

玉米耐深播优异种质的表型与生理特征分析

尚佳薇^{1,3}, 王创云², 王楠³, 李国君³, 段运平², 郝转芳³, 王振华¹

(¹ 东北农业大学农学系, 哈尔滨 150030; ² 山西农业科学院作物所, 太原 030031; ³ 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 深播是我国干旱半干旱地区玉米抗旱保苗的一个重要栽培措施, 因此, 玉米耐深播优异种质资源具有重要应用育种与生产价值。本研究对玉米耐深播种质资源 CGJ 和普通材料郑 58, 分别进行 2 cm 正常播深和 20 cm 深播处理, 于 2 叶 1 心期进行了表型和生理特征分析鉴定。结果表明, 深播处理下, CGJ 的主要特性是中胚轴显著伸长, CGJ 中胚轴为 10.68 cm, 为郑 58 的 2.5 倍; 电镜观察结果表明 CGJ 中胚轴细胞纵向延伸能力显著增强, 比郑 58 长 14 μm 。与常规材料相比, 深播条件下的 CGJ 萌发期要更早; CGJ 叶片和胚芽鞘中生长素变化不明显, 而中胚轴中的生长素含量提高了 47.72 ng/mL, 并且 CGJ 各部位的赤霉素含量都大于郑 58, 其中, 中胚轴内植物生长素和叶中的赤霉素增长极显著。该结果暗示中胚轴生长素激素水平升高可能是其耐深播的生理基础。本研究为玉米耐深播优异种质资源 CGJ 的基础研究与育种和生产应用奠定了表型与生理分析基础。

关键词: 玉米; 中胚轴; 耐深播

Study on the Phenotypic and Physiological Characteristics of Maize Deep-seeding Tolerance

SHANG Jia-wei^{1,3}, WANG Chuang-yun², WANG Nan³, LI Guo-jun³, DUAN Yun-ping²,
HAO Zhuan-fang³, WANG Zhen-hua¹

(¹ College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030; ² Institute of Crop Sciences, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031; ³ Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Crop Molecular Breeding, Beijing 100081)

Abstract: Deep-seeding is an important cultivation way to absorb soil water in arid and semi-arid areas of our country. In this study, we analyzed the physiological and morphological phenotypic characteristics with a deep-seeding tolerant maize germplasm CGJ and a commonly used control Zheng58 as materials under treatments of normal 2 cm-sowing and 20 cm-sowing depth, respectively. The results showed that the main phenotypic characteristic of CGJ was the elongation of sprout mesocotyl under deep-seeding treatment, with the length of 10.68 cm, which was 2.5 times longer than Zheng58. The results of electron microscopy showed that the cells in CGJ mesocotyl were significantly stretched, that was 14 μm longer than Zheng58. CGJ had an earlier germination stage compared with Zheng58. The auxin content in CGJ mesocotyl was increased by 47.72 ng/mL. These results provided phenotypic and physiological information for breeding of deep-seeding tolerant maize.

Key words: maize (*Zea mays* L.); mesocotyl; deep-seeding tolerance

玉米 (*Zea mays* L.) 是我国重要的粮食、饲料和工业原料作物, 现已成为我国的第一大农作物, 2015 年全国玉米种植面积为 5.72 亿亩^[1]。我国玉米有

2/3 的面积分布于主要依靠自然降雨的干旱及半干旱地区, 土壤表层水分缺乏常常导致顶层土壤坚硬, 种子不能正常萌发乃至出苗不齐影响产量, 而耐深

收稿日期: 2016-02-29 修回日期: 2016-04-20 网络出版日期: 2016-12-14

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20161214.1413.020.html>

基金项目: 国家自然科学基金 (31271735、31661143010)

第一作者主要研究方向为作物遗传育种。E-mail: shangv1990@126.com

通信作者: 王振华, 研究方向为玉米育种与分子生物学。E-mail: zhenhuawang_2006@163.com

郝转芳, 研究方向为玉米耐旱分子育种。E-mail: haozhuanfang@caas.cn

播玉米品种可以充分利用土壤深层水分,适宜干旱半干旱地区种植推广,提高玉米产量^[2]。

由于耐深播材料可以提高干旱缺水情况下出苗率,因此关于耐深播种质的利用研究由来已久。董存吉等^[3]利用具有耐深播特性的蓝粒玉米与玉米自交系自 330 等多次自交和回交,育成一系列耐深播的自交系,并由此选育出高产和抗旱的优良玉米杂交种用于生产。钟改荣等^[4]通过筛选耐深播种质,培育出耐深播种植的杂交种 42107,为干旱半干旱地区的玉米高产稳产提供保障。梁素明等^[5]以耐深播自交系 LR1921 为材料选育出抗旱玉米品种旱玉 5 号。尽管耐深播种质在育种上被重视,但对其表型及基因型遗传特性研究欠缺。G. H. Dungan^[6]早期研究表明,玉米耐深播性状主要指的是中胚轴长度,属于数量遗传性状^[7]。张磊等^[8]认为中胚轴和胚芽鞘协调决定着幼苗是否能顶土出苗,但中胚轴是起主要作用的因素;赵光武等^[9]提出深播出苗率与中胚轴长度显著相关。玉米中胚轴是指幼苗根部节间到芽鞘节之间的长度,玉米种子发芽后中胚轴长的顶土能力明显较强,可保持高的出苗率。除此之外,较长的中胚轴可以增加播种深度,以利于种子吸收水分,在早春干旱的情况下,长的中胚轴仍能够保持较高的出苗率,其中植物生长素(IAA)可能起着主要的作用^[10]。玉米的中胚轴长表现出随着播种深度增加而增加的趋势,而中胚轴直径则表现出随着播种深度增加而减小的趋势^[11]。因此,研究玉米中胚轴长度控制机理,对于培育耐深播玉米品种具有重要的作用。充分利用现有的种质资源,研究耐深播相关性状的表型遗传和耐深播特性的机制,对耐深播玉米新品种的选育具有理论指导意义。

本研究以耐深播玉米自交系 CGJ 和非耐深播玉米对照郑 58 为材料进行表型、生理学分析及细胞形态学观察,比较两者在深播状态下的根部和中胚轴等部分的表型特征,中胚轴部分细胞变化以及影响中胚轴伸长的内源激素变化,对耐深播表型特性进行进一步的探索,旨在为玉米耐深播相关性状的生理学研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

非耐深播玉米品种郑 58(对照)来源于中国农业科学院作物科学研究所,是郑单 958 的母本材料,在我国育种中被广泛使用;耐深播材料 CGJ 来源于山西省农业科学院作物所,属于美国印第安蓝粒玉

米,在深播 20~25 cm 条件下可以延长中胚轴,将胚芽推出土层出苗,出苗率高,耐深播。

选用当年收获的种子并且测定种子的原始活力,保证每粒种子的出苗率只与播深有关,排除了因为种子活力低而出苗率低或出苗不齐的可能,保证发芽率 98% 以上。

1.2 试验方法

将 CGJ、郑 58 分别于温室进行深播 20 cm 和正常播深 2 cm 处理,每个处理 5 次重复,每个重复 10 株,共 50 株。对于正常播深处理的种子,先在培养盒中均匀放入 35 cm 紧实度均一的土,边加土边加水,摆放种子,再均匀覆上 2 cm 的土,每盆统一设定浇水量 2 L;对于深播处理的种子,先在培养盒中均匀放入 20 cm 紧实度均一的土,边加土边加水,摆放种子,再均匀覆上 20 cm 的土,最后达到 2 L 浇水量。

于 2 叶 1 心期取样测量中胚轴长、根长、胚芽鞘长,使用 Phantom9900xl 扫描仪对植株根部和茎部进行扫描,并用万深 LA-S 系列植物图像根系分析系统对 2 个材料不同处理的根系进行分析。取中胚轴部分进行透射电镜和扫描电镜分析,观察其细胞伸长的细胞形态学差异。

测量每株材料不同组织部位与细胞伸长相关的生长激素,对正常播深 CGJ、正常播深郑 58、深播 CGJ、深播郑 58 分别取叶片、中胚轴、胚芽鞘、根 4 个部位,每个部位 5 次重复,分别提取植物生长素(IAA, Indole-3-acetic acid)^[12]、植物赤霉素(GA, Gibberellin)^[13]、内源乙烯(ETH, Ethylene)^[14]。

2 结果与分析

2.1 郑 58 和 CGJ 的出苗情况

对于正常播深处理,播种后 2 周 CGJ 和郑 58 都达到 2 叶 1 心期,50 株出苗数为 49 株,出苗率为 98%,2 个材料出苗率一致,达到 2 叶 1 心期时调查,5 个重复,每个重复随机取 6 株,共 30 株。对于深播处理,相比较常规材料郑 58,CGJ 的萌发期更早,播种 3 周后 CGJ 达到 2 叶 1 心期,50 株出苗数为 40 株,出苗率为 80%,达到 2 叶 1 心期时调查,5 个重复,每个重复随机取 6 株,共 30 株。郑 58 在深播条件下没有出苗,选未出苗发芽株数进行调查。

2.2 根部和茎部表型性状的测定

对 2 叶 1 心期的郑 58 和 CGJ 进行测量,包括根长、胚芽鞘长、中胚轴长(表 1),其中,20 cm 播深处理下的郑 58 样品是从土中轻轻刨开取样,并用扫描仪分析其根系具体的表型特征(图 1)。

表 1 郑 58 和 CGJ 在正常 2 cm 播深及 20 cm 深播处理下的表型性状的统计分析

Table 1 Phenotypic characteristics of CGJ and Zheng58 under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments

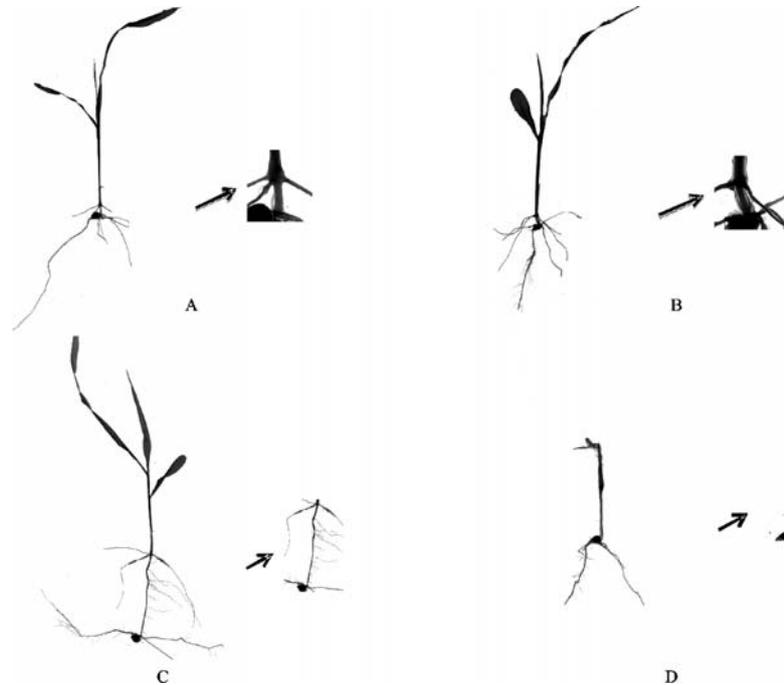
处理 Treatments	性状 Traits	材料 Materials	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV
正常播深 2 cm-sowing	根长 (cm)	郑 58	19.20	9.80	13.47	2.64	0.19
		CGJ	18.90	10.50	13.77	2.34	0.17
	胚芽鞘长 (cm)	郑 58	4.30	2.80	3.39	0.42	0.12
		CGJ	3.30	2.00	2.55	0.25	0.10
	中胚轴长 (cm)	郑 58	3.30	0.90	1.80	0.56	0.32
		CGJ	2.50	1.00	1.76	0.56	0.32
	根总长 (cm)	郑 58	219.87	141.24	171.32	26.71	0.16
		CGJ	163.04	112.14	142.36	15.22	0.11
	根部投影面积 (cm ²)	郑 58	40.99	23.88	32.99	5.24	0.16
		CGJ	29.81	22.94	26.38	2.42	0.09
	根部平均直径 (mm)	郑 58	1.19	0.83	0.97	0.12	0.12
		CGJ	0.94	0.71	0.81	0.07	0.08
	根部节点数 (个)	郑 58	1037	711	859	123.38	0.14
		CGJ	688	486	613	95.57	0.16
根部根尖数 (个)	郑 58	627	479	567	50.19	0.09	
	CGJ	446	235	356	80.58	0.23	
20 cm 深播 20 cm-sowing	根长 (cm)	郑 58	17.60	11.80	12.18	1.61	0.12
		CGJ	18.20	8.90	13.86	2.25	0.17
	胚芽鞘长 (cm)	郑 58	4.40	2.80	3.36	0.41	0.12
		CGJ	3.50	2.30	3.02	0.26	0.08
	中胚轴长 (cm)	郑 58	6.00	2.10	4.54	1.30	0.28
		CGJ	13.10	8.60	10.68	0.97	0.09
	根总长 (cm)	郑 58	109.15	87.48	94.63	7.01	0.07
		CGJ	243.96	102.21	169.79	47.58	0.28
	根部投影面积 (cm ²)	郑 58	15.08	12.93	14.09	0.67	0.05
		CGJ	36.37	18.85	26.82	6.52	0.24
	根部平均直径 (mm)	郑 58	0.63	0.53	0.76	0.03	0.06
		CGJ	1.02	0.54	0.58	0.16	0.22
	根部节点数 (个)	郑 58	1276	1119	1178	55.37	0.05
		CGJ	1411	913	1212	175.69	0.14
根部根尖数 (个)	郑 58	1125	983	1062	41.51	0.04	
	CGJ	1280	988	1100	100.07	0.09	

测量结果显示正常播深下郑 58 和 CGJ 均出苗良好,并且由于材料差异,郑 58 在胚芽鞘长、根总长、根部投影面积、根部平均直径、根部节点数和根尖数上都优于 CGJ,其中根总长郑 58 高于 CGJ 28.96 cm,投影面积郑 58 高于 CGJ 6.62 cm²,根部节点数郑 58 高于 CGJ 246 个,根尖数郑 58 高出 CGJ 211 个,并且差异极显著 ($P < 0.01$),而在根长和中胚轴上没有显著差异(图 2,图 3)。在 20 cm 深播处理下,郑 58 在根长、根部节点数和根尖数上与 CGJ 相比没有显著变化,郑 58 略低于 CGJ,而在其他几个性状上都与 CGJ 有极显著差异 ($P < 0.01$),尤其在中胚轴

长度方面 CGJ 中胚轴长度达到郑 58 的 2.5 倍。通过分析可以看出深播胁迫处理下,中胚轴长对出苗顶土起到关键性作用,其他性状作用不大,同时深播促进根的横向发展,有利于根部节点数和根尖数的提高。

2.3 郑 58 和 CGJ 中胚轴细胞学分析

取正常 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下郑 58 及 CGJ 的中胚轴部分进行透射电镜和扫描电镜分析。扫描电镜结果显示在正常播深下,郑 58 和 CGJ 的中胚轴部分的细胞形态保持正常生长状态,均无明显伸长。单位面积内,郑 58 细胞数目 45 个,纵向平

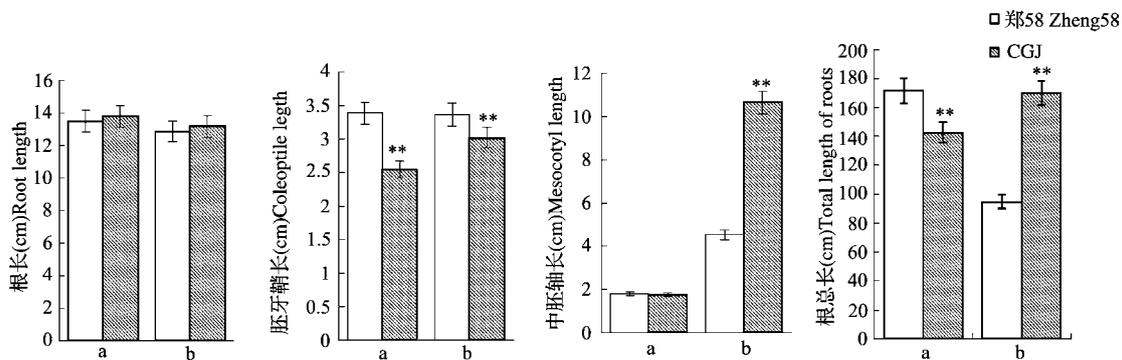


A: 正常 2 cm 播深处理下 CGJ 在 2 叶 1 心期的中胚轴; B: 正常 2 cm 播深处理下郑 58 在 2 叶 1 心期的中胚轴;
C: 20 cm 深播处理下 CGJ 在 2 叶 1 心期的中胚轴; D: 20 cm 深播处理下郑 58 在 2 叶 1 心期的中胚轴

A: Mesocotyl of CGJ at two-leaf stage under 2 cm-sowing treatment, B: Mesocotyl of Zheng58 at two-leaf stage under 2 cm-sowing treatment, C: Mesocotyl of CGJ at two-leaf stage under 20 cm-sowing treatment, D: Mesocotyl of Zheng58 at two-leaf stage under 20 cm-sowing treatment

图 1 正常 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下的 CGJ 和郑 58 在 2 叶 1 心期的中胚轴示意图

Fig. 1 Mesocotyl condition of CGJ and Zheng58 at two-leaf stage under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments



a: 正常 2 cm 播深; b: 20 cm 播深; ** 表示两个材料在 0.01 水平差异显著, 下同
a: 2 cm-sowing, b: 20 cm-sowing,

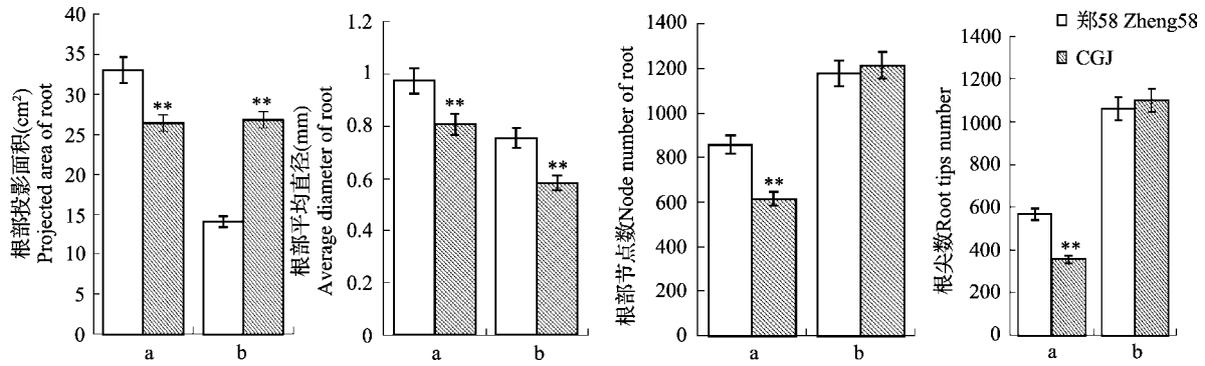
** represent significant difference at 0.01 level between Zheng58 and CGJ, the same as below

图 2 正常 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下的郑 58 和 CGJ 在 2 叶 1 心期各部位长度

Fig. 2 Length of each part of CGJ and Zheng58 at two-leaf stage under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments

均长度 $60.67 \mu\text{m}$, CGJ 细胞数目 52 个, 纵向平均长度 $49.45 \mu\text{m}$ (图 4)。而在 20 cm 深播处理下, 郑 58 和 CGJ 的中胚轴部分的细胞均有明显伸长现象, 且 CGJ 的细胞伸长强于郑 58。由于受到挤压, 单位面积内, 郑 58 细胞数目变成 82 个, 而 CGJ 细胞数目 118 个; 郑 58 纵向平均长度 $55.56 \mu\text{m}$, 与正常播深相比并无伸长, 不存在显著性变化; 而 CGJ 的纵向平均长度变为 $66.67 \mu\text{m}$, 比正常深播纵向拉伸 $17.22 \mu\text{m}$ 。另外,

通过透射电镜可以看出, 20 cm 深播处理下 CGJ 相对于郑 58 单位面积内细胞体积增大, 并且有明显的伸长趋势, 单位面积内, 郑 58 的纵向平均长度为 $16 \mu\text{m}$, CGJ 的纵向平均长度为 $30 \mu\text{m}$, CGJ 的细胞纵向伸长约为郑 58 的 2 倍。细胞学分析可以看出深播处理下, 中胚轴细胞并没有增多, 而是靠纵向的拉长来提高中胚轴的长度, 说明深播处理下 CGJ 中胚轴伸长的原因主要来源于细胞的伸长 (图 5)。

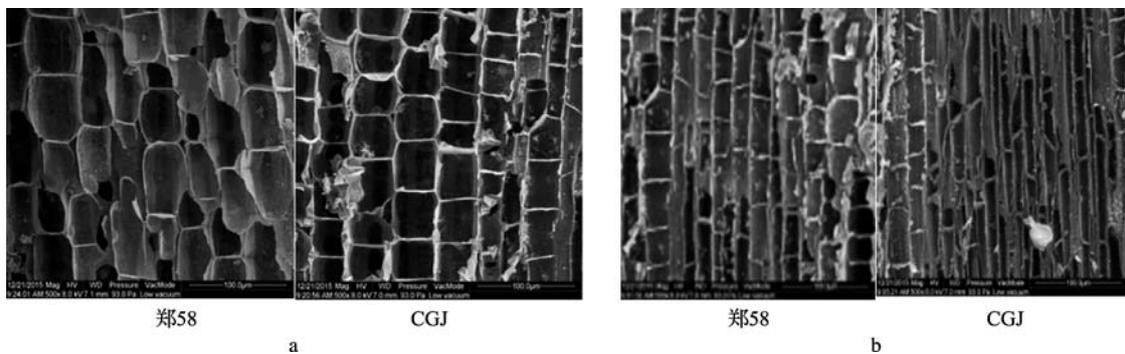


a: 正常 2 cm 播深; b: 20 cm 深播

a: 2 cm-sowing, b: 20 cm-sowing

图 3 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下的郑 58 和 CGJ 在 2 叶 1 心期的根部扫描结果

Fig.3 Root scanning image of CGJ and Zheng58 at two-leaf stage under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments



a: 正常 2 cm 播深; b: 20 cm 深播

a: 2 cm-sowing, b: 20 cm-sowing

图 4 正常 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下的郑 58 和 CGJ 中胚轴扫描电镜图 (× 500)

Fig.4 Scanning electron microscope photographs of mesocotyl in CGJ and Zheng58 under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments (× 500)

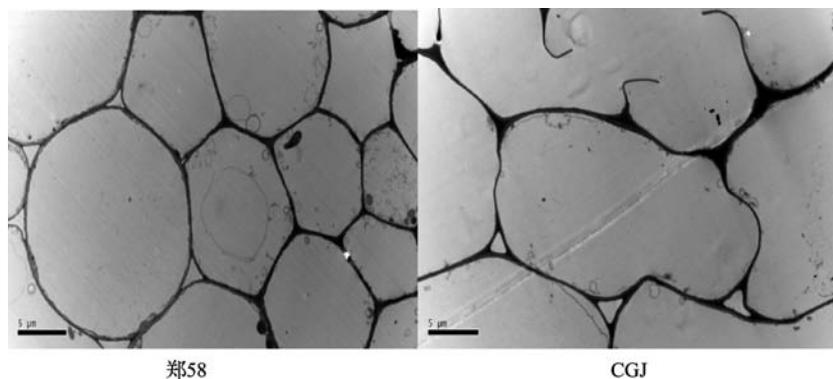


图 5 20 cm 深播处理下郑 58 和 CGJ 中胚轴部分的透射电镜图 (× 4000)

Fig.5 Transmission electron microscope photographs of mesocotyl in CGJ and Zheng58 under 20 cm-sowing treatment (× 4000)

2.4 郑 58 和 CGJ 的激素变化

通过测量郑 58 和 CGJ 在正常播深和 20 cm 深播处理下的各部位的的生长素 (IAA)、赤霉素 (GA) 和内源乙烯 (ETH) 含量发现, 内源乙烯在 2 个处理和 2 个材料之间都无显著性变化; 20 cm 深播处理下,

CGJ 与郑 58 两个材料仅在中胚轴和胚芽鞘的生长素含量上存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。以出苗的 CGJ 为样本, 与正常播深相比, 深播处理下, 生长素含量在叶片与胚芽鞘中变化不大, 中胚轴中生长素含量提高 47.72 ng/mL, 而根中生长素含量降低

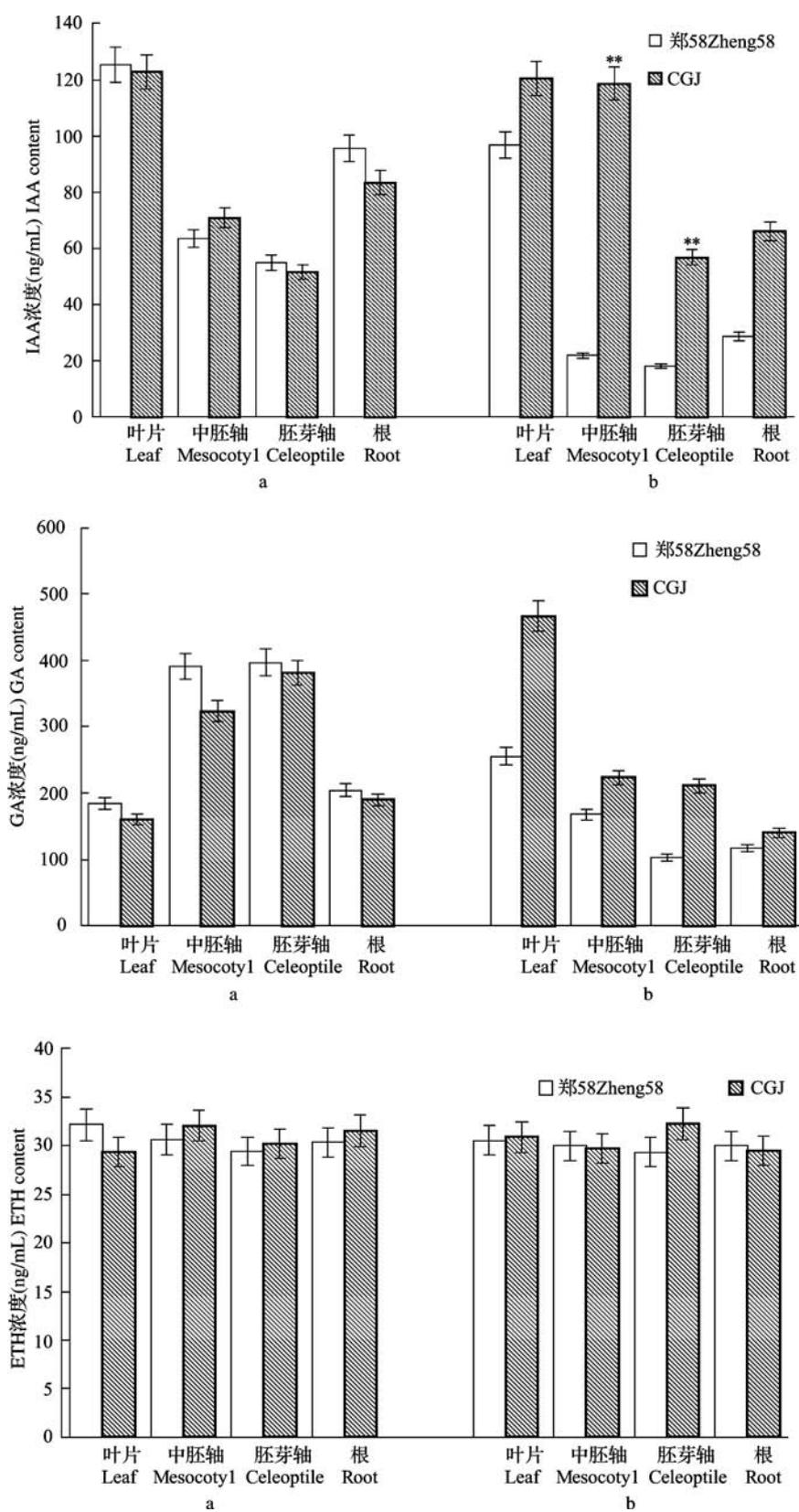
17.47 ng/mL。赤霉素含量仅在叶片中提高,在地下部中胚轴、胚芽鞘和根中下降,由此可见,深播处理下赤霉素可以促进叶片的生长,抑制根茎生长。两

种处理下只有 IAA 的含量在郑 58 和 CGJ 的中胚轴中存在极显著性差异,确认 IAA 与中胚轴细胞伸长有关(表 2,图 6)。

表 2 郑 58 和 CGJ 正常播深及深播条件下各部位的激素含量分析

Table 2 Analysis of hormone content in different parts of CGJ and Zheng58 under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments

处理	激素	部位	材料	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数
Treatments	Hormone	Parts	Materials	Max.	Min.	Mean	SD	CV
正常播深 2 cm-sowing	IAA	叶片	郑 58	195.89	108.06	125.39	29.74	0.64
			CGJ	184.15	71.05	122.67	34.70	0.36
		中胚轴	郑 58	69.49	53.62	63.42	6.42	0.10
			CGJ	98.19	53.56	70.85	32.56	0.46
		胚芽鞘	郑 58	97.87	29.63	55.06	30.38	0.55
			CGJ	88.14	29.35	51.61	24.74	0.48
	根	郑 58	153.44	50.15	95.63	48.73	0.51	
		CGJ	106.80	64.51	83.46	25.28	0.30	
	GA	叶片	郑 58	213.74	82.97	184.34	62.23	0.61
			CGJ	244.22	102.45	159.36	42.01	0.39
		中胚轴	郑 58	511.89	239.87	390.11	52.80	0.60
			CGJ	551.82	237.72	323.20	58.35	0.49
		胚芽鞘	郑 58	581.71	249.40	396.70	52.97	0.39
			CGJ	471.49	298.77	380.71	37.12	0.23
	根	郑 58	266.09	188.65	204.05	39.76	0.29	
		CGJ	244.24	96.00	189.29	30.93	0.32	
	ETH	叶片	郑 58	38.30	29.57	32.13	3.62	0.11
			CGJ	30.61	28.01	29.39	1.22	0.04
中胚轴		郑 58	31.48	29.81	30.66	0.73	0.02	
		CGJ	34.40	29.43	32.06	1.77	0.06	
胚芽鞘		郑 58	31.04	28.40	29.42	1.00	0.03	
		CGJ	31.73	28.90	30.25	1.17	0.04	
根	郑 58	34.89	29.02	30.37	2.54	0.08		
	CGJ	34.01	29.69	31.54	1.77	0.06		
20 cm 深播 20 cm-sowing	IAA	叶片	郑 58	146.03	59.52	96.75	32.66	0.44
			CGJ	152.87	61.10	120.45	35.24	0.62
		中胚轴	郑 58	26.23	16.80	21.85	3.94	0.18
			CGJ	149.52	82.67	118.57	20.40	0.34
		胚芽鞘	郑 58	20.91	14.44	18.11	2.55	0.14
			CGJ	100.24	41.13	56.82	22.98	0.44
	根	郑 58	59.25	16.25	28.72	17.32	0.60	
		CGJ	126.12	44.82	65.99	26.26	0.70	
	GA	叶片	郑 58	380.15	138.91	255.55	32.43	0.52
			CGJ	651.05	354.16	466.56	18.10	0.47
		中胚轴	郑 58	219.92	122.18	167.60	36.73	0.34
			CGJ	297.15	183.98	223.00	39.44	0.31
		胚芽鞘	郑 58	156.82	79.21	102.89	27.78	0.46
			CGJ	306.33	156.37	210.65	48.35	1.23
	根	郑 58	161.23	82.81	116.61	21.54	0.53	
		CGJ	185.88	108.47	140.32	29.30	0.35	
	ETH	叶片	郑 58	31.21	29.26	30.54	1.02	0.03
			CGJ	31.77	28.90	30.89	1.15	0.04
中胚轴		郑 58	33.40	28.32	30.00	2.06	0.07	
		CGJ	30.09	29.34	29.74	0.31	0.01	
胚芽鞘		郑 58	32.02	28.26	29.36	1.59	0.05	
		CGJ	38.89	29.63	32.31	3.81	0.12	
根	郑 58	30.87	28.74	30.00	0.80	0.03		
	CGJ	30.72	28.54	29.48	0.86	0.03		



a: 正常 2 cm 播深; b: 20 cm 深播 a: 2 cm-sowing, b: 20 cm-sowing

图 6 正常 2 cm 播深与 20 cm 深播处理下的郑 58 和 CGJ 各部位激素含量

Fig. 6 Hormone content of different parts of CGJ and Zheng58 under 2 cm-and 20 cm-sowing treatments

3 讨论

在我国,春季降水少,距地表 3~5 cm 土层土壤含水量不能满足一般玉米品种发芽所需的含水量,深播后即使发芽,也不能把幼苗送出地表,因此研究玉米耐深播优异种质资源对于选育耐旱的玉米新品种具有重要意义^[15]。耐深播的玉米优异种质资源在表层土失墒的情况下,深播种能出苗,在深播条件下,出苗率越高说明耐深播性越强。本试验在 20 cm 深播条件下,耐深播材料 CGJ 出苗率远远高于郑 58,且萌发期也早于郑 58,与郑 58 相比,可能 CGJ 配出的优良组合更适用于在干旱半干旱地区的选育和利用。本研究表明对耐深播起关键性作用的主要是中胚轴的伸长。在 20 cm 深播处理下,郑 58 和 CGJ 的中胚轴长度存在极显著差异,说明不同材料之间耐深播性差异较大,性状适合进行改良。因此,在以后的耐深播筛选和鉴定中,可以将中胚轴长作为鉴定玉米耐深播种质资源的重要指标,同时兼顾对根系节点数和根尖数的选择。

通过对郑 58 和 CGJ 的细胞形态学观察发现,20 cm 深播处理下,郑 58 和 CGJ 的中胚轴细胞形态特征存在极显著差异。虽然深播条件下郑 58 和 CGJ 的中胚轴细胞数由于受到胁迫都有增多受挤压的现象,但中胚轴较长的 CGJ 相对于中胚轴较短的郑 58,CGJ 中胚轴细胞的纵向平均长度显著高于郑 58 的中胚轴细胞长度,说明深播处理胁迫下 CGJ 中胚

轴伸长的原因来源于细胞的纵向伸长,为研究耐深播的遗传特性提供细胞学基础。根据我们对细胞内源激素的研究,推测深播胁迫处理下细胞的纵向伸长可能是由生长素的增加引起的。

参考文献

- [1] 梁萧. 中国玉米种业的加速度[J]. 玉米产业,2015(12):15
- [2] Wang C T, Li S K. Assessment of limiting factors and techniques prioritization for maize production in China[J]. Sci Agric Sin, 2010,43,1136-1146
- [3] 董存吉,王早荣. 长根茎蓝粒玉米种质利用初报[J]. 山西农业科学,1994(22):13-15
- [4] 钟改荣,白永新,孟俊文. 浅谈抗旱耐深播高产玉米新品种的利用与开发[J]. 玉米科学,1998(1):29-31
- [5] 梁素明,苏书文,王爱萍,等. 长根茎玉米品种旱玉 5 号的选育及栽培技术要点[J]. 山西农业科学,2008(36):34-36
- [6] Dungan G H. Reponse of com to extremely deep planting[J]. Agron J, 1950,42:256-257
- [7] Zhang H W, Ma P, Wang J H, et al. Mapping QTL controlling maize deep-seeding tolerance-related traits and confirmation of a major QTL for mesocotyl length[J]. Theor Appl Genet, 2012,124:223-232
- [8] 张磊,刘志增,黄亚群,等. 46 个玉米自交系耐深播特性分析[J]. 河北农业大学学报,2007,30(3):18-21
- [9] 赵光武,马攀,王建华,等. 不同玉米自交系耐深播能力鉴定及对深播胁迫的生理相应[J]. 玉米科学,2009,17(5):9-13
- [10] 杜金友,张桂荣,蔡爱军,等. 玉米中胚轴长度与内源激素关系的研究[J]. 玉米科学,2008,16(3):70-73
- [11] 岳丽杰. 不同播种深度下玉米出苗特性研究[D]. 成都:四川农业大学,2012
- [12] 卫晓轶,张学舜,魏锋,等. 激素对细胞伸长生长的调控综述[J]. 现代农业科技,2012(21):166-170
- [13] 未晓巍,勾畅,徐民泽,等. 高效液相色谱法测定玉米内源激素方法的改进研究[J]. 玉米科学,2013,21(3):144-148
- [14] 凌喆,郑淑芳,吴萍,等. 植物内源乙烯组织定位测定方法研究[J]. 河南农业科学,2008(4):51-52,63
- [15] 彭云玲,杨芳林,赵小强,等. 不同玉米自交系耐深播能力的差异分析[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):25-33