纳米复合包装材料包装的草菇的商业贮藏质量及风味评价

关键词：纳米复合包装 贮存 草菇 保存 风味

摘要：这项研究旨在证明基于纳米复合材料的包装（NP）处理草菇（Volvariella volvacea）的有效性。在不掺入纳米颗粒的情况下，用传统的聚乙烯包装（CP）材料包装草菇作对照。研究了草菇的呼吸速率，总可溶性固形物（TSS），硬度，颜色，活性氧（ROS）和风味特性。结果表明，NP处理可显着草菇的褐变，软化和呼吸速率。同时，NP处理保留了相对较高的TSS含量以及挥发性和非挥发性风味化合物，从而表明了草菇的外观和品质得到了扩展。此外，与对照组相比，NP显着减缓了ROS的变化，包括超氧阴离子（O2-•）和过氧化氢（H2O2）以及丙二醛（MDA）（P <0.05）。这些发现表明，NP可潜在地用于改善收获后的贮藏性并延长草菇的贮存货架寿命。

1. 前言

草菇（Volvariella volvacea）在亚洲大部分地区，尤其是中国广泛种植。其独特的风味，高营养价值和药用特性导致其需求量很高（Liu，Zhang，Lin和Guo，2011； Mau，Chyau，Li和Tseng，1997）。像其他商用蘑菇一样，由于其子实体的高水分含量而没有表皮的存在，可能遭受水分流失，褐变，物理破坏和微生物入侵，从而导致其在储存，运输和保质期内极易腐烂（Aguirre ，Frias，Barry-Ryan和Grogan，2008年）。结果，收获后质量恶化严重降低了草菇的价值并限制了其工业应用。因此，迫切需要找到一种有效的技术来保存。

草菇是典型的热带食用菌，对低温敏感，导致收获后的保质期非常短（Jamjumroon等人，2012）。因此，诸如冷藏和气调包装（MAP）之类的常规方法不适用于草菇的保存。 Li，Kimatu，Li等（2017）和李陈翠等（2017）通过使用10分钟超声处理和95％相对湿度（RH）储存，开发了一种新的组合方法，从而将草菇的采后质量从24小时或48小时延长至72小时。Dhalsamant，Dash，Bal和Panda（2015）修改了MAP方法，并证明了穿孔介导的包装方法可以延长草菇的货架期。在新鲜水果保鲜中也发现了类似的结果，即适当的打孔方法可以减慢子实体的生理活动并提高其贮藏稳定性（Cliff，Toivonen，Forney，Liu和Lu，2010； Kartal，Aday和Caner，2012）。

纳米相材料中的颗粒具有纳米尺寸和高纵横比。结果，它们表现出强大的吸附和氧化能力（Hu，Fang，Yang，Ma和Zhao，2011）。另一方面，纳米相颗粒与基质容易形成复杂的网络状结构并限制分子运动（Voon，Bhat，Easa，Liong和Karim，2012年）。因此，纳米相材料不仅具有出色的机械和阻隔性能，而且还具有抗菌性能，呼吸抑制作用和清除自由基的能力，可用于食品工业（Bumbudsanpharoke＆Ko，2015； He＆Hwang，2016）。在我们先前的研究中，开发了一种新型的填充有纳米银，纳米二氧化钛和纳米二氧化硅的基于聚乙烯（PE）的包装材料，并将其应用于新鲜蘑菇（Flammulina velutipes）的保存。（Fang，Yang，Kimatu，Mariga等，2016）。结果表明，用纳米包装的金针菇

与传统的PE包装（CP）材料相比，复合材料包装（NP）材料在4℃储存21天后仍保持最佳的外部和内部质量，并保持较高的营养水平。 但是，NP处理对草菇采后质量控制的影响及其可能的机制仍然未知。

因此，据推测，NP处理可以抑制褐变，呼吸速率和活性氧（ROS）的积累，保持其质地和风味特征，并延长草菇的保质期。这项研究的目的是：1）评估NP在贮藏过程中对V. volvacea的理化特性和风味变化的影响； 2）分析ROS代谢，为以后的研究提供见识。

1. 材料和方法

2.1包装材料的准备

NP膜材料是通过将三种基本纳米粉体，纳米银，纳米二氧化钛和纳米二氧化硅与聚乙烯（PE）基质结合在一起而制得的（参考我们的先前研究）（Fang，Yang，Kimatu，Mariga等，2016）。制备的膜的详细配方示于Suppl。图S1。使用微电脑控制的高速制袋机（SDD-A500 / 1200，山东招远包装机械有限公司）将40μm厚的薄膜加工成25×25 cm2的袋。常规的PE包装（CP）材料是使用不含任何纳米粉的PE基质制成的。在供应中提供了两个膜的物理性质。表S1。为了获得一致的穿孔，用打孔器在袋子的每一侧制作了两个穿孔。两个穿孔之间的距离为8毫米。根据我们的初步实验，每个穿孔的直径为6毫米（数据未显示）。

2.2 蘑菇及贮藏条件

草菇菌株V-93购自一家商业蘑菇公司（江苏江南生物技术有限公司，中国）。新鲜的草菇在很短的时间内从物流中心运到实验室。根据新鲜蘑菇的颜色，形状，子实体的发育阶段以及没有机械损伤和腐烂选择新鲜蘑菇进行实验。在15±1°C和85±5％相对湿度（RH）下平衡1小时后，将选定的草菇随机分配并包装在NP和CP中（18袋，135 g /袋），并将包装密封带有热合机（SF-200，中国江苏云雾港微波电器厂）。装有NP和CP的草菇在15±1°C和85±5％RH下保存6天。

2.3 颜色变化测量

蘑菇的颜色变化是使用Hunter的色度计（日本大阪市美能达Minolta CR-200）进行测量的。将蘑菇样品沿中心轴切成两半，并在横截面的中间进行测量。样品的白度表示为L值。每天对每种处理进行九次测量。

2.4 硬度和总可溶性固形物（TSS）测定

用质地分析仪（TA-XT Plus，Stable Micro Systems Co.，英格兰）使用直径5mm的圆柱探针分析蘑菇样品的硬度。样品穿透到5毫米的深度。对于测试前，测试和测试后的速度，实验参数分别为1.5 mms-1、1.5 mms-1和10.0 mms-1。硬度表示为力对时间曲线中的最大力（以克为单位）。每种处理进行了九次测量。

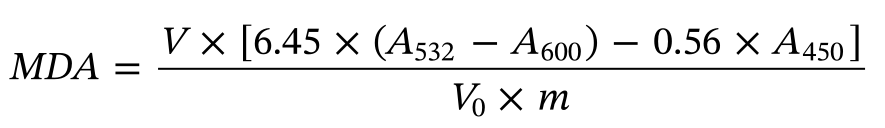
为了进行TSS测量，将蘑菇样品研磨并用研钵挤压。使用折光计（TZ-62，光学仪器厂有限公司，中国广州）在25°C下测量提取汁中的TSS含量

2.5 呼吸速率测量

从每种处理中选择三个蘑菇并将其分别放入250 mL锥形瓶中。然后将其密封1小时，以使用气体分析仪（SCY-2A，上海新瑞仪器有限公司）分析内部的O2和CO2浓度。呼吸速率表示为二氧化碳产生量，单位为mg CO2 / kg / h。

2.6 超氧阴离子（O2-•）生成速率，过氧化氢（H2O2）和丙二醛（MDA）含量测量

使用以下方法确定O2-生成速率和H2O2含量，A052抑制和生产的超氧阴离子测定试剂盒和A064过氧化氢检测试剂盒（南京建城生物工程公司）研究所，江苏，中国）。

MDA含量是根据Hu等人的方法测量的。 （2015），并作了一些细微修改。将来自每次处理的一份V. volvace样品（1 g）均质化，并在8 mL的10％三氯乙酸中萃取。然后，将混合物以5000×g离心20分钟。加入两毫升蘑菇提取物，加入等量（2 mL）的0.67％硫代巴比妥酸。然后将混合物在沸水中孵育15分钟，然后立即在冰水中冷却。使用分光光度计（JH-722，上海京华技术仪器有限公司）分别在450nm，532nm和600nm下测量水相。通过以下公式计算MDA含量：

其中V是蘑菇提取物的总体积（mL）; V0是分析中使用的萃取水相的体积，m是蘑菇样品的质量（g）。

2.7 显微组织观察

为了在15℃下保存六天后观察到草菇细胞的结构，采用了透射电子显微镜（TEM）。将蘑菇段浸入含有0.1 mol / L磷酸盐缓冲液（PBS，pH 7.4）的2.5％戊二醛中，在4°C下过夜，然后用1％四氧化固定2–3小时。用PBS冲洗后，将样品浸入50％至100％乙醇和环氧丙烷的10％梯度系列中，并逐渐脱水。将样品植入Quetol-651树脂中。使用切片机将块切成超薄切片，并用饱和乙酸铀酰和柠檬酸铅对切片染色（Suzuki，Kimura，Takahashi和Terai，2005年）。然后在透射电子显微镜（H-7650，Hitachi High Technologies Co.，Tokyo，Japan）下在80kV的加速电压下观察到草菇中组织的超微结构。

2.8 挥发性风味物质的测定

通过将顶空固相微萃取（HS-SPME）与气相色谱-质谱联用（GC-MS）相结合来分析芦苇中的挥发性化合物（Li，Kimatu，Li et al。，2017; Li，Chen，Cui等人，2017）。选择两克蘑菇样品并转移到顶空固相瓶中，然后立即使用蓝色PTFE /白色有机硅隔垫（Supelco，Bellefonte，PA，美国）进行密封。为了提取和获得挥发性化合物，需要使用30μm的二乙烯基苯/羧基/聚二甲基硅氧烷（DVB / CAR / PDMS）纤维F。Donglu等。在分析之前，将HS-SPME纤维在250°C下预处理60分钟以去除杂质。然后将纤维插入样品瓶中，并在60°C的顶部空间暴露40分钟，以收集挥发性化合物。光纤尖端与样品顶部之间的距离保持在1-2 cm。吸附后，将纤维插入GC-MS设备的进样口以分析挥发性化合物。

2.9非挥发性风味化合物的测量

2.9.1有机酸测定

参照Li等人的方法提取有机酸。 （2014）进行了一些修改。称取2克蘑菇样品并与10 mL 0.01 mol / L KH2PO4（pH 2.86）溶液混合。然后，将混合物充分研磨，并使用超声提取装置（KQ-250DB，江苏，中国）在45°C下提取30分钟，并在5000×g下离心15分钟。通过0.45μm微孔滤膜过滤后，收集上清液用于进一步分析。使用Zorbax Eclipse XDB C18色谱柱（250×4.6 mm，5μm，Agilent），采用Agilent 1200 HPLC系统（Agilent Technologies，美国加利福尼亚州帕洛阿尔托）。将22微升过滤后的样品注入HPLC。将KH2PO4（0.01 mol / L，pH 2.86）/甲醇（95/5，v / v）用作流动相，流速为0.5 mL / min。 UV检测器的波长为210nm。使用真实的标准品（源野生物技术有限公司，中国上海）鉴定每种有机酸。通过使用基于外标的校准曲线来定量有机酸的含量。

2.9.2可溶性糖测定

提取可溶性糖并参照Tsai，Tsai和Mau（2008）的方法进行测试。使用50 mL的80％乙醇水溶液提取6克蘑菇样品，然后搅拌40分钟。在5000×g下离心15分钟并进行三次萃取过程后，获得了残留物质。收集上清液并通过旋转蒸发仪（EYELA OIL BATH OSB-2000，中国上海）浓缩。使用75％的乙腈溶液将浓缩的溶液重新溶解至十毫升的最终体积。通过0.45μm微滤膜过滤后，分析每个提取物样品。使用参考化合物（中国上海圆野生物技术有限公司）和校准曲线进行确认和定量。

基于装载有Alltech 3300蒸发光散射检测器（ELSD，Alltech Associates Inc.，Deerfield，IL，USA）的Agilent 1200 HPLC系统（Agilent Technologies，Palo Alto，CA，USA）分析了香豆腐菌的可溶性糖和多元醇）。使用Sugar-D色谱柱（4.6 mm×250 mm，5μm; Nacalai Tesque Inc.，日本京都）。混合的去离子水和LC级乙腈溶液（25:75，v / v）以0.8 mL / min的流速用作流动相。进样22微升样品，ELSD的工作条件为55°C，氮气为载气。

2.9.3 5′-核苷酸测定

5 Li-核苷酸的含量根据Li等人的测试。 （2018）。 草菇样品与20 mL蒸馏水混合并研磨。然后，将提取物煮沸1分钟。冷却后，将样品以5000×g离心15分钟。按照相同步骤将残留物再萃取三次。然后收集上清液，浓缩并用蒸馏水重新溶解至最终体积为十毫升。用0.45μm微孔滤膜过滤后，通过HPLC测试滤液。

用于测试5′-核苷酸的Agilent 1200 HPLC分析系统的设置和操作与有机酸分析的步骤相同。基于Zorbax Eclipse XDB C18色谱柱（250×4.6 mm），将蒸馏水/甲醇/乙酸/氢氧化四丁铵（89.35 / 10 / 0.6 / 0.05，％）溶液作为流动相处理，流速为0.6 mL / min。 ，5μm，安捷伦）。将22微升样品注入HPLC，并通过内标5′-核苷酸（源野生物技术有限公司，中国上海）进行鉴定。

2.9.4 游离氨基酸测定

据Fang，Yang，Kimatu等人的方法，使用三氯乙酸（TCA）方法提取食草葡萄球菌的游离氨基酸。 （2017）和Fang，Yang，Deng等。 （2017）。然后，通过自动氨基酸分析仪（L 8800，Hitachi Ltd.，Japan）分析提取的不同处理溶液。

2.10。统计分析

本研究中的所有统计分析均使用SPSS 20.0（SPSS Inc.）进行。数据表示为平均值±标准偏差（SD）。均值之间的显着差异是通过单因素方差分析（ANOVA）和Duncan的多重比较检验确定的，其置信度为P <0.05。

1. 结果

3.1感官和微观结构评估

储存在CP中的蘑菇在储存结束时表现出严重的内部和外部褐变。还观察到，NP内表面发生的水蒸气凝结较少，这可能是由于抑制了蘑菇变质和呼吸减弱（图1）。因此，从整体外观上可以证明，NP处理可以减慢呼吸，减少褐变并减少潜在的微生物问题。

透射电子显微照片表明，两种处理之间的蘑菇细胞的微观结构在储存六天后彼此之间显着不同。与CP处理相比，NP填充样品中的蘑菇细胞更加圆润和整合（图1）。此外，CP包装的弗氏螺旋藻的细胞壁在储存后变薄，并且细胞膜破裂更严重。此外，与NP处理相比，装有CP的蘑菇细胞的细胞间空间增加了，线粒体解体-导致细胞内部出现空泡现象。

3.2 硬度，TSS，呼吸频率和颜色

在存储过程中，草菇的硬度降低显示在图2A中。在前三天，NP和CP填充的蘑菇之间的硬度没有显着差异（P> 0.05）。然而，在储存的最后三天中，NP中的肠弯曲菌显示出比CP处理中的坚固性高（P <0.05）。在贮藏结束时，NP中的草菇硬度值为517.2 g，比CP中的牢度值（473.1 g）高9.3％。

如图2B所示，装有NP和CP的蘑菇的TSS随储存时间的延长而降低。存储结束时，CP组中的TSS最低（4.93％）。通常，在所有采样时间点，NP保留的蘑菇的TSS与CP相比。更具体地说，在储存的第五天，装有NP的蘑菇的TSS含量显着高于（CP <0.05）。

对于图2C中的呼吸速率，用NP处理的蘑菇在前三天缓慢增加，然后在第二天波动。储存在CP中的草菇显示出很高的生理活性，这在第一天的呼吸速率就急剧增加。储存四天后，NP和CP中蘑菇的呼吸速率分别达到963.87 mg CO2 / kg / h和1008.41 mg CO2 / kg / h，表明NP处理的呼吸速率略低。

在图2D中，两个蘑菇样品在亮度方面都表现出相似的连续减少趋势。在整个储存时间内，CP处理的草菇的L值显示出比NP更快的下降趋势。对于NP，在第三天，第五天和第六天，L值显着高于CP填充蘑菇的L值（P <0.05）。

3.3 O2·生成速率，H2O2和MDA含量

在NP和CP处理过程中，O2-生成速率在储存时间内均增加（图2E）。在这两种处理之间，NP在储存期间减慢了O2-生成速率的升高。在第三天，第四天和第六天，NP和CP之间存在显着差异（P <0.05）。所有处理过的蘑菇中的H2O2含量在开始的三天中增加，然后在第四天下降（图2F）。 NP和CP处理的蘑菇在第3天的H 2 O 2含量分别为52.67 mmol / kg和56.75 mmol / kg。贮藏结束时，NP中的草菇的H 2 O 2含量显着低于CP中（P <0.05）。

作为膜脂质过氧化作用的主要产物，在整个存储期间，两种处理的MDA含量都持续增加（图2G）。与CP相比，NP包装的总体保持了较高的MDA含量。在第一天和第三天，NP和CP组之间的草菇MDA含量存在显着（P <0.05）差异。

3.4 挥发性风味化合物

鉴定和定量了草菇中的67种挥发性化合物，包括6种醇，4种醛，6种酮，11种酯，23种烷烃和17种其他化合物，以评估不同处理的草菇的风味产生（附表S2） ）。 NP在0 d和3 d，NP 3 d，CP 6 d和CP 6 d分别鉴定出23、25、30、38和39种挥发性化合物。带有水果香气和风信子的酮和醛是新鲜的草菇中的主要挥发性化合物，其中3-丁香酮和苯乙醛分别占50.08％和40.63％。两种处理的醇和醛的相对含量均下降，而酮的相对含量则升高。在储存结束时，与对照组相比，NP处理的菌丝菌显示出相对较高的醇和醛含量。在表S2中，在NP处理中检出了被描述为花香的玫瑰和橙色香气的苯乙醇和1-壬醇，但在对照中未检出。同样，对照组中也没有发现能提供新鲜，甜美和绿色风味的2-壬酮（Xu等，2019）。 此外，还有一种令人讨厌的味道，称为环己醇，有樟脑的气味（Vera，Canellas和Nerin，2013年

3.5 挥发性风味化合物

有机酸与氨基酸，酚，酯和芳香族化合物的合成和代谢密切相关（McMahon等，2014）。在表1中，琥珀酸被指示为新鲜的V. volvacea中的主要有机酸（194.83 mg / g DW），其次是苹果酸（24.87 mg / g DW），乙酸（9.08 mg / g DW），柠檬酸（9.00 mg / g DW）和富马酸（3.38 mg / g DW）。贮藏三天后，CP组的菌丝菌总有机酸显着（P <0.05）从241.16 mg / g DW（鲜蘑菇）降至166.05 mg / g DW。储存六天后，NP处理的肠球菌的总有机酸含量为122.08 mg / g DW，比对照组高（P <0.05）。

对于表2中的可溶性糖，新鲜的草菇含有大量的海藻糖（337.83 mg / g DW）。在整个时期中，NP和CP处理的蘑菇都表现出甘露醇和海藻糖含量下降的趋势。储存六天后，NP处理的蘑菇的海藻糖含量为79.34 mg / g DW，比CP包装的蘑菇的海藻糖含量（75.16 mg / g DW）高得多（P <0.05）。

在表3中，新鲜草菇的5′-核苷酸含量为4.74mg / g DW，比其他处理样品明显降低（P <0.05）。 5'-GMP是草菇中的主要风味核苷酸。贮藏六天后，NP处理过的蘑菇比CP处理过的蘑菇保持了更高的总5′-核苷酸含量。对照中包括5'-GMP和5'-UMP的风味5'-核苷酸的含量分别比NP低17.1％和38.7％。

由于存在游离氨基酸（FAA），可食用的蘑菇具有浓郁的鲜味和令人愉悦的甜味（Li等人，2014）。在表4中，新鲜V.volvacea中FAA的总量为179.37 mg / g DW。在所有处理的储存期间，观察到连续下降的趋势。苯丙氨酸是新鲜V.volvacea中的主要FAA，占FAA总量的32％。储存6天后，苏氨酸成为NP和CP处理的蘑菇中主要的FAA。此外，与对照组相比，NP包装的菌丝藻维持较高的FAA含量。

4 讨论

新鲜食用真菌在收获后极易腐烂，并且低温（4℃）下的常规MAP技术可有效用于除V. volvacea以外的大多数类型的蘑菇。暴露于低温（4℃）时，草菇子实体通常会变软，液化并容易腐烂。我们的初步研究表明，15℃是腐霉菌保存的首选温度。在15℃以下时，草菇的呼吸和代谢显着增加，导致包装内的氧气匮乏（Dhalsamant等人，2015）。此外，已证明NP处理可有效保护其他蘑菇，包括velutipes（Fang，Yang，Kimatu，Mariga等，2016）。因此，开发了结合穿孔的NP，以延长杂种优势。结果表明，NP处理可延长草菇营养成分的保留时间，并抑制褐变和ROS积累，表明与CP对照相比，NP在存储过程中减慢了新陈代谢。

基于纳米复合材料的包装技术可被视为一种主动包装替代品，可调节包装内的气体成分（包括O2，CO2和乙烯），从而降低呼吸速率并减慢代谢过程（Shi等人，2018）。在制备过程中，嵌入PE基质中的纳米颗粒及其相互作用形成了紧密的网络结构，从而增强了机械性能和阻隔性能（Fang，Yang，Kimatu，Mariga等，2016; Poisson等，2008）。另一方面，膜中复杂网络状结构的形成导致基质中聚合物链的分子运动受到限制，并促进了应力通过界面从基质转移到增强相。 这种结构导致所得到的基于纳米复合材料的膜的机械性能和稳定性的改善，从而降低了纳米颗粒迁移的风险。

包括的纳米相银和二氧化钛能够清除乙烯，乙烯是一种植物激素，可加速农产品的成熟和衰老（Li等，2009； Yang等，2010）。这可以解释所获得的结果，即与对照组相比，在包装过程中，NP装填的草菇推迟了呼吸频率的峰值（图2C）。 Li等人也得出了类似的结果，即使用NP可以将大枣中的乙烯分解或氧化为水和二氧化碳。 （2009）。

颜色和外观是影响消费者对新鲜水果和蔬菜的接受程度的关键参数（Barrett，Beaulieu和Shewfelt，2010年）。在这项研究中，NP上显示了草菇的褐变问题减少和质量下降，而CP上则表明（图1和2D）。食用菌的褐变主要归因于酪氨酸酶和多酚氧化酶（PPO）催化的酚类化合物的氧化（Oliveira，Sousa-Gallagher，Mahajan和Teixeira，2012年）。 NP可以直接灭活酶活性，包括PPO酶，并保留草菇子实体内部的白色（Yang等，2010）。此外，在以后的存储时间内，腐败微生物的攻击会促进蘑菇褐变（Simón，Elena，＆Vanesa，2005）。 NP被证明对抑制微生物的生长是有效的，从而有益于草菇的白度维持。

蘑菇衰老的过程以及持续不断的氧化作用可能导致ROS积累并产生氧化损伤（Li等，2013）。目前的研究表明，在储存过程中，NP处理过的V. volvacea中的ROS（包括O2•-和H2O2）生成速率减慢了（图2 E和F）。 Fang，Yang，Kimatu，An et al。，2016）报告说，NP处理可通过激活蘑菇细胞中的抗氧化剂防御系统来有效控制ROS积累，从而减少氧化损伤并减缓衰老。此外，蘑菇细胞中的ROS积累破坏了膜的结构和功能，触发了膜脂质过氧化并诱导了膜的破坏（Juan，Wang和Jin，2011）。对于MDA，膜脂质过氧化的产物，NP处理的菌丝菌在储存六天后的含量明显低于CP包装的含量。这与ROS水平和TEM一致，表明NP处理在延缓ROS诱导的菌丝菌的细胞自溶和衰老方面更有效。 Fang，Yang，Kimatu等人的差异蛋白质组学实验结果。 （2017）和Fang，Yang，Deng等。 （2017）还证明了NP可以抑制涉及碳水化合物和能量代谢生物过程的蛋白质表达，促进氨基酸的生物合成，增强抗氧化系统，并提高其抗逆性，从而进一步延长了蘑菇的货架期。

蘑菇会积累多种次生代谢产物，从而导致其风味的多样性（Lin等人，2017）。蘑菇的典型风味由挥发性和非挥发性化合物组成，是决定其质量和公众认可度的重要因素。包含八个碳原子的调味剂构成了主要的挥发性成分（Fang，Yang，Kimatu等，2017; Fang，Yang，Deng等，2017）。包括有机酸，可溶性糖，5'-核苷酸和游离氨基酸在内的非挥发性成分有助于蘑菇中鲜味的形成（Manninen，Rotola-Pukkila，Aisala，Hopia和Laaksonen，2018）。

蘑菇的风味变化是一个动态过程，并受复杂因素的影响，包括收获后蘑菇的储存时间，呼吸，微生物变质和其他生理代谢。在这项研究中，表明3-辛烷酮，苯乙醛，琥珀酸，海藻糖和5'-GMP是菌丝菌的特征风味化合物。在Yang等人进行的关于扇贝挥发性成分研究中发现了类似的主要风味化合物。 （2016）。新鲜金针菇的挥发性化合物主要由酮，醛和醇组成。主要的风味化合物是3-辛酮。

贮存期间蘑菇产生难闻的气味与它们的呼吸，腐败，微生物的生长和新陈代谢有关（Breheret，Talou，Rapior和Bessière，1997）。 收获后在运输和运输过程中，通常将其包装并在真空条件下密封。 这种处理将导致包装内蘑菇的无氧呼吸，并且在打开袋子后会感觉到酵母味（Fang，Yang，Kimatu等，2017; Fang，Yang，Deng等，2017）。

在我们的研究中，NP处理减轻了由无氧呼吸引起的生理紊乱，并使关键的酶（包括多酚氧化酶，脂氧化酶和过氧化物酶）失活，以避免风味成分过度氧化或降解（Yang等，2019）。同时，由于活性纳米粒子的抗菌特性，NP材料内存在的纳米银和纳米二氧化钛能够抑制蘑菇储存后期微生物的生长（De Azeredo，2013）。因此，与对照相比，NP处理的草菇的保留风味更好。

总之，与CP处理相比，已开发的NP对收获后的草菇处理降低了褐变程度，呼吸速率，MDA含量和ROS水平。用NP包装的蘑菇保留了硬度，总可溶性固形物和风味化合物。因此，证明了NP延缓了草菇的衰老。作为一种最低限度的加工技术，NP可能是采后蘑菇行业提高可保存性和保持货架期的潜在商业途径之一。