

# 玉米皮活性成分提取工艺研究进展

## Research progress on extraction technology of active components from corn bran

赵二劳<sup>1</sup> 王明华<sup>2</sup> 高子怡<sup>1</sup> 赵三虎<sup>1</sup>

ZHAO Er-lao<sup>1</sup> WANG Ming-hua<sup>2</sup> GAO Zi-yi<sup>1</sup> ZHAO San-hu<sup>1</sup>

(1. 忻州师范学院化学系, 山西 忻州 034000; 2. 忻州师范学院生物系, 山西 忻州 034000)

(1. Department of Chemistry, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China;

2. Department of Biology, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China)

**摘要:**玉米皮是玉米加工的主要副产品,含有多种活性成分。文章综述近 10 年来中国玉米皮中活性成分提取工艺研究进展,展望玉米皮活性成分研究方向,旨在为玉米皮的全面开发利用提供参考。

**关键词:**玉米皮;活性成分;提取工艺

**Abstract:** Corn bran was the major byproducts of corn processing, which contained a variety of functional and active components. Based on the literature learning method and summarization, the Chinese research progresses on the extraction technology of corn bran active components in recent ten years were reviewed in this article. The research prospect of the corn bran active components had also been presented, which provided a reference for its overall and further research and development.

**Keywords:** corn bran; active components; extraction technology

中国是玉米生产和消费大国,玉米加工业在国民经济中已占有很大的比例<sup>[1]</sup>。但中国玉米加工业主要是利用玉米中约占 68% 的淀粉,而约占玉米籽粒干重 15% 的副产品——玉米皮,未进行精深加工,仅用于饲料及发酵行业,产品附加值低下<sup>[2]</sup>;有些甚至废弃,既造成资源的极大浪费,也严重污染环境。科学研究<sup>[2-5]</sup>已证明,玉米皮中含有多种活性成分。因此研究玉米皮中活性成分的提取应用,对有效拉长玉米产业链,实现玉米皮的高值化转化具有重要的实际意义。目前,中国学者对玉米皮中活性成分的提取进行了不少

的研究,取得了一定的成果,但总体而言,较为散乱。荆晓飞等<sup>[2]</sup>虽曾简单综述过玉米皮功能成分的研究进展,但其偏重于玉米皮功能成分的应用简介,涉及提取工艺研究较少;刘玉春等<sup>[1]</sup>综述过玉米皮精深加工技术进展,但引用文献较少,不够全面,玉米皮中多糖、阿魏酸等功能成分的提取工艺研究未提及,对加工工艺和结果的阐述较为笼统。为此,本文梳理并总结近 10 年中国玉米皮中活性成分(包括膳食纤维、多糖、黄色素、L-阿拉伯糖、阿魏酸、阿魏酰低聚糖和玉米皮油)的提取工艺研究进展,简要阐明了各种提取工艺技术及结果,并展望了玉米皮活性成分提取研究方向,旨在为玉米皮的合理开发利用提供参考。

### 1 膳食纤维提取工艺研究

膳食纤维具有降血压、降低能量值、促进肠道畅通,预防心脑血管疾病、改善口味、增强质感、缓解餐后血糖上升幅度等多种功效,在人体保健领域得到广泛的关注和认可,成为国内外研究的热点<sup>[3,6]</sup>。近年中国学者从玉米皮中提取制备膳食纤维的相关研究不少,工作较为充分,取得了一定的成果,采用的方法主要为化学提取法和生物酶法。

#### 1.1 化学提取法

化学提取制备法就是将粉碎的玉米皮原料采用化学试剂提取而制备膳食纤维的方法。郝瑞娟等<sup>[7]</sup>研究了玉米皮中水溶性膳食纤维的碱解工艺,结果表明,最佳工艺条件:温度 50 °C、氢氧化钠质量分数 1%、料液比 1 : 25 (g/mL)、时间 30 min,此条件下玉米水溶性膳食纤维含量为 21.16%。为了提高膳食纤维提取率,鹿保鑫等<sup>[8]</sup>采用微波辅助碱解提取碱性膳食纤维,通过正交试验优化得最佳工艺条件:碱液质量分数 8.45%、料液比 1 : 13.73 (g/mL)、微波功率 598.83 W、提取时间 4.31 min,此条件下碱溶膳食纤维提取率为 65.57%。安莹等<sup>[9]</sup>研究了超声波辅助提取黑玉米皮中

**基金项目:**山西省自然科学基金项目(编号:201601D102015);国家级大学生创新创业训练计划项目(编号:201610124001);山西省高等学校大学生创新创业训练计划项目(编号:2016381);忻州师范学院科研基金项目(编号:201718)

**作者简介:**赵二劳(1952—),男,忻州师范学院教授。

E-mail:zel0350@163.com

**收稿日期:**2017-08-26

水溶性膳食纤维的工艺,通过响应面优化得最佳工艺条件:料液比 1:11 (g/mL)、超声功率 700 W、提取温度 60 °C、提取时间 32 min,此条件下水溶性膳食纤维提取率为 53.8%。综上,尽管因原料来源不同、预处理不同会对膳食纤维提取率有较大的影响,不便对几种提取工艺进行比较,但也不难发现,采取一些物理手段(如微波、超声波等)辅助提取会有效提高膳食纤维的提取率。

### 1.2 生物酶法

生物酶法就是利用不同的酶通过酶解除去玉米皮中非膳食纤维成分或分解不溶性膳食纤维,最后获得可溶性膳食纤维的方法。王刚等<sup>[10]</sup>以玉米皮为原料,采用纤维素酶制备可溶性膳食纤维,通过响应面优化得最适反应条件:料液比 1:14 (g/mL)、酶添加量 15.78 U/g、pH 5.56、酶解温度 50.56 °C、酶解时间 3.01 h,该条件下可溶性膳食纤维得率为 26.45%。杜巧娟等<sup>[11]</sup>研究了几种酶分步制备玉米皮膳食纤维的工艺,结果表明玉米皮先用蛋白酶处理 60 min,后用淀粉酶处理 30 min,玉米皮膳食纤维产率为 86.4%,其中水溶性膳食纤维含量为 1.17%;木聚糖酶改性膳食纤维的最佳工艺条件:木聚糖酶用量 0.7%、温度 55 °C、pH 6.5、反应时间 2.0 h,制备的改性玉米皮膳食纤维得率达 78.74%,其中水溶性膳食纤维含量提高到 14.27%。魏仲姍等<sup>[12]</sup>则在研究复合酶(淀粉酶、蛋白酶)提取玉米皮中膳食纤维的基础上,通过优化挤压技术提高玉米皮水溶性膳食纤维,结果表明,提取玉米皮膳食纤维的最佳工艺条件:复合酶添加量 1.2%、料液比 1:10 (g/mL)、温度 60 °C、pH 7.0、酶解时间 55 min,膳食纤维提取率为 65.2%;膳食纤维优化挤压条件:物料加水量 20%、挤压温度 130 °C、螺杆转速 130 r/min,该条件下水溶性膳食纤维含量可由 15.87% 提高到 21.65%。显见,运用生物酶法可提高玉米皮中水溶性膳食纤维提取率。与化学法相比,对环境污染少,可提高水溶性膳食纤维得率,生物酶法是一种玉米皮水溶性膳食纤维提取制备的较好方法。虽因玉米皮来源不同、预处理不同,不便定量比较不同生物酶法工艺的优劣,但也不难发现,采取多种酶分步或联合辅助提取,以及在酶解的基础上辅以一些物理技术会有效提高玉米皮水溶性膳食纤维的提取率,值得进一步深入研究。

## 2 多糖提取工艺研究

玉米皮多糖具有显著的免疫调节、降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗病毒、抗便秘、抗氧化及预防结肠癌等多种生物活性<sup>[13-14]</sup>。目前,有关从天然产物中提取多糖的方法不少,但从玉米皮中提取多糖的工艺研究中国学者主要有浸提法、酶提法和其他物理技术辅助法。

### 2.1 浸提法

浸提法是一种天然产物多糖常用的方法,其设备要求低,操作简单,但提取温度高,时间长,多糖得率低。张贺等<sup>[15]</sup>研究了热水浸提玉米皮多糖的工艺,结果表明,在温度 90 °C、料液比 1:30 (g/mL)、提取时间 3 h 的条件下,玉米皮多糖提取率为 6.74%。林松毅等<sup>[16]</sup>通过正交试验优化得

玉米皮多糖最佳提取工艺条件:温度 100 °C、料液比 1:20 (g/mL)、浸提时间 4.0 h,此条件下多糖提取率可达 4.43%。推测前者提取率较高的原因可能是原料经过脱脂预处理,多糖含量高,也可能是由于原料来源不同所致。

### 2.2 酶提法

酶提法是通过酶分解玉米皮细胞壁使其多糖更易溶出,该方法具有条件温和,提取率高等优势。王文侠等<sup>[13]</sup>以经酶法去除淀粉和蛋白质后的玉米皮为原料,采用复合酶提取玉米皮多糖,通过响应面法优化得最佳工艺条件:木聚糖酶:复合纤维素酶(质量比)=1:1、加酶量 1.5%、pH 4.1、底物浓度 5 g/100 mL、酶解温度 55 °C、酶解时间 5 h,此条件下,多糖得率为 27.25%。关海宁<sup>[17]</sup>研究了酶协同微波提取玉米皮多糖工艺,确定的最佳提取工艺条件为:纤维素酶添加量 1.46%、中性蛋白酶添加量 1.57%、料液比 1:20 (g/mL)、温度 50 °C、酶解 30min 后,再在微波功率 640 W 下、微波作用 4.1 min,此条件下玉米皮多糖提取率达 8.07%。张元薇等<sup>[4]</sup>采用酶协同超声波提取玉米皮多糖,确定的最佳提取工艺条件:先在  $\alpha$ -淀粉酶:中性蛋白酶=1:1(质量比)、加酶量 3.6%、料液比 1:8 (g/mL)、水浴温度 50 °C 下,提取 15 min 后,再在超声温度 73 °C,超声功率 111 W,超声提取 17 min,多糖得率为 15.53%。比较上述 3 种多糖提取工艺,复合酶法多糖提取率最高,但提取时间最长,而酶法协同超声波法,多糖提取率较高,提取时间最短。但也不能排除玉米皮原料不同对提取率的影响。

### 2.3 其他物理技术辅助法

为了提高多糖提取率,刘旭野等<sup>[18]</sup>研究了高压脉冲电场技术结合纤维素酶法提取玉米皮多糖,得到的最佳工艺条件:电场强度 25 kV/cm、电场频率 2 080 Hz、料液比 1:42 (g/mL)、纤维素酶加入量 1.55%、水浴温度 59 °C、pH 5.0、提取时间 2.5 h,此条件下多糖提取率为 15.36%。王文侠等<sup>[19]</sup>研究了挤压处理提取玉米皮水溶性多糖的工艺,通过响应面法优化得最佳工艺条件:物料目数 8 目、喂料量 25 kg/h、螺杆转速 150 r/min、加水量 20%、熔体温度 140 °C。该条件下,多糖得率为 24.91%,是未挤压处理的 2.7 倍。显见,经挤压处理能显著提高玉米皮多糖的提取率,是一种值得推广和深入研究的玉米皮多糖提取方法。

## 3 黄色素提取工艺研究

玉米皮黄色素具有抗癌、防癌、降压、降血脂、抗炎消炎、抗脂质过氧化、抗衰老、增强人体免疫力和预防心血管疾病等功效<sup>[20]</sup>。目前,中国学者从玉米皮中提取色素的相关研究不多,研究的提取工艺主要有有机溶剂浸提法、微波辅助提取法和超声辅助提取法。

### 3.1 有机溶剂浸提工艺

陈利梅等<sup>[21]</sup>玉米皮中黄色素的乙醇浸提工艺,确定的最佳浸提工艺条件:体积分数 95% 乙醇为提取剂,温度 70 °C、料液比 1:12.5 (g/mL)、时间 1.5 h。宋从从等<sup>[5]</sup>采用单因素和正交试验的方法优化了玉米皮黄色素的浸提工

艺,确定的最佳工艺条件:95%乙醇(用盐酸调 pH 值为 3)为提取剂、温度 60 °C、料液比 1:10 (g/mL)、提取时间 1.5 h。有机溶剂浸提设备简单、易于操作,成本低,易于工业化生产,是从天然产物中提取色素较常用的一种方法。存在的问题是溶剂的残留,所提色素杂质较多,影响产品质量。

### 3.2 微波辅助提取工艺

陈红等<sup>[22]</sup>研究确定微波辅助提取玉米皮中黄色素的最佳工艺条件:80%乙醇为提取剂、微波功率 400 W、料液比 1:8 (g/mL)、微波时间 60 s。陈红等<sup>[23]</sup>还研究了微波协同酶法提取玉米皮中黄色素的工艺,通过正交试验优化得到的最佳工艺条件:以 95%乙醇为提取剂、料液比 1:8 (g/mL)、pH 5.5、微波功率 400 W、纤维素酶用量 1.2%、酶解温度 50 °C、酶解时间 90 min、微波时间 50 s,与传统溶剂浸提法相比,微波辅助提取可明显缩短提取时间,仅数分钟就可达到其他工艺的提取效果,溶剂用量少,有利于回收,节约能源,环境污染少,但也存在温度不易控制,温度过高会使色素分解,以及产品纯度不高,需进一步分离纯化。

### 3.3 超声辅助提取工艺

有关玉米皮黄色素的超声辅助提取中国学者研究很少。刘军海<sup>[24]</sup>通过正交试验确定得玉米皮黄色素超声辅助提取最佳工艺条件:乙醇体积分数 80%、料液比 1:18 (g/mL)、超声温度 60 °C、超声时间 30 min。显见,较溶剂浸提法,超声辅助工艺提取时间明显缩短。基于超声辅助提取技术在其他天然产物色素提取中所具有的诸多优势,亟需加强在玉米皮黄色素提取中的应用研究。

## 4 L-阿拉伯糖提取工艺研究

L-阿拉伯糖属于五碳醛糖,是一种没有热量的新型功能健康糖,其可选择性对肠道内蔗糖酶活性起非竞争性抑制作用,对蔗糖代谢转化有明显的阻断作用,可抑制肥胖、预防并治疗与高血糖相关的疾病。目前,中国学者从玉米皮中提取 L-阿拉伯糖的主要工艺技术有酸水解法和微生物法。

### 4.1 酸水解法

李令平等<sup>[25]</sup>研究了草酸水解玉米皮生产 L-阿拉伯糖的工艺,通过正交试验优化得最佳工艺条件:草酸浓度 0.5%、料液比 1:10 (g/mL)、酸解温度 90 °C、时间 2.5 h,此条件下 L-阿拉伯糖得率为 10.08%。张泽生等<sup>[26]</sup>研究了硫酸水解玉米皮生产 L-阿拉伯糖的工艺,优化得最佳工艺条件:硫酸浓度 5%、料液比 1:12 (g/mL)、水解温度 100 °C、水解时间 3.0 h、L-阿拉伯糖的得率为 11.68%。张泽生等<sup>[27]</sup>采用酸性电解水水解玉米皮提取 L-阿拉伯糖,通过单因素结合正交试验确定最佳提取工艺条件为:酸性电解水 pH 2.0、料液比 1:40 (g/mL)、水解温度 180 °C、水解时间 30 min,该条件下 L-阿拉伯糖水解得率为 15.49%。酸水解玉米皮生产 L-阿拉伯糖,工艺简单易行,产品收率较高,工艺相对成熟,缺点是酸水解过程中不但会产生糠醛等有毒物质,而且会产生大量高浓度含盐废水及较多固体废弃物,后续处理难度大、成本高,易污染环境。比较上述几种提取工艺,可知提取剂酸

性强,水解温度高,L-阿拉伯糖产率高,相对来讲,酸性电解水水解玉米皮提取 L-阿拉伯糖是一种较好的方法。

### 4.2 微生物法

微生物法制备 L-阿拉伯糖就是将玉米皮中半纤维素经预处理降解成单糖溶液,然后利用微生物发酵该溶液,消耗其中的葡萄糖和木糖等非目标糖,降低非目标糖含量,保留溶液中目标糖即 L-阿拉伯糖,提高其含量,再经浓缩结晶得到 L-阿拉伯糖。邹鸿菲等<sup>[28]</sup>比较研究了几株酵母菌和霉菌对玉米皮水解液分离制备 L-阿拉伯糖的工艺,发现球拟酵母菌发酵 4 d,绿木霉、灰霉和从环境中分离出的霉菌 Mgb1、Mgb2 发酵 3 d 后,均能较好地利用木糖,而不利用 L-阿拉伯糖,使玉米皮水解液中木糖保留率均低于 5%,L-阿拉伯糖保留率为 75%以上。盖伟东等<sup>[29]</sup>比较研究了 4 种酵母菌对玉米皮水解液中木糖和 L-阿拉伯糖的利用情况,得出热带假丝酵母菌对木糖发酵最快,发酵 60 h,菌体生物量达 12.6 g/L,水解液中木糖消耗率达 96.76%,L-阿拉伯糖保留率为 90.12%,经结晶,最终 L-阿拉伯糖晶体得率为 6.8%(以玉米皮干重计)。与传统酸水解法相比,微生物法降低了 L-阿拉伯糖后续提纯的技术难度,简化了工艺,克服了传统酸水解工艺复杂、对设备要求高、环境污染等问题,值得深入研究。

## 5 阿魏酸提取工艺研究

阿魏酸的化学名称为 4-羟基-3-甲氧基肉桂酸,具有清除自由基、抗衰老、抗血栓、抗突变、抗紫外线辐射、抗菌消炎、降血脂、防治冠心病、防癌、增强精子活力和调节人体免疫功能等生理活性。从植物中提取的阿魏酸为纯天然物质,纯化后可直接应用于医药、食品和化妆品等领域。目前,中国学者从玉米皮中提取阿魏酸主要有碱解法和酶解法。

### 5.1 碱解提取工艺

玉米皮中阿魏酸主要以脂链与多糖等交联,易于水解,可通过碱解提取。赖红武等<sup>[30]</sup>通过响应面法优化得到了玉米皮中阿魏酸碱解提取最佳工艺条件:NaOH 溶液质量分数 1.034%、提取温度 98.4 °C、碱醇体积比 2.556,此条件下阿魏酸提取率达 1.798 mg/g。赵战利等<sup>[31]</sup>以膨化处理后的玉米皮为原料,采用搅拌辅助碱解法提取玉米皮中阿魏酸,通过响应面分析确定的最佳提取工艺条件:NaOH 质量分数 1.3%、料液比 1:13 (g/mL)、温度 80 °C、提取时间 72 min,此条件下阿魏酸得率达 10.33 mg/g。赵升强等<sup>[32]</sup>研究了乙醇/水/NaOH 溶液从玉米皮中提取阿魏酸,并采用膜分离法纯化阿魏酸,最佳提取工艺条件:NaOH 浓度 0.25 mol/L、醇水比(体积比)1:1,料液比 1:10 (g/mL)、提取温度 75 °C、搅拌速度 120 r/min、提取时间 2.0 h;膜分离的工艺为:截流分子量为 5 000 U 的超滤膜、在室温、0.10 MPa 下超滤,阿魏酸透过率为 86.4%。碱性乙醇水解法是提取玉米皮中阿魏酸的较好方法,该工艺相对简单,易于操作,成本较低,阿魏酸产量较高,且解决了提取液黏度高而难以实现膜分离的问题,可广泛应用于工业化生产中,但也存在废液、废渣多,易

造成环境污染的问题,绿色化提取工艺还需进一步研究。

## 5.2 酶解提取工艺

采用单一糖酶降解玉米皮提取阿魏酸,水解效率较低,中国未有相关报道。为了提高阿魏酸提取率,郭丽等<sup>[33]</sup>采用超声波辅助木聚糖酶提取玉米皮中阿魏酸,得到的最佳提取工艺:超声温度 33 °C、超声时间 80 min、料液比 1:25 (g/mL)、酶解温度 50 °C、酶添加量 0.83%、酶解时间 65 min,该条件下阿魏酸得率为 3.47 mg/g。酶法提取玉米皮阿魏酸,工艺简单,条件温和,节能环保,提取率高,但也存在易受外界环境影响,提取时间长,工艺稳定性较差等问题。

## 6 阿魏酰低聚糖提取制备工艺研究

阿魏酰低聚糖是阿魏酸与低聚糖通过脂键结合在一起形成的一类化合物,兼有阿魏酸和低聚糖的生理活性,能抑制糖基化反应,促进益生菌增殖,具有抗肿瘤、抗衰老和抗氧化功效,是一种新型功能性食品配料<sup>[34]</sup>。阿魏酰低聚糖的提取制备主要有酸水解法、酶水解法和生物发酵法,由于酸水解法存在所需条件苛刻,酸易残留,会对人体造成一定危害,产生污水量大,造成环境压力。所以目前,有关玉米皮阿魏酰低聚糖的酸水解提取制备研究在中国尚未见报道。

### 6.1 酶水解提取制备工艺

酶水解法是利用酶制剂的水解作用,破坏玉米皮细胞壁多糖,制取阿魏酰低聚糖的一种方法。为了有效破坏玉米皮细胞壁多糖,以释放出连接在糖类上阿魏酰低聚糖,提高阿魏酰低聚糖产量,多采用复合酶水解玉米皮制备阿魏酰低聚糖。曾凤彩等<sup>[35]</sup>在单因素试验的基础上,采用响应面法研究了复合纤维素酶水解玉米皮制备阿魏酰低聚糖的工艺条件,得到的最佳工艺条件:pH 5.1、反应温度 55 °C、底物质量浓度 90 g/L、复合纤维素酶加入量 5.0 mg/L、反应时间 44 h,此条件下产物中阿魏酰低聚糖含量达 2.022 mmol/L。潘海晓等<sup>[36]</sup>以玉米皮为原料,利用纤维素酶辅助木聚糖酶制备阿魏酰低聚糖,通过正交试验优化得最佳制备条件:纤维素酶质量浓度 8 g/L、木聚糖酶质量浓度 6 g/L、底物质量浓度 165 g/L、pH 值 5.0、反应温度 60 °C、反应时间 36 h,此条件下产物中阿魏酰低聚糖的浓度达到 2.127 mmol/L。杜娟等<sup>[37]</sup>也研究了酶水解玉米皮制备阿魏酰低聚糖的工艺条件,经响应面优化得出最佳工艺条件为:纤维素酶和木聚糖酶的混合酶添加量 15.7 g/L、混合酶中纤维素酶添加比例 70%、底物添加量 100 g/L、酶解时间 1 h,此条件下阿魏酰低聚糖产量为 1 008.43  $\mu$ mol/L。该法反应温和,条件易于控制,基本不破坏产物的生物活性,且产量高,是一种较好的玉米皮阿魏酰低聚糖制备方法。

### 6.2 生物发酵制备工艺

生物发酵法是一种新兴的阿魏酰低聚糖制备方法,但近年中国有关玉米皮阿魏酰低聚糖的生物发酵制备研究应用较少。焦昆鹏等<sup>[38]</sup>通过对发酵玉米皮法制备阿魏酰低聚糖的初步研究发现,玉米皮经平菇发酵 8 d 后发酵液中阿魏酰低聚糖含量达 12.515  $\mu$ mol/L。与酶水解法相比,虽然阿魏

酰低聚糖产量相对较低,但该工艺使得微生物产酶与酶解过程合二为一,且对原料要求低,微生物生长过程中利用了玉米皮中的淀粉、蛋白质等成分,无需进行脱淀粉等预处理,资源得到合理利用,简化了工艺,可降低成本,值得深入研究。

## 7 玉米皮油提取工艺研究

玉米皮油中含有 80% 以上不饱和脂肪酸,在人体的信息传递和人体血脂代谢平衡中发挥着重要作用,可阻止脑血栓的形成。玉米皮油还含有玉米黄素和比普通植物油丰富的植物甾醇,玉米黄素具有很强的抗氧化性,在心血管疾病预防和癌症的预防方面有很大作用<sup>[39]</sup>。甾醇对维持人体胆固醇平衡以及抗衰老等方面有积极的作用,有助于降低冠心病的危险<sup>[40]</sup>。因此,玉米皮油可作为一种保健油使用。张小苗等<sup>[40]</sup>在高温条件下,以正己烷为提取剂,采用索氏提取法提取高甾醇玉米皮油,得到玉米皮油中油酸和亚油酸等不饱和脂肪酸含量接近 80%,甾醇含量达到了 6.42%。李昊阳等<sup>[41]</sup>以丁烷为溶剂,在常温、0.5 MPa 压力下,采用亚临界萃取法萃取玉米皮油,萃取 4 次,所得油脂品质好,认为该工艺在常温下进行,萃取剂在低温下就可快速蒸发,可缩短生产周期,减少能耗。郭春旭等<sup>[39]</sup>采用亚临界联合太赫兹波提取玉米皮油,提取条件为:在太赫兹波长 3~1 000  $\mu$ m、距离 10 cm、温度 30 °C、辐照时间 6 min,辐照结束后,在 70 °C 恒温干燥至水分为 6%~9%,然后在亚临界萃取罐中加入丁烷至样品完全浸没,在温度 35 °C、压力 0.34 MPa 下,萃取 25 min,连续萃取 2 次,脱溶后过滤得玉米皮油,得率为 5.12%。目前,中国有关玉米皮油提取研究很少。由于玉米皮油脂含量较低(不到 3%),所以玉米皮油多采用有机溶剂萃取法制备,辅以一些物理技术如亚临界萃取、临界联合太赫兹波提取等,虽能有效缩短萃取时间,但设备投资大,成本高,工艺复杂,且未能解决有机溶剂残留的问题,仍需要深入研究。

## 8 结论与展望

玉米皮中含有丰富的活性成分,具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、降血脂和提高免疫力等诸多生理功能,在药品、保健品、化妆品及食品添加剂等领域具有广泛的开发应用前景。而中国众多的玉米加工企业又提供了丰富的玉米皮资源,使中国具有得天独厚的玉米皮开发利用资源优势,为玉米皮开发利用提供了广阔的市场。但总体而言,目前中国对玉米皮的开发研究还处于初级阶段,对玉米皮中膳食纤维、多糖的提取研究相对较多,而对玉米皮中其他活性成分提取研究相对较少。超声、微波以及酶辅助提取技术尚不成熟,多停留在实验室研究阶段。有关玉米皮中活性成分构效关系、作用机制的研究更为欠缺。因此,亟待从国家层面整合研究队伍,集中财力、物力,一方面对玉米皮活性成分的提取进行深入、系统的研究,将一些新颖的、现代化的天然产物功能成分提取分离技术引入到玉米皮活性成分的提取纯化中,尝试融合多种现代提取分离技术联合用于玉米皮活性成分的提取中,或玉米皮中多种活性成分同时提取,创新玉米皮活性成

分的提取工艺,提高产量和效率。实现玉米皮中活性成分的规模化、产业化生产。另一方面,加强玉米皮活性成分构效关系、作用机制的研究,为人们合理使用和膳食玉米皮功能食品提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 刘玉春,孙庆杰.工业玉米副产品玉米皮精深加工技术进展[J].农产品加工,2017(2):72-75.
- [2] 荆晓飞,崔波.玉米皮功能性食品成分的研究进展[J].粮食与食品工业,2013,20(2):26-29.
- [3] 王金亭,李伟.玉米麸皮膳食纤维的研究与应用现状[J].粮食与油脂,2016,29(10):12-17.
- [4] 张元薇,赵薇,赵欣言,等.酶法辅助超声波提取玉米皮多糖的工艺研究[J].粮食与油脂,2015,28(12):49-53.
- [5] 宋从从,刘艳蕊.玉米皮色素提取工艺研究[J].潍坊工程职业学院学报,2016,29(3):106-108.
- [6] 陈铁壁,靳娜,王建辉,等.莲壳膳食纤维微波-双酶协同提取工艺优化[J].食品与机械,2017,33(3):164-167.
- [7] 郝瑞娟,吴眩,王周锋.碱解醇沉法提取玉米种皮中水溶性膳食纤维[J].食品研究与开发,2012,33(1):44-47.
- [8] 鹿保鑫,乌春华,王霞.微波法提取玉米皮中碱性膳食纤维的工艺研究[J].粮油食品科技,2009(2):42-44.
- [9] 安莹,周颖,刘春芬,等.响应面法研究黑玉米皮中膳食纤维提取工艺[J].农产品加工·学刊,2011(7):66-68,84.
- [10] 王刚,王蕾.纤维素酶法改性玉米麸皮膳食纤维粉研究[J].食品工业,2012,33(3):23-26.
- [11] 杜巧娟,赵战利,宁占国,等.木聚糖酶改性制备玉米皮膳食纤维[J].中国食品添加剂,2014(1):152-156.
- [12] 魏仲姍,李华丽,张旭,等.提取玉米皮膳食纤维的条件优化[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(1):100-103.
- [13] 王文侠,尚庆,李馥邑,等.纤维素酶法提取玉米麸皮多糖的工艺条件优化[J].中国食品添加剂,2016(3):82-90.
- [14] 黄仁贵,刘佳.提取方法对植物多糖生物活性的影响研究进展[J].食品与机械,2016,32(11):212-216.
- [15] 张贺,王倩雯,曹龙奎.玉米皮多糖的提取及抗氧化性研究[J].粮食与油脂,2015,28(6):47-49.
- [16] 林松毅,刘静波,张巍.玉米皮活性多糖提取技术[J].食品研究与开发,2009,30(2):35-38.
- [17] 关海宁.微波辅助酶法提取玉米皮多糖工艺研究[J].粮食与油脂,2012,25(6):47-49.
- [18] 刘旭野,郭星,林松毅.基于高压脉冲电场技术提高玉米皮多糖提取率的研究[J].食品安全质量检测学报,2016,7(6):2419-2425.
- [19] 王文侠,李馥邑,徐伟丽,等.挤压处理提高玉米麸皮水溶性多糖含量及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2014,35(11):107-111,116.
- [20] 于慧,刘美佳,刘剑利,等.玉米黄色素提取工艺优化及其抗癌活性研究[J].食品与机械,2017,33(3):139-144.
- [21] 陈利梅,李德茂.玉米皮渣中黄色素和膳食纤维提取剂性质研究[J].粮油加工,2010(3):91-93.
- [22] 陈红,王秀娟,李侠,等.微波辅助提取玉米皮中黄色素及其稳定性研究[J].食品科学,2009,30(14):57-61.
- [23] 陈红,崔海月,刘秀奇,等.微波协同酶法提取玉米皮中黄色素[J].食品科学,2012,33(6):50-53.
- [24] 刘军海.超声辅助提取玉米皮中黄色素及其稳定性研究[J].江西饲料,2013(1):1-3,8.
- [25] 李令平,周娟,邱学良.玉米酸解提取L-阿拉伯糖的工艺研究[J].中国食品添加剂,2009(6):139-142.
- [26] 张泽生,郑敏.玉米皮水解制备L-阿拉伯糖的技术研究[J].食品工业,2012,33(3):44-46.
- [27] 张泽生,徐梦莹,孙明哲,等.酸性电解水水解玉米皮提取L-阿拉伯糖的工艺研究[J].中国食品添加剂,2017(4):141-146.
- [28] 邹鸿菲,张泽生,郑敏.微生物分离玉米皮水解液中L-阿拉伯糖的研究[J].食品工艺科技,2012,33(12):214-216,220.
- [29] 盖伟东,杜丽平,肖冬光,等.玉米皮水解液生产单细胞蛋白与L-阿拉伯糖[J].食品与发酵工业,2011,37(1):98-101.
- [30] 赖红武,黄俊,平丽娟,等.响应面法优化从玉米皮提取阿魏酸工艺[J].粮食与饲料工业,2013(2):16-18.
- [31] 赵战利,宁占国,李宁,等.玉米皮中阿魏酸的提取工艺研究[J].食品工业,2014,35(3):37-40.
- [32] 赵升强,姚胜文,欧仕益,等.采用膜分离法从玉米皮中制备阿魏酸的研究[J].食品工业科技,2014,35(4):204-207.
- [33] 郭丽,王鹏,周凤超,等.超声波辅助酶法提取玉米皮中阿魏酸的工艺优化及抗氧化研究[J].粮食与油脂,2015,28(11):41-45.
- [34] 白宇仁,孙元琳,王晓闻,等.阿魏酰低聚糖制备、结构及生物活性研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(20):214-219.
- [35] 曾凤彩,王文侠,宋春丽.酶解玉米麸皮制备阿魏酰低聚糖的研究[J].粮食与饲料工业,2012(2):31-35.
- [36] 潘海晓,刘海顺,王静,等.玉米麸皮中阿魏酰低聚糖的制备[J].北京工商大学学报:自然科学版,2011,29(3):33-37.
- [37] 杜娟,游雪娇,解春艳,等.双酶混合水解玉米皮渣制备阿魏酰低聚糖研究[J].食品工业科技,2017,38(8):193-198.
- [38] 焦昆鹏,朱文学,马丽苹,等.玉米麸皮发酵法制备阿魏酰低聚糖及膳食纤维的研究[J].食品科技,2014,39(8):172-176.
- [39] 郭春旭,谷令彪,孔令军,等.亚临界萃取联合太赫兹波提取玉米皮油的研究[J].食品科技,2016,41(2):216-220.
- [40] 张小苗,李昊阳.高甾醇玉米皮油的制备及其性质分析[J].渭南师范学院学报,2015,30(18):43-46.
- [41] 李昊阳,王飞运,刘华敏,等.正己烷和亚临界法萃取玉米皮油的性质比较分析[J].河南工业大学学报:自然科学版,2016,37(1):29-34.