

14 份木薯种质的苗期耐旱性评价

王晓庆^{1,2,3}, 唐茂昌¹, 黄洁^{2,3*}, 刘子凡¹, 徐娟^{1,2,3}, 陆小静^{2,3}

(1.海南大学 农学院,海南 儋州 571737;2.中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所,海南 儋州 571737;
3.农业部木薯种质资源保护与利用重点实验室,海南 儋州 571737)

摘 要:采用盆栽试验,比较水分胁迫下 14 份木薯种质苗期的耐旱性强弱。通过主成分分析、聚类分析、相关分析等方法,得出了 14 份木薯种质过氧化物酶(POD)活性、可溶性蛋白(Pr)含量、丙二醛(MDA)含量、游离脯氨酸(Pro)含量及株高、茎径等 6 个指标对应的耐旱系数变幅分别为 0.14~4.00、0.12~3.28、0.55~1.76、0.33~1.70、0.68~1.09、0.62~1.05;按 6 个指标与综合主成分 F 值的相关系数排序,6 个指标从大到小依次为 POD 活性、Pr 含量、株高、Pro 含量、茎径、MDA 含量,其中,POD 活性、Pr 含量与 F 值呈极显著正相关,POD 活性与 Pr 含量也呈极显著正相关。经综合比较,推荐将 POD 活性和 Pr 含量作为木薯幼苗耐旱性的主要评价指标。

关 键 词:木薯;苗期;耐旱系数;主成分分析;聚类分析;相关分析

中图分类号:S533.01 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2012)04-0366-07

Evaluation of cassava germplasm (14 cultivars) for drought tolerance at seedling stage

WANG Xiao-qing^{1,2,3}, TANG Mao-chang¹, HUANG Jie^{2,3*}, LIU Zi-fan¹, XU Juan^{1,2,3}, LU Xiao-jing^{2,3}

(1.College of Agronomy, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China; 2.Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: Through potted plant experiments, drought tolerance of 14 cassava cultivars at seedling stage under water stress was measured. Comprehensive principal components analysis, cluster analysis and correlation analysis showed that the drought tolerance coefficient (DTC) of peroxidase (POD) activity, soluble protein content (Pr) content, malondialdehyde (MDA) content, free proline (Pro) content, plant height and stem diameter were 0.14–4.00, 0.12–3.28, 0.55–1.76, 0.33–1.70, 0.68–1.09 and 0.62–1.05, respectively. POD activity showed the largest correlation coefficient with F value (the comprehensive analysis), followed by Pr content, plant height, stem diameter, Pro content and MDA content. POD activity and Pr content were very significantly positive correlated to F value, and there was very significantly positive correlation between POD activity and Pr content. After comprehensive comparison, POD activity and Pr content were recommended as the main indexes for evaluation of drought tolerance of cassava seedlings.

Key words: cassava; seedling stage; drought tolerance coefficient; principal components analysis; cluster analysis; correlation analysis

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是粮食、能源和饲料兼用作物,具有高产、耐贫瘠和抗旱性强等优良特性,是世界热带农业的重点发展对象^[1]。中国华南地区常遭遇严重春旱而导致木薯减产^[2]。欠缺

水分可导致木薯块根减产 30%~60%^[3]。目前,国内外在激素^[2]、光合作用和产量^[4]等方面对木薯的耐旱性进行了研究。已有关于麦草^[5]、甘蔗^[6]、苜蓿^[7]、玉米^[8]、小麦^[9]和豌豆^[10]等作物种质的耐旱性研究,

收稿日期:2012-04-01

基金项目:农业部现代农业产业技术体系建设专项(CARS-12-hnhj);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(PZS035)

作者简介:王晓庆(1985—),女,山西运城人,硕士研究生,主要从事耐旱木薯种质资源的鉴定与评价研究,wxqfish@yahoo.com.cn;

*通信作者, hnhjcn@yahoo.com.cn

其主要研究方法为：通过测定叶片相对含水量、质膜透性和丙二醛(MDA)、游离脯氨酸(Pro)、叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白(Pr)的含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性，求出相应的抗旱系数、敏感系数、抗旱指数、胁迫系数或耐旱系数(drought tolerance coefficient, DTC)^[11]，再运用主成分分析和聚类分析^[5-6]以及隶属函数^[12]等方法进行综合评价。笔者参照以上评价方法，综合评价木薯幼苗的耐旱性，对参选木薯种质进行耐旱性排序，从中优选木薯幼苗的耐旱性评价指标，旨在为深入开展木薯种质资源耐旱性研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

根据近年对中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所(以下简称“品资所”)国家木薯种质资源圃 591 份种质的田间耐旱性调查，以及木薯体系各试验站的区试产量结果，选择 14 份木薯种质(表 1)参试。

表 1 14 份供试木薯种质及其来源

Table 1 14 cassava cultivars used in the study

木薯种质	来源	木薯种质	来源
ZM99206	中国海南	GR024-9	中国广西
KM98-7	越南	D531	中国海南
Q10	中国海南	F114	中国海南
A265	中国海南	哥伦比亚12L	哥伦比亚
C715	中国海南	GR911	中国广西
SC6	中国海南	瑞士 NO12	瑞士
BRA274	巴西	SC205多倍体	中国海南

1.2 试验设计

2011 年 7—10 月，在品资所试验基地的遮雨大棚内开展盆栽试验。塑料盆直径 13 cm，高 12 cm，每盆装入 0.8 kg 混合基质($V_{\text{河泥}} : V_{\text{腐熟椰糠}} = 1 : 3$)，其理化性质为 pH 5.6， $\mu_{\text{C}} : m_{\text{N}} = 24 : 1$ ，容重 0.2 g/cm^3 ，总孔隙度 82.5%，通气空隙度 7.9%，持水孔隙度 72.8%，灰度 12.3%，阳离子交换量 $32.6 \text{ mol}/(100 \text{ g})$ 。每个塑料盆直插 1 段种茎(均为长度 $(15 \pm 0.5) \text{ cm}$ 的主茎)，每份种质种 10 盆，共种 140 盆。

育苗期间，每 3 d 每盆浇水 200 mL，每 2 d 调

换 1 次塑料盆的摆放位置，使大棚内的所有参试植株均匀接受阳光照射。植后 18 d 抹芽，每条种茎仅留顶部的第 1 个芽，抹去下部的小芽。于植后第 30 天的下午对叶面喷施一遍 1 g/L 肥液(15-15-15 挪威复合肥)；次日早上，在叶面喷洒一遍清水，防止灼伤叶面。植后 38 d，每盆浇 200 mL 质量浓度为 5 g/L 的尿素(46%N)溶液。

植后 50 d，选取长势一致的木薯苗每种质各 6 盆，分为正常供水处理(CK)和干旱胁迫处理(DS)，每个处理均为 3 盆(即 3 次重复)，总计 64 盆。

干旱胁迫处理的具体方法：每 2 d 用称重法^[13]和土壤水分测定仪控制土壤水分含量，每 3 d 松动一次盆中表层基质，同时，依次对称地对调表层基质，以排除边际效应^[14]。当干旱胁迫处理的土壤含水量达到田间最大持水量的 $(10.5 \pm 0.5)\%$ 时，先持续 10 d，然后采样，剪取幼苗植株自上而下的第 1~4 片完全展开叶，编号、入袋、封口，于 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 保存^[15]。

1.3 测定指标及方法

测定干旱胁迫前、后的木薯幼苗株高和茎径(用卷尺测量自萌芽基部至植株顶部第一片未展开嫩叶的株高)；用游标卡尺测量距离萌芽基部 2 cm 处的植株茎径。第 1~2 片叶用于测定 Pro 含量(磺基水杨酸法^[16])；第 3~4 片叶用于测定 POD 活性(愈创木酚法^[16])和 Pr 含量(考马斯亮蓝法^[16])、MDA 含量(硫代巴比妥酸法^[16])。计算以上指标的耐旱系数^[17-18]。耐旱系数=干旱胁迫测定值/对照测定值。根据表 2 中的标准对参试木薯的耐旱性进行分级。

表 2 耐旱性分级标准

Table 2 Standard for rating the drought tolerance of tested cassava cultivars

耐旱级别	耐旱系数	耐旱性评价
1	1.00	强
2	0.60~0.99	中
3	0.01~0.59	弱

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件分析数据。采用 Duncan 多重比较法进行显著性比较。经主成分分析后，采用类平均距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 14份木薯种质的株高与茎径

由表3可见,哥伦比亚12L和BRA274的株高耐旱系数大于1,说明干旱胁迫促进其株高增加;其

余种质的株高耐旱系数为0.68~0.95,说明干旱胁迫抑制其株高增加,但SC6、Q10和F114受抑制程度较小。哥伦比亚12L和SC205多倍体的茎径耐旱系数大于1,说明干旱胁迫促进其茎径增大;其余种质的茎径为0.62~0.93,说明干旱胁迫抑制其茎径增大。

表3 14份木薯种质的株高和茎径及耐旱系数

Table 3 Stalk height, stem diameter and DTC of 14 tested cassava cultivars

木薯种质	处理	株高/cm	茎径/mm	耐旱系数	
				株高	茎径
哥伦比亚12L	DS	17.3±0.44	4.92±0.07	1.09 aA	1.03 abAB
	CK	15.9±0.53	4.80±0.12		
BRA274	DS	16.1±0.61	4.30±0.03	1.02 abAB	0.81 cCD
	CK	15.8±0.84	5.29±0.07		
SC6	DS	14.1±0.37	2.75±0.06	0.95 bcABC	0.80 cCD
	CK	14.9±0.25	3.43±0.03		
Q10	DS	13.6±0.35	4.12±0.04	0.93 bcdBC	0.71 cdeDE
	CK	14.7±0.31	5.79±0.06		
F114	DS	27.1±0.26	2.80±0.03	0.92 bcdBC	0.65 deDE
	CK	29.3±0.90	4.34±0.03		
GR024-9	DS	15.2±0.79	3.50±0.04	0.87 cdeBCD	0.75 cdDE
	CK	17.4±0.56	4.65±0.07		
GR911	DS	13.2±0.38	3.90±0.06	0.86 cdeBCD	0.75 cdDE
	CK	15.4±0.22	5.19±0.08		
A265	DS	16.2±0.25	3.35±0.02	0.83 cdefCDE	0.81 cCD
	CK	19.6±0.39	4.16±0.04		
瑞士NO12	DS	24.7±0.46	4.65±0.03	0.81 defCDE	0.69 cdeDE
	CK	30.4±0.55	6.78±0.07		
KM98-7	DS	15.3±0.14	3.32±0.08	0.81 defCDE	0.81 cCD
	CK	18.8±0.53	4.10±0.05		
ZM99206	DS	17.5±0.36	4.12±0.06	0.75 efg	0.81 cCD
	CK	23.3±0.54	5.07±0.03		
C715	DS	14.2±0.25	4.20±0.07	0.71 fgDE	0.93 bBC
	CK	19.9±0.39	4.50±0.09		
SC205多倍体	DS	11.3±0.26	4.89±0.03	0.68 gE	1.05 aA
	CK	16.6±0.71	4.65±0.05		
D531	DS	15.8±0.13	2.83±0.04	0.68 gE	0.62 eE
	CK	23.3±0.52	4.59±0.06		

2.2 14份木薯种质的过氧化物酶活性

由表4可知,与对照比较,除GR911干旱胁迫的POD活性差异达显著水平外,其余13份种质的差异均未达显著水平。单从POD活性分析,干旱胁迫下,SC6、A265、BRA274、F114的POD活性

较高,耐旱系数为1.17~4.00,可定为耐旱性强;GR024-9、哥伦比亚12L、瑞士NO12、Q10和D531的POD活性也较高,耐旱系数为0.61~0.88,可定为耐旱性中等;余下种质的POD活性较低,耐旱系数为0.14~0.52,可定为耐旱性弱。

表 4 14 份木薯种质的 4 个耐旱生理指标及其耐旱系数

Table 4 Four physiological indexes and DTC of 14 cassava cultivars

项目	处理	POD活性/ (U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	可溶性蛋白 含量/%	丙二醛含量/ (μmol·g ⁻¹)	游离脯氨酸 含量/(μg·g ⁻¹)	耐旱系数			
						POD 活性	可溶性 蛋白含量	丙二醛 含量	游离脯氨 酸含量
哥伦比亚12L	DS	1 244.44 abcdeABC	0.48 ijHI	6.96 cdCD	15.68 gE	0.88	1.02	1.12	0.96
	CK	1 422.22 abcdABC	0.46 jkIJ	6.19 deDE	16.38 gDE				
BRA274	DS	1 102.22 bcdefABC	0.49 ghGH	5.38 efgEFGH	16.03 gDE	1.22	1.19	1.59	0.57
	CK	906.67 bcdefABC	0.41 nN	3.38 jkJK	27.96 cdBC				
SC6	DS	1 280.00 abcdeABC	0.45 kIJK	5.06 fghEFGHI	31.62 abA	4.00	3.28	1.21	1.39
	CK	320.00 efC	0.14 sS	4.18 hijHIJ	22.82 efC				
Q10	DS	960.00 bcdefABC	0.86 aA	10.47 aA	15.33 gE	0.68	1.32	1.38	0.95
	CK	1 422.22 abcdABC	0.65 dD	7.59 cBC	16.20 gDE				
F114	DS	1 208.89 abcdeABC	0.65 dD	7.09 cCD	16.12 gDE	1.17	0.94	1.69	0.55
	CK	1 031.11 bcdefABC	0.70 bB	4.19 hijHIJ	29.36 cB				
GR024-9	DS	1 262.22 abcdeABC	0.21 rR	7.01 cdCD	35.98 bA	0.88	0.31	0.82	1.31
	CK	1 440.00 abcABC	0.68 cC	8.59 bB	27.44 cdeBC				
GR911	DS	160.00 fC	0.08 uU	4.28 hijHIJ	22.39 fC	0.14	0.15	0.97	1.46
	CK	1 173.33 abcdeABC	0.51 fF	4.43 hiHIJ	15.37 gE				
A265	DS	1 404.44 abcdABC	0.47 jkIJ	4.30 hijHIJ	24.13 defBC	1.34	1.04	0.74	1.64
	CK	1 048.89 bcdefABC	0.45 IKL	5.82 efEF	14.72 gE				
瑞士NO12	DS	444.44 defC	0.10 rT	3.85 ijJK	23.26 efBC	0.74	0.22	0.36	1.06
	CK	604.44 cdefBC	0.46 kIJK	10.67 aA	21.95 fCD				
KM98-7	DS	462.22 cdefC	0.28 qQ	4.94 fghFGHI	41.38 aA	0.46	0.81	0.68	1.07
	CK	995.56 bcdefABC	0.35 pP	7.24 cCD	38.76 abA				
ZM99206	DS	480.00 cdefC	0.43 mM	4.48 hiHIJ	24.22 defBC	0.52	0.75	0.45	0.64
	CK	924.44 bcdefABC	0.57 eE	9.87 aA	37.72 abA				
C715	DS	142.22 fC	0.05 vV	4.64 ghiGHI	39.55 abA	0.18	0.12	1.09	1.76
	CK	800.00 cdefBC	0.39 oO	4.25 hijHIJ	22.47 fC				
SC205多倍体	DS	871.11 bcdefABC	0.48 hiHI	1.92 IL	23.96 defBC	0.47	0.96	0.33	0.59
	CK	1 848.89 abAB	0.49 gG	5.75 efEFG	40.42 abA				
D531	DS	1 297.78 abcdeABC	0.46 kIJK	2.95 kKL	3.48 hF	0.61	1.04	0.71	0.69
	CK	2 115.56 aA	0.44 mLm	4.17 hijHIJ	5.05 hF				

由表 4 可见,各胁迫种质的 POD 活性排序与其相应的耐旱系数的排序结果相近,即胁迫后 POD 活性高的木薯种质,其对应的耐旱系数也高。

2.3 14 份木薯种质的可溶性蛋白含量

由表 4 可见,与各自对照相比,除哥伦比亚 12L 外,其余 13 份种质胁迫后的 Pr 含量均达极显著差异水平。单从 Pr 含量分析,干旱胁迫下,SC6、Q10、BRA274、D531、A265 及哥伦比亚 12L 的 Pr 含量

较高,耐旱系数为 1.02~3.28,可定为耐旱性强;SC205 多倍体、F114、KM98-7 和 ZM99206 的 Pr 含量也较高,耐旱系数为 0.74~0.97,可定为耐旱性中等;余下种质的 Pr 含量较低,耐旱系数为 0.12~0.22,可定为耐旱性弱。Pr 含量的排序与其相应的耐旱系数排序基本一致,可见,各种质的耐旱性强弱变化与其 Pr 含量高低变化基本一致,Pr 含量高的种质,其耐旱性也较强,如 Q10。

2.4 14份木薯种质的丙二醛含量

由表4可见,与各自对照相比,除哥伦比亚12L、SC6、GR911和C715外,其余种质胁迫后的MDA含量均达极显著差异水平。单从MDA含量看,干旱胁迫下,F114、BRA274、Q10、SC6、哥伦比亚12L和C715的耐旱系数为1.09~1.70,可定为耐旱性强;GR911、GR024-9、A265、D531和KM98-7的MDA含量耐旱系数为0.68~0.97,可定为耐旱性中等;余下种质的耐旱系数为0.33~0.45,可定为耐旱性弱。各种质胁迫后的MDA含量排序与其对应的耐旱系数排序存在较大差异。

2.5 14份木薯种质的游离脯氨酸含量

由表4可见,与对照比较,除哥伦比亚12L、Q10、瑞士NO12、KM98-7和D531外,其余种质的Pro含量均达极显著差异水平。单从Pro含量看,C715、A265、GR911、SC6、GR024-9、KM98-7和瑞士NO12的Pro耐旱系数为1.06~1.76,可定为耐旱性强;哥伦比亚12L、Q10、D531和ZM99206

的Pro含量耐旱系数为0.64~0.96,可定为耐旱性中等;余下种质的耐旱系数为0.55~0.59,可定为耐旱性弱。各种质胁迫后Pro含量的排序与其对应耐旱系数的排序也存在较大差异。

2.6 6个耐旱指标对应耐旱系数的主成分分析

当采用木薯种质的株高(x_1)、茎粗(x_2)、POD活性(x_3)、Pr含量(x_4)、MDA含量(x_5)、Pro含量(x_6)等耐旱性指标对14份木薯种质进行主成分分析时,前4个主成分的累积贡献值为94.4%,超过了85%(表5),能代表原始数据参与分析,故可忽略后2个主成分^[19]。根据前4个主成分函数表达式和综合主成分公式,得到主成分综合模型: $F=0.230x_1^*+0.079x_2^*+0.251x_3^*+0.186x_4^*+0.191x_5^*+0.279x_6^*$ 。14份木薯种质按耐旱性强弱排序,依次为SC6、A265、BRA274、哥伦比亚12L、Q10、F114、GR024-9、C715、KM98-7、GR911、D531、瑞士NO12、ZM99206和SC205多倍体。

表5 14份木薯种质耐旱性主成分的F值

Table 5 Principal component of drought tolerance in 14 cassava cultivars

项目	F 值					排名
	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	综合主成分	
SC6	4.81	2.79	- 0.55	0.24	2.513	1
A265	1.91	1.57	0.86	0.74	1.381	2
BRA274	2.42	0.59	0.93	0.04	1.289	3
哥伦比亚 12L	1.95	0.92	1.20	0.15	1.223	4
Q10	2.05	0.70	0.97	0.30	1.211	5
F114	2.27	0.38	0.91	0.20	1.209	6
GR024-9	1.34	0.95	1.17	0.68	1.060	7
C715	0.89	0.91	1.69	0.99	1.005	8
KM98-7	1.30	0.92	1.01	0.31	0.946	9
GR911	0.91	0.66	1.53	0.83	0.910	10
D531	1.47	0.75	0.60	0.09	0.880	11
瑞士 NO12	1.00	0.91	0.94	0.45	0.831	12
ZM99206	1.17	0.80	0.78	- 0.05	0.772	13
SC205 多倍体	1.16	1.01	0.78	- 0.29	0.766	14
贡献值/%	41.80	20.00	16.90	15.70		
累积贡献值/%	41.80	61.80	78.70	94.40		

2.7 6个耐旱指标对应的耐旱系数与综合主成分F值的相关性

对14份木薯种质6个耐旱性指标对应的耐旱系数及综合主成分F值进行相关性分析(表6),6个耐旱指标与F值的相关系数从大到小依次为POD活

性、Pr含量、株高、Pro含量、茎径和MDA含量,其中,POD活性、Pr含量与F值,POD活性与Pr含量均呈极显著正相关,株高与MDA含量呈极显著负相关;MDA含量、茎径与F值呈负相关。

表 6 6 个耐旱指标与综合主成分 F 值的相关系数

Table 6 Correlative coefficient between six indexes and the comprehensive principal component F value

参数	株高	茎径	POD 活性	Pr 含量	MDA 含量	Pro 含量
茎径	0.050					
POD 活性	0.411	- 0.075				
Pr 含量	0.358	0.012	0.900**			
MDA 含量	- 0.683**	0.188	- 0.310	- 0.318		
Pro 含量	- 0.053	0.099	0.132	- 0.085	0.060	
综合主成分 F 值	0.518	- 0.019	0.953**	0.876**	- 0.482	0.290

2.8 14 份木薯种质耐旱性的聚类分析

对利用主成分分析得到的前 4 个主成分指标数据,分别使用重心法、中间距离法、Ward 法、可变类平均距离法和类平均距离法进行分析,其分析结果基本一致,在此取用类平均距离法的结果(图 1)。取类间距离为 0.672 8,则 14 份木薯种质聚为 3 类,SC6 单独聚为 I 类,其干旱胁迫下的 POD 活性、Pr 含量的耐旱系数排名(按从大到小排序,下同)第 1 位,株高的排第 3 位,MDA 含量和 Pro 含量的排第 4 位,并且 POD 活性和 Pr 含量相对较高,可归为耐旱性强类型;A265、GR024-9、KM98-7、瑞士 NO12、BRA274、F114、哥伦比亚 12L、Q10、D531、ZM99206 和 SC205 多倍体聚为 类,其干旱胁迫下的 POD 活性较强,Pr 含量和 MDA 含量较高,归为耐旱性中等类型;C715、GR911 聚为 类,其 POD 活性弱,Pr 含量低,Pro 含量分别排第 1、3 位,归为耐旱性弱类型。此外,相关性分析、聚类分析和各生理指标的耐旱性分类结果均基本与植物耐旱性强弱的生理指标特征^[20-23]相吻合,因此,本试验中木薯幼苗耐旱性强弱排序是可信的。

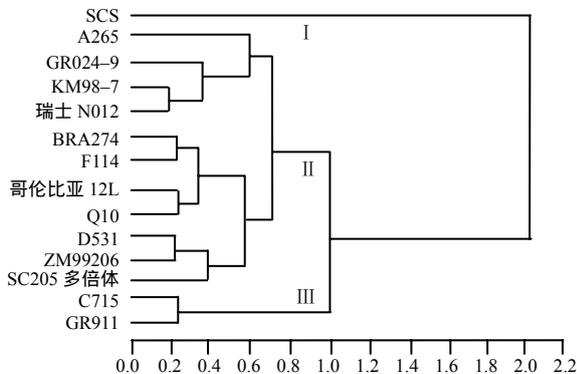


图 1 14 份木薯种质的耐旱性聚类分析树状图

Fig.1 Cluster analysis for the drought tolerance of 14 cassava cultivars

3 结论与讨论

a. 14 份木薯种质的耐旱性排序。综合主成分分析、聚类分析及各项生理指标的评价结果,得出 14 份木薯种质耐旱性由强到弱的排序结果为 SC6、A265、BRA274、哥伦比亚 12L、Q10、F114、GR024-9、KM98-7、D531、瑞士 NO12、ZM99206、SC205 多倍体、C715、GR911。主成分分析和聚类分析的耐旱性排序结果与 POD 活性和 Pr 含量对应的耐旱系数排序结果相近,但与株高、茎径、MDA 含量、Pro 含量单指标得到的耐旱性排序结果差异较大,其原因是不同植物依赖不同的耐旱途径来抵御干旱环境^[22],且不同生理指标在植物耐旱性水平上表现出不同的敏感度,存在既相互制约又相互依赖的关系^[24]。据此推测,在木薯幼苗中,POD 和 Pr 可能是抵御干旱环境的主要物质。

b. 木薯种质的耐旱性评价指标。木薯幼苗 POD 活性、Pr 含量、Pro 含量、MDA 含量、株高和茎径的耐旱系数变幅分别为 0.14~4.00、0.12~3.28、0.55~1.76,0.33~1.70、0.68~1.09、0.62~1.05,前 2 个指标的耐旱系数变幅较宽,较适合用于评价耐旱性差异。此外,POD 活性、Pr 含量及其相应耐旱系数的排序结果基本一致,这 2 个指标也能较好地反映小麦^[20]、黄土高原 3 种优势种(花棒、沙柳和白花草木樨)^[21]等的耐旱性强弱,故这 2 个指标可以用作木薯耐旱评价指标。关于干旱胁迫蛋白质组学的研究已在冬小麦^[25]和山豆^[26]上开展,与耐旱性相关的蛋白质可能是水通道蛋白(AQP)、LEA 蛋白及各种酶类^[22],究竟是哪类蛋白质参与了缓解干旱胁迫的过程还有待研究。

耐旱性排名第 4 位的哥伦比亚 12L,其干旱胁迫的株高和茎径与正常供水的对照相当,甚至超过

对照,相关性分析得到其株高与 F 值的相关系数排在第 3 位。另据报道,轻度胁迫后枳橙的 IAA 等内源激素含量增加,促进了其根系的生长,减轻了逆境伤害^[27]。秦玉芝等^[28]的研究表明,株高对干旱胁迫最为敏感。哥伦比亚 12L 在水分胁迫后,其体内是否存在 IAA 等内源激素促进其地上部的生长,其耐旱机理还有待研究。

参考文献:

- [1] Anna Burns ,Roslyn Gleadow ,Julie Cliff ,et al .Cassava : The drought , war and famine crop in a changing world[J] . Sustainability , 2010 , 11(2) : 3572-3607 .
- [2] 李一萍,刘子凡,黄洁,等.水杨酸和油菜素内酯对木薯苗抗旱生理特性的影响[J].江西农业学报,2010,22(7):25-28.
- [3] Alves A A C . Cassava botany and physiology[M]// Hil-locks R J , Thresh J M , Bellotti A C . Cassava : Biology , Production and Utilization . New York : CABI Publishing , 2002 : 67-89 .
- [4] El-Sharkawy Mabrouk A .Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics : Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments[J] . Braz J Plant Physiol , 2007 , 19(4) : 257-286 .
- [5] 于晓丹.39份新麦草种质耐旱性综合评价[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):7-12.
- [6] 潘世明,陈义强,吴水金,等.甘蔗抗旱种质资源的筛选与评价[J].江西农业大学学报,2006,28(6):839-844.
- [7] 李源,刘贵波,高洪文,等.苗期干旱胁迫对苜蓿种质生长特性的影响[J].河北农业科学,2010,14(7):1-4,41.
- [8] 刘鹏,阮长春,任英,等.玉米品种抗旱性指标筛选的研究[J].吉林农业科学,2009,34(4):21-24,34.
- [9] 李剑峰,卢运海,吴振录,等.新疆春小麦的抗干旱和水分高效利用特性研究[J].新疆农业科学,2006,43(4):253-259.
- [10] 墨金萍,王梅春,连荣芳.豌豆种质资源抗旱性鉴定与利用价值分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):1-6.
- [11] 付凤玲,周树峰,潘光堂,等.玉米耐旱系数的多元回归分析[J].作物学报,2003,29(3):468-472.
- [12] 南丽丽,师尚礼,朱新强,等.不同根型苜蓿苗期对干旱胁迫的生理耐受性分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):106-110.
- [13] 孙景宽,张文辉,陆兆华,等.干旱胁迫下沙枣和孩子拳头叶绿素荧光特性研究[J].植物研究,2009,29(2):216-223.
- [14] 闫志利,轩春香,牛俊义,等.干旱胁迫及复水对豌豆根系内源激素含量的影响[J].中国农业生态学报,2009,17(2):297-301.
- [15] 杨恩琼,袁玲,何腾兵,等.干旱胁迫对高油玉米根系生长发育和籽粒产量与品质的影响[J].土壤通报,2009,40(1):85-88.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理及技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [17] 李余良,郑锦荣,胡建广,等.水分胁迫对甜玉米主要农艺性状及产量的影响[J].中国农学通报,2008,24(9):217-221.
- [18] 谭静,黄必华,陈红梅,等.玉米品种耐旱性鉴定及耐旱指标筛选[J].云南农业大学学报,2010,25(2):189-194.
- [19] 孟庆立,关周博,冯佰利,等.谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J].中国农业科学,2009,42(8):2667-2675.
- [20] 刘志玲,程丹.植物抗旱生理研究进展与育种[J].中国农学通报,2011,27(24):249-252.
- [21] 田青,左小容,梁宗锁.黄土高原3种优势种对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价[J].西北林学院学报,2011,26(6):18-23.
- [22] 邵艳军,山仑.植物耐旱机制研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(4):16-20.
- [23] 董桃杏,蔡昆争,曾任森.干旱胁迫下茉莉酸甲酯对水稻叶片质膜透性及无机离子含量的影响[J].华北农学报,2010,25(1):136-140.
- [24] 种培芳,苏世平,李毅.4个地理种群红砂的抗旱性综合评价[J].草业科学,2011,20(5):26-33.
- [25] 王娜,谢惠民,王川,等.冬小麦叶片抗旱蛋白质组双向电泳技术体系的优化[J].麦类作物学报,2011,31(3):443-449.
- [26] 吴庆丰.用蛋白质组学方法分离、鉴定和分析山豆根抗旱相关蛋白[D].兰州:兰州大学生命科学学院,2006.
- [27] 赵文魁,童建华,谢深喜,等.干旱胁迫对枳橙内源激素含量的影响[J].现代生物医学进展,2008,8(9):1662-1664.
- [28] 秦玉芝,陈珏,刘明月,等.聚乙二醇模拟干旱对马铃薯幼苗生长与细胞膜透性的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(6):627-631.

责任编辑:王赛群