

# 松树皮提取物的主要成分、生理功能及其在畜禽饲料中的应用前景

王 楹 胡睿智 严佳豪 伍树松\*

(湖南农业大学动物科学技术学院,长沙 410128)

**摘要:** 松树皮中含有挥发油、多酚、多糖和微量元素等化学成分,前期研究表明其提取物具有抑菌、抗氧化、抗炎和提高机体免疫力等多种生物学功能,在畜禽饲料领域具有很广泛的开发利用前景。本文综述了松树皮提取物的主要成分,并从抑菌、抗氧化、抗炎等角度阐述其主要生理功能及潜在作用机理,为松树皮提取物的活性成分筛选及相关作用机理的研究提供参考,并为松树皮提取物在饲料中的合理应用提供理论依据。

**关键词:** 松树皮提取物;活性成分;生理功能;畜禽;饲料添加剂

**中图分类号:** S816

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2021)02-0737-10

松树属于松科植物中最大的一个属——松属,我国有 30 多种松树,在云南、四川等地种植面积广泛<sup>[1]</sup>。《名医别录》和《本草纲目》常将松树的松针和松果作为药材使用<sup>[2-3]</sup>。在我国松树通常用于木材加工或生产纸浆和纸板,而占树木总重量 10%~15%的松树皮被作为加工废料丢弃。在 20 世纪 60 年代的时候,法国科学家从法国海洋松的松树皮中提取出富含黄酮类化合物的天然活性物质——碧萝芷<sup>[4]</sup>,具有很强的抗氧化能力,现在已经作为多种疾病的治疗药物<sup>[5]</sup>。

松树皮中含有挥发油、多酚、多糖和微量元素等化学成分,其中多酚具有强抗氧化能力,多糖具有改善免疫力的作用,在现代规模化畜禽饲养中,松树皮提取物可有效缓解动物应激,预防疾病。与普通的中草药相比,松树皮具有来源广、价格低、易规模化生产等优势,在畜禽生产中具有广阔的应用前景。然而,松树皮中主要活性成分及其作用机理尚不明确,这在很大程度上限制了其合理利用,本文基于前期有关松树皮提取物的研究,

综述了松树皮提取物的主要成分及其抑菌、抗氧化、抗炎生理功能,为筛选松树皮多酚活性成分并明确相关作用机理提供新的思路,同时为松树皮在畜禽饲料中的合理利用提供理论依据。

## 1 松树皮的主要化学组分

松树皮的主要成分由纤维素、半纤维素、木质素以及一些可溶性物质组成。黄占华<sup>[6]</sup>比较了中国兴安落叶松树皮和西伯利亚落叶松树皮的化学成分组成,其区别如表 1 所示。从表格中可以看出,松树皮中纤维素和木质素占比 60%~70%,可溶性提取物占比差异较大,兴安落叶松树皮中水溶性提取物含量为 14.2%,脂溶性提取物含量为 3.5%,而西伯利亚落叶松树皮中水溶性提取物含量仅占 3.5%,但脂溶性提取物含量为 5.1%。其余研究也表明,可溶性提取物在松树皮中含量能达到 10% 以上,且具有很强的抗氧化<sup>[21-22]</sup>、抗肿瘤<sup>[23]</sup>、抗炎<sup>[24]</sup>等生理功能。

收稿日期:2020-06-30

基金项目:湖南省自然科学基金优秀青年项目(2019JJ30012);长沙市杰出创新青年培养计划(kq1905016)

作者简介:王 楹(1997—),男,湖南衡阳人,硕士研究生,从事分子营养与单胃动物营养研究。E-mail: 2456060363@qq.com

\* 通信作者:伍树松,副教授,博士生导师,E-mail: wush688@hunau.edu.cn

表1 松树皮及其提取物的主要成分

Table 1 Main components of pine bark and its extract<sup>[6]</sup>

| 项目<br>Items                                     | 树皮种类 Bark species  |              |
|---|--|--------------|
|   | 兴安 Xing'an   | 西伯利亚 Siberia |
| 化学组成 Chemical composition/%                     |  |              |
| 纤维素 Cellulose                                   | 16.4   | 24.6         |
| 戊聚糖 Pentosan                                    | 6.8  | 6.4          |
| 木质素 Lignin                                      | 43.6   | 39.9         |
| 软木脂 Cork resin                                  |  | 2.7          |
| 粗灰分 Ash   |  | 1.8          |
| 水提物 Water extract                               | 14.2   | 3.5          |
| 有机溶剂提取物 Organic solvent extract                 | 3.5  | 5.1          |
| 提取物中挥发油成分 Volatile oil components in extracts/% |  |              |
| $\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -pinene                   | 17.9 <sup>[7]</sup> 、7.0 <sup>[8]</sup> 、2.2 <sup>[9]</sup> 、0.5 <sup>[10]</sup>   |              |
| $\beta$ -蒎烯 $\beta$ -pinene                     | 4.8 <sup>[7]</sup> 、0.4 <sup>[10]</sup>  |              |
| 3-蒎烯 3-carene                                   | 1.5 <sup>[9]</sup>   |              |
| $\beta$ -水芹烯 $\beta$ -phellandrene              | 18.8 <sup>[7]</sup>  |              |
| 月桂烯 Myrcene                                     | 1.7 <sup>[7]</sup>   |              |
| 石竹烯 Caryophyllene                               | 34.5 <sup>[11]</sup> 、0.3 <sup>[9]</sup> 、16.5 <sup>[10]</sup>   |              |
| 柠檬烯 Limonene                                    | 36.2 <sup>[7]</sup> 、28.8 <sup>[8]</sup> 、14.8 <sup>[10]</sup>   |              |
| $\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -terpineol               | 4.9 <sup>[11]</sup> 、0.1 <sup>[7]</sup> 、0.5 <sup>[10]</sup>   |              |
| 芳樟醇 Linalool                                    | 6.4 <sup>[11]</sup>  |              |
| 丁香酚 Eugenol                                     | 11.4 <sup>[11]</sup>   |              |
| $\alpha$ -律草烯 $\alpha$ -humulene                | 5.7 <sup>[11]</sup> 、1.6 <sup>[7]</sup> 、3.0 <sup>[10]</sup>   |              |
| $\delta$ -杜松萜烯 $\delta$ -cadinene               | 0.1 <sup>[11]</sup> 、2.8 <sup>[7]</sup> 、0.4 <sup>[10]</sup>   |              |
| 肉豆蔻酸 Myristic acid                              | 1.8 <sup>[9]</sup>   |              |
| 香精油 Aromadendrene                               | 8.8 <sup>[8]</sup>   |              |
| 十八烷酸 Octadecanoic acid                          | 4.5 <sup>[8]</sup>   |              |
| 对伞花烃 <i>p</i> -cymene                           | 4.2 <sup>[8]</sup>   |              |
| 棕榈酸 Palmitic acid                               | 9.3 <sup>[9]</sup>   |              |
| 长叶烯 Longifolene                                 | 30.1 <sup>[8]</sup> 、33.1 <sup>[9]</sup> 、7.5 <sup>[10]</sup>  |              |
| 提取物中多酚类物质 Polyphenols in extract/(mg/g)         |  |              |
| 总多酚 Total polyphenols                           | 299.3±1.4 <sup>[12]</sup> 、393.5±5.3 <sup>[13]</sup> 、664.0±4.0 <sup>[14]</sup> 、411.0 <sup>[15]</sup> 、847.6±39.7 <sup>[16]</sup> |              |
| 总黄酮 Total flavonoids                            | 125.3±1.2 <sup>[12]</sup> 、379.3±20.4 <sup>[14]</sup> 、883.3±76.4 <sup>[16]</sup>  |              |
| 总原花青素 Total procyanidins                        | 74.3±0.5 <sup>[12]</sup> 、250.4±1.4 <sup>[13]</sup> 、384.0 <sup>[15]</sup>   |              |
| 原儿茶酸 Protocatechuic acid                        | 46.2±1.1 <sup>[17]</sup> 、6.1±0.1 <sup>[18]</sup> 、6.15±0.70 <sup>[19]</sup>   |              |
| 表儿茶素 Epicatechin                                | 21.6±1.7 <sup>[17]</sup> 、0.7±0.0 <sup>[20]</sup> 、191.0±8.3 <sup>[19]</sup>   |              |
| 儿茶素 Catechins                                   | 198.5±6.4 <sup>[17]</sup> 、7.7±0.1 <sup>[20]</sup> 、24.5±4.0 <sup>[18]</sup> 、378.0±54.3 <sup>[19]</sup>                           |              |
| (+)-没食子儿茶素 (+)-catechin                         | 20.1±1.3 <sup>[17]</sup> 、1.53±0.10 <sup>[20]</sup>  |              |
| 反式二氢槲皮素 <i>Trans</i> -dihydroquercetin          | 382.5±12.1 <sup>[17]</sup> 、0.14±0.00 <sup>[20]</sup>  |              |
| 顺式二氢槲皮素 <i>Cis</i> -dihydroquercetin            | 73.6±2.7 <sup>[17]</sup>   |              |
| 槲皮素 Quercetin                                   | 15.2±1.0 <sup>[17]</sup> 、7.7±0.5 <sup>[18]</sup>  |              |
| 阿魏酸 Ferulic acid                                | 22.4±1.7 <sup>[19]</sup>   |              |
| 绿原酸 Chlorogenic acid                            | 15.1±2.1 <sup>[19]</sup>   |              |
| 没食子酸 Gallic acid                                | 6.1±0.4 <sup>[19]</sup>  |              |
| 对羟基苯甲酸 <i>p</i> -hydroxybenzoic acid            | 69.3±1.1 <sup>[19]</sup>   |              |

## 2 松树皮提取物的提取工艺及潜在活性成分

松树皮饲用资源化利用的关键在于其提取工艺。传统提取工艺主要有水提法和有机溶剂浸提法,根据相似相溶的原理将活性成分从松树皮中萃取出来,其特点是方法简便、成本低,但存在提取时间长、效率低、杂质多等不足。新型提取工艺主要有超声波提取、声波辅助提取、超临界提取等,其原理是通过改变一些物理条件加速植物细胞中活性物质的释放并溶于有机溶剂中,相较于传统提取工艺,新型提取工艺的提取效率及纯度均有很大程度的上升,但成本相对较高。笔者所在团队将果胶酶、漆酶和纤维素酶按一定比例混合,通过酶解破坏细胞壁,促进活性物质的释放,在很大程度上提高了提取效率,且具有操作简单、能耗低、活性物质保存度高等优势<sup>[25]</sup>,适用于大规模工业化生产。松树皮提取物的活性物质受其种类、生长环境、提取方法等诸多因素的影响,但基于目前研究报道,其活性物质主要包括挥发油类、多酚类 and 黄酮类等化学活性物质。

### 2.1 挥发油类

挥发油也叫精油,是指一系列可挥发性的油类。挥发油主要由芳香族、脂肪族和萜类化合物组成。萜类化合物主要是倍半萜和单萜,在松树皮含量较高,而含量相对较少的芳香族是主要的特异芳香来源,并且具有很好的生物活性<sup>[26]</sup>。表1列举了国外研究报道中松树皮提取物的挥发油类活性成分,从表格中可以了解到,虽然每位研究者研究的松树种类不同,但松树皮中挥发油类活性成分具有较大的相似性,主要包含 $\alpha$ -蒎烯、石竹烯、柠檬烯等成分。

### 2.2 多酚类化合物

多酚类化合物是指化学结构中含有酚羟基的一类物质,广泛存在于植物中且具有多种生物学活性<sup>[27]</sup>。多酚类化合物包括芳香类、类黄酮类、儿茶素类等。研究表明,多酚类化合物不仅具有强大的清除自由基能力,还能通过抑制氧化酶和螯合过渡金属离子发挥抗氧化作用<sup>[28]</sup>。Pan等<sup>[29]</sup>使用羟丙基葡聚糖凝胶、硅胶柱色谱和反相高效液相色谱对新鲜樟子松树皮的乙醇提取液进行分馏,分离鉴定出26种多酚类化合物,主要有单芳基化合物、二苯乙烯苷、木脂素、类黄酮类、儿茶素

和原花色素。Jerez等<sup>[30]</sup>利用质谱法检测到松树皮中原花青素的三聚体到十三聚体。表1总结了前人研究中松树皮中多酚类化合物的种类及含量。

### 2.3 其他成分

树皮是植物储存和运输养分的场所,所以松树皮提取物中除了挥发油、多酚类物质外,还有一些维持生命活动的其他营养成分,比如氨基酸、多糖、维生素和微量元素<sup>[26]</sup>。吴杰等<sup>[31]</sup>以甘露糖为标准曲线测定了马尾松、湿地松、华南五针松、黄山松、金钱松和加勒比松的水溶性多糖的含量,发现各种松树皮中均含有多糖,且马尾松的水溶性多糖含量最高,为 $(24.90 \pm 3.17)$  mg/g,最少的是湿地松,含量为 $(10.20 \pm 0.62)$  mg/g。何美君等<sup>[32]</sup>用感应耦合电浆放射光谱仪和半微量法测定了云南华山松中微量元素含量,发现华山松中含有钙、钾、铁、镁、磷、锰、锌、银等元素,其中钙的含量最高。

综上所述,松树皮提取物中主要是由以萜类化合物为主的挥发油类和以原花青素类为主的多酚类物质组成,还含有少量的多糖、氨基酸、微量元素等一些营养物质。松树皮提取物的生物学活性主要基于这些活性成分。

## 3 松树皮提取物的生理功能

### 3.1 调节菌群

由上文可知,松树皮提取物中含有挥发油类和多酚类化合物成分,如原花青素、槲皮素等,挥发油成分和多酚类化合物都具有很好的抑菌作用,能够影响肠道菌群和肠道代谢功能,从而对动物生长发育产生有益作用<sup>[33]</sup>。Zhao等<sup>[34]</sup>研究了原花青素对巴马迷你香猪的肠道菌群的作用,发现在饲料中添加原花青素(250 mg/kg BW)相较于抗生素组(350 mg/kg BW 金霉素和36 mg/kg BW 头孢菌素)能够显著降低在牙周疾病中常见的螺旋藻菌属数量,并且提高肠道的操作分类单元(OTU)数量以及与碳水化合物代谢有关的菌群数量,可见原花青素可通过改善肠道菌群的丰度,增强代谢功能,从而对猪的肠道菌群产生有益影响。松树皮提取物对不同的细菌或真菌均有抑制效果<sup>[35-38]</sup>。Sharma等<sup>[37]</sup>研究发现松树皮提取物对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌最小抑菌浓度均为1 mg/mL。研究发现,松树皮提取

物中多酚类物质对致病菌大肠杆菌的抑制作用强于其对益生菌的抑制作用<sup>[39-40]</sup>。目前松树皮提取物的抑菌作用机制尚不明确,有文献报道,松树皮提取物中原花青素能够抑制大肠杆菌的菌毛产生黏附素,使大肠杆菌不能够正常附着在上皮细胞的碳水化合物受体上,从而抑制大肠杆菌生长<sup>[41]</sup>。此外,多酚的非特异性氢键能与细菌细胞壁中的蛋白质发生非特异性相互作用,从而使酶和细胞膜转运蛋白失活,影响蛋白质运输,导致细胞周期停滞<sup>[42]</sup>。多酚还能通过抑制DNA的合成诱导细菌凋亡,如槲皮素可阻断大肠杆菌中的拓扑异构酶IV,从而抑制DNA的合成并诱导细菌染色体中多个双链断裂,最终导致细菌死亡<sup>[43]</sup>。由此可见,松树皮提取物对一些有害菌具有抑制作用,可改善动物肠道微生态环境,促进肠道对饲料中营养物质的吸收。

### 3.2 抗氧化

多酚类物质具有良好的抗氧化活性,其中原花青素的抗氧化能力是维生素C抗氧化能力的20倍,是维生素E的50倍<sup>[44]</sup>。多酚类物质的抗氧化能力与其结构中的酚羟基有关,酚羟基可解离电子直接使自由基失活,其能力随酚羟基数量增加而增强,且与其位置有关<sup>[45]</sup>。在氧化应激状态下,多酚类化合物能够以半胱氨酸修饰、泛素化、磷酸化和琥珀酰化的形式影响Kelch样环氧氯丙烷相关蛋白1(Keap1)的结构/残基,导致红系衍生的核因子2相关因子(Nrf2)从Keap1中解离出来,进入细胞核结合抗氧化元件,从而发挥抗氧化作用<sup>[46]</sup>。多酚的抗氧化能力主要从以下4个方面来实现:1)多酚类物质具有很强的活性氧自由基清除能力,增强机体抗氧化能力。Nakayama等<sup>[47]</sup>研究发现,松树皮提取物具有很好的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除活性,并且能够显著抑制由自由基诱导的低密度脂蛋白的氧化。2)多酚类物质还能增加体内谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶和血红素加氧酶等一些抗氧化酶的表达,进而增强抗氧化能力。Ko等<sup>[48]</sup>研究发现松树皮提取物能降低由顺铂(肝脏损伤诱导剂)诱导的肝脏损伤,降低肝脏组织中的丙二醛含量,增加谷胱甘肽含量以及超氧化物歧化酶和谷胱甘肽转移酶活性。这些结果表明松树皮提取物可能是通过抑制脂质过氧化和增加抗氧化剂活性来预防顺铂在大鼠中引起的急性肝毒性。3)多酚类物质

也可以与其他抗氧化剂产生协同作用,从而增强抗氧化能力。Dai等<sup>[49]</sup>研究了多酚、维生素E和维生素C对亚油酸过氧化的抑制作用,发现多酚、维生素E和维生素C的混合物可以通过协同作用来保护脂质过氧化,通过其抗氧化过程的动力学和机理研究表明,这种抗氧化协同作用是由于多酚与维生素E氧化产物发生反应,重新生成维生素E,然后维生素C再与多酚的氧化产物发生反应生成多酚。4)多酚类物质还能够通过其结构中的酚羟基与金属离子结合来中断芬顿反应,缓解氧化应激带来的损害<sup>[45]</sup>。

### 3.3 其他作用

除上述抗菌和抗氧化作用外,松树皮提取物还有抗炎、神经保护、抗癌等其他生理功能。多酚类物质因其自由基清除能力在缓解炎症反应中具有协同作用,阿魏酸、咖啡酸、儿茶素等已被报道具有显著的抗炎活性,原花青素代谢物在体外显示出比氢化可的松高100%的抗炎活性<sup>[24]</sup>。在炎症反应中,一氧化氮(NO)是与炎症有关的重要介质,一氧化氮合酶(NOS)是合成NO过程中涉及的主要酶,Vigo等<sup>[50]</sup>研究发现樟子松提取物能够抑制NOS mRNA的表达,从而抑制NO的产生,缓解炎症带来的损伤。丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路是炎症反应中调节促炎因子[例如白细胞介素-1(IL-1)、白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)]生成的重要细胞信号通路之一。Qin等<sup>[51]</sup>研究发现8-异戊二烯槲皮素可通过直接与蛋白激酶-1/c-Jun氨基末端激酶1/2(SEK1-JNK1/2)和丝裂原活化的细胞外信号调节激酶-1/细胞外信号调节激酶1/2(MEK1-ERK1/2)的信号分子靶向结合下调MAPK信号传导途径,从而抑制脂多糖(LPS)诱导的炎症反应。

除抗炎作用外,Kim等<sup>[18]</sup>研究发现松树皮提取物能防止过氧化氢诱导的细胞死亡,还能抑制乙酰胆碱酯酶和丁酰胆碱酯酶的活性,从而可以作为有效的神经保护剂。陆峰彬等<sup>[52]</sup>研究了松树皮提取物对鱼藤酮诱导帕金森小鼠神经元的保护作用,发现松树皮提取物能够增强脑组织的抗氧化能力,切断脂质过氧化作用,并保护细胞膜结构和功能的完整性,从而抵抗鱼藤酮诱导的黑质纹状体多巴胺减少,保持纹状体多巴胺处于正常水平;并且能阻断 $\alpha$ -突触核蛋白的异常聚集,减少

体内细胞凋亡和自由基的产生,从而减轻脑组织的病理损伤。如表 2 所示,松树皮提取物在临床上还有抗癌、降低血糖水平、缓解糖尿病和抗高血

压等作用,并且在食品行业中已经用其作为肉类食品的抗氧化剂和果汁中的添加剂<sup>[58]</sup>。

表 2 松树皮提取物的生理功能

Table 2 Biological functions of pine bark extract

| 模型<br>Models                                  | 添加剂量<br>Dosage                             | 作用<br>Effect  |
|---|--|---|
| 雄性糖尿病小白鼠<br>Male diabetic mice                | 从第 7 天开始每日灌胃 200 mg/kg 松树皮提取物,连续 8 周       | 显著降低血糖水平,具有改善血脂水平的作用 <sup>[53]</sup>  |
| 帕金森模型小鼠<br>Parkinson's model mice             | 每日灌胃 200 mg/kg 松树皮提取物,持续 5 周               | 黑质及纹状体丙二醛含量显著下降,过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性升高,减少氧化应激损伤 <sup>[54]</sup>  |
| 高血压大鼠<br>Hypertensive rats                    | 每日口服 150 mg/kg 松树皮提取物,持续 7 周               | 血管紧张素和丙二醛含量显著降低,具有降压作用 <sup>[55]</sup>  |
| 黑色素瘤细胞<br>Melanoma cells                      | 培养基中加入 5~50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 松树皮提取物 | 具有很强的抗酪氨酸酶活性,并抑制黑色素的生物合成 <sup>[56]</sup>  |
| LPS 诱导的小鼠单核巨噬细胞<br>LPS-induced RAW264.7 cells | 培养基中加入 0~50 mg/mL 松树皮提取物                   | 阻断核因子- $\kappa\text{B}$ (NF- $\kappa\text{B}$ ) 和激活蛋白-1 (AP-1) 信号通路的活化,下调炎症细胞因子白细胞介素-1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ ) 基因表达 <sup>[57]</sup> |

#### 4 松树皮提取物在畜禽生产中的应用

松树皮来源广泛,原料价格低廉,富含多酚等多种活性物质,作为饲料添加剂具有提高动物免疫力、缓解动物生长过程中的炎症和氧化应激的作用,从而提高动物生长性能的潜力。陈世伟等<sup>[59]</sup>研究发现,松树皮提取物能够增加单核巨噬细胞的吞噬作用和自然杀伤细胞的细胞活性,从而增强机体的非特异性免疫力。Lee 等<sup>[60]</sup>研究发现,松树皮提取物可通过恢复大鼠免疫功能障碍,比如增加淋巴细胞增殖和调节辅助性 T 细胞中细胞因子的释放,来延长 T 细胞和 B 细胞的寿命。此外,松树皮提取物还可提高鸡外周血单核细胞、脾细胞和胸腺细胞的增殖能力<sup>[61]</sup>。

在动物生长过程中,炎症和氧化应激是影响动物生长性能的重要因素。炎症反应是机体对感染和组织损伤的防御性反应,在外界有害物质刺激下,体内的活性氧自由基累积会引起机体炎症,而严重的炎症反应会对动物机体造成组织器官特别是肠黏膜的损伤,影响饲料营养的吸收,扰乱动物机体的新陈代谢<sup>[62]</sup>。松树皮提取物具有很好的抗炎作用,可从清除氧自由基、提高抗氧化酶的活性、增强体内其他抗氧化剂的水平和螯合体内金属离子 4 个方面来缓解动物的氧化应激,从而保

护肠道免受炎症及氧化损伤,提高动物对营养物质的吸收和利用能力。崔莲花等<sup>[63]</sup>在猪饲料中分别添加 0.1%、0.2%、0.4% 松树皮提取物,结果发现添加松树皮提取物的 3 个试验组日增重均高于对照组,且料重比低于对照组。添加 0.2% 的松树皮提取物还能改善血液中蛋白质和脂质代谢,提高高密度脂蛋白的含量,促进生长性能。Sierzant 等<sup>[64]</sup>研究发现,饲料中添加 250 mg/kg 槲皮素能降低鸡回肠中大肠杆菌、乳酸杆菌、酵母菌、霉菌以及梭状芽胞杆菌的数量。Yang 等<sup>[65]</sup>研究发现,给热应激 [(40  $\pm$  1)  $^{\circ}\text{C}$ ] 条件下的雏鸡口服 6 mg/kg 松树皮提取物能够显著降低血浆中天冬氨酸转氨酶活性,并使得热休克蛋白 mRNA 表达下降,缓解热应激导致的肝脏损伤。Wu 等<sup>[66]</sup>在饲料中添加 1 000 mg/kg 的松树皮提取物能抑制 LPS 诱导的炎症因子分泌,降低肉鸡血清中干扰素- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ )、IL-1 $\beta$ 、白细胞介素-2 (IL-2)、白细胞介素-4 (IL-4)、IL-6 和白细胞介素-10 (IL-10) 的含量,增强机体的抗炎作用。

#### 5 小 结

在全面“饲料禁抗”时间,开发安全、高效、廉价的促生长和预防疾病的饲料添加剂成为畜牧行业亟待解决的问题之一。松树皮富含天然活性物

质,其提取物具有调节菌群、抗氧化和抗炎等生理功能,且其来源广泛、价格低廉、可持续发展,在畜禽饲料中具有很好的应用前景。但是,目前关于松树皮提取物在畜禽生产中的研究还相对较少,其主要活性物质和作用机制尚不明确,且无相关安全性评价数据,这在很大程度上限制了其在畜禽生产中的合理利用。在未来研究中,如何利用现代生物学技术解决以上问题,是其实现饲用资源化利用的重点和难点所在。

### 参考文献:

- [ 1 ] 张志琴.松属植物化学成分研究进展[J].中国药业, 2015,24(5):94-96.  
ZHANG Z Q.Research progress on chemical constituents of *Pinus* plants[J].China Pharmaceuticals,2015, 24(5):94-96.(in Chinese)
- [ 2 ] 石晓峰,沈薇,宁虹霞,等.雪松松针总多酚的纯化工工艺和抗氧化活性研究[J].天然产物研究与开发, 2016,28(8):1325-1331.  
SHI X F,SHEN W,NING H X,et al.Purification and antioxidant activity of polyphenol[J].Natural Product Research and Development, 2016, 28 ( 8 ) : 1325 - 1331.(in Chinese)
- [ 3 ] 王群.几种松科植物活性成分及多酚抗氧化性能能力的研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北林业大学, 2016.  
WANG Q.Research on the active ingredients and antioxidant activity of polyphenols from several kinds of pinaceae plants [ D ]. Master ' s Thesis. Harbin; North-east Forestry University,2016.(in Chinese)
- [ 4 ] BAYOMY N A,ABDELAZIZ E Z,SAID M A,et al. Effect of pycnogenol and spirulina on vancomycin-induced renal cortical oxidative stress,apoptosis, and autophagy in adult male albino rat[J].Canadian Journal of Physiology and Pharmacology,2016,94(8):838-848.
- [ 5 ] PACKER L,RIMBACH G,VIRGILI F. Antioxidant activity and biologic properties of a procyanidin-rich extract from pine (*Pinus maritima*) bark,pycnogenol [J].Free Radical Biology Medicine,1999,27(5/6):704-724.
- [ 6 ] 黄占华.落叶松单宁及其水处理剂制备技术[M].北京:化学工业出版社,2008.  
HUANG Z H.Larch tannin and its water treatment agent preparation technology [ M ]. Beijing: Chemical Industry Press,2008.(in Chinese)
- [ 7 ] LIS A,KALINOWSKA A,KRAJEWSKA A,et al. Chemical composition of the essential oils from different morphological parts of *Pinus cembra* L. [ J ]. Chemistry & Biodiversity,2017,14(4):e1600345.
- [ 8 ] ÖZGENÇ Ö,DURMAZ S,ÇELİK G,et al. Comparative phytochemical analysis of volatile organic compounds by SPME-GC-FID/MS from six coniferous and nine deciduous tree bark species grown in Turkey [J].South African Journal of Botany,2017,113:23-28.
- [ 9 ] LABIB R M,YOUSSEF F S,ASHOUR M L,et al. Chemical composition of *Pinus roxburghii* bark volatile oil and validation of its anti-inflammatory activity using molecular modelling and bleomycin-induced inflammation in *Albino* mice [ J ]. Molecules, 2017, 22 ( 9 ) : 1384.
- [ 10 ] HALUB B,SHAKYA A K,ELAGBAR Z A,et al. GC-MS analysis and biological activity of essential oil of fruits,needles and bark of *Pinus pinea* grown wildly in Jordan[J].Acta Poloniae Pharmaceutica ( Drug Research ),2019,76(5):825-831.
- [ 11 ] SATYAL P,PAUDEL P,RAUT J,et al. Volatile constituents of *Pinus roxburghii* from Nepal[J].Pharmacognosy Research,2013,5(1):43-48.
- [ 12 ] APETREI C L,TUCHILUS C,APROTOSOAIE A C,et al. Chemical, antioxidant and antimicrobial investigations of *Pinus cembra* L. bark and needles[J].Molecules,2011,16(9):7773-7788.
- [ 13 ] CRETU E,KARONEN M,SALMINEN J P,et al. *In vitro* study on the antioxidant activity of a polyphenol-rich extract from *Pinus brutia* bark and its fractions [J].Journal of Medicinal Food,2013,16(11):984-991.
- [ 14 ] ROSALES-CASTRO M,GONZÁLEZ-LAREDO R F,RIVAS-ARREOLA M J,et al. Chemical analysis of polyphenols with antioxidant capacity from *Pinus durangensis* bark [ J ]. Journal of Wood Chemistry and Technology,2017,37(5):393-404.
- [ 15 ] KU C S,JANG J P,MUN S P. Exploitation of polyphenol-rich pine barks for potent antioxidant activity [J].Journal of Wood Science,2007,53(6):524-528.
- [ 16 ] DE LA LUZ CÁDIZ-GURREA M,FERNÁNDEZ-ARROYO S,SEGURA-CARRETERO A. Pine bark and green tea concentrated extracts; antioxidant activity and comprehensive characterization of bioactive compounds by HPLC-ESI-QTOF-MS[J].International

- Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(11): 20382–20402.
- [17] KU C S, MUN S P. Antioxidant properties of monomeric, oligomeric, and polymeric fractions in hot water extract from *Pinus radiata* bark [J]. Wood Science and Technology, 2008, 42(1): 47–60.
- [18] KIM J W, IM S, JEONG H R, et al. Neuroprotective effects of Korean red pine (*Pinus densiflora*) bark extract and its phenolics [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2018, 28(5): 679–687.
- [19] DRÓZDŹ P, PYRZYŃSKA K. Extracts from pine and oak barks: phenolics, minerals and antioxidant potential [J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2019, doi: 10.1080/03067319.2019.1668381.
- [20] YESIL-CELIK TAS O, OTTO F, PARLAR H. A comparative study of flavonoid contents and antioxidant activities of supercritical CO<sub>2</sub> extracted pine barks grown in different regions of Turkey and Germany [J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(4): 671–677.
- [21] KARONEN M, LOPONEN J, OSSIPOV V, et al. Analysis of procyanidins in pine bark with reversed-phase and normal-phase high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 522(1): 105–112.
- [22] 洪瑜, 黄云生, 甄珍, 等. 松树皮中提取原花青素的研究进展 [J]. 中国林副特产, 2016(2): 97–98.  
HONG Y, HUANG Y S, ZHEN Z, et al. The research progress of procyanidins of pine bark [J]. Product and Speciality in China, 2016(2): 97–98. (in Chinese)
- [23] 李波, 包怡红, 王振宇. 松多酚生物活性研究进展 [J]. 黑龙江农业科学, 2013(10): 133–136.  
LI B, BAO Y H, WANG Z Y. Research progress on biological activity of pine polyphenols [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013(10): 133–136. (in Chinese)
- [24] ROHDEWALD P J. Review on sustained relief of osteoarthritis symptoms with a proprietary extract from pine bark, pycnogenol [J]. Journal of Medicinal Food, 2018, 21(1): 1–4.
- [25] 伍树松, 李柏珍, 刘明, 等. 一种从松树皮中提取酚类物质的方法: CN, 110538204A [P]. 2019–12–06.  
WU S S, LI B Z, LIU M, et al. A method for extracting phenolic substances from pine bark: CN, 110538204A [P]. 2019–12–06. (in Chinese)
- [26] 马聪. 湿地松树皮活性成分制备工艺及产物特性研究 [D]. 硕士学位论文. 长沙: 中南大学, 2007.  
MA C. Study on the preparation technology and product characteristics of active ingredients from slash pine bark [D]. Master's Thesis. Changsha: Central South University, 2007. (in Chinese)
- [27] LI Y Y, FENG J, ZHANG X L, et al. Pine bark extracts: nutraceutical, pharmacological, and toxicological evaluation [J]. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, 2015, 353(1): 9–16.
- [28] WANG X Y, WANG S S, HUANG S S, et al. Purification of polyphenols from distiller's grains by macroporous resin and analysis of the polyphenolic components [J]. Molecules, 2019, 24(7): 1284.
- [29] PAN H F, LUNDGREN L N. Phenolics from inner bark of *Pinus sylvestris* [J]. Phytochemistry, 1996, 42(4): 1185–1189.
- [30] JEREZ M, SINEIRO J, GUITIÁN E, et al. Identification of polymeric procyanidins from pine bark by mass spectrometry [J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2009, 23(24): 4013–4018.
- [31] 吴杰, 关阳, 刘跃芹, 等. 不同品种松树皮活性成分及其提取影响因素 [J]. 广州化工, 2013, 41(16): 68–71.  
WU J, GUAN Y, LIU Y Q, et al. The content of active components of different varieties of pine bark and extraction factors [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41(16): 68–71. (in Chinese)
- [32] 何美军, 杨斌, 郑莉, 等. 云南东川华山松健康树皮中矿质元素的测定 [J]. 山东林业科技, 2006(5): 8–10.  
HE M J, YANG B, ZHENG L, et al. Determination of mineral elements in the healthy bark of *Pinus armandii* from dongchuang in Yunnan province [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2006(5): 8–10. (in Chinese)
- [33] 韩松, 张文治. 松属植物的化学成分及生物活性研究进展 [J]. 高师理科学刊, 2018, 38(7): 47–50.  
HAN S, ZHANG W Z. Research progress on chemical component and biological activity of Pinus [J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2018, 38(7): 47–50. (in Chinese)
- [34] ZHAO T T, SHEN X J, DAI C, et al. Benefits of procyanidins on gut microbiota in Bama minipigs and implications in replacing antibiotics [J]. Journal of Veterinary Science, 2018, 19(6): 798–807.
- [35] EL-GHORAB A H, EL-MASSRY K F, SHAABAN H

- A. Effect of drying on the chemical composition of the egyptian *Cupressus macrocarpa* (Hartw. ex gordon) essential oils and their biological characteristics [J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2007, 10(5): 399-411.
- [36] HAMAD A M A, ATES S, OLGUN Ç, et al. Chemical composition and antioxidant properties of some industrial tree bark extracts [J]. *BioResources*, 2019, 14(3): 5657-5671.
- [37] SHARMA A, GOYAL R, SHARMA L. Potential biological efficacy of *Pinus* plant species against oxidative, inflammatory and microbial disorders [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 16: 35.
- [38] 刘志芹. 不同植物材料总多酚的测定及抑菌特性研究[D]. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学, 2004.  
LIU Z Q. Measurement and anti-fungal study of polyphenols in different plant materials [D]. Master's Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2004. (in Chinese)
- [39] VALENCIA-AVILÉS E, MARTÍNEZ-FLORES H E, GARCÍA-PÉREZ M, et al. Investigation of the antibacterial activity and subacute toxicity of a *Quercus crasifolia* polyphenolic bark extract for its potential use in functional foods [J]. *Journal of Food Science*, 2019, 84(7): 1692-1702.
- [40] SUGIMOTO H, WATANABE K, TOYAMA T, et al. Inhibitory effects of French pine bark extract, Pycnogenol<sup>®</sup>, on alveolar bone resorption and on the osteoclast differentiation [J]. *Phytotherapy Research*, 2015, 29(2): 251-259.
- [41] FENG J, ZHANG X L, LI Y Y, et al. *Pinus massoniana* bark extract; structure-activity relationship and biomedical potentials [J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2016, 44(8): 1559-1577.
- [42] TORRAS M A C, FAURA C A, SCHÖNLAU F, et al. Antimicrobial activity of pycnogenol<sup>®</sup> [J]. *Phytotherapy Research*, 2005, 19(7): 647-648.
- [43] BERNARD F X, SABLÉ S, CAMERON B, et al. Glycosylated flavones as selective inhibitors of topoisomerase IV [J]. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 1997, 41(5): 992-998.
- [44] 刘明, 伍树松, 方洛云, 等. 原花青素在畜禽生产中的研究与应用 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(8): 2902-2910.  
LIU M, WU S S, FANG L Y, et al. Research and application of proanthocyanidins in livestock production [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(8): 2902-2910. (in Chinese)
- [45] 胡睿智, 贺宇佳, 李柏珍, 等. 原儿茶酸的生理功能及其在畜禽生产中的应用 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 4978-4985.  
HU R Z, HE Y J, LI B Z, et al. Biological functions of protocatechuic acid and its application in livestock and poultry production [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(11): 4978-4985. (in Chinese)
- [46] QIN S, DENG F M, WU W G, et al. Baicalein modulates Nrf2/Keap1 system in both Keap1-dependent and Keap1-independent mechanisms [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2014, 559: 53-61.
- [47] NAKAYAMA S, KISHIMOTO Y, SAITA E, et al. Pine bark extract prevents low-density lipoprotein oxidation and regulates monocytic expression of antioxidant enzymes [J]. *Nutrition Research*, 2015, 35(1): 56-64.
- [48] KO J W, LEE I C, PARK S H, et al. Protective effects of pine bark extract against cisplatin-induced hepatotoxicity and oxidative stress in rats [J]. *Laboratory Animal Research*, 2014, 30(4): 174-180.
- [49] DAI F, CHEN W F, ZHOU B. Antioxidant synergism of green tea polyphenols with  $\alpha$ -tocopherol and l-ascorbic acid in SDS micelles [J]. *Biochimie*, 2008, 90(10): 1499-1505.
- [50] VIGO E, CEPEDA A, GUALILLO O, et al. *In-vitro* anti-inflammatory activity of *Pinus sylvestris* and *Plantago lanceolata* extracts: effect on inducible NOS, COX-1, COX-2 and their products in J774A.1 murine macrophages [J]. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2005, 57(3): 383-391.
- [51] QIN S, DENG F M, WU W G, et al. Baicalein modulates Nrf2/Keap1 system in both Keap1-dependent and Keap1-independent mechanisms [J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2014, 559: 53-61.
- [52] 陆峰彬, 王瑞, 陈露, 等. 松树皮提取物对鱼藤酮诱导帕金森小鼠神经元的保护作用 [J]. *现代预防医学*, 2014, 41(8): 1468-1471.  
LU F B, WANG R, CHEN L, et al. Protective effect of pine bark extract on impaired neuron in rotenone induced Parkinson's disease mouse model [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2014, 41(8): 1468-1471. (in Chinese)
- [53] 王俊, 任美萍, 胡博, 等. 松树皮原花青素提取物对糖尿病小鼠的血糖的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(7): 164-167.



- WANG J, REN M P, HU B, et al. Effects of pine bark procyanidins extract on blood glucose in diabetic mice [J]. Food Research And Development, 2017, 38(7): 164–167. (in Chinese)
- [54] 刘重斌, 王瑞, 陆峰彬, 等. 松树皮提取物对帕金森模型小鼠行为损伤及氧化应激的作用[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 587–593.
- LIU C B, WANG R, LU F B, et al. Effect of pine bark extract on behavioral impairments and oxidative [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 587–593. (in Chinese)
- [55] KIM K J, HWANG E S, KIM M J, et al. Antihypertensive effects of polyphenolic extract from Korean red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) bark in spontaneously hypertensive rats [J]. Antioxidants, 2020, 9(4): 333.
- [56] KIM Y J, KANG K S, YOKOZAWA T. The anti-melanogenic effect of pycnogenol by its anti-oxidative actions [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(7): 2466–2471.
- [57] CHO K J, YUN C H, YOON D Y, et al. Effect of bioflavonoids extracted from the bark of *Pinus maritima* on proinflammatory cytokine interleukin-1 production in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2000, 168(1): 64–71.
- [58] MÁRMOL I, QUERO J, JIMÉNEZ-MORENO N, et al. A systematic review of the potential uses of pine bark in food industry and health care [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 88: 558–566.
- [59] 陈世伟, 刘翠娥, 张杰, 等. 碧萝芷对肿瘤生长和非特异性免疫作用的影响[J]. 河南预防医学杂志, 2003, 14(1): 16–18.
- CHEN S W, LIU C E, ZHANG J, et al. Effect of pycnogenol in tumour and non-specific immune system [J]. Henan Journal of Preventive Medicine, 2003, 14(1): 16–18. (in Chinese)
- [60] LEE J, NAM D E, KIM O K, et al. Pycnogenol attenuates the symptoms of immune dysfunction through restoring a cellular antioxidant status in low micronutrient-induced immune deficient mice [J]. Nutrition Research and Practice, 2014, 8(5): 533–538.
- [61] PARK I J, CHA S Y, KANG M, et al. Effect of proanthocyanidin-rich extract from *Pinus radiata* bark on immune response of specific-pathogen-free white Leghorn chickens [J]. Poultry Science, 2011, 90(5): 977–982.
- [62] 贺宇佳, 刘明, 伍树松. 植物多酚对氧化应激与炎症信号通路的调控机制[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1554–1563.
- HE Y J, LIU M, WU S S. Regulation mechanism of plant polyphenols in oxidative stress and inflammatory signaling pathways [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(4): 1554–1563. (in Chinese)
- [63] 崔莲花, 辛宗瑞, 严昌国. 松树皮提取物对育肥猪生长性能、血液指标及胴体性能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012(12): 57–59.
- CUI L H, XIN Z R, YAN C G. Effect of pine bark extract on growth performance, blood index and carcass performance of finishing pigs [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2012(12): 57–59. (in Chinese)
- [64] SIERŻANT K, ORDA J, KORZENIOWSKA M, et al. Effect of dietary supplementation with extracts of rosemary, olive leaves, pine bark and quercetin on selected performance indices of broiler chickens and microbiological status of their ileum [J]. Medycyna Weterynaryjna, 2019, 75(4): 247–252.
- [65] YANG H, CHOWDHURY V S, BAHRY M A, et al. Chronic oral administration of pine bark extract (flavangenol) attenuates brain and liver mRNA expressions of HSPs in heat-exposed chicks [J]. Journal of Thermal Biology, 2016, 60: 140–148.
- [66] WU Q J, WANG Y Q, QI Y X. Influence of procyanidin supplementation on the immune responses of broilers challenged with lipopolysaccharide [J]. Animal Science Journal, 2017, 88(7): 983–990.

## Main Components and Biological Functions of Pine Bark Extract and Its Application Prospects in Animal Feed

WANG Ying HU Ruizhi YAN Jiahao WU Shusong\*

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Pine bark contains volatile oil, polyphenols, polysaccharides, trace elements and other chemical components. Pine bark extract has been reported to possess a variety of biological functions such as bacteriostasis, antioxidant, anti-inflammatory and immunity enhancement, and thus has a good application prospect in livestock and poultry feed. This paper has reviewed the main components, biological functions of pine bark extract and its application in livestock and poultry production, to provide a theoretical basis for the future development of pine bark extract as a feed additive. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2):737-746]

**Key words:** pine bark extract; bioactive components; biological functions; livestock and poultry; feed additives