

# 毒蘑菇中毒机制及检测方法 研究进展

乔 玉

重庆师范大学, 重庆

收稿日期: 2022年3月13日; 录用日期: 2022年4月4日; 发布日期: 2022年4月14日

---

## 摘 要

毒蘑菇又叫毒菌, 它种类多样、分布广泛。因为毒蘑菇在形态上与可食蘑菇的极为相似, 中毒事件时有发生。中毒者临床上的表现和毒理学机制都十分复杂, 因此中毒事件也成为全球性公共卫生问题。本文就有毒蘑菇常见种类、毒素、中毒机制以及检测方法进行论述, 为相关基础研究提供参考。

## 关键词

毒素, 中毒机制, 检测方法

---

# Progress Research on Poisoning Mechanism and Detection Methods of Poisonous Mushroom

Yu Qiao

Chongqing Normal University, Chongqing

Received: Mar. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

Poisonous mushrooms, also known as poisonous bacteria and are diverse and widely distributed. Because poisonous mushrooms are very similar to edible mushrooms in morphology, poisoning events occur from time to time. The clinical manifestations and toxicological mechanisms of poisoning patients are very complex, so poisoning events have also become a global public health problem. This paper discusses the common species, toxins, poisoning mechanism and detection methods of toxic mushrooms, so as to provide reference for relevant basic research.

## Keywords

Toxins, Poisoning Mechanism, Detection Methods

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全世界范围内已知蘑菇种类大约为 10000 余种, 其中约有 100 种具有毒性。由于生长在野外的有毒和无毒蘑菇形态相似, 不容易进行区分, 因此大部分食物中毒事件都是由于误食有毒蘑菇而引起的[1]。据不完全统计, 2004 年至 2009 年中国毒蘑菇中毒事件共 311 起, 中毒人数约 1954, 死亡人数 409; 2010 年至 2020 年, 中国共报告了 10036 起食源性蘑菇中毒事件, 导致 38676 人患病, 约 21967 人住院, 788 人死亡[2]。不止在国内, 国外毒蘑菇中毒事件也时有发生[3] [4]。毒蘑菇引起的中毒事件具有发病过程快、临床表现多样等特点, 所以患者中毒后能否及时进行毒蘑菇毒素种类的检测, 进行相关的治疗, 对患者至关重要。近年来, 随着现代分子生物技术的飞速发展, 出现了一些新型且快速的检测方法, 为毒蘑菇引起的中毒患者的医疗救治提供有力的技术支持。

## 2. 毒素种类及中毒机理

目前根据毒素的种类不同, 毒蘑菇中蕴含的毒素可分为鹅膏肽类毒素、鹅膏毒蝇碱、色胺类毒素、鹿花菌素、异噁唑类衍生物、鬼伞毒素和奥来毒素 7 类。根据中毒的临床表现又可分为肝损害型、肾衰竭型、神经中毒型、肠胃炎型、溶血性 7 种中毒类型[5]。

### 2.1. 鹅膏肽类毒素

鹅膏肽类毒素作为引起中毒率最高的毒素, 根据其氨基酸的组成和结构的不同又可以分成鹅膏毒肽、鬼笔毒肽和毒伞素 3 类。鹅膏肽类毒素化学性质十分稳定[6] [7], 耐高温、耐酸碱, 易溶于醇类、液态氨和水, 并且不易酶降解, 所以一般的烹饪方式不能破坏鹅膏肽类毒素的结构。鹅膏毒肽因能抑制真核生物的 RNA 聚合酶 II 的活性, 从而影响 mRNA 转录、蛋白质合成, 最终导致细胞坏死; 鬼笔毒肽能专一性的与肌动蛋白结合, 形成大量毒肽复合物, 降低细胞膜功能, 损害肝细胞的内质网膜; 毒伞素与鬼笔毒肽中毒机制相似。鹅膏肽类毒素中毒属于急性肝损害型, 临床中毒症状分为潜伏期、肠胃炎期、假愈期和肝脏损害期四个阶段, 若不能得到及时治疗, 在中毒 5~8 d 的后会因肝功能衰竭而死亡[8]。

### 2.2. 鹅膏毒蝇碱

鹅膏毒蝇碱主要作用于副交感神经系统, 属于神经毒素。这种毒素是一种无色无味的生物碱, 作用机理类似于乙酰胆碱, 易溶于乙醇和水。它具有致幻作用, 并且可以导致心跳减慢、视力模糊、瞳孔缩小、流汗、呕吐等临床症状, 中毒严重者甚至会出现呼吸困难症状[9]。

### 2.3. 色胺类毒素

色胺类毒素种类较多, 包括光盖伞素(裸盖伞素)、光盖伞辛、蟾蜍素等, 它也属于致幻类神经毒素。光盖伞素和光盖伞辛可引起交感神经兴奋, 其中蟾蜍素有着明显色彩幻视, 但对中枢神经系统几乎无毒

害作用。该类毒素潜伏时间较短，一般为 15~120 min，不小心误食后会出现头昏眼花、血压升高、视力不清、幻视、幻听等症状[10]。

## 2.4. 异噁唑衍生物

鹅膏菌中分离出 4 种作用于中枢神经系统的异噁唑衍生物，分别为鹅膏蕈氨酸、白蘑氨酸、异鹅膏氨酸和异鹅膏胺[11]。食用含有该类毒素的蘑菇后，会出现幻觉、行动不稳、精神错乱、瞳孔放大、心跳过速等症状[12]。

## 2.5. 鹿花菌素

鹿花菌素的水解产物甲基联胺化合物是主要的毒性物质，化学性质不稳定，对光，热稳定性差。在临床上，该类毒素对人体的黏膜刺激性大，具有极强的溶血性，会破坏红细胞。通常潜伏时间为 6 h~12 h，误食后会出现恶心、呕吐、腹痛、头痛等症状。由于红细胞被迅速破坏，患者在 24~48 h 内便会出现溶血的状况，中毒严重者往往会因肝脏严重受损及心脏衰竭而死亡[13]。

## 2.6. 鬼伞素

鬼伞素是从墨汁鬼伞中分离得到的一类比较特殊的毒性物质，单独在人体内是没有活性的，但是如果人体在摄于该毒素的 2 h~3 h 内饮入含有酒精的饮品，便会出现心跳加速，头晕恶心，甚至呼吸困难的症状。鬼伞素的中毒机理是能抑制体内中乙醛脱氢酶活性，使得乙醛氧化为醋酸盐，影响酒精的正常代谢，进而对身体造成危害[14]。

## 2.7. 奥来毒素

奥来毒素主要存在于丝膜菌属蘑菇中，它是一种潜伏时间长、作用缓慢可以致死的毒素。奥来毒素主要通过影响细胞代谢，破坏人体肾功能，从而最终导致患者死亡。初期症状表现为厌食、呕吐、腹痛、腹泻、突然发冷、发抖、嗜睡、痉挛等症状，后期会出现蛋白尿、血尿，快速发展为急性肾亏或肾衰竭[15]。

## 3. 识别与检测方法

毒蘑菇的识别检测主要通过传统的形态特征识别法和借助科学仪器的分子生物学方法。传统的形态特征识别是根据已有的知识，包括蘑菇的生长习性、颜色特征和气味来辨别蘑菇是否有毒。但是由于野外复杂的自然环境以及生物具有多样性，所以我们往往无法正确识别出有毒蘑菇[16]。现代分子生物学技术的发展弥补了传统利用形态识别方式的局限性，由于分子生物学方法操作便捷、特异性准确度高，在毒蘑菇的识别和检测方面被广泛应用，逐渐成为毒蘑菇识别检测的主流方式。下面介绍几种常用的分子生物学识别检测方法。

### 3.1. 化学显色法

化学显色法是比较早用于毒蘑菇检测的方法之一，在 1949 年 Wieland T [17]首次采用该方法进行毒蘑菇的检测，他利用高浓度盐酸与鹅膏毒肽反应，最后产生蓝绿色反应。这一显色反应的检测线可达 50 ng，这种方法适用于野外对蘑菇的初步鉴定。随后几年 Wieland 又建立一种可以对鹅膏毒肽和鬼笔毒肽灵敏区分的显色方法，在浓盐酸环境下肉桂醛与鹅膏毒肽反应显深紫色，而鬼笔毒肽呈浅蓝色，可以通过反应的颜色不同进行识别检测。Schumacher [18]等研究中发现奥来毒素能与 3%  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (溶解在 0.5 mol/L 盐酸中)发生黑色反应，可以由此来判断是否含有奥来毒素。

### 3.2. 层析法

层析法相对化学显色法灵敏度要高,多用于蘑菇毒素的分离和纯化。由于层析法技术的快速发展,Wieland 实验室陆续发现了存在于鹅膏菌中的多达 22 种天然肽类毒素。1955 年 Block [19]等利用层析溶液为甲基乙基酮:丙酮:水:丁醇(20:6:5:1)发明了一种能快速检测出毒素的纸层析法,可检测 0.1 g 鲜菇组织中的毒素;Sullivan [20]等首次将硅胶薄层色谱法用于分离检测  $\alpha$ -鹅膏毒肽、 $\beta$ -鹅膏毒肽和  $\gamma$ -鹅膏毒肽;Stijve [21]等研发出用于快速灵敏检测粗提取液中鹅膏毒素含量的高效薄层层析法,检出限为 50 ng。

### 3.3. 比色法

比色法专门针对于色胺类毒素,因色胺类毒素具有吡啶环特殊的分子结构,会与对一二甲基氨基苯甲醛(DMAB)发生颜色反应,可利用这个原理利用比色法对色胺类毒素进行检测。何培新[22]等对传统比色法进行了改进,空白对照使用白灵菇子实体的稀醋酸提取液,检测结果更准确。

### 3.4. 高效液相色谱法(HPLC)

HPLC 法的出现快速推进了毒素检测方面的发展,Beutler [23]等首次采用 HPLC 检测鹅膏菌中毒素;1992 年 Enjalbert [24]等第一次用反相 HPLC 同时检测出样品中含有 8 种鹅膏毒肽和鬼笔毒肽,每种毒素的检出限 10 ng/mL;龚庆芳[25]等将反相 HPLC 法用于中毒患者体液中  $\alpha$ -鹅膏毒肽的定性和定量检测,HPLC 被逐渐被广泛用于患者体液的毒素检测。

### 3.5. 液相色谱 - 质谱联用法

随着毒素检测多方法联合使用,尤其是结合质谱新技术的出现并不断创新改变,这些联用检测方法需要的样品少,检测过程灵敏性和准确更高。Maurer [26]等首用 LC-MS 的方法检测提取的尿液中  $\alpha$ -鹅膏毒肽和  $\beta$ -鹅膏毒肽,其检出限达 2.5 ng/mL;柳洁[27]等采用 UPLC-ESI-Q-TOFD 对患者血清和尿液进行鹅膏中毒伞肽及其他毒素的检测;许欣欣[28]等建立用超高效液相色谱 - 串联质谱法快速检测毒蘑菇中 5 种强毒性毒素含量的分析方法;林子豪[29]等用液相色谱 - 四极杆飞行时间质谱快速分析方法定性定量检测出 5 种鹅膏肽类毒素,检出限为 0.03~0.36 mg/kg。这些快速检测方法为医疗治愈提供了保障。

### 3.6. 放射性免疫法

放射性免疫法是利用同位素标记与未标记的抗原同抗体发生竞争性抑制反映的检测方法。Faulsich [30]建立了一种不用提取样品的放射免疫法,该方法可快速测定中毒患者体液中的鹅膏肽类毒素,检测最低浓度达 3 ng/mL,整个检测过程仅需 2~3 h。He [31]等研发出以胶体金作为红色标记的快速免疫层析法,可在 10 min 内完成样品中的鹅膏毒素检测。虽然放射免疫法具有极强的特异性,但是由于检测过程中需要放射性同位素的参与,存在一定的安全问题,逐渐被安全性更好的酶联免疫法所取代。酶联免疫法(ELISA)是免疫荧光和放射免疫技术结合而发展的一种检测技术,以抗原抗体特异性结合为反应基础的检测技术。由于其检测速度快、特异性强、操作便捷,被广泛用于生命科学各个研究领域。2000 年,瑞士科学家研发出用于检测鹅膏毒素 ELISA 试剂盒,Staack [32]等使用该试剂盒检从 100 份尿液中的检测出鹅膏毒素。刘河冰[33]等在 ELISA 原有基础上进行  $\alpha$ -鹅膏毒肽单克隆抗体的制备,最终建立了一种间接竞争方式的 IC-ELISA 检测方法,检测限为 2.8  $\mu$ g/kg。这个方法也可以用于毒蘑菇中鹅膏毒肽残留物的检测,该方法稳定性强、灵敏度高,可用于临床医学检测。

### 3.7. 傅里叶变换红外光谱法

傅里叶红外光谱是一种能够检测出分子化学信息的技术手段,结合化学分析方法,对样品进行定性

定量分析。赵德璋[34]采用傅里叶变换红外光谱法对野生鹅膏菌的红外光谱进行研究,结果表明蘑菇子实体部位不同,化学组分存在较大差异。同时根据傅里叶变换红外光谱图特征峰位和吸收强度比来区分不同种类蘑菇,利用  $1800\sim 750\text{ cm}^{-1}$  之间光谱差异来鉴别不同属的鹅膏真菌。由于蘑菇子实体的部位不同,所以光谱显示结果存在差异,检测结果存在一定的误差。时有明[35]等在研究同源的 8 种鹅膏毒肽时,发现它们具有相似的化学结构,原始光谱的差异不是很明显。用差谱技术处理  $1800\sim 1100\text{ cm}^{-1}$  区间 8 种鹅膏毒肽则有着明显的光谱差异,差谱技术可以用来鉴定同属下不同种真菌。

### 3.8. 分子印迹法(MIT)

大多数免疫反应是基于抗原抗体特异性结合产生的聚合物(MIP), MIT 是能制备与目标分子特异性结合的聚合物,它有着特定的空间结构和特异性识别能力。还有着超高的稳定性,可以用于生物传感器,所以可以定量分析各种小分子化合物。Feng [36]等用 MIP 和碳量子点相结合,在  $380\text{ nm}$  的波长荧光检测出了血清中的鹅膏毒肽的含量,它的检出限为  $15\text{ ng/mL}$ 。这种方法最大的优点在于,样本无需经过任何提前的预处理就可以达到快速检测的目的。

### 3.9. 结合大数据以及深度学习学科交叉的方法

有别于传统形态识别的不确定性和需要实验试剂和昂贵实验仪器的分子生物学检测方法,计算机生物信息学的快速发展,也为毒蘑菇的识别提供了另一种更为便捷的方法。庞凤丽[37]设计了一种基于安卓平台通过图像辅助实时快速识别毒蘑菇的方法;闫志峰[38]基于 stacking 算法融合 ID3 决策树、朴素贝叶斯、随机森林、K 近邻等算法设计了一个识别小程序,实现将蘑菇按照毒性进行区分。

## 4. 应用

虽然毒蘑菇的毒性很大,误食中毒的事件常有发生,但是某些毒素仍然存在对人类有益的一面。例如神经致幻类毒素可用于精神类疾病治疗和心理诊断;可以用荧光标记鬼笔毒肽作为指示性工具用于细胞生物学、发育生物学等研究领域。

### 4.1. 医学方面

经医学家的研究发现,色胺类毒素中的裸盖伞素能够引起人类精神状态的变化,而且毒性小,作用温和,是一种可以被作为精神疾病的治疗药物。在 2017 年 Carhart-Harris [39]等进行了一项探究性实验来测试用裸盖伞素辅助心理治疗对抑郁患者的治疗效果。对重度抑郁症患者使用不同剂量( $10\text{ mg}$  和  $25\text{ mg}$ )的裸盖伞素给药加以心理辅助的治疗,在治疗 3 个月时发现  $25\text{ mg}$  用药量的患者组用这种治疗方法,疗效较好。在 2021 年 Davis [40]等进行了一项对照实验,将 24 名抑郁症患者随机分为两组,研究时间为 16 周,一组为立即用药组,另一组为延后 8 周用药组。实验结果表明立即用裸盖伞素治疗的患者组与人沟通能力和抑郁程度相较于推迟用药的患者组有所改善。除此之外,裸盖伞素还在戒烟方面效果明显。虽然在裸盖伞素在医学方面有着良好的应用前景,但是由于其药理学作用机制还不是十分完善,药物使用安全问题不能得到妥善解决,所以用于临床使用还需要更多的研究。

### 4.2. 生物防治

有一些蘑菇毒素具有杀虫和抑制病原体的作用,可以作为生物农药应用于农业和林业。例如鳞柄白鹅膏对杨树烂皮病菌有抑制作用,牛肝菌可以杀死各种蝇类害虫,毒鹅膏菌对桃潜叶蛾生长有明显的抑制作用[41]。



## 5. 总结与展望

毒蘑菇种类繁多, 分布广泛。虽然常常会有误食毒蘑菇而中毒事件发生, 但是不能因此而忽略它在药理方面的潜在价值, 对毒素种类、中毒机理以及识别与检测深入研究十分重要。随着生物医学的不断发展进步, 未来在毒蘑菇识别检测以及对蘑菇毒素的医学价值的研究一定会得到更加长足的发展。

## 参考文献

- [1] 牛姬飞, 涂文校, 倪大新. 2004-2009 年全国毒蕈中毒突发公共卫生事件分析[J]. 疾病监测, 2011, 26(3): 231-233.
- [2] Li, W., Pires, S.M., Liu, Z., Liang, J., Wang, Y., Chen, W., *et al.* (2021) Mushroom Poisoning Outbreaks—China, 2010-2020. *China CDC Weekly*, **3**, 518-522. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.134>
- [3] Brandenburg, W.E. and Ward, K.J. (2018) Mushroom Poisoning Epidemiology in the United States. *Mycologia*, **110**, 637-641. <https://doi.org/10.1080/00275514.2018.1479561>
- [4] Cervellini, G., Comelli, I., Rastelli, G., Sanchis-Gomar, F., Negri, F., De Luca, C., *et al.* (2018) Epidemiology and Clinics of Mushroom Poisoning in Northern Italy: A 21-Year Retrospective Analysis. *Human & Experimental Toxicology*, **37**, 697-703. <https://doi.org/10.1177/0960327117730882>
- [5] 陈作红. 毒蘑菇识别与中毒防治[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [6] Wieland, T., Faulstich, H. and Fiume, L. (1978) Amatoxins, Phallotoxins, Phallolysin, and Antamanide: The Biologically Active Components of Poisonous *Amanita* Mushroom. *CRC Critical Reviews in Biochemistry*, **5**, 185-260. <https://doi.org/10.3109/10409237809149870>
- [7] Wieland, T. (1986) Peptides of Poisonous *Amanita* Mushrooms. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-256. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-71295-1>
- [8] 陈作红, 胡劲松. 鹅膏肽类毒素检测方法的历史与现状[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 11-16.
- [9] 张黎光, 李峻志, 祁鹏, 李安利, 戴璐, 吴小杰. 毒蕈中毒及治疗方法研究进展[J]. 中国食用菌, 2014, 33(5): 1-5.
- [10] 冶晓燕, 景雪梅, 彭沛穰, 刘金喜, 张丽, 朱学泰. 甘肃陇南尖山自然保护区常见毒蘑菇及其中毒类型[J]. 中国食用菌, 2020, 39(2): 11-14.
- [11] 杜秀菊, 杜秀云. 毒蕈毒素及其应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13): 7172-7174.
- [12] 贺新生, 张玲, 康晓慧. 神经致幻毒菌及其毒性[J]. 中国食用菌, 2004, 23(3): 10-12.
- [13] 卯晓岚. 中国毒菌物种多样性及其毒素[J]. 菌物学报, 2006, 25(3): 345-363.
- [14] 包海鹰. 蘑菇的毒性成分及其应用研究现状[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(4): 107-113.
- [15] 龚庆芳, 陈作红. 蘑菇毒素及其中毒治疗(II)——奥来毒素[J]. 实用预防医学, 2003, 10(3): 432-434.
- [16] 李林静, 李高阳, 谢秋涛. 毒蘑菇毒素的分类与识别研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(4): 383-387.
- [17] Wieland, T. and Hallermayer, R. (1941) Über die Giftstoffe des Knollenblätterpilzes. VI. Amanitin, das Hauptgift des Knollenblätterpilzes. *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, **548**, 1-18. <https://doi.org/10.1002/jlac.19415480102>
- [18] Schumacher, T. and Høiland, K. (1983) Mushroom Poisoning Caused by Species of the Genus *Cortinarius* Fries. *Archives of Toxicology*, **53**, 87-106.
- [19] Block, S.S., Stephens, R.L., Barreto, A. and Murrill, W.A. (1955) Chemical Identification of the *Amanita* Toxin in Mushrooms. *Science*, **121**, 505-506. <https://doi.org/10.1126/science.121.3145.505>
- [20] Sullivan, G., Brady, L.R. and Tyler Jr., V.E. (1965) Identification of  $\alpha$ - and  $\beta$ -Amanitin by Thin-Layer Chromatography. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **54**, 921-922. <https://doi.org/10.1002/jps.2600540626>
- [21] Stijve, T. and Seeger, R. (1979) Determination of Alpha-, Beta-, and Gamma-Amanitin by High Performance Thin-Layer Chromatography in *Amanita* Phalloides (Vaill. ex Fr.) secr. from Various Origin. *Zeitschrift für Naturforschung journal of Biosciences*, **34**, 1133-1138. <https://doi.org/10.1515/znc-1979-1209>
- [22] 何培新, 郭恒, 何冬旭, 张长铠. 改良比色法在神经致幻型毒菌活性色胺类物质检测中的应用[J]. 菌物研究, 2006, 4(1): 24-28.
- [23] Beutler, J.A. and Der Marderosian, A.H. (1981) Chemical Variation in *Amanita*. *Journal of Natural Products*, **44**, 422-431. <https://doi.org/10.1021/np50016a005>
- [24] Enjalbert, F., Gallion, C., Jehl, F. and Monteil, H. (1993) Toxin content, Phallotoxin and Amatoxin Composition of *Amanita phalloides* Tissues. *Toxicon*, **31**, 803-807. [https://doi.org/10.1016/0041-0101\(93\)90386-W](https://doi.org/10.1016/0041-0101(93)90386-W)
- [25] 龚庆芳, 魏宝阳, 肖桂林, 陈作红, 张平, 张志光. RP-HPLC 法测定鹅膏菌中毒患者体液中的  $\alpha$ -amanitin [J]. 湖

- 南师范大学自然科学学报, 2005, 28(2): 67-69.
- [26] Maurer, H.H., Schmitt, C.J. and Weber, A.A. (2000) Validated Electrospray Liquid Chromatographic-Mass Spectrometric Assay for the Determination of the Mushroom Toxins Alpha- and Beta-Amanitin in Urine after Immunoaffinity Extraction. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, **748**, 125-135. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)00270-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)00270-X)
- [27] 柳洁, 曾灼祥, 肖嘉慧. 血清和尿液中 4 种鹅膏肽类毒素的 UPLC-ESI-Q-TOF 分析[J]. 现代预防医学, 2017, 44(23): 4344-4348+4353.
- [28] 许欣欣, 陈春晓, 仲岳桐, 陈慧玲, 吕昭颖, 姜杰. 超高效液相色谱-串联质谱法测定毒蘑菇中 5 种强毒性蘑菇毒素含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(19): 6936-6941.
- [29] 林子豪, 罗鼎峰, 戚平, 毛新武. QuEChERS-液相色谱-四极杆飞行时间质谱法测定毒蘑菇中 5 种鹅膏肽类毒素[J]. 食品安全导刊, 2021(30): 78-80+82.
- [30] Faulstich, H., Buku, A., Bodenmueller, H. and Wieland, T. (1980) Virotoxins: Actin-Binding Cyclic Peptides of Amanita Virosa Mushrooms. *Biochemistry*, **19**, 3334-3343. <https://doi.org/10.1021/bi00555a036>
- [31] He, K., Zhang, X., Zhao, R., Wang, L., Feng, T. and Wei, D. (2016) An Enzyme-Linked Immunosorbent Assay and a Gold-Nanoparticle Based Immunochromatographic Test for Amatoxins Using Recombinant Antibody. *Microchimica Acta*, **183**, 2211-2219. <https://doi.org/10.1007/s00604-016-1856-x>
- [32] Staack, R.F. and Maurer, H.H. (2000) New Bühlmann ELISA for Determination of Amanitins in Urine—Are There False Positive Results Due to Interferences with Urine Matrix, Drugs or Their Metabolites. *Toxichem Krimtech*, **68**, 68-71.
- [33] 刘河冰, 秦誉, 邢维维, 马立才. 蘑菇中鹅膏毒肽间接竞争 ELISA 检测方法的建立[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 294-301.
- [34] 赵德璋, 刘刚, 宋鼎珊, 刘剑虹, 周翊蓝, 欧家鸣, 等. 鹅膏菌的傅里叶变换红外光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1086-1089.
- [35] 时有明, 刘刚, 孙艳琳. 八种鹅膏菌的傅里叶变换红外光谱的差谱鉴别研究[J]. 光散射学报, 2012, 24(2): 211-216.
- [36] Feng, L., Tan, L., Li, H., Xu, Z., Shen, G. and Tang, Y. (2015) Selective Fluorescent Sensing of  $\alpha$ -Amanitin in Serum Using Carbon Quantum Dots-Embedded Specificity Determinant Imprinted Polymers. *Biosensors and Bioelectronics*, **69**, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.03.005>
- [37] 庞凤丽. 基于 Android 的毒蘑菇识别系统研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2019.
- [38] 闫志峰. 基于 Stacking 算法的多分类器融合在毒蘑菇识别中的应用[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西农业大学, 2019.
- [39] Carhart-Harris, R.L., Bolstridge, M., Rucker, J., Rucker, J., Watts, R., Erritzoe, D.E., *et al.* (2016) Psilocybin with Psychological Support for Treatment-Resistant Depression: An Open-Label Feasibility Study. *The Lancet Psychiatry*, **3**, 619-627. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(16\)30065-7](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(16)30065-7)
- [40] Davis, A.K., Barrett, F.S., May, D.G., Cosimano, M.P., Sepeda, N.D., Johnson, M.W., *et al.* (2021) Effects of Psilocybin-Assisted Therapy on Major Depressive Disorder: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Psychiatry*, **78**, 481-489. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2020.3285>
- [41] 李晓飞. 毒蘑菇及其杀虫活性成分研究进展[J]. 吉林农业, 2018(11): 70.