

分类号: Q94
学号: 20222106065

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



无花果叶片中酚类化合物的提取 及抑菌效果的研究

学位申请人	贾晨
指导教师	闫洁 教授
申请学位类别	专业硕士
专业名称	生物与医药
研究领域	生物工程与技术
所在学院	生命科学学院

中国·新疆·石河子
2025年6月

分类号: Q94
学号: 20222106065

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



无花果叶片中酚类化合物的提取 及抑菌效果的研究

学位申请人	贾晨
指导教师	闫洁 教授
申请学位类别	专业硕士
专业名称	生物与医药
研究领域	生物工程与技术
所在学院	生命科学学院

中国·新疆·石河子

2025年6月

**Study on the Extraction and Antibacterial Effect of Phenolic
Compounds from Fig Leaves**

A Dissertation Submitted to
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering

By

(Biological engineering and technology)

Dissertation Supervisor: Jie Yan

June, 2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：



时间：2025年5月24日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：



时间：2025年5月24日

导师签名：



时间：2025年5月24日

摘要

目的:

无花果 (*Ficus carica* L.), 又名映日果, 桑科落叶灌木, 枝干粗壮, 叶片宽大茂密, 其叶片中存在多种活性物质, 内含的酚类化合物具有良好的抑菌活性, 其提取物溶液可以作为良好的植物源抗菌防腐剂与抗氧化剂。本实验旨在探究不同品种无花果叶片中酚类化合物的最优提取参数, 测定无花果叶片中酚类化合物的种类和含量, 不同时期、不同品种无花果叶片的抗氧化活性能力以及探究无花果叶片提取物的抑菌效果。

方法:

本实验主要以“金早”、“加州黑”、“白亚”、“波尔多”、“青皮”、“美利亚”等品种无花果叶片作为主要研究对象; 选择 6-10 月份的无花果叶片为实验材料; 通过单因素实验结果分析结合正交实验获得不同品种无花果叶片酚类化合物的最优提取参数; 采用超高效液相色谱串联质谱法 (UHPLC-QE) 检测不同品种无花果叶片中酚类化合物的种类及含量; 通过 DPPH 自由基清除率、ABTS 抗氧化活性能力、Fe³⁺总还原能力等指标来测定不同时期、不同品种无花果叶片提取物的抗氧化活性能力; 采用滤纸片扩散法, 通过测量抑菌圈直径的大小, 探究无花果叶片提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌与枯草芽孢杆菌的抑菌效果。为进一步探究无花果叶片提取物溶液的抑菌稳定性, 本实验采用不同处理时间、不同浓度、不同温度、不同 PH 值、不同紫外照射时间、不同储藏时间、不同品种的无花果叶片提取物检测其对三种供试菌的抑菌效果。

结果:

1. 通过单因素实验结果结合正交实验, 可得不同品种无花果叶片中酚类化合物的最优提取参数, 结果显示: “金早” 料液比 1: 7.5 (g/ml)、乙醇体积分数 50%、提取时间为 55min、提取温度为 60℃; “加州黑” 料液比 1: 10 (g/ml)、乙醇体积分数 40%、提取时间为 45min、提取温度为 50℃; “白亚” 料液比 1: 7.5 (g/ml)、乙醇体积分数 50%、提取时间为 45min、提取温度为 55℃; “波尔多” 料液比 1: 7.5 (g/ml)、乙醇体积分数 50%、提取时间为 55min、提取温度为 45℃; “青皮” 料液比 1: 7.5 (g/ml)、乙醇体积分数 40%、提取时间为 50min、提取温度为 50℃; “美利亚” 料液比 1: 7.5 (g/ml)、提取溶剂浓度为体积分数 40% 的乙醇、提取时间为 55min、提取温度为 55℃。其中料液比对酚类化合物的提取有显著性影响。根据以上条件制备不同时期、不同品种无花果叶片提取物溶液, 得到“白亚”和“青皮”无花果叶片内酚类化合物含量在 10 月份达到最高, 分别为 1.781mg/g 和 1.705mg/g; “金早”、“美利亚”和“波尔多”无花果叶片内酚类化合物含量在 9 月份达到最高, 分别为 1.648mg/g、1.743mg/g 和 1.648mg/g; “加州黑”无花果叶片内酚类化合物的含量在 8 月份最高, 为 1.418mg/g。

2.通过超高效液相色谱串联质谱法探究无花果叶片提取物中的活性成分，检测结果提取物中含有 30 种酚类化合物，其中咖啡酸、儿茶素、杜荆素、槲皮素-3-O-葡萄糖苷、苯甲酸、山奈酚-3-O-葡萄糖苷的含量较高，与总酚含量之间呈正相关关系。不同品种无花果叶片中酚类化合物的含量各不相同。

3.通过测定不同时期、不同品种无花果叶片提取物溶液的 DPPH 自由基清除率，ABTS 抗氧化活性能力、 Fe^{3+} 总还原能力判断其抗氧化活性能力，并计算不同品种无花果叶片提取物的综合抗氧化能力。结果显示，无花果叶片提取物有较强的抗氧化活性能力，其抗氧化能力较强的时期主要集中在 8-10 月份，这与叶片体内酚类化合物的含量变化呈正相关关系，且不同品种无花果叶片抗氧化能力也互不相同，综合抗氧化能力为：“白亚”>“美利亚”>“青皮”>“波尔多”>“金早”>“加州黑”。综合抗氧化能力最强的“白亚”DPPH 自由基清除为 53.6%，ABTS 抗氧化活性能力为 5.14mmol/g， Fe^{3+} 总还原能力为 5.68mmol/g，在 10 月份抗氧化能力最强。

4.无花果叶片提取物具有抑制细菌生长的作用，对大肠杆菌的最小抑菌浓度为 1265.3ug/mL、金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 344.4ug/mL、枯草芽孢杆菌的最小抑菌浓度为 172.3ug/mL；不含提取液培养基的供试菌于 6-8h 期间呈现明显增长趋势，含有提取液的培养基中供试菌的生长情况基本不变，证明在细菌生长过程中提取物稳定发挥抑菌作用；提取物分别经过不同的温度、PH 值、紫外照射时间、储藏时间、品种等多因素处理后，采用滤纸片扩散法，测量抑菌圈直径，可以发现其对三种供试菌均有抑菌效果，且对枯草芽孢杆菌的抑菌作用最为显著，但不同紫外照射时间对三种供试菌的抑菌作用均无明显差距。

结论：

不同品种无花果叶片中酚类化合物的最优提取参数不同，含量最高的时期主要集中在 8-10 月份，这与叶片的生长进程相关。提取物中含有种类丰富的酚类化合物，含量也各不相同。无花果叶片提取物具有良好的抗氧化活性能力及抑菌效果。结果证明，无花果叶片提取物可用于研发植物源抗氧化剂和杀菌消毒剂，本研究对无花果叶片的高效利用提供了一定的技术支持和实验基础。

关键词：无花果叶片；酚类化合物；提取工艺优化；抗氧化活性；抑菌效果

Abstract

Purpose:

Fig, also known as Yingri fruit, is a deciduous shrub in the mulberry family. Its branches are thick and thick, and its leaves are broad and dense. There are various active substances in its leaves, including phenolic compounds that have good antibacterial activity. Its extract solution can be used as a good plant-based antibacterial preservative and antioxidant. The aim of this experiment is to explore the optimal extraction parameters for phenolic compounds in fig leaves of different varieties, determine the types and contents of phenolic compounds in fig leaves, evaluate the antioxidant activity of fig leaves at different stages and varieties, and investigate the antibacterial effect of fig leaf extracts.

Method:

This experiment mainly focuses on the leaves of fig varieties such as "Jin Zao", "California Black", "Baiya", "Bordeaux", "Qing Pi", and "Melia"; Select fig leaves from June to October as experimental materials; By analyzing the results of single factor experiments and combining them with orthogonal experiments, the optimal extraction parameters for phenolic compounds from different varieties of fig leaves were obtained; Using ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (UHPLC-QE) to detect phenolic compounds in fig leaves of different varieties; The antioxidant activity of fig leaf extracts from different periods and varieties was determined by indicators such as DPPH radical scavenging rate, ABTS radical scavenging ability, and Fe³⁺-total reducing ability; Using the filter paper diffusion method, the antibacterial effect of fig leaf extract on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Bacillus subtilis* was investigated by measuring the diameter of the antibacterial zone. To further investigate the antibacterial stability of fig leaf extract solution, this experiment used fig leaf extracts of different treatment times, concentrations, temperatures, pH values, UV irradiation times, storage times, and varieties to test their antibacterial effects on the three tested bacteria.

Result:

1. By combining single factor experiments with orthogonal experiments, the optimal extraction parameters for phenolic compounds in fig leaves of different varieties can be obtained. The results show that the "Jin Zao" material to liquid ratio is 1:7.5 (g/ml), ethanol volume fraction is 50%, extraction time is 55 minutes, and extraction temperature is 60 °C; California Black "material to liquid ratio of 1:10 (g/ml), ethanol volume fraction of 40%, extraction time of 45 minutes, and extraction temperature of 50 °C; The material to liquid ratio of "Baiya" is 1:7.5 (g/ml), the volume fraction of ethanol is 50%, the extraction time

is 45 minutes, and the extraction temperature is 55 °C; Bordeaux "material to liquid ratio of 1:7.5 (g/ml), ethanol volume fraction of 50%, extraction time of 55 minutes, and extraction temperature of 45 °C; The ratio of "Qing Pi" material to liquid is 1:7.5 (g/ml), the volume fraction of ethanol is 40%, the extraction time is 50 minutes, and the extraction temperature is 50 °C; The "Melia" material to liquid ratio is 1:7.5 (g/ml), the extraction solvent concentration is 40% ethanol by volume, the extraction time is 55 minutes, and the extraction temperature is 55 °C. According to the above conditions, extract solutions of fig leaves from different periods and varieties were prepared, and it was found that the content of phenolic compounds in "Baiya" and "Qing Pi" fig leaves reached its highest in October, at 1.781mg/g and 1.705mg/g, respectively; The content of phenolic compounds in fig leaves of "Jin Zao", "Melia", and "Bordeaux" reached its highest level in September, at 1.648mg/g, 1.743mg/g, and 1.648mg/g, respectively; The content of phenolic compounds in the leaves of California black figs was highest in August, at 1.418mg/g.

2. The active ingredients in fig leaf extract were investigated by ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. The detection results showed that the extract contained 30 phenolic compounds, among which caffeic acid, catechins, quercetin 3-O-glucoside, benzoic acid, and kaempferol-3-O-glucoside had higher contents. The content of phenolic compounds in fig leaves of different varieties varied.

3. By measuring the DPPH free radical scavenging rate, ABTS antioxidant activity, and Fe³⁺total reduction ability of fig leaf extract solutions from different periods and varieties, the antioxidant activity ability was determined, and the comprehensive antioxidant capacity of fig leaf extracts from different varieties was calculated. The results showed that the extract of fig leaves had strong antioxidant activity, and the period of strong antioxidant activity was mainly concentrated from August to October. This was positively correlated with the changes in the content of phenolic compounds in the leaves, and the antioxidant capacity of fig leaves from different varieties also varied. The comprehensive antioxidant capacity was: "Baiya">"Melia">"Qing Pi">"Bordeaux">"Jin Zao">"California Black". The strongest comprehensive antioxidant capacity of "Baiya" DPPH free radical scavenging is 53.6%, ABTS antioxidant capacity is 5.14mmol/g, and Fe³⁺total reduction capacity is 5.68mmol/g, with the most obvious antioxidant capacity in October.

4. Fig leaf extract has the effect of inhibiting bacterial growth, with a minimum inhibitory concentration of 1265.3ug/mL for Escherichia coli, 344.4ug/mL for Staphylococcus aureus, and 172.3ug/mL for Bacillus subtilis; The test bacteria without extraction medium showed a significant growth trend during 6-8 hours, while the growth of the test bacteria in the medium containing extraction medium remained basically unchanged, indicating that the extract stably exerted antibacterial effects during bacterial growth; After being treated with various factors such as temperature, pH value, UV irradiation time, storage time, and variety, the extract was subjected to filter paper diffusion method to measure the diameter of the antibacterial zone. It

was found that it had antibacterial effects on all three tested bacteria, and the antibacterial effect on *Bacillus subtilis* was the most significant. However, there was no significant difference in the antibacterial effect of different UV irradiation times on the three tested bacteria.

Conclusion:

The optimal extraction parameters for phenolic compounds in fig leaves of different varieties are different, and the period with the highest content is mainly concentrated from August to October, which is related to the growth process of the leaves. The extract contains a variety of phenolic compounds with varying concentrations, which significantly affect its antioxidant activity and antibacterial effect. The results showed that fig leaf extract can be used for the development of plant-based antioxidants and disinfectants. This study provides certain technical support and experimental basis for the efficient utilization of fig leaves.

Key words: Fig leaves; Polyphenolic compounds; Optimization of extraction process; Antioxidant activity; Antibacterial effect

目录

摘要.....	I
Abstract	III
第一章 绪论.....	1
1.1 无花果简介.....	1
1.2 无花果中的有效成分.....	2
1.2.1 多酚类.....	2
1.2.2 香豆素类.....	2
1.2.3 多糖类.....	2
1.2.4 黄酮类.....	3
1.2.5 挥发油类.....	3
1.2.6 其他成分.....	3
1.3 无花果中酚类化合物的提取方法.....	4
1.3.1 热水浸提法.....	4
1.3.2 有机溶剂提取法.....	4
1.3.3 酶解法.....	4
1.3.4 微波辅助提取法.....	5
1.3.5 超临界流体萃取法.....	5
1.3.6 超声波辅助提取法.....	5
1.4 酚类化合物的生物活性.....	6
1.4.1 抗肿瘤性.....	6
1.4.2 降血糖.....	6
1.4.3 抗氧化活性.....	7
1.4.4 抑菌作用.....	7
1.4.5 其他作用.....	8
1.5 本研究的的意义及主要内容.....	8
1.5.1 目的及意义.....	8
1.5.2 主要内容.....	9
1.5.3 技术路线图.....	10
第二章 无花果叶片中酚类化合物的提取及工艺的优化.....	11

2.1	引言	11
2.2	实验材料与设备	12
2.2.1	实验材料及样品的处理	12
2.2.2	实验试剂与设备	12
2.3	实验方法	13
2.3.1	标准曲线的建立	13
2.3.2	无花果叶片提取物溶液的制备	13
2.3.3	单因素实验	13
2.3.4	超声波辅助提取法工艺优化	14
2.3.5	不同时期、不同品种无花果叶片中酚类化合物的含量	16
2.3.6	数据分析	16
2.4	结果与分析	16
2.4.1	标准曲线	16
2.4.2	料液比对提取无花果叶片中酚类化合物的影响	17
2.4.3	乙醇体积分数对提取无花果叶片中酚类化合物的影响	17
2.4.4	提取时间对提取无花果叶片中酚类化合物的影响	18
2.4.5	提取温度对提取无花果叶片中酚类化合物的影响	19
2.4.6	超声辅助提取工艺优化的分析	21
2.4.7	不同时期、不同品种无花果叶片提取物中酚类化合物的含量	25
2.5	讨论	26
第三章	无花果叶片提取物中酚类化合物的成分分析	28
3.1	引言	28
3.2	实验材料与设备	29
3.2.1	实验材料	29
3.2.2	实验试剂与设备	29
3.3	实验方法	30
3.3.1	无花果叶片提取物的制备	30
3.3.2	无花果叶片酚类化合物标准品溶液的配制	30
3.3.3	无花果叶片提取物的定性分析	30
3.3.4	无花果叶片提取物的定量分析	31
3.3.5	数据分析	31
3.4	结果与分析	31
3.4.1	标准曲线的确定	31
3.4.2	标准品出峰时间	32

3.4.3 无花果叶片提取物中酚类化合物成分分析	32
3.5 讨论	35
第四章 无花果叶片提取物抗氧化活性的研究	36
4.1 引言	36
4.2 实验材料与设备	36
4.2.1 实验材料	36
4.2.2 实验试剂与设备	36
4.3 实验方法	37
4.3.1 无花果叶片提取物溶液的制备	37
4.3.2 体外抗氧化活性能力的测定	37
4.3.3 不同品种无花果叶片综合抗氧化活性能力的测定	39
4.3.4 数据分析	39
4.4 结果与分析	39
4.4.1 不同时期、不同品种无花果叶片提取物 DPPH 自由基清除率	39
4.4.2 不同时期、不同品种无花果叶片提取物 ABTS 抗氧化活性能力	40
4.4.3 不同时期、不同品种无花果叶片提取物 Fe ³⁺ 总还原能力	41
4.4.3 不同品种无花果叶片提取物综合抗氧化活性能力	42
4.5 讨论	43
第五章 无花果叶片提取物抑菌效果的研究	44
5.1 引言	44
5.2 实验材料与设备	44
5.2.1 实验材料	44
5.2.2 实验试剂与设备	44
5.3 实验方法	45
5.3.1 培养基的制备	45
5.3.2 无花果叶片提取物的制备	45
5.3.3 菌种活化以及菌液的配置	45
5.3.4 抑菌圈直径的测定	46
5.3.5 最小抑菌浓度的测定 (MIC)	46
5.3.6 无花果叶片提取溶液的抑菌动力学	46
5.3.7 数据分析	47
5.4 结果与分析	47
5.4.1 最小抑菌浓度 (MIC) 的确定	47
5.4.2 无花果叶片提取物溶液抑菌稳定性的研究	49

5.5 讨论.....	56
第六章 结论与展望.....	58
6.1 结论.....	58
6.2 展望.....	59
参考文献.....	60
附录 A.....	73
1.酚类化合物的标准曲线线性回归方程.....	73
2.不同酚类化合物标准品超高效液相色谱图.....	75
3.不同品种无花果叶片中不同酚类化合物含量色谱图.....	76
附录 B.....	81
致谢.....	82
作者简介.....	83

第一章 绪论

1.1 无花果简介

无花果 (*Ficus carica* L.) 又称为映日果、蜜果、奶浆果等, 属于桑科榕属灌木, 多年落叶小乔木果树^[1], 植株体内含有白色胶乳。无花果花株细小, 藏匿于花托之中, 在果实体内跟着果实的生长, 外观只有果实, 又称为隐花果^[2]。无花果是一种温带植物, 原产于亚洲西南部及地中海地区, 大约在唐代由商人沿着丝绸之路引入我国新疆南部地区^[3]。自古就因为其果实含有丰富的营养价值, 得到推崇在世界各地广泛种植。目前国内有多个地区种植无花果, 主要种植地区在新疆、山东等地。无花果果实味道甘甜, 果肉肉质绵软, 果皮薄且果实内无果核, 果实散发有特殊香味^[4]。无花果中含有多种活性成分, 对人体有极高的营养价值和药用价值, 具有消肿消毒、润肺止咳, 健胃清肠等功效^[5]。《维吾尔药志》中记载: 无花果在成熟之前, 会分泌白色乳汁, 其活性成分中含有抗癌成分, 所得的乳汁具有抗击癌症、抗肿瘤等药理活性^[6]。无花果叶片和果实一样, 具有极高的营养价值。果实富含膳食纤维, 包括多种矿物质, 有助于促进肠道蠕动、保护心血管健康。自古以来无花果就是一味中药材, 《本草汇言》: “去湿热、解疮毒”^[7]。研究表明, 将新鲜的无花果叶片磨碎敷于关节处, 可用于治疗退行性关节炎^[8]; 无花果叶片用于熏蒸配合针灸治疗湿疹^[9, 10], 效果反应良好; 无花果叶片提取物用来治疗登革热病毒 1-4 型^[11]具有良好的效果。无花果叶片中含有多种功能性成分, 如多糖、类黄酮、多酚类和香豆素类化合物等化学成份^[12], 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、抗菌、提高免疫力等作用。

不同品种无花果果实颜色不同, 果实内含有的有效成分种类不同, 含量多少也不相同。Carlos S. H. Shiraish 等^[13]通过从五种无花果树品种 (Pasteliere-PA、Longue d'Aout-LA、Dauphinie-DA、Boujassote Noire-BN 和 Marseille-MA) 的叶子中制备了氢乙醇提取物, 测得葡萄糖、果糖和蔗糖是所有品种无花果叶片中的主要糖分, BN 中有机酸浓度为这五种无花果中最高, 且具有较高的抗氧化活性, DA 表现出较高的细胞毒性, 有良好的抑菌活性。无花果植株生长速度快, 无花果叶片形状宽大厚实, 长宽近相等, 方便采摘。不同品种的无花果叶片形态特征不相同, 阿卜杜拉·哈迪维-库布等^[14]通过对叶片的叶柄长度厚度、叶片长宽、果实形状宽度、中央叶长、裂片数量和叶形的分析, 发现果实和叶片中的有效物质的含量与果实大小与叶片大小的特征相关。

1.2 无花果中的有效成分

1.2.1 多酚类

酚类化合物在植物体内扮演着重要的角色，对植物的生长周期有着举足轻重的作用，其中酚类化合物是植物体内必不可少的二级代谢产物。酚类化合物是根据苯环和多个羟基连接的化合物总称，不同的酚类化合物化学结构各不相同，可以将其分为水解丹宁、间苯三酚单宁以及缩合单宁^[12, 15]。植物体内的酚类化合物和黄酮类化合物含量较高。无花果中含有丰富的酚类化合物，主要包括没食子酸、咖啡酸、儿茶素、原花青素、表儿茶素、槲皮素及其衍生物等^[16]。近年来有多项研究表明，绿原酸在治疗高血糖、高脂肪、肿瘤等疾病有很好的效果^[17]。没食子酸在治疗鼻咽癌肿瘤有明显的抑制作^[18]、提高胰岛素的敏感性^[19]。酚类化合物具有较强的抗氧化活性，具有降低生物体内自由基含量的能力，崔鏊等发现天浆壳中提取的酚类化合物清除 DPPH 自由基的能力与 VC 作用效果相似^[20]。酚羟基还可以发生多种化学反应，包括酰化、醚化等，并且可以与金属离子发生螯合作用^[21]。

1.2.2 香豆素类

香豆素类化合物属于一种羟基等取代基在母环上的内酯型化合物，通常具有显著的芳香特征，一般以游离态或成苷形式广泛存在于植物体内^[22]。香豆素类物质根据结构分化，大致可以分为简单香豆素、呋喃香豆素和其他香豆素等，是中草药中重要的活性成分之一。无花果果实和叶片中均含有香豆素类化合物，其中常见化合物包括补骨脂素、佛手柑内酯、伞形花内脂和氧化前胡素等^[23]。天然香豆素有保护心脏的作用，还可以预防治疗骨质疏松^[24]。香豆素类化合物具有抗毒、抗炎、抗氧化的药理活性^[25]。补骨脂素还可以用来治疗皮肤疾病，例如牛皮癣、斑秃等^[26]。佛手柑内酯还可以消杀软体动物，如钉螺^[27]。

1.2.3 多糖类

多糖是无花果中含量较高的活性成分，其分子结构复杂，主要是通过糖苷将多个单糖连接到一起组成的高分子碳水化合物，主要有半乳糖、阿拉伯半乳聚糖、葡萄糖、甘露糖等组成^[28]。无花果果实和叶片中均含有丰富的多糖^[29]，在植物器官中均匀分布。多糖具有多种生物活性，如增强机体的免疫能力、抗肿瘤、抗癌、抗氧化以及降低血糖等作用。多糖具有增强免疫力的作用，其本身也可作为一种抗原，刺激机体得到相应的抗体。多糖能够缓解肿瘤诱导的白细胞减少现象，可以促进肝脏功能恢复并且增强骨髓造血干细胞的增殖，从而可以有效抑制肿瘤生长^[30]。邓丽佳等研究表明，“布兰瑞克”

品种的无花果叶片，可以对人体中胃癌细胞的增殖产生积极的抑制作用，抑制率达到46.67%^[31]。王洪伟等研究发现牛膝多糖在大鼠机体中可以显著提高大鼠超氧化物歧化酶（SOD）的活性，同时降低脂质过氧化产物丙二醛（MDA）的水平，从而增强大鼠抗氧化能力^[32]。

1.2.4 黄酮类

黄酮属于类黄酮化合物的一种，是植物体内次级代谢产物^[33]，其主要结构是由三个碳原子为与含有两个酚羟基的苯环相互连接的化合物，根据结构功能的不同，可以分为黄酮、黄烷酮和黄烷酮醇等^[34]。黄酮类化合物主要存在与植物体的根、茎、叶和果实中。无花果中常见的黄酮类化合物为槲皮素、芦丁等。黄酮类化合物具有抗肿瘤活性，主要是通过抑制正常细胞的生长、促进癌细胞加速死亡^[35]。芦丁具有保持机体血管壁的正常功能，维持血管弹性，防止动脉硬化^[36]。黄酮类化合物还有保肝功效，其中异甘草素、黄芪素等也有良好的功效^[37]。

1.2.5 挥发油类

植物挥发油是植物体内重要的次级代谢产物，包括芳香族化合物和萜类化合物^[38]。植物的根、茎、叶和果实等部位中可以发现丰富的挥发油物质。由于其挥发性较强，需要在密闭环境中储存。杜梦娇等^[39]采用亚临界流体萃取技术获得无花果提取物，采用气相色谱-质谱联用仪鉴定出无花果叶片中挥发油的成分包含29种化合物，其中己酸、天竺葵酸、补骨脂素、辛酸含量较高。不同品种的无花果叶片其挥发性成分也不相同。植物挥发油可以促进机体吸收营养物质，使体内血清免疫蛋白含量得到提高^[40]，也可以促进机体激活抗炎因子、提高抗氧化酶活性水平用来增强机体的免疫能力^[41]。

1.2.6 其他成分

无花果除了以上主要成分以外，还包括酯类、矿物质、维生素、类胡萝卜素、有机酸等。强立敏^[42]等提取青皮无花果中的脂肪酸中通过超临界CO₂的方法，采用GS-MS鉴定出20多种脂肪酸。无花果中含有多种矿物质，其中含量最高的是钾元素和钙元素^[43]，无花果中还含有丰富的维生素C和维生素E。无花果中含有丰富的有机酸，主要为苹果酸和柠檬酸，具有促进消化、软化血管的作用^[44]。