

## 决明子的药理学作用及其在食品领域应用研究进展

毛琳, 余黎, 许增智, 王靖仪, 郭鹏, 刘明扬, 孙宗宇, 史雪盟, 许君

### Research Progress on the Pharmacological Effects and Applications in the Field of Food of Cassiae Semen

MAO Lin, YU Li, XU Zengzhi, WANG Jingyi, GUO Peng, LIU Mingyang, SUN Zongyu, SHI Xuemeng, and XU Jun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090253>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

纤维素酶法提取决明子粗多糖的工艺优化及其抗氧化活性

Optimization of Cellulase Extraction Process of Crude Polysaccharide from *Semen Cassiae* and Study on Its Antioxidant Activity

食品工业科技. 2023, 44(9): 183-189 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060262>

基于网络药理学研究化橘红-蛹虫草复方止咳活性及作用机制

Activity and Mechanism of *Citri grandis* Exocarpium-*Cordyceps militaris* Compound on Reliving Cough Based on Network Pharmacology

食品工业科技. 2022, 43(13): 17-24 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021100261>

基于网络药理学探讨山楂叶抗高脂血症的作用机制及初步验证

Mechanism of Action of Hawthorn Leaves against Hyperlipidemia Based on Network Pharmacology and Preliminary Validation Study

食品工业科技. 2022, 43(12): 36-45 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021100176>

水芹的化学成分、药理活性及其功能性食品研究进展

Research Progress of Chemical Compounds, Pharmacological Effects and Functional Food of *Oenanthe javanica*

食品工业科技. 2022, 43(1): 435-444 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120108>

基于网络药理学研究灵芝-西洋参-冬虫夏草复方增强免疫力活性及作用机制

Immunity Enhancement Activity and Mechanism of *Ganoderma lucidum*-*Panax quiquefolium* L.-*Cordyceps sinensis* compound Based on Network Pharmacology

食品工业科技. 2023, 44(8): 392-404 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060329>

兴安升麻醇提物成分分析及基于网络药理学探讨其促进皮肤伤口愈合的作用机制

Analysis of the Components of *Cimicifuga dahurica* (Turcz.) Maxim. Alcohol Extract and Exploration of Its Mechanism of Promoting Skin Wound Healing Based on Network Pharmacology

食品工业科技. 2023, 44(24): 12-22 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050247>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

毛琳, 余黎, 许增智, 等. 决明子的药理学作用及其在食品领域应用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 425-438. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090253

MAO Lin, YU Li, XU Zengzhi, et al. Research Progress on the Pharmacological Effects and Applications in the Field of Food of Cassiae Semen[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 425-438. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090253

· 专题综述 ·

# 决明子的药理学作用及其在食品领域 应用研究进展

毛琳, 余黎, 许增智, 王靖仪, 郭鹏, 刘明扬, 孙宗宇, 史雪盟, 许君\*  
(河南农业大学生命科学院, 河南郑州 450002)

**摘要:** 决明子是豆科植物决明 (*Cassia obtusifolia* Linn.) 或小决明 (*Cassia. tora* Linn.) 的干燥成熟的种子, 具有清热明目、润肠通便、降压降脂、保肝护肝、抗糖尿病等多种药理学功效, 且其具有药食同源的特性, 在医学与食品领域具有广阔的开发前景。本文通过对现有的文献进行归纳和分析, 从决明子的生物活性成分、药理学作用、毒性及其在食品领域的应用等方面对决明子近年来的研究进展进行了系统的综述。同时, 讨论了目前决明子研究中出现的新挑战和可能的发展方向。在决明子未来的研究中, 应进一步关注萘并吡酮类和多糖类的药理作用及其改善眼病的作用机制, 重点加强决明子的药代动力学研究和相关保健食品的安全性评价。本文为决明子的进一步研究、开发和利用提供新的基础资料。

**关键词:** 决明子, 生物活性成分, 药理学作用, 毒性, 食品领域

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)16-0425-14

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090253



本文网刊:

## Research Progress on the Pharmacological Effects and Applications in the Field of Food of Cassiae Semen

MAO Lin, YU Li, XU Zengzhi, WANG Jingyi, GUO Peng, LIU Mingyang, SUN Zongyu,  
SHI Xuemeng, XU Jun\*

(College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Cassia Semen, derived from the dried ripe seeds of leguminous plant *Cassia obtusifolia* Linn. or *Cassia. tora* Linn., exhibits a variety of pharmacological effects such as clearing heat to brighten the eyes, lubricating the intestine to relieve constipation, lowering blood pressure and lipids, hepatoprotection and anti-diabetes, etc. And due to its homology of medicine and food, it has broad development prospects in the fields of medicine and food. Based on the summary and analysis of the published literatures, this paper systematically reviews the integrated research progress of Cassiae Semen in recent years from the aspects of bioactive ingredients, pharmacological effects, toxicity and its applications in the food field. Additionally, the emerging challenges and possible development directions for the study of Cassiae Semen are discussed as well. In future research on Cassiae Semen, more attention should be paid to the pharmacological effects of naphthopyranones and polysaccharides and their mechanisms underlying improving eye diseases. Meanwhile, it is essential to focus on strengthening the researches on the pharmacokinetics of Cassiae Semen and the safety evaluation of its related functional foods. This article provides new basic information for further research, development, and utilization of Cassiae Semen.

收稿日期: 2023-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1804108); 河南省自然科学基金面上项目 (232300421157); 河南省自然科学基金青年项目 (242300421574); 中国博士后科学基金面上资助项目 (2022M711060); 河南农业大学高层次人才专项支持基金 (30501346); 国家自然科学基金青年科学基金 (32300140)。

作者简介: 毛琳 (1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 纳米药物抗病毒与决明子肝保护作用研究等, E-mail: maolin0209@126.com。

\* 通信作者: 许君 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 天然活性因子抗病毒及炎症研究等, E-mail: xujun@henau.edu.cn。

**Key words:** Cassiae Semen; bioactive ingredients; pharmacological effects; toxicity; food field

决明子是豆科植物决明(*Cassia obtusifolia* Linn.)或小决明(*Cassia. tora* Linn.)的种子,因其具有明目作用而闻名。决明和小决明是一年生草本灌木植物,原产于美洲,广泛分布于热带及亚热带地区,在我国主要产地为广东、广西、安徽等省,其他各省也有少量种植。决明子作为一种传统中药,有着悠久的历史,最早记载于《神农本草经》,现已被国家卫生部列为药食同源的中药之一<sup>[1]</sup>,具有很高的药用与食用价值,广泛应用于医疗及食品保健领域。现代药理学研究表明,决明子中主要含有蒽醌类、萘并吡喃酮类、黄酮类、多糖等多种化学成分,是其不同药理学活性(如清热明目、润肠通便、降血压、降血脂、抗氧化、肝保护、抗糖尿病、神经保护等)的物质基础,在眼疾、便秘、高血压、高血脂、糖尿病等治疗方面具有广阔的应用前景<sup>[2]</sup>。

决明子作为一种传统的药食同源性物质,近年来,其化学成分、药理学作用以及其潜在的药用价值已被全球范围包括中国、日本及美国在内的众多学者深入地探究与揭示。尽管学者们在决明子治疗眼疾、便秘、高血脂、高血压、糖尿病等多种疾病方面开展了大量的研究,但其药理学作用机制尚不完全清楚<sup>[3]</sup>。除了药理学活性物质外,决明子还含有维生素和氨基酸、脂肪及多种功能因子,其保健功能日益受到人们的重视<sup>[4]</sup>,比如在中国、日本、韩国等地区,决明子常被用作茶的替代品,可以缓解便秘,改善视觉疲劳。

本文从生物活性成分、药理学作用、毒性及其在食品领域应用方面对决明子近年来的研究进展进行了系统而全面的综述,并在此基础上讨论了目前决明子研究中出现的新挑战和可能的发展方向,以期对决明子的进一步研究、开发与利用提供新的思路。

## 1 决明子的生物活性成分

决明子含有丰富的生物活性成分,其主要药理学活性物质为蒽醌类和萘并吡喃酮类化合物,如大黄酚、大黄素、芦荟大黄素、大黄酸、大黄素甲醚、橙黄决明素和决明子苷、红镰霉素、决明酮等,其中大黄酚和橙黄决明素在中国药典中被用作对照品(图1~图2),以鉴定决明子的质量。除上述成分外,其中的氨基酸、多糖、脂肪酸、黄酮类、维生素和矿物质等含量也较为丰富<sup>[5]</sup>。

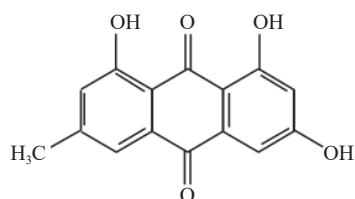


图1 大黄酚结构

Fig.1 Structure of chrysophanol

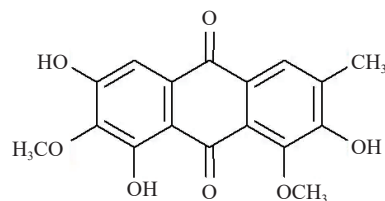


图2 橙黄决明素结构

Fig.2 Structure of aurantio-obtusin

### 1.1 蒽醌类

蒽醌类化合物是决明子的主要生物活性成分,可分为结合型和游离型两种形式。蒽醌的母核结构多为大黄素型,较稳定,母核有8个取代基位点,常被羟基、甲氧基、羟甲基、甲基和羧基取代。决明蒽醌类的游离形式多以与葡萄糖或者龙胆二糖结合成糖苷的形式存在,糖的个数一般为1~4个。目前已从决明子中分离出了60余种蒽醌类成分,其化合物名称见表1。

### 1.2 萘并吡喃酮类

萘并吡喃酮类化合物是决明子中的一类特异性药理学活性成分,以保肝护肝作用为主。萘并吡喃酮类成分通常以苷的形式存在,糖类型也以葡萄糖和龙胆二糖为主,其中单糖的数量不超过4个。现已从决明子中分离出20余种萘并吡喃酮类化合物,代表成分有红镰霉素、决明子苷、决明子苷C等,其具体成分见表2。

### 1.3 多糖类

决明子多糖类主要为水溶性多糖和碱溶性多糖,是除蒽醌类化合物外的另一类重要活性成分<sup>[33]</sup>。目前分离得到的决明子多糖多以半乳甘露聚糖为主,由半乳糖和甘露糖组成。在其多糖结构主链上,甘露糖通过1-4糖苷键连接,并且在每第六个甘露糖的第六号碳原子羟基上的氢被1个半乳糖取代,从而形成半乳甘露聚糖<sup>[34]</sup>。除此之外,决明子多糖也包括果胶多糖、半纤维素、葡萄糖醛酸木聚糖、阿拉伯葡聚糖、中性半乳甘露聚糖、多分支葡萄糖醛酸木聚糖等<sup>[33]</sup>。

### 1.4 脂肪酸类

决明子中的脂肪酸类成分也比较丰富,所含的脂肪酸包括不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸,并以不饱和脂肪酸为主,其中含量最高的不饱和脂肪酸为(Z)-9-十八碳烯酸(油酸)和9,12-十八碳二烯酸(亚油酸),含量最高的饱和脂肪酸为十六酸(棕榈酸)<sup>[35]</sup>。其他组成成分主要包括亚麻酸<sup>[36]</sup>、十五烷酸、9-十六碳烯酸、十七烷酸、十八烷酸(硬脂酸)、二十烷酸(花生酸)、二十一烷酸、二十二烷酸(山萘酸)、二十三烷酸、二十四烷酸、15-二十四碳烯酸等<sup>[37-38]</sup>。此外,决明子炮制品中还含有二十碳烯酸成分<sup>[35]</sup>。

表 1 决明子中的蒽醌类成分  
Table 1 Anthraquinones in Cassiae Semen

编号	化合物名称	分子式	分子量	文献
1	大黄酚	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	254	[6]
2	大黄酸	C <sub>15</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	284	[6]
3	大黄素	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	270	[6]
4	芦荟大黄素	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	270	[6]
5	大黄素甲醚	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	284	[6]
6	决明素	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	344	[7]
7	黄决明素	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	358	[7]
8	橙黄决明素	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	[7]
9	美决明子素	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	284	[8]
10	2-羟基大黄素	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286	[6]
11	8-O-甲基大黄酚	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	268	[9]
12	大黄素-8-甲醚	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	284	[10]
13	2-羟基-大黄素-1-甲醚	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	300	[11]
14	1-去甲基黄决明素	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	344	[6]
15	1-去甲基决明素	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	[6]
16	1-去甲基橙黄决明素	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	346	[6]
17	1-O-甲基大黄素	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	268	[11]
18	大黄酚-10,10'-联蒽酮	C <sub>30</sub> H <sub>22</sub> O <sub>6</sub>	478	[6]
19	2-羟基大黄素-1-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448	[12]
20	2-羟基大黄素-2-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	448	[13]
21	橙黄决明素-6-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>23</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	492	[14]
22	1-去甲基橙黄决明素-2-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>12</sub>	478	[14]
23	甲基钝叶决明素-2-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>25</sub> H <sub>28</sub> O <sub>12</sub>	520	[15]
24	美决明子素-2-O-β-D-6-O-乙酰基吡喃葡萄糖苷	C <sub>24</sub> H <sub>24</sub> O <sub>11</sub>	487	[6]
25	大黄素-8-O-β-葡萄糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	432	[6]
26	大黄酚-1-O-β-龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>13</sub>	562	[16]
27	大黄素-1-O-β-龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	594	[16]
28	大黄素甲醚-8-O-β-龙胆二糖苷	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	592	[16]
29	大黄素甲醚-8-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	446	[13]
30	6,8-二羟基-1,2,7-三甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>7</sub>	344	[10]
31	1,2-二甲氧基-8-羟基-3-甲基-9,10-蒽醌	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	298	[17]
32	柯桎素	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	240	[9]
33	大黄素-6-葡萄糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	432	[9]
34	大黄素-1-O-β-龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	594	[16]
35	1,2-二羟基蒽醌	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	240	[6]
36	葡萄糖基美决明子素	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	476	[6]
37	大黄酚-1-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	416	[18]
38	7-甲氧基美决明子素	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	314	[11]
39	8-羟基-1,2,6,7-四甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	358	[11]
40	1,2,7-三羟基-8-甲氧基-6-甲基-9,10-蒽醌	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	300	[18]
41	1,2,3,7-四羟基-8-甲氧基-6-甲基-9,10-蒽醌	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	316	[18]
42	6-O-β-D-吡喃葡萄糖基-1-羟基-2,8-二甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>19</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	372	[19]
43	6-O-β-D-吡喃葡萄糖基-8-羟基-1,2,7-三甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>20</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	402	[19]
44	2-O-β-D-吡喃葡萄糖基-8-羟基-1,7-二甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>23</sub> H <sub>24</sub> O <sub>11</sub>	476	[19]
45	6,8-二羟基-1,7-二甲氧基-3-甲基-9,10-二酮-2-O-β-D-葡萄糖苷	C <sub>28</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	552	[20]
46	2-O-β-D-葡萄糖苷-8-羟基-1,6,7-三甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>24</sub> H <sub>27</sub> O <sub>13</sub>	523	[6]
47	8-羟基-1,2,6,7-四甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>7</sub>	358	[11]
48	2,5-二羟基-1-甲氧基蒽醌	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	270	[21]
49	1,6,7-三羟基-3-甲氧基蒽醌	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	286	[21]
50	1-羟基-2-羟基-3-甲氧基蒽醌	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	300	[21]
51	2-O-β-D-葡萄糖基-1,7,8-三羟基-3-甲基蒽醌	C <sub>24</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	506	[19]
52	美决明子素-2-O-β-D-(6'-O-α,β-不饱和丁酰基)-葡萄糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>11</sub>	513	[22]
53	美决明子素-2-O-β-D-2,6-双氧-乙酰吡喃葡萄糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	594	[23]

续表 1

编号	化合物名称	分子式	分子量	文献
54	美决明子素-2-O- $\beta$ -D-3,6-双氧-乙酰吡喃葡萄糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	594	[23]
55	美决明子素-2-O- $\beta$ -D-4,6-双氧-乙酰吡喃葡萄糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	594	[23]
56	美决明子素-2-O-葡萄糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	446	[23]
57	大黄酚三糖苷	C <sub>33</sub> H <sub>40</sub> O <sub>19</sub>	740	[24]
58	大黄酚-1-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	C <sub>39</sub> H <sub>50</sub> O <sub>24</sub>	901	[25]
59	大黄酚-1-O- $\beta$ -四葡萄糖苷	C <sub>39</sub> H <sub>50</sub> O <sub>24</sub>	901	[26]
60	1,6,8-三羟基-2,7-二甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	330	[11]
61	2-乙酰大黄素甲醚	C <sub>18</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	326	[11]
62	大黄酚-9-蒽酮	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	240	[21]
63	1-羟基-7-甲氧基-3-甲基蒽醌	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	268	[21]

表 2 决明子中的萘并吡喃酮类成分

Table 2 Naphthopyrones in Cassiae Semen

编号	化合物名称	分子式	分子量	文献
1	红镰霉素	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	272	[27]
2	红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	596	[27]
3	决明子苷B	C <sub>26</sub> H <sub>30</sub> O <sub>14</sub>	566	[12]
4	红镰霉素三葡萄糖苷	C <sub>33</sub> H <sub>42</sub> O <sub>20</sub>	758	[26]
5	决明子苷B <sub>2</sub>	C <sub>39</sub> H <sub>52</sub> O <sub>25</sub>	920	[27]
6	红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷	C <sub>39</sub> H <sub>52</sub> O <sub>25</sub>	920	[28]
7	去甲基红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-龙胆二糖苷	C <sub>26</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	582	[26]
8	决明子苷	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	420	[29]
9	去甲基红镰霉素	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	258	[27]
10	去甲基红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-(6'-O-乙酰基)-葡萄糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	462	[30]
11	异红镰霉素龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	596	[26]
12	(3R)-决明子内酯-9-O-龙胆二糖苷	C <sub>28</sub> H <sub>36</sub> O <sub>16</sub>	628	[16]
13	异决明子内酯	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	272	[26]
14	决明子内酯	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	272	[11]
15	决明子苷C	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	596	[29]
16	决明子苷C <sub>2</sub>	C <sub>39</sub> H <sub>52</sub> O <sub>25</sub>	920	[27]
17	决明子内酯-9-O- $\beta$ -D-葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷	C <sub>39</sub> H <sub>52</sub> O <sub>25</sub>	920	[25]
18	决明酮-8-O- $\beta$ -D-葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖-(1 $\rightarrow$ 6)-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	C <sub>33</sub> H <sub>42</sub> O <sub>20</sub>	758	[31]
19	决明柯酮	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	246	[26]
20	(3R)-决明子内酯-9-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷	C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> O <sub>11</sub>	466	[32]
21	决明子内酯龙胆二糖苷	C <sub>27</sub> H <sub>34</sub> O <sub>16</sub>	614	[27]

## 1.5 其他类

决明子中含有五种黄酮类化合物,包括白杨素、白杨素-7-O- $\beta$ -葡萄糖醛酸苷、高良姜素、木犀草素和黄豆苷元<sup>[21]</sup>。决明子中含有 8 种人体必需氨基酸,主要为异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸及色氨酸,其总含量高达 3.36%<sup>[39]</sup>,还有多种非必需氨基酸,如谷氨酸、丝氨酸、天门冬氨酸、 $\gamma$ -羟基精氨酸、胱氨酸等<sup>[40]</sup>;并且,以往的研究发现,成熟的决明子中含有 Mo、Ni、Ca、K、P、Mg、Zn、Mn、Sr、Cr、V、Fe、Na 等多种有重要生理活性的矿质元素。其中 Mg、Fe、Zn 三种微量元素的含量极其丰富<sup>[41]</sup>。此外,决明子中含有三种色酮碳苷,分别为 obtusichromoneside A、obtusichromoneside B、obtusichromoneside C<sup>[42]</sup>。除上述

成分外,决明子中还含有  $\beta$ -谷甾醇、胆甾醇、菜油甾醇、豆甾醇等甾醇类化合物<sup>[41]</sup>。

## 2 决明子的药理学作用

决明子中的多种化学成分赋予了其多重药理学活性,包括:润肠通便、清热明目、肝保护、调压降脂、抗炎与免疫调节、抗氧化、抗菌除菌、神经保护、抗糖尿病、心血管保护、抗病毒、抗癌活性等(图 3)。决明子的药理学活性及其作用机制将在本部分进一步阐述。

### 2.1 润肠通便

研究显示,决明子蒽醌类物质可有效地促进肠蠕动,抑制固醇类物质的吸收,促进肠道排泄,从而缓解便秘。并且决明子含有的丰富的多糖类物质与蒽醌类物质能发生明显的协同效应<sup>[43]</sup>。与其他中成药

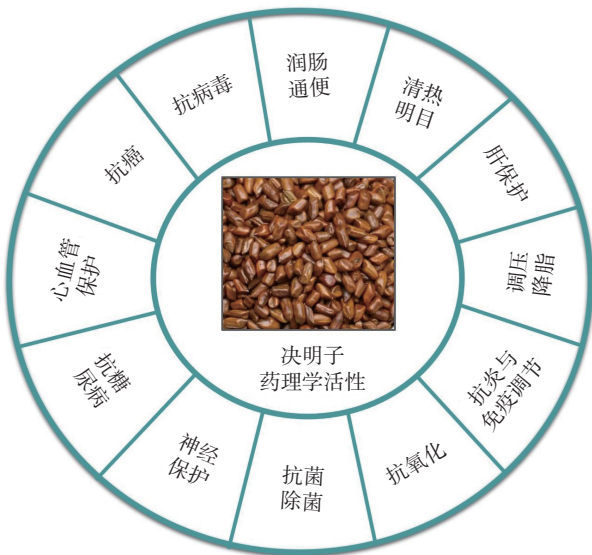


图 3 决明子的各种药理学活性

Fig.3 Different pharmacological activities displayed by Cassiae Semen

或西药相比, 决明子针对老年性便秘的治愈率显著提高<sup>[44]</sup>。此外, 研究表明, 决明子能够通过下调结肠黏膜的水通道蛋白 3(aquaporin 3, AQP3)的表达来有效治疗大鼠的慢传输型便秘<sup>[45]</sup>。决明子正丁醇提取物中蒽醌苷和萘并吡喃酮苷类能明显缩短便秘小鼠首便时间, 并增加便量<sup>[46]</sup>。

## 2.2 清热明目

决明子因其突出的明目作用而命名, 其主要功效就是清热明目, 并在治疗眼疾方面具有一定的促进作用<sup>[47]</sup>。研究发现, 决明子煎剂可调节家兔泪液中乳酸脱氢酶的活力, 并提高眼睫状肌组织中 3-磷酸腺苷(ATP)的含量, 从而起到清热明目的作用<sup>[48]</sup>。决明子乙醇提取物能显著提高非酒精性脂肪肝大鼠晶状体中超氧化物歧化酶(SOD)活性, 降低其中的丙二醛(MDA)和糖基化终产物(AGEs)的含量, 从而改善晶状体中氧化应激状态, 保护晶状体<sup>[49]</sup>。并且, 采用决明子水提液对患者玻璃体视网膜术后高眼压进行预防与治疗, 能够显著降低糖尿病患者玻璃体视网膜术后高眼压的发生率, 并提高其治愈率<sup>[50]</sup>。此外, 通过决明子多糖对青光眼大鼠进行干预不仅不会损伤视网膜细胞还能够对视网膜结构起到恢复作用, 且该作用机制可能与其抑制小胶质细胞的炎症病变、抑制视网膜细胞凋亡和抗氧化活性有关<sup>[51]</sup>。尽管如此, 目前关于决明子治疗眼疾的作用机制尚未得到进一步揭示。

## 2.3 肝保护作用

决明子具有良好的肝保护活性<sup>[52]</sup>。李玉晶等<sup>[53]</sup>用决明子蒽醌糖苷(20 mg/kg/d)对非酒精性脂肪肝病(nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD)大鼠进行 6 周给药处理, 发现其能通过下调大鼠肝脏组织中胆固醇调节元件结合蛋白(SREBP-1c)的表达和上调过氧化物酶体增殖物激活受体  $\alpha$ (PPAR $\alpha$ )的表达,

从而显著抑制 NAFLD 大鼠甘油三酯的合成, 降低血脂, 对非酒精性脂肪肝具有一定的治疗效果。类似地, Meng 等<sup>[54]</sup>用决明子喂养大鼠, 发现决明子能够显著性降低 NAFLD 大鼠肝组织中氧化应激及炎症水平, 下调低密度脂蛋白的 mRNA 水平, 从而起到肝保护的作用。进一步地, Luo 等<sup>[55]</sup>研究发现, 用决明子乙醇提取物(10 g/kg/d)喂养小鼠 17 周能明显改善高脂饮食诱导的 NAFLD 小鼠肝脏中脂质的积累, 减轻肠屏障损伤, 肝损伤和炎症反应, 且这种肝保护作用也与肠道微生物群密切相关。此外, 体外实验研究表明, 决明子中一种蒽醌类物质(1-去甲基橙黄决明素-2-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷)和两种萘并吡喃酮类成分(决明子苷 B 和红镰霉素-6-O- $\beta$ -龙胆二糖苷)可通过 Nrf2 介导 HO-1 激活和 JNK/ERK/MAPK 信号通路, 从而减轻 t-BHP 对人 HepG2 细胞的氧化损伤<sup>[52]</sup>。此外, 决明子中活性成分橙黄决明素、钝叶素、大黄素、决明子苷、决明子苷 C、2-羟基大黄素和芦荟大黄素、2-羟基大黄素-1-甲基醚、黄决明素-2-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷、大黄素-8-甲醚等均能显著性地抑制 t-BHP 对 HepG2 细胞造成的细胞毒性, 这种对肝细胞保护作用可能与其降低细胞中氧化应激水平有关<sup>[56-57]</sup>。这些研究结果显示, 决明子中具有肝保护生物活性成分, 有望作为未来临床治疗中一种有效的肝保护剂。

## 2.4 调压降脂

决明子中蛋白质、低聚糖和蒽醌类物质等具有明显的降血压和血脂效果<sup>[58]</sup>。决明子中的活性成分蒽醌类被证明对脂肪酶活性有一定的抑制作用, 因而可有效预防高脂血症、糖尿病及肥胖等脂肪代谢类疾病<sup>[59]</sup>。研究报道, 含有橙黄决明素的饲料能显著降低高脂血症大鼠血清中胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白的含量<sup>[60]</sup>。并且, 决明子中的橙黄决明素可通过促进血管内皮细胞中一氧化氮合酶(endothelial nitric oxide synthase, eNOS)的丝氨酸第 1177 位残基和苏氨酸第 495 位残基磷酸化, 增加 NO 的水平, 从而舒张血管, 实现降血压的作用<sup>[61]</sup>。决明子中也含有一种抗高血压肽(FHAPW), 能够抑制血管紧张素转换酶(angiotensin converting enzyme, ACE)的活性, 进而与 ACE 活性有关的几个关键位点氨基酸残基发生相互作用, 最终达到降低血压的目的<sup>[62]</sup>。此外, 研究表明, 决明子可通过调控钙信号通路、甲状腺激素信号通路等多个途径治疗高血压症, 如: 决明子可分别作用于雌激素受体 1(estrogen receptor 1, ESR1)、丝裂原活化蛋白激酶 14(mitogen-activated protein kinase, MAPK14)、转录因子激活蛋白(transcription factor activator protein JUN)、及  $\beta$ -2 肾上腺素受体( $\beta$ -2 adrenergic receptor, ADRB2)等受体的多靶点而发挥作用<sup>[63]</sup>。因此, 决明子在被开发作为一种新型的潜在血管扩张剂及降血脂药物, 用于高血压及高血脂治疗方面具有很大的潜力。

## 2.5 抗炎和免疫调节

决明子具有一定的抗炎及免疫调节功能<sup>[64]</sup>。决明子蒽醌苷可明显促进小鼠淋巴细胞的增殖,增强巨噬细胞的吞噬作用,提高自然杀伤细胞的杀伤活性及肿瘤坏死因子的分泌,并促进混合淋巴细胞反应(MLR),有效拮抗丝裂霉素 C 对淋巴细胞增殖的不利影响<sup>[65]</sup>。李清媛等<sup>[66]</sup>用决明子水提液对昆明鼠分别进行 14 d 的口服灌胃和腹腔注射,结果发现决明子组的小鼠抗体水平提高,巨噬细胞也明显增多。章晋武<sup>[34]</sup>系统研究了决明子多糖对猪的生长性能影响,发现决明子多糖可增强仔猪的免疫系统功能,具体表现在:显著提高仔猪平均日增重量及肝脏类胰岛素生长因子的表达量,明显增加仔猪血清中的免疫球蛋白 IgA、IgG、IgM 和白介素 IL-1 $\beta$ 、IL-2、IL-6 的浓度,以及上调肠粘膜、肠淋巴结中的 IL-1 $\beta$  的表达。Feng 等<sup>[67]</sup>采用梯度乙醇沉淀法从决明子中分离得到了水溶性多聚糖,发现分离的多糖可通过促进巨噬细胞 RAW264.7 的吞噬作用和刺激 NO 和细胞因子 TNF- $\alpha$  和 IL-6 的分泌来增加免疫调节活性。类似地,Hou 等<sup>[68]</sup>研究发现,决明子提取物中的橙黄决明素能够通过降低脂多糖(Lipopolysaccharide, LPS)诱导的 RAW264.7 细胞中 NO、PGE2 的产生,抑制诱导性一氧化氮合酶(inducible nitric oxide synthase, iNOS)、环氧合酶-2(cyclooxygenase-2, COX-2)、TNF- $\alpha$  和 IL-6 的表达以及核转录因子 NF- $\kappa$ B 的激活,从而削弱 RAW264.7 细胞的炎症反应。另外, Kim 团队报道<sup>[69]</sup>,决明子水提物的预处理能够通过抑制葡聚糖硫酸钠(DSS)处理的结肠组织中 IL-6 的水平和 COX-2 的表达,以及核转录因子 NF- $\kappa$ Bp65 的激活,从而对 DSS 诱导的溃疡性结肠炎有改善作用。He 等<sup>[70]</sup>发现,两种决明子蒽醌类成分(钝叶素和钝叶素葡萄糖苷)能够显著抑制髓中促炎细胞因子(如 TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6)的上调和 NF- $\kappa$ B 的激活,从而缓解神经炎症过程的神经疼痛,促进神经免疫系统的调节。此外,决明子中橙黄决明素能够通过中断肺相关细胞中 JNK/IKK/NF- $\kappa$ B 的激活和促炎细胞因子的产生从而抑制 iNOS 表达,并且剂量依赖性地抑制小鼠气道炎症以及 LPS 诱导的急性肺损伤的炎症反应<sup>[71]</sup>。决明子胶中的一种新型甘露低聚寡糖(chitooligosaccharide, CMOS)被证明能明显减轻糖尿病大鼠的炎症反应并改善葡萄糖代谢,其作用机制主要是通过抑制肠和肝脏中 Nlrp3 相关的炎症小体的激活,从而下调白介素 1 $\beta$  的表达,减轻炎症反应<sup>[72]</sup>。因此,开发决明子药物及功能保健食品在治疗多种炎症性疾病,以及增强机体免疫功能方面具有重要的临床意义。

## 2.6 抗氧化活性

决明子中的蒽醌类、萘并吡喃酮类、多糖类等多种生物活性成分均具有抗氧化活性,且决明子的多种药理学活性都与其抗氧化效应密切相关。研究表明,

决明子中的芦荟大黄素,对活性氧自由基具有较强的清除能力,可参与丝裂原活化蛋白激酶、蛋白激酶 C、NF- $\kappa$ B 等与细胞内氧化还原反应有关的细胞信号通路<sup>[73]</sup>。网络药理学研究结果显示,决明子中含有 11 种具有抗氧化作用的蒽醌类成分和萘并吡喃酮类成分,可分别作用于 30 多个不同的靶点<sup>[74]</sup>。除蒽醌类物质外,决明子蛋白水解后,筛选出的多肽及水溶性多糖成分均具有抗氧化活性<sup>[75]</sup>。如 Liu 等<sup>[76]</sup>对决明子水溶性多糖提取物的抗氧化活性进行了评价,发现当多糖浓度为 94.03 mg/mL 时,对羟基和超氧化物的清除率分别为 43.32% 和 64.97%,优于相同浓度下的维生素 C。并且,用不同溶剂提取决明子,发现无水乙醇提取液的抗氧化能力强于维生素 E,具有潜在的抗衰老作用<sup>[77]</sup>。此外,决明子也是一些具有抗氧化作用的中药复方的主要原料之一,体内外实验均证明一种从荷叶、山楂、金荞麦、枸杞、决明子、茯苓中提取的新型复合多糖,具有较强的抗氧化作用<sup>[78]</sup>。

## 2.7 抗菌除菌作用

决明子对细菌、真菌都有一定的抗菌作用。研究发现,决明子对多种微生物如青春双歧杆菌,双叉型比菲德氏菌,长双歧杆菌,短双歧杆菌,产气荚膜梭菌、大肠杆菌、干酪乳杆菌等的生长都有一定的抑制作用。尤其是分离得到的 1,2-二羟基蒽醌的对产气荚膜杆菌和大肠杆菌的生长具有强烈的抑制作用<sup>[79]</sup>。类似地,熊卫东等<sup>[80]</sup>发现决明子蒽醌化合物具有广谱抗菌活性,可明显抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎球菌、产气杆菌和青霉菌等的生长与增殖,其中大黄素对肺炎球菌、金黄色葡萄球菌的抑制作用最强<sup>[81]</sup>。此外,决明子油被证明对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌均具有有效的抗菌活性<sup>[82]</sup>。用决明子提取物合成的绿色纳米银颗粒对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和肺炎克雷伯菌等都具有很强的抗菌活力<sup>[83]</sup>。除了对动物病原菌有抗菌作用外,决明子乙醇提取物与氯仿提取物对植物病原菌如镰刀菌、弯孢菌、油菜菌核病菌、金黄色葡萄球菌和棉花炭疽病菌也有一定的抑菌作用,其中对油菜菌核病菌和棉花炭疽病菌的抑菌率分别高达 53% 和 62%<sup>[84]</sup>。决明子的有效抗菌作用说明其在防腐剂、皮肤病或者创伤治疗药物及绿色农药的开发和应用方面具有潜在的价值。

## 2.8 神经保护作用

决明子及其主要化学成分在抗脑缺血再灌注、抗帕金森病(Parkinson's disease, PD)和抗阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)等方面均表现出显著的神经保护作用。研究表明,决明子中的大黄素及大黄素甲醚可分别作为多巴胺受体 D3R 的激动剂和血管加压素 V1A 的拮抗剂,对神经系统起到一定的保护作用<sup>[85]</sup>。决明子中的芦荟大黄素(10 mg/kg)可抑制硝基酪氨酸和脂质过氧化、抑制双侧颈总动脉闭塞(bilateral occlusion of common carotid arteries,

2VO)诱导的 iNOS 表达和小胶质细胞活化,从而在 2VO 引起的短暂性脑缺血再灌注方面具有明显的神经保护活性<sup>[86]</sup>。决明子中的钝叶素和葡萄糖基决明子素也被证明能够显著性改善多胺诱导的小鼠学习和记忆损伤<sup>[87]</sup>。此外,决明子乙醇提取物能够通过降低海马组织中 iNOX 和 COX-2 的表达,上调 pCREB 和 BDNF 的表达,抑制小鼠乙酰胆碱酯酶活性,从而减轻多胺或 2VO 诱导的记忆损伤和神经元损伤<sup>[88]</sup>。决明子水提取物可通过抑制 cGAS/STING 通路而有效缓解大鼠因脑缺血再灌注所引起的神经炎症<sup>[89]</sup>。橙黄决明素可通过靶向各种 G 蛋白偶联受体减轻 C57BL/6 小鼠短暂性脑缺血再灌注导致的神经损伤<sup>[90]</sup>。另外,决明子也是治疗帕金森病和阿尔茨海默病有用的神经保护候选药物。研究发现,在 6-羟基多巴胺(6-OHDA)和 1-甲基-4-苯基吡啶(MPTP)诱导的小鼠 PD 模型中,决明子乙醇提取物(50 mg/kg)可通过抗氧化、抗线粒体介导的细胞凋亡和抑制运动损伤机制,保护中脑多巴胺能(DA)细胞免受神经毒性,从而表现出对 DA 神经元退行的有效预防作用<sup>[91]</sup>。在淀粉样蛋白(A $\beta$ )诱导的小鼠 AD 模型中,决明子的乙醇提取物能够通过抑制 Akt/GSK-3 $\beta$  信号通路来改善淀粉样蛋白  $\beta$  诱导的突触功能障碍,因此具有一定的抗 AD 作用<sup>[92]</sup>。此外,在大鼠 AD 模型中,决明子水提取物可通过“肠道-微生物-脑”轴而表现出对抗记忆缺陷的作用<sup>[93]</sup>。决明子的抗 AD 特性归因于其活性成分。决明子成分中蒽醌类(如大黄素、大黄酚、大黄素甲醚、钝叶素、芦荟大黄素、2-羟基大黄素、大黄素-8-甲醚)与萘并吡酮类及其糖苷(如红镰霉素、红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷、红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-龙胆二糖苷、异红镰霉素-6-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷、异红镰霉素龙胆二糖苷和红镰霉素三葡萄糖苷)能显著地抑制乙酰胆碱酯酶(AChE)、丁酰胆碱酯酶(BChE)和  $\beta$  位点淀粉样前体蛋白(APP)切割酶 1(BACE1)的酶活性,从而表现出较强的抗 AD 活性<sup>[94-95]</sup>。以上研究表明,决明子有望被开发作为神经候选药物用于脑缺血再灌注损伤,帕金森病及阿尔茨海默病的有效治疗。

## 2.9 调节血糖与抗糖尿病活性

决明子具有调节血糖的活性,从而能够发挥一定的抗肥胖、抗糖尿病及缓解糖尿病并发症的作用。研究表明,决明子中的钝叶醇和决明子苷 B2 可通过激活 5-羟色胺受体 2C(5-HT<sub>2C</sub>)来抑制食欲,从而发挥抗肥胖作用<sup>[96]</sup>。决明子乙醇提取物可通过激活 PI3K-Akt-AS160 信号通路,促进糖尿病大鼠骨骼肌葡萄糖转运蛋白 4(GIUT4)的易位,从而改善葡萄糖代谢,降低血糖<sup>[97]</sup>。并且,决明子提取物也可通过调节糖尿病大鼠骨骼肌中 LKB1-AMPK-GLUT4 信号通路,修复骨骼肌氧化损伤,改善胰岛素抵抗,并增强胰岛素敏感性<sup>[98]</sup>。决明子中降血糖的主要成分是蒽醌类及萘并吡喃酮类物质<sup>[99]</sup>。Jung 等<sup>[100]</sup>发现,决

明子中蒽醌类大黄素和 2-羟基大黄素对蛋白酪氨酸磷酸酶 1B(protein tyrosine phosphatase 1B, PTP1B)和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性具有明显的抑制作用,并且能够显著性提高对胰岛素抵抗的人 HepG2 细胞对葡萄糖的摄取。此外,研究报道,腹腔注射或者灌胃钝叶决明素能通过下调由链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠血清中的氧化应激水平,降低血清中的血糖、血脂含量,从而缓解糖尿病引起的并发症<sup>[101-102]</sup>。这些实验结果显示了决明子具有潜在的抗糖尿病活性,有望作为治疗糖尿病及相关并发症的功能性食品或药物基材。

## 2.10 对心血管的保护作用

决明子具有抗血小板聚集活性,对血液流变和血栓形成有改善作用<sup>[103]</sup>。Yun-Choi 等<sup>[104]</sup>报道,决明子乙醇提取物中三种主要的蒽醌类(橙黄决明素、甲基钝叶决明素、大黄素)对 5'-二磷酸腺苷(ADP)、花生四烯酸(AA)或胶原诱导的血小板聚集均具有明显的抑制作用。Yu 等<sup>[105]</sup>发现,决明子中美决明子素和橙黄决明素具有有效的抗血小板聚集的作用,可作为开发新型凝血酶抑制剂的先导化合物。此外,研究表明,决明子蒽醌苷可通过促进 Nrf2 的活化来改善冠心病大鼠的心肌损伤<sup>[106]</sup>。决明子乙酸乙酯萃取物能够降低低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的水平,从而使患动脉粥样硬化的风险减少,对心血管起到保护作用<sup>[107]</sup>。

## 2.11 其他活性

除了上述药理活性之外,决明子还具有抗癌、利尿及抗病毒等功效。决明子中的大黄素甲醚在治疗宫颈癌方面具有潜在药物价值<sup>[108]</sup>。从决明子酒精提取物中分离出的多糖 COB1B1S2 及其硫酸盐衍生物 COB1B1S2-Sul,被证明具有良好的抗癌活性,对人癌细胞株 Bel7402、SMMC7721、Huh7 以及 HT-29 和 Caco-2 细胞的活力均具有明显的抑制作用<sup>[109]</sup>。并且,从决明子中分离出来的 12 种其他成分如决明素、甲基钝叶决明素、甲基钝叶决明素-2-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷等对 HCT-116、A549、HepG2、SGC7901、LO2 等癌细胞系均表现出剂量依赖性的细胞毒性<sup>[20]</sup>。决明子蒽醌类的决明素、大黄酚和大黄素甲醚因可通过减缓前列腺素代谢而达到利尿作用,这也可能是其降压功能的原因之一<sup>[110]</sup>。决明子在口腔溃疡治疗方面也有明显药效,用决明子煎水每天含漱 3~5 次,可有效治疗口腔溃疡<sup>[111]</sup>。此外,决明子及其成分也具有较好的抗病毒活性。在新型冠状病毒(SARS-CoV2)、流感病毒(H1N1、H1N3)等所引起的传染病的治疗中,使用含有决明子的药物,可明显改善患者的症状<sup>[112-113]</sup>。

## 3 决明子毒性

决明子虽然具有广泛的药理学作用,但其性微寒,具有“主渲泻”作用,长期大量食用会对肝、肾、肠胃及生殖系统产生较大的亚慢性毒性<sup>[114-115]</sup>。研究表

明, 蒽醌类化合物如大黄素、大黄酸、橙黄决明素等成分是决明子水提物中的主要潜在肝毒性基础, 可通过脂质过氧化反应和线粒体途径引起脂代谢紊乱, 进而造成一定程度的肝损伤<sup>[116]</sup>。Liu等<sup>[117]</sup>采用决明子汤(0.315、1.575、3.15、6.30 g/kg/d)对高脂小鼠进行连续灌胃共90 d后, 结果发现, 各剂量组中均有部分小鼠出现了肝细胞空泡化、及细胞水肿。Hu等<sup>[118]</sup>分别以3.75、15和60 mg/kg剂量的橙黄决明素喂养斑马鱼幼鱼28 d后, 发现高剂量(60 mg/kg)的橙黄决明素能够显著延迟斑马鱼中的卵黄囊的吸收, 增加斑马鱼幼鱼的肝脏面积和炎症反应。此外, Pei等<sup>[119]</sup>用决明子冻干粉(0.5、2.2、10.0 g/kg/d)连续饲喂大鼠26周后, 发现10.0 g/kg组(相当于中国药典推荐的决明子量的10倍)大鼠的肾组织出现典型的病理学变化, 表现明显的肾脏损伤。因此, 尽管决明子具有多种药理学活性, 但也要适量、适当食用。

#### 4 决明子在食品领域的应用

决明子作为一种药食同源物质, 因其富含丰富的人体必需营养素及多种生物活性成分, 赋予其多种

药理学活性。此外, 决明子来源广泛, 价格低廉, 提取方便, 经烘烤后具有浓郁的咖啡香气, 且其加工性和乳化性较好, 成为保健食品开发过程的优选原料, 可被用于研制各种形式的功能性保健食品<sup>[120]</sup>。

目前, 以决明子为原料或辅料的保健食品以保健饮料为主。经炒制或烤制的决明子香气浓郁, 独具风味, 又称东方咖啡, 因此在印度、韩国等国家和地区, 将决明子用来泡茶或者作为咖啡替代品治疗便秘、头晕和高血压等症状<sup>[121]</sup>。此外, 决明子也可与枸杞、菊花、荷叶、牛蒡等多种中药材料配伍成多种具有功效的多种复合保健茶。目前利用决明子已经开发了多种保健品, 其主要形式以饮品为主, 包含保健茶、复合饮料及乳饮料等, 其保健作用主要集中在降血脂、降血压、缓解便秘及眼疾等方面。除此之外, 决明子在固体食品添加剂方面也得到了广泛的应用, 如可被用来生产决明子面条、菊花决明粥、决明子果冻、决明子冰淇淋、决明子咀嚼片、决明子调味料等。基于决明子的药理学活性, 目前被研究与开发的保健食品及其保健功效如表3所示。

表3 决明子保健食品的开发及其保健功效

Table 3 Development of Cassiae Semen health foods and their health benefits

产品名称	原料	保健功效	文献
清热明目茶	决明子(炒制)、菊花、甜叶菊	降血压、改善目赤目糊症状	[122]
降脂益寿茶	决明子、菊花、甜叶菊	降血压、降血脂	[123]
复方绞股蓝袋泡茶	决明子、绞股蓝等	降血压、降血脂	[124]
黑木耳决明子复合饮料	黑木耳、决明子	降血压、降血糖、抗氧化、抗肿瘤	[125]
罗汉果植物保健饮料	罗汉果、枸杞、决明子、杭白菊	润喉、明目	[126]
枸杞菊花复合饮料	枸杞子、菊花、茯苓、决明子等	改善视力	[127]
越桔健视饮料	决明子、越桔	改善视力	[128]
复合海藻茶饮料	海带、红曲、决明子、山楂	降血脂、降血压	[129]
决明子枸杞金银花复合饮料	决明子、枸杞、金银花	降血脂	[130]
降脂咖啡饮料	决明子粉、咖啡粉、咖啡伴侣	降血脂	[131]
润肠通便粥粉	彩麦、山楂、荷叶、决明子等	润肠通便	[132]
三子降血脂保健挂面	枳椇子、决明子、余甘子	降血脂	[133]
番茄调味料	番茄、胡萝卜、枸杞、决明子等	缓解视力疲劳	[134]

#### 5 结论与展望

决明子作为一种著名的药食同源性中药, 因具有多种生物活性及药理学特性, 在医药与食品等领域均具有广阔的应用前景。目前, 利用决明子已开发了数百种保健食品, 在降血压、降血脂、减轻体重、润肠通便、缓解眼疲劳、改善视力等方面发挥了重要的作用。尽管决明子的研究在近来已取得了很大的进展, 但其仍面临一些问题与挑战有待进一步研究和讨论, 具体体现在以下几个方面:

决明子化学成分复杂, 提取和分离难度大, 限制了对其具体成分的研究。决明子含有蒽醌类、萘并吡喃酮类、脂肪酸类、多糖等多种化学成分, 但这些成分的复杂性和多样性增加了提取和分离的难度。目前, 对决明子化学成分的研究主要集中在蒽醌类和萘并吡喃酮类上, 对决明子多糖及其他生物活性成分

的研究也相对较少。并且, 因萘并吡喃酮类组分纯化难以实现, 且缺少对照物质, 对其组分的研究仍存在很大的局限性。同时, 由于决明子多糖的提取和分离技术的限制, 仍难以准确地识别多糖组分的结构 and 对其进行定量分析也限制了决明子多糖的研究进展。

决明子上虽具有多种药理作用, 但关于其确切的有效成分及其作用机制仍不完全清楚。目前, 大多数药理学活性研究都是对决明子的粗提物进行开展的, 其特异性较差。因此, 建议可通过药物筛选以研究决明子中具体成分潜在的药理活性及其作用机理。另外, 尽管决明子在治疗眼病方面的研究已有报道, 但其作用机制及肝与眼的关系尚未得到进一步揭示, 因此很有必要通过体内外实验进一步探讨决明子改善眼病的作用机制。

目前关于决明子的研究主要集中在药理作用和

化学成分分析上,而关于其临床应用的研究相对较少。如何更好地将决明子的药理作用应用于临床实践中,仍是一个需要解决的问题。此外,决明子具有良好的抗菌除菌能力,其在参与皮肤病外用药物的研发方面具有潜在的价值。然而,目前决明子在药品上的应用多停留在内服,极少参与外用,且关于决明子在治疗皮肤病或者伤口愈合方面,尤其在糖尿病伤口的抗菌及修复方面的报道尚且较少。因此,仍需加强对决明子化学成分的研究,探索出新的药理作用,并逐渐延伸至临床研究,扩大决明子的应用范围。

对决明子及其主要成分的药代动力学的研究尚少,仍须关注决明子主要成分在病理模型动物体内的药代动力学特性,特别是研究肠道微生物群对代谢的影响,加强决明子药代动力学与化学结构关系的研究,为新药的设计开发提供依据。

决明子长期大量服用存在一定的毒性,限制了决明子的应用。然而,目前对决明子安全性的研究相对薄弱,现代的毒性研究多集中于决明子提取物和蒽醌类化合物的慢性毒性评价,缺乏对决明子及其成分的急性和亚急性毒性探究。因此,仍需要加大对决明子毒理学的研究,探索和建立科学可行的安全功能检测评价方法与体系,为确保决明子相关临床药品和保健食品的安全奠定坚实的基础。

虽然决明子作为药食同源的中药材在医药和食品领域具有广阔的市场前景,但在国际市场的开发和出口方面仍面临一些挑战。如何提升决明子产品的质量和附加值,降低生产成本,以及满足国际市场的需求和标准,也是决明子研究需要关注的重要问题。

总之,本文对近年来决明子的生物活性成分、药理学作用、毒理学及其在食品领域的应用研究进行了系统而全面的综述,并讨论了目前决明子研究中出现的新挑战和可能的发展方向,为决明子未来的进一步研究、开发和利用提供思路,使其无论是在人类的健康,还是在食品领域方面都具有更广阔的市场前景,都能带来更大的经济价值和社会效益。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

[1] 葛肖波,薛晓琳,李鑫,等. 基于现代文献探讨干预血脂异常的药食同源类药物用药特点及其病机分析[J]. 世界中西医结合杂志, 2020, 15(5): 845-849. [GE X B, XUE X L, LI X, et al. Analysis of medication law of edible and medicinal Chinese herbs and pathogenesis that interfere with dyslipidemia based on literature[J]. World Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2020, 15(5): 845-849.]

[2] 董玉洁,蒋沅岐,刘毅,等. 决明子的化学成分、药理作用及质量标志物预测分析[J]. 中草药, 2021, 52(9): 2719-2732. [DONG Y J, JIANG Y Q, LIU Y, et al. Research progress on chemical composition and pharmacological effects of *Cassiae semen* and predic-

ative analysis on quality markers[J]. Chinese Herbal Medicines, 2021, 52(9): 2719-2732.]

[3] 李春晓,王月明,韦东来,等. 决明子的主要化学成分和药理作用研究进展[J]. 现代农业研究, 2018(6): 47-50. [LI C X, WANG Y M, WEI D L, et al. The main chemical composition and pharmacological action of semen cassiae[J]. Modern Agriculture Research, 2018(6): 47-50.]

[4] 靳森. 决明子的开发利用现状及发展趋势决明子产品的研究与开发现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(3): 633-637. [JIN M. Present situation and development trend of exploitation for *Cassia tora* Linn[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(3): 633-637.]

[5] 李馨刚,宋静荣. 决明子有效成分的提取及活性研究进展[J]. 中国民康医学, 2010, 22(24): 3203-3220. [LI X G, SONG J R. Research progress on the extraction and activity of active ingredients from cassia seed[J]. Medical Journal of Chinese People's Health, 2010, 22(24): 3203-3220.]

[6] DONG X, FU J, YIN X, et al. Cassiae semen: A review of its phytochemistry and pharmacology (review)[J]. Molecular Medicine Reports, 2017, 16(3): 2331-2346.

[7] KITANAKA S, KIMURA F, TAKIDO M. Studies on the constituents of the seeds of *Cassia obtusifolia* Linn. the structures of three new anthraquinones[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2008, 33(3): 1274-1276.

[8] LEE G Y, KIM J H, CHOI S K, et al. Constituents of the seeds of *Cassia tora* with inhibitory activity on soluble epoxide hydrolase[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2015, 25(22): 5097-5101.

[9] 陈秋东,徐蓉,徐志南,等. 决明子中蒽醌类化学成分及其生物活性研究进展[J]. 中国现代应用药学, 2003(2): 20-124. [CHEN Q D, XU R, XU Z N, et al. Progress in studies of active constituents of anthraquinones and their biological activities from *Semen cassiae*[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2003(2): 20-124.]

[10] GUO R X, WU H W, YU X K, et al. Simultaneous determination of seven anthraquinone aglycones of crude and processed *Semen cassiae* extracts in rat plasma by UPLC-MS/MS and its application to a comparative pharmacokinetic study[J]. Molecules, 2017, 22(11): E1803.

[11] LUO H Y, GUO R X, YU X K, et al. Chemical constituents from the seeds of *Cassia obtusifolia* and their *in vitro* alpha-glucosidase inhibitory and antioxidant activities[J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters, 2019, 29(13): 1576-1579.

[12] TIANAKA S, TAKIDO M. Studies on the constituents of the seeds of *Cassia obtusifolia* L. the structures of two naphthopyrone glycosides[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 1988, 36(10): 3980-3984.

[13] TANG L, WANG Z, HE Y, et al. Studies on glycosides from cassia semen[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2009, 15: 35-37.

[14] TANG L Y, WANG Z J, FU M H, et al. A new anthraquinone glycoside from seeds of *Cassia obtusifolia*[J]. Chinese Chemical Letters, 2008, 19(9): 1083-1085.

[15] PARK Y B, KIM S B. Isolation and identification of antitumor promoters from the seeds of *Cassia tora*[J]. Journal of Microbiology & Biotechnology, 2011, 21(10): 1043.

[16] YOUNG I S, HAN A R, CHOI J S, et al. A new naphthalenic lactone glycoside from the seeds of *Cassia obtusifolia*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2017, 53(3): 429-431.

- [17] JIA Z B, CHEN W W, JIANG J X, et al. Study on anthraquinone constituents in the seed of *Cassia tora* L. [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009, 29: 100–102.
- [18] PANG X, LI N N, YU H S, et al. Two new naphthalene glycosides from the seeds of *Cassia obtusifolia* L. [J]. Asian Natural Products Research, 2019, 21(10): 970–976.
- [19] XU Y L, TANG L Y, ZHOU X D, et al. Five new anthraquinones from the seed of *Cassia obtusifolia* [J]. Archives of Pharmacol Research, 2015, 38: 1054–1058.
- [20] SHI B J, ZHANG W D, JIANG H F, et al. A new anthraquinone from seed of *Cassia obtusifolia* [J]. Natural Product Research, 2016, 30(1): 35–41.
- [21] 吴晓辉. 决明子的化学成分、质量控制以及体内代谢研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2010. [WU X H. Studies on the chemical composition, quality control, and *in vivo* metabolism of Cassia Seed [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010.]
- [22] PANG X, WANG M, ZHANG Y C, et al. New anthraquinone and eurotinone analogue from the seeds of senna obtusifolia and their inhibitory effects on human organic anion transporters 1 and 3 [J]. Natural Product Research, 2018, 33: 1–8.
- [23] WU X H, CAI J J, RUAN J L Lou, et al. Acetylated anthraquinone glycosides from *Cassia obtusifolia* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2011, 13, 486–491.
- [24] CHU H L, XIAO Y W, XU E L, et al. A new anthraquinone glycoside from the seeds of *Cassia obtusifolia* [J]. Chinese Chemical Letters, 2004, 15(12): 1448–1450.
- [25] 苏会娟. 决明子极性成分和质量标准研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2011. [SU H J. Study on the major polar constituents and quality standards of cassia seed [D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2011.]
- [26] HATANA T, UEBAYASHI H, ITO H, et al. Phenolic constituents of cassia seeds and antibacterial effect of some naphthalenes and anthraquinones on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2008, 47(8): 1121–1127.
- [27] 骆宜, 张乐, 王卫华, 等. 高效液相色谱-离子阱-飞行时间质谱鉴定决明子化学成分 [J]. 药物分析杂志, 2015, 35(8): 1408–1416. [LUO Y, ZHANG L, WANG W H, et al. Components identification in cassiae semen by HPLC-IT-TOF MS [J]. Journal of Pharmaceutical Analysis, 2015, 35(8): 1408–1416.]
- [28] TANG L Y, WU H W, SU H J, et al. Four new glycosides from the seeds of *Cassia obtusifolia* [J]. Phyto-chemistry Letters, 2015, 13: 81–84.
- [29] ZHANG Z, YU B. Total synthesis of the antiallergic naphthalene-pyrone tetraglucoside, cassiaside C (2), isolated from Cassia seeds [J]. Journal of Organic Chemistry, 2003, 68(16): 6309–6313.
- [30] ZHANG C, LI G L, XIAO Y Q, et al. Two new glycosides from the seeds of *Cassia obtusifolia* [J]. Chinese Chemical Letters, 2009, 20(9): 1097–1099.
- [31] HALAWANY A M, CHUNG M H, NAKAMURA N, et al. Estrogenic and anti-estrogenic activities of cassia tora phenolic constituents [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2007, 55(10): 1476–1482.
- [32] SRIJAN S, PRADEEP P, HUI S S, et al. Two new naphthalenic lactone glycosides from *Cassia obtusifolia* L. seeds [J]. Archives of Pharmacol Research, 2018, 41(7): 737–742.
- [33] 刘金金, 殷军艺, 黄晓君, 等. 决明子多糖结构和生物活性功能研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(23): 212–224. [LIU J J, YIN J Y, HUANG X J, et al. Research progress on structure and biological activity of polysaccharide from Cassia seed [J]. Food Research and Development, 2019, 40(23): 212–224.]
- [34] 章晋武. 决明子多糖的结构及其对仔猪生长、免疫和肠道微生态的影响研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2005. [ZHANG J W. Study on the structure of cassia seed polysaccharides and their effects on the growth, immunity, and intestinal microecology of piglets [D]. Nanchang: Nanchang University, 2005.]
- [35] 蔡瑾瑾, 陈璐. GC-MS 分析王不留行、决明子、酸枣仁炒制前后脂肪油成分的变化 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(15): 31–34. [CAI J J, CHEN L. Analysis on variation of fatty oil components in Vaccariae Semen, Cassiae Semen and Ziziphi Spinosa Semen before and after stir-frying by GC-MS [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2017, 23(15): 31–34.]
- [36] 孟哲, 王曼泽, 刘万毅. 决明子中不饱和脂肪酸高效液相色谱重叠峰的解析 [J]. 化学世界, 2012, 53(3): 146–150. [MENG Z, WANG M Z, LIU W Y. Resolution of overlapping peaks of unsaturated fatty acids of *Cassia obtusifolia* L by EIC [J]. Chemical World, 2012, 53(3): 146–150.]
- [37] 刁全平, 侯冬岩, 郭华, 等. 决明子中脂肪酸的气相色谱-质谱分析 [J]. 鞍山师范学院学报, 2014, 16(4): 28–30. [DIAO Q P, HOU D Y, GUO H, et al. Study on fatty acids of Cassia by GC-MS [J]. Journal of Anshan Normal University, 2014, 16(4): 28–30.]
- [38] 项略, 胡启迪, 顾青青, 等. GC-MS 法测定决明子脂肪油组成及稳定性探讨 [J]. 上海中医药杂志, 2012, 46(7): 78–81. [XIANG L, HU Q D, GU Q Q, et al. GC-MS analysis of fatty oil constituents from cassiae semen and its stability [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2012, 46(7): 78–81.]
- [39] 周菊峰, 彭爱姣. 差示分光光度法测定决明子中 8 种必需氨基酸 [J]. 西北药学杂志, 2011, 26(1): 25–27. [ZHOU J F, PENG A J. Determination of 8 essential amino acids in cassia seed by differential spectrophotometry [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2011, 26(1): 25–27.]
- [40] 冯潜, 刘祖碧, 宋涛, 等. 决明子营养价值分析及蛋白提取工艺研究 [J]. 生物学杂志, 2014, 31(4): 103–106. [FENG T, LIU Z B, SONG T, et al. Study on the technology of protein extraction from semen cassiae and its nutritive value [J]. Journal of Biology, 2014, 31(4): 103–106.]
- [41] 张玲, 夏作理. 决明子微量元素含量的分析测定 [J]. 时珍国医国药, 2008(8): 1917–1918. [ZHANG L, XIA Z L. Determination and analysis of trace elements in *Cassia obtusifolia* L. [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2008(8): 1917–1918.]
- [42] WANG S Y, FENG K Y, HAN L F, et al. Glycosidic compounds from *Cassia obtusifolia* seeds and their inhibitory effects on OATs, OCTs and OATPs [J]. Phytochemistry Letters, 2019, 32: 105–109.
- [43] 张立海, 慈慧. 决明子润肠通便的化学成分及临床应用研究 [J]. 首都医药, 2011, 18(16): 56. [ZHANG L H, CI H. Study on the chemical constituents and clinical application of cassia seed for runchang and defecation [J]. Capital Medicine, 2011, 18(16): 56.]
- [44] 王桂英. 决明子治疗老年性便秘的临床疗效分析 [J]. 中国社区医师(医学专业), 2012, 14(24): 188. [WANG G Y. Clinical efficacy analysis of cassia seed in the treatment of elderly constipation [J]. Chinese Community Doctors, 2012, 14(24): 188.]
- [45] JANG S H, YANG D K. The combination of *Cassia obtusifolia* L. and *Foeniculum vulgare* M. exhibits a laxative effect on lop-

- eramide-induced constipation of rats[J]. *Public Library of Science ONE*, 2018, 13(4): e0195624.
- [46] 张加雄, 万丽, 胡轶娟, 等. 决明子提取物泻下作用研究[J]. *时珍国医国药*, 2005, 16(6): 467-468. [ZHANG J X, WANG L, HU Y J, et al. An experimental study on the cathartic action of semen cassiae extracts[J]. *Lishizhen Medicine and Mat Eria Medica Research*, 2005, 16(6): 467-468.]
- [47] 周维维. 中药决明子在眼科辅助性治疗方面的研究[J]. *人人健康*, 2019(13): 200-201. [ZHOU W W. Research on the application of Chinese medicine cassia seed in ophthalmic adjuvant therapy[J]. *Health for Everyone*, 2019(13): 200-201.]
- [48] 韩昌志. 决明子煎剂对家兔和狗睫状肌中乳酸脱氢酶活性的影响[J]. *同济医科大学学报*, 1994, 23(6): 470-472. [HAN C Z. Effect of cassia seed decoction on lactate dehydrogenase activity in ciliary muscles of rabbits and dogs[J]. *Acta Universitatis Medicinæ Tongji*, 1994, 23(6): 470-472.]
- [49] CHEN Y, LI B, ZHAO R, et al. Effect of semen cassiae extract on antioxidative ability of lens in fatty liver rats[J]. *Journal of Guangdong Pharmaceutical University*, 2013, 29: 288-291.
- [50] 邵鸿展. 决明子对糖尿病患者玻璃体视网膜术后高眼压的预防作用[J]. *糖尿病新世界*, 2020, 23(1): 171-173. [SHAO H Z. Preventive effect of cassia seed on ocular hypertension after vitrectomy in patients with diabetes[J]. *Diabetes New World*, 2020, 23(1): 171-173.]
- [51] 张新, 赵燕, 魏玲. 决明子多糖对大鼠青光视网膜细胞的保护作用及机制[J]. *中国老年学杂志*, 2018, 38(15): 3739-3742. [ZHANG X, ZHAO Y, WEI L. Protective effect and mechanism of cassia seed poly-saccharides on retinal cells in rats with glaucoma[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2018, 38(15): 3739-3742.]
- [52] PAUDEL P, JUNG H A, CHOI J S. Anthraquinone and naphthopyrone glycosides from *Cassia obtusifolia* seeds mediate hepatoprotection via Nrf2-mediated HO-1 activation and MAPK modulation[J]. *Archives of Pharmacal Research*, 2018, 41(6): 677-689.
- [53] 李玉晶, 侯伟, 武俊紫, 等. 决明子蒽醌苷对非酒精性脂肪肝病大鼠肝脏组织中 SREBP-1c 和 PPAR $\alpha$  表达的影响[J]. *西部医学*, 2019, 31(10): 1511-1516. [LI Y J, HOU W, WU J Z, et al. The affection of cassia glycosides on SREBP-1c and PPAR $\alpha$  in liver of nonalcoholic fatty liver disease rats[J]. *Medical Journal of West China*, 2019, 31(10): 1511-1516.]
- [54] MENG Y Y, LIU Y, FANG N N, et al. Hepatoprotective effects of cassia semen ethanol extract on non-alcoholic fatty liver disease in experimental rat[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2019, 57(1): 98-104.
- [55] LUO H Y, WU H W, WANG L X, et al. Hepatoprotective effects of *Cassiae semen* on mice with non-alcoholic fatty liver disease based on gut microbiota[J]. *Communications Biology*, 2021, 4(1): 1-13.
- [56] SEO Y, SONG J S, KIM Y M, et al. Toralactone glycoside in *Cassia obtusifolia* mediates hepatoprotection via an Nrf2-dependent anti-oxidative mechanism[J]. *Food Research International*, 2017, 97(1): 340.
- [57] ALI M Y, JANNAT S, JUNG H A, et al. Hepatoprotective effect of *Cassia obtusifolia* seed extract and constituents against oxidative damage induced by tert-butyl hydroperoxide in human hepatic HepG2 cells[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, 42(1): e12439.
- [58] 许鹏飞, 孙学斌, 黄尹琦, 等. 决明子降脂有效成分的研究进展[J]. *中华中医药学刊*, 2018, 36(1): 150-153. [XU P F, SUN X B, HUANG Y Q, et al. Research progress on lipid lowering effective components of semen cassiae[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2018, 36(1): 150-153.]
- [59] 陈虹, 卢祎, 周梦娣, 等. 决明子蒽醌提取物对脂肪酶的抑制作用[J]. *药物生物技术*, 2015, 22(6): 492-495. [CHEN H, LU Y, ZHOU M D, et al. Inhibitory effect of anthraquinones derived from *Cassia obtusifolia* L on lipase[J]. *Pharmaceutical Biotechnology*, 2015, 22(6): 492-495.]
- [60] 邓楠, 余胜, 刘文, 等. 决明子调脂作用的代谢组学研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2016, 26(8): 7-10. [DENG N, YU S, LIU W, et al. Metabonomic study on lipid regulative effect of cassia[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2016, 26(8): 7-10.]
- [61] LI S, LI Q, LV X, et al. Aurantio-obtusin relaxes systemic arteries through endothelial PI3K/AKT/eNOS-dependent signaling pathway in rats[J]. *Journal of Pharmacological Sciences*, 2015, 128(3): 108-115.
- [62] SHIH Y H, CHEN F A, WANG L F, et al. Discovery and study of novel antihypertensive peptides derived from *Cassia obtusifolia* seeds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(28): 7810-7820.
- [63] 高小敏, 赵勤. 应用网络药理学预测决明子治疗高血压的作用机制[J]. *大理大学学报*, 2021, 6(8): 11-15. [GAO X M, ZHAO Q. Application of network pharmacology to predict the mechanism of semen cassiae in the treatment of hypertension[J]. *Journal of Dali University*, 2021, 6(8): 11-15.]
- [64] YADAV A, MANDAL P, TRIPATHI A, et al. Immunomodulatory potential of rhein, an anthraquinone moiety of cassia occidentalis seeds[J]. *Toxicology Letters*, 2016, 245(2016): 15-23.
- [65] 邓尚潮, 孙桂波, 宋威. 决明子蒽醌苷对小鼠免疫功能的调节作用[J]. *中国药业*, 2008(11): 10-11. [DENG X C, SUN G B, SONG W. Effect of cassiae semen anthraquinone glycoside on cellular immunological function in mice[J]. *China Pharmaceuticals*, 2008(11): 10-11.]
- [66] 李清媛, 于彩霞, 田宝阁. 中药决明子水提液对小鼠免疫功能的影响[J]. *中国现代药物应用*, 2014, 8(9): 32-33. [LI Q Y, YU C X, TIAN B G. Effect of liquid decocted of Cassiac torae on mice immune function[J]. *Chinese Journal of Modern Drug Application*, 2014, 8(9): 32-33.]
- [67] FENG L, YIN J Y, NIE S P, et al. Fractionation, physicochemical property and immunological activity of polysaccharides from *Cassia obtusifolia*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions*, 2016, 91: 946-953.
- [68] HOU J, GU Y, ZHAO S, et al. Anti-inflammatory effects of aurantio-obtusin from seed of *Cassia obtusifolia* L. through modulation of the NF- $\kappa$ B pathway[J]. *Molecules*, 2018, 23(12): 3093-3107.
- [69] KIM S J, KIM K W, KIM D S, et al. The protective effect of *Cassia obtusifolia* on DSS-induced colitis[J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2011, 39(3): 565-577.
- [70] HE Z, WEI W, LI S, et al. Anti-allodynic effects of obtusifolin and gluco-obtusifolin against inflammatory and neuropathic pain[J]. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2014, 37(10): 1606-1616.
- [71] SUN K K, HEE J L, SU K S, et al. Aurantio-obtusin, an anthraquinone from *Cassiae semen* ameliorates lung inflammatory responses[J]. *Phytotherapy Research*, 2018, 32(8): 1537-1545.
- [72] WU C, LIU J, LI Y, et al. Manno-oligosaccharides from cassia seed gum ameliorate inflammation and improve glucose metabo-

- lism in diabetic rats[J]. *Food & Function*, 2022, 13(12): 6674–6687.
- [73] DONG X X, ZENG Y W, LIU Y, et al. Aloe-emodin: A review of its pharmacology, toxicity, and pharmacokinetics[J]. *Phytotherapy Research*, 2020, 34(2): 270–281.
- [74] 李磊, 赵花金, 伍子杰, 等. 决明子抗氧化作用机制的网络药理学分析[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(10): 1855–1865. [LI L, ZHAO H J, WU Z T, et al. Network pharmacological analysis of anti-oxidant mechanism of cassia semen[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2020, 32(10): 1855–1865.]
- [75] LIU J J, HUANG X J, LIU C C, et al. Anthraquinone removal from *Cassia obtusifolia* seed water extract using baking, stir-frying, and adsorption treatments: Effects on the chemical composition, physicochemical properties of polysaccharides, and antioxidant activities of the water extract[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(14): 5721–5732.
- [76] LIU C J, LIU Q, SUN J D, et al. Extraction of water-soluble polysaccharide and the antioxidant activity from Semen cassiae[J]. *Journal of Food & Drug Analysis*, 2014, 22(4): 492–499.
- [77] 吴宿慧, 马永洁, 蒋娜, 等. 决明子抗衰老系列实验 I: 决明子体外抗氧化与抑制胰脂肪酶活性研究[J]. *中国医药指南*, 2013, 11(34): 342–344. [WU X H, MA Y J, JIANG N, et al. Series of experiments on anti-aging effect of cassia seed I: Study on *in vitro* antioxidant and inhibitory activity of pancreatic lipase in *Cassia* seed[J]. *Guide of China Medicine*, 2013, 11(34): 342–344.]
- [78] YANG X, CHAO D L, JI H Y, et al. Physicochemical characterization, rheological properties, and hypolipidemic and antioxidant activities of compound polysaccharides in Chinese herbal medicines by fractional precipitation[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2023, 242(1): 124838–124852.
- [79] SUNG B K, KIM M K, LEE W H, et al. Growth responses of *Cassia obtusifolia* toward human intestinal bacteria[J]. *Fitoterapia*, 2004, 75(5): 505–509.
- [80] 熊卫东, 马庆一. 含蒽醌的中草药——一类潜在的天然抑菌防腐剂的初探[J]. *天津中医药*, 2004(2): 158–160. [XIONG W D, MA Q Y. Study of Chinese herbs containing anthraquinone as a kind of potential natural preservatives[J]. *Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2004(2): 158–160.]
- [81] 陈琦, 楼秀芹, 刘涛, 等. 大黄素对金黄色葡萄球菌生物膜抑制作用的体外研究[J]. *中华微生物学和免疫学杂志*, 2020, 40(9): 6. [CHEN Q, LOU X Q, LIU T, et al. *In vitro* inhibitory effects of emodin on staphylococcus aureus biofilm formation[J]. *Chinese Journal of Microbiology and Immunology*, 2020, 40(9): 6.]
- [82] MANNAN A, KAWSER M J, AHMED A M A, et al. Assessment of antibacterial, thrombolytic and cytotoxic potential of cassia alata seed oil[J]. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2011, 1(9): 56–59.
- [83] NAWABJOHN M, SIVAPRAKASAM P, ANANDASADAGOPAN S, et al. Green synthesis and characterisation of silver nanoparticles using cassia tora seed extract and investigation of antibacterial potential[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2022, 194: 464–478.
- [84] 程玲玲, 孙梅, 涂凌. 决明子提取物对植物病原菌的抑菌活性初探[J]. *四川理工学院学报(自然科学版)*, 2005, 18(2): 53–55. [CHENG L L, SUN M, TU L. Inhibition mechanism of extract of *Cassia obtusifolia* L to plant pathogens[J]. *Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition)*, 2005, 18(2): 53–55.]
- [85] PAUDEL P, SEONG S H, FAUZI F M, et al. Establishing GPCR targets of hMAO active anthraquinones from *Cassia obtusifolia* linn seeds using *in silico* and *in vitro* methods[J]. *ACS Omega*, 2020, 13(5): 7705–7715.
- [86] DREVER B D, ANDERSON W G L, RIEDEL G, et al. The seed extract of *Cassia obtusifolia* offers neuroprotection to mouse hippocampal cultures[J]. *Journal of Pharmacological Sciences*, 2008, 107(4): 380–392.
- [87] KIM D H, HYUN S K, YOON B H, et al. Gluco-obtusifolin and its aglycon, obtusifolin, attenuate scopolamine-induced memory impairment[J]. *Japanese Journal of Pharmacology*, 2009, 111(2): 110–116.
- [88] KIM D H, KIM S, JUNG W Y, et al. The neuroprotective effects of the seeds of *Cassia obtusifolia* on transient cerebral global ischemia in mice[J]. *Food & Chemical Toxicology*, 2009, 47(7): 1473–1479.
- [89] 周云, 屠思维, 傅美香. 决明子水提物对脑缺血/再灌注损伤大鼠的脑保护作用及对 cGAS/STING 通路的影响[J]. *中国药师*, 2021, 24(10): 1823–1828. [ZHOU Y, TU S W, FU M X. Protective effects of aqueous extract of semen cassiate on cerebral ischemia/reperfusion injury in rats and its influence on cgas/sting pathway[J]. *China Pharmacist*, 2021, 24(10): 1823–1828.]
- [90] PAUDEL P, KIM D H, JEON J, et al. Neuroprotective effect of auranthio-obtusifolin, a putative vasopressin V1A receptor antagonist, on transient forebrain ischemia mice model[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(7): 3335–3351.
- [91] JU M S, KIM H G, CHOI J G, et al. *Cassiae semen*, a seed of *Cassia obtusifolia*, has neuroprotective effects in parkinson's disease models[J]. *Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 2010, 48(8-9): 2037–2044.
- [92] JEE, HYUN, YI, et al. *Cassia obtusifolia* seed ameliorates amyloid  $\beta$ -induced synaptic dysfunction through anti-inflammatory and Akt/GSK-3 $\beta$  pathways[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 178: 50–57.
- [93] KIM D S, ZHANG T, PARK S. Protective effects of *Forsythiae fructus* and *Cassiae semen* water extract against memory deficits through the gut-microbiome-brain axis in an Alzheimer's disease model[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2022, 60(1): 212–224.
- [94] JUNG H A, ALI M Y, JUNG H J, et al. Inhibitory activities of major anthraquinones and other constituents from *Cassia obtusifolia* against  $\beta$ -secretase and cholinesterases[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 191: 152–160.
- [95] SRIJAN S, SU S, PRADEEP P, et al. Structure related inhibition of enzyme systems in cholinesterases and BACE1 *in vitro* by naturally occurring naphthopyrone and its glycosides isolated from *Cassia obtusifolia*[J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 69–85.
- [96] YUEN H, HUNG A, YANG A, et al. Mechanisms of action of cassiae semen for weight management: A computational molecular docking study of serotonin receptor 5-HT2C[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(4): 1326–1343.
- [97] ZHANG M L, LI X, LIANG H F, et al. *Semen cassiae* extract improves glucose metabolism by promoting GLUT4 translocation in the skeletal muscle of diabetic rats[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2018, 9: 235.
- [98] WANG Q Y, TONG A H, PAN Y Y, et al. The effect of cassia seed extract on the regulation of the LKB1-AMPK-GLUT4 signaling pathway in the skeletal muscle of diabetic rats to improve the insulin sensitivity of the skeletal muscle[J]. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 2019, 11: 108.

- [ 99 ] WANG Q Y, ZHOU J W, XIANG Z N, et al. Anti-diabetic and renoprotective effects of cassiae semen extract in the streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2019, 239: 111904.
- [ 100 ] JUNG H A, ALI, M Y, CHOI J S, et al. Promising inhibitory effects of anthraquinones, naphthopyrone, and naphthalene glycosides, from *Cassia obtusifolia* on  $\alpha$ -glucosidase and human protein tyrosine phosphatases 1B[J]. *Molecules*, 2017, 22(1): 28–44.
- [ 101 ] TANG Y, ZHONG Z. Obtusifolin treatment improves hyperlipidemia and hyperglycemia; possible mechanism involving oxidative stress[J]. *Cell Biochemistry & Biophysics*, 2014, 70(3): 1751–1757.
- [ 102 ] ZHUANG S Y, WU M L, WEI P J, et al. Changes in plasma lipid levels and antioxidant activities in rats after supplementation of otusifolin[J]. *Planta Medica*, 2016, 82(6): 539–543.
- [ 103 ] 李晋生, 陈霞, 靳冉. 味清热中药调节兔动脉粥样硬化相关因素的实验研究[J]. *中国中医药信息杂志*, 2012, 19(1): 42–44. [ LI J S, CHEN X, JIN R, et al. Experimental study of three clearing-heat traditional Chinese medicines in regulating atherosclerosis related factors[J]. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, 2012, 19(1): 42–44. ]
- [ 104 ] YUN-CHOI H S, KIM J H, TAKIDO M. Potential inhibitors of platelet aggregation from plant sources, V. Anthraquinones from seeds of *Cassia obtusifolia* and related compounds[J]. *Journal of Natural Products*, 1990, 53(3): 630–633.
- [ 105 ] YU X, WEI L H, ZHANG J K, et al. Anthraquinones from cassiae semen as thrombin inhibitors: *in vitro* and *in silico* studies[J]. *Phytochemistry*, 2019, 165: 112025.
- [ 106 ] 马永, 赵斌, 王明岗, 等. 决明子蒽醌苷通过 Nrf2/ARE 信号通路抑制冠心病大鼠心肌损伤[J]. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 2022, 31(6): 565–574. [ MA Y, ZHAO B, WANG M G, et al. Anthraquinone glycoside from cassia inhibits myocardial injury of the rats with coronary heart disease through Nrf2/ARE signal pathway[J]. *Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 2022, 31(6): 565–574. ]
- [ 107 ] 朱周靓, 张世鑫, 郑云燕, 等. 决明子提取物对高脂血症大鼠血脂和肝肾功能的影响[J]. *预防医学*, 2021, 33(12): 1290–1294. [ ZHU Z L, ZHANG S X, ZHENG Y Y, et al. Effects of *Cassia seed* extract on blood lipids and liver and kidney function in hyperlipidemic rats[J]. *Preventive Medicine*, 2021, 33(12): 1290–1294. ]
- [ 108 ] WIJESSEKARA I, CHEN Z, QUANG V T, et al. Physcion from marine-derived fungus *Microsporium* sp. induces apoptosis in human cervical carcinoma HeLa cells[J]. *Microbiological Research*, 2014, 169(4): 255–261.
- [ 109 ] CONG Q F, SHANG M S, DONG Q, et al. Structure and activities of a novel heteroxylan from *Cassia obtusifolia* seeds and its sulfated derivative[J]. *Carbohydrate Research*, 2014, 393: 43–50.
- [ 110 ] 李续娥, 郭宝江, 曾志. 决明子蛋白质、低聚糖及蒽醌苷降压作用的实验研究[J]. *中草药*, 2003(9): 77–78. [ LI X E, GUO B J, ZENG Z. Experimental study on the antihypertensive effect of cassia seed protein, oligosaccharides and anthraquinone glycosides[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2003(9): 77–78. ]
- [ 111 ] 李金玲. 决明子含漱液治疗重型肝炎患者口腔疾患[J]. *护理学杂志*, 2011, 26(19): 17–18. [ LI J L. Effect of cassia seed mouth gargle on oral problems of patients with severe hepatitis[J]. *Journal of Nursing Science*, 2011, 26(19): 17–18. ]
- [ 112 ] 刘炉香, 郑勇飞, 杨杰, 等. 中西医结合治疗普通型新型冠状病毒肺炎 13 例临床观察[J]. *浙江中西医结合杂志*, 2020, 30(5): 349–351. [ LIU L X, ZHENG Y F, YANG J, et al. Clinical observation on 13 cases of common novel coronavirus pneumonia treated by integrated traditional Chinese and western medicine[J]. *Zhejiang Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2020, 30(5): 349–351. ]
- [ 113 ] NAGAI E, IWAI M, KOKETSU R, et al. Anti-influenza virus activity of adlay tea components[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2019, 74: 538–543.
- [ 114 ] YANG J L, WANG S, ZHANG T, et al. Predicting the potential toxicity of 26 components in cassiae semen using *in silico* and *in vitro* approaches[J]. *Current Research in Toxicology*, 2021, 2: 237–245.
- [ 115 ] ARAGAO T P, LYRA M M A, SILVA M G B, et al. Toxicological reproductive study of *Cassia occidentalis* L. in female Wistar rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2009, 123(1): 163–166.
- [ 116 ] YANG J L, ZHU A, XIAO S, et al. Anthraquinones in the aqueous extract of cassiae semen cause liver injury in rats through lipid metabolism disorder[J]. *Phytomedicine*, 2019, 64: 153059.
- [ 117 ] LIU F, GUO H, LIANG Y, et al. Safety of *Cassiae semen* based on hypolipidemic effect[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2017, 23: 183–189.
- [ 118 ] Hu M, LIN L, LIU J, et al. Aurantio-obtusin induces hepatotoxicity through activation of NLRP3 inflam-masome signaling[J]. *Toxicology Letters*, 2022, 354: 1–13.
- [ 119 ] PEI Y, WEI R, SUN J, et al. Safety assessment of freeze-dried powdered cassiae semen; evaluation of chronic toxicity (26-week) in Sprague-Dawley rats[J]. *Toxicology Reports*, 2017, 4: 143–150.
- [ 120 ] 吴照民. 决明子乳饮料的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2009(5): 256–257. [ WU Z M. Technological study on cassia seed milk beverage[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2009(5): 256–257. ]
- [ 121 ] ALI M Y, PARK S, CHANG M. Phytochemistry, ethnopharmacological uses, biological activities, and therapeutic applications of *Cassia obtusifolia* L.: A comprehensive review[J]. *Molecules*, 2021, 26(20): 6252.
- [ 122 ] 周红艳, 徐建东. 一测多评法测定清热明目茶中大黄素、大黄酚与大黄素甲醚含量[J]. *中国生化药物杂志*, 2016, 36(3): 180–183. [ ZHOU H Y, XU J D. Content determination of emodin, chrysophanol and physcion in Qingre Mingmu tea by quantitative analysis of multi-components by single-marker[J]. *Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics*, 2016, 36(3): 180–183. ]
- [ 123 ] 单玉荣. 降脂益寿茶质量控制研究[J]. *安徽医药*, 2006, 10(2): 107–108. [ DAN Y R. Quality standards for jiangzhiyishou tea[J]. *Anhui Medical and Pharmaceutical Journal*, 2006, 10(2): 107–108. ]
- [ 124 ] 鲁毅, 李燕思, 王亚威, 等. HPLC 法测定复方绞股蓝袋泡茶中橙黄决明素的含量[J]. *实用医药杂志*, 2017, 34(6): 536–538. [ LU Y, LI Y S, WANG Y W, et al. Determination of aurantio-obtusin content of compound Jiaogulan Daipaocha by HPLC[J]. *Practical Journal of Medicine & Pharmacy*, 2017, 34(6): 536–538. ]
- [ 125 ] 游湘淘, 李加兴, 李旺, 等. 黑木耳决明子复合饮料配方设计及理化分析[J]. *农产品工业*, 2017(4): 26–29. [ YOU X T, LI J X, LI W, et al. Formula design and the physical and chemical analysis on the compound beverage of black fungus and cassia seed[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2017(4): 26–29. ]
- [ 126 ] 李良, 吕国红, 钟晓凌, 等. 罗汉果植物保健饮料的研制

- [J]. 饮料工业, 2010, 13(10): 30-33. [LI L, LV G H, ZHONG X L, et al. Development of siraitia grosvenorii plant health drink[J]. The Beverage Industry, 2010, 13(10): 30-33.]
- [127] 张志艳, 王佳丽, 李志, 等. 枸杞菊花复合饮料的研制[J]. 饮料工业, 2014(3): 39-43. [ZHANG Z Y, WANG J L, LI Z, et al. Development of wolfberry and chrysanthemum compound beverage[J]. The Beverage Industry, 2014(3): 39-43.]
- [128] 王伟江, 郑建仙. 越桔健视饮料的研制[J]. 食品科技, 2005, 12: 61-63. [WANG W J, ZHENG J X. Preparation of bilberry beverage for improving vision[J]. Food Science and Technology, 2005, 12: 61-63.]
- [129] 石岩, 陈芳甜. 复合海藻茶饮料加工工艺的研究[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(5): 103-106. [SHI Y, CHEN F T. Study on the processing technology of compound seaweed tea beverage[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(5): 103-106.]
- [130] 孙军涛, 肖付刚, 王思琦. 决明子枸杞金银花复合饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(9): 108-111. [SUN J T, XIAO F G, WANG S Q. Development of compound beverage of cassia seed, medlar and honeysuckle[J]. Food Research and Development, 2017, 38(9): 108-111.]
- [131] 王祥. 决明子咖啡降脂功能饮料的研制开发[D]. 合肥: 安徽中医药大学, 2016. [WANG X. Research and development of cassia seed coffee lipid-lowering functional beverage[D]. Hefei: Anhui University of Traditional Chinese Medicine, 2016.]
- [132] 于小青, 戴榕杉, 唐晓珍. 方便粥粉配方及其冲调性的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 152-155. [YU X Q, DAI R S, TANG X Z. Prescription and reconstituability research of the instant porridge powder[J]. Food Research and Development, 2017, 38(5): 152-155.]
- [133] 刘全喜, 李磊, 刘冰洋. 三子降血脂保健挂面的研制[J]. 轻工科技, 2014(4): 8-9. [LIU Q X, LI L, LIU B Y. Development of Sanzi blood lipid-lowering health noodle[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2014(4): 8-9.]
- [134] 赵柏峰, 农绍庄, 李守苛. 一种具有缓解视力疲劳功能的番茄调味料的开发[J]. 中国调味品, 2014(2): 75-77. [ZHAO B F, NONG S Z, LI S K. Development of tomato sauce with the function of relieving asthenopia[J]. China Condiment, 2014(2): 75-77.]