主成分分析方法研究 MAP 对建水草芽的保鲜效果

刘秋鸣，曾丽萍，樊爱萍，孟金明，刘权芝
（红河学院 化学与资源工程学院，云南 蒙自 661199）

摘要：目的 为探究气调包装对建水草芽贮藏品质的影响。**方法** 采用低氧气调（MAP1）、高氧气调（MAP2）和高氧结合高二氧化碳（MAP3）处理新鲜建水草芽，在 4 ℃条件下贮藏 20 d，观测其品质变化。**结果** 与空白对照组相比，MAP1 组前期可以有效维持草芽的品质，后期由于草芽进行无氧呼吸，反而会加速其品质劣变。高氧气调组能够有效保持草芽的品质，且 MAP3 组效果更佳，能够维持较低的质量损失率和硬度，保持较高的 Vc 含量和 *L**值，且感官性状评价最好。主成分分析（PCA）提取出 2 个主成分，累计方差贡献率为 87.67%，能较好地解释草芽贮藏品质的信息。*L**值、Vc 含量、硬度、质量损失率和二氧化碳含量对草芽贮藏期品质的影响较大。PCA 分析进一步证明高氧、高二氧化碳气调处理有助于草芽贮藏品质的稳定。**结论** 气调包装能够有效地提高建水草芽的贮藏品质，延长贮藏期，其中高氧结合高二氧化碳气调处理的保鲜效果最好。

关键词：建水草芽；气调；保鲜；贮藏；主成分分析
中图分类号：TS205.7 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2022)05-0083-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.05.012

Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on Fresh-Keeping of Jianshui Cattail by Principal Component Analysis

LIU Qiu-ming, ZENG Li-ping, FAN Ai-ping, MENG Jin-ming, LIU Quan-zhi
(School of Chemistry and Resources Engineering, Honghe University, Mengzi 661199, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the effect of modified atmosphere packaging on the storage quality of Jianshui cattail. Fresh Jianshu cattail was treated with low oxygen atmosphere (MAP1), high oxygen atmosphere (MAP2) and high oxygen combined with high carbon dioxide atmosphere (MAP3). The quality changes of cattail were observed during storage for 20 days at 4 ℃. Compared with the blank control group, MAP1 group could effectively maintain the quality of cattail in the early stage, but accelerated the quality deterioration in the later stage due to the anaerobic respiration of cattail. High oxygen atmosphere group could effectively maintain the quality of cattail, while MAP3 group had better effect, which could maintain a lower weight loss rate and hardness and keep a higher value of Vc and *L**, and had the best sensory traits evaluation results. In PCA analysis, two main components were extracted, and the cumulative pigment contribution rate was 87.67%, which could better explain the information about the storage quality of cattail. *L**, Vc, hardness, weightlessness rate and carbon dioxide had great effects on the quality of cattail during storage. PCA analysis further ve-

收稿日期：2021-06-22
基金项目：云南省科技计划（2017FH001-039）
作者简介：刘秋鸣（1993—），女，硕士，助教，主要研究方向为食品质量与安全控制。
通信作者：樊爱萍（1977—），女，硕士，副教授，主要研究方向为农产品贮藏与加工。

rified that the combination of high oxygen and high carbon dioxide could help to stabilize the quality of cattail during storage. Modified atmosphere packaging can effectively improve the storage quality of Jianshui cattail, prolong the storage period, and the combination of high oxygen and high carbon dioxide has the best fresh-keeping effect.

KEY WORDS: Jianshui cattail; modified atmosphere; fresh-keeping; storage; principal component analysis

草芽也称蒲菜（*Typha latifolia* L.），属香蒲科、香蒲属、宽叶香蒲种，因形似象牙，又称象牙菜[1]。草芽是一种水生宿根草本植物，品种繁多，主要食用叶鞘抱合而成的假茎部分[2]，主要分布在我国长江以南的地区。建水草芽作为红河州地理标志商标，被视为当地闻名遐迩的蔬菜名片，已有长达百年的栽培史，不仅营养价值丰富，口感甜脆，还具有一定药用价值，深受当地人的喜爱[3-4]。据不完全统计，目前建水草芽的种植面积达到 100 多公顷，每年产量达 4000 多 t，市场前景广阔，是目前建水县农业经济发展的一大支柱产业[5]。由于草芽采后组织脆嫩、呼吸强度大，贮藏中极易出现老化、褐变，营养价值降低，风味变淡等问题[6-7]，极大降低了其食用品质和商品经济价值，因此目前草芽的销售范围仍然较小，这严重阻碍了其产业化发展。

气调包装（Modified atmosphere packaging, MAP）是一种操作简单、成本低、效果好的保鲜技术，被广泛应用于各种生鲜果蔬、肉制品等食品包装中[8-9]。研究表明，采用 O_2(1%~5%)+CO_2(5%~10%)处理采收后的新鲜果蔬，能够抑制果蔬的呼吸代谢活动，最终达到贮藏保鲜的目的[10]。随着果蔬呼吸作用的加大，低氧气调会导致果蔬发生褐变及厌氧微生物的生长，从而降低食品的感官品质，以及产生新的食品安全问题[11]。自 Day 等[12]首次报道高氧（体积分数大于 70%）气调包装在鲜切果蔬中的应用，该方法便被大量用于各类果蔬保鲜且效果明显[13-15]。目前，国内外还没有相关的报道使用高氧冷藏技术来储存建水草芽。文中拟通过 MAP 技术处理新鲜建水草芽，探究高 O_2 结合高 CO_2 气调包装对建水草芽保鲜效果的影响，并利用主成分分析法（Principal component analysis, PCA）评价不同指标和处理方法对建水草芽贮藏品质的影响，以解决草芽在贮藏和运输过程中的嫩度下降（木质化）、褐变和营养价值降低等问题，以期能最大限度地保持草芽品质和营养价值，进而满足市场和消费者的多样化需求，同时推动这一地方名特优产品的产业化发展。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要试剂：偏磷酸、抗坏血酸标准品、氢氧化钠等，均为分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

主要仪器：DT-6B 型气调包装保鲜机，成都市罗迪波尔机械设备有限公司；AR1140 型数显电子天平，梅特勒-托利多仪器有限公司；OXYBABYM+型 O_2/CO_2 顶空分析仪，德国 WTTT 公司；TA new plus 型质构仪，上海瑞芬国际贸易有限公司；SK5200HP 型超声波清洗器，上海科导超声仪器有限公司；TGL200M 型台式冷冻离心机，湖南湘立科技仪器有限公司；UV-1901 型双光束紫外可见分光光度计，北京普析通用仪器有限公司；WSC-S 型色差仪，上海仪电物理光学实验有限公司；BC/BD-200HEP 型冰箱，青岛海尔特种电冰柜有限公司。

主要材料：聚丙烯保鲜膜，厚度为 70 μm；聚乙烯塑料保鲜盒。

1.2 方法

1.2.1 材料

挑选无病虫害，无机械损伤，成熟度、色泽、长短基本一致的草芽作为实验材料，擦掉其表面的泥土、水分和杂物。

1.2.2 实验材料处理

将符合要求的建水草芽放在 4 ℃冰箱中预冷 12 h，预冷结束后将草芽随机分成 4 组，每盒草芽的质量为(400±5)g。将草芽装入聚乙烯塑料盒，并用双层保鲜膜包裹封口，记为空白对照组（CK），以低氧（O_2(10%)+CO_2(5%)）（体积分数，下同）进行气调包装的组记为 MAP1，以高氧（O_2(80%)+CO_2(5%)）进行气调包装的组记为 MAP2，以高氧、高二氧化碳（O_2(80%)+CO_2(20%)）进行气调包装的组记为 MAP3。将包装好的草芽在 4 ℃条件下贮藏 20 d，每隔 4 d 测定理化指标和感官指标。每个处理组设置 3 个重复实验，每个重复实验测试 3 盒试样。

1.2.3 理化指标测定

1.2.3.1 气体组分

采用 O_2/CO_2 顶空分析仪测定不同处理组草芽贮藏期气体组分的变化情况。

1.2.3.2 质量损失率

记录草芽贮藏前后的质量，采用称量法测定贮藏期草芽的质量损失率（%）。质量损失率=（贮藏前质量 – 贮藏后质量）/贮藏前质量×100%。

1.2.3.3 硬度

取草芽中段部分进行测试，用 TA new plus 质构

仪测定草芽的剪切力来表示草芽的嫩度，测试条件：测试前速度为 2 mm/s，测试中速度为 2 mm/s，测试后速度为 2 mm/s，下压距离为 20 mm。

1.2.3.4　L^*值

采用WSC-S型色差仪测定草芽横切面的颜色变化，主要用 L^*值（亮度）来表示，L^*值越高说明样品表面越白，褐变度越低。具体操作：取草芽靠近底部的一端，将其切成厚度为 1 cm 的小圆块，将新切的一面平整地放在测试头下进行测定，记录其 L^*值。

1.2.3.5　抗坏血酸含量

参照文献[16]中的紫外分光光度法进行测定。称取 10 g 草芽捣碎，加入 10 mL 偏磷酸溶液（2%，称取 2 g 偏磷酸溶于蒸馏水并稀释至 100 mL）捣成匀浆，称取 10 g 匀浆用偏磷酸溶液定容至 20 mL，在 10 000 r/min，4 ℃下离心 20 min。取上清液稀释到一定的倍数，以蒸馏水为参比，在波长 243 nm 处测其吸光度值。以偏磷酸（2%）溶解的抗坏血酸（Vc）标准品作标准曲线，采用外标法定量。草芽的 Vc 含量表达为每 kg 草芽的抗坏血酸含量(mg)，即 mg/kg。Vc 损失率 =（初始 Vc 含量 − 贮藏后 Vc 含量）/初始 Vc 含量×100%。

1.2.4　感官评价

挑选经培训后的 10 名食品质量与安全专业的学生，从草芽的色泽（韧皮部、芽尖、膜叶、木质部）和嫩度（以中部折断，判断折断难易程度和观察折断情况）两方面对草芽的品质进行感官评分，评分为 100 分制，评分标准见表 1。

1.3　数据处理与分析

实验重复测定 3 次，结果表示为平均值±标准差。采用 SPSS 21.0 软件对数据进行显著性分析（$P < 0.05$ 为显著性差异，$P < 0.01$ 为极显著性差异）和 PCA 分析，采用 OriginPro 2021 软件进行绘图。

2　结果与分析

2.1　不同处理贮藏期间气体含量的变化

气体含量的变化可以反映草芽在贮藏过程中呼吸强度的变化。从图 1a—b 可以看出，随着冷藏期的延长，所有处理组 O_2 含量逐渐下降，然后趋于平缓；CO_2 含量逐渐上升，然后趋于平缓。整体而言，气调组与 CK 组差异显著（$P<0.05$）。CK 组中的 O_2、CO_2 含量变化较平缓，始终接近空气比；低 O_2 气调组（MAP1）氧气含量（用体积分数表示）到第 8 天时下降至 0.04%，此时草芽进行无氧呼吸，第 12 天时会产生明显的酒精气味，第 16 天时底端出现绿色霉变斑点，严重影响了草芽的品质；高 O_2 处理组至第 16 天时，O_2 含量与空气中的氧含量相当，且 MAP3 组的氧气含量下降得最缓慢。综上所述，高 O_2 气调能显著抑制草芽的呼吸强度，且 MAP3 组的效果最好。这可能是因为控制气体浓度可以有效抑制呼吸作用中相关酶的活性，同时抑制微生物的生长，达到抑制草芽腐败变质的目的，较好地保持了草芽的品质[17-19]。

2.2　不同处理对建水草芽质量损失率的影响

质量损失率是评价果蔬采后贮藏品质变化的重要指标之一。果蔬采后因蒸腾作用发生质量损失，进而失鲜。从图 2 可以看出，在整个贮藏过程中所有处理组的质量损失率都呈上升趋势，但质量损失率整体偏低。质量损失率最高的 CK 组在第 20 天时仅为 0.20%，这可能是由于草芽表面有一层致密的韧皮结构，使其水分不易散失，使采后质量损失率的变化较小。总体草芽的质量损失率随着贮藏时间的延长而升高，其中冷藏至第 4 天时，所有处理组草芽的质量损失率上升得最快（$P<0.05$），且 CK 组明显高于气调组（$P<0.05$），总体质量损失率大小依次为 CK > MAP3 > MAP2 > MAP1。综上所述，采用气调包装可以显著延缓草芽的蒸腾失水进程，从而有利于维持草芽的外观品质，使其保持较新鲜的状态。

表 1　草芽的感官评分标准

Tab.1 Sensory evaluation standard of cattail

项目	质量标准	评分标准/分
色泽（50 分）	韧皮部呈乳白色，芽尖呈乳白色，叶膜呈乳白色，木质部呈乳白色	46~50
	韧皮部呈淡黄色，芽尖呈淡黄色，叶膜呈淡黄色，木质部呈浅灰色	41~45
	韧皮部呈淡黄色，芽尖发芽变绿，叶膜呈黄色，木质部呈黄色	30~40
	韧皮部呈黄橙色，芽尖发黑，叶膜呈黄橙色，木质部呈黄橙色	< 30
嫩度（50 分）	容易折断，折断面致密，无空隙，无空洞，无明显的纤维丝	46~50
	较易折断，折断面稍有空隙，无空洞，无明显的纤维丝	40~45
	较难折断，折断面不致密，有空隙，无空洞，稍有纤维丝	30~40
	难折断，折断面不致密，有空洞，明显的纤维丝	< 30

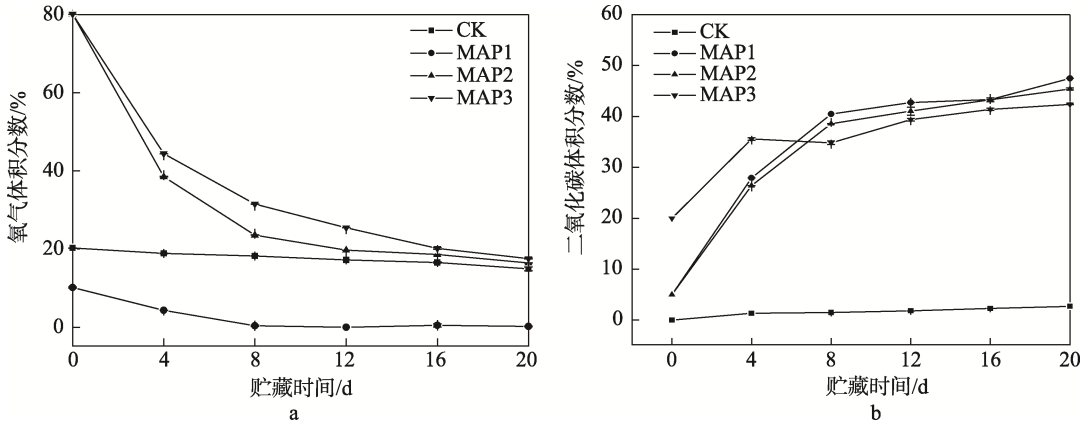

图 1　不同处理组对草芽冷藏期微环境气体含量变化的影响

Fig.1 Effects of different treatments on micro-environmental gas composition of cattail during cold storage

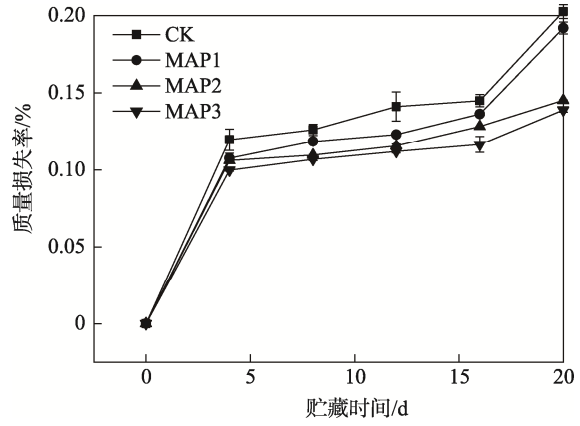

图 2　不同处理组对草芽质量损失率的影响

Fig.2 Effects of different treatments on weight loss rate of cattail

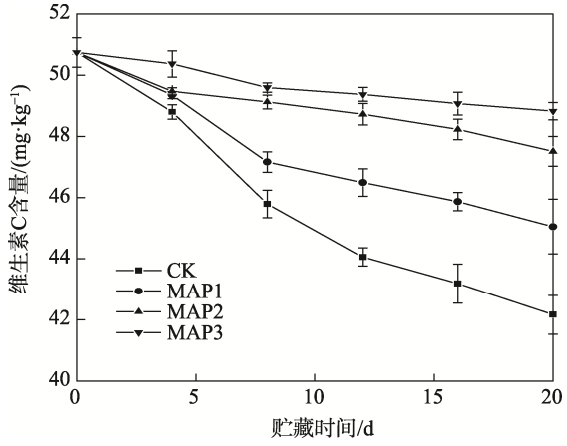

图 3　不同处理组对草芽 Vc 含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on Vc content of cattail

2.3　不同处理对建水草芽 Vc 含量的影响

Vc 是果蔬营养价值的重要组成成分，也是人体必需的维生素之一。由于 Vc 在果蔬中极不稳定，在贮藏过程中易氧化失活，因而导致果蔬的营养价值降低。不同处理对草芽贮藏期 Vc 含量的影响见图 3。随着贮藏时间的延长，草芽的 Vc 含量呈下降趋势，且两两比较差异显著（P<0.05）。在整个贮藏期间，Vc 含量总体表现为 MAP3 > MAP2 > MAP1 > CK，与新鲜草芽相比，贮藏到第 20 天时，Vc 的损失率总体表现为 CK（16.90%）> MAP1（11.22%）> MAP2（6.37%）> MAP3（3.77%），这说明高氧气调处理有利于延缓维生素 C 的下降速率，保持草芽良好的营养品质。这与前人将 MAP 用于金针菇、鲜切菜心、葡萄等的保鲜效果一致[20-22]。综上所述，MAP3 和 MAP2 均能够有效地减小 Vc 的损耗，并且 MAP3 处理组维生素 C 含量的效果最好，草芽的品质保持得较好。

2.4　不同处理对建水草芽硬度的影响

采后果蔬的嫩度会下降，硬度会增加，主要是由于其组织纤维化，并逐步产生木质素的积累，导致组织发生木质化[21]。草芽采后极易变得粗老，从而失去食用价值，因此草芽硬度的增加是其品质劣变的主要表现之一。从图 4 不同处理对草芽硬度的影响可以看出，随着贮藏时间的延长草芽硬度呈上升的趋势。CK 组草芽硬度上升得最快，MAP1 组次之，高氧组草芽硬度变化较平缓，其中 MAP3 组处理组草芽的硬度变化最缓慢且始终最低（P<0.05）。综上所述，气调处理组能够较好地延缓草芽硬度的上升，其中高氧处理的抑制效果优于低氧处理，尤以 MAP3 处理最佳，这可能因为高氧处理能够减缓木质素合成相关酶活性，从而有效减缓草芽的老化。

2.5　不同处理对建水草芽褐变的影响

草芽本身颜色洁白，但在储运中极易发生褐变，严重影响草芽的感官品质。色差是对建水草芽褐变程

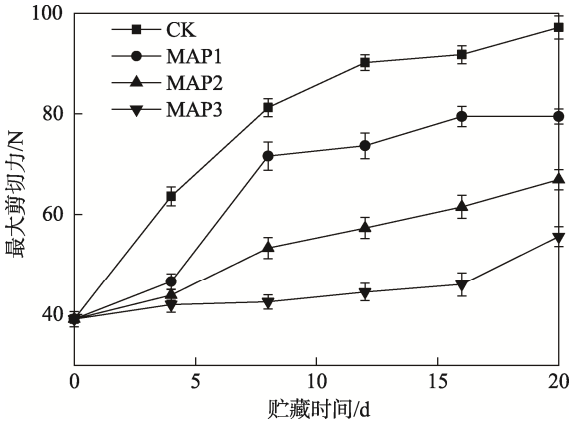

图 4　不同处理组对草芽硬度的影响
Fig.4 Effects of different treatments on hardness of cattail

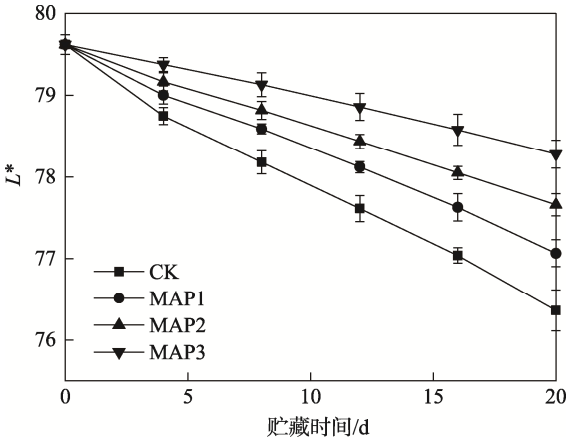

图 5　不同处理组对草芽 *L**值的影响
Fig.5 Effects of different treatments on *L** value of cattail

度的直观表述，*L**值越大，表示亮度越高且越白、褐变越轻；*L**值越小，则表明褐变越严重。从图 5 可以看出，草芽 *L**值随着冷藏时间的延长而下降，且气调组的 *L**值显著高于 CK 组（$P<0.05$），高 O_2 气调处理组的 *L**值显著高于低氧气调处理组（$P<0.05$），其中高 O_2 结合高 CO_2 组的 *L**值保持在最高水平，其抑制褐变效果最好。高氧气调组能够有效地保持草芽的色泽，延长其货架期，这可能是因为高氧气调处理能够抑制褐变相关酶活性和组织褐变。

2.6　不同处理对建水草芽感官品质的影响

新鲜果蔬的外观品质能够影响消费者的购买欲望[23]。随着贮藏时间的延长，草芽品质逐渐下降，主要表现为产生异味、褐变及组织粗老（木质化）。不同处理组对草芽贮藏期感官品质的影响见表 2，感官评价主要从草芽的色泽、嫩度和气味等方面综合评分。从表 2 可以看出，冷藏至第 20 天时，CK 组由于褐变、木质化严重，草芽已没有食用价值，评分最低；低氧组（MAP1）因气体比例不合适，导致草芽进行了无氧呼吸，产生了稍刺鼻的酒精味，出现绿色霉斑，木质化较严重，也不可食用；MAP2 处理组能较大程度地保持草芽的品质，有 50%以上的可食率，MAP3 处理组的保鲜效果最好，可食率达 75%。感官综合评分：MAP3 > MAP2 > MAP1 > CK。由此可见，不同气体组成对建水草芽贮藏期间的感官品质会产生显著影响，高氧结合高二氧化碳处理组的感官品质保持得最佳。

2.7　主成分分析

通过主成分分析不同指标对草芽贮藏品质的贡献，综合评价外部指标和内部营养物质与草芽贮藏品质的关系[24]。以氧气含量、二氧化碳含量、质量损失率、Vc 含量、硬度和 *L**等 6 个指标做变量进行 PCA 分析。KMO 值为 0.787（ > 0.6），Bartlett's 球形检验 $P < 0.05$，变量存在显著相关性，表明 PCA 适用于此次实验。PCA 分析结果见表 3。提取特征值大于 1 的主成分，共提取 2 个主成分，累计方差贡献率为 87.67%，表明这 2 个主成分能够解释原来 6 个指标 87.67%的信息，其中 PC1 方差贡献率为 66.75%，更能反映草芽贮藏期间的品质情况。*L**值、Vc 含量、硬度和质量损失率在 PC1 上有较高的载荷，分别为 0.966、0.945、−0.941 和−0.898，表明与 PC1 相关性较强。二氧化碳含量在 PC2 上有较高的载荷（0.952），与 PC2 的相关性较强。根据主成分载荷矩阵分析，对草芽贮藏期品质影响较大的是 *L**值、Vc 含量、硬度、质量损失率和二氧化碳含量。

表 2　不同处理对草芽贮藏期感官品质的影响
Tab.2 Effects of different treatments on sensory quality of cattail during storage

处理组	评分	感官评价描述
CK	55.66±1.15^{d}	韧皮部三分之二呈黄灰色，木质部呈红褐色，芽尖有一小部分发黑，拉丝严重，无食用价值
MAP1	53.00±1.00^{c}	韧皮部黄橙色加深，稍有刺鼻酒精味，靠近草芽底部接近二分之一的范围有绿色斑点，拉丝严重，不可食用
MAP2	66.67±1.15^{b}	韧皮部呈黄橙色，颜色稍深，芽黄色，木质部呈浅灰色，易折断，有拉丝情况，有 50%以上可食用
MAP3	72.33±1.53^{a}	韧皮部呈黄橙色，颜色较淡，芽淡黄，木质部呈浅灰色，较易折断，有 75%以上可以食用

注：不同小写字母表示数据有极显著差异（$P<0.01$）

表 3　不同处理草芽主成分分析结果
Tab.3 Principal component analysis results of cattail after different treatments

指标	PC1	PC2
氧气	0.686	−0.353
二氧化碳	−0.125	0.952
质量损失率	−0.898	0.251
Vc	0.945	0.284
硬度	−0.941	−0.275
L^*	0.966	0.063
特征值	4.005	1.255
方差贡献率/%	66.75	20.92
累计方差贡献率/%	66.75	87.67

根据主成分分析结果可知，前 2 个主成分的累计贡献率达到 87.67%，因此利用前 2 个主成分做不同处理草芽第 20 天的综合品质评价。经 PCA 分析得出的 2 个主成分因子方程表达式分别如下：

$$F_1 = 0.343X_1 - 0.063X_2 - 0.449X_3 + 0.472X_4 - 0.470X_5 + 0.483X_6$$

$$F_2 = -0.315X_1 + 0.849X_2 + 0.226X_3 + 0.254X_4 - 0.245X_5 + 0.056X_6$$

以 2 个主成分对应的特征值占 2 个主成分的特征值综合之比为权重，将不同处理主成分得分与相应的权重进行线性加权求和，计算不同处理草芽的综合评价得分。建立综合评价函数 $F=0.761F_1+0.239F_2$，分数越高表明第 20 天草芽的综合品质越高；反之，草芽综合品质越低。

根据综合得分模型计算出各主成分的得分并排序，结果见表 4。综合得分排序：MAP3 > MAP2 > MAP1 > CK，表明经贮藏 20 d 后，MAP3 处理组草芽的综合品质最好，这与前述分析结果一致。

表 4　不同处理草芽第 20 天的主成分得分和综合得分
Tab.4 Principal component scores and comprehensive scores of cattail after different treatments at the 20th day

处理组	F_1	F_2	F	排序
CK	−3.95	−1.8	−3.44	4
MAP1	−2.91	1.05	−1.96	3
MAP2	−1.16	0.97	−0.65	2
MAP3	−0.21	1.11	0.1	1

在 PCA 得分图中，数据落点越接近，表示综合品质越接近[25]。不同处理草芽贮藏期的主成分得分见图 6，可以看出，与 CK 组相比，MAP1、MAP2 和 MAP3 数据落点较近，表明这 3 个处理的草芽贮藏期品质比较相近，这主要是由于 MAP 处理减少了草芽的呼吸和蒸腾作用，延缓了营养物质的分解，保持了草芽原有的颜色和质地，与空白组相比能更好地保持草芽的品质。

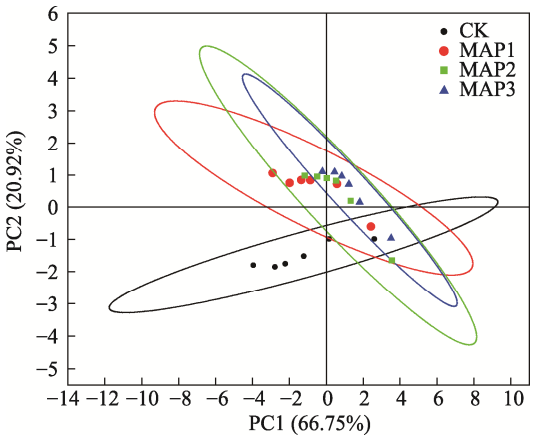

图 6　不同处理草芽的 PCA 得分
Fig.6 PCA score chart of cattail after different treatments

3　结语

气调包装技术通过人为控制包装食品周围的气体比例，抑制果蔬的呼吸速率等生理活动，从而能够较长时间地保持果蔬的质地、色泽、口感和营养，进而达到长期保鲜的效果。云南建水草芽作为具有地方特色的名特珍稀蔬菜品种，其味脆嫩、鲜甜、供应期长、产量高、经济效益好，但草芽易受外界环境影响而极不耐贮藏，易出现老化、褐变、霉变等品质劣化问题，严重影响草芽的产业化发展。文中以模拟超市保鲜膜封装草芽为对照，比较了低 O_2、高 O_2 及高 O_2 结合高 CO_2 气调包装处理对草芽保鲜品质的影响。结果表明，MAP 处理能较好地减缓草芽质量损失率、硬度的上升，抑制其木质化、褐变速率，减缓 Vc 的损失，但不适宜的气体比例也会导致草芽进行无氧呼吸，加速其品质劣变，反而会降低贮藏品质。在贮藏 20 d 保鲜实验中发现，高 O_2 气调包装处理能够有效地保持建水草芽的品质，且高 O_2 结合高 CO_2 效果更佳，当贮藏气调比例为 O_2(80%)+CO_2(20%)时，草芽的质量损失率和硬度较低，Vc 含量较高且感官品质较好。PCA 分析提取出 2 个主成分，累计方差贡献率为 87.67%，能解释大部分的信息。L^*值、Vc 含量、硬度、质量损失率和二氧化碳含量对草芽贮藏期品质的影响较大，贮藏期间 MPA 组草芽的品质较为接近。PCA 综合评价表明，贮藏 20 d 后，MAP3 处理组的草芽综合品质最好，与前述分析结果一致。

综上可知，MAP 用于果蔬保鲜是一种很有前景的新技术，通过文中实验证明适宜的气调比例有利于建水草芽的保鲜，进一步的研究有望实现该技术在建水草芽上的商业化应用，为推动这一高原特色农产品的发展提供技术支撑。

参考文献：

[1] 赵希荣, 徐程, 成蓉蓉. 蒲菜气调保鲜工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 400-406.
ZHAO Xi-rong, XU Cheng, CHENG Rong-rong. Modified Atmosphere Packaging of Narrowleaf Cattail[J]. Food Science, 2009, 30(18): 400-406.

[2] 柯卫东, 孔庆东. 蒲菜资源及分类研究[J]. 长江蔬菜, 1998(5): 26-27.
KE Wei-dong, KONG Qing-dong. Resource and Classification of Common Cattail[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 1998(5): 26-27.

[3] 许跃华. 云南名特珍稀蔬菜——建水草芽[J]. 中国果菜, 2004, 24(2): 32-33.
XU Yue-hua. The Famous, Special and Rare Vegetable in Yunnan-Jianshui Cattail[J]. China Fruit and Vegetable, 2004, 24(2): 32-33.

[4] TURSUN N, SEYITHANOGLU M, UYGUR F N, et al. Seasonal Dynamics of Soluble Carbohydrates in Rhizomes of Phragmites Australis and Typha Latifolia[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2011, 206(8): 731-735.

[5] 张恒亮, 兰绍伟. 建水县草芽丰产栽培技术[J]. 云南农业科技, 2010(4): 28-29.
ZHANG Heng-liang, LAN Shao-wei. Cultivation Techniques for High Yield of Cattail in Jianshui County[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2010(4): 28-29.

[6] 徐媛, 陶笑, 周增辉. 蒲菜研究进展[J]. 北方园艺, 2019(8): 142-147.
XU Yuan, TAO Xiao, ZHOU Zeng-hui. Advances in Research of Common Cattail[J]. Northern Horticulture, 2019(8): 142-147.

[7] 赵伯涛, 钱骅, 黄晓德, 等. 蒲菜气调保鲜贮藏技术研究[J]. 食品科技, 2005, 30(3): 88-90.
ZHAO Bo-tao, QIAN Hua, HUANG Xiao-de, et al. Storage Technology of Modified Atmosphere Packaging for Narrowleaf Cattail[J]. Food Science and Technology, 2005, 30(3): 88-90.

[8] 薛友林, 于弘戕, 张鹏, 等. 不同处理条件的蓝莓货架品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 113-121.
XUE You-lin, YU Hong-tao, ZHANG Peng, et al. Comparison of Shelf Quality of Different Treatments on the Blueberries[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 113-121.

[9] GUO Yu-chen, HUANG Ji-chao, SUN Xiao-bin, et al. Effect of Normal and Modified Atmosphere Packaging on Shelf Life of Roast Chicken Meat[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(5): e12493.

[10] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, VAN DER STEEN C, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microbial Growth and Sensorial Qualities of Fresh-Cut Produce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71(2/3): 197-210.

[11] KADER A A. Regulation of Fruit Physiology by Controlled/Modified Atmospheres[J]. Acta Horticulturae, 1995(398): 59-70.

[12] DAY B. High Oxygen Modified Atmosphere Packaging for Fresh Prepared Produce[J]. Postharv News Info, 1996, 7(3): 31-34.

[13] 张举印, 董晓庆. 1-MCP 结合 MAP 处理对空心李的保鲜效应[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17): 197-201.
ZHANG Ju-yin, DONG Xiao-qing. Preservation Effects of 1-MCP Treatment Combined with MAP on Hollow Plum[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(17): 197-201.

[14] 濮艳清. 鲜切果蔬高品质短期保鲜包装工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 31-53.
PU Yan-qing. Research on High-Quality Short-Term Fresh-Keeping Packaging Technology of Fresh-Cut Fruits and Vegetables[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 31-53.

[15] 郑鄢燕, 魏亚博, 王宇滨, 等. 气调贮藏对腐败菌引起的鲜切黄瓜品质、滋味和挥发性物质变化的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 252-261.
ZHENG Yan-yan, WEI Ya-bo, WANG Yu-bin, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on Changes in Quality, Taste and Volatile Compounds of Fresh-Cut Cucumber Caused by Spoilage Bacteria[J]. Food Science, 2021, 42(5): 252-261.

[16] 李元玲, 贺龙强. 紫外分光光度法测定新鲜蔬菜中维生素 C 的含量[J]. 焦作大学学报, 2011, 25(3): 93-94.
LI Yuan-ling, HE Long-qiang. Determination of Vitamin C in Fresh Vegetables by Ultraviolet Spectrophotometry[J]. Journal of Jiaozuo University, 2011, 25(3): 93-94.

[17] ANGÓS I, VÍRSEDA P, FERNÁNDEZ T. Control of Respiration and Color Modification on Minimally Processed Potatoes by Means of Low and High O_2/CO_2 Atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(3): 422-430.

[18] MITZ M A. CO_2 Biodynamics: A New Concept of Cellular Control[J]. Journal of Theoretical Biology, 1979, 80(4): 537-551.

[19] TUCKER M L, LATIES G G. The Dual Role of Oxygen in Avocado Fruit Respiration: Kinetic Analysis and Computer Modelling of Diffusion-Affected Respiratory Oxygen Isotherms[J]. Plant, Cell and Environment, 1985, 8(2): 117-127.

[20] 王洪霞, 张敏. 高氧气调包装对金针菇保鲜品质的影响[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 18-23.
WANG Hong-xia, ZHANG Min. Influence of High Concentration Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Flammulina Velutipes Preservation Quality[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 18-23.

[21] 王惠惠, 陈于陇, 徐玉娟, 等. 高氧气调包装对鲜切菜心品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 161-170.
WANG Hui-hui, CHEN Yu-long, XU Yu-juan, et al. Effect of Super Atmospheric Oxygen Packaging on the Quality of Fresh-Cut Flowering Cabbages[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(2): 161-170.

[22] 王康飞, 王桂英, 王德铮. 不同保鲜方式对葡萄保鲜效果影响的对比研究[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 19-24.
WANG Kang-fei, WANG Gui-ying, WANG De-zheng. Comparative Study on the Effects of Different Preservation Methods on Grape Preservation[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(15): 19-24.

[23] WU Ying, DENG Yun, LI Yun-fei. Changes in Enzyme Activities in Abscission Zone and Berry Drop of 'Kyoho' Grapes under High O_2 or CO_2 Atmospheric Storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 175-179.

[24] TIAN You, GOU Xiao-ju, NIU Peng-fei, et al. Multivariate Data Analysis of the Physicochemical and Phenolic Properties of not from Concentrate Apple Juices to Explore the Alternative Cultivars in Juice Production[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(6): 1735-1747.

[25] TIAN You, LI Dong-mei, LUO Wen-huang, et al. Rapid Freezing Using Atomized Liquid Nitrogen Spray Followed by Frozen Storage below Glass Transition Temperature for Cordyceps Sinensis Preservation: Quality Attributes and Storage Stability[J]. LWT, 2020, 123: 109066.