

PEG 胁迫下玉米自交系苗期抗旱性鉴定及评价

鲁晓民¹,曹丽茹^{1,2},张新¹,张前进¹,魏昕¹,郭金生¹,王振华^{1*}

(1. 河南省农业科学院 粮食作物研究所,河南 郑州 450002; 2. 河南农业大学/河南粮食作物协同创新中心,河南 郑州 450002)

摘要:在人工气候室利用水培试验,对17个玉米自交系进行苗期PEG胁迫,测定对照(正常水分)与PEG胁迫处理的叶片相对含水量、叶绿素荧光参数、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、脯氨酸(Pro)含量及单株干质量,并采用模糊隶属函数和聚类分析方法对17个玉米自交系进行抗旱性评价和分类,以期筛选出苗期抗旱的玉米种质,建立抗旱性评价体系。结果表明,与对照相比,PEG胁迫下,除PSⅡ最大光化学量子产量Fv/Fm外,其他指标均发生显著变化,表现为叶片相对含水量下降,SOD和POD活性、Pro含量增加,单株干质量增加,说明玉米通过增加Pro含量、提高SOD和POD活性来应对外旱胁迫;同时,PEG胁迫下玉米自交系间的所有指标差异总体均达到了显著水平。隶属函数抗旱性评价与聚类分析将郑7024、郑588、L269、吉853归为中抗旱型玉米自交系,其他自交系均归为弱抗旱型玉米自交系。

关键词:玉米自交系;幼苗期;PEG胁迫;生理特性;抗旱性;隶属函数;聚类分析

中图分类号:S513.024 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2017)05-0039-06

Identification and Evaluation of Drought Resistance of Maize Inbred Lines at Seedling Stage under PEG Stress

LU Xiaomin¹, CAO Liru^{1,2}, ZHANG Xin¹, ZHANG Qianjin¹, WEI Xin¹, GUO Jinsheng¹, WANG Zhenhua^{1*}

(1. Gereal Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Agricultural University/Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Seventeen maize inbred lines were treated by PEG stress at seedling stage by hydroponic experiments in artificial climate chamber, and leaf relative water content, fluorescence parameters, the activities of SOD, POD, Pro content and plant dry matter weight were determined between control (normal water culture) and PEG stress treatments, the drought resistance identification and classification of 17 inbred lines were done by membership function and clustering analysis method to select seedling drought resistance germplasms, establish drought resistance evaluation system. The results showed that under PEG stress condition, almost all indexes showed a marked change except the PSⅡ maximum photochemical quantum Fv/Fm compared to control, leaf relative water content decreased, SOD and POD activities, Pro content increased, the plant dry weight increased, indicating that maize could respond to PEG drought stress by increasing Pro content, the activities of SOD and POD; at the same time, physiological and biochemical indexes reached a significant level among inbred lines under PEG stress condition. Zheng 7024, Zheng 588, L269 and Ji 853 were classified as middle resistant inbred lines, other inbred lines were classified as weak drought resistant inbred lines type by membership function evaluation of drought resistance and the clustering analysis.

Key words: maize inbred lines; seedling stage; PEG stress; physiological characteristics; drought resistance; membership function; clustering analysis

收稿日期:2016-11-18

基金项目: NSFC - 河南省人才培养联合基金项目(U1404317);国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-05)

作者简介:鲁晓民(1980-),男,河南许昌人,副研究员,博士,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail:luxiaomin2004@163.com

*通讯作者:王振华(1963-),男,河南禹州人,研究员,硕士,主要从事玉米遗传育种研究。E-mail:wzh201@126.com

干旱是限制农作物生产的主要非生物胁迫因素,也是制约玉米生产的主要因素之一。近年来,自然灾害天气发生频繁,干旱次数、持续时间及损害范围较其他自然灾害更为突出^[1]。2009 年,黑龙江、山东、河北、山西、内蒙古等玉米主产区发生严重干旱,对玉米生产造成了重大损失。2011 年和 2014 年,河南省夏播玉米遭遇长时间的干旱,很多地方由于灌溉不足造成玉米连片干旱致死。因此,研究玉米抗旱性具有重要的现实意义,如何提高玉米的抗旱性已逐渐成为国内外研究的热点。

前人对玉米抗旱性已做了较多的研究工作,并取得了一定的进展。但玉米的抗旱性是一个较为复杂的数量性状,采用单一指标不能准确地进行抗旱性评价。目前,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等保护酶活性变化及膜脂过氧化作用已被广泛作为植物在干旱胁迫等逆境下受损的生理反应指标^[2-3]。干旱胁迫下,植物的膜系统被破坏,此时 SOD、POD 活性大幅度增加,以缓解干旱胁迫对膜系统的伤害^[4]。杜金友等^[5]研究发现,干旱胁迫下,SOD、POD 活性均较正常条件下提高。李光敏等^[6]对不同玉米杂交种及其亲本幼苗进行不同浓度的 PEG 处理,结果显示,PEG 胁迫下玉米幼苗叶片的 SOD、CAT、POD 活性及干物质质量都有所升高。到目前为止,玉米抗旱性评价还没有一个清晰明辨的标准,研究不同玉米自交系抗旱性及其生理特性,可为玉米抗旱性研究提供一定的理论支持。本研究立足于河南省气候与玉米生产特点,综合国内外抗旱研究进展与趋势,通过人工气候室水培试验对 17 个玉米自交系进行苗期 PEG 处理模拟干旱胁迫,测定叶片相对含水量、荧光参数、SOD 活性、POD 活性、脯氨酸(Pro)含量及单株干质量,并采用模糊隶属函数和聚类分析方法对 17 个玉米自交系进行抗旱性评价和分类,以期鉴定出抗旱性较强且具有高产潜力的玉米材料应用于生产,为玉米抗旱育种提供材料基础;同时,探讨在人工控制条件下利用生长发育、生理生化等指标鉴定、评价玉米抗旱性的可行性。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料选用 17 份国内外常用的玉米骨干自交系及自选系,分别为郑 7024(自选)、B73、D1798Z、郑 588、豫 A9241、郑 H71、PH4CV、郑 58、L269、HCL645、WK858、798-1、DH351、M54、郑 718(自选)、PH6WC、吉 853,均由河南省农业科学院粮

食作物研究所提供。

1.2 试验方法

1.2.1 材料处理 挑选大小一致的饱满玉米种子,用 0.1% 的 $HgCl_2$ 消毒 15 min,蒸馏水洗净残留的 $HgCl_2$ 后,将种子浸泡 24 h,然后转移到含有蒸馏水的滤纸培养皿中。10 d 后,将幼苗移植到盛有 1/4 Hoagland's 营养液的黑纸包裹侧壁的塑料盒中培养,2 d 更换 1 次营养液。当幼苗长至三叶期时对其进行处理。试验设正常水分(CK)和干旱胁迫 2 个处理,CK 为幼苗一直保持正常的营养成分,干旱胁迫处理为在营养钵中加入 20% PEG-6000,每个处理重复 6 次。幼苗生长条件为 30 ℃ 光照培养 16 h,26 ℃ 暗培养 8 h,相对湿度 30%~50%。干旱胁迫处理 48 h 后进行指标测定,重复 3 次。

1.2.2 指标测定 Pro 含量采用磺基水杨酸提取—茚三酮显色法测定;SOD 活性采用光化学还原法测定;POD 活性采用愈创木酚法测定;叶片叶绿素荧光参数采用英国 Hansatech Handy PEA Plus Version 1.10 测定;叶片相对含水量采用差减法测定;单株干质量采用烘干法测定。

1.2.3 抗旱性评价 采用隶属函数和聚类分析法对不同玉米自交系进行抗旱性评价。

1.2.3.1 抗旱系数的计算 抗旱系数 = 干旱胁迫下性状值/对照性状值。

1.2.3.2 隶属函数计算 隶属函数值(正相关):
 $U(X) = (X - a_1) / (a_2 - a_1)$; 隶属函数值(负相关):
 $U(X) = 1 - (X - a_1) / (a_2 - a_1)$ 。式中, X 为某一指标的抗旱系数; a_1 、 a_2 为材料某一指标的最小值和最大值。

抗旱性分级:计算每个自交系各性状抗旱隶属函数平均值,平均值越大说明抗旱性越强。根据抗旱隶属函数的平均值分为 4 级,分别为 1 级, $X \geq 0.7$, 属于强抗旱型; 2 级, $0.5 \leq X < 0.7$, 属于抗旱型; 3 级, $0.4 \leq X < 0.5$, 属于中抗旱型; 4 级, $0 < X < 0.4$, 属于弱抗旱型。

1.2.4 聚类分析 采用 DPS 9.5 进行玉米自交系的抗旱性聚类分析。

1.3 数据统计

采用 Excel 处理数据并作图,利用 SPSS 17.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片相对含水量和 Fv/Fm 的影响

植物含水量可作为品种抗旱性鉴定的指标。植

物组织的含水量分为自然含水量和相对含水量,后者可以更好地反映植物组织的水分生理状况。干旱胁迫下各玉米自交系的相对含水量都有所下降,但下降幅度不同,抗旱性较强的玉米自交系下降幅度相对较小。由表 1 可见,PEG 胁迫下,自交系郑 H71、D1798Z、郑 58、DH351 叶片相对含水量下降幅度较小(3%~5%),且其相对含水量与 B73、豫 A9241、PH4CV、WK858、798-1、M54、PH6WC、吉 853 差异均达到显著水平(表 1)。

Fv/Fm 是 PSII 最大光化学量子产量,反映 PSII 反

应中心内部光能转换效率。该参数非常稳定,不受物种和生长条件的影响,但在胁迫条件下明显下降^[7]。本研究结果(表 1)显示,与 CK 相比,干旱胁迫后自交系 L269、M54 和 D1798Z 的 Fv/Fm 下降幅度较大(9%~20%),且显著低于其他自交系;其他多数自交系变化不大,说明大多数玉米自交系的 PS II 光合机构没有受到损伤,这与王秋姣等^[8]的研究结果吻合,短时间胁迫,Fv/Fm 变化很小,随着胁迫时间的增加,Fv/Fm 越来越小,植株光合机构严重受损,影响植株生长甚至导致死亡。

表 1 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片相对含水量和 Fv/Fm 的影响

自交系	叶片相对含水量			Fv/Fm		
	对照	干旱胁迫	抗旱系数	对照	干旱胁迫	抗旱系数
郑 7024	0.92 ^{ab}	0.86 ^{bcd}	0.94	0.75 ^{cd}	0.73 ^d	0.97
B73	0.94 ^a	0.75 ^f	0.80	0.78 ^{ab}	0.77 ^{ab}	0.99
D1798Z	0.97 ^a	0.94 ^{ab}	0.97	0.77 ^{ab}	0.69 ^e	0.90
郑 588	0.98 ^a	0.84 ^{cdef}	0.85	0.77 ^{ab}	0.77 ^{ab}	1.00
豫 A9241	0.95 ^a	0.77 ^{ef}	0.81	0.77 ^{ab}	0.74 ^{cd}	0.96
郑 H71	0.93 ^a	0.95 ^a	0.99	0.76 ^{bc}	0.76 ^{abc}	1.00
PH4CV	0.95 ^a	0.79 ^{def}	0.83	0.77 ^{ab}	0.75 ^{bed}	0.97
郑 58	0.97 ^a	0.92 ^{abc}	0.95	0.77 ^{ab}	0.76 ^{abc}	0.99
L269	0.92 ^{ab}	0.84 ^{cdef}	0.92	0.74 ^{cd}	0.59 ^f	0.80
HCL645	0.98 ^a	0.90 ^{abc}	0.92	0.74 ^{cd}	0.73 ^d	0.99
WK858	0.96 ^a	0.76 ^f	0.79	0.76 ^{bc}	0.75 ^{bed}	0.99
798-1	0.82 ^b	0.80 ^{def}	0.97	0.78 ^{ab}	0.77 ^{ab}	0.99
DH351	0.92 ^{ab}	0.89 ^{abc}	0.97	0.79 ^a	0.78 ^a	0.99
M54	0.93 ^a	0.77 ^{ef}	0.83	0.78 ^{ab}	0.71 ^e	0.91
郑 718	0.95 ^a	0.87 ^{abcd}	0.91	0.78 ^{ab}	0.75 ^{bcd}	0.96
PH6WC	0.96 ^a	0.76 ^f	0.90	0.78 ^{ab}	0.77 ^{ab}	0.99
吉 853	0.83 ^b	0.58 ^g	0.62	0.79 ^a	0.77 ^{ab}	0.97

注:同列肩标不同小写字母代表自交系间差异达 0.05 显著水平,下同。

2.2 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片 SOD、POD 活性的影响

SOD 是膜系统保护酶之一,其活性与植物抗干旱胁迫等逆境密切相关^[9-10]。SOD 通过消除植物体内活性氧的累积,减少活性氧对细胞膜结构的伤害。表 2 显示,干旱胁迫后各玉米自交系的 SOD 活性均有所升高,但不同玉米自交系的 SOD 活性升高幅度存在差异。自交系 PH6WC、郑 588、DH351、郑 58、B73、L269 在 PEG 胁迫下 SOD 活性抗旱系数较大,说明其在 PEG 胁迫下或许可以通过提高 SOD 活性来减轻细胞膜的伤害程度,从而适应干旱环境。

POD 与 SOD 有协同作用,保证活性氧维持在较低水平,以维持正常的生命活动。POD 对环境比较敏感,非生物逆境胁迫下均会引起其活性的变化。PEG 胁迫下,POD 活性升高,但不同基因型自交系的 POD 活性升高幅度不同,其中自交系郑 588、郑 H71、豫 A9241、郑 718、郑 58、L269、吉 853、郑 7024 的 POD 活性抗旱系数较大(表 2)。

2.3 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片 Pro 含量的影响

在水分胁迫下,Pro 含量是衡量植物渗透调节能力大小的重要指标之一,在植物抗旱生理中起重要作用,植物体内 Pro 合成和积累都与水分供给有关^[11]。干旱胁迫下,游离 Pro 积累,可减少水分流失,抗性较强的自交系,Pro 积累能力较强。本研究结果显示,20% PEG 胁迫下,不同玉米自交系的 Pro 含量增加,其中,自交系郑 7024、B73、吉 853、PH6WC、郑 718 的 Pro 含量增幅较高,且这些玉米自交系的 Pro 含量显著高于其他自交系(表 3)。表明自交系郑 7024、B73、吉 853、PH6WC、郑 718 在 PEG 胁迫下通过提高 Pro 含量应对逆境的能力较强。

2.4 PEG 胁迫对不同玉米自交系幼苗干质量的影响

由表 3 可以看出,PEG 胁迫下,不同玉米自交系的单株干质量增加,但增幅不同,其中自交系 DH351、L269、吉 853、郑 588、D1798Z、郑 58、郑 7024

和郑 H71 的单株干质量抗旱系数较高。干旱胁迫下,D1798Z、郑 588、WK858、798 - 1 的单株干质量

显著高于其他自交系。

表 2 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片 SOD、POD 活性的影响

自交系	SOD 活性/(U/g)		SOD 活性 抗旱系数	POD 活性/[U/(g·min)]		POD 活性 抗旱系数
	对照	干旱胁迫		对照	干旱胁迫	
郑 7024	28.47 ^{bc}	37.49 ^{bc}	1.32	110.54 ^{cd}	175.96 ^{bcd}	1.59
B73	24.02 ^{de}	33.78 ^{cdef}	1.41	98.70 ^{de}	143.20 ^{def}	1.45
D1798Z	24.02 ^{de}	29.71 ^{fgh}	1.24	80.89 ^{ef}	105.16 ^{efg}	1.30
郑 588	15.58 ^g	27.50 ^{gh}	1.77	89.15 ^{ef}	173.14 ^{bcd}	1.94
豫 A9241	29.24 ^b	36.18 ^{cd}	1.24	126.68 ^{bc}	225.48 ^{ab}	1.78
郑 H71	21.60 ^{de}	27.56 ^{gh}	1.27	79.16 ^{ef}	143.72 ^{def}	1.82
PH4CV	35.89 ^a	44.60 ^a	1.24	167.12 ^a	256.83 ^a	1.54
郑 58	23.12 ^{de}	36.03 ^{cd}	1.56	123.46 ^{bc}	210.00 ^{abc}	1.70
L269	23.23 ^{de}	32.17 ^{defg}	1.38	137.36 ^b	226.66 ^{ab}	1.65
HCL645	23.26 ^{de}	27.14 ^h	1.17	88.57 ^{ef}	117.14 ^{defg}	1.32
WK858	20.86 ^{ef}	26.80 ^h	1.28	80.39 ^{ef}	104.50 ^{efg}	1.30
798 - 1	28.17 ^{bc}	34.67 ^{cde}	1.23	82.00 ^{ef}	93.00 ^{fg}	1.13
DH351	20.89 ^{ef}	32.97 ^{cdef}	1.58	70.35 ^f	79.53 ^g	1.13
M54	28.14 ^{bc}	30.44 ^{e-fgh}	1.08	135.86 ^b	171.76 ^{bcd}	1.26
郑 718	25.00 ^{cd}	32.00 ^{defg}	1.28	100.00 ^{de}	175.00 ^{bcd}	1.75
PH6WC	17.65 ^{fg}	34.72 ^{cde}	1.97	118.33 ^{bc}	139.24 ^{def}	1.18
吉 853	33.76 ^a	40.70 ^{ab}	1.21	96.00 ^{de}	157.00 ^{cde}	1.64

表 3 PEG 胁迫对不同玉米自交系叶片 Pro 含量、单株干质量的影响

自交系	Pro 含量/(μg/g)		Pro 含量 抗旱系数	单株干质量/g		单株干质量 抗旱系数
	对照	干旱胁迫		对照	干旱胁迫	
郑 7024	15.82 ^{hi}	44.19 ^f	2.80	0.164 ^{ghi}	0.238 ^b	1.45
B73	24.78 ^e	39.59 ^g	1.60	0.119 ^k	0.155 ^{hij}	1.30
D1798Z	15.06 ⁱ	19.06 ^m	1.27	0.176 ^{e-fgh}	0.263 ^a	1.49
郑 588	16.94 ^h	19.74 ^l	1.17	0.177 ^{e-fgh}	0.265 ^a	1.50
豫 A9241	16.20 ^{hi}	22.02 ^j	1.36	0.188 ^{defg}	0.195 ^{defg}	1.04
郑 H71	18.71 ^g	21.39 ^k	1.14	0.201 ^{cdef}	0.271 ^{cdef}	1.35
PH4CV	20.41 ^f	22.96 ⁱ	1.13	0.129 ^{jk}	0.153 ^{hij}	1.19
郑 58	18.36 ^g	22.02 ^j	1.20	0.139 ^{ijk}	0.204 ^{ijk}	1.47
L269	19.60 ^{fg}	23.20 ⁱ	1.18	0.137 ^{mno}	0.214 ^{bcd}	1.56
HCL645	16.20 ^{hi}	18.36 ⁿ	1.13	0.171 ^{fgh}	0.193 ^{defg}	1.13
WK858	19.4f ^g	25.07 ^h	1.29	0.219 ^{bcd}	0.277 ^a	1.26
798 - 1	19.06 ^g	25.37 ^h	1.33	0.212 ^{bcd}	0.272 ^a	1.28
DH351	68.39 ^a	87.21 ^a	1.28	0.095 ^l	0.214 ^{bcd}	2.25
M54	65.31 ^b	81.00 ^b	1.24	0.166 ^{ghi}	0.187 ^{defg}	1.13
郑 718	40.24 ^c	57.78 ^d	1.44	0.176 ^{e-fgh}	0.194 ^{defg}	1.10
PH6WC	37.36 ^d	54.41 ^c	1.46	0.194 ^{defg}	0.225 ^{ghi}	1.16
吉 853	41.30 ^c	60.53 ^c	1.47	0.128 ^{bc}	0.193 ^{defg}	1.51

2.5 不同基因型玉米自交系苗期抗旱性的综合评价

由以上指标的表现可知,采用单一指标难以较精确地衡量不同基因型玉米自交系的抗旱性,故采用数学隶属函数方法对 17 个玉米自交系的各指标

求取隶属函数平均值。由表 4 可见,17 个玉米自交系中,4 个抗旱性表现为中抗,抗旱性排序为 L269 > 郑 588 > 吉 853 > 郑 7024;13 个抗旱性表现为弱抗,其隶属函数值平均数相差较小,说明抗旱性比较接近。

表4 不同基因型玉米自交系隶属函数值及抗旱性综合评价

自交系	隶属函数值							抗旱性评价
	相对含水量	Fv/Fm	SOD 活性	POD 活性	Pro 含量	干质量	平均值	
郑7024	0.15	0.05	0.27	0.59	1.00	0.34	0.40	中抗
B73	0.32	0.13	0.37	0.42	0.28	0.22	0.29	弱抗
D1798Z	0.05	0.49	0.18	0.25	0.08	0.38	0.24	弱抗
郑588	0.37	0.00	0.77	1.00	0.02	0.38	0.42	中抗
豫A9241	0.49	0.20	0.18	0.81	0.14	0.00	0.30	弱抗
郑H71	0.00	0.03	0.22	0.85	0.01	0.26	0.23	弱抗
PH4CV	0.43	0.11	0.18	0.53	0.00	0.12	0.23	弱抗
郑58	0.11	0.08	0.54	0.72	0.04	0.35	0.31	弱抗
L269	0.19	1.00	0.34	0.66	0.03	0.57	0.47	中抗
HCL645	0.19	0.04	0.10	0.27	0.01	0.08	0.11	弱抗
WK858	0.54	0.03	0.23	0.25	0.10	0.19	0.22	弱抗
798-1	0.07	0.08	0.17	0.05	0.12	0.20	0.12	弱抗
DH351	0.05	0.08	0.56	0.05	0.09	1.00	0.31	弱抗
M54	0.45	0.05	0.00	0.21	0.07	0.07	0.14	弱抗
郑718	0.22	0.16	0.22	0.77	0.19	0.05	0.27	弱抗
PH6WC	0.56	0.04	1.00	0.10	0.20	0.10	0.33	弱抗
吉853	1.00	0.08	0.14	0.64	0.20	0.39	0.41	中抗

2.6 不同玉米自交系的抗旱性聚类分析

根据不同玉米自交系的隶属函数平均值进行聚类分析(图1)可见,郑7024、L269、郑588、吉853聚为一类,结合表4,这4个自交系均为中抗旱型自交系;根据隶属函数值的大小,又将弱抗旱型自交系细分为3类:B73、郑718、豫A9241等6个自交系聚为一类,D1798Z、郑H71、PH4CV和WK858聚为一类,HCL645、798-1和M54聚为一类,这3类自交系的抗旱性差异不明显。

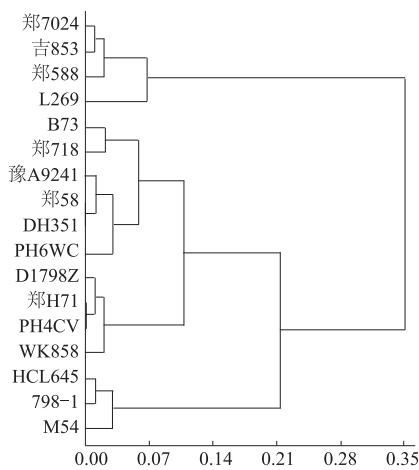


图1 不同玉米自交系苗期抗旱性的聚类分析

3 结论与讨论

Pro是一种强渗透调节物质,能提高植物的耐干旱胁迫能力,减缓干旱胁迫造成的伤害,Pro含量和玉米叶片水分状况之间有明显的相关性^[12-15];SOD活性与玉米品种的抗旱性呈正相关,在轻、中度干旱胁迫时SOD活性升高,重度胁迫时则降

低^[16-17]。本研究表明,除自交系798-1和吉853外,其他基因型玉米自交系在正常水分下叶片相对含水量没有显著差异。与正常水分处理相比,PEG胁迫后,玉米自交系叶片相对含水量均呈下降趋势,但Pro含量、SOD和POD活性均呈升高趋势,其中,B73、郑588、PH6WC、吉853等玉米自交系的叶片相对含水量降幅较大,但Pro含量(B73、吉853和PH6WC)、SOD活性(PH6WC、郑588和B73)和POD活性(郑588和吉853)增幅相对明显,说明PEG胁迫下玉米叶片中相对含水量虽然下降,但或许可以通过提高Pro含量和抗氧化酶活性来应对干旱环境。游离Pro的积累可能是玉米适应干旱、增强抗旱性的方式之一,本研究中Pro含量与抗旱性呈正相关,抗旱性较强的郑7024、L269、郑588、吉853在干旱胁迫下,Pro含量具有较大幅度的升高。但也有研究^[18-19]表明,Pro与抗旱性没有必然的关联,能否将其作为一个抗旱性鉴定指标,仍有待讨论。

叶绿素荧光动力学方法能快速灵敏地探测干旱胁迫对植物光合作用的影响^[20-21]。在强光且干旱胁迫下,当植物吸收的光能超过光合作用所能利用的光能时,会发生光抑制,而常将Fv/Fm降低作为发生了光抑制的标准^[22]。短时间胁迫,Fv/Fm变化很小,随着胁迫时间的增加,Fv/Fm越来越小,不但严重破坏植株的光合机构,甚至会导致植株死亡^[8,23-25]。本研究结果显示,在短时间的苗期PEG胁迫下,多数玉米自交系的Fv/Fm值与对照相比没有明显变化,说明短时间的轻度干旱胁迫基本没有损伤植株的光合机构。

截至目前,还没有玉米抗旱性评价的准确指标,单一指标的抗旱性分析也缺乏说服力,本研究中,抗旱性较强的自交系吉 853 在 PEG 胁迫下相对含水量抗旱系数较低,但 SOD 活性升高,郑 588、L269 在 PEG 胁迫下 Pro 含量抗旱系数较低,但 POD 活性升高;抗旱性较弱的 B73、PH6WC 在 PEG 胁迫下 Pro 含量抗旱系数较高,而 SOD 活性抗旱系数较低,说明利用单一指标评价抗旱性不可靠。利用 PEG 胁迫下玉米苗期的相对含水量、 Fv/Fm 、Pro 含量、SOD 活性、POD 活性、单株干质量 6 个指标,采用抗旱系数和模糊隶属函数均值,结合聚类分析对 17 个自交系的苗期抗旱性进行了综合评价,筛选出郑 7024、郑 588、L269、吉 853 等抗旱性较强的玉米自交系,通过表型分析发现,4 个玉米自交系在叶片卷曲和萎蔫程度、株高、叶色等方面与对照差异并不明显,与采用生理指标及单株干质量进行分类的结果一致,说明模糊隶属函数方法显著提高了抗旱鉴定的可靠性,为玉米抗旱性鉴定提供了一种准确、可靠的方法。

参考文献:

- [1] 彭珂珊,徐宣斌,胡普辉,等. 干旱是西部地区生态系统受损的关键因素[J]. 石家庄经济学院学报,2002,16(3):257-261.
- [2] 范苏鲁,苑兆和,冯立娟,等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(3):651-657.
- [3] 刘海龙,郑桂珍,关军锋,等. 干旱胁迫下玉米根系活力和膜透性的变化[J]. 华北农学报,2002,17(2):20-22.
- [4] 张敬贤,李俊明,崔少平,等. 玉米细胞保护酶活性对苗期干旱的反应[J]. 华北农学报,1990,5(增刊):19-23.
- [5] 杜金友,靳占忠,张洪亮,等. 不同玉米自交系干旱胁迫条件下的生理变化[J]. 张家口农专学报(自然科学版),2003,19(3):4-6.
- [6] 李光敏,唐连顺,商振清,等. 渗透胁迫对玉米幼苗保护酶系统的影响及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报,1994,17(2):125-129.
- [7] 廖飞勇. 含氧 2% 空气短时抑制光呼吸对樟树光系统性状的影响[J]. 西南林学院学报,2007,27(4):1-3.
- [8] 王秋姣,廖飞勇. 水分胁迫对花叶柳光合荧光参数的影响[J]. 北方园艺,2013(1):42-45.
- [9] 陈军,戴俊英. 水分胁迫下玉米叶片光合作用、脂质过氧化及超微结构变化的关系[J]. 玉米科学,1994,2(4):36-40.
- [10] 曲东,王保莉,山仑,等. 干旱条件下磷对玉米叶 SOD 和 POD 活性的影响[J]. 西北农业大学学报,1996,24(3):48-52.
- [11] 蒋花,王占红,张小燕. PEG 渗透胁迫下 3 份大麦材料幼苗叶片抗旱生理特性分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(5):100-105.
- [12] 候建华,吕凤山. 玉米苗期抗旱性鉴定的研究[J]. 华北农学报,1995,10(3):89-93.
- [13] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [14] 张宝石,徐世昌,宋凤斌,等. 玉米抗旱基因型鉴定方法和指标的探讨[J]. 玉米科学,1996,4(3):19-22.
- [15] 洪法水,张帆. 玉米幼苗萎蔫过程中某些理化性质变化的研究[J]. 西北植物学报,1999,19(1):71-75.
- [16] 张海明,王茅雁,侯建华,等. 干旱对玉米过氧化氢、MDA 含量及 SOD、CAT 活性的影响[J]. 内蒙古农牧学院学报,1993,14(4):92-95.
- [17] 李广敏,唐连顺,商振清,等. 渗透胁迫对玉米幼苗保护酶系统的影响及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报,1994,17(2):1-5.
- [18] 石大伟. 脯氨酸可否作为植物抗旱性指标[J]. 干旱地区农业研究,1985(3):79-83.
- [19] 关义新. 玉米花期干旱及复水对植株补偿生长及产量的影响[J]. 作物学报,1997,23(6):40-45.
- [20] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:163-170.
- [21] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [22] 许大全,张玉忠,张荣锐,等. 光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯,1997,35(6):237-243.
- [23] 赵丽英,邓西平,山仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(7):1261-1264.
- [24] Massacci A,Nabiev S M,Pietrosanti L,*et al*. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging [J]. Plant Physiology and Biochemistry,2008,46(2):189-195.
- [25] Santos M G,Ribeiro R V,Machado E C,*et al*. Effects of drought stress on photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under water deficit[J]. Biologia Plantarum,2009,53(2):229-236.