

· 专题 ·

盐地碱蓬化学成分及其药理作用机制研究进展<sup>△</sup>王琛<sup>1,2</sup>, 高燕<sup>1,2\*</sup>

1. 山东中医药大学 药物研究院/黄河流域特色中药生态保护和高质量发展协同创新中心, 山东 济南 250355;
2. 山东省数字中药重点实验室, 山东 济南 250355

**[摘要]** 盐地碱蓬 *Suaeda salsa* (L.) Pall. 又名黄须菜、翅碱蓬, 为苋科碱蓬属 1 年生草本植物, 以盐碱土、海滩、盐湖边作为主要生长地, 在我国内陆及沿海地区均有分布。盐地碱蓬作为抗逆性植物多被用于盐碱化土地的改良修复, 而近年来, 对盐地碱蓬的研究重点逐渐从植物生理学向药理学方向转移, 其调节血脂、降血压、抗氧化等药效被诸多学者探索挖掘。本文选取近年来国内外盐地碱蓬相关文献, 对其所含化学成分及药理作用机制进行总结并展开论述, 以期后续对盐地碱蓬资源在医药卫生领域的高效利用和扩大开发提供方向。

**[关键词]** 盐地碱蓬; 化学成分; 药理作用; 作用机制

**[中图分类号]** R284 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2026)01-0036-09

**doi:** 10.13313/j.issn.1673-4890.20241011001 **[增强出版附件]** 内容详见 <https://www.zgxdzy.net> 或 <https://cnki.net>

**Research Progress on Chemical Composition and Pharmacological Mechanism of *Suaeda salsa***WANG Chen<sup>1,2</sup>, GAO Yan<sup>1,2\*</sup>

1. Collaborative Innovation Center for Ecological Protection and High Quality Development of Characteristic Traditional Chinese Medicine in the Yellow River Basin, Institute of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China;
2. Shandong Key Laboratory of Digital Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China

**[Abstract]** *Suaeda salsa*, also known as yellow bearded vegetables, is an annual herbaceous plant in the family Amaranthaceae. It mainly grows in saline soils, on beaches, and around salt lakes and is distributed across both inland and coastal areas of China. *S. salsa*, as an adaptable plant, is often utilized for the improvement and restoration of saline-alkali land. In recent years, the focus of research on *S. salsa* has gradually shifted from plant physiology to pharmacology, and its effects on blood lipid modulation, blood pressure reduction, and antioxidation have been explored by many scholars. Based on a review of recent domestic and international literature on *S. salsa*, this paper summarized the chemical composition and pharmacological mechanism of *S. salsa* to provide a direction for the efficient utilization and expanded development of *S. salsa* resources in the field of medicine and health.

**[Keywords]** *Suaeda salsa* (L.) Pall; chemical composition; pharmacological effect; mechanism of action

盐地碱蓬 *Suaeda salsa* (L.) Pall. 民间称黄须菜、翅碱蓬, 为苋科碱蓬属 1 年生草本植物, 生长期常显绿色, 入秋后叶部逐渐变为紫红色, 其生于盐碱荒地上, 具有生物量大、聚盐能力强等特点, 是中国重要的盐生植物, 原分布于欧洲、亚洲, 中国西

北、东北及东部沿海地区为其主要分布区域, 常生长于盐碱土、海滩、盐湖边<sup>[1]</sup>。目前, 山东省的黄河三角洲国家级自然保护区大约有 5.2 万亩 (1 亩 ≈ 666.67 m<sup>2</sup>) 盐地碱蓬<sup>[2]</sup>。

盐地碱蓬营养价值较高, 含有丰富的蛋白质、

<sup>△</sup> **[基金项目]** 国家中医药管理局 2023 年全国中药特色技术传承人才培养项目 (T20234832005); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0271); 山东中医药大学高等教育研究 2022 年度课题重点项目 (GJYJZ202210)

\* **[通信作者]** 高燕, 副教授, 研究方向: 中药质量综合评价及新药研究; Tel: 0531-89628354, E-mail: gaoyanningyes@163.com

脂肪酸、多糖、膳食纤维等化学成分,具有消食、抗氧化、抗癌、调节血脂等效能,其鲜嫩枝叶可作为蔬菜供人食用<sup>[3-5]</sup>。近年来,对盐地碱蓬的研究已开始从植物生理学向药理学方向转变,其相关化学成分及药理作用机制的研究逐渐成为学者关注的重点。盐地碱蓬作为黄河三角洲地区野生资源丰富的物种之一,加大对其药理药效方面的探索,扩大其开发规模,不仅能够合理利用其野生资源,更能够带动黄河三角洲区域发展,同时为国家医药事业作出相应贡献。本文聚焦盐地碱蓬的化学成分及其药理作用机制,总结近年来国内外相关文献研究报道,以期对盐地碱蓬在医药卫生领域的深入研究和开发利用提供参考。

## 1 化学成分

盐地碱蓬作为蔬菜被沿海地区人民食用,其营养物质丰富,含有多糖、膳食纤维和共轭亚油酸(CLA)等大分子成分,以及黄酮类化合物、苯及其取代衍生物、羧酸类化合物和生物碱类化合物等小分子成分,具有较高开发价值。

### 1.1 多糖

多糖是人体三大能源物质之一,盐地碱蓬多糖具有抗癌<sup>[6]</sup>、抗氧化<sup>[7-8]</sup>等多种功效。目前已从盐地碱蓬中提取出SS3-N1、SSP2-2、SGP-1-1、SGP-2-2等多糖,多由半乳糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖等单糖组成,见表1。

### 1.2 膳食纤维

膳食纤维包含纤维素、半纤维素、树脂、果胶及木质素等成分,不易被人体消化吸收,主要存在于植物的细胞壁中<sup>[10]</sup>。碱蓬茎叶中含有丰富的干物质,提取其中的蛋白质后,剩余约60.2%为膳食纤维,

其中包含了4.8%的可溶性膳食纤维和95.2%不溶性膳食纤维<sup>[11]</sup>。同时,利用碱法提取的盐地碱蓬膳食纤维纯度较高、热稳定性较好,能够承受超高压灭菌程度的加工手段<sup>[12]</sup>。

### 1.3 CLA

CLA是一种主要来源于反刍动物肉食品及乳制品的不饱和脂肪酸,是亚油酸所有立体异构体和位置异构体的总称,分子式为 $C_{17}H_{31}COOH$ <sup>[13-14]</sup>。CLA作为一种创新型的先进保健食品,被誉为“21世纪的绿色营养保健食品”,具有调节血脂<sup>[15]</sup>、降血压<sup>[16]</sup>、抗动脉粥样硬化<sup>[17]</sup>、抗癌<sup>[18]</sup>等功效。自然产生的CLA在植物中发现较少,但盐地碱蓬籽油中亚油酸质量分数为60%~75%,是制备CLA的良好原料<sup>[19-21]</sup>。

### 1.4 黄酮类物质

黄酮类物质具有调节血脂、抗氧化等功效,在治疗心脑血管疾病方面始终占据重要地位,盐地碱蓬中含有大量可被提取的黄酮类化合物<sup>[22-23]</sup>,且种子中黄酮类化合物远远高于其茎、叶,研究表明,盐地碱蓬种子的总黄酮质量分数可达 $6.31 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,而叶中仅为 $1.83 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ <sup>[24]</sup>。另有研究表明,盐地碱蓬的生长时期对其总黄酮含量有较大影响,在其开花前期(即7月前后),总黄酮含量是其他月份的2~5倍,最高可达 $14.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ <sup>[25-26]</sup>。目前在盐地碱蓬中检出的黄酮类化合物包括黄酮类、黄酮醇类、二氢黄酮类、二氢黄酮醇类、黄烷醇类、双黄酮类、异黄酮类、原花色素、花青素,见表2(结构式见中国知网增强出版附加材料)。

### 1.5 待深入研究的小分子化合物

除上述成分外,已有文献报道的成功鉴别成分主要分为苯及其取代衍生物、酚酸类化合物、羧酸类化合物、生物碱类化合物等。

表1 盐地碱蓬中已提取分离的多糖信息

多糖	相对分子质量/kDa	该多糖中含量最高的单糖(英文名,占比)	药理作用	参考文献
SGP-1-1	660.0	半乳糖醛酸(galacturonic acid, 31.23%)、阿拉伯糖(arabinose, 16.86%)、岩藻糖(fucose, 13.49%)	抗氧化	[8]
SGP-2-2	327.0	葡萄糖醛酸(glucuronic acid, 38.01%)、葡萄糖(glucose, 16.87%)、阿拉伯糖(arabinose, 12.80%)	抗氧化	[8]
SSP2-2	53.8	半乳糖醛酸(galacturonic acid, 79.32%)、鼠李糖(rhamnose, 7.59%)、木糖(xylose, 6.83%)	抗癌	[6]
SS3-N1	45.5	半乳糖(galactose, 50.80%)、阿拉伯糖(arabinose, 30.70%)、木糖(xylose, 6.43%)	调血脂	[9]

表2 盐地碱蓬中的黄酮类化合物

序号	名称	分子式	种类	来源	参考文献
1	黄酮 (flavone)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	黄酮	种子	[27]
2	木犀草素 (luteolin)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	黄酮	茎、叶	[28-29]
3	金圣草黄素 (chrysoeriol)	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	黄酮	种子	[27]
4	5,7-二甲氧基黄酮 (5,7-dimethoxyflavone)	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	黄酮	种子	[27]
5	芹菜素二甲醚 (apigenin-7,4'-dimethyl ether)	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	黄酮	种子	[27]
6	黄芩苷 (baicalin)	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> O <sub>11</sub>	黄酮	种子	[27]
7	木犀草素-7-葡萄糖醛酸苷 (luteolin-7-glucuronide)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	黄酮	种子、茎、叶	[27,29-30]
8	新西兰牡荆苷 (vicenin-2)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	黄酮	种子	[27]
9	槲皮素 (quercetin)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29-30]
10	蔓荆子黄素 (casticin)	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	黄酮醇	种子	[27]
11	艾黄素 (artemisetin)	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>8</sub>	黄酮醇	叶	[31]
12	槲皮素-3-鼠李糖苷 (quercetin-3-rhamnoside)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
13	杨梅苷 (myricitrin)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	黄酮醇	种子	[27]
14	异槲皮苷 (quercetin-3-glucoside)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	黄酮醇	种子、茎、叶	[27,29-30]
15	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷 (isorhamnetin-3-O-β-D-glucopyranoside)	C <sub>22</sub> H <sub>22</sub> O <sub>12</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
16	槲皮素-3-O-丙二酰基葡萄糖苷 (quercetin-3-O-malonylglucoside)	C <sub>24</sub> H <sub>22</sub> O <sub>15</sub>	黄酮醇	种子、叶	[27,31]
17	山柰酚-3-O-刺槐苷 (kaempferol 3-O-robinoside)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	黄酮醇	叶	[31]
18	槲皮素-3-O-新橙皮苷 (quercetin 3-O-neohesperidoside)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
19	芦丁 (rutin)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	黄酮醇	茎、叶	[28-29]
20	槲皮素-3,4'-二葡萄糖苷 (quercetin-3,4-di-O-glucoside)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>17</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
21	槲皮素-3,7-双葡萄糖苷 (quercetin-3,7-diglucoside)	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>17</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
22	异鼠李素-3-O-新橙皮苷 (isorhamnetin-3-O-neohesperidoside)	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
23	异鼠李素-3-O-芸香糖苷 (isorhamnetin-3-O-rutinoside)	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
24	异鼠李素-3,7-O-二葡萄糖苷 (isorhamnetin-3,7-O-diglucoside)	C <sub>28</sub> H <sub>32</sub> O <sub>17</sub>	黄酮醇	茎、叶	[29]
25	柚皮素 (naringenin)	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	二氢黄酮	种子、茎、叶	[27-28]
26	圣草酚 (eriodictyol)	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	二氢黄酮	种子	[27]
27	橙皮素 (hesperetin)	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	二氢黄酮	种子茎、叶	[27-28]
28	柚皮素-7-O-葡萄糖苷 (naringenin-7-O-glucoside)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	二氢黄酮	叶	[31]
29	黄叶苷 (citrifolioside)	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>14</sub>	二氢黄酮	种子	[27]
30	橙皮苷 (hesperidin)	C <sub>28</sub> H <sub>34</sub> O <sub>15</sub>	二氢黄酮	叶	[31]
31	(±)-二氢山柰酚[(±)-dihydrokaempferol]	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	二氢黄酮醇	种子	[27]
32	二氢槲皮素 (dihydroquercetin)	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	二氢黄酮醇	茎、叶	[28]
33	儿茶素 (catechin)	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	黄烷醇	种子	[27]
34	穗花杉双黄酮 (amentoflavone)	C <sub>30</sub> H <sub>18</sub> O <sub>10</sub>	双黄酮	种子	[27]
35	6,7,4'-三羟基异黄酮 (6,7,4'-trihydroxyisoflavone)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	异黄酮	种子	[27]
36	2'-羟基大豆苷元 (2'-hydroxydaidzein)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	异黄酮	叶	[31]
37	3',4',5,7-四羟基异黄酮 (orobol)	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	异黄酮	种子	[27]
38	染料木苷 (genistein-7-glucoside)	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	异黄酮	叶	[31]
39	表没食子儿茶素没食子酸酯 (epigallocatechin gallate)	C <sub>22</sub> H <sub>18</sub> O <sub>11</sub>	原花色素	种子	[27]
40	矢车菊素 (cyanidin)	C <sub>15</sub> H <sub>11</sub> O <sub>6</sub>	花青素	叶	[31]
41	芍药素 (peonidin)	C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> ClO <sub>6</sub>	花青素	叶	[31]
42	矢车菊素-3-葡萄糖苷 (cyanidin-3-glucoside)	C <sub>21</sub> H <sub>21</sub> O <sub>11</sub> <sup>+</sup>	花青素	叶	[31]
43	飞燕草素-3-O-葡萄糖苷 (delphinidin-3-O-glucoside)	C <sub>21</sub> H <sub>21</sub> O <sub>12</sub> <sup>+</sup>	花青素	种子、叶	[27,31]
44	氯化芍药素-3-O-葡萄糖苷 (peonidin-3-O-glucoside)	C <sub>22</sub> H <sub>23</sub> ClO <sub>11</sub>	花青素	叶	[31]
45	飞燕草素-3-芸香糖苷 (delphinidin-3-rutinoside)	C <sub>27</sub> H <sub>31</sub> O <sub>16</sub> <sup>+</sup>	花青素	叶	[31]
46	原花青素 A2 (procyanidin A2)	C <sub>30</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	花青素	叶	[31]
47	原花青素 B1 (procyanidin B1)	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	花青素	叶	[31]

**1.5.1 苯及其取代衍生物** 苯及其取代衍生物在盐地碱蓬种子、叶中均有分布,其中,苯胺(48)、肉桂酸(50)、羟甲唑啉(52)在种子中含量较高,2,6-二甲氧基-1,4-苯醌(49)在盐地碱蓬地上部分中被检出, sinapoyl malate(51)则在叶片中被检出,见表3(结构式见中国知网增强出版附加材料)。

**1.5.2 羧酸类化合物** 羧酸类化合物是含有羧基官能团的有机化合物,在盐地碱蓬中的茎、叶、种子中均有分布。其中,化合物53~63为酚酸类化合物,化合物64~69为含羧基的化合物,见表4(结构式见中国知网增强出版附加材料)。

**1.5.3 生物碱类化合物** 生物碱类化合物是一类含氮的复杂有机化合物,其大多含有复杂的环状结构,氮原子分布于环内,含有多种官能团。目前已在盐地碱蓬的叶片和种子中鉴别出多种化合物,其碳原子数为7~46不等,见表5(结构式见中国知网增强出版附加材料)。

**1.5.4 其他化合物** 其他在盐地碱蓬中鉴别得到的化合物包括萜类(化合物79~81)、香豆素类(化合物82)、甾体类(化合物83~84)、胆汁酸类(化合物85)和木脂素类(化合物86)。目前,脱落酸(79)、 $\beta$ -D-吡喃葡萄糖基脱落酸(80)、腺皮啉(82)和(+)-丁香脂醇(86)已能从盐地碱蓬地上部分提取分离。具体化合物见表6(结构式见中国知网增强出版附加材料)。

## 2 药理作用及其机制

明代的《救荒本草》中记载碱蓬:“味咸性凉,清热消积”<sup>[33]</sup>。《本草纲目拾遗》有记载盐地碱蓬“可清热,療疔、腹胀”<sup>[34]</sup>。由此可以看出,自明代起,盐地碱蓬即可作为食用本草,而其药用价值的描述,则自清代起便有人应用,这是经过民间长期反复使用验证的结果,现代药理研究表明,盐地碱蓬具有降血糖<sup>[35-37]</sup>、调节血脂<sup>[12,28,35,38-40]</sup>、抗氧化<sup>[27,41-43]</sup>、

表3 盐地碱蓬中的苯及其取代衍生物

序号	名称	分子式	来源	参考文献
48	苯胺(aniline)	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	种子	[27]
49	2,6-二甲氧基-1,4-苯醌(2,6-dimethoxy-1,4-benzoquinone)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	茎、叶	[29]
50	肉桂酸(trans-cinnamate acid)	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	种子	[27]
51	sinapoyl malate	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>9</sub>	叶	[31]
52	羟甲唑啉(oxymetazoline)	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O	种子	[27]

表4 盐地碱蓬中的羧酸类化合物

序号	名称	分子式	来源	参考文献
53	3-羟基苯甲酸(3-hydroxybenzoic acid)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	种子	[27]
54	对羟基苯甲酸(p-hydroxybenzoic acid)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	茎、叶	[29]
55	原儿茶酸(protocatechuic acid)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	茎、叶	[29]
56	2,5-二羟基苯甲酸(2,5-dihydroxy benzoic acid)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	叶	[31]
57	没食子酸(gallic acid)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	茎、叶	[30-32]
58	香草酸(vanillic acid)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	茎、叶	[29]
59	2,5-二羟基苯乙酸(2,5-dihydroxyphenylacetic acid)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	叶	[31]
60	丁香酸(syringic acid)	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	茎、叶	[29]
61	2-羟基马尿酸(salicylic acid)	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>4</sub>	种子	[27]
62	反式阿魏酸(ferulic acid)	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	茎、叶	[29]
63	芥子酸(3,5-dimethoxy-4-hydroxycinnamic acid)	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	种子	[27]
64	琥珀酸(succinic acid)	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	叶	[31]
65	甲基丙二酸(methylmalonic acid)	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	种子	[27]
66	己二酸(adipic acid)	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	叶	[31]
67	半乳糖醛酸酯1-磷酸盐(galacturonate 1-phosphate)	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>10</sub> P	叶	[31]
68	环胞苷酸(cyclic cytidylic acid)	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> N <sub>3</sub> NaO <sub>7</sub> P	种子	[27]
69	犬尿喹啉酸(kynurenic acid)	C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>3</sub>	叶	[31]

表5 盐地碱蓬中的生物碱类化合物

序号	名称	分子式	来源	参考文献
70	水苏碱 (stachydrine)	C <sub>7</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	种子	[27]
71	左旋水苏碱 (betonicine)	C <sub>7</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>3</sub>	种子	[27]
72	葫芦巴碱 (trigonelline)	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	叶	[31]
73	茶碱 (theophylline)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	叶	[31]
74	可可碱 (theobromine)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	叶	[31]
75	骆驼蓬灵 (harmaline)	C <sub>13</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	叶	[31]
76	氨茶碱 (aminophylline)	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> N <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	叶	[31]
77	萆茛酰胺 (piperlongumine)	C <sub>17</sub> H <sub>19</sub> NO <sub>5</sub>	种子	[27]
78	长春质碱 (vinblastine)	C <sub>46</sub> H <sub>58</sub> N <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	种子	[27]

保护心血管<sup>[27,44]</sup>、保护肠道功能<sup>[45]</sup>、抗癌<sup>[6,46-47]</sup>等功效。

## 2.1 降血糖

盐地碱蓬参与体内糖代谢的调控,能够降低体内血糖含量,对胰岛素抵抗造成的2型糖尿病(T2DM)具有一定的改善作用。张国伟等<sup>[35]</sup>制备T2DM大鼠模型,从改善胰岛素信号传达障碍的磷脂酰肌醇3-激酶/蛋白激酶B/葡萄糖转运蛋白4(PI3K/Akt/GLUT4)信号通路途径对比二甲双胍与盐地碱蓬的降糖效果,用3种不同剂量盐地碱蓬水煎剂进行给药,结果表明盐地碱蓬组大鼠的空腹血糖(FBG)、口服葡萄糖耐量试验2h(PG2h)、糖耐量实验(OGTT)、糖化血红蛋白(GHb)、胰岛素抵抗(IR)指数均有所下降,且随着给药时间的延长,效果逐渐与二甲双胍组接近,证实盐地碱蓬水提物具有调节糖代谢的功能。另外,从蛋白质角度出发,盐地碱蓬通过影响胰腺组织中Bcl-2相关X蛋白(Bax)、半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶3(Caspase-3)、活化的Caspase-3(cleaved-Caspase-3)、B细胞淋巴瘤-2蛋白(Bcl-2)等蛋白质的表达对组织细胞的凋

亡进行调节,进而改善胰岛形态,也表明盐地碱蓬水提物对T2DM具有一定的治疗作用<sup>[36]</sup>。

就药效成分而言,公衍玲等<sup>[37]</sup>提出盐地碱蓬中的黄酮类成分具有体外降血糖活性。研究通过乙醇回流提取盐地碱蓬中的总黄酮,并采用酶-淀粉体系抑制 $\alpha$ -淀粉酶活性评价盐地碱蓬总黄酮体外降血糖活性,初步证实盐地碱蓬总黄酮对 $\alpha$ -淀粉酶有抑制作用,且抑制能力存在浓度依赖性,在盐地碱蓬总黄酮提取物质量浓度为5 mg·mL<sup>-1</sup>时,抑制率可达46.39%,表明盐地碱蓬总黄酮可能通过抑制酶活性来延缓碳水化合物的消化,达到控制血糖升高的目的,但其发挥作用的单体成分尚不明晰。

## 2.2 调血脂

研究表明,盐地碱蓬能够降低大鼠体内总胆固醇(TC)、三酰甘油(TG)及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的含量,具有调控血脂的作用<sup>[35]</sup>。盐地碱蓬水提物对营养性肥胖小鼠有显著的降脂功效<sup>[38]</sup>,经盐地碱蓬水提物灌胃后,肥胖小鼠的体质量、血清TC、TG含量均有所下降,其效果与奥司利他相当。王婷婷<sup>[28]</sup>利用75%乙醇提取盐地碱蓬,在醇提取物中鉴定出木犀草素(2)、芦丁(19)、柚皮素(25)、橙皮素(27)、二氢槲皮素(32)5个黄酮类成分,并从mRNA角度证实盐地碱蓬中黄酮类化合物能够调节体内胆固醇代谢。低密度脂蛋白受体(LDL-R)参与血液中LDL-C向肝脏中的转移过程,促进血液LDL-C的排出,能够降低血液内胆固醇含量;3-羟基-3-甲基-戊二酰辅酶A还原酶(HMG-CoA-R)是肝细胞合成胆固醇过程中的重要限速酶,对内源性胆固醇的合成具有一定限制作用。盐地碱蓬中的黄酮类化合物能够通过上调肝脏中LDL-R mRNA和下调HMG-CoA-R mRNA的表达,提高血液中胆固醇排出速度,降低内源性胆固醇合成,同

表6 盐地碱蓬中的其他化合物

序号	名称	分子式	来源	参考文献
79	脱落酸 (abscisic acid)	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub>	茎、叶	[29]
80	$\beta$ -D-吡喃葡萄糖基脱落酸 ( $\beta$ -D-glucopyranosyl abscisate)	C <sub>21</sub> H <sub>30</sub> O <sub>9</sub>	茎、叶	[29]
81	羽扇豆醇 (lupeol)	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> O	茎、叶	[30]
82	嗉皮啶 (fraxidin)	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	茎、叶	[29]
83	$\beta$ -谷甾醇 ( $\beta$ -sitosterol)	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub> O	茎、叶	[30,32]
84	胡萝卜苷 (daucosterol)	C <sub>35</sub> H <sub>60</sub> O <sub>6</sub>	茎、叶	[30,32]
85	牛磺胆酸盐 (taurocholate)	C <sub>30</sub> H <sub>53</sub> NO <sub>7</sub> S	叶	[31]
86	(+)-丁香脂醇(+)-syringaresinol	C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> O <sub>8</sub>	茎、叶	[29]

时促进体内TC和TG向体外排泄,共同实现对血脂的调节。

另一方面,盐地碱蓬中丰富的膳食纤维可能是其具有显著调血脂功能的重要原因。膳食纤维自身独特的网状结构使得其能够通过减缓胃排空速率、降低小肠吸收速度达到控制摄食量和体质量的作用<sup>[39-40]</sup>;此外,有学者推断盐地碱蓬膳食纤维也能通过抑制胰脂肪酶活性、吸附胃肠道胆固醇,以及结合胆固醇降解产物胆酸盐发挥调节血脂作用<sup>[12]</sup>。盐地碱蓬膳食纤维与胆酸盐结合促进胆固醇的代谢是目前被大多数学者所支持的理论,但相关机制尚缺乏实验支撑。

### 2.3 抗氧化

盐地碱蓬中发挥抗氧化作用的主要物质基础是多糖与花青素<sup>[41-42]</sup>。现代研究表明,盐地碱蓬中的多糖对羟基自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基、氧自由基均具有良好清除作用,前两者的清除率呈现显著的浓度依赖性,而氧自由基的清除率在盐地碱蓬多糖质量浓度升至 $4\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时趋于平缓<sup>[43]</sup>。另外,Yin等<sup>[27]</sup>对盐地碱蓬中活性物质进行提取鉴定,并通过斑马鱼实验验证得出盐地碱蓬中存在的木犀草素(2)、木犀草素-7-葡萄糖醛酸苷(7)、噁皮啶(82)和(+)-丁香脂醇(86)是具有抗氧化活性的药效成分。

### 2.4 保护心血管

近年来,我国居民高身体质量指数(BMI)和超重的的问题越来越明显,由肥胖引起的心血管疾病不容忽视,保护心血管健康迫在眉睫。盐地碱蓬多糖对高脂诱导心肌细胞损伤具有保护作用,能够降低细胞炎症、抑制氧化应激与细胞凋亡,在心肌疾病治疗方向展现出巨大的潜力<sup>[44]</sup>。此外,现代药理研究通过斑马鱼实验表明,盐地碱蓬中的槲皮素(9)、异鼠李素-3-O-葡萄糖苷(15)、槲皮素-3,7-双葡萄糖苷(21)和原儿茶酸(55)具有促血管生成活性,而金圣草黄素(3)和香草酸(58)具有抗心律失常活性,另外,从碱蓬属植物中鉴定得到的木犀草素-7-葡萄糖醛酸苷(7)同时兼有以上2种活性<sup>[27]</sup>。

### 2.5 保护肠道

盐地碱蓬籽油中亚油酸含量丰富(60%~75%),与大豆油含量相当,是制备CLA的良好原料。现有

研究已能将盐地碱蓬中的CLA提取纯化至97.81%<sup>[45]</sup>,验证纯化后的盐地碱蓬CLA能通过增强结肠屏障功能、调节肠道菌群组成和代谢功能来保护肠道健康。在T2DM小鼠中,盐地碱蓬CLA通过上调闭合蛋白(occludin)、连接黏附分子1(Jam-1)、Jam-2、Jam-3、闭合小环蛋白1(Zo-1)等肠紧密连接蛋白质的表达,增强肠黏膜的屏障功能,发挥降低肠道渗透性、防止肠细菌与代谢物转移的作用;另一方面,盐地碱蓬CLA能够激活c-Jun氨基末端激酶-c-Jun(Jnk-c-Jun)通路中的关键基因,改善小鼠结肠细胞活力,两者共同作用以增强肠道功能性。

### 2.6 抗肿瘤

现代药理研究表明,盐地碱蓬中具有抗肿瘤特性的主要物质可能是天然多糖。刘素华<sup>[46]</sup>从盐地碱蓬中分离出一种酸性多糖CPA,并证实其对肝癌HepG2细胞有显著抑制作用,且该作用随多糖浓度升高而增强。Liu等<sup>[6]</sup>从盐地碱蓬中分离出一种酸性多糖SSP2-2,其对乳腺癌MCF-7细胞活力具有抑制作用,随着多糖浓度升高及给药时间延长,该作用愈发显著,同时该多糖对正常乳腺细胞活力无明显影响。进一步研究表明,SSP2-2诱导MCF-7细胞线粒体膜电位降低,其对线粒体功能的破坏程度存在剂量依赖性,能够通过调控Bcl-2家族蛋白促使MCF-7细胞的凋亡。另外,有学者利用网络药理学与分子对接技术筛选得出盐地碱蓬中含有的槲皮素(9)、 $\beta$ -谷甾醇(83)等可能作为辅助治疗乳腺癌的主要活性成分,并推断其通过作用于氧化应激反应过程及上皮细胞增殖过程起到治疗乳腺癌的作用<sup>[47]</sup>,但其缺乏相关实验支撑,仍需要进一步研究。

### 2.7 其他

**2.7.1 消食和促进胃肠道蠕动** 王雪钰<sup>[48]</sup>结合网络药理学和小鼠体内活性验证,推测盐地碱蓬可能通过促进胃饥饿素、胃泌素的分泌,控制5-羟色胺的分泌以起到消食化积的作用。Zhang等<sup>[49]</sup>从“脑-肠-肠菌群”的角度探讨盐地碱蓬消食化积的机制,表明盐地碱蓬水提物可通过提高胃排空率和小肠推进率改善结肠和肠蠕动病理变化,并恢复肠道菌群的失衡状态,进而达到治疗消化不良的目的。

**2.7.2 降血压** 盐地碱蓬的降血压作用目前尚未见单独研究,但脯氨酸能够通过抑制血管紧张素转化酶调控血压<sup>[50]</sup>,而盐地碱蓬中脯氨酸质量分数高达

130.4 mg·g<sup>-1</sup><sup>[51]</sup>, 故推测盐地碱蓬有一定的降血压作用。

**2.7.3 抗炎** 郑维发等<sup>[52]</sup>利用甲醇-三氯甲烷(1:2)对盐地碱蓬幼苗和种子进行提取,并验证提取物的抗炎活性具有一定剂量依赖性,且幼苗提取物抗炎活性较种子更高。另外,通过与切除肾上腺小鼠进行实验对比,盐地碱蓬提取物的抗炎作用可能是通过抑制炎症因子前列腺素E<sub>2</sub>(PGE<sub>2</sub>)的形成,降低渗出液中丙二醛(MDA)含量,提高过氧化氢酶活力来实现的。

### 3 讨论与总结

我国盐地碱蓬资源极为丰富,主要分布于我国西北、东北,以及东部沿海地区。西北地区以新疆为主,在当地,盐地碱蓬作为“吃盐植物”已被广泛人工种植,预计其种植量后续可突破2 000亩<sup>[53]</sup>;东北地区以辽宁省盘锦市的辽河口国家级自然保护区为主,作为全球最大的红海滩景观,辽河口盐地碱蓬的面积在2022年就高达4 221.75 hm<sup>2</sup><sup>[54]</sup>;东部沿海地区则以黄河三角洲为主,其野生碱蓬蕴藏量在1万t以上<sup>[55-56]</sup>。作为重要的滨海“蓝碳”生态系统,盐地碱蓬是黄河三角洲盐沼湿地的先锋物种与优势物种。黄河口国家公园以盐地碱蓬为核心推进生态修复,相关工程总投资1.5亿元,规划为“三区一带”,其中2024年投资7 000万元,先行成功建设人工修复区3万亩。天然的资源优势为盐地碱蓬进一步的开发利用奠定了良好基础<sup>[57]</sup>。

盐地碱蓬富含多糖、黄酮类化合物、CLA、花青素和膳食纤维等物质,在降血糖、调节血脂、抗氧化、保护心血管功能、保护肠道功能、抗肿瘤等方面功效显著,但目前研究仍聚焦于大类物质的功效方向研究,缺乏对于次生代谢产物小分子成分及药理作用机制的深入研究。现阶段,盐地碱蓬只是作为农副产品以食用为主,在医药卫生领域开发稍显不足。事实上,盐地碱蓬来源广泛,加工成本低廉,其药理活性在代谢性疾病方面已有一定进展,富含CLA的盐地碱蓬籽油早在2013年就被原卫生部批准为新资源食品<sup>[58]</sup>,其相关质量标准已于2019年由国家粮食和物资储备局制定并实施[盐地碱蓬籽(LS/T 3124—2019)<sup>[59]</sup>,盐地碱蓬籽油(LS/T 3263—2019)<sup>[60]</sup>],故其在大健康产品及新药研发方面有着光明前景。

通过以上总结,笔者认为针对盐地碱蓬进一步的研究有以下几个方向值得关注:1)针对其活性物质继续开展单体成分的鉴别和提取,加深对其药理作用的探索;2)进一步探究其作用机制,开发其保健功能及相关功能的保健品,或者申请纳入保健品原料目录,为相关产品的研发提供政策支撑;3)完善其作为药用资源的系统调研和质量研究,制定药用地方标准,为其作为原料的新药研发奠定基础。

关于盐地碱蓬药理药效的相关探索目前正处于初级阶段,仍有巨大研究空间与开发潜力,亟待众多学者与科研人员的加入。对盐地碱蓬的合理有效开发,既可以带动滨海地区经济发展,也有望为我国医药卫生事业发展提供参考。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

### 参考文献

- [1] 梁继业,赵振勇,刘畅,等.真盐生植物盐地碱蓬资源特征与利用开发研究进展[J].中国野生植物资源,2022,41(2):30-37.
- [2] 袁敏,吴书光.新时代中国调研行·黄河篇|湿地修复让黄河口盐碱滩变动植物乐园[EB/OL].(2023-11-25)[2025-03-31].[https://www.news.cn/2023-11/25/c\\_1129993666.htm](https://www.news.cn/2023-11/25/c_1129993666.htm).
- [3] 苏宇航,宋晓倩,郑晶文,等.四种藜科植物不同器官主要营养元素化学计量特征比较[J].生态学杂志,2023,42(3):626-634.
- [4] 徐晶,赵学群,王珍珍,等.盐地碱蓬发酵动力学模型构建及抗氧化功能评价[J].食品科学,2023,44(6):172-179.
- [5] 孙宇梅,赵进,周威,等.我国盐生植物碱蓬开发的现状与前景[J].北京工商大学学报(自然科学版),2005,23(1):1-4.
- [6] LIU X X, LIU F, ZHAO S, et al. Purification of an acidic polysaccharide from Suaeda salsa plant and its anti-tumor activity by activating mitochondrial pathway in MCF-7 cells[J]. Carbohydr Polym, 2019, 215: 99-107.
- [7] 李煦,徐美,吴玉文,等.超声波-微波协同辅助提取碱蓬多糖及抗氧化性分析[J].食品研究与开发,2019,40(15):43-49.
- [8] FU J X, SHAO J W, WANG M, et al. Optimization of extraction of polysaccharides from Suaeda salsa (L.) Pall. by ultrasonic: Characterization, purification and antioxidant assessment[J]. E3S Web Conf, 2020, 145: 01025.
- [9] LIU C M, SUN Y D, TONG X J, et al. Structural

- characterization and hypolipidemic activity of a natural polysaccharide from *Suaeda salsa* L. [J]. Int J Biol Macromol, 2024, 279(Pt 4): 135480.
- [10] 薛菲, 刘顺刚, 张祥胜, 等. 盐地碱蓬叶中可溶性膳食纤维的提取与抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 175-178.
- [11] 孙佳佳, 王瑞华, 张立强, 等. 碱蓬中蛋白质和膳食纤维的含量测定[J]. 山东化工, 2018, 47(6): 78-79.
- [12] 刘亚楠, 马月香, 张诺, 等. 盐地碱蓬膳食纤维的提取纯化、理化特性及体外降血脂研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(11): 34-42.
- [13] WANG X, BAI J H, WANG W, et al. Leaf metabolites profiling between red and green phenotypes of *Suaeda salsa* by widely targeted metabolomics [J]. Funct Plant Biol, 2019, 46(9): 845-856.
- [14] 徐晚秋, 曾位森, 白杨, 等. 共轭亚油酸生物合成及生理功能机制研究进展[J]. 现代消化及介入诊疗, 2022, 27(11): 1371-1375.
- [15] HOUSE R L, CASSADY J P, EISEN E J, et al. Conjugated linoleic acid evokes de-lipidation through the regulation of genes controlling lipid metabolism in adipose and liver tissue [J]. Obes Rev, 2005, 6(3): 247-258.
- [16] ASBAGHI O, SHIMI G, NASERI K, et al. The effects of conjugated linoleic acid supplementation on blood pressure and endothelial function in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis [J]. Eur J Pharmacol, 2022, 931: 175162.
- [17] BRUEN R, FITZSIMONS S, BELTON O. Atheroprotective effects of conjugated linoleic acid [J]. Br J Clin Pharmacol, 2017, 83(1): 46-53.
- [18] GONZÁLEZ A, FULLAONDO A, RODRÍGUEZ J, et al. Conjugated linoleic acid metabolite impact in colorectal cancer: A potential microbiome-based precision nutrition approach [J]. Nutr Rev, 2025, 83(2): e602-e614.
- [19] 李洪山, 范艳霞. 盐地碱蓬籽油的提取及特性分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(1): 74-76.
- [20] 芦欢. 盐地碱蓬和角果碱蓬籽油成分超临界CO<sub>2</sub>萃取及抗氧化活性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2023.
- [21] 纪俊敏, 张振山, 刘玉兰, 等. 盐地碱蓬籽油的甘三酯组成及理化特性分析[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(4): 29-33.
- [22] 王记莲, 刘德驹, 金绍娣. 正交试验法优化盐地碱蓬中黄酮的超声提取工艺[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(1): 24-26.
- [23] 钟尉方, 王岳鸿, 刘红英. 响应面法优化盐地碱蓬草总黄酮提取工艺研究[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1135-1141.
- [24] 王焯, 王俊桐, 郭蔚然, 等. 盐地碱蓬不同部位总黄酮含量比较[J]. 长春中医药大学学报, 2020, 36(5): 913-915.
- [25] 李岩, 张亚卓, 郭璐, 等. 盐生植物翅碱蓬黄酮类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 38-41.
- [26] 张泽生, 牟浩, 赵璐, 等. 盐地碱蓬提取物抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(11): 4-8.
- [27] YIN X M, SUI Y Z, CHU Z Y, et al. Regulation of intestinal flora by *Suaeda salsa* extract ameliorates hyperglycemia in a mouse model of type 2 diabetes mellitus [J]. Front Nutr, 2024, 11: 1499196.
- [28] 王婷婷. 盐地碱蓬醇提物降血脂的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [29] XU K, CUI X H, REN X, et al. Discovery of natural polyphenols from the wild vegetable *Suaeda salsa* L. with potential cardioprotective functions [J]. Food Chem, 2023, 405(Pt B): 134968.
- [30] 王丽. 盐地碱蓬的化学成分研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- [31] LI M, HE P M, ZHAO Z T, et al. Effect of temperature on betacyanins synthesis and the transcriptome of *Suaeda salsa* [J]. Front Plant Sci, 2023, 14: 1203089.
- [32] 张泽生, 王丽, 杨建波, 等. 盐地碱蓬的化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(6): 775-776.
- [33] 朱楠. 救荒本草校释与研究[M]. 王家葵, 张瑞贤, 李敏, 校注. 北京: 中医古籍出版社, 2007: 49.
- [34] 赵学敏. 本草纲目拾遗: 10卷[M]. 影印本. 北京: 人民卫生出版社, 1957: 92.
- [35] 张国伟, 陈新新, 田春雨, 等. 盐地碱蓬对2型糖尿病大鼠胰腺Bax, Bcl-2, Caspase-3蛋白表达的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(10): 1644-1651.
- [36] 张国伟. 盐地碱蓬对2型糖尿病大鼠血糖及肝脏PI3K/Akt/GLUT4信号通路的影响[D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
- [37] 公衍玲, 刘菲, 金宏. 响应面法优化盐地碱蓬总黄酮乙醇萃取工艺及其抗氧化、降糖、降脂活性[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 1-7.
- [38] 陈晓丹, 黄文文, 陈前锋. 盐地碱蓬提取物对食源性肥胖小鼠的减肥功能研究[J]. 生物化工, 2020(4): 86-88.
- [39] 阴龙飞, 常子晨, 范颖颖, 等. 盐地碱蓬膳食纤维对高脂血症大鼠的降血脂作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 7-12.
- [40] 阴龙飞. 盐地碱蓬膳食纤维制备及降脂作用研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.
- [41] 周迪, 王胤晨, 田兴舟, 等. 花青素增强反刍动物抗氧

- 化性能作用机制的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2019, 50(8):1536-1544.
- [42] 李煦,徐美,冀志芳,等. 超声-微波协同提取碱蓬花青素工艺优化及抗氧化性研究[J]. 饲料研究, 2020, 43(11):73-81.
- [43] 庞庭才,钟秋平,熊拯,等. 响应面分析法优化碱蓬多糖提取工艺及其抗氧化性分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(7):1280-1286.
- [44] 秦思思,孔雨微,张玉秀,等. 盐地碱蓬多糖对高脂诱导H9C2细胞炎症、氧化应激及细胞凋亡的影响[C]//亚洲营养学会联合会,中国营养学会. 第十四届亚洲营养大会. 唐山:华北理工大学,2023:1.
- [45] HE Y Y, QU C F, ZHAO H C, et al. Conjugated linoleic acid from *Suaeda salsa* improves the intestinal health in T2DM mice by regulating colonic barrier function, intestinal glycolipid transporters and intestinal flora[J]. Food Biosci, 2024, 58:103805.
- [46] 刘素华. 盐地碱蓬中植物盐的提取及其多糖功能性的研究[D]. 天津:天津科技大学,2017.
- [47] 凌存保,赵小芳,樊伟平,等. 基于网络药理学和分子对接技术探究盐地碱蓬抗乳腺癌的机制[J]. 基层医学论坛, 2023, 27(34):1-6.
- [48] 王雪钰. 盐地碱蓬地上部分消食化积作用物质基础研究[D]. 长春:长春中医药大学,2023.
- [49] ZHANG W J, WANG X Y, YIN S H, et al. Improvement of functional dyspepsia with *Suaeda salsa* (L.) Pall via regulating brain-gut peptide and gut microbiota structure[J]. Eur J Nutr, 2024, 63(5):1929-1944.
- [50] LI J P, LIU Z Y, ZHAO Y H, et al. Novel natural angiotensin converting enzyme (ACE) -inhibitory peptides derived from sea cucumber-modified hydrolysates by adding exogenous proline and a study of their structure-activity relationship[J]. Mar Drugs, 2018, 16(8):271.
- [51] 魏蕾,吕佳飞,李志洲. 花青素的提取纯化、抗氧化能力及功用方面的研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2009, 31(4):83-86.
- [52] 郑维发,陈才法,李巍. 盐地碱蓬幼苗和种子氯仿/甲醇提取物的化学组成及其抗炎作用[J]. 中成药, 2003, 25(12):997-1002.
- [53] 李慧,尚杰,赵明昊等. 盐碱地变身“新粮仓”[N]. 光明日报, 2023-11-14(7).
- [54] 李钰彬,王宗明,赵传朋,等. 辽河口盐地碱蓬时空动态遥感监测及其识别机理研究[J]. 自然资源遥感, 2025, 37(1):195-203.
- [55] 范璞然,蔡玉林,柳佳,等. 基于Landsat卫星影像的黄河三角洲盐地碱蓬变化监测[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(3):38-41.
- [56] 刘谦,刘红燕,窦家聪,等. 山东省黄河三角洲水生耐盐药用植物资源调查与特色药用植物开发利用[J]. 中国现代中药, 2023, 25(2):244-251.
- [57] 杨珂,崔立慧,段学虎,等. “三区一带”生态修复守住河海生态大家园[EB/OL]. (2024-08-28)[2025-03-31]. <https://news.qq.com/rain/a/20240828A07ZKH00>.
- [58] 中华人民共和国卫生部. 关于批准茶树花等7种新资源食品的公告(2013年第1号)[EB/OL]. (2013-01-04)[2025-08-21]. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/201301/1cd0684e86f04278990c05227848ea33.shtml>.
- [59] 全国粮油标准化技术委员会. 盐地碱蓬籽:LS/T 3124—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
- [60] 全国粮油标准化技术委员会. 盐地碱蓬籽油:LS/T 3263—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.

(收稿日期: 2024-10-11 编辑: 吴美琪)