

## 松萝属地衣植物的研究进展



PENG Feng

彭 锋<sup>1,2</sup>, 边 静<sup>1</sup>, 彭 湃<sup>2</sup>, 任德智<sup>3</sup>, 苏印泉<sup>4</sup>, 孙润仓<sup>1,2\*</sup>

(1. 北京林业大学 材料科学与技术学院, 北京 100083; 2. 华南理工大学 制浆造纸国家重点实验室, 广东 广州 510640; 3. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 4. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 综述了松萝属地衣植物生物学特性、化学成分和生物活性的研究进展, 其化学成分主要为地衣酸和地衣多糖, 地衣酸类物质具有很强的抗菌、抗辐射、抗氧化、抗肿瘤和抗病毒等作用, 地衣多糖具有提高免疫力、抗氧化、抗肿瘤和抗病毒等作用。

**关键词:** 松萝属; 地衣酸; 地衣多糖; 生物活性

中图分类号: TQ35; R914

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2012)01-0111-08

### Research Progress of Genus *Usnea*

PENG Feng<sup>1,2</sup>, BIAN Jing<sup>1</sup>, PENG Pai<sup>2</sup>, REN De-zhi<sup>3</sup>, SU Yin-quan<sup>4</sup>, SUN Run-cang<sup>1,2</sup>

(1. College of Material Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. State Key Lab of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 3. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China; 4. College of Forestry, The North-Western University of Agricultural and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The research progress of genus *Usnea* (Usneaceae) in biological characteristics, chemical components and bioactivity were reviewed. Its main chemical constituents were lichen acids and lichen polysaccharides. Lichen acids have strong functions of anisepsis, radioresistance, antioxidation, antiviral, etc. Lichen polysaccharides have strong functions of immunity improvement, antioxidation, antitumour, antiviral, etc.

**Key words:** *Usnea*; lichen acid; lichen polysaccharide; biological activity

地衣是由真菌和藻类联合形成的共生复合体, 全世界已描述的地衣约有 500 个属, 26 000 个种, 其分布极为广泛, 在药用抗菌、香料、食品、染料、日用化工和环境监测等方面有重要作用<sup>[1]</sup>。由于其所具有的特殊共生关系, 它能产生出一些特殊化学物质, 这些独特的成分引起了有机化学家和药物学家的极大兴趣。松萝属植物是子囊地衣纲茶渍目松萝科, 分布广泛, 在《诗经》中称为女萝, 在《本草纲目》中称为松上寄生<sup>[1]</sup>, 又名松落、树挂和天蓬草等<sup>[2]</sup>。松萝药用全草, 能清热解毒、止血、止咳化痰、清肝、疟疾、外伤出血、毒蛇咬伤等病症, 主要为药用和抗菌素的原料<sup>[3]</sup>。地衣学是我国植物科学中的薄弱环节, 其研究比较少, 松萝属植物的研究则更为少见。因此, 本文主要对松萝属地衣植物的生物学特性、主要化学成分和生物活性进行综述, 以期让研究者们重视松萝属植物, 加大对地衣植物的研究力度, 为地衣植物的进一步研究和开发利用提供参考。

## 1 生物学研究

### 1.1 松萝属植物的资源分布

松萝属植物主要分布在高海拔、气候湿润且空气污染程度低的地区, 在我国森林资源丰富的地区均

收稿日期: 2011-05-05

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(YX2011-37); 北京林业大学青年科技启动基金(2010BLX04); 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室开放基金项目(201029)

作者简介: 彭 锋(1979-), 男, 四川仁寿人, 讲师, 博士, 主要从事植物资源化学方面的研究工作

\* 通讯作者: 孙润仓, 教授, 博士生导师, 主要从事生物质高值化利用研究; E-mail: fengpeng@bjfu.edu.cn.

有分布。目前已经发现的松萝属植物在中国分布有十多个种:孔松萝(*U. cavernosa*)、花松萝(*U. florid*)、红髓松萝(*U. roseola*)、红皮松萝(*U. rubescens*)、深红松萝(*U. rubicunda*)、光滑松萝(*U. glabrescens*)、桦树松萝(*U. betulina*)、环裂松萝(*U. diffracta*)、长松萝(*U. longissima*)、粗皮松萝(*U. montis-fuji*)、粗毛松萝(*U. dasypoga*)、拟长松萝(*U. pectinata*)、亚花松萝(*U. subfloridana*)、环基松萝环裂亚种(*U. handoensis*)、灌松萝(*U. thomsonii*)、亚灌松萝(*U. arborea*)、树松萝(*U. dendritica*)、小塔松萝(*U. dorogawaensis*)和胡子松萝(*U. comosa*)等<sup>[4-5]</sup>。

## 1.2 松萝的植物学特性

地衣是一类多年生且由真菌和藻类共生而成的生物类群,在形态上,它既不同于一般真菌,又有别于藻类,无根、茎、叶的分化,是比较特殊的形态学与生物学实体。根据地衣体的外部形态,可分为壳状、叶状、枝状3种生长类型。松萝属植物属于枝状地衣,呈细丝状或灌丛状,悬垂或直立,以基部附着器固着于基物上。分枝形态变化较大,可分3种类型:假轴型(excurrent type)、二歧型(deliquescent type)和丝状型(filamentose type)。分枝的横剖面以有或无色素沉淀分3类:正常型、红髓型和红皮型。分枝表面常生有:纤毛、环裂、粉芽、假杯点、窝孔、乳状突及疣状突等<sup>[5]</sup>。有研究表明,纤毛是长松萝的主要光合作用器官<sup>[6]</sup>。

## 1.3 形态组织学研究

松萝的组织结构根据其菌和藻的分布来确定。吴金陵<sup>[5]</sup>将松萝地衣体的横切面结构划分为皮层、藻层、髓层,而贾敏如等<sup>[7]</sup>将其划分为皮层、髓层、中轴。最近苏印泉等<sup>[8]</sup>采用改进的石蜡切片方法,获得完好、清晰的显微切片,并将横切面结构从外到内依次划分为皮层、藻层、髓层和中轴:皮层,位于地衣体的最外层,它由丝状菌丝构成,没有藻细胞的分布,功能上类似于高等植物的周皮;藻层,紧靠着皮层,由大量的藻细胞和菌丝组成,该层的丝状菌丝排列比较疏松且不规则,藻细胞为绿藻类的共球藻,呈椭圆球形或类圆球形,多分布在靠近皮层的一侧;髓层,该层与藻层相接,分布的藻细胞少,菌丝排列疏散,有大量的空隙,沉淀着大量的地衣酸和脂类物质;中轴,具软骨质,位于地衣体的中心,横切面接近圆形,该层的丝状菌丝排列规则且致密。

## 2 化学成分研究

地衣体内的化学成分大致分为两类:包含于细胞内的初生代谢产物和次生代谢产物。初生代谢物包括核酸、蛋白质、类胡萝卜素、多元醇、游离氨基酸、维生素以及地衣多糖,地衣多糖几乎是地衣所特有的,绝大多数的地衣体都含有地衣多糖。地衣的次生代谢产物,除了草酸盐和碳酸盐外,其它的次生代谢产物几乎组成独特的化合物类型——地衣酸,主要指缩酚(羧)酸类的化合物,地衣酸在地衣体中含量很高,其中绝大部分,尤其地衣二酚及 $\beta$ -地衣二酚衍生物是地衣所特有,主要通过乙酸-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,主要包括缩酚酸、缩酚酸环醚、缩酚酮、二苯并呋喃等结构类型。人们很早就依据地衣的独特化学成分来鉴别地衣的种类<sup>[5]</sup>。此外,次生代谢物中也存在着少量的萜类、甾醇和氨基化合物等物质。下面对松萝属地衣植物的主要的化学成分(地衣脂肪酸和地衣多糖)进行综述。

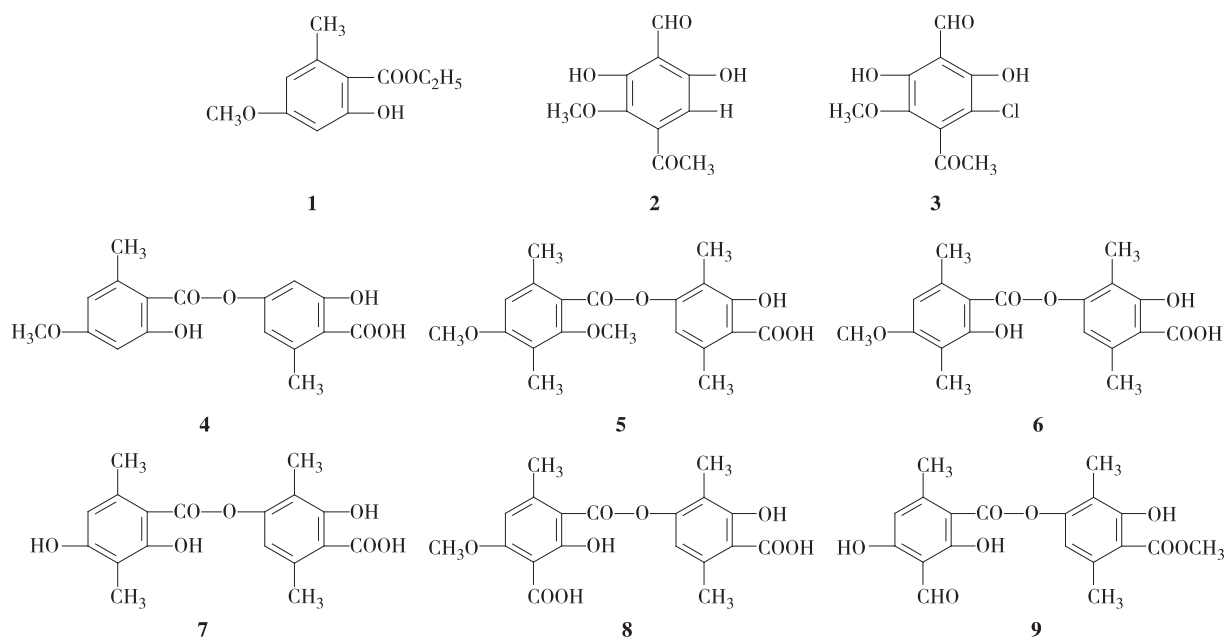
### 2.1 次生代谢物

#### 2.1.1 酚酸衍生物

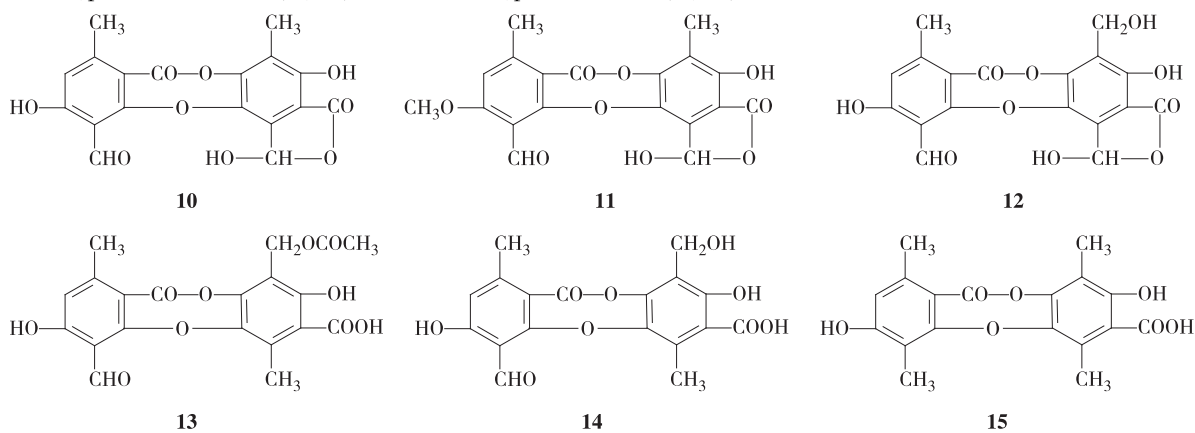
**2.1.1.1 单环衍生物** 殷彩霞等<sup>[9]</sup>从云南丽江长松萝中提取出了扁枝衣酸乙酯(ethyl everminate)(1), Choudhary 等<sup>[10]</sup>从长松萝中提取出两种新的单环衍生物 Longssiminone A(2)和 Longssiminone B(3)。

**2.1.1.2 对位-缩酚酸类** 该类化合物为 $\beta$ -地衣酚类化合物,迄今已经发现7种。Thøgersen 等于1976年从挪威的长松萝中分离出去甲环萝酸(evernic acid)(4)。Halonen 等<sup>[11]</sup>于1998年从北美的长松萝中分离出了环萝酸(diffractaic acids)(5)、巴巴酸(babatic acid)(6)和4-O-demethylbarbatic acid(7)。此后, Ohmura<sup>[12]</sup>和 Mallavadhani 等<sup>[13]</sup>又分离出了鳞片衣酸(squamatic acid)(8)和黑茶渍素(atranorin)

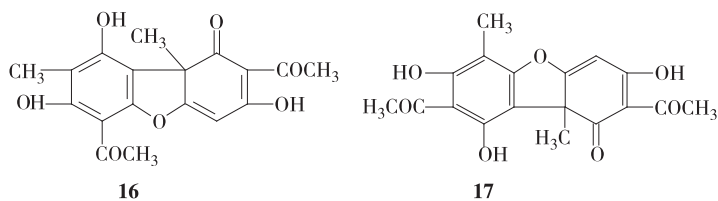
(9), Yoshimura 等<sup>[14]</sup>在 *U. hirta* 组织培养中也发现了黑茶渍素的存在。



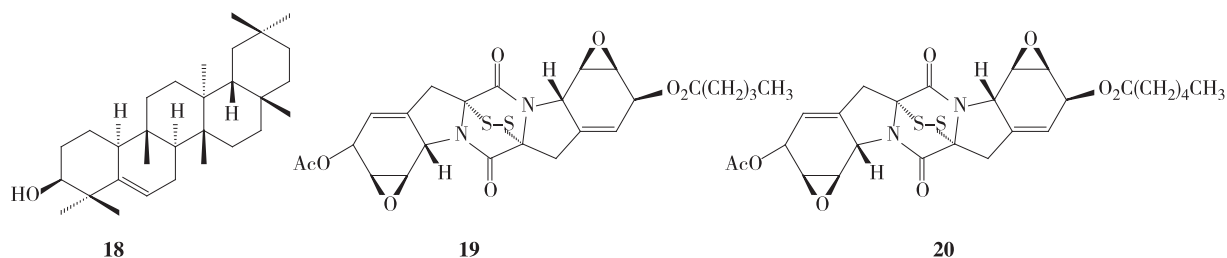
**2.1.1.3 缩酚酸环醚** 该类化合物为 $\beta$ -地衣酚类化合物,其中绝大多数遇氢氧化钾或对苯二胺呈正反应。Halonen<sup>[15]</sup>在长松萝中鉴定出了缩酚酸环醚类物质,包括:降斑点酸(norstictic acid)(**10**)、牛皮衣酸(stictic acid)(**11**)、水杨嗉酸(salazinic acid)(**12**)、富马原岛衣酸(fumarprotocetraric acid)(**13**)、原岛衣酸(protocetraric acid)(**14**)和茶茄衣酸(psoromic acid)(**15**)。



**2.1.1.4 二苯并呋喃类** 松萝酸(usnic acid)(**16**)于1844年第一次在松萝属植物中发现。松萝酸在松萝属的很多种地衣植物中普遍存在,长松萝中松萝酸的含量尤其高<sup>[15]</sup>。松萝酸具旋光性,有(+)及(-)两种形式,均有抗菌作用<sup>[16]</sup>。目前发现松萝酸只存在于地衣中,松萝酸还在树发属(*Alectoria*)、扁枝衣属(*Evernia*)、树花属(*Ramalina*)、岛衣属(*Cetraria*)、梅衣属(*Parmelia*)、石蕊属(*Cladonia*)、茶渍衣属(*Lecanoria*)和赤星衣属(*Haematomma*)等属中较为丰富<sup>[17]</sup>。有研究表明,松萝酸对其地衣体叶绿素的光合作用起保护作用<sup>[18]</sup>。另外 Kinoshita 从 *U. hirta* 组织培养中发现了 Isousnic acid(**17**)的存在<sup>[6]</sup>。



**2.1.2 其他** 松萝次生代谢物中也存在着少量的萜类、甾醇和氨基化合物等物质,例如 Choudhary 等<sup>[10]</sup>从长松萝中分离出粘酶烯醇(Glutinol)(**18**),Williams 等<sup>[19]</sup>从 *Usnea sp.* 分离出二种氨基化合物 Ambewelamides A(**19**)和 Ambewelamides B(**20**)。



## 2.2 地衣多糖

国内外关于地衣多糖研究很少,研究种数不超过 100 种地衣植物,其地衣多糖主要有  $\alpha$ -葡聚糖即地衣多糖(lichenin)、 $\beta$ -葡聚糖即异地衣多糖(isolichenin)和半乳糖-甘露聚糖 3 种类型<sup>[20-23]</sup>,但是也有关于地衣杂多糖的报道<sup>[24-25]</sup>。 $\beta$ -葡聚糖和半乳糖-甘露聚糖在地衣植物的分类中已经起着重要的作用<sup>[20,26-27]</sup>。有研究者将地衣的共生菌和共生藻分开培养,发现共生菌所产生的多糖与地衣所产生的多糖相似,而共生藻所产生的多糖与其地衣的多糖不同,因此地衣多糖一般被认为由地衣的共生菌所产生的<sup>[20-22]</sup>。Chanda 等<sup>[28]</sup>从 *Cetraria islandica* 中第一次分离得到含地衣多糖和异地衣多糖的杂糖。 $\alpha$ -葡聚糖类地衣多糖,溶于冷水,是由  $\alpha$ -D-葡萄糖以(1 $\rightarrow$ 3)和(1 $\rightarrow$ 4)键构成的聚合物,分子质量大约在 6~8 ku,目前发现的  $\alpha$ -葡聚糖的旋光度为正值<sup>[29]</sup>。 $\beta$ -葡聚糖类地衣多糖不溶于冷水,由  $\beta$ -D-葡萄糖以(1 $\rightarrow$ 3)和(1 $\rightarrow$ 4)键所构成的线性聚合物,分子质量一般在 20~62 ku,其(1 $\rightarrow$ 3)和(1 $\rightarrow$ 4)键的比例随地衣植物的种类不同而变化<sup>[30]</sup>。半乳糖-甘露聚糖类地衣多糖于 1906 年第一次发现,关于此类多糖的研究集中在近 15 年<sup>[31]</sup>。迄今为止,至少从 24 种不同的地衣中得到的半乳甘露聚糖。此类多糖其主链大多是由(1 $\rightarrow$ 6)- $\alpha$ -D-半乳甘露聚糖单元组成,其中,甘露糖、半乳糖和葡萄糖的物质的量比随地衣种类和提取方法的不同而改变。除这 3 种类型的多糖外,Iacomini 等<sup>[25]</sup>从 *Cora pavonia* 中分离出其主糖组分为甘露糖和木糖,主链由(1 $\rightarrow$ 3)- $\alpha$ -D-甘露糖单元组成的聚糖。

Teixeira 等<sup>[32]</sup>从红皮松萝(*Usnea rubescens*)中分离出红皮松萝多糖为  $\beta$ -葡聚糖类地衣多糖,其(1 $\rightarrow$ 3)和(1 $\rightarrow$ 4)键的比为 3:7。Iacomini 和 Gorin 等<sup>[33-34]</sup>从 *Usnea. sp.* 中分离出的多糖大多为  $\beta$ -葡聚糖类地衣多糖,其(1 $\rightarrow$ 3)和(1 $\rightarrow$ 4)键的比为 3:7,但也含有少量的  $\alpha$ -葡聚糖。长松萝和 *U. baylei* 中多糖也都存在  $\alpha$ -葡聚糖类和  $\beta$ -葡聚糖类地衣多糖<sup>[35-36]</sup>。

## 3 生物活性

自古以来,我国民间就有人把地衣入药,用来治疗疾病。松萝在我国长期以来一直用于治疗寒热、溃疡等病症。因此其酚酸类物质具有很强的抗菌、抗辐射、抗氧化、抗肿瘤和抗病毒等作用,地衣多糖具有提高免疫力、抗肿瘤和抗病毒等作用。

### 3.1 酚酸类物质的生物活性

松萝属植物中的酚酸类化合物,具有很强的生物活性,其主要为抗菌活性物质,具有抑菌、消炎、止痛、抗滤过性病原体、抗原生动物、抗增生和抗癌等活性<sup>[37-38]</sup>。还具有抑制植物生长、杀灭害虫、抗氧化、治疗黏膜损伤和防紫外线的的能力。

**3.1.1 松萝酸的生物活性** 目前在地衣植物代谢物生物活性的研究方面,研究最全面,应用领域最广的是松萝酸。在 1950 年,松萝酸就被证明具有抗革兰氏阳性球菌的活性。随后,Francolini 等<sup>[39]</sup>的研究发现(+)-松萝酸有抗革兰氏阳性金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌的活性,可直接杀死金黄色葡萄球菌的细胞,可有效破坏绿脓杆菌信号传导途径。松萝酸对霉菌、细菌、酵母菌和植物病原菌均具有一定的抑制

作用。对霉菌中黑曲菌、黄曲菌、青菌和根菌的有效质量浓度分别为 600、500、500 和 500 mg/L;对酵母菌中面包酵母、红酵母的抑菌有效质量浓度均为 500 mg/L;对细菌中枯草杆菌、大肠杆菌、白葡萄球菌和乳酸杆菌的有效抑制质量浓度分别为 1 000、600、800 和 1 000 mg/L<sup>[40]</sup>。松萝酸还对白喉杆菌及破伤风菌有明显的解毒作用<sup>[41-42]</sup>。松萝酸对毛发芽孢菌、白色念珠菌、阴道滴虫以及结核分枝杆菌也有一定抑制作用<sup>[43-44]</sup>。

松萝酸具有明显的抗肿瘤和抗癌作用,其抗肿瘤活性在 30 年前就已经发现<sup>[45]</sup>。Yamamoto 等<sup>[46]</sup>发现松萝酸(半数有效量 ED<sub>50</sub> 1.0 g/L)具有明显的抑制由杀鱼毒素 Teleocidin B-4(一种有效的肿瘤加速器)诱导的埃-巴二氏病毒(Epstein-Barr virus)的活性。Kupchan 等<sup>[47]</sup>研究发现松萝酸有抗 Lewis 肺癌的活性。

松萝酸具有较强的抗病毒活性,将泡过松萝酸溶液的滤纸片放入感染了单纯疱疹 1 型和脊髓灰质炎 1 型病毒的非洲绿猴肾细胞上,显示出抑制细胞病理的作用<sup>[48]</sup>。松萝酸抑制细菌和抗病毒的作用方式和普通的药物并不相同。意大利 Campanella 等<sup>[49]</sup>证实了松萝酸对小鼠多瘤病毒的增殖具有潜在的抑制作用,其作用方式不是病毒体直接进入宿主细胞,而是通过大量抑制 RNA 的转录,间接抑制病毒 DNA 的复制,以达到抑制病毒的目的。

松萝酸还具有良好的抗辐射作用。Fiorenza 等<sup>[50]</sup>将从地衣中提取的松萝酸和防晒霜(含桂皮盐酸类化合物)与 4-叔丁基-4'-甲氧基二苯甲酰甲烷进行活体内和体外渗透试验,使用 UV 光谱进行测定,结果发现松萝酸具有很强的吸收紫外线能力。可见,松萝酸可以作为一种新的有潜力的防晒遮光剂。

松萝酸有植物生长抑制的活性<sup>[51]</sup>。(-)-松萝酸通过抑制 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)的活性,导致叶绿素和类胡萝卜素的降解,从而引起发育中子叶的白化,进而抑制植物的生长<sup>[52]</sup>。

此外,松萝酸对原虫、阴道滴虫有抑制作用,还有较强的杀灭弓形虫速殖子作用,其杀虫效果优于目前临床上经常使用的螺旋霉素<sup>[53-54]</sup>。吴杰等<sup>[55]</sup>研究 S-松萝酸对阴道滴虫有较强的杀灭作用。松萝酸还具有延迟和杀死 *Slittoralis* 幼虫活性的作用<sup>[56]</sup>。长松萝的甲醇提取物具有抗血栓形成的活性,可望开发成抗血栓药物<sup>[57]</sup>。松萝酸也有一定的毒副作用,Han 等<sup>[58]</sup>研究发现松萝酸可引起肝中毒,产生氧化压力和影响细胞的正常新陈代谢。

**3.1.2 其他酸的生物活性** 松萝属植物中的酚酸类物质具有抗氧化作用,长松萝的总酚含量与其抗氧化活性间关系的研究表明,其甲醇提取物均具有抗氧化活性<sup>[59]</sup>。Behera 等<sup>[60-61]</sup>研究表明 *U. ghattensis* 的甲醇提取物可以抑制脂质的过氧化反应,并能清除过氧化物阴离子等自由基活性。Okuyama 等<sup>[62]</sup>从环裂松萝中提取环萝酸,并利用活体实验得出环萝酸具有止痛和退烧的作用。环萝酸具有较强的抗氧化和抑制胃黏膜损伤能力<sup>[63]</sup>。Yamamoto 等<sup>[46]</sup>研究发现长松萝中的(+)-松萝酸、巴巴酸、环萝酸、4-O-demethylbarbatic acid 和去甲环萝酸具有抑制 EVB(Epstein-Barr virus)的活性。Williams 等<sup>[19]</sup>从 *Usnea sp.* 中分离得到了 Ambewelamides A 和 Ambewelamides B,这 2 种物质均具有抗癌活性。此外,Choudhary 等<sup>[10]</sup>还从长松萝中提取出三种新的单环衍生物 Longssiminone A、Longssiminone B 和 Glutanol。单环化合物 Longssiminone A 具有抗辐射的生物活性,其中 Longssiminone A 对革兰氏阳性菌有较强的杀灭能力,细胞毒力测试在 200 mg/L 时抑制率为 100%,这 3 种物质都具有抗细胞毒素活性。

### 3.2 松萝属地衣多糖的生物活性

地衣是一类具有高活性的大分子物质,具有抗肿瘤、抗癌、抗凝血、抗病毒、提高免疫力和降血糖等活性。多糖具有增强免疫功能、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化、抗凝血、降血糖、降血脂、抗辐射和抗炎症等显著的生物活性,现已广泛应用于食品工业、医药工业及农业领域<sup>[64-66]</sup>。国外学者对地衣多糖的活性研究起步较早,特别是在抗癌和抗肿瘤方面。从 20 世纪 70 年代起,日本学者在地衣作为抗癌药物筛选方面做了大量工作,Fukuoka 等<sup>[67]</sup>就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的研究,结果表明大部分的地衣水提醇沉多糖都能够抑制肿瘤生长,且抑制率高。地衣多糖的抗癌作用机理,

不是通过直接杀伤细胞或抑制癌细胞的病态增殖,而是通过增强宿主的免疫防御系统发挥作用的。它可以激活机体内的巨噬细胞,被激活的巨噬细胞不损伤健康细胞,只溶解、破裂或吞噬癌细胞。这就是所谓的“中间寄主免疫活性”,因而克服了在化疗中健康细胞受损的严重副作用<sup>[68]</sup>。靳菊情等<sup>[69]</sup>研究了长松萝多糖对正常小鼠免疫功能的影响,结果表明长松萝多糖对小鼠的体液免疫和细胞免疫功能均有明显增强的作用。初步药理实验发现长松萝多糖对 S180 实体瘤有抑制作用<sup>[70]</sup>。此外,松萝属地衣多糖具有清除自由基的作用,长松萝多糖对超氧阴离子自由基及羟自由基均有清除作用,半抑制浓度  $IC_{50}$  分别为 0.45 和 1.57 g/L,且对羟基自由基诱发的小鼠肝匀浆脂质过氧化反应有抑制作用<sup>[71]</sup>。

## 4 结语

国内外学者在松萝属地衣植物的生物学、生态学、化学、生物活性及药理等方面做了大量的研究工作,并取得了丰硕的成果,为松萝属地衣植物资源的开发利用奠定了坚实的基础。中国的地衣植物研究很晚,且研究力度和深度不够,但是中国却拥有大量的地衣资源,针对其丰富的资源以及在医药领域上的广泛应用,研究人员应该进一步加大搞清各地的有效的地衣资源,对其化学成分进行深入研究,找出更多新化学成分,同时对其化学成分的生物活性进行广泛的研究和药理作用的筛选,充分发掘其潜在价值。

### 参考文献:

- [1] 江苏新医学院. 中药大辞典[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [2] 吴普. 神农本草经[M]. 北京:人民卫生出版社,1963.
- [3] 张惠源,张志英. 中国中药资源志要[M]. 北京:科学出版社,1994:58-59.
- [4] 魏江春,姜玉梅. 西藏地衣[M]. 北京:科学出版社,1986:67-73.
- [5] 吴金陵. 中国地衣植物图鉴[M]. 北京:中国展望出版社,1987:165-168.
- [6] KINOSHITA Y, HAYASE S, YAMAMOTO Y, et al. Morphogenetic capacity of the mycobiont in *Usnea* (lichenized *Ascomycete*) [C]//Proceeding of Japanese Academic; SerB(1), 1993, 69:18-21.
- [7] 贾敏如,卢先明,杨军. 长松萝的形态和组织学研究[J]. 中国中药杂志,1992,17(9):522.
- [8] 苏印泉,彭锋,黎斌,等. 桦树松萝的石蜡切片方法改良及形态学研究[J]. 西北植物学报,2007,27(5):859-863.
- [9] 殷彩霞,李聪,彭利,等. 云南丽江长茎松萝酚性成分研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版,1996,16(3):56-61.
- [10] CHOUDHARY M I, AZIZUDDIN, JALIL S, et al. Bioactive phenolic compounds from a medicinal lichen, *Usnea longissima* [J]. Phytochemistry, 2005, 66(19):2346-2350.
- [11] HALONEN P, CLERC P, GOWARD T, et al. Synopsis of the genus *Usnea* (lichenized *Ascomycetes*) in British Columbia, Canada [J]. The Bryologist, 1998, 101(1):36-60.
- [12] OHMURA Y. Taxonomic study of the genus *Usnea* (lichenized *Ascomycetes*) in Japan and Taiwan [J]. Journal of the Hattori Botanical Laboratory, 2001, 90:1-96.
- [13] MALLAVADHANI U V, SUDHAKAR A V S, MAHAPATRA A, et al. Phenolic and steroidal constituents of the lichen *Usnea longissima* [J]. Biochemistry System and Ecology, 2004, 32(1):95-97.
- [14] YOSHIMURA I, KUROKAWA T, KINOSHITA Y, et al. Lichen substances in cultured lichens [J]. Journal of the Hattori Botanical Laboratory, 1994, 76:49-261.
- [15] HALONEN P. Studies on the lichen genus *Usnea* in East Fennoscandia and Pacific North America [D]. Finland: Oulu University Library, 2000:22-23.
- [16] 柯铭清. 中草药有效成分理化与药理特性[M]. 长沙:湖南科技出版社,1982:65-66.
- [17] 王磊,俞森华. 独特的地衣产物[J]. 生物学通报,2000,35(5):21-22.
- [18] NYBAKKEN L, GAUSLAA Y. Difference in secondary compounds and chlorophylls between fibrils and main stems in the Lichen *Usnea longissima* suggests different functional roles [J]. The Lichenologist, 2007, 39(5):491-494.
- [19] WILLIAMS D E, BOMBUWALA K, LOBKOVSKY E, et al. Ambewelamides A and B, antineoplastic epidithiapiperazinediones isolated from the lichen *Usnea* sp [J]. Tetrahedron Letters, 1998, 39(52):9579-9582.

- [20] GORIN P A J, BARON M, SILVA M L C, et al. Lichen carbohydrates[J]. *Ciencia e Cultura*, 1993, 45(1):27-36.
- [21] BARRETO-BERGTER E. Studies in Natural Products Chemistry, Structure Elucidation (Part B) [M]. Amsterdam: Elsevier, 1989:275-340.
- [22] GORIN P A J, BARON M, IACOMINI M. Handbook of Lichenology [M]. Florida: CRC Press, 1988:9-23.
- [23] GORIN P A J, BARRETO-BERGTER E. The Chemistry of Polysaccharides of Fungi and Lichens [M]. 3rd ed. New York: Academic Press, 1983:389-394.
- [24] OLAFSDOTTIR E S, OMARSDOTTIR S, PAULSEN B S, et al. Rhamnopyranosylgalactofuranan, a new immunologically active polysaccharide from *Thamnolia subuliformis* [J]. *Phytomedicine*, 1999, 6(4):273-279.
- [25] IACOMINI M, ZANIN S M W, FONTANA J D, et al. Isolation and characterization of  $\beta$ -D-glucan, heteropolysaccharide, and trehalose components of the *Basidiomycetous* lichen *Cora pavonia* [J]. *Carbohydrate Research*, 1987, 168(1):55-65.
- [26] COMMON R S. The distribution and taxonomic significance of lichenan and isolichenan in the Parmeliaceae (lichenized *Ascomycotina*), as determined by iodine reactions. I. Introduction and methods. II. The genus *Alectoria* and associated taxa [J]. *Mycotaxon*, 1991, 41(1):67-112.
- [27] TEIXEIRA A Z A, IACOMINI M, GORIN P A J. Chemotypes of mannose-containing polysaccharides of lichen mycobionts. A possible aid in classification and identification [J]. *Carbohydrate Research*, 1995, 266(2):309-314.
- [28] CHANDA N B, HIRST E L, MANNERS D J. A comparison of isolichenin and lichenin from Iceland moss (*Cetraria islandica*) [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1957:1951-1958.
- [29] SMITH A L. Lichens [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1921:55-65.
- [30] PEAT S, WHELAN W J, TURVEY J R, et al. The structure of isolichenin [J]. *The Journal of American Chemical Society*, 1961:623-629.
- [31] ULANDER A, TOLLENS B. Untersuchungen über die kohlenhydrate der flechten [J]. *Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1906, 39(1):401-409.
- [32] TEIXEIRA A Z A, IACOMINI M, GORIN P A J. An unusual glucomannan from *Tornabenia intricata* [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(10):3467-3470.
- [33] IACOMINI M, GORIN P A J, BARON M, et al. Novel D-glucans obtained by dimethyl sulfoxide extraction of the lichens *Letharia vulpina*, *Actinogyra muehlenbergii*, and an *Usnea* sp [J]. *Carbohydrate Research*, 1988, 176(1):117-126.
- [34] GORIN P A J, IACOMINI M. Structural diversity of D-galacto-D-mannan components isolated from lichens having *Ascomycetous* mycosymbionts [J]. *Carbohydrate Research*, 1985, 142(2):253-267.
- [35] MITTAL O P, SESHADRI T R J. Chemical investigation of Indian lichens; Part XVI. Purification and composition of lichenin and isolichenin from Indian lichens [J]. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 1954, 13B(4):244-245.
- [36] SHIBATA S J. Polysaccharides of lichens [J]. *Nat Science Council Sri Lanka*, 1973, 1:183-188.
- [37] VIJAYAKUMAR C S, VISWANATHAN S, REDDY M K, et al. Anti-inflammatory activity of (+)-usnic acid [J]. *Fitoterapia*, 2000, 71(5):564-566.
- [38] INGÓLFSDÓTTIR K. Molecules of interest usnic acid [J]. *Phytochemistry*, 2002, 61(7):729-736.
- [39] FRANCOLINI I, NORRIS P, PIOZZI A, et al. Usnic acid, a natural antimicrobial agent able to inhibit bacterial biofilm formation on polymer surfaces [J]. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2004, 48(11):4360-4365.
- [40] 赵小钊. 防腐剂松萝酸的实验研究 [J]. *化学工程师*, 2000(1):12-13.
- [41] CARDARELLI M, SERINO G, CAMPANELLA L, et al. Antimitotic effects of usnic acid on different biological systems [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1997, 53(8):667-672.
- [42] BJERKE J W, JOLY D, NILSEN L, et al. Spatial trends in usnic acid concentrations of the lichen *Flavocetraria nivalis* along local climatic gradients in the Arctic (Kongsfjorden, Svalbard) [J]. *Polar Biology*, 2004, 27(7):409-417.
- [43] 王浴生. 中国药理与应用 [M]. 北京:人民卫生出版社, 1983:618-618.
- [44] 友荃. 地衣的抗菌物质 [J]. *化学世界*, 1952(3):20-22.
- [45] PROKSA B, PROKSOVÁ A. Preparation and antineoplastic activity of acylhydrazones of R- and S-usnic acid [J]. *Ceská a Slovenská Farmacie*, 1999, 48(5):233-236.
- [46] YAMAMOTO Y, MIURA Y, KINOSHITA Y, et al. Screening of tissue cultures and thalli of lichens and some of their active constituents for inhibition of tumor promoter-induced Epstein-Barr virus activation [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1995, 43(8):1388-1390.
- [47] KUPCHAN S M, KOPPERMAN H L. L-usnic acid. Tumor inhibitor isolated from lichens [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1975, 31(6):625.
- [48] PERRY N B, BENN M H, BRENNAN N J, et al. Antimicrobial, antiviral and cytotoxic activity of New Zealand lichens [J]. *The Lichenologist*, 1999, 31(6):627-636.

- [49] CAMPANELLA L, DELFINI M, ERCOLE P, et al. Molecular characterization and action of usnic acid. A drug that inhibits proliferation of mouse polyomavirus in vitro and whose main target is RNA transcription[J]. *Biochimie*, 2002, 84(4):329-334.
- [50] FIORENZA R, STEFANIA R, KIRSTEN B. Protection against UVB irradiation by natural filters extracted from lichens[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology*, 2002, 68(2/3):133-139.
- [51] NISHITOBA Y, NISHIMURA I, NISHIYAMA T, et al. Lichen acids, plant growth inhibitors from *Usnea longissima*[J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(12):3181-3185.
- [52] 周瑛. 地衣抗菌素-松萝酸之研究[J]. 哈尔滨师范学院学报:自然科学版, 1963, 12:123-128.
- [53] 刘新乐. 松萝酸能杀灭弓形虫[J]. 医学信息, 1997, 10(9):2.
- [54] 程彦斌, 魏琳琳, 司开卫, 等. (+)-松萝酸治疗小鼠急性弓形虫病的初步研究[J]. 热带医学杂志, 2008, 8(6):536-538.
- [55] 吴杰, 张敏如, 丁东宁, 等. 雀石蕊体外杀阴道毛滴虫作用[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 1996, 13(2):126-129.
- [56] EMMERICH R, GIEZ I, LANGE O L, et al. Toxicity and antifeedant activity of lichen compounds against the polyphagous herbivorous insect *Spodoptera littoralis*[J]. *Phytochemistry*, 1993, 33(6):1389-1394.
- [57] LEE K A, KIM M S. Antiplatelet and antithrombotic activities of methanol extract of *Usnea longissima*[J]. *Phytotherapy Research*, 2005, 19(12):1061-1064.
- [58] HAN D, MATSUMARU K, RETTORI D, et al. Usnic acid-induced necrosis of cultured mouse hepatocytes. Inhibition of mitochondrial function and oxidative stress[J]. *Biochemical Pharmacology*, 2004, 67(3):439-451.
- [59] ODABASOGLU F, ASLAN A, CAKIR A, et al. Comparison of antioxidant activity and phenolic content of three lichen species[J]. *Phytotherapy Research*, 2004, 18(11):938-941.
- [60] BEHERA B C, VERMA N, SONONE A, et al. Antioxidant and antibacterial activities of lichen *Usnea ghattensis in vitro*[J]. *Biotechnology Letters*, 2005, 27(14):991-995.
- [61] BEHERA B C, VERMA N, SONONE A, et al. Determination of antioxidative potential of lichen *Usnea ghattensis in vitro*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2006, 39(1):80-85.
- [62] OKUYAMA E, UMEYAMA K, YAMAZAKI M, et al. Usnic acid and diffractaic acid as analgesic and antipyretic components of *Usnea diffracta*[J]. *Planta Medica*, 1995, 61(2):113-115.
- [63] BAYIR Y, ODABASOGLU F, CAKIR A, et al. The inhibition of gastric mucosal lesion, oxidative stress and neutrophil-infiltration in rats by the lichen constituent diffractaic acid[J]. *Phytomedicine*, 2006, 13(8):584-590.
- [64] 庄永亮, 孙丽平, 尚小丽. 红托竹荪菌盖多糖的提取及抗氧化能力的研究[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(3):45-49.
- [65] 聂凌鸿, 宁正祥. 活性多糖的构效关系[J]. 林产化学与工业, 2003, 23(4):89-93.
- [66] 石若夫, 李大力, 田春宇, 等. 椴子多糖的抗肿瘤活性研究[J]. 林产化学与工业, 2002, 22(4):67-69.
- [67] FUKUOKA F, NAKANISHI M, SHIBATA S. Polysaccharides in lichens and fungi. II. Anti-tumor activities on sarcoma-180 of the polysaccharide preparations from *Gyrophora esculenta* Miyoshi, *Cetraria islandica* (L.) Ach. var. *Orientalis Asahina*, and some other lichens[J]. *Japanese Journal of Cancer Research*, 1968, 59(5):421-432.
- [68] NISHIKAWA Y, OHNO H. Studies on the water-soluble constituents of lichens. IV. Effect of antitumor lichen-glucans and related derivatives on the phagocytic activity of the reticuloendothelial system in mice[J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1981, 29(11):3407-3410.
- [69] 靳菊情, 石娟, 葛萍, 等. 长松萝多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 中国药理学杂志, 2003, 38(6):431-433.
- [70] 靳菊情, 丁东宁, 李刚, 等. 长松萝多糖抑瘤作用的初步研究[J]. 西北药学杂志, 2000, 15(S1):30-31.
- [71] 边晓丽, 靳菊情, 丁东宁, 等. 长松萝多糖清除氧自由基和抗脂质过氧化反应的研究[J]. 中药材, 2002, 25(3):188-189.