

泡沫箱结合薄膜包装对小白菜保鲜效果的影响

周俞含, 吴姗鸿, 骆佳, 廖雯, 舒丽洁, 张敏

(西南大学 食品科学学院, 重庆 400715)

摘要: **目的** 探究采用泡沫箱与薄膜包装结合的方式对常温物流小白菜的保鲜作用, 分析泡沫箱阻隔性对小白菜保鲜包装薄膜厚度选择所产生的影响。**方法** 以小白菜为实验对象, 分别在有无泡沫箱 2 种情况下, 采用厚度为 20、40、60、80、100 μm 的聚乙烯 (polyethylene, PE) 袋包装, 探究不同包装对小白菜保鲜的效果。**结果** 泡沫箱对气体的阻隔性会影响包装内部氧气的含量, 有无泡沫箱对内包装膜厚度的选择有所不同。采用无泡沫箱时选择 60 μm 的 PE 膜, 采用有泡沫箱时选择 40 μm 的 PE 膜, 均可有效控制顶空气体的比例, 使小白菜的感官品质达到最佳。此外, 泡沫箱外包装的存在能够使小白菜提早 4 d 进入稳定保鲜气体环境, 更有利于维持较好的商品性。无论是否采用泡沫箱, 80 μm 和 100 μm 的 PE 膜都极易导致小白菜因无氧呼吸而快速腐烂, 直至商品性完全丧失。**结论** 在物流保鲜过程中, 采用泡沫箱与 PE 袋相结合的方式包装小白菜, 可以有效维持小白菜常温物流下的感官特性, 且成本低廉、绿色安全。需注意, 如果使用泡沫箱, 则需相应调整内包装, 才能给小白菜构建最适宜保鲜的气体环境, 达到最佳的快递保鲜效果。

关键词: 小白菜; 泡沫箱; 膜厚度; 顶空气体比例; 物流保鲜

中图分类号: TS206.6; TB484.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)15-0052-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.008

Effect of Foam Box Combined with Film Packaging on the Freshness Quality of Pakchoi

ZHOU Yu-han, WU Shan-hong, LUO Jia, LIAO Wen, SHU Li-jie, ZHANG Min

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effect of foam box combined with film packaging on the freshness of pakchoi in normal temperature logistics, and analyze the effect of foam box barrier on the choice of thickness for pakchoi preservation film. To investigate the effect of different packaging on the freshness of pakchoi, polyethylene (PE) bags with different thickness of 20 μm , 40 μm , 60 μm , 80 μm and 100 μm were used to pack pakchoi with and without foam boxes. Since the gas barrier of the foam box affected the oxygen content inside the packaging, the thickness of the inner packaging film was different under the condition with and without the foam box. In case of no foam box, 60 μm PE film was selected. In case of foam box, 40 μm PE film was selected, which could effectively control the proportion of headspace to achieve the optimal sensory quality of the pakchoi. In addition, the presence of the foam box allowed the pakchoi to enter a stable gas environment 4 days earlier, which was more conducive to maintaining good merchantability. Regardless of whether there was a foam box or not, the 80 μm and 100 μm PE films were highly susceptible to rapid decay due to anaerobic respiration until merchantability was completely lost. Therefore, the use of foam boxes combined with

收稿日期: 2023-01-12

作者简介: 周俞含 (1998—), 女, 硕士生, 主攻食品贮运保鲜技术。

通信作者: 张敏 (1975—), 男, 副教授, 主要研究方向为食品的贮运保鲜及快递包装技术。

PE bags directly in the logistics preservation process can effectively maintain the sensory characteristics of pakchoi in normal temperature logistics, which is also low-cost and safe for environment. It is important to note that if foam boxes are adopted, the inner packaging needs to be adjusted accordingly, in order to build the most suitable gas environment for pakchoi to achieve the best express preservation effect.

KEY WORDS: pakchoi; foam box; film thickness; proportion of headspace; logistic preservation

小白菜 (*Brassica campestris* L) 在我国具有悠久的种植历史, 它饱满嫩绿、营养价值高, 富含具有抗癌活性的硫代葡萄糖苷^[1]。由于缺乏对小白菜耐贮品种的筛选及相关保鲜技术的研究, 因此在常温储运过程中仅能维持小白菜嫩绿状态 1~2 d^[2]。叶菜类园艺产品衰老后最明显的变化是皱缩萎蔫、黄化^[3], 发生黄化的根本原因是叶绿素的降解。活性氧代谢会引起膜脂过氧化, 叶绿素降解酶所在的叶绿体被膜和叶绿体所在的内囊膜的通透性增大。在叶片水分流失时, 叶绿素和叶绿素酶随着水分的流动, 其接触概率增大, 促使叶片黄化^[4-5]。随着人们对高品质蔬菜的网购需求日益增大, 消费者对食品安全有着较高诉求, 因此通过物理技术来维持蔬菜的保鲜品质成为物流行业急需攻克的难点。

在物流运输过程中, 环境气体成分是影响果蔬保鲜的重要因素之一, 大部分果蔬在 O₂ 体积分数为 2%~5% 的环境中, 能够有效避免呼吸强度过高, 同时不会出现无氧呼吸^[6]。泡沫包装箱的主要成分是发泡聚苯乙烯 (expanded polystyrene, EPS), 它是一种新型高分子复合材料^[7], 被广泛应用于生鲜储运物流中。由于 EPS 具有一定的透气性, 将小白菜简单地放入泡沫箱内, 会使其长期处于高氧环境下, 并不适合长时间运输或贮藏, 因此可以在泡沫箱内多加一层包装薄膜, 以防止保鲜环境中的氧气浓度过高。目前, 市场上使用最多的是聚乙烯薄膜 (polyethylene, PE), PE 膜具有高透氧率和低透湿率的特点, 是常用的果蔬保鲜包装材料^[8]。由于 EPS 泡沫箱和 PE 包装膜的透气性会对小白菜接触的气体环境产生影响, 因此研究 2 种材料的搭配方式具有十分重要的意义。

文中实验以小白菜为实验对象, 设置有无泡沫箱外包装的 2 种物流场景, 并进行对比, 结合不同厚度的聚乙烯薄膜对小白菜进行包装, 研究 EPS 泡沫箱阻隔性对小白菜保鲜包装薄膜厚度的选择所产生的影响, 优化内外包装的协同作用, 提供整体包装保鲜方案。

1 实验

1.1 材料

挑选同一批次, 株高、成熟度一致, 无黄化部位, 无病虫害, 无机械损伤的新鲜小白菜, 购于重庆市北碚区天生农贸市场农户, 采摘后直接运至实验室。

采用邮政 7 号可发性聚苯乙烯包装箱泡沫箱, 外尺寸为 224 mm×125 mm×150 mm, 内尺寸为 195 mm×95 mm×120 mm, 壁厚为 15 mm, 购于广东岭南包装厂。PE 防雾膜的厚度为 20、40、60、80、100 μm, 其透湿率分别为 15.5、7.6、3.9、3.3、2.5 g/(m²·24 h), 透氧率分别为 5 123、2 957、2 377、1 576、1 200 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa), 购于河北铭塑包装材料有限公司。此次实验所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器和设备

主要仪器和设备: HHWS-III-300 恒温恒湿培养箱, 上海跃进医疗器械有限公司; CheckMate 3.0 顶空分析仪, 丹麦膜康公司; H1650R 台式高速冷冻离心机, 湖南湘仪公司; UV-2450PC 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; UltraScan@PRO 色差仪, 上海一恒科学仪器有限公司; 900 型自动封口机, 温州博时包装机械有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品准备

包装准备: 将不同厚度的 PE 膜用封口机制成大小一致、厚度不同的包装袋。样品处理: 用吸水纸将小白菜表面的露水轻轻擦去。按照不同的包装分为薄膜组 (A、B、C、D、E 组, 厚度分别为 20、40、60、80、100 μm)、薄膜+泡沫箱组 (A、B、C、D、E 组, 厚度为 20、40、60、80、100 μm)。每组每天进行 3 个平行实验, 在每个包装内装入 (250±5)g 小白菜 (约占泡沫箱容积的 2/3), 装箱后用胶带仔细在封盖处缠绕 4 圈, 以保证泡沫箱密封严实。将所有泡沫箱置于 23 °C、相对湿度 70% 的恒温恒湿箱中, 每 2 d 从各组中随机取出 3 个样品进行平行实验, 检测各项指标, 实验周期为 12 d。

1.3.2 指标检测

1.3.2.1 顶空气体比例

采用丹麦膜康公司的 CheckMate3 顶空气体分析仪检测袋内的 O₂ 和 CO₂ 浓度。

1.3.2.2 腐烂率

参考李江阔等^[9]的方法, 并稍作改变。根据叶片的腐烂面积分为 6 个等级: 0 级, 叶片无腐烂; 1 级, 叶片腐烂率≤总面积的 20%; 2 级, 叶片腐烂率≤总面积的 40%; 3 级, 叶片腐烂率≤总面积的 60%; 4 级, 叶片腐烂率≤总面积的 80%; 5 级, 叶片完全腐烂。按式 (1) 计算腐烂率。

腐烂率=Σ(腐烂级别×该级别颗数)×100%/ (最大腐烂级别×总颗数) (1)

1.3.2.3 超氧阴离子产生速率

参考曹建康等^[10]的方法。取小白菜样品,测其超氧阴离子产生速率,以每分钟每克小白菜产生的超氧阴离子的物质的量作为其产生速率,单位为 nmol/(min·g)。

1.3.2.4 总酚含量

参考 Zhou 等^[11]、Liu 等^[12]的方法。取小白菜样品测其总酚含量,用每克样品在 280 nm 处的吸光度表示,单位为 nm/g。

1.3.2.5 丙二醛含量

采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[13]测定丙二醛(MDA)含量,用每克小白菜中的MDA含量表示,单位为 μmol/g。

1.3.2.6 叶绿素含量

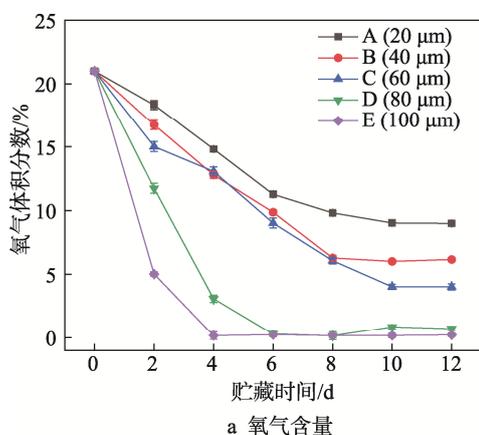
参考 Arnon 等^[14]的方法测定叶绿素含量,用每克小白菜中所含叶绿素的质量表示,单位为 mg/g。

1.3.2.7 感官评价

参考李立^[15]的方法,并略作改动。由经过培训的 10 位食品学院学生对小白菜的外观、色泽、异味、质地等感官指标进行评定,结果取平均值。此次实验以 6 分及以上评分表示具有商品性。感官指标评定标准如表 1 所示。

表 1 小白菜感官指标评价标准
Tab.1 Standard for sensory evaluation indicators of pakchoi

| 评分 | 外观 | 色泽 | 质地 | 异味 |
|------|----------|--------|------|------|
| 8~10 | 根茎、叶片硬挺 | 叶片嫩绿 | 富有弹性 | 无异味 |
| 6~8 | 根茎、叶片硬挺 | 叶片稍发黄 | 较有弹性 | 轻度异味 |
| 4~6 | 根茎、叶片稍萎焉 | 叶片发黄 | 无弹性 | 明显异味 |
| <4 | 根茎、叶片萎焉 | 叶片完全变黄 | 干瘪 | 严重异味 |



1.4 数据统计分析

使用 Microsoft Excel 2007 对各指标进行数据计算。用 IBM SPSS Statistics 22 对指标进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示显著性差异, $P < 0.01$ 表示极显著性差异, $P > 0.05$ 表示差异不显著。最后用 Origin 2022 制图。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式对小白菜顶空气体比例的影响

如图 1 所示,仅采用 PE 膜包装的小白菜袋内氧气含量均逐渐下降,并在第 8 天达到稳定状态, C 组的氧气浓度(均用体积分数表示)逐渐稳定在 2%~5%,该浓度有效抑制了小白菜的生理代谢,延缓了衰老进程。由于 D、E 组的膜太厚,与外界的气体交换受到阻碍,小白菜在消耗掉袋内氧气后便开始进行无氧呼吸,且持续到实验结束。A、B、C 组从第 4 天开始与 D、E 组出现显著性差异 ($P < 0.05$), B、C 组间全过程未出现显著性差异 ($P > 0.05$)。在实验后期, B 组的氧气含量是 C 组的 1.53 倍,说明膜的厚度对包装透氧性具有重要影响。

如图 2 所示,5 组气体成分均在第 4 天达到稳定,这比无泡沫箱外包装组的稳定时间提前了 4 d,小白菜提前进入气体稳定环境,更有利于维持其较好的商品性。与无泡沫箱外包装组不同,此种情况下 B 组的氧气浓度更接近公认的保鲜浓度范围,在无外包装条件下表现最优的 C 组薄膜在此情况下有可能发生无氧呼吸。综上可知,泡沫箱的存在能够使内包装的气体环境提前进入稳定期,且在无泡沫箱外包装的情况下,膜较厚的 C 组(60 μm)更能维持包装内适宜的氧气浓度,有泡沫箱外包装的情况下 B 组(40 μm)包装为最佳选择。

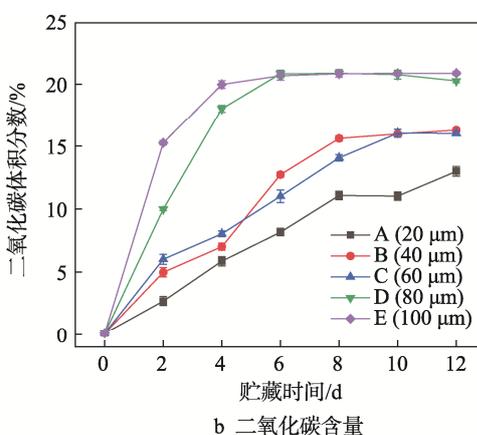


图 1 常温下不同厚度 PE 膜包装对小白菜袋内顶空气体比例的影响

Fig.1 Effect of PE film packaging with different thickness on the composition of the headspace in pakchoi bag at normal temperature

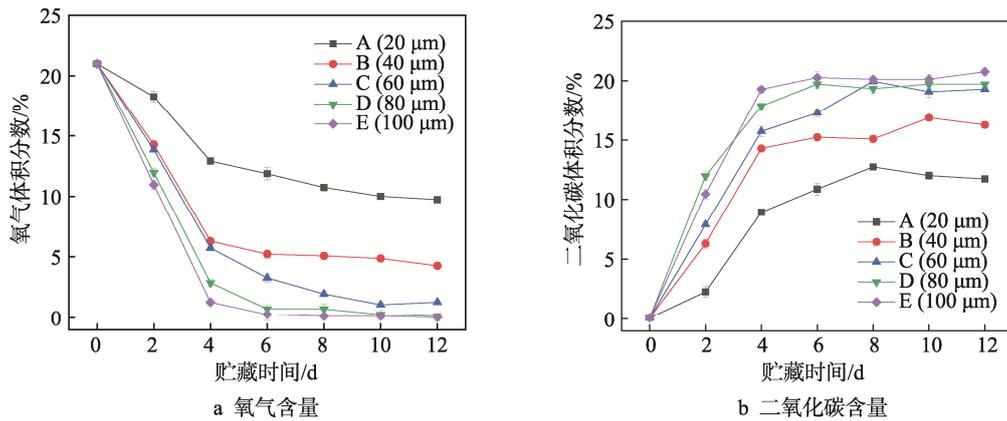


图 2 常温下不同厚度 PE 膜包装结合泡沫箱对小白菜袋内顶空气体比例的影响
Fig.2 Effect of PE film packaging with different thickness combined with foam box on the composition of headspace in pakchoi bag at normal temperature

2.2 不同包装方式对小白菜腐烂率的影响

如图 3 所示, 在 2 种包装方式组中, A、B、C 组均与 D、E 组在第 4 天便出现极显著差异 ($P < 0.01$); 在第 8 天时, 80、100 μm 薄膜包装组小白菜因无氧呼吸已经大面积腐烂化水。有研究发现, 在包装袋内为高湿环境, 特别是出现凝结水时, 有利于病原菌的生长繁殖^[16], 这与实验中厚度较大的包装与外界的透气透湿效率低这一结论相吻合。D、E 组内的相对湿度逐渐升高, 凝结成的水汽不能及时排除包装外, 在袋内聚成水珠, 从而加速了小白菜的腐烂。无论是否采用泡沫箱外包装, 低厚度薄膜组小白菜最终也会出现腐烂情况, A、B、C 组间差异不显著 ($P > 0.05$)。在薄膜+泡沫箱外包装组中, B 组 (40 μm) 的腐烂率最低。

2.3 不同包装方式对小白菜超氧阴离子产生速率的影响

超氧阴离子是小白菜氧化代谢的产物之一, 超氧阴离子 ($\cdot O_2^-$) 浓度越高, 表示细胞膜受到的损害越严重^[17]。如图 4 所示, 随着小白菜正常生理代谢的进行, 无论有无泡沫箱外包装, 小白菜体内超氧阴离子的产生速率整体呈上升趋势。有研究认为, 线粒体的氧化能力与环境

中的氧气含量相关, 低氧环境可以钝化其产生活性氧的能力^[18]。薄膜+泡沫箱组的 D、E 组由于膜的厚度较大, 透氧率较低, 在第 4 天就与其他 3 组出现显著性差异 ($P < 0.05$)。A 组薄膜 (20 μm) 的透氧率较高, 使得小白菜所处环境最接近大气环境, 而高氧环境会干扰活性氧的动态代谢平衡, 因此 A 组小白菜内的 $\cdot O_2^-$ 含量最高, 表示细胞膜受到的损害也越严重。

2.4 不同包装方式对小白菜总酚含量的影响

酚类物质是植物的次生代谢产物, 能够为细胞提供保护^[19]。如图 5 所示, 在薄膜组中, 小白菜的总酚含量呈先上升后下降的趋势, 并且 C 组与 A、B 2 组在第 6 天时出现极显著差异 ($P < 0.01$) 现象。这是由于小白菜在进行正常的氧化代谢反应时, 体内的总酚含量不断升高, 在包装内氧气浓度较低时, 该组小白菜的呼吸强度没有其他组的剧烈, 总酚消耗较少。在薄膜+泡沫箱外包装组中, 小白菜的总酚含量相较于薄膜组, 其下降趋势并不明显。这可能是因为泡沫箱具有阻隔性能, 使得采用泡沫箱外包装的所有组内氧气浓度较薄膜组略低, 细胞氧化代谢反应受到抑制, 同时减缓了小白菜消耗自身物质的速度。B、C 组在全过程中均未出现显著性差异 ($P > 0.05$), 但总酚含量在贮藏期

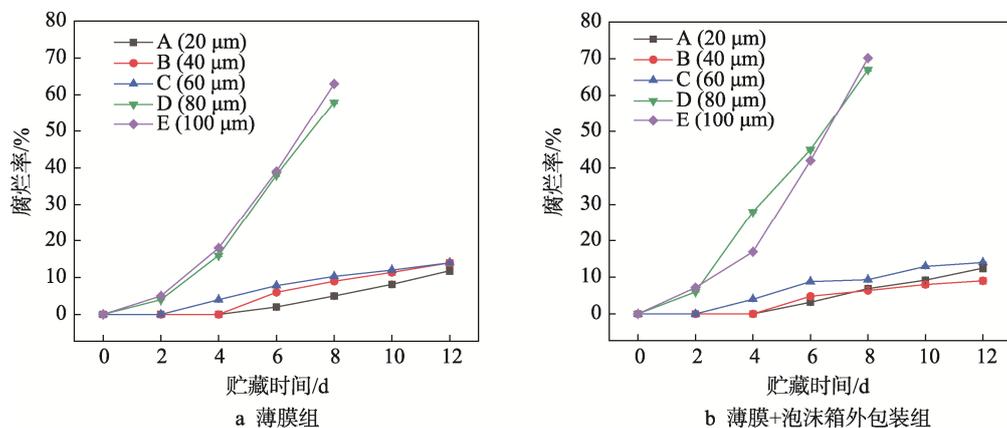


图 3 常温下不同包装方式对小白菜腐烂率的影响
Fig.3 Effect of different packing methods on rot rate of pakchoi at normal temperature

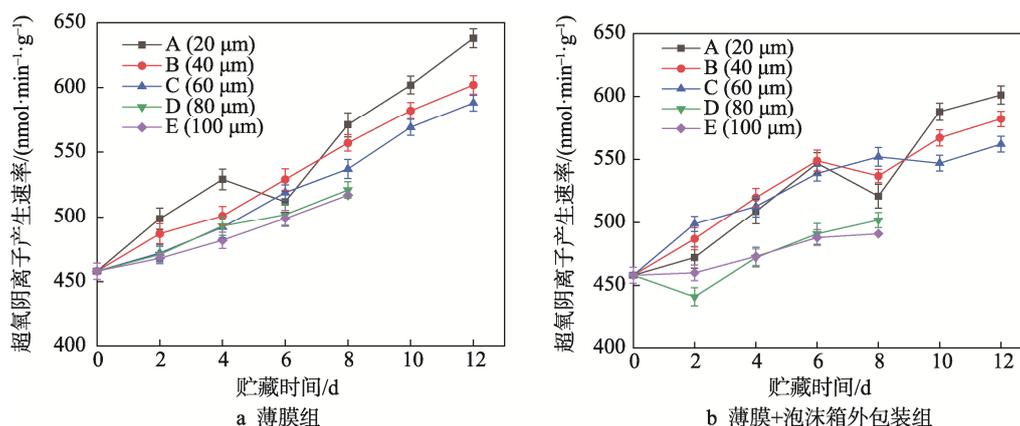


图4 常温下不同包装方式对小白菜超氧阴离子产生速率的影响

Fig.4 Effect of different packing methods on superoxide anion production rate of pakchoi at normal temperature

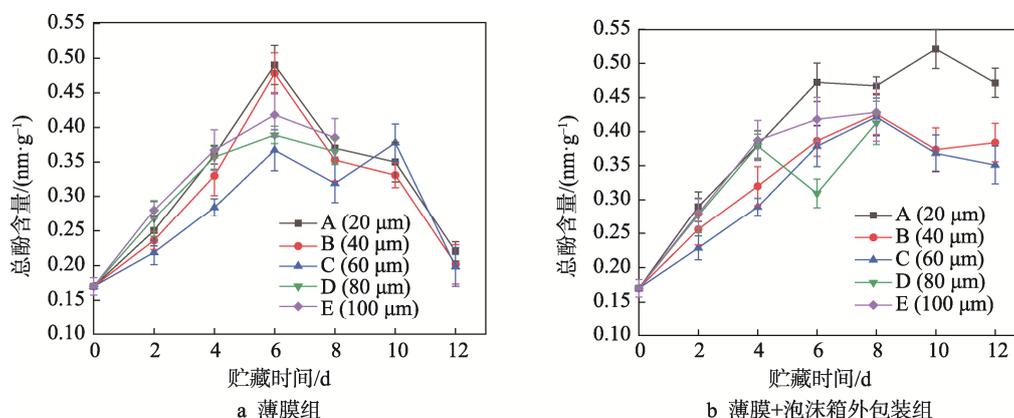


图5 常温下不同包装方式对小白菜总酚含量的影响

Fig.5 Effects of different packing methods on total phenol content of pakchoi at normal temperature

间均较低,说明40、60 μm的PE薄膜在有泡沫箱外包装的情况下更适用于小白菜的保鲜包装。

2.5 不同包装方式对小白菜MDA含量的影响

丙二醛(MDA)含量是判断细胞受到膜脂过氧化的伤害程度的重要指标。如图6所示,随着各组MDA的不断积累,小白菜逐渐衰老,2种包装下的A、B组小白菜的MDA含量始终较高。这与包装膜厚度密切相关,厚度较薄组小白菜与较高浓度氧气接触时,其活性氧代谢产物较多,对细胞膜的攻击程度较剧烈;较大的膜厚度可以使小白菜处于低呼吸代谢状态,活性氧对细胞的攻击程度减弱^[20]。在薄膜组中,A组与其他组在第6天时就出现显著性差异($P < 0.05$),实验结束时其MDA的质量摩尔浓度达到1.402 μmol/g。在薄膜+泡沫箱外包装组中,A组在第8天时才与其他各组出现显著性差异($P < 0.05$),且A组小白菜在实验结束时的MDA的质量摩尔浓度为1.173 μmol/g,说明泡沫箱外包装对氧气具有较好的阻隔性,可以在一定程度上降低小白菜MDA的积累,保证细胞膜的完整性。

2.6 不同包装方式对小白菜叶绿素含量的影响

小白菜叶片中的叶绿素含量会随着采后生理代谢的运转逐渐被降解。如图7所示,2个包装组中所有小白菜的叶绿素含量均逐渐下降,且2个包装组中采用20 μm薄膜和100 μm薄膜包装的小白菜的叶绿素含量出现显著性差异($P < 0.05$),说明厚度不一的包装薄膜的大气透氧效率不同。高氧环境会加快叶绿素的降解,这是由于活性氧的存在,导致叶绿素中四吡咯环碳环双键断裂,另一方面氧分压的降低可以减缓活性氧的生成速度^[21]。无论有无泡沫箱,40 μm和60 μm的PE袋都可以使小白菜处于低氧环境,其细胞膜完整性维持得较好,叶绿素降解酶和叶绿素作用效率较低,对小白菜起到了有效的护绿作用。80、100 μm的PE薄膜虽然也维持了包装内的低氧浓度,小白菜的叶绿素含量较高,但趋于0的氧气含量使小白菜进行无氧呼吸,导致其腐烂,商品性大大降低,在实验中期就已完全腐烂,因此在实际物流中应避免包装造成的不良后果。此外,对于相同厚度的薄膜,泡沫箱的存在能够帮助延缓叶绿素含量的下降。

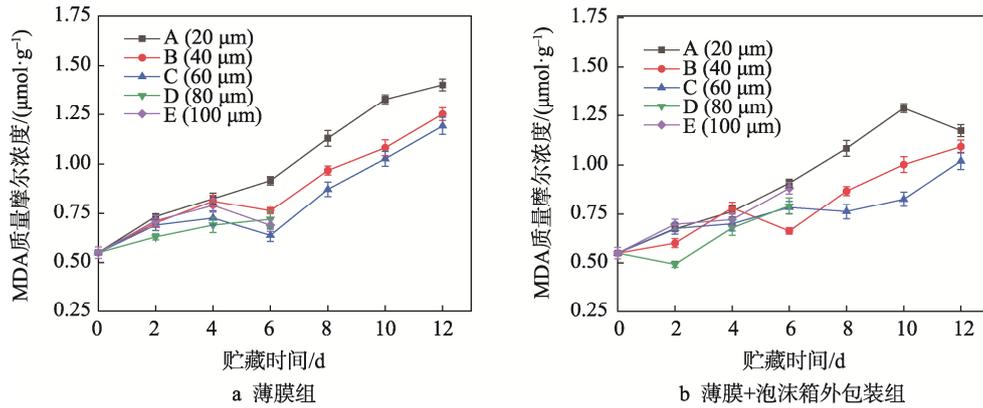


图 6 常温下不同包装方式对小白菜 MDA 含量的影响
Fig.6 Effects of different packing methods on MDA content of pakchoi at normal temperature

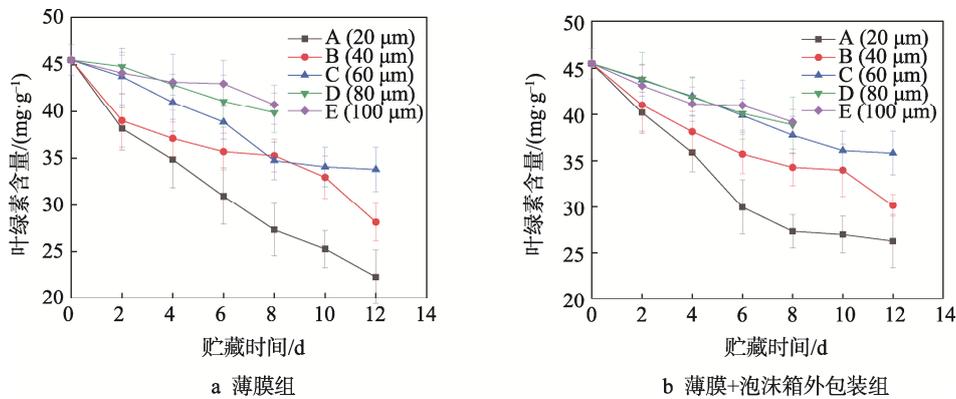


图 7 常温下不同包装方式对小白菜叶绿素含量的影响
Fig.7 Effect of different packing methods on chlorophyll content of pakchoi at normal temperature

2.7 不同包装方式对小白菜感官评价的影响

在常温下,不同包装方式对小白菜感官品质的影响如图 8 所示。各组小白菜的感官品质均随着时间的延长而呈持续下降趋势,其中 D、E 组无论在有无外包装情况下的得分均最低。这是由于包装内的氧气被过早消耗,小白菜进入无氧呼吸,产生了有刺鼻性气

味的物质,同时造成叶片软塌、腐烂。在贮藏 10 d 时,袋内小白菜均完全腐烂化水,失去了商品价值,故不做感官测评。薄膜组的 C 组和薄膜+泡沫箱外包装组的 B 组由于持续处于低氧环境中,延缓了小白菜体内叶绿素的降解,保护了细胞膜的完整性,整体上看,小白菜的嫩绿程度维持得较好,根茎部位更白嫩,因此感官评分在 2 组中最高。薄膜组 C 组 (60 μm)

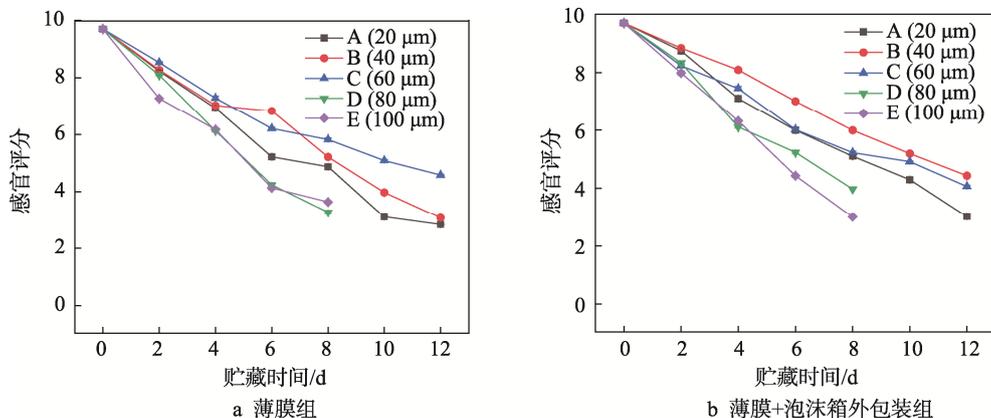


图 8 常温下不同包装方式对小白菜感官评价得分的影响
Fig.8 Effect of different packing methods on sensory evaluation scores of pakchoi at normal temperature

小白菜的感官评分直到实验结束时还有 4.58 分,而薄膜+泡沫箱外包装组 C 组(60 μm)小白菜的感官评分不到 4.5。由此可见,在实际物流中可以根据有无泡沫箱外包装选择合适厚度的 PE 薄膜包装。

3 结语

为了保持最佳的保鲜效果,在有无泡沫箱情况下内包装膜的选择也应不同。在无泡沫箱的情况下选择 60 μm 的 PE 膜,在有泡沫箱的情况下选择 40 μm 的 PE 膜,均可使小白菜的感官品质最佳。原因是虽然 EPS 材质泡沫箱内部由气泡组成,但由于其气泡结构的特殊性,使得泡沫箱具有一定的气体和湿气阻隔性。当有这层阻隔时,小白菜的内部气体环境受到泡沫箱和内包装 PE 膜的共同影响,而无泡沫箱的气体环境仅受到 PE 膜的影响,所以两者搭配时要综合考虑才能给小白菜构建出最适宜保鲜的气体环境,达到最佳的快递保鲜效果。同时,泡沫箱外包装的存在可以使小白菜提早进入气体稳定环境,更有利于维持其较好的商品性。无论有无泡沫箱,80 μm 和 100 μm 的 PE 膜都极易造成无氧环境,小白菜会因无氧呼吸而快速腐烂,直至商品性完全丧失。由此可见,在快递保鲜过程中,直接采用泡沫箱结合 PE 袋的方式包装小白菜,可以有效维持小白菜在常温物流下的感官特性,且成本低廉、绿色安全、操作简便、易于推广,同时一定要注意泡沫箱的阻隔性对薄膜厚度选择产生的影响。

参考文献:

- [1] 王晓,陈冰洁,刘晨霞,等. ClO_2 缓释熏蒸处理对小白菜保鲜效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 160-163.
WANG Xiao, CHEN Bing-jie, LIU Chen-xia, et al. Effect of ClO_2 Slow-Release Fumigation on the Preservation of Chinese Cabbage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(6): 160-163.
- [2] 乔勇进,张辉,唐坚,等. 采后小白菜叶绿体色素含量变化及其叶绿素降解动力学研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(6): 1692-1698.
QIAO Yong-jin, ZHANG Hui, TANG Jian, et al. Research on Chloroplast Pigment Metabolism and Chlorophyll Degradation Dynamics of Post-Harvest Pak-choi(*Brassica Chinensis* L)[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2013, 4(6): 1692-1698.
- [3] MAUREL C, VERDOUCQ L, RODRIGUES O. Aquaporins and Plant Transpiration[J]. Plant, Cell & Environment, 2016, 39(11): 2580-2587.
- [4] AGHDAM M S, RAZAVI F. Octapeptide NOP-1 Treatment Delays Yellowing in Broccoli Floret during Low Temperature Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180: 111628.
- [5] LU Ya-ting, LI Dong, LI Li, et al. Effects of Elevated CO_2 on Pigment Metabolism of Postharvest Mandarin Fruit for Degreening[J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126462.
- [6] SINGH S, SHALINI R. Effect of Hurdle Technology in Food Preservation: A Review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(4): 641-649.
- [7] 吴彤彤,吴金卓,王卉,等. 缓冲包装材料经济性与环境影响评价研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 17-24.
WU Tong-tong, WU Jin-zhuo, WANG Hui, et al. Research Progress on Technology Economy and Environmental Impact Assessment of Buffer Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 17-24.
- [8] 王建清. 包装材料学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 96-97.
WANG Jian-qing. Packaging Materials Science[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009: 96-97.
- [9] 李江阔,李雪,薛友林,等. 不同薄膜包装对黄花菜冷藏品质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 40-46.
LI Jiang-kuo, LI Xue, XUE You-lin, et al. Effect of Different Film Packaging on Cold Storage Quality of Daylily[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(9): 40-46.
- [10] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 114.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 114.
- [11] ZHOU Ya-han, DENG Li-li, ZENG Kai-fang. Enhancement of Biocontrol Efficacy of *Pichia Membranaefaciens* by Hot Water Treatment in Postharvest Diseases of Citrus Fruit[J]. Crop Protection, 2014, 63: 89-96.
- [12] LIU Hong-xia, JIANG Wei-bo, BI Yang, et al. Postharvest BTH Treatment Induces Resistance of Peach (*Prunus Persica* L Cv Jiubao) Fruit to Infection by *Penicillium Expansum* and Enhances Activity of Fruit Defense Mechanisms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(3): 263-269.
- [13] 肖婷,何欣遥,吴姗鸿,等. 乙醇熏蒸对小白菜的护绿机理[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 173-180.
XIAO Ting, HE Xin-yao, WU Shan-hong, et al. The Mechanism of Green Preservation of Pakchoi by Ethanol

- nol Fumigation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(21): 173-180.
- [14] ARNON D I. Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta Vulgaris[J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [15] 李立. ϵ -聚赖氨酸在鲜切杭白菜贮藏保鲜中的应用研究[J]. 蔬菜, 2020(3): 50-55.
LI Li. Study on the Application of E-Polylysine in Fresh-Cut Chinese Cabbage Storage[J]. Vegetables, 2020(3): 50-55.
- [16] 费斐, 侯建设, 田莹, 等. 冷藏温度和薄膜半封闭包装对小白菜贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(5): 157-159.
FEI Fei, HOU Jian-she, TIAN Ying, et al. Effect of Cold Storage Temperature and Film Semi-Sealed Packaging on Storage Qualities of Chinese Cabbage[J]. Food Research and Development, 2010, 31(5): 157-159.
- [17] YAN Bin, DAI Qiu-jie, LIU Xiao-zhong, et al. Flooding-Induced Membrane Damage, Lipid Oxidation and Activated Oxygen Generation in Corn Leaves[J]. Plant and Soil, 1996, 179(2): 261-268.
- [18] RAHMAN A S A, HUBER D J, BRECHT J K. Low-Oxygen-Induced Poststorage Suppression of Bell Pepper Fruit Respiration and Mitochondrial Oxidative Activity[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1995, 120(6): 1045-1049.
- [19] OGAH O, WATKINS C S, UBI B E, et al. Phenolic Compounds in Rosaceae Fruit and Nut Crops[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(39): 9369-9386.
- [20] 唐建新, 王佳莉, 英丽美, 等. 果蔬采后生理代谢变化及调控机制研究进展[J]. 包装工程, 2022, 43(5): 91-99.
TANG Jian-xin, WANG Jia-li, YING Li-mei, et al. Advances in Physiological Metabolism Changes and Regulation Mechanism of Harvested Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(5): 91-99.
- [21] 魏珑. 果蔬叶绿素降解机理研究进展[J]. 食品安全导刊, 2016(9): 49-50.
WEI Long. Research Progress on Chlorophyll Degradation Mechanism of Fruits and Vegetables[J]. China Food Safety Magazine, 2016(9): 49-50.

责任编辑: 彭颀