不同保鲜剂对蓝莓保鲜效果的比较

张莉会，李志航，廖李，乔宇，张金木，陈学玲

（湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所，湖北武汉 430064）

摘要：为了延长蓝莓的贮藏期，本研究以蓝莓为原料，研究了丁香酚缓释保鲜、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜 5 种不同保鲜剂对其贮藏期品质的影响。结果显示，这 5 种保鲜剂能显著抑制蓝莓果实腐烂和质量损失率，有效缓解可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc 含量的降低，抑制 MDA 含量的上升，同时，可使蓝莓果实保持较高的 SOD 活力。贮藏 49 d 时，经丁香酚缓释结合气调包装的蓝莓腐烂率和失重率分别为 50.13%和 2.71%，可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc、花色苷含量分别为 7.06%、7.26 g/kg、4.14 g/100 g、0.93 g/100 g 和 117.48 mg/100 g，MDA 含量为 26.84 nmol/g，SOD 活力为 176.34 U/mL。与对照组相比，丁香酚缓释结合气调包装能延长蓝莓 14 d 贮藏期。结果表明，5 种保鲜处理对蓝莓具有一定的保鲜作用，其中丁香酚缓释结合气调包装保鲜方式最好。

关键词：蓝莓；保鲜剂；生理代谢；品质

文章篇号：1673-9078(2020)11-121-129 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0457

Comparison of Preservation Effects of Different Preservatives on Blueberry

ZHANG Li-hui, LI Zhi-hang, LIAO Li, QIAO Yu, ZHANG Jin-mu, CHEN Xue-ling

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: In order to extend the storage time of blueberry, five different preservative methods, including eugenol slow-release preservation, clove extract, ethanol fumigation, controlled atmosphere preservation and eugenol slow-release combined with controlled atmosphere preservation, were used to study the effects on the quality of blueberry during the storage. The results showed that the five preservative methods significantly inhibited the rot and quality loss rate of blueberry fruit, and effectively alleviated the decrease of soluble solids, titratable acid, reducing sugar, Vc content, inhibited the increase of MDA content. At the same time, SOD vitality of the blueberry fruit was maintained at high lever. When blueberries were stored for 49 days, the rot rate and weight loss rate of blueberries treated with eugenol slow-release and controlled atmosphere were 50.13% and 2.71%, respectively; the soluble solids, titratable acid, reducing sugar, Vc and anthocyanin contents were 7.06%, 7.26 g/kg, 4.14 g/100 g, 0.93 g/100 g and 117.48 mg/100 g, respectively; MDA content was 26.84 nmol/g and SOD activity was 176.34 U/mL. Compared with the control sample, eugenol slow-release combined with controlled atmosphere can extend the storage of blueberries for 14 days. The results indicated that the five kinds of preservation treatments have a certain preservation effect on blueberries, and the eugenol slow-release combined with controlled atmosphere was the best preserved method.

Key words: blueberry; preservative; physiological metabolism; quality

引文格式：

张莉会,李志航,廖李,等.不同保鲜剂对蓝莓保鲜效果的比较[J].现代食品科技,2020,36(11):121-129

ZHANG Li-hui, LI Zhi-hang, LIAO Li, et al. Comparison of preservation effects of different preservatives on blueberry [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 121-129

收稿日期：2020-05-14

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0400900;2017YFD0400904);农业部公益性行业(农业)科研专项-浆果贮藏与产地加工技术集成与示范项目(201303073)

作者简介：张莉会（1994-），女，在读研究生，研究方向：农产品加工与贮藏

通讯作者：廖李（1982-），女，副研究员，研究方向：农产品加工与贮藏

蓝莓果实中含有丰富的多酚、花青素、维生素和矿物质等营养物质。但蓝莓果皮较薄、并且成熟于高温多雨的夏季，采后果实质地柔软，容易产生机械损伤，被微生物侵染导致腐烂，造成了经济损失。

目前，蓝莓保鲜的方式主要集中在物理和化学方法，如有辐照保鲜[1]、不同包装材料保鲜[2]、涂膜保鲜[3]等。植物精油在果蔬保鲜方面不仅具有特殊的香气，还能抑制微生物、抗氧化等作用，且无毒无害、天然环保，能够减缓采后病害的发生。丁香精油组分中含有丁香酚、丁香酚乙酸酯、鼠李素等成分，并且丁香精油具有抗氧化、抑菌、抗炎、保鲜等药理活性，而丁香提取液具有广泛的抑菌谱，很好的热稳定性和酸碱稳定性，且提取操作方便简单。张洪军等[4]研究表明，丁香精油能减少可溶性固形物、蛋白质、Vc 等含量的流失，且在第 13 d 好果率依然达到 80%，可以延长其保鲜时间 5~6 d。李鹏霞等[5]采用丁香酚对苹果进行保鲜，结果表明：丁香酚不仅能降低苹果腐烂率、呼吸强度和褐变率，还能抑制可溶性固性物含量、可滴定酸等营养成分下降。丁香作为天然植物，安全无毒，具有较好的抑菌、抗病毒、抗氧化的药理作用[6]。有报道表明，丁香提取液可减少脐橙果实贮藏前期的腐烂率和失重率，推迟果实腐烂时间，不影响脐橙果皮色泽的变化，维持较高的营养品质，延缓果实衰老进程[7]。乙醇对细胞具有强渗透力，可导致微生物体细胞蛋白质永久变性，从而杀死微生物，减少果蔬营养成分消耗，延长果蔬贮藏期[8]，对猕猴桃[9]、樱桃[10]、双孢菇[11]等多种果蔬具有良好的保鲜效果。气调包装能通过调节保鲜环境的温度、相对湿度、气体成分，从而达到抑制果蔬呼吸作用、延长保鲜时间的目的[12]，这在猕猴桃[13]、蕨菜[14]以及杨梅[15]上都有应用。

目前，有关蓝莓贮藏保鲜技术研究大多采用单一的技术手段，本试验采用丁香酚附载硅藻土缓释对蓝莓进行保鲜处理，以期延长蓝莓贮藏时间、降低营养物质损失，为蓝莓保鲜剂的开发提供依据。本试验采用丁香酚缓释剂、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜以及丁香酚缓释结合气调保鲜等保鲜方式，研究其对蓝莓果实生理代谢和品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料

蓝莓由湖北金莓科技发展有限公司提供，品种为紫玉，果实采后立刻运送回实验室，挑选无腐烂、无机械损伤、大小和成熟度一致的果实进行实验。

丁香酚(纯度≥99%)购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2 仪器与设备

HL-2 手持糖度仪，上海沪西分析仪器厂；PB-10 pH 计，北京赛多利斯仪器有限公司；752 型紫外可见分光光度计，上海光谱仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同保鲜剂的制备

1.2.1.1 丁香酚缓释剂保鲜处理

移取 1 mL 丁香酚精油至 4 mL 吐温-20 溶液中，充分乳化，用无菌水稀释，定容至 100 mL。称取硅藻土 100 g 于 250 mL 烧杯中，用保鲜膜密封以防吸水，在电热恒温水槽中 60 ℃加热 5 min。将丁香酚溶液倒入装有硅藻土的烧杯中，并用玻璃棒充分搅拌，直至没有粘壁现象为止。

蓝莓装盒时，把 100 g 蓝莓平铺放入 PE 盒中，加入 3 g 丁香酚/硅藻土缓释剂，用 PE 保鲜膜密封，在(4±1) ℃下贮藏。

1.2.1.2 丁香保鲜液保鲜处理

称取粉碎后的丁香粉 15 g，加入 70%的乙醇 75 mL，40 ℃下水浴回流 2 h，过滤，4500 r/min 下离心 10 min，取上清液，40 ℃下旋转蒸发，再用体积为 70%的乙醇定容至 15 mL，取 10 mL，用蒸馏水稀释至 500 mL，配成体积分数为 2%的丁香保鲜液。然后将 100 g 蓝莓置于丁香保鲜液中浸泡 5 min(料液比 1:3)，沥干后将蓝莓每 100 g 一组放入 10×20 cm 的 PE 盒中，并用 PE 保鲜膜包裹，于(4±1) ℃贮藏。

1.2.1.3 乙醇熏蒸保鲜处理

采用 500 μL/L 的乙醇对蓝莓进行熏蒸处理，熏蒸 24 h，通风 1 h，再将蓝莓每 100 g 一组放入 10×20 cm 的 PE 盒中，并用 PE 保鲜膜包裹，于(4±1) ℃贮藏。

1.2.1.4 气调保鲜处理

将 100 g 蓝莓放入 10×20 cm 的 PE 盒中，并用 PE 保鲜膜包裹，充入 75% N_2+20% CO_2+5% O_2。

1.2.1.5 丁香酚缓释结合气调包装保鲜处理

称取 3 g 丁香酚缓释剂放入装有 100 g 蓝莓的 10×20 cm 的 PE 盒中，并用 PE 保鲜膜包裹，充入 75% N_2+20% CO_2+5% O_2。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 软化腐烂率

参考王亚楠等[16]的方法；按果实腐烂面积大小将果实划分为 4 级[17]，计算按式（1）计算：果实软化腐烂率按果实软化腐烂面积大小将果实划分为 4 级：0

级，无软化腐烂；1 级，软化腐烂面积小于果实面积的 10%；2 级，软化腐烂面积占果实面积的 10%~30%；3 级，软化腐烂面积大于果实面积的 30%，软化腐烂率按下式计算：

$$\text{软化腐烂率}(\%)=\frac{\Sigma(\text{软化腐烂级别}\times\text{该级果实数量})}{\text{软化腐烂级别}\times\text{总果实数量}}\times100\%$$

1.3.2 质量损失率

采用称量法进行测定，通过电子天平称出原料的质量，质量损失率按下式计算：

$$\text{质量损失率}\ (\%)=\frac{W_0-W_t}{W_0}\times100\%$$

式中：W_0-蓝莓的晾干后初始质量，g；W_t-蓝莓贮存时间为 t 时的质量，g。

1.3.3 可溶性固形物质量分数

将蓝莓用均质器匀浆，并通过纱布过滤，使用手持糖量计测定滤液可溶性固形物质量分数。

1.3.4 pH 测定

将蓝莓用均质器匀浆，过滤后使用 pH 计测定匀浆 pH 值。

1.3.5 可滴定酸含量测定

样品前处理：将蓝莓用均质器匀浆，取 10 g 蓝莓匀浆转移到 100 mL 容量瓶中，用无二氧化碳蒸馏水定容至刻度线，摇匀，静置 30 min 后过滤，滤液备用，即为可滴定酸待测液，待测液采用酸碱滴定法测定。

1.3.6 还原糖含量测定

样品前处理：将蓝莓用均质器匀浆，取 10 g 蓝莓匀浆转移到 100 mL 容量瓶中，用无二氧化碳蒸馏水定容至刻度线，摇匀，静置 30 min 后过滤，取滤液 10 mL 转移到 100 mL 容量瓶中，用蒸馏水定容至刻度线，即为还原糖待测液，待测液采用直接滴定法测定。

1.3.7 Vc 的测定

参照生物化学实验技术教程测定[18]，取 5 g 蓝莓于离心管中，加入 20 g/L 三氯乙酸溶液 5 mL，匀浆后，在 4500 r/min 下离心 25 min，滤液备用。准确吸取 0.50 mL 滤液于 10 mL 比色管中，空白对照以加入 20 g/L 三氯乙酸溶液 2 mL，按标准曲线的制作步骤，加入各种试剂，测量吸光度。从标准曲线（y=0.0142x+0.0116，R^2=0.9991）上查出和计算试液中 Vc 的含量。

1.3.8 花色苷含量的测定

采用陈杭君等[19]的方法，略有修改，具体操作如下。取 5 g 样品，加入 5 mL 水、20 mL 70% pH 3.0 的酸性乙醇溶液，在 40 ℃下水浴 2 h，提取至提取液无色，过滤后备用。采用 pH 差示法测其花色苷的含量，取 2 mL 提取液于 25 mL 比色管中，用 pH 1.0 缓冲液（0.2 mol/L KCl-0.2 mol/L HCl）稀释至 10 mL 刻度线处，另取 2 mL 提取液于 25 mL 比色管中，用 pH 4.5 缓冲液（1 mol/L NaAC-1 mol/L HCl-H_2O）稀释至 10 mL 刻度线处，在 510 nm 处测量吸光度值。根据下式计算总花色苷含量：

$$\text{花色苷含量（mg/100g）}=\frac{(A_0-A_1)\times V\times M\times DF}{\varepsilon\times\text{m}}\times100\%$$

式中：A_0-被测样品溶液分别在 pH 1.0 时 510 nm 处的吸光值；A_1-被测样品溶液分别在 pH 1.0、pH 4.5 时 510 nm 处的吸光值；V-被测样品提取液液总体积，mL；DF-稀释倍数；M-484.82 g/mol（矢车菊-3-葡萄糖苷的相对分子质量）；ε-24825 L/(mol·cm)（矢车菊-3-葡萄糖苷的在 510 nm 处的摩尔消光系数）。

1.3.9 丙二醛（MDA）含量、超氧化物歧化酶（SOD）活力测定

样品前处理：将蓝莓用均质器匀浆，取 10 g 蓝莓匀浆转移到 100 mL 容量瓶中，用无二氧化碳蒸馏水定容至刻度线，摇匀，静置 30 min 后过滤，滤液即为待测液。滤液分别采用丙二醛、超氧化物歧化酶试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定。

1.4 数据处理及统计分析

试验数据为 3 次重复试验的平均值，用 SPSS 19 软件进行“one-way ANOVA”差异显著性分析。用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 不同保鲜方法对蓝莓软化腐烂率的影响

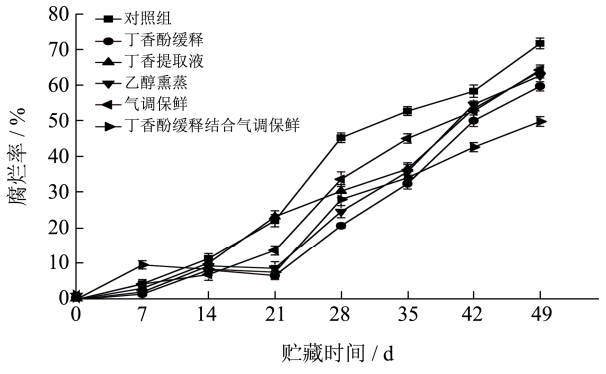


图 1 不同保鲜液对蓝莓软化腐烂率的影响

Fig.1 Effect of different preservatives on softening and rotting rate of Blueberry

果实腐烂率是判断贮藏效果的主要感官指标。不同的保鲜剂对采后蓝莓果实贮藏期间的腐烂率均有明显的影响，实验结果如图 1。由图可知，贮藏期间对照组果实腐烂率呈现快速上升趋势，第 28 d 腐烂率已达到 45.60%，出现明显腐烂，而丁香酚缓释结合气调

保鲜处理的蓝莓腐烂率上升缓慢，至贮藏 49 d 为 50.13%。贮藏到第 49 d 时，丁香酚缓释保鲜、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜和对照组组蓝莓果实腐烂率分别为 60.08%、64.17%、62.98%、64.59%、50.13%和 72.02%，其中丁香酚缓释和丁香酚缓释结合气调保鲜处理的效果较好，其保鲜效果显著优于丁香提取液、气调、乙醇熏蒸（p<0.05）。原因可能是丁香酚能抑制微生物的生长繁殖，保护细胞壁与细胞膜结构的完整性，从而起到保持蓝莓的正常代谢和贮藏品质的效果[20]；与此同时，气调保鲜通过调节保鲜环境的温度、相对湿度、气体成分，抑制蓝莓呼吸作用，从而达到保鲜效果，延长贮藏期。总体上丁香酚缓释结合气调保鲜处理与对照相比，可延长蓝莓果实 14 d 的货架期。

2.2 不同保鲜方法对蓝莓质量损失率的影响

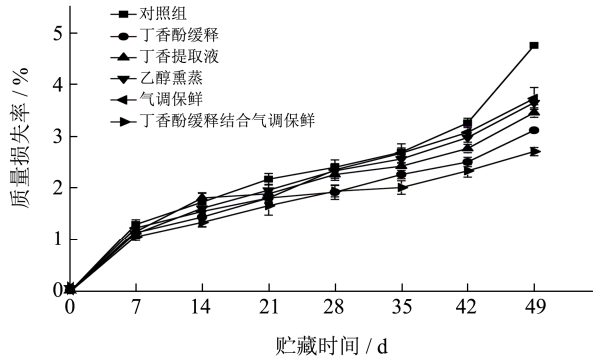


图 2 不同保鲜方法对蓝莓质量损失率的影响

Fig.2 Effect of different preservation methods on the quality loss rate of Blueberry

果实在贮藏期间的失重主要由失水和呼吸作用引起的。随着果实的成熟、蒸腾作用和呼吸作用的进行，果实会逐步散失水分，造成果实的萎焉，光泽度的下降，因此果实质量损失率的大小也是判断保鲜效果的一个重要指标，实验结果如图 2 所示。由图可知，随贮藏时间的延长，蓝莓质量损失率总体呈升高趋势。贮藏期 49 d 时，不同处理组蓝莓的质量损失率的大小关系为：对照组（4.75%）>气调保鲜组（3.73%）>乙醇熏蒸组（3.65%）>丁香提取液组（3.46%）>丁香酚缓释组（3.12%）>丁香酚缓释结合气调保鲜（2.71%）。这可能是由于贮藏时期丁香酚逐渐释放，降低了蓝莓蒸腾作用引起的水分流失，以及微生物繁殖导致的品质损失，将失重率维持在较低的水平[21]。而气调保鲜中气体比例对减缓蓝莓的呼吸强度作用，减少了蕨菜组织内水分的流失和养分的消耗，从而降低了其失重[22]。由此可见，丁香酚缓释结合气调保鲜能最大程度减缓蓝莓贮藏期间的质量损失。

2.3 不同保鲜方法对蓝莓可溶性固形物质量分数的影响

可溶性固形物主要是指可溶性糖类，是构成果实风味的重要物质。其含量越高，食用品质则越好，实验结果如图 3 所示。由图 3 可知，蓝莓的可溶性固形物含量随着在贮藏期的延长，其含量呈先上升后逐渐下降。贮藏第 49 d 时，5 种保鲜处理方法组的可溶性固形物含量显著高于对照组，对照组、丁香酚缓释组、丁香提取液组、乙醇熏蒸组、气调保鲜组和丁香酚缓释结合气调保鲜处理蓝莓可溶性固形物含量分别为 5.54%、6.95%、6.82%、6.23%、6.67%和 7.06%。在贮藏中期，对照组可溶性固形物含量下降速度较快，而其他通过保鲜剂处理过的组别，可溶性固形物下降速度明显小于对照组，有延缓可溶性固形物消耗的效果。这是由于在贮藏过程中，一方面高分子碳水化合物的水解转化为可溶性糖，另一方面可溶性糖由于呼吸作用被不断消耗，综合作用的结果使可溶性固形物质量分数在贮藏初期上升，后期呼吸消耗占优势使其趋于下降[23]。这 5 种保鲜剂的处理有效降低蓝莓呼吸和代谢速率，从而减少了其可溶性糖的消耗[24,25]。

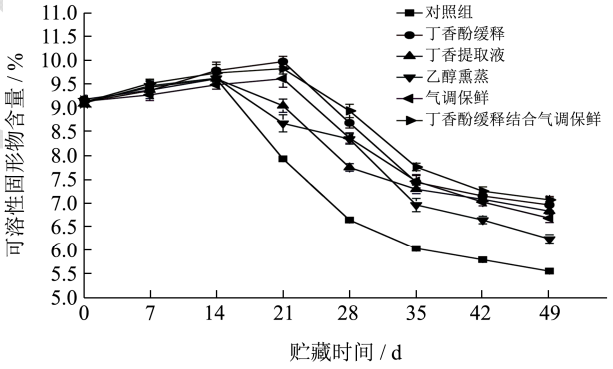


图 3 不同保鲜方法对蓝莓可溶性固形物质量分数的影响

Fig.3 Effect of different preservation methods on the content of soluble solids in Blueberry

2.4 不同保鲜方法对蓝莓可滴定酸含量的影响

蓝莓在贮藏过程中，可滴定酸被作为呼吸底物所消耗，因此可滴定酸含量可作为判断蓝莓保鲜效果的一个指标[26]，实验结果如图 4 所示。由图可知，经不同保鲜方法处理的蓝莓可滴定酸含量呈现前期总体降低趋势，后期普遍升高的趋势。由于在果实贮藏过程中，有机酸可作为蓝莓果实呼吸代谢的底物，而被不断地消耗，因此可滴定酸含量呈现降低趋势。从第 35

d 开始果实中的可滴定酸含量又普遍开始升高，这是由于微生物的代谢和生长繁殖活动产生了酸性代谢产物，使蓝莓果实可滴定酸含量上升。在贮藏第 49 d 时，丁香酚缓释、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜组和对照组蓝莓可滴定酸含量分别为 7.39 g/kg、6.94 g/kg、7.86 g/kg、7.63 g/kg、7.72 g/kg 和 6.72 g/kg。程赛等[27]研究表明，植物精油能保持草莓果实较高的可滴定酸含量。丁香酚缓释结合气调保鲜处理能显著抑制可滴定酸含量的下降（p<0.05），维持蓝莓的品质。

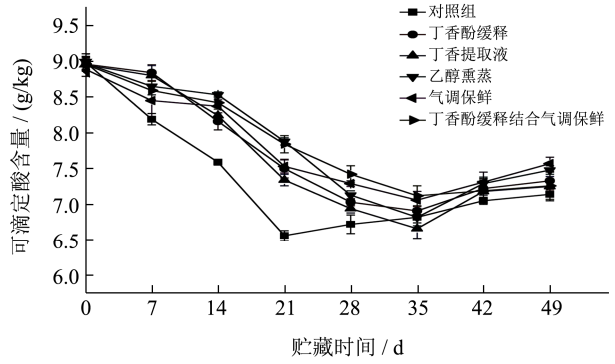


图 4 不同保鲜方法对蓝莓可滴定酸含量的影响

Fig.4 Effect of different preservation methods on titratable acid content of Blueberry

2.5 不同保鲜方法对蓝莓还原糖含量的影响

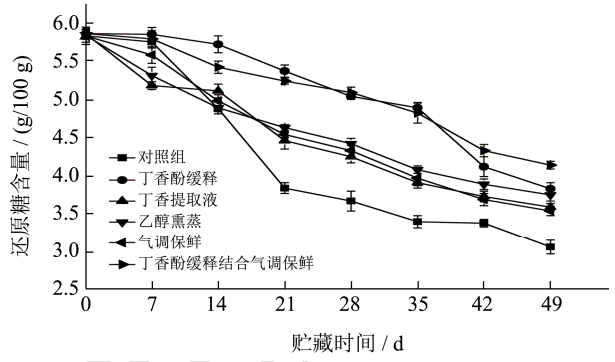


图 5 不同保鲜方法对蓝莓还原糖含量的影响

Fig.5 Effect of different preservation methods on reducing sugar content of Blueberry

果实在贮藏过程中，还原糖呈总体下降的趋势，这是因为果实在采收后继续进行呼吸代谢，但由于脱离了母体，不能再获得营养成分[28]。还原糖是果实呼吸作用的底物，在呼吸过程中释放出能量以维持其正常生理活动，还原糖含量越低，说明呼吸代谢越弱，果蔬的鲜度越低。实验结果如图 5 所示，在蓝莓贮藏过程中，还原糖含量逐渐减少，对照组还原糖含量下降速率较快，而与对照组相比较，经过不同保鲜方法处理的蓝莓，其还原糖含量降低较慢。当贮藏到第 49 d 时，对照组还原糖含量最低，为 3.06%，丁香酚缓释保鲜组还原糖含量为 3.83%，丁香提取液组还原糖含量为 3.59%，乙醇组还原糖含量为 3.75%，气调保鲜组还原糖含量为 3.54%，丁香酚缓释结合气调保鲜组还原糖含量为 4.41%。这与何靖柳等[29]植物精油对“红阳”猕猴桃低温贮藏保鲜效果的研究具有相同趋势。由此可见，说明这 5 种保鲜剂能抑制蓝莓果实还原糖含量的降低，其中，丁香酚缓释结合气调保鲜效果最好。

2.6 不同保鲜方法对蓝莓 Vc 含量的影响

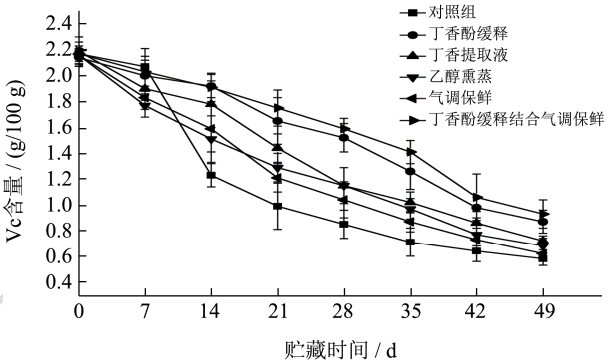


图 6 不同保鲜方法对蓝莓 Vc 含量的影响

Fig.6 Effect of different preservation methods on VC content of Blueberry

Vc 是水果果实中一种重要的营养成分，也是衡量果实新鲜程度的一个重要指标。Vc 作为还原型物质，在果实贮藏过程中容易以各种形式降解，实验结果如图 6 所示。不同处理的蓝莓其 Vc 含量均随着冷藏时间的延长呈下降趋势，这是由于随着贮藏时间的延长，果实成熟趋于衰老，Vc 含量逐渐分解。贮藏至第 49 d 时，对照组蓝莓中 Vc 含量最低为 0.58 g/100 g，显著低于各处理组，丁香酚缓释结合气调保鲜处理的蓝莓 Vc 含量为 0.93 g/100 g，显著高于其他保鲜处理（p<0.05）。丁香酚缓释结合气调包装能够有效的调节气体和水分的交换，丁香中含有具有抗氧化性的黄酮、多酚等物质，可以清除自由基从而保护 Vc 不被氧化[30]，这已经在多种水果中报道，例如新余蜜橘[31]。而 5 种保鲜处理方法均可在不同程度上减缓 Vc 含量的下降，其中以丁香酚缓释结合气调保鲜处理效果最好。

2.7 不同保鲜方法对蓝莓 MDA 含量的影响

由活性氧自由基引发的膜脂过氧化反应不但对膜的结构和功能造成伤害，其反应产物 MDA 也会去攻击膜、核酸、蛋白质等大分子物质，使膜结构遭到破坏，透性增加[32]。从图 7 可看出，随着蓝莓果实贮藏时间的延长，所有处理组的 MDA 含量均呈现不断增

加的趋势。当冷藏到第 30 d 时，对照组蓝莓中 MDA 含量为 41.43 nmol/g，丁香酚缓释、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜组较对照组分别降低了 12.77 nmol/g、5.59 nmol/g、9.02 nmol/g、4.94 nmol/g 和 14.59 nmol/g。这与生姜精油对秋葵的保鲜效果一致[33]。由此可见，丁香酚缓释结合气调保鲜能最大程度抑制蓝莓果实贮藏期间过氧化作用和保持细胞膜结构的作用，具有一定的保鲜作用。

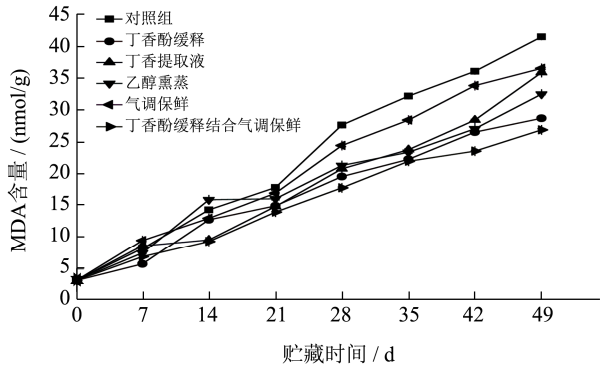


图 7 不同保鲜方法对蓝莓 MDA 含量的影响

Fig.7 Effect of different preservation methods on MDA content of Blueberry

2.8 不同处理方法对蓝莓 SOD 活性的影响

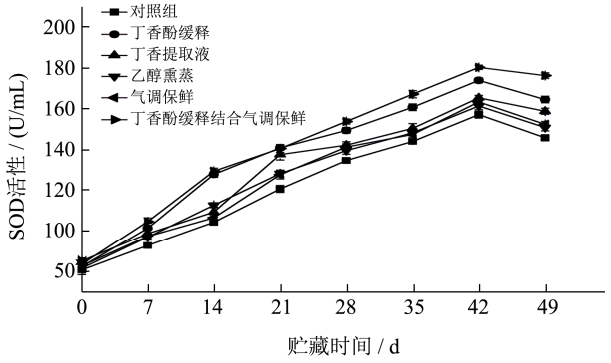


图 8 不同保鲜方法对蓝莓 SOD 活性的影响

Fig.8 Effect of different preservation methods on SOD activity of Blueberry

SOD 是果实后熟衰老过程中的保护性酶类，可特异性清除超氧阴离子自由基，从而减少自由基对细胞膜的损伤，达到延缓细胞衰老的目的[34]。从图 8 可知，不同保鲜剂处理后，其 SOD 活性存在一定的差异，尤其是丁香酚缓释和丁香酚缓释结合气调保鲜处理，贮藏一段时间后，SOD 活性上升较为明显，贮藏 42 d 后，分别较对照组高 16.81 U/mL 和 23.23 U/mL。贮藏第 49 d，对照组、丁香酚缓释、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜组蓝莓 SOD 活性分别为 145.82 U/mL、164.61 U/mL、158.83 U/mL、150.80 U/mL、152.35 U/mL、176.34 U/mL。经 5 种保鲜方法处理后的蓝莓 SOD 活性均高于对照组。这与胡建燃等[35]的研究结果相似，丁香精油具备一定的抗氧化能力，产生较少自由基，能够减缓对细胞膜和生物大分子等的破坏程度，维持了较好的细胞结构。其中，蓝莓经丁香酚缓释结合气调保鲜处理后，能减缓其衰老，具有较好的保鲜作用。

2.9 不同处理方法对蓝莓花色苷含量的影响

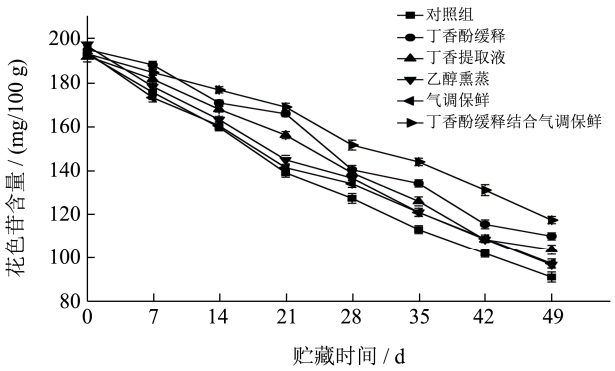


图 9 不同保鲜方法对蓝莓花色苷含量的影响

Fig.9 Effect of different preservation methods on anthocyanin content of Blueberry

花色苷是蓝莓中天然的水溶性色素物质，是蓝莓中主要的功能性成分。从图 9 可以看出，在整个贮藏过程中，蓝莓花色苷含量呈现总体下降趋势，贮藏期间，处理组蓝莓的花色苷含量均高于对照组。在贮藏 49 d 时，对照组、丁香酚缓释、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜组蓝莓的花色苷含量分别为 91.26 mg/100 g，110.05 mg/100 g，103.80 mg/100 g，96.87 mg/100 g，97.39 mg/100 g 和 117.48 mg/100 g。由此可见，与对照组相比，保鲜剂均能够延缓蓝莓花色苷含量的下降，其中丁香酚缓释结合气调保鲜用效果更好。丁香酚具有抑菌性和抗氧化性[36]，而气调包装能调节气体成分，其一方面可以有效地抑制微生物对蓝莓表皮的侵害，另一方面可以延缓蓝莓衰老，因此花色苷含量相对对照组变化较为平缓。

3 结论

本实验以蓝莓为原料，丁香酚缓释、丁香提取液、乙醇熏蒸、气调保鲜、丁香酚缓释结合气调保鲜为保鲜剂对蓝莓进行保鲜处理。在冷藏过程中，与对照相比，5 种保鲜剂均抑制了蓝莓贮藏后期可溶性固形物、可滴定酸、还原糖以及 Vc 等营养成分和 SOD 抗氧化酶类活性的下降，降低了蓝莓果实腐败和果实质量损失和 MDA 含量，一定程度上保持了蓝莓果实的感官品质，有效地减少了蓝莓果实的经济损失。贮藏 49 d

时，经丁香酚缓释结合气调保鲜处理的蓝莓保鲜效果最好，腐烂率和失重率分别为 50.13%和 2.71%，可溶性固形物、可滴定酸、还原糖、Vc、花色苷含量分别为 7.06%、7.26 g/kg、4.14 g/100 g、0.93 g/100 g 和 117.48 mg/100 g，MDA 含量为 26.84 nmol/g、SOD 活力为 176.34 U/mL。对照相比，丁香酚缓释结合气调保鲜明显减缓了果实的衰老，延长蓝莓贮藏保鲜期 14 d。

参考文献

[1] 龙明秀,吴凤玉,田竹希,等.60Co-γ 辐照处理对蓝莓保鲜效果的影响[J].核农学报,2019,33(11):2165-2176
LONG Ming-xiu, WU Feng-yu, TIAN Zhu-xi, et al. The effect of 60Co -γ irradiation on the preservation of blueberry [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2019, 33(11): 2165-2176

[2] 王洪琳,王瑞,苏伟.不同厚度保鲜膜处理对蓝莓鲜果采后贮藏品质的影响研究[J].山地农业生物学报,2019,4:70-75
WANG Hong-lin, WANG Rui, SU Wei. Study on the effect of different thickness of preservative film on the storage quality of fresh blueberry fruits [J]. Journal of Mountain Agricultural Biology, 2019, 4: 70-75

[3] 张纪娟,王建华,郭天雨.羟乙基纤维素/壳聚糖涂膜液对蓝莓的保鲜效果研究[J].包装学报,2015, 2:44-48
ZHANG Ji-juan, WANG Jian-hua, GUO Tian-yu. Study on the fresh-keeping effect of hydroxyethyl cellulose/chitosan coating solution on Blueberry [J]. Journal of Packaging, 2015 (2): 44-48

[4] 张洪军,高康.丁香精油微胶囊对桃果实保鲜效果的研究[J].包装与食品机械,2015,33(3):19-23
ZHANG Hong-jun, GAO Kang. Study on preservation effect of clove essential oil microcapsule on peach fruit [J]. Packaging and Food Machinery, 2015,33 (3): 19-23

[5] 李鹏霞,邵世达,冯俊涛,等.丁香精油和丁香酚对苹果贮藏期病害及果实品质的影响[J].农业工程学报,2006,22(6):173-177
LI Peng-xia, SHAO Shi-da, FENG Jun-tao, et al. Effects of clove essential oil and eugenol on apple storage diseases and fruit quality [J]. Acta Agro Engineering, 2006, 22 (6): 173-177

[6] 翟华强,王双艳,张硕峰,等.黄连、丁香外用药理作用研究[J].中国实验方剂学杂志,2011,11:192-195
ZHAI Hua-qiang, WANG Shuang-yan, ZHANG Shuo-feng, et al. Study on the external pharmacology of Coptis chinensis and Syringa [J]. Chinese Journal of Experimental Pharmacology, 2011, 11: 192-195

[7] 曾慧,戴燕玲,杨文侠.丁香提取液对脐橙贮藏保鲜效果研究[J].赣南师范大学学报,2019,6:94-97
ZENG Hui, Dai Yan-ling, YANG Wen-xia. Study on the effect of clove extract on the preservation of navel orange [J]. Journal of Gannan Normal University, 2019, 6: 94-97

[8] 吴娟,毕生雷,张成明,等.乙醇及其提取物在食品保鲜中的应用进展[J].食品研究与开发,2016,37(18):221-224
WU Juan, BI Sheng-lei, ZHANG Cheng-ming, et al. Application progress of ethanol and its extract in food preservation [J]. Food Research and Development, 2016, 37 (18): 221-224

[9] 宋卤哲,胡文忠,姜爱丽,等.乙醇熏蒸处理对中华猕猴桃生理代谢及贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(23):266-271
SONG Lu-Zhe, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effects of ethanol fumigation on physiological metabolism and storage quality of Chinese kiwifruit [J]. Food Industry Technology, 2019, 40(23): 266-271

[10] 杨晓哲,胡文忠,姜爱丽,等.乙醇熏蒸对采后甜樱桃的保鲜效果[J].食品工业科技,2020,41(5):239-244,249
YANG Xiao-zhe, HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, et al. Effect of ethanol fumigation on postharvest sweet cherry preservation [J]. Food Industry Technology, 2020, 41 (5): 239-244, 249

[11] 张洪翠,李云云,靳苗苗,等.乙醇熏蒸对双孢蘑菇保鲜品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(6):187-194
ZHANG Hong-cui, LI Yun-yun, JIN Miao-miao, et al. The effect of ethanol fumigation on the preservation quality of Agaricus bisporus [J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44 (6): 187-194

[12] 吕恩利,陆华忠,杨洲,等.果蔬气调保鲜运输技术发展研究[J].农机化研究,2010,32(6): 225-228
LYU En-li, LU Hua-zhong, YANG Zhou, et al. Research on the development of air-conditioned fruits and vegetables transportation technology [J]. Agricultural Mechanization Research, 2010, 32 (6): 225-228

[13] 康慧芳,乔勇进,刘晨霞,等.气调贮藏对“徐香”猕猴桃采后保鲜效果影响[J].食品工业科技,2020,41(2):279-282,287
KANG Hui-fang, QIAO Yong-jin, LIU Chen-xia, et al. Effect of controlled atmosphere storage on Postharvest preservation of "Xuxiang" kiwi fruit [J]. Food Industry Technology, 2020, 41 (2): 279-282, 287

[14] 郑权,丁云闪,崔琳琳,等.不同气调包装对蕨菜保鲜效果的影响[J].现代食品科技,2019,35(4):103-108
ZHENG Quan, DING Yun-shan, CUI Lin-lin, et al. The effect of different modified atmosphere packaging on the

fresh-keeping effect of *Pteridium aquilinum* [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35 (4): 103-108

[15] 蒋巧俊,郑永华,徐静,等 杨梅气调贮藏及运输包装研究进展[J].食品与机械,2015,31(5):261-265
JIANG Qiao-jun, ZHENG Yong-hua, XU Jing, et al. Research progress in controlled atmosphere storage and transport packaging of Bayberry [J]. Food and Machinery, 2015, 31 (5): 261-265

[16] 王亚楠,胡花丽,古荣鑫,等.不同薄膜包装对桑葚采后品质的影响[J].食品科学,2014,35(18):224-229
WANG Ya-nan, HU Hua-li, GU Rong-xin, et al. The effect of different film packaging on Mulberry postharvest quality [J]. Food Science, 2014, 35 (18): 224-229

[17] 魏明,赵博.不同强度的冷激处理对草莓保鲜效果的研究[J].食品科学,2008,29(2):415-418
WEI Ming, ZHAO Bo. Study on the effect of different intensity of cold shock on strawberry preservation [J]. Food Science, 2008, 29(2): 415-418

[18] 赵亚华,高向阳.生物化学实验技术教程[M].广州:华南理工大学出版社,2000
ZHAO Ya-hua, GAO Xiang-yang. Biochemistry Experimental Technology Course [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2000

[19] 陈杭君,王翠红,郜海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2013,46(6):1230-1236
CHEN Hang-jun, WANG Cui-hong, GAO Hai-yan, et al. Effects of different packaging methods on storage quality and antioxidant activity of blueberry [J]. China Agricultural Science, 2013,46 (6): 1230-1236

[20] Kamimura, Juliane A, Santos, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of carvacrol microencapsulated in hydroxypropyl-*β*-cyclodextrin [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 57(2): 701-709

[21] S Leyman Polat, Hasan Fenercioglu, Mehmet G CL. Effects of metal nanoparticles on the physical and migration properties of low density polyethylene films [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 229: 32-42

[22] 郑权,丁云闪,崔琳琳,等.不同气调包装对蕨菜保鲜效果的影响[J].现代食品科技, 2019,35(4):103-108
ZHENG Quan, DING Yun-shan, CUI Lin-lin, et al. The effect of different modified atmosphere packaging on the fresh-keeping effect of bracken [J]. Modern Food Technology, 2019, 35 (4): 103-108

[23] 郭东起,侯旭杰.冬枣的生物涂膜保鲜研究[J].食品研究与开发,2013,34(9):98-103
GUO Dong-qi, HOU Xu-jie. Study on biological coating preservation of winter jujube [J]. Food Research and Development, 2013, 34 (9): 98-103

[24] 徐双双,许剑锋.丁香精油对鲜切杭白菜保鲜效果影响[J].食品与发酵工业,2020,46(12):220-224
XU Shuang-shuang, XU Jian-feng. Effects of clove essential oil on Fresh-keeping of fresh cut Chinese cabbage [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(12): 220-224

[25] 李奕星,李芬芳,陈娇,等.3 种植物精油对采后红毛丹的保鲜作用[J].热带作物学报,2018,39(1):168-173
LI Yi-xing, LI Fen-fang, CHEN Jiao, et al. Fresh-keeping effect of 3 essential oils on Postharvest Rambutan [J]. Journal of Tropical Crops 2018, 39 (1): 168-173

[26] 张倩,辛力,亓雪龙,等.肉桂精油对甜樱桃果实品质和货架期的影响[J].核农学报,2015,29(9):1737-1742
ZHANG Qian, XIN Li, QI Xue-long, et al. Effect of cinnamon essential oil on the quality and shelf life of sweet cherry fruit [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2015, 29 (9): 1737-1742

[27] 程赛,邵兴锋,郭安南,等.茶树油熏蒸对草莓采后病害和品质的影响[J].农业工程学报,2011,27(4):383-388
CHENG Sai, SHAO Xing-feng, GUO An-nan, et al. Effects of tea tree oil fumigation on postharvest diseases and quality of strawberry [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2011, 27 (4): 383-388

[28] 张莉会,乔宇,胡杨,等.硅藻土附载丁香酚缓释处理对不同品种草莓品质影响的比较[J].现代食品科技,2019,35(2):94-101
ZHANG Li-hui, QIAO Yu, HU Yang, et al. Comparison of the effects of slow release of eugenol on the quality of different strawberry varieties [J]. Modern Food Technology, 2019, 35 (2): 94-101

[29] 何靖柳,刘继,杜小琴,等.植物精油对“红阳”猕猴桃低温贮藏保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2015,36(9):320-326
HE Jing-liu, Liu Ji, DU Xiao-qin, et al. Effect of plant essential oil on the low temperature storage and fresh-keeping effect of "Hongyang" kiwifruit [J]. Food Industry Technology, 2015, 36 (9): 320-326

[30] 张彩芳,王宏慧,任亚敏.植物源防腐剂丁香的精制及抗氧化性研究[J].粮食与食品工业,2013,20(4):62-66
ZHANG Cai-fang, WANG Hong-hui, REN Ya-min. Study on refining and antioxidant properties of plant preservative clove[J].Food and Food Industry, 2013, 20 (4): 62-66

[31] 陈楚英,陈明,付永琦,等.丁香提取液可食性复合涂膜对新

余蜜橘常温保鲜效果的影响[J].现代食品科技,2014,30(2): 117-123
CHEN Chu-ying, CHEN Ming, FU Yong-qi, et al. Effect of edible compound coating of clove extract on the fresh-keeping effect of Xinyu tangerine at room temperature [J]. Modern Food Technology, 2014, 30(2): 117-123

[32] 李江阔,张鹏,关筱歆,等.1-MCP 结合 ClO_2 处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J].食品科学,2012,33(22):302-307
LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, GUAN Xiao-xin, et al. Effect of 1-MCP combined with ClO_2 treatment on physiological quality of Red Globe Grape during ice temperature storage [J]. Food Science, 2012, 33 (22): 302-307

[33] 宋文龙,李洋洋,郜海燕,等.生姜精油微胶囊薄膜包装对秋葵保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(8):142-148
SONG Wen-long, LI Yang-yang, GAO Hai-yan, et al. Effect of ginger essential oil microcapsule film packaging on okra preservation [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 142-148

[34] 曹森,王瑞,钱波,等.1-MCP 对“贵长”猕猴桃模拟运输后货架品质影响研究[J].食品工业科技,2016,37(6):335-340
CAO Sen, WANG Rui, QIAN Bo, et al. Study on the effect of 1-MCP on the shelf quality of "Guichang" kiwifruit after simulated transportation [J]. Food Industry Technology, 2016, 37 (6): 335-340

[35] 胡建燃,李平,铁军,等.紫丁香花精油的抗氧化和抗肿瘤活性研究[J].生物技术通报,2019,35(12):16-23
HU Jian-ran, LI Ping, TIE Jun, et al. Antioxidant and antitumor activities of lilac essential oil [J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35 (12): 16-23

[36] 马莎莎,赵震宇,刘平怀,等.丁香不同提取方法提取物的抗氧化活性[J].精细化工,2018,35(2):218-227
MA Sha-sha, ZHAO Zhen-yu, LIU Ping-huai, et al. Antioxidant activities of extracts from different extraction methods of Syringa [J]. Fine Chemicals, 2018, 35 (2): 218-227

（上接第 35 页）

[28] 郭晓,郭蓉娟,邢佳,等.宁心安神方调控失眠大鼠 Glu/GABA-Gln 代谢环路失衡的机制研究[J].北京中医药大学学报,2017,40(5):413-419
GUO Xiao, GUO Rong-juan, XING Jia, et al. Mechanism of Ningxin Anshen Fang in regulation of unbalanced Glu/GABA-Gln metabolic loop in insomnia rats [J]. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 40(5): 413-419

[29] 赵仁云,郑竹宏,丁玉婷,等.栀子厚朴汤对失眠模型小鼠行为学及脑内单胺类神经递质的影响[J].国际药学研究杂志,2018,6:436-442
ZHAO Ren-yun, ZHENG Zhu-hong, DING Yu-ting, et al. Effects of Zhizi-Houpu decoction on the behavior and monoamine neurotransmitter levels of insomnia mice model [J]. Foreign Medical Sciences (Section of Pharmarcy), 2018, 6: 436-442

[30] 孙延娜,乔铁,张立德.滋阴养血安神方对 PCPA 诱导的失眠小鼠 Glu 及 GABA 含量的影响[J].中国中医药现代远程教育,2019,17(9):108-110
SUN Yan-na, QIAO Tie, ZHANG Li-de. Effects of Ziyin Yangxue Anshen decoction on Glu and GABA levels in PCPA-induced insomnia mice [J]. Chinese Medicine Modern Distance Education of China, 2019, 17(9): 108-110

[31] 游秋云,王平,吴丽丽,等.舒郁安神方对老年肝郁失眠证候模型大鼠脑组织 Glu、GABA 含量的影响[J].中国老年学杂志,2011,31(6):1006-1009
YOU Qiu-yun, WANG Ping, WU Li-li, et al. Effects of syasf on levels of amino acid neurotrausmitters in the brain of the insomnia mode I rats with the pathogeny of aging Liver-stagnation [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2011, 31(6): 1006-1009