

# 玉米须水提物的抗氧化及降尿酸活性

金丹莉<sup>1,2</sup>, 段文慧<sup>1,2</sup>, 朱郑裕<sup>1,2</sup>, 刘轩宇<sup>1,2</sup>, 付晶晶<sup>1,2</sup>, 陈跃文<sup>1,2\*</sup>

(1. 浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江杭州 310018)

(2. 浙江工商大学东海食品台州研究院, 浙江台州 318000)

**摘要:** 采用超声技术辅助提取玉米须水溶性成分, 测定玉米须水提物的 DPPH·、·OH 清除能力和还原力等抗氧化作用, 并通过小鼠实验, 分析小鼠体质量、血清尿酸 (Serum Uric Acid, SUA)、小鼠肾脏病理学观察, 研究玉米须水提取物对高尿酸血症小鼠的降尿酸作用。实验结果显示, 玉米须水提取物 (C3 组) 具有显著的 DPPH· (90.75%)、·OH 清除能力 (86.29%) 和还原力 ( $P<0.05$ ), 表明玉米须水提取物具有巨大的抗氧化潜力。通过连续 4 周灌胃玉米须水提取物, 高尿酸血症小鼠体质量得到改善、SUA 水平降低以及肾脏组织状态转好, 其中玉米须水提取物高剂量组 (High Corn Silk Water Extract Group, HCS) 小鼠 SUA 水平显著降低至 726.26  $\mu\text{mol/L}$  ( $P<0.05$ ), 脏器指数改善 (0.60%), 肾脏组织改善情况明显。因此, 玉米须水提取物具有较好的抗氧化和降尿酸活性, 具有开发成为预防氧化损伤、高尿酸血症食品的市场潜力。

**关键词:** 玉米须水提取物; 抗氧化; 降尿酸; 高尿酸血症; 保护肾脏

文章编号: 1673-9078(2023)07-16-23

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.7.1035

## Antioxidant and Uric Acid-lowering Activities of Corn Silk Water Extract

JIN Danli<sup>1,2</sup>, DUAN Wenhui<sup>1,2</sup>, ZHU Zhengyu<sup>1,2</sup>, LIU Xuanyu<sup>1,2</sup>, FU Jingjing<sup>1,2</sup>, CHEN Yuewen<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

(2. Donghai Food Research Institute (Taizhou), Zhejiang Gongshang University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** Ultrasound-assisted extraction (USE) was used to extract the water-soluble components of corn silk, and the resulting corn silk water extract (CSWE) was tested for DPPH· and OH· radical scavenging activities and subjected to reducing power evaluation. In addition, the uric acid-lowering effects of CSWE were investigated through mouse experiments, where the body weight, serum uric acid (SUA) levels, and kidney pathologies of the mice were observed. CSWE (C3 group) exhibited significant DPPH· and OH· activities (90.75% and 86.29%, respectively) and reducing power ( $P<0.05$ ), indicating that CSWE has immense antioxidative potential. Four weeks of gavage with CSWE decreased the body weight and SUA levels and improved the kidney tissue health of hyperuricemic mice. The high CSWE (HCS) group in particular, showed significant improvements in their SUA levels (decreased to 726.26  $\mu\text{mol/L}$ ,  $P<0.05$ ), organ indices (0.60%), and kidney tissue health. Therefore, CSWE has outstanding antioxidant and uric acid-lowering activities, and it could potentially be marketed as a functional food for preventing oxidative injury and hyperuricemia.

**Key words:** corn silk water extract; antioxidation; uric-acid lowering; hyperuricemia; renoprotective

引文格式:

金丹莉, 段文慧, 朱郑裕, 等. 玉米须水提物的抗氧化及降尿酸活性[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 16-23.

JIN Danli, DUAN Wenhui, ZHU Zhengyu, et al. Antioxidant and uric acid-lowering activities of corn silk water extract [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 16-23.

高尿酸血症是血清尿酸 (Serum Uric Acid, SUA) 超过正常水平为主要症状的一种疾病, 具体来说, 正

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 浙江省教育厅一般项目 (Y201942135); 浙江省自然科学基金 (LQ21C200004)

作者简介: 金丹莉 (1999-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工技术与理论方向, E-mail: 1209354543@qq.com

通讯作者: 陈跃文 (1985-), 男, 博士, 高级实验师, 研究方向: 食品加工技术与理论方向, E-mail: chenyw@zjgsu.edu.cn

常水平女性为 1.5~6.0 mg/dL, 男性为 2.5~7.0 mg/dL<sup>[1]</sup>。根据 Butler 等<sup>[2]</sup>的报告, 高尿酸血症患病率美国为 11.3%~47.0%, 欧洲为 11.9%~25.0%, 日本为 26.8%, 而中国患病率为 13.1%~13.3%, 高尿酸血症已经是全球公共卫生问题之一。高尿酸血症不仅是痛风的主要因素, 而且和很多疾病的发展相关, 例如慢性的肾病、心血管疾病等<sup>[1]</sup>。治疗高尿酸血症的方法大都是使用降尿酸药物, 但是很多药物都有不同程度的副作用, 例如肝炎、肾病、腹泻和皮疹等<sup>[3]</sup>。此外, 高尿酸血

症常伴有氧化应激反应,高水平的SUA会促进氧化,产生大量活性氧,抑制机体清除自由基的能力,诱发肾脏炎症和细胞凋亡等,进而可能导致慢性肾功能衰竭、高血压及其并发症和心血管疾病等重大疾病的发生<sup>[4]</sup>。氧化应激是导致肾损伤的关键因素,通常与抗氧化防御下调有关<sup>[5]</sup>。随着疾病的发展,氧化应激增加,与肾脏功能水平显著相关<sup>[6]</sup>,例如,肾脏病理损伤,血尿酸水平升高<sup>[7]</sup>。Ali等<sup>[8]</sup>发现姜黄素能够改善慢性肾病的肾功能和氧化应激。Su等<sup>[9]</sup>报道了刺参活性组分对氧酸钾诱导的大鼠高尿酸血症的降尿酸和肾脏保护作用。当人体摄入具有抗氧化活性的天然产物,体内可通过增强抗氧化的方式来延缓组织的氧化损伤<sup>[10]</sup>。

玉米须是细长又柔软的淡黄色、绿色或紫色的丝线状花柱和柱头,是玉米种植过程中可以被大量利用的副产品。在中国古代,玉米须就常以水煎或辅以猪肉的方式,用来预防和治疗糖尿病、水肿、膀胱炎和肥胖等各种疾病<sup>[11]</sup>。据报道,玉米须含有多种营养素和植物化学物质,包括蛋白质、膳食纤维、维生素(Vitamin C, Vc)、多糖、黄酮类、有机酸、皂苷、生物碱等<sup>[12]</sup>。很多研究都已经报道了玉米须具有多种生物学潜力,例如抗氧化、利尿和抗糖尿病活性等<sup>[13]</sup>。Jia等<sup>[14]</sup>通过比较热水辅助、酸辅助、碱辅助或超声辅助四种不同提取方式,发现热水或超声辅助提取的玉米须多糖DPPH·、ABTS<sup>+</sup>·和·OH清除能力强于酸或碱辅助的提取的玉米须多糖,这可能是因为热水或超声辅助提取的玉米须多糖分子量小,能够提供更多的羟基,从而发挥更强的供氢能力,表现出更优异的抗氧化活性。此外,有研究报道表明超声辅助提取法不需要任何额外的化学试剂,不破坏黄酮结构,被认为是一种很好的辅助提取方法<sup>[15]</sup>。目前,以玉米须为基础的茶和胶囊产品开始在市场上出现,号称具有降低血压和治愈尿路感染的健康功效<sup>[16]</sup>。近年来,大部分研究集中在玉米某一具体成分及其生物学评价,而对整株玉米须的生物学潜力的研究仍然较少。

次黄嘌呤是生成尿酸的前体物质,而氧嗉酸钾是尿酸酶抑制剂,能够抑制尿酸酶分解尿酸为尿囊素,因此,两者联合可以提高动物血清尿酸水平,诱导稳定的高尿酸血症动物模型<sup>[17]</sup>。本实验采用蒸馏水为溶剂结合超声波辅助提取玉米须水溶性成分,通过测定DPPH·、·OH清除能力和还原力评估玉米须水提物的抗氧化能力,采用尿酸酸钾和次黄嘌呤共同诱导高尿酸血症小鼠模型,通过测定体质量、血清尿酸、肾脏病理形态及脏器指数评估玉米须水提物的降尿酸作用,为整株玉米须作为低成本天然抗氧化剂和降尿酸来源的可能性提供理论依据,促进农业副产品的合理应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

玉米须,吉林凉水滩农牧业有限公司; C57BL/6 品种雄性小鼠(20 g),许可证号:SCXK(苏)2018-0008,江苏集萃药康生物科技股份有限公司;基础饲料(LAD0011),南通特洛菲饲料科技有限公司;尿酸试剂盒,南京建成生物工程研究所;使用的所有其他化学品均为分析级。

### 1.2 仪器与设备

超声清洗机,上海之信仪器有限公司;旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;2100型可见分光光度计,尤尼克(上海)仪器有限公司;TGL-16M冷冻离心机,湘仪离心机仪器有限公司;一次性使用采血针,苏州施莱医疗器械有限公司;EA-11尿酸测定仪、EA-11型尿酸试纸条,三诺生物传感股份有限公司;光学显微镜及成像系统,尼康映像仪器销售(中国)有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 玉米须水提物的制备

根据Jia等<sup>[14]</sup>的实验步骤,稍作修改。将处理干净的玉米须进行干燥直至恒重。取10.0 g玉米须按照1:50的质量比加入蒸馏水,置于超声清洗机中,超声温度50℃,超声功率360 W,提取时间2 h。为了充分提取,重复操作三次,收集滤液。利用旋转蒸发器浓缩滤液,然后进行冷冻干燥,制得玉米须水提物干粉,抽真空包装,4℃保存。使用时用蒸馏水溶解并配制成所需溶液。称5.0 g玉米须水提物干粉溶于100 mL蒸馏水制备玉米须水提物(0.05 g/mL),其余组别相同方法制备。玉米须水提物(0.05 g/mL)的总黄酮和总糖分别为60.12 mg/100 mL、2 054.57 mg/100 mL。

#### 1.3.2 玉米须水提物抗氧化功能活性的测定

##### 1.3.2.1 DPPH·清除能力的测定

按照夏其乐等<sup>[18]</sup>的方法,稍作修改,测定玉米须水提物对DPPH·的清除能力。预先配制以无水乙醇为溶剂的0.2 mmol/L DPPH·溶液。各吸取1 mL不同浓度的玉米须水提物溶液,加入4 mL配制好的DPPH·溶液,涡旋15 s。然后将反应液置于避光处,反应30 min。反应结束后,8 000 r/min离心5 min,在517 nm下测定吸光度。以等体积的无水乙醇调零。在《GB 15266-2009 运动饮料》中规定,在直接饮用产品中Vc不会超过0.12 mg/mL。因此,0.12 mg/mL的Vc溶液作为阳性对照组<sup>[19]</sup>。

按照以下计算公式, 计算玉米须水提取物对 DPPH·清除能力, 并绘制样品浓度与 DPPH·清除率的关系曲线。

$$C_1 = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$C_1$ —DPPH·清除率, %;

$A_1$ —样品溶液与 DPPH·溶液混合的吸光度值;

$A_2$ —样品溶液与无水乙醇溶液混合的吸光度值;

$A_3$ —无水乙醇与 DPPH·溶液混合的吸光度值。

### 1.3.2.2 ·OH 清除能力的测定

根据 Sharma 等<sup>[20]</sup>的实验方法并进行适当修改。分别吸取 1 mL 不同浓度的玉米须水提取物溶液于试管中, 依次加入 2 mL 6 mmol/L 的 FeSO<sub>4</sub>、2 mL 6 mmol/L 的水杨酸-乙醇溶液, 2 mL 6 mmol/L 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液, 涡旋 15 s 混合均匀。立即置于 37 °C 的水浴中保温反应 60 min。结束后, 8 000 r/min 离心 5 min, 在 510 nm 下测定吸光度。以等体积的去离子水调零。0.12 mg/mL 的 Vc 溶液作为阳性对照组。

按照以下计算公式, 计算玉米须水提取物对·OH 的清除能力, 并绘制样品浓度与·OH 基清除率的关系曲线。

$$C_2 = \left(1 - \frac{A_4 - A_5}{A_6}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$C_2$ —·OH 清除率, %;

$A_4$ —样品溶液混合的吸光度值;

$A_5$ —去离子水代替 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液混合的吸光度值;

$A_6$ —去离子水代替样品溶液混合的吸光度值。

### 1.3.2.3 还原力的测定

利用溶液的吸光度越高, 还原力越强, 反之越弱的原理判断还原力的强弱。根据 Wang 等<sup>[21]</sup>的实验方案稍作修改。各取 1 mL 不同浓度的玉米须水提取物溶液于试管中, 加入 2.5 mL 磷酸缓冲液 (0.2 mol/L, pH 值 6.6) 及 2.5 mL 1% (m/V) 铁氰化钾溶液。混合均匀后, 于 50 °C 水浴反应 20 min, 再加入 2.5 mL 10% (m/V) 三氯乙酸溶液, 室温 25 °C 反应 10 min。结束后, 8 000 r/min 离心 5 min。然后, 取上清液 2.5 mL, 加入 2.5 mL 蒸馏水及 0.5 mL 0.1% (m/V) 氯化铁溶液, 混合均匀, 8 000 r/min 离心 5 min, 在 700 nm 处测定吸光度。以等体积去离子水代替样品作为空白对照。0.12 mg/mL 的 Vc 溶液作为阳性对照组。

## 1.3.3 玉米须水提取物降尿酸活性的测定

### 1.3.3.1 动物饲养条件和分组

小鼠分组具体为正常对照组 (Normal Control Group, Control)、高尿酸血症模型组 (Hyperuricemia

Group, HUA)、玉米须水提取物低剂量组 300 mg/mL (Low Corn Silk Water Extract Group, LCS)、玉米须水提取物高剂量组 600 mg/mL (High Corn Silk Water Extract Group, HCS)。高尿酸血症造模成功后, 每日上午 9~10 时固定时间, LCS 组和 HCS 组小鼠分别灌胃 0.2 mL 的低、高剂量的玉米须水提取物, Control 组和 HUA 组分别灌胃等体积生理盐水, 连续灌胃 4 周。

### 1.3.3.2 高尿酸血症造模

根据 Yong 等<sup>[22]</sup>构建以氧嗪酸钾联合次黄嘌呤诱导高尿酸血症小鼠的实验方案, 稍作修改。8~10 周龄雄性 C57BL/6 小鼠共 28 只, 每组分两笼饲养。小鼠适应环境一周。实验周期中全部使用基础饲料。实验开始时, 小鼠禁水不禁食 16 h。除 Control 组外, 其他各组小鼠给予腹腔注射次黄嘌呤 (500 mg/kg) 和灌胃氧嗪酸钾 (300 mg/kg) 以构建高尿酸血症模型。造模 1 h 后, 测定 SUA 水平。若 HUA 组 SUA 水平稳定在 275 μmol/L 以上, 且与 Control 组相比, 存在显著性差异, 表明高尿酸血症模型小鼠 SUA 水平相对稳定, 造模成功, 且需每日一次造模以维持小鼠长时间高水平的 SUA。

### 1.3.3.3 小鼠体质量的测定

记录小鼠初始体质量、每周及处死前体质量。

### 1.3.3.4 小鼠血清尿酸的测定

小鼠禁食不禁水 16 h 后, 测定 SUA 水平。小鼠尾静脉采血并做好创口消毒工作, 采用尿酸测定仪及配套试纸条进行快速测定, 待 3 s 后读取显示屏的 SUA 值。

### 1.3.3.5 肾脏病理形态的观察及脏器指数的测定

参考 Xu 等<sup>[4]</sup>的实验方案, 稍作修改。小鼠脱颈处死, 取出肾脏组织, 用生理盐水清洗血迹, 用滤纸吸干水分, 称量质量。按照以下公式, 计算脏器指数。

$$R = \frac{m}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$R$ —脏器指数, %;

$m$ —脏器质量, g;

$m_0$ —体质量, g。

根据 Zhu 等<sup>[23]</sup>的方法, 进行了适当修改。将肾脏组织放入 10% (V/V) 中性甲醇溶液中固定 24 h, 将固定的肾脏标本石蜡包埋并组织切片, 切片用苏木精-伊红染色, 放于 200 倍和 400 倍视野拍照记录。

## 1.4 数据处理

使用 Origin 2021 绘制图形。数据以平均值±标准差表示。单因素方差分析用于确定统计显著性,

$P < 0.05$  表示具有统计学意义。

## 2 结果与讨论

### 2.1 玉米须水提物的抗氧化活性分析

#### 2.1.1 玉米须水提物的 DPPH·清除能力

抗氧化剂可以通过提供质子来清除含有非成对电子的 DPPH·<sup>[20]</sup>，因此，DPPH·清除能力可以反映抗氧化能力的强弱。玉米须水提物 DPPH·清除能力结果如图 1 所示。DPPH·清除率随着浓度的增加而提高，呈现出正相关现象。此外，玉米须水提物 C3 组的 DPPH·清除率在 90.75%。但是，Vc 组 (97.51%) 的 DPPH·清除率高于所有玉米须水提物组，表明玉米须水提物的 DPPH·清除能力比 Vc 弱。这与所报道研究结果类似，Al-Khayri 等<sup>[24]</sup>研究发现玉米须中含有香草酸和咖啡酸等多种酚酸物质，实验结果显示 0.2 mg/mL 玉米须提取物 DPPH·清除率为 7.04% 和 ABTS<sup>+</sup>清除率为 9.45% 的抗氧化活性特征。Liu 等<sup>[25]</sup>研究结果表明玉米须总酚类和总黄酮能够清除 DPPH·，因为它们的结构中存在羟基及其给电子能力。此外，任何一种提取方式（乙醇、石油醚、乙醚、丁醇和水）获得的玉米须馏分的 DPPH·的清除率均小于 Vc (51.18%)。

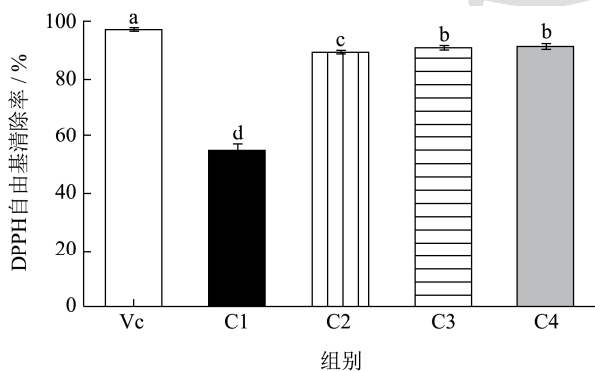


图 1 玉米须水提物的 DPPH·清除能力

Fig.1 Scavenging ability of corn silk water extract to DPPH free radical

注：Vc：抗坏血酸浓度为 0.12 mg/mL；C1：玉米须水提物 0.005 mg/mL；C2：玉米须水提物 0.025 mg/mL；C3：玉米须水提物 0.05 mg/mL；C4：玉米须水提物 0.15 mg/mL。图中不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。图 2、3 同。

#### 2.1.2 玉米须水提物的·OH 清除能力

羟基自由基是一种高活性的自由基，几乎可以和任何生物分子发生反应，并且能对相邻的分子也造成严重损害<sup>[19]</sup>。可经过测定水杨酸捕获·OH 所得到的产物来确定玉米须水提物的·OH 清除率，结果如图 2 所示。·OH 清除率随着浓度的增加而提高，呈现出正相

关现象，表明玉米须水提物具备·OH 清除能力。此外，玉米须水提物的·OH 清除率均高于对照 Vc 组 (9.70%)，特别是 C3 和 C4 组分别可达到 86.29% 和 97.59%，说明玉米须水提物的·OH 清除能力显著强于 Vc ( $P < 0.05$ )。这与其他研究人员结果一致。Chang 等<sup>[26]</sup>发现玉米丝的乙酸乙酯部分表现出双重抗氧化和抗糖化活性，其中 100 μg/mL 乙酸乙酯部分提供了 75% 的自由基抑制作用。玉米须多糖对羟基自由基、氧自由基等自由基具有清除作用，具有抗氧化活性<sup>[27]</sup>。

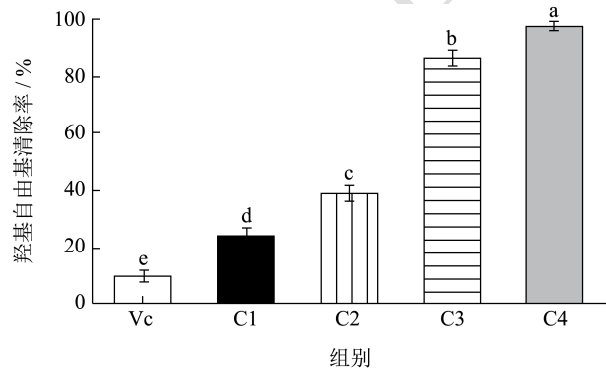


图 2 玉米须水提物·OH 的清除能力

Fig.2 Scavenging ability of corn silk water extract to hydroxyl free radical

#### 2.1.3 玉米须水提物的还原力

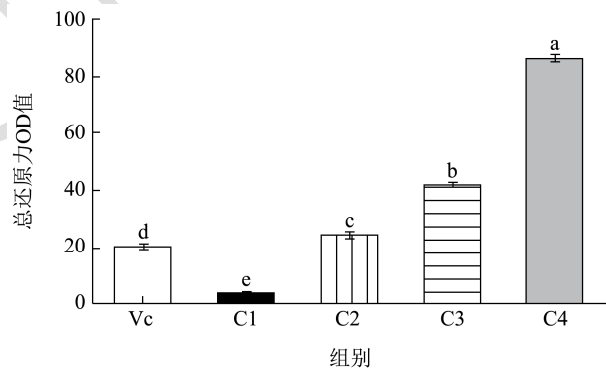


图 3 玉米须水提物的还原力

Fig.3 The reducing power of corn silk water extract

抗氧化能力和还原力一般存在正相关的关系，抗氧化剂通过自身的还原作用给出电子，自由基接受电子形成稳定的产物，从而阻断氧化过程的链式反应。体系中的 Fe<sup>3+</sup>还原成 Fe<sup>2+</sup>，给出的电子越多，产生的 Fe<sup>2+</sup>就越多，在 700 nm 处吸光度也就越大<sup>[25]</sup>。玉米须水提物的还原力测定结果，如图 3 所示。还原力随着浓度的增加而提高，呈现出正相关现象，表明玉米须水提物具有还原力。此外，玉米须水提物 C2、C3 和 C4 组的还原力均高于对照 Vc 组 (0.20)，特别是 C3 和 C4 组吸光度分别可达到 0.42 和 0.86，说明玉米须水提物的还原力明显强于 Vc ( $P < 0.05$ )。这可能是由于玉米须水提物具有多种抗氧化物质，例如，Wang

等<sup>[28]</sup>发现在玉米须中的黄酮类物质表现出了抗氧化活性,其中也显示了较弱的 Fe<sup>3+</sup>还原能力(IC<sub>50</sub>为0.15 μmol/L)。Zhang 等<sup>[29]</sup>研究发现玉米须多糖具有出色的体外和体内抗氧化潜力,对羟基自由基 IC<sub>50</sub>为918.20 mg/L 而且远高于 Vc,还原力能力随浓度增加而上升(80%以下),但是与 Vc 相比保持较低水平。

## 2.2 玉米须水提物的降尿酸活性分析

### 2.2.1 玉米须水提物对小鼠体质量的影响

小鼠体质量变化,由图4所示。通过玉米须水提物灌胃,小鼠体质量出现上升现象,但各组之间没有显著性差异。这与 Yang 等<sup>[30]</sup>的研究结果相似,玉米须多糖对小鼠体质量产生了有益作用,但无显著差异。实验结束时,HUA 组小鼠(24.41 g)体型较 Control 组小鼠(28.32 g)瘦小,表明次黄嘌呤和氧嗪酸钾诱导高尿酸血症对小鼠体质量有影响。同时,HCS 组小鼠为29.28 g,体质量上升至正常水平。这表明玉米须水提物能够减缓高尿酸血症导致体质量下降的趋势,维持正常小鼠体质量。

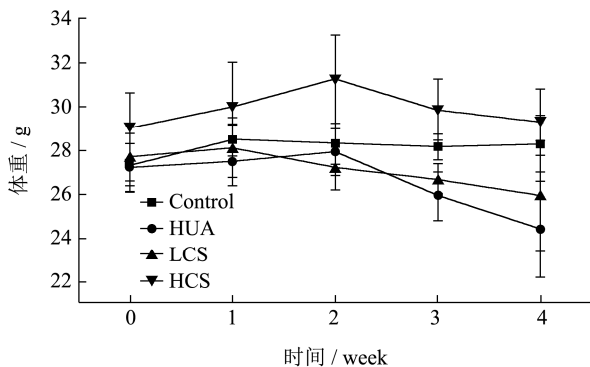


图4 玉米须水提物对小鼠体质量的影响

Fig.4 Effect of corn silk water extract on body weight of mice

注: Control 为正常对照组; HUA 为高尿酸血症模型组; LCS 为玉米须水提物低剂量组; HCS 为玉米须水提物高剂量组。

### 2.2.2 玉米须水提物对小鼠 SUA 水平的影响

人体嘌呤代谢包括嘌呤核苷酸通过一系列反应氧化生成次黄嘌呤和黄嘌呤,并通过关键酶黄嘌呤氧化酶的活性将黄嘌呤转化为尿酸,当出现异常上调时可能会导致高尿酸血症<sup>[22]</sup>。SUA 水平变化结果由图5所示。在灌胃第4周时,与 HUA 组(991.67 μmol/L)相比,LCS 组和 HCS 组小鼠 SUA 水平显著降低(P<0.05),分别为723.73、726.26 μmol/L,使得 SUA 水平降低了26.76%和27.02%。因此,持续摄入玉米须水提物4周可达到显著的降尿酸效果。此外,Control 组小鼠 SUA 水平为34.70 μmol/L,显著低于各个实验组(P<0.05),说明灌胃玉米须水提物能够降低 SUA 水平,但不能达到正常小鼠的 SUA 水平。Yuan 等<sup>[31]</sup>

的研究结果表明纯化后的玉米须黄酮降低高尿酸血症小鼠的 SUA 水平,使得 SUA 水平降低了26.69%,表明它们具有抗高尿酸血症活性,玉米须黄酮可能抑制黄嘌呤氧化酶活性,减少尿酸生成。而且,玉米须富含多酚物质<sup>[32]</sup>,许多研究人员发现酚类物质,尤其是芹菜素、白杨素、木犀草素和黄芩素等黄酮类化合物具有很强的黄嘌呤氧化酶抑制作用<sup>[33]</sup>,对降低 SUA 有益。

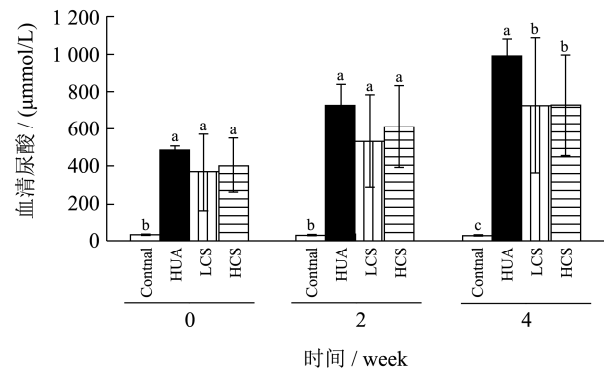


图5 玉米须水提物对小鼠 SUA 水平的影响

Fig.5 Effect of corn silk water extract on the levels of SUA in mice

注: Control 为正常对照组; HUA 为高尿酸血症模型组; LCS 为玉米须水提物低剂量组; HCS 为玉米须水提物高剂量组。图中不同小写字母表示0.05水平差异显著。

### 2.2.3 玉米须水提物对小鼠肾脏指数的影响

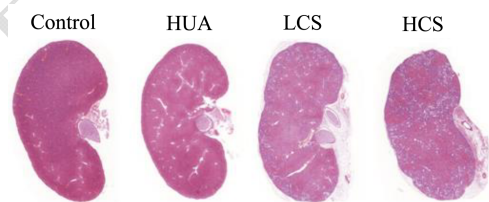


图6 玉米须水提物对小鼠肾脏组织的影响

Fig.6 Effect of corn silk water extract on mice kidney

注: Control 为正常对照组; HUA 为高尿酸血症模型组; LCS 为玉米须水提物低剂量组; HCS 为玉米须水提物高剂量组。

脏器指数是内脏健康的重要指标<sup>[4]</sup>,正常小鼠、高尿酸血症小鼠以及玉米须水提物灌胃的小鼠肾脏及脏器指数结果,如图6和表1所示。HUA 组小鼠肾脏指数小于 Control 组,表明 HUA 组小鼠的肾脏体质量减少,高尿酸血症会损伤小鼠肾脏。经4周灌胃玉米须水提物,LCS 组和 HCS 组小鼠脏器指数均有升高,特别是 HCS 组肾脏指数(0.60%)与 Control 组(0.68%)相近,说明玉米须水提物能够适当养护 HUA 小鼠的肾脏。这与 Sukandar 等<sup>[34]</sup>报道玉米须提取物能够减少氧化应激,而且肾脏指恢复到0.6%,有利于修复肾脏组织,这与实验结果相似。Vranješ 等<sup>[10]</sup>研究通过玉米须、香菜和熊果叶提取物对比,玉米丝乙醇提取物降低尿素(8.50 mg/L)和肌酐(19.00 mg/L)的效果最

好, 表明具有保护肾脏的作用。

表 1 玉米须水提取物对小鼠肾脏脏器指数的影响

Table 1 Effect of corn silk water extract on organ indices of mice kidney

组织	Control	HUA	LCS	HCS
肾脏/g	0.2±0.02 <sup>a</sup>	0.12±0.04 <sup>b</sup>	0.15±0.03 <sup>ab</sup>	0.18±0.02 <sup>ab</sup>
肾脏/%	0.68±0.03 <sup>a</sup>	0.53±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.07 <sup>b</sup>	0.60±0.05 <sup>b</sup>

注: Control 为正常对照组; HUA 为高尿酸血症模型组; LCS 为玉米须水提取物低剂量组; HCS 为玉米须水提取物高剂量组。表中不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

### 2.2.4 玉米须水提取物对小鼠肾脏病理形态的影响

肾脏是维持合理 SUA 水平的重要器官, 体内大约 70% 的 SUA 是经过肾脏处理排出, 因此, 超过肾脏排泄能力的高浓度 SUA 会在肾脏中沉淀结晶, 直接造成肾损伤<sup>[35]</sup>。小鼠肾脏组织的 HE 切片结果, 如图 7 所示。在 Control 组小鼠肾脏中, 肾小球体积及细胞数正常, 系膜基质无增生, 球囊腔无扩大, 皮质

部、髓质部及肾乳头部肾小管正常, 无闭塞、扩张、萎缩、坏死。HUA 组小鼠肾损伤严重, 病理改变明显, 包括肾小管扩张、炎性细胞浸润、相邻近端小管细胞边界不明显、细胞坏死等。肾脏组织切片中能明显观察到肾脏组织的病变, 表明次黄嘌呤与氧嗪酸钾诱发的高尿酸血症对肾脏具有危害作用。Zhou 等<sup>[36]</sup>提出高水平 的 SUA 会刺激促炎细胞因子释放, 可能会进一步增加肾脏损伤, 这与观察到的实验结果一致。与 HUA 组相比, LCS 组和 HCS 组小鼠肾脏组织的病理损伤得到改善, 表明低、高剂量的玉米须水提取物可以减轻高尿酸血症引起的肾损伤, 起到保护肾脏的作用。这与其他研究学者的结果相一致, Yuan 等<sup>[31]</sup>表明纯化后的玉米须黄酮对高尿酸血症损伤的肾脏结构, 具有恢复功能, 例如, 肾小球结构变得清楚、形状正常。Wang 等<sup>[3]</sup>表明从玉米须分离的中性多糖和酸性多糖都具有改善肾功能、增加肾脏尿酸排泄的潜力。

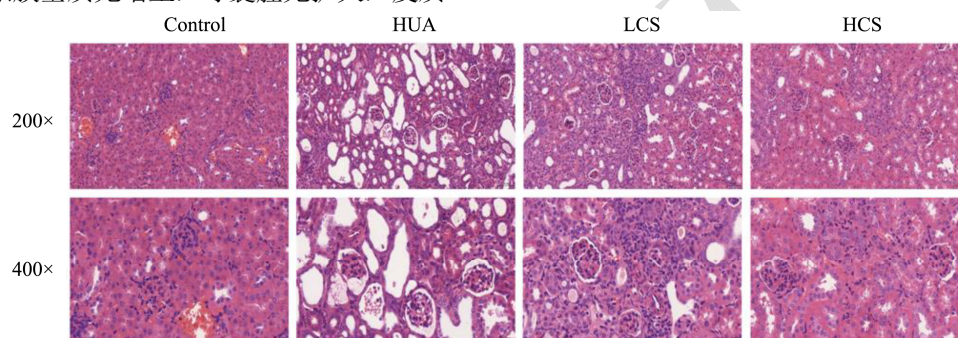


图 7 玉米须水提取物对小鼠肾脏 HE 染色的影响

Fig.7 Effect of corn silk water extract on HE staining of mouse kidney

注: Control 为正常对照组; HUA 为高尿酸血症模型组; LCS 为玉米须水提取物低剂量组; HCS 为玉米须水提取物高剂量组。

## 3 结论

人体内新陈代谢是一个持续不断的过程, 摄入有效的抗氧化剂可以有效延缓氧化损伤。高尿酸血症越来越高发, 寻找有效的天然健康组分作为预防和治疗手段变得极为重要。本研究以玉米须为原料, 采用超声波提取技术制备玉米须水提取物, 并进行抗氧化、降尿酸功能测定。结果显示, 体外抗氧化实验表明玉米须水提取物 (0.05 mg/mL) 具有一定的 DPPH· (90.75%)、·OH 清除能力 (86.29%) 和还原力。通过次黄嘌呤和氧嗪酸钾诱导高尿酸血症, 进行体内降尿酸实验, 结果表明, 玉米须水提取物可以改善体质量 (29.28 g)、降低血清尿酸水平 26.76% 以上、保护肾脏和缓解损伤。因此, 玉米须水提取物具有抗氧化和降尿酸活性。本实验结果可以为玉米须综合开发利用提供一定的理论基础。

## 参考文献

- [1] Nutmakul Thanutchaporn. A review on benefits of quercetin in hyperuricemia and gouty arthritis [J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2022, 30(7): 918-926.
- [2] Butler Faven, Alghubayshi Ali, Roman Youssef. The epidemiology and genetics of hyperuricemia and gout across major racial groups: A literature review and population genetics secondary database analysis [J]. Journal of Personalized Medicine, 2021, 11(3): 231.
- [3] WANG Xizhu, YUAN Liyan, BAO Zhijie, et al. Screening of uric acid-lowering active components of corn silk polysaccharide and its targeted improvement on renal excretory dysfunction in hyperuricemia mice [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 86: 104698.

- [4] XU Yuanyuan, CAO Xirong, ZHAO Haoan, et al. Impact of camellia japonica bee pollen polyphenols on hyperuricemia and gut microbiota in potassium oxonate-induced mice [J]. *Nutrients*, 2021, 13(8): 2665.
- [5] WANG Ming, ZHAO Jing, ZHANG Nan, et al. Astilbin improves potassium oxonate-induced hyperuricemia and kidney injury through regulating oxidative stress and inflammation response in mice [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2016, 83: 975-988.
- [6] Evangelia Dounousi MD, Eleni Papavasiliou MSc, Areti Makedou MD, et al. Oxidative stress is progressively enhanced with advancing stages of CKD [J]. *American Journal of Kidney Diseases: the Official Journal of the National Kidney Foundation*, 2006, 48(5): 752-760.
- [7] Richard J Johnson, Takahiko Nakagawa, Diana Jalal, et al. Uric acid and chronic kidney disease: which is chasing which? [J]. *Nephrology, Dialysis, Transplantation: Official Publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*, 2013, 28(9): 2221-2218.
- [8] Badreldin H Ali, Suhail Al-Salam, Yousuf Al Suleimani, et al. Curcumin ameliorates kidney function and oxidative stress in experimental chronic kidney disease [J]. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2018, 122(1): 65-73.
- [9] Qibiao Su, Hua Su, Zhihuan Nong, et al. Hypouricemic and nephroprotective effects of an active fraction from *polyrhachis vicina roger* on potassium oxonate-induced hyperuricemia in rats [J]. *Kidney & Blood Pressure Research*, 2018, 43(1): 220-233.
- [10] Vranješ Marijana, Popović Boris M, Štajner Dubravka, et al. Effects of bearberry, parsley and corn silk extracts on diuresis, electrolytes composition, antioxidant capacity and histopathological features in mice kidneys [J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 21: 272-282.
- [11] DONG Wenting, ZHAO Yuanyuan, HAO Yiming, et al. Integrated molecular biology and metabolomics approach to understand the mechanism underlying reduction of insulin resistance by corn silk decoction [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 284: 114756.
- [12] GUO Qingwen, XU Leilei, CHEN Yue, et al. Structural characterization of corn silk polysaccharides and its effect in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced oxidative damage in L6 skeletal muscle cells [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 208: 161-167.
- [13] JIA Yanan, LI Nannan, WANG Qirou, et al. Effect of Fe (III), Zn (II), and Cr (III) complexation on the physicochemical properties and bioactivities of corn silk polysaccharide [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 189: 847-856.
- [14] JIA Yanan, GAO Xudong, XUE Zihan, et al. Characterization, antioxidant activities, and inhibition on  $\alpha$ -glucosidase activity of corn silk polysaccharides obtained by different extraction methods [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 163: 1640-1648.
- [15] RAO Guohua. Optimization of ultrasound-assisted extraction of cyanidin 3-rutinoside from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp [J]. *Analytical Methods*, 2010, 2: 1166-1170.
- [16] Chaittianan Rungsiri, Sutthanut Khaetthareeya, Rattanathongkom Ariya. Purple corn silk: A potential anti-obesity agent with inhibition on adipogenesis and induction on lipolysis and apoptosis in adipocytes [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2017, 201: 9-16.
- [17] 沈尚竹,赵亚丽,王冰茜,等.薏苡方对高尿酸血症动物模型的降尿酸作用[J].*中药新药与临床药理*,2022,33(5):599-606.
- [18] 夏其乐,陆胜民,王涛,等.杨梅疏果核仁苦杏仁苷提取物的生物活性研究[J].*中国食品学报*,2017,17(12):58-64.
- [19] LI Yaping, HU Zhengyu, WANG Xiaoxue, et al. Characterization of a polysaccharide with antioxidant and anti-cervical cancer potentials from the corn silk cultivated in Jilin province [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 155: 1105-1113.
- [20] Sharma Sonu, Pradhan Ranjan, Manickavasagan Annamalai, et al. Production of antioxidative protein hydrolysates from corn distillers solubles: Process optimization, antioxidant activity evaluation, and peptide analysis [J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 184: 115107.
- [21] WANG KaiJin, ZHAO JinLiang. Corn silk (*Zea mays* L.), a source of natural antioxidants with  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 110: 510-517.
- [22] YONG Tianqiao, ZHANG Minglong, CHEN Diling, et al. Actions of water extract from cordyceps militaris in hyperuricemic mice induced by potassium oxonate combined with hypoxanthine [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 194: 403-411.
- [23] ZHU Lihua, XU Yingyin, ZHU Liping, et al. Protective effects of cyclocarya paliurus on hyperuricemia and urate-induced inflammation [J]. *Journal of Functional Foods*, 2022, 94: 105130.

- [24] Al-Khayri Jameel M, Yüksel Arzu Kavaz, Yüksel Mehmet, et al. Phenolic profile and antioxidant, anticholinergic, and antibacterial properties of corn tassel [J]. *Plants*, 2022, 11(15): 1899.
- [25] LIU Jun, WANG Cuina, WANG Zuozhao, et al. The antioxidant and free-radical scavenging activities of extract and fractions from corn silk (*Zea mays* L.) and related flavone glycosides [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(1): 261-269.
- [26] CHANG Chiachuan, YUAN Wei, ROAN Hsiaoyuh, et al. The ethyl acetate fraction of corn silk exhibits dual antioxidant and anti-glycation activities and protects insulin-secreting cells from glucotoxicity [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 16(1): 432.
- [27] ZHANG Yi, WANG Chunfang, LIU Chenxia, et al. Recent developments in stigma maydis polysaccharides: Isolation, structural characteristics, biological activities and industrial application [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 150: 246-252.
- [28] WANG Jiayi, ZHOU Weiyu, HUANG Xiaoxiao, et al. Flavonoids with antioxidant and tyrosinase inhibitory activity from corn silk (*Stigma maydis*) [J]. *Natural Product Research*, 2023, 37(5): 835-839.
- [29] ZHANG Liang, YANG Yang, WANG Zhanyong. Extraction optimization of polysaccharides from corn silk and their antioxidant activities in vitro and in vivo [J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 738150.
- [30] YANG Jingyue, LI Xiao, XUE Yan, et al. Anti-hepatoma activity and mechanism of corn silk polysaccharides in H22 tumor-bearing mice [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 64: 276-280.
- [31] YUAN Liyan, BAO Zhijie, MA Tiecheng, et al. Hypouricemia effects of corn silk flavonoids in a mouse model of potassium oxonated-induced hyperuricemia [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(8): e13856.
- [32] Sarepoua Eakrin, Tangwongchai Ratchada, Suriham Bhalang, et al. Influence of variety and harvest maturity on phytochemical content in corn silk [J]. *Food Chemistry*, 2015, 169: 424-429.
- [33] ZHU Huangrong, SONG Danni, ZHAO Xu. Potential applications and preliminary mechanism of action of dietary polyphenols against hyperuricemia: A review [J]. *Food Bioscience*, 2021, 43: 101297.
- [34] Sukandar Elin Yulinah, Sigit Joseph Iskendarso, Adiwibowo Levina Ferdiana. Study of kidney repair mechanisms of corn silk (*Zea mays* L. *Hair*-binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) *Steenis*) leaves combination in rat model of kidney failure [J]. *International Journal of Pharmacology*, 2013, 9: 12-23.
- [35] LIN Guoshu, YU Qiuxia, XU Lieqiang, et al. Berberubine attenuates potassium oxonate- and hypoxanthine-induced hyperuricemia by regulating urate transporters and *JAK2/STAT3* signaling pathway [J]. *European Journal of Pharmacology*, 2021, 912: 174592.
- [36] ZHOU Shubo, HE Yifeng, ZHANG Weiping, et al. Ophiocordyceps lanpingensis polysaccharides alleviate chronic kidney disease through *MAPK/NF-κB* pathway [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 276: 114189.