

淹水胁迫下玉米自交系苗期的形态生理差异

郑飞 汪丽霞 刘瑞响 孔令杰 陈艳萍 袁建华 崔亚坤

(江苏省农业科学院粮食作物研究所/江苏省农业生物学重点实验室, 210014, 江苏南京)

摘要 以 35 份适应长江中下游种植的玉米自交系为材料, 研究了淹水胁迫对玉米苗期生长的影响, 评价了玉米自交系苗期耐涝性差异。结果表明: 淹水胁迫对玉米形态和生理指标有显著影响。主成分分析表明: 叶绿素含量 (SPAD)、叶面积、株高、根干物重、茎干物重、叶干物重和总干物重的耐涝指数在 4 个主成分中占比较大; 总干物重、叶干物重、茎干物重、根干物重和叶面积的耐涝指数可以作为耐涝基因型筛选的指标。采用聚类分析将 35 份玉米自交系分为 3 类, 其中敏感型 17 个、中间型 6 个和耐涝型 12 个。

关键词 玉米; 苗期; 形态; 生理; 淹水胁迫

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



长江中下游地区季节性降水频率高、雨量大^[1], 夏播玉米苗期遭遇涝渍灾害呈增加的趋势^[2]。玉米淹渍灾害已成为限制该区域提高产量和扩大种植面积的重要非生物胁迫因子。玉米淹水会导致根际缺氧^[3], 营养元素吸收受抑制, 叶绿素分解, 光合效率降低^[4-5], 严重影响植株的生长和产量形成^[6-8]。玉米苗期对淹水胁迫的响应更为明显^[9-10], 苗期淹水还会影响生育后期生殖器官的生长发育^[11-12]。选育优良耐涝玉米品种是解决这一问题的有效方法, 而明确玉米耐涝的生理生态机理并准确鉴定耐涝特性是选育优良耐涝品种的前提。玉米种质资源具有极强的区域适应性和遗传特异性, 加强长江中下游地区优良玉米自交系的耐涝性研究十分必要。

前人对玉米的耐涝鉴定方法和评价体系各异, 如王成雨等^[13]研究指出, 叶片重、根冠比和叶茎比可以作为衡量玉米品种耐淹能力的形态指标; Liu 等^[14]指出玉米地上部和地下部干物重的耐性指数、叶片萎黄度和丙二醛含量可作为耐涝性筛选的重要指标。玉米耐涝性的表现是一系列生理和分子水平响应的复杂过程, 单一指标不能进行全面的评价。因此, 本研究选用 35 份优良玉米自交系为材料, 基于主成分分析和系统聚类分析方法, 通过盆栽试

验系统地研究了淹水胁迫下玉米自交系苗期生理形态差异, 为玉米苗期耐涝自交系的筛选和评价提供借鉴, 同时为玉米苗期耐涝的分子生理机制研究、种质创新和耐涝品种的选育提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

盆栽试验于 2019 年在江苏省农业科学院六合动物科学基地防雨棚中进行。供试材料为适应长江中下游玉米种植区的 35 份玉米自交系 (表 1)。供试材料多数为近 10 年 (2009–2019 年) 江苏省农业科学院粮食作物研究所通过在南京春秋 2 季和海南冬季加代选育出的优异自交系 (苏 95-1、JS06730 及其改良系^[15], 均为审定或参试品种的亲本), 还包括郑单 958、先玉 335 和迪卡 517 的双亲自交系。每份自交系种植 6 盆, 每盆播种 10 株, 于两叶一心期选择长势一致植株间苗至每盆 5 株。播种日期为 5 月 18 日, 于三叶一心期开始淹水处理, 保持水面高于土层 2cm, 淹水持续时间为 6d。对照为正常水分处理 (土壤田间持水量的 75%~80%)。每处理设置 3 个重复 (盆)。淹水处理结束时测定玉米顶展叶的叶绿素含量和叶绿素荧光参数等, 同时采

作者简介: 郑飞, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: 540061782@qq.com

崔亚坤为通信作者, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: cuiyakun1920@163.com

基金项目: 国家重点研发计划“西南及南方平丘区抗逆高产耐瘠薄玉米新品种培育” (2018YFD0100102); 现代农业产业技术体系建设专项“江苏玉米综合试验站” (CARS-02-50); 江苏省现代作物生产协同创新中心 (JCIC-MCP); 四川省科技厅项目“玉米叶色突变 *wgs11* 基因克隆及分子调控机制研究” (面上) (2018JY0170)

收稿日期: 2019-10-22; 修回日期: 2019-11-16; 网络出版日期: 2020-07-28

表 1 供试玉米自交系
Table 1 The tested maize inbred lines in the experiment

编号 Code	材料名称 Material name	备注 Note	编号 Code	材料名称 Material name	备注 Note
1	HCL645	迪卡 517 母本	19	JS131010	JS06730 改良系
2	PH6WC	先玉 335 母本	20	JS111067	齐 319 改良系
3	郑 58 Zheng 58	郑单 958 母本	21	JS161111	JS06730 改良系
4	JS161022	Su95-1 改良系	22	JS141073	JS06730 改良系
5	苏 95-1 Su 95-1	苏玉 29 母本	23	JS131061	JS06730 改良系
6	JS131160	Su95-1 改良系	24	JS161199	JS06730 改良系
7	JS161131	Su95-1 改良系	25	JS161116	JS06730 改良系
8	JS161527	Su95-1 改良系	26	JS141043	JS06730 改良系
9	JS161045	Su95-1 改良系	27	JS141045	JS06730 改良系
10	JS161133	Su95-1 改良系	28	JS161474	JS06730 改良系
11	JS161136	Su95-1 改良系	29	JS141027	JS06730 改良系
12	JS161137	Su95-1 改良系	30	JS06730	苏玉 39 父本
13	JS161061	Su95-1 改良系	31	PH4CV	先玉 335 父本
14	JSD1189	Su95-1 改良系	32	D1798Z	迪卡 517 父本
15	JS131089	JS06730 改良系、苏科玉 1417 父本	33	JS151181	JS06730 改良系
16	JS121042	JS06730 改良系、苏科玉 1409 父本	34	昌 7-2 Chang 7-2	郑单 958 父本
17	JS141004	JS06730 改良系	35	齐 319 Qi 319	鲁单 981 母本
18	JS161107	JS06730 改良系			

集形态指标数据。

1.2 测定项目与方法

采用多功能植物测量仪（PhotosynQ）于上午 9:00-11:00 测定叶绿素含量（SPAD）、实际光化学效率（ ϕ_{psII} ）、非光化学猝灭系数（NPQ）和叶片厚度，每处理重复取 2 片生长一致且向光的顶展叶。

淹水结束时每处理重复取 5 株植株，将地上部、地下部各器官分开，分别于 105℃下杀青 30min，80℃烘干至恒重，称干物重。根冠比 = 地下部干物重 / 地上部干物重。

淹水结束时每处理重复选取 5 株植株，测定每片叶的叶长和叶宽，叶面积 = 长 × 宽 × 0.75，并计算单株叶面积。

本研究采用耐涝指数来衡量不同基因型间的耐涝性差异。耐涝指数 = 淹水条件下的测定值 / 正常水分条件下的测定值。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 和 IBM SPSS 20.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 淹水与正常水分条件下玉米自交系苗期生长指标的差异

由表 2 可知，淹水和正常水分条件下玉米自

交系间的 12 个指标差异均达到极显著水平。2 个水分处理下玉米自交系间变异较大的指标有根干物重、NPQ、茎干物重、总干物重、叶干物重、叶面积、根冠比、根长和根数（变异系数均大于 15%）。与对照相比，淹水处理下 ϕ_{psII} 、SPAD、叶片厚度、叶面积、株高、根长、根干物重、茎干物重、叶干物重、总干物重和根冠比均极显著降低，NPQ 极显著升高，根数无显著影响。

2.2 玉米自交系苗期耐涝型的指标筛选

为了确定玉米苗期耐涝指标的筛选，对 13 个指标的耐性指数进行主成分分析，由表 3 可知，4 个因子的累计贡献率达 77.29%。

其中 SPAD、叶面积、株高、根干物重、茎干物重、叶干物重和总干物重的耐涝指数对第 1 主成分的特征向量较大，其中干物重对的耐涝指数的特征向量尤为突出。说明淹水胁迫处理下，叶片 SPAD 减少，光合能力下降，植株干物质积累受到严重影响。

根系生长指标和光合指标的耐涝指数对第 2 和第 3 主成分的特征向量较大，说明淹水胁迫处理下保持较高的光合能力和根系生长量是植株耐涝的重要特征。

叶片厚度对第 4 主成分的特征向量最大，为 0.89，SPAD 对第 4 主成分的特征向量为 0.38，说明玉米苗期通过调整叶片形态和生理活性来适应淹

表 2 淹水胁迫对玉米自交系苗期形态生理指标的影响
Table 2 Effects of waterlogging stress on morphological and physiological indexes in maize inbred lines at seedling stage

指标 Index	对照 Control				淹水 Waterlogging				耐涝指数 Waterlogging tolerance index			
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	变异系数 Variable coefficient (%)	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	变异系数 Variable coefficient (%)	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	变异系数 Variable coefficient (%)
ϕ_{PSII}	0.64	0.50	0.56A	6.75	0.61	0.41	0.52B	10.61	1.01	0.75	0.92	7.77
NPQ	0.28	0.06	0.19B	30.09	0.44	0.10	0.26A	31.21	2.30	1.01	1.42	26.75
SPAD	60.51	40.89	53.47A	9.12	47.99	27.77	39.70B	11.77	1.03	0.51	0.75	13.37
叶片厚度 Leaf thickness (mm)	1.81	1.42	1.61A	6.94	1.72	1.10	1.45B	10.88	1.15	0.67	0.90	12.44
叶面积 (cm ² /株) Leaf area (cm ² /plant)	338.70	128.70	228.70A	21.99	170.70	55.50	108.30B	25.37	0.71	0.32	0.48	18.01
株高 Plant height (cm)	55.30	34.50	43.60A	10.42	40.00	21.60	30.90B	15.10	0.84	0.55	0.71	10.17
根长 Root length(cm)	53.70	25.60	37.00A	19.96	31.10	12.90	22.50B	20.21	1.00	0.39	0.62	18.64
根数 Root number	22.00	9.30	13.40A	19.24	20.70	8.30	13.90A	20.02	1.57	0.69	1.04	17.80
根干物重 (g/株) Root biomass (g/plant)	0.73	0.18	0.43A	32.33	0.30	0.07	0.15B	35.70	0.59	0.20	0.36	28.28
茎干物重 (g/株) Stem biomass (g/plant)	0.46	0.15	0.31A	28.06	0.41	0.11	0.24B	33.72	0.98	0.54	0.78	18.06
叶干物重 (g/株) Leaf biomass (g/plant)	0.73	0.25	0.49A	24.56	0.39	0.11	0.24B	31.52	0.80	0.33	0.49	25.77
总干物重 (g/株) Total biomass (g/plant)	1.80	0.60	1.20A	25.39	1.09	0.30	0.63B	32.10	0.75	0.33	0.51	21.60
根冠比 Root/shoot ratio	0.78	0.25	0.54A	21.71	0.44	0.24	0.31B	16.33	1.13	0.36	0.60	23.36

注：不同大写字母表示 0.01 水平下差异极显著。下同
Note: Different capital letters mean extremely significant difference at 0.01 level. The same below

表 3 13 个耐涝指标的主成分分析
Table 3 Principle component analysis
on 13 waterlogging tolerance indexes

耐涝指数 Waterlogging tolerance index	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
ϕ_{PSII}	0.21	-0.77	0.46	-0.02
NPQ	-0.31	0.68	-0.54	0.08
SPAD	0.66	-0.31	0.14	0.38
叶片厚度 Leaf thickness	0.22	-0.11	-0.15	0.89
叶面积 Leaf area	0.77	0.09	-0.03	-0.29
株高 Plant height	0.67	-0.21	0.02	-0.33
根长 Root length	0.15	0.35	0.68	0.00
根数 Root number	0.52	-0.05	-0.43	-0.22
根干物重 Root biomass	0.74	0.58	0.23	0.06
茎干物重 Stem biomass	0.83	-0.01	-0.22	-0.03
叶干物重 Leaf biomass	0.93	-0.03	-0.15	0.07
总干物重 Total biomass	0.95	0.21	-0.07	0.06
根冠比 Root/shoot ratio	0.06	0.78	0.48	0.06
特征值 Eigenvalue	4.96	2.34	1.56	1.20
贡献率 Contribution rate (%)	38.15	17.97	11.97	9.20
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	38.15	56.11	68.09	77.29

水胁迫。

对 13 个指标的耐涝指数进行相关性分析（表

4），结果表明，根干物重、叶干物重、茎干物重和总干物重的耐涝指数与叶片 SPAD、叶面积、株高的耐涝指数均呈显著或极显著相关。因此，总干物重、叶干物重、茎干物重、根干物重和叶面积的耐涝指数可作为耐涝自交系筛选的指标。

2.3 玉米苗期耐涝自交系的筛选

以叶干物重、总干物重、茎干物重、叶面积和根干物重的耐涝指数为指标，数据经归一化处理后，采用组内平均连接方法进行聚类分析（图 1）。可将 35 个玉米自交系聚成 3 类：敏感型（17 个）如：PH6WC、PH4CV、郑 958、HCL645、齐 319 和苏 95-1 等，中间型（6 个）和耐涝型（12 个）如：昌 7-2、D1798Z、JSO6730、JS131089、JS161045 和 JS161136 等。

进一步分析 3 个类群的叶干物重、总干物重、茎干物重、叶面积和根干物重的耐涝指数差异，结果（表 5）表明，敏感型玉米自交系叶干物重、总干物重、茎干物重、叶面积和根干物重的耐涝指数均极显著低于耐涝型，敏感型玉米自交系叶干物重、总干物重、茎干物重、叶面积和根干物重的耐涝指数与耐涝型的比重分别为 61.90%、66.67%、

表 4 玉米自交系苗期淹水胁迫下各形态生理指标耐涝指数间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of morphological and physiological indexes under waterlogging stress at maize seedling stage

指标 Index	ϕ_{PSII}	NPQ	SPAD	叶片厚度 Leaf thickness	叶面积 Leaf area	株高 Plant height	根长 Root length	总根数 Root number	根干物重 Root biomass	茎干物重 Stem biomass	叶干物重 Leaf biomass	总干物重 Total biomass
NPQ	-0.80**											
SPAD	0.35*	-0.41*										
叶片厚度 Leaf thickness	0.04	-0.03	0.37*									
叶面积 Leaf area	0.12	-0.23	0.22	0.03								
株高 Plant height	0.21	-0.30	0.53**	-0.11	0.44**							
根长 Root length	0.01	-0.13	0.00	-0.01	0.14	0.06						
根数 Root number	-0.07	-0.10	0.22	0.10	0.50**	0.35*	-0.11					
根干物重 Root biomass	-0.15	0.02	0.38*	0.08	0.56**	0.34*	0.33	0.21				
茎干物重 Stem biomass	0.13	-0.06	0.49**	0.10	0.50**	0.55**	-0.02	0.34*	0.58**			
叶干物重 Leaf biomass	0.16	-0.22	0.55**	0.29	0.75**	0.52**	0.09	0.50**	0.61**	0.78**		
总干物重 Total biomass	0.04	-0.10	0.53**	0.22	0.71**	0.51**	0.15	0.41*	0.82**	0.87**	0.92**	
根冠比 Root/shoot ratio	-0.34*	0.21	-0.04	-0.10	0.07	-0.12	0.42*	-0.13	0.68**	-0.13	-0.09	0.16

注：“*”表示在 0.05 水平显著相关，“**”表示在 0.01 水平极显著相关
Note: “*” indicates significant difference at 0.05 level, “**” indicates extremely significant difference at 0.01 level

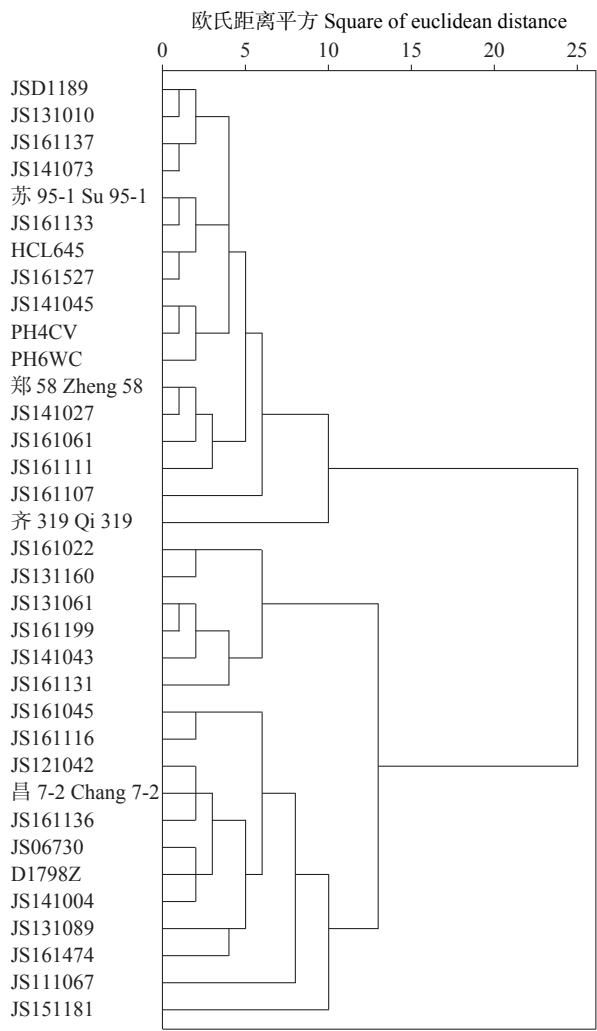


图 1 35 份玉米自交系的系统聚类图

Fig.1 System clustering of 35 maize inbred lines

72.22%、75.00% 和 65.91%。

表 5 3 类玉米自交系苗期耐涝性差异

Table 5 Differences of waterlogging tolerance at seedling stage among three maize inbred lines

类型 Type	耐涝指数 Waterlogging tolerance index				
	叶干物重 Leaf biomass	总干物重 Total biomass	茎干物重 Stem biomass	叶面积 Leaf area	根干物重 Root biomass
敏感型 Sensitive type	0.39B	0.42C	0.65B	0.42B	0.29B
中间型 Mean type	0.48B	0.53B	0.87A	0.48B	0.37AB
耐涝型 Tolerant type	0.63A	0.63A	0.90A	0.56A	0.44A

3 讨论

为了得到简单、易测量的指标用于筛选耐涝玉米自交系，应尽量降低环境和基因型等背景差异，本研究采用了耐涝指数来降低环境和基因型的影响。在 13 个指标的耐涝指数中，NPQ、叶面积、根长、根数、根干物重、茎干物重、叶干物重、总干物重和根冠比的耐涝指数的基因型变异系数均大于 15%。本研究分析了淹水胁迫对玉米苗期形态生理特性的影响，发现根干物重、叶干物重、茎干物重和总干物重的耐涝指数与叶片 SPAD、叶面积、株高的耐涝指数均呈显著或极显著相关。叶片是光合作用的重要器官，涝渍胁迫下叶面积

降低,叶绿素含量下降,光合速率降低,活性氧代谢紊乱^[16-17],从而降低植株的干物质积累^[18-20]。淹水胁迫不仅影响玉米地上部冠层结构和光合能力,也会限制根系的生长发育^[6,20],本研究发现淹水胁迫降低根冠比,与前人的研究一致^[21]。通过对各性状的耐涝指数进行主成分分析和相关性分析,得出总干物重、叶干物重、茎干物重、根干物重和叶面积的耐涝指数可以作为耐涝自交系筛选的指标。

35份自交系均为长江中下游玉米种植区的优良自交系,通过聚类分析分为3类:敏感型、中间型和耐涝型。3个类型间叶干物重、总干物重、茎干物重、叶面积和根干物重的耐涝指数平均值均呈逐渐升高的趋势,敏感型各指标的耐涝指数平均数均极显著低于耐涝型。聚类分析结果表明,PH6WC、PH4CV、郑58、HCL645、齐319和苏95-1均表现为淹水敏感型。进一步分析发现部分苏95-1改良系提高了耐涝性,如JS161045和JS161136,多数苏95-1改良系耐涝性并未得到改良,今后对苏95-1的改良中应注意扩展遗传变异。昌7-2、D1798Z和JS06730表现为耐涝型。JS06730的部分改良系仍表现出较强的耐涝性,如JS131089、JS121042、JS111067和JS151181,可以通过杂交、回交等育种手段选育出综合性状更加优良的种质。前人研究表明,昌7-2和D1798Z有耐旱和提高籽粒脱水速率等特点^[22-23],可用来选育多抗、宜机收型玉米种质。在PH6WC、郑58和HCL645等材料的使用过程中,应适当考虑其不耐涝的缺点。玉米为具有杂种优势的作物,今后还需加强杂交种耐涝性的鉴定研究。

4 结论

35份玉米自交系分为敏感型、中间型和耐涝型。总干物重、叶干物重、茎干物重、根干物重和叶面积的耐涝指数可以作为耐涝基因型筛选的指标。今后在玉米苗期耐涝自交系种质评价筛选过程中,可加强对这些农艺性状的选择,提高耐涝型玉米选择的效率和准确性。

参考文献

[1]邓汗青,罗勇.近50年长江中下游春季和梅雨期降水变化特征.应用气象学报,2013,24(1):23-31.
[2]张桂香,霍治国,杨建莹,等.江淮地区夏玉米涝渍灾害时空分布

特征和风险分析.生态学杂志,2017,36(3):747-756.
[3]Lone A A,Khan M H,Dar Z A,et al. Breeding strategies for improving growth and yield under waterlogging conditions in maize: A review. Maydica,2016,61(1):1-11.
[4]Ren B,Zhang J,Dong S,et al. Responses of carbon metabolism and antioxidant system of summer maize to waterlogging at different stages. Journal of Agronomy & Crop Science,2018,204(5):505-514.
[5]Li W,Mo W,Ashraf U,et al. Evaluation of physiological indices of waterlogging tolerance of different maize varieties in South China. Applied Ecology and Environmental Research,2018,16(2):2059-2072.
[6]王秀玲,董鹏飞,王群,等.淹水胁迫条件下玉米苗期叶片蛋白质组学分析.河南农业大学学报,2015,49(5):608-615.
[7]Panozzo A,Dal Cortivo C,Ferrari M,et al. Morphological changes and expressions of *AOX1A*, *CYP81D8*, and putative *PFP* genes in a large set of commercial maize hybrids under extreme waterlogging. Frontiers in Plant Science,2019,10:62.
[8]马玉平,孙琳丽,马晓群.黄淮海地区夏玉米对干旱和涝渍的生理生态反应.干旱地区农业研究,2016,34(4):85-93.
[9]僧珊珊,王群,张永恩,等.外源亚精胺对淹水胁迫玉米的生理调控效应.作物学报,2012,38(6):1042-1050.
[10]朱敏,史振声,李凤海.玉米耐涝机理研究进展.玉米科学,2015,23(1):122-127.
[11]宁金花,张艳桂,解娜,等.苗期渍涝对南方春玉米形态影响的试验研究.华北农学报,2015,30(S1):449-455.
[12]余卫东,冯利平,胡程达,等.苗期渍涝对黄淮地区夏玉米生长和产量的影响.生态学杂志,2015,34(8):2161-2166.
[13]王成雨,宋贺,胡玲惠,等.玉米品种耐淹形态指标筛选及其耐淹光合生理特性研究.安徽农业大学学报,2014,41(4):533-539.
[14]Liu Y Z,Tang B,Zheng Y L,et al. Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. Agricultural Sciences in China,2010,9(3):362-369.
[15]袁建华,孟庆长,陈艳萍等.优良玉米自交系苏951的配合力分析及应用.玉米科学,2009,17(6):9-11,14.
[16]Tang B,Xu S Z,Zou X L,et al. Changes of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of waterlogging-tolerant and waterlogging-sensitive maize genotypes at seedling stage. Agricultural Sciences in China,2010,9(5):651-661.
[17]Tian L X,Bi W S,Liu X,et al. Effects of waterlogging stress on the physiological response and grain-filling characteristics of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. Acta Physiologiae Plantarum,2019,41(5):1-14.
[18]余卫东,冯莉评,胡程达.涝渍胁迫下玉米苗期不同叶龄叶片光合特性.玉米科学,2019,27(5):73-80,86.
[19]王吉,李凤海,吕香玲,等.淹水对糯玉米耐涝性差异近等基因系生理指标的影响.玉米科学,2018,26(5):65-70.
[20]任佰朝,张吉旺,董树亭,等.生育前期淹水对夏玉米冠层结构和光合特性的影响.中国农业科学,2017,50(11):2093-2103.
[21]Grzesiak M T,Szczyrek P,Rut G,et al. Interspecific differences in tolerance to soil compaction,drought and waterlogging stresses among maize and triticale genotypes. Journal of Agronomy & Crop Science,2015,201(5):330-343.
[22]王业建,郝浩江,李铭东,等.我国47份主要玉米自交系耐旱性分析.玉米科学,2018,26(4):10-16.
[23]王利锋,唐保军,王振华,等.不同类型玉米品种间籽粒脱水速率相关分析.玉米科学,2018,26(2):64-70.

Morphological and Physiological Differences of Maize Inbred Lines at Seedling Stage under Waterlogging Stress

Zheng Fei, Wang Lixia, Liu Ruixiang, Kong Lingjie, Chen Yanping, Yuan Jianhua, Cui Yakun

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory
of Agrobiolgy of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract To investigate the effects of waterlogging during seedling stage on morphology and physiology and to evaluate the genotypic differences, thirty-five maize inbred lines were used. The results showed that morphological and physiological traits were significantly affected by waterlogging stress. Principle component analysis indicated that SPAD, leaf area, plant height, root biomass, stem biomass, leaf biomass and total biomass had more proportion. The waterlogging tolerance indexes of total biomass, leaf biomass, stem biomass, root biomass and leaf area could be used for screening superior genotypes. The thirty-five maize inbred lines were classified into three groups as sensitive (seventeen inbred lines), mean type (six inbred lines) and tolerant (twelve inbred lines).

Key words Maize; Seedling stage; Morphology; Physiology; Waterlogging stress