	12	15	7	7
导管长径( $\mu\text{m}$ ) Long diameter of vessel	YD-13	70	78	76	80	81	73	78	82	56
	DY-13	80	81	98	100	105	103	112	114	68

### 3 讨论

根系是玉米吸收水分的主要器官,一般认为根系吸水的部位在距根尖10~100 mm的区域内,根系吸收的水分依次经过根表皮、下表皮、皮层、内皮层、中柱这一横向运输途径,而后经导管这一径向途径将根吸收的水分运输到地上部。从根毛区的横切面显微结构上看,皮层薄壁细胞是从根表皮到中柱的根内水分横向运输途径中主要参与者,所以皮层细胞层数越少,根吸收的水分的横向运输距离就越短,水分的横向运输就越快。因此,从这一角度考虑,耐旱品种初生胚根的皮肤细胞层数少这一结构特点有利于水分从土壤到根系木质部的横向运输。

在对不同耐旱品种的小麦的种子根的显微结构研究中,有学者<sup>9~12</sup>认为:种子根基部的木质部导管直径小,有利于生长于半干旱地区的小麦群体优势的发挥。有观点认为,从群体效应看,在土壤水分

供应有限的情况下,发达的根系虽然具有较高的竞争力,但不利于有限水分的保存,同时会消耗过多的光合产物。所以种子根基部的木质部导管直径降低,可使水分流动的气压变化率增大,从而增加对水分流动的抵抗力。种子根对水分流动的抵抗力的增加,将为开花期与灌浆期等关键时期保存一部分水分。因此,这种结构促进了作物群体优势的发挥。王法宏等<sup>13</sup>对大豆的耐旱品种根的解剖结构研究中也得到了一致的结论。本研究发现,玉米耐旱品种的初生胚根木质部导管直径较小。因此,从群体角度讲,这一结构特点对植株合理利用土壤水分是有积极意义的。

比较玉米根系的各层次生根显微结构发现,耐旱品种各层次生根基部存在皮层细胞层数较少、后生木质部导管直径较小的趋势。这一趋势与初生胚根相一致。因此,耐旱玉米品种次生根显微结构的这一特点对于植株水分的横向运输和根系对水分的

合理利用有着积极意义,对于耐旱能力的发挥起着重要作用。

### 参 考 文 献:

- [ 1 ] 王晓琴,袁继超,熊庆娥.玉米抗旱性研究的现状及展望[J].玉米科学,2002,10( 1 ):57—60.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] Davies WJ, 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.
- [ 4 ] 马元喜,王晨阳,贺德先.等.小麦的根[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [ 5 ] 马元喜,王化岑,王晨阳.等.冬小麦根系各级分枝形成及其解剖结构研究[J].作物学报,2002,28( 3 ):327—332.
- [ 6 ] 王化岑,刘万兴,刘万代.等.超高产冬小麦根系生长动态与解剖学结构初步观察[J].作物学报,1998,24( 6 ):952—956.

- [ 7 ] 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,1996.
- [ 8 ] 安红卫,凌祖铭.水陆稻根粗与抗旱性关系的研究[J].西北农业学报,1993,2( 3 ):58—60.
- [ 9 ] Richards R A, Passioura J B. Seminal root morphology and water use of wheat I. Environmental effects[J]. Crop Science. 1981, ( 2 ):249—252.
- [ 10 ] 王 静,黄 薇.初生根的形态解剖结构与春小麦的抗旱性的关系初探[J].兰州大学学报(自然科学版),1998,34( 4 ):154—156.
- [ 11 ] 王 静,秦 琳,尹树明.不同品种春小麦种子根的解剖结构与抗旱性关系的初步研究[J].西北植物学报,1995,15( 8 ):159—163.
- [ 12 ] 王 静,黄 薇,刘 桐.不同水分胁迫下几种春小麦种子根形态结构的研究[J].中国沙漠,2000,20( 1 ):79—81.
- [ 13 ] 王法宏,郑丕尧,王树安.等.大豆不同抗旱性品种根系性状的比较研究 I.形态特征及解剖组织结构[J].作物学报,1989( 1 ):32—38.

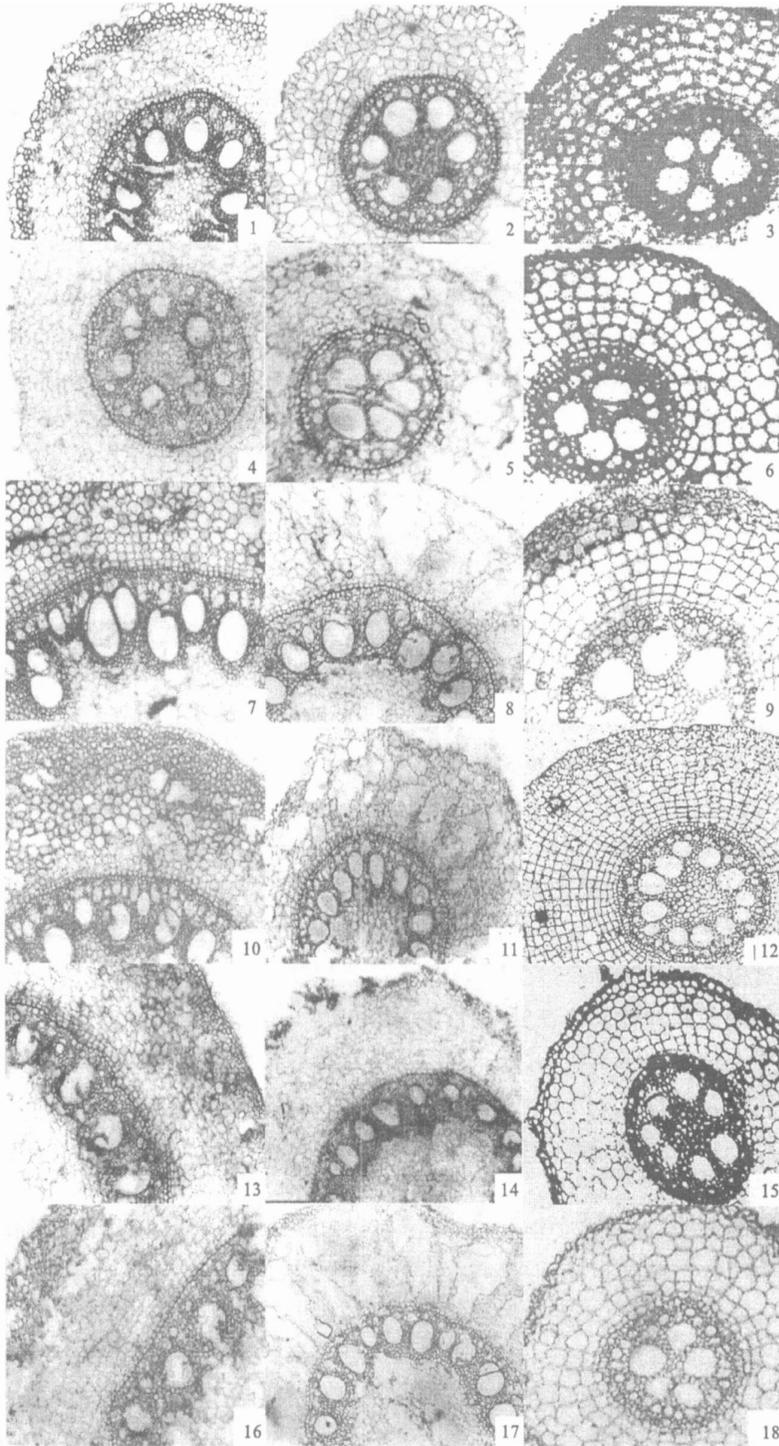
## A comparison of root anatomical structure of maize genotypes with different drought tolerance

LI U Sheng qun<sup>1,2</sup>, SONG Feng bin<sup>1\*</sup>

( 1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract :** To investigate the relation between root anatomical structure and tolerance to drought of maize, experiments of maize with different tolerance to drought were conducted in the field. The microstructure of primary root and different secondary roots were studied by hand sectioning and routine mineral wax movie making. The result showed that the maize with high tolerance to drought had fewer cortex cell layer numbers, lesser diameter of metaxylem vessel, more metaxylem vessel amount in primary radicle, and fewer cortex cell layer numbers, more metaxylem vessel and lesser diameter in various secondary roots, compared with the maize with low tolerance to drought.

**Keywords :** maize; drought tolerance; root system; anatomical structure



图版说明 Explanation of plate:

1~3:依次为掖单13初生胚根基部(×25.2),中部(×5.2)和根毛区(×5.2);4~6:依次为丹玉13初生胚根基部(×5.2),中部(×5.2)和根毛区(×5.2);7~9:依次为丹玉13第四层次生根基部(×25.2),中部(×25.2)和根毛区(×25.2);10~12:依次为掖单13第四层次生根基部(×5.2),中部(×25.2)和根毛区(×25.2);13~15:依次为丹玉13第九层次生根基部(×5.2),中部(×5.2)和根毛区(×64);16~18:依次为掖单13第九层次生根基部(×5.2),中部(×5.2)和根毛区(×64)

1~3:Base of primary radicle, middle part of primary radicle and root hair zone of primary radicle of Yedan-13 were from left to right. 4~6:Base of primary radicle, middle part of primary radicle and root hair zone of primary radicle of Danyu-13 were from left to right. 7~9: Base of fourth secondary root, middle part of fourth layer's secondary root and root hair zone of fourth secondary root of Danyu-13 were from left to right. 10~12: Base of fourth secondary root, middle part of fourth layer's secondary root and root hair zone of fourth secondary root of Yedan-13 were from left to right. 13~15: Base of ninth secondary root, middle part of ninth secondary root and root hair zone of ninth layer's secondary root of Danyu-13 were from left to right. 16~18: Base of ninth layer's secondary root, middle part of ninth secondary root and root hair zone of ninth secondary root of Yedan-13 were from left to right.