

1-甲基环丙烯结合膜气调处理对河口香蕉贮藏品质的影响

Effects of 1-MCP combined with membrane air conditioning treatments on the storage quality of estuarine bananas

李艳娇 张月江 邢江艳

LI Yan-jiao ZHANG Yue-jiang XING Jiang-yan

赵晓玲 林奇 包媛媛

ZHAO Xiao-ling LING Qi BAO Yuan-yun

(云南农业大学食品科学技术学院, 云南 昆明 650201)

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

摘要:以云南河口香蕉为试验材料,将不同质量浓度(0.00,0.08,0.16,0.32 g/L)的 1-甲基环丙烯(1-MCP)结合 PBI 气调保鲜袋、微孔膜包装河口香蕉,并于 15 °C 下恒温贮藏,研究贮藏期间香蕉可溶性固形物、硬度、病情指数、转黄指数、POD 酶(过氧化物酶)、失重率、呼吸强度、可滴定酸的变化规律。结果表明:1-MCP+PBI 气调保鲜袋延缓可溶性固形物、病情指数、转黄指数、POD 酶活性较其他处理差异显著($P \leq 0.05$);1-MCP+微孔膜能显著延缓果实硬度的下降($P \leq 0.05$),抑制可滴定酸含量的上升($P \leq 0.05$),但对香蕉失重率及可溶性固形物含量无显著影响。其中,0.16 g/L 1-MCP+PBI 气调保鲜袋处理是最为理想的河口香蕉保鲜方式。

关键词:香蕉;1-甲基环丙烯;气调保鲜;PBI 气调保鲜袋;微孔膜

Abstract: To study the effects of 1-MCP (0.00, 0.08, 0.16, 0.32 g/L) on the quality of banana in Hekou, Yunnan Province. The changes of soluble solids, hardness, disease index, yellowing index, pod enzyme (peroxidase), weight loss rate, respiration rate and titratable acid of banana during storage were studied. The results showed that: 1-MCP + PBI modified atmosphere preservation bag delayed soluble solids, disease index, yellowing index, pod enzyme activity compared with other treatments ($P \leq$

0.05); 1-MCP + microporous membrane significantly delayed the decline of fruit firmness ($P \leq 0.05$), inhibited the increase of titratable acid content ($P \leq 0.05$), but had no significant effect on weight loss rate and soluble solid content of banana. Among them, 0.16 g/L 1-MCP + PBI modified atmosphere bag treatment was the best way to keep banana fresh.

Keywords: banana; 1-methylcyclopropene; air-conditioned preservation; PBI modified atmosphere bags; microporous membrane

香蕉(*Musa nana* L.)主要种植于高温、潮湿的地区,云南省河口县是中国重要的香蕉生产基地之一,也是云南省香蕉主产区^[1-2],该县特殊地理环境为香蕉“周年种植”及生产绿色无公害香蕉创造了优良、安全的环境条件。由于香蕉属于典型呼吸跃变型水果^[3],采后贮藏期短,在贮藏和运输中损耗较大,极大地制约了云南香蕉产业的发展。

目前香蕉主要采用 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)^[4]、植物精油^[5]、复合涂膜^[6-8]、壳聚糖保鲜膜^[9]进行保鲜。1-MCP 被认为是一种最有效的乙烯抑制剂^[10],通过与乙烯受体发生不可逆的结合,阻断内外源乙烯与乙烯受体的结合,从而抑制果蔬后熟或衰老的一系列生理生化变化^[11-12],同时能有效减轻冷害^[13-14]。PBI 气调保鲜袋,其专一性强,无毒无害,在降低贮藏环境中氧气浓度的同时能适当提高二氧化碳的浓度^[15],抑制新鲜果蔬的呼吸作用,降低果蔬新陈代谢的速度及营养成分的消耗,抑制乙烯合成,达到保鲜目的^[16]。微孔膜是一种多孔膜气调袋,其孔径小且分布均匀,孔隙率大,能保持空气流通,达到保鲜目的^[17]。目前 1-MCP 与气调保鲜

基金项目:云南省重点研发项目(编号:A3032019170)

作者简介:李艳娇,女,云南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:包媛媛(1981—),女,云南农业大学讲师,博士。

E-mail:380984741@qq.com

林奇(1963—),男,云南农业大学教授,学士。

E-mail:2837137469@qq.com

收稿日期:2020-10-12

袋的结合已被应用于苹果^[18]、金刺梨^[19]、猕猴桃^[20]的贮藏保鲜,在香蕉上的结合使用还未见报道。

试验拟探讨不同浓度 1-MCP 及不同气调袋对香蕉品质的影响,以期为热区水果保鲜技术的进一步完善以及其他高原特色水果采后保鲜提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

香蕉:品种威廉斯,云南红河河口;

微孔膜:85 cm×70 cm,厚度 0.05~0.06 mm,孔径 15~20 μm,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津);

PBI 气调保鲜袋:35 cm×24 cm,厚度 0.15 mm,以色列 PBI 公司;

1-甲基环丙烯:分析纯,佛山市嘉芝诺生物科技有限公司;

过氧化氢:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

硫酸亚铁:分析纯,天津市北联精细化学品开发有限公司;

氢氧化钠:分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;

酚酞、草酸、氯化钡、无水乙醇:分析纯,天津市福晨化学试剂厂。

1.1.2 仪器与设备

糖度计:LB90T 型,广州市速为电子科技有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-8 型,国华电器有限公司;

紫外可见光光度计:A360 型,上海添时科学仪器有限公司;

离心机:TGL20M 型,湖南湘立科学仪器有限公司;

分析天平:AR224CN 型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

食品物性分析仪:TMS-PRO 型,北京熙缜隆博环保科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 处理方法 挑选新鲜、无腐烂,无机械损伤,大小均一的河口香蕉,经称量后用过氧乙酸杀菌液(浓度为 0.05%)浸泡处理 3 min,自然晾干后放入密闭纸箱中待处理。

(1) 对照组(CK):未经 1-MCP 处理也未使用气调袋,于 15℃下贮藏。

(2) 处理组:按处理 0.00,0.08,0.16,0.33 g/L 需要分别用 40℃的温水配制系列浓度的 1-MCP 溶液,并将其均匀地涂布在香蕉表面后分别覆裹 PBI 气调保鲜袋或微孔膜,于 15℃下贮藏。

每隔 2 天取样,测其可溶性固形物、硬度、病情指数、转黄指数、POD 酶、呼吸强度、失重率、可滴定酸等相关生理指标,每个指标测 3 次,取平均值。试验时间:2020 年 4 月—6 月。

1.2.2 指标测定方法

(1) 可溶性固形物:利用手持糖度计^[21]测定。

(2) 硬度:利用水果硬度计^[22]测定。

(3) 病情指数:参照文献[23],按式(1)计算病情指数。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum \frac{\text{各级病级代表值} \times \text{该病级果数}}{\text{调查总数} \times \text{病情最重级的代表数值}}}{100\%} \quad (1)$$

(4) 转黄指数:参照文献[24],按式(2)计算转黄指数。

$$\text{转黄指数} = \frac{\sum \frac{\text{果皮颜色级别} \times \text{该级别果实数}}{\text{最高果皮颜色级别} \times \text{检查总果数}}}{100\%} \quad (2)$$

(5) 过氧化氢酶(POD):水杨酸法^[25]。

(6) 呼吸强度:静置碱吸收法^[26]。

(7) 失重率:参照文献[27],按式(3)计算失重率。

$$\text{失重率} = \frac{\text{初始质量} - \text{测定时质量}}{\text{初始质量}} \times 100\% \quad (3)$$

(8) 可滴定酸:采用酸碱滴定法^[28]。

1.3 数据处理与统计

用 Microsoft Office Excel 2010 统计试验结果及作图。采用 SPSS 17.0 软件的 LSD 法进行数据的显著性分析, $P \leq 0.05$ 表示差异显著, $P \leq 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 对香蕉可溶性固形物的影响

由表 1、2 可知,随着贮藏时间的延长,香蕉的可溶性固形物含量不断上升。贮藏第 9 天,CK 组的可溶性固形物含量显著高于其他 4 个处理组($P \leq 0.05$),而且与其他浓度处理组的相比,0.00 g/L 1-MCP 处理组的可溶性固形物含量总体较高,说明 1-MCP 结合气调袋处理对香蕉具有一定的保鲜作用。两种不同套袋处理的香蕉效果差异不显著且均优于 CK 组,与 1-MCP 阻止了外源乙烯与乙烯受体的结合,以及自发性气调抑制了香蕉的成熟有关。

2.2 对香蕉硬度的影响

由表 3、4 可知,随着贮藏时间的延长,香蕉硬度下降。其中,CK 组硬度下降速度最快,0.16 g/L 1-MCP 处理组硬度下降最慢。贮藏第 12 天,CK 组香蕉的硬度显著低于其他处理组($P \leq 0.05$)。经过 PBI 气调保鲜袋包裹的香蕉其硬度下降速度略高于微孔膜包裹的。果实的软化主要是由于果实内的原果胶被水解酶水解所导致的,而气调袋能有效抑制香蕉的蒸腾失水,还能形成气调的微环境,抑制香蕉的呼吸作用,削弱其新陈代谢,降低香蕉与硬度有关酶的活性,从而延缓了香蕉的软化。从不同浓度的 1-MCP 处理来看,0.16 g/L 1-MCP 处理组的香蕉,贮藏效果优于其他处理组;从不同气调袋来看,采用微孔保鲜膜包装的香蕉贮藏效果优于 PBI 气调保鲜袋。

包装。综上,0.16 g/L 1-MCP+微孔膜处理方式更能有效维持香蕉的硬度。

2.3 对香蕉病情指数的影响

由表 5、6 可知,随着贮藏时间的延长,各处理果实的

病情指数呈现不断增大的趋势。贮藏期间,经 0.16 g/L 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋包裹的香蕉病情指数始终低于其他处理组,并且各处理组的病情指数开始急剧增加,其中 CK 组的病情指数上升最快,贮藏至 21 d 时病情指

表 1 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉可溶性固形物的影响[†]

Table 1 Effect of 1-MCP combined with PBI modified atmosphere bag on soluble solids of banana

%

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	5.00±0.00 ^b	7.00±0.06 ^a	10.00±0.10 ^a	12.00±0.07 ^a	15.00±0.04 ^a	16.00±0.05 ^a	18.00±0.12 ^a
0.00	5.20±0.05 ^a	6.55±0.05 ^b	8.00±0.05 ^b	9.80±0.06 ^b	11.00±0.07 ^b	12.50±0.03 ^b	13.00±0.01 ^b
0.08	5.02±0.04 ^b	6.00±0.05 ^c	7.00±0.06 ^c	9.50±0.05 ^c	10.00±0.06 ^d	11.00±0.06 ^d	11.33±0.33 ^d
0.16	4.41±0.04 ^d	5.00±0.08 ^c	6.50±0.05 ^d	8.00±0.06 ^c	9.00±0.12 ^e	9.50±0.06 ^e	11.00±0.06 ^e
0.32	4.56±0.01 ^c	5.50±0.05 ^d	7.00±0.03 ^c	9.00±0.06 ^d	11.00±0.06 ^e	11.50±0.02 ^c	12.00±0.00 ^c

[†] 同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05);试验原料可溶性固形物含量为 4.86%。

表 2 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉可溶性固形物的影响[†]

Table 2 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane treatment on soluble solids in banana

%

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	5.07±0.02 ^{bc}	7.12±0.02 ^a	10.03±0.02 ^a	12.11±0.03 ^a	15.60±0.05 ^a	16.68±0.02 ^a	18.05±0.05 ^a
0.00	5.13±0.01 ^{ab}	7.07±0.10 ^a	8.10±0.05 ^b	10.06±0.01 ^b	10.06±0.02 ^c	12.03±0.03 ^b	13.14±0.09 ^b
0.08	5.05±0.05 ^c	6.12±0.03 ^b	8.00±0.01 ^d	8.02±0.02 ^e	10.05±0.01 ^c	11.05±0.05 ^e	13.02±0.01 ^c
0.16	4.06±0.03 ^d	6.00±0.05 ^c	7.03±0.02 ^e	9.10±0.00 ^c	9.11±0.02 ^d	10.05±0.07 ^d	12.03±0.03 ^d
0.32	5.15±0.05 ^a	6.15±0.03 ^b	8.05±0.01 ^c	9.00±0.05 ^d	11.23±0.04 ^b	12.13±0.06 ^b	13.00±0.03 ^c

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料可溶性固形物含量为 4.00%。

表 3 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉硬度变化的影响[†]

Table 3 Effect of modified atmosphere bags treatment with 1-MCP and PBI on banana hardness

kg/cm²

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	0.89±0.04 ^a	0.85±0.01 ^a	0.79±0.02 ^b	0.73±0.04 ^c	0.68±0.02 ^b	0.60±0.02 ^c	0.55±0.01 ^b
0.00	0.88±0.02 ^a	0.85±0.03 ^a	0.81±0.04 ^b	0.80±0.00 ^b	0.77±0.08 ^{ab}	0.74±0.03 ^b	0.78±0.03 ^a
0.08	0.90±0.01 ^a	0.89±0.01 ^a	0.87±0.01 ^a	0.83±0.02 ^{ab}	0.81±0.08 ^a	0.78±0.08 ^{ab}	0.78±0.01 ^a
0.16	0.91±0.01 ^a	0.90±0.01 ^a	0.89±0.01 ^a	0.88±0.02 ^a	0.86±0.01 ^a	0.84±0.04 ^a	0.80±0.04 ^a
0.32	0.93±0.04 ^a	0.88±0.06 ^a	0.87±0.02 ^a	0.88±0.05 ^a	0.84±0.04 ^a	0.81±0.03 ^{ab}	0.80±0.08 ^a

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料硬度为 0.91 kg/cm²。

表 4 1-MCP 处理结合微孔膜处理对香蕉硬度变化的影响[†]

Table 4 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane treatment on banana hardness

kg/cm²

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	0.89±0.05 ^a	0.85±0.05 ^a	0.79±0.02 ^b	0.77±0.04 ^b	0.68±0.02 ^b	0.63±0.02 ^b	0.55±0.01 ^c
0.00	0.89±0.01 ^a	0.87±0.03 ^a	0.84±0.02 ^a	0.83±0.05 ^{ab}	0.81±0.04 ^a	0.79±0.02 ^a	0.78±0.01 ^b
0.08	0.89±0.03 ^a	0.88±0.03 ^a	0.86±0.03 ^a	0.85±0.02 ^a	0.83±0.03 ^a	0.82±0.02 ^a	0.80±0.04 ^a
0.16	0.91±0.04 ^a	0.89±0.04 ^a	0.87±0.02 ^a	0.86±0.02 ^a	0.84±0.04 ^a	0.82±0.02 ^a	0.83±0.02 ^a
0.32	0.90±0.02 ^a	0.88±0.03 ^a	0.85±0.02 ^a	0.83±0.02 ^{ab}	0.80±0.05 ^a	0.79±0.02 ^a	0.78±0.01 ^b

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料硬度为 0.91 kg/cm²。

数高达 100%，说明 1-MCP 对香蕉具有明显抑制其病害发生的作用，而且浓度为 0.16 g/L 1-MCP 的效果最明显。就不同套袋的香蕉而言，PBI 气调保鲜袋包裹的香蕉病情指数最高为 40%，微孔膜包裹的香蕉病情指数最高为 60%。说明 PBI 气调保鲜袋的保鲜效果明显优于微孔膜。相对而言，0.16 g/L 1-MCP+PBI 气调保鲜袋对香蕉病情指数的抑制效果最好。

2.4 对香蕉转黄指数的影响

由表 7、8 可知，随着贮藏时间的延长，香蕉的转黄指数呈不断上升的趋势。经 0.16 g/L 1-MCP 处理香蕉的转黄指数上升趋势明显小于其他处理组。经过 PBI 气调保鲜袋包裹的香蕉基本都在第 18 天完全转黄，而经过微孔膜包裹的香蕉基本都在第 15 天完全转黄。0.16 g/L 1-MCP+PBI 气调保鲜袋处理的香蕉，对比 CK 组能延迟

10 d 转黄，而 0.16 g/L 1-MCP+微孔膜处理的香蕉仅能延迟 5 d 转黄。总体来看，PBI 气调保鲜袋的贮藏效果要优于微孔膜。

2.5 对香蕉 POD 酶活性的影响

由表 9、10 可知，整个贮藏期，不同处理组香蕉的 POD 活性呈现波动的变化趋势。贮藏第 6 天，0.00，0.08，0.16 g/L 1-MCP 处理组 POD 酶活性呈上涨趋势，可能是由于初期机械伤导致香蕉细胞系统完整性受到破坏，细胞内的酶释放，增加 POD 酶活性。贮藏第 12 天，除 0.00 g/L 1-MCP+PBI 气调保鲜袋处理组外，其余处理组 POD 酶活性达到峰值，随后呈现下降趋势。使用 PBI 气调保鲜袋包裹时，浓度为 0.16 g/L 和 0.32 g/L 1-MCP 处理的香蕉 POD 酶活性的波动程度最小；而用微孔膜包裹时，各处理组香蕉的 POD 酶活性波动较大。POD 酶具有

表 5 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉病情指数的影响[†]

Table 5 Effect of modified atmosphere bags treatment with 1-MCP and PBI on banana disease index %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	10.15±0.13 ^a	24.99±0.03 ^a	35.02±0.03 ^a	60.02±0.03 ^a	74.96±0.06 ^a	90.07±0.07 ^a	100.00±0.00 ^a
0.00	10.16±0.06 ^a	15.03±0.05 ^b	14.95±0.06 ^b	23.34±2.99 ^b	30.00±0.03 ^b	30.02±0.03 ^b	40.06±0.14 ^b
0.08	5.00±0.12 ^b	15.01±0.02 ^b	15.04±0.05 ^b	15.01±0.01 ^c	20.80±0.56 ^c	25.07±0.08 ^c	24.97±0.09 ^d
0.16	4.58±0.05 ^c	10.03±0.06 ^c	9.95±0.08 ^c	10.00±0.00 ^d	15.00±0.03 ^c	20.11±0.11 ^d	20.01±0.05 ^c
0.32	4.88±0.24 ^b	10.02±0.03 ^c	10.01±0.02 ^c	15.06±0.06 ^c	20.00±0.14 ^d	25.00±0.01 ^c	35.04±0.07 ^c

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05)；试验原料病情指数为 0.00%。

表 6 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉病情指数的影响[†]

Table 6 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane on disease index of banana %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	10.00±0.00 ^a	25.03±0.05 ^a	35.05±0.09 ^a	60.02±0.03 ^a	75.03±0.03 ^a	90.08±0.08 ^a	100.00±0.00 ^a
0.00	9.96±0.08 ^a	15.02±0.02 ^b	14.98±0.03 ^b	20.09±0.04 ^b	50.12±0.03 ^b	55.02±0.03 ^c	60.02±0.03 ^b
0.08	10.02±0.03 ^a	10.04±0.07 ^d	15.03±0.03 ^b	15.00±0.00 ^c	20.05±0.05 ^c	30.12±0.06 ^c	50.05±0.05 ^c
0.16	5.02±0.03 ^b	5.02±0.03 ^c	10.05±0.05 ^c	10.04±0.07 ^d	45.08±0.03 ^c	60.02±0.03 ^b	60.06±0.06 ^b
0.32	4.44±0.49 ^c	10.64±0.52 ^c	14.98±0.03 ^b	15.05±0.05 ^c	30.09±0.08 ^d	45.03±0.03 ^d	45.05±0.05 ^d

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05)；试验原料病情指数为 0.00%。

表 7 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉转黄指数的影响[†]

Table 7 Effect of 1-MCP combined with PBI air conditioning bags treatment on banana turning yellow index %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	70.08±0.37 ^a	85.23±0.37 ^a	90.24±0.23 ^a	95.07±0.06 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
0.00	60.35±0.46 ^b	70.10±0.13 ^b	75.29±0.74 ^b	85.55±0.68 ^b	90.23±0.19 ^c	95.22±0.19 ^b	100.00±0.00 ^a
0.08	40.06±0.07 ^d	60.69±1.01 ^d	65.17±0.27 ^c	77.70±5.42 ^b	85.52±0.48 ^d	90.48±0.40 ^c	100.00±0.00 ^a
0.16	30.45±0.53 ^c	55.42±0.59 ^c	60.69±0.62 ^d	74.89±0.48 ^b	81.24±0.71 ^c	95.90±0.68 ^b	100.00±0.00 ^a
0.32	50.71±0.54 ^c	64.29±0.90 ^c	76.03±0.56 ^b	85.61±0.77 ^b	95.42±0.56 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a

[†] 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05)；试验原料转黄指数为 0.00%。

表 8 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉转黄指数的影响[†]

Table 8 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane on yellowing index of banana

%

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	70.62±0.81 ^a	75.88±1.02 ^a	90.50±0.63 ^a	95.62±0.81 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
0.00	60.60±0.83 ^b	75.94±0.54 ^a	80.17±0.15 ^b	85.86±0.86 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
0.08	50.81±1.08 ^c	60.54±0.53 ^b	70.71±0.57 ^c	75.53±0.86 ^c	95.10±0.49 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
0.16	35.85±0.65 ^e	50.69±1.10 ^d	61.38±1.48 ^e	70.66±0.62 ^d	95.86±0.45 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
0.32	40.56±0.47 ^d	54.72±0.60 ^c	65.55±1.35 ^d	75.46±0.67 ^c	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料转黄指数为 0.00%。

表 9 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉 POD 酶活性的影响[†]

Table 9 Effects of 1-MCP combined with PBI air conditioning bags on banana POD enzyme activity

U/g

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	0.78±0.07 ^a	0.99±0.04 ^a	0.85±0.01 ^{ab}	0.80±0.02 ^{bc}	0.65±0.03 ^b	0.49±0.05 ^b	0.54±0.01 ^a
0.00	0.66±0.02 ^b	0.83±0.01 ^b	0.88±0.02 ^a	0.78±0.05 ^c	0.60±0.03 ^b	0.52±0.02 ^b	0.48±0.04 ^b
0.08	0.62±0.02 ^b	0.80±0.03 ^b	0.84±0.00 ^{ab}	0.85±0.03 ^{ab}	0.75±0.05 ^a	0.63±0.03 ^a	0.55±0.03 ^a
0.16	0.59±0.04 ^b	0.65±0.05 ^c	0.66±0.04 ^c	0.87±0.03 ^a	0.65±0.03 ^b	0.66±0.04 ^a	0.50±0.03 ^{ab}
0.32	0.67±0.05 ^b	0.82±0.02 ^b	0.80±0.04 ^b	0.86±0.04 ^{ab}	0.78±0.01 ^a	0.62±0.02 ^a	0.53±0.01 ^{ab}

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料 POD 酶活性为 0.56 U/g。

表 10 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉 POD 酶活性的影响[†]

Table 10 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane on POD activity of banana

U/g

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	0.80±0.08 ^a	0.98±0.01 ^a	0.87±0.01 ^a	0.82±0.00 ^b	0.65±0.05 ^b	0.50±0.03 ^b	0.54±0.04 ^b
0.00	0.68±0.02 ^b	0.82±0.02 ^b	0.89±0.04 ^a	0.86±0.01 ^{ab}	0.67±0.01 ^b	0.50±0.02 ^b	0.55±0.03 ^{ab}
0.08	0.66±0.04 ^b	0.82±0.06 ^b	0.88±0.03 ^a	0.87±0.03 ^{ab}	0.77±0.03 ^a	0.52±0.01 ^b	0.56±0.04 ^{ab}
0.16	0.60±0.03 ^b	0.64±0.04 ^c	0.67±0.07 ^b	0.83±0.05 ^b	0.62±0.02 ^b	0.63±0.03 ^a	0.60±0.06 ^{ab}
0.32	0.68±0.06 ^b	0.81±0.10 ^b	0.83±0.02 ^a	0.87±0.01 ^{ab}	0.75±0.02 ^a	0.60±0.06 ^a	0.62±0.02 ^a

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料 POD 酶活性为 0.56 U/g。

抗氧化的作用,因此果蔬为避免自身细胞受到伤害,其酶活会增强以消除自由基,而 1-MCP 与气调袋的结合有利于香蕉保持较高的 POD 酶活性。总体来看,0.08 g/L 1-MCP 结合微孔膜更能较好地维持抗氧化酶系统,延缓香蕉的衰老。

2.6 对香蕉失重率的影响

由表 11、12 可知,贮藏期间,香蕉失重率整体呈上升趋势。贮藏过程中,各处理组之间失重率差异不显著(P>0.05)。未经处理的香蕉失重率最高为 95.74%,最低为 91.57%;用 1-MCP 处理且覆裹 PBI 气调保鲜袋的香蕉失重率最高为 97.83%,最低为 84.71%;用 1-MCP 处理套微孔膜的香蕉失重率最高为 98.7%,最低为 83.78%,两种不同气调袋和不同浓度 1-MCP 处理的香蕉失重率的变化趋势区分不明显,说明 1-MCP 处理和气调袋对香蕉

失重率影响不大。

2.7 对香蕉呼吸强度的影响

由表 13、14 可知,随着贮藏时间的增加,香蕉的呼吸强度不断上升。贮藏 6 d 后,CK 组的呼吸强度显著高于其余 4 组(P≤0.05),说明 1-MCP 可有效抑制香蕉的呼吸代谢,延迟其呼吸跃变。PBI 包裹的香蕉中,0.16 g/L 1-MCP 处理组的呼吸强度始终保持最低,而微孔膜包裹的香蕉贮藏 9 d 后,0.16 g/L 1-MCP 处理组的呼吸强度显著低于其余 4 组(P≤0.05)。说明 1-MCP 能够降低贮藏期间香蕉的呼吸强度,且不同浓度间的作用效果差异不明显,这是因为气调袋为香蕉提供了气调微环境,延缓了香蕉的呼吸代谢及呼吸高峰的到来,从而起到了延长贮藏期的作用。由表 13、14 还可知,两种不同气调袋对香蕉呼吸强度的影响差异不明显,相对而言 0.16 g/L

表 11 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉失重率的影响[†]

Table 11 Effects of 1-MCP combined with PBI air conditioning bags treatment on banana weightlessness rate %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	4.15±0.05 ^a	4.25±0.02 ^a	16.32±0.07 ^a	18.56±0.02 ^a	19.88±0.08 ^a	20.58±0.08 ^a	24.58±0.12 ^a
0.00	1.25±0.00 ^b	1.19±0.01 ^b	4.56±0.03 ^b	5.42±0.04 ^b	5.88±0.02 ^b	7.86±0.08 ^b	12.03±0.02 ^b
0.08	1.13±0.01 ^c	1.18±0.08 ^b	2.56±0.01 ^c	2.87±0.03 ^c	3.56±0.12 ^c	3.86±0.02 ^d	6.46±0.04 ^c
0.16	1.10±0.06 ^c	1.08±0.08 ^b	2.06±0.06 ^e	2.09±0.01 ^d	3.06±0.06 ^d	3.55±0.03 ^e	4.57±0.06 ^d
0.32	1.10±0.01 ^c	1.15±0.14 ^b	2.33±0.11 ^d	2.89±0.04 ^c	3.55±0.07 ^c	4.00±0.08 ^c	6.47±0.03 ^c

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料失重率为 0%。

表 12 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉失重率的影响[†]

Table 12 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane treatment on weight loss rate of banana %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	1.56±0.11 ^a	4.56±0.11 ^a	5.58±0.08 ^a	10.25±0.02 ^a	12.03±0.03 ^a	19.77±0.23 ^a	22.38±0.38 ^a
0.00	1.45±0.03 ^a	1.98±0.03 ^b	2.87±0.02 ^b	3.05±0.00 ^b	3.87±0.07 ^b	5.64±0.02 ^b	12.00±0.47 ^b
0.08	1.25±0.02 ^b	1.87±0.02 ^c	2.22±0.10 ^d	2.99±0.10 ^{bc}	3.54±0.04 ^c	4.56±0.06 ^c	5.54±0.04 ^d
0.16	0.98±0.10 ^c	1.23±0.10 ^e	2.11±0.02 ^d	2.54±0.04 ^d	2.89±0.09 ^e	3.84±0.04 ^e	3.78±0.78 ^e
0.32	1.00±0.05 ^c	1.36±0.05 ^d	2.56±0.11 ^c	2.88±0.12 ^c	3.25±0.02 ^d	4.12±0.02 ^d	6.56±0.30 ^c

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料失重率为 0%。

表 13 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉呼吸强度的影响[†]

Table 13 Effects of 1-MCP combined with PBI air conditioning bags treatment on banana respiration intensity
mg CO₂/(kg · h)

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	58.57±0.45 ^a	66.97±0.17 ^a	79.22±0.66 ^a	86.69±0.58 ^a	97.68±1.04 ^a	98.42±0.68 ^a	111.49±0.78 ^a
0.00	53.67±1.03 ^b	60.70±0.49 ^c	67.56±0.67 ^{bc}	74.55±0.61 ^c	89.44±0.46 ^b	88.86±0.51 ^b	104.15±0.91 ^b
0.08	58.62±0.72 ^a	65.01±0.49 ^b	70.98±0.66 ^b	77.94±0.78 ^b	85.70±0.52 ^c	85.62±0.52 ^c	99.88±0.78 ^c
0.16	50.64±0.55 ^c	57.56±0.87 ^d	66.26±0.98 ^c	73.59±0.84 ^c	80.72±0.47 ^e	80.72±0.47 ^d	94.87±0.82 ^d
0.32	53.52±1.10 ^b	58.57±0.49 ^d	67.85±0.71 ^c	78.94±0.33 ^b	81.48±1.21 ^d	81.48±1.21 ^d	101.04±0.53 ^c

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料呼吸强度为 42.23 mg CO₂/(kg · h)。

表 14 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉呼吸强度的影响[†]

Table 14 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane treatment on respiration rate of banana
mg CO₂/(kg · h)

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	58.44±0.31 ^a	67.01±0.50 ^a	79.10±0.37 ^a	77.49±0.55 ^b	96.96±0.35 ^a	103.05±0.63 ^a	111.94±1.01 ^a
0.00	55.85±0.20 ^b	61.41±1.12 ^b	71.23±1.13 ^b	78.68±1.00 ^a	87.55±0.01 ^c	97.12±0.64 ^b	104.40±0.32 ^b
0.08	53.51±0.47 ^c	61.23±1.07 ^b	69.33±0.69 ^c	76.04±0.47 ^c	89.46±0.41 ^b	96.34±0.57 ^b	103.23±0.34 ^c
0.16	50.95±0.76 ^d	58.86±0.53 ^c	67.13±0.83 ^d	76.89±0.58 ^{bc}	82.84±0.69 ^d	91.28±0.68 ^c	98.28±0.27 ^d
0.32	54.35±1.00 ^c	58.89±0.21 ^c	63.53±0.62 ^e	70.92±0.49 ^d	77.80±0.50 ^e	84.22±0.58 ^d	96.60±0.62 ^e

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料呼吸强度为 46.23 mg CO₂/(kg · h)。

1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋对香蕉贮藏过程中呼吸强度抑制效果较好。

2.8 对香蕉可滴定酸的影响

由表 15、16 可知,香蕉的可滴定酸随着贮藏的时间

延长呈下降趋势,其中 CK 组的可滴定酸含量下降得最快,说明 1-MCP 处理抑制了香蕉可滴定酸含量的降低,在一定程度上减缓了香蕉品质的变化。贮藏第 6 天,0.16 g/L 1-MCP 结合微孔膜包裹的香蕉中的可滴定酸含

表 15 1-MCP 结合 PBI 气调保鲜袋处理对香蕉可滴定酸的影响[†]

Table 15 Effects of 1-MCP combined with PBI air conditioning bags treatment on banana titratable acid %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	1.18±0.01 ^{cd}	0.86±0.06 ^c	0.77±0.07 ^c	0.64±0.04 ^d	0.52±0.00 ^d	0.48±0.04 ^c	0.42±0.02 ^c
0.00	1.25±0.00 ^a	0.95±0.04 ^b	0.83±0.03 ^{bc}	0.72±0.02 ^c	0.65±0.05 ^c	0.62±0.02 ^b	0.64±0.01 ^b
0.08	1.16±0.03 ^d	0.98±0.06 ^b	0.85±0.02 ^b	0.81±0.04 ^b	0.75±0.01 ^b	0.75±0.05 ^a	0.66±0.02 ^{ab}
0.16	1.22±0.01 ^b	1.12±0.04 ^a	0.95±0.01 ^a	0.90±0.02 ^a	0.85±0.03 ^a	0.82±0.02 ^a	0.71±0.05 ^a
0.32	1.19±0.01 ^c	1.10±0.02 ^a	0.93±0.03 ^a	0.85±0.05 ^{ab}	0.80±0.05 ^{ab}	0.76±0.05 ^a	0.68±0.02 ^{ab}

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料可滴定酸为 1.28%。

表 16 1-MCP 结合微孔膜处理对香蕉可滴定酸的影响[†]

Table 16 Effect of 1-MCP combined with microporous membrane treatment on titratable acid of banana %

1-MCP 浓度/ (g · L ⁻¹)	贮藏时间						
	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天	第 15 天	第 18 天	第 21 天
CK	1.20±0.03 ^a	0.85±0.05 ^c	0.74±0.04 ^c	0.60±0.03 ^c	0.60±0.02 ^d	0.48±0.06 ^c	0.43±0.01 ^c
0.00	1.26±0.06 ^a	0.96±0.03 ^b	0.84±0.02 ^b	0.75±0.02 ^b	0.70±0.05 ^c	0.62±0.04 ^b	0.60±0.03 ^b
0.08	1.17±0.03 ^a	0.99±0.04 ^b	0.85±0.03 ^b	0.80±0.04 ^b	0.77±0.02 ^b	0.75±0.02 ^a	0.66±0.00 ^a
0.16	1.19±0.07 ^a	1.15±0.01 ^a	0.95±0.03 ^a	0.90±0.02 ^a	0.85±0.02 ^a	0.82±0.02 ^a	0.70±0.06 ^a
0.32	1.18±0.02 ^a	1.10±0.02 ^a	0.92±0.04 ^a	0.86±0.03 ^a	0.80±0.02 ^{ab}	0.76±0.04 ^a	0.68±0.02 ^a

† 同行小写字母不同表示差异显著(P≤0.05);试验原料可滴定酸为 1.28%。

量显著高于空白组(P≤0.05),但 PBI 气调保鲜袋显著性并没有微孔膜的高,说明在可滴定酸上微孔膜的保鲜效果优于 PBI 气调保鲜袋。

3 结论

采用 1-甲基环丙烯结合 PBI 保鲜膜气调处理香蕉,除了硬度和可滴定酸指标外,香蕉贮藏效果均比其他处理组效果好,可有效延缓可溶性固形物的上升,抑制病情指数及转黄指数的增加,保持较低的 POD 酶活性。这是因为 1-甲基环丙烯竞争性与乙烯受体结合,抑制了乙烯对香蕉的作用,再加上低温条件下气调袋自主调节 O₂ 与 CO₂ 的浓度,从而有效地延缓了香蕉在贮藏过程中对营养物质的消耗,维持了香蕉较好的贮藏品质。后续可从 1-甲基环丙烯结合气调袋对香蕉代谢的影响方面揭示其保鲜机理。

参考文献

[1] 杨智梅,冯博,赵雪霁,等. 云南河口香蕉产业现状及可持续发展研究[J]. 南方农业, 2019, 13(15): 115-116, 120.
[2] 祁文彩,吴宁,张亮,等. 香蕉采后生理及贮藏保鲜研究进展[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 99-105.
[3] ZHOU Hai-wu, BIAO Yuan, WEI Chen, et al. Effect of monooxygenase purified from Mycobacterium JS60 combined with sodium alginate on the preservation of banana[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2020, 161(10): 111079.
[4] 孟祥春,黄泽鹏,凡超,等. 1-甲基环丙烯保鲜贴纸延缓香蕉

后熟衰老进程的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2 527-2 532.
[5] 吴富旺,何业懿,黄婵婵,等. 13 种植物精油对香蕉保鲜作用的初步研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2019, 37(4): 10-16.
[6] 韦巧艳,成清岚,陈碧,等. 魔芋葡甘露聚糖/纳米 ZnO 复合涂膜对香蕉常温保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 49-55.
[7] 蓝姬姬,韦蕾,杜良伟,等. 海藻酸钠-银纳米粒子涂膜保鲜香蕉研究[J]. 南方农业学报, 2020, 51(7): 1 584-1 590.
[8] 张晓虎,白芳芳,魏夏夏,等. 黄芩苷-Nisin 复合保鲜液制备及在香蕉保鲜中的应用[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(3): 20-27.
[9] 薛琼,赵德坚,邓靖,等. 不同保鲜膜对香蕉贮藏效果影响的研究[J]. 食品科技, 2015(6): 28-31.
[10] 苏小军,蒋跃明. 新型乙烯受体抑制剂——1-甲基环丙烯在采后园艺作物中的应用[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 361-364.
[11] WATKINS C B. The use of 1-methylcyclopropene(1-MCP) on fruits and vegetables[J]. Biotechnol Adv, 2006, 24(4): 389-409.
[12] 何近刚,冯云霄,程玉豆,等. 1-MCP、乙烯吸收剂以及 MAP 处理对“新红星”苹果冷藏和货架期品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(6): 39-43.
[13] 苟赏菊,颜敏华,吴小华,等. 1-MCP 复合杀菌剂处理对低温贮藏“金红宝”甜瓜品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(5): 66-72.

- [14] 曹继璇, 张颖, 姜湘琴, 等. 减压结合 1-甲基环丙烯处理通过调控中华寿桃能量代谢控制其采后冷害[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(12): 213-219.
- [15] 侯忠友, 孙海长, 罗晓琴, 等. 以色列 AGRO 与国内超市气调袋在小白杏上的对比试验初报[J]. 新疆林业, 2015(2): 18-20.
- [16] LIZ S Patiño, DIEGO A Castellanos, ANÍBAL O. Influence of 1-MCP and modified atmosphere packaging in the quality and preservation of fresh basil[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 136(10): 57-65.
- [17] 卢继霞, 郭瑞宇, 王成, 等. 基于固体颗粒尺寸分布的微孔滤膜堵塞机理分析[J]. 机械工程学报, 2018, 54(20): 145-151.
- [18] 张四普, 牛佳佳, 韩立新, 等. 1-MCP 结合微孔、打孔气调袋对‘富士’苹果贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 278-284, 290.
- [19] 范宽秀, 谢国芳, 刘珊珊, 等. 1-MCP 结合 PE 袋对金刺梨贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 71-76.
- [20] 牛佳佳, 袁云凌, 鲁云凤, 等. 冷藏条件下不同保鲜处理对金桃猕猴桃果实品质的影响[J/OL]. 河南农业科学. (2020-10-20) [2020-11-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1092.s.20201020.1424.038.html>.
- [21] 谢丽娟, 刘东红, 张宇环, 等. 近红外光谱技术定量测定杨梅汁可溶性固形物[J]. 光谱学与光谱分析, 2007(7): 1 332-1 335.
- [22] 鲁兴凯, 张秀英, 张丹, 等. 西南冷凉高地‘红富士’苹果不同采收时间和套袋对果实品质的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(2): 196-203.
- [23] 杨绍琼, 陈伟强, 邓成菊, 等. 云南河口地区香蕉黑星病与炭疽病发生规律的再研究[J]. 农业热带科学, 2015, 35(2): 45-50.
- [24] 樊航宏, 薛瑾瑾, 李志英, 等. 水杨酸法测定蔬菜水果中过氧化氢酶活性[J]. 海南师范大学学报, 2016, 29(1): 61-64.
- [25] 贾艳萍, 张鹏, 曹森, 等. 1-MCP 处理对葡萄保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 185-192.
- [26] 朱世江, 马丽艳, 刘少群. 不同套袋对香蕉主要品质和耐久性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 304-307.
- [27] 刘和平, 补建华, 胡桂兵. 套袋对‘双肩玉荷包’荔枝果实品质的影响[J]. 热带农业科学, 2016, 36(5): 7-12.
- [28] XU Fang-xu, LIU Shi-yang, LIU Ye-fei, et al. Effectiveness of lysozyme coatings and 1-MCP treatments on storage and preservation of kiwifruit [J]. Food Chemistry, 2019, 288: 201-207.

(上接第 33 页)

- [6] 刘胜辉, 孙伟生, 陆新华, 等. 6 个菠萝品种成熟果实香气成分分析[J]. 热带作物学报, 2015, 36(6): 1 179-1 185.
- [7] 张钰乾. 菠萝芳香物质组成及影响因子研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013: 11-43.
- [8] 曹明宇, 杨志豪, 罗凌, 等. 基于神经网络的药物实体与关系联合抽取[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(7): 1 432-1 440.
- [9] 胡欣颖, 李洪军, 李少博, 等. 对比研究响应面法和 BP 神经网络一粒子群算法优化调理松板肉加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 179-187.
- [10] 万赐晖, 贾文坤, 王纪华, 等. 基于人工神经网络算法的电子鼻系统在食品无损检测中的应用[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 221-225.
- [11] 石佳超, 罗坤, 樊建人, 等. 基于 CMAQ 与前馈神经网络的区域大气污染物浓度快速响应模型[J]. 环境科学学报, 2018, 38(11): 4 480-4 489.
- [12] 杨志锐, 郑宏, 郭中原, 等. 基于网中网卷积神经网络的红枣缺陷检测[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 140-145, 181.
- [13] 张婷, 梁逸曾, 赵晨曦, 等. 基于分子结构预测气相色谱程序升温保留指数[J]. 分析化学, 2006, 34(11): 1 607-1 610.
- [14] 秦文斌, 冷检, 秦正龙, 等. 金莲花挥发性组分色谱保留值的构效关系研究[J]. 日用化学工业, 2014, 44(12): 680-682.
- [15] 孙运佳, 张荣荣, 施宇靖, 等. 新型苯并噻(噁)唑酮衍生物抑制黄瓜炭疽菌活性的 QSAR 研究[J]. 化学研究与应用, 2016, 28(6): 818-823.
- [16] 许禄, 邵学广. 化学计量学方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 287.
- [17] 冯长君. 物质构效学与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2017: 3.

(上接第 147 页)

- [21] 戈子龙, 张泽金, 周爱梅, 等. 基于高通量测序与培养方法分析新鲜佛手与老香黄中的细菌多样性[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(3): 250-256.
- [22] 翁佩芳, 李微微, 吴祖芳, 等. 水产品鲈鱼 (*Pseudoscophorus japonicus*) 细菌多样性及优势微生物分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 788-795.
- [23] 叶萍萍. 微冻鲮鱼保鲜技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2011: 11-24.
- [24] 郑振霄, 周聃, 冯俊丽, 等. 冷海水保藏下鲈鱼 (*Pseudoscophorus japonicus*) 菌相变化规律及优势腐败菌的分离鉴定[J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 81-86.
- [25] ZHAO Chao-min, YUE Zhen-feng, WU Hui, et al. Determination of the origin of progesterone in butter by gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry (GC/C/IRMS) [J]. Analytical Methods, 2014, 6(17): 6 760.
- [26] 高乾坤, 焦琳舒, 杜贺超, 等. 高通量测序分析不同产地带鱼冷藏时微生物群落多样性[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 127-132.