

基于主成分分析法分析不同包装材料对双孢蘑菇品质的影响

谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 黄忠乾, 谭伟, 甘炳成*
(四川省农业科学院土壤肥料研究所, 四川 成都 610066)

摘要: 采用主成分分析法定量分析5种包装材料处理对双孢蘑菇品质影响, 建立综合评价函数, 筛选最佳包装材料。结果表明, 9个检测指标可简化成2个主成分, 累积方差贡献率达到86.224%, 能够较好地反映原始数据的信息; 不同包装膜处理双孢蘑菇的品质综合得分从高到低为: 低压高密度聚乙烯>高压低密度聚乙烯>聚丙烯>线性低密度聚乙烯>乙烯-乙酸乙烯共聚物>对照。由此可见, 包装袋有利于双孢蘑菇贮藏保鲜, 且低压高密度聚乙烯包装材料的保鲜效果最佳, 为双孢蘑菇的贮藏保鲜提供了科学和直观的依据。

关键词: 双孢蘑菇; 包装膜; 主成分分析; 品质; 评价

Principal Component Analysis to Evaluate the Effect of Different Packaging Films on the Quality of *Agaricus bisporus*

XIE Liyuan, PENG Weihong, TANG Jie, HUANG Zhongqian, TAN Wei, GAN Bingcheng*
(Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: In this paper, the effect of different packaging films on quality of *Agaricus bisporus* were analyzed by principal component analysis (PCA) method, and an assessment model was established to screen the best packaging material. The results showed that 9 traits were consolidated into 2 principal components, which accounted for 86.224% of the total variance. The PCA showed that the order of the quality of *A. bisporus* under different packaging films was HDPE > LDPE > OPP > LLDPE > EVA > control check (CK). Thus, all these packaging films were conducive to mushroom preservation, and HDPE was the best one. These findings can provide scientific and intuitive evidence for quality evaluation.

Key words: *Agaricus bisporus*; packaging film; principal component analysis; quality; evaluation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616047

中图分类号: R284.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)16-0286-06

引文格式:

谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 等. 基于主成分分析法分析不同包装材料对双孢蘑菇品质影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 286-291. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616047. <http://www.spkx.net.cn>

XIE Liyuan, PENG Weihong, TANG Jie, et al. Principal component analysis to evaluate the effect of different packaging films on the quality of *Agaricus bisporus*[J]. Food Science, 2016, 37(16): 286-291. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616047. <http://www.spkx.net.cn>

双孢蘑菇又称白蘑菇, 享有植物肉的美称。它含有人体必需的8种氨基酸, 同时含有较高的磷、锌、铁、铜、硒和多种维生素, 具有降低胆固醇、抗肿瘤、降血压血脂、增强免疫力等作用^[1-6]。双孢蘑菇味道鲜美、营养丰富, 近年需求量大大增加, 同时随着我国双孢蘑菇栽培技术迅速发展, 产量也在稳步增加。但由于双孢蘑菇自身的生理特点, 致使其品质、风味、色泽在短时间内发生骤变, 严重影响其商品价值, 给菇农带来了巨大

的损失。因此加强双孢蘑菇采后贮运保鲜显得迫切与必要。以自主气调为主的保鲜法结合低温贮藏是理想的贮藏食用菌的方法, 它使用塑料薄膜包裹, 通过塑料薄膜的透气性并借助呼吸作用来降低膜内氧气含量, 并通过薄膜交换气体调节氧气与二氧化碳的比例, 是一种简便易行、效果较好的保鲜方法^[7]。

主成分分析法也称主分量分析, 是一种通过降维技术把多个变量化为少数几个主成分(即综合变量)的统

收稿日期: 2016-01-24

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD16B00); 国家现代农业(食用菌)产业技术体系建设专项(CAR-24)

作者简介: 谢丽源(1977—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品加工。E-mail: xieliyuan77@163.com

*通信作者: 甘炳成(1968—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为食用菌贮藏加工。E-mail: bgan918@sohu.com

计方法,它能够客观地确定各个指标的权重,避免了主观随意性,有一定的优越性^[8-16],目前,主成分分析在食品中已被广泛应用^[17-20]。

本实验采用5种气密性、透明度、阻隔性不同的保鲜膜对双孢蘑菇品质影响进行量化,通过对影响双孢蘑菇的品质和生理指标进行主成分分析,建立综合评价函数,以期筛选最佳保鲜包装膜材料,为延长双孢蘑菇货架期起到一定的指导作用。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

供试材料为人工栽培的新鲜双孢蘑菇,采自成都金堂。采摘标准为7~8成熟度,挑选菇体完整、色泽洁白、表面光洁、未开伞、无病虫害、无机械损伤、大小一致的子实体,采后立即运送至四川省农业科学院微生物研究中心。

5种保鲜膜制成的保鲜袋分别为:聚丙烯(oriented polypropylene film, OPP),厚度0.03 mm, O_2 渗透系数2.5 mL/($m^2 \cdot d \cdot Pa$),透湿率6.2 g/($m^2 \cdot d$);乙烯-乙酸乙烯共聚物(ethylene vinyl acetate, EVA),厚度0.03 mm, O_2 渗透系数43 mL/($m^2 \cdot d \cdot Pa$),透湿率3.3 g/($m^2 \cdot d$);高压低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE),厚度0.03 mm, O_2 渗透系数4.3 mL/($m^2 \cdot d \cdot Pa$),透湿率8.2 g/($m^2 \cdot d$);低压高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE),厚度0.03 mm, O_2 渗透系数0.83 mL/($m^2 \cdot d \cdot Pa$),透湿率10.3 g/($m^2 \cdot d$);线性低密度聚乙烯(linear low density polyethylene, LLDPE),厚度0.05 mm, O_2 渗透系数23 mL/($m^2 \cdot d \cdot Pa$),透湿率3.3 g/($m^2 \cdot d$)。各保鲜袋均购自成都包装材料中心,规格为300 mm×300 mm。

葡萄糖、浓硫酸、考马斯亮蓝G-250、牛血清蛋白、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、氮蓝四唑、聚乙烯吡咯烷酮、核黄素、邻苯二胺、甲硫氨酸、邻苯二酚(均为分析纯) 成都市长征化玻有限公司。

1.2 仪器与设备

UV1240紫外分光光度计 日本岛津仪器公司; GLI66-II高速离心机 上海安亭科学仪器厂; HH.S11-Ni6-列六孔恒温水浴锅 北京长安科学仪器厂; ALC-Z10.3电子天平 北京赛多利斯天平有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

每个处理组选取50 g双孢蘑菇放入5种包装中,每个处理组3包,每种包装15包,所有包装共计75包,包装后,扎紧袋口,放入温度4℃、相对湿度85%的贮藏环境中。取样时每次取3包,作为3个重复,共测定

10 d,每2 d测定一次。设置不包装对照(CK)、OPP、EVA、LLDPE、LDPE、HDPE 6个处理,定期测定各种品质和生理指标。测定指标包括VC含量、总糖含量、可溶性蛋白含量、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量、多酚氧化酶(polyphenol, PPO)活性、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、过氧化氢酶(catalase, CAT)活性、质量损失率。

1.3.2 总糖含量的测定

采用苯酚-硫酸法^[21],以标准葡萄糖制作标准曲线($y=0.0086x+0.0089$, $R^2=0.9952$)。称取1.0 g双孢蘑菇样品组织置于研钵中,液氮研磨均匀,加少量蒸馏水研磨匀浆,转入20 mL具塞试管中,加入5~10 mL蒸馏水,薄膜封口,沸水中煮沸提取30 min,冷却、过滤,将残渣回收至试管中,加入10 mL蒸馏水,重复沸水浴提取10 min,冷却、过滤、洗涤,将2次滤液收集于100 mL容量瓶中并定容至刻度。吸取10 mL提取液于100 mL容量瓶中并定容至刻度。取1.0 mL稀释液于具塞刻度试管中,加入1.0 mL蒸馏水,1.0 mL 0.09 g/mL苯酚溶液,摇匀,再加入5.0 mL的浓硫酸,充分振荡后在室温条件下反应30 min,在波长490 nm处比色测定其吸光度,通过标准曲线测定样品中的总糖含量。

1.3.3 可溶性蛋白含量的测定

考马斯亮蓝G-250法测定^[22],以标准牛血清蛋白溶液制作标准曲线($y=0.0039x+0.9581$, $R^2=0.9999$)。称取1.0 g双孢蘑菇样品组织,加5 mL蒸馏水研磨成浆,于4℃、12 000×g离心20 min,吸取提取液1.0 mL与25 mL容量瓶中并用蒸馏水定容至刻度,取1.0 mL稀释液放入具塞刻度试管中,加入5 mL考马斯亮蓝G-250蛋白试剂,充分混合,放置2 min后在波长595 nm处比色测定其吸光度,并通过标准曲线计算待测样品中可溶性蛋白的含量。

1.3.4 VC含量的测定

紫外快速测定法^[23],以VC作标准曲线($y=0.0451x+0.0035$, $R^2=0.9998$)。称取剪碎混匀的双孢菇5.0 g,加入5 mL 1%盐酸匀浆,转移至25 mL容量瓶中,稀释定容。离心(10 000 r/min)10 min后,取0.2 mL上清液,加入装有0.2 mL 10%盐酸的10 mL容量瓶中,定容后以蒸馏水为空白,在243 nm波长处用紫外分光光度计测定吸光度,根据标准曲线,计算VC含量。

1.3.5 MDA含量的测定

采用硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)比色法^[22]。取样1 g,加入2 mL 10 g/100 mL三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA),研磨后转移至离心管,再加入8 mL TCA洗涤研钵一并转移至离心管。匀浆离心后取上清液2 mL(参比用10 g/100 mL TCA代替),加

入2 mL 6 mg/mL TBA溶液, 混匀于沸水浴反应15 min, 迅速冷却后再离心, 分别取上清液测定 $A_{450\text{nm}}$ 、 $A_{532\text{nm}}$ 和 $A_{600\text{nm}}$ 值。按式(1)计算MDA含量:

$$\text{MDA含量}/(\text{nmol/g}) = \frac{6.45 \times (A_{532\text{nm}} - A_{600\text{nm}}) - 0.56 \times A_{450\text{nm}}}{V \times V_s \times M} \quad (1)$$

式中: V 为提取液体积/mL; M 为杏鲍菇组织鲜质量/g; V_s 为测定时取样品提取液体积/mL。

1.3.6 SOD活性测定

氮蓝四唑(nitro-blue tetrazolium, NBT)法^[24-25]。称取剪碎混匀的菇肉1.0 g, 加入1 mL预冷的0.05 mol/L pH 7.8磷酸缓冲液(内含1%聚乙烯吡咯烷酮), 在冰浴上研磨成匀浆, 加缓冲液使终体积为5 mL后, 于4 °C 10 000 r/min低温离心15 min, 上清液即为SOD粗提液。取0.05 mL提取液, 分别加入1.5 mL 0.05 mol/L pH 7.8磷酸缓冲液、0.3 mL 130 mmol/L甲硫氨酸溶液、0.3 mL 750 μmol/L NBT溶液、0.3 mL 100 μmol/L EDTA-Na₂溶液、0.3 mL 20 μmol/L核黄素溶液及0.25 mL蒸馏水, 2支对照以缓冲液代替酶液, 混匀后1支对照管置暗处, 其他各管于4 000 lx日光下反应20 min, 置暗处终止反应。反应结束后, 以不照光的对照管作空白, 分别在560 nm波长条件下测定其他各管的吸光度, 按式(2)计算SOD活性。以每分钟抑制NBT光化还原的50%为1个酶活力单位(U), 结果以U/g表示。

$$\text{SOD活性}/(\text{U/g}) = \frac{(A_0 - A_E) \times V}{0.5 \times A_0 \times V_s \times M \times t} \quad (2)$$

式中: A_0 为光照对照管的吸光度; A_E 为样品管的吸光度; V 为样品提取液总体积/mL; V_s 为测定时样品用量/mL; M 为样品鲜质量/g; t 为光照时间/min。

1.3.7 POD活性测定

采用愈创木酚法^[22], 取双孢蘑菇2.0 g, 加入4倍体的0.05 mol/L pH 7.0磷酸缓冲液(含1%聚乙烯吡咯烷酮), 冰浴研磨10 min后, 于4 °C条件下12 000×g离心, 上清液即为粗酶液。取pH 7.0的PBS溶液2.5 mL、1%邻苯二胺-无水乙醇溶液0.20 mL、0.3% H₂O₂溶液0.1 mL, 加入0.20 mL酶液, 在470 nm波长处测定吸光度, 每30 s测定一次, 共测3 min。以反应体系每克样品每分钟吸光度变化0.01为1个酶活力单位(U), 结果以U/g表示。

1.3.8 PPO活性测定

取0.2%的邻苯二酚溶液2.1 mL, 加0.8 mL的0.1 mol/L pH 7.0磷酸缓冲液, 再加入0.1 mL的粗酶液, 在420 nm波长处测定吸光度, 每10 s记录1次, 共记录3 min, 以初始直线段的斜率计算酶活力^[22]。以反应体系每克样品每分钟吸光度变化0.001为1个酶活力单位(U), 结果以U/g表示。

1.3.9 CAT活性测定

取2.0 g双孢菇样品, 在冰浴条件下用2.0 mL 0.1 mol/L pH 7.5 PBS溶液研磨, 匀浆后转入离心管中, 用该缓冲

液3 mL洗涤研钵一并转移至离心管内, 于4 °C条件下12 000×g离心, 上清液为粗酶液。取0.2 mL上清液, 加入1.5 mL 0.05 mol/L pH 7.0磷酸缓冲液和0.3 mL 0.3% H₂O₂溶液, 加入后立即计时, 并在240 nm波长处测吸光度^[22]。以反应体系每克样品每分钟吸光度变化0.001为1个酶活力单位(U), 结果以U/g表示。

1.3.10 质量损失率测定

采用称量法称每组平行样品, 分别记录贮藏前菇体质量和不同贮藏期菇体的质量。按式(3)计算质量损失率:

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \quad (3)$$

式中: m_1 为同贮藏期菇体取样时质量/g; m 为贮藏前菇体样品初始质量/g。

1.3.11 综合评价函数的建立

用主成分分析法对不同包装膜处理的双孢蘑菇品质进行综合评价, 计算主成分得分及综合得分, 建立评价函数方程:

$$F = \frac{74.479\% \times F_1 + 11.745\% \times F_2}{86.224\%} \quad (4)$$

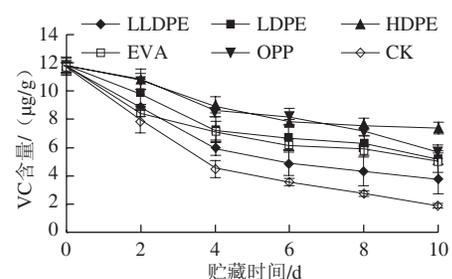
式中: F_1 为第1主成分得分; F_2 为第2主成分得分; F 为总因子综合得分, F 值越高表明品质越好。

1.4 数据统计

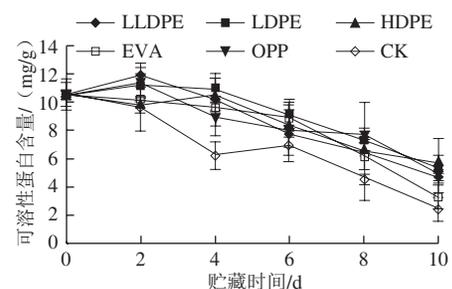
数据采用SPSS 17.0软件进行主成分分析, 计算相关系数矩阵, 主成分特征值、累积贡献率及主成分综合得分等。

2 结果与分析

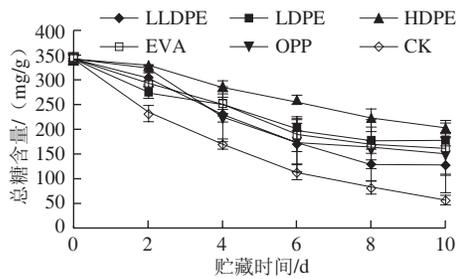
2.1 不同保鲜膜包装对双孢蘑菇理化指标影响



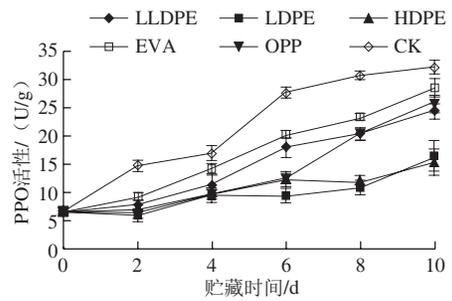
a. VC含量



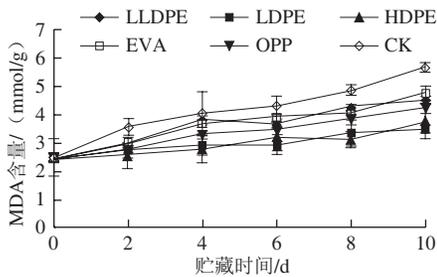
b.可溶性蛋白含量



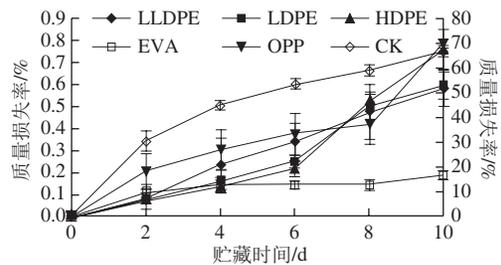
c. 总糖含量



h. PPO活性



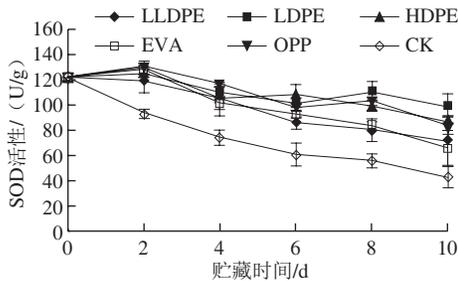
d. MDA含量



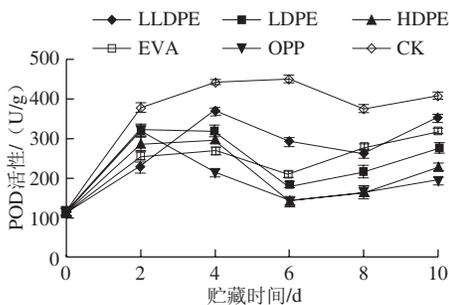
i. 质量损失率 (EVA包装和CK结果参照右轴)

图1 不同保鲜膜包装对双孢蘑菇各指标的影响

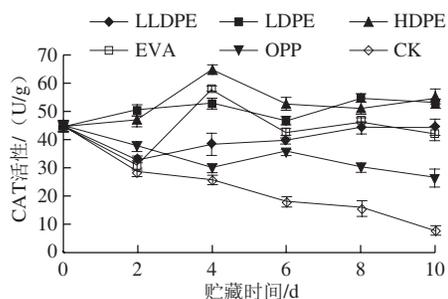
Fig. 1 Effects of different packaging materials on physicochemical traits of *Agaricus bisporus*



e. SOD活性



f. POD活性



g. CAT活性

由图1可知, 4 °C贮藏条件下, 和CK相比, 各种保鲜膜不同程度地保持了双孢蘑菇品质, 抑制了双孢蘑菇贮藏期间的PPO活性、POD活性、质量损失率和MDA含量上升趋势, 延缓了可溶性蛋白、VC和可溶性总糖含量下降, 同时保持较高的SOD活性、CAT活性。

在贮藏期间HDPE包装膜处理一直保持双孢蘑菇较高的VC含量, 贮藏10 d, 其VC含量显著 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$) 高于其他包装材料 (图1a); HDPE、LDPE、LLDPE、OPP包装膜处理可溶性蛋白含量较高 ($P < 0.05$) (图1b); HDPE包装膜处理总糖含量显著 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$) 优于其余包装 (图1c); LDPE和HDPE包装膜处理MDA含量显著 ($P < 0.05$) 较低 (图1d); LDPE、HDPE、OPP包装膜处理SOD活性较高 ($P < 0.05$) (图1e); OPP、HDPE、LDPE膜包装POD活性低于其他包装膜 ($P < 0.05$) (图1f); HDPE和LDPE包装膜处理CAT活性显著 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$) 高于其他包装材料 (图1g); LDPE和HDPE膜包装有助于保持PPO的低活性, 从而减弱由PPO引起的组织褐变 (图1h); 薄膜包装具有较好的保湿作用, 可以有效抑制双孢蘑菇的采后失水, 而在薄膜包装中, 其保湿效果LLDPE、LDPE、HDPE、OPP较好, 质量损失率显著低于EVA ($P < 0.05$) (图1i)。

2.2 双孢蘑菇品质主成分分析及综合评价

2.2.1 不同膜处理双孢蘑菇品质变化的主成分分析

本实验通过SPSS 17.0对5个包装膜的9个品质指标

进行主成分分析,分析得到各主成分的特征值、方差贡献率、累积方差贡献率(表1)。从表1可知,特征值大于1的共2个主成分,总方差86.224%的贡献率来自前2个主成分,其方差贡献率依次为74.479%和11.745%,说明2个主成分反映了原始变量的绝大部分信息。因此,双孢蘑菇品质指标由初始的9个降到2个不相关的主成分,成功达到了降维目的。

表1 主成分方差分析

Table 1 Analysis of variance for PCA

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	6.703	74.479	74.479	6.703	74.479	74.479
2	1.057	11.745	86.224	1.057	11.745	86.224
3	0.632	7.021	93.244			
4	0.261	2.905	96.150			
5	0.133	1.476	97.626			
6	0.106	1.181	98.807			
7	0.045	0.502	99.309			
8	0.034	0.383	99.692			
9	0.028	0.308	100.000			

表2 成分载荷矩阵

Table 2 Loading matrix for PCA

指标	成分	
	1	2
可溶性蛋白含量	0.921	0.168
总糖含量	0.965	0.011
MDA含量	-0.969	0.116
VC含量	0.951	-0.038
SOD活性	0.962	-0.110
POD活性	-0.584	0.505
PPO活性	-0.958	0.083
CAT活性	0.458	-0.743
质量损失率	-0.631	0.688

由表2可知,可溶性蛋白、总糖、MDA、VC含量和SOD、PPO、POD活性在第1主成分上有较高载荷,说明第1主成分主要反映了这7个成分指标的信息,其中,可溶性蛋白含量、总糖含量、VC含量、SOD活性在正坐标处具有较高载荷,MDA含量、PPO活性、POD活性在负坐标处载荷较高;CAT活性、质量损失率在第2主成分有较高载荷,说明第2主成分主要反映了这2个成分指标的信息,其中质量损失率在正坐标处具有较高载荷,CAT在负坐标处有较高载荷。而在主成分矩阵中,检测值绝对值反映了对主成分贡献率的大小,绝对值越大,则贡献率也越大。比较第1主成分中贡献率大小为MDA含量>总糖含量>SOD活性>PPO活性>VC含量>可溶性蛋白含量>POD活性;而第2主成分中贡献率比较结果为CAT活性>质量损失率。

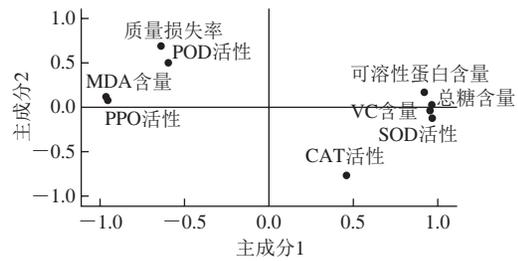


图2 9个品质指标的主成分散点图

Fig. 2 PCA scatter plot of 9 quality indexes

图2更加直观地显示了各主成分主要提取的信息和各指标之间的相关性,不同变量在散点图中的分布位置取决于其在各主成分中的载荷系数。距离垂直象限分界线越远的指标对第1主成分贡献越大,距离水平象限分界线越远的指标对第2主成分贡献越大。由图2可知,可溶性蛋白含量、总糖含量、VC含量、SOD活性位于垂直象限分界线右侧,而MDA含量、PPO活性、POD活性位于垂直象限分界线左侧,且距离垂直象限分界线较远。质量损失率、CAT活性距离水平象限分界线较远,且分别位于水平象限分界线的上侧和下侧。

2.2.2 双孢蘑菇品质的综合评价

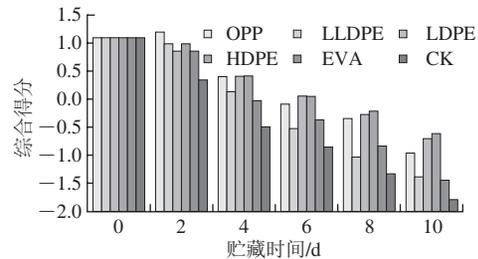


图3 不同包装膜处理对双孢蘑菇综合品质的影响

Fig. 3 Effect of different packaging films on comprehensive quality of *Agaricus bisporus*

由图3可知,在双孢蘑菇贮藏的每个阶段,包装膜处理综合得分均高于CK,说明膜包装有利于保持双孢蘑菇品质;随着贮藏时间延长,不同包装膜处理的双孢蘑菇综合得分均呈下降趋势,且在贮藏10 d,HDPE得分最高,其次为LDPE,随后依次为OPP、LLDPE、EVA。

3 结论

本研究通过测定不同包装膜双孢蘑菇的可溶性蛋白含量、多糖含量、VC含量、MDA含量、PPO活性、POD活性、CAT活性、SOD活性、质量损失率9个品质和生理指标,利用主成分分析法,建立综合评价函数,得到每个处理的最终综合得分,并以此筛选最佳包装膜。结果表明,通过主成分分析有效地提取了前2个主成分,

累积方差贡献率达到86.224%，能够代表原来9个品质指标的绝大部分信息；其中，第1主成分方差贡献率为74.479%，反映了可溶性蛋白含量、总糖含量、MDA含量、VC含量、SOD活性、PPO活性、POD活性7个成分指标的信息，第2主成分方差贡献率为11.745%，反映了CAT活性、质量损失率2个成分指标的信息。通过载荷绝对值大小进行分析，绝对值越大对成分贡献率越大，由此得到第1主成分中贡献率大小MDA含量>总糖含量>SOD活性>PPO活性>VC含量>可溶性蛋白含量>POD活性，第2主成分中贡献率大小CAT活性>质量损失率。

用2个主成分对不同包装保鲜膜处理的双孢蘑菇品质进行综合评价，计算主成分得分及综合得分，建立了综合评价函数，根据评价模型得到5种包装膜处理双孢蘑菇的综合品质得分从高到低的最终排列顺序为HDPE>LDPE>OPP>LLDPE>EVA>CK，较好地延缓了贮藏期间双孢蘑菇的品质劣变。由此可见，保鲜包装膜处理有利于双孢蘑菇贮藏保鲜，HDPE包装材料处理双孢蘑菇品质最佳。

参考文献：

- [1] 陈丽娟, 王赵改, 杨慧, 等. 真空与乳酸钙处理对双孢蘑菇采后贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2818-2826. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.14.013.
- [2] 杨文建, 单楠, 杨芹, 等. 纳米包装材料延长双孢蘑菇贮藏品质的作用[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 5065-5072. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.24.012.
- [3] 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 362-366. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2010.05.062.
- [4] 李南羿, 金群力, 刘春滢, 等. 双孢蘑菇储藏中的褐变及相关酶活性研究[J]. 食用菌学报, 2009, 16(3): 53-56. DOI:10.3969/j.issn.1005-9873.2009.03.013.
- [5] VALERIE C B, DAVID B. Effects of gas atmosphere and temperature on the respiration rates of whole and sliced mushrooms (*Agaricus bisporus*): implications for film permeability in modified atmosphere packages[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(4): 197-204. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00321.x.
- [6] MELGAR M J, ALONSO J, GARCÍA M A. Total contents of arsenic and associated health risks in edible mushrooms, mushroom supplements and growth substrates from Galicia (NW Spain)[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 73: 44-50. DOI:10.1007/S12011-014-0213-3.
- [7] 王士奎, 李文香, 王丽娇, 等. 不同温度对PE包装平菇保鲜效果的比较[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(5): 5-8; 12. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2012.05.002.
- [8] 鲍江峰, 夏仁学, 邓秀新, 等. 用主成分分析法选择组荷尔脐橙品质的评价因素[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(6): 663-666. DOI:10.3321/j.issn.1000-2421.2004.06.017.
- [9] CHAÏB J, DEVAUX M F, GROTTÉ M G, et al. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(8): 1915-1925. DOI:10.1093/jxb/erm046.
- [10] 陶爱芬, 祁建民, 林培青, 等. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2859-2867. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2008.09.039.
- [11] GHOSH D, CHATTOPADHYAY P. Application of principal component analysis (PCA) as a sensory assessment tool for fermented food products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(3): 328-334. DOI:10.1007/s13197-011-0280-9.
- [12] 王晖, 陈丽, 陈晔, 等. 多指标综合评价方法及权重系数的选择[J]. 广东药学院学报, 2007, 23(5): 583-589. DOI:10.3969/j.issn.1006-8783.2007.05.034.
- [13] 姜晓青, 宋江峰, 李大婧, 等. 主成分分析法综合评价速冻菜用大豆籽粒的品质[J]. 现代食品科技, 2013, 29(8): 2020-2024. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201513003.
- [14] REID M K, SPENCER K L. Use of principal components analysis (PCA) on estuarine sediment datasets: the effect of data pre-treatment[J]. Environmental Pollution, 2009, 157(8): 2275-2281. DOI:10.1016/j.envpol.2009.03.033.
- [15] ITO H, KONO T. Quantitative analysis of organic additive content in a polymer by ToF-SIMS with PCA[J]. Applied Surface Science, 2008, 255(4): 1044-1047. DOI:10.1016/j.apsusc.2008.05.080.
- [16] POLAT K, GUNES S. Automatic determination of diseases related to lymph system from lymphography data using principles component analysis (PCA), fuzzy weighting pre-processing and ANFIS[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 33(3): 636-641. DOI:10.1016/j.eswa.2006.06.004.
- [17] DESTEFANIS G, BARGE M T, BRUGIAPAGLIA A, et al. The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef[J]. Meat Science, 2000, 56(3): 255-259. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00050-4.
- [18] CAÑEQUE V, PÉREZ C, VELASCO S, et al. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis[J]. Meat Science, 2004, 67(4): 595-605. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.01.002.
- [19] VAINIONPÄÄ J, SMOLANDER M, ALAKOMI H L, et al. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(2): 273-280. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.01.025.
- [20] VANESA G C, NOELIA R C, MARIA E L, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of e-beam irradiation on ready-to-eat food[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(3): 456-464. DOI:10.1016/j.jfca.2010.11.010.
- [21] 杨梅, 王丽雅, 庄跃飞, 等. 杏鲍菇多糖的提取及其分离的研究[J]. 中国食用菌, 2006, 24(4): 38-39. DOI:10.3969/j.issn.1002-2481.2014.05.31.
- [22] 田平平, 王杰, 秦晓艺, 等. 采后处理对杏鲍菇贮藏品质及抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 941-951. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.05.12.
- [23] 唐敏, 赵健茗, 张玉, 等. 三种水果中维生素C含量的HPLC法测定与比较[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(4): 53-55. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2014.04-014.
- [24] 李志刚, 宋婷, 冯翠萍, 等. 不同温度对杏鲍菇减压贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 332-338. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2015.03.045.
- [25] 庄荣福, 李金雨, 林光荣, 等. 金针菇的贮藏保鲜技术及其生理生化基础[J]. 福建农业大学学报, 2000, 29(3): 319-322. DOI:10.3321/j.issn.1671-5470.2000.03.012.