

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)06-0500-07

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.06.003

基于叶片显微结构综合评价马铃薯不同品种的抗旱性

马 胜^{1,2,3}, 齐恩芳^{1,2,3}, 文国宏^{1,2,3}, 李 掌^{1,2,3}, 曲亚英^{1,2,3},
郑永伟^{1,2,3}, 白永杰^{1,2,3}, 贾小霞^{1,2,3*}

(1. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省马铃薯种质资源创新工程实验室, 甘肃 兰州 730070;

3. 国家种质资源渭源观测实验站, 甘肃 渭源 748201)

摘 要: 作为粮、菜、饲兼用型作物, 马铃薯种植面积逐年增大, 但受干旱的影响, 干旱半干旱区产量低而不稳, 种植抗旱品种是解决这一问题的主要途径之一。为研究以叶片解剖结构特征参数为主要指标的马铃薯抗旱性评价方法, 以‘陇薯6号’、‘陇薯10号’、‘陇薯14号’和‘庄薯3号’为试验材料, 采用石蜡制片法, 应用光学显微技术对干旱条件下不同品种的叶片厚度、中脉厚度、叶片上下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅栏组织厚度/海绵组织厚度(栅海比)、栅栏组织结构紧密度(RT)和海绵组织结构疏松度(RL)、气孔密度和叶脉密度抗旱相关的叶片解剖结构特征参数进行测定和显著性分析, 并利用隶属函数法对各品种的抗旱性进行了综合评价。结果表明, 不同品种叶片厚度、中脉厚度、上下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、气孔密度和叶脉密度都具有明显的差异, 但不同解剖结构参数与抗旱性之间没有绝对的相关性, 单一指标并不能准确反映抗旱性的强弱。隶属函数法综合分析表明, 4个品种的抗旱性从强到弱的顺序为‘庄薯3号’>‘陇薯10号’>‘陇薯6号’>‘陇薯14号’。

关键词: 叶片厚度; 叶片解剖结构; 气孔密度; 隶属函数

Comprehensive Evaluation of Drought Resistance of Different Potato Varieties Based on Leaf Microstructure

MA Sheng^{1,2,3}, QI Enfang^{1,2,3}, WEN Guohong^{1,2,3}, LI Zhang^{1,2,3}, QU Yaying^{1,2,3},

ZHENG Yongwei^{1,2,3}, BAI Yongjie^{1,2,3}, JIA Xiaoxia^{1,2,3*}

(1. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Engineering Laboratory of Potato Germplasm Resources Innovation, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. National Germplasm Resources Agricultural Experimental Station, Weiyuan, Gansu 748201, China)

Abstract: As a crop for food, vegetable and feed, the planting area of potato is increasing year by year, but due to drought, the yield in arid and semi-arid areas is low and unstable. Planting drought-resistant varieties is one of the main ways to solve this problem. In order to study the drought resistance evaluation method of potato with the characteristic parameters of leaf anatomical structure as the main index, four potato varieties 'Longshu 6', 'Longshu 10', 'Longshu 14' and 'Zhuangshu 3' were used as test materials, and the thickness of leaves, midrib, epidermis, palisade tissue and spongy tissue, stomata width and other drought-related characteristics of leaf anatomical structure parameters were

收稿日期: 2021-10-27

基金项目: 甘肃省自然科学基金重点项目(21JR7RA728); 国家现代农业产业技术体系(CARS-09-P06); 国家自然科学基金项目(31560412); 甘肃省科技重大专项计划(19ZD2WA002)。

作者简介: 马胜(1978-), 男, 研究实习员, 主要从事马铃薯育种研究工作。

***通信作者(Corresponding author):** 贾小霞, 副研究员, 主要从事马铃薯种质改良研究工作, E-mail: jiaxx0601@163.com。

determined by the methods of paraffin slice and optical microscopy. The ratio of palisade tissue to spongy tissue, the stomata density and the number of veins per unit length were calculated and analyzed. The drought resistance of each variety was evaluated by the membership function method. The results of significance analysis showed that there were large differences among the thickness of leaves, midrib, upper and lower epidermis, palisade tissue and spongy tissue, stomata width and vein density of different varieties. However, there was no consistent correlation between different anatomical parameters and drought resistance, and a single index could not completely represent the strength of drought resistance of different varieties. The results of membership function analysis showed that the drought resistance of each variety was shown as the followings: 'Zhuangshu 3' > 'Longshu 10' > 'Longshu 6' > 'Longshu 14'.

Key Words: blade thickness; leaf anatomic structure; stomatal density; membership function

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)用途广泛, 不仅关系到粮食安全, 而且是解决贫困的支柱产业。近年来, 随着国家马铃薯“主粮化”战略的推进, 其在中国农业经济中的地位更加突出。西北半干旱区是中国马铃薯的主产区 and 优势产区, 但干旱往往导致产量低而不稳。因此, 研究马铃薯的抗旱性并进行科学评价具有重要的科学和实践意义。植物在生长过程中, 由于受光照、气温、水分等自然环境因子的影响, 根、茎、叶、花、果、实等形成了一套独特的外部形态特征^[1]。作为与环境直接接触的主要器官, 叶片是光合作用和呼吸作用的主要场所, 其结构特征最易受到环境条件的影响, 在不同的选择压力下形成了适应各种逆境的差异类型, 其形态与解剖结构特征也充分显示了对不同生长环境的适应性^[2]。目前, 有关叶片形态特征与抗旱性的关系已受到很多学者关注^[3,4], 研究表明, 叶片厚度、中脉厚度、栅栏组织厚度、气孔密度^[5,6]、叶片上下表皮厚度、海绵组织厚度、栅海比、栅栏组织结构紧密度、海绵组织结构疏松度^[7,8]等叶片解剖结构特征参数可作为植物抗旱性评价的重要指标。目前对于马铃薯抗旱性的比较多集中在水分生理指标、渗透调节指标、光合作用指标、活性氧清除系统及膜脂过氧化指标、内源激素指标、产量指标^[9,10]等方面。秦天元等^[11]和卢福顺^[12]分别研究了干旱胁迫对马铃薯根尖和叶片超微结构的影响, 但基于叶片解剖结构对马铃薯不同品种进行抗旱性分析的研究还未见相关文献报道。因此, 本研究选取甘肃省主栽的4个马铃薯品种, 对其叶片解剖结构进行观测分析, 并通过隶属函数法综合评价其抗旱性, 旨在提供一些关于马铃薯抗旱栽培和抗旱育种方面的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为马铃薯栽培种‘陇薯6号’‘陇薯10号’‘陇薯14号’和‘庄薯3号’原种(甘肃省农业科学院马铃薯研究所早熟育种研究室提供), 试验在甘肃省农业科学院马铃薯研究所榆中试验站抗旱棚中开展, 抗旱棚土壤为黄棉土, 土壤肥力中上等, 播前施羊粪40 m³/hm²、硫酸钾(K₂O 50%)280 kg/hm²、磷酸二铵(P₂O₅ 46%; N 18%)200 kg/hm²、尿素(N 46%)160 kg/hm²作基肥, 浇透水后, 于2020年4月25日土壤湿度适宜播种时露地平播, 每品种3次重复, 每重复2行, 每行10株, 行距60 cm, 株距33 cm, 播后不再浇水, 直至盛花期采集叶片。榆中试验站位于N 35.85°, E 104.12°, 海拔1 960 m, 年均气温6.7℃, 年均降水量350 mm, 无霜期120 d左右, 属温带半干旱区。

1.2 叶片组织结构观察

叶片组织结构采用石蜡切片法进行观察^[13]。于2020年7月18日(盛花期)采集叶片, 分别选取4个品种倒数第四个完全展开叶片, 每个样品3次重复, 自来水冲洗干净后, 横切叶片中部约2 cm × 2 cm组织, 先用FAA固定液固定, 再用二甲苯和无水乙醇进行处理后, 制作石蜡切片, 番红固绿双重对染后进行封胶。使用PANNORAMIC全景切片扫描仪将组织切片上所有的组织信息都扫描成像形成一个文件夹, 使用CaseViewer2.2扫描浏览软件选取组织的目的区域进行200倍成像, 成像完成后, 叶片、上下表皮、叶片中脉、角质层、栅栏组织和海绵组织等各指标的厚度通过Image-Pro Plus 6.0软件

进行测量分析, 各指标均为10次测量值的平均值, 然后求出栅海比、栅栏组织结构紧密度(RT)和海绵组织结构疏松度(RL)。

栅海比 = 栅栏组织厚度/海绵组织厚度

RT(%) = 栅栏组织厚度/叶片厚度 × 100

RL(%) = 海绵组织厚度/叶片厚度 × 100

用Image-Pro Plus 6.0软件分别测量每张切片中6个气孔的宽度, 并测量对应的12个保卫细胞的纵轴长与横轴长、整个组织的长度; 分别计数组织上气孔数量与叶脉数量, 计算出单位长度上气孔密度(n/mm)、单位长度上叶脉数量。

气孔密度(n/mm) = 气孔数量/整个组织的长度

叶脉密度(n/mm) = 叶脉数量/整个组织的长度

1.3 数据处理及分析

用Microsoft Office Excel 2010进行数据的初步处理, DPS V 3.01统计分析软件进行单因素方差分析; 试验结果的差异显著性用Duncan's分析, 所有数据均为平均值 ± 标准差。用模糊数学隶属函数法对不同品种进行抗旱性评价^[14], 先求每个品种所有单一指标的隶属函数值, 再计算不同品种所有指标的平均隶属函数值, 平均隶属函数值的大小, 分别代表抗旱性的强弱。与抗旱性呈正相关指标的隶属函数值用公式 $X(\mu_1) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算, 与抗旱

性呈负相关指标的隶属函数值用公式 $X(\mu_2) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算, 式中 X 表示某一品种某一指标的测定值, $X_{\min}$ 表示4个品种中某一指标的最小值, $X_{\max}$ 表示4个品种中某一指标的最大值。

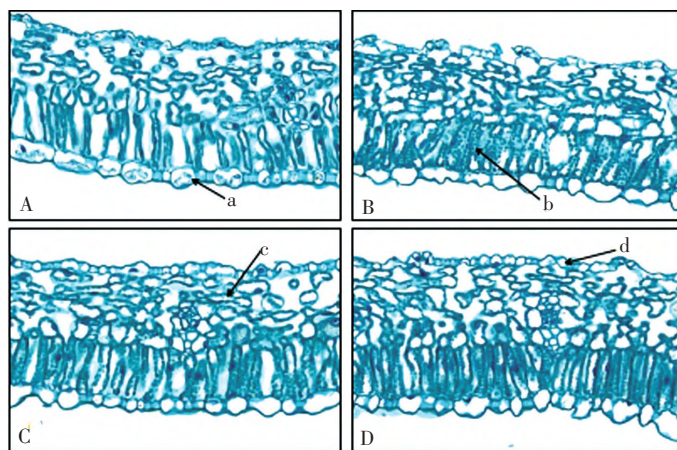
2 结果与分析

2.1 不同马铃薯品种叶片解剖结构共同特征

马铃薯叶片横切面解剖结构的基本组成相同(图1), 即叶片为异面叶, 由上表皮、栅栏组织、海绵组织和下表皮组成, 上表皮厚度和上表皮细胞都较大, 下表皮厚度和下表皮细胞均较小且不规则。栅栏组织在上表皮下面, 均由1层排列较紧密的长柱型细胞构成; 在栅栏组织与下表皮之间的海绵组织, 由排列疏松且形状不规则的细胞组成。

2.2 不同马铃薯品种叶片显微结构对比

不同品种马铃薯叶片的解剖特征参数量化上存在一定的差别(表1)。^{‘庄薯3号’}叶片厚度最大(178.32 μm), 显著高于其他3个品种; ^{‘陇薯10号’}叶片厚度(170.62 μm)位居第二, 显著高于^{‘陇薯6号’}和^{‘陇薯14号’}; ^{‘陇薯14号’}和^{‘陇薯6号’}的叶片厚度较小, 分别为157.64和153.62 μm, 二者有差异, 但未达到显著水平。^{‘庄薯3号’}的上表皮厚度最大(24.28 μm), 显著高于其他3个品种; 其余3个品种



注: A. 陇薯6号; B. 陇薯10号; C. 陇薯14号; D. 庄薯3号。a. 上表皮; b. 栅栏组织; c. 海绵组织; d. 下表皮。

Note: A. Longshu 6; B. Longshu 10; C. Longshu 14; D. Zhuangshu 3. a. Upper epidermis; b. Palisade tissue; c. Sponge tissue; d. Lower epidermis.

图1 不同马铃薯品种叶片横切面

Figure 1 Cross-sections of different potato variety leaves

表1 不同马铃薯品种叶片解剖结构比较
Table 1 Comparisons of anatomical structures of different potato variety leaves

指标 Index	陇薯6号 Longshu 6	陇薯10号 Longshu 10	陇薯14号 Longshu 14	庄薯3号 Zhuangshu 3
叶片厚度(μm) Blade thickness	153.62 ± 10.55 c	170.62 ± 2.75 b	157.64 ± 27.48 c	178.32 ± 3.92 a
上表皮厚度(μm) Upper epidermis thickness	21.86 ± 5.32 b	20.97 ± 3.04 b	20.85 ± 2.32 b	24.28 ± 1.23 a
下表皮厚度(μm) Lower epidermis thickness	14.53 ± 1.97 b	12.58 ± 0.90 c	14.90 ± 2.93 b	15.24 ± 2.20 a
角质层厚度(μm) Cuticle thickness	5.69 ± 0.47 a	5.14 ± 0.31 a	4.62 ± 0.99 b	5.09 ± 0.25 a
中脉厚度(mm) Midrib thickness	1.11 ± 0.14 ab	1.05 ± 0.15 bc	1.21 ± 1.61 ab	0.98 ± 0.16 c
栅栏组织厚度(μm) Palisade tissue thickness	56.63 ± 14.58 c	61.23 ± 0.26 b	55.06 ± 7.56 c	63.88 ± 1.66 a
海绵组织厚度(μm) Spongy tissue thickness	67.77 ± 3.86 c	72.09 ± 5.39 ab	70.04 ± 17.31 b	74.55 ± 3.60 a
栅海比 Ratio of palisade tissue to spongy tissue	0.85 ± 0.27 a	0.85 ± 0.06 a	0.81 ± 0.09 a	0.86 ± 0.03 a
叶片RT(%)	36.69 ± 7.20 a	35.92 ± 0.59 a	35.12 ± 2.70 a	35.83 ± 0.63 a
叶片RL(%)	44.35 ± 5.39 a	42.26 ± 2.48 a	44.20 ± 3.18 a	41.79 ± 1.12 a

注: 同行不同小写字母表示品种间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among different varieties at $P < 0.05$ level. The same below.

的上表皮厚度依次为‘陇薯6号’(21.86 μm)、“陇薯10号”(20.97 μm)和“陇薯14号”(20.85 μm), 他们之间互相都未达到显著水平。‘庄薯3号’的下表皮厚度最大(15.24 μm), 显著高于其他3个品种; 其余3个品种的下表皮厚度依次为‘陇薯14号’(14.90 μm)、“陇薯6号”(14.53 μm)和“陇薯10号”(12.58 μm), “陇薯14号”和“陇薯6号”有差异, 但差异不显著, 但都显著高于“陇薯10号”。角质层厚度依次为“陇薯6号”(5.69 μm)、“陇薯10号”(5.14 μm)、“庄薯3号”(5.09 μm)和“陇薯14号”(4.62 μm), 其中“陇薯14号”显著低于其他3个品种。中脉厚度依次为“陇薯14号”(1.21 mm)、“陇薯6号”(1.11 mm)、“陇薯10号”(1.05 mm)和“庄薯3号”(0.98 mm), 其中“庄薯3号”显著低于其他2个品种。‘庄薯3号’的栅栏组织厚度(63.88 μm)和海绵组织厚度(74.55 μm)都最大, 显著厚于其他3个品种(“陇薯10号”海绵组织厚度除外); 栅栏组织厚度和海绵组织厚度最小的品种分别为“陇薯14号”(55.06 μm)和“陇薯6号”(67.77 μm), 小于其他3个品种。各品种的栅海比、叶片RT和叶片RL虽然存在差异, 但均

未达到显著水平。

2.3 不同马铃薯品种叶脉气孔特征对比

4个马铃薯品种的叶脉气孔特征见表2。保卫细胞纵轴长依次为“庄薯3号”(11.66 μm) > “陇薯6号”(11.16 μm) > “陇薯14号”(10.83 μm) > “陇薯10号”(10.47 μm), 其中“庄薯3号”显著高于“陇薯10号”, 与其他品种差异不显著。保卫细胞横轴长依次为“庄薯3号”(8.47 μm) > “陇薯6号”(8.25 μm) = “陇薯10号”(8.25 μm) > “陇薯14号”(8.19 μm), 各品种间有差异, 但差异不显著。气孔宽度值最大的是“陇薯14号”(2.02 μm), 显著高于其他3个品种, 其余3个品种的气孔宽度依次为“陇薯6号”(1.98 μm)、“庄薯3号”(1.77 μm)和“陇薯10号”(1.59 μm), 他们之间有差异, 但互相都未达到显著水平。‘庄薯3号’气孔密度值最大(3.49 n/mm), 显著高于其他品种, “陇薯6号”气孔密度值最小(1.73 n/mm), 显著低于其他品种(“陇薯14号”除外)。叶脉密度依次为“庄薯3号”(4.84 n/m) > “陇薯6号”(4.01 n/mm) > “陇薯10号”(3.75 n/mm) > “陇薯14号”(3.70 n/mm), 其中“陇薯10号”和“陇薯14号”之间

表2 不同马铃薯品种叶片气孔结构的比较
Table 2 Comparisons of stomatal structures of different potato variety leaves

指标 Index	陇薯6号 Longshu 6	陇薯10号 Longshu 10	陇薯14号 Longshu 14	庄薯3号 Zhuangshu 3
保卫细胞纵轴长(μm) Guard cell longitudinal axis length	11.16 ± 0.59 ab	10.47 ± 0.40 b	10.83 ± 0.65 ab	11.66 ± 0.42 a
保卫细胞横轴长(μm) Guard cell horizontal axis length	8.25 ± 0.35 a	8.25 ± 0.67 a	8.19 ± 0.69 a	8.47 ± 0.43 a
气孔数量 Stomata number	17.330 ± 1.25 a	28 ± 2.66 a	29.33 ± 5.19 a	36.33 ± 6.56 a
叶脉数量 Leaf vein number	40 ± 6.52 a	36 ± 2.66 a	42.67 ± 7.49 a	50.33 ± 3.08 a
气孔宽度(μm) Stoma width	1.98 ± 0.84 b	1.59 ± 0.59 b	2.02 ± 0.53 a	1.77 ± 0.24 b
气孔密度(n/mm) Stomatal density	1.73 ± 0.20 d	2.90 ± 0.19 bc	2.54 ± 0.67 bed	3.49 ± 0.62 a
叶脉密度(n/mm) Vein density	4.01 ± 0.89 b	3.75 ± 0.40 c	3.70 ± 0.97 c	4.84 ± 0.36 a

无显著差异, 其余品种间差异显著。

2.4 抗旱性比较

由不同马铃薯品种叶片特征参数可以看出, 单一指标并不能准确反映不同品种抗旱性的强弱, 运用隶属函数法对叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅海比、栅栏组织结构紧密

度、海绵组织结构疏松度、中脉厚度、气孔宽度和气孔密度等抗旱相关的叶片解剖结构特征参数的隶属函数值进行累加求平均值, 综合评价参试品种的抗旱能力(表3), 均值越大抗旱性越强, 4个参试品种的抗旱性强弱依次为‘庄薯3号’>‘陇薯10号’>‘陇薯6号’>‘陇薯14号’。

表3 马铃薯叶片9个指标隶属函数值及抗旱性综合评价
Table 3 Membership function values of nine indexes of potato leaves and comprehensive evaluation of drought resistance

品种 Variety	叶片厚度 (μm) Blade thickness	栅栏组织 厚度(μm) Palisade tissue thickness	海绵组织 厚度(μm) Spongy tissue thickness	栅海比(%) Ratio of Palisade tissue to spongy tissue	叶片(%) RT Leaf RT	叶片(%) RL Leaf RL	中脉厚度 (μm) Midrib thickness	气孔宽度 (μm) Stoma width	气孔密度 (n/mm) Stomatal Density	隶属函数 平均值 Membership function average	抗旱性 排序 Drought resistance ranking
陇薯6号 Longshu 6	0.00	0.18	1.00	0.76	1.00	0.00	0.57	0.84	0.00	0.48	3
陇薯10号 Longshu 10	0.69	0.70	0.36	0.88	0.51	0.81	0.30	0.60	0.46	0.62	2
陇薯14号 Longshu 14	0.16	0.00	0.67	0.00	0.00	0.05	1.00	1.00	0.66	0.32	4
庄薯3号 Zhuangshu 3	1.00	1.00	0.00	1.00	0.83	1.00	0.00	0.00	1.00	0.64	1

3 讨 论

作为与环境直接接触的植物器官, 叶片是植物对环境变化最敏感的器官之一, 其形态特征能够反映植物对干旱环境的适应能力, 因此众多研究以叶片解剖结构作为评价植物抗旱性的重要指标^[5-9]。研究表明, 不同种类植物的叶片结构具有明显的差异^[15], 同种植物叶片的解剖结构也表现出明显的差异^[16,17]。在本研究中, 4个马铃薯品种叶片均由角质层、上表皮、栅栏组织、海绵组织、下表皮和气孔构成。在叶片显微结构上均具有不同程度的防止水分散失的形态解剖特征, 如上表皮细胞外附着有不透水的角质层, 不但可以降低马铃薯的过度蒸腾作用以保持水分, 而且通过其较强的折光性避免过强日照引起的损伤^[18,19]; 上下表皮气孔的均匀分布可以很好地散热, 从而避免因热害而使原生质及叶绿体变性^[20,21]。

参试马铃薯叶片虽然具有以上共同特征, 但不同品种叶片的解剖结构特征参数值之间均显示出不同程度的差异, 表现出各品种在生长过程中对环境适应的结果。关于叶片解剖结构特征与抗旱性关系的研究结果表明, 叶片越厚、栅栏组织厚度越大、栅栏组织结构紧实度越大、栅海比值越高, 植物的抗旱性越强, 反之则抗旱性越差^[3,4,22]。本研究中, 不同品种叶片厚度在153.62~178.32 μm , 其中‘庄薯3号’最大, ‘陇薯6号’最小, 表明从叶片厚度来看, ‘庄薯3号’的抗旱性最强, ‘陇薯6号’抗旱性最差。‘庄薯3号’的栅栏组织厚度和栅海比都最大, ‘陇薯14号’最小, 表明从栅栏组织厚度和栅海比来看, ‘庄薯3号’的抗旱性最强, ‘陇薯14号’最差。海绵组织厚度越大, 海绵组织疏松度越大, 叶片抗旱性越差^[22,23]。不同品种马铃薯叶片的海绵组织厚度和海绵组织疏松度分别为67.77~74.55 μm 和41.79%~44.35%, 海绵组织最厚的是‘庄薯3号’, 最薄的是‘陇薯6号’, 而海绵组织疏松度最大的是‘陇薯6号’, 最小的是‘庄薯3号’, 如果从海绵组织厚度和海绵组织疏松度分别评价, 二者体现的抗旱性强弱刚好相反。叶片中脉不仅起支持作用, 还主要负责水分和养分的输送与贮存, 中脉厚度越大, 抵御干旱的能力越强^[24]。不同品种的平均中脉厚度

为1 084.67 μm , 最厚为‘陇薯14号’, 最薄为‘庄薯3号’, 说明‘陇薯14号’抗旱性最强, ‘庄薯3号’抗旱性最差; 气孔作为植物与外界进行气体和水分交换的主要通道, 是影响植物光合和蒸腾作用的重要因素, 气孔越密越有利于植物进行光合作用; 叶脉密度是影响水分运输的重要因素, 叶脉越发达, 叶片运输水分的能力越强, 抗旱性强的品种都具有叶脉密度和气孔密度高的特征^[25,26]。通过对4个品种叶片的气孔和叶脉进行观测, 发现气孔密度最大为‘庄薯3号’, 最小为‘陇薯6号’, 分别显著高于和低于其他品种; 叶脉密度最大为‘庄薯3号’, 最小为‘陇薯14号’, 分别显著高于和低于其他品种; 如果从气孔密度和叶脉密度分别评价, 二者体现的抗旱性最强的品种一致, 均为‘庄薯3号’, 但抗旱性最弱的品种并不一致。

以上分析表明, 马铃薯叶片各解剖结构参数与抗旱性之间并无绝对的相关性, 抗旱性的强弱不能完全由单一指标体现。隶属函数分析方法提供了一种在多指标测定基础上对某种特性综合评价的途径^[27], 马铃薯叶片解剖结构参数蕴含众多的内容, 为了防止单一指标的局限性, 利用隶属函数分析方法进行综合评价。因此, 本研究采用隶属函数法对参试品种的抗旱性进行评价, 其中叶片厚度、栅栏组织厚度、栅栏组织结构紧实度、栅海比和气孔密度与抗旱性呈正相关, 用公式 $X(\mu_1) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算; 海绵组织厚度和海绵组织疏松度与抗旱性呈负相关, 用公式 $X(\mu_2) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 计算。综合评价结果显示, 参试品种的抗旱性强弱依次为‘庄薯3号’ > ‘陇薯10号’ > ‘陇薯6号’ > ‘陇薯14号’, 其中‘陇薯10号’‘陇薯6号’和‘陇薯14号’的抗旱性强弱顺序与贾小霞等^[28]以PEG胁迫下马铃薯幼苗抗逆生理指标为评价依据的研究结果一致。

[参 考 文 献]

- [1] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通报, 2005, 22(s1): 118-127.
- [2] 王耀芝, 王勋陵, 李蔚. 荒漠化草原常见植物叶内部结构的观察[J]. 兰州大学学报, 1983(3): 90-99.
- [3] 董蕾, 陈博, 李吉跃, 等. 5个楸树无性系抗旱性的综合评价[J].

- 中南林业科技大学学报, 2014, 34(4): 30–35.
- [4] 申惠翡, 赵冰, 徐静静. 15个杜鹃花品种叶片解剖结构与植株耐热性的关系[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3895–3904.
- [5] Drake P L, Froend R H, Franks P L. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance [J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(2): 495–505.
- [6] 王坤, 韦晓娟, 李宝财, 等. 金花茶组植物叶解剖结构特征与抗旱性的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(12): 34–39.
- [7] 金龙飞, 范飞, 罗轩, 等. 芒果叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 232–235.
- [8] 李嘉诚, 罗达, 史彦江, 等. 平欧杂种榛叶片解剖结构的抗旱性研究[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 462–471.
- [9] 赵媛媛, 石瑛, 张丽莉. 马铃薯抗旱种质资源的评价[J]. 分子植物育种, 2018, 16(2): 633–642.
- [10] 杨宏羽, 平海涛, 王蒂, 等. 不同倍性马铃薯品种的抗旱性[J]. 中国沙漠, 2016, 36(4): 1041–1049.
- [11] 秦天元, 孙超, 毕真真, 等. 马铃薯不同耐旱品系管栽苗及其根尖显微结构对干旱胁迫的响应[J]. 生物技术通报, 2018, 34(12): 102–109.
- [12] 卢福顺. 水分胁迫对马铃薯生理指标和叶片结构的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [13] 李和平. 植物显微技术[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2009.
- [14] 杨小玉, 王晓江, 德永军. 山桃等3个树种叶片解剖结构的耐旱性特征研究[J]. 内蒙古林业科技, 2008, 34(2): 40–42.
- [15] 张红霞, 刘果厚, 崔秀萍. 干旱对浑善达克沙地榆叶片解剖结构的影响[J]. 植物研究, 2005, 25(1): 39–44.
- [16] 蔡永立, 宋永昌. 浙江天童常绿阔叶林藤本植物的适应生态学 I. 叶片解剖特征的比较[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 90–98.
- [17] 高建平, 王彦涵, 陈道峰. 不同产地华中五味子叶表皮结构和导管分子的解剖学特征及其与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 715–723.
- [18] 刘红茹, 冯永忠, 王得祥, 等. 延安城区10种阔叶园林植物叶片结构及其抗旱性评价[J]. 西北植物学报, 2012, 32(10): 2053–2060.
- [19] 杨超, 梁宗锁. 陕北撂荒地上优势蒿类叶片解剖结构及其生态适应性[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4732–4738.
- [20] 王勋陵, 马骥. 从旱生植物叶结构探讨其生态适应的多样性[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 787–792.
- [21] 何涛, 吴学明, 贾敬芬. 青藏高原高山植物的形态和解剖结构及其对环境的适应性研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2574–2583.
- [22] 潘昕, 邱权, 李吉跃, 等. 基于叶片解剖结构对青藏高原25种灌木的抗旱性评价[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(2): 61–68.
- [23] 唐婧文, 吴思政, 梁文斌, 等. 湖南引种蓝莓叶片结构特征的比较及其耐旱性研究[J]. 经济林研究, 2017, 35(4): 90–98.
- [24] 张义, 王得祥, 宋彬, 等. 基于叶片解剖结构的西宁市11种城市森林植物抗旱性评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(8): 86–98.
- [25] 谢飞, 闫倩倩, 郭星, 等. 白龙江干旱河谷5种灌木抗旱性评价及分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(8): 51–56.
- [26] 龚容, 高琼. 叶片结构的水力学特性对植物生理功能影响的研究进展[J]. 植物生态学报, 2015, 39(3): 300–308.
- [27] 李雪, 田新会, 杜文华. 小黑麦品系成株期抗旱性研究[J]. 核农学报, 2018, 32(2): 377–388.
- [28] 贾小霞, 齐恩芳, 刘石, 等. 干旱胁迫下陇薯系列马铃薯幼苗叶片抗逆生理指标比较及抗旱性评价[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(4): 73–77.