

# 预冷方式对豇豆采后生理特性的影响

范林林, 高丽朴, 王 清, 左进华, 史君彦, 吴 洁

(北京市农林科学院 蔬菜研究中心, 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097)

**摘 要:**以豇豆为试材,研究了不同预冷方式(0℃冰水预冷、4℃冷水预冷及 4℃冷库预冷)对豇豆采后生理特性的影响。结果表明:预冷处理可有效维持豇豆的感官品质、延缓营养物质含量的下降,其中,冷水预冷对豇豆的保鲜效果最佳,减缓了豇豆感官品质的下降,抑制了失重率、乙烯释放量、相对电导率和丙二醛含量的上升,以及可溶性固形物(TSS)、维生素 C、叶绿素、可溶性蛋白质的降解,提高了过氧化氢酶(Catalase, CAT)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)的活性。

**关键词:**豇豆;冰水预冷;冷水预冷;乙烯;叶绿素

**中图分类号:**S 643.409<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)17-0115-05

豇豆(*Vigna sinensis*)属蝶形花科(Papilionaceae)一年生缠绕性草本植物,又名长荚豆、粉豆,在非洲、南美洲、北美洲、亚洲以及欧洲的东南部都有广泛栽培<sup>[1]</sup>。豇豆是我国夏、秋季大宗蔬菜,因其色泽嫩绿、豆荚肥厚、味道鲜美且富营养价值而深受广大消费者喜爱<sup>[2]</sup>。且豇豆富含蛋白质、碳水化合物、多种维生素和矿物质元素,经济价值较高口,此外,豇豆中还含有大量的蛋白质、尼克酸、钙、磷、铁、维生素 B、糖类及食物纤维等<sup>[3]</sup>。

预冷是果蔬采后迅速除去田间热、降温冷却到预定温度的过程,是果蔬流通技术的关键步骤,对维持果蔬品质、降低损耗极其重要<sup>[4-5]</sup>。2010 年 3 月发生的“海南毒豇豆”事件,再次突出研究果蔬贮运过程中绿色保鲜的重要性<sup>[6]</sup>。因此,该研究选取豇豆为试材,研究了不同预冷方式对豇豆采后生理特性的影响,以期对豇豆的贮运保鲜提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试豇豆品种为“华赣·露地王”,在外温较低的清晨或傍晚采收,避免雨水和露水。选择成熟度适宜、无

病虫害、无机械伤、无畸形,长短基本均匀的豇豆,1 h 内运回实验室。

Triton X-100、30%过氧化氢,分析纯,购自西陇化工有限公司;丙酮、盐酸、聚乙二醇(6000)、氢氧化钠、石英砂,分析纯,购自北京化工厂;考马斯亮蓝 G-250、愈创木酚、邻苯二酚,分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠,分析纯,购自天津市永晟精细化工有限公司。

UV-1800 紫外分光光度计(上海精密科学仪器有限公司);TGL-16G-A 高速冷冻离心机(广州晟龙实验仪器有限公司);Agilent7820A 气相色谱仪(安捷伦科技有限公司);DDSJ-308A 电导率仪(上海精密科学仪器有限公司);2WJ 阿贝折光仪(上海申光仪器仪表有限公司);HH-6 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司)。

### 1.2 试验方法

豇豆初采时温度为 29.6℃。将挑选出的豇豆置于冰水混合物(0℃)中预冷 7 min 后放入泡沫箱中,另取同等重量的豇豆置于 4℃冷水中预冷 7 min 后放入泡沫箱中,再取同等重量的豇豆置于 4℃冷库中预冷 4 h 后置于泡沫箱中。各试验组豇豆在其对应的预冷时间内温度均达到 8℃。然后将晾干后的豇豆置于恒温恒湿箱(温度 8℃、湿度 80%)中贮藏,每隔 1 d 测定与生理生化等相关的指标。对照组除不做预冷处理外,其它相同。

### 1.3 项目测定

1.3.1 豇豆感官评定标准 由 6 人组成的品评组人员评判各处理的保鲜效果,每个样品按萎蔫程度、冷害、锈斑、颜色、硬度及外观进行整体分级,共 9 级,分成 3 个等级,由表 1 可知,1~4 级表示不可接受,5~6 级表示一般,7~9 级表示商品价值乐意接受<sup>[7]</sup>。

**第一作者简介:**范林林(1990-),女,硕士研究生,研究方向为农产品贮藏加工与食品资源开发。E-mail:fanlinlin0418@163.com.

**责任作者:**左进华(1982-),男,博士,助理研究员,现主要从事农产品贮藏与加工等研究工作。E-mail:zuojinhua@126.com.

**基金项目:**国家大宗蔬菜产业体系建设资助项目(CARS-25);西北非耕地园艺作物生态高效生产技术与示范资助项目(201203095);北京市农林科学院青年基金资助项目(201404)。

**收稿日期:**2015-05-26

表 1

豇豆感官评定标准

Table 1

Sensory evaluation standards of cowpea

9 级	8 级	7 级	6 级	5 级	4 级	3 级	2 级	1 级
没有变化	稍有变化	变化明显	商品性下降	商品性最低限	失去商品性	食用价值最低限	失去食用价值	腐烂变质

1.3.2 其它指标测定 乙烯释放量采用气相色谱法测定,色谱条件参照 KAEWSUKSAENG 等<sup>[8]</sup>方法;贮藏结束时分别对不同处理样品进行称重,计算失重率。失重率(%)=(贮藏前质量(g)-贮藏后质量(g))×100/贮藏前质量(g)。可溶性固形物(TSS)含量采用 2WJ 阿贝折光仪测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[9]</sup>测定;叶绿素含量参照 HASPERUE 等<sup>[10]</sup>方法测定。可溶性蛋白质含量、相对电导率、过氧化物酶(POD)活性、过氧化物酶(CAT)活性均参照曹建康等<sup>[11]</sup>方法测定。

#### 1.4 数据分析

试验数据采用 Origin 8.5 软件作图,试验结果取 3 次测定的平均值,以 IBM SPSS Statistics 19 软件进行差异显著性分析。

表 2

不同处理对豇豆保鲜效果的感官评分

Table 2

Sensory analysis of preservative effect of cowpea of different treatments

处理	8℃贮藏时间/d					
	0	2	4	6	8	10
对照	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	8.13 <sup>c</sup> ±0.06	6.10 <sup>d</sup> ±0.10	3.60 <sup>e</sup> ±0.10	2.30 <sup>b</sup> ±0.10
冰水	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	8.63 <sup>a</sup> ±0.12	7.17 <sup>b</sup> ±0.15	5.13 <sup>a</sup> ±0.15	3.30 <sup>a</sup> ±0.20
冷水	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	8.76 <sup>a</sup> ±0.06	7.47 <sup>a</sup> ±0.15	5.17 <sup>a</sup> ±0.15	3.47 <sup>a</sup> ±0.06
冷库	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	9.00 <sup>a</sup> ±0.00	8.40 <sup>b</sup> ±0.10	6.57 <sup>c</sup> ±0.21	4.00 <sup>b</sup> ±0.10	2.40 <sup>b</sup> ±0.10

注:同列不同小写字母表示差异达到  $P<0.05$  显著水平。

#### 2.2 不同预冷处理对豇豆乙烯释放量的影响

由图 1 可知,各试验组豇豆的乙烯释放量均随着贮藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势,各试验组豇豆的乙烯释放量在贮藏初期迅速升高,且在贮藏至第 4 天达到最大值,此时冷水预冷组豇豆的乙烯释放量仅为对照组的 48.36%,对照组豇豆的乙烯释放量始终高于预冷处理组,其中冷水预冷组豇豆的乙烯释放量始终处于最低水平,其次是冰水预冷组,再次是冷库预冷组,说明预冷处理能够有效减小豇豆的乙烯释放量,抑制豇豆的成熟衰老,进而延长豇豆的货架期。

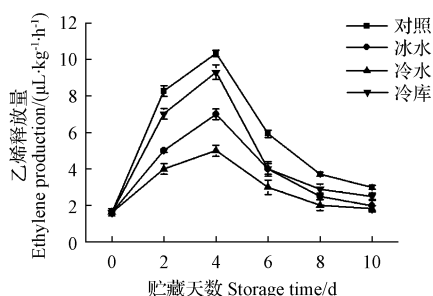


图 1 不同处理豇豆乙烯释放量的变化

Fig. 1 The change of ethylene production under different treatments

## 2 结果与分析

### 2.1 不同预冷处理对豇豆感官品质的影响

由表 2 可知,随着贮藏时间的延长,各试验组豇豆的感官评分逐渐下降,预冷处理试验组豇豆的感官评分始终高于对照组,其中,冷水预冷组豇豆的感官评分始终处于最高水平,其次是冰水预冷组,再次是冷库预冷组。在贮藏至第 10 天时,各试验组豇豆失去商品性,对照组豇豆的感官评分仅为冷水预冷组的 66.28%,冷水预冷组和冰水预冷组豇豆的感官评分无显著性差异( $P>0.05$ )。冷库预冷组豇豆在贮藏末期产生锈斑现象,而冰水预冷组豇豆出现冷害现象,统计其冷害率为 14.32%。

### 2.3 不同预冷处理对豇豆失重率的影响

豇豆由于呼吸作用和蒸腾作用会导致其失重萎缩,一旦豇豆萎蔫,外观将会受到很大影响,失重率作为一项重要指标,能够直观地表现豇豆的采后品质<sup>[12]</sup>。由图 2 可知,各试验组豇豆的失重率随着贮藏时间的延长而逐渐上升,预冷处理能够抑制豇豆失重率的上升,其中冷水预冷组豇豆失重率始终处于最低水平,说明冷水预冷能够有效抑制豇豆的水分损失,保持豇豆的新鲜度,其次是冰水预冷,再次是冷库预冷。

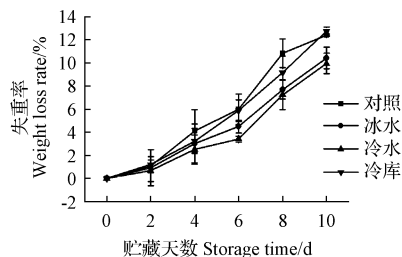


图 2 不同处理豇豆失重率的变化

Fig. 2 The change of weight loss rate under different treatments

### 2.4 不同预冷处理对豇豆可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物是指豇豆汁中能溶于水的糖、酸、维

生素、矿物质等物质,以百分率表示,是豇豆的营养指标之一。由图3可知,随着贮藏时间的延长,各试验组豇豆的TSS含量呈现逐渐下降的趋势,预冷处理组豇豆的TSS含量始终高于对照组,其中冷水预冷组豇豆的TSS含量始终处于最高水平,显著高于其它试验组( $P < 0.05$ ),对照组豇豆的TSS含量在整个贮藏期间的平均值为冷水预冷组平均值的89.19%,说明冷水预冷处理能够有效维持豇豆的营养物质含量。

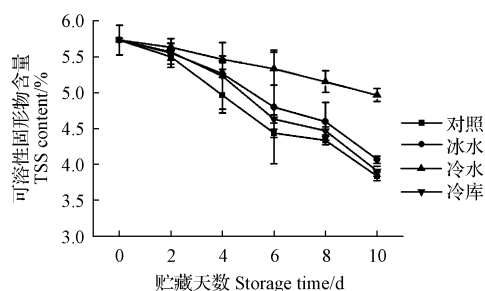


图3 不同处理豇豆可溶性固形物含量的变化

Fig. 3 The change of TSS content under different treatments

## 2.5 不同预冷处理对豇豆维生素C含量的影响

维生素C是果蔬最重要的营养素之一,可以代谢掉果蔬中正常代谢所产生的自由基,保护细胞组织免受损害而延缓果蔬衰老的速度<sup>[13]</sup>。由图4可知,各试验组豇豆的维生素C含量随着贮藏时间的延长呈现下降的趋势,且冷水预冷处理能够有效抑制豇豆维生素C的降解,其次是冰水预冷,再次是冷库预冷,最后是对照。在贮藏至第6天,冷水预冷组的豇豆维生素C含量为69.97 mg/100g,而对照组豇豆维生素C含量仅为60.68 mg/100g。说明冷水预冷处理能够有效延缓豇豆维生素C含量的下降。

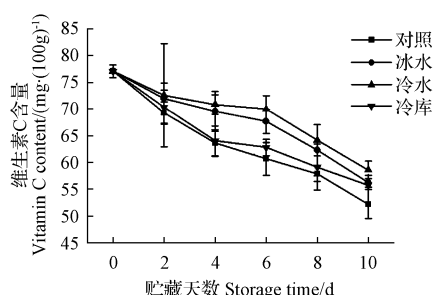


图4 不同处理豇豆维生素C含量的变化

Fig. 4 The change of vitamin C content under different treatments

## 2.6 不同预冷处理对豇豆叶绿素含量的影响

豇豆的颜色是决定消费者是否购买的关键因素之一,而豇豆的新鲜绿色主要取决于豇豆的叶绿素含量<sup>[14]</sup>。由图5可知,随着贮藏时间的延长,豇豆的叶绿素含量呈现下降的趋势,而各试验组豇豆的叶绿素含量

在贮藏期第0~2天下降最为迅速。各试验组豇豆的叶绿素含量始终高于对照组,其中冷水预冷组豇豆的叶绿素含量始终处于最高水平,而冰水预冷组和冷库预冷组豇豆的叶绿素含量无显著差异( $P > 0.05$ ),说明预冷处理能够有效抑制豇豆叶绿素的分解,其中,冷水预冷处理对豇豆的保鲜效果最好。

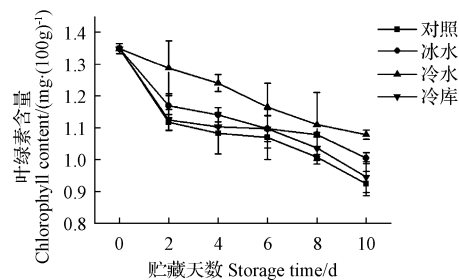


图5 不同处理豇豆叶绿素含量的变化

Fig. 5 The change of chlorophyll content under different treatments

## 2.7 不同预冷处理对豇豆可溶性蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质是植物细胞重要的渗透调节物质,是豇豆重要的品质指标。由图6可知,随着贮藏时间的延长,豇豆的可溶性蛋白质含量呈现下降的趋势,且各试验组豇豆的可溶性蛋白质含量始终高于对照组,其中冷水预冷组豇豆的可溶性蛋白质含量始终处于最高水平,抑制了可溶性蛋白质的降解,其次是冰水预冷组,再次是冷库预冷组,最后为对照组。在贮藏至第10天时,对照组豇豆的可溶性蛋白质含量仅为冷水预冷组的71.33%,是冰水预冷组的80.32%,是冷库预冷组的82.20%,说明预冷处理能够有效抑制豇豆可溶性蛋白质含量的下降。

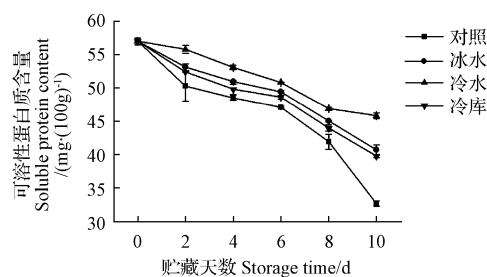


图6 不同处理豇豆可溶性蛋白质含量的变化

Fig. 6 The change of soluble protein content under different treatments

## 2.8 不同预冷处理对豇豆相对电导率的影响

相对电导率是衡量细胞膜受损程度的重要指标,相对电导率越大,说明细胞膜的受损程度越大<sup>[15]</sup>。由图7可知,随着贮藏时间的延长,各试验组豇豆的相对电导率呈现逐渐上升的趋势。其中预冷处理组豇豆的相对

电导率在整个贮藏期间内始终低于对照组,说明预冷处理能够有效抑制豇豆相对电导率的上升,其中冷水预冷组豇豆的相对电导率始终处于最低水平,可有效抑制豇豆组织细胞膜的损伤。而冰水预冷组和冷库预冷组豇豆的相对电导率无显著性差异( $P>0.05$ )。

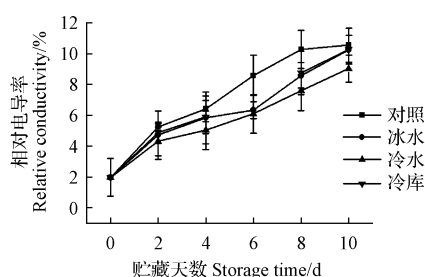


图7 不同处理豇豆相对电导率的变化

Fig. 7 The change of conductivity under different treatments

## 2.9 不同预冷处理对豇豆丙二醛(MDA)含量的影响

MDA是膜脂过氧化的终产物,其含量的多少可以衡量膜脂过氧化的程度<sup>[16]</sup>。由图8可知,各试验组豇豆的MDA含量在贮藏期第0~8天呈现逐渐上升的趋势,且对照组豇豆的MDA含量处于最高水平,冷水预冷组豇豆的MDA含量处于最低水平。对照组和冷库预冷组的豇豆MDA含量在第8天出现最大值,此时对照组豇豆的MDA含量为2.092 32 nmol/g,而冷水预冷组豇豆的MDA含量为1.791 57 nmol/g。此外,冷水和冰水预冷处理能够推迟豇豆MDA含量高峰的到来,保护了豇豆细胞膜的完整性。

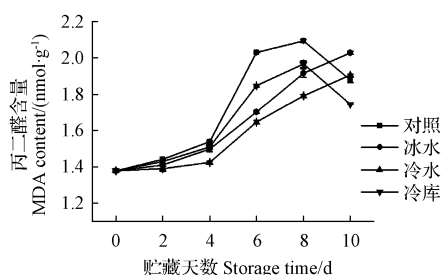


图8 不同处理豇豆丙二醛含量的变化

Fig. 8 The change of MDA content under different treatments

## 2.10 不同预冷处理对豇豆POD活性的影响

POD是植物在逆境条件下酶促防御系统的关键酶之一,它与SOD、CAT相互协调配合,清除过剩的自由基,使体内自由基维持在正常的动态水平,以提高植物的抗逆性<sup>[17]</sup>。由图9可知,随着贮藏时间的延长,各试验组豇豆的POD活性基本呈现先上升后下降的趋势,且在贮藏至第8天出现峰值,然后急剧下降,预冷组豇豆的POD活性始终高于对照组,在贮藏期第0~8天冷水预冷组豇豆的POD活性高于其它试验组,说明冷水

预冷处理能够有效提高豇豆的POD活性,清除过剩的自由基,维持豇豆细胞组织内部的动态平衡。而冰水预冷组豇豆的POD活性在整个贮藏期间始终呈现上升的趋势。

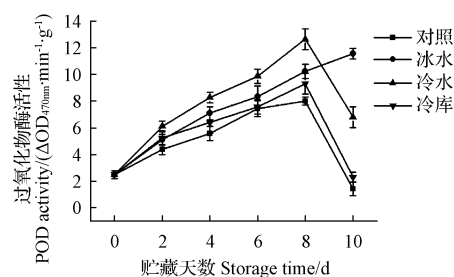


图9 不同处理豇豆POD活性的变化

Fig. 9 The change of POD activity under different treatments

## 2.11 不同预冷处理对豇豆CAT活性的影响

豇豆的衰老源于活性氧的积累,由于活性氧产生和清除之间的平衡被破坏,使豇豆衰老加剧,CAT是最主要的活性氧清除剂,它能分解豇豆代谢产生的 $H_2O_2$ 而有效地清除自由基。由图10可知,各试验组豇豆的CAT活性随着贮藏时间的延长呈现上升的趋势,且冷水预冷组和冰水预冷组豇豆的CAT活性显著高于其它试验组( $P<0.05$ ),冷库预冷组和对照组豇豆的CAT活性无显著性差异( $P>0.05$ )。CAT活性升高能够有效清除豇豆自身产生的过氧化物,减缓过氧化物对豇豆组织细胞的毒害性,说明冷水预冷处理和冰水预冷处理能够有效提高豇豆的CAT活性。

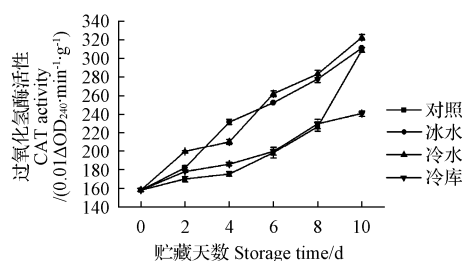


图10 不同处理豇豆CAT活性的变化

Fig. 10 The change of CAT activity under different treatments

## 3 结论

冷水预冷处理可有效维持豇豆的外观品质,抑制失重率、乙烯释放量的升高,延缓维生素C、可溶性固形物、叶绿素及可溶性蛋白质等营养物质含量的下降,还能够较好地保持豇豆细胞膜的完整性,抑制了相对电导率和丙二醛含量的上升,且能够启动酶促防御系统,提高了POD、CAT等活性的升高,清除过剩的自由基,使体内自由基维持在正常的动态水平。冷水预冷处理对豇豆的保鲜效果最佳,其次是冰水预冷,再次是冷库预冷(产生



锈斑现象),最后是对照。

4℃冷水预冷比 0℃冰水预冷保鲜效果好,原因可能是 0℃冰水温度过低,因而对豇豆的细胞组织造成一定的伤害,出现了冷害现象。4℃冷库预冷处理对豇豆的保鲜效果不及 4℃冷水预冷和 0℃冰水预冷,且预冷时间较长。综上所述,4℃冷水预冷处理对豇豆的保鲜效果最佳。

### 参考文献

- [1] ANTOVA G A, STOILOVA T D, IVANOVA M M. Proximate and lipid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivated in Bulgaria[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(2): 146-152.
- [2] 王利斌,姜丽,石韵,等. 气调对豇豆贮藏期效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 313-316.
- [3] 冯传作,辛建华,童军茂. 壳聚糖涂膜保鲜对豇豆生理生化指标的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(21): 87-89.
- [4] WANG Y, XIE X B, LONG L E. The effect of postharvest calcium application in hydro-cooling water on tissue calcium content, biochemical changes, and quality attributes of sweet cherry fruit[J]. Food Chemistry, 2014, 160: 22-30.
- [5] TOIVONEN P M A. The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling, and micro-perforated wrap on shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L., Italica Group) [J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 10(1): 59-65.
- [6] 梁晓明,李天略,李娟娟,等. 胡椒碱对豇豆的保鲜作用研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 1017-1019.
- [7] HAN C, ZUO J H, WANG Q, et al. Effects of chitosan coating on post-harvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 166: 1-8.
- [8] KAEWSUKSAENG S, TATMALA N, SRILAONG V, et al. Postharvest heat treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality in Thai lime (*Citrus aurantiifolia* Swingle cv. Paan) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100: 1-7.
- [9] ROE H J, OSTERLING M J. The determination of dehydroascorbic acid and ascorbic acid in plant tissues by the 2, 4-dinitrophenylhydrazine method[J]. Journal of Biological Chemistry, 1943, 35: 511-517.
- [10] HASPERUÉ J H, GÓMEZ-LOBATO M E, CHAVES A R, et al. Time of day at harvest affects the expression of chlorophyll degrading genes during postharvest storage of broccoli[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 82: 22-27.
- [11] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [12] 张苏敏,李天略,刘艺洁,等. 牛大力氯仿提取物保鲜豇豆研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(36): 17714-17715, 17737.
- [13] CHUNG H S, MOON K D. Browning characteristics of fresh-cut 'Tsugaru' apples as affected by pre-slicing storage atmospheres[J]. Food Chemistry, 2009, 114: 1433-1437.
- [14] SÁNCHEZ C, BARANDA A B. The effect of high pressure and high temperature processing on carotenoids and chlorophylls content in some vegetables[J]. Food Chemistry, 2014, 163(15): 37-45.
- [15] 陈爱葵,韩瑞宏,李东洋,等. 植物叶片相对电导率测定方法比较研究[J]. 广东教育学院学报, 2010, 30(5): 88-91.
- [16] 曹明明,闫瑞香,冯叙桥,等. 热处理对鲜切玫瑰香葡萄抗氧化活性及生理生化品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 279-284.
- [17] CAI Z K, YANG R, XIAO H M, et al. Effect of preharvest application of *Hanseniaspora uvarum* on postharvest diseases in strawberries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100: 52-58.

## Research on the Pre-cooling Treatment on Physiological Characteristics of Postharvest Cowpea

FAN Linlin, GAO Lipu, WANG Qing, ZUO Jinhua, SHI Junyan, WU Jie

(Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences; Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing; Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Beijing 100097)

**Abstract:** Taking cowpea as test material, the effect of pre-cooling with 0℃ ice water, 4℃ cold water and 4℃ refrigeratory on physiological characteristics of postharvest cowpea was investigated. The results showed that the pre-cooling with 4℃ cold water significantly maintained the sensory quality of cowpea, and inhibited the increase of weight loss rate, ethylene production, relative conductivity, MDA content, and reduced the degradation of TSS, vitamin C, chlorophyll and soluble protein. The activity antioxidant enzymes, including CAT and POD were improved by pre-cooling treatment.

**Keywords:** cowpea; ice water pre-cooling; cold water pre-cooling; ethylene; chlorophyll