

低温胁迫下文山辣椒的抗氧化能力及其与花色苷含量的非相关性

袁恩平¹, 屈用函¹, 赵昶灵², 赵水灵¹, 张洪玲², 张雪廷¹

(1. 文山农业科学院, 云南 文山 663000; 2. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201)

摘要:以云南文山州主栽辣椒品种‘ZSZ75-1’‘ZSZ49-1-1’‘12WS-18-1’‘12ZH01’和‘ZS130’为试材,在冰水模拟低温胁迫下,用分光光度法研究了叶片的抗氧化酶比活力及总花色苷和丙二醛(MDA)含量,并用隶属函数法分析了叶片的综合抗氧化能力。结果表明:在低温胁迫下,5个辣椒品种叶片可溶性蛋白质含量特征为‘12WS-18-1’>‘12ZH01’>‘ZS130’>‘ZSZ49-1-1’>‘ZSZ75-1’,过氧化氢酶(CAT)比活力为‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘12WS-18-1’>‘ZS130’,过氧化物酶(POD)比活力为‘ZSZ75-1’>‘ZS130’>‘ZSZ49-1-1’>‘12WS-18-1’>‘12ZH01’,超氧化物歧化酶(SOD)比活力为‘ZS130’>‘12WS-18-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘ZSZ75-1’,MDA含量为‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘12WS-18-1’>‘ZS130’,综合抗氧化能力为‘ZSZ49-1-1’>‘ZS130’>‘12WS-18-1’>‘12ZH01’>‘ZSZ75-1’,总花色苷含量为‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘ZS130’>‘12WS-18-1’。此外,5个辣椒品种叶片总花色苷和MDA含量间均达差异极显著水平,而CAT、POD和SOD比活力间均未达差异显著水平。因此,低温胁迫下,文山辣椒叶片的抗氧化能力与其花色苷含量无关。该研究可为文山州辣椒品种耐低温性的评价和耐低温新品种的选育提供参考。

关键词:云南文山;辣椒;品种;冰水模拟;低温胁迫;抗氧化能力;花色苷含量

中图分类号:S 641.301 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)20-0018-07

低温是诱导植物合成花色苷的环境因子之一^[1-2],而花色苷在植物器官中的积累可能强化植物的抗寒性^[1],其机理之一是:花色苷可增强细胞过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化

物歧化酶(SOD)等的活性并减轻细胞脂质过氧化^[3],但不同植物中花色苷强化抗氧化酶活性的程度不同^[4],减轻细胞脂质过氧化的程度也不同^[3]。

辣椒(*Capsicum annuum*)已成为云南省文山州的特色经济支柱产业之一,目前,该州主栽的辣椒品种为1642年开始种植的果实色泽鲜艳、辣香味适中的“丘北辣椒”系列,丘北辣椒的茎、叶、花和果常因积累花色苷而呈不同程度的紫色,即发生紫化^[5]。

低温是文山州固有的生态因子之一。文山州海拔1 000~1 600 m、地势起伏剧烈、高差悬殊大、气温垂直差异显著、昼夜温差大;冬、春季(12月至翌年4月)和夏末秋初(9—11月),该州因常

第一作者简介:袁恩平(1985-),男,山东青州人,硕士,农艺师,现主要从事辣椒栽培与育种等研究工作。E-mail: 407629929@qq.com.

责任作者:赵昶灵(1969-),男,四川都江堰人,博士,教授,博士生导师,现主要从事植物生理生化和分子生物学等研究工作。E-mail: zhaoplumblossom7@163.com.

基金项目:云南省对外科技合作计划资助项目(2015IC057);云南省科技创新强省计划资助项目(2015AB011);文山农业科学院资助项目(HZ2016-01)。

收稿日期:2017-06-27

受大气环流冷空气侵袭而出现短时、局部的低温天气;近40年的统计表明,该州频发的低温来自冬季强寒潮、重霜冻、春季“倒春寒”和夏季低温等多方面,极端最低气温可达 $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[6]。但文山州丘北辣椒系列品种在低温胁迫下的抗氧化能力及其与器官紫化程度的关系尚鲜见报道。

因此,该试验以文山州主栽的5个丘北辣椒品种叶片为试材,研究其在冰水喷施模拟低温胁迫下的抗氧化能力及其与器官花色苷含量的关系,旨在为该州辣椒品种耐低温性的评价和耐低温新品种的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试辣椒为文山州目前主栽、紫化程度由高到低的5个品种:‘ZSZ75-1’、‘ZSZ49-1-1’、‘12WS-18-1’、‘12ZH01’和‘ZS130’^[5],均由文山农业科学院辣椒研究所鉴定并提供。

1.2 试验方法

大田试验在文山州砚山县江那镇狮子山村(东经 104.355 ° ,北纬 23.579 ° ,海拔 $1\,528.2\text{ m}$)进行。2016年5—6月移栽辣椒苗;成活后,每逢晴天、阴天或15:00—17:00没下雨的雨天,于当日16:00用喷雾器对辣椒植株群体喷 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰水,对照喷常温自来水,均以叶面全湿而无液滴掉落为度。首次喷施冰水前完成第1次叶片采集,以后每隔22 d采集叶片1次,采集时均随机选50~70株,每株采叶5~15片,将叶迅速置纱布袋中,立刻置液氮速冻;在室内将叶片击碎、加液氮磨成粉,置 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 备用。

1.3 项目测定

1.3.1 叶片可溶性蛋白质含量的测定

可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝 G_{250} (Bio-Rad, USA)法测定,以牛血清白蛋白(BSA)(Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)为标样^[7]。取叶粉 0.200 g ,加 5 mL ddH₂O匀浆,定容至 100 mL ;加 5 mL $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ G_{250} 液。

1.3.2 叶片CAT、POD和SOD活性的测定

取 1.000 g 叶粉,加入 5 mL $0.2\text{ mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH 7.8,内含1%聚乙烯吡咯烷酮),

于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 15 min ,取上清液用于酶活性测定^[8]。CAT活性用紫外比色法测定^[9],在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴预热 5 min ;以 1 g 叶粉在 1 min 内 A_{240} 变化 0.10 为1个活性单位(U);POD活性用愈创木酚法测定^[9],反应体系为: 2.9 mL $0.05\text{ mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH 5.5)、 1.0 mL 2% H_2O_2 、 1.0 mL $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 愈创木酚;在 $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 10 min ,终止反应后以 $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min ,以 1 g 叶粉在 1 min 内 A_{470} 变化 0.01 为1个U;SOD活性用氮蓝四唑法(NBT)测定^[9],反应体系为: 2 mL $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH 5.5)、 0.3 mL $130\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 甲硫氨酸溶液、 0.3 mL $750\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NBT液、 0.3 mL $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EDTA- Na_2 液、 0.3 mL $20\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 核黄素液、 0.3 mL ddH₂O;检测管于 $4\,000\text{ lx}$ 日光灯下反应 30 min ;以抑制NBT光还原的50%为1个U。

1.3.3 叶片抗氧化酶比活力的计算

CAT、POD和SOD的比活力($\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$ protein)为其活性($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{ FW}$)除以可溶性蛋白质含量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ FW}$)。

1.3.4 叶片丙二醛(MDA)含量的测定

MDA含量用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[7],取叶粉 0.200 g ,加10%三氯乙酸 10 mL ,匀浆后以 $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min ;在沸水浴中反应 15 min 。

1.3.5 叶片总花色苷含量的测定

总花色苷含量用“色价”度量^[5,10]。取叶粉 0.500 g ,加含1%浓盐酸(v/v)的甲醇 30 mL 快速研磨成匀浆,在黑暗中过滤,定容到 50 mL ,叶片总花色苷含量 $= (A_{550.0} - 0.25A_{657.0})\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})$ ^[5,11]。

1.4 数据分析

试验重复2次。将6月16日、7月5日、7月23日、8月10日和8月23日的测定结果取均值进行辣椒品种间的比较。单因素方差分析用SPSS 17.0软件完成。5个辣椒品种叶片在冰水模拟低温胁迫下的综合抗氧化能力用隶属函数法评价^[12-13]。隶属函数

$$\mu = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1),$$

式中, μ 为特定辣椒品种在冰水处理下某指标的

隶属函数值, X 为特定辣椒品种在处理下某指标的均值, X_{\max} 和 X_{\min} 分别为所有品种该指标的最大和最小值。但是, 因 MDA 含量与辣椒叶片的在低温下的抗氧化性呈负相关, 故通过“反隶属函数”计算其隶属函数值^[12-13],

$$\mu = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2).$$

各品种叶片在模拟低温胁迫下的综合抗氧化能力度量值 AO_x (anti-oxidation under low temperatures) 为该品种 CAT、POD 和 SOD 比活力及 MDA 含量 μ 值的均值^[12]。

2 结果与分析

2.1 文山州辣椒主栽品种叶片可溶性蛋白质含量对冰水模拟低温胁迫的响应特征

由图 1 可以看出, 在冰水处理下, ‘12WS-18-1’ 叶片的可溶性蛋白质含量最高, 约为 $3.260 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), ‘ZSZ75-1’ ‘ZSZ49-1-1’ ‘12ZH01’ 和 ‘ZS130’ 的则分别约为 ‘12WS-18-1’ 的 87.45%、88.79%、95.79% 和 90.32%, 即茎、叶、花瓣和果明显紫化的 ‘ZSZ75-1’ 和 ‘ZSZ49-1-1’ 的叶片均具较低的可溶性蛋白质含量。可见, 低温胁迫下, 文山州丘北辣椒的器官紫化并不意味着其叶片具备更多的、可能通过降低细胞渗透势而强化耐寒性的可溶性蛋白质^[13]。方差分析中, $F \approx 0.13 < 2.87 = F_{0.05(4,20)}$, 所以, 在冰水处理下, 5 个辣椒品种叶可溶性蛋白质含量间远未达差异显著水平。

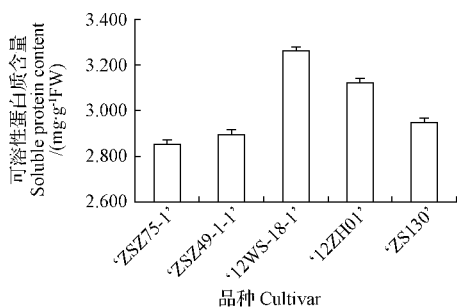


图 1 文山州辣椒叶片可溶性蛋白质含量对冰水模拟低温胁迫的响应

Fig. 1 Responses of the soluble protein contents of the leaves of the main cultivars of *Capsicum annuum* cultivated in Wenshan prefecture of Yunnan Province to the low temperature stress simulated by icy water

2.2 文山州辣椒主栽品种叶片抗氧化酶比活力对冰水模拟低温胁迫的响应特征

2.2.1 CAT 比活力的响应特征

在冰水处理下, ‘ZSZ75-1’ 叶片 CAT 的比活力最高, 约为 $5.246 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$, ‘ZSZ49-1-1’ ‘12WS-18-1’ ‘12ZH01’ 和 ‘ZS130’ 的则分别比 ‘ZSZ75-1’ 的低约 8.38%、33.73%、23.76% 和 54.54%, 可见, 器官明显紫化的 ‘ZSZ75-1’ 和 ‘ZSZ49-1-1’ 的叶片均具较高的 CAT 比活力, 即辣椒品种的叶片 CAT 比活力与其器官的紫化程度之间略呈正相关(图 2 A)^[5]。方差分析中, $F \approx 1.52 < 2.87 = F_{0.05(4,20)}$, 所以, 冰水处理下, 5 个品种叶 CAT 比活力间未达差异显著水平。

2.2.2 POD 比活力的响应特征

在冰水处理下, ‘ZSZ75-1’ 叶 POD 的比活力最高, 约为 $9.371 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$, 分别约为 ‘ZSZ49-1-1’ ‘12WS-18-1’ ‘12ZH01’ 和 ‘ZS130’ 叶 POD 比活力的 1.35、1.36、1.50、1.11 倍(图 2 B), 即器官紫化程度最高的 ‘ZSZ75-1’ 和紫化程度最低的 ‘ZS130’ 的叶片均具备较高 POD 比活力。可见, 冰水处理下, 5 个品种的叶片 POD 比活力与其器官的紫化程度无关^[5]。方差分析中, $F \approx 0.11 < 2.87 = F_{0.05(4,20)}$, 所以, 在冰水处理下, 5 个品种叶 POD 比活力间也未达差异显著水平。

2.2.3 SOD 比活力的响应特征

在冰水处理下, 器官紫化程度最高的 ‘ZSZ75-1’ 叶片 SOD 比活力最低, 约为 $12.600 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$, ‘ZSZ49-1-1’ ‘12WS-18-1’ ‘12ZH01’ 和 ‘ZS130’ 的分别约为 ‘ZSZ75-1’ 的 1.11、1.14、1.00、1.29 倍, 即紫化程度最低的 ‘ZS130’ 的叶片 SOD 比活力却最高(图 2 C)^[5]; 就 SOD 比活力比较, ‘ZSZ75-1’ 的耐寒性可能是最差的^[14]。方差分析中, $F \approx 0.34 < 2.87 = F_{0.05(4,20)}$, 所以, 在冰水处理下, 5 个品种叶 SOD 比活力间远未达差异显著水平。

2.3 文山州辣椒主栽品种叶片 MDA 含量对冰水模拟低温胁迫的响应特征

在冰水处理下, ‘ZSZ75-1’ 叶片的 MDA 含量最高, 约为 $179.582 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$, ‘ZSZ49-1-1’

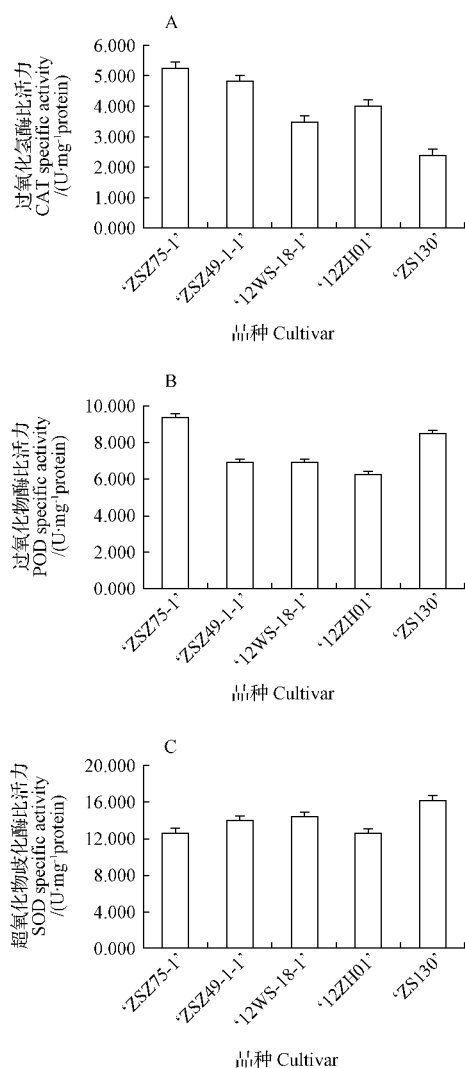


图2 文山州辣椒叶片过氧化酶类比活力对冰水模拟低温胁迫的响应

Fig. 2 Responses of the specific activities of the leaf antioxidants of the main *Capsicum annuum* cultivars cultivated in Wenshan prefecture of Yunnan Province to the low temperature stress simulated by icy water

'12WS-18-1'、'12ZH01'和'ZS130'的分别比'ZSZ75-1'的约低64.39%、78.68%、73.99%和78.72%(图3)。可见,在低温胁迫下,茎和叶紫化最明显的'ZSZ75-1'叶片细胞的膜脂发生过氧化最严重,而紫化程度最低的'ZS130'叶片细胞的膜脂过氧化程度却最轻(图3)。因此,5个辣椒品种叶细胞膜脂在低温胁迫下的过氧化程度与其器官的紫化程度之间基本呈负相关^[5],即辣椒品种器官积累的花色苷没有明显贡献于减轻叶细胞膜脂的过氧化。方差分析中, $F \approx 5.94 > 4.43 =$

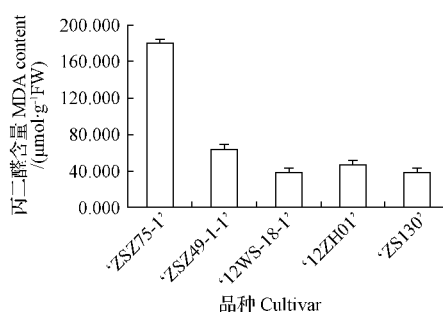


图3 文山州辣椒叶丙二醛含量对冰水模拟低温胁迫的响应

Fig. 3 Responses of the leaf MDA contents of the main *Capsicum annuum* cultivars cultivated in Wenshan prefecture of Yunnan Province to the low temperature stress simulated by icy water

$F_{0.01(4,20)}$,所以,在冰水处理下,5个品种叶MDA含量间达差异极显著水平。

2.4 文山州辣椒主栽品种叶片在冰水模拟低温胁迫下的综合抗氧化能力特征

隶属函数法分析表明,在冰水处理下,文山州5个辣椒主栽品种叶片具备不同的综合抗氧化能力,即:'ZSZ49-1-1' > 'ZS130' > '12WS-18-1' > '12ZH01' > 'ZSZ75-1'(表1)。可见,在低温胁迫下,5个辣椒品种叶片的综合抗氧化能力与其器官的紫化程度无关^[5],即器官积累的花色苷没有对叶片的抗氧化能力发挥决定性的作用。

如果从低温胁迫下叶片综合抗氧化能力(即 AO_h 值)的角度评价文山丘北辣椒的耐低温性(抗寒性)级别,因5个品种叶片的 AO_h 值均在0.4~0.6,故这5个品种均属“耐低温”级别^[12,15]。

2.5 文山州辣椒主栽品种叶片花色苷含量对冰水模拟低温胁迫的响应特征

在冰水处理下,文山州5个丘北辣椒主栽品种叶片的花色苷含量明显不同(图4)。「ZSZ75-1」的花色苷含量最高,约为 $8.019(A_{550.0} - 0.25A_{657.0}) \cdot g^{-1} FW$,分别约为'ZSZ49-1-1'、'12WS-18-1'、'12ZH01'和'ZS130'的3.00、25.46、15.53、22.20倍(图4)。方差分析中, $F \approx 5.99 > 4.43 = F_{0.01(4,20)}$,所以,低温胁迫下,5个品种叶片花色苷含量间达差异极显著水平。可见,文山州辣椒品种叶片花色苷含量与肉眼可见的植

表1 文山州辣椒主栽品种叶片在冰水模拟低温胁迫下的抗氧化能力比较

Table 1 Comparison of the total antioxidant ability of the leaves of the main *Capsicum annuum* cultivars cultivated in Wenshan prefecture of Yunnan province to the low temperature stress simulated by icy water

品种 Cultivar	隶属函数值 Subordinate function value/ μ				AO_t	抗氧化能力排序 Ranking of antioxidant ability
	μ_{CAT} 比活力	μ_{POD} 比活力	μ_{SOD} 比活力	μ_{MDA} 含量		
‘ZSZ75-1’	0.571	0.445	0.194	0.509	0.430	5
‘ZSZ49-1-1’	0.514	0.325	0.257	0.861	0.489	1
‘12WS-18-1’	0.341	0.324	0.274	0.939	0.470	3
‘12ZH01’	0.409	0.291	0.195	0.913	0.452	4
‘ZS130’	0.200	0.400	0.354	0.939	0.473	2

注:“ AO_t ”为 CAT、POD 和 SOD 比活力及 MDA 含量隶属函数值(μ)的均值。

Note: ‘ AO_t ’ is the average of the subordinate function values (μ s) of the CAT, POD and SOD specific activities and malonaldehyde (MDA) contents.

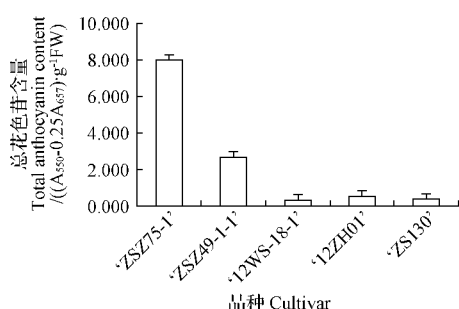


图4 文山州辣椒主栽品种叶总花色苷含量对冰水模拟低温胁迫的响应

Fig. 4 Responses of the total anthocyanin contents of the leaves of the main cultivars of *Capsicum annuum* cultivated in Wenshan prefecture of Yunnan province to the low temperature stress simulated by icy water

株器官的紫化程度基本呈正相关(图4)^[5]。

3 结论与讨论

该研究与前人研究相关的发现有3个方面:第一,植物细胞受低温胁迫时总产生并积累过多活性氧,导致细胞的CAT、POD和SOD等保护酶的活性受抑制^[16],细胞膜脂发生过氧化而被破坏,并产生MDA,MDA含量则可表征膜脂发生过氧化的程度^[17]。第二,辣椒喜温,在<10℃时生长发育缓慢,在<5℃时生长完全停止,故低温是辣椒生长发育的主要限制因素,但近年关于辣椒耐低温的探究处在零散的基础阶段,且进展较慢^[18],已证实耐冷性强的辣椒品种在低温胁迫下POD和SOD等的活性增幅大、MDA含量低^[14,19];第三,高等植物器官因低温诱导积累的花色苷可能通过提高器官的抗氧化酶活性而强化植物的抗寒性^[1],但在不同植物中,花色苷强化特

定抗氧化酶活性的程度不同^[4]。文山州低温频发,但相关的不同程度积累花色苷的丘北辣椒品种在低温胁迫下的抗氧化特征却至今尚属鲜见。该研究发现,在冰水模拟低温胁迫下,文山州5个辣椒主栽品种叶片可溶性蛋白质含量为:‘12WS-18-1’>‘12ZH01’>‘ZS130’>‘ZSZ49-1-1’>‘ZSZ75-1’(图1),CAT比活力为:‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘12WS-18-1’>‘ZS130’,POD比活力为:‘ZSZ75-1’>‘ZS130’>‘ZSZ49-1-1’>‘12WS-18-1’>‘12ZH01’,SOD比活力为:‘ZS130’>‘12WS-18-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘ZSZ75-1’,MDA含量为:‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘12WS-18-1’>‘ZS130’,综合抗氧化能力为:‘ZSZ49-1-1’>‘ZS130’>‘12WS-18-1’>‘12ZH01’>‘ZSZ75-1’,总花色苷含量特征为:‘ZSZ75-1’>‘ZSZ49-1-1’>‘12ZH01’>‘ZS130’>‘12WS-18-1’。可见,低温胁迫下,器官紫化程度最高的‘ZSZ75-1’叶片的CAT和POD比活力及MDA含量均最高,但其叶SOD比活力却最低;在氧自由基的清除反应中,SOD是先于CAT和POD发挥作用的^[20],SOD对超氧阴离子的歧化作用可能是植物抵御低温伤害的主要因素^[21]。所以,‘ZSZ75-1’叶片在低温下的综合抗氧化能力最差,文山州丘北辣椒的器官积累花色苷不能提高其叶片在低温胁迫下的抗氧化能力(图2、4,表1),可能与该花色苷分子结构特别是B环羟基的取代特征有关^[22]。

前人研究辣椒在低温胁迫下的抗氧化酶活性时从不涉及特定器官的花色苷积累量差异^[15-16],故忽略了辣椒品种耐冷性的包含花色苷在内的次

生产物基础。事实上,不同植物中特定器官积累的花色苷强化CAT、POD和SOD等的程度不同^[4]。因此,该研究探讨文山辣椒抗氧化酶活性对低温的响应时创新性地考虑了叶片的花色苷积累量,在研究中发现,低温胁迫下,文山州器官明显积累花色苷的丘北辣椒品种‘ZSZ75-1’和‘ZSZ49-1-1’的叶片均具备高的CAT比活力,且其POD比活力也均较高,但其SOD比活力却明显偏低。可见,在低温胁迫下,文山州丘北辣椒器官积累花色苷可提高叶片CAT和POD比活力,但不能提高SOD比活力。但是,花色苷强化抗氧化酶活性的酶靶标和机理尚不清楚。

(该文作者还有王绍祥、杨羚钰、李云,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] CHALKER-SCOTT L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses[J]. Photochemistry and Photobiology, 1999, 70(1): 1-9.
- [2] 孙明霞, 王宝增, 范海, 等. 叶片中的花色素苷及其对植物适应环境的意义[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(6): 688-694.
- [3] GOULD K S. Nature's Swiss army knife: The diverse protective roles of anthocyanins in leaves[J]. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2004(5): 314-320.
- [4] 李颖畅, 孟宪军, 孙靖靖, 等. 蓝莓花色苷的降血脂和抗氧化作用[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(10): 44-48.
- [5] LI Y, MENG F L, ZHAO C L, et al. Responses of anthocyanin and osmolyte contents of the *Capsicum annuum* cultivars planted in Wenshan Prefecture of Yunnan Province to the drought stress simulated by PEG-6000[J]. Agricultural Science & Technology, 2016, 17(6): 1295-1300, 1335.
- [6] 陈宗瑜. 云南气候总论[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 谷会, 弓德强, 朱世江, 等. 冷激处理对辣椒冷害及抗氧化防御体系的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(12): 2523-2530.
- [9] 罗俊杰, 欧巧明, 叶春雷, 等. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1259-1273.
- [10] NISHIYAMA Y, YAMAKAWA T. Effect of medium composition on the production of anthocyanins by hairy root cultures of *Ipomoea batatas* [J]. Plant Biotechnology, 2004, 21(5): 411-414.
- [11] 周琼琼, 孙威江. 茶树芽叶紫化的生理生化分析及其关键酶基因的表达[J]. 生物技术通报, 2015, 31(1): 86-91.
- [12] 杨莎, 马艳青, 朱晨曦, 等. 辣椒耐低温性鉴定技术标准[J]. 辣椒杂志, 2014(2): 11-13.
- [13] 肖强, 郑海雷, 陈瑶, 等. 盐度对互花米草生长及脯氨酸/可溶性糖和蛋白质含量的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 373-376.
- [14] 马艳青, 戴雄泽. 低温胁迫对辣椒抗寒性相关生理指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2000, 26(6): 461-462.
- [15] 赵恒栋, 李明, 王怀栋, 等. 不同辣椒品种耐低温性综合评价[J]. 北方园艺, 2015(23): 22-25.
- [16] 王慧, 周小梅. 低温胁迫对辣椒相关生理生化指标的影响[J]. 山西农业科学, 2015(2): 152-154.
- [17] GILL S S, TUTEJA N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2010, 48(12): 909-930.
- [18] 常彩涛. 辣椒耐低温研究概述[J]. 辣椒杂志, 2011(1): 6-8, 40.
- [19] 任旭琴, 张林青, 孙敏. 辣椒叶片对低温的生理响应研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6439-6440.
- [20] FAROOQ M, WAHID A, KOBAYASHI N, et al. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2009, 29(1): 185-212.
- [21] SARUYAMA H, TANIDA M. Effect of chilling on activated oxygen-scavenging enzymes in low temperature sensitive and tolerant cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Plant Science, 1995, 109(2): 105-113.
- [22] 王金亭. 四种黑米花色苷抗氧化活性的构效关系[J]. 食品科技, 2008, 33(4): 143-145.

Antioxidant Capacity of *Capsicum annuum* Cultivars in Wenshan Prefecture Under Low Temperature Stress and Its None Correlation With Anthocyanin Contents

YUAN Enping¹, QU Yonghan¹, ZHAO Changling², ZHAO Shuiling¹, ZHANG Hongling²,
ZHANG Xueting¹, WANG Shaoxiang¹, YANG Lingyu¹, LI Yun¹

(1. Wenshan Academy of Agricultural Sciences, Wenshan, Yunnan 663000; 2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract: The specific activities of the antioxidases and total anthocyanin and MDA contents of the

leaves of the five main *Capsicum annuum* cultivars including 'ZSZ75-1', 'ZSZ49-1-1', '12WS-18-1', '12ZH01' and 'ZS130' cultivated in Wenshan prefecture, Yunnan Province under the low temperature stress simulated by icy water were studied by using spectrophotometry, and the comprehensive antioxidant capacity of the leaves was evaluated by using subordinate function. The results showed that, under the low temperature stress, the soluble protein contents of the leaves of the five cultivars was as, '12WS-18-1' > '12ZH01' > 'ZS130' > 'ZSZ49-1-1' > 'ZSZ75-1', CAT specific activities was as, 'ZSZ75-1' > 'ZSZ49-1-1' > '12ZH01' > '12WS-18-1' > 'ZS130', POD specific activities was as, 'ZSZ75-1' > 'ZS130' > 'ZSZ49-1-1' > '12WS-18-1' > '12ZH01', SOD specific activities was as, 'ZS130' > '12WS-18-1' > 'ZSZ49-1-1' > '12ZH01' > 'ZSZ75-1', the MDA contents was as, 'ZSZ75-1' > 'ZSZ49-1-1' > '12ZH01' > '12WS-18-1' > 'ZS130', the comprehensive antioxidant ability was as, 'ZSZ49-1-1' > 'ZS130' > '12WS-18-1' > '12ZH01' > 'ZSZ75-1', and the total anthocyanin contents was as, 'ZSZ75-1' > 'ZSZ49-1-1' > '12ZH01' > 'ZS130' > '12WS-18-1'. Furthermore, the differences among the total anthocyanin and MDA contents of the leaves of the five cultivars all reached the extremely significant levels, whereas the differences among the specific activities of CAT, POD and SOD did not reach the significant difference levels. Thus, under low temperature stress, the leaf antioxidant ability of the *C. annuum* cultivars cultivated in Wenshan prefecture was not related to the leaf anthocyanin contents. This study could provide a reference for the low temperature tolerance-evaluating and the selection of the new low temperature tolerant cultivars of *C. annuum* in Wenshan.

Keywords: Wenshan in Yunnan Province; *Capsicum annuum*; cultivars; simulated by icy water; low temperature stress; antioxidant capacity; anthocyanin content

河南省一级期刊 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

《种业导刊》

《种业导刊》创刊于1981年,由河南省农业科学院主管,河南省农业科学院农业经济与信息研究所主办。刊号:ISSN 1003-4749, CN 41-1392/S。国家新闻出版广电总局第一批认定学术期刊,河南省一级期刊。

主要栏目包括政策经纬、专家论坛、种业管理、市场预测、园林绿化、种业315、审定品种等。

全年12期,每月10日出版。国内邮发代号:36-119,每期定价8.0元,全年96.0元,全国各地邮局均可订阅。

欢迎投稿 欢迎订阅

地址:郑州市花园路116号 河南省农业科学院《种业导刊》编辑部

邮编:450002

电话:0371-87000220 65727121

网址:种业在线(www.seedsee.com)

E-mail: zydaokan@126.com

QQ在线:1661317955(广告) 2446959084(投稿)