

# 虫草饲料添加剂对畜禽生产性能和免疫调节的影响及其应用前景

李 洋, 窦秀静, 邢 磊, 王一臻, 张永根\*

(东北农业大学动物科学技术学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 冬虫夏草是中国传统的药材。它具有调节免疫系统, 辅助其它药物治疗等多种功效。然而由于来源稀少、价格昂贵等原因, 冬虫夏草的使用受到了制约。目前, 通过虫草菌丝培养技术, 可以人工大量生产虫草类饲料添加剂, 大大降低了成本, 并将其应用于畜禽生产中。文章对虫草饲料添加剂的功能性成分及其药理学作用, 在畜禽生产中的应用效果进行综述, 并对其应用前景进行分析, 以期在生产实践提供理论依据和参考价值。

**关键词:** 虫草饲料添加剂; 畜禽; 生产性能; 免疫调节; 应用前景

**中图分类号:**

**文献标识码:**

**文章编码:**

冬虫夏草(*cordyceps sp.*)是麦角菌科真菌寄生在鳞翅目蝙蝠科昆虫蝙蝠蛾幼虫上的干燥子座和虫体, 是中国名贵药材<sup>[1]</sup>。冬虫夏草的主要功能性成分为虫草酸(*cordycepic acid*)、虫草素(*cordycepin*)、虫草多糖(*cordyceps polysaccharide*)、蛋白质和氨基酸、生物碱、抗菌活性物质以及微量元素和免疫抑制剂等<sup>[2]</sup>。许多研究已经证明, 虫草具有提高免疫能力, 促进特异性抗体的产生和增强机体免疫应答<sup>[3]</sup>, 促进癌细胞凋亡等功能<sup>[4]</sup>。但因其资源和产量有限, 价格昂贵, 制约了其在畜禽生产中的应用。

伴随抗生素、激素、违法化学合成药物在养殖中的滥用, 使得虫草类饲料添加剂应运而生<sup>[5]</sup>。目前, 已有的虫草类饲料添加剂主要包括虫草培养基、虫草真菌发酵中草药培养基、虫草菌粉、菌糠、虫草培养物和虫草无性型固液发酵产物等。虫草培养基是虫草子实体收获后所剩下的长满菌丝体的培养物, 虫草真菌发酵中草药培养基是将中草药粉碎酶解、压滤后收集提取液与养分后混合, 灭菌制成培养基, 接种中华被毛孢, 液态发酵 72h 后喷雾干燥制成。虫草饲料添加剂, 采用工业发酵技术等工艺, 实现虫草生产的产业化, 很大程度的降低了生产成本, 为其在养殖行业中规模化应用奠定的基础。天然虫草与人工培养的虫草具有基本相同的有效成分, 并且人工培养方法简单、便于大规模生产, 利于在畜牧生产上推广应用。

## 1 虫草饲料添加剂的活性成分和生物功能

虫草饲料添加剂的有效成分主要有虫草酸, 虫草素, 虫草多糖, 超氧化物歧化酶以及多

收稿日期:

基金项目: 国家奶牛产业技术体系(CARS-37)

作者简介: 李 洋(1989-)男, 黑龙江肇东人, 博士研究生, 从事反刍动物生产的研究。E-mail: 446190229@qq.com

\*通信作者: 张永根, 教授, 博士生导师, 从事反刍动物生产的研究。E-mail: zhangyonggen@sina.com

种氨基酸等<sup>[6-10]</sup>。其含有与冬虫夏草相似的有效成分，文献报道，添加剂的部分成分甚至超过冬虫夏草生药。其中主要的功能性成分是虫草酸，虫草素以及虫草多糖，见表 1。

表 1 冬虫夏草和虫草饲料添加剂的功能成分比较<sup>[6,11,12]</sup>

成分	冬虫夏草	虫草饲料添加剂
虫草酸 (%)	8.31	8.62
虫草素 ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	6.01	12.24, 58.76, 6.93, 11.89
虫草多糖 (%)	3.74	5.26, 6.15, 7.86, 8.71
		12.86
氨基酸总量 (%)	14.87	26.99
	19.55	19.40, 21.53, 18.96, 18.28
粗蛋白 (%)	12.79	36.31
		14.35

### 1.1 虫草酸

虫草酸，即 *D*-甘露糖醇，是冬虫夏草的主要活性成分。虫草酸具有降低眼内压、颅内压、治疗肾功能衰退、抑制多种病菌的生长等作用<sup>[13-14]</sup>。随着研究方法与技术的不断改善和提高，虫草酸的许多新的生理作用也逐渐被发掘，尤其是抗癌、防癌，以及预防与治疗脑血栓、脑出血、抗自由基和防治心肌梗塞和长期衰竭等作用<sup>[15-16]</sup>。也有研究证明虫草酸具有抑菌、抗肿瘤、抑制病毒、免疫调节、杀灭蚊子幼虫等多种生物活性<sup>[17]</sup>。

### 1.2 虫草素

虫草素又名虫草菌素。物理和化学研究表明，虫草素的分子结构是 3-脱氧腺苷。虫草素是第一个从真菌中分离出来的核苷类抗菌素，由 Cunningham 等<sup>[18]</sup>在 1951 年首先从蛹虫草的培养滤液中分离得到，现也有报道在虫草属的其他种中检测到虫草素的存在。

虫草素具有抗菌作用<sup>[19]</sup>，抗病毒作用<sup>[20-24]</sup>，促凋亡抗肿瘤作用<sup>[25-26]</sup>，免疫调节作用<sup>[27-28]</sup>，以及能够通过抑制 NF- $\kappa$ B 依赖的炎症反应干扰 2 型糖尿病的调控基因<sup>[29]</sup>；2010 年，Guo 等<sup>[30]</sup>报道了虫草素能够通过激活腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)预防高血脂症。

### 1.3 虫草多糖

虫草多糖是冬虫夏草的有效成分之一，是由甘露糖、腺苷、半乳糖、阿拉伯糖、木糖精、葡萄糖、岩藻糖组成的多聚糖。有报道称，虫草多糖能引起 T、NK 以及单核-巨噬细胞的活化、增殖以及分泌各种淋巴因子<sup>[31]</sup>，对免疫器官有很好的保护作用。另外，虫草多糖能够提高免疫细胞的活性，对肿瘤细胞有免疫作用<sup>[32]</sup>，可以清除机体自由基，抗衰老<sup>[33]</sup>，降血糖，抗放射，抗病毒和降血脂<sup>[34]</sup>。

## 2 虫草饲料添加剂对畜禽生产性能和免疫调节的影响

## 2.1 猪

虫草类饲料添加剂对猪体增重效果明显。众多文献表明,虫草饲料添加剂产品能促进猪生长及增重,提高饲料利用率<sup>[35-37]</sup>。戴朝洲等<sup>[38]</sup>报道表明,虫草真菌发酵中草药培养基作为原料饲喂育肥猪,该培养基能够提高育肥猪的日增重,屠宰率和瘦肉率,降低料肉比和背膘厚度,说明虫草真菌液体发酵中草药培养基可明显提高生长猪生产性能,改善育肥猪胴体品质。

刘惠莉等<sup>[35]</sup>、陈明利等<sup>[39]</sup>和魏建忠等<sup>[40]</sup>指出,虫草添加剂能够有效增强机体细胞免疫反应和对外界抗原刺激的反应能力,有效地预防外界低剂量抗原的刺激。降低仔猪的腹泻率,提高猪瘟抗体效价,猪繁殖与呼吸系统综合症(PRRS)免疫抗体阳性率也明显提高。仔猪血浆免疫指标 IgG 增加 27.4%,氧化氮合酶(NOS)活性增加 6.5%,一氧化氮(NO)含量增加 13.4%,一氧化氮合酶(iNOS)活性增加 26.7%。可见,虫草饲料添加剂具有促进猪体免疫力的功能。

## 2.2 家禽

魏建忠等<sup>[41]</sup>选择了代号为 P2、P5 和 P6 的 3 株虫草无性型菌株,进行固液发酵培养,将得到的 6 种虫草菌丝体培养物饲喂土杂鸡,结果表明虫草饲料添加剂显著提高了鸡体增重和饲料转化率,其中最优菌株是浓度为 0.2%的,液态培养的 P2 和 P5 菌株,增重分别提高了 11.04%、11.56%;在连续添加 56 d 后,屠宰后肌肉及内脏均无异常,说明虫草饲料添加剂安全无副作用。陈安徽等<sup>[42]</sup>将虫草饲料添加剂饲喂肉仔鸡,研究其对肉仔鸡肌肉营养成分的影响,发现虫草饲料添加剂对肉仔鸡胸肌、腿肌中蛋白质和氨基酸的总含量有显著的积极影响,同时显著降低胸肌和腿肌中粗脂肪的含量,但对人体必需氨基酸和风味氨基酸的含量,以及肉鸡肌肉中灰分、水分和微量元素的含量没有显著性影响。

孟翠亮等<sup>[43]</sup>和孙汉巨等<sup>[44]</sup>分别将人工培养得到的虫草饲料添加剂饲喂肉仔鸡和蛋鸭。结果证明,虫草饲料添加剂提高肉仔鸡日增重,降低料重比。同时能够提高蛋鸭产蛋率和蛋重,降低料蛋比;并能提高鸭蛋品质;不仅鸭蛋的蛋形蛋壳厚度稳定,而且鸭蛋蛋白质、卵磷脂和卵黄中 IgY 含量得到提高,并降低蛋中胆固醇的含量。

胡雅婷等<sup>[45]</sup>探讨了虫草菌粉(即由新鲜冬虫夏草中分离得到的蝙蝠蛾拟青霉液体深层发酵物)对雏鸡细胞免疫功能的影响。结果发现通过饲喂不同剂量的虫草菌粉不会影响 E 玫瑰花环率,但显著提高了淋巴细胞转化率,证明了虫草菌粉可以显著提高雏鸡细胞免疫水平,增强其免疫力。Jong 等<sup>[46]</sup>做了虫草菌丝提取物替代抗生素生长促进剂试验。结果证明,虫草提取物组和抗生素组均能显著提高肉仔鸡的生产性能和健康指数,并且虫草提取物能够

保持更好的肠道微生物菌群。说明虫草提取物能够提高肉仔鸡的生理活性，替代抗生素生长促进剂。

### 2.3 反刍动物

Joon 等<sup>[47-48]</sup>研究了虫草菌丝对体外瘤胃微生物发酵和纤维素酶活和瘤胃微生物菌群的影响。Joon 选择了 6 个不同的虫草菌丝添加量，观测其对体外瘤胃液 pH，纤维素滤纸降解率，产气量，挥发性脂肪酸（volatile fatty acid, VFA），纤维素酶活和瘤胃微生物菌群的影响。结果证明，在一定范围内，虫草菌丝改变了瘤胃微生物发酵情况，增加了 VFA 和产气量，提高了纤维素滤纸的降解率。对瘤胃内羧甲基纤维素酶酶活、木聚糖酶酶活和纤维素酶酶活有积极影响，并且增加了纤维素分解菌和瘤胃细菌的数量，但对瘤胃真菌有消极影响。

### 2.4 其它动物

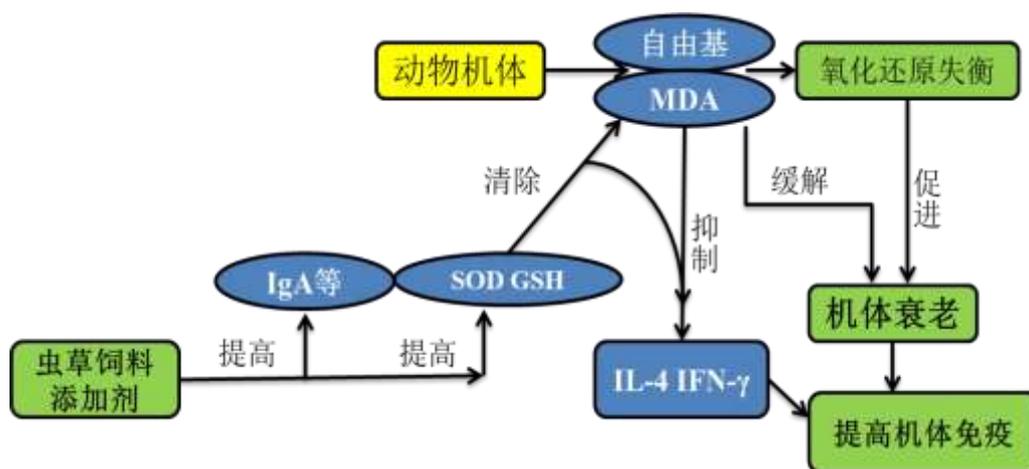
昌鸣先等<sup>[49]</sup>证实了虫草多糖对日本沼虾的免疫防御能力有明显的提高作用。在饲料中添加 1% 的虫草多糖，对日本沼虾血淋巴吞噬活性，血清中抗菌活力、溶菌活力以及酚氧化酶活力进行连续测定。结果表明，与对照组相比，虫草组的吞噬百分比与吞噬指数、抗菌与溶菌活力以及酚氧化酶活力得到显著提高。郭培红等<sup>[50]</sup>研究了饲喂不同水平虫草培养残基对中华绒螯蟹营养品质的影响。在基础饲料中分别添加 0.25%、0.5%、1.0%、2.0%、4.0%、8.0%、16.0% 的蛹虫草培养残基，结果证明了添加适量的虫草基可提高中华绒螯蟹肌肉、血清的游离氨基酸、必需氨基酸、肝胰腺不饱和脂肪酸和必需脂肪酸含量，使中华绒螯蟹营养品质得到改善。

## 3 虫草饲料添加剂的作用机理的初步探讨

在畜禽生产中，虫草饲料添加剂所起到的提高机体免疫力，改善畜禽生产性能以及提高肉质、风味等功能已经逐渐被承认。在虫草饲料添加剂作用机理的初步探究中，研究人员也做了大量的工作。采用多种试验动物，对虫草饲料添加剂及其有效成分在抗氧化，抑菌，提高机体免疫力，促进肿瘤细胞凋亡等方面做了相应的试验。

研究人员发现虫草素具有免疫调节作用<sup>[51]</sup>。它能够极大地提高了人外周血液单核细胞 IL-10 的分泌和 IL-10mRNA 的表达，同时，虫草素对诱导产生 IL-2 的植物血球凝集素和外周血液单核细胞扩增都有抑制作用，抗 IL-10 中性抗体也不能完全阻止虫草素对 IL-2 产生的抑制作用。在虫草素作用下，成熟树突状细胞能诱导调节性 T 细胞增殖，而且还能抑制细胞分裂，促进细胞的分化，改变胞膜上物质结构分布，对 T 淋巴细胞转化有促进作用，它还可以提高机体单核巨噬细胞系统的吞噬功能，激活巨噬细胞产生细胞毒素直接杀伤癌细胞。

DENG 等在 2013 年的研究中指出<sup>[52]</sup>，虫草多糖能够提高白对虾的超氧化物歧化酶（SOD），谷胱甘肽（GSH），活性氧（ROS）和总抗氧化能力（T-AOC）水平。孙连海等<sup>[53]</sup>证实了发酵乳饮料可以明显提高小鼠脾脏和胸腺指数，促进吞噬细胞的吞噬活性，从而增强小鼠免疫力的功能。而蛹虫草黄豆可显著提高小鼠血浆和肝脏中过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）活力，抑制羟自由基能力以及白细胞介素-4（IL-4）、干扰素- $\gamma$ （IFN- $\gamma$ ）的含量，显著提高小鼠脾脏和肝脏指数，显著降低 MDA 含量，具有延缓衰老以及提高机体免疫功能的作用<sup>[54]</sup>（图 1）。

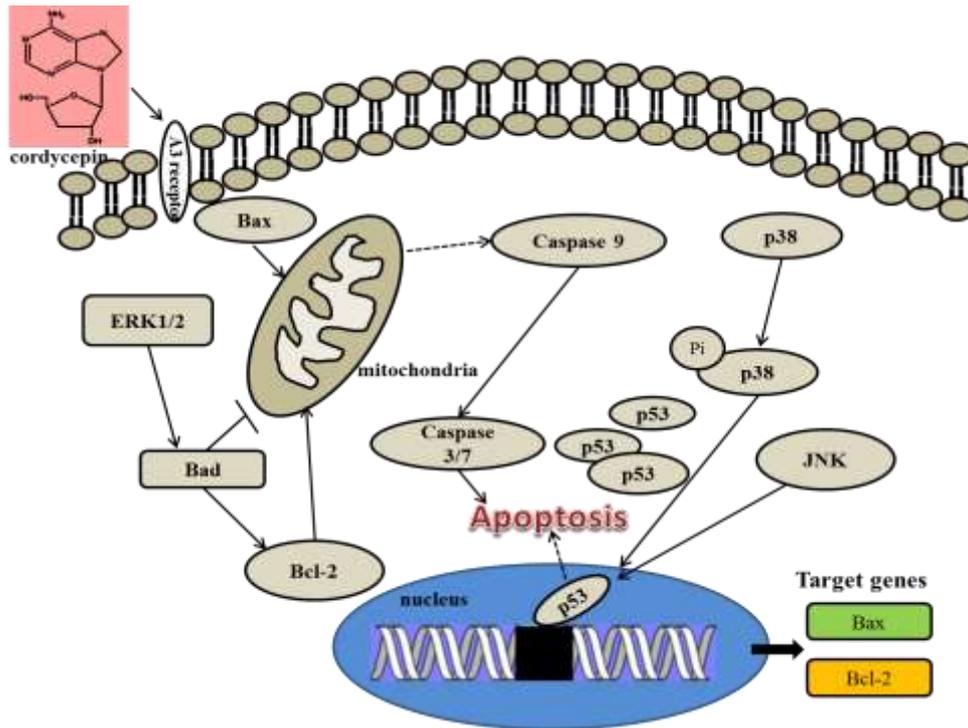


MDA: 丙二醛 malondialdehyde; SOD: 超氧化物歧化酶 superoxide dismutase; GSH: 谷胱甘肽 glutathione; IgA: 免疫球蛋白 A immunoglobulin A; IL-4: 白细胞介素-4 interleukin-4; IFN- $\gamma$ : 干扰素- $\gamma$  interferon- $\gamma$ 。

图 1 虫草饲料添加剂提高免疫力的途径<sup>[52-54]</sup>

Fig.1 Schematic diagram showing cordyceps feed additives how to enhance the immunity of animals

虫草成分和虫草培养物对畜禽机体的积极影响非常明显，除了上述对免疫和抗氧化的有益调节之外，对动物机体信号通路的调节也是其发挥作用的途径之一。国内外学者 NOH 等<sup>[55]</sup>，Zhang 等<sup>[56]</sup>和 He 等<sup>[57]</sup>的研究证明，虫草成分和虫草提取物具有促进癌细胞凋亡，抑制肿瘤、抗癌的作用。而 HE 等<sup>[57]</sup>通过对 MAPK，NF- $\kappa$ B 等信号通路进行研究，也初步揭示了虫草成分发挥作用的机理（图 2），非常值得人们在未来的机理研究中参考。



Cordycepin: 虫草素; A3 receptor: 腺嘌呤核苷 A3 受体 adenosine A3 receptor; mitochondria: 线粒体; Target genes: 目的基因; Apoptosis: 凋亡; caspase: 含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶; ERK: 细胞外信号调节激酶 extracellular regulated protein kinases; Bcl-2: B 淋巴细胞瘤-2 基因 B-cell lymphoma-2; Bax 和 Bad: 促凋亡蛋白, 是属于 Bcl-2 家族的凋亡因子; JNK: c-Jun 氨基末端激酶 c-Jun N-terminal kinase; p38: p38 蛋白, 属应激激活的蛋白激酶; p53: p38 蛋白, 属核内磷酸化蛋白; pi-p38: 磷酸化 p38。

图 2 虫草素调节细胞凋亡的途径和机制<sup>[56-57]</sup>

Fig.2 The way and mechanism of cordycepin modulate cell apoptosis

#### 4 虫草饲料添加剂的应用前景分析

在畜禽生产中, 抗生素、抗菌和抗病毒西药的大量使用, 虽然会有短期成效, 但长期使用会存在较大的隐患。首先, 是细菌耐药菌株的出现。抗生素等的滥用会使得此类药物疗效降低或无效, 畜禽的防治难度进一步加大甚至无药可治; 其次, 就是药物残留问题的严重化。药物残留使得畜禽疾病多元化和复杂化, 畜禽产品品质越来越差, 人类健康受到严重威胁。

冬虫夏草是一种非常珍贵的中药材, 它虽然具有增强机体体液和细胞免疫方面有显著的作用, 但是昂贵的价格使得其难以广泛应用。然而, 操作简单, 生产成本低的人工培养虫草使得虫草的广泛应用成为可能。虫草饲料添加剂属真菌类物质, 天然, 无耐药性, 无毒副作用, 无残留, 是一种新型的绿色、环保、高效的免疫增强剂, 符合兽药或添加剂市场绿色、环保的发展要求, 可作为免疫增强类药物或饲料添加剂应用于畜禽毒性疾病的防治中, 对我国实施的生态养殖和健康养殖具有非常重要的意义。

## 5 小 结

尽管虫草饲料添加剂的应用研究已取得了一定进展和应用效果,但主要局限于畜禽生产性能和疾病控制等方面,以及对其临床应用及部分有效成分的研究,仍存在许多亟待解决的问题。一是目前对虫草饲料添加剂作用机理的研究还处于摸索阶段,对其活性成分作用等研究还不够深入,虫草饲料添加剂效果不稳定,剂型单一,缺乏毒理安全方面的研究;二是虫草原料来源和有效成分含量不一,收获地区、季节不同,产品质量控制标准不完备等。针对以上问题,生产质量可靠,效果稳定,适用于畜禽规模化生产需求的产品应是未来研究的主要发展方向。在后续的科研工作中,我们应致力于加强作用机理研究,将传统虫草医学与现代分析技术和药理、病理学和免疫学有机结合,从分子和基因水平研究虫草饲料添加剂的作用机理、安全性等内容。同时,加强质量标准研究,尽快出台产品质量检测方法和技术规范,加强虫草饲料添加剂原料质量控制,加强生产工艺与剂型创新,促进有效成分的提取和精制,从而提高虫草饲料添加剂的利用效率。

### 参考文献:

- [1] 王根维,李鲜红,田锋,等.冬虫夏草水提液对小鼠抗红细胞抗体产生的影响[J].山西医科大学学报,1999,30(4):301-302.
- [2] 刘彦威,刘娜,刘利强.冬虫夏草有效成分的研究进展[J].动物医学进展,2004,25(3):51-53.
- [3] 曹国文,曹代勤,戴荣国,等.中药添加剂对生长猪肠道菌群与生产性能的影响[J].四川畜牧兽医,2003,30(10):154-155.
- [4] WEI-CIAO WU, JENN-REN HSIAO, YU-YAN LIAN, et al. The apoptotic effect of cordycepin on human OEC-M1 oral cancer cell line[J]. Cancer Chemother Pharmacol, 2007, 60: 103-111.
- [5] 孙杰,王建设,田亚崴.中草药饲料添加剂的应用现状[J].中国动物保健,2010(2):74-76.
- [6] 李连德,李春如,樊美珍,等.一种虫草分离菌菌丝体主要有效成分分析[J].森林病虫害通讯,2000(2):7-9.
- [7] 孙诗清.蛹虫草培养基的综合利用研究[D].西安:西北大学,2005:19-52.
- [8] 刘艳芳,唐庆久,杨焱,等.蛹虫草及其培养基中主要核苷类成分的分析比较[J].食品科学,2010,31(4):139-142.

- [9] 郭伟良, 王丹, 宋佳, 等. 近红外光谱法同时快速定量分析蛹虫草菌丝体中 4 种有效成分[J]. 光学学报, 2011, 31 (2): 1-8.
- [10] 丛珊滋, 刘晓兰, 张雯舒, 等. 含纤溶酶的蛹虫草深层培养液抗脂功能性初探[J]. 农产品加工 (学刊), 2014 (5): 1-4.
- [11] 钟石, 李有贵, 陈诗, 等. 人工培养蛹虫草与冬虫夏草的主要活性成分比较[J]. 蚕业科学, 2009, 35 (4): 831-836.
- [12] 王春梅, 刘学文, 冉旭. 蛹虫草培养基的酶水解研究[J]. 食品工业科学, 2005, 26 (9): 132-136.
- [13] LI S P, LI P, LAI C M. Simultaneous determination of ergosterol nucleosides and their bases from natural and cultured Cordyceps by pressurised liquid extraction and high-performance liquid chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1036, 239-243.
- [14] GUO FANGQIU, LI AI, HUANG LANFANG. Identification and determination of nucleosides by high performance liquid chromatography with mass spectrometric detection[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2005, 40:623-630.
- [15] 蔡仲军, 尹定华, 秦松云. 水提取法测定冬虫夏草中甘露醇含量[J]. 重庆中草药研究 2002, 45: 19-20.
- [16] 蔡仲军, 尹定华, 秦松云. 不同溶剂处理样品对虫草甘露醇含量测定的影响[J]. 重庆中草药研究, 2001, 44: 22-24.
- [17] 温鲁, 张平, 唐玉玲. 蛹虫草孢子粉活性成分分析[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(2): 139-140.
- [18] CUNNINGHAM K G, HUTCHINSON S A, MANSON W, et al. Cordycepin, a metabolic product from cultures of Cordyceps militaris (Linn.) Link. Part. I isolation and characterisation [J]. Journal of the Chemical Society, 1951: 2299-3300.
- [19] 黄冕, 张松. 虫草素生理功效的研究进展[J]. 菌物研究, 2010, 8 (4): 234-244.
- [20] WEISS S R, BRATT M A. Effect of cordycepin (3- deoxyadenosine ) on virus-specific RNA species synthesized in Newcastle disease virus-infected cells [J]. Journal of Virology, 1975, 16(6): 1575-1583.
- [21] HASHIMOTO K, SIMIZU B. Effect of cordycepin in on the replication of western equine encephalitis virus[J]. Archives of Virology, 1976, 52: 341-345.
- [22] WITTEK R, KOBLET H, MENNA A, et al. The effect of cordycepin on the multiplication of Semliki Forest virus and on polyadenylation of viral RNA[J]. Archives of Virology, 1977,

54: 95-106.

- [23] MAJONE F, MONTALDI A, RONCHESE F, et al. Cordycepin reduces the sensitivity of BALB/Mo mouse lymphocytes to the induction of sister chromatid exchanges[J]. *Carcinogenesis*, 1985, 6(1): 131-134.
- [24] XU F L, LEE Y L, TSAI W Y, et al. Effect of cordycepin on Hantaan virus 76-118 infection of primary human embryonic pulmonary fibroblasts-characterization of apoptotic effects[J]. *Acta Virologica*, 2005, 49(3): 183-193.
- [25] HE W, ZHANG M, YE J, et al. Cordycepin induces apoptosis by enhancing JNK and p38 kinase activity and increasing the protein expression of Bcl-2 pro-apoptotic molecules[J]. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*, 2010, 11(9): 654-660.
- [26] NOH E M, YOUN H J, JUNG S H, et al. Cordycepin inhibits TPA-induced matrix metalloproteinase-9 expression by suppressing the MAPK/AP-1 pathway in MCF-7 human breast cancer cells[J]. *International Journal of Molecular Medicine*, 2010, 25(2): 255-260.
- [27] NOH E M, KIM J S, HUR H, et al. Cordycepin inhibits IL-1 $\beta$ -induced MMP-1 and MMP-3 expression in rheumatoid arthritis synovial fibroblasts[J]. *Rheumatology*, 2009, 48(1):45-48.
- [28] LEE Y R, NOH E M, JEONG E Y, et al. Cordycepin inhibits UVB-induced matrix metalloproteinase expression by suppressing the NF-kB pathway in human dermal fibroblasts [J]. *Experimental & Molecular Medicine*, 2009, 41(8): 548-554.
- [29] SHIN S, LEE S, KWON J, et al. Cordycepin suppresses expression of diabetes regulating genes by inhibition of lipopolysaccharide-induced inflammation in macrophages[J]. *Immune Network*, 2009, 9(3): 98-105.
- [30] GUO P, KAI Q, GAO J, et al. Cordycepin prevents hyperlipidemia in hamsters fed a high-fat diet via activation of AMP-activated protein kinase[J]. *Journal of Pharmacological Sciences*, 2010, 113: 395-403.
- [31] 刘杰麟, 刘若英. 戴氏虫草胞外水溶性多糖在体外对细胞免疫及细胞因子的影响[J]. *中国药理学杂志*, 2001, 36(11): 738-741.
- [32] LI X, XU L. Studies on exopolysaccharide fermentation by *Cordyceps militaris* and on its physical and chemical properties and antioxidation[J]. *Journal of Microbiology*, 1997, 17(3): 13-17.

- [33] LI L D, FAN M Z, LI Z Z. Effects of 14 kinds Cordyceps polysaccharides on life of adult fruitfly [J]. Journal of Microbial, 2000, 27(6): 427-428.
- [34] CHEN G B, LUO M C, LIU S J. Study on pharmacology function of Cordyceps militaris[J]. Chinese Traditional it Herb Drugs, 1997, 28(7): 415-417.
- [35] 刘惠莉, 周昌艳, 罗维真, 等. 虫草激活强化免疫饲料添加剂对猪饲喂效果试验. 上海畜牧兽医通讯[J], 2008(4):61-62.
- [36] 高士友, 高雯, 李勇, 等. 北虫草和金针菇菌糠饲喂畜禽的应用效果[J]. 饲料研究, 2008 (4): 27-29.
- [37] 孟秀丽, 程茂基, 程晓辉, 等. 虫草泰对生长育肥猪生产性能、胴体和免疫功能的影响 [J]. 今日养猪业, 2011, (3): 43-45.
- [38] 戴朝洲, 孟秀丽, 江涛, 等. 虫草真菌发酵中草药培养基对生长肥育猪生产性能和胴体品质的影响[J]. 饲料与畜牧, 2011, (11): 16-18.
- [39] 陈明利, 魏强, 陈金. 仔猪功能性饲料添加剂配方筛选[J]. 饲料工业, 2011 (6): 41-43.
- [40] 魏建忠, 张玮, 李郁, 等. 地顶孢霉培养物对保育仔猪生产性能及免疫水平的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2009, 36 (2): 33-35.
- [41] 魏建忠, 褚照龙, 陈安徽, 等. 虫草饲料添加剂对土杂肉鸡增重效果研究[J]. 中国畜牧兽医, 2005, 32 (10): 8-9.
- [42] 陈安徽, 吴海亮, 张吉贵, 等. 虫草饲料添加剂对肉仔鸡肌肉营养成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(5): 130-132.
- [43] 孟翠亮, 王世富, 赵斐. 虫草培养基对肉仔鸡生长性能和免疫功能的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(3): 363-365.
- [44] 孙汉巨, 李晓祥, 丁琦, 等. 虫草饲料添加剂对蛋鸭生产性能及鸭蛋品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6):3618-3620.
- [45] 胡雅婷, 潘美慧, 李进进, 等. 虫草菌粉对雏鸡细胞免疫功能的影响[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2014, 34 (6): 52-53.
- [46] JONG H K, HYUNG J S, TAE S A. Hot-water extract from mycelia of *cordyceps sinensis* as a substitute for antibiotic growth promoters[J]. Biotechnology Letters, 2003, 25(7):585-590.
- [47] JOON M Y, SHIN J L, SANG M L, et al. Effects of *cordyceps militaris* mycelia on in vitro rumen microbial fermentation[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 2009, 22 (2): 201-205.

- [48] JOON M Y, SHIN J L, SANG M L, et al. Effects of *cordyceps militaris* mycelia on fibrolytic enzyme activities and microbial populations in vitro[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 2011, 24 (3): 364-368.
- [49] 昌鸣先, 陈孝煊, 吴志新, 等. 虫草多糖对日本沼虾免疫机能的影响[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20 (3): 275-278.
- [50] 郭培红, 陈月明, 宋学宏, 等. 饲喂不同水平虫草培养残基对中华绒螯蟹营养品质的影响[J]. 淡水渔业, 2012, 42 (2): 40-46.
- [51] 余伯成, 唐永范, 唐亮, 等. 虫草素的药理作用研究进展[J]. 现代药物与临床, 2011, 26 (5): 249-252.
- [52] DENG B, WANG Z P, TAO W J, et al. Effects of polysaccharides from mycelia of *Cordyceps sinensis* on growth performance, immunity and antioxidant indicators of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Nutrition, 2015, 21: 173-179.
- [53] 孙连海, 郭明月. 蛹虫草发酵乳饮料对小鼠免疫力的影响[J]. 中国食物与营养, 2014, 20 (6): 67-69.
- [54] 朴美子, 王晓东. 蛹虫草黄豆对小鼠的抗氧化及免疫作用[J]. 中国食品学报, 2014, 14 (5): 32-37.
- [55] NOH E M, YOUN H J, JUNG S H, et al. Cordycepin inhibits TPA-induced matrix metalloproteinase-9 expression by suppressing the MAPK/AP-1 pathway in MCF-7 human breast cancer cells[J]. International Journal of Molecular Medicine, 2010, 25: 255-260.
- [56] ZHANG Q, WU J, HU Z, et al. Induction of HL60 apoptosis by ethyl acetate extract of *Cordyceps sinensis* fungal mycelium[J]. Life Science, 2004, 75(24): 2911-2919.
- [57] HE W, ZHANG M F, YE J, et al. Cordycepin induces apoptosis by enhancing JNK and p38 kinase activity and increasing the protein expression of Bcl-2 pro-apoptotic molecules[J]. Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology), 2010, 11(9): 654-660.

**Effects of Cordyceps Feed Additives on Production Performance and Immunomodulation in Animals and its Application Prospect**

LI Yang, Dou Xiujing, XING Lei, WANG Yizhen, ZHANG Yonggen\*

(College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Cordyceps is a traditional Chinese medicinal material. It has a variety of functions such as adjusting the immune system and assisting others drugs. However, owing to some reasons, such as rare source, high cost and so on, the application of cordyceps is restricted. Currently, cordyceps feed additives have been produced in large scale by cordyceps sinesis cultivation technology, which decreases the cost and has possible to apply to livestock production. This article reviewed the functional ingredients and pharmacological function of cordyceps feed additives, application effect and the analysis of application prospect, in order to provide theory basis and reference value in animal production.

**Keyword:** cordyceps feed additives; livestock; production performance; immunomodulation; application prospect