

11 个引进无花果品种抗寒性研究

古丽尼沙·卡斯木¹,木合塔尔·扎热²,古再丽努尔·沙吾提²,郭靖¹,张东亚^{1*}

(1.新疆林业科学院 园林绿化研究所,新疆 乌鲁木齐 830063;2.新疆林业科学院 经济林研究所,新疆 乌鲁木齐 830063)

摘 要:以进入休眠期的 1 年生枝条为试验材料,采用人工低温处理法,研究 11 个无花果引进品种和 1 个当地品种的部分生理指标的变化趋势,并采用隶属综合评价法排序 12 个无花果品种的抗寒能力强弱顺序。结果表明,随着处理温度的降低,12 个无花果品种 1 年生枝条的相对电导率呈现出上升趋势,丙二醛含量表现先上升后下降趋势,而可溶性蛋白、可溶性糖和游离脯氨酸含量均呈现有所不同的变化趋势。处理低温从-10℃降到-15℃时,12 个无花果品种的相对电导率均剧烈上升,其中‘中国紫果’的上升幅度最大(比其对照高 56.28%),‘日本紫果’最少;处理温度为-15℃时,12 个无花果品种的丙二醛含量均达到最高点,与对照相比,‘波姬红’的丙二醛含量上升幅度最大,高 17.70 倍,‘丰产黄’的上升幅度最低,高 5.87 倍。12 个无花果品种 5 个生理指标的平均隶属度为 0.241~0.786,其中‘金傲芬’相对电导率的隶属度最高,‘丰产黄’丙二醛含量的隶属度最高,‘布兰瑞克’可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量的隶属度均最高。综合评价值得知,11 个引进无花果品种中‘布兰瑞克’、‘丰产黄’、‘日本紫果’、‘美丽亚’、‘B110’和‘金傲芬’6 个品种抗寒生理指标的隶属函数综合评价值均高于新疆当地品种‘新疆早黄’,其半致死低温分别为-12.62℃、-11.94℃、-11.69℃、-11.62℃、-11.48℃和-11.48℃,在新疆具有较广泛的推广价值。

关键词:无花果;引进品种;抗寒性;隶属度

中图分类号:S663.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)03-0098-08

Cold Resistance of 11 Introduced Fig Cultivars

GULNISA Kasim¹, MUHTAR Zari², GUZALNUR Sawut², GUO Jing¹, ZHANG Dong-ya^{1*}

(1. Institute of Landscape Planning Project Design, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830063 China;

2. Institute of Economic Forest, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830063, China)

Abstract: Annual branches of 11 fig cultivars introduced in Xinjiang and one local cultivar were collected in dormancy period and treated with artificial low temperature to investigate the cold resistance of the cultivars by examine the variations of relative physiological parameters. Membership function evaluation method was adopted. The results showed that with the decrease of temperature, the relative electronic conductivity of 12 fig cultivars showed an upward trend, the MDA content increased first and then decreased, and the contents of soluble protein, soluble sugar and free proline varied differently. When the temperature decreased from -10 to -15℃, the relative electronic conductivity of all cultivars increased sharply, highest for cultivar ‘Zhongguoziguo’ (56.28%), and lowest for ‘Ribenziguo’ (30.12%). When the temperature was -15℃, the MDA contents of 12 cultivars reached their highest points, the MDA content of ‘Bojihong’ was the highest (17.70 times higher than the control), of ‘Fengchanhuang’, the lowest increase (5.87

收稿日期:2017-07-25 修回日期:2017-09-19

基金项目:新疆维吾尔自治区科技支撑计划项目(无花果优良品种引进及栽培技术研究,201531127);自治区公益性科研院所基本科研业务经费资助项目(无花果引进品种的抗寒性对比初步研究)。

作者简介:古丽尼沙·卡斯木,女(维吾尔族),高级工程师,研究方向:良种繁育与栽培技术。E-mail:1305295565@qq.com

*通信作者:张东亚,男,本科,研究员,研究方向:果树良种选育和经济林栽培技术。E-mail:358999837@qq.com

times higher). The average membership coefficient of 12 cultivars ranged from 0.241 to 0.786, among them, the ‘Jinaofen’ had a highest membership degree on relative electronic conductivity, ‘Fengchanhuang’ on the MDA content, ‘Blanrick’ on soluble protein content, soluble sugar content and free proline contents. Comprehensive evaluation value showed that, among the 11 introduced cultivars, the ‘Blanrick’, ‘Fengchanhuang’, ‘Ribenziguo’, ‘Meiliya’, ‘B110’ and ‘Jinaofen’ had higher values than local cultivar ‘Xinjiangzaohuang’, the half lethal low temperature for these cultivars were -12.62 , -11.94 , -11.69 , -11.62 , -11.48 and, -11.48°C , respectively, indicating their extension values in Xinjiang.

Key words: fig; introduced cultivar; cold resistance; membership degree

无花果(*Ficus carica*)属桑科(Moraceae)榕属(*Ficus*)无花果亚属,原产于地中海,落叶灌木或小乔木,花隐生于囊状花托内,为隐头花序,故名无花果^[1-3]。新疆的无花果栽培历史悠久,栽培面积和产量在国内均最高,其中阿图什地区的无花果品质最佳,素有“无花果之乡”的美誉^[4]。近年来,随着新疆特色林果业的快速发展,无花果在面积和产量上得到了前所未有的发展机遇,已变成了新疆克州果农的精准脱贫致富支柱产业之一。但是,由于新疆当地无花果主栽品种较单一,在果实形态、颜色、品味等品质指标的丰富性上无法满足消费者日益提高的需求^[5],本课题组于 2013 年从山东省嘉祥县无花果苗木基地引种了 11 个无花果品种,分别在阿图什市和阿克苏地区温宿县开展了无花果引进品种的生态适应性研究。近年来,新疆区域冬季突然降温的气候现象比较频繁,低温延续时间也较长,对新引进和当地的有一些埋土越冬树种(无花果、石榴和葡萄等)造成较大的冻害,导致了严重的经济损失^[6-7]。因此,引进无花果优良品种,并研究其在逆境气候(高温、强光、盐碱、低温)的生态适应性对新疆无花果产业的可持续发展具有十分重要的实践意义和理论意义。由于无花果是个埋土越冬树种,对其抗寒能力对比方面的研究较少,20 世纪 90 年代,姜卫兵^[8-10]和孙蕾^[11]等对无花果不同品种抗寒特性进行了一些研究,近年来,袁方^[12]等在模拟低温胁迫下对无花果不同品种的抗寒能力进行了比较,但对新疆气候条件下生长的无花果品种抗寒性对比研究尚未见报道。本研究以进入休眠期的 1 年生枝条为试材,采用人工低温处理法(分别在 0°C 、 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 和 -20°C 的低温条件),研究 11 个无花果引进品种和 1 个当地品种在人工低温处理条件下的相对电导率、丙二醛含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和脯氨酸含量等生理指标的变化趋势,采用隶属综合评价法,初步评价 12 个无花果品种的抗寒能力强弱顺序,为 12 个无花果品种适栽区的划分、品种选育、引种及越冬措施的制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 1 个新疆当地品种‘新疆早黄’及从山东引种栽培的‘B1011’、‘丰产黄’、‘金傲芬’、‘青皮’、‘日本紫果’、‘中国紫果’、‘波姬红’、‘B110’、‘布兰瑞克’、‘美丽亚’和‘A1213’11 个品种,均为 2013 年春季栽植(1 年生扦插苗),试验树树龄为 4 a,枝条均采自新疆林科院佳木试验站。

1.2 方法

1.2.1 枝条采集 于 2016 年 11 月 15 日,无花果树体进入深度休眠期(田间温度为 $5\sim-1^{\circ}\text{C}$)后,从树冠中部外围枝中,选取生长正常、无病虫害的 1 年生枝条作为试验材料,每个品种剪取顶部 50 cm 长度的 30 条枝,然后从顶部 20 cm 部分剪掉,其余 30 cm 的枝条(枝条中部直径控制在 18 ± 2 mm 范围内)两端剪口封蜡后用湿报纸包裹并装入塑料袋保湿,每个品种挂标签后样品装入保温箱(带冰袋),立即带回新疆林科院实验室,在 0°C 冰箱里保存 24 h 进行稳定处理。然后,将每个品种的枝条随机分 5 份(每份 6 条枝)用报纸重新包裹,并放入可控低温冰箱处理,低温梯度分别设为 0°C (对照)、 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 和 -20°C ,每个处理达到目标温度后维持 24 h。每个处理结束后,在每个品种样本中随机选取 1 份,并每份样本的枝条剪分 3 段(共 18 条),随机选取 6 条枝(6 次重复)用相对电导率的测定,其余(12 条枝)样本立即放入液氮中进行固定,然后放入 -80°C 低温冰箱保存,待各抗寒生理指标的测定。测试每种生理指标之前,将 12 条样本中随机选取 3 条枝(3 次重复),并用相片切割机切成厚度约为 2 mm 的横截片(剪去每条枝两端 1 cm 部分),其中称取足够的样本进行测定。

1.2.2 测定方法 本研究采用文献^[13]的试验测定方法,相对电导率采用电导仪测定;可溶性总糖含量采用蒽酮比色法测定;可溶性蛋白含量采用马斯亮蓝 G-250 染色法测定;脯氨酸含量采用酸性茚三酮染色法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥

酸(TBA)法测定。

1.2.3 数据分析 SPSS 16.0 数据统计软件对试验数据进行方差分析和相关性分析。Curve Expert 1.3 曲线拟合软件对低温(横坐标)与伤害度(纵坐标)间的回归曲线进行 Logistic 方程拟合,并在拟合曲线上推算伤害度为 50%的低温点,作为其半致死低温。各无花果品种的抗寒能力强弱采用隶属函数综合评价法进行排序。

2 结果与分析

2.1 不同低温处理对不同品种相对电导率的影响

由表 1 看出,随着处理温度的降低,12 个无花果品种枝条的相对电导率均呈现上升趋势。从 0℃降低到-5℃时,除了‘B1011’1 年生枝条相对电导率显著增高外,其余 11 个无花果品种的相对电导率均无显著变化,而且‘B110’、‘布兰瑞克’和‘美丽亚’的相对电导率均有所降低。在-10℃下,12 个品种 1 年生枝条的相对电导率均有所升高,其中,虽然‘中国紫果’、‘B110’、‘布兰瑞克’、‘美丽亚’和‘A1213’5 个品种的相对电导率比其对照处理(0℃处理,CK)有所上升,但差异不显著,‘新疆早黄’、‘B1011’、‘丰产黄’、‘金傲芬’、‘青皮’、‘日本紫果’和‘波姬红’7 个无花果品种的相对电导率均显著高于 CK。低温处理温度降低到-15℃时,12 个无花

果品种 1 年生枝条相对电导率的上升幅度均较剧烈,与 CK 相比,均有显著差异,差值分别为‘新疆早黄’35.30%、‘B1011’46.99%、‘丰产黄’36.18%、‘金傲芬’31.85%、‘青皮’37.03%、‘日本紫果’30.12%、‘中国紫果’56.28%、‘波姬红’31.51%、‘B110’42.94%、‘布兰瑞克’39.84%、‘美丽亚’44.76%和‘A1213’47.57%,大部分品种均受到严重冻害。在-20℃处理下,虽然 12 个品种 1 年生枝条的相对电导率均显著>对照,但与-15℃处理相比,‘B1011’和‘波姬红’的相对电导率显著增高,‘金傲芬’和‘美丽亚’的相对电导率显著下降,其余品种相对电导率的变化均无显著差异。通过 Logistic 方程求算的 12 个无花果品种的半致死低温分别为‘新疆早黄’-11.48℃、‘B1011’-8.30℃、‘丰产黄’-11.94℃、‘金傲芬’-11.16℃、‘青皮’-9.85℃、‘日本紫果’-11.69℃、‘中国紫果’-11.12℃、‘波姬红’-10.95℃、‘B110’-11.48℃、‘布兰瑞克’-12.62℃、‘美丽亚’-11.62℃和‘A1213’-11.37℃,其半致死低温从低到高排序为‘布兰瑞克’>‘丰产黄’>‘日本紫果’>‘美丽亚’>‘新疆早黄’≥‘B110’>‘A1213’>‘金傲芬’>‘中国紫果’>‘波姬红’>‘青皮’>‘B1011’。

表 1 不同低温处理对不同无花果品种相对电导率的影响

Table 1 Effects of different low temperature treatments on the relative electronic conductivity of different fig cultivars

品种	相对电导率/%					半致死低温 LT50/℃
	0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃	
新疆早黄	51.50±6.50 c	53.49±0.88 c	69.19±1.03 b	86.80±8.89 a	87.44±3.64 a	-11.48
B1011	24.14±4.62 d	41.64±1.54 c	46.47±2.76 c	71.13±1.28 b	90.28±0.96 a	-8.30
丰产黄	52.23±2.49 c	55.57±1.53 c	68.15±1.60 b	88.41±1.87 a	89.61±1.44 a	-11.94
金傲芬	35.69±2.02 d	36.98±1.08 d	44.59±1.25 c	67.54±0.70 a	56.37±2.49 b	-11.16
青皮	32.27±1.93 c	39.99±0.63 bc	46.59±2.09 b	69.31±5.20 a	77.17±0.19 a	-9.85
日本紫果	46.57±1.00 c	46.96±1.44 c	65.23±7.39 b	76.69±1.56 ab	87.36±3.85 a	-11.69
中国紫果	38.93±7.10 b	41.40±4.04 b	48.13±5.49 b	95.21±0.46 a	99.19±0.31 a	-11.12
波姬红	39.15±2.14 d	44.55±6.41 d	57.05±2.28 c	70.66±3.07 b	82.73±3.08 a	-10.95
B110	39.76±1.79 bc	35.95±3.85 c	49.71±1.13 b	82.70±5.15 a	89.01±4.37 a	-11.48
布兰瑞克	47.23±0.38 b	46.44±2.70 b	50.42±1.96 b	87.06±0.87 a	89.68±0.94 a	-12.62
美丽亚	51.24±0.68 cd	46.70±2.63 d	55.82±1.69 c	96.01±1.34 a	86.10±2.90 b	-11.62
A1213	41.02±2.12 b	43.83±2.70 b	47.26±1.65 b	88.59±2.83 a	89.41±2.70 a	-11.37

注:同行不同小写字母表示同一品种不同低温处理间有显著差异($P\leq 0.05$)。下同。

2.2 不同低温处理对不同品种丙二醛的影响

由表 2 可知,12 个品种 1 年生枝条中丙二醛含量随着处理温度的降低呈现缓慢上升→剧烈上升→下降的趋势。在-5℃条件下,与对照处理相比,‘丰产黄’、‘青皮’、‘波姬红’和‘美丽亚’4 个品种的枝条韧皮部中丙二醛含量均显著升高,‘A1213’的丙二醛含量反而显著下降,其余 7 个品种的丙二醛含

量虽然比对照有所增高,但差异不显著。在-10℃处理下,12 个品种的丙二醛含量均显著>对照,比对照分别高‘新疆早黄’91.58%、‘B1011’53.64%、‘丰产黄’81.20%、‘金傲芬’142.88%、‘青皮’92.05%、‘日本紫果’108.38%、‘中国紫果’106.05%、‘波姬红’220.86%、‘B110’77.95%、‘布兰瑞克’140.60%、‘美丽亚’133.44%和‘A1213’

81.56%。在-15℃处理下,12 个无花果品种 1 年生枝条中丙二醛含量达到最高峰,各无花果品种的丙二醛含量比对照分别高‘新疆早黄’7.49 倍、‘B1011’7.58 倍、‘丰产黄’5.87 倍、‘金傲芬’9.57 倍、‘青皮’9.90 倍、‘日本紫果’10.19 倍、‘中国紫果’11.74 倍、‘波姬红’17.70 倍、‘B110’8.49 倍、‘布兰瑞克’10.96 倍、‘美丽亚’6.23 倍和‘A1213’

7.40 倍,上升幅度从高到低排序为‘波姬红’>‘中国紫果’>‘布兰瑞克’>‘日本紫果’>‘青皮’>‘金傲芬’>‘B110’>‘B1011’>‘新疆早黄’>‘A1213’>‘美丽亚’>‘丰产黄’。处理低温达到-20℃时,12 个无花果品种 1 年生枝条中的丙二醛含量开始显著下降,与-15℃条件下的无花果 1 年生枝条丙二醛含量相比减少幅度达 50%以上。

表 2 不同低温处理对不同无花果品种丙二醛的影响

Table 2 Effects of different low temperature treatments on the MDA content of different fig cultivars

品种	丙二醛含量/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)				
	0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
新疆早黄	1.03±0.13 d	1.34±0.12 d	1.97±0.02 c	8.74±0.07 a	3.84±0.18 b
B1011	1.04±0.19 d	1.39±0.13 d	1.60±0.06 c	8.96±0.02 a	4.12±0.03 b
丰产黄	0.82±0.04 e	0.92±0.02 d	1.49±0.03 c	5.64±0.05 a	3.38±0.01 b
金傲芬	0.78±0.15 d	1.11±0.23 d	1.90±0.03 c	8.27±0.03 a	3.53±0.04 b
青皮	0.82±0.04 e	1.10±0.05 d	1.58±0.03 c	8.94±0.05 a	4.43±0.06 b
日本紫果	0.80±0.15 d	0.90±0.08 d	1.66±0.02 c	8.90±0.09 a	4.14±0.10 b
中国紫果	0.78±0.14 d	1.04±0.18 d	1.60±0.11 c	9.92±0.01 a	4.76±0.01 b
波姬红	0.48±0.04 e	1.55±0.05 c	1.08±0.13 d	9.03±0.06 a	3.56±0.06 b
B110	1.16±0.15 d	0.94±0.11 d	1.68±0.04 c	8.97±0.02 a	4.35±0.02 b
布兰瑞克	0.65±0.22 d	1.00±0.23 d	1.55±0.15 c	7.72±0.08 a	3.47±0.03 b
美丽亚	0.93±0.04 e	2.17±0.04 c	1.17±0.01 d	6.74±0.01 a	3.33±0.10 b
A1213	1.16±0.05 d	1.02±0.01 e	1.86±0.03 c	8.61±0.06 a	4.80±0.03 b

2.3 不同低温处理对不同品种可溶性蛋白含量的影响

由表 3 可见,12 个品种 1 年生枝条中可溶性蛋白含量随着处理温度的降低呈现出不同的趋势。在-5℃处理条件下,除‘日本紫果’和‘A1213’1 年生枝条中可溶性蛋白含量比其对照处理有所下降外,其余品种 1 年生枝条中的可溶性蛋白质含量均上升,其中‘B1011’、‘青皮’、‘布兰瑞克’和‘美丽亚’4 个品种 1 年生枝条中的可溶性蛋白含量显著>对照。处理温度为-10℃时,12 个品种 1 年生枝条中可溶性蛋白含量均>对照,其中‘新疆早黄’、‘丰产黄’、‘日本紫果’和‘B110’4 个品种 1 年生枝条中的可溶性蛋白含量与其对照处理间的差异均无显著,其他 8 个品种 1 年生枝条中的可溶性蛋白含量均显著>对照,‘中国紫果’1 年生枝条中的可溶性蛋白含量达最高点,值为 $1.00 \pm 0.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,比对照高 143.90%。在-15℃处理条件下,12 个品种中‘B1011’、‘青皮’、‘波姬红’、‘布兰瑞克’和‘A1213’的 1 年生枝条中的可溶性蛋白含量达最高点,比其对照分别高 0.31 、 0.29 、 0.42 、 $0.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。处理温度降到-20℃时,‘B1011’、‘青皮’、‘波姬红’、‘布兰瑞克’和‘A1213’5 个品种 1 年生枝条中的可溶性蛋白均有所下降,其他 7 个品种的可溶性蛋白含量均继续升高,其中‘丰产黄’、‘日

本紫果’、‘B110’和‘美丽亚’4 个品种 1 年生枝条中可溶性蛋白含量均显著>对照。

2.4 不同低温处理对不同品种可溶性糖含量的影响

表 4 可见,随着处理温度的降低,‘新疆早黄’、‘金傲芬’、‘中国紫果’和‘A1213’4 个品种 1 年生枝条中的可溶性糖含量均呈现出先升后降又升的趋势;‘B1011’、‘丰产黄’、‘青皮’、‘布兰瑞克’和‘美丽亚’5 个品种均呈现先上升后下降的变化趋势;‘日本紫果’和‘波姬红’均表现一直上升趋势;而‘B110’表现下降→上升→下降→上升的变化趋势。在-5℃处理下,‘新疆早黄’‘金傲芬’和‘布兰瑞克’1 年生枝条中的可溶性糖含量显著>对照,其余品种可溶性糖含量与其对照间的差异均不显著。在-10℃处理下,与对照处理相比,‘B1011’、‘金傲芬’、‘青皮’、‘中国紫果’、‘波姬红’、‘布兰瑞克’和‘美丽亚’7 个品种 1 年生枝条中的可溶性糖含量均显著增加,其余 5 个品种可溶性糖含量与对照处理间均无显著差异。处理低温为-15℃时,除了‘中国紫果’和‘B110’1 年生枝条中的可溶性糖含量与其对照处理间的差异均不显著外,其他品种的可溶性糖含量显著>对照,其中‘B1011’、‘丰产黄’、‘青皮’、‘布兰瑞克’和‘美丽亚’5 个品种 1 年生枝条中的可溶性糖含量均达到最高点,其值依次为 3.47%

± 0.17%、4.76% ± 0.06%、3.75% ± 0.17%、5.05% ± 0.16%和 4.66% ± 0.03%，比对照分别高 0.84%、1.68%、2.04%、2.30%和 1.54%。处理低温降到-20℃时，‘新疆早黄’、‘金傲芬’、‘日本紫果’、‘中国紫果’、‘波姬红’、‘B110’和‘A1213’7个

品种1年生枝条中的可溶性糖含量均达最高点，与对照相比均有显著差异，比对照的差值依次为 1.72%、1.98%、2.03%、1.82%、2.75%、1.42%和 2.89%，其余5个品种的可溶性糖含量虽然开始减少，但与其对照间的差异均有显著水平。

表 3 不同低温处理对不同无花果品种可溶性蛋白含量的影响

Table 3 Effects of different low temperature treatments on the soluble protein content of different fig cultivars

品种	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹)				
	0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
新疆早黄	0.61±0.03 b	0.64±0.06 b	0.68±0.07 ab	0.68±0.06 ab	0.71±0.04 a
B1011	0.43±0.07 b	0.67±0.05 a	0.62±0.04 a	0.74±0.08 a	0.56±0.00 ab
丰产黄	0.49±0.19 c	0.51±0.06 c	0.54±0.02 c	0.87±0.04 b	1.03±0.01 a
金傲芬	0.54±0.05 b	0.56±0.01 b	0.67±0.06 a	0.69±0.16 a	0.73±0.10 a
青皮	0.39±0.06 c	0.52±0.12 b	0.76±0.01 a	0.78±0.11 a	0.75±0.04 a
日本紫果	0.56±0.22 bc	0.45±0.06 c	0.79±0.05 b	0.71±0.07 b	1.12±0.02 a
中国紫果	0.41±0.16 b	0.54±0.11 b	1.00±0.14 a	0.84±0.13 a	0.81±0.03 a
波姬红	0.44±0.17 c	0.53±0.11 bc	0.68±0.17 ab	0.86±0.15 a	0.86±0.05 a
B110	0.57±0.03 b	0.61±0.13 b	0.68±0.06 b	0.66±0.16 b	0.93±0.03 a
布兰瑞克	0.38±0.04 c	0.56±0.12 b	0.93±0.04 a	0.95±0.07 a	0.87±0.05 a
美丽亚	0.46±0.09 c	0.67±0.06 b	0.77±0.03 a	0.62±0.05 b	0.83±0.12 a
A1213	0.52±0.10 b	0.51±0.10 b	0.72±0.03 a	0.78±0.11 a	0.59±0.13 b

表 4 不同低温处理对不同无花果品种可溶性糖含量的影响

Table 4 Effects of different low temperature treatments on the soluble sugar content of different fig cultivars

品种	可溶性糖含量/%				
	0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
新疆早黄	2.84±0.25 d	3.77±0.17 b	3.05±0.15 cd	3.68±0.33 bc	4.56±0.11 a
B1011	2.28±0.08 c	2.70±0.18 bc	3.15±0.06 ab	3.47±0.17 a	3.27±0.31 ab
丰产黄	3.08±0.14 c	3.37±0.48 bc	3.39±0.38 bc	4.76±0.06 a	4.17±0.01 ab
金傲芬	1.81±0.10 c	2.72±0.35 b	3.53±0.04 a	3.37±0.22 ab	3.79±0.20 a
青皮	1.71±0.11 c	2.40±0.08 bc	3.00±0.42 b	3.75±0.17 a	2.50±0.22 b
日本紫果	2.75±0.05 c	2.82±0.01 c	2.98±0.08 c	3.36±0.16 b	4.78±0.03 a
中国紫果	1.72±0.14 c	2.08±0.07 bc	2.73±0.23 b	2.34±0.31 bc	3.54±0.35 a
波姬红	1.67±0.87 c	2.27±0.16 bc	3.26±0.16 ab	4.16±0.06 a	4.42±0.07 a
B110	3.11±0.09 bc	2.42±0.06 c	4.02±0.65 ab	3.92±0.58 ab	4.53±0.08 a
布兰瑞克	2.75±0.19 c	3.87±0.60 b	4.94±0.04 a	5.05±0.16 a	3.33±0.29 b
美丽亚	3.12±0.07 d	3.43±0.11 cd	3.85±0.18 b	4.66±0.03 a	3.57±0.10 bc
A1213	2.66±0.16 c	2.97±0.16 c	2.62±0.09 c	3.52±0.08 b	4.55±0.15 a

2.5 不同低温处理对不同品种游离脯氨酸含量的影响

由表 5 可看出，随着处理温度的降低，12 个品种 1 年生枝条中的游离脯氨酸含量均表现出不同的变化趋势。处理低温为-5℃时，‘青皮’、‘中国紫果’、‘美丽亚’和‘A1213’4 个品种的自由脯氨酸含量均显著>对照，其中‘A1213’1 年生枝条中的游离脯氨酸含量达最高值，为 286.83±5.81 mg·g⁻¹，比其对照高 18.56%，其余 8 个无花果品种游离脯氨酸含量与其对照处理间的差异均无显著。在处理低温为-10℃条件下，‘新疆早黄’、‘丰产黄’、‘日本

紫果’、‘中国紫果’和‘美丽亚’5 个品种 1 年生枝条中的游离脯氨酸含量均达到最高点，其中除了‘丰产黄’1 年生枝条中的游离脯氨酸含量与其对照间的差异不显著外，其他 4 个品种的自由脯氨酸含量均显著>对照，虽然‘B1011’、‘金傲芬’、‘青皮’、‘波姬红’、‘B110’、‘布兰瑞克’和‘A1213’7 个无花果品种游离脯氨酸含量均>对照，但其间的差异均不显著。在-10℃条件下，‘B1011’、‘金傲芬’、‘青皮’、‘波姬红’和‘布兰瑞克’5 个品种 1 年生枝条中的游离脯氨酸含量均达最高值，依次为 247.61±10.02、273.09±10.37、239.46±3.30、252.95±

11.22 mg · g⁻¹ 和 354.72 ± 6.04 mg · g⁻¹, 比其对照分别高 63.67%、34.82%、49.53%、43.13% 和 16.12%。处理低温降到 -20℃ 时, ‘新疆早黄’、‘丰产黄’、‘日本紫果’和 ‘中国紫果’ 4 个品种的游离脯氨酸含量比对照均较低, 其余 8 个品种的游离脯氨酸含量均 > 对照, 其中 ‘B1011’、‘B110’ 和 ‘美丽亚’ 1 年生枝条中的游离脯氨酸含量均显著 > 对照, 而且 ‘B110’ 的游离脯氨酸含量达到最高值, 比对照高 91.33%。

2.6 不同品种抗寒性的综合评判

由表 6 可看出, 相对电导率上 ‘金傲芬’ 的隶属度最高, ‘丰产黄’ 的隶属度最低; 在丙二醛含量上

‘丰产黄’ 的隶属度最高, ‘中国紫果’ 的隶属度最低; 在可溶性蛋白上 ‘布兰瑞克’ 的隶属度最高, ‘B1011’ 的隶属度最低; 在可溶性糖含量上 ‘布兰瑞克’ 的隶属度最高, ‘中国紫果’ 的隶属度最低; 在脯氨酸含量上 ‘布兰瑞克’ 的隶属度最高, ‘B1011’ 的隶属度最低。12 个无花果品种的 5 个抗寒性相关指标平均隶属度 0.241~0.786, 其中 ‘布兰瑞克’ 的平均隶属度最高, 为 0.786, ‘B1011’ 的平均隶属度最低, 为 0.241。12 个无花果品种的抗寒性排序为: ‘布兰瑞克’ > ‘丰产黄’ > ‘日本紫果’ > ‘美丽亚’ > ‘B110’ > ‘金傲芬’ > ‘新疆早黄’ > ‘波姬红’ > ‘A1213’ > ‘青皮’ > ‘中国紫果’ > ‘B1011’。

表 5 不同低温处理对不同无花果品种游离脯氨酸含量的影响

品种	游离脯氨酸/(mg · g ⁻¹)				
	0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
新疆早黄	313.29±15.49 b	306.97±9.78 b	350.07±8.75 a	303.06±29.22 b	304.45±14.75 b
B1011	151.29±17.32 c	166.61±3.28 c	205.20±6.70 b	247.61±10.02 a	244.79±12.02 a
丰产黄	253.23±23.84 ab	282.31±18.41 ab	299.51±20.84 a	256.07±13.77 ab	227.69±21.24 b
金傲芬	202.56±9.98 b	239.65±25.20 ab	262.05±26.61 ab	273.09±10.37 a	241.23±4.23 ab
青皮	160.14±19.51 b	229.17±9.06 a	231.01±11.69 a	239.46±3.30 a	188.58±11.78 b
日本紫果	260.12±7.31 b	281.47±15.80 b	352.25±8.77 a	281.83±14.38 b	212.44±10.30 c
中国紫果	204.04±4.16 b	269.06±35.11 a	309.22±18.66 a	178.03±17.82 b	150.08±7.41 b
波姬红	176.73±11.58 b	174.13±5.80 b	189.92±38.05 b	252.95±11.22 a	227.62±8.84 ab
B110	176.85±9.66 c	197.26±13.16 c	274.48±23.42 b	329.40±8.77 a	338.37±8.99 a
布兰瑞克	305.48±8.68 b	319.96±32.33 ab	332.75±12.42 ab	354.72±6.04 a	318.38±13.70 ab
美丽亚	153.77±21.35 c	265.80±23.79 b	334.38±12.32 a	320.40±10.58 a	226.79±12.78 b
A1213	241.92±8.28 b	286.83±5.81 a	277.20±13.42 a	266.92±4.62 ab	249.07±3.68 b

表 6 不同无花果品种抗寒性的综合评判

品种	相对电导率	丙二醛	可溶性蛋白	可溶性糖	脯氨酸	平均隶属度	排序
新疆早黄	0.05	0.20	0.44	0.73	0.91	0.467	7
B1011	0.71	0.17	0.00	0.33	0.00	0.241	12
丰产黄	0.00	1.00	0.61	0.84	0.49	0.589	2
金傲芬	1.00	0.43	0.24	0.37	0.33	0.475	6
青皮	0.79	0.21	0.26	0.12	0.05	0.287	10
日本紫果	0.28	0.29	0.90	0.57	0.61	0.528	3
中国紫果	0.28	0.00	0.86	0.00	0.15	0.258	11
波姬红	0.53	0.42	0.52	0.45	0.01	0.384	8
B110	0.50	0.17	0.64	0.74	0.49	0.509	5
布兰瑞克	0.29	0.64	1.00	1.00	1.00	0.786	1
美丽亚	0.16	0.64	0.48	0.82	0.46	0.513	4
A1213	0.39	0.11	0.14	0.52	0.50	0.331	9

3 结论与讨论

寒害是林果业生产中的严重自然灾害之一, 是限制果树生长和树种分布的非生物胁迫因素^[14-17]。果树的抗寒性综合评价是现代果树抗性育种工作的重要内容之一, 植物膜系统稳定性是评价植物抗性

强弱的重要指标, 低温胁迫下抗寒性弱的植物膜系统稳定性较差, 细胞内容物外渗量大, 相对电导率变大^[18-20]。本研究表明, 随着处理温度的降低, 呈现先缓慢上升后剧烈增高的变化趋势, 处理低温为 0~-10℃, 12 个品种 1 年生枝条的相对电导率和丙二醛含量均呈现出先缓慢上升, 与对照相比变化幅度

不大,所受到的寒害基本在无花果品种能够经受的范围内;低温处理温度从-10℃降到-15℃时,12个品种的相对电导率和丙二醛含量均有剧烈上升,这说明12个无花果品种枝条组织均受到严重的冻害,细胞膜系统在较大的程度上失去完整性,大部分品种的半致死低温就在此范围内。由于果树的抗寒性是许多数量或质量遗传基因综合作用的结果,单一指标评价果树抗寒性是片面的,关于果树的抗寒性评价,国内外学者已经提出了一些与抗寒性有关的生理生化指标,如:可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸、相对电导率、丙二醛等^[21-23]。运用隶属函数法能较全面地反映不同品种的抗寒特性,平均隶属度越大,表明抗寒能力越强,反之抗寒能力越弱^[24-25]。随着低温处理温度的降低,虽然12个无花果品种1年生枝条中可溶性蛋白、可溶性糖和游离脯氨酸含量均表现出有所不同的变化趋势,但这3项抗寒性评价指标的含量均有一定的增加趋势,说明无花果受到低温胁迫时,也通过调节渗透调节物质含量来调节细胞水势,在一定程度上降低组织的冻结温度。12个无花果品种5项抗寒性评价指标的隶属度相比,抗寒性最强的‘布兰瑞克’在3项渗透调节物质含量的隶属度得分值均为最高(1.00),也是主要依靠较高的组织水势调节能力来抗御低温胁迫。

总而言之,12个无花果品种的半致死低温有所差异,分别为‘新疆早黄’-11.48℃、‘B1011’-8.30℃、‘丰产黄’-11.94℃、‘金傲芬’-11.16℃、‘青皮’-9.85℃、‘日本紫果’-11.69℃、‘中国紫果’-11.12℃、‘波姬红’-10.95℃、‘B110’-11.48℃、‘布兰瑞克’-12.62℃、‘美丽亚’-11.62℃和‘A1213’-11.37℃。隶属函数综合评价结果可知,不同无花果品种的平均隶属度为0.241~0.786,抗寒性由强到弱排序为:‘布兰瑞克’>‘丰产黄’>‘日本紫果’>‘美丽亚’>‘B110’>‘金傲芬’>‘新疆早黄’>‘波姬红’>‘A1213’>‘青皮’>‘中国紫果’>‘B1011’,其中前6个引进品种抗寒生理指标的隶属函数综合评价值均高于新疆当地品种‘新疆早黄’,在新疆具有较广泛的推广价值。

参考文献:

[1] 张秀实,吴征镒.中国植物志:第23(1)卷[M].北京:中国科学出版社,1998:124.

[2] 陈建业,宁玉霞,朱自兰.无花果生物学特性观察[J].果树科学,1997,14(1):16-20.

CHEN J Y, NING Y X, ZHU Z L. Observation on biological charactecs fig (*Ficus caracal*) [J]. Journal of Fruit Science, 1997,14(1):16-20. (in Chinese)

[3] FLAISHMAN M A,RODOV V,STOVER E. The fig botany, horticulture, and breeding [J]. Horticultural Reviews, 2008, 34:113-196.

[4] 艾沙江·阿不都沙拉木,杨培,买买提江·吐尔逊,等.无花果在阿图什维吾尔族民间的传统应用的调查研究[J].植物分类与资源学报,2015,37(2):214-220.

AYSAN A, YANG P, MAMETJAN T, *et al.* Traditional use culture of *Ficus carica* among uyghurs in Atux, Xinjiang [J]. Plant Diversity and Resources, 2015, 37(2):214-220. (in Chinese)

[5] 吴子江,马翠兰,郭阳彬,等.无花果生产与研究进展[J].亚热带农业研究,2013,9(3):151-157.

WU Z J, MA C L, GUO Y B, *et al.* Overview of fig (*Ficus carica*) production and research [J]. Subtropical Agriculture Research, 2013, 9(3):151-157. (in Chinese)

[6] 买买提江·阿不来提.气候条件对无花果生长影响的分析[J].新疆农业科学,2006,43(Supp. 1):92-94.

MAIMAITIJIAN A. Analysis on effect of climatic conditions on growth of *Ficus carica* (Fig) in Atushi, Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2006, 43(Supp. 1):92-94. (in Chinese)

[7] 黄鹏,吕顺端,马贯羊.无花果优良品种的引种栽培[J].经济林研究,2009,27(3):47-52.

HUANG P, LYU S D, MA G Y. In trodution and cultivation of improved fig varieties [J]. Nonwood Forest Research, 2009, 27(3):47-52. (in Chinese)

[8] 姜卫兵,王业遴,马凯.越冬期间无花果枝条电解质渗出率与超氧化物歧化酶活性的关系[J].南京农业大学学报,1992,15(1):129-131.

JIANG W B, WANG Y L, MA K. Relationship between electrolytic leakage of fig shoot and superoxide dismutase activity during overwintering period [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1992, 15(1):129-131. (in Chinese)

[9] 姜卫兵,王业遴,马凯.渗透保护物质在无花果抗寒性发育中的作用[J].园艺学报,1992,19(4):371-372.

JIANG W B, WANG Y L, MA K. Effect of osmoprotective substances on cold hardiness of fig [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1992, 19(4):371-372. (in Chinese)

[10] 姜卫兵,王业遴,马凯.无花果越冬期间枝皮同工酶的变化[J].果树学报,1994,11(1):41-42.

[11] 孙蕾,荀守华,王洪斌,等.无花果不同品种抗寒性研究初报[J].经济林研究,1997,15(1):30-31.

[12] 袁方,苏卫国,张振玲.不同无花果品种抗寒性的测定[J].安徽农业科学,2014,42(14):4183-4184,4285.

AI F, SU W G, ZHANG Z L. Determination of cold tolerance of different varieties of figs [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(14):4183-4185. (in Chinese)

[13] 刘家尧.植物生理学实验教程[M].北京:高等教育出版社,2010:72-75.

[14] 张树宝,苏志刚,李淑霞,等.电导法等测定欧美彩叶树抗寒性试验研究[J].北方园艺,2009(2):187-189.

ZHANG S B, SU Z G, LI S X, *et al.* Research the cold resistance test of determining colored-leaves trees in europe and america using conductivity method etc [J]. Northern Horticulture, 2009(2):187-189. (in Chinese)

[15] LI P H, PALVA E T. Plant cold hardiness gene regulation and genetic engineering [J]. *Annals of Botany*, 2003(92): 327-328.

[16] 韩俊威, 史彦江, 宋锋惠, 等. 平欧杂交榛 13 个品种(系)抗寒性比较[J]. *东北林业大学学报*, 2014(12): 7-12.
HAN J W, SHI Y J, SONG F H, *et al.* Comparrative study on cold resistance of thirteen strains of *corylus heterophylla* × *corylus avellana* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2014(12): 7-12. (in Chinese)

[17] 王有科, 席万鹏, 郁松林, 等. 引种扁桃抗寒力及冻害成因分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 126-129.
WANG Y K, XI W P, YU S L, *et al.* Analysis on cold resistance ability of almond and causes of chilling injury [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(5): 126-129. (in Chinese)

[18] 何丽斯, 汪仁, 孟祥静, 等. 茉莉扦插苗对模拟低温的生理响应[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(12): 2451-2458.
HE L S, WANG R, MENG X J, *et al.* Physiological responses of *jasminum sambac* cuttings under artificial low temperature [J]. *Acta Bot. Boreal-Occident Sin.*, 2010, 30(12): 2451-2458. (in Chinese)

[19] RUIZ N, BARRANCO D, RAPOPORT H F. Antomical response of live to freezing temperatures changes in soluble carbohydrate of rye [J]. *Crop Sci.*, 2006, 25: 288-290.

[20] 付晓伟, 张倩, 刘崇怀, 等. 评价葡萄根系抗寒性指标的确定[J]. *果树学报*, 2014, 31(1): 52-59.
FU X W, ZHANG Q, LIU C H, *et al.* Index for the evaluation of grape root cold-resistance [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(1): 52-59. (in Chinese)

[21] 苏李维, 李胜, 马绍英, 等. 葡萄抗寒性综合评价方法的建立[J]. *草业学报*, 2015, 24(3): 70-79.
SU L W, LI S, MA S Y, *et al.* Acomprehensive assessment method for cold resistance of grape vines [J]. *Acta Pratacul-turae Sinica*, 2015, 24(3): 70-79. (in Chinese)

[22] 吕跃东, 董凤祥, 王贵禧, 等. 平欧杂交榛抗寒性综合评价体系的建立与应用[J]. *林业科学*, 2008, 44(9): 31-35.
LYU Y D, DONG F X, WANG G X, *et al.* Establishment and application of integrated assessment system on cold resistance of hybrid hazelnut [J]. *Scintia Silvae Sinicae*, 2008, 44(9): 31-35. (in Chinese)

[23] 玉苏甫·阿不力提甫, 阿依古丽·铁木儿, 帕提曼·阿布都热合曼, 等. 利用隶属函数法综合评价莉砧木抗寒性[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(3): 121-129.
YUSUFU A, AYIGULI T, PATIMAN A, *et al.* Comprehen-sive evaluation on cold hardiness of pear rootstocks by the subordinate function [J]. *Journal of China Agricultural Uni-versity*, 2014, 19(3): 121-129. (in Chinese)

[24] 王勇, 乔永胜, 梅霞, 等. 不同低温下核桃枝条抗寒性生理生化指标分析[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(10): 40-44.
WANG Y, QIAO Y S, MEI X, *et al.* Physiological and bio-chemical indexes of change of cold hardiness of different branches of walnut under low temperature [J]. *Chinese Agricul-tural Science Bulletin*, 2013, 29(10): 40-44. (in Chinese)

[25] 许桂芳, 张朝阳, 向佐湘. 利用隶属函数法对 4 种珍珠菜属植物的抗寒性综合评价[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(3): 24-26.
XU G F, ZHANG Z Y, XIANG Z X. Comprehensive evalua-tion of cold resistance on four *lysimachia* plants by subordi-nate function values analysis [J]. *Journal of Northwest For-estry University*, 2009, 24(3): 24-26. (in Chinese)

(上接第 51 页)

[23] 黄云奉, 刘屹, 黄世友, 等. 不同林龄马尾松生长及生物量分配研究[J]. *四川林业科技*, 2015, 36(4): 72-75
HUANG Y F, LIU Y, HUANG S Y, *et al.* A study of effect of different forest ages on growth and biomass allocation of masson's pines[J]. *Journal of Sichuang Forestry Science and Technology*, 2015, 36(4): 72-75. (in Chinese)

[24] 林宇. 沿海沙地厚荚相思人工林养分生物循环特征[J]. *西南林业大学学报*, 2016, 36(6): 8-14.
LIN Y. Biological cycling of nutrients of *Acacia crassicarpa* plantation in coastal sandy area [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2016, 36(6): 8-14. (in Chinese)

[25] 纪文婧, 程小琴, 韩海荣, 等. 华北落叶松人工林营养元素空间分布特征[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 19-25.
JI W J, CHEN X Q, HAN H R, *et al.* The characteristics of nutrient element distribution in the plantation of *Larix prin-cipis-ruppechtii* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4): 19-25. (in Chinese)

[26] 吴朝学, 严理, 秦武明, 等. 木荷人工林营养元素分布格局[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(1): 54-61.
WU Z X, YAN L, QIN W M, *et al.* Distribution characteris-tics of nutrients in *Schima superb* plantation [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(1): 54-61. (in Chi-nese)

[27] AGREN G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities[J]. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 2008, 39: 153-170.

[28] 李靖, 马永禄, 罗杰, 等. 黄土丘陵沟壑区不同林龄刺槐林养分特征与生物量研究[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(3): 7-12.
LI J, MA Y L, LUO J, *et al.* Nutrients and biomas of differ-ent-aged *Robinia pseudoacacia* plantations in the Loess Hilly region [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(3): 7-12. (in Chinese)

[29] MCDONALD M A, HEALEY J R. Nutrient cycling in sec-ondary forests in the Blue Mountains of Jamaica [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 139: 257-278.