

针叶樱桃提取物增强小鼠细胞与体液免疫功能

钟义红^{1,2}, 孙杰², 李世芬², 胡奇², 秦珩², 张成香², 王玉邦^{2,*}, 周建伟^{1,*}

(1. 南京医科大学 公共卫生学院, 职业与环境卫生学系, 江苏 南京 210029 2. 南京医科大学 公共卫生学院, 江苏省医药农药兽药安全性评价与研究中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 研究针叶樱桃提取物对小鼠免疫功能的影响。以 0.06 g/kg·bw/d、0.12 g/kg·bw/d、0.35 g/kg·bw/d 3 个剂量经口给予小鼠 30 d, 进行小鼠细胞免疫功能、体液免疫功能、单核-巨噬细胞功能及 NK 细胞活性测定。0.35 g/kg·bw/d 组加 ConA 孔与不加 ConA 孔吸光度的差值及耳壳增重高于 0 g/kg·bw/d 组; 0.35 g/kg·bw/d 组溶血空斑数及半数溶血值高于 0 g/kg·bw/d 组, 且差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。针叶樱桃提取物可以增强 B1/F1 代健康雌性小鼠的细胞与体液免疫功能。

关键词: 针叶樱桃; 维生素; 免疫

Extract of Acerola Cherry Enhanced Cell-mediated Immunity and Humoral Immunity in Mice

ZHONG Yi-hong^{1,2}, SUN Jie², LI Shi-fen², HU Qi², QIN Heng², ZHANG Cheng-xiang²,

WANG Yu-bang^{2,*}, ZHOU Jian-wei^{1,*}

(1. Department of Occupational Medicine and Environmental Health, School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China; 2. Center for Medicine, Pesticide and Veterinary Safety Evaluation and Research, School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China)

Abstract: To study the effects of Acerola cherry extracts on immune function in mice. The three doses (0.06, 0.12 or 0.35 g/kg·bw/d) were given to mice per os up to 30d. The effects of Acerola cherry on immune function of mice was observed by four aspects including: cellular immunity, humoral immunity, mononuclear-macrophages and NK cells. Absorbance difference between samples with or without ConA, the auricular edema, the haemolytic plaque numbers as well as the HC50 showed statistical significance between 0.35 g/kg·bw/d group and 0 g/kg·bw/d group ($P < 0.05$). Extract of Acerola cherry could enhance cell-mediated immunity and humoral immunity function in B1/F1 health female mice.

Key words: Acerola cherry; vitamin; immune

针叶樱桃原产于西印度群岛加勒比海地区, 为黄耨花科 (Malpighiaceae) 黄耨花属阿西罗拉种樱桃 (*Malpighia glabra* L.), 也称西印度樱桃。针叶樱桃果实的碳水化合物 (35.7 mg/g~78 mg/g)、蛋白质 (2.1 mg/g~8 mg/g) 与脂肪 (2.3 mg/g~8 mg/g) 含量相对较低, 富含 V_C (6.32 mg/g~46 mg/g)、膳食纤维 (30 mg/g), V_B (87 μ g/g)、 V_{B_1} (0.2 μ g/g)、 V_{B_2} (0.7 μ g/g), 以及包括玉米黄质

(0.163 μ g/g~0.565 μ g/g)、叶黄素 (0.376 μ g/g~1.007 μ g/g)、 α -胡萝卜素 (0.078 μ g/g~0.593 μ g/g)、 β -胡萝卜素 (2.655 μ g/g~16.694 μ g/g) 在内的类胡萝卜素成分^[1-5]。由于针叶樱桃果实是 L-抗坏血酸 (8 mg/g~40 mg/g) 含量最高的天然资源之一^[4,6], 而 L-抗坏血酸是 V_C 四种异构体中生物活性最高的构型, 因此, 针叶樱桃冻干粉、果汁及其衍生产品一直在欧亚地区作为功能性食品销售, 具有很好的抗贫血、抗真菌、抗遗传毒性与抗氧化活性, 且其生物活性与果实中的 L-抗坏血酸含量高低呈正相关^[3,7]。

V_C 可以增强人类免疫功能, 具有很强的抗氧化抗衰老能力, 对预防癌症的发生也具有一定作用^[8], 目前, 国内已对针叶樱桃干粉提取物的抗氧化活性进行研

基金项目 江苏省优势学科建设工程项目

作者简介 钟义红 (1979—), 男 (汉), 研究方向: 保健食品安全性与功效研究。

* 通信作者 周建伟 (1958—), 男 (汉), 教授, 博士, 研究方向: 环境因素毒作用的分子机制。王玉邦 (1965—), 男 (汉), 副教授, 博士, 保健食品安全性与功效研究。

究^[9-10],尚无对富含 L-抗坏血酸的针叶樱桃进行免疫学研究的报道。本研究采用 ConA 诱导的小鼠脾淋巴细胞转化、NK 活性细胞实验、小鼠耳廓肿胀实验、抗体生成细胞检测、小鼠碳廓清实验、小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞实验等多种免疫功能研究方法,探讨了针叶樱桃提取物对小鼠细胞免疫、体液免疫、小鼠巨噬细胞以及 NK 细胞活性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料、动物与试剂

针叶樱桃提取物委托南京中科药业有限公司制备提供,采用优质针叶樱桃果实干粉,以纯蒸汽提取,经两次浓缩结晶纯化,活性炭脱色法去除杂质,喷雾干燥法制备,密封干燥储存。所得针叶樱桃果实提取物的 V_C 含量 ≥ 150 mg/g,符合现有针叶樱桃食品提取工艺技术文献标准^[10-11],水分、灰分、菌落总数与重金属含量均低于食品安全国家标准相关规定。

SPF 级 BI/F1 代健康雌性小鼠 200 只,体重 19.0~21.9 g,购自上海西普尔-必凯实验动物有限公司,实验动物生产许可证号为 SCXK (沪) 2008-0016,合格证号 2008001632626。

2,4-二硝基氟苯 (DNFB): 中国医药 (集团) 上海化学试剂公司; 印度墨汁: 北京笃信精细制剂厂; RPMI1640 培养基: GIBCO™ Invitrogen Corporation 公司; Concanavalin A (ConA): 华美生物工程公司; 噻唑蓝 (MTT): 韩国 BIOSHARP 公司; 异丙醇: 国药集团化学试剂有限公司。羊红细胞 (SRBC)、豚鼠血清、鸡红细胞为江苏省医药农药兽药安全性评价与研究中心自采制备, YAC-1 细胞购自上海派通生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

T1000 型电子天平: 常熟市双杰测试厂; Spectra Max M2e 多功能酶标仪: 美国 Molecular Devices 公司; 二氧化碳培养箱: 美国 Thermo Forma 公司。

1.3 方法

1.3.1 动物实验

小鼠按体重随机分为 I、II、III、IV、V 5 个大组, 每组 40 只小鼠, 每组再分为 4 个剂量组, 每个剂量组 10 只。I 组小鼠进行 ConA 诱导的小鼠淋巴细胞转化、NK 细胞活性实验; II 组小鼠进行耳廓肿胀实验; III 组小鼠进行抗体生成细胞检测和半数溶血值 HC_{50} 测定; IV 组小鼠进行小鼠碳廓清实验; V 组小鼠进行小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞实验。

受试样品的人体推荐剂量为 0.70 g/人/日 (以 60 kg

体重计), 按照国标相关规定^[12], 以相当于受试样品人体推荐摄入量的 5 倍、10 倍、30 倍, 设 0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d3 个剂量组, 另以无菌水代替受试物设 0 g/kg·bw/d 组为阴性对照。各剂量组受试样品及无菌水阴性对照每日 1 次经口给予小鼠, 灌胃量 0.1 mL/10 g·bw, 连续灌胃 30 d。

1.3.2 ConA 诱导小鼠淋巴细胞转化实验

I 组连续灌胃 30 d 后, 颈椎脱臼法处死小鼠, 无菌取脾并研磨为单细胞悬液, 过 200 目筛, 以无菌 Hank's 液洗涤两次, 1 000 r/min 离心 10 min 收集细胞, 使用 RPMI1640 完全培养液重悬为浓度 3×10^6 个/mL 浓度的单细胞悬液, 1 mL/孔接种于 24 孔培养板中, 加入 75 μ L 100 μ g/mL 的 ConA 液于 37 $^{\circ}$ C、5 % CO_2 培养箱中培养 72 h, 不加 ConA 液孔为对照。培养结束前 4 h, 每孔移除 0.7 mL 完全细胞培养液, 加入 0.7 mL 不含小牛血清的 RPMI1640 培养液与 50 μ L 5 mg/mL 的 MTT, 继续培养 4 h。培养结束后, 每孔加入 1 mL 酸性异丙醇终止反应, 吹打混匀后移入 96 孔培养板中, 每孔 3 个平行对照, 酶标仪于 570 nm 下测定各样品光密度值。淋巴细胞增殖能力 = 加 ConA 的光密度值 - 不加 ConA 的光密度值。

1.3.3 NK 细胞活性测定

试验方法 1.3.2 所制备无菌脾单细胞悬液, Hank's 洗涤 2 次后, 加入 0.5 mL 无菌水 20 秒裂解红细胞, 加入 0.5 mL 2×Hank's 及 8 mL Hank's 液 1 000 r/min 离心 10 min, 使用 RPMI1640 完全培养液调整细胞浓度为 2×10^7 个/mL。取 4×10^5 个/mL 浓度的 YAC-1 靶细胞与脾细胞各 100 μ L 接种于 96 孔细胞培养板, 以 YAC-1 细胞 100 μ L+培养液 100 μ L 为 YAC-1 细胞自然释放孔, 以 YAC-1 细胞 100 μ L+2.5 % Triton 100 μ L 为 YAC-1 细胞最大释放孔, 每个检测样品设三个平行孔, 于 37 $^{\circ}$ C、5 % CO_2 培养箱中培养 4 h。1 500 r/min 离心 96 孔培养板 5 min, 每孔吸取 100 μ L 上清, 加入 LDH 基质液 100 μ L 反应 10 min, 每孔加入 1 mol/L 的 HCl 30 μ L, 于酶标仪 490nm 处测定光密度值。NK 细胞活性 (%) = (反应孔 OD 值 - 自然释放孔 OD 值) $\times$ 100 / (最大释放孔 OD 值 - 自然释放孔 OD 值)。

1.3.4 DNFB 诱导小鼠迟发型变态反应 (DTH)

II 组连续灌胃 30 d 后, 剃除小鼠腹部 3×3 cm 鼠毛, 均匀涂抹 50 μ L 10 mg/mL DNFB 溶液致敏。5 d 后以 10 μ L 10 mg/mL DNFB 溶液均匀涂抹于小鼠右耳两面进行攻击, 24 h 后颈椎脱臼处死小鼠, 剪下左右耳壳, 以打孔器取下 8 mm 耳片称重。DTH 程度 (mg) = 右耳重 (mg) - 左耳重 (mg)。

1.3.5 抗体生成细胞检测试验

III 组连续灌胃 30 d 后, 每鼠腹腔注射 2 % 的 SRBC 悬液 0.2 mL 进行免疫, 4 d 后颈椎脱臼法处死小鼠, 无菌取脾, 按照 1.3.2 方法制备 5×10^6 个/mL 脾细胞悬液。

将表层培养基与 $2 \times \text{Hank's}$ 液 1 : 1 混匀分装为 0.5 mL 每管, 加入 50 μL 以 SA 缓冲液配制的 10 % SRBC, 20 μL 新鲜制备的脾细胞悬液, 混匀倾倒入已刷琼脂糖薄层的玻片上, 每个样品做两个平行片, 于 37°C 、5 % CO_2 培养箱中培养 1.5 h, 将新鲜豚鼠血清补体 1 : 8 稀释后加入玻片架凹槽内, 继续孵育 1.5 h 后, 计数溶血空斑数。

1.3.6 血清溶血素测定试验

试验方法 1.3.4 中 III 组小鼠腹腔注射 SRBC 悬液免疫 4 d 后, 摘眼球法取血, 全血静置 1 h, 2 000 r/min 离心 10 min 收集血清。血清 200 倍稀释后, 加入 5 % 鸡红细胞悬液 0.5 mL, 0.5 mL 补体, 37°C 温育 30 min, 离心取上清 1 mL 加入 3 mL 都氏试剂中, 静置 10 min 后 540 nm 波长下测定样品管及 SRBC 半数溶血时的光密度值。溶血素的量以半数溶血值 (HC_{50}) 表示, $\text{HC}_{50} = (\text{样品光密度值} / \text{SRBC 半数溶血时的光密度值}) \times \text{稀释倍数}$ 。

1.3.7 小鼠碳廓清试验

IV 组小鼠连续灌胃 30 d 后, 每鼠按 0.1 mL/10 g·bw 尾静脉注射 4 倍稀释的印度墨汁, 墨汁注入后立即计时。注射墨汁后 2 min 及 10 min 分别从眼内眦静脉丛取血 20 μL , 加入 2 mL 0.1 % Na_2CO_3 溶液中, 用酶标仪在 600 nm 波长处测光密度值。吞噬指数 = $\text{体重} \times K^{1/3} / (\text{肝重} + \text{脾重})$, $K = (\lg \text{OD}_1 - \lg \text{OD}_2) / (t_2 - t_1)$ 。

1.3.8 小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞试验

V 组小鼠连续灌胃 30 d 后, 每鼠腹腔注射 1 mL 20 % 鸡红细胞悬液, 30 min 后颈椎脱臼法处死小鼠, 腹腔注入 2 mL 生理盐水润洗 1 min, 吸出腹腔洗液于 37°C 恒温培养箱孵育 30 min, 于生理盐水中漂洗晾干, 1 : 1 丙酮-甲醇溶液固定, 4 % Giemsa-磷酸缓冲液染色 3 min, 蒸馏水漂洗晾干, 封片, 光镜下观察。吞噬百分率 (%) = $\text{吞噬鸡红细胞的巨噬细胞数} \times 100 / \text{计数的巨噬细胞数}$, 吞噬指数 = $\text{被吞噬的鸡红细胞总数} / \text{计数的巨噬细胞数}$ 。

1.4 数据分析

各组实验原始数据使用 SPSS10.0 软件进行分析, 满足方差齐性的数据使用单因素方差分析中多个试验组与一个对照组间均数的两两比较方法进行统计处理, 对非正态或方差不齐的数据资料进行适当的变

量转换, 满足方差齐要求后进行 t 检验统计处理, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

小鼠经口给予不同剂量针叶樱桃提取物 30 d 后, 0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组小鼠平均终末体重及体重增长值与 0 g/kg·bw/d 组相比, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。取小鼠胸腺与脾脏计算脏体比, 结果可见 (表 1), 0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组与 0 g/kg·bw/d 组相比, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 1 针叶樱桃提取物对小鼠胸腺、脾脏脏体比的影响 ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

Table 1 Effects of Acerola cherry extracts on the ratio of mice thymus/spleen to body weight ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

剂量/ (g/kg·bw/d)	样本数/n	胸腺/体重/%	P 值	脾脏/体重/%	P 值
0	10	0.240 $\pm$ 0.031		0.483 $\pm$ 0.062	
0.06	10	0.222 $\pm$ 0.027	0.566	0.497 $\pm$ 0.052	0.879
0.12	10	0.222 $\pm$ 0.052	0.576	0.480 $\pm$ 0.050	0.999
0.35	10	0.226 $\pm$ 0.030	0.728	0.493 $\pm$ 0.051	0.946

使用 MTT 法进行 ConA 诱导的小鼠脾淋巴细胞转化试验, 结果证实 (表 2), 0.35 g/kg·bw/d 组加 ConA 孔与不加 ConA 孔吸光度的差值高于 0 g/kg·bw/d 组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

表 2 针叶樱桃提取物对小鼠淋巴细胞转化的影响 ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

Table 2 Effects of Acerola cherry extracts on lymphocyte transformation in mice ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

剂量/ (g/kg·bw/d)	样本数/n	淋巴细胞增殖能力	P 值
0	10	0.015 $\pm$ 0.007	
0.06	10	0.015 $\pm$ 0.009	1.000
0.12	10	0.017 $\pm$ 0.009	0.914
0.35	10	0.026 $\pm$ 0.007	0.011 ^a

注 a, 统计学差异显著 ($P < 0.05$)。

采用乳酸脱氢酶测定法进行小鼠 NK 细胞活性测定, 将 NK 细胞经 $\sin^{-1} \text{P}^{1/2}$ (P 为 NK 细胞活性) 转化后进行组间 t 检验比较, 结果可见 (表 3), 0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组 NK 细胞活性与 0 g/kg·bw/d 组比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 3 针叶樱桃提取物对小鼠 NK 细胞活性的影响 ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

Table 3 Effects of Acerola cherry extracts on NK cytoactive in mice ($\bar{x} \pm \text{SD}$)

剂量/ (g/kg·bw/d)	样本数/n	NK 细胞活性/%	P 值
0	10	20.6 $\pm$ 4.4	
0.06	10	19.1 $\pm$ 7.0	0.936
0.12	10	23.3 $\pm$ 14.9	0.930
0.35	10	25.9 $\pm$ 6.4	0.409

使用耳肿胀法进行 DNFB 诱导小鼠 DTH 试验, 计

算耳壳重量,结果可见(表4),0.35 g/kg·bw/d 组耳壳重高于 0 g/kg·bw/d 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。

表4 针叶樱桃提取物对 DNFB 诱导小鼠 DTH 的影响($\bar{x}\pm SD$)
Table 4 Effects of Acerola cherry extracts on DTH induced by DNFB in mice ($\bar{x}\pm SD$)

剂量/(g/kg·bw/d)	样本数/n	DTH 程度/mg	P 值
0	10	10.7±3.3	
0.06	10	13.5±4.1	0.370
0.12	10	15.3±5.5	0.069
0.35	10	16.2±4.5	0.024 ^a

注: a,统计学差异显著($P<0.05$)。

采用 Jerne 改良玻片法进行小鼠抗体生成细胞试验,计算溶血空斑数,统计结果可见(表5),0.35 g/kg·bw/d 组溶血空斑数高于 0 g/kg·bw/d 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。

表5 针叶樱桃提取物对小鼠溶血空斑数的影响($\bar{x}\pm SD$)
Table 5 Effect of Acerola cherry extracts on hemolytic plaque numbers in mice ($\bar{x}\pm SD$)

剂量/(g/kg·bw/d)	样本数/n	溶血空斑数/(个/10 ⁶ 脾细胞)	P 值
0	10	41±19	
0.06	10	57±18	0.215
0.12	10	56±23	0.260
0.35	10	66±22	0.027 ^a

注: a,统计学差异显著($P<0.05$)。

用半数溶血值法测定小鼠血清半数溶血值(HC_{50}),由表6结果可见,0.35 g/kg·bw/d 组血清半数溶血值(HC_{50})高于 0 g/kg·bw/d 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。

表6 针叶樱桃提取物对小鼠 HC_{50} 的影响($\bar{x}\pm SD$)
Table 6 Effects of Acerola cherry extracts on HC_{50} in mice ($\bar{x}\pm SD$)

剂量/(g/kg·bw/d)	样本数/n	HC_{50}	P 值
0	10	94±19	
0.06	10	101±15	0.721
0.12	10	111±14	0.078
0.35	10	113±18	0.040 ^a

注: a,统计学差异显著($P<0.05$)。

小鼠碳廓清试验结果,由表7可见,0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组小鼠吞噬指数与 0 g/kg·bw/d 组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

表7 针叶樱桃提取物对小鼠碳廓清能力的影响($\bar{x}\pm SD$)
Table 7 Effects of Acerola cherry extracts on carbon clearance ability in mice ($\bar{x}\pm SD$)

剂量/(g/kg·bw/d)	样本数/n	吞噬指数	P 值
0	10	5.22±0.65	
0.06	10	5.53±1.56	0.831
0.12	10	5.62±0.51	0.695
0.35	10	5.73±0.95	0.528

用半体内法进行小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞试验,计算吞噬指数及吞噬百分率,并将吞噬百分率经 $\sin^{-1}P^{1/2}$ (P 为吞噬百分率)转化后进行组间 t 检验比较,由表8结果可见,0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组小鼠吞噬百分率与吞噬指数与 0 g/kg·bw/d 组比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

表8 针叶樱桃提取物对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞吞噬率及吞噬指数的影响($\bar{x}\pm SD$)
Table 8 Effects of Acerola cherry extracts on phagocytosis ratio and phagocytic count of mouse peritoneal macrophages ($\bar{x}\pm SD$)

剂量/(g/kg·bw/d)	样本数/n	吞噬百分率/%	P 值	吞噬指数	P 值
0	10	21.2±2.3		0.26±0.02	
0.06	10	21.5±3.8	0.995	0.28±0.05	0.673
0.12	10	22.3±2.5	0.722	0.29±0.03	0.208
0.35	10	23.3±2.5	0.255	0.29±0.04	0.134

3 结论

针叶樱桃提取物以 0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 连续给样一个月,没有对小鼠的摄食、体重增长、主要免疫器官的脏体比产生影响($P>0.05$)。免疫功能研究结果显示,在细胞免疫方面,0.35 g/kg·bw/d 组与 0 g/kg·bw/d 组相比,在 ConA 诱导的小鼠淋巴细胞转化实验与 DNFB 诱导的小鼠 DTH 实验中,针叶樱桃提取物显著增强小鼠的脾细胞免疫功能($P<0.05$)。在体液免疫功能方面,针叶樱桃提取物的抗体生成细胞检测实验与血清半数溶血值实验中,0.35 g/kg·bw/d 组溶血空斑数与血清半数溶血值高于 0 g/kg·bw/d 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。而在单核-巨噬细胞功能与 NK 细胞活性实验中,0.06、0.12、0.35 g/kg·bw/d 组与 0 g/kg·bw/d 组相比,吞噬指数、吞噬百分率以及 NK 细胞活性结果均未见统计学差异($P>0.05$)。综上所述,针叶樱桃提取物可以有效增强小鼠的细胞与体液免疫功能,但在增强巨噬细胞与 NK 细胞活性方面,生物活性并不显著。

参考文献:

[1] MEZADRI T, FERNANDEZ-PACHON M S, VILLANO D, et al. The acerola fruit: composition, productive characteristics and economic importance[J]. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 2006, 56(2):101-109

[2] VENDRAMINI A L, TRUGO L C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.) at three stages of maturity[J]. Food Chemistry, 2000, 71(2):195-198

[3] MEZADRI T, VILLANO D, FERNANDEZ-PACHON M S, et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives[J]. Journal of Food

UV-C对西兰花抗氧化活性及相关品质的影响

张怡¹, 关文强², 张娜³, 刘莉莉⁴, 阎瑞香³, 孙德岭⁴

(1. 天津农学院 农学系, 生物技术实验室, 天津 300384 2. 天津商业大学, 天津 300134 3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384 4. 天津科润蔬菜研究所, 天津 300382)

摘要: 在0℃条件下, 采用不同剂量UV-C(1、4、7 kJ/m²)照射处理西兰花后冷藏并测定相关品质指标。结果表明4 kJ/m² UV-C照射处理增加了西兰花抗氧化活性, 可以更好地延缓西兰花的衰老。在21天以后, 4 kJ/m² UV-C处理增高西兰花的叶绿素、类胡萝卜素和花青素的含量, 延缓其降解。UV-C照射能很好地保持西兰花的感官品质, 减慢黄化过程, 其中4 kJ/m² UV-C照射的综合感官效果最好。

关键词: 西兰花; 贮藏; UV-C; 抗氧化活性; 品质指标

Changes of Antioxidant Activity, Compounds and Quality of Broccoli Florets During Different Temperatures

ZHANG Yi¹, GUAN Wen-qiang², ZHANG Na³, LIU Li-li⁴, YAN Rui-xiang³, SUN De-ling⁴

(1. Laboratory of biotechnology, Department of Agriculture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China 3. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agriculture Products, Tianjin 300384, China 4. Tianjin Vegetable Research Institute, Tianjin Kerun Agricultural Limited Corporation, Tianjin 300382, China)

Abstract: At 0℃ condition, the processing broccoli by different doses of UV-C (1, 4, 7 kJ/m²) irradiation were chilled and determined related quality indicators. The result showed that: 4 kJ/m² UV-C irradiation increased antioxidant activity of broccoli and resisted senility better. After 21 days, 4 kJ/m² UV-C treatment can heighten the content of chlorophyll, carotenoids and anthocyanins of broccoli and resisted degradation. UV-C irradiation remain well organoleptic quality of broccoli, delayed the yellowing process. 4 kJ/m² UV-C irradiation of synthesis organoleptic effect is the best.

Key words: Broccoli; storage; UV-C; antioxidant activity; quality index

基金项目 科技部科技支撑计划项目 (2006BAD30B01)

作者简介 张怡 (1985—), 女 (汉), 助理实验师, 硕士研究生, 研究方向 新鲜果蔬质量分析与控制。

- Composition and Analysis, 2008, 21(4): 282-290
- [4] JOHNSON P D. Acerola (*Malpighia glabra* L., M. puniceifolia L., M. emarginata D.C.): agriculture, production and nutrition[J]. Plants in Human Health and Nutrition Policy, 2003, 91:67-75
- [5] DE ROSSO V V, MERCADANTE A Z. Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests[J]. Food Research International, 2005, 38(8/9):1073-1077
- [6] BADEJOA A A, JEONGB S T, GOTO-YAMAMOTO N, et al. Cloning and expression of GDP-D-mannose pyrophosphorylase gene and ascorbic acid content of acerola (*Malpighia glabra* L.) fruit at ripening stages[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2007, 45(9):665-672
- [7] Nunes R S, Kahl V F S, Sarmiento M S, et al. Antigenotoxicity and Antioxidant Activity of Acerola Fruit (*Malpighia glabra* L.) at Two Stages of Ripeness[J]. Plant Foods Hum Nutr, 2011, 66(2):129-135
- [8] 曾翔云. 维生素C的生理功能与膳食保障[J]. 中国食物与营养, 2005(4):52-54
- [9] 王领, 何聪芬, 董银卯, 等. 西印度樱桃冻干粉水提取液抗氧化性的研究[J]. 香料香精化妆品, 2009(6):14-16
- [10] 王领, 何聪芬, 董银卯, 等. 西印度樱桃冻干粉提取液中V_C稳定性及美容功效初步研究[J]. 香料香精化妆品, 2011(4):29-32
- [11] 陈政. 西印度樱桃果汁饮料工艺研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7):137-138
- [12] 卫生部卫生法制与监督司. 卫生部关于印发《保健食品检验与评价技术规范》(2003年版)卫生部文件[S]. 2003

收稿日期 2014-01-30