

文章编号: 1674-7054(2017)01-0127-06

牛肝菌化学成分及其生物活性的研究进展

王林^{1,2}, 马青云¹, 黄圣卓¹, 孔凡栋¹, 丁琼², 赵友兴¹

(中国热带农业科学院热带生物技术研究所/农业部热带作物生物学与遗传资源
利用重点实验室,海口 571101; 2. 海南大学园艺园林学院,海口 57101)

摘要: 牛肝菌既是美味的食用真菌,也是具有多种功效的药用真菌。牛肝菌化学成分主要包括萜类、甾体、酚类和生物碱等成分,具有抗氧化、抗肿瘤和抗菌等多种生物活性。笔者综述了牛肝菌的化学成分及其生物活性,为牛肝菌资源高值化产品开发和利用提供理论依据。

关键词: 牛肝菌; 化学成份; 生物活性; 研究进展

中图分类号: S 459 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2017.01.019

牛肝菌是属于牛肝菌科(Boletaceae)的一大类大型真菌。最早记载牛肝菌科分类研究的是荷兰真菌学家 C. H. Persoon 的《菌物纲要》和《欧洲菌物》,中国对牛肝菌的记载始于明朝兰茂所撰的《滇南本草》,其中就有“牛肝菌,气味微酸,辛,平,主治清热解烦,养血和平”之说^[1]。牛肝菌含有人体必需的 8 种氨基酸,具有很好的食用价值,经常食用牛肝菌可明显增强机体免疫力、改善机体微循环,因此,牛肝菌既是美味食用真菌,也是具有多种功效的药用真菌。牛肝菌在我国的种质资源非常丰富,主要分布在云、贵、滇、川、粤等地区,目前,中国已知的牛肝菌种类共 28 个属 387 种(变种)^[2]。代表种类之一的黄牛肝菌(*Boletus subsplendidus*)是制作中药制剂“舒筋丸”的原料之一,是一种极具药用开发价值的食用菌。笔者在查阅文献的基础上,综述了牛肝菌的化学成分及其生物活性,旨在为牛肝菌资源药学研究、高值化产品深度开发和利用提供理论依据。

1 牛肝菌中主要化学成分

1.1 萜类 萜类成分是在自然界一类以异戊二烯维结构单元组成的化合物的统称。该类化合物在自然界分布广泛,种类繁多,迄今人们已经发现了近 3 万种萜类化合物,其中 50% 是在植物中发现的。牛肝菌中也含萜类成分,左伟、刘东泽等^[3-4]从美柄牛肝菌(*Boletus calopus*)子实体中鉴定了 3 种倍半萜类化合物: O-acetylcyclocalopin A, cyclocalopin 和 cyclopinol。Hellwig 等^[5]从美柄牛肝菌中分离得到了 cyclocalopin D。此外,还发现条孢牛肝菌中含有一系列的二萜和倍半萜化合物: cavipetin A, cavipetin B, cavipetin C, cavipetin D, cavipetin E, 香叶醇和金合欢醇衍生物^[6]。

1.2 甾体 甾体是广泛存在于自然界中的一类天然产物。甾体种类繁多,常见的甾体母核有:甾烷、雌甾烷、雄甾烷、孕甾烷、胆烷、胆甾烷、麦角甾烷、豆甾烷。甾体也是牛肝菌中被发现最多的一类成分。从紫色粉孢牛肝菌(*Tylopilus plumbeoviolaceus*)中发现 C-8/C-9 处断裂形成醚烯的麦角甾醇类型化合物 tylopiol A 与 tylopiol B^[7]。吴少华等^[8]从紫色粉孢牛肝菌中鉴定了麦角甾醇和麦角甾醇过氧化物。左伟等^[3]从美柄牛肝菌子实体中得到 3β -羟基-麦角甾醇-5,7,22-三烯、 $5\alpha,8\alpha$ -过氧化麦角甾醇-6,22-二烯、

收稿日期: 2016-06-29

修回日期: 2016-10-20

基金项目: 海南省自然科学基金面上项目(20152035); 公益性行业(农业)科研专项(201303117); 中央级公益性科研院所基本科研业务费(ITBB2016)

作者简介: 王林(1992-),男,海南大学园艺园林学院 2015 级硕士研究生, E-mail: 1144915726@qq.com

通信作者: 赵友兴(1974-),男,博士,研究员,研究方向: 活性天然产物化学, E-mail: zhaoyouxing@itbb.org.cn

3 β 5 α 6 α - 三羟基 - 麦角甾 - 7 22 - 二烯。王飞等^[9]从绿盖粉孢牛肝菌(*Tylopilus virens*) 中发现 1 个新的麦角甾烷(22E 24R) - 麦角甾 - 7 22 - 二烯 - 5 α 6 β - 二醇 - 3 β - O - [3 - (3 - 苯基丙酰氧基)] - β - D - 葡萄糖吡喃糖苷。徐田^[10]从血红牛肝菌(*Boletus rubellus*) 子实体中得到 3 个甾体化合物: 麦角甾醇、过氧化麦角甾醇及麦角甾 - 4 6 8(14) 22 - 四烯 - 3 - 酮。高锦明等^[11]从远东疣柄牛肝菌(*Leccinum extremioientale*) 得到 5 种甾体类化合物: 麦角甾 - 7 22 - 二烯 - 3 β 5 α 6 β - 三醇、麦角甾醇过氧化物、麦角甾醇、麦角甾 4 6 8(14) 22 - 四烯 - 3 - 酮、麦角甾 - 5 7 - 二烯 - 3 β - 醇。吴少华等^[8]从紫色粉孢牛肝菌中分离鉴定了麦角甾醇、麦角甾醇过氧化物。麻兵继等^[12]从紫牛肝菌(*Boletus purpureus*) 中得到了 3 β - 羟基 - 麦角甾 - 5 7 22 - 三烯、琥珀酸酐、(22E 24R) - 5 α 6 α - 过氧麦角甾 - 8 22 - 二烯 - 3 β 7 α - 二醇和 (22E 24R) - 5 α 6 α - 过氧麦角甾 - 8(14) 22 - 二烯 - 3 β 7 α - 二醇。胡琳等^[13]从华丽牛肝菌(*Boletus magnificus*) 中得到 4 个甾体化合物: 麦角甾 - 7 22 - 二烯 - 3 β 5 α 6 β - 三醇、麦角甾 - 4 6 8(14) 22 - 四烯 - 3 - 酮、麦角甾 - 5 7 22 - 三烯醇 - 3 β - 醇、麦角甾 - 7 22 - 二烯 - 3 β - 醇。万辉^[14]从褐圆孔牛肝菌(*Gyropous castaneus*) 中得到 β - 麦角甾醇、5 α 8 α - 过氧麦角甾 - 6 22 - 双烯 - 3 β - 醇、麦角甾 - 6 22 - 二烯 - 3 β 5 β 8 β - 三醇。Tio 等^[15]从细粉绒牛肝菌(*Boletus pulverulentus*) 中发现了 7 个甾体化合物: (22E) - ergosta-5 7 9(11) 22-tetraen-3 β -ol, ergosterol, ergosta-5 7-dien-3 β -ol, (22E) - ergosta-5 8 22-trien-3-ol, (22E) - ergosta-7 22-dien-3 β -ol 和 ergost-7-en-3 β -ol。

1.3 酚类 胡琳等^[16]从担子菌灰黑拟牛肝菌(*Boletopsis grisea*) 新鲜子实体中发现了 8 个酚性成分: 3 - (4 - 乙酰氧基苯) - 1 2 4 7 8 - 五乙酰氧基二苯并咪唑、3 - (4 - 乙酰氧基苯) - 1 2 4 - 三乙酰氧基 - 7, 8 - 二羟基二苯并咪唑、3 - (4 - 羟基苯) - 1 2 - 二乙酰氧基 - 4 7 8 - 三羟基二苯并咪唑、2 3 - 二乙酰氧基 - 4' 4'' 5 6 - 四羟基对联三苯、对苯二酚、对羟基苯甲酸、茴香酸、对羟基苯甲醛。日本学者从紫红小牛肝菌(*Boletinus asiaticus*) 和木生小牛肝菌(*Boletinus paluster*) 的子实体中分离得到了 2 种含 geranyl 基团的酚类化合物, 且此类化合物是牛肝菌的一个重要化学分类特征^[17]。Kahner 等^[18]从橙牛肝菌(*Boletus laetissimus*) 中得到了 xerocomic acid 与 variegatic acid。Shibata 等^[19]从粗网柄牛肝菌(*Boletus ornatipes*) 中发现了结构新颖的酚类化合物 ornatipolide。此外, 点柄粘盖牛肝菌(*Suillus granulatus*) 子实体中含有活性成分 suillin^[20]。红绒盖牛肝菌(*Xeromus chrysenteron*) 中发现的酚性成分 xerocomic acid 和 variegatic acid 是该菌变蓝的主要原因^[21]。厚环粘盖牛肝菌(*Suillus grevillei*) 中含有酚性成分 bolegrevilol^[22]。

1.4 生物碱 生物碱是存在于自然界中的一类含氮化合物, 大多数有复杂的环状结构, 氮素多包含在环内, 有显著的生物活性, 是中草药中重要的有效成分之一。Wegiel 等^[23]从红柄牛肝菌(*Boletus erythropus*) 中发现了收缩血管的有毒物质 tryptamine。麻兵继等^[12]从紫牛肝菌子实体中分离得到了腺嘌呤核苷。Choi 等^[24]从远东疣柄牛肝菌中发现了 1 个新的生物碱 leccinine A。杜子伟^[25]从虎皮小牛肝菌(*Boletinus pictus*) 子实体中分离得到了烟酰胺。Takahashi 等^[26]从绒盖牛肝菌(*Xerocomus nigromaculatus*) 中分离得到 1- β -D-arabinofuranosylcytosine。Kahner 等^[18]从橙牛肝菌中得到了 boletocrocin A 和 boletocrocin B。此外, 远东疣柄牛肝菌含有生物碱成分肌苷、腺苷 2-[2-formyl-5-(methoxymethyl)-1H-pyrrol-1-yl]acetic acid 和 4-[2-formyl-5-(methoxymethyl)-1H-pyrrol-1-yl]butanoic acid^[11 27]。

1.5 其他化学成分 牛肝菌除了含有甾体、萜类、生物碱和酚类等主要成分外, 还含有糖、蛋白质、酯类等其他种类的化合物。吴少华等^[8]从紫色粉孢牛肝菌中分离得到了麦角硫因。研究人员还从远东疣柄牛肝菌的子实体中分离鉴定了 α - 甲基 - D - 咪唑核糖(E)、2 - 乙酰氨基 - 1 6 - 脱水 - 2 - 脱氧 - D - 吡喃型半乳糖、脑苷脂 B 和脑苷脂 D^[11 28]。Ennamany 等^[29]从细网柄牛肝菌(*Boletus speciosus*) 中分离鉴定了 1 种有毒的糖蛋白 bolesatine。汤建国等^[30]从绿盖粉孢牛肝菌发酵液中分离鉴定了 β -D-葡萄糖甲酯。Quang 等^[31]从黄粉末牛肝菌(*Pulveroboletus ravenelii*) 中发现了 2 个新的丁烯羧酸内酯类化合物 isoravenelone、ravenelone 和 1 个已知成分枞酸甲酯。Effect of bolesatine, a glycoprotein from *Boletus satanas*, on rat thymus in vivo Effect of bolesatine, a glycoprotein from *Boletus satanas*, on rat thymus in vivo

2 牛肝菌及其化学成分的生物活性

2.1 抗氧化活性 徐胜平等^[32]发现铜色牛肝菌(*Boletus aereus*)、双色牛肝菌(*Boletus bicolor*)、美味牛肝

菌(*Boletus. edulis*)、灰褐牛肝菌(*Boletus. griseus*) 4 种云南野生牛肝菌中多酚物质对 DPPH 自由基、ABTS 自由基和羟基自由基都具有很好的清除能力,该清除能力与多酚浓度呈现出很好的剂量相关性,具有很好的铁离子还原能力。王心诗等^[33]发现 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铜色牛肝菌粗多糖表现出良好的 DPPH 清除活性和还原能力,但羟基自由基清除活性较弱。刘刚等^[34]发现,长白山野生黄牛肝菌(*Boletus. auripes*) 的多糖粗提物对羟基和氧负离子均有一定的清除作用。李波等^[35]发现,黄牛肝菌提取物在 $24.56 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的自由基清除能力和总还原力均高于美味牛肝菌等真菌。侯玉燕^[36]对比分析黄牛肝菌、黄疣柄牛肝菌(*Leccinum crocipodium*)、美味牛肝菌和黑牛肝菌(*Boletus. nigricans*) 的自由基清除能力发现黄疣柄牛肝菌多酚抗氧化活性最好,黑牛肝菌抗氧化活性较差。赵云霞等^[37]认为,黑牛肝菌多糖在 $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 能有效提高 SOD 活性,降低 MDA 含量,对急性酒精损伤小鼠的心脏和脾脏有一定的保护作用。张明^[38]发现类铅紫粉孢牛肝菌(*Tylopilus plumbeoviolaceus*) 和花盖粉孢牛肝菌(*Tylopilus sp.*) 的 75% 乙醇提取液对 DPPH 具有很好的清除效果,同时,两牛肝菌在低浓度 $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,都表现出较好的抑制亚油酸自氧化作用。黄俊丽等^[39]发现,黑牛肝菌醇提多酚在 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,具有最强的还原力。肖楠楠^[40]利用白牛肝菌(*Boletus edulis*) 子实体浸提得到 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 粗多糖,其中, BEPF60 部位的羟基自由基清除能力和超氧阴离子消除能力最高,具有还原能力和金属螯合能力。李娟等^[41]发现,美味牛肝菌、乳牛肝菌(*Suillus spp.*) 和褐绒盖牛肝菌(*Xerocomus bambusicola*) 3 种野生食用菌乙醇提取物分别在 2.0 、 1.0 、 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,具有较强的还原力和抗脂质过氧化作用,并有一定的清除自由基能力,其中,总酚是主要的抗氧化物质。此外,李志洲等^[42]采用超氧阴离子自由基体系、羟基自由基体系研究了美味牛肝菌多糖的抗氧化活性,结果表明,其多糖在 $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时具有较强的清除自由基能力,且随着浓度的增大其抗氧化作用亦增大。

2.2 抗肿瘤活性 Lucas 等^[43]首次报道了美味牛肝菌具有抗肿瘤的作用,随后 Chihara^[44]、Mizumo^[45]、Viodovice^[46] 等也证明美味牛肝菌具有抗肿瘤细胞生长的作用。美味牛肝菌子实体提取物所含的肽类、碱性蛋白在剂量为 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,对艾氏腹水瘤的抑制率为 90%,而对小鼠瘤 S-180 的抑制率可达 100%^[47]。刘晏瑜^[48]的研究表明,美味牛肝菌粗多糖可提高荷瘤小鼠免疫器官指数,不同浓度的粗多糖对 H22 荷瘤小鼠的抑瘤率差异较明显,其中低剂量组 $125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 对 H22 肿瘤抑制率可达 40%。侯玉燕^[36]发现,黄牛肝菌、黄疣柄牛肝菌、美味牛肝菌、黑牛肝菌 4 种牛肝菌乙醇提取物在 $175 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对 Caco-2 结肠癌细胞均具有一定的抑制作用,其中黄疣柄牛肝菌的抑制效果最好,而黑牛肝菌多酚提取物的抑制效果最差。王一心等^[49]研究表明, $65 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的黑牛肝菌乙醇提取液能明显降低高脂血症大鼠血清中的丙二醛含量、提高血清和肝组织中的超氧化物歧化酶活力。张明^[38]对类铅紫粉孢牛肝菌、花盖粉孢牛肝菌 2 样品的提取物进行了体外抑制肿瘤细胞生长的活性研究,结果表明 2 样品的乙醇提取液在 $0.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 对人宫颈癌细胞 Hela、人肺癌细胞 A549 和人肝癌细胞 7402 肿瘤细胞均有不同程度的生长抑制作用。绒盖牛肝菌的中成分 $1-\beta\text{-D-arabinofuranosylcytosine}$ 具有很强 P388 肿瘤细胞毒活性 (IC_{50} 为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[26],点柄粘盖牛肝菌(*Suillus granulatus*) 中的 suillin 对 KB 细胞, P338, NSCLC-N6 等多种肿瘤细胞有较强抑制活性^[20]。

2.3 抗菌活性 美柄牛肝菌中化合物 O-acetylcyclocalopin A、cyclocalopin、cyclopinol 对黄瓜枯萎病菌、小麦赤霉病菌等少数病原菌有微弱的抗菌作用^[3-4]。侯玉燕^[36]发现,黄疣柄牛肝菌乙醇提取物在 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可以有效延缓五花肉中细菌总数的增加,延长食品的货架期。高现亮等^[50]的研究表明,黄牛肝菌粗提物对异丝腐霉、黑胫病菌和青枯病菌均有抑制活性。王丰等^[51]研究发现, $33.4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的红柄牛肝菌提取液对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌均有明显的抑制效果。丁小维等^[52]发现,美味牛肝菌的内生真菌发酵液对枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌具有较强的抑制作用。

2.4 其他生物活性 牛肝菌除了具有较强的抗氧化、抗菌和抗肿瘤作用外,还具有提高免疫力、抗虫、抗衰老等活性。李丹等^[53]对黄牛肝菌子实体的多糖组分,用半叶法在心叶烟上分别从预防、钝化和治疗 3 个方面进行 TMV 活性检测,结果表明,其预防效果达 95.88%,钝化效果达 98.08%,治疗效果达 38.76%。黄牛肝菌分离得到的黄牛肝菌凝集素可快速凝集兔红细胞^[54]。刘佳等^[55]的研究结果表明,野生牛肝

菌 $9.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的乙醇提取液对环磷酰胺所致的免疫损伤小鼠的细胞免疫、体液免疫、非特异性免疫功能有明显的改善作用。王涛等^[56]将牛肝菌的水溶液和脂溶液分别灌胃小鼠 10 d,发现牛肝菌对雌性小鼠的免疫增强作用强于雄性小鼠,表现有增强免疫功能。李娜^[57]通过测定泰山美味牛肝菌粗多糖($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}$)的小白鼠负重游泳时间及血清中血糖、尿素氮和乳酸脱氢酶等指标,发现有抗疲劳功能。钟国辉等^[58]发现美味牛肝菌 $0.1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的磷酸浸提液能使兔红血球凝聚。冯冰等^[59]研究表明,牛肝菌提取液在质量浓度为 $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可以显著提升角质细胞的线粒体活性及 DNA 的含量,促进细胞的增殖。牛肝菌提取液还可以明显减少细胞内 ROS 的含量,提高细胞内 ARE 激活水平,促进 I 型前胶原蛋白的表达。此外,王建明等^[60]采用抑制 α -葡萄糖苷酶活性实验验证 SLE 的体外降血糖活性,发现褐环粘盖牛肝菌(*Suillus luteus*) 在 EC_{50} 值为 $3.269 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,表现一定的体外降血糖活性。高锦明等^[6]发现,远东疣柄牛肝菌提取物可选择性地抑制蛇毒 *Crotalus adamanteus* 分泌磷脂酶 A2 的活性。

3 展 望

中国牛肝菌资源丰富,但多种资源尚待发现。作为美味食用菌,牛肝菌资源仍主要来源于自然界野生菌,尚未实现人工规模栽培,牛肝菌的种质资源挖掘保存和人工繁育将是研究人员长期关注的课题。牛肝菌已开展药理学研究的种类非常有限,现有研究表明,牛肝菌中天然产物结构类型多样,且具有多种生物功能,但药效与作用机理明确的药源分子还未被发现,这也将成为牛肝菌资源高效利用的源头创新研究方向。目前,市场上以牛肝菌开发的产品种类极少,主要是简单的干制包装产品,缺乏精深加工产品。今后,应利用现代科学技术发现牛肝菌中微量活性成分或药物先导化合物,发现新的生物功能,开发出创新药物。还应加强牛肝菌的化学和药理的应用基础研究,为牛肝菌资源开发为高科技产品(创新药、保健食品等健康产品)提供理论基础。

参考文献:

- [1] 兰茂. 滇南本草[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1959.
- [2] 李泰辉, 宋斌. 中国牛肝菌已知种类[J]. 贵州科学, 2003, 21(1/2): 78-86.
- [3] 左伟, 罗都强. 美味牛肝菌子实体的化学成分研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(5): 2356-2357, 2361.
- [4] Liu D Z, Wang F, Jia R R, et al. A novel sesquiterpene from the basidiomycete *Boletus calopus* [J]. Zeitschrift Für Naturforschung B. 2008, 63(1): 114-116.
- [5] Hellwing V, Dasenbrock J, Graf C, et al. Calopins and cyclocalopins-bitter principles from *Boletus calopus* and related mushrooms [J]. European Journal of Organic Chemistry, 2002, 17: 2895-2904.
- [6] Toyota M, Hostettmann K. Antifungal diterpenic esters from the mushroom *Boletinus cavipes* [J]. Phytochemistry, 1990, 29(5): 1485-1489.
- [7] Wu S H, Luo X D, Ma Y B, et al. Two novel secocergosterols from *Tylopilus plumbeoviolaceus* [J]. Journal of Natural Products, 2000, 63(4): 534-536.
- [8] 吴少华, 陈有为, 杨丽源, 等. 紫色粉孢牛肝菌化学成分研究[J]. 中药材, 2009, 32(2): 226-228.
- [9] 王飞, 张凌, 董泽军, 等. 绿盖粉孢牛肝菌中一个新的甾体糖苷[J]. 云南植物研究, 2006, 28(3): 315-318.
- [10] 徐田. 血红牛肝菌子实体化学成分的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [11] 高锦明, 沈杰, 张鞍灵, 等. 远东疣柄牛肝菌的化学成分[J]. 有机化学, 2003, 23(8): 853-857.
- [12] 麻兵继, 阮元, 刘吉开. 紫牛肝菌子实体化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(17): 1766-1767.
- [13] 胡琳, 刘吉开, 王芳芳. 华丽牛肝菌子实体的化学成分[J]. 云南民族大学学报, 2015, 24(2): 94-97.
- [14] 万辉. 褐圆孔牛肝菌的化学成分的研究[J]. 中草药, 2000, 31(5): 328-329.
- [15] Toi K, Yaoita Y, Kikuchi M. Constituents of mushrooms. XXVII. sterol constituents from the fruiting body of *Boletus pulverulentus* [J]. Journal of Tohoku Pharmaceutical University, 2007, 54: 49-52.
- [16] 胡琳, 丁智慧, 刘吉开. 灰黑拟牛肝菌的化学成分[J]. 云南植物研究, 2002, 24(5): 667-670.
- [17] Wada T, Hayashli Y, Shibata H, et al. Asiaticusin A and B, novel prenylated phenolics from *Boletinus asiaticus* and *Boletinus palusterfungi* [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1996, 60(1): 120-121.

- [18] Kahner L , Dasenbrock J , Spitteller P , et al. Polyene pigments from fruit-bodies of *Boletus laetissimus* and *B. rufo-aureus* (basidiomycetes) [J]. *Phytochemistry* ,1998 ,49: 1693 – 1697.
- [19] Shibas H , Fukuda T , Wada T , et al. A novel phenolic metabolite from the basidiomycete ,*Boletus ornatipes* [J]. *Bioscience Biotechnology & Biochemistry* ,1996 ,62 (7) : 1432 – 1434.
- [20] Geraci C , Piattelli M , Tringali C. et al. Cytotoxic activity of tetraprenylphenols related to suillin , an antitumor principle from *Suillus granulatus* [J]. *Journal of Natural Products* ,1992 ,55: 1772 – 1775.
- [21] Steglich W , Furtner W , Prox A. New pulvinic acid derivatives from *Xerocomus chrysenteron* (Bull. ex St. Amans) Quel. and studies on the question of the occurrence of anthraquinone pigments in Boletaceae [J]. *Zeitschrift Für Naturforschung B* , 1968 23 (8) : 1044 – 1050.
- [22] Lin A , Koizumi B , Tanaka N , et al. Bloegrevilol , a new lipid peroxidation inhibitor from the edible mushroom *Suillus grevillei* [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* ,1989 37 (5) : 1424 – 1425.
- [23] Wegiel J , Kohlmunzer S , Ryt K. et al. Metabolity wtorne *Boletus erythropus* Pers [J]. *Czasopismo Bromatologiai Chemia Toksykologiczna* ,2002 ,35 (4) : 341 – 346.
- [24] Chio J H , Ozawa N , Yamakawa Y , et al. Leccinine A , an endoplasmic reticulum stress-suppressive compound from the edible mushroom *Leccinumextremorientale* [J]. *Tetrahedron Letters* ,2011 ,35 (67) : 6649 – 6653.
- [25] 杜子伟 ,刘吉开 ,项晨 ,等. 虎皮小牛肝菌的化学成分研究[J]. *天然产物研究与开发* 2012 ,24(5) : 618 – 621.
- [26] Takahashi A , Nunozawa T , Endo T , et al. Isolation of 1- β -D-arabinofuranosylectosins from the mushroom *Xerocomus nigromaculatus hongo* [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* ,1992 ,40 (5) : 1313 – 1314.
- [27] Yang N N , Huang S Z , Ma Q Y , et al. A new pyrrole alkaloid from *Leccinum extremorientale* [J]. *Chemistry of Natural Compounds* ,2015 ,51 (4) : 730 – 732.
- [28] 杨宁宁 ,黄圣卓 ,马青云 ,等. 远东疣柄牛肝菌化学成分分析[J]. *食品科学* 2014 35(6) : 78 – 82.
- [29] Ennamany R , Kretz O , Badoc A , et al. Effect of bolesatine , a glycoprotein from *Boletussatanas* , on rat thymus in vivo [J]. *Toxicology* . 1994 ,89 (2) : 113 – 124.
- [30] 汤建国 ,任福才 ,刘吉开. 绿盖粉孢牛肝菌发酵液化学成分研究[J]. *天然产物研究与开发* 2009 ,21(3) : 428 – 429.
- [31] Dang N Q , Hashimoto T , Nukada M , et al. Two new butane hydroxyl acid esters from edible mushroom *Pulveroboletus ravene-lü* [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* ,2003 ,51 (3) : 330 – 332.
- [32] 徐胜平 ,刘雨阳 ,吴素蕊 ,等. 4 种云南野生牛肝菌的多酚含量及其抗氧化活性[J]. *中国食用菌* 2015 ,34(6) : 54 – 59.
- [33] 王心诗. 铜色牛肝菌多糖提取、分离纯化及抗氧化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学 2015.
- [34] 刘刚 ,库守权 ,高文爽 ,等. 长白山 5 种真菌粗提物的抗氧化作用[J]. *延边大学学报* 2013 ,36(1) : 16 – 21.
- [35] 李波 ,徐贵华 ,芦菲 ,等. 七种云南产食用菌的抗氧化活性研究[J]. *食用菌* 2010 ,32(2) : 66 – 67.
- [36] 侯玉燕. 牛肝菌多酚的提取及生物活性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学 2015.
- [37] 赵云霞 ,陶明煊 ,郭永月 ,等. 黑牛肝菌多糖对酒精性损伤小鼠心脏及脾脏抗氧化作用的研究[J]. *南京师大学报* , 2014 ,37(1) : 133 – 136.
- [38] 张明. 广东牛肝菌资源及两特有种生物活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学 2012.
- [39] 黄俊丽 ,张慙 ,松茸 ,黑牛肝菌 双孢白蘑菇提取物体外抗氧化性试验研究[J]. *食品与生物技术学报* 2011 ,30(20) : 343 – 347.
- [40] 肖楠楠. 白牛肝菌子实体多糖的分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性研究[D]. 杭州: 浙江工业大学 2012.
- [41] 李娟 ,李平 ,卜可华. 几种牛肝菌抗氧化能力的研究[J]. *中国食品添加剂* 2007(1) : 49 – 53.
- [42] 李志洲. 美味牛肝菌多糖的抗氧化性[J]. *食品与发酵工业* 2007 33(4) : 49 – 51.
- [43] Lucas E H , Rigler R L , Byerrum R U , et al , Tumor inhibitors in *Boletus edulis* and other holbasidiomycetes [J]. *Antibiotics and Chemotherapy* ,1957(7) : 1 – 4.
- [44] Chihara G , Maeda Y , Hamuro J , et al , Inhibition of mouse sarcoma S-180 by polysaccharides from *Lentinusedodes* (Berk) Sing [J] , *Nature* ,1969 ,222: 687 – 688.
- [45] Miazumo T , Salto H , Nishitoba T , et al , Antitumor-active substances from mushroom [J]. *Food Research International* , 1995 ,11: 23 – 61.
- [46] Senk S. Vidoyic , Ibrahim O , et al. Antioxident properties of selected *Boletus* Mushrooms [J]. *Food Biophysics* ,2010 ,5: 49 – 58.
- [47] 唐薇 ,鲁新成. 美味牛肝菌多糖的生物活性及抗 S-180 肿瘤的效应[J]. *西南师大学报(自然科学版)* ,1999 24(4) : 478 – 481.

- [48] 刘晏瑜. 美味牛肝菌抗肿瘤作用及免疫功能初步探究[D]. 长春: 吉林农业大学 2014.
- [49] 王一心, 杨桂芝, 狄勇, 等. 黑牛肝菌降血脂及抗氧化作用的实验研究[J]. 大理学院学报 2004, 3(3): 6-8.
- [50] 高现亮, 罗华元, 梅友坤, 等. 多种食用菌粗提液对烟草病原菌的抑制效果[J]. 中国食用菌 2014, 33(3): 34-37.
- [51] 王丰, 范余娟. 5 种长白山有毒真菌提取液的抑菌杀虫活性[J]. 江苏农业科学 2015, 43(3): 126-129.
- [52] 丁小维, 刘开辉, 邓百万, 等. 两株牛肝菌内生真菌的分离鉴定及活性初步研究[J]. 中国抗生素杂志 2011, 36(12): 885-888.
- [53] 李丹, 赵文红, 孔宝华, 等. 云南大型真菌提取物及其多糖组分对 TMV 的抑制作用[J]. 云南农业大学学报 2009, 24(2): 175-180.
- [54] 鲍小敏, 卢帮敏, 鲍锦库. 黄牛肝菌凝集素的分离纯化及部分性质[J]. 四川大学学报(自然科学版) 2015, 52(2): 409-415.
- [55] 刘佳, 高敏, 殷忠, 等. 野生牛肝菌营养成分分析及对小鼠免疫功能的影响[J]. 微量元素与健康研究 2007, 24(1): 5-7.
- [56] 王涛, 李丽娟, 申元英. 牛肝菌对小鼠免疫功能影响的实验研究[J]. 大理学院学报 2012, 11(6): 20-22.
- [57] 李娜. 泰山美味牛肝菌多糖的提取纯化及功能研究[D]. 泰安: 山东农业大学 2008.
- [58] 钟国辉, 桑姆. 西藏 21 种真菌的血凝活性测定[J]. 中国野生植物资源 2005, 24(2): 51-53.
- [59] 冯冰, 马来记. 牛肝菌提取液在细胞水平的抗衰老功效研究[J]. 日用化学工业 2015, 45(9): 509-513.
- [60] 王建明, 赵晓静, 燕瑾, 等. 褐环粘盖牛肝菌乙醇提取物抗糖尿病研究[J]. 天然产物研究与开发 2016(2): 271-276.

Research Advances in Chemical Composition and Bioactivity of Boletes

WANG lin^{1,2}, MA Qingyun¹, HUANG Shengzhuo¹, KONG Fandong¹, DING Qiong², ZHAO Youxing¹

(1. Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops/ Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Boletes are a large family of mushrooms with tubes on the underside of the cap, instead of gills. They are not only delicious food, but also have a variety of medicinal effects. The chemical composition of the boletes was mainly terpenes, steroids, phenols and alkaloids, which possessed comprehensive biological activities, such as antioxidant, anti-tumor and antibacterial. The chemical composition and biological activities of the boletes were reviewed to provide a theoretical basis for development of high-value products and innovative use of boletes resources.

Keywords: Boletes; chemical composition; biological activity; research advances