

甘薯抗旱初步鉴定及渗透胁迫 对抗氧化生理指标的影响

周志林^{1,2}, 刘恩良³, 金平³, 唐君¹, 赵冬兰¹, 曹清河¹, 张安¹

(¹江苏徐淮地区徐州农业科学研究所/农业部甘薯生物学与遗传育种重点实验室, 徐州 221131;

²江苏师范大学生命科学学院, 徐州 221116; ³新疆农业科学院粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 选用抗旱性有差异的 6 份甘薯栽培品种为试验材料, 在田间鉴定抗旱性的基础上, 通过室内 PEG-6000 模拟水分胁迫, 测定胁迫下与抗旱性相关的 9 个生理生化指标, 采用抗旱指数和隶属函数相结合的方法筛选与抗旱性密切相关的生理生化指标, 对其抗旱性进行评价。结果表明: 经田间抗旱鉴定, 广薯 87 和徐薯 22 的抗旱性强, 日紫 0602 和宁紫薯 1 号的抗旱性差; 在 PEG-6000 模拟水分胁迫下, 甘薯叶片 NOS、CAT、T-AOC 和 T-SOD 活性随着 PEG 浓度增高, 其活性增强; Pro、MDA、Prot 和 T-AA 含量也增加; 尤其在 25% PEG-6000 胁迫处理 24 h, 甘薯叶片 NOS、T-AOC、Pro 的相对值与抗旱指数呈显著正相关, RWC 相对值与抗旱指数呈极显著正相关, 这 4 个指标的加权隶属函数值 D 与抗旱指数呈显著正相关 ($r=0.8944$); 因此, 可用这 4 个指标的 D 值对甘薯抗旱性进行初步鉴定。

关键词: 甘薯; 抗旱鉴定; 渗透胁迫; 生理指标

Preliminary Evaluation of Sweetpotato Drought-Resistance and Physiological Response of Sweetpotato Leaves under Osmotic Stress

ZHOU Zhi-lin^{1,2}, LIU En-liang³, JIN Ping³, TANG Jun¹, ZHAO Dong-lan¹, CAO Qing-he¹, ZHANG An¹

(¹Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District/Key Laboratory of Biology and
Genetic Improvement of Sweetpotato, Ministry of Agriculture, Xuzhou 221131;

²School of Life Sciences, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116;

³Institute of Food Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091)

Abstract: 6 different sweetpotato cultivars with difference of drought resistance were selected as experimental materials, polyethylene glycol (PEG)-6000 was employed as osmotic agent for simulating water stress, 9 physiological and biochemical items related to drought resistance were investigated based on field identification of drought resistance for these sweetpotato cultivars. Both drought coefficient and subordinate function value were interested in choice of physiological and biochemical items closely related to drought resistance, and identification and evaluation of drought resistance. The results showed that Guangshu No. 87 and Xushu No. 22 had higher drought resistance capability, Rizi 0602 and Ningzishu No. 1 had lower drought resistance. Under polyethylene glycol (PEG)-6000 treatment, the activity of NOS (nitric oxide synthase), CAT (catalase), T-AOC (total antioxidant capacity) and T-SOD (total superoxide dismutase) in sweetpotato leaves increased gradually as PEG concentration increased, and the content of Pro (proline), MDA (malonaldehyde), Prot (protein content) and T-AA (total free amino acid) also increased. Especially treated by 25% PEG-6000 for 24 hours, a significant positive correlation were observed between drought resistance index and the relative values of NOS, T-AOC, Pro of sweetpotato leaves, then there were very significant positive correlation both the relative value of RWC (relative water content) and drought resistance index; D value of NOS, T-AOC, Pro, RWC had significant positive correlation with drought resistance index ($r=0.8944$); so

收稿日期: 2014-08-11 修回日期: 2014-09-04 网络出版日期: 2015-08-04

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150804.1052.004.html>

基金项目: 农业部农作物保护项目 (2014NWB006); 现代农业产业技术体系 (CARS-11-B-02)

第一作者研究方向为甘薯种质资源保存。E-mail: zhouzhiLinting@163.com

通信作者: 唐君, 研究方向为甘薯种质资源。E-mail: tangjun5886@163.com

the D value can be used for preliminary evaluation of sweetpotato drought-resistance.

Key words: sweetpotato; drought-resistance identification; osmotic stress; physiological index

我国现有耕地面积的 84.3% 种植主要粮食作物水稻、玉米和小麦;作为非主要粮食作物,甘薯在平原地区的耕种面积逐年下降,非耕地资源(边际土地)将成为甘薯种植的主要发展空间。我国现有边际土地资源约 20 亿亩,主要为干旱、内陆盐碱地等。因此,积极开展甘薯种质资源的抗旱鉴定,不但可以实现耐旱甘薯种质资源的筛选利用;还能更好地促进耐旱甘薯新品种选育及后代材料的高效鉴定。甘薯作为一种重要的淀粉加工原料作物,具有适应性强、抗旱性好等特性,甘薯抗旱性的鉴定与利用,有助于推进甘薯新材料、新品种在干旱地区的推广种植。

前人针对甘薯抗旱鉴定等方面已开展了相关研究,钮福祥等^[1]采用土壤干旱(旱池遮盖)与 20% PEG(polyethylene glycol)-6000 水分胁迫测定相结合,结果表明叶片相对含水量(RWC, relative water content)、质膜相对透性(RPP, relative permeability plasma membrane)、过氧化氢酶(CAT, catalase)等 5 个指标的隶属函数加权平均值(D 值)与抗旱系数间的相关系数达极显著水平($r=0.956$, $P<0.01$),室内条件下的 D 值可用于甘薯品种的抗旱性评价。侯丽霞等^[2]认为,连续干旱处理,不能以甘薯植株地上部生长作为甘薯品种抗旱性强弱的评价依据。张明生等^[3-6]研究认为在 25% PEG-6000 胁迫处理下,叶片丙二醛(MDA, malonaldehyde)含量与品种抗旱性呈极显著负相关, RWC 和超氧化物歧化酶(SOD, superoxide dismutase)活性与品种抗旱性呈极显著正相关,可通过测定叶片的 MDA、SOD、RWC 来快速鉴定品种的抗旱性;以及水分胁迫下,叶片相对含水量与抗旱性呈极显著正相关,质膜相对透性等与抗旱性呈极显著负相关;CAT、过氧化物酶(POD, peroxidase)、维生素 C 的相对值与品种抗旱性呈极显著正相关;叶片中可溶性糖及总游离氨基酸的相对值与品种抗旱性呈极显著正相关,这些可作为参考指标辅助进行抗旱鉴定。张会云等^[7]、丁成伟等^[8]通过遮雨旱池连续干旱,以抗旱系数辅以隶属函数法,对品种资源的抗旱性进行鉴定分级。可见,前人研究多集中在旱池遮雨造成的水分胁迫下的相关生理生化指标的变化、通过抗旱系数评价材料的抗旱性,以及各生理生化等指标变化

与抗旱性的关系;随着甘薯产业的不断拓展,甘薯抗旱育种已逐步展开,提高抗旱鉴定的准确性、实用性对筛选综合性状优良的抗旱材料及抗旱新品种选育有重要意义。本研究是在前期研究基础上,充分利用新疆优越的气候干旱条件,利用抗旱指数作为衡量抗旱性的指标,鉴定所选材料的抗旱性;同时辅以室内 PEG-6000 胁迫处理,结合各测定指标加权隶属函数值的分析,建立一种室内辅助抗旱鉴定的方法,用于大量抗旱鉴定材料的初筛。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所选用材料为经过 2010 年抗旱预试验初选的具有抗旱性差异的 6 份甘薯种质资源:徐薯 18、徐 55-2、徐薯 22、日紫 0602、广薯 87、宁紫薯 1 号。

1.2 试验设计

2011-2012 年 5-10 月,抗旱鉴定试验在新疆农业科学院昌吉市试验基地进行,沙壤土,肥力中等,年均降雨总量为 86 mm,年均总蒸发量为 1964 mm。

试验设置干旱处理(旱区)和对照(水区),水旱两区之间设 5 m 保护行作为隔离带,每处理栽插 20 株,重复 3 次,株距为 25 cm,垄距为 80 cm,鉴定试验周围均设保护行。对照和干旱处理于栽插后灌水(滴灌)4 次,40 m³/次·667m²,每次间隔 9~14 d,保证种苗成活并开始分枝;之后,干旱处理停止灌水,对照继续灌水 3~4 次,每次间隔 20~25 d;保证干旱处理后旱区土壤含水量在 6% 以下。

于薯块膨大期取各品种带顶芽藤蔓,置于装有 80 mL 1/2 Hoagland 溶液的三角瓶进行生根培养 7~10 d,每品种 3 组,每组 6 瓶,2 株/瓶;室内干旱胁迫采用 PEG-6000 配置不同水势的渗透液,不同 PEG-6000 浓度分别为 150 g/L、200 g/L、250 g/L,与之对应的渗透液水势分别为 -0.3 MPa、-0.5 MPa、-0.73 MPa,渗透水势的计算方法^[9]: $\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T$,其中 ψ_s 是溶液的渗透势(bar),C 为溶液浓度,T 是溶液的浓度。对照仍然使用不包含 PEG-6000 的 1/2 Hoagland 溶液培。培养室培养温度为 25 ℃。

1.3 测定方法

抗旱指数 (DRI, drought resistance index) 的测定^[10]: $DRI = (Y_a/Y_m) \times Y_a/Y_a'$; 其中 Y_a/Y_m 是抗旱系数, Y_a 是某品种的旱区产量, Y_m 是某品种的水区产量, Y_a' 是所有参试品种的平均旱地产量。一氧化氮合酶 (NOS, nitric oxide synthase)、蛋白质含量 (Prot, protein content)、过氧化氢酶 (CAT)、总氨基酸 (T-AA, total free amino acid)、总抗氧化能力 (T-AOC, total antioxidant capacity)、丙二醛 (MDA)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD, total superoxide dismutase) 的测定均按照测定试剂盒进行。游离脯氨酸 (Pro, proline) 含量采用茚基水氨酸法^[11]测定。相对含水量的 (RWC) 采用常规方法^[11]测定。

1.4 数据统计分析

单项隶属函数值计算公式^[12]:

$$\mu(x) = \frac{TR - TR_{i_{\min}}}{TR_{i_{\max}} - TR_{i_{\min}}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n),$$

式中表示第 i 个指标, $TR_{i_{\min}}$ 表示第 i 个指标的最小值, $TR_{i_{\max}}$ 表示第 i 个指标的最大值。

表 1 不同甘薯种质材料的抗旱指数

Table 1 Drought-resistance index of different sweetpotato varieties

处理 Treatment	薯块产量 (kg/667m ²) Root yield					
	广薯 87	徐薯 22	徐 55-2	徐薯 18	日紫 0602	宁紫薯 1 号
干旱 Drought	1997.48 ± 73.25	2379.31 ± 85.42	1866.67 ± 95.45	1766.88 ± 99.29	1067.17 ± 126.61	852.17 ± 16.21
对照 Control	2331.39 ± 128.28	2521.55 ± 142.11	2705.64 ± 71.49	2632.36 ± 103.08	2232.85 ± 55.78	1479.73 ± 94.06
抗旱指数 Drought resistance index	1.03	1.36	0.78	0.72	0.31	0.30

2.2 室内 PEG 处理模拟水分胁迫对甘薯叶片不同生理生化指标的影响

在不同 PEG 浓度模拟水分胁迫处理下, 甘薯叶片的 NOS、T-SOD、CAT、MDA、T-AOC、Pro、Prot、T-AA、RWC 都发生了不同程度变化。在 PEG 浓度为 0 ~ 15%, 随着 PEG 浓度的增高, NOS 活性显著提高, 但在 PEG 浓度为 15% ~ 25%, 徐薯 22、广薯 87 等品种的李 NOS 活性相对提高较多, 日紫 0602、宁紫薯 1 号的李 NOS 活性相对较低 (图 1)。在 PEG 浓度为 0 ~ 20%, 各品种 CAT 活性呈增加趋势, 而随着 PEG 浓度的进一步提高, 各品种 CAT 活性呈降低趋势 (图 2)。在 PEG 浓度为 0 ~ 25%, 甘薯叶片 T-AOC、T-SOD、Prot 呈逐渐提高趋势 (图 3、4、7), 而甘薯叶片 RWC 随着 PEG 浓度升高表现为逐渐降低 (图 9), 尤其部分品种的李 MDA、Pro 在 PEG 处理浓度大于 20%, 其含量表现为大幅度的增加 (图 5、6)。

加权隶属函数值^[13-14]:

$$D = \sum_{i=1}^n \left[\mu(x) \times \left(|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i| \right) \right] \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n),$$

r_i 为各指标与抗旱指数的相关系数, $|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|$ 为指标权重, 表示第 i 个指标在所有指标中的重要程度; 如果 r_i 为负值, 则以 $1 - \mu(x)$ 代替式中的 $\mu(x)$ 。

所有数据采用 Excel 2007 和 DPS 13.5 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同种质材料田间抗旱性鉴定

对初选的 6 份具有抗旱性差异的材料进一步进行田间抗旱鉴定, 结果表明: 广薯 87 和徐薯 22 抗旱性强, 徐 55-2 和徐薯 18 抗旱性中等, 日紫 0602 和宁紫薯 1 号抗旱性较差 (表 1)。

而徐 55-2 叶片李 T-AA, 在 PEG 处理浓度大于 20% 后, 其含量呈下降水平 (图 8)。总之, 在 PEG 浓度为 0 ~ 25%, 随着处理浓度的提高, 不同抗氧化酶活性及生理指标都作出相应的响应。

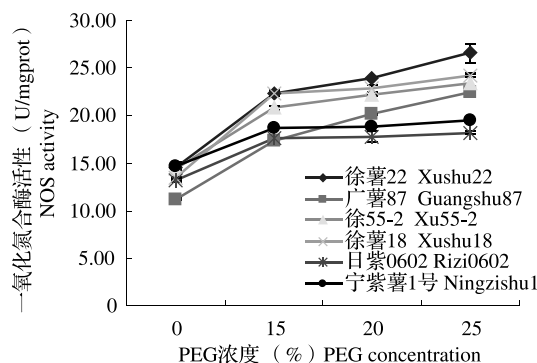


图 1 PEG 处理对甘薯叶片 NOS 活性的影响
Fig.1 Effect of NOS activity under PEG treatment on leaves of sweetpotato

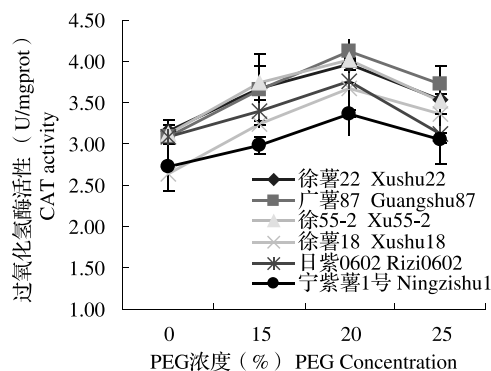


图2 PEG处理对甘薯叶片CAT活性的影响

Fig.2 Effect of CAT activity under PEG treatment on leaves of sweetpotato

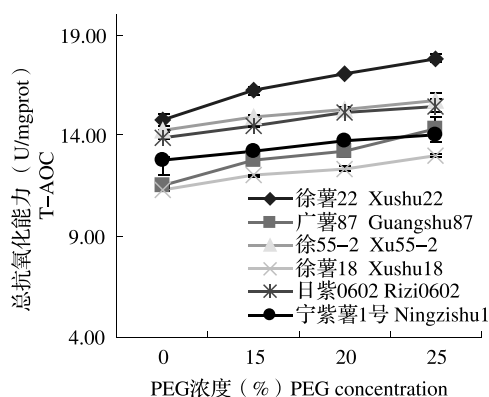


图3 PEG处理对甘薯叶片T-AOC活性的影响

Fig.3 Effect of T-AOC activity under PEG treatment on leaves of sweetpotato

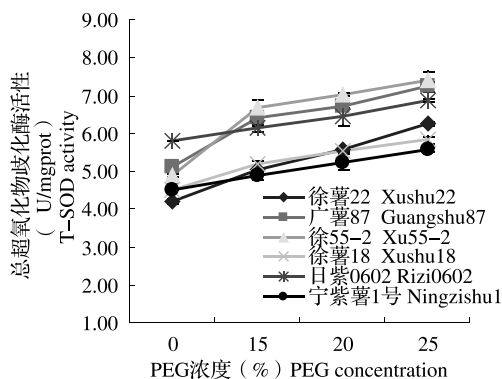


图4 PEG处理对甘薯叶片T-SOD活性的影响

Fig.4 Effect of T-SOD activity under PEG treatment on leaves of sweetpotato

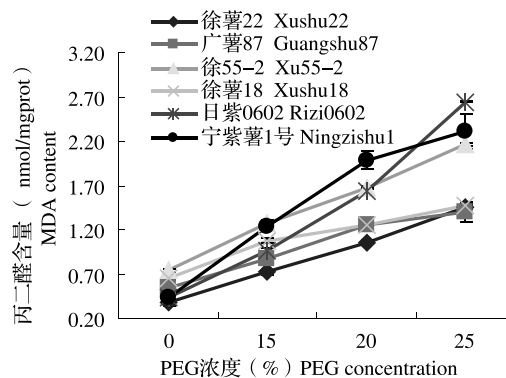


图5 PEG处理对甘薯叶片MDA含量的影响

Fig.5 Effect of the content of MDA under PEG treatment on leaves of sweetpotato

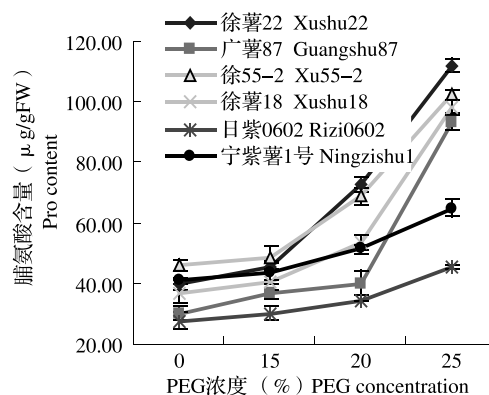


图6 PEG处理对甘薯叶片Pro含量的影响

Fig.6 Effect of the content of Pro under PEG treatment on leaves of sweetpotato

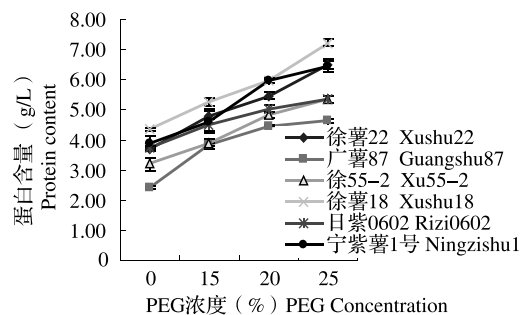


图7 PEG处理对甘薯叶片Prot含量的影响

Fig.7 Effect of the content of Prot under PEG treatment on leaves of sweetpotato

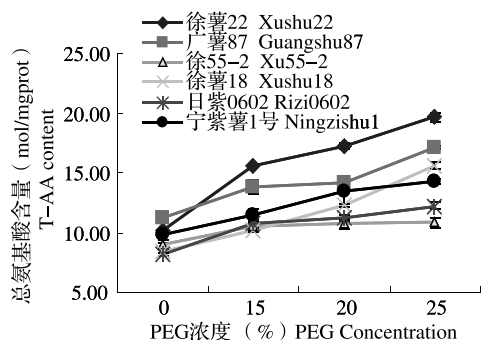


图8 PEG处理对甘薯叶片T-AA含量的影响

Fig.8 Effect of the content of T-AA under PEG treatment on leaves of sweetpotato

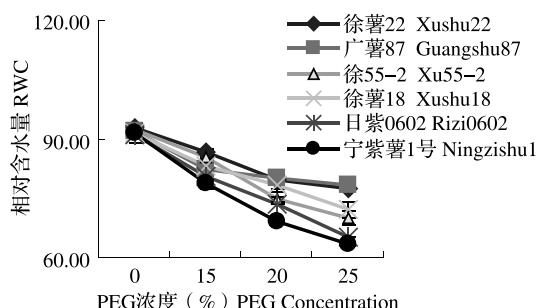


图9 PEG处理对甘薯叶片RWC的影响

Fig.9 Effect of RWC under PEG treatment on leaves of sweetpotato

2.3 生理生化指标变化与甘薯抗旱性的相关性

分析了不同甘薯种质材料抗旱指数与不同PEG浓度下NOS等指标与对照(不添加PEG)的相对百分数间的相关系数,以期筛选到适宜的PEG处理浓度及相应的生理生化指标。结果表明(表2):PEG浓度为15%~25%时,CAT、Prot、T-AA相对值与抗旱指数间的相关系数波动较大,分别为0.3825~0.622、0.379~0.721、0.462~0.625,相关系数相对较低,并且与抗旱指数间未达到差异显著水平,不适宜作为室内PEG处理模拟抗旱鉴定的参考指标;而MDA与抗旱指数间的相关系数为-0.6左右,比较稳定,但相对较低;T-SOD与抗旱指数的相关系数虽未达到差异显著水平,但在25%处理浓度下,其相关系数达到了0.831,在该浓度下可作为抗旱鉴定的间接参考。

25%PEG处理浓度为室内模拟干旱的适宜浓度,在该处理浓度下,NOS、T-AOC的相对活性和Pro的相对含量与抗旱指数的相关系数分别为0.852、0.846、0.873,均达到了显著水平($P < 0.05$),较高的相关系数表明抗旱性强的品种在水

分胁迫下具有较高的NOS及T-AOC活性,抗氧化能力强等,高的脯氨酸含量可以维持植株体内水分平衡;RWC的相对值与抗旱指数的相关系数为0.925,达到了极显著水平($P < 0.01$),也就是抗旱性强的品种叶片保水能力相对较好,叶片含水量下降慢。

针对与抗旱相关性呈显著水平的4个生理指标:NOS、T-AOC、Pro、RWC,通过对每个指标单项隶属函数及4个生理指标的加权隶属函数值(D值)计算,并对D值与抗旱指数相关性进行分析,分析结果表明:这4个生理指标的D值与抗旱指数相关系数为0.8944,达到差异显著水平(表3);因此,可采用25%PEG作为处理浓度,胁迫处理24h,测定叶片的NOS活性、T-AOC、RWC、Pro含量,可依据这4个指标D值对材料的抗旱性进行室内辅助鉴定评价,或者借助这4个指标中的任何一个进行抗旱辅助鉴定,尤其RWC。

3 讨论

抗旱指数是一种简单实用的抗旱性鉴定指标^[15],它考虑到了基因型与环境互作,同时也是人工选择与自然选择相结合的一个评价指标,其鉴定的材料在干旱条件下不仅稳产性好,更重要的是具有高产潜力,更适于生产上的大面积推广应用^[16],可作为亲本材料进行种质创新。本试验利用新疆自然干旱条件,采用抗旱指数对经过预选的具有抗旱性差异6份材料进行连续两年的抗旱鉴定;其中综合性状较好、适应性及抗旱性较好的广薯87和徐薯18作为引进品种通过了新疆非主要农作物登记,推广应用面积也在逐年增长。通过抗旱指数鉴定材料的抗旱性,其方法简单、有效、实用,被成功应用于小麦丰产抗旱性鉴定^[17]、谷子孕穗期抗旱性鉴定^[18]等。

依据田间抗旱鉴定结果,研究了室内甘薯叶片在PEG-6000胁迫对各种生理生化指标的影响,随着胁迫浓度提高甘薯叶片NOS、T-AOC、T-SOD等活性及MDA、Pro等含量呈增加趋势,仅CAT在由PEG浓度20%提高到25%后,其活性略有降低;RWC则随着PEG胁迫浓度提高逐渐降低,耐旱性好的品种其叶片保水能力较强,失水速率较慢。尤其在25%PEG胁迫处理24h,NOS、T-AOC、Pro相对百分数与抗旱指数呈正相关,并且达到差异显著水平;RWC相对百分数则与抗旱指数呈极显著正相关;而T-AA、CAT等相对百分数与抗旱指数呈正相关,但未达到差异显著水平;与张明生等^[19]的研究

表 3 部分生理指标 D 值与抗旱指数的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of drought resistance index and D value of partial physiological indexes

材料 Material	NOS	T-AOC	Pro	RWC	D 值
徐薯 22	183.59 (75.20)	120.51 (87.66)	280.56 (80.94)	83.71 (90.51)	83.70
广薯 87	200.27 (100.00)	122.02 (100.00)	309.60 (100.00)	85.19 (100.00)	100.00
徐 55-2	162.96 (44.55)	110.71 (7.60)	222.06 (42.55)	76.14 (41.95)	34.43
徐薯 18	180.71 (70.93)	115.17 (44.04)	267.66 (72.47)	78.80 (59.01)	61.66
日紫 0602	137.64 (6.91)	111.22 (11.76)	164.56 (4.81)	71.75 (9.94)	8.36
宁紫薯 1	132.99 (0)	109.78 (0)	157.23 (0)	69.60 (0)	0
相关系数 CV	0.852 *	0.846 *	0.873 *	0.925 **	0.8944 *

括号内数据为单项隶属函数值

The datas in the parentheses are individual subordinate function values

结果不一致。MDA 含量相对值与品种抗旱性呈负相关,Pro 含量、可溶性蛋白含量与品种抗旱性呈正相关^[20],与本试验结果一致。不同生理指标在水分胁迫下,整体变化趋势相对一致,总体上呈正相关或负相关;但材料的生理状态,生长发育时期、不同材料间基因型差异可能会影响抗旱性与酶活性间的差异显著水平,导致生理生化指标无法直接用于抗旱性大小的比较,以及大规模的品种鉴定。

隶属函数法是将独立测定的各项指标转换成相互独立的综合指标,以 D 值作为品种抗旱性的综合评价标准,消除了个别指标带来的片面性,可间接地对品种抗旱特征进行定量描述和评价等级,使评价结果更科学合理^[21]。利用抗旱系数和隶属函数相结合的方法,综合评价胡麻成株期抗旱性是可行的,可较好揭示指标性状与抗旱性的关系^[22]。为尽量消除基因型差异等给抗旱性鉴定评价带来的影响,本试验在酶活性等变化测定相关性分析基础上,筛选与抗旱性呈显著或极显著正相关的指标,通过隶属函数值及加权隶属函数值计算,结果表明 NOS、T-AOC、Pro、RWC 的 D 值与抗旱性呈显著正相关;依据这 4 个指标的综合 D 值可对材料的抗旱性进行初步鉴定。本研究结果也表明将抗旱系数和隶属函数相结合,可较好揭示指标性状与甘薯抗旱性的关系。

参考文献

- [1] 钮福祥,华希新,郭小丁,等.甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J].作物学报,1996,22(4):392-398
- [2] 侯丽霞,肖利贞,康志河,等.甘薯品种的抗旱性鉴定[J].河南农业科学,1999(2):5-6
- [3] 张明生,谈锋,张启堂.快速鉴定甘薯品种抗旱性的生理指标及方法的筛选[J].中国农业科学,2001,34(3):260-265
- [4] 张明生,戚金亮,杜建广,等.甘薯质膜相对透性和水分情况与品种抗旱性的关系[J].华南农业大学学报,2006,27(1):69-75
- [5] 张明生,谈锋,谢波,等.甘薯膜脂过氧化作用和膜保护系统的变化与品种抗旱性的关系[J].中国农业科学,2003,36(11):1395-1398
- [6] 张明生,彭忠华,谢波,等.甘薯离体叶片失水速率及渗透调节物质与品种抗旱性的关系[J].中国农业科学,2004,37(1):152-156
- [7] 张会云,钮福祥,朱磊,等.甘薯品种资源抗旱鉴定[J].江苏农业科学,1998(6):27-29
- [8] 丁成伟,钮福祥,郭小丁,等.甘薯品种资源抗旱性鉴定研究[J].河南农业科学,1997(10):3-5
- [9] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiol, 1973, 51: 914-916
- [10] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25
- [11] 赵世杰,史国安,董新纯.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:132
- [12] 刘天鹏,董孔军,何继红,等.糜子育成品种芽期抗旱性鉴定与评价研究[J].植物遗传资源学报,2014,15(4):746-752
- [13] 魏秀俭,杨婉身,潘光堂,等.22个玉米自交系的耐旱性综合分析[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):134-137
- [14] 武仙山,吕小平,景蕊莲.小麦灌浆期抗旱性鉴定指标的综合评价[J].麦类作物学报,2008,28(4):626-632
- [15] 黎裕,王天宇,刘成,等.玉米抗旱品种的筛选指标研究[J].植物遗传资源学报,2004,5(3):210-215
- [16] 栗雨勤,张文英,王有增,等.作物抗旱性鉴定指标研究及进展[J].河北农业科学,2004,8(1):58-61
- [17] 李瑞奇,卜冬宁,张晓,等.河北省冬小麦丰产抗旱性表型鉴定指标分析[J].植物遗传资源学报,2012,13(2):233-238
- [18] 张文英,智慧,柳斌辉,等.谷子孕穗期抗旱指标筛选[J].植物遗传资源学报,2012,13(5):765-772
- [19] 张明生,杜建广,谢波,等.水分胁迫下甘薯叶片渗透调节物质含量与品种抗旱性的关系[J].南京农业大学学报,2004,27(4):123-125
- [20] 谢小玉,张霞,张兵.油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J].中国农业科学,2013,46(3):476-485
- [21] 张智猛,戴良香,丁红,等.中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价[J].作物学报,2012,38(3):495-504
- [22] 祁旭升,王兴荣,许军,等.胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3087