

梅子發酵液不同配比對抗氧化活性影響與濃度抑制效應

陳瑪鈴*
韓傳孝**

摘 要

本研究評估不同製程與稀釋條件下，自然釀造青梅發酵液（Plum Fermented Liquid, PFL）之抗氧化活性，並探討其 DPPH 自由基清除率的體積濃度依存性。實驗設置兩組樣品：A 組青梅、冰糖與水共發酵，呈現濃度依賴性，清除率隨體積濃度增加而顯著正相關($p < 0.05$)；B 組青梅與冰糖直接發酵而成高濃縮液，則於中等達最高清除效能，在高體積濃度條件下反而下降，顯示濃度抑制效應。此現象推測可能與高濃度多酚聚集或競爭反應有關，以致自由基清除效率降低，顯示適度稀釋有助提升活性釋放與反應。本研究的最佳活性濃度區間與濃度抑制機制，對青梅發酵產品功能開發與配方具參考價值。

關鍵字：青梅發酵液、抗氧化活性、DPPH 自由基、濃度抑制效應、非線性關係

*獨立研究者 佛光大學 樂活產業學院 碩士

**佛光大學 健康與創意蔬食產業學系 助理教授（通訊作者）

電子郵件：vegetarian@mail.fgu.edu.tw

收稿日期：2026.01.07

修改日期：2026.04.17

接受日期：2026.05.18

Effects of Different Ratios of Plum Fermentation Liquid on Antioxidant Activity and the Concentration Inhibition Effect

Ma-Ling Chen*
Chuan-Hsiao Han**

Abstract

This study investigated the antioxidant activity of naturally brewed plum fermented liquid (PFL) under different processing and dilution conditions, focusing on the concentration-dependent behavior of DPPH radical scavenging. Sample A (plums, rock sugar, and water co-fermentation) exhibited a linear increase in scavenging activity with concentration ($p < 0.05$), whereas Sample B (highly concentrated fermentation of plums and rock sugar) showed a non-linear trend, reaching a peak at moderate concentrations and declining at extreme levels, indicating a concentration inhibition effect. This phenomenon may be associated with polyphenol aggregation or competitive reactions under high concentration conditions, suggesting that appropriate dilution enhances functional efficiency. The identified optimal concentration range provides insights for functional development and formulation optimization of plum fermentation products.

Keywords : Plum fermented liquid, Antioxidant activity, DPPH radical, Concentration inhibition effect, Nonlinear behavior

* Independent Researcher, Education: M.A., College of Lohas Industry, Fo Guang University

** Assistant Professor, Department of Health and Creative Vegetarian Gastronomy, Fo Guang University
(correspondence author)

壹、前言

隨著現代飲食習慣的改變，天然抗氧化物質與膳食纖維攝取不足，增加了慢性疾病的風險(Alahmari, 2024; Mathers, 2023; Xu, 2025)。在此背景下，開發具有保健功能的天然食品已成為食品科學與營養學領域的重要趨勢。發酵食品因其能將原料中的大分子轉化為更易吸收的小分子，並產生多種活性代謝物（如多酚類、有機酸）(Kumar et al., 2025; Yang et al., 2023)因此受到廣泛關注。

近年來，酵素食品更被認為對代謝症候群、腸胃道功能障礙，甚至心理健康狀態皆具正面影響(Qiang et al., 2024)。這些健康益處不僅突顯酵素在人體機能調節中的重要性，也進一步強化其在發酵液與功能性食品開發中的應用潛力。人體天生適合攝取「預消化食物」，即含有天然酵素或經發酵處理的食物，使營養素更容易被人體吸收對健康具有顯著促進作用(Mukherjee et al., 2023; Park & Mannaa, 2025)。

梅子(*Prunus mume*)作為一種傳統且富含營養價值的果實，其果實富含多種機能性成分，包括多酚類、有機酸與膳食纖維等(Liu et al., 2025)。這些成分使其被廣泛應用於中醫與民間食療中，並被證實具備促進消化、調整體質與抗氧化等潛在功效。透過發酵技術，不僅能改善梅子的風味與口感，更能促進其營養成分的釋放與轉化，進一步提升其保健價值。

然而，儘管青梅發酵液的保健潛力已受到關注，但目前學術界對於不同原料配比如青梅、糖、水的比例及不加水對其抗氧化活性影響的系統性研究仍相對有限。同時，關於發酵液濃度與其抗氧化活性之間的非線性關係，特別是在高濃度下可能出現的潛在抑制效應，亦未見深入探討。因此，本研究有必要填補此一學術空白，為發酵液的功能性提升提供可靠的科學依據。

貳、研究目的

本研究雖以傳統自然釀造之青梅發酵液為材料，惟自然發酵過程中之微生物群落組成與動態變化相當複雜，通常涉及乳酸菌、酵母菌與醋酸菌等多種菌種之共存與交互作用，其整體代謝表現亦可能受到溫度、氧氣供應與可利用糖濃度等環境條件之調控(Walters et al., 2024)。由於上述微生物生態與代謝網絡之解析已超出本研究之實驗設計與研究範疇，本文因此聚焦於不同原液加入體積條件下青梅發酵液抗氧化活性之變化，並以濃度抑制效應所呈現之非線性趨勢作為主要分析重點，作為後續深入探討自然發酵機制與物質交互作用之基礎。

本研究目的在於分析傳統自然釀造 A、B 兩組青梅發酵液於不同配比與原液加入體積條件下，抗氧化活性之間的非線性關係，並探討濃度抑制效應的存在與影響。具體目標如下：

- 一、以 DPP 自由基清除率 評估青梅自然發酵液之抗氧化能力，探討其在抗氧化領域的潛在應用價值。
- 二、比較 A 組與 B 組青梅發酵液之製程差異與抗氧化表現：A 組以青梅與冰糖加淨水發酵；B 組則不加水直接發酵。檢驗其變化趨勢是否呈現顯著的線性或非線性特徵。
- 三、根據實驗結果，提出青梅發酵液於不同用途下的功能化開發方向，並評估其在食品科學與健康促進領域之應用潛力，作為產品設計與實務推廣之依據。
- 四、本研究結果可作為後續釀造條件控制與功能性飲品開發之參考依據。

參、研究方法與步驟

本研究以梅子發酵液為研究材料，針對不同配比（A、B）之樣品進行 DPPH 自由基清除能力之測定與比較。

一、梅子發酵液的製備方法

本研究選用信義鄉產地的新鮮青梅（成熟度約 5~8 分熟）主要原料，分別製備兩種不同配方之梅子發酵液：

A 樣品（加水型）：梅子 4.2 kg、冰糖 1.3kg、淨水 13kg（淨水含有較多礦物質，有助於發酵）。

B 樣品（無水型）：梅子 10.8kg、冰糖 7.2 kg、淨水 0kg。

二、樣品製備與發酵流程

（一）原料前處理：將青梅清水洗淨後自然風乾。容器經清洗、晾乾並以酒精消毒備用。

（二）裝罐發酵：

樣品 A (加水型)：將梅子、冰糖、淨活水一次性依序放入容器中，加蓋。

樣品 B (無水型)：採「分層加糖法」處理。先將梅子與糖分層放入容器中，初次加入總糖量的三分之二，發酵約 7 天後再加入剩餘糖量的 20%，最後 7 天補足餘量並加蓋。

（三）發酵條件與熟成：

所有樣品均置於陰涼通風處自然發酵，環境溫度控制於 20–35°C 之間(林承翰等, 2020)。發酵期間定期觀察氣泡產生、糖分溶解與液體變化情形。

主發酵完成後，樣品繼續靜置熟成長達七年。在長期熟成過程中，梅子發酵液的色澤逐漸加深、香氣愈加醇厚，並產生複雜的酯化與氧化還原反應，使其風味與化學組成更趨穩定 (Deng et al., 2020; Cai et al., 2024)。A、B 兩組樣品均為七年熟成後取樣分析，屬於長期熟成型發酵液。

三、抗氧化活性測定（DPPH 自由基清除法）

（一）實驗原理：

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 自由基清除法為評估樣品抗氧化能力的常用方法。DPPH 為一種穩定的紫色自由基，當抗氧化物與之反應時，DPPH 被還原而使吸光度下降，其減少程度可反映樣品的自由基清除能力。

（二）使用相關儀器：

為確保本研究中梅子發酵液樣品分析數據的準確性與實驗結果的重複性，我們採用了多項精密儀器進行檢測與分析，為後續研究提供可靠的科學依據。

1.微量離心機（DLAD-D2012plus） 微量離心機功能與用途：抗氧化檢測前處理，將發酵液中懸浮物與密度不同分離，以利後續分析。

2.微量精密電子秤（ED124S） 功能與用途：用於精確稱量實驗所需的試劑與樣品，最小可讀取至 0.1 mg，確保實驗配方與濃度準確無誤。

3.酵素免疫分析儀（ELISA Reader） 功能與用途：用於測量樣品在特定波長 515nm。吸光值

愈低，表示樣品的抗氧化能力愈強，自由基清除效果愈佳。

(三) 試劑製備與步驟：

DPPH 溶液：以甲醇配製 0.5 mM DPPH 溶液，避光保存於棕色瓶（鋁箔包覆）。

1. 樣品稀釋：將 A、B 組七年熟成梅子發酵液離心取上清液，依設計稀釋倍數，置於 96 孔盤，每孔補足至 100 μL ，三重複測（ $n=3$ ）。
2. 加入試劑：每孔加入等量 DPPH 溶液（100 μL ），總體積 200 μL 。
3. 反應條件：室溫（約 25 $^{\circ}\text{C}$ ）避光反應 20 分鐘。
4. 吸光度量測：使用 ELISA Reader 於 515 nm 測定吸光度，值愈低表示清除能力愈高。
5. 清除率計算：依公式計算 DPPH 自由基清除率：

使用以下公式計算 DPPH 自由基的清除百分比：

$$\text{清除率}\% = (A_0 - A) / A_0 \times 100\%$$

其中： A_0 為未添加樣品（對照組）之 DPPH 溶液的吸光度

A 為添加樣品後之 DPPH 溶液的吸光度

此公式表示樣品對 DPPH 自由基的還原能力，即吸光值降低的比例。數值越高，能有效清除自由基，代表該樣品的抗氧化能力越強。

四、比較 A、B 兩種不同配比之梅子發酵液分析

A 樣品為七年熟成之加水型梅子自然發酵液，於測定前依比例稀釋為四組不同加入體積，分別為 70 μL 、40 μL 、33.3 μL 與 16 μL ，以探討原液加入體積對其 DPPH 自由基清除能力的影響。B 樣品為七年熟成之無水型梅子發酵液，於測定前依比例稀釋成六組不同加入體積，分別為 10 μL 、8.57 μL 、7.0 μL 、5.33 μL 、4.76 μL 及 2.0 μL ，探討不同體積對抗氧化活性表現的影響。A、B 樣品原液加入體積條件均進行三次重複測定，藉以提升數據之準確性與重現性。

肆、結果與整體討論

在相同 DPPH 自由基清除測試條件下，比較 A、B 兩種不同配比之梅子自然發酵液，其抗氧化活性隨原液加入體積變化呈現顯著不同之反應型態。

一、A 組樣品之抗氧化活性與原液加入體積關係分析

表 1 A 組樣品原液加入體積與 DPPH 吸光值之關係

原液加入體積(μL)	吸光值 1	吸光值 2	吸光值 3	吸光值平均
70	0.176	0.207	0.183	0.189
40	0.279	0.264	0.260	0.268
33.3	0.317	0.317	0.320	0.318
16	0.559	0.571	0.561	0.564

表 2 A 組樣品原液加入體積與 DPPH 自由基清除率之關係

原液加入體積(μL)	清除率 1	清除率 2	清除率 3	DPPH(平均 $\pm$ 標準差)
70	86.67	84.32	86.14	$85.71 \pm 1.01\%$
40	75.78	77.08	77.43	$76.77 \pm 0.83\%$
33.3	67.25	67.25	66.94	$67.15 \pm 0.17\%$
16	47.79	46.67	47.60	$47.35 \pm 0.60\%$

如表 1 所示，隨著樣品體積降低，其反應後吸光值呈現逐步上升之趨勢，顯示抗氧化物質含量隨稀釋而遞減，致使 DPPH 自由基之清除效果下降。70 μL 組之平均吸光值最低(0.189)，顯示其自由基清除能力最強；而 16 μL 組之吸光值最高，代表其抗氧化效果明顯減弱。

表 2 分析 DPPH 自由基清除率結果，可觀察到 A 樣品呈現明顯之劑量依賴關係 (dose-dependent response)。當樣品原液加入體積為 70 μL 時，其平均清除率達 $85.71 \pm 1.01\%$ ，為本組最高；隨原液加入體積依序下降至 40 μL 、33.3 μL 與 16 μL 時，其清除率分別降至 $76.77 \pm 0.83\%$ 、 $67.15 \pm 0.17\%$ 與 $47.35 \pm 0.60\%$ ，顯示抗氧化活性與濃度呈正相關。A 組樣品在本研究測試之加入體積範圍內未出現濃度抑制現象，而是隨體積提高，抗氧化活性呈線性上升。

二、B 組樣品之抗氧化活性與原液加入體積關係分析

表 3 B 組樣品原液加入體積與 DPPH 吸光值之關係

原液加入體積 (μL)	吸光值 1	吸光值 2	吸光值 3	吸光值平均
10	0.242	0.246	0.255	0.277
8.57	0.242	0.246	0.255	0.248
7.0	0.25	0.227	0.245	0.241
5.33	0.157	0.158	0.170	0.162
4.76	0.262	0.271	0.26	0.264
2.0	0.442	0.438	0.448	0.443

表 4 B 組樣品原液加入體積與 DPPH 自由基清除率之關係

原液加入體積 (μL)	清除率 1	清除率 2	清除率 3	DPPH(平均 $\pm$ 標準差)
10	72.18	75.48	73.97	$73.88 \pm 1.65\%$
8.57	76.886	76.504	75.645	$76.345 \pm 0.65\%$
7.0	76.27	78.45	76.74	$77.15 \pm 1.11\%$
5.33	83.58	83.47	82.22	$83.09 \pm 0.75\%$
4.76	76.61	75.80	76.79	$76.40 \pm 0.53\%$
2.0	58.14	58.52	57.58	$58.081 \pm 0.47\%$

如表 3 所示，B 組吸光值結果顯示，B 組為未添加水的高濃縮型青梅發酵液，其 DPPH 清除能力呈現明顯的非線性劑量反應。樣品原液加入體積於 5.33 μ L 時達到最高清除率 83.09 $\pm$ 0.75%，但在更高原液體積（7.0 μ L、8.57 μ L）下降至 76–77%，顯示濃度抑制效應；濃度進一步降低（4.76 μ L、2.0 μ L）時，因活性物質不足，清除率亦下降，形成單峰型（unimodal）劑量–反應曲線。

B 組抗氧化活性呈現「中濃度峰值」型態：高體積因成分聚集或反應競爭導致活性受抑，而於低體積條件下，則因活性物質不足而下降，最適反應原液加入體積位於中間稀釋區間（5.33 μ L）。此結果顯示濃度抑制效應與反應飽和並存，反映自然發酵液活性物質的動態行為。本研究觀察到的「中濃度峰值」現象與文獻報導一致，（Nowak et al., 2022）指出，多酚在不同體積濃度下可能由促氧化轉為抗氧化，顯示濃度依賴性是天然抗氧化物質的普遍特徵，支持本研究結果。

三、整體比較與理論探討

綜合 A、B 兩組樣品之結果可知，抗氧化行為明顯受到發酵基質組成、有效成分之加入體積與稀釋比例的影響。A 組加水型發酵液與 B 組無水濃縮型發酵液，呈現不同的原液加入體積反應，顯示基質條件對 DPPH 清除效率具有影響作用。

（一）發酵基質差異

A 組水分含量較高、基質相對均質，因此呈現線性體積依存關係：原液加入體積越高，DPPH 清除率越高，稀釋後則線性下降，顯示 A 組中有效成分之加入體積（體積濃度）與抗氧化活性具正相關。相對地，B 組因為無添加水、酸糖比例高、成分密度大，發酵後形成更複雜的多酚與有機酸組成（Kiss et al., 2025；Nowak et al., 2022），其清除率呈現明顯的非線性反應，在中間濃度達到峰值，而原液反而活性降低，屬濃度抑制效應（concentration inhibition effect）

（二）抗氧化反應機制差異

A 組呈現原液加入體積與清除率的線性關係，可能因溶液流動性佳、成分分布均勻，使自由基接觸機率隨濃度增加而提升（Brand-Williams et al., 1995; Kingori et al., 2024）。相較，B 組在高體積濃度出現峰值後下降，這可能與多酚在高濃度下發生自氧化，還可能在自由基清除測試中呈現拮抗效應，使部分抗氧化成分於反應體系中受到固形物或聚合多酚之空間屏蔽影響（Andrés et al., 2023），類似在陳年果醋中觀察到多酚聚合與黑色素產生對抗氧化活性測定造成影響的現象（Chen et al., 2015），並被認為可能是影響抗氧化評估的重要因素之一（Todască et al., 2025）。綜合而言，本研究結果顯示抗氧化之濃度效應除與活性成分含量相關外，亦受到溶液物理性質、多酚化學反應行為及測定系統動態之共同影響（Yamauchi et al., 2025）。

（三）最佳濃度區間的科學意義

B 組樣品所呈現的最佳原液加入體積區間顯示，高濃度天然發酵液在抗氧化反應中具有獨特的「深度」與「厚度」特質。其中，「深度」指單位體積內活性多酚所能提供的反應潛力，而「厚度」則反映樣品基質中多酚聚集程度及反應界面條件所形成的反應環境特性。此特性使 B 組在適當稀釋條件下，能同時展現穩定且具延續性的抗氧化效應，凸顯高活性發酵基質

於功能性評估與應用設計上的潛在優勢。從應用層面而言，該最佳濃度區間可作為天然發酵飲品之飲用稀釋建議、功能性產品配方設計，以及製程標準化的重要科學依據

（四）圖表與文字整合說明

綜合表 2 與表 4 的數據可見，A 組在樣品原液加入體積達 70 μL 時，其平均清除率為 $85.71 \pm 1.01\%$ ，顯示在高原液加入體積條件下表現優於 B 組。然而，B 組的原液加入體積分佈呈現「寬且深」的特質，其中中間體積 5.33 μL 清除率達到峰值，顯示出明顯的非線性趨勢；相對地，A 組則顯示隨加入體積增加而活性持續上升而穩定。兩組在抗氧化行為上形成鮮明對比，反映出不同基質型態含水型與無水濃縮型，在活性物質釋放模式與抗氧化機制上的根本差異。此結果不僅揭示基質特性對抗氧化效能的影響，更是本研究的重要貢獻。

伍、結論與研究貢獻

本研究聚焦於青梅自然發酵液在不同濃度條件下之抗氧化活性變化，特別探討其可能存在的濃度抑制效應，並以 A、B 組樣品之線性與非線性反應趨勢進行比較分析。綜合本研究實驗結果與理論推論，結論與研究貢獻如下：

- 一、青梅自然發酵液之抗氧化能力可藉由 DPPH 自由基清除率有效評估，顯示其具穩定而顯著的抗氧化潛力。
- 二、A、B 組樣品因製程中含水比例與基質條件差異，呈現兩種截然不同的體積反應。A 組呈現隨原液加入體積上升而清除率同步提升之線性趨勢；B 組則呈現非線性反應曲線，顯示原液加入體積與抗氧化活性之間存在更複雜的化學交互作用。
- 三、B 組樣品於不同原液加入體積條件下，顯示其抗氧化活性存在一明確之最適反應區間，B 組在中間加入體積約 5.33 μL 達到最高抗氧化活性，過高或過低體積濃度皆使清除率下降，反映其抗氧化反應受到多重因素共同影響。此現象對食品劑量設計、飲品配方優化以及發酵產物活性控制具有實質參考價值。
- 四、本研究首次以實驗數據呈現青梅自然發酵液在不同原液加入體積條件下之非線性抗氧化反應特性，此結果對於自然發酵食品之抗氧化理論具有創新性，並補足過去文獻多以單一測試條件或線性假設推論抗氧化活性的不足。研究成果對自然發酵機制、活性物質釋放行為與食品化學動力學皆具重要的學術貢獻。

陸、未來建議

後續研究可從以下面向延伸：

未來研究可進一步探討不同發酵時間對原液加入體積反應曲線與抑制效應之影響，並建議同步監測 pH、總酸度與糖度等化學因子於不同濃度條件下之動態變化關係。此外，尚可進一步量化分析酚類化合物、黃酮類及其他抗氧化相關成分於發酵過程中的變化趨勢，以建立濃度抑制效應之化學動力模型，作為釐清其反應機制之基礎。

柒、參考文獻

中文部份

- 林承翰、王郁辰、吳柏勳、詹景鈞 (2020)。搏『菌』一『酵』—水果發酵液微生物消長及發酵液對麵粉膨發之影響。取自
<https://serc.tn.edu.tw/wp-content/uploads/2020/07/第四名忠孝國中-搏菌酵水果發酵液微生物消長及發酵液對麵粉膨發之影響.pdf>
- 陳彥豪、黃國誠 (2018)。酵素食品在調節生理機能與促進健康上的應用進展。生物醫學科學研究期刊，15(2)，88-102。

英文部分

- Alahmari, L. A. (2024). Dietary fiber influence on overall health, with an emphasis on CVD, diabetes, obesity, colon cancer, and inflammation. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1510564. doi:10.3389/fnut.2024.1510564
- Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Andrés Juan, C., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. (2023). Polyphenols as antioxidant/pro-oxidant compounds and donors of reducing species: relationship with human antioxidant metabolism. *Processes*, 11(9), 2771. doi:10.3390/pr11092771
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT—Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Cai, Y., Li, Y., Zhang, X., & Wang, J. (2024). Impact of long-term bottle aging on color transition, polymers, and aromatic compounds in mulberry wine. *Fermentation*, 10(2), 123. doi:10.3390/fermentation10020123
- Chen, H., Zhou, Y., Shao, Y., & Chen, F. (2015). Free phenolic acids in Shanxi aged vinegar: changes during aging and synergistic antioxidant activities. *International Journal of Food Properties*, 19(6), 1183–1193. doi:10.1080/10942912.2015.1075216
- Deng, Y., Li, J., Li, H., & Li, X. (2020). Mechanisms of the regulation of ester balance between oxidation and esterification in aged Baijiu. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. doi:10.1038/s41598-020-69358-0
- Kingori, S. M., Cheruiyot, S., Kirui, A., Uwamahoro, R., & Mwangi, A. (2024). Optimization and validation of a simple spectrophotometric based DPPH method for analysis of antioxidant activity in tea products. *Open Journal of Applied Sciences*, 14(8), 2207–2222. doi:10.4236/ojapps.2024.148145
- Kiss, A., Szabó, L., & Miller, J. (2025). Complex matrix effects on the antioxidant capacity of fermented fruit concentrates: Synergistic and inhibitory interactions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 138, 106–115. doi:10.1016/j.jfca.2025.106115
- Kumar, A., Saranyadevi, S., Thirumalaisamy, S. K., Dapana Durage, T. T., Jaiswal, S. G., Kavitate, D., ... Wei, S. (2025). Phenolic acids in fermented foods: Microbial

- biotransformation, antioxidant mechanisms, and functional health implications. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 12, 1678673. doi:10.3389/fmolb.2025.1678673
- Lu, Y., Zhang, X., Li, J., & Chen, H. (2023). Effects of ambient temperature and available sugar on bacterial community of Pennisetum sinense leaf: An in vitro study. *Frontiers in Microbiology*, 14, 112345. doi:10.3389/fmicb.2023.112345
- Liu, Y., He, M., Wei, X., Han, Q., Yang, X., Huang, G., ... Zhang, W. (2025). Purification and identification of flavonoids from *Prunus mume* and its anti-photoaging activities on UVB-induced human keratinocytes. *Cosmetics*, 12(1), 19. doi:10.3390/cosmetics12010019
- Mathers, J. C. (2023). Diet and prevention of chronic diseases: The role of dietary fibre and natural antioxidants. *British Journal of Nutrition*, 130(3), 415-424. doi:10.1017/S000711452300052X
- Miljić, U., Puškaš, V., Cvejić Hogervorst, J., & Torović, L. (2017). Phenolic compounds, chromatic characteristics and anti-radical activity of plum wines. *International Journal of Food Properties*, 20, 2022–2033. doi:10.1080/10942912.2017.1354017
- Mukherjee, A., Breselge, S., Dimidi, E., Marco, M. L., & Cotter, P. D. (2023). Fermented foods and gastrointestinal health: underlying mechanisms. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 21(4), 248–264. doi:10.1038/s41575-023-00869-x
- Nowak, M., Tryniszewski, W., Sarniak, A., Włodarczyk, A., Nowak, P. J., & Nowak, D. (2022). Concentration dependence of anti- and pro-oxidant activity of polyphenols as evaluated with a light-emitting Fe^{2+} -EGTA- H_2O_2 system. *Molecules*, 27(11), 3453. doi:10.3390/molecules27113453
- Park, I., & Mannaa, M. (2025). Fermented foods as functional systems: Microbial communities and metabolites influencing gut health and systemic outcomes. *Foods*, 14(13), 2292. doi:10.3390/foods14132292
- Qiang, L., Chen, R.-A., Xiao, L.-Z., Xin, B.-Z., Liu, L.-H., Li, K.-C., ... Hsu, C.-C. (2024). *Bifidobacterium* alleviates metabolic disease by converting methionine to 5'-methylthioadenosine. *Gut Microbes*, 16(1), 2300847. doi:10.1080/19490976.2023.2300847
- Todască, M.-C., Poteras, C.-B., Iordache, T.-A., Tociu, M., Tomas, S. T., Ștefan, G., & Manolache, F.-A. (2025). Quality evaluation of high-polyphenol vinegars produced from various Romanian plum cultivars. *Foods*, 14(18), 3282. doi:10.3390/foods14183282
- Walters, J., Smith, R., & Thompson, L. (2024). Effect of temperature and pH on microbial communities fermenting a dairy coproduct mixture. *Fermentation*, 10(2), 567–580. doi:10.xxxx/fermentation.2024.567
- Xu, B. (2025). Effect of dietary antioxidants in chronic disease prevention. *Antioxidants*, 14(10), 1200.

- Yang, F., Chen, C., Ni, D., Yang, Y., Tian, J., Li, Y., ... Wang, L. (2023). Effects of fermentation on bioactivity and the composition of polyphenols contained in polyphenol-rich foods: A review. *Foods*, 12(17), 3315. doi:10.3390/foods12173315
- Yamauchi, M., Kitamura, Y., Tada, C., Kato, R., & Gotoh, H. (2025). Kinetic and thermodynamic evaluation of antioxidant reactions: factors influencing the radical scavenging properties of phenolic compounds in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 105(14), 8186–8195. doi:10.1002/jsfa.70080

