贮藏温度对鲜食石榴籽粒贮藏品质及抗氧化能力的影响

王 敏，寇莉萍*
(西北农林科技大学食品科学与工程学院，陕西 杨凌 712100)

摘 要：研究不同贮藏温度(0、5、10℃和室温)对鲜食石榴籽粒贮藏品质、活性成分及抗氧化能力的影响。结果表明，与10℃和室温贮藏条件相比，0℃和5℃能减缓石榴籽粒的呼吸速率、抑制相对电导率和质量损失率的升高、提高抗氧化活性，大大延长了商品货架期。其中，0℃更好地保持了可溶性固形物含量和花色苷稳定性，并能保持更好的品质和货架期，因此，0℃可作为鲜食石榴籽粒最适宜的贮藏温度。

关键词：温度；鲜食；石榴籽粒；品质；货架期；抗氧化能力

Effect of Storage Temperature on Quality and Antioxidant Activity of Ready-to-eat Pomegranate Seeds

WANG Min，KOU Li-ping*
(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract：The overall quality, functional components and antioxidant activity of ready-to-eat pomegranate seeds stored at different temperatures (0, 5, 10 ℃ and room temperature) were investigated. The results indicated that lower temperatures (0 ℃ and 5 ℃) reduced the respiration rate, maintained a significantly lower relative conductivity and weight loss rate, improved the antioxidant activity and prolonged the shelf-life of pomegranate seeds when compared with those stored at 10 ℃ and room temperature. At the end of storage, ready-to-eat pomegranate seeds stored at 0 ℃ exhibited higher total soluble solids and anthocyanins than those stored at 5 ℃ and 10 ℃ as well as room temperature. Our findings suggest that ready-to-eat pomegranate seeds should be stored at 0 ℃ to maintain optimal quality and maximal shelf life.

Key words：temperature；ready-to-eat；pomegranate seeds；quality；shelf-life；antioxidant activity
中图分类号：S609.3；S667.7 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)06-0271-05

石榴(*Punica granatum* L.)是一种珍奇的浆果，具有较高的营养价值和药用价值。现代医学研究表明，石榴果实中含有黄酮、鞣质、生物碱、有机酸和多酚等多种抗氧化物质，具有延缓衰老、抑制癌变、软化血管、降低胆固醇，防止冠心病和高血压等多种疾病发生的功效[1-2]。

石榴大都以鲜食为主，但是石榴外皮比较坚硬，剥离费时费力，另外，石榴在外界环境下果皮容易出现斑点、裂口、擦伤等现象，尽管其内部籽粒仍然保持较好的外观和食用品质，但石榴整果外观品质的下降极大制约了石榴的消费而造成资源浪费。因此，将其籽粒剥出做成安全、方便的即食鲜切食品，具有良好的市场前景。但石榴籽粒失去外皮的保护品质极易劣化，因此，选择适宜的贮藏条件以延长其货架期、最大限度地保持果蔬的品质具有十分重要的意义。

温度是保持果蔬采后品质的最关键因素。目前关于石榴籽粒最佳贮藏温度及贮藏温度对石榴籽粒贮藏期间品质及抗氧化能力的研究很少，申琳等[3]只比较了4℃低温和室温贮藏对石榴籽粒的保鲜效果，没有确定石榴籽粒最适宜的贮藏温度。本实验研究在不同贮藏温度下，石榴籽粒的品质指标和抗氧化能力的变化，以确定石榴籽粒最佳贮藏温度，为延长鲜食石榴籽粒的货架期提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

供试材料为陕西临潼净皮甜石榴，于2011年10月8日采收于临潼代王镇某石榴园，挑选果个一致、果色均匀、无机械损伤、无病虫害的果实当天运至西北农林科技大学食品学院冷库贮藏。选取在(4±1)℃条件贮藏

收稿日期：2012-02-16
基金项目：西北农林科技大学青年教师骨干项目(2007)
作者简介：王敏(1987—)，女，硕士研究生，研究方向为果蔬贮藏与加工。E-mail：wangmin000@163.com
*通信作者：寇莉萍(1972—)，女，副教授，博士，研究方向为果蔬贮藏与加工。E-mail：kouliping@nwsuaf.edu.cn

了46d、果皮表面有轻微褐变(面积＜1/10)石榴作为实验材料。材料经清洗、消毒、晾干后切分剥粒，分装在10cm×15cm聚乙烯袋(厚度0.03mm)中，每袋约90g。将分装并密封好的石榴籽粒分别置于相对湿度85%的0、5、10℃、室温(20～25℃)环境贮藏。每个处理设3个重复，贮藏期间每3d取样测各项指标。

1.2 试剂与仪器

DPPH自由基(二苯代苦味酰基自由基，1,1-dipheny,1-2-picrylhydrazyl) 美国Sigma公司；福林(FC)试剂：参照徐辉艳等[4]方法制备；一水合没食子酸、硫酸亚铁、水杨酸、氯化钾、碳酸钠、无水乙醇等均为国产分析纯。

KDC-40低速离心机 科大创新中佳分公司；便携式气体测定仪 德国Witten 公司；UV-2550紫外分光光度计、UV-1240紫外分光光度计 日本岛津公司；WYH手持糖度计 泉州光学仪器厂；WSC-S测色色差计、DDSJ-308A电导率仪 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 O_2和CO_2成分测定

使用便携式气体测定仪测定。

1.3.2 抗氧化能力指标测定

总酚含量测定：采用Folin-Ciocalteus比色法，参照胡淳淳等[5]的方法；花色苷含量测定：采用pH示差法，参照郭松年[6]的方法；DPPH自由基清除力测定：参照Elfalleh等[7]的方法；羟自由基清除力测定：参照陈留勇等[8]的方法。

1.3.3 相对电导率测定[9]

称取5g石榴籽粒，加入盛有50mL蒸馏水的小烧杯中，静置30min后，用电导率仪测定提取液电导率(L_1)；然后将样品置于－20℃冰柜冷冻24h，取出室温解冻后测电导率值(L_2)。以相对电导率值表示组织透性的大小，相对电导率(L_e)为：$L_e/\%=L_1/L_2\times100$。

1.3.4 品质指标测定

质量损失率测定：采用称重法测定，质量损失率/%=(贮前鲜质量－贮后鲜质量)/贮前鲜质量×100；可溶性固形物含量(total soluble solid，TSS)测定：使用手持糖度计测定。

颜色测定[10]：使用色差计测定。取约20g石榴籽粒平铺于一洁净培养皿中，测定5个不同点处的L^*(亮度)、a^*(红/绿)、b^*(黄/蓝)值，以5次测定的平均值作为被测样品的L^*、a^*、b^*值。

1.3.5 感官评价[11]

感官评价由6位经提前培训的评定员按9分制法进行打分。9=“特别喜欢”，7=“中等喜欢”，5=“既不喜欢也不讨厌”，3=“中等不喜欢”，1=“特别不喜欢”。

1.4 数据处理与分析

采用完全随机设计，所有数据均采用Excel统计和绘图，DPS v6.55软件进行统计分析。所得数据为3次“平均值±标准差”，采用Duncan's新复极差法进行分析，检验其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对包装袋内O_2和CO_2组成的影响

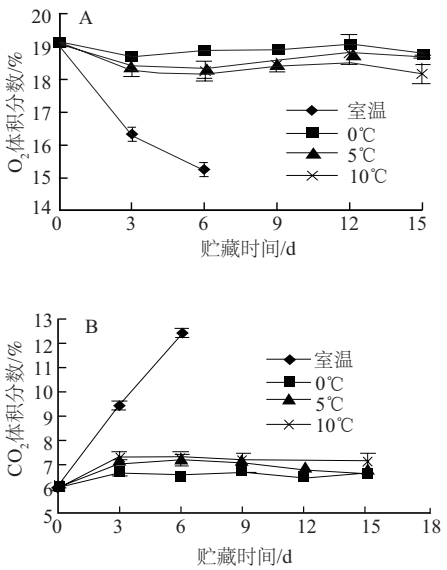


图1 贮藏期间包装袋内O_2(A)和CO_2(B)体积分数的变化趋势

Fig.1 Changing trend of O_2 (A) and CO_2 (B) concentrations during storage

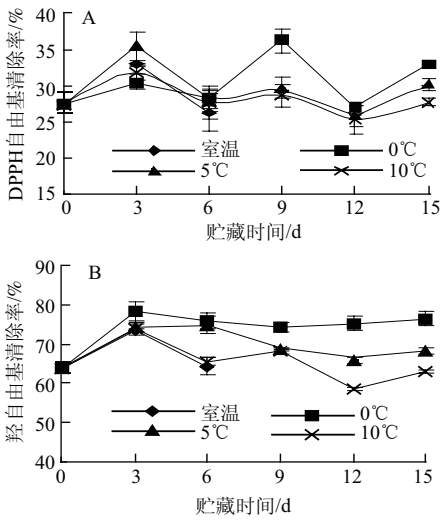
由图1可以看出，贮藏温度越高，包装袋中O_2体积分数越低，CO_2体积分数越高。其中，室温下贮藏的石榴籽粒包装袋中O_2、CO_2体积分数变化幅度极显著高于其他温度下贮藏的石榴籽粒($P<0.01$)。0℃处理保持了较高的O_2体积分数和较低的CO_2体积分数，且与5℃和10℃处理之间有显著性差异($P<0.05$)。贮藏前12d，5℃和10℃处理间无显著性差异，12d以后，5℃贮藏的石榴籽粒包装袋中O_2体积分数显著高于10℃处理，CO_2体积分数显著低于10℃处理($P<0.05$)。这说明随着贮藏时间的延长，低温(0℃和5℃)能够显著抑制鲜切石榴籽粒的呼吸代谢水平，这一研究结果与申琳等[3]研究结果一致，其中，0℃低温能更好的抑制石榴籽粒的呼吸作用。

2.2 贮藏温度对石榴籽粒自由基清除能力的影响

石榴由于富含多酚、单宁、花色苷等成分而具有显著的抗氧化活性[12]，对自由基具有较好的清除能力。石榴籽粒清除DPPH自由基的能力随贮藏时间的延长不断变化，没有明显的规律(图2A)，但总体而言，0℃贮藏的石榴籽粒其DPPH自由基清除率高于其他处理。Ayhan等[10]以聚丙烯盘结合BOPP(双向拉伸聚丙烯)膜包装石榴籽粒，

5℃贮藏时其总抗氧化能力(以DPPH自由基清除率表示)先增大后降低。Lopez-rubira等[13]对石榴籽粒进行紫外照射后以同样方式包装并贮藏，研究发现，贮藏期间总抗氧化能力没有明显变化。品种、成熟度、处理和包装方式等因素不同都可能对实验结果有较大影响。

由图2B可以看出，贮藏前期石榴籽粒对羟自由基的清除率先增大，3d后0℃贮藏的石榴籽粒一直保持较高的羟自由基清除率，而其他处理则呈现不同程度的降低，且贮藏温度越高，羟自由基清除率越小。由此可见，0℃贮藏更有利于保持石榴籽粒的抗氧化活性。



A.DPPH自由基；B.羟自由基。

图2 贮藏温度对自由基清除力的影响

Fig.2 Effect of storage temperature on radical scavenging capacity

2.3 贮藏温度对总酚和花色苷含量的影响

多酚是植物体内重要的次生代谢物质，参与许多生理过程，对鲜切果蔬的品质有极大的影响，许多酚类物质具有重要的营养和保健功能[14-15]。研究表明，天然石榴汁中含有丰富的多酚类物质[16]，对图3A进行分析可知，石榴中的总酚含量在贮藏期间虽有波动，但变化不大，除第3天贮藏在5℃的石榴籽粒中总酚含量高于其他处理外，贮藏过程中各处理间无明显差异($P>0.05$)。0℃贮藏的石榴籽粒总酚含量一直低于其他处理，这与在新鲜茎瘤芥[17]和鲜切马铃薯[18]上的研究成果相同。

花色苷是一种广泛分布在植物中的类黄酮，它赋予植物五彩缤纷的颜色。石榴籽粒的诱人色泽主要由花色苷决定，花色苷也是石榴汁的重要功能成分，与其营养和保健功能密切相关[19]，因此花色苷含量可以作为衡量石榴籽粒品质的一个重要指标。由图3B可知，室温条件下，花色苷含量不断降低，第6天显著低于其他处理，这可能是由于花色苷在较高的贮藏温度下更容易降解或聚合。5℃和10℃条件下，花色苷含量有较大波动，而在0℃条件花色苷则相对稳定。Gil等[20]也指出石榴籽粒在1℃条件贮藏7d花色苷含量无显著性变化，这与本实验得到的结论相一致。

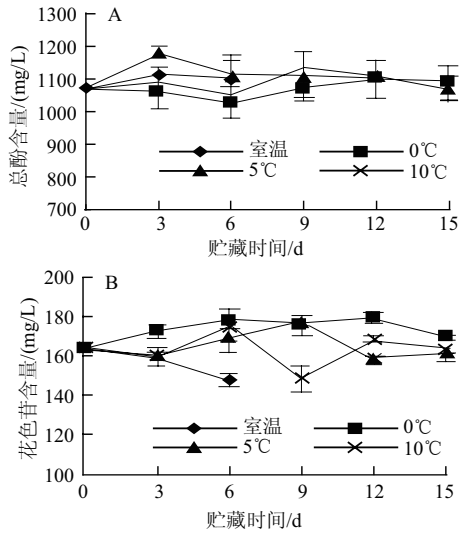


图3 贮藏温度对总酚(A)和花色苷(B)含量的影响

Fig.3 Effect of storage temperature on the contents of total phenols (A) and anthocyanins (B)

2.4 贮藏温度对石榴籽粒相对电导率的影响

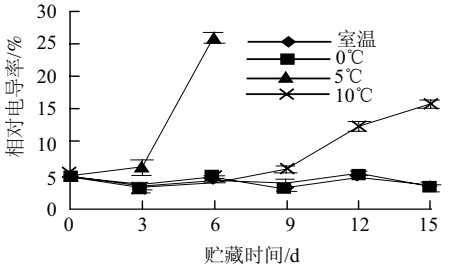


图4 贮藏温度对石榴籽粒相对电导率的影响

Fig.4 Effect of storage temperature on relative conductivity of pomegranate seeds

细胞膜透性的大小可以通过相对电导率大小来衡量，一般来说，相对电导率越大，细胞膜结构破坏的程度越大[21]。由图4可以看出，随着贮藏时间的延长，石榴籽粒在室温下其相对电导率迅速增大，第6天即达到26%，极显著高于其他处理($P<0.01$)，说明室温下石榴籽粒细胞膜破坏程度较高。10℃条件贮藏的石榴籽粒在6d后相对电导率开始增大，显著高于0℃和5℃贮藏的石榴籽粒($P<0.05$)，而0℃和5℃贮藏的石榴籽粒相对电导率始终维持在较低的水平。可见，0℃和5℃能够较好的保持细胞膜的完整性，从而延缓果实衰老。

2.5 贮藏温度对石榴籽粒质量损失率和可溶性固形物含量的影响

质量损失率是衡量石榴籽粒新鲜度的重要指标之一，石榴籽粒由于脱离了外皮的保护和胎座营养的供给，很容易失水，严重时出现籽粒萎缩，丧失商品性[3]。图5A

表明，随贮藏时间的延长，石榴籽粒的质量损失率均不断上升，其中，室温和10℃条件下贮藏的石榴籽粒质量损失率极显著高于其他两组处理($P<0.01$)，尤其是室温下贮藏的石榴籽粒，在第6天质量损失率高达0.98%。贮藏初期，0℃和5℃处理间无显著差异，但在第15天，0℃贮藏的石榴籽粒质量损失率极显著低于5℃处理($P<0.01$)。

图5B表明，室温贮藏的石榴籽粒TSS含量下降最快，其次为10℃贮藏的石榴籽粒。在第6天和第9天，0℃贮藏的石榴籽粒TSS含量显著高于其他处理($P<0.05$)。0℃贮藏的石榴籽粒TSS含量变化最小，在15d时由14.40%下降到14.17%，与初始值无显著差异($P>0.05$)。而5℃和10℃贮藏的石榴籽粒分别下降至14.03%和14.06%，显著低于初始值($P<0.05$)。可见，0℃能够有效地保持TSS含量，这是因为0℃能较好地抑制石榴籽粒的呼吸作用，从而减少物质损耗。

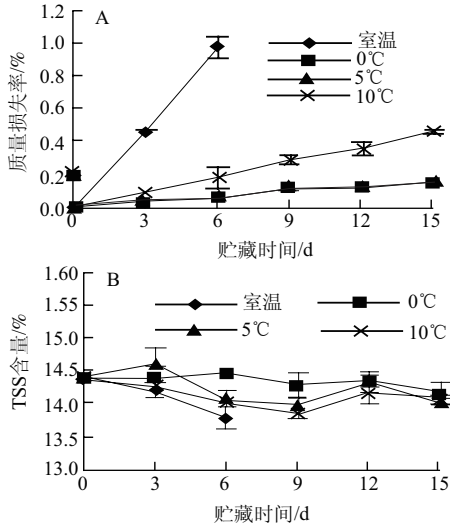


图 5 贮藏温度对石榴籽粒质量损失率(A)和可溶性固形物含量(B)的影响

Fig.5 Effect of storage temperature on weight loss rate (A) and soluble solid content (B) of pomegranate seeds

2.6 贮藏温度对石榴籽粒颜色的影响

表 1 贮藏温度对石榴籽粒颜色的影响

Table 1 Effect of storage temperature on the color of pomegranate seeds

	贮藏时间/d	0	3	6	9	12	15
*L**	室温	$22.91\pm0.79^{A}_{ab}$	$25.36\pm1.01^{A}_{a}$	—	—	—	—
	0℃	$22.91\pm0.79^{A}_{ab}$	$23.99\pm1.45^{A}_{a}$	$21.22\pm1.27^{A}_{b}$	$23.71\pm2.11^{A}_{ab}$	$22.60\pm2.00^{A}_{ab}$	$21.00\pm0.48^{B}_{b}$
	5℃	$22.91\pm0.79^{A}_{ab}$	$23.91\pm1.87^{A}_{a}$	$23.16\pm2.37^{A}_{ab}$	21.41 ± 0.87^{A}	$20.70\pm2.07^{A}_{ab}$	$23.25\pm0.99^{A}_{ab}$
	10℃	$22.91\pm0.79^{A}_{ab}$	$25.28\pm0.57^{A}_{a}$	$19.38\pm0.66^{A}_{c}$	$22.23\pm0.95^{A}_{b}$	$21.65\pm1.87^{A}_{b}$	$21.85\pm0.37^{AB}_{b}$
*a**	室温	$32.22\pm2.42^{A}_{a}$	$28.44\pm1.90^{A}_{a}$	—	—	—	—
	0℃	$32.22\pm2.42^{A}_{b}$	$27.99\pm0.21^{A}_{c}$	$44.78\pm0.63^{AB}_{a}$	$28.33\pm0.25^{A}_{c}$	$27.79\pm0.77^{A}_{c}$	$29.13\pm1.46^{A}_{c}$
	5℃	$32.22\pm2.42^{A}_{b}$	$28.48\pm1.74^{A}_{c}$	$42.74\pm2.01^{B}_{a}$	$28.55\pm0.84^{A}_{c}$	$27.5\pm0.87^{A}_{c}$	$27.87\pm0.72^{A}_{c}$
	10℃	$32.22\pm2.42^{A}_{b}$	$28.84\pm0.93^{A}_{b}$	$47.70\pm1.14^{A}_{ab}$	$29.90\pm0.02^{A}_{b}$	$25.07\pm0.31^{B}_{c}$	$29.57\pm1.92^{A}_{b}$
*b**	室温	$20.03\pm0.73^{A}_{a}$	$11.86\pm0.85^{A}_{b}$	—	—	—	—
	0℃	$20.03\pm0.73^{A}_{a}$	$11.25\pm0.45^{A}_{c}$	$5.55\pm2.01^{A}_{d}$	$13.70\pm0.70^{B}_{b}$	$15.07\pm2.23^{A}_{b}$	$9.84\pm0.67^{A}_{c}$
	5℃	$20.03\pm0.73^{A}_{a}$	$12.03\pm0.64^{A}_{c}$	$5.46\pm1.79^{A}_{d}$	$14.64\pm0.69^{AB}_{b}$	$14.16\pm0.48^{A}_{b}$	$10.26\pm1.41^{A}_{c}$
	10℃	$20.03\pm0.73^{A}_{a}$	$12.03\pm0.13^{A}_{c}$	$5.52\pm0.22^{A}_{c}$	$15.15\pm0.35^{A}_{b}$	$14.49\pm0.75^{A}_{b}$	$9.70\pm0.99^{A}_{c}$

注：每列中相同大写字母表示处理间差异不显著($P>0.05$)；每行中相同小写字母表示贮藏时差异不显著。

由表1看出，石榴籽粒的*L**、*a**、*b**值受贮藏温度影响较小，贮藏期间不同处理间没有明显差异。贮藏时间对*a**和*b**影响较大，随贮藏时间的延长，*a**先增后减，*b**先减后增，且均在第6天出现最值，即红色值最大，黄色值最小。*L**值(亮度)在整个贮藏期间变化不大，Ayhan等[10]对贮藏于5℃的不同气调包装的石榴籽粒进行研究也得到了相同的结论。

2.7 贮藏温度对石榴籽粒感官品质的影响

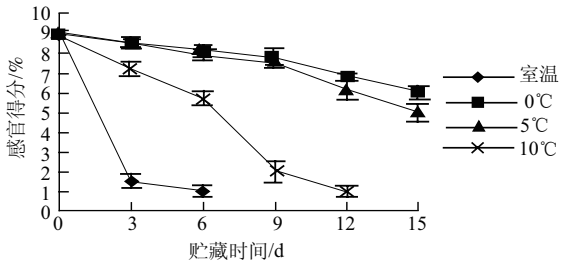


图 6 贮藏温度对石榴籽粒感官品质的影响

Fig.6 Effect of storage temperature on sensory quality of pomegranate seeds

由图6可见，随贮藏时间的延长，石榴籽粒的总体质量均不断下降，以室温和10℃贮藏的石榴籽粒下降最快，分别在第3天和第7天即达到消费者可接受上限(5分)，失去食用价值。贮藏在0℃和5℃的石榴籽粒在整个贮藏期品质下降缓慢，在第15天仍然具有较好的感官品质。可见，适宜的低温贮藏能够有效地保持石榴籽粒的贮藏品质，延长其货架期。

3 结论与讨论

低温贮藏是保持果蔬新鲜品质，延缓组织衰老的有效方法，但温度过低会发生冷害而影响果蔬的品质。一般说来，在一定的温度范围内，温度越低，呼吸强度越小。这是因为呼吸作用是在一系列酶的催化作用下进行的，适当的低温能够抑制某些酶的活性而减缓呼吸速率，减少物质消耗，进而保持果实品质，延长贮藏寿命。

从实验结果可知，0℃低温贮藏能使石榴籽粒保持较高的抗氧化能力，对李果实[21]、蓝莓[22]等的研究中也得到了相同的结论。这主要与低温保护果蔬中的活性物质有关。多酚和花色苷是石榴中两类重要的抗氧化活性物质。许多研究都发现果蔬中总酚含量与抗氧化活性之间具有显著相关性。本研究发现，不同温度贮藏的石榴籽粒中总酚含量没有显著差异。吴日章等[17]报道，贮藏温度越高，茎瘤芥中总酚含量也越高。这可能与不同种类果蔬中的酚类物质的含量与组成以及对温度的稳定性不同有关。温度对石榴中花色苷含量有较大影响。本实验表明，0℃贮藏时，石榴籽粒中花色苷含量相对稳定，随温度的升高，花色苷含量变化越大。郭松年等[19]研究了

石榴汁花色苷的热稳定性，并推导出其热降解动力学方程，有力支持了本研究结果。

本研究表明，0℃低温减弱了石榴籽粒的呼吸强度，提高了抗氧化能力，抑制了质量损失率和相对电导率的增加，更好地保持了可溶性固形物和花色苷含量。石榴籽粒在0℃贮藏条件下不但没有发生冷害，还更好地保持了其贮藏品质，故0℃是鲜食石榴籽粒适当的低温贮藏条件。

参考文献：

[1] 袁丽, 高瑞昌, 田永全. 石榴营养保健功能及开发利用[J]. 农业工程技术: 农产品加工, 2007(10): 38-40.

[2] 苑兆和, 尹燕雷, 朱丽琴. 石榴保健功能的研究进展[J]. 山东林业科技, 2008, 38(1): 91-94.

[3] 申琳, 王茜, 陈海荣, 等. 低温贮藏对鲜切石榴籽粒品质及活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4336-4340.

[4] 徐辉艳, 孙晓东, 张佩君, 等. 红枣汁中总酚含量的福林法测定[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 126-128.

[5] 胡淳淳, 邵建柱, 徐继忠, 等. 不同石榴品种及器官多酚含量的比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(2): 17-20

[6] 郭松年. 石榴汁花色苷稳定性、抗氧化及其组分鉴定[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.

[7] ELFALLEH W, NASRI N, MARZOUGUI N, et al. Physico-chemical properties and DPPH-ABTS scavenging activity of some local pomegranate (*Punica granatum*) ecotypes[J]. Int J Food Sci & Nutr, 2009, 60(Suppl 2): 197-210.

[8] 陈留勇, 孟宪军, 贾薇. 黄桃水溶性多糖的抗肿瘤作用及清除自由基、提高免疫活性研究[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 167-170.

[9] KIM J, LUO Y, TAO Y, et al. Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce[J]. J Sci Food & Agric, 2005, 85(10):1622-1630.

[10] AYHAN Z, ESTURK O. Overall quality and shelf life of minimally processed and modified atmosphere packaged “ready-to-eat” pomegranate arils[J]. Food Chemistry, 2009, 74(5): 399-405.

[11] MEILGAARD M, CIVILLE G, CARR B. Sensory evaluation techniques[M]. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press Inc, 1991: 354.

[12] GIM M I, TOMAS-BARBERAN F A, HESS-PIERCE B, et al. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing[J]. J Agric & Food Chem, 2000, 48(10): 4581-4589.

[13] LOPEZ-RUBIRA V, CONESA A, ALLENDE A, et al. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C[J]. Postharv Biol and Technol, 2005, 37(2): 174-185.

[14] 安红梅, 崔源清, 关文强, 等. 红地球葡萄采后生理变化与发病率的相关性[J]. 食品科技, 2008, 33(6): 231-235.

[15] 马齐, 秦涛, 王丽娥，等. 石榴的营养成分及应用研究现状[J]. 食品工业科技, 2007, 28(2): 237-238.

[16] 徐静, 韦京豫, 郭继芬, 等. 石榴汁中部分多酚类物质的分离鉴定[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 190-199.

[17] 吴日章, 刘丽丹, 曾凯芳. 贮藏温度对新鲜茎瘤芥品质和保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 328-332.

[18] 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 38-42

[19] 郭松年, 董周永, 孙海燕, 等. 石榴汁花色苷热稳定性及其降解动力学研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 256-259.

[20] GIL M I, MARTINEZ J A, ARTES F. Minimally processed pomegranate seeds[J]. Lebens Wissen Technol, 1996, 29(8): 708-713.

[21] 田密霞, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同温度热水处理对鲜切皇冠梨生理生化的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 261-263.

[22] 郭晓敏,安琳, 王友升, 等. 两种贮藏温度下“黑琥珀”李果实品质及不同部位抗氧化活性的变化规律[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 425-429.

[23] 王芳, 刘华, 陈文荣, 等. 贮藏温度对蓝莓活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2011, 32(2): 172-175.