



黄海, 常莹, 刘雪梅, 等. 玉米根系相关特征对群体密度的响应[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(5): 36-41.

玉米根系相关特征对群体密度的响应

黄海¹, 常莹¹, 刘雪梅², 胡文河¹, 吴春胜¹, 谷岩¹

(1 吉林农业大学农学院, 吉林 长春 130118; 2 通化市东昌区农业局, 吉林 通化 134000)

摘要:【目的】从玉米根系形态及生理学角度探讨根系对群体密度变化的响应机制。【方法】以益丰29、郑单958、先玉335和先玉420共4个玉米品种为试验材料,通过气生根数目、根系干质量及保护酶活性等指标,分析群体密度对玉米根系基本特征的影响。【结果和结论】过高的群体密度对根系的形态及生理特性存在一定的负效应。随着密度的增加,气生根数量、根系干质量、根系活力均先升高后降低,最大值因品种和生育时期而不同;根系保护酶活性的变化规律则因品种各不相同,但以先玉335最高;随种植密度增加,MDA含量逐渐增加。在气生根数量和根系干质量方面,郑单958表现最好。

关键词:玉米; 根系特征; 保护酶活性; 群体密度

中图分类号:S513.01

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)05-0036-06

The response of maize root characteristics on population density

HUANG Hai¹, CHANG Ying¹, LIU Xuemei², HU Wenhel¹, WU Chunsheng¹, GU Yan¹

(1 College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2 Agricultural Bureau of Dongchang District, Tonghua, Tonghua 134000, China)

Abstract:【Objective】The response of maize root characteristics on population density were studied. 【Method】Four maize varieties Yifeng29, Zhengdan958, Xianyu335 and Xianyu420 were used as the tested materials. The number of brace root, dry mass and protective enzyme activities of root were measured, and the effects of population density on basic characteristics of root were determined. 【Result and conclusion】With the increase of population density, the number of brace root, dry mass and root activity increased first and then decreased, and the peaks occurred under different treatments. Protective enzyme activities of root were different with varieties, and MDA contents increased with the increase of population density. The percentage of lodging, the number of brace root and dry mass of root of Zhengdan958 were the biggest, while Xianyu335 had a higher protective activities.

Key words:maize; root characteristics; protective enzyme activity; population density

随着玉米产量水平的不断提高,加大种植密度、增加单位面积收获穗数已成为提高玉米群体产量的关键措施之一。过高的密度使得玉米对水分、养分竞

争同时加剧,根系作为补充水分、养分等资源的重要器官所受到的竞争更为激烈^[1-3]。关于密度对玉米根系的研究已有许多报道。王空军等^[4]在2001年提出

收稿日期:2013-09-21 优先出版时间:2014-07-17

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20140717.0908.023.html>

作者简介:黄海(1971—),男,博士研究生,E-mail:hh12316@163.com;通信作者:谷岩(1981—),女,副研究员,博士,E-mail:guyan810831@163.com

基金项目:国家自然科学基金(31000687);国家粮食丰产工程项目(2011BAD16B10;2012BAD04B02);吉林省现代农业产业技术体系建设项目(201403);吉林省科技支撑计划项目(20130305032NY);吉林省科技发展计划项目(20116030)

了根系拥挤效应理论,即随着种植密度的增加,导致株间距离缩短,植株根系间的水分、养分及生长空间的资源竞争激烈,严重限制了玉米根系的空间伸展和吸收利用养分的能力.李宁等^[5]和杨罗锦等^[6]从形态学角度分析种植密度对不同株型玉米根系的影响,研究表明密度增大玉米个体生长受到抑制,根层数减少,总根数目、气生根数和根表面积均下降.管建慧等^[7]和赵江等^[8]分别采用根钻挖掘法和大田挖掘法研究不同密度处理根系性状在土层中的空间分布特征,发现高密度处理下,根系干质量等基本农艺性状达到最大值后的下降速度最快、下降幅度最大.而陈延玲等^[9]的研究结果表明,随着密度的增加,0~20 cm 土层中的根系显著变小变细,对深层根系影响较小.王海燕等^[10]研究指出,密度增大,根系活力呈逐渐降低的趋势.以上均说明了密度的增加会带给根系一定的负效应,但针对群体密度的增加玉米根系形态、干质量和生理特性等变化的综合研究鲜有报道.本研究选取吉林省有代表性的玉米品种,研究群体密度的增加对其根系性状的综合影响,从玉米根系形态及生理学角度探讨根系对密度变化的响应机制.

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米 *Zea mays* L. 品种为益丰 29(吉林省义种业有限公司)、郑单 958(河南省农业科学院)、先玉 335 和先玉 420(美国先锋公司).

1.2 试验设计

试验于 2009—2011 年在吉林农业大学作物研究中心试验站进行.土壤为典型黑土,其理化性质为: w (有机质) 1.21%,全氮 1.093 g·kg⁻¹,全磷 381.83 mg·kg⁻¹,碱解氮 65.27 mg·kg⁻¹,速效磷 10.68 mg·kg⁻¹,速效钾 103.84 mg·kg⁻¹,pH 6.8.试验采用随机区组设计,3 次重复.每小区 10 行,行长 10 m,垄距 0.65 m,小区面积为 65 m².区组两边各 2 行保护行.试验所用氮肥为尿素[w (N) 46%],磷肥为磷酸氢二铵[w (P₂O₅) 46%],钾肥为硫酸钾[w (K₂O) 60%].磷钾肥播种前一次性施入,氮肥分 3 次施入,即播种前 30%、拔节期 50%、抽穗期 20%.施肥量为 N 220 kg·hm⁻²、P₂O₅ 80 kg·hm⁻²、K₂O 90 kg·hm⁻².密度设定 7 个处理,分别为 5、6、7、8、9、10、11 万株·hm⁻².其他管理措施按照玉米高产栽培田进行.

1.3 取样和样品测定

采用大田常规挖掘方法^[8]于玉米抽雄期(7 月

23)和灌浆初期(8 月 5 日)取样,6 次重复,每个重复选择连续 3 株玉米进行取样,以每株所占的行距和株距为 1 个样方,挖取 0~40 cm 土层的根系,将土层里所有可见的根系由人工挑出,用清水冲洗干净后,根系上附着的水用吸水纸吸干备用.抽雄期和灌浆初期取鲜样测定生理指标.灌浆初期测量气生根数量、根系鲜质量,然后于烘箱内 105 °C 杀青、80 °C 烘干后测量根系干质量.

根系活力采用 TTC 还原法测定^[11].超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光化还原法^[12],以单位时间内抑制光还原 50% 所需的酶量为 1 个酶活力单位(U);过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[13],以每分钟内 $D_{470\text{ nm}}$ 变化 0.01 为 1 个酶活力单位(U);过氧化氢酶酶(CAT)活性采用徐田军^[14]的方法,以 1 min 内 $D_{240\text{ nm}}$ 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活力单位(U).丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥法测定^[15].

1.4 数据分析

所有试验数据采用 DPS 统计软件进行统计和分析;利用 Excel 2003 软件进行作图.

2 结果与分析

2.1 群体密度对玉米气生根数量的影响

从表 1 可以看出,4 个品种气生根数量随着群体密度的增加先升高后下降.益丰 29 和郑单 958 对群体密度的变化较敏感,8 万株·hm⁻² 种植密度下气生根数量显著降低.不同处理 4 个品种平均气生根数量以先玉 335 和郑单 958 最高,比先玉 420 和益丰 29 平均增加 12.6%.

表 1 群体密度对不同玉米品种气生根数量的影响¹⁾

Tab. 1 Effects of population density on the number of brace roots of different maize varieties 条·株⁻¹

种植密度/ (万株·hm ⁻²)	先玉 420	先玉 335	益丰 29	郑单 958
5	23.8b	28.0b	26.5b	28.7bc
6	25.7a	28.3ab	26.9ab	29.6ab
7	25.0a	29.4a	27.9a	30.6a
8	24.8ab	29.6a	26.1b	28.1c
9	24.7ab	28.1ab	25.8b	26.4d
10	18.4c	23.6c	19.4c	20.4e
11	16.7d	20.1d	17.6d	19.8e
平均值	22.7c	26.7a	24.3b	26.2a

1) 同一品种不同种植密度数据后凡是有一个相同小写字母者,表示同一品种不同密度处理差异不显著;平均值数据后凡是有一个相同小写字母者,表示不同品种间差异不显著($P>0.05$,Duncan's 法).

2.2 群体密度对玉米根系干质量的影响

随着密度的变化,品种间根系干质量差异较大,不同密度处理平均根系干质量以郑单 958 和先玉 335 最大,分别达 60.2 和 $58.9 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$,二者无显著差异,但均显著高于益丰 29 ($46.2 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$) 和先玉 420 ($39.7 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$). 郑单 958 在 $7 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 根系干质量达到最大,此处理下郑单 958 比其他 3 个品种根系

干质量分别增加 26.68% (先玉 420)、 6.28% (先玉 335) 和 30.34% (益丰 29). 4 个玉米品种根系干物质百分比随密度变化的趋势不同. 先玉 420 先增加后降低,其他 3 个品种均呈降低-升高-降低的变化,低谷和高峰分别出现在 6 和 $7 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$. 不同密度处理各品种平均根系干物质百分比仍以郑单 958 最高,为 27.5% ,显著高于益丰 29 (21.6%) 和先玉 420 (18.3%).

表 1 群体密度对不同玉米品种根系干质量的影响¹⁾

Tab. 1 Effects of population density on the dry matter accumulation of maize

种植密度/ (万株·hm ⁻²)	先玉 420		先玉 335		益丰 29		郑单 958	
	干质量/ (g·株 ⁻¹)	百分比/%	干质量/ (g·株 ⁻¹)	百分比/ %	干质量/ (g·株 ⁻¹)	百分比/ %	干质量/ (g·株 ⁻¹)	百分比/ %
5	52.6c	22.3b	79.9a	33.5a	66.8a	28.2a	74.9b	31.0b
6	59.1b	23.9b	70.4b	26.7b	61.3b	22.9b	79.8a	28.8c
7	64.1a	27.0a	76.4a	33.0a	62.3b	26.8a	81.2a	35.3a
8	42.7d	20.2c	60.1c	26.1b	50.8c	23.3b	64.6c	27.3d
9	28.4e	15.3d	51.0d	23.7c	34.9d	18.1c	50.5d	27.3d
10	20.4f	12.7e	41.9e	24.3c	26.4e	17.5c	39.6e	24.1e
11	10.3g	6.9f	32.8f	19.4d	20.9f	14.6d	30.7f	18.5f
平均值	39.7c	18.3c	58.9a	26.7a	46.2b	21.6b	60.2a	27.5a

1) 同一品种不同种植密度数据后凡是有有一个相同小写字母者,表示同一品种不同密度处理差异不显著;相同指标平均值数据后凡是有有一个相同小写字母者,表示不同品种间差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法). 百分比(干物质百分比) = (鲜质量 - 干质量)/干质量 $\times 100\%$.

2.3 群体密度对玉米根系活力的影响

从图 1 可以看出:在玉米抽雄期,4 个品种根系活力随着种植密度的增加均呈单峰曲线. 先玉 335 随着种植密度的增加逐渐上升,在密度 $7 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上时根系活力随着密度增加缓慢降低. 其他 3 个品种在密度 $5 \sim 6 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时根系

活力变化不大, $7 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时迅速升高,密度继续增加,根系活力开始下降. 同一处理同一玉米品种根系活力灌浆初期低于抽雄期. 不同种植密度处理下,品种间平均根系活力以先玉 335 最高,比其他品种分别高 25.37% (先玉 420)、 11.44% (益丰 29) 和 11.80% (郑单 958).

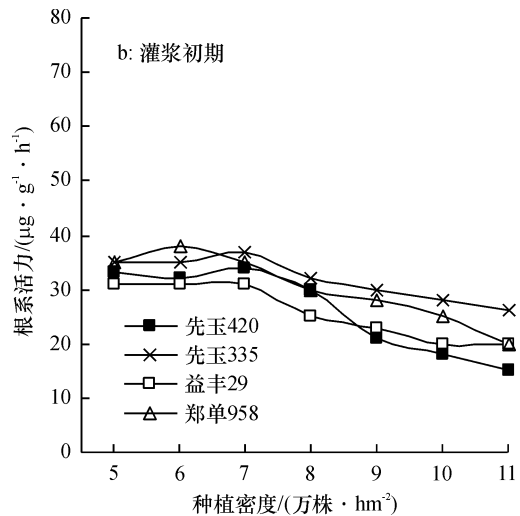
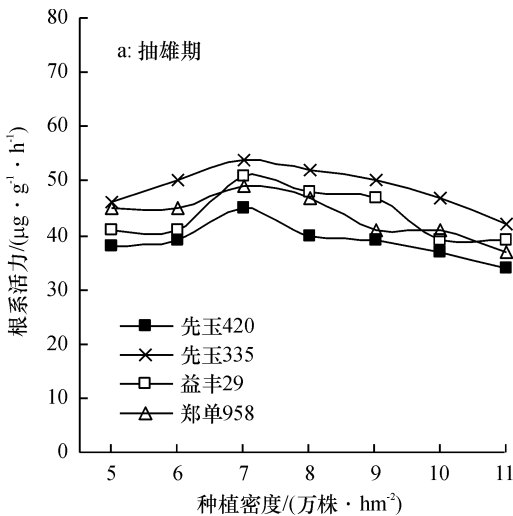


图 1 群体密度对抽雄期和灌浆初期不同玉米品种根系活力的影响

Fig. 1 Effects of population density on the root activity of different maize varieties in tasseling and early filling stages

2.4 群体密度对玉米根系保护酶活性的影响

抽雄期玉米 SOD 活性在 8 万株 · hm⁻² 开始降低;在灌浆初期,不同玉米品种 SOD 活性对密度的响应不同,先玉 335 随着密度的增加呈现升高 - 降低 - 升高 - 降低的变化,在密度 8 万株 · hm⁻² 条件下

出现低谷,2 个高峰值出现在 7 和 9 万株 · hm⁻². 其他 3 个品种随着密度的增加均先升高后降低. 在玉米抽雄期和灌浆初期,不同密度处理下,各品种平均 SOD 活性从大到小顺序均为:先玉 335 > 郑单 958 > 益丰 29 > 先玉 420(图 2A、2a).

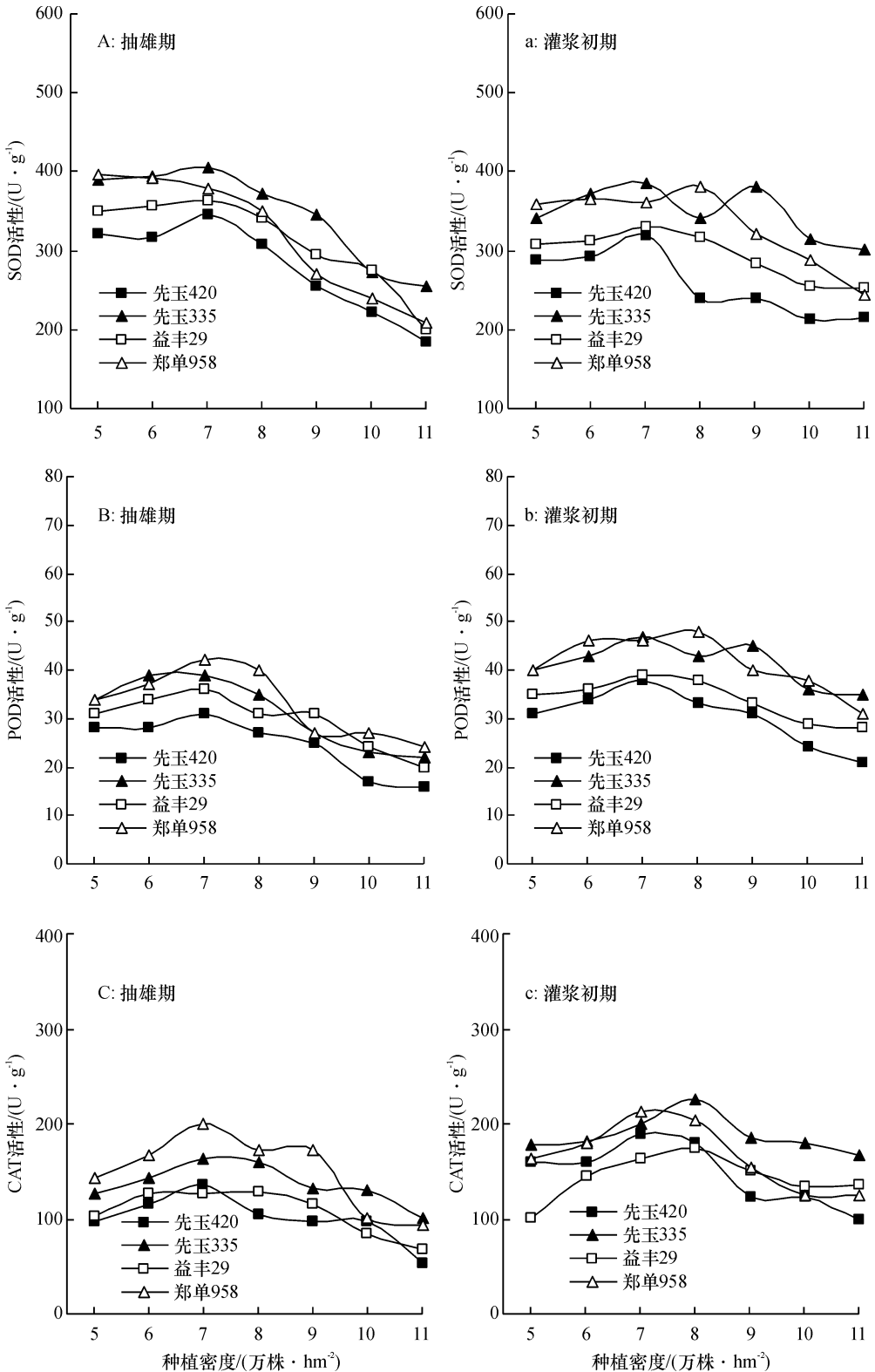


图 2 群体密度对抽雄期和灌浆初期不同玉米品种根系保护酶活性的影响

Fig. 2 Effects of population density on the protective enzyme activity of different maize varieties in tasseling and early filling stages

在玉米抽雄期,各处理平均根系 POD 活性为郑单 958 > 先玉 335 > 益丰 29 > 先玉 420; 灌浆初期根系 POD 活性和抽雄期相比有了很大的提高; 4 个品种对密度的响应不同, 益丰 29 和先玉 420 根系 POD 活性随着密度的增大逐渐升高, 灌浆初期在 7 万株·hm⁻² 时达到最大, 随后开始降低; 先玉 335 灌浆初期呈现“M”型曲线变化; 郑单 958 在密度 5~8 万株·hm⁻² 变化平缓, 9 万株·hm⁻² 开始迅速降低 (图 2B、2b)。

在玉米抽雄期, 在 5~8 万株·hm⁻² 范围内, 益丰 29 根系 CAT 活性随着密度的变化未表现出明显的差异, 其他 3 个玉米品种根系 CAT 活性则均在 7 万株·hm⁻² 达到最大, 随后降低。在 7 万株·hm⁻² 密度下, 郑单 958 根系 CAT 活性达 200.1 U·g⁻¹, 比其他

3 个品种增加 47.78% (先玉 420)、22.99% (先玉 335)、58.18% (益丰 29)。在玉米灌浆初期, 先玉 335 根系 CAT 活性在 5~8 万株·hm⁻² 范围内, 随种植密度增加逐渐升高, 不同密度下平均值为 188.4 U·g⁻¹, 比其他 3 个品种增加 27.8% (先玉 420)、31.3% (益丰 29)、13.1% (郑单 958) (图 2C、2c)。

2.5 群体密度对玉米根系膜脂过氧化物的影响

从图 3 中可以看出: 在玉米抽雄期和灌浆初期, 在 5~7 万株·hm⁻² 范围内, 密度对 4 个玉米品种根系 MDA 含量影响不大, 随着密度的增加, 各品种根系 MDA 含量开始逐渐增加。根系平均 MDA 含量抽雄期表现为先玉 420 > 益丰 29 和郑单 958 (二者无显著差异) > 先玉 335; 灌浆初期表现为先玉 420 > 益丰 29 > 郑单 958 和先玉 335。

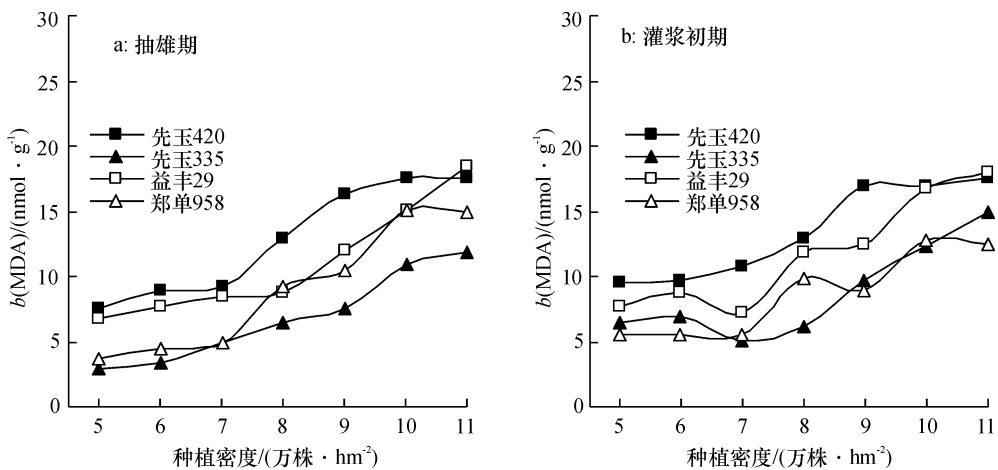


图 3 群体密度对抽雄期和灌浆初期不同玉米品种根系丙二醛(MDA)含量的影响

Fig. 3 Effects of population density on the MDA contents of different maize varieties in tasseling and early filling stages

3 讨论

根系是最活跃的吸收器官和合成器官, 根的生长状况、代谢水平、根系活力和生理特性对作物的健康生长尤为重要^[16], 直接影响地上部分的生长和营养状况^[17]. 群体密度的增加导致玉米所需光照、温度、水分、养分和空间条件发生改变, 除了地上部受荫蔽效应影响使得光合能力和同化物积累能力降低, 茎秆抗压碎程度和抗拉能力降低外, 其地下的根系活力、吸收能力和合成能力均有所下降^[18]. 在本研究中, 随着密度的增加, 4 个玉米品种气生根数量、根系干质量和干物质百分比均呈单峰曲线, 变化趋势一致, 这与管建慧等^[7] 研究结果一致, 即种植密度仅影响根系生长动态曲线的斜率和高低, 不能改变其生长轨迹的整体形状. 尽管先玉 335 抗倒伏能力较弱, 但其根系性状要优于另一抗倒伏能力较弱的玉米品种先玉 420. 关于密度对玉米根系的研究均表明, 随着密度增加, 根系形态、干物质等性状指标逐渐降低, 不同土层各指标降低的幅度不同^[5-6, 8-9]. 在本试验中, 从低密

度到中等密度范围内, 上层根系各性状指标逐渐升高, 密度继续增加, 各项指标迅速下降. 任何玉米品种都有其最适宜密度, 在该密度下, 各项指标均达到最优, 过高或过低对其都有不同程度的影响。

根系 TTC 还原量作为衡量根系活力大小的有效指标, 其含量的高低直接反映了根系的吸收、合成和运输能力^[28]. 有研究表明, 0~40 cm 为根系分布的密集区和吸收的活跃区^[19]. 在本研究中, 选择 0~40 cm 土层测定其根系活力及生理特性的变化, 4 个玉米品种根系活力对密度的响应基本一致. 除了根系活力的变化, 作物在生长过程中, 由于逆境的胁迫和自身的衰老, 体内会形成过量的活性氧自由基, 破坏细胞膜的结构和功能, 造成植物细胞受伤害. 丙二醛是自由基伤害膜系统的主要产物之一, 其含量间接反映了植物遭受胁迫伤害的程度^[20]. 与此同时, 作物也存在自身的保护酶系统, 共同防御活性氧及过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害, 超氧化物歧化酶 (SOD) 可以催化氧自由基歧化生成 H₂O₂, 而植物组织中高浓度的 H₂O₂ 主要被过氧化氢酶 (CAT) 和过

氧化物酶(POD)分解,从而对细胞膜起着保护作用,使作物可以抵抗逆境胁迫和衰老^[21].在正常情况或适度胁迫下,保护酶活性在植物体内自由基的产生和清除之间处于相对动态平衡状态.遇到逆境时,该平衡会被破坏,自由基产生量增加,清除量下降,膜脂过氧化产物丙二醛大量积累,最终导致细胞膜系统的严重损伤.只有清除细胞内H₂O₂的POD、CAT和清除氧的SOD协同作用,才能保证植物细胞的正常机能,延缓衰老^[22].本试验结果显示,随着密度的变化保护酶活性变化绝大多数呈单峰曲线,但最大值出现时间不同.密度7万株·hm⁻²处理下为各个品种保护酶活性的临界点,超过该密度,保护酶活性均出现不同程度的下降.但先玉335的降幅要低于其他3个玉米品种.

相关研究表明,随着密度的增加,植株根系质量下降,表现为根系形态、根系解剖性状和根系在土壤中分布的变化,加之地上部生长细弱、光合同化能力降低,地上部和地下部共同作用导致倒伏的发生;玉米根系参与很多代谢活动,具有多相、非均匀、各向异性等特点^[18,23-24].由于根系生长在土壤中无法直接观察,给根系研究造成了很大困难,尤其是田间条件下作物根系的研究更是提高了难度.本文参照李春俭等^[25]的方法,应用大田挖掘法小心挖取根系,选取抽雄吐丝期和灌浆初期2个重要的生育时期,研究其根系特征对密度的响应及与倒伏的关系,揭示了根系生理生态特征,为玉米倒伏的地下生态学机制研究奠定理论基础.

参考文献:

[1] 严云,廖成松,张福锁,等.密植条件下玉米冠根生长抑制的关系[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):257-265.

[2] PEARSON C J, JACOBS B C. Root distribution in space and time in *Trifolium subterraneum*[J]. Aust Agric Res, 1985, 36(4): 601-614.

[3] SADRAS V O, HALL A J, TRAPPANI N, et al. Dynamics of rooting and root length; Leaf area relationships as affected by plant population in sunflower crops[J]. Field Crop Res, 1989, 22(1): 45-47.

[4] 王空军,郑洪建,刘开昌,等.我国玉米品种更替过程中根系时空分布特性的演变[J].植物生态学报,2001,25(4): 472-475.

[5] 李宁,翟志席,李建民,等.密度对不同株型玉米农艺、根系性状及产量的影响[J].玉米科学,2008,16(5): 98-102.

[6] 杨罗锦,陶洪斌,王璞.种植密度对不同株型玉米生长及根系形态特征的影响[J].应用与环境生物学报,2012,18(6):1009-1013.

[7] 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.

[8] 赵江,张怡明,牛兴奎,等.不同密度条件下玉米根系性状在不同土层中的分布研究[J].华北农学报,2011,26(增刊):99-103.

[9] 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.

[10] 王海燕,高聚林,王志刚.高密度对超高产春玉米花期叶片衰老与根系活力的影响[J].玉米科学,2012,20(2):75-81.

[11] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008:60.

[12] CAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiol, 1992, 98:1222-1227.

[13] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases: I: Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977, 59:309-314.

[14] 徐田军,董志强,兰宏亮,等.低温胁迫下聚糠萘合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].作物学报,2012,38(2):352-359.

[15] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds [J] Planta, 1999, 207(4):604-611.

[16] 刘宁,于海秋,王晓磊,等.不同耐性玉米自交系苗期根系对低钾胁迫的生物学响应[J].玉米科学,2012,20(6):85-88,93.

[17] SULLIVAN W M, JIANG Z C, HULL R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Sci, 2000, 40: 765-772.

[18] 兰宏亮.东北春玉米密度对根系质量的影响与化学调控机理研究[D].北京:中国农业科学院,2011.

[19] 宋海星,李生秀.玉米生长空间对根系吸收特性的影响[J].中国农业科学,2003,36(8):899-904.

[20] 何学利.逆境及植物对逆境的适应性综述[J].现代农业科技,2010(11):31-33.

[21] 江福英,李延,翁伯琦.植物低温胁迫及其抗性生理[J].福建农业学报,2002,17(3):190-195.

[22] 谷岩,梁焯赫,王振民,等.不同抗旱性玉米苗期叶片活性氧代谢对水分胁迫的响应[J].安徽农业科学,2009,37(29):14089-14091.

[23] 李少昆,刘景德,张旺峰,等.不同密度玉米根系在大田土壤中的分布、重量的调节剂与地上部分的关系[J].玉米科学,1993(3):43-49.

[24] 戴俊英,鄂玉江,顾慰连.玉米根系的生长规律及其与产量关系的研究:II:玉米根系与叶的相互作用及其与产量的关系[J].作物学报,1988,14(4):310-314.

[25] 李春俭,彭云峰,牛君仿,等.土壤中的玉米根系生长及其研究应注意的问题[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):225-231.

【责任编辑 周志红】

<http://xuebao.scau.edu.cn>