

抗坏血酸浸渍后草莓中天然叶酸稳定性的变化

谭美, 张靖旋, 潘靖茹, 孟梓怡, 胡清心, 林芷伊, 王超, 段翰英*

(暨南大学理工学院, 广东广州 510632)

摘要: 为研究抗坏血酸 (Ascorbic Acid, AsA) 浸渍后草莓中叶酸稳定性的变化, 该研究采用真空 (0.09 MPa) 和常压两种方式浸渍 AsA, 对比浸渍速率以及浸渍后中天然叶酸的稳定性及草莓的新鲜度。同时探讨真空浸渍 AsA 的草莓在 8 d 冷藏过程中, 天然叶酸的含量及质构的变化。结果表明, 真空浸渍 AsA 的传质速率更快 ($k_2=0.01$), 浓度更高 (1.24 mg/g)。草莓中总叶酸含量为 100~128 $\mu\text{g}/100\text{g}$, 主要叶酸种类为 5-甲基四氢叶酸、四氢叶酸、5,10-亚甲基四氢叶酸及叶酸降解产物或合成底物对氨基苯甲酸。草莓经 8 d 冷藏后, 真空浸渍组和对照组的四氢叶酸分别下降了 7.70% 和 42.51%, 对氨基苯甲酸分别上升了 57.13% 和 77.89%, 5,10-亚甲基四氢叶酸均未出现显著性变化 ($p>0.05$), 5-甲基四氢叶酸在第 4 天分别上升了 24.47% 和 12.67%。质构结果表明, 第 8 天时, 真空浸渍组硬度 (92.60 N) 明显高于对照组 (57.20 N)。因此, 真空浸渍 AsA 处理可以抑制四氢叶酸降解 ($p<0.05$), 从而提高叶酸在冷藏中的稳定性, 保护草莓的质地。该研究为提高草莓叶酸稳定性提供了理论依据和参考。

关键词: 常压浸渍; 真空浸渍; 抗坏血酸; 叶酸稳定性; 四氢叶酸; 质构

文章编号: 1673-9078(2023)01-127-133

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.1.0243

Changes in the Stability of Folate in Strawberries after Ascorbic Acid Impregnation

TAN Mei, ZHANG Jingxuan, PAN Jingru, MENG Ziyi, HU Qingxin, LIN Zhiyi, WANG Chao, DUAN Hanying*

(College of Science & Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Ascorbic acid (AsA) was impregnated in strawberries under vacuum (0.09 MPa) and atmospheric pressure to compare the impregnation rate and stability of folate and freshness of strawberries after impregnation. The texture and folate content in strawberries impregnated with AsA during a 8-day cold storage were also investigated. The results indicated that vacuum impregnation resulted in a faster mass transfer rate ($k_2 = 0.01$) with a higher AsA concentration (1.24 mg/g). The folate content in strawberries was 100~128 $\mu\text{g}/100\text{g}$; the main types of folate were 5-methyltetrahydrofolate, tetrahydrofolate, 5,10-methylenetetrahydrofolate, and folate degradation products or synthetic substrates para-aminobenzoic acid. After 8 days of refrigeration, the tetrahydrofolate content decreased by 7.70% and 42.51% in the vacuum impregnation and control groups, respectively. The para-aminobenzoic acid content in the vacuum impregnation and control groups increased by 57.13% and 77.89%, respectively. No significant change was observed in the 5~10 methylenetetrahydrofolate content ($p>0.05$). The 5-methyltetrahydrofolate content in the vacuum impregnation and control groups increased by 24.47% and 12.67% on day 4, respectively. Microstructure analysis indicated that after 8 days of refrigeration, hardness of strawberries in the vacuum impregnation group (92.60 N) was significantly higher than that in the control group (57.20 N). Therefore, vacuum AsA impregnation inhibited the degradation of tetrahydrofolate ($p<0.05$), thereby enhancing the stability of folate in cold storage and protecting the texture of strawberries. This study provides a theoretical basis and reference for improving the stability of folate in strawberries.

Key words: atmospheric pressure impregnation; vacuum impregnation; ascorbic acid; folate stability; tetrahydrofolate; texture

引文格式:

谭美,张靖旋,潘靖茹,等.抗坏血酸浸渍后草莓中天然叶酸稳定性的变化[J].现代食品科技,2023,39(1):127-133

TAN Mei, ZHANG Jingxuan, PAN Jingru, et al. Changes in the stability of folate in strawberries after ascorbic acid impregnation [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 127-133

收稿日期: 2022-03-06

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B020212004); 湛江市科技计划项目 (2020A04012)

作者简介: 谭美 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养, E-mail: tanmei19981029@163.com

通讯作者: 段翰英 (1978-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品安全, E-mail: dhyjnu@sina.com

草莓属蔷薇科植物, 色泽鲜艳、口感鲜美, 含有丰富的营养物质, 其中叶酸作为人体所必需的微量元素在草莓中含量尤其丰富^[1]。叶酸是 B 族维生素中的一种, 由于人体不能自我合成叶酸, 因此食物是叶酸的唯一来源^[2]。

叶酸稳定性较差, 在室温中很容易氧化降解^[3,4,5]。即使在 4℃ 的贮藏环境中, 草莓中的总叶酸含量也会出现持续降低的情况^[6]。叶酸在食物中主要以 5-甲基四氢叶酸形态存在, 在食品体系中较为稳定, 并可以直接参与一碳代谢。除此之外还有 5,10-亚甲基四氢叶酸、四氢叶酸以及降解产物或合成产物对氨基苯甲酸^[2]。其中四氢叶酸作为多谷氨酰化的最适底物, 是叶酸种类中最活泼的形式, 在储藏过程中极易发生降解, 但研究发现四氢叶酸在人体中作用重大, 可以减轻和改善慢性酒精病引起的肝损伤^[7]。对氨基苯甲酸被称为叶酸的合成前体和降解产物, 分支酸在氨基脱氧分支酸合成酶的转化下和氨基酸脱氧核苷酸的裂解酶的介导下生成对氨基苯甲酸, 对氨基苯甲酸经转运到线粒体中进行叶酸的生物合成。另外, 叶酸降解, 四氢叶酸和二氢叶酸可转化成四氢蝶呤-6-醛、二氢蝶呤-6-醛以及对氨基苯甲酰谷氨酸片段^[8]。

考虑到叶酸的损失大多数是因为天然叶酸本身发生了氧化反应, 相关研究已在食品系统中验证了抗坏血酸 (Ascorbic acid, AsA) 对 5-甲基四氢叶酸的保护效果^[9]。AsA 是植物、动物在正常生长活动中不可缺少的一种抗氧化剂。AsA 不仅对机体内的组织修补、脂肪与蛋白质的合成等方面有所作用, 还影响叶酸的吸收与代谢^[10]。研究表明, 在胡萝卜汁中添加 0.5 mg/g 的 AsA 可以显著降低叶酸在高温和高压条件下的降解^[9]。草莓虽然富含 AsA, 可达 0.447 mg/g^[11], 但前期研究发现, 草莓中的叶酸在储存过程中也会逐渐降解, 推测可能是草莓中的 AsA 含量不足以保护草莓中的叶酸, 因此提高草莓中 AsA 的含量可能有助于叶酸稳定性。

浸渍技术是扩散和渗透相结合的过程, 在食品中应用可以增加食品的风味、保护成色、增加食品的营养成分等^[11,12]。研究发现 0.1% 的 AsA 浸渍可以有效保护花椰菜的新鲜度, 延长其货架期^[13]。经过 AsA 浸渍处理的桃能够在贮藏期间有效抑制病害的发生率^[14]。Hironaka 等^[15]也报道称真空浸渍可以提高马铃薯的 AsA 含量。因此, 采用浸渍是可以提高草莓中 AsA 含量的并对草莓的保鲜是有益的。

因此, 本文采用真空浸渍和常压浸渍的方法提高草莓中 AsA 的含量, 探讨两种方法浸渍 AsA 的效果, 以及真空浸渍 AsA 对草莓中不同天然叶酸的稳定性

和质构影响, 为草莓保鲜及果蔬中叶酸稳定性研究提供理论依据及参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

丹东红颜草莓购自暨南大学兴安超市; AsA、草酸、碘酸钾、盐酸、四氯化碳、醋酸铵、甲苯, 天津市大茂化学试剂厂; 大鼠血清, 天津康源生物技术有限公司。

JJ5500 型电子天平, 常熟市双杰测试仪器厂; UV-9600 紫外可见分光光度计, 北京瑞丽分析仪器有限公司; 封口机, 得力集团有限公司; SHZ-DIII 型循环水真空泵, 巩义市予华仪器有限责任公司; Eppendorf58048 离心机, 德国 Eppendorf 艾本德公司; KDC-1044 低速离心机, 科大创新股份有限公司中佳分公司; 匀浆机, 广州仪科实验室技术有限公司; 生化培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; 电磁炉, 美的集团股份有限公司; 质构仪, 美国博勒飞公司; 超高效液相色谱仪-质谱仪 (Ultra-High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry, UHPLC-MS/MS)、1290 Infinity II -G6460C/SG, 安捷伦。

1.2 实验方法

1.2.1 草莓浸渍处理

(1) 常压浸渍将草莓两两一组放入真空袋中, 各加入 150 mL 的质量分数为 1% 的 AsA 溶液, 用封口机将袋子封口。室温、常压下分别放置 10、20、30、40、50、60 min, 共 6 组草莓。浸渍后将草莓取出, 蒸馏水清洗, 待草莓表面水渍自然风干后测定草莓的 AsA 含量。

(2) 真空浸渍室温下, 在 500 mL 抽滤瓶中放入草莓, 加入 1% (m/m) 的 AsA 溶液。使用循环水真空泵将瓶中空气抽出, 真空度达至 0.09 MPa, 草莓在此环境中浸泡 10、20、30、40、50、60 min, 共 6 组。浸渍后将草莓取出, 蒸馏水清洗, 待草莓表面水渍自然风干后。测定 AsA 含量及质构。

(3) 浸渍草莓冷藏将批量草莓分两份, 其中一份在真空度为 0.09 MPa 的环境中浸渍 1% (m/m) 的 AsA 溶液 30 min, 另一份不做任何处理作为对照组。将两组草莓按照冷藏天数分装在保鲜盒里, 然后存放在 4℃ 的冷库中, 存放时间为 0、2、4、6、8 d, 每隔两天取出两组草莓, 测定质构并提取叶酸。

1.2.2 AsA 含量的测定

参照李向荣等^[16]的碘酸钾萃取分光光度测定方

法。称取 5 g 草莓，加入等质量 2% 的草酸，匀浆。使用 1% 的草酸将匀浆液稀释至 25 mL，离心 10 min (5 500 r/min)。取 1 mL 上清液于 10 mL 离心管中。在每支离心管中再加入 0.1 mol/L 的碘酸钾溶液和 0.01 mol/L 的盐酸溶液各 1 mL，最后加入 5 mL 的四氯化碳，震荡 2 min，随后静置，分层。取上清液，以四氯化碳为空白对照，于 520 nm 处测定下层吸光度（可用纱布过滤絮状沉淀）并记录。

1.2.3 叶酸含量的测定

叶酸提取真空浸渍组和对照组称取 3 份样品，每份样品 20 g，切碎放入玻璃锥形瓶，加入 50 mL 醋酸铵缓冲溶液 (0.05 mol/L)，匀浆，沸水浴 10 min，冰浴至室温，加入 3~4 滴甲苯溶液，离心。取上清液 5 mL 加入 200 μ L 的大鼠血清，37 $^{\circ}$ C 下酶解 12 h。酶解后的溶液沸水浴 5 min，冷却至室温后离心 15 min (10 000 r/min, 4 $^{\circ}$ C)^[17]。过 0.22 μ m 水相滤膜加入进样小瓶。

叶酸测定方法参照 Zou 等^[18]的方法，色谱条件：UHPLC 分离使用配备二元泵、自动进样器、柱温箱和带有 Thermo Accucore AQ 色谱柱 (100 \times 2.1 mm) 的脱气机在 40 $^{\circ}$ C 下进行。流动相是 0.1% 甲酸 (A) 和乙腈 (B)。其流速为 0.3 mL/min。梯度如下：0~2 min, 5%~20% B；2~4 min, 20%~95% B；4~5 min, 95% B；5~5.5 min, 95%~5% B；5.5~7.5 min, 5% B。自动进样器保持在 4 $^{\circ}$ C。

将 UHPLC 洗脱液引入 Agilent 6460 三重四极杆质谱仪。MS/MS 仪器在 ESI 正离子模式中操作。设置如下：毛细管电压+3.5 kV，喷嘴电压+1 kV。电池加速器电压：+4 V。使用氮气作为雾化气体，压力为 0.31 MPa，干燥气体流速为 10 L/min，温度为 320 $^{\circ}$ C，鞘气流量为 11 L/min，温度为 380 $^{\circ}$ C，雾化器压力为 45 psi，停留时间为 25 ms。Agilent Mass Hunter 工作站用于控制设备以及数据采集和分析。四极杆分析仪以单位质量分辨率 (0.7 u) 以及宽 (1.2 u) 和最宽质量分辨率 (2.5 u) 运行。采集是通过选定的反应监测进行的，其中每个叶酸种类的相应假分子阳离子通过碰撞诱导解离而破碎。

1.2.4 草莓质构的测定

将如上 1.2.1 中 (1)、(2) 所示处理的样品，采用质构仪进行草莓的 TPA 测试，平行 10 次，将草莓沿着中心线切开，切面向下测定。测定条件为，置于 TA39 探头下做硬度的检测，每组样品测试 10 次，并取平均值。质构仪参数如下：测前速率 1.0 mm/s；测试速率 1.0 mm/s；测后速率 5.0 mm/s；触发值 5.0 g；压缩距离 30%；数据采集速率 400 pps。检测指标为第一循环

硬度、硬度形变量、硬度形变百分比与压缩功循环^[19]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件对相关数据进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA)；采用 Excel 2020 整理数据及绘制图表。每组数据三个平行样，结果以平均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 浸渍方式对草莓中 AsA 含量的影响

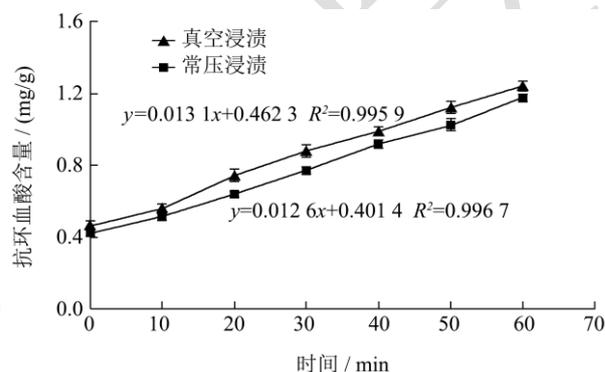


图 1 常压浸渍和真空浸渍下草莓中 AsA 含量的变化

Fig.1 Content of AsA in strawberry impregnated at atmospheric pressure and vacuum environment

表 1 草莓在真空浸渍过程中的质构变化情况

Table 1 Texture changes of strawberries during vacuum

maceration	
时间/min	循环硬度/N
0	52.00 \pm 8.80 ^b
10	51.00 \pm 0.42 ^b
20	58.00 \pm 10.37 ^b
30	74.00 \pm 3.34 ^a
40	65.00 \pm 22.00 ^a
50	52.00 \pm 14.37 ^{ab}
60	39.00 \pm 7.35 ^c

浸渍过程中草莓的 AsA 含量的变化情况见图 1。未处理的草莓 AsA 含量为 0.40 mg/g，1 h 后经常压浸渍和真空浸渍的草莓 AsA 含量分别达到 1.17 mg/g 和 1.24 mg/g ($p=0.03<0.05$)，且真空浸渍的速度更快。原因可能是真空浸渍可以压缩果蔬内的气体与液体^[20]，形成了空隙与通道，更有利于浸渍液体的渗入扩散过程。相比起常压浸渍，真空浸渍具有润湿机理、毛细现象和吸附作用三方面综合作用，因此传质速度更快，效率更高，也能够更好地保护产品品质。由表 1 可知，真空浸渍 30 min 过后草莓硬度开始出现降低的趋势，且 1 h 后草莓质地有明显软化

($p=0.04<0.05$), 所以综合选择真空浸渍 30 min 草莓进行叶酸稳定性和质构的研究。

2.2 真空浸渍对叶酸稳定性的影响

2.2.1 草莓中的叶酸含量及种类

据研究, 草莓中的总叶酸含量在 10~350 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 不等^[18,20,21,23], 草莓中叶酸浓度受各种因素影响, 如种植条件(季节和气候)、农艺条件、地点、品种和收获年份^[23-26]。提取方法和分析方法也可能影响获得的叶酸总含量。经前期测定本实验所用草莓的叶酸总含量在 100~128 $\mu\text{g}/100\text{g}$, 其主要叶酸种类为 5-甲基四氢叶酸, 四氢叶酸、5,10-亚甲基四氢叶酸, 同时还含有叶酸的降解产物对氨基苯甲酸(图 2)。Vahteristo 等^[27]报道草莓中叶酸种类主要为 5-甲基四氢叶酸和四氢叶酸, 其中 5-甲基四氢叶酸占总叶酸的 65.00%。Octavia 等^[7]也证实草莓中还含有少量的 10-甲酰基四氢叶酸、5-甲酰基四氢叶酸以及 5,10-亚甲基四氢叶酸。因此, 本文结果与前期研究发现基本一致。

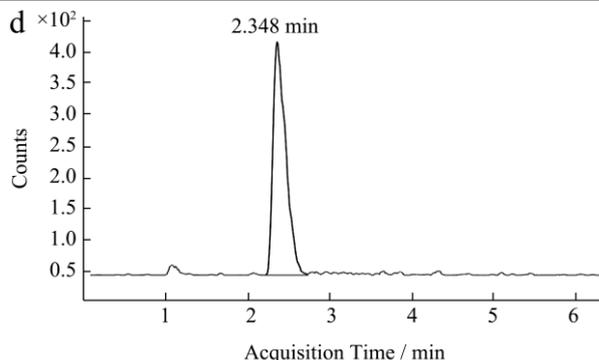
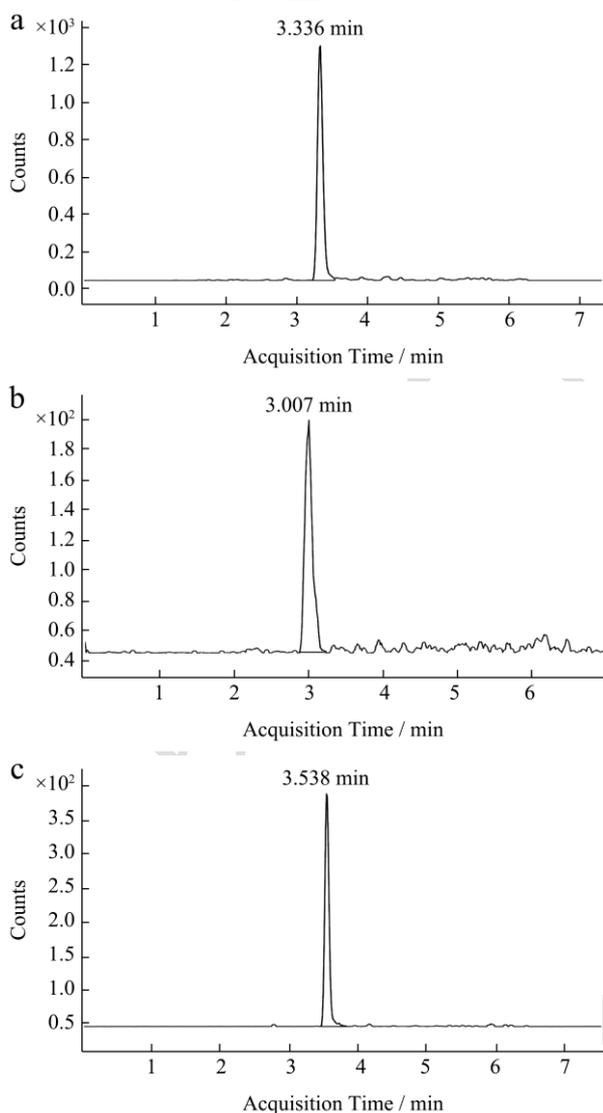


图 2 不同天然叶酸质谱图

Fig.2 Mass spectra of different folic acid forms

注: a: 5-甲基四氢叶酸; b: 四氢叶酸; c: 5,10-亚甲基四氢叶酸; d: 对氨基苯甲酸。

2.2.2 真空浸渍对冷藏期间草莓叶酸稳定性及对氨基苯甲酸的影响

真空浸渍组和对照组草莓经 4 $^{\circ}\text{C}$ 储藏 8 d 对三种叶酸及对氨基苯甲酸含量的变化见图 3。对照组与浸渍组的四氢叶酸含量在储藏过程中都是处于一个下降的趋势(图 3a), 但对照组在第 2 d 就下降了 27.25%, 第 8 d 下降了 42.51%, 而浸渍组在第 8 d 只损失了 7.70%。可见, 真空浸渍可以提高四氢叶酸的稳定性。

5-甲基四氢叶酸在储藏前期的时候含量上升且都在存放的第 4 d 出现峰值(图 3b), 对照组和浸渍组分别上升了 24.47% 和 12.67%。四氢叶酸可以在丝氨酸羟甲基转移酶的作用下先生成 5,10-亚甲基四氢叶酸, 再在亚甲基四氢叶酸还原酶的作用下生成 5-甲基四氢叶酸^[8]。推测这可能就是 5-甲基四氢叶酸前期出现上升的原因。对照组的 5-甲基四氢叶酸生成更快, 原因可能是对照组的四氢叶酸降解速度更快(图 3a) 且对照组的合成前体对氨基苯甲酸含量更高(图 3d)。4 d 后 5-甲基四氢叶酸开始下降, 推测是因为后期草莓组织结构变化较大, 5-甲基四氢叶酸作为水溶性物质随着汁液一起开始流失。

5,10-亚甲基四氢叶酸在两组样品的冷藏过程中变化不显著($p>0.05$)(图 3c), 浸渍组和对照组在 7 d 后分别下降至 21.61 ng/g ($p=0.46>0.05$) 和 18.95 ng/g ($p=0.07>0.05$), 无明显差异。Veerle 等^[28]报道, 5,10 亚甲基四氢叶酸主要在 pH 值为 3~9 的热处理不稳定, 可转化为 5-甲酰基四氢叶酸。因此在 4 $^{\circ}\text{C}$ 的冷藏环境下, 5,10-亚甲基四氢叶酸表现出较好的稳定性。

对氨基苯甲酸在储存过程中出现缓慢上升的趋势(图 3d), 在第 8 d 的时候对照组和真空浸渍组分别上升了 77.89% 和 57.13%。这种小幅度的上升趋势推测

可能是因为四氢叶酸发生降解，C₉-N₁₀ 键经自发氧化或光氧化断裂，致使对氨基苯甲酸在储存过程中出现小幅度的上升。因此，真空浸渍 AsA 能提高四氢叶酸稳定性，从而减少对氨基苯甲酸降解产物的产生。

总叶酸的变化趋势（图 3e）与 5-甲基四氢叶酸的变化趋势基本一致。其原因应是 5-甲基四氢叶酸所占总叶酸比例较大。且可以明显的观察到的是与初始含量相比冷藏 8 d 后的草莓总叶酸的含量是处于一个比较稳定状态。

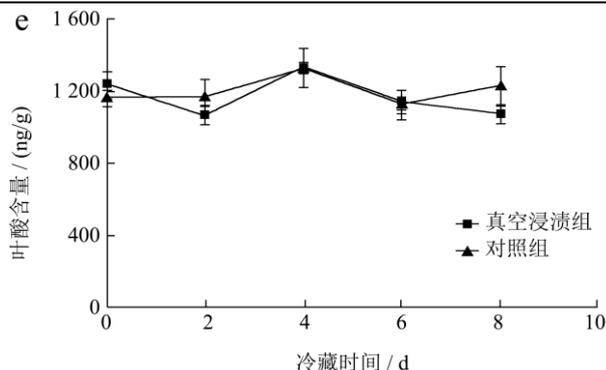
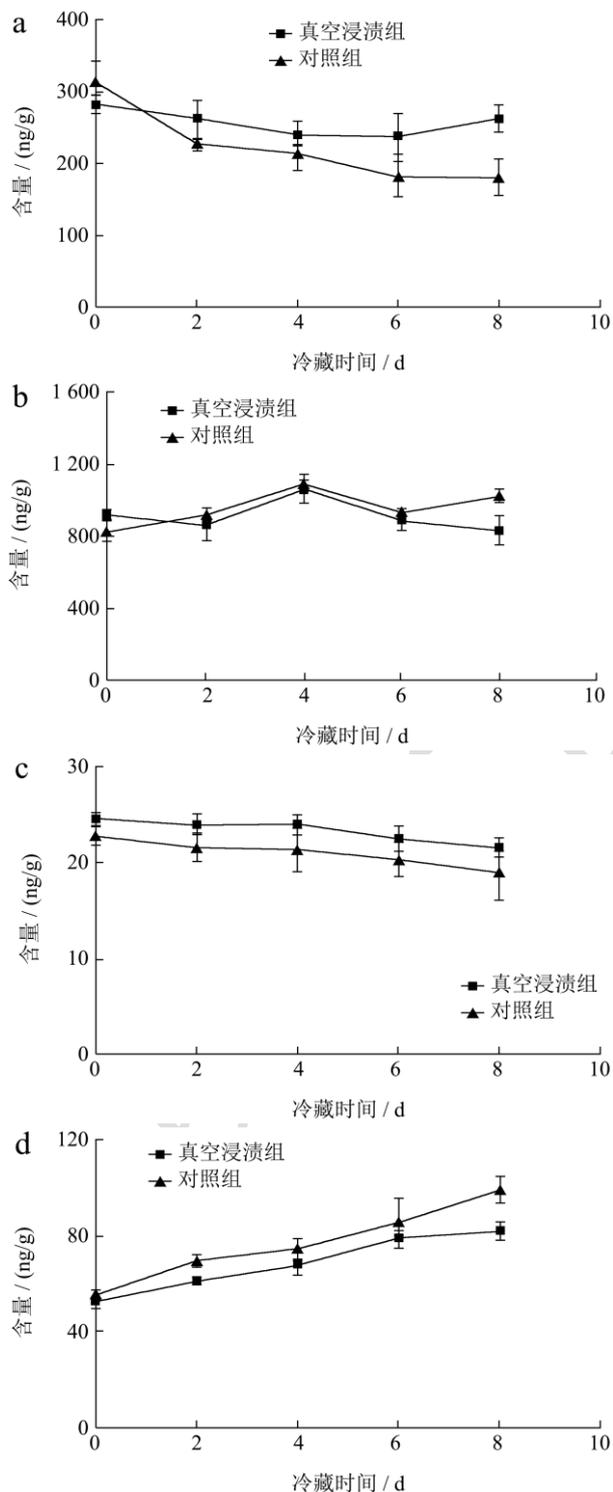


图 3 叶酸在冷藏过程中含量的变化

Fig.3 Changes in folic acid content during cold storage

注：a: 四氢叶酸；b: 5-甲基四氢叶酸；c: 5,10-亚甲基四氢叶酸；d: 对氨基苯甲酸；e 总叶酸。

2.3 真空浸渍对草莓在冷藏期间质构的影响

草莓在 0~6 d 的冷藏中（表 2），真空浸渍组的硬度都要略大于对照组，但无明显差异。在第 8 d 时，真空浸渍的草莓硬度（92.60 N）明显 ($p=0.02<0.05$) 大于对照组的硬度（57.20 N）。冷藏中草莓仍保持一定果胶酶纤维素酶活性^[29]，导致了对照组草莓质地软化，而浸渍 AsA 则有一定降低软化速率的作用，其机理可能是 AsA 可以抑制相关酶的活性，从而降低了果胶水解速度^[29]。

表 2 草莓在冷藏过程中的质构变化情况

Table 2 Changes in texture of strawberries during cold storage

样品/指标	循环硬度/N
0 d	真空浸渍组 66.00±15.00 ^a
	对照组 69.00±13.00 ^a
2 d	真空浸渍组 62.00±22.39 ^a
	对照组 51.00±12.82 ^a
4 d	真空浸渍组 65.00±17.00 ^a
	对照组 64.00±12.00 ^a
6 d	真空浸渍组 87.00±24.00 ^a
	对照组 73.00±22.10 ^a
8 d	真空浸渍组 92.60±20.20 ^a
	对照组 57.20±18.00 ^b

3 结论

经常压浸渍、真空浸渍（真空度 0.09 MPa）两种不同的浸渍方法处理草莓，在 1 h 后 AsA 含量分别达到 1.17 和 1.24 mg/g ($p=0.03<0.05$)，因此真空浸渍 AsA 的效果更好。经测定，草莓中的总叶酸含量为 100 μg/100 g~128 μg/100 g，主要叶酸种类为 5-甲基四氢叶酸，四氢叶酸以及 5,10-亚甲基四氢叶酸，同时还检测到了叶酸降解产物对氨基苯甲酸。将真空浸渍组

与对照组草莓冷藏 8 d, 结果表明, 真空浸渍组的四氢叶酸下降了 7.70%, 对照组下降了 42.51%。两组对氨基苯甲酸都出现一定程度的增加。5,10-亚甲基四氢叶酸在草莓的储藏过程中表现出较好的稳定性。5-甲基四氢叶酸存放的第 4 d 均出现峰值, 对照组上升了 24.47%, 浸渍组上升了 12.67%, 冷藏后期 5-甲基四氢叶酸开始下降。因此, 草莓的四氢叶酸在冷藏过程中极不稳定, 但真空浸渍 AsA 可以有一定抑制降解作用。质构结果显示在第 8 d 时真空浸渍组的草莓硬度明显高于对照组。因此, 经真空浸渍 AsA 对草莓有一定的硬化作用。目前未有研究清楚表明 AsA 浸渍可以提高四氢叶酸的稳定性, 因此本研究为草莓等生鲜水果的保鲜以及为提高果蔬中不同种类叶酸的稳定性提供了理论依据和参考。

参考文献

- [1] 陈晓维.加工方式对草莓、蓝莓和桑葚 NFC 复合果汁品质的影响[D].广州:仲恺农业工程学院,2019
- [2] 王超.膳食叶酸生物利用性研究[D].广州:华南理工大学, 2011
- [3] Wusigale, Fu X J, Yin X E, et al. Effects of folic acid and caffeic acid on indirect photo-oxidation of proteins and their costabilization under irradiation [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2021, 69(42): 12505-12516
- [4] Yang Y, Li J H, Gu L P, et al. Degradation of 5-methyltetrahydrofolate in model and egg yolk systems and strategies for its stabilization [J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2021, 58(9): 3473-3481
- [5] Wusigale, Liang L. Folates: Stability and interaction with biological molecules [J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2020, 7: 789-794
- [6] Lisa O, Wee S C. Folate, ascorbic acid, anthocyanin and colour changes in strawberry (*Fragaria × annanAsA*) during refrigerated storage [J]. *LWT*, 2017, 86: 652-659
- [7] 赵超,张策,董健伟,等.四氢叶酸对小鼠慢性酒精性肝损伤的保护作用[J].*现代预防医学*,2019,46(18):3411-3414,3422
- [8] Noiriel A, Naponelli V, Bozzo G G, et al. Folate salvage in plants: pterin aldehyde reduction is mediated by multiple non-specific aldehyde reductases [J]. *Plant*, 2007, 51(3): 378-389
- [9] 顾益银,韩莹琰.植物体内叶酸代谢及生物强化研究进展[J/OL].*分子植物育种*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210629.1137.004.htm>
- [10] Indrawati, Arroqui C, Messagie I, et al. Comparative study on pressure and temperature stability of 5-methyltetrahydrofolic acid in model systems and in food products [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*,2004,52(3):485-492
- [11] 闫敏,葛卫红.维生素 C 的临床应用进展[J].*西藏医药杂志*,2003,1:30-31
- [12] 陈燕霞,贾栩超,李振伟,等.不同浸渍时间嘉宝果浸泡酒的品质比较[J].*现代食品科技*,2021,37(3):194-201
- [13] 陈澄,胡杨,安玥琦,等.浸渍液组成与调理工艺对调理草鱼片品质的影响[J].*肉类工业*,2020,5:25-35
- [14] 王佳宇,胡文忠,管玉格,等.鲜切花椰菜保鲜技术研究进展[J].*食品工业科技*,2020,41(21):327-332
- [15] Hironka K, Kikuchi M, Koaze H, et al. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1114-1118
- [16] 李向荣,方晓,褚爱珠.果蔬与饮品中 Vc 的碘酸钾萃取分光光度测定[J].*浙江农业大学学报*,1994,5:522-524
- [17] Johnston K E, Dirienzo D B, Tamura T. Folate content of dairy products measured by microbiological assay with trienzyme treatment [J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(2): 817-820
- [18] Zou Y C, Duan H Y, Li L, et al. Quantification of polyglutamyl 5-methyltetrahydrofolate, monoglutamyl folate vitamers, and total folates in different berries and berry juice by UHPLC-MS/MS [J]. *Food Chemistry*, 2019, 276: 1-8
- [19] Sila D N, Smount C, Vu T S, et al. Effects of high-pressure pretreatment and calcium soaking on the texture degradation kinetics of carrots during thermal processing [J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69(5): E205-E211
- [20] 孙涵.真空浸渍在果蔬加工与贮藏中的应用探讨[J].*食品安全导刊*,2017,6:132
- [21] Yon M Y, Taisum H H. Folate content of foods commonly consumed in Korea measured after trienzyme extraction [J]. *Nutrition Research*, 2003, 23(6): 735-746
- [22] Striegel L, Chebib S, Netzel M E, et al. Improved stable isotope dilution assay for dietary folates using LC-MS/MS and its application to strawberries [J]. *Frontiers in Chemistry*, 2018, 6: 189-194
- [23] Balasooriya H, Dasanayake K, Ajlouni S. Bioaccessibility of micronutrients in fresh and frozen strawberry fruits grown under elevated carbon dioxide and temperature [J]. *Food Chemistry*, 2019, 309: 873-877
- [24] Youngjae S, Jung A R, Rui H L, et al. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 49(2): 1210-1210

- [25] Beatric R C, Maria I G, Joao R O N, et al. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars [J]. Food Chemistry, 2004, 91(1): 113-121
- [26] Cordenunsi B R, Nascimento F M. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage [J]. Food Chemistry, 2003, 83(2): 167-173
- [27] Liisa V, Kaisa L, Velimatti O, et al. Application of an HPLC assay for the determination of folate derivatives in some vegetables, fruits and berries consumed in Finland [J]. Food Chemistry, 1997, 59(4): 235-237
- [28] Veerle D B, Zhang G F, Sergei S. pH stability of individual folates during critical sample preparation steps in prevision of the analysis of plant folates [J]. Phytochemical Analysis, 2007, 18(6): 496-508
- [29] 张会芳,刘桂珍,张超.草莓果实硬度影响因素及其调控措施研究进展[J].长江蔬菜,2009,12:4-7