

## 地衣化学成分和药理作用研究进展

房敏峰, 王启林, 胡正海\*

西部资源生物与现代生物技术教育部重点实验室, 西北大学生命科学学院, 陕西 西安 710069

**摘要:** 地衣是低等植物的重要类群, 为菌藻共生体, 全世界已知 500 多属 26 000 多种, 我国有 232 属 1 766 种。地衣入药在我国已有悠久的历史, 地衣主要成分为地衣多糖和地衣酸, 具有抗肿瘤、抗病毒、抗辐射及抗菌等生物活性。现就地衣的种质资源、药效成分及其药理作用的研究概况进行综述, 为药用地衣资源的研究和开发提供参考。

**关键词:** 地衣; 地衣多糖; 地衣酸; 抗肿瘤; 抗病毒

**中图分类号:** R282.71      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2670(2011)12-2571-06

## Advances in studies on chemical constituents from lichen and their pharmacological effects

FANG Min-feng, WANG Qi-lin, HU Zheng-hai

Key Laboratory of Resource Biological and Biotechnology in Western China, College of Life Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China

**Key words:** lichen; lichen polysaccharides; lichenic acid; antitumor; antiviral

地衣是低等植物的重要类群, 为菌藻共生体。其中的共生菌以子囊菌为主, 少数为担子菌, 共生藻为蓝藻或绿藻。由于地衣的生物学特性主要是菌藻共生体中真菌的体现, 故又称为地衣型真菌<sup>[1]</sup>。地衣被认为是生物互惠共生现象中最完善的典型<sup>[2-3]</sup>。全世界已知地衣 500 多个属<sup>[4]</sup>, 26 000 多个种<sup>[5]</sup>, 我国有 232 属 1 766 种<sup>[6]</sup>。地衣入药在我国具有悠久的历史, 《诗经》中就有关于松萝药用的记载。据各种本草及有关资料记载, 约有 200 种地衣入药。地衣的主要成分为地衣多糖和地衣酸, 具有抗肿瘤、抗病毒、抗辐射、抗菌、抗氧化等生物活性<sup>[7]</sup>。本文主要从地衣的化学成分及其药理作用方面, 对其近年来的研究进展进行概述, 为药用地衣的进一步开发利用提供参考。

### 1 地衣特性及资源分布

#### 1.1 生物学特性

地衣为低等植物, 是一类多年生独特的生物类群, 是由真菌和藻类共生而成的稳定复合体, 无根、茎、叶的分化。构成地衣体的真菌绝大部分属于真菌界的子囊菌门、子囊菌纲, 其中 98% 为子囊菌<sup>[8]</sup>,

少数为担子菌亚门的伞菌目和非褶菌目(多孔菌目)。地衣体中的藻类来自绿藻和蓝绿藻的 20 多个属。绿藻中的共球藻属、橘色藻属和蓝绿藻(或蓝细菌)的念珠藻属, 约占全部地衣体藻类的 90%<sup>[9-11]</sup>。共生是地衣生物学特性中主要的性状。没有真菌与藻类或蓝细菌的共生就没有地衣, 而共生的影响则不同程度地反映在地衣生命活动的许多方面, 使得地衣在形态、解剖、生理及生化等方面显示既不同于自由生活的真菌, 又有别于自由生活的藻类<sup>[12]</sup>。

地衣体是由藻类和真菌组成的营养性植物体。根据其外部形态, 一般可分为 3 种生长型, 即壳状地衣、叶状地衣和枝状地衣, 在这些生长型之间, 还有多种中间类型, 如较低级的呈丝绒状、鳞叶状以及介于壳状和鳞叶状之间的鳞壳状等。通常地衣体的每种生长型都有其不同的内部构造, 根据藻细胞在地衣体中分布的不同部位, 地衣体可分为两种结构型, 一种是藻细胞排列于地衣体上皮层与髓层之间, 形成明显的一层, 成为异层型; 另一种是藻细胞分散于地衣体上皮层之下的髓层中, 没有明显

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 陕西省中药材标准项目资助(20100331)

作者简介: 房敏峰(1967—), 女, 陕西商州人, 西北大学副教授, 博士, 主要从事中药炮制与资源研究。E-mail: fff885@126.com

\*通讯作者 胡正海 Tel: (029)88302684 E-mail: zhenghaihu@sina.com

的藻层与髓层之分,称为同层型。地衣体的附属结构也是多种多样的,其中假根、绒毛和缘毛也见于真菌中,而粉芽、裂芽、小裂片、杯点、假杯点及衣癭则是地衣体所特有的,所有这些附属结构的存在与否以及它们的形状、大小、颜色,在地衣的种类鉴定中,是重要的分类依据<sup>[10]</sup>。

地衣的繁殖一般分为营养繁殖和有性繁殖两种。在地衣分类鉴定时,繁殖器官的类型、产生的孢子数量、形状及颜色等,都被作为很重要的分种依据<sup>[10]</sup>。

## 1.2 资源分布

地衣的分布极为广泛,从南北两极到赤道,从高山到平原,从森林到荒漠,到处都能发现它们。全世界已经描述的地衣约占全部已知真菌总数(7.1万种)的20%<sup>[8]</sup>。据估算,地球上的真菌有150万种左右,按上述地衣占真菌总数的20%推算,那么地球上的地衣约有30万种。地衣的许多种类和类群还有待于不断地被发现<sup>[13]</sup>。

在我国地衣资源也极其丰富,而且种类繁多,一些种类还具有特殊的经济用途。目前,已报道的地衣占中国已知真菌总数(约1万种)的20%,占全世界已报道地衣总数的13%。其中中国特有种300种以上。据估计,我国全部地衣的总数在2万~3万种,已知地衣仅占估计种数的6%~9%<sup>[14]</sup>。

## 2 地衣的主要化学成分

地衣是真菌和藻类高度结合的共生复合体,由于地衣共生的特殊性,其含有的初生代谢产物(多糖类)和次生代谢产物(酚酸类)构成了天然有机化合物独特的类群<sup>[15]</sup>。近几年从地衣植物中分离得到了许多具有活性的新化合物<sup>[16-18]</sup>。

### 2.1 地衣多糖的种类及结构

地衣中的多糖类物质主要存在于细胞壁中,主要包括地衣多糖、异地衣多糖,也包括少量的半乳甘露聚糖、葡糖甘露聚糖等<sup>[19-21]</sup>。地衣多糖是1个 $\beta$ -D-葡萄糖以1,3和1,4键合所构成的线性聚合物<sup>[22-23]</sup>, $\beta$ -葡聚糖的相对分子质量在 $2 \times 10^4 \sim 6.2 \times 10^4$ ,旋光度一般为正值且比较低。X射线衍射证实 $\beta$ -葡聚糖型地衣多糖的三维立体结构是1个3股螺旋结构<sup>[24]</sup>,与真菌多糖的研究结果非常相似,对于真菌多糖来说,3股螺旋结构是真菌多糖最具活性的空间构象。在现有研究中 $\beta$ -葡聚糖型地衣多糖的活性远高于 $\alpha$ -葡聚糖型地衣多糖的原因可能也在于此<sup>[25]</sup>。异地衣多糖是首次从地衣中发

现的,是由D-葡萄糖残留物以 $\alpha$ -1,3及 $\alpha$ -1,4葡萄糖苷键合所构成的线性聚合物,相对分子质量在 $6 \times 10^3 \sim 8 \times 10^3$ 。其遇碘变蓝色,右旋,溶于冷水中。目前发现的 $\alpha$ -葡聚糖的旋光度总是正值<sup>[24]</sup>。迄今为止,已从24种不同的地衣中得到了半乳甘露聚糖。其主链大多是由(1~6)- $\alpha$ -D-半乳甘露聚糖单元组成,这一系列地衣多糖C-1位的<sup>13</sup>C-NMR数据有特征值<sup>[26]</sup>。随着各种分析检测手段的进步,这类结构复杂的多糖在结构方面的研究将有很大进展。石耳多糖又称泡衣多糖,是 $\beta$ -D-葡萄糖1 $\rightarrow$ 6连接的葡聚糖,每10~12个葡萄糖单位的3位有1个O-乙酰基<sup>[23]</sup>。

### 2.2 地衣酸的种类及结构

地衣中除了同样存在于高等植物中的草酸盐和碳酸盐之外,其他的次生代谢产物几乎组成了1个地衣独特的化合物类群,地衣酸就是其中的一类<sup>[10]</sup>。在地衣中,地衣酸通常沉积于菌丝细胞的表面,并且多为水不溶性,主要为缩酚酸类及其衍生物、蒽醌类、脂肪酸类、萜类、甾体类等<sup>[7]</sup>。其中缩酚酸类及其衍生物为地衣共生体特有的化学成分,由乙酸-丙二酸代谢途径形成,基本骨架为2~3个地衣酚或 $\beta$ -地衣酚型的多酚酸类单元通过酯键、醚键或碳-碳键连接而成,包括缩酚酸、缩酚酸环醚、缩酚酮、二苯并呋喃(包括松萝酸)等结构类型。到目前为止,已分离鉴定800余个地衣酸<sup>[7]</sup>。

**2.2.1 缩酚酸类<sup>[7]</sup>** 缩酚酸类存在于地衣的髓层中,为地衣的主要次生代谢产物,主要由地衣酚型或 $\beta$ -地衣酚型单元通过酯键缩合而成。地衣酚型为多羟基酚酸, $\beta$ -地衣酚型比地衣酚型在苯环的3位上多连有一个碳取代单元。缩酚酸类包括二聚缩酚酸(根据组成单元的不同,主要有3种结构类型:地衣酚型、 $\beta$ -地衣酚型及 $\beta$ -地衣酚/地衣酚混合型)、三聚缩酚酸或四聚缩酚酸及苜基缩酚酸类化合物。目前已报道的缩酚酸类有207个化合物:包括175个二聚缩酚酸,28个三聚或四聚缩酚酸和4个苜基缩酚酸类化合物。

**2.2.2 缩酚酸环醚类<sup>[7]</sup>** 缩酚酸环醚是地衣中的第2大类次生代谢产物,已报道116种化合物。该类化合物除了具有缩酚酸类化合物的酯键连接外,还有一个醚键连接,形成了多环的刚性结构。苯环上多为羧基取代,C-6和C-6'位常为奇数碳的烷烃取代基,其他位置常为甲基、醛基、羟基和氯等基团取代。

**2.2.3 缩酚酮类<sup>[7]</sup>** 目前发现的缩酚酮类主要是由 2 个地衣酚单元通过酯键及碳-碳键连接而成, A 环的 4 位氧化形成酮基, C-6、C-6'位皆为烷烃取代。缩酚酮类系由对缩酚酸衍生而来。

**2.2.4 二苯并呋喃类<sup>[7]</sup>** 二苯并呋喃类几乎仅为地衣所特有, 在自然界中较少见。它是由两个缩酚单元通过碳碳连接及环化脱水而成, 已报道有 32 个化合物。

### 2.3 其他成分

地衣中除地衣多糖和地衣酚酸等主要成分外, 还含有一些其他类化合物, 如醌类。醌类也是一类在自然界中广泛分布且具有重要生物活性的化合物, 目前从地衣中已发现的醌类化合物约 66 个, 包括苯醌、萘醌、葱醌、菲醌、联苯醌、萘茜苯醌等<sup>[7]</sup>。

## 3 地衣的主要药理作用

地衣入药在我国已有悠久的历史, 早在公元前 600 年西周时期的《诗经》中, 就有松萝的记载; 南北朝梁·陶弘景所著的《名医别录》中记载石濡(石蕊)“可明目, 益精气”; 李时珍的《本草纲目》中记述了多种地衣的形态、习性及其药效, 如“女萝(松萝)能疗痰热温虐, 可为吐汤, 利水道”, “石濡有生津利咽、解热化痰”。近年药理研究发现, 地衣具有抗肿瘤、抗病毒、抗辐射、抗菌、抗氧化等多方面的生物活性<sup>[7]</sup>。

### 3.1 地衣多糖的药理作用

**3.1.1 抗肿瘤作用** 国外学者对于地衣多糖的抗肿瘤活性的研究较早, 从 20 世纪 70 年代起, 日本学者对地衣多糖的非细胞毒和宿主介导的抗肿瘤活性进行了长期研究。通过在小鼠皮下接种 S<sub>180</sub> 腹水瘤细胞来观察从 9 种地衣的水提醇沉物中得到的粗多糖的活性。接种瘤细胞 24 h 后, 分别 ip 粗多糖 (200 mg/kg), 连续 10 d, 1 次/d, 5 周后比较给药组和对照组的平均瘤质量, 其中大部分粗多糖能够抑制肿瘤生长, 有较高的肿瘤抑制率<sup>[27]</sup>。Nishikawa 等<sup>[28]</sup>进一步研究表明, 从石耳科地衣中得到的 O-乙酰基取代的石脐素型葡聚糖有较强的抗肿瘤活性。Takeda 等<sup>[29]</sup>从扁枝衣、树发等地衣中得到的地衣多糖, 也发现具有良好的抗肿瘤活性。我国学者也进行了这方面的研究, 20 世纪 90 年代初, Wang 等<sup>[30]</sup>研究了从冰岛衣中得到的地衣多糖对 S<sub>180</sub>、宫颈癌细胞 U<sub>14</sub>、白血病 L7217 细胞以及艾氏腹水癌的抗肿瘤作用, 结果发现其能够抑制 S<sub>180</sub> 的生长, 但是不能延长 U<sub>14</sub>、L7217 小鼠的存活时间, 结果还显示

这种地衣多糖可以显著提高小鼠的网状内皮系统功能。也有报道从地衣中得到的糖肽对 S<sub>180</sub> 表现出良好的抑制活性。从 *Lorientalis* 属地衣中得到 2 种糖肽 (LOF-1、LOF-2), 其中 LOF-1 的主要糖类组成是 (1→6) 葡聚糖和 (1→3) 甘露聚糖, 丝氨酸和苏氨酸通过氧键与糖类物质相连。LOF-1 10 mg/kg 对肿瘤的抑制率达到了 81.6%<sup>[31]</sup>。除此之外, 有学者认为地衣多糖有良好的抗肿瘤活性可能与增加免疫血清中  $\alpha$  酸性糖蛋白 ( $\alpha_1$ -AG) 有关。据报道, 地衣多糖作用于腹水肿瘤小鼠时, 免疫血清中  $\alpha$   $\alpha_1$ -AG 水平明显增加, 同时小鼠肝、脾质量增加, 而  $\alpha_1$ -AG 在体外可以抑制肿瘤细胞的生长<sup>[32]</sup>。也有学者认为地衣多糖对  $\beta$  肾上腺素受体和白细胞介素-1 (IL-1) 受体有双重调节作用, 有助于产生 IL-1 生长因子, 激活补体系统, 促进抗体形成<sup>[33]</sup>。可见, 地衣多糖可通过多途径、多个层面对免疫系统发挥调节作用, 从而发挥抗肿瘤作用。

**3.1.2 抗病毒作用** 研究发现从冰岛地衣中得到的一些地衣多糖具有抗病毒作用, 可以显著减少植物局部或者系统感染烟草花叶病毒 (TMV)。从石耳科地衣中得到的一种带有乙酰基的  $\beta$  (1→6) 葡聚糖能够显著抑制 HIV 抗原在 Molt-4 (clone 8) 细胞上的表达, 从而对 HIV 病毒起到抑制作用<sup>[34]</sup>。这表明地衣多糖的抗病毒作用机制可能为其结构与病毒胞壁结构相似, 通过影响病毒早期复制而发挥抗病毒作用。但是总体来说, 目前地衣多糖的抗病毒作用机制还不是非常清楚, 可能由于病毒细胞壁都含有葡聚糖, 而地衣多糖中的葡聚糖大多都有类似的结构。病毒的感染实际上与这一相似结构识别有关。地衣多糖的抗病毒作用可能是利用其相似结构, 通过免疫调节机制产生宿主免疫功能, 以抵抗病原体的侵袭<sup>[27]</sup>。

**3.1.3 细胞毒作用** 以往的研究都认为多糖类物质一般不具有细胞毒性, 但有研究发现, 一种从树花属地衣中得到的  $\alpha$ →(1→3)-(1→4)-葡聚糖及其硫酸盐衍生物均显示出对宫颈癌 HeLa 细胞的细胞毒作用, 这种葡聚糖能明显增大细胞的体积, 影响胞质密度和有丝分裂, 直接导致细胞凋亡, 其硫酸盐的细胞毒作用更加强烈<sup>[35]</sup>。

**3.1.4 对海马神经元突出间隙的作用** 通过地衣葡聚糖对海马突出间隙的影响研究证实, 一种从梅衣科地衣中得到的地衣多糖, *po* 和 *iv* 均能增强小鼠空间记忆的电生理信号, 可以修复由于  $\beta$  样淀粉

沉积带来的损伤, 对于治疗阿尔茨海默病有积极意义<sup>[36-37]</sup>。

对于多糖类物质的研究表明, 多糖的生物活性与多糖的结构、相对分子质量和溶解度等诸多因素密切相关。目前研究较多的是  $\beta$  葡聚糖, 已发现的多种活性都与之有关, (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$  葡聚糖是抗肿瘤活性的必需骨架结构。地衣多糖的初步构效关系研究也证明了这一点, (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$  葡聚糖对异源和同源的, 甚至是遗传性的肿瘤都有效<sup>[38]</sup>。因此, 多糖类物质是目前地衣研究领域的一个热点。

### 3.2 地衣酸的药理作用

**3.2.1 抗菌作用** 地衣在民间广泛用于抗菌方面的治疗已有悠久的历史。近代开展的大量研究也证明了地衣的抗菌作用。大多数具有抗菌活性的地衣物质为酚类化合物, 水溶性较低。1950 年, 松萝酸就被证明具有抗革兰阳性菌的活性。Piovano 等<sup>[39]</sup>研究发现柔扁枝衣酸、环萝酸及肺衣酸具有温和的抗皮肤真菌石膏样小孢子菌、须癣毛癣菌、红色毛癣菌的活性。Francolini 等<sup>[40]</sup>研究表明, (+)-松萝酸有抗革兰阳性菌金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌的活性, 可直接杀死金黄色葡萄球菌细胞, 阻碍绿脓杆菌信号的传导途径。Tosum 等<sup>[41]</sup>研究表明, 松萝酸有抑制结核菌生长的活性, 其最小抑制浓度为 12.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

**3.2.2 抗氧化作用** Hidalgo 等<sup>[42]</sup>通过抑制鼠脑组织及  $\beta$ -胡萝卜素实验, 发现从 *Erioderma chilense* 和 *Psoromapallidum* 属地衣中分离得到缩酚酸环醚 l-chloropannarina 和 pannarina 具有显著的抗氧化活性, 并认为缩酚酸环醚比缩酚酸的抗氧化活性强。这可能与缩酚酸环醚在缩酚酸结构基础上形成的醚键有关。Stepanenko 等<sup>[43]</sup>对远东地区叶生地衣的酚类次生代谢产物活性的研究表明, 地衣酚型缩酚酸和三缩酚酸可防止过氧化反应, 可能与其抑制有毒金属离子有关。因为有毒金属离子可启动游离自由基的反应。此外, 也发现这些地衣中含有的二聚萘茜类 (5, 8-二羟基萘醌) 色素 cuculloquinone、islandoquinone、6, 6'-bi (3'-ethyl-2, 7-dihydroxynaphthazarin) 也具有抗氧化活性。由于地衣体内的次生代谢产物具有清除自由基和活性氧等方面的能力, 这种特性使得地衣具有潜在的开发成为治疗由过氧化引发的疾病的药物。

**3.2.3 抗辐射作用** 近年来, 随着环境的不断恶化, 全球臭氧层在不断变薄, 导致了 UV-B 辐射的增加。而在臭氧损耗尤为严重的高纬度地区, 地衣处于该

地区植被中的主导地位。研究表明, 地衣对 UV 起屏蔽作用的主要物质基础是其体内的次生代谢产物<sup>[44]</sup>。这些次生代谢产物一般是在 UV 辐射条件下诱导产生的并且大多属于酚类化合物。Rancan 等<sup>[45]</sup>对地衣次生代谢产物在 UV 区的吸收作用做了大量的研究, 结果显示, 松萝酸、l-chlorepannarine, epiphorelic acid I、II, calicin 等均对 UV 有吸收作用, 其中松萝酸主要是在 UV-B 区有吸收, l-chlorepannarine, epiphorelic acid I、II, calicin 在 UV-A 区有吸收。Torres 等<sup>[46]</sup>从胶衣科地衣中分离的 mycosporine 具有明显的光保护活性, 可以有效抑制由 UV-B 引起的细胞膜损伤, 抑制人体角化细胞中嘧啶二聚物的形成及皮肤红斑的产生。由于地衣中的次生代谢产物在 UV 区的强烈吸收作用, 近年来地衣提取物已被用作为防晒油中的遮光剂。

**3.2.4 其他作用** 地衣酸还有抗肿瘤、植物生长抑制等作用。在抗肿瘤方面, 松萝酸是研究较多的地衣类物质且早被发现。作为植物生长抑制剂, 有些地衣的次生代谢产物积聚在菌丝的外表, 在生物竞争中, 通过淋洗作用, 直接发挥毒杀作用, 阻止其他地衣种群的形成, 从而获得自身的生态位。

## 4 结语

地衣作为真菌和藻类高度结合的共生复合体, 以及其共生的特殊性, 地衣中含有的初生代谢产物和次生代谢产物构成了天然有机化合物独特的类群, 现已从地衣中分离得到的多种活性化合物具有抗肿瘤、抗病毒、抗辐射、抗菌、抗氧化等多方面的生物活性。但是地衣的生长比较缓慢, 而且难以人工培养, 过度采集极易造成环境破坏和地衣物种的灭绝, 所以, 为了扩大对地衣资源的开发和可持续利用, 通过组织培养及转基因技术获得大量的地衣原料, 以及通过化学合成的方法获得地衣体内有效的化合物, 使地衣在医药研究领域更好的发挥作用。目前, 在地衣研究领域, 应重视两方面的研究工作, 一是对地衣多糖的提取纯化及结构分析, 在结构分析基础上进行结构改造; 二是利用一些免疫指标分析其生物活性及免疫机制<sup>[47]</sup>。从目前地衣研究的文献看来, 国内对于地衣的研究较少, 涉及面也比较狭窄, 所以, 应加强对于药用地衣的研究工作, 通过生物学、化学及生物技术等多学科结合研究为地衣的开发利用提供实验依据。

### 参考文献

- [1] 魏江春. 中国药用地衣 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.

- [2] Wei J C, Abbas A. The Lichen genus *Pseudevernia zope* in China [J]. *Mycosystema*, 2003, 22(1): 26-29.
- [3] 阿不都拉·阿巴斯, 吴继农. 新疆地衣 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1998.
- [4] James P W, Hawksworth D L. *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi* [M]. London: Commonwealth Mycological Institute England, 1971.
- [5] Oxner A N. *Handbook of the Lichens of the USSR.2* [M]. Lierograd: Science Press, 1974.
- [6] 魏江春. 中国地衣综览 [M]. 北京: 万国学术出版社, 1992.
- [7] 牛冬玲, 王立松. 地衣次生代谢产物及其生物活性研究进展 [J]. *天然产物研究与开发*, 2007, 19: 1079-1080.
- [8] Hawksworth D L, Hill D J. *Lichen-Forming Fungi* [M]. New York: Chapman and Hill.
- [9] Abbas A, Mijit A H, Wu J N. Contribution to the knowledge of lichens from Xinjiang China, including a preliminary checklist [J]. *CHENIA*, 2002, 7: 173-186.
- [10] 吴金陵. 中国地衣植物图鉴 [M]. 北京: 中国展望出版社, 1987.
- [11] 赵继鼎, 徐连旺, 孙曾美. 中国地衣初编 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [12] 魏江春. 地衣、真菌和菌物的研究进展 [J]. *生物学通报*, 1998, 33(12): 2-5.
- [13] Hawksworth D L. The fungi dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation [J]. *Mycol Res*, 1991, 95: 641-665.
- [14] Chen J B. The particularity and biological diversity of lichens, and importance to science and application [J]. *Biodiv Sci*, 1995, 3: 123-117.
- [15] Huneck S. The significance of lichens and their metabolites [J]. *Nat Wissenschaften*, 1999, 86(12): 559-570.
- [16] Toledo M F J, Garcia C A, Estevez R F, et al. Identification and quantitation of allelochemicals from the lichen *lethariella canariensis*: phytotoxicity and anti-oxidative activity [J]. *J Chen Ecol*, 2003, 29(9): 2049-2069.
- [17] Rezanka T, Guschina I A. Glycosidic compounds of murolic, protoconstipatic and allomu-rollic acids from lichen of central Asia [J]. *Photochemistry*, 2000, 54(6): 635-645.
- [18] Rezanka T, Guschina I A. Further glucosides of lichens' acids from central Asian lichens [J]. *Photochemistry*, 2001, 56(2): 181-188.
- [19] 靳菊情, 丁东宁, 王晓美, 等. 黑石耳多糖组分测定 [J]. *西北药学杂志*, 1996, 11: 15-16.
- [20] 丁东宁, 靳菊情, 闫明, 等. 雀石蕊多糖的研究 [J]. *西北医科大学学报*, 1997, 18(4): 476-477.
- [21] 王晓美, 罗秦英, 靳菊情, 等. 太白茶多糖的组分研究 [J]. *西北药学杂志*, 1998, 13(1): 10-11.
- [22] Berit S P, Elin S O, Kristin I. Chromatography and electrophoresis in separation and characterization of polysaccharides from lichens [J]. *J Chromatog A*, 2002, 967: 163-171.
- [23] 张璞, 樊守金. 地衣抗生素和地衣多糖类物质的研究进展 [J]. *山东科学*, 2007, 4(2): 41-44.
- [24] Olafsdottir E S, Ingolfsdottir K. Polysaccharides from lichens: structural characteristics and biological activity [J]. *Planta Med*, 2001, 67(3): 199-208.
- [25] 黄洁. 地衣多糖的提取、分离、结构表征及其辐射防护作用的研究 [D]. 北京: 中国协和医科大学, 2008.
- [26] Cathonero E R, Mellinger C G, Eliasaro S, et al. Chemotypes significance of lichenized fungi by structural characterization of hetero polysaccharides from the genera *Parmotrema* and *Rimelia* [J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2005, 246(2): 273-278.
- [27] 王学姣, 徐文清. 地衣多糖的结构特征与生物活性 [J]. *天津药学*, 2007, 19(2): 62-64.
- [28] Nishikawa Y, Tanaka M, Shibata S, et al. Polysaccharides of lichens and fungi IV. Antitumor active *O*-acetylated pustulan-type glucans from the lichens of *Umbilicaria* species [J]. *Chem Pharm Bull*, 1970, 18(7): 1431.
- [29] Takeda T, Funatsu M, Shibata S, et al. Polysaccharides of lichens and fungi V. Antitumor active polysaccharides of lichens of *Evemia* [J]. *Chem Pharm Bull*, 1972, 20(11): 2445-2449.
- [30] 王桂芝, 李延忠, 王本祥, 等. 白边岛衣多糖抗肿瘤作用的研究 [J]. *中国中药杂志*, 1991, 16(5): 242-256.
- [31] Takahashi K, Takeda T, Shibata S, et al. Polysaccharides of lichens and fungi VI. Effect of antitumor or active polysaccharides of lichens of Stictaceae [J]. *Chem Pharm Bull*, 1974, 22(2): 404-408.
- [32] Watanabe M, Iwaik, Shibata S, et al. Purification and characterization of mouse  $\alpha_1$ -acid glycoprotein and its possible role in the antitumor activity of some lichen polysaccharides [J]. *Chem Pharm Bull*, 1986, 34(6): 2532-2541.
- [33] Edagawa Y, Sato F, Saito H, et al. Dual effects of the lichen glucan PB-2, extracted from *Flavoparmelia baltimorensis* on the induction of long-term potentiation in the dentate gyrus of the anesthetized rat possible mediation. Via adrenaline beta- and interleukin-1 receptors [J]. *Brain Res*, 2005, 1032(1/2): 183-192.
- [34] Hirabayashi K, Iwata S, Ito M, et al. Inhibitory effect of a lichen polysaccharide sulfate, GE-3-S, on the replication of human immunodeficiency virus (HIV) *in vitro* [J].

- Chem Pharm Bull*, 1989, 37(9): 2410.
- [35] Leao A M, Buchi D F, Iacomini M, *et al*. Cytotoxic effect against Hel, a cells of polysaccharides from the lichen *Ramalian celastri* [J]. *J Submicroscopic Cytol Pathol*, 1997, 29(4): 503.
- [36] Smriga M, Saito H. Effect of selected thallophytic glucans on learning behaviour and short-term potentiation [J]. *Phytother Res*, 2004, 14(3): 153.
- [37] Hirano E, Saito H, Ito Y, *et al*. PB-2, a polysaccharide fraction from lichen *Flavoparmelia baltinorensis*, peripherally promotes the induction of long-term potentiation in the rat dentate gyrus *in vivo* [J]. *Brain Res*, 2003, 14963(1/2): 307.
- [38] Bohn J A, Be Miller J N. (1→3)-β-D-Glucans as biological response modifiers [J]. *Carbohydr Polym*, 1995, 28: 3.
- [39] Piovano M, Garbarino J A, Giannini F A, *et al*. Evaluation of antifungal and antibacterial antifungal and antibacterial activities of aromatic metabolites from lichens [J]. *Bol Soc Chill Quin*, 2002, 47: 235-240.
- [40] Francolini P, Norris A, Piozzi G, *et al*. Usnic acid, a natural antimicrobial agent able to inhibit bacterial [J]. *Biofilm Format Polym Surf Antimicrob Agents Chemoth*, 2004, 48: 4360-4365.
- [41] Tosum F, Akyuz K C, Sener B, *et al*. The evaluation of plants from Turkey for *in vitro* antimycobacterial activity [J]. *Pharm Biol*, 2005, 43: 58-63.
- [42] Hidalgo M E, Fomandez E, Quilhot W, *et al*. Antioxidant activity of depsides and depsidones [J]. *Phytochemistry*, 1994, 37: 1585-1587.
- [43] Stepanenko L S, Krivoshchekova O E, Skirina I F. Functions of phenolic secondary metabolites in lichens [J]. *From Far East Russia Symbiosis*, 2002, 32: 119-131.
- [44] Fahselt D. Secondary biochemistry of lichens [J]. *Symbiosis*, 1994, 16: 117-165.
- [45] Rancan F, Roan S, Bochm K, *et al*. Protection against UVB irradiation by natural filters extracted from lichens [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2002, 68(2/3): 133-139.
- [46] Torres A, Hochberg M, Pergament I, *et al*. A new UV-B absorbing mycosporine with photo protective activity from the lichenized ascomycete *Collema cristatum* Eur [J]. *Biochemistry*, 2004, 271: 780-784.
- [47] 陈建斌. 地衣特殊性、多样性及其重要性 [J]. 生物多样性, 1995, 3(2): 113.