

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)02-0118-07

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.02.003

20份马铃薯材料的抗旱性评价与筛选

陈杰盼, 马奔驰, 苏晨晨, 王 燕, 尹 江, 冯 琰*

(河北北方学院旱作农业研究中心, 河北 张家口 075000)

摘要: 干旱是马铃薯生长发育的主要限制因子之一。为筛选出抗旱性强的马铃薯材料, 在常规灌溉与干旱胁迫下, 对20份参试马铃薯材料的单株产量、株高、SPAD值、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量、离体叶片电导率和离体叶片失水力指标进行测定与分析, 将各性状的抗旱系数作为衡量抗旱能力的指标, 并结合主成分分析及模糊隶属函数法对各马铃薯材料进行抗旱性评价。各指标间均呈不同程度的相关, 相关系数在-0.258~-0.958。主成分分析表明, 两个主成分因子可涵盖20份马铃薯材料6个指标84.709%的数据信息。根据抗旱性度量值做聚类分析, 当 $\lambda = 10$ 时, 把20份马铃薯材料分为3个类群(抗旱性较强、抗旱性中等和抗旱性较弱材料), 抗旱性较强的材料包括‘GMY129’‘GMY041’‘GMY155’‘GMY141’‘GMY139’‘GMY151’和‘GMY114’。该研究为马铃薯抗旱种质资源的筛选与评价提供理论参考。

关键词: 马铃薯; 干旱胁迫; 抗旱性评价; 主成分分析; 隶属函数法

Evaluation and Screening of 20 Potato Materials for Drought Resistance

CHEN Jiepan, MA Benchì, SU Chenchen, WANG Yan, YIN Jiang, FENG Yan*

(Research Center for Dry Crop Agriculture, Hebei North College, Zhangjiakou, Hebei 075000, China)

Abstract: Drought is one of the major limiting factors for potato growth and development. To select potato materials with high drought resistance, yield, plant height, SPAD value, malondialdehyde (MDA) content, detached leaf conductivity and detached leaf water loss capacity of 20 potato materials were measured and analyzed under regular irrigation and drought stress. The drought resistance coefficients of each trait were used as indicators of drought resistance, and the drought resistance of each potato material was evaluated by combining component analysis and fuzzy membership function method. All the indexes were correlated to some extents, with correlation coefficients ranging from -0.258 to -0.958. Principal component analysis showed that the two principal component factors covered 84.709% data information of six indicators of 20 potato materials. Cluster analysis with $\lambda = 10$ divided the 20 potato materials into three groups (high drought resistance, medium drought resistance and low drought resistance) based on drought

收稿日期: 2023-04-20

基金项目: 河北省农业科技成果转化资金项目(21626316D); 河北省重点研发项目(20326319D); 河北北方学院大学生创新创业训练计划项目(20211009)。

作者简介: 陈杰盼(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向为马铃薯抗旱育种。

*通信作者(Corresponding author): 冯琰, 硕士, 副研究员, 主要从事马铃薯新品种选育及高产栽培技术研究, E-mail: fengyanm@sina.com。

resistance measurement value. Materials with high drought resistance, including 'GM129', 'GM104', 'GM155', 'GM141', 'GM139', 'GM151' and 'GM114', were selected. This study would provide a theoretical reference for the screening and evaluation of drought-resistant germplasm resources of potato.

Key Words: potato; drought stress; drought resistance evaluation; principal component analysis; membership function method

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科茄属一年生草本双子叶作物,因其生产周期短、加工方式多样等特点,广受世界各地人群的喜爱^[1]。马铃薯适合在温带气候生长,因其喜欢湿润、凉爽的生长环境,在生长期对高温和干旱比较敏感^[2]。马铃薯生长发育的整个时期都需要水的参与,干旱缺水会严重影响马铃薯产量的稳定性,极度干旱可直接导致马铃薯减产乃至绝收^[3]。因此,提高马铃薯抗旱性是马铃薯育种的重要目标之一。筛选抗旱马铃薯种质资源是抗旱育种的基础,对马铃薯抗旱育种研究和不同马铃薯品种生产利用的合理分布具有重要意义。

不同品种的马铃薯对于干旱条件的响应不同。谢婉和郑维列^[4]利用干旱胁迫下,马铃薯组培苗的生理生化指标和生长指标来确定品种的抗旱性强弱;王溢^[5]研究表明抗旱性强的品种受干旱影响较小,干旱胁迫时产量、株高、相对含水量的降幅小,叶片质膜相对透性和丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量增幅低的品种抗旱性强。干旱在植物生长发育过程中,其影响是多方面且复杂的,使用单一指标不能对参试马铃薯的抗旱性作相对客观的评价,多指标与多方法相结合的抗旱性评价结果更准确可靠^[6]。许多学者利用相关性分析、隶属函数分析、主成分分析和聚类分析等方法,对马铃薯种质抗旱性进行了综合鉴定^[7-10]。

本试验在抗旱棚中对20份马铃薯材料进行常规灌溉和干旱胁迫处理,块茎膨大期进行株高、SPAD值、离体叶片电导率、叶片失水力、MDA含量测定。成熟后测定单株产量,计算各指标抗旱系数,结合主成分分析及模糊隶属函数法,然后进行系统聚类分析对各马铃薯材料抗旱性进行分类,从而筛选出抗旱性强的马铃薯材料,为马铃薯抗旱性评价和抗旱育种提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为国际马铃薯中心提供的20份马铃薯材料,分别为'GM104' 'GM075' 'GM094' 'GM098' 'GM100' 'GM104' 'GM109' 'GM114' 'GM129' 'GM137' 'GM139' 'GM141' 'GM151' 'GM155' 'GM157' 'GM166' 'GM179' 'GM204' 'GM210' 'GM223'。

1.2 试验设计

试验于2022年在河北北方学院南校区马铃薯抗旱棚内进行,采用裂区试验设计,4月20日播种。把旱棚分为面积相等的两区域,用塑料布深埋1 m隔开,一区域用于常规灌溉材料的种植,另一区域用于干旱胁迫处理材料的种植。行距55 cm,株距25 cm,每行种植15株,3次重复。全部材料于8月17日收获,整个生育期防治病虫害。所有指标均测量各小区的中间10株,以减少试验误差。

水分处理标准^[9]为:常规灌溉处理(CK),按照植株生长需求供水,灌水量为田间最大持水量的70%;干旱胁迫处理,于现蕾期控水直至收获,在土壤含水量自然降低最大持水量的30%时,对除单株产量以外的指标进行测定。

1.3 评价指标

株高:将主茎拉直后,用直尺测量植株地上部最高主茎的基部至生长点的长度。

叶绿素相对值(SPAD值):用SPAD502叶绿素仪测定。

离体叶片电导率:测定参考王乃玉^[11]的方法。

离体叶片失水力:测定参考王燕等^[9]的方法。

丙二醛(MDA)含量:采用硫代巴比妥酸TBA显色法^[12]测定。

单株产量:收获时,称量每份试验材料马铃薯

薯单株所结块茎的重量。

1.4 数据处理

试验使用抗旱系数对马铃薯抗旱性进行研究, 使用SPSS 22.0对所有试验数据进行主成分分析, 使用Excel 2010软件进行数据处理及隶属函数法分析。

各项指标抗旱系数:

$$DC = T_i / CK_i$$

式中: T_i 和 CK_i 分别表示干旱处理和对照处理的指标测定值。

隶属函数值的计算公式:

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: X_{ij} 代表 i 材料第 j 主成分的分值, $X_{\max}$ 为该主成分的最大值, $X_{\min}$ 为该主成分的最小值。

主成分权重系数:

$$\omega_j = P_j / P_s$$

式中: P_j 为第 j 个主成分的贡献率, P_s 为主成分累积贡献率。

抗旱性度量值:

$$D = \sum U(X_{ij}) \times \omega_j$$

式中: $U(X_{ij})$ 为各基因型各综合指标的隶属函数值, ω_j 为各主成分权重系数。

2 结果与分析

2.1 不同品种马铃薯抗旱性的综合评价

20份马铃薯材料的6个指标的抗旱系数均有较大变幅, 单株产量、株高、SPAD值、离体叶片电导率、离体叶片失水力和丙二醛变幅分别为0.377~0.750、0.349~0.915、1.040~1.410、1.038~1.271、1.075~1.578、1.157~1.831; 6个指标的平均值变幅在0.544~1.442, 变异系数变幅在0.056~0.237(表1)。以上结果表明, 干旱胁迫后的马铃薯材料各指标均发生不同程度的改变; 同一指标各材料间抗旱系数存在明显差异, 说明选用的各指标对干旱胁迫具有敏感性, 研究所选用的马铃薯材料具有较好的代表性。

表1 供试马铃薯材料各指标的抗旱系数

Table 1 Drought resistance coefficients of each index of the potato materials tested

材料名称 Material name	单株产量 Yield per plant	株高 Plant height	SPAD值 SPAD value	离体叶片电导率 Detached leaf conductivity	离体叶片失水力 Detached leaf water loss capacity	丙二醛 Malonaldehyde
GM Y041	0.731	0.850	1.387	1.052	1.126	1.184
GM Y075	0.429	0.448	1.164	1.098	1.152	1.605
GM Y094	0.541	0.665	1.155	1.221	1.167	1.379
GM Y098	0.498	0.725	1.235	1.090	1.457	1.487
GM Y100	0.499	0.717	1.223	1.089	1.112	1.479
GM Y104	0.472	0.569	1.108	1.172	1.170	1.579
GM Y109	0.478	0.727	1.040	1.110	1.171	1.512
GM Y114	0.574	0.870	1.247	1.185	1.243	1.365
GM Y129	0.750	0.915	1.410	1.108	1.128	1.157
GM Y137	0.383	0.551	1.192	1.120	1.145	1.704
GM Y139	0.639	0.815	1.290	1.239	1.362	1.327
GM Y141	0.717	0.713	1.349	1.092	1.075	1.209
GM Y151	0.611	0.857	1.218	1.092	1.225	1.276
GM Y155	0.705	0.782	1.357	1.098	1.099	1.211
GM Y157	0.509	0.772	1.157	1.100	1.268	1.428
GM Y166	0.566	0.682	1.223	1.038	1.116	1.331
GM Y179	0.489	0.573	1.240	1.055	1.266	1.525
GM Y204	0.531	0.689	1.331	1.126	1.211	1.435
GM Y210	0.377	0.371	1.049	1.271	1.578	1.815
GM Y223	0.382	0.349	1.047	1.146	1.395	1.831
平均值 Average	0.544	0.682	1.221	1.125	1.223	1.442
变异系数 Coefficient of variation	0.215	0.237	0.091	0.056	0.108	0.137

2.2 各指标抗旱系数相关性分析

各指标抗旱系数相关分析结果(表2)显示, 各指标间存在一定的相关性, 相关系数在-0.258~-0.958。株高、SPAD值与单株产量均呈极显著正相关, 相关系数分别为0.807、0.846; SPAD值与株高为极显著正相关, 相关系数为0.678; 离体叶片失水力与MDA呈极显著正相关, 相关系数为0.562; 离体叶片电导率与离体叶片失水力呈显著

正相关, 相关系数为0.541。相反的是, 单株产量、株高、SPAD值与MDA均呈极显著负相关, 相关系数分别为-0.958、-0.886、-0.813; 单株产量、SPAD值与离体叶片失水力为显著负相关, 相关系数分别为-0.477、-0.451。各指标抗旱系数间存在相互关联关系, 马铃薯的抗旱性是多个指标的综合表现, 因此, 通过多个指标共同评价才能更加准确鉴定其抗旱程度。

表2 供试马铃薯材料各指标抗旱系数间相关性

Table 2 Correlation between drought resistance coefficients of each index of potato materials tested

指标 Index	单株产量 Yield per plant	株高 Plant height	SPAD值 SPAD value	离体叶片电导率 Detached leaf conductivity	离体叶片失水力 Detached leaf water loss capacity	丙二醛 Malonaldehyde
单株产量 Yield per plant	1					
株高 Plant height	0.807**	1				
SPAD值 SPAD value	0.846**	0.678**	1			
离体叶片电导率 Detached leaf conductivity	-0.268	-0.258	-0.378	1		
离体叶片失水力 Detached leaf water loss capacity	-0.477*	-0.403	-0.451*	0.541*	1	
丙二醛 Malonaldehyde	-0.958**	-0.886**	-0.813**	0.353	0.562**	1

注: *和**分别代表在0.05与0.01水平上差异显著。

Note: * and ** represent significant difference at 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively.

2.3 各性状指标抗旱系数主成分分析

对各性状指标抗旱系数进行主成分分析, 获得特征值和贡献率(表3), 便于进一步确定和评价抗旱鉴定的指标。主成分1特征值为4.017, 方差贡献率为66.952%; 主成分2特征值为1.065, 方差贡献率为17.757%; 主成分1在单株产量、

MDA、SPAD值、株高具有较高载荷, 主成分2在离体叶片电导率、离体叶片失水力上有较高载荷。主成分1与主成分2的累计贡献率达到84.709%, 特征根 $\lambda > 1$, 符合主成分分析要求。因此, 这两个主成分可代表20份马铃薯6个指标的大部分信息, 可作为马铃薯抗旱性的综合评价指标。

表3 各指标抗旱系数的主成分特征值和贡献率

Table 3 Principal component eigenvalues and contribution rate of drought resistance coefficients of each index

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue	特征值 Eigenvalues	方差贡献率(%) Variance contribution rate	累积方差贡献率(%) Cumulative variance contribution rate
1	4.017	66.952		66.952
2	1.065	17.757		84.709
3	0.450	7.507		92.217
4	0.320	5.333		97.550
5	0.128	2.127		99.676
6	0.019	0.324		100

2.4 各性状指标隶属函数分析及其品种的综合抗旱性评价

在获得主成分特征向量 F_1 与 F_2 的基础上, 利用模糊隶属函数法, 分别获得2个主成分的隶属函数值 U_1 与 U_2 , 然后根据主成分的权重系数, 对各主成分隶属函数值赋予相应的权重(ω), 计算综合抗旱性度量值(D 值), 由此可以较准确地评

价马铃薯材料的抗旱性, D 值越大, 抗旱性越强。

本试验马铃薯品种 D 值介于0.140~0.903(表4), 平均值0.541, 变异系数0.363。将20份马铃薯材料根据 D 值大小进行排序, 抗旱性强的材料为‘GM Y129’‘GM Y041’‘GM Y155’‘GM Y141’‘GM Y139’, 抗旱性弱的材料为‘GM Y137’‘GM Y075’‘GM Y210’‘GM Y223’, 其余马铃薯材料抗旱性介于两者之间。

表4 供试马铃薯抗旱性评价的 D 值
Table 4 D values for drought resistance evaluation of potatoes

材料名称 Material name	F_1	F_2	U_1	U_2	D 值 D value
GM Y041	3.016	-0.194	0.977	0.315	0.838
GM Y075	-1.424	-1.427	0.404	0.000	0.319
GM Y094	-0.404	0.863	0.536	0.586	0.546
GM Y098	-0.569	0.459	0.514	0.482	0.508
GM Y100	0.252	-0.935	0.620	0.126	0.516
GM Y104	-1.426	-0.223	0.404	0.308	0.384
GM Y109	-0.841	-0.691	0.479	0.188	0.418
GM Y114	0.626	1.251	0.669	0.685	0.672
GM Y129	3.196	0.670	1.000	0.536	0.903
GM Y137	-1.535	-1.176	0.390	0.064	0.321
GM Y139	0.490	2.483	0.651	1.000	0.724
GM Y141	2.352	-0.238	0.891	0.304	0.768
GM Y151	1.257	0.181	0.750	0.411	0.679
GM Y155	2.431	0.023	0.901	0.371	0.790
GM Y157	-0.131	-0.099	0.571	0.340	0.522
GM Y166	0.981	-1.315	0.714	0.029	0.570
GM Y179	-0.468	-1.008	0.527	0.107	0.439
GM Y204	0.445	0.061	0.645	0.381	0.590
GM Y210	-4.558	1.779	0.000	0.820	0.172
GM Y223	-3.691	-0.465	0.112	0.246	0.140
平均值 Average					0.541
变异系数 Coefficient of variation					0.363

2.5 供试马铃薯材料聚类分析

根据抗旱性度量值(D 值), 用欧式距离平均连锁法对20份马铃薯材料进行聚类分析, 得到图1, 在 $\lambda = 10$ 处将20份马铃薯材料分为三大类。第一类为抗旱性较强的材料, 包括‘GM Y129’‘GM Y041’‘GM Y155’‘GM Y141’‘GM Y139’‘GM Y151’‘GM Y114’,

占供试材料总数的35%; 第二类为抗旱性中等的材料, 包括‘GM Y094’‘GM Y098’‘GM Y157’‘GM Y100’‘GM Y204’‘GM Y166’‘GM Y104’‘GM Y179’‘GM Y109’‘GM Y137’‘GM Y075’, 占供试材料总数的55%; 第三类为抗旱性较弱的材料, 包括‘GM Y223’‘GM Y210’, 占供试材料总数的10%。

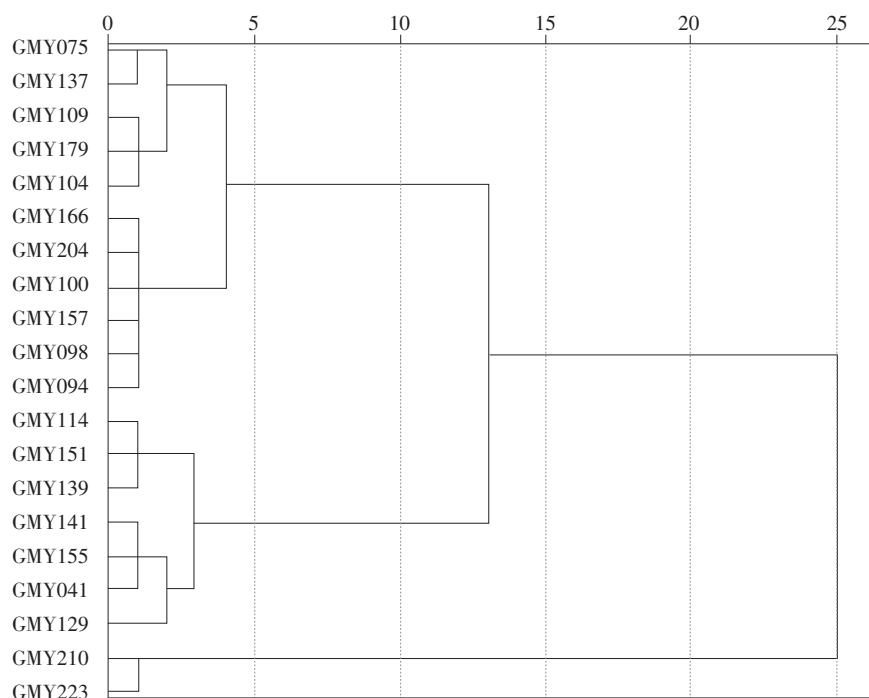


图1 基于D值的20份马铃薯材料抗旱性聚类图

Figure 1 Clustering of 20 potato materials for drought resistance based on D value

3 讨论

运用合适的评价方法对作物的抗旱性评价至关重要。通过相关性分析可知,所有的指标间存在不同程度的相关性,这使各项指标的数据发生重叠,因此,直接用隶属函数对材料抗旱性进行评价不够准确。主成分分析可以消除各指标间的相关影响,将原始数据进行标准化后变成几个彼此相互独立的因子。刘博宽等^[13]对花生不同生理指标和表型指标的抗旱性评价研究及杨丹等^[14]对紫花白芨组培苗的抗旱性评价研究中,都采用主成分分析与隶属函数分析两者相结合的方式综合评价材料的抗旱性。由此可见,采用主成分分析和隶属函数分析相结合得出抗旱性综合评价值(D值)的方式来对材料的抗旱性进行评价是一种比较合理的分析方式。

干旱胁迫下,马铃薯产量变化比较直观,因此,产量可作为马铃薯抗旱品种判定的重要指标^[6]。顾尚敬等^[15]研究认为,干旱胁迫后马铃薯产

量降低,抗旱系数可以直观的表现出植株对于干旱胁迫的敏感程度。本试验中,20份马铃薯材料的单株产量的抗旱系数均小于1,表示单株产量均低于对照处理,抗旱性强的材料产量下降的幅度较小,表明可以用抗旱系数评价不同品种间的抗旱性。20份马铃薯材料的MDA含量抗旱系数在1.157~1.831,MDA含量的抗旱系数均大于1,表明干旱胁迫处理比对照处理的MDA含量有不同程度的升高,这一变化趋势与丁玉梅等^[16]研究结果相符。同时离体叶片电导率的抗旱系数均大于1,表明干旱胁迫处理的相对电导率均高于对照处理,这与毛娟等^[17]研究结果相同。

本试验中干旱胁迫对马铃薯各指标均有不同程度的影响,采用抗旱性度量值(D值)作为马铃薯抗旱性的评价方法较为准确。首先通过计算各品种不同性状的抗旱系数的平均值作为品种间抗旱能力的评价指标,其次利用聚类分析划分其抗旱性,最后筛选出抗旱性较强的材料为‘GMY129’‘GMY041’‘GMY155’‘GMY141’‘GMY139’‘GMY151’

和‘GMY114’,抗旱性敏感材料‘GMY210’‘GMY223’。本研究利用主成分分析和隶属函数相结合的方法对马铃薯抗旱指标进行评价,为马铃薯抗旱品种的选育及其生产利用的合理分布提供理论基础。

[参 考 文 献]

- [1] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2012(1): 1-4.
- [2] Schapendonk A, Spitters C J T, Groot P J. Effects of water stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of five potato cultivars [J]. Potato Research, 1989, 32: 17-32.
- [3] 王芳. 干旱胁迫对马铃薯的危害 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与小康社会建设. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2014: 288-292.
- [4] 谢婉, 郑维列. 马铃薯抗旱评价指标及方法 [J]. 西藏农业科技, 2015, 37(4): 27-35.
- [5] 王谧. 马铃薯抗旱指标研究及抗旱性鉴定 [D]. 青海: 青海大学, 2014.
- [6] 李梦迪, 杨媛媛, 周平. 马铃薯抗旱性研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(5): 304-308.
- [7] 赵媛媛, 石瑛, 张丽莉, 等. 马铃薯抗旱种质资源的评价 [J]. 分子植物育种, 2018, 16(2): 633-642.
- [8] 李丰先, 罗磊, 李亚杰, 等. 基于PCA和隶属函数法分析的马铃薯创新种质抗旱性鉴定与分类 [J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(11): 141-147.
- [9] 王燕, 贾智麟, 任冬雪, 等. 隶属函数法评价马铃薯高代品系材料的抗旱性 [J]. 种子, 2017, 36(6): 72-75.
- [10] 杜培兵, 张永福, 白小东, 等. 主成分分析和隶属函数法对马铃薯品种抗旱性的评价 [J]. 种子, 2019, 38(8): 120-126.
- [11] 王乃玉. 微囊藻毒素对水生植物黄菖蒲的影响及其降解特性研究 [D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 刘博宽, 赵楠楠, 崔顺立, 等. 不同花生品种抗旱性鉴定及抗旱指标评价 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(19): 27-35.
- [14] 杨丹, 龚宁, 况晓雨, 等. PEG-6000渗透胁迫对紫花白苜蓿抗旱锻炼的综合评价 [J/OL]. 分子植物育种: 1-29 [2023-04-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220216.1827.028.html>.
- [15] 顾尚敬, 王朝贵, 王朝海, 等. 马铃薯盆栽控水抗旱性鉴定 [J]. 农业开发与装备, 2013(1): 104-105.
- [16] 丁玉梅, 马龙海, 周晓罡, 等. 干旱胁迫下马铃薯叶片脯氨酸、丙二醛含量变化及与耐旱性的相关性分析 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 106-110.
- [17] 毛娟, 白江平, 张俊莲, 等. 水分胁迫下马铃薯 *SnRK2* 基因的表达模式与生理响应 [J]. 中国沙漠, 2014, 34(2): 481-487.