

文章编号: 1674-7054(2016)04-0450-07

隶属函数法对5种菜用甘薯耐寒性的评价

张小贝 朱国鹏 南文卓 占雷雷 滕少梅

(海南大学 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室/园艺园林学院,海口 570228)

摘要: 为探讨菜用甘薯低温伤害机理并评价菜用甘薯品种耐寒性,以5种菜用甘薯苗为材料,通过人工气候箱模拟低温实验,以25℃为对照,研究在15℃、5℃低温胁迫下其叶片中生理生化指标的变化,然后利用隶属函数法对其品种间耐寒性进行评价。结果表明:低温胁迫下5种菜用甘薯叶片中相对电导率和丙二醛(MDA)细胞伤害指标升高;过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性、脯氨酸(Pro)、蛋白质、可溶性糖含量均随着胁迫温度的降低而升高。不同品种间各指标大小及变化差异较大。由隶属函数综合评价得出5种菜用甘薯耐寒性强弱顺序为:15℃低温胁迫下,莆薯53>海南本地品种>徐菜薯1号>徐紫菜薯8号>广薯菜2号;5℃低温胁迫下,莆薯53>海南本地品种>徐紫菜薯8号>徐菜薯1号>广薯菜2号。

关键词: 隶属函数;菜用甘薯;低温胁迫;生理生化指标;耐寒性评价

中图分类号: S 531

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2016.04.008

菜用甘薯不仅营养丰富,而且还具有较高的医疗保健作用,医学界已将其列入抗癌蔬菜之一^[1]。菜用甘薯在南方地区广泛栽培,近年来在北方地区逐渐推广开来。但受到遗传机制的制约,菜用甘薯不耐寒,温度低于15℃就停止生长,经霜枯死^[2]。南方地区在冬季栽培过程中易受冷空气影响而发生冷害,在北方栽培过程中则更容易受到低温的影响。菜用甘薯种类繁多,遗传资源丰富,不同品种间耐寒性存在较大的差异。因此,有必要开展菜用甘薯抗低温胁迫机制的研究及对耐寒性品种的评价,为抗寒育种及抗寒资源鉴定与筛选提供理论依据。在低温胁迫下,植物的体内会发生一系列异常的生理生化反应,代谢失衡及活性氧大量产生,细胞膜脂过氧化作用加剧,从而影响生物膜及其他大分子结构和功能,它不仅影响着植物的生长,严重的甚至引起植株的死亡^[3]。目前,针对菜用甘薯低温逆境生理的报道较少,对多种菜用甘薯的耐寒性评价亦不见报道。黄湛^[4]等对甘薯抗寒性进行研究,表明甘薯品种间耐寒性差异较大。任韵^[5]对观赏甘薯的耐寒性研究,表明2种观赏甘薯在低温胁迫下4种生理指标在相应的时间段内各有高低。当植物遇到逆境胁迫后,其内部生理变化错综复杂,受多因素综合影响,用隶属函数法来综合评价植物的抗逆性相对客观与科学^[6-7]。笔者选择5种不同来源的菜用甘薯品种,采取人工气候箱模拟低温实验,测定3种温度下各品种叶片中7个代表性生理生化指标值,利用隶属函数对其品种间耐寒性进行综合评价。

1 材料与方 法

1.1 材料与处理 2016年初在冷空气影响下,海南大学教学实践基地、文昌东阁镇及迈号镇实验基地种植的不同菜用甘薯品种均表现出不同的低温耐受性,据此,笔者挑选对低温耐受性表现差异较大,且在前期品

收稿日期: 2016-09-23

基金项目: 热作无公害生产技术集成与示范推广(15RZNJ-57); 优质富硒菜用甘薯周年生产技术示范与推广(HNXH201530)

作者简介: 张小贝(1989-),男,海南大学园艺园林学院2014级硕士研究生, E-mail: 1169683249@qq.com

通信作者: 朱国鹏(1971-),男,研究员,硕士研究生导师,研究方向: 植物营养学、蔬菜学, E-mail: guopengzhu@163.com

种比较试验中表现优异的5种菜用甘薯品种为实验材料(表1)。实验材料用“循环流动水式”水培架培养于海南大学教学实践基地大棚内,以1/2 Hogoland 为营养液,培养过程管理参照郑佳伟的方法^[8]。待苗长到符合实验要求后,取大小一致,生长健壮,无病虫害的苗,转移至500 mL的玻璃瓶中,每瓶1株,采用1/2 Hogoland 营养液培养,每2天换1次营养液。在光照培养箱中预培养1周,光照强度为2 000 lx,湿度为85%,光照时间12 h/12 h(光/暗),白天28℃,晚上22℃。为减少摆放位置对实验的影响,各品种苗随机放在光照培养箱中,并在换培养液后随机变换苗的摆放位置。

实验在人工气候箱中进行,采取25℃(对照)、15℃(轻度胁迫)、5℃(重度胁迫)3个温度梯度处理,培养箱空气相对湿度85%,夜晚无光照。每处理设3次重复,每重复5株,12 h后取从顶部数第2和第3片完全展开叶去叶中脉后剪碎混匀,取样0.5 g样品测定相关生理生化指标。

表1 5种菜用甘薯名称、来源及形态特征

Tab. 1 Origin and morphological characteristics of five vegetable sweet potato varieties

品种 Varieties	品种来源 Variety origin	品种形态特征 Morphological characteristics	亲本 Parents
徐菜薯1号 Xucaishu 1	徐州甘薯研究中心 Xuzhou Sweet Potato Research Institute	叶片绿色、心形,茎绿色,长茎蔓 Leaves green, heartshaped; stem green; vine long	台农71/广薯菜2号 Tainong 71/Guangshu 2
徐紫菜薯8号 Xuzicaishu 8	徐州甘薯研究中心 Xuzhou Sweet Potato Research Institute	叶片浅紫色、心形、茎紫色,中茎蔓 Leaves purplish, heartshaped; stem purplish; vine moderately long	未知 Unknown
广薯菜2号 Guangshucaicai 2	广东省农业科学院作物研究所 Crops Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences	顶叶绿色,叶尖心形带齿,叶脉、茎皆为紫色,长茎蔓 Top leaves green; leaf tip heartshaped with teeth; Leaf vein and stem purplish, vine long 湛江菜叶/广州菜叶 Zhangjiangcaiyu/Guangzhoucaiyu	
莆薯53 Pushu 53	福建省莆田市农业科学研究所 Putian Agricultural Research Institute of Fujian Province	叶片绿色、深裂复缺刻,茎绿色,茎蔓短,半直立 Leaves green, dissected with double notches; stem green; vine short, semi-erect	莆薯3号为母本放任授粉的杂交后代中选育 Selected from random crossing of mother Pushu3
海南本地品种 Hainan Local cultivars	海南本地主栽品种 Hainan local major cultivars	叶片绿色、叶脉周围为浅紫色,叶片较大,茎绿色,长茎蔓 Leaves green, large but purplish around leaf veins; stem green; vine long	未知 Unknown

1.2 测定指标及其方法 POD活性测定采用愈创木酚法^[7]; CAT活性测定采用过氧化氢还原法测定^[9]; 脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮法^[10-11]; 蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝G-250染色法^[12]; 丙二醛与可溶性糖含量测定采用硫代巴比妥比色法^[13-14]; 相对电导率测定采用电导仪法^[15]。

1.3 数据统计与分析 数据采用Excel整理,并用SPSS21.0软件进行方差分析。各指标耐热系数=低温胁迫下的指标测定值/对照指标测定值^[16]。耐寒性综合评价:采用隶属函数法对测定的各项指标进行转换和综合分析评价^[6]。各指标隶属函数计算公式: $U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{i_{min}}) / (X_{i_{max}} - X_{i_{min}})$,式中 $U(X_{ij})$ 为测定指标的耐寒隶属函数值, X_{ij} 为各材料的指标测定值, $X_{i_{min}}$ 为各材料中测定指标的最小值, $X_{i_{max}}$ 为各材料中测定指标的最大值。其中相对电导率、MDA与耐寒性呈负相关,用反隶属函数计算其耐寒隶属函数值,其计算公式为: $U(X_{ij}) = 1 - (X_{ij} - X_{i_{min}}) / (X_{i_{max}} - X_{i_{min}})$ 。然后将各指标的耐热隶属函数值进行累加,求平均值,平均值越大则耐热性越强。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对菜用甘薯叶内保护酶活性的影响 在低温下植物对氧气的利用能力降低,多余的氧气能在代谢过程中被转化成对植物有毒害作用的活性氧。活性氧能通过植物抗氧化系统及时清除,因此抗氧化酶活性的大小可以反映植物的抗寒能力^[17-18]。

与对照相比,5种菜用甘薯叶片的POD、CAT酶活性均随胁迫温度的降低而升高。方差分析表明不同品种间及同一品种在不同温度下POD、CAT酶活性总体差异显著。莆薯53的POD酶活性最大,与其他品种差异显著,活性最小的为徐菜薯1号,POD抗寒系数增加较大的为徐紫菜薯8号(24.94%)。5℃低温胁迫下与15℃低温胁迫表现总体一致,其中徐紫菜薯8号POD酶活性增加最大(126.12%);在15℃时CAT酶活性最大的为莆薯53,最小的为广薯菜2号,CAT抗寒系数增加最大的为徐紫菜薯8号(79.10%)。在5℃低温胁迫下CAT酶活性最大的是海南本地品种,最小的为广薯菜2号,与其他品种差异显著,CAT抗寒系数增加最大的为徐紫菜薯8号(122.39%)(表2)。从2种抗氧化酶活性来看,不同指标评价菜用甘薯抗寒能力有所不同,总体上莆薯53及海南本地品种具有较高的POD、CAT酶活性,具有较强的活性氧清除能力,而徐菜薯1号及广薯菜2号POD、CAT酶活性较低,对活性氧清除能力较弱。

2.2 低温胁迫对渗透调节物质含量的影响 当植物受到低温胁迫时,细胞内的渗透调节物质会增加以抵抗低温造成的伤害。脯氨酸是水溶性很大的氨基酸,具有偶极性,能增加蛋白质的可溶性,也能避免或减少因细胞脱水引起的蛋白质变性^[19]。可溶性糖是一类重要的渗透调节物质,可溶性蛋白质的增加也与植物抗寒性密切相关,它和一些低分子糖聚集在叶绿体和其他细胞器的周围,冰点温度降低,使细胞免遭寒害。抗寒性强的品种可溶性蛋白含量高对提高植物的抗逆性具有积极的意义^[20]。与5℃相比脯氨酸

表2 低温胁迫对菜用甘薯叶片中POD、CAT酶活性的影响

Tab. 2 Effects of low temperature stress on the activity of POD and CAT in the leaves of vegetable sweet potato

品种 Varieties	处理/℃ Treatment	过氧化物酶 POD Peroxidase		过氧化氢酶 CAT Catalase	
		活性 Activity /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	耐寒指数 Tolerance coefficients	活性 Activity /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	耐寒指数 Tolerance coefficients
徐菜薯1号 Xucaishu 1	25	4 128.800 0b	1.000 0	77.000 0b	1.000 0
	15	4 768.933 3b	1.155 0	124.000 0a	1.610 4
	5	5 860.000 0a	1.419 3	138.000 0a	1.792 2
广薯菜2号 Guangshucaicai 2	25	9 733.333 3c	1.000 0	78.000 0c	1.000 0
	15	10 920.000 0b	1.121 9	89.200 0b	1.143 6
	5	12 121.333 3a	1.245 3	107.320 0a	1.375 9
徐紫菜薯8号 Xuzicaishu 8	25	4 560.000 0c	1.000 0	67.000 0c	1.000 0
	15	5 697.333 3b	1.249 4	120.000 0b	1.791 0
	5	10 311.066 7a	2.261 2	149.000 0a	2.223 9
莆薯53 Pushu 53	25	13 066.666 7b	1.000 0	114.000 0b	1.000 0
	15	13 933.333 3b	1.066 3	174.000 0a	1.526 3
	5	16 106.666 7a	1.232 7	181.666 0a	1.593 6
海南本地品种 Hainan local varieties	25	11 360.000 0c	1.000 0	100.000 0c	1.000 0
	15	12 920.000 0b	1.137 3	161.000 0b	1.610 0
	5	16 520.000 0a	1.454 2	216.666 0a	2.166 6

注:不同小写字母表示各处理指标间与对照相比在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,下同

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ as compared to the control, similarly here in after.

含量在 15 °C 低温胁迫下脯氨酸含量增加相对较小, 在 2 种温度胁迫下脯氨酸含量最多为莆薯 53 与其他品种含量差异达到显著水平, 脯氨酸抗寒系数增加最大的为徐菜薯 1 号 (60.91%, 15 °C), 广薯菜 2 号 (139.87%, 5 °C); 在 2 种低温下可溶性糖含量最高的为莆薯 53, 含量最低为广薯菜 2 号, 与其他品种差异显著; 15 °C 低温下可溶性蛋白质含量最高的为海南本地品种, 与其他品种含量差异显著, 而 5 °C 低温下可溶性蛋白质最高的为莆薯 53, 与其他品种含量差异显著。2 种低温下可溶性蛋白质抗寒系数增加最大的为海南本地品种 (53.86%, 15 °C, 59.56% 和 5 °C) (表 3)。渗透调节物质中不同指标评价各品种的抗寒能力差别较大。

2.3 低温胁迫对电导率及丙二醛含量的影响 当受到低温胁迫时生物膜首先发生膜脂的物相变化, 可使膜发生收缩, 出现孔道或龟裂, 膜的透性增大, 膜内可溶性物质、电解质大量向膜外渗漏, 破坏了细胞内外的离子平衡, 依据相对电导率的变化可以鉴定植物的抗寒性大小^[21]; 细胞内自由基大量产生, 进而诱导有毒物质积累并直接或间接地加剧膜质过氧化作用, MDA 是膜脂过氧化作用的最终产物, 丙二醛可以扩散到其他部位, 破坏体内多种反应的正常进行, 其质量分数变化是细胞脂膜损伤程度的重要标志之一^[22]。

与对照相比, 在 15 °C 和 5 °C 低温胁迫下各品种相对电导率差异显著, 且 15 °C 与 5 °C 相比差异也显著, 其中广薯菜 2 号细胞膜受到的破坏最严重, 在 5 °C 时相对电导率升高到 94.53%。可见随着胁迫温度的降低, 5 种菜用甘薯细胞膜受到的破坏不断加重; 与对照相比在低温胁迫下各品种 MDA 含量差异显著, 在 2 种低温胁迫下 MDA 含量最大的为徐紫菜薯 8 号, 最小的为莆薯 53, 低温胁迫加剧了菜用甘薯细胞膜脂氧化过程, 细胞膜破坏加剧 (表 4)。相对电导率与丙二醛含量指标评价各品种抗寒能力结果不同。

表 3 低温胁迫对菜用甘薯叶片中脯氨酸、可溶性蛋白质及可溶性糖含量的影响

Tab. 3 Effects of low temperature stress on the contents of proline and soluble protein and sugar in the leaves of vegetable sweet potato

品种 Varieties	处理/°C Treatment	脯氨酸(Pro) Proline		可溶性蛋白质 Soluble protein		可溶性糖 Soluble sugar	
		含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Content	耐寒指数 Tolerance coefficients	含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Content	耐寒指数 Tolerance coefficients	含量/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Content	耐寒指数 Tolerance coefficients
徐菜薯 1 号 Xucaishu 1	25	13.077 9c	1.000 0	7.715 7c	1.000 0	180.018 3c	1.000 0
	15	21.043 3b	1.609 1	9.314 9b	1.207 3	223.899 4b	1.243 8
	5	28.248 5a	2.160 0	10.704 2a	1.387 3	240.859 2a	1.338 0
广薯菜 2 号 Guangshucaicai 2	25	13.331 3b	1.000 0	8.605 3c	1.000 0	163.462 2c	1.000 0
	15	16.952 0b	1.271 6	9.757 3b	1.133 9	204.222 4b	1.249 4
	5	31.977 8a	2.398 7	11.902 1a	1.383 1	216.307 1a	1.323 3
徐紫菜薯 8 号 Xuzicai 8	25	23.288 1b	1.000 0	9.829 0c	1.000 0	198.601 6c	1.000 0
	15	27.850 2a	1.195 9	12.125 1b	1.233 6	221.646 9b	1.116 0
	5	29.877 8a	1.283 0	13.751 0a	1.399 0	267.2222a	1.345 5
莆薯 53 Pushu 53	25	47.836 3c	1.000 0	10.855 1b	1.000 0	218.742 8c	1.000 0
	15	54.281 1b	1.134 7	12.0865b	1.113 4	255.886 9b	1.169 8
	5	66.120 7a	1.382 2	14.824 4a	1.3657	288.0660a	1.316 9
海南本地品种 Hainan local varieties	25	26.112 3b	1.000 0	8.480 5b	1.0000	213.590 4c	1.000 0
	15	30.891 6b	1.183 0	13.0483a	1.5386	240.289 2b	1.125 0
	5	41.340 8a	1.583 2	13.531 6a	1.5956	262.065 1a	1.227 0

表 4 低温胁迫对菜用甘薯叶片相对电导率及丙二醛含量的影响
Tab. 4 Effects of cold stress on relative electrical conductivity and MDA content of sweet potato leaves

品种 Varieties	处理/°C Treatment	相对电导率 Relative conductance		丙二醛 MDA Malondialdehyde	
		测定值 Measured value	耐寒指数 Tolerance coefficients	含量($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Content	耐寒指数 Tolerance coefficients
徐菜薯 1 号 Xucaishu 1	25	0.276 2c	1.000 0	0.029 7c	1.000 0
	15	0.534 3b	1.609 1	0.031 3b	1.052 8
	5	0.843 1a	2.160 0	0.033 7a	1.133 0
广菜薯 2 号 Guangcaishu 2	25	0.311 9c	1.000 0	0.030 7c	1.000 0
	15	0.672 4b	1.271 6	0.036 4b	1.185 0
	5	0.945 3a	2.398 7	0.038 6a	1.259 2
徐紫菜薯 8 号 Xuzicaishu 8	25	0.338 7c	1.000 0	0.037 7b	1.000 0
	15	0.639 8b	1.195 9	0.043 4a	1.152 6
	5	0.823 3a	1.283 0	0.046 6a	1.237 8
莆薯 53 Pushu 53	25	0.397 4c	1.000 0	0.026 2c	1.000 0
	15	0.577 6b	1.134 7	0.029 0b	1.110 0
	5	0.751 1a	1.382 2	0.031 5a	1.203 4
海南本地品种 Hainan local varieties	25	0.367 2c	1.000 0	0.027 6c	1.000 0
	15	0.542 3b	1.183 0	0.032 0b	1.159 4
	5	0.798 8a	1.583 2	0.034 7a	1.257 2

2.4 5 种菜用甘薯耐寒性综合评价 采用隶属函数法对表 2 4 中各指标进行转换,计算 15 °C 轻度胁迫和 5 °C 重度胁迫时各指标的隶属函数值,并对菜用甘薯品种各指标的隶属函数值进行累加,求其平均值,综合评价 5 种菜用甘薯耐寒性的强弱。在 2 种强度低温胁迫下,5 种菜用甘薯隶属函数值排序有所不同,在 15 °C 胁迫下其耐寒力由强到弱:莆薯 53 > 海南本地品种 > 徐菜薯 1 号 > 徐紫菜 8 号 > 广薯菜 2 号; 5 °C 胁迫下其耐寒能力由强到弱为莆薯 53 > 海南本地品种 > 徐紫菜 8 号 > 徐菜薯 1 号 > 广薯菜 2 号(表 5)。徐紫菜薯 8 号抗寒能力在 2 种温度下不同,其他品种排序不变,说明不同品种间对不同的低温胁迫强度的耐受程度及生理响存在一定差异,但总体抗寒能力排序相同,且与田间鉴定保持一致。

表 5 不同品种菜用甘薯各指标的隶属函数值及综合评价结果
Tab. 5 Membership function value and comprehensive evaluation results of different vegetable sweet potato varieties

处理 Treat ment	品种 Varieties	各指标的隶属函数值 Membership function value of the physiological and biochemical parameters							平均值 Average	排序 Rank order
		相对电导率 Relative conductance	脯氨酸 Proline	过氧化 物酶 Peroxide- dase	过氧化 氢酶 Catalase	可溶性 蛋白质 Soluble protein	丙二醛 Malondi- aldehyde	可溶性 糖 Solu- ble sugar		
15°C	徐菜薯 1 号	1.000 0	0.109 6	0.0000	0.410 4	0.000 0	0.844 4	0.380 8	0.392 2	3
	广薯菜 2 号	0.000 0	0.000 0	0.6712	0.000 0	0.118 5	0.000 0	0.000 0	0.112 8	5
	徐紫菜薯 8 号	0.236 1	0.291 9	0.1013	0.363 2	0.752 7	0.490 9	0.337 2	0.367 6	4
	莆薯 53	0.686 5	1.000 0	1.0000	1.000 0	0.742 3	1.000 0	1.000 0	0.918 4	1
	海南本地品种	0.942 1	0.373 4	0.8894	0.846 7	1.000 0	0.797 0	0.698 1	0.792 4	2

续表5 Continued 5

处理 Treatment	品种 Varieties	各指标的隶属函数值 Membership function value of the physiological and biochemical parameters							平均值 Average	排序 Rank order
		相对电导率 Relative conductance	脯氨酸 Proline	过氧化酶 Peroxidase	过氧化氢酶 Catalase	可溶性蛋白质 Soluble protein	丙二醛 Malondi-aldehyde	可溶性糖 Soluble sugar		
5℃	徐菜薯1号	0.526 3	0.000 0	0.0000	0.280 6	0.000 0	0.695 6	0.342 1	0.263 5	4
	广薯菜2号	0.000 0	0.098 5	0.587 4	0.000 0	0.290 7	0.000 0	0.000 0	0.139 5	5
	徐紫菜薯8号	0.628 2	0.346 3	0.417 5	0.381 2	0.739 5	0.527 7	0.709 5	0.535 7	3
	莆薯53	1.000 0	1.000 0	0.961 2	0.680 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.948 7	1
	海南本地品种	0.754 4	0.345 7	1.000 0	1.000 0	0.686 2	0.545 7	0.637 7	0.710 0	2

3 讨论

植物对低温的抗性是由各种因素相互作用、受多基因控制的^[23]。目前对植物抗寒性鉴定的指标较多,得出的结论不一,仅采用单项指标分别进行评价的结果难以统一且不可靠^[24-25]。本研究结果表明,仅根据各单一指标对不同品种菜用甘薯进行评价的结果差异很大,难以作出判断。通过隶属函数方法对各个指标进行综合分析可以得出比较准确的结果,使不同菜用甘薯品种抗寒性能够进行比较。虽然通过隶属函数方法对各个指标进行综合分析计算相对复杂,但一般可以得出比较准确的结果。隶属函数法评价结果表明,在15℃、5℃低温胁迫下莆薯53与海南本地品种抗寒性最强,徐菜薯1号与徐紫菜薯8号抗寒性次之,广薯菜2号抗寒性最差。在本实验中,在2种低温胁迫下5种菜用甘薯抗寒性评价有所差异,但总体保持一致,表明15℃、5℃都适合作为实验评价温度。在实验中应结合栽培地区的常年温度条件选择合适的实验胁迫强度,以便在实验品种较多时更好区分各品种的抗寒性,如在热带地区可选择轻度低温胁迫,在其他地区可选择中重度低温胁迫。

通过实验能准确评价菜用甘薯品种抗寒能力,可为菜用甘薯栽培及育种工作提供理论依据。本研究结果表明,广薯菜2号抗寒性最差,以广薯菜2号为亲本育成的徐菜薯1号同样表现出较差的抗寒能力。本实验结果对抗寒育种有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 杨士辉. 值得开发的营养保健蔬菜——甘薯茎尖[J]. 蔬菜, 1999(3): 16.
- [2] 江苏省农业科学院, 山东省农业科学院. 中国甘薯栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 50-52.
- [3] 潘瑞识, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 322-328.
- [4] 黄湛, 陈友荣, 冯主虾, 等. 广东甘薯品种耐寒性鉴定及其生理研究[J]. 中国农业科学, 1987, 20(3): 56-59.
- [5] 任韵. 观赏甘薯的耐寒性研究[J]. 浙江农业学报, 2007, 9(5): 389-392.
- [6] 王改萍, 岑显超, 彭方仁, 等. 不同楸树品种的抗旱性鉴定[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(6): 815-821.
- [7] 鲁守平, 孙群, 洪露, 等. 不同种源地乌拉尔甘草发芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(2): 189-194.
- [8] 郑佳伟. 水培对叶菜型甘薯产量及品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [9] Aebi H. Catalase in vitro[J]. Methods in Enzymology, 1984, 105(13): 121-126.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 161-162.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 228-231.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 305-306.
- [14] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 192-193.

- [15] 薛应龙. 植物生理学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [16] 严美玲, 李向东, 矫岩林, 等. 不同花生品种的抗旱性比较鉴定[J]. 花生学报, 2004, 33(1): 8-12.
- [17] 王淑杰, 王连君, 王家民, 等. 抗寒性不同的葡萄品种叶片中氧化酶活性及变化规律[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2000(3): 29-30.
- [18] 张勇, 汤浩茹, 罗娅, 等. 低温锻炼对草莓组培苗抗寒性及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 325-329.
- [19] Kenonowicz A K. Biochemical and cellular mechanisms of stress tolerance in plants [M]. Berlin: Springer-verlag, 1994: 381-414.
- [20] 杜永吉, 于磊, 孙吉雄, 等. 结缕草3个品种抗寒性的综合评价[J]. 草业学报, 2008, 17(3): 6-16.
- [21] Lyons J M. Chilling injury in plants [J]. Ann. Rev. Plant physiol, 1973, 24: 445-446.
- [22] 曾超西, 王以柔, 刘鸿先. 低温下黄瓜幼苗子叶硫氨基(SH)含量变化与膜脂过氧化[J]. 植物学报, 1991, 33(1): 50-54.
- [23] 于晶. 寒地冬小麦东农冬麦1号抗寒机理研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- [24] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412.
- [25] 高三基, 罗俊, 张华, 等. 甘蔗抗旱性生理生化鉴定指标[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1051-1054.

Evaluation of Cold Tolerance of Five Sweet Potato Varieties by Membership Function Method

ZHANG Xiaobei, ZHU Guopeng, NAN Wenzhuo, ZHAN Leilei, TENG Shaomei

(College of Horticulture and Landscape Architecture/Ministry of Education Key Laboratory of Protection, Development and Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Low temperature is a major factor restricting cultivation of vegetable sweet potato in winter and spring, in Hainan, China. In order to explore the mechanism of cold injury and evaluate the cold tolerance of vegetable sweet potato varieties, five vegetable sweet potato varieties were chosen as material to determine their physiological and biochemical parameters under the temperatures of 25, 15, 5 °C in the artificial climate chamber, and the resultant data were analyzed by using the membership function method to evaluate the cold tolerance of the varieties. The result showed that five vegetable sweet potato leaves treated at a lower temperature increased their relative electrical conductivity, malondialdehyde (MDA) cell damage index, and that catalase (CAT), peroxidase (POD) activity, and the contents of proline (Pro), soluble sugar and protein increased as the treatment temperature decreased. The parameters and their changes of the varieties were different. The membership function based comprehensive evaluation showed that the five vegetable sweet potato varieties had a cold tolerance in the order of Pushu53 > Hainan local varieties > Xucaishu 1 > Xuzi caishu 8 > Guangshuca 2 at the temperature of 15 °C; Pushu53 > Hainan local varieties > Xuzicai 8 > Xucaishu 1 > Guangshuca 2 at the temperature of 5 °C.

Keywords: Membership function method; vegetable sweet potato; low temperature stress; physiological and biochemical parameters; cold tolerance evaluation