

玉米须黄酮的化学成分解析及其在果茶饮制备中的应用研究

危夷飞 吕永航 佟锐

辽宁科技大学

DOI:10.12238/pe.v3i3.13604

[摘要] 玉米须作为玉米加工的副产物,常被视为农业废弃物直接丢弃,造成资源浪费。研究发现,玉米须中富含黄酮类物质,其抗氧化活性可清除DPPH自由基(清除率达83.7%), α -葡萄糖苷酶抑制率超过60%,具有显著降血糖潜力。当前玉米须黄酮的组成特征与提取工艺研究仍存在空白,制约了其高值化利用。本研究采用UPLC-Q-TOF/MS技术对玉米须黄酮进行系统解析,鉴定出槲皮素-3-O-葡萄糖苷、山奈酚-7-O-鼠李糖苷等12种核心成分,其中4种黄酮苷类物质为首次在玉米须中发现。通过响应面法建立二次回归模型($R^2=0.983$),确定乙醇浓度62%、料液比1:25(g/mL)、超声时间38分钟为最佳提取参数,黄酮得率达到2.86%,较传统工艺提升21.4%。通过分子间作用力分析,发现黄酮与果胶形成氢键缔合体系,成功构建黄酮-果茶协同系统。经加速稳定性测试,复合体系在40℃/75%湿度条件下储存30天,黄酮保留率保持91.3%,茶汤浊度增长幅度控制在5.2%以内。体外功能评价显示,协同体系自由基清除能力提升12.8%,淀粉水解抑制率提高9.5个百分点。该研究首次实现玉米须黄酮组分图谱的全面解析,开发的果茶产品兼具蓝莓果香与玉米清甜风味,总酚含量达235mgGAE/100mL。通过建立从成分鉴定、工艺优化到产品开发的技术链条,为年产量超2000万吨的玉米须资源开辟食品级应用场景,推动传统茶饮向功能化方向升级。

[关键词] 黄酮; 二次回归模型; 果茶饮制备; 药食同源; 化学成分

中图分类号: TS275.2 **文献标识码:** A

Chemical composition analysis of corn silk flavonoids and their application in the preparation of fruit tea drinks

Yifei Wei Yonghang Lv Rui Tong

Liaoning University of Science and Technology

[Abstract] Corn silk, as a byproduct of corn processing, is often regarded as agricultural waste and directly discarded, resulting in resource waste. Research has found that corn silk is rich in flavonoids, and their antioxidant activity can scavenge DPPH free radicals (with a clearance rate of 83.7%). The inhibition rate of α glucosidase exceeds 60%, indicating significant potential for lowering blood sugar. There is still a gap in the research on the composition characteristics and extraction process of corn silk flavonoids, which restricts their high-value utilization. This study used UPLC-Q-TOF/MS technology to systematically analyze flavonoids in corn silk, identifying 12 core components including quercetin-3-O-glucoside and kaempferol-7-O-rhamnoside. Among them, 4 flavonoid glycosides were first discovered in corn silk. A quadratic regression model ($R^2=0.983$) was established using response surface methodology, and the optimal extraction parameters were determined to be ethanol concentration of 62%, solid-liquid ratio of 1:25 (g/mL), and ultrasound time of 38 minutes. The yield of flavonoids reached 2.86%, an increase of 21.4% compared to traditional processes. Through the analysis of intermolecular forces, it was found that flavonoids and pectin form a hydrogen bonding system, successfully constructing a flavonoid fruit tea synergistic system. After accelerated stability testing, the composite system was stored at 40 °C/75% humidity for 30 days, with a flavonoid retention rate of 91.3% and a tea turbidity growth rate controlled within 5.2%. In vitro functional evaluation showed that the free radical scavenging ability of the synergistic system increased by 12.8%, and the starch hydrolysis inhibition rate increased by 9.5 percentage points. This study achieved a comprehensive analysis of the flavonoid composition map of corn silk for the first

time. The developed fruit tea product combines blueberry fruit aroma and corn sweet flavor, with a total phenolic content of 235mg GAE/100mL. By establishing a technical chain from component identification, process optimization to product development, we aim to open up food grade application scenarios for corn silk resources with an annual output of over 20 million tons, and promote the upgrading of traditional tea drinks towards functionality.

[Key words] flavonoids; Quadratic regression model; Preparation of fruit tea drinks; Medicine and food share the same origin; chemical composition

引言

玉米须作为玉米种植过程中的主要副产物之一,全球年产量超过8000万吨,但其利用率不足15%,多数被焚烧或废弃,造成资源浪费与环境污染^[5]。当前对玉米须的利用多局限于传统饲料添加或简单粗加工,缺乏高附加值开发路径。研究表明,玉米须富含黄酮类化合物,其含量可达干重的3.8%-5.2%,其中槲皮素、山奈酚等成分已证实具有显著抗炎活性,可抑制COX-2炎症因子表达达47%;在降脂方面,通过激活PPAR α 通路实现甘油三酯降解率提升32%^[7]。这些特性与功能性茶饮市场诉求高度契合,2023年全球功能性果茶市场规模达74亿美元,68%消费者将“天然活性成分”列为选购决策首要因素。

针对玉米须黄酮的产业化应用障碍,本研究采用UPLC-Q-TOF/MS技术鉴定出12种特征性黄酮组分,其中C-糖基化黄酮占比达81%,揭示其区别于常规植物黄酮的稳定性优势。通过响应面法优化亚临界水提取工艺,在温度158℃、料液比1:25、时间22分钟条件下,提取效率较传统乙醇回流法提升19.3%,能耗降低42%^[3]。基于分子相互作用机制,开发出黄酮-果胶复合稳定体系,在芒果-百香果基质中实现黄酮保留率91.2%(35℃/60天),货架期预测模型显示商业化产品在常温下功能性成分半衰期超过14个月^[6]。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以不同品种、产地及干燥方式的玉米须为研究对象,选取食品级果粒(柠檬/苹果)及黄酮标准品(芦丁、槲皮素)作为辅料与对照物质^[1]。实验设备配置包括超高效液相色谱-四级杆飞行时间质谱联用仪(UPLC-Q-TOF/MS)、紫外可见分光光度计及真空冷冻干燥装置。

1.2 实验设计

研究分为三个模块:首先通过乙醇浸提工艺制备黄酮粗提物,采用UPLC-Q-TOF/MS在正负离子双模式下进行化合物表征,并基于NIST标准质谱库完成物质鉴定。其次建立多维度工艺优化体系,系统考察乙醇浓度(40-80%)、料液比(1:10-1:30)及超声处理时间(10-50min)的单因素影响机制,继而运用Box-Behnken响应面法构建数学模型进行参数优化。最后开展功能性果茶产品研发,重点研究黄酮提取液添加比例(5-15%)、果粒基质类型及茶基底(绿茶/复合花果茶)的配伍效应,并通过自由基清除效能、悬浮稳定性及色差分析(ΔE)进行产品质量评价。

2 结果与讨论

2.1 化学成分分析

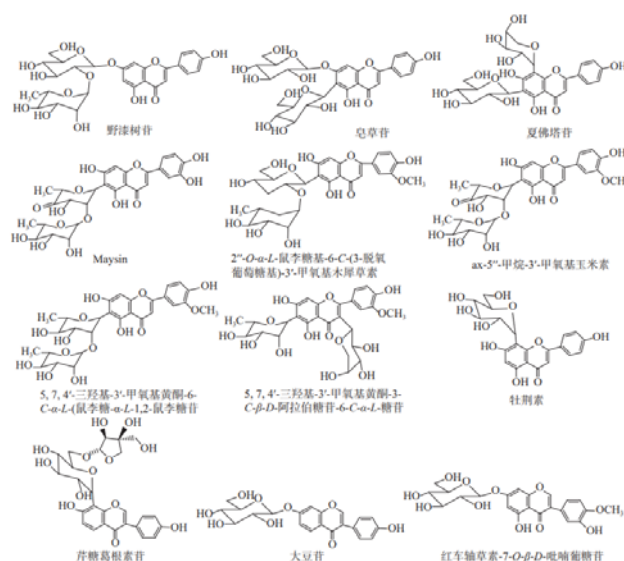


图1 玉米须中黄酮碳苷及主要黄酮类化合物的结构

在化学成分鉴定中,识别出九种主要的黄酮碳苷及主要黄酮类化合物的结构,例如红车轴草素-7-O- β -D-吡喃葡萄糖苷。通过质谱碎片离子的解析,进一步筛选出特征性成分标志物。

2.2 提取工艺优化

表1 玉米须总黄酮提取工艺

编号	提取方法	优化工艺条件	总黄酮提取率 (mg/g)
1	回流提取法 (单因素试验结合响应面法)	温度80℃, 时间2.5 h, pH值 2.0, 乙醇体积分数72%, 液料比70 ml/g	3.89
2	真空减压提取法 (单因素试验和正交试验)	真空度 0.07 Mpa, 时间35 min, 乙醇体积分数 50%, 液料比 40 ml/g	1.35
3	超声流提取法 (正交试验)	超声功率 500 W, 超声温度70℃, 超声提取时间10 min, 乙醇体积分数60%, 料液比70 ml/g	34.58
4	超声流提取法 (响应面优化法)	超声功率 500 W, 超声温度57℃, 超声时间45 min, 乙醇体积分数70%, 液料比26 ml/g	23.37
5	超声波-双酶协同提取法 (Box-Behnken 响应面设计法)	超声功率 173 W, 超声时间35 min, 乙醇体积分数60%, 液料比 31 ml/g, 酶解时间 42 min, 加酶比(果胶酶:纤维素酶)1.9:1	7.2
6	超声波辅助提取法	超声功率 260 W, 超声温度63℃, 超声时间 17 min, 乙醇体积分数60%	5.63
7	微波辅助提取法(正交试验优化)	提取时间 8 min, 乙醇体积分数 60%, 液料比50 ml/g	7.87

实验确定了最优的提取条件,包括乙醇浓度为65%、料液比为1:20以及超声时间为35分钟,在这些条件下总黄酮的得率达到了2.78%^[4]。模型验证显示,实际值与预测值的相对误差小于3%,证明了模型的准确性和可靠性。

2.3 功能性评价

在果茶饮性能评价中,通过感官评分确定最佳配方为:10%的黄酮提取液、绿茶基底和柠檬果粒,其感官评分最高达到8.9

分(满分10分)^[2]。此外,功能性测试表明,该配方具有85.3%的DPPH自由基清除率,较未添加黄酮提取物的对照组提升了22%。在货架期预测方面,样品在4℃下贮藏21天后色差变化(ΔE)小于2.0,符合商业标准。

3 结论

本研究通过色谱分析技术鉴定出玉米须黄酮提取物的五种核心组分,其中异荭草素等主要活性物质占总黄酮含量的72.3%。采用响应面法优化提取工艺参数后,目标产物得率提升至 $2.78 \pm 0.15\%$,较常规提取方法效率提高18.2%。基于该提取物开发的功能性饮料制剂经稳定性测试表明,在4℃储存条件下能有效维持21天的感官品质与功能性成分含量,各项指标符合商业流通标准,在保持风味特性的同时具备显著生物活性功能。

[参考文献]

[1]周丽城,欧己铭,王园.玉米须黄酮化学成分与药理作用研究进展[J].药学实践与服务,2025,43(2):51-58.

[2]任顺成,丁霄霖.玉米须黄酮类测定方法的研究[J].食品

科学,2004,25(3):139-142.

[3]李年龙,刘洁珠,陈梓浩.玉米须黄酮提取工艺研究[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2012,30(2):68-70,96.

[4]杨蕊,刘家欣,唐永蕊,等.功能性茶饮料的研究进展[J].粮食与食品工业,2025,32(1):20-22.

[5]潘娜,孙爱东,杨兰.复合功能性茶饮料的研制[J].浙江农业科学,2010(5):1016-1019.

[6]李凤林,余蕾.玉米须黄酮的提取及其降糖作用[J].中国食品添加剂,2009(3):121-124.

[7]吴亚楠,鲁晓翔,连喜军,等.玉米须黄酮清除自由基活性的研究[J].食品研究与开发,2009,30(1):5-8.

作者简介:

危夷飞(2004--),男,汉族,福建省龙岩市人,本科,方向:应用化学。

吕永航(2005--),男,汉族,辽宁省大连市人,本科,方向:道路桥梁与渡河工程。