

# 草莓采后生理变化及其保鲜技术研究进展

王静宇<sup>1,2</sup>, 赵薇<sup>1</sup>, 马孟雨<sup>1</sup>, 王艳艳<sup>1</sup>, 胡新<sup>1,2</sup>, 张源<sup>1,2</sup>, 兰伟<sup>1,2\*</sup>

(1. 阜阳师范大学生物与食品工程学院, 安徽阜阳 236037; 2. 阜阳市果酒工程技术研究中心, 安徽阜阳 236037)

**摘要** 草莓营养价值高、口感酸甜、颜色鲜艳, 因此广受消费者的喜爱。由于其含水量高, 容易受到机械损伤和微生物侵染而腐败变质, 因此合适的采后保鲜方式对提升草莓经济价值有重要作用。从采后生理学变化、物理保鲜、化学保鲜、生物保鲜角度总结了国内外有关草莓采后保鲜的研究成果, 分析了草莓采后生理变化、采后不同的保鲜技术对草莓品质的影响, 展望了未来草莓保鲜方式和研究方向, 旨在延长草莓贮藏期, 提高其经济价值, 为草莓加工及保鲜技术的研究提供理论参考。

**关键词** 草莓; 采后生理变化; 物理保鲜; 化学保鲜; 生物保鲜

中图分类号 TS255.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)06-0039-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.06.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Advances in Post-harvest Physiological Changes and Preservation Techniques of Strawberry

WANG Jing-yu<sup>1,2</sup>, ZHAO Wei<sup>1</sup>, MA Meng-yu<sup>1</sup> et al (1. School of Biology and Food Engineering, Fuyang Normal University, Fuyang, Anhui 236037; 2. Fuyang Fruit Wine Engineering Technology Center, Fuyang, Anhui 236037)

**Abstract** Strawberry is popular with consumers owing to highly nutritional value, tasting sweet and sour and bright color. However, strawberry is vulnerable to mechanical damage and microbial infection due to its high water. Therefore, the appropriate postharvest preservation methods play an important role in promoting the economic value of strawberry. Research advances of strawberry at home and abroad were summarized in terms of the postharvest physiology change and the method of preservation including physical, chemical and biological methods. And then we analyzed the physiological changes after harvest and the effects on quality using the different fresh-keeping technology, prospected the strawberry preservation method in the future and the research direction, which was conducive to prolonging the storage period of strawberry and improving its economic value, and significantly provided theoretical basis for the research of strawberry processing and preservation technology.

**Key words** Strawberry; Post-harvest physiological changes; Physical preservation; Chemical preservation; Biological preservation

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科,因其果实酸甜可口、鲜红美艳、外形美丽,柔软多汁,芳香浓郁,素有“水果皇后”之美誉。草莓果实中富含丰富的维生素 B1、维生素 B2、维生素 C 以及钙、磷、铁、钾、锌、铬等人体必需的矿物质和部分微量元素,其中含量为 100 g 果肉中维生素 C 高达 38.45 mg<sup>[1]</sup>。此外,草莓的营养成分易消化吸收,多食也不会着凉、上火,是受大众喜爱的营养健康绿色的水果。

由于草莓果皮脆弱、组织柔嫩、采后呼吸强度大等生理特性,草莓果实在采摘和运输销售环节中很容易受到颠簸、挤压、碰撞等机械损伤和微生物侵染而发生腐烂变质丧失食用和商用价值,从而制约了其销售半径和生产规模的发展<sup>[2]</sup>。若这些过程未能加以控制和保护,可能会在一定程度上阻碍草莓产业的发展,同时还会降低草莓的食用性和安全性。因此,了解草莓采摘后的生理变化情况,寻求更加适宜的保鲜技术来延长草莓的货架期对草莓采后保鲜发展有重大意义。

近些年针对草莓的保鲜技术可分为:物理保鲜技术、化学保鲜技术和生物保鲜技术。笔者归纳整理了国内外草莓采后的生理变化以及近些年草莓保鲜的研究现状及其发展趋势,旨在延长草莓贮藏期,提高其经济价值,为草莓加工及保鲜技术的研究提供理论参考。

### 1 草莓采后生理变化

草莓属于非跃变型果实,即采后的呼吸速率不再出现明

显的上升现象。由于在成熟期间产生的乙烯量极微,所以草莓果实本身无法启动成熟进程,必须由外源乙烯或其他因素刺激产生乙烯才能够促进成熟。草莓最适采摘期为七成红时。草莓在采摘之后,虽然失去了母体所提供的生长发育以及保持生理活性的营养供给,但是仍可继续进行一些生理代谢活动,但与采前有所不同,生理活动以呼吸作用为主,其次是蒸腾作用。失去了母体的营养供给后,随着时间的推移,果实不断发生失水现象,易受微生物侵染。因此采摘后的草莓会发生生理、色泽、品质等一系列的变化。

**1.1 活性氧及防御酶变化** 草莓采后随着呼吸作用的进行,会产生具有活泼化学反应的氧的某些代谢产物及其衍生物,主要有超氧化物自由基( $O_2^{\cdot-}$ )、羟基自由基( $\cdot OH$ )、单线态氧( $^1O_2$ )、脂类过氧化物( $\cdot ROOH$ )和  $H_2O_2$ 。相对应的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)作为防御酶系统,共同发挥作用以清除活性氧的作用。南海风等<sup>[3]</sup>采用低温和常温贮藏草莓研究发现脂氧合酶(LOX)和  $H_2O_2$  含量均先上升后下降、超氧阴离子自由基( $O_2^{\cdot-}$ )产生速率、相对电导率和丙二醛(MDA)含量整体上升;SOD 活性整体变化不大,POD 活性上升,CAT 和 APX 活性先上升后下降,整体呈上升趋势。低温贮藏下草莓果实的 LOX 活性、 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 $H_2O_2$  和 MDA 含量、相对电导率均低于常温。

随着草莓采后贮存时间的增长,草莓果实中的细胞膜受各种酶及微生物的作用破坏而变得不完整,这使得草莓组织间渗透率增高,因此限制了草莓的保藏时间。电导率的大小能够表示出果实细胞膜的通透性,草莓采后贮藏期间细胞膜

**基金项目** 安徽省重点研究与开发计划面上攻关项目(201904a06020002)。

**作者简介** 王静宇(1993—),女,安徽阜阳人,助教,硕士,从事农产品贮藏与食品大分子功能研究。\* 通信作者,研究员,硕士生导师,在读博士,从事果蔬种质资源收集保存与利用研究。

**收稿日期** 2020-07-02; **修回日期** 2020-07-19

的通透性变大,使得底物与酶接触加重,从而造成草莓果实的细胞结构完整性降低,最终果实软化甚至细胞死亡。贺军民<sup>[4]</sup>研究表明,草莓在采摘后72 h之内相对电导率呈持续增长趋势,而GA<sub>3</sub>和钙处理在一定程度上对抑制相对电导率增高有一定成效,且钙的作用效果更明显。

**1.2 硬度的变化** 草莓果实成熟软化的主要原因之一是其细胞壁的降解所引起的。其中细胞壁水解酶是与草莓果实软化相关的主要酶,包括纤维素酶(Cx)、果胶甲酯酶(PME)、果胶裂解酶(PL)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)等。

其中草莓果实软化过程中的关键性酶主要是纤维素酶和果胶裂解酶,都属于细胞壁水解酶。Abeles等<sup>[5]</sup>研究表明,草莓在未成熟时,纤维素酶的含量并不容易检测出来,草莓在成熟期以及采后逐渐软化的阶段中纤维素酶的活性能够增加6倍。薛炳华等<sup>[6]</sup>研究表明,将处于不同阶段的草莓采摘后置于4℃条件下处理48 h后,纤维素酶的活性有明显升高的趋势,而将采后草莓于同样的条件下处理时果胶酶的含量则下降。此外,α-半乳糖苷酶和β-半乳糖苷酶也均存在于草莓果实中,且这2种酶的活性自果实开始进入成熟期之后,均表现为上升的变化趋势。

## 2 草莓物理保鲜技术

物理保鲜技术能最大程度上的保存果实的安全、自然性。草莓的物理保鲜技术通常使用的有低温冷藏、气调、热处理以及辐射、磁场处理等。

**2.1 低温冷藏保鲜技术** 草莓含水量极高,在常温条件下贮存极易失水,当失水量达到约5%时,便会失去其食用价值而不能进行销售。低温条件能够明显减慢草莓的代谢活动并且能够带来良好的食用感受和营养品质以延长货架期<sup>[7]</sup>。Ayala-Zavala等<sup>[8]</sup>分别比较了0.5和10℃的温度条件下贮藏对草莓品质的影响,结果发现其货架期分别为13.9和8 d。Shin等<sup>[9]</sup>的研究表明,草莓果实的品质同时受温度和相对湿度的明显影响,在0.5℃的条件下75% RH下的草莓失重率远超过85% RH和95% RH下的草莓。

**2.2 气调保鲜技术** 气调保鲜技术普遍意义上来说就是通过采用降低果蔬环境中CO<sub>2</sub>的浓度的同时也提高O<sub>2</sub>浓度的方式来达到降低呼吸速率,控制并减少乙烯、花青素等物质的生成,以期达到延长果蔬货架寿命的目的<sup>[10]</sup>。其中自发气调包装(MAP)是目前普遍使用的较有效的果蔬贮藏保鲜技术之一。赵蕊等<sup>[11]</sup>研究结果显示,将草莓置于厚0.035 mm、5% O<sub>2</sub>+10% CO<sub>2</sub>+85% N<sub>2</sub>的PE袋中,发现草莓的呼吸强度显著降低,SOD活性的下降速度降低,POD活性维持在较高的水平,MDA含量的积累过程受到抑制,膜脂过氧化程度下降,草莓的原有品质仍处在较高水平,因此可达到延长草莓货架期的效果。

除此之外,草莓的贮藏效果还受气体浓度的影响。Li等<sup>[12]</sup>研究发现,20% CO<sub>2</sub>能够延缓草莓果皮的a\*和b\*值变化,并且通过抑制叶绿素酶的活性和下调还原酶FaChl b、FaPAO和FaRCCR基因的表达,CO<sub>2</sub>处理的果实中叶绿素的降解变得缓慢,并且在CO<sub>2</sub>的作用下,参与苯丙烷类代谢途

径以及类黄酮生物合成途径的13个基因也被下调。Oliveira等<sup>[13]</sup>研究显示,在CO<sub>2</sub>浓度为2%~10%和O<sub>2</sub>浓度为3%~6%的气调条件下,能够抑制微生物的生长,延长各种新鲜切割产品的货架期。

陈勤等<sup>[14]</sup>发现经臭氧处理的草莓在微生物生长和生理代谢方面受到抑制,草莓新鲜度、品质风味保持良好,货架期延长到14~16 d。

**2.3 热处理技术** 热处理是利用热力来杀死或抑制草莓表面的有害微生物、延缓草莓采后衰老过程,以减少果实发生腐烂变质,以期达到延长货架期目的的一种物理保鲜方法<sup>[15]</sup>。常用的热处理方式有热空气、热蒸汽、热水等。刘伟等<sup>[16]</sup>采用热空气(30、40、50℃)和时间(15、30、45 min)热处理草莓后于2℃下进行冷藏。结果显示,热空气能够降低草莓的腐烂指数,很好地维持草莓硬度并且可以保持V<sub>c</sub>含量,能够较好地保持草莓的品质。Lara等<sup>[17]</sup>将草莓置于45℃热水中15 min,45℃热空气处理1 h,然后将经处理后的草莓置于3℃条件下贮藏10 d,结果热水处理提高了水果对真菌感染的抵抗力,但造成外部损害,失去商业价值;热空气处理在不影响外观的情况下提高抗真菌感染能力。

**2.4 辐射保藏技术** 辐照保鲜技术不仅杀菌灭菌十分彻底、大大节约了能源、不会产生一系列的污染等,还能够一定程度上保持原料原有的品质特性,是一种被广泛应用于食品保鲜等方面的有效快速的保鲜方法<sup>[18]</sup>。Jesus等<sup>[19]</sup>使用强度为1.0、2.0、3.0、4.0 kGy γ射线处理草莓,(8±1)℃条件下贮存,结果发现2 kGy剂量的γ射线辐照处理,贮藏12 d时草莓仍有良好的微生物水平以及合适的感官接受度。蔡艳等<sup>[20]</sup>使用0、1.5、3.0、4.5 kJ/m<sup>2</sup>短波紫外处理草莓,10℃下贮存12 d,结果发现3 kJ/m<sup>2</sup>减少果实呼吸速率和乙烯释放,抑制膜脂过氧化反应发生,延缓了草莓采后的衰老过程,更好维持草莓品质。

**2.5 磁场处理保鲜技术** 运动电荷或电场的变化会产生磁场。当磁场强度和方向在发生规律变化时称为交变磁场,通常在通以交流电的电磁线圈周围产生<sup>[21]</sup>。磁场保鲜方式不但不会产生有毒有害物质,操作简便、经济可行性好,且应用于果蔬后不会产生残留、不会对环境造成污染等。这也是磁场处理技术多年应用于果蔬保鲜方向领域的重要原因。

高梦祥等<sup>[22]</sup>研究表明,当草莓处于不同强度的交变磁场中时,果实中的各项生理指标也会随着处理时间的差异而发生不同的改变,因而保藏的效果也存在差别。草莓在磁场强度为4.22 A/m的条件下贮藏时,发生腐败变质的现象明显降低:贮藏48 h后其腐烂率仅为45.8%,而对照组腐烂率高达90.8%;pH在3.3~3.7时呈明显下降的变化趋势且低于对照组,可以说明交替电场处理草莓可降低果实中有机酸消耗;试验结果对比发现,果实中可溶性糖含量的降低程度较小,草莓的呼吸作用减弱,草莓失重率(失水率)的变化程度也发生明显降低。

**2.6 等离子体处理** 等离子体保鲜技术是利用等离子体发生装置,通过正负离子在空气中瞬间产生巨大的能量释放,

对果蔬进行杀菌消毒、降解代谢产物和农药残留等保鲜作用。

任翠荣等<sup>[23]</sup>研究 20 ℃ 条件下常压低温等离子体处理对草莓保鲜效果,结果显示放电时间为 60 s、处理距离为 10 mm、处理电压为 140 V、气体流速为 1 L/h 时,草莓果实失重率、抗坏血酸含量均优于对照组,保鲜期提高 1 倍。

### 3 化学保鲜技术

化学保鲜技术是利用化学物质对果蔬进行处理达到提高果蔬品质的方法,化学保鲜主要是通过抑制有害病原微生物,调节果蔬代谢过程达到延长果蔬贮藏期的目的<sup>[24]</sup>。常见保鲜剂主要有次氯酸钠、生长素、赤霉素、脱落酸,1-甲基环丙烯(1-MCP)等。

赵菊莲等<sup>[25]</sup>研究发现,使用柠檬烯复合溶液对草莓进行浸泡处理 3 min 后,不仅可以使果实中的可滴定酸、 $V_c$ 、可溶性固形物含量的下降程度得到明显的缓解,还可以有效抑制果实发生失水和腐烂现象。赵妍等<sup>[26]</sup>试验结果表明,用 1% 次氯酸钠溶液处理草莓后,置于 10%  $CaCl_2$  溶液中浸泡 10 min,沥干后于 10 ℃ 的恒温恒湿箱贮存 4 d 能够很好保持草莓的品质并降低果实的发病率,还能有效延长草莓的货架期。

付亮等<sup>[27]</sup>分别用 0.4、0.8 和 1.2  $\mu L/L$  1-MCP 处理草莓,结果显示浓度为 0.4  $\mu L/L$  1-MCP 能够明显抑制草莓果实采后的呼吸强度、可溶性固形物含量、脂氧合酶活性、多酚氧化酶活性、丙二醛含量以及提高超氧阴离子含量,使草莓在贮藏期间的品质大大提高。另外,浓度为 0.8 和 1.2  $\mu L/L$  1-MCP 处理条件下的草莓果实则保鲜效果微乎其微,因此使用低浓度的 1-MCP 来处理草莓才能够得到较为优质的保鲜效果。

### 4 生物保鲜技术

生物保鲜技术是指微生物拮抗作用或者从植物、动物、微生物或者利用生物工程技术获得的具有杀菌、抑菌的活性物质,然后配制成具有一定浓度的溶液,涂膜或将目标食品浸泡于溶液中,以达到延缓食品腐败变质、延长货架期的目的<sup>[28]</sup>。此外,生物保鲜剂还因具有来源广、效益高、安全性好等优点,因而得到广大研究人员的青睐。

**4.1 拮抗微生物** 拮抗微生物主要包括拮抗酵母菌和拮抗细菌 2 大类,拮抗微生物在果蔬保鲜上有着广泛的研究,目前拮抗微生物在草莓上应用较多的是探讨拮抗酵母对草莓灰霉病的防治。

郑晓冬等<sup>[29]</sup>使用罗伦隐球酵母对草莓采后灰霉病害的生物防治,研究发现草莓在 20 ℃ 条件下贮藏 3 d 或是在 2 ℃ 条件下贮藏 20 d 时,应用在草莓上的酵母细胞浓度越高,则草莓的霉变率越低。张璐等<sup>[30]</sup>探究膜醌赤酵母对草莓采后灰霉病抗病性的诱导,结果发现拮抗酵母浓度越高则抗病性越好,同时还能够诱导增强果实过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶等抗性相关酶活性,提高了果实对灰霉病的抵抗能力。

**4.2 天然植物提取物** 植物中一般富含多种生物活性物质,可以借助一定的提取方法从植物中获得目标产物,然后合理

地应用于其他产品中,并且能达到一定的效果。作用机理主要是能够阻止病原菌的生长,使病毒失活等。

王婷<sup>[31]</sup>研究了丁香提取液对草莓的保鲜效果,结果发现其与丁香提取液浓度呈正比,且浓度为 4% 时对草莓抗氧化性能的协助效果以及保鲜效果最佳。另外,丁香提取液有显著的抑制灰霉菌作用,其抑菌效果也随浓度的升高而增强。付振喜<sup>[32]</sup>研究表明,丁香精油和肉桂油分别处理草莓时,两者都能够有效保持草莓的硬度,提高草莓的食用品质,抑制其贮藏期发生的腐烂现象,延缓衰老,从而达到良好的保鲜效果。其中,用浓度为 0.3% 的丁香精油分别在室温和 4 ℃ 下处理草莓,可延长货架期 2~3 d 和 8~10 d。而 0.1% 的肉桂油在 4 ℃ 的条件下则可延长 8~12 d 的货架寿命。

**4.3 涂膜保鲜技术** 涂膜保鲜技术主要是运用具有一定成膜性的材料或与有抑菌等其他作用的物质复合涂于果蔬的表皮,能够在果蔬表面形成一层薄膜达到相对降低果蔬的呼吸作用、蒸腾作用以及防止微生物等有害物质的侵染的目的。并且能够减少果蔬水分损失、增强色泽、改善外观,从而达到保持果实的商品价值品质、延长果实货架期的目的<sup>[33]</sup>。

其中壳聚糖原料是果蔬涂膜保鲜方式中经常用到的保鲜技术之一。壳聚糖是一种可被生物降解且无毒性残留的碱性多糖,不仅具有保湿、润湿等特性,还具有较强的抗菌防腐能力和成膜性,这也是壳聚糖能够在果蔬的贮藏保鲜中被广泛使用的主要原因<sup>[34-35]</sup>。何士敏等<sup>[36]</sup>研究表明,用浓度为 1.25% 的壳聚糖溶液在 4 ℃ 的条件下处理后,贮藏期间草莓果实的腐烂率显著下降,同时也使失重率得以控制,使果实褐变减缓,贮藏期间还能好保持果实的总糖含量、 $V_c$  等物质的含量,使果实贮藏期的品质得到提高。

使用单一的原料进行涂膜处理所能达到的保鲜效果有限,因此要想得到更好的保鲜效果,需将不同的原料科学合理地加以结合,制成复合型涂膜液应用于草莓的保鲜。其中以壳聚糖为成膜基质复合不同的抑菌、杀菌等物质对草莓进行保鲜,得到了良好的预期效果。段丹萍等<sup>[37]</sup>用壳聚糖与那他霉素复合的涂膜液对草莓进行处理时,草莓能够达到最佳的保藏效果。草莓采后 5 d 的腐烂指数为对照的 6.5%,总酸含量和维生素分别为对照的 122.8%、177.9%。聂凌鸿等<sup>[38]</sup>研究发现,浓度配比为魔芋精粉 0.5%、丁香提取物 2.0%、氯化钙 1.2% 制成的复合涂膜剂并于 4 ℃ 下处理草莓,贮藏 8 d 时能够显著降低可溶性糖的消耗、VC 的损失以及有效地抑制草莓的呼吸强度等达到最佳的保鲜效果。曾少雯等<sup>[39]</sup>研究结果显示,使用配比为乙酰化木薯淀粉 5.5%、山梨糖醇 2.4% 和香芹酚包埋物 0.5% 的复合涂膜剂处理草莓时,能够达到最佳的保鲜效果,即使用香芹酚淀粉复合膜处理草莓后,果实的硬度、色泽等其他品质在贮藏期间都能得到良好的保持。

### 5 讨论与展望

目前,我国草莓种植面积还在继续增加,基于草莓生理特性和自身特点,需要采用适宜的保鲜方法才能够减少货架果实发生腐烂、变色、变软等现象而影响货架寿命以及消费

和食用口感。虽然目前国内外关于草莓的采后保鲜研究已达到一定水平,但是有些保鲜技术仍然存在实用性低、仅局限于实验层面、不能适用于商业化、工艺复杂、技术成本高昂等问题。因此,草莓采后的保鲜技术仍然具有研究价值和意义。其中,在以物理、化学、生物保鲜技术为主的草莓保鲜方式中,化学保鲜方式主要是使用杀菌剂、防腐剂等化学试剂处理草莓,长期使用可能会危害人体健康以及对环境造成一定危害。因此,物理保鲜方式和生物保鲜方式相对来说更安全,而生物保鲜方式的原料来源天然、安全,应用于草莓的保鲜中更受推广。但若想获得最佳的保鲜效果还需综合使各种保鲜技术(物理、化学、生物保鲜技术)科学合理地结合起来。并且研究重点应放在安全、高效、易操作化、工艺简单、成本低、能够大规模使用、具有实用性等方向。这不仅仅是草莓采后保鲜的研究重点,也是果蔬保鲜行业面临的现状。

### 参考文献

- [1] 高海荣,张洁,陈秀丽,等.10种郑州市售水果维生素C含量分析[J].食品安全质量检测学报,2015,6(10):4142-4146.
- [2] HAJJI S, YOUNES I, AFFES S, et al. Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life[J]. Food hydrocolloids, 2018, 83: 375-392.
- [3] 南海风,朱冠宇,樊丽,等.草莓果实采后衰老过程中活性氧及保护酶活性的变化[J].北方园艺,2016(15):123-126.
- [4] 贺军民,GA<sub>3</sub>和钙处理对草莓采后硬度变化、细胞膜透性及丙二醛含量的影响[J].陕西农业科学,1998(3):26-27.
- [5] ABELES F B, TAKEIDA F. Cellulase activity and ethylene in ripening strawberry and apple fruits[J]. Scientia horticulturae, 1990, 42(4): 269-275.
- [6] 薛炳辉,毛志泉,束怀瑞.草莓果实发育成熟过程中糖苷酶和纤维素酶活性及细胞壁组成变化[J].植物生理与分子生物学报,2006,32(3):363-368.
- [7] 江英,童军茂,陈友志,等.草莓冰温贮藏保鲜技术的研究[J].食品科技,2004,29(10):85-87.
- [8] AYALA-ZAVALA J F, WANG S Y, WANG C Y, et al. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(7): 687-695.
- [9] SHIN Y, LIU R H, NOCK J F, et al. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry[J]. Postharvest biology and technology, 2007, 45(3): 349-357.
- [10] 丁华,王建清,王玉峰,等.百里香精油与气调技术联用对草莓货架寿命的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(3):71-75,95.
- [11] 赵蕊,李宇,王越.MAP处理对草莓采后生理的影响[J].山东化工,2017,46(7):61-62,67.
- [12] LI D, ZHANG X, LI L, et al. Elevated CO<sub>2</sub> delayed the chlorophyll degradation and anthocyanin accumulation in postharvest strawberry fruit[J]. Food chemistry, 2019, 285: 163-170.
- [13] OLIVEIRA M, ABADIAS M, USALL J, et al. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables-A review[J]. Trends in food science & technology, 2015, 46(1): 13-26.
- [14] 陈勤,赵晓峰,王娟,等.草莓复合贮藏保鲜方法的研究[J].安徽农业科学,2005,33(1):108-109.
- [15] 马雪梅,吴朝峰,路志芳.热水处理对草莓贮藏品质与抗氧化能力的影响[J].江苏农业科学,2018,46(2):128-132.
- [16] 刘伟,刘海军,胡亚光,等.热空气处理对草莓保鲜效果的影响[J].包装工程,2013,34(21):35-38.
- [17] LARA I, GARCÍA P, VENDRELL M. Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) fruit[J]. Scientia horticulturae, 2006, 109(1): 48-53.
- [18] 刘超.草莓辐照保鲜贮藏及其生理品质变化的研究[J].安徽农业科学,2003,31(5):744-745.
- [19] DE JESUS FILHO M, SCOLFORO C Z, SARAIVA S H, et al. Physico-chemical, microbiological and sensory acceptance alterations of strawberries caused by gamma radiation and storage time[J]. Scientia horticulturae, 2018, 238: 187-194.
- [20] 蔡艳,施雨愉,陈伟,等.UV-C处理对采后草莓果实品质和活性氧代谢的影响[J].中国食品学报,2015,15(3):128-136.
- [21] MALMIVUO J, PLONSEY R. Bioelectromagnetism-Principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields[M]. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- [22] 高梦祥,王春萍.交变磁场对草莓保鲜效果的影响[J].食品研究与开发,2010,31(1):155-158.
- [23] 任翠荣,刘金光,王世清,等.常压低温等离子体处理对草莓保鲜效果的影响[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2017,34(3):228-234.
- [24] 胡新,刘小丽,何梦雅,等.香椿采后生理学变化及其保鲜技术研究进展[J].食品与发酵工业,2019,45(11):286-291.
- [25] 赵菊莲,水建军.柠檬烯复合液对草莓采后保鲜效果的影响[J].中国食物与营养,2014,20(3):51-54.
- [26] 赵妍,杨超,王若兰,等.CaCl<sub>2</sub>处理对草莓采后品质及灰霉病害的影响[J].食品工业科技,2013,34(13):313-316.
- [27] 付亮,刘诗扬,徐方旭.不同浓度1-MCP对草莓果实货架期品质的影响[J].辽宁大学学报(自然科学版),2015,42(3):280-284.
- [28] SILVA V, IGREJAS G, FALCO V, et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of phenolic compounds extracted from wine industry by-products[J]. Food control, 2018, 92: 516-522.
- [29] 郑晓冬,张红印,席琦芳.罗伦隐球酵母对草莓采后灰霉病害的生物防治[J].农业工程学报,2003,19(5):171-175.
- [30] 张璐,张瑶,刘丽丹,等.膜醌毕赤酵母对草莓采后灰霉病抗病性的诱导[J].食品科学,2013,34(22):286-291.
- [31] 王婷.丁香提取物对草莓保鲜效果的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [32] 付振喜.丁香等天然物质的抑菌成分在果蔬保鲜中的应用研究[D].天津:天津科技大学,2010.
- [33] 张安宁,王鑫,陈洁.草莓的涂膜保鲜研究[J].食品科学,2006,27(3):231-235.
- [34] 谭福能,金梦飞.羧甲基壳聚糖/海藻酸钠/纳米二氧化硅涂膜保鲜草莓[J].食品工业,2020,41(2):155-158.
- [35] 王中伟,李云成,郑淼心,等.魔芋葡甘聚糖/壳聚糖复合涂膜对草莓采后贮藏品质的影响[J].食品科技,2019,44(3):46-50.
- [36] 何士敏,陈易,晁利花.壳聚糖涂膜保鲜草莓的研究[J].食品研究与开发,2014,35(21):131-136.
- [37] 段丹萍,乔勇进,鲁莉莎,等.不同壳聚糖涂膜复合物对草莓贮藏品质的研究[J].上海农业学报,2010,26(1):50-54.
- [38] 聂凌鸿,黄樱樱.草莓复合涂膜保鲜效果的研究[J].食品科技,2012,37(8):52-56,61.
- [39] 曾少雯,杜玮瑶,邓琪琪,等.香芹淀粉复合膜对草莓保鲜的研究[J].农产品加工,2018(20):7-12,15.