

文章编号: 1005-0906(2014)05-0081-05

不同根构型玉米的根系形态及其对密度的响应

蔡红光¹, 刘剑钊¹, 张秀芝¹, 闫孝贡¹, 张洪喜¹,
袁静超¹, 盖嘉慧², 任 军¹

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033; 2. 吉林省农业科学院农业经济与信息服务中心, 长春 130033)

摘 要: 在两种种植密度下对8个测交种的根系形态及在0~60 cm土壤剖面的分布进行测定。结果表明, 根长、根干重和根拔拉力均具有显著的基因型差异, 其中, L105和L109属于大根系基因型; L172和L224属于小根系基因型。L132、L160、L224对密度的反应较为敏感, L219对密度的反应较为迟钝。在增加种植密度后, 各基因型根系均有纵向延伸的特征, 不同基因型根长和根干重在不同土壤层次间分布比例差异较大, 且其对密度的反应仅表现在特定的土层内。

关键词: 玉米; 密度; 根系形态

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Root Morphology and Its Response to Planting Density in Different Genotypes with Root Architecture

CAI Hong-guang¹, LIU Jian-zhao¹, ZHANG Xiu-zhi¹, YAN Xiao-gong¹, ZHANG Hong-xi¹,
YUAN Jing-chao¹, GAI Jia-hui², REN Jun¹

(1. *Institute of Agricultural Resource and Environment,
Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;*

*2. Agricultural Economy and Information Service Center,
Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)*

Abstract: An experiment was conducted to evaluate the root morphology of eight genotypes and their distribution in 0–60 cm soil layer in different planting density treatments. The results indicated that there were significant differences for root length, root dry weight, and vertical root pulling resistance. L105 and L109 had the larger root system, L172 and L224 had the smaller root system. L132, L160 and L224 were more sensitive to planting density except for L219. The root presented the vertical extension with the increasing of density. There were significant genotypic differences in different soil layers for root length and root dry weight. The reaction of genotypes on root system was in specific soil layers in different planting density treatments.

Key words: Maize; Plant density; Root architecture

收稿日期: 2014-08-12

基金项目: 国家自然科学基金(31101611)、中国博士后科学基金(2012M51081)、吉林省青年科研基金(201201090)、科技支撑课题(2013BAD07B02, 2011BAD16B10, 2012BAD04B02)、吉林省科技支撑重大项目(20106025, 20126026)

作者简介: 蔡红光(1981-), 男, 吉林舒兰人, 博士, 主要从事植物营养生理与养分资源高效利用研究。

E-mail: caihongguang1981@163.com

任 军为本文通讯作者。E-mail: renjun557@163.com

近年来随着国家对玉米需求的增加, 增加种植密度已成为生产上的共识^[1]。Duvick 研究表明, 美国玉米产量的增长主要依赖于种植密度的增加及品种耐密性的不断改良^[2]。国内近年来高产栽培试验结果也表明, 提高种植密度是进一步提高玉米产量的主要途径^[3]。早在现代育种时代的开始, 科学家们就已经意识到根系统对于产量形成的重要性^[4], 根系的形态和空间分布以及生理性状在植株对养分高效利用方面起着决定性作用^[5]。严小龙和廖红等利

用具有不同根系构型的豆科作物阐明了根系构型与磷效率的生物学基础^[6];米国华等利用具有不同根系形态的玉米基因型,探讨了根系形态对作物氮效率的贡献机制^[7,8]。可见,具有特殊根系形态或生理表型的基因型是研究根系及其与养分、产量之间作用机制的良好材料。本研究在不同种植密度下通过对8个遗传背景相近的测交种根系形态分析,研究其对不同种植密度的响应程度,为进一步剖析根构型对养分效率的贡献机制提供材料及优良种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2011年在吉林省公主岭市吉林省农业科学院试验田(43°52'58" N, 124°82'49" E)进行。试验田为玉米连作区。供试土壤为黑土,0~20 cm耕层土壤有机质 16.2 mg/kg, 碱解氮 180.4 mg/kg、速效磷 20.8 mg/kg、速效钾 148.9 mg/kg, pH 值 5.5。玉米生育期间(5~9月份)活动积温 2 983℃·d, 日照时数 542.6 h, 降雨量 320.6 mm。

1.2 试验设计

试验为两因素设计,主因素为种植密度,分别为 60 000 株/hm²(MD)和 75 000 株/hm²(HD);副因素为来自同一回交群体的 8 个基因型组配的测交种^[9,10]。每个处理 4 次重复,随机区组排列,小区面积为 50 m²。各处理均施氮 195 kg/hm², 磷(P₂O₅) 75 kg/hm², 钾(K₂O) 82.5 kg/hm²。磷肥为磷酸二铵(18-46-0), 钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%), 均一次性基施。氮肥为尿素(含

N 46%), 30%基施,其余于拔节期开沟追施。试验于 4 月下旬播种,10 月上旬收获。其他管理方式同一般大田。

1.3 测定项目与方法

在玉米播种前采集 0~20 cm 耕层土壤样品,采用常规方法测定土壤养分。玉米根系取样采用剖面挖掘法。在开花后 15 d, 每个小区选取长相均匀的植株 2 株,以每株所占土地面积划出界限,每 10 cm 一层,至 60 cm 深。每层土体中的所有可见根系由人工挑出,用水冲洗干净,根系上附着的水用吸干纸吸干后放入封口袋,-20℃冰箱中保存。每层根系分别用扫描仪(Epson V700)扫描后获得根系图片,利用 WinRhizoPro5.0 软件分析(Pro2004b, Canada)获得根长等指标,然后烘干称重,测得根系干重,并折算比根长。用改进后的玉米根茬拔出测力仪(型号 3yc-1)测量根拔拉力^[11]。

1.4 数据处理

所有数据均采用 Microsoft Excel 2007 处理,用 SAS 8.0 统计软件进行多重比较(LSD法)。

2 结果与分析

2.1 各基因型根系相关性状的方差分析

从表 1 可以看出,不同基因型的根长、根干重和根拔拉力都有显著差异,表明其主要是由遗传决定的。根拔拉力在不同密度处理下达到了极显著水平,说明其对密度的响应更为敏感;根长、根干重、比根长、根冠比等指标在不同密度处理下均未达到显著水平,可能是由于密度选择的压力不够造成的。

表 1 基因型、密度及其互作对根长、根干重、比根长、根冠比、根拔拉力的方差分析

Table 1 Variance analysis of genotype, planting density, and their interaction for root length, root dry weight, specific root length, the ratio of root and shoot and vertical root pulling resistance

变异来源 Source of variation	自由度 DF	均方 Mean square				
		根长 Root length	根干重 Root dry weight	比根长 Specific root length	根冠比 Root/shoot	根拔拉力 Vertical root pulling resistance
重复 Block	2	452.4	0.6	1.1	0.000 0	30 968.5
密度 Density	1	3 533.1	21.3	0.6	0.000 2	155 470.9**
基因型 Genotype	7	3 265.0*	32.0*	12.1	0.000 1	30 025.3*
密度×基因型 Density×Genotype	7	1 343.8	16.2	2.0	0.000 1	93 658.9**
误差 Error	30	452.4	10.0	4.8	0.000 0	8 830.6

注:*和**分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。

Note:*and ** indicated significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.2 不同种植密度下各基因型 0~60 cm 根系形态特征

通过对不同种植密度下 8 个不同基因型的 0~

60 cm 根系形态分析表明,在 MD 处理下,各基因型 0~60 cm 根长、根干重、比根长、根拔拉力、根冠比分别为 83.0~183.3 m、10.8~19.4 g、7.3~12.1 m/g、

944 ~ 1 405 N、0.026 ~ 0.050; 在 HD 处理下, 各基因型 0 ~ 60 cm 根长、根干重、比根长、根拔拉力、根冠比分别为 55.7 ~ 164.6 m、6.0 ~ 19.2 g、6.0 ~ 14.7 m/g、772.5 ~ 1310.0 N、0.018 ~ 0.055。总体上看, 随着密度的增加, 0 ~ 60 cm 根长、根干重、比根长、根拔拉力、根冠比均有所下降, 降幅分别为 15.6%、10.1%、4.2%、9.5%、4.2%, 且基因型间存在显著差异。

基因型间比较, L105 和 L109 在不同种植密度下的根长、根干重均较高, 属于大根系基因型; L172 和 L224 在不同种植密度下的根长、根干重均较小, 属

于小根系基因型; L160 比根长较高, 表明其根系更粗壮, 故其根拔拉力也较高。根据基因型对密度的响应程度划分, L132、L160、L224 属于对密度反应敏感型, 当种植密度增加到 75 000 株/hm² 时, 3 个基因型 0 ~ 60 cm 的根长、根干重、根冠比均显著下降, 其中根长下降 19.1% ~ 64.9%, 根干重下降 33.2% ~ 58.9%, 根冠比下降 20.7% ~ 49.5%; L219 属于对密度反应迟钝型, 当种植密度增加到 75 000 株/hm² 时, 除比根长外, 其 0 ~ 60 cm 的根长、根干重、根拔拉力、根冠比分别增幅 26.4%、48.0%、11.2%、33.4%。

表2 不同种植密度下各基因型0~60 cm根系形态特征

Table 2 Root related traits of different genotypes in 0–60 cm under different planting density treatments

种植密度(株/hm ²) Plant density	基因型 Genotype	根长(m) Root length	根干重(g) Root dry weight	比根长(m/g) Specific root length	根拔拉力(N) Vertical root pulling resistance	根冠比 Root shoot ratio
MD	L83	143.5	17.0	8.7	1 405	0.040
	L105	153.4	18.3	8.2	1 183	0.042
	L109	155.7	19.4	8.0	1 050	0.050
	L132	120.8	16.5	7.3	1 383	0.046
	L160	183.3	15.1	12.1	1 233	0.039
	L172	83.0	10.8	7.9	944	0.032
	L219	130.2	11.5	11.6	1 178	0.026
	L224	158.7	14.5	10.8	1 279	0.035
HD	L83	145.6	14.8	9.9	940	0.038
	L105	127.7	19.2	7.3	1 186	0.055
	L109	148.2	18.4	7.5	1 130	0.048
	L132	75.5	9.9	7.6	880	0.037
	L160	148.4	10.1	14.7	1 228	0.024
	L172	75.4	12.5	6.0	1 080	0.038
	L219	164.6	17.1	9.6	1 310	0.034
	L224	55.7	6.0	9.3	773	0.018
$\Delta LSD_{0.05}$		28.4	2.7	1.9	70.8	0.009

2.3 各基因型根长、根干重在土壤剖面中的分布

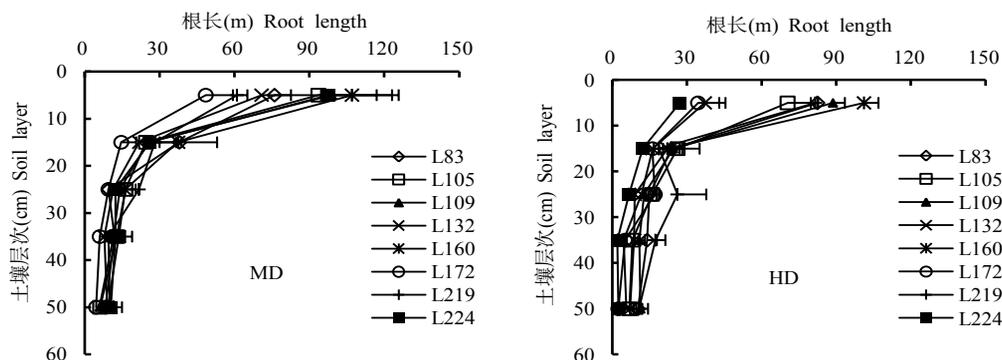


图1 各基因型根长在0~60 cm土壤中的分布

Fig.1 The root length of different genotypes in 0–60 cm soil layer

从图1和图2可以看出,各基因型根长和根干重随着土壤层次的加深迅速下降,根长在0~60 cm土壤各层次分布的比例依次为45.7%~68.2%、12.1%~26.4%、6.1%~22.7%、4.1%~11.2%、3.3%~7.7%;根干重在0~60 cm土壤各层次分布的比例依次为66.7%~84.8%、5.2%~21.0%、1.4%~9.7%、2.1%~5.4%、0.9%~3.7%。与MD处理相比,HD处理下根系干重在0~20 cm比例有所下降,在30~60 cm土层根系干重比例无显著变化;根长在40~60 cm则略有增加,表明密度增加后,根系有向纵向发展的趋势。

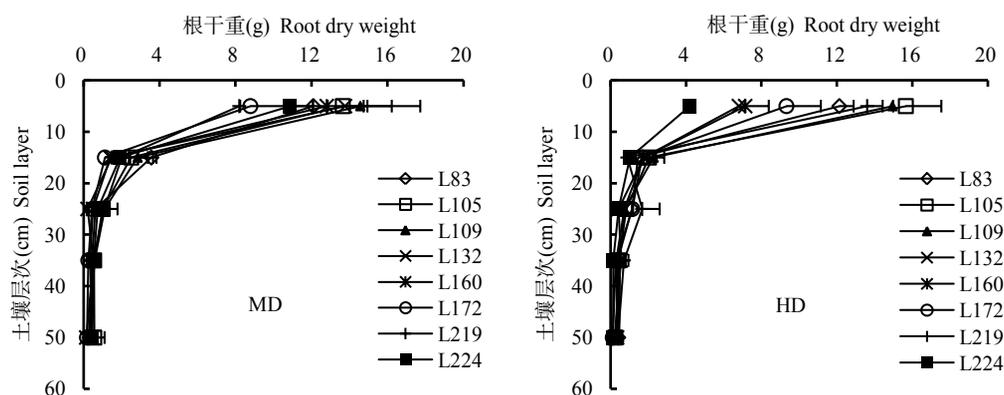


图2 各基因型根干重在0~60 cm土壤中的分布

Fig.2 The root dry weight of different genotypes in 0-60 cm soil layer

3 结论与讨论

特殊根系材料的获得更有助于客观了解某一根系性状的作用或者根系对密度、肥料等外界环境的响应机制^[12]。Tian等和王艳等以Ye478和Wu312两个根系形态差异显著的自交系为材料,系统分析了玉米根系形态对不同氮素供应的响应机制^[13,14]。本研究中,8个基因型的根系统对密度的反应差异显著,在增加种植密度后,各基因型的根系形态反应不一。一般情况下,随着密度的升高,根系的根干重、总根长、根表面积等形态指标均会呈显著下降趋势^[15-17],但从根系的剖面分布来看,根系对密度的响应仅表现在特定的土层范围内。本研究中,L132、L160、L224对密度反应较为敏感的基因型根长、根干重的最大降幅比例均集中在0~20 cm,而随着土壤层次的加深降幅趋缓,与陈延玲等研究较为一致^[17];L219其根系总量在密度增加后未表现出减少趋势,从整个剖面分布来看,更趋向于纵向延伸的特征,这种变化可能更有助于其适应高密度条件下减少株间对水肥的竞争,可能也是现代玉米育种趋势。由于根系形态及生理特性对于植株地上部养分

基因型间比较,对密度反应较敏感的基因型L132、L160的根长在0~30 cm降幅比例较高,31~60 cm降幅趋缓,根干重降幅主要集中在0~20 cm;L224的根长和根干重在0~60 cm降幅比例均较高,平均达66.0%,根干重降幅平均达59.4%。对密度反应较迟钝的基因型L219其根长和根干重随密度的增加仅在11~20 cm土层内显著下降,降幅分别为33.2%和55.7%,在21~60 cm土层呈显著的纵向增加,表明不同根构型基因型对密度的响应可能仅表现在特定的土层范围内。

吸收及产量形成具有重要的作用,还需了解这些基因型地上部的养分吸收规律及产量差异,便于进一步剖析根系对地上部氮效率的贡献机制提供科学依据。

参考文献:

- [1] 张世煌,李少昆.国内外玉米产业发展报告[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [2] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.)[M]. Advances in Agronomy, D.L. Sparks, Editor, 2005.
- [3] 陈国平,高聚林,赵明,等.近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J].作物学报,2012,38(1):80-85.
Chen G P, Gao J L, Zhao M, et al. Distribution, yielded structure, and key cultural techniques of maize super-high yield plots in recent years[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(1): 80-85. (in Chinese)
- [4] Wilson H K. Plant characters as index in relation to the ability of corn strains to withstand lodging[J]. J. Am. Soc. Agron.,1930, 22: 453-458.
- [5] Lynch J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiology, 1995, 109(1): 7-13.
- [6] 廖红,严小龙.菜豆根构型对低磷胁迫的适应性变化及基因型差异[J].植物学报,2000,42(2):158-163.
Liao H, Yan X L. Adaptive changes and genotypic variation for root architecture of common bean in response to phosphorus deficiency [J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(2): 158-163. (in Chinese)

- [7] 米国华,陈范骏,春亮,等. 玉米氮高效品种的生物学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 155-159.
Mi G H, Chen F J, Chun L, et al. Biological characteristics of nitrogen efficient maize genotypes[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 155-159. (in Chinese)
- [8] Chun L, G Mi, J Li, et al. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress[J]. Plant and Soil, 2005, 276(1-2): 369-382.
- [9] Cai H, F Chen, G Mi, et al. Mapping QTLs for root system architecture of maize (*Zea mays* L.) in the field at different developmental stages[J]. TAG Theoretical and Applied Genetics, 2012, 125(6): 1313-1324.
- [10] Liu J, Cai H, Chu Q, et al. Genetic analysis of vertical root pulling resistance (VRPR) in maize using two genetic populations[J]. Molecular Breeding, 2011, 28(4): 463-474.
- [11] 李景安,冯芬芬. 3yc-1型玉米根茬拔出测力仪、3yj-1型玉米茎秆硬度计研究报告[J]. 玉米科学, 1994, 2(4): 76-78.
Li J A, Feng F F. Research of 3yc-1 dynamometer for maize stubble pull and stalk hardness[J]. Journal of Maize Sciences, 1994, 2(4): 76-78. (in Chinese)
- [12] Mi G, Chen F, Wu Q, et al. Ideotype root architecture for efficient nitrogen acquisition by maize in intensive cropping systems[J]. Science China Life Sciences, 2010, 53(12): 1369-1373.
- [13] Tian Q, Chen F, Zhang F, et al. Genotypic difference in nitrogen acquisition ability in maize plants is related to the coordination of leaf and root growth[J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(2): 317-330.
- [14] 王艳,米国华,陈范骏,等. 玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 297-302.
Wang Y, Mi G H, Chen F J, et al. Genotypic differences in nitrogen uptake by maize inbred lines its relation to root morphology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 297-302. (in Chinese)
- [15] 宋日,刘利,吴春胜,等. 根系生长空间对玉米生长和养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(6): 58-64.
Song R, Liu L, Wu C S, et al. Effects of root growth space on growth and N and P uptake in corn (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.), 2009, 37(6): 58-64. (in Chinese)
- [16] 管建慧,郭新宇,刘洋,等. 不同密度处理下玉米根系干重空间分布动态的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 105-108.
Guan J H, Guo X Y, Liu Y, et al. Study on dynamic variation of root dry weight space distribution on different densities of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(4): 105-108. (in Chinese)
- [17] 陈延玲,吴秋平,陈晓超,等. 不同耐密性玉米品种的根系生长及其对种植密度的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 52-59.
Chen Y L, Wu Q P, Chen X C, et al. Root growth and its response to increasing planting density in different maize hybrids[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 52-59. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)