

# 荧光照射下 PET 阻隔瓶对杀菌乳风味的保护研究

付翠霞<sup>1</sup>, 陈彩锐<sup>1</sup>, 程晓双<sup>1</sup>, 张月恩<sup>1</sup>, 董振玲<sup>1</sup>, 张丽梅<sup>2</sup>

(1.君乐宝乳业集团有限公司, 石家庄 050200; 2.北京工商大学, 北京 100000)

**摘要:** **目的** 研究分析添加质量分数为 8% 的阻光色油的 PET 瓶 (简称阻光 8% PET 瓶) 包装对杀菌乳风味物质组成和含量的影响, 为杀菌乳保质期的延长提供数据支撑。**方法** 模拟超市货架光照情况, 以纯 PET 瓶和阻光 8% PET 瓶包装做对比, 分析不同贮存期杀菌乳感官风味指标变化及特征风味物质组成及含量变化。**结果** 相对纯 PET 瓶杀菌乳, 阻光 8% PET 瓶杀菌乳, 光照 3、7 d 后两样品关键感官特性指标 (奶香气、奶腥味、异味强度) 及整体喜好度平均值均表现出显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 阻光 8% PET 瓶杀菌乳的奶香气、整体喜好度评价均优于纯 PET 瓶杀菌乳的, 奶腥味、异味强度均低于纯 PET 瓶杀菌乳的。经特征风味化合物分析, 醛类化合物对杀菌乳异常风味贡献最大, 酸类、酮类、醇类物质贡献较小。**结论** 阻光 8% PET 瓶包装能有效延缓光照 31 d 贮存期杀菌乳产品醛类物质的种类和含量的迅速增加, 能一定程度减少部分酸类、酮类、醇类物质的增加, 从而减少异常风味, 提高产品的喜好度, 可一定程度延长杀菌乳的货架期。

**关键词:** 特征风味化合物; 感官评价; 阻光色油; PET 瓶; 光氧化

**中图分类号:** TS252.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0122-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.015

## Flavor Protection of Sterilized Milk by PET Blocking Bottle under Fluorescence Irradiation

FU Cui-xia<sup>1</sup>, CHEN Cai-rui<sup>1</sup>, CHENG Xiao-shuang<sup>1</sup>, ZHANG Yue-en<sup>1</sup>,  
DONG Zhen-ling<sup>1</sup>, ZHANG Li-mei<sup>2</sup>

(1. Junlebao Dairy Group Co., Ltd., Shijiazhuang 050200, China;

2. Beijing Technology and Business University, Beijing 100000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study and analyze the effect of 8% PET bottle packaging with light-blocking oil on the composition and content of flavor substances in sterilized milk, so as to provide data support for prolonging the shelf life of sterilized milk. The light condition of supermarket shelves was simulated. The changes of sensory flavor index, composition and content of characteristic flavor substances of the sterilized milk in different storage periods were analyzed by comparing pure PET bottles and 8% PET bottles with light-blocking oil. The results showed that compared with the sterilized milk in the pure PET bottle, the sterilized milk in the 8% PET bottle with light-blocking oil showed significant differences in the key sensory characteristics (milk aroma, milky smell and off-flavour intensity) and the average value of overall preference after being exposed to light for 3 and 7 days ( $P < 0.05$ ). The sterilized milk in the light-blocking 8% PET bottle was superior to that in the pure PET bottle in terms of milk aroma and overall preference. Its milky smell and

收稿日期: 2022-08-03

基金项目: 农业高质量发展关键共性技术攻关专项 (20321201D)

作者简介: 付翠霞 (1987—), 女, 硕士, 中级, 主要研究方向为包装材料。

off-flavour intensity was lower than that in pure PET bottle. According to the analysis of characteristic flavor compounds, aldehydes contributed the most to the abnormal flavor of sterilized milk products, while acids, ketones and alcohols contributed less. The light-blocking 8% PET bottle package can effectively slow down the variety and content of aldehydes of sterilized milk products in a storage period of 31 days of light, and can reduce the increase of some acids, ketones and alcohols to a certain extent, so as to reduce the abnormal flavor, improve the preference of products, and extend the shelf life of sterilized milk to a certain extent.

**KEY WORDS:** characteristic flavor compound; sensory evaluation; light-blocking oil; PET bottle; photooxidation

牛乳的风味主要是通过挥发性成分与鼻腔内嗅觉上皮受体的相互作用来感知<sup>[1]</sup>, 牛乳中的挥发性成分主要为两大类: 一类是含氧、硫、氮原子的杂环化合物, 另一类是烃、醇、醛、酮、酸、酯、内酯等简单化合物<sup>[2]</sup>。

光氧化导致乳品风味变化是限制牛乳货架期的重要原因之一, 光氧化会加剧牛奶异味的产生、营养下降<sup>[3-5]</sup>, 光作用于蛋白质中的某些氨基酸, 导致肽链断裂, 产生有害物质, 光激发光敏剂产生单线态氧, 将蛋氨酸氧化成硫醇、硫化物、二甲基二硫化物, 光直接氧化和激发光敏剂间接氧化产生的蛋白光氧化产物都能引起牛奶的异味<sup>[6-7]</sup>, 牛乳脂肪中的色素可以吸收紫外光或可见光, 激发光敏剂发生脂肪光氧化反应生成醛、酮、醇、酸等羰基化合物<sup>[8-9]</sup>, 脂肪光氧化的次级产物主要为己醛、戊醛、庚醛、酮、醇和碳氢化合物, 其含量随着光照时间的延长而显著增加, 这些光氧化产物是导致牛乳风味异常的主要原因<sup>[10-12]</sup>。

包装材料的选择对规避这种特殊的牛奶变质情况至关重要, 光阻隔包装可以避免牛奶在长时间贮存期的光诱发氧化。苏日娜等<sup>[13]</sup>在 PET 阻隔瓶性能研究中, 对比不同质量分数白色母 (13%~15%)、紫色母 (1%~5%PET) 瓶对酸奶产品品质的影响, 研究数据显示添加色母的阻隔瓶会影响产品的特征香气和口感整体喜好度, 且随着添加色母量增加, 光阻性能增加, 包装瓶的保护性能更优, 添加一定比例色母料能达到光阻隔作用, 从而减少牛乳光氧化异味的产生。

本研究旨在通过模拟在货架光源 3500-4000LUX 荧光灯照射强度下, 以杀菌乳为研究对象, 以纯 PET 瓶和添加质量分数为 8% 的阻光色油 PET 瓶做对比, 采用顶空固相萃取-气相色谱-质谱法 (HS-SPME-GC-MS)<sup>[14-17]</sup> 分析杀菌乳在整个贮存期的感官风味指标和特征风味物质组成及含量变化规律, 探索光照引起杀菌乳中不良风味的主要化合物来源, 以及添加质量分数为 8% 的阻光色油 PET 瓶包装对杀菌乳风味的保护作用, 研究结果对光氧化导致的杀菌乳异味的改善、乳制品合理的储藏和包装改善方向提供了进一步的科学依据。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料和试剂: 杀菌乳为悦鲜活牛奶 (君乐宝), PET 瓶为纯 PET 瓶和添加质量分数为 8% 的阻光色油 PET 瓶 (后文简称阻光 8% PET 瓶), 色谱柱为 2-甲基-3-庚酮等。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: 智能人工气候箱-RTOP 型、Waters 2695-2475 高效液相色谱仪-荧光检测器、890B-5977A 型气相色谱-质谱联用仪、DB-WAX 型毛细管柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、箭型固相微萃取进样器及 DVB/CAR/PDMS (120 μm×20 mm) 的 SPME arrow 萃取头。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 挥发性风味物质检测

样品处理: 在顶空瓶中称取 10 g 牛奶和 1 g 氯化钠, 用微量进样器吸取 1 μL 质量浓度为 0.816 mg/mL 的内标物 2-甲基-3-庚酮打入顶空瓶中; 密封好的顶空瓶放入水浴锅中加热平衡 20 min 后, 将 SPME Arrow 的萃取头插入顶空瓶中, 推出萃取纤维; 待顶空吸附 30 min 后, 缩回萃取纤维, 并拔出萃取头, 等待 GC 进样。

GC 条件: 毛细管柱为 60 m×0.25 mm, 0.25 μm 的 DB-WAX 柱, 以氦气作为载气, 设置恒定流速为 1.2 mL/min; 色谱柱的升温程序为起始柱温 40 °C, 以 7 °C/min 升温到 75 °C, 然后以 2 °C/min 升到 150 °C; 最后以 5 °C/min 升到 230 °C, 维持 2 min; 采用不分流模式。

定量分析: 利用内标半定量法来计算各挥发性风味化合物的含量, 根据化合物与内标物质的峰面积比值来计算各挥发性风味化合物的含量。

#### 1.3.2 感官评价

由 40 人左右评价员组成评价小组, 其中非培训型评价员 > 25 人, 培训型评价员 > 15 人。

非培训型评价员评价整体喜好度用 9 点快感标度法 (9→1 表示喜欢→不喜欢, <5 表示不能接受); 培训型评价员评价关键感官特性指标 (奶香气、奶腥味、异味强度), 用 10 点强度标度法 (10→0 表示极强→察觉不到) 进行评价。

统计分析方法: 采用 SPSS 17 进行数据统计分析, 单因素分析法, 显著性水平选择 5%。

## 1.4 配方及生产工艺

### 1.4.1 杀菌乳生产工艺

生产工艺流程: 生牛乳经原料乳验收→净乳浓缩→杀菌 (0.09 s)→灌装→入库。

### 1.4.2 PET 瓶配方及生产工艺

阻隔瓶配方: PET 质量分数为 92%、阻光剂质量分数为 8%。

纯 PET 瓶配方: PET 质量分数为 100%。

瓶坯生产工艺: 料粒干燥→混料→熔融塑化→合模→注射→保压→预塑→冷却→开模→取制品。

瓶生产工艺: 上坯→加热→拉伸预吹→成型→开模→取制品。

## 1.5 样品的制备

灌装后的悦鲜活纯牛奶经 3 500~4 000 lx 荧光灯照射, 对纯 PET 瓶, 阻光 8% PET 瓶的样品同时在 2~6 °C 储存条件下, 分别在储存 0 (刚生产下线产品)、3、7、14、21、31 d 等 6 个时间段进行取样, 测定挥发性风味组分与感官的变化情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价结果

对不同贮存期杀菌乳样品进行感官测评, 结果见

表 1 和图 1—5。

经感官评审小组评价, 光照 3、7 d 后两样品关键感官特性指标 (奶香气、奶腥味、异味强度) 及整体喜好度平均值均呈现出显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 阻光 8% PET 瓶杀菌乳的奶香气、整体喜好度评价均优于纯 PET 瓶, 奶腥味、异味强度均低于纯 PET 瓶, 且光照 7 d 纯 PET 瓶杀菌乳异味大于 5 分中位值水平 (10 点强度标度法), 出现明显的感官差异 ( $P < 0.05$ ), 感官评价不可接受。

据图 1—5 分析可知, 光照 3 d 后纯 PET 瓶杀菌乳较阻光 8% PET 瓶杀菌乳的异味明显增加, 喜好度明显降低, 据异味描述分析, 纯 PET 瓶杀菌乳异味除奶腥味外, 异味多描述为氧化味、包材味、陈旧味和怪味等, 且纯 PET 瓶杀菌乳喜好度和奶香气评分的降低与异味的增强相关。

阻光 8% PET 瓶杀菌乳喜好度在光照 3、7、14、21、31 d 的平均分值为 6 分水平, 大于 5 分中位值水平 (10 点强度标度法), 感官喜好度均可, 奶香气接近于 5 分水平, 奶腥味和异味均小于 3 分水平, 对比纯 PET 瓶包装, 阻光 8% PET 瓶包装可以明显改善光照引起的异常风味。

### 2.2 特征风味化合物

挥发性成分与鼻腔内嗅觉上皮受体的相互作用感知形成杀菌乳感官风味, 杀菌乳感官风味的形成与检测到的风味物质种类和含量密切相关, 对纯 PET 瓶、阻光 8% PET 瓶储存杀菌乳样品进行挥发性风味化合物定性和定量分析, 探索引起杀菌乳异味的主要风味化合物及贮存期含量的变化, 结果见表 2。

对杀菌乳样品中酸类化合物、醛类化合物、酮类化合物、醇类化合物、含硫化合物、内酯类化合物等共计 27 种特征风味物质进行测定, 刚下线杀菌乳产

表 1 整体喜好度及各指标的平均值  
Tab.1 Overall preference and average value of each index

关键性指标	光照 0 d	光照 3 d		光照 7 d		光照 14 d	光照 21 d	光照 31 d
		阻光 8% PET 瓶	纯 PET 瓶	阻光 8% PET 瓶	纯 PET 瓶	阻光 8% PET 瓶	阻光 8% PET 瓶	阻光 8% PET 瓶
整体喜好度	6.72	6.52a	4.12b	5.93a	4.12b	6.00	6.46	5.81
奶香气强度	5.67	5.82a	4.98b	4.81a	4.03b	5.35	4.89	4.95
奶腥味强度	2.1	1.67b	3.22a	1.73b	2.83a	2.27	2.03	2.53
异味强度	1.5	1.88b	4.47a	2.30b	5.27a	3.10	2.88	3.77

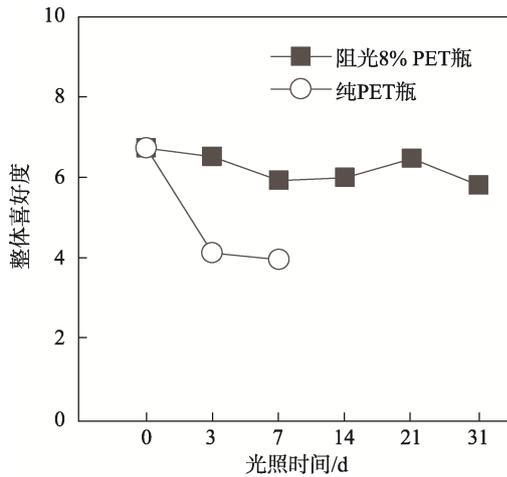


图 1 牛乳感官指标-整体喜好度变化趋势

Fig.1 Milk sensory index-trends in overall preference

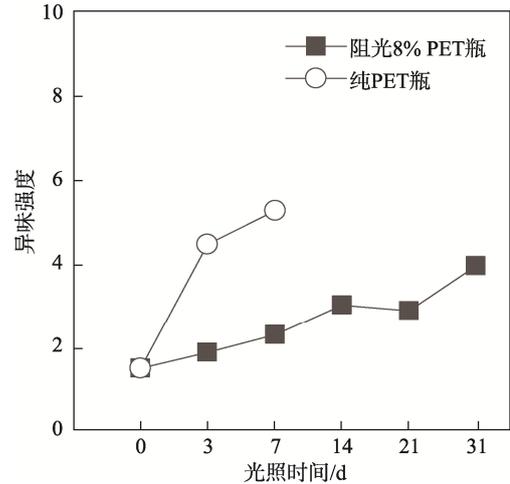


图 4 牛乳感官指标-异味强度

Fig.4 Milk sensory index-intensity of off-flavour

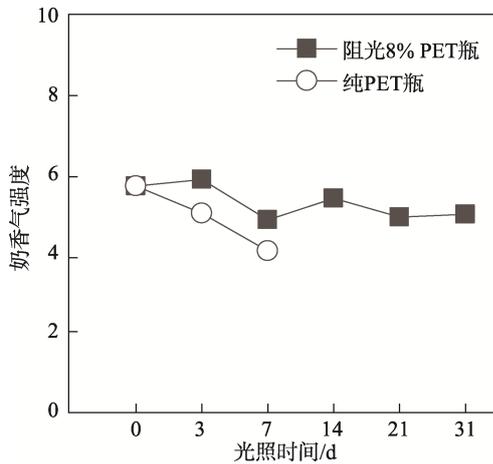


图 2 牛乳感官指标-奶香气强度

Fig.2 Milk sensory index-intensity of milk aroma

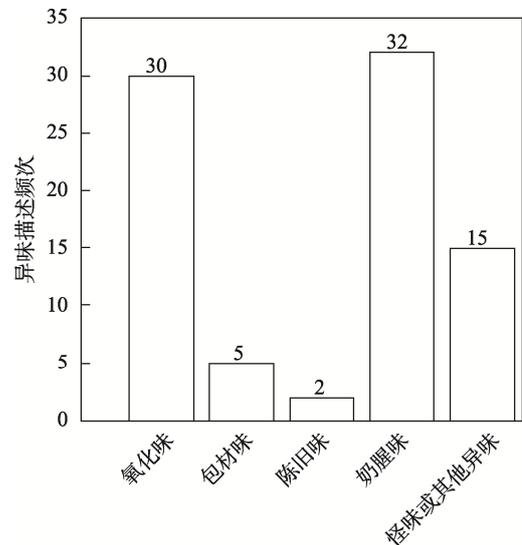


图 5 纯 PET 瓶杀菌乳异味描述频次统计

Fig.5 Off-flavour description frequency statistics of sterilized milk in pure PET bottle product

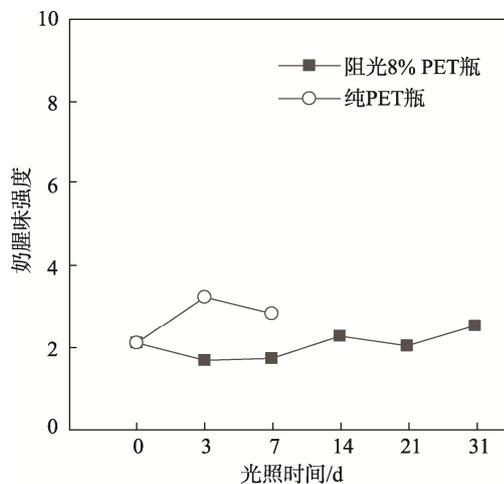


图 3 牛乳感官指标-奶腥味强度

Fig.3 Milk sensory index-intensity of milky smell

品检测到主要风味物质为酸类化合物和极少量的醇类化合物和醛类化合物, 随着光照时间的延长, 纯 PET 瓶和阻光 8% PET 瓶杀菌乳特征风味化合物含量都有所增加, 其中纯 PET 瓶杀菌乳产品中醛类物质的含量呈现迅速增长的趋势, 其含量增加明显高于阻光 8% PET 瓶, 光照 3、7、14 d 纯 PET 瓶杀菌乳酸类物质含量也明显高于阻光 8% PET 瓶, 光照 7 d 后纯 PET 瓶杀菌乳酮类和醇类物质增加, 硫类和内酯类物质含量相对较少, 阻光 8% PET 瓶杀菌乳出现少量的酮类和内酯类化合物。

### 2.2.1 醛类化合物

随着光照时间延长, 杀菌乳中醛类化合物出现显著增长差异, 对杀菌乳中醛类化合物进行分析, 见图 6—8。



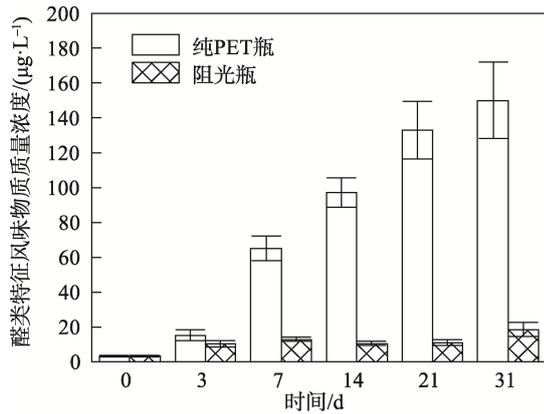


图 6 醛类化合物质量浓度对比  
Fig.6 Comparison of aldehyde compound content

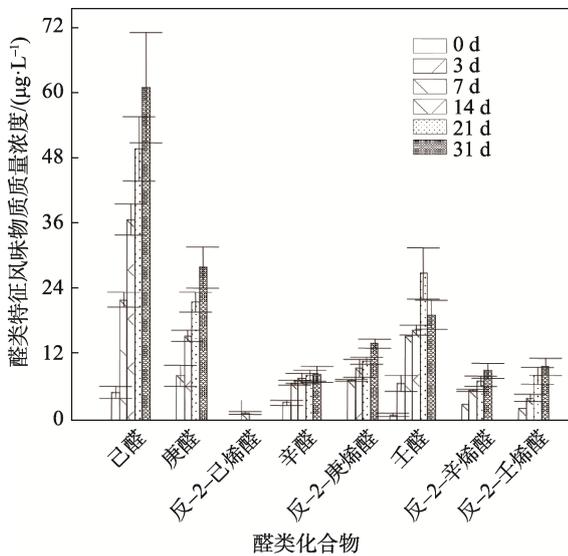


图 7 纯 PET 瓶产品醛类化合物质量浓度

Fig.7 Aldehyde compound content of light-blocking pure PET bottle product

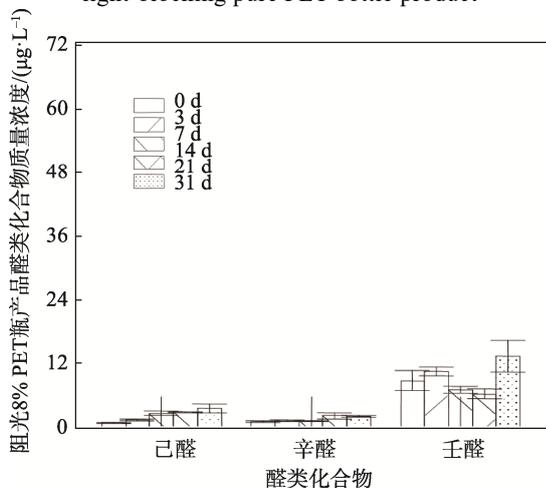


图 8 阻光 8% PET 瓶产品醛类化合物质量浓度

Fig.8 Aldehyde compound content of light-blocking PET bottle product

对杀菌乳样品中醛类化合物进行分析, 刚下线产品主要含有少量的壬醛, 在荧光照强度 3 500~4 000 lx 水平下纯 PET 瓶产品光照 3、7 d 出现了辛醛、己醛, 随着光照时间的延长, 醛类化合物含量增加, 种类增多, 光照 31 d 检测出 7 类醛类物质, 己醛含量最高。6 个碳原子以上的饱和醛和不饱和醛是典型的脂肪氧化产物, 己醛、庚醛、壬醛主要来自于不饱和脂肪酸, 如亮氨酸、亚麻酸亚油酸的氧化分解<sup>[18-20]</sup>。

据图 3 分析, 阻光 8% PET 瓶杀菌乳检测到的醛类风味物质为己醛、辛醛和壬醛, 且己醛和辛醛含量较少, 壬醛含量相对较多, 随着光照时间延长, 醛类含量都有缓慢增加趋势。从挥发性物质的强度分析, 阻光 8% PET 瓶杀菌乳光照 31 d 检测出的辛醛、己醛化合物均明显低于纯 PET 瓶, 且均低于风味阈值, 阻光 8% PET 瓶杀菌乳主要风味贡献为壬醛化合物, 纯 PET 瓶杀菌乳光照 3 d 检测出的辛醛、壬醛、己醛化合物含量均已高于其风味阈值, 且随着光照时间延长持续增加。Beauchamp 等<sup>[12]</sup>在研究延长保质期牛乳光氧化导致的挥发性成分时, 也检测到丙醛、戊醛、辛烷醛、壬醛、己醛、庚醛、苯甲醛等多种醛类化合物。Wold 等<sup>[21]</sup>在测定不同波长光照对牛奶的影响研究中, 也检测到戊醛和己醛等醛类化合物。光氧化能明显增加杀菌乳醛类化合物的种类和含量, 醛类化合物风味阈值低, 对风味贡献大<sup>[22]</sup>。

### 2.2.2 酸类化合物

酸类化合物是杀菌乳主要的风味物质, 对杀菌乳样品酸类化合物进行分析, 见图 9—10。

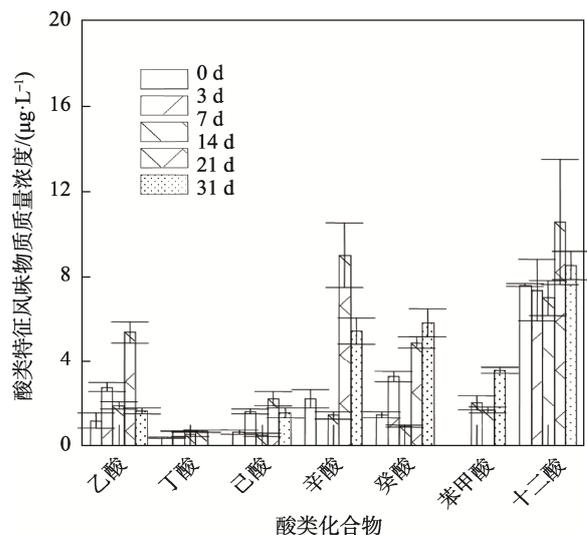


图 9 阻光 8% PET 瓶产品酸类化合物质量浓度

Fig.9 Acid compound content of light-blocking PET bottle product

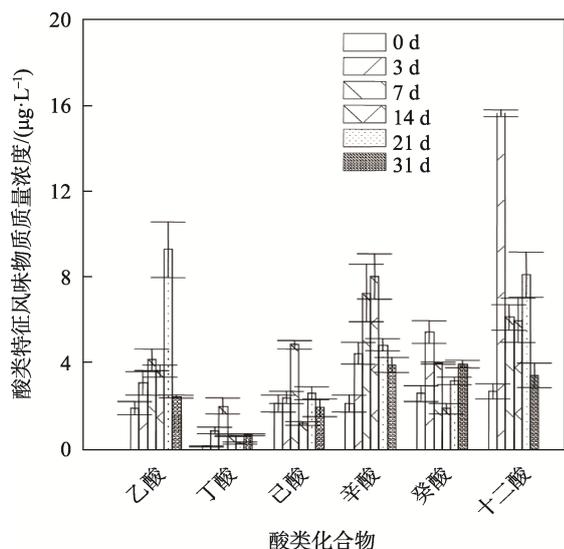


图 10 纯 PET 瓶产品酸类化合物质量浓度  
Fig.10 Acid compound content of pure PET bottle product

酸类化合物在杀菌乳样品中含量较多，其中乙酸、丁酸、辛酸、己酸、癸酸、十二酸在整个贮存期均有检出，且在贮存前期均有一定程度的增加，纯 PET 瓶杀菌乳光照 3 d 辛酸、癸酸、十二酸增长迅速，光照 7 d 丁酸和己酸增长迅速，光照 21 d 乙酸增长迅速。阻光 8% PET 瓶杀菌乳光照 3 d 癸酸增长迅速，光照 14 d 辛酸增长迅速，光照 21 d 十二酸增长迅速，酸类物质主要由脂肪中的甘油三酯在一定条件下发生水解而产生且风味特征明显，是牛乳制品中的常见挥发性风味物质，短链脂肪酸如己酸、辛酸在适当浓度下具有奶油风味，是牛乳特征风味的代表组分<sup>[23]</sup>。辛酸一定程度也会表现出酸臭味，癸酸具有脂肪味和腐败味，己酸具有奶油味和腐败味，乙酸具有醋酸风味，十二酸具有金属味。

### 2.2.3 酮类化合物

不饱和脂肪酸氧化、氨基酸降解和微生物代谢产生是获得酮类化合物的主要途径<sup>[24]</sup>，对杀菌乳中酮类化合物进行分析，结果见图 11—12。

纯 PET 瓶杀菌乳光照 7、14、21 d 时均有 2,3-辛二酮检出，且随着光照时间延长含量逐渐减少，光照 14 d 时 1-辛烯-3-酮有少量检出，阻光 8% PET 瓶杀菌乳只在光照 21 d 时有少量的 2,3-辛二酮检出，且检测到的酮类化合物含量很低，均低于其阈值，酮类化合物对杀菌乳风味的贡献较小。

### 2.2.4 醇类化合物

醇类化合物可能来源于化学降解，也可能涉及部分微生物活动<sup>[10]</sup>，对杀菌乳中醇类化合物进行分析见图 13—14。

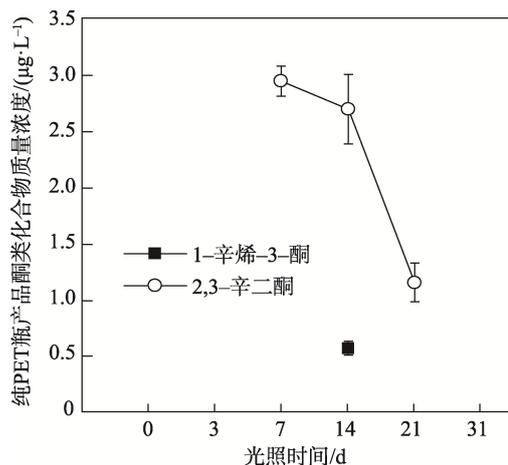


图 11 纯 PET 瓶产品酮类化合物质量浓度  
Fig.11 Ketone compound content of pure PET bottle product

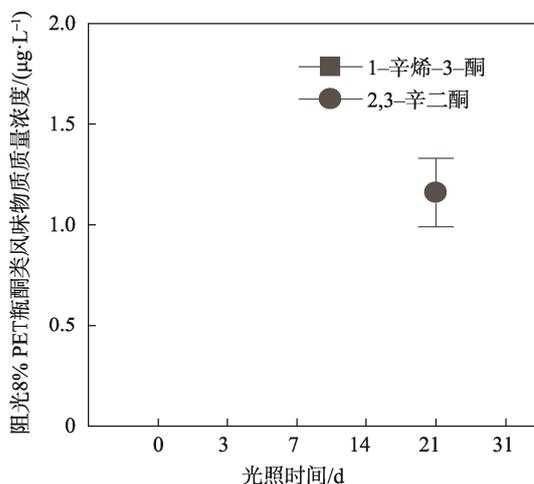


图 12 阻光 8% PET 瓶产品酮类化合物质量浓度  
Fig.12 Ketone compound content of light-blocking PET bottle product

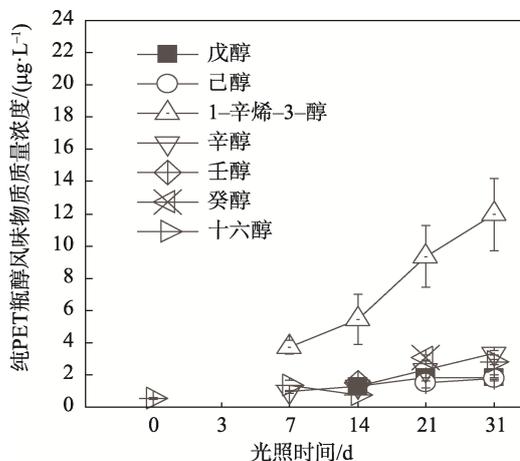


图 13 纯 PET 瓶产品醇类化合物质量浓度  
Fig.13 Alcohol compound content of pure PET bottle product

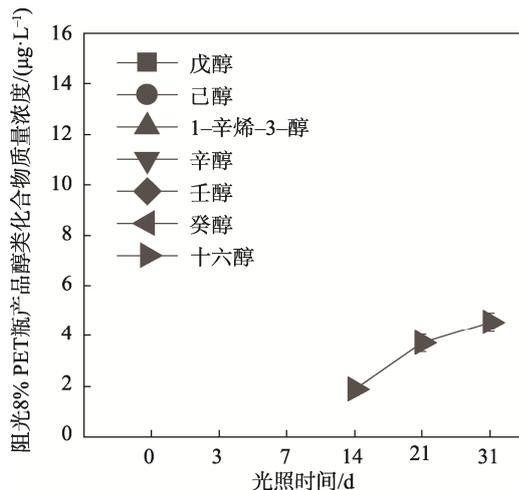


图 14 阻光 8% PET 瓶产品醇类化合物质量浓度  
Fig.14 Alcohol compound content of light-blocking bottle product

阻光 PET 瓶杀菌乳样品中只检出少量的十六醇, 其他醇类物质未有检出, 纯 PET 瓶杀菌乳样品中检出的醇类化合物较多, 有戊醇、己醇、1-辛烯-3-醇、辛醇、壬醇、癸醇、十六醇, 其中 1-辛烯-3-醇含量随着光照时间延长出现明显递增趋势, 1-辛烯-3-醇是最具有代表性的不饱和醇, 被认为是霉菌的主要挥发性物质<sup>[25]</sup>, 风味阈值比较低, 对杀菌乳的风味贡献较大。

### 3 结语

在荧光照强度 3 500~4 000 lx 水平下, 随着光照时间延长, 纯 PET 瓶杀菌乳、阻光 8% PET 瓶杀菌乳两样品在整个贮存期关键感官特性指标 (奶香气、奶腥味、异味强度) 及整体喜好度平均值均表现出显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 阻光 8% PET 瓶杀菌乳的奶香气、整体喜好度评价均优于纯 PET 瓶杀菌乳的, 奶腥味、异味强度均低于纯 PET 瓶杀菌乳的, 特征风味物质醛类化合物、酸类化合物、酮类化合物、醇类化合物对杀菌乳风味都有一定的贡献, 纯 PET 瓶杀菌乳光照 3 d 出现明显异常风味, 这与杀菌乳样品中醛类风味化合物迅速增强相关, 醛类化合物是典型的脂肪氧化产物, 是杀菌乳主要的异味来源, 阻光 8% PET 瓶能有效减少光照 31 d 贮存期杀菌乳醛类物质含量和种类的迅速增加, 可减缓贮存前期光照 3 d 辛酸、十二酸, 光照 7 d 丁酸、己酸等酸类物质的迅速增加, 阻光 8% PET 瓶可减缓贮存期内酮类物质, 如 2,3-辛二酮化合物、1-辛烯-3-酮化合物的产生, 减少醇类物质含量和种类的迅速增加, 从而减少异常风味, 提高产品的喜好度, 相较于纯 PET 瓶能一定程度地延长杀菌乳的货架期。

### 参考文献:

- [1] 杨继勇, 张养东, 郑楠, 等. 牛奶感官特征及风味物质的研究进展[J]. 动物营养学报, 2022, 34(5): 2790-2797.  
YANG Ji-yong, ZHANG Yang-dong, ZHENG Nan, et al. Research Progress on Sensory Characteristics and Flavoring Substances of Milk[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(5): 2790-2797.
- [2] 代敏. 保鲜乳挥发性风味物质的分析与调控[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006: 39-40.  
DAI Min. Analysis and Regulation of Volatile Flavor Compounds in Fresh Milk[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006: 39-40.
- [3] 王少雷, 谭冬飞, 张清阳, 等. 光氧化对超高温灭菌乳感官品质的影响研究[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(4): 35-38.  
WANG Shao-lei, TAN Dong-fei, ZHANG Qing-yang, et al. Effect of Photooxidation on the Sensory Quality of UHT Milk[J]. Food and Nutrition in China, 2021, 27(4): 35-38.
- [4] CHANG A C, DANDO R. Exposure to light-emitting diodes may be more damaging to the sensory properties of fat-free milk than exposure to fluorescent light[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(1): 154-163.
- [5] STANCIK C M, CONNER D A, JERNAKOFF P, et al. Accelerated Light Protection Performance Measurement Technology Validated for Dairy Milk Packaging Design[J]. Packaging Technology and Science, 2017, 30(12): 771-780.
- [6] 刘晓庚. 光氧化及其对食品安全的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 579-583.  
LIU Xiao-geng. Photooxidation and Its Influence on Food Safety[J]. Food Science, 2006, 27(11): 579-583.
- [7] 魏冠棉, 周鹏. 紫外诱导的光氧化对浓缩乳蛋白理化性质的影响[C]// 中国化学会第 30 届学术年会-第四十三分会: 质谱分析.  
WEI Guan-mian, ZHOU Peng. Effect of Ultraviolet Induced Photooxidation on Physicochemical Properties of Milk Protein Concentrate[C]// 30th Annual Meeting of Chinese Chemical Society-Session 43: Mass spectrometry.
- [8] AIRADO-RODRÍGUEZ D, INTAWIWAT N, SKARET J, et al. Effect of Naturally Occurring Tetrapyrroles on Photooxidation in Cow's Milk[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(8): 3905-3914.
- [9] 谭冬飞, 王少雷, 张清阳, 等. 光诱导乳脂肪氧化的研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(1): 39-43.  
TAN Dong-fei, WANG Shao-lei, ZHANG Qing-yang, et

- al. A Review of Recent Studies on the Light-Induced Oxidation of Milk[J]. *Journal of Dairy Science and Technology*, 2021, 44(1): 39-43.
- [10] LEE J H, MIN D B. Changes of Headspace Volatiles in Milk with Riboflavin Photosensitization[J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(7): 563-568.
- [11] DALSGAARD T K, SØRENSEN J, BAKMAN M, et al. Light-Induced Protein and Lipid Oxidation in Low-Fat Cheeses: Whey Proteins as Antioxidants[J]. *Dairy Science and Technology*, 2011, 91(2): 171-183.
- [12] BEAUCHAMP J, ZARDIN E, SILCOCK P, et al. Monitoring Photooxidation-Induced Dynamic Changes in the Volatile Composition of Extended Shelf Life Bovine Milk by PTR-MS[J]. *Journal of Mass Spectrometry*, 2014, 49(9): 952-958.
- [13] 苏日娜, 杨畅, 李星岩, 等. PET瓶阻隔性能研究及对酸奶品质的影响[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(7): 54-57.
- SU Ri-na, YANG Chang, LI Xing-yan, et al. Research of PET Barrier Performance and the Impact on Yoghurt[J]. *China Dairy Industry*, 2019, 47(7): 54-57.
- [14] DAN T, WANG D, JIN R L, et al. Characterization of Volatile Compounds in Fermented Milk Using Solid-Phase Microextraction Methods Coupled with Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(4): 2488-2500.
- [15] 肖丹. 顶空固相微萃取技术的应用与展望[J]. *中国卫生工程学*, 2015, 14(1): 88-92.
- XIAO Dan. Application and Prospect of Headspace Solid-Phase Microextraction Technology[J]. *Chinese Journal of Public Health Engineering*, 2015, 14(1): 88-92.
- [16] 张文娟, 周考文. HS-SPME-GC-MS在食品挥发性物质分析中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(17): 218-224.
- ZHANG Wen-juan, ZHOU Kao-wen. Application of HS-SPME-GC-MS in the Analysis of Volatile Components in Food[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(17): 218-224.
- [17] 廖顺. 利用顶空固相微萃取与气质联用技术分析食品中的挥发性成分[C]// 现代食品工程与营养健康学术研讨会暨 2020年广东省食品学会年会论文集, 2020: 98-101.
- LIAO Shun. Analysis of Volatile Components in Food by Headspace Solid-Phase Microextraction and GMS[C]// *Modern Food Engineering and Nutrition Health Symposium and the Annual Meeting of Guangdong Food Society in 2020*, 2020: 98-101.
- [18] BERG H E, BOEKEL. Degradation of Lactose During Heating of Milk[J]. *Netherlands Milk & Dairy Journal*, 1994, 48(3): 157-175.
- [19] VAN Aardt M, DUNCAN S E, BOURNE D, et al. Flavor Threshold for Acetaldehyde in Milk, Chocolate Milk, and Spring Water Using Solid Phase Microextraction Gas Chromatography for Quantification[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(3): 1377-1381.
- [20] ANDREA B, GABRIELA G, MARTIN I, et al. Seasonal Variation in the Odour Characteristics of Whole Milk Powder[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 960-967.
- [21] WOLD J P, SKARET J, DALSGAARD T K. Assessment of the Action Spectrum for Photooxidation in Full Fat Bovine Milk[J]. *Food Chemistry*, 2015, 179: 68-75.
- [22] 颜志秀, 陆思宇, 孟丽娜, 等. 藏灵菇发酵螺旋藻酸乳工艺条件优化及其挥发性风味物质[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(9): 189-197.
- YAN Zhi-xiu, LU Si-yu, MENG Li-na, et al. Optimization of Process Conditions and Volatile Flavor Compounds of Spirulina Yoghurt Fermented by Tibetan Mushroom[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(9): 189-197.
- [23] 李广富, 陈伟, 范路平, 等. 灵芝功能成分酸奶品质与风味物质分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 168-173.
- LI Guang-fu, CHEN Wei, FAN Lu-ping, et al. Nutritional Quality and Aroma Components in Yogurt Supplemented with Functional Components of Ganoderma Lucidum[J]. *Food Science*, 2015, 36(10): 168-173.
- [24] 乌日汗, 包连胜, 包秀萍, 等. 科尔沁地区食疗用酸马奶发酵过程中挥发性风味物质的动态变化研究[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(8): 10-16.
- WU Ri-han, BAO Lian-sheng, BAO Xiu-ping, et al. Dynamic Changes of Volatile Flavor Compounds During the Fermentation of Koumiss for Food Therapy in Horqin Area[J]. *China Dairy Industry*, 2019, 47(8): 10-16.
- [25] 张雷亮, 李晟, 郭鸽, 等. 1-辛烯-3-醇的合成工艺优化研究[J]. *山东化工*, 2017, 46(2): 3-4.
- ZHANG Lei-liang, LI Sheng, GUO Ge, et al. Study on Optimization of Synthesis Process of 1-Octene-3-Ol[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2017, 46(2): 3-4.