

---

# 洋葱废弃物中天然抗氧化剂的绿色提取及其在食品中的应用 MDPI Foods

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40013.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

洋葱废弃物中天然抗氧化剂的绿色提取及其在食品中的应用 MDPI Foods。论文标题：Recovery of Natural Antioxidants from Onion Solid Waste via Pressurized Liquid Extraction: Encapsulation and Application into a Food System

论文链接：<https://www.mdpi.com/2304-8158/14/20/3583>

期刊名：Foods

期刊主页链接：<https://www.mdpi.com/journal/foods>

## 研究背景

在全球食品工业中，洋葱（*Allium cepa* L.）是产量极高的蔬菜之一，但随之产生的大量洋葱固体废弃物（OSW）却长期面临处理难题，包括半干的外皮、干燥层以及顶端和底部的修剪部分，既难以用作饲料或肥料，也不适合填埋或焚烧，这不仅带来环境压力，也意味着资源浪费。与此同时，消费者对天然抗氧化剂与清洁标签食品的需求不断提升。这些废弃物（尤其是红洋葱皮）富含黄酮类化合物（如槲皮素），具有抗氧化、抗菌、抗炎等多种生物活性，因此，如何将农业废弃物转化为高附加值功能成分，成为食品科学领域的重要研究方向。

一项发表于 Foods 期刊的研究《Recovery of Natural Antioxidants from Onion Solid Waste via Pressurized Liquid Extraction: Encapsulation and Application into a Food System》（通过加压液体萃取从洋葱固体废弃物中回收天然抗氧化剂：包封及其在食品体系中的应用）发现，洋葱加工过程中产生的固体废弃物，这些废弃物中富含天然抗氧化成分，通过绿色提取技术可将其转化为高效的食品保鲜剂，并应用于蛋黄酱体系，为农产品废弃物资源化利用、食品天然保鲜提供了新的解决方案，兼具环保价值与产业潜力。

## 研究主要内容

本研究旨在通过加压液体提取（PLE）技术从洋葱固体废物中提取天然抗氧化剂，并通过喷雾干燥法进行包封，最终将其应用于食品系统中，以延长食品的保质期。

（1）采用响应面法（RSM）优化加压液体萃取（PLE）参数，最大化回收洋葱固体废弃物中的

---

总多酚、总花青素含量及抗氧化活性；

(2) 对优化后的提取物进行喷雾干燥包埋，以阿拉伯胶为壁材，评估包埋效率、负载量和工艺产率等关键指标；

(3) 通过高效液相色谱-二极管阵列检测 (HPLC-DAD)，鉴定包埋提取物中的主要多酚类化合物；

(4) 将包埋后的提取物添加到蛋黄酱中，监测14天内其对蛋黄酱氧化稳定性的影响，并与合成防腐剂 (山梨酸钾、丁基羟基甲苯BHT) 进行功效对比。

## 研究过程与结果

### 1. 实验材料与前期处理

本研究选用希腊当地MIRSINI红洋葱品种，其固体废弃物经冷冻干燥技术去除水分，有效保留了生物活性成分。随后进行粉碎与筛分处理，获得中位粒径144  $\mu\text{m}$ 的均匀粉末，并于-40 °C低温保存，确保原料品质稳定。

### 2. PLE提取工艺优化：响应面法与加压液体萃取

本研究采用自定义二次模型的响应面方法，对加压液体萃取的四个关键参数进行优化：乙醇浓度 (0–100%，v/v)、液固比 (10–70 mL/g)、提取温度 (40–160 °C) 和时间 (5–25 min)。所有萃取均在恒定压力1700 psi下进行。

通过18组实验 (含三次中心点重复) 的数据分析，建立了总多酚含量、总花青素含量及抗氧化活性 (FRAP和DPPH法) 的二次多项式回归模型，模型的决定系数均高于0.96，表明拟合优度极佳。方差分析显示，溶剂浓度和提取温度是影响萃取效率的最显著因素 (变量重要性投影值分别约为1.58和1.48，高于0.8的显著性阈值)。

最佳萃取条件为：

- 乙醇浓度：100% (纯乙醇)
- 液固比：70 mL/g
- 温度：160 °C
- 时间：25 min

在该条件下进行三次独立验证实验，实测值与模型预测值高度吻合：

- 总多酚含量：37.02  $\pm$  1.18 mg GAE/g 干重 (预测34.75)
- 总花青素含量：592.73  $\pm$  31.41  $\mu\text{g}$  CyE/g 干重 (预测540.88)

- FRAP抗氧化活性：291.15 ± 17.76 μmol AAE/g 干重（预测317.22）
- DPPH自由基清除活性：98 ± 6.57 μmol AAE/g 干重（预测106.63）

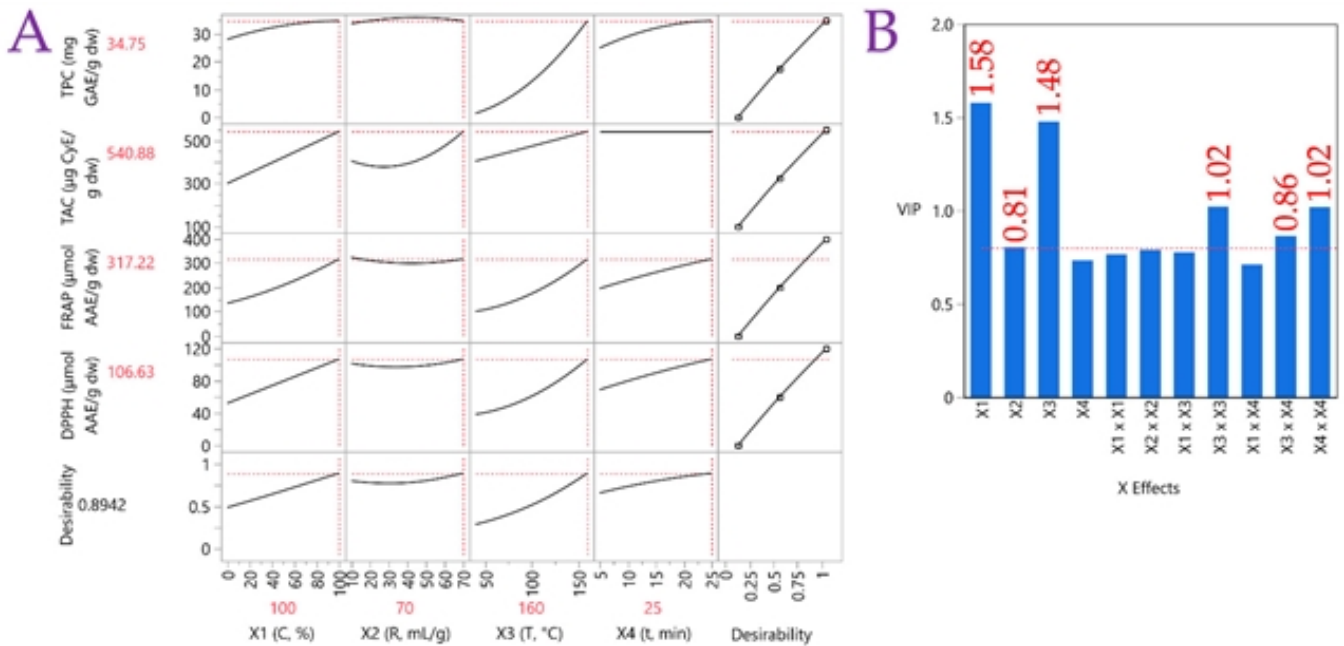


图1. (A) 图展示了在外推控制条件下，结合偏最小二乘法（PLS）预测分析器与期望函数，对洋葱固体废弃物（OSW）提取物加压液体提取（PLE）过程进行优化的结果。(B) 图为变量重要性（VIP）图，用于对PLE模型中的预测变量进行排序；红色虚线表示0.8的显著性水平。

### 3. 包封处理：喷雾干燥与微胶囊表征

将最优萃取液先经旋转蒸发去除乙醇，再复溶于60:40的乙醇-水溶液并再次蒸发，确保乙醇完全去除。随后，将水相提取物与阿拉伯胶以1:6（w/w，基于总多酚含量）的比例混合，进行喷雾干燥。喷雾干燥参数为：进风温度170 °C，出风温度95 °C，进料速率3.5 mL/min，喷雾空气流量742 L/h。

所得微胶囊的表征结果如下：

- 包封效率：94.64%（表示包埋于微胶囊内部的多酚占总多酚的比例）
- 载药量：2.31%（多酚质量占微胶囊干重的百分比）
- 工艺产率：84.03%

### 4. 多酚单体鉴定

采用HPLC-DAD对包封后的粉末进行多酚单体鉴定，共检出主要化合物：槲皮素、螺内酯（槲皮素-4-O-葡萄糖苷）和原儿茶酸。该结果与文献报道的洋葱废弃物多酚谱图一致。

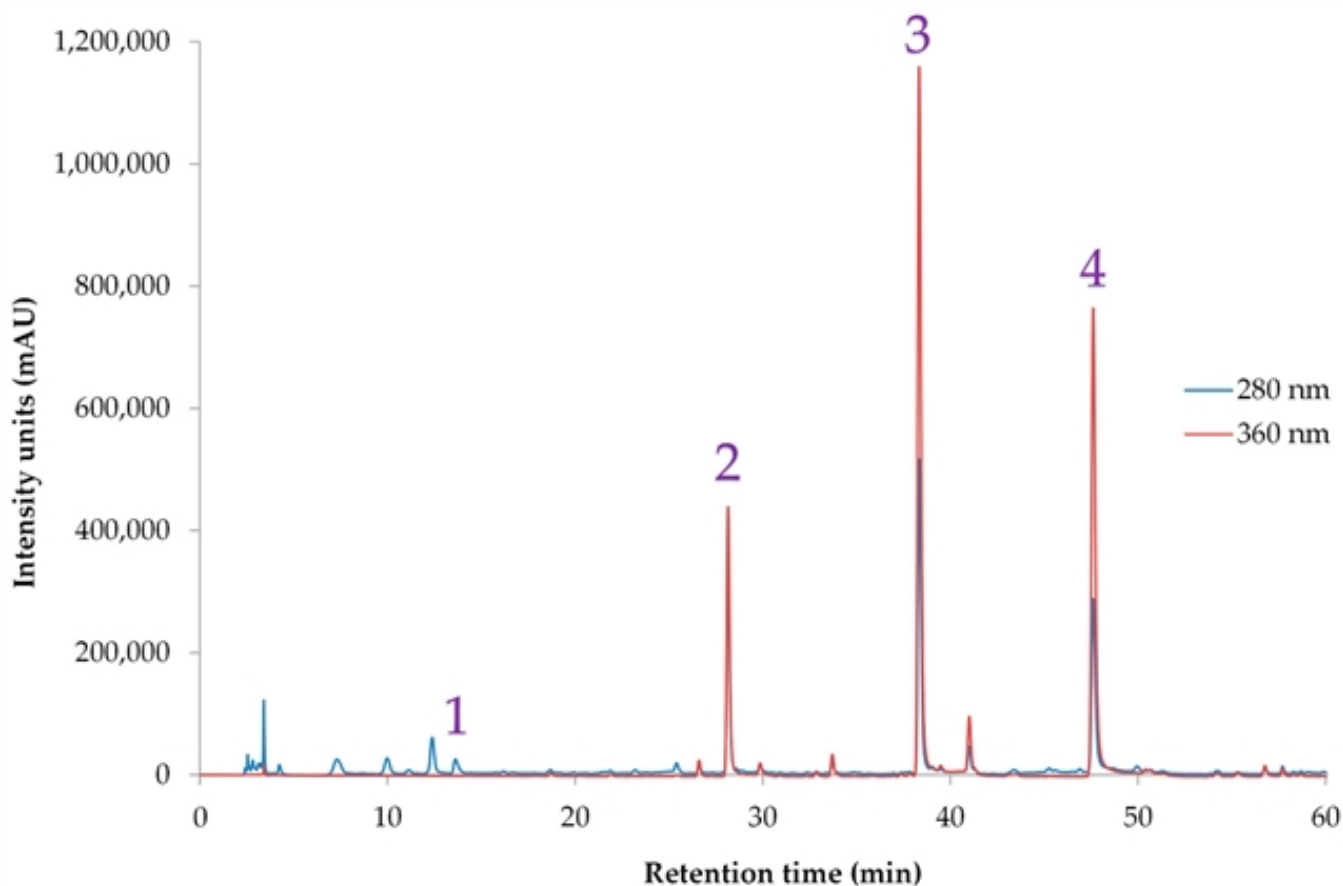


图2.包埋后的洋葱固体废弃物提取物在280 nm和360 nm波长下的代表性HPLC色谱图，标示出检测到的多酚类化合物：1—原儿茶酸，2—未知类黄酮，3—螺内酯（槲皮素-4-O-葡萄糖苷），4—槲皮素。

## 5. 蛋黄酱中的应用：氧化稳定性监测

将包封洋葱固体废弃物提取物以0.05%、0.10%和0.50% (w/w) 三个浓度添加入自制蛋黄酱中，并与合成防腐剂（BHT 50/100/200 ppm、山梨酸钾250/500/1000 ppm）及空白对照组进行比较。所有样品在室温避光条件下储存14天，于第1、3、7、14天取样分析。

### （1）pH与颜色稳定性

- pH值：所有样品在14天内保持稳定，无显著日间差异。0.50%提取物组pH略低于其他组，但未破坏整体稳定性。
- 颜色：所有样品的亮度（L值）普遍下降，色度（C值）上升。其中0.05%提取物组的亮度保持最佳，100 ppm BHT组的色度变化最小。对照组及低浓度山梨酸钾组的颜色稳定性最差。

### （2）极性组分（多酚与抗氧化活性）

- 总多酚含量：所有处理组在1–3天呈下降趋势。0.10%提取物组的保留效果最佳，14天内仅下降53 mg GAE/kg。对照组与100 ppm BHT组在第14天出现反弹，稳定在223–224 mg GAE/kg。

---

- DPPH抗氧化活性：0.10%提取物组在所有时间点均保持最高活性（第1天340 第14天305.9  $\mu\text{mol AAE/kg}$ ）。多数处理组在第7天出现活性峰值（如0.05%提取物组从第3天到第7天跃升212.7  $\mu\text{mol AAE/kg}$ ），提示可能存在多酚的缓释效应。

### （3）非极性组分（油脂相氧化指标）

- 油脂相DPPH活性：对照组14天内损失约40%初始活性（从1202降至722  $\mu\text{mol TEAC/kg}$ ）。0.50%提取物组保留了约80%的初始活性，优于50 ppm BHT组（保留约65%）。100 – 200 ppm BHT组整体最强，第14天仍维持在1500  $\mu\text{mol TEAC/kg}$ 以上。

- 过氧化值：对照组从62急剧升至112  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{kg}$ 。0.10%提取物组稳定在67左右，0.50%提取物组控制在90以下，而100 – 200 ppm BHT组仅维持在4 – 5。

- TBARS值：对照组从0.36升至0.90  $\mu\text{mol MDAE/kg}$ 。0.10%提取物组控制在0.60以下，0.50%提取物组低于0.74。山梨酸钾各浓度组与对照组趋势接近，抑制效果微弱。

综合效能排序：BHT 200/100 ppm > 0.50% 包封洋葱提取物 > 0.10% 包封洋葱提取物 > BHT 50 ppm > 0.05% 包封洋葱提取物 > 山梨酸钾各浓度 对照组。

## 研究成果概述

### （1）建立了高效的加压液体萃取优化工艺

通过响应面法优化确定了最佳萃取条件：100%乙醇、液固比70 mL/g、温度160 °C、时间25 min。此条件下总多酚含量达37.02 mg GAE/g干重，总花青素含量达592.73  $\mu\text{g CyE/g}$ 干重。模型验证表明，溶剂浓度和温度是最关键的影响因素。

### （2）实现了高包封率的微胶囊化

采用阿拉伯胶为壁材进行喷雾干燥，包封效率达94.64%，工艺产率为84.03%。HPLC-DAD鉴定出包封粉末中的主要多酚化合物为槲皮素、螺内酯和原儿茶酸，活性成分保留良好。

### （3）验证了包封洋葱提取物在蛋黄酱中的抗氧化效果

在14天储藏期内，添加0.10% – 0.50%包封提取物的蛋黄酱中：过氧化值和TBARS值显著低于对照组，脂质氧化被有效延缓；0.50%提取物的保护效果优于50 ppm BHT，与100 – 200 ppm BHT同属高效组别。洋葱废弃物来源的天然提取物可作为合成防腐剂的有效替代品。

## 研究总结

本研究系统构建了一条从农业废弃物高值化利用到食品应用验证的完整技术路径，证明洋葱固体废弃物不仅富含多酚等天然抗氧化活性物质，而且可以通过加压液体提取技术实现高效、绿色的回收。在此基础上，采用喷雾干燥与阿拉伯胶包埋技术显著提升了活性成分的稳定性与应用可行性，使其能够顺利引入实际食品体系中。

---

以蛋黄酱为模型食品的应用结果进一步表明，该包埋提取物在延缓脂质氧化、维持抗氧化活性方面表现出良好效果，其性能可与部分合成抗氧化剂相媲美甚至在某些指标上更具优势。整体来看，该研究不仅为天然抗氧化剂替代合成添加剂提供了可靠依据，也为农业副产物的资源化利用与食品工业的可持续发展提供了具有实践意义的解决方案。

Foods 期刊介绍

主编：Arun K. Bhunia, Purdue University, USA

Foods (ISSN 2304-8158) 期刊自2012年创刊以来，已发展成为食品科学领域的重要学术平台。Foods被多个知名学术数据库收录，包括Web of Science的SCIE、PubMed以及Scopus等。目前期刊的影响因子为5.1，CiteScore为8.7，均位列食品科学与技术类别Q1区。

期刊涵盖了食品加工与技术、食品物理与生物化学、食品分析、食品微生物学、食品功能与营养等多个研究领域，致力于推动食品科学的创新与发展。

2024 Impact Factor 5.1 2024 CiteScore 8.7 Time to First Decision 15 Days

来源：Foods

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发