

我国不同年代玉米品种生育全程根系特性演化的研究

孙庆泉 胡昌浩* 董树亭 王空军

(山东农业大学, 山东泰安 271018)

摘要 对我国 20 世纪 50、70 和 90 年代玉米品种的根系生理特性演化趋势研究表明,我国不同年代的品种根系特性存在显著差异,主要表现在根系的吸收和合成功能上。在生长发育前期,随着品种年代的进展,根系活跃吸收面积、单株根条数以及根系 SOD 和 CAT 活性显著增加,且不同年代的品种间差异显著;在生长发育后期,随着品种年代的进展,高层节根数量和单株伤流液量明显增加,根系合成氨基酸的能力增强,对元素 Zn、B、Mn、P、Mg、Ca 和 K 的吸收速率明显增大,单株根干重和冠根比(C/R)也显著增加。

关键词 玉米;品种;根系特性;演化
中图分类号: S513 文献标识码: A

Evolution of Root Characters during All Growth Stage of Maize Cultivars in Different Eras in China

SUN Qing-Quan HU Chang-Hao* DONG Shu-Ting WANG Kong-Jun

(Institute of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract The root characters of maize cultivars which came from 50's, 70's and 90's in China in different eras was evaluated in this study. The results showed that the vigor of the root system was distinct remarkably in different eras. During the earlier growth stage, the active surface area, the activity of SOD & CAT of root system and the number of root per plant all increased clearly with the improvement of cultivars, and the above root characteristics of the cultivars in different eras was extremely different. During the later growth stage, the number of root in top position and the quantity of wounding flow per plant all increased obviously with the cultivar developed, the synthetic ability of amino acid and the absorbing rate of Zn, B, Mn, P, Mg, Ca and K increased greatly, the dry weight of root per plant and ratio of canopy/root (C/R) also increased distinctly.

Key words Maize; Cultivar; Character of root system; Evolution

我国的玉米生产用种从 1949 年以来已经更换了 6 次,大至可依次划分为农家种、品种间杂交种、顶交种、双交种、三交种和单交种,仅就单交种而言,目前又完成了多次更新。在建国以来 50 多年的玉米生产中,玉米的种植面积增加不到 1 倍,但总产却增加了近 5 倍,产量在短短几十年间有了如此大的提高,除了生产条件的改善和栽培技术提高的因素外,品种的更替则起了重要作用,尤其是单交种的利用。在品种更替过程中,品种的许多生理特性已发生了变化,而探索这些生理特性变化的研究主要集

中在植株地上部分,如群体光合^[1]、叶片内源激素^[2,3]、叶片衰老规律^[4]、地上器官氮代谢等,对根系的研究迄今尚未见公开文献报道。本研究的目的是探索不同历史年代玉米品种根系特性的差异,为将来的玉米育种和栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

本试验中以我国 20 世纪 50、70 和 90 年代曾大面积推广的品种为试材,每个年代选 3 个品种,3 个

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(39470420)。

作者简介:孙庆泉(1968-),男,山东邹城人,博士,副教授,主要从事玉米栽培和生物技术育种研究。

Tel: 0538-8241384; Fax: 0538-8242226; E-mail: sunqq18@sdau.edu.cn, * 通讯作者:胡昌浩

Received(收稿日期):2002-06-14, Accepted(接受日期):2002-11-05.

年代共 9 个品种。50 年代代表品种为金皇后、白马牙和黄县二马牙,70 年代代表品种为郑单 2 号、中单 2 号和丹玉 6 号,90 年代代表品种为掖单 13、沈单 7 号和农大 60。各品种适期种植于山东农业大学实验农场,种植密度适宜,田间肥水管理良好,每品种设 3 次重复,小区随机排列,小区面积为 130 m²。

1.2 测定方法

根系 SOD 和 CAT 活性测定,参照王爱国的方法^[5]。根系伤流液收集参照金成忠法^[6]。根系伤流液中氨基酸含量测定用茚三酮比色法。伤流液中可溶性糖含量测定用蒽酮法。伤流液中矿质元素含量测定参照何承顺法^[7],即伤流液用 4 mol/L HCl 消煮后,用 ICP 等离子体发射光谱仪(PE CO ICP-6500)测定。器官干重适期取样后 105 杀青 0.5 h,80 恒温烘干。叶片光合速率测定,用美国产 LF6200 光合系统,密闭式气路,充分自然光照条件下测定。

2 结果与分析

2.1 生长发育前期各年代的品种根系特性差异

通过对根系吸收活力(表 1)和根系生长发育数量特点(表 2)的研究发现,不同年代的品种根系活力和数量在生长发育前期已开始出现差异。在生育前期,随着品种年代的后延,品种根系的活跃吸收面积、总比表面积和活跃比表面积都有增大的趋势,说明根系的活力逐步得到增强。根系的发达程度也表现出相似的规律,拔节期和大口期的品种单株根条数也都随年代的进展而有较大幅度的增加,且单株根条数在不同年代间的品种差异已达到极显著水

表 1 不同年代品种的大口期根系活力

Table 1 Vigor of root system of maize varieties in different eras at male tetrad stage

品种名称 Name of cultivars	品种年代 Period	根系活跃吸收面积 Active surface area of root system(%)	比表面积 Surface area	
			总的 Total	活跃的 Active
金皇后 Jinhuanghou				
白马牙 Baimaya	50 s	24.65 Cc	0.493 Cc	0.118 Cc
黄县二马牙 Huangxian er maya				
郑单 2 号 Zhengdan No. 2				
中单 2 号 Zhongdan No. 2	70 s	29.82 Bb	0.649 Bb	0.194 Bb
丹玉 6 号 Danyu No. 6				
掖单 13 Yedan No. 13				
沈单 7 号 Shendan No. 7	90 s	31.25 Aa	0.725 Aa	0.220 Aa
农大 60 Nongda 60				

表 2 生长发育前期不同年代的品种根系数量特点和单株干重
Table 2 The number and the weight of root per plant of maize in different eras during the earlier growth stage

品种的 年代 Period	拔节期 Jointing stage		大口期 Male tetrad stage	
	单株根条数 Number of root	单株地上部干重 Weight of single plant (g)	单株根条数 Number of root	单株地上部干重 Weight of single plant (g)
50 s	15.8 Cc	3.41 Cc	43.6 Cc	55.04 Cc
70 s	20.1 Bb	4.77 Bb	46.1 Bb	78.62 Bb
90 s	23.7 Aa	5.81 Aa	49.4 Aa	84.08 Aa

平。生育前期不同年代的品种根系活力和数量的差异对干物质的积累量产生影响,在拔节期和大口期,不同年代的品种间地上单株干重差异达极显著水平,佐证了地下根系活力对地上部物质生产的影响之大。

SOD 和 CAT 是活性氧伤害的重要防御性保护酶之一,酶活性高对延缓根系衰老、保持根系高活力有重要作用,对地上部植株的各种生理代谢活动则能提供更强的功能支持。生育后期是籽粒充实的关键时期,强功能的根系有利于营养物质、生长调节物质(如 KT)和水分的上运,是籽粒充实的重要保障。试验结果(表 3)表明,在生长发育后期的任何相同生育时期,根系的 SOD 和 CAT 活性以 50 年代品种为最低,90 年代品种为最高,70 年代品种居中,而且 3 个年代间的活性均达极显著差异水平。在成熟期,3 个年代品种根系的 SOD 和 CAT 活性与灌浆期相比都下降,但下降幅度有较大差异,50 年代品种根系 SOD 和 CAT 酶活性降幅最大,分别为 23.8% 和 59.6%,70 年代品种降幅居中,分别为 11.3% 和 52.7%,90 年代品种降幅,最小分别为 7.3% 和 40.3%。根系活性的这种差异实际上是对植株地上部分支持功能的差异,这种差异必然对最终籽粒产量的形成产生巨大影响,各年代品种的实际产量差异也证明了这一点。

表 3 不同年代玉米品种耕作层根系 SOD 和 CAT 活性

Table 3 SOD Activity and CAT Activity of root system of maize cultivars in different eras in topsoil (units g⁻¹FW)

品种的 年代 Period	SOD 活性 SOD activity			CAT 活性 CAT activity		
	大口期 Male tetrad	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage	大口期 Male tetrad	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
50 s	73	210	160	23	52	21
70 s	75	230	204	22	55	26
90 s	77	259	240	25	62	37

2.2 生长发育后期不同年代品种根系差异分析

2.2.1 高层节根数量演化特点

在生长发育后期,玉米高层节根已大量形成,与低层节根相比较而言,根龄短的高层节根具有更强的吸收活力,是吸收最活跃的根,成为生育后期无机营养上运任务的主要承担者。试验结果(表4)表明,从抽雄到蜡熟的各个生育时期,90年代品种都比50年代品种每层平均多1.95~4.80条,说明90年代品种在生育后期具有更多数量较高活力的高层节根,更能满足地上部对各类营养和水分的需求,而50年代品种则相反。

表4 不同年代玉米品种第7层以上节根每层平均节根条数

Table 4 The average number of root per node above the seventh node in different eras' varieties

品种的年代 Period	生育时期 Growth stage			
	抽雄期 Tasselling stage	抽丝期 Silking stage	灌浆期 Filling stage	蜡熟期 Waxy stage
	50 s	8.0 Cc	10.3 Cc	11.5 Cc
70 s	9.1 Bb	10.9 Bb	13.8 Bb	15.2 Bb
90 s	11.9 Aa	12.3 Aa	16.2 Aa	16.7 Aa

2.2.2 单株植株伤流流量及其成分分析比较

2.2.2.1 生育后期单株伤流流量分析

植株的地上地下整体性决定了根系代谢活动在维持植株地上部分光合作用中的重要作用,根与叶之间存在明显的互作。玉米抽丝之后,进入籽粒产量形成的关键时期,在此期间地上光合作用强且各种生理代谢旺盛,这就相应地要求地下根系的协调配合。单株伤流流量可以反映根系活力大小。通过对不同年代品种抽丝期和乳熟期伤流流量的测定(表5)得知,第一,随品种的年代进展,单株根系伤流流量明显增多。单株伤流流量的差异在一定程度上反映了单株根系活力的差异。根系伤流流量越大则说明根系活力越强,对地上的支持功能就越强,这

表5 不同年代的品种在生育后期的单株伤流流量

Table 5 The amount of wounding flow per plant of maize cultivars in different eras during the later growth stage

品种的 年代 Period	品种个数 Number of cultivar	每品种测 定株数 Plants measured per cultivar	生育时期 Growth stage		乳熟期比抽 丝期伤流液 量减少百分数 Percentage decrease (%)
			抽丝期 Silking stage (g h ⁻¹)	乳熟期 Milking stage (g h ⁻¹)	
50 s	3	16	3.89	0.49	87.84
70 s	3	16	5.53	1.89	65.69
90 s	3	16	6.41	4.75	26.19

对延缓叶片衰老和最终产量的形成具有重要作用;第二,不同年代的品种乳熟期单株伤流流量比抽丝期减少。50年代品种减幅最大为87.84%,90年代品种减幅最小为26.19%,70年代品种减幅居中为65.69%。减幅越大说明根系的衰老进程越快。

2.2.2.2 不同年代的品种单株根系伤流液成分

伤流液中可溶性糖和氨基酸含量分析 玉米抽丝期时已转入生殖生长时期,在此后一个相当长的时期内,植株地上部分碳水化合物的合成、运输等生理代谢非常旺盛,这就要求根系要有较强的吸收、运输和合成功能才能与地上的各种生理代谢相适应,同时也要求根系本身具有较好的有机营养条件。在抽丝期和乳熟期对3个年代品种伤流液中可溶性糖和氨基酸含量(表6)分析得知,在生殖生长的旺盛时期,植株地上部下运根系的可溶性糖含量和根系合成并上运的氨基酸含量都随品种年代的进展而提高。从地上转运来的可溶性糖含量的增加使得根系有机营养状况随品种年代的进展明显改善,根系合成氨基酸的能力也明显增强。同时通过对同期叶片光合速率的测定发现,在抽丝期,倒二叶、果穗叶和第九叶的光合速率不同年代的品种间没有明显差异。在灌浆期,倒二叶和果穗叶的光合速率随年代的进展而增大,且品种的年代间差异极显著;第九叶的光合速率表现为,50和70年代品种差异不大,但二者都明显小于90年代品种。说明根系自身的发达程度和较长时间维持高活力的能力对叶片的光合速率影响非常大。

表6 不同年代玉米品种单株伤流液有机成分分析和同期叶片光合的比较

Table 6 Comparison of photosynthesis in leaf with organic matter of wounding flow in root in different eras

生育 时期 Growth stage	品种的 年代 Period	可溶性 糖含量 Content of soluble Sugar (mg h ⁻¹ · plant ⁻¹)	氨基酸 含量 Content of amino Acid (mg h ⁻¹ · plant ⁻¹)	单叶光合速率 (mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹)		
				倒二叶 Top 2nd leaf	果穗叶 Ear leaf	第九叶 No. 9 Leaf
抽丝期 Silking stage	50 s	1.35 Cc	21.63 Aa	29.39	38.03	21.59
	70 s	3.18 Bb	18.65 Cc	29.11	20.25	22.54
	90 s	4.03 Aa	19.74 Bb	28.24	31.45	22.98
灌浆期 Filling stage	50 s	3.09 Cc	53.11 Cc	26.05	34.64	15.72
	70 s	7.38 Bb	107.67 Bb	31.28	33.12	15.70
	90 s	10.26 Aa	235.10 Aa	39.00	31.70	18.65

根系对土壤矿质营养吸收速率分析 通过对伤流液各元素的含量分析(表7)得知,不同年代的品种根系对矿质元素 Zn、B、Mn 的吸收速率存在明显差异。主要表现为:第一,在生育后期,随着品种年代的进展,单株根系对 Zn、B、Mn 的吸收速率明显增大;第二,50 和 70 年代的品种乳熟期吸收速率较抽丝期下降,而 90 年代品种却增加(Zn、B)或几近持平(Mn)。锌对植株整个生命代谢过程影响极大,单株锌吸收速率大则可促进 IAA 前体物色氨酸的合成和催化蛋白质的合成,从而延缓叶片衰老,还可以降低呼吸速率以利于干物质积累。本试验中还发现单株根系锌吸收速率大小与单株绿叶面积有密切关系,单株根系锌吸收速率的减少是叶片早衰的征兆。50 年代品种单株根系锌吸收速率最小,90 年代品种单

株根系锌吸收速率最大,70 年代品种居中。硼能加速花粉管的伸长,利于受精作用的进行,尤其是开花以后硼与游离糖结合后使糖带有极性,促进糖的运输,利于碳水化合物向籽粒中转运,并能显著提高 IAA 含量。随着品种年代的进展,单株根系硼吸收速率极显著增多,相同生育时期不同年代品种单株根系硼吸收速率的差异达到极显著水平。锰对碳代谢和氮代谢的促进和协调有重要作用。光合作用中的水光解需要锰的参与,锰还能提高淀粉酶活性,促进糖类转移,对碳代谢起着其他元素无法替代的重要作用。在产量形成的关键时期,单株根系锰吸收速率都表现为 90 年代品种 > 70 年代品种 > 50 年代品种,且不同年代间差异极显著。

表7 不同年代玉米品种生育后期单株根系的矿质元素吸收速率

Table 7 Absorption rate of mineral element of root in different eras' maize varieties during the later stage ($\mu\text{g plant}^{-1} \text{h}^{-1}$)

品种的年代 Period	生育时期 Growth stage	元素名称 Name of mineral element							
		Zn	B	Mn	P	Mg	Ca	K	Fe
50 s	抽丝期 Silking stage	3.65Cc	1.04Cc	0.6Cc	339.2Aa	106.6Cc	109.3Cc	1786.6Aa	0.86Bb
70 s		5.49Bb	1.11Bb	0.74Bb	220.1Cc	140.3Aa	222.4Aa	1456.3Bb	1.42Aa
90 s		13.08Aa	1.31Aa	1.68Aa	331.8Bb	128.5Bb	186.6Bb	1360.8Cc	0.77Cc
50 s	乳熟期 Milking stage	1.70Cc	0.30Cc	0.04Cc	16.1Cc	18.8Cc	26.0Cc	107.6Cc	0.78Bb
70 s		4.48Bb	1.04Bb	0.33Bb	95.0Bb	62.1Bb	56.2Bb	448.9Bb	0.26Cc
90 s		15.32Aa	1.84Aa	1.52Aa	352.5Aa	249.8Aa	162.3Aa	1291.5Aa	0.95Aa

注:伤流液收集时间:上午 8:00~10:30。Note: Wounding flow was collected at 8:00—10:30 am.

P、Mg、K、Ca 的根系吸收速率分析 在抽丝期,3 个年代的品种的根系对 P、Mg、K、Ca 的吸收速率都比较大,不同年代间差异达到极显著水平。在抽丝期,元素吸收速率表现出的演化趋势为,50 年代品种根系对 P、K 的吸收速率大于 70 和 90 年代品种;50 年代品种根系对 Mg、Ca 的吸收速率小于 70 和 90 年代品种。在乳熟期,根系对 P、Mg、K、Ca 的吸收速率演化趋势表现为,90 年代品种 > 70 年代品种 > 50 年代品种,不同年代的品种间差异均达极显著水平,其中 90 年代品种的 Ca 吸收速率分别是 70 和 50 年代品种的 2.89 倍和 6.23 倍,90 年代品种对 K 的吸收速率分别是 70 和 50 年代品种的 2.88 倍和 10.01 倍。

比较不同年代的品种在抽丝期和乳熟期的元素吸收速率发现,90 年代品种在乳熟期对 P、Mg 的吸收速率比抽丝期增大了,对 K、Ca 的吸收速率却降低了,而 50 和 70 年代品种在乳熟期对 P、Mg、Ca、K 的吸收速率都比抽丝期有较大幅度的下降。乳熟期

P 的单株根系吸收速率,50 和 70 年代品种分别比抽丝期下降了 95.24% 和 56.83%,而 90 年代品种却比抽丝期增加了 6.24%;乳熟期 Mg 的吸收速率,50 和 70 年代品种分别比抽丝期下降了 82.28% 和 55.68%,而 90 年代品种却比抽丝期增加了 94.4%;乳熟期 Ca 的吸收速率,50、70 和 90 年代品种分别比抽丝期下降了 76.18%、74.72% 和 12.82%;乳熟期 K 的吸收速率,50、70 和 90 年代品种分别比抽丝期下降了 93.98%、69.17% 和 5.09%。根系吸收的 P 进入植物体后大部分成为有机态含磷化合物,其中核苷酸的衍生物(ATP、FMN、NAD、CoA 等)直接参与呼吸供能、碳水化合物的合成及运转、光合磷酸化和碳循环,也参与氮代谢。50 年代品种吸收 P 少,会因缺 P 而积累硝态氮,使蛋白质合成受阻,新的细胞质和细胞核形成少,使根系生长缓慢,根系活跃吸收面积下降,进而影响到地上代谢,最终导致单株产量的降低,而 90 年代品种则相反;Ca 对新细胞壁的形成和根系根毛的发育特别重要;较高的 K 吸收速率

能加速二氧化碳的同化过程,并促进碳水化合物运输、蛋白质的合成、细胞的发育和调节植株体内的水分平衡,90年代品种在对K、Ca的吸收上较之50和70年代品种则具有明显的优势。

2.3 成熟期品种根系与植株地上部的物质生产

陈国平等曾用ABT生根粉处理玉米种子,发现根干重和地上部干重增加,表明根系发达程度对物质生产的影响很大。根据我们的研究结果(表8)得知,50年代品种根系干重最低,90年代品种根系干重最大,70年代品种居中,随着年代的进展,单株根系干重大幅度增加,且不同年代间差异极显著。冠根比(C/R)常被用作评价根系对地上部分作用大小的良好指标,C/R值越大说明单位根系对地上部分物质生产的贡献就越大。试验结果表明,3个年代品种的根冠比是50年代品种<70年代品种<90年代品种,不同年代间差异极显著,这说明随着品种年代的进展,根系发达程度有了明显提高。

表8 成熟期不同年代玉米品种单株根干重、根冠比和物质干重
Table 8 Weight of dry roots and ratio of canopy/root and weight of dry matter in different maize cultivars at the maturity stage

品种的 年代 Period	单株根	单株籽	单株干重	冠根比	生物	籽粒
	干重	粒干重	Weight			
	Weight of dry matter of roots (g)	Weight of dry grains per plant (g)	of dry matter per plant (g)	canopy /root (C/R)	Biomass yield (kg/hm ²)	Grains yield (kg/hm ²)
50 s	8.79 Cc	154.89 Cc	47.18 Cc	17.61 Cc	9881.33 Cc	3807.08 Cc
70 s	11.50 Bb	314.76 Bb	119.79 Bb	19.54 Bb	13353.23 Bb	6296.03 Bb
90 s	15.76 Aa	382.90 Aa	188.31 Aa	24.70 Aa	43579.70 Aa	11541.61 Aa

3 结论与讨论

我国不同年代玉米品种根系生理特性存在着非常大的差异,这种差异贯穿于整个生长发育过程,表现出的演化趋势为根系活力的大幅度提高。在生长发育前期,无论是根的活跃吸收面积还是根的数量,在不同年代间都存在着极显著差异,年代越久远的品种其根系活力越弱,根系越欠发达,而后期品种则相反。生育前期品种年代间的根系活力差异已经对物质生产形成了较大的影响。在生长发育后期,不同年代间的根系活力差异进一步加大,并表现在诸多方面。50年代品种根系活力较弱,具体表现为高层节根数量最少、根系SOD和CAT活性最低、氨基

酸合成能力最弱、对土壤中Zn、B、Mn、P、Mg、Ca和K元素的吸收速率最小等方面,其叶片的光合速率在灌浆期以后下降最快,最终导致生物产量和经济产量最低;而90年代品种的根系则最发达,根系活力最强,能长时间维系植株地上部分对物质需求的供给能力,促进了物质生产,因而生物产量和经济产量最高;70年代品种根系活力居50和90年代品种之间。在籽粒充实期,根系活力越强,衰老进程越缓慢,则对地上部的物质运输能力越强,越有利于植株地上部分各种生理代谢活动的正常进行,促进光合物质的积累。

根系发达和根系长时间地保持高活力是高产玉米品种的一个显著特点,这种特点实际上主要取决于基因型,还与栽培技术有关,所以在将来的高产玉米育种中应注意杂交组合的根系性状选择,将来的高产栽培肥水管理措施应注意保证使根系保持高活力的技术效果,只有将两者有机地结合起来才能获得最大的物质生产量。

References

- [1] Dong S-T(董树亭), Wang K-J(王空军), Hu C-H(胡昌浩). Development of canopy apparent photosynthesis among maize varieties from different eras. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2000, 26(2): 200—204
- [2] Sun Q-Q(孙庆泉), Hu C-H(胡昌浩), Dong S-T(董树亭), et al. Study on iPAs and ABA of leaf of maize cultivars during different phase in China. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2000, 15: 107—110
- [3] Sun Q-Q(孙庆泉), Hu C-H(胡昌浩), Dong S-T(董树亭), et al. Study on rate of ethylene production in leaves about different phase maize cultivars in China. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2000, 15: 111—114
- [4] Wang K-J(王空军), Dong S-T(董树亭), Hu C-H(胡昌浩), et al. Chang of the protective enzyme activities and lipid peroxidation after anthesis among maize varieties planted in different years. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1999, 25(6): 700—706
- [5] Wang A-G(王爱国), Luo G-H(罗广华), Shao C-B(邵从本), et al. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds. *Acta Phytobiologica Sinica* (植物生理学), 1983, 9(1): 77—84
- [6] Jin C-Z(金成忠). The matteral base of roots to growth and activity on leaves. *Acta Phytobiologica Sinica* (植物生理学通讯), 1963, 1(1): 5—8
- [7] He C-S(何承顺). The determination of nutrient elements in orchard leaves boiled with hydrochloric acid (HCl) by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 1989, 16(1): 29—33