

# 一种同时测定赤松茸中 4 种嘌呤含量的方法

王志尧<sup>1,2</sup>, 王 韬<sup>1,2</sup>, 陈 飞<sup>1,2</sup>,  
魏 磊<sup>1,2</sup>, 姜 晓<sup>2</sup>, 常 霞<sup>1,2</sup>, 李 晓<sup>1,2</sup>, 王 伟<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>河南省科学院; <sup>2</sup>河南省纳普生物技术有限公司, 郑州 450002

**摘要:** 本研究了一种同时测定赤松茸中黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤含量的高效液相色谱 (HPLC) 法。通过检测其中一种嘌呤标准品的含量, 并计算该嘌呤标准品与赤松茸供试样品中其他三种嘌呤成分之间的相对校正因子和相对保留时间, 通过公式计算, 便捷地实现了赤松茸供试样品中四个嘌呤成分的一测多评。该方法操作简单, 灵敏度高, 降低了标准品成本, 简化了实验步骤。目前赤松茸及其相关产品还没有含量测定方法, 研究结果对赤松茸的鉴别与质量控制有一定的参考价值。

**关键词:** 赤松茸; 一测多评; 嘌呤; 高效液相色谱法; 食用菌

中图分类号: R248.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2022) Suppl-0074-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2022.S.012

## A method for simultaneous determination of four purines in *Stropharia rugosoannulata*

WANG Zhi-yao<sup>1,2</sup>, WANG Tao<sup>1,2</sup>, CHEN Fei<sup>1,2</sup>,  
WEI Lei<sup>1,2</sup>, JIANG Xiao<sup>2</sup>, CHANG Xia<sup>1,2</sup>, LI Xiao<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Henan Academy of Science;

<sup>2</sup>Henan Natural Product Biotechnology Co., Ltd., Zhengzhou 450002, China

**Abstract:** In this study, a high performance liquid chromatography (HPLC) method for the simultaneous determination of xanthine, guanine, adenine and hypoxanthine in *Stropharia rugosoannulata* was disclosed. Firstly, the content of one purine standard is detected, and then the relative correction factor and relative retention time between the purine standard and the other three purine components in the test sample of *S. rugosoannulata* were calculated. Through formula calculation, it was convenient to realize one measurement and multiple evaluation of four purine components in of *S. rugosoannulata*. The method has the advantages of simple operation, high sensitivity, low standard cost and simplified experimental steps. At present, there is no content determination method for *S. rugosoannulata* and its related products. The research results have certain reference value for the identification and quality control of *S. rugosoannulata*.

**Key words:** *Stropharia rugosoannulata*; one test multiple evaluation method; purine; HPLC; edible fungi

赤松茸 (*Stropharia rugosoannulata*), 是球盖菇科球盖菇属的一种真菌, 最早在美国野外发现, 德国首先实现露地栽培, 而我国在 1980 年人工引种栽培成功, 同时赤松茸作为一种新的蛋白质资源, 也是联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organiza-

tion of the United Nations, FAO) 向发展中国家推荐种植的优良食物品种之一, 目前已成为国际菇类交易市场上的十大品种之一<sup>[1]</sup>。我国于 1980 年人工将赤松茸引种栽培成功, 在我国许多地方已将赤松茸种植作为一项农民脱贫致富产业, 目前河南省的博爱县、鲁山县、宝丰县、襄城县、社旗县、西峡县、平舆县、安阳县、内黄县等多个地区均有大面积推广栽培。现有文献报道, 赤松茸中含有蛋白质、多糖<sup>[2,3]</sup>、胞外多糖<sup>[4]</sup>、硒化多糖<sup>[5]</sup>、甾醇<sup>[6-11]</sup>、黄酮<sup>[11]</sup>、酚类<sup>[11]</sup>、氨基酸、脂肪类<sup>[11,12]</sup>、凝集素<sup>[13]</sup>等

收稿日期: 2021-11-22 接受日期: 2022-05-27

基金项目: 河南省科学院基本科研费项目 (220613048); 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) (212102310352); 河南省重大公益专项 (201300110200); 河南省引进国外智力专项 (HNGD2022049)

\* 通讯作者 Tel: 86-371-89819538, E-mail: Bioww@foxmail.com

多种营养成分和生物活性成分,具有抗氧化<sup>[14,15]</sup>、抑菌<sup>[7,10]</sup>、神经保护<sup>[10]</sup>、调节免疫<sup>[3]</sup>、抑制肿瘤<sup>[16]</sup>、降血糖<sup>[17]</sup>等广泛的生物活性。

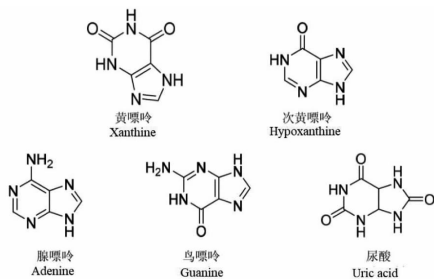


图1 常见嘌呤及尿酸的结构式

Fig. 1 Structures of common purines and uric acid

核酸是动植物的生命遗传密码,而嘌呤是构成核酸的重要物质,所以许多食用菌类含有嘌呤类化学成分,但不同品种的菌类含有的嘌呤含量差别比较大<sup>[18]</sup>。嘌呤在体内经过复杂的代谢过程最终成为一类三氧基嘌呤化合物——尿酸(uric acid,结构见图1),在水中的溶解度大大降低,因此在体内极易形成晶体状物质<sup>[19]</sup>。如果体内的嘌呤代谢异常或者机体尿酸排泄途径出现问题,产生的尿酸过多而无法正常排泄,机体尿酸含量慢慢升高,尿酸含量长期处于高水平( $\geq 7$  mg/100 mL)会导致人体体液变酸,甚至引起痛风性关节炎的发生<sup>[20]</sup>。此外,当患者血液中尿酸含量长期处于过饱和状态,还有可能在肾脏部位产生尿酸结晶,进而导致痛风性肾病<sup>[21]</sup>。综上,高嘌呤饮食不利于我们身体健康,尤其对痛风患者,更应该控制饮食中嘌呤的摄入<sup>[22]</sup>。但赤松茸中是否含嘌呤类成分还未见诸报道。随着赤松茸的营养价值被越来越多的人认可,其种植面积的不断扩大,赤松茸作为一种美味食材将会进入越来越多家庭的餐桌,甚至被用于许多商业食品的原材料,因此,本研究开发一种同时测定植物中四种常嘌呤的方法,对赤松茸的开发及产业发展具有一定的参考价值。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品与试剂

赤松茸购自博爱竹林赤松茸种植基地;黄嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080411)、次黄嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20072809)、鸟嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080610)、腺嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080610)、腺嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080610)、腺嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080610)、腺嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20080610)。

腺嘌呤(四川省维克奇生物科技有限公司,批号:wkq20061907);高氯酸、磷酸(分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司);氢氧化钾(分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司);乙腈(色谱级,赛默飞世尔科技有限公司);娃哈哈纯净水。

### 1.2 仪器

高速中药粉碎机(瑞安市永历制药机械有限公司,型号:111B,400 W,220 V/50 Hz,25 000 r/min);高效液相色谱仪(岛津 LC-20AT, Waters 600E 和 Agilent 1260, UV 检测器);万分之一天平(METTLER TOLEDO,型号:ME204);十万分之一天平(SHIMADZU,型号:AUV220D);离心机(Cence 湘仪,型号:TDZ5-WS);电热恒温水浴锅(北京市光明医疗仪器公司,型号:XMTD-7000);超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司,型号 KQ-500E);鼓风干燥箱(上海福玛实验设备有限公司,型号 DGX-9143B);分析型色谱柱(Waters Atlantis T3 C<sub>18</sub>:4.6 mm × 250 mm, 5 μm; Waters Sunfire C<sub>18</sub>:4.6 mm × 250 mm, 5 μm; Waters X-Bridge C<sub>18</sub>:4.6 mm × 150 mm, 3.5 μm)。

### 1.3 嘌呤标准液的配制

取黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤适量,精密称定,加甲醇分别制成 120 μg/mL 的溶液,作为储备液。精密量取黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤储备液适量,以甲醇稀释,制得每毫升含 0.05、0.50、5.00、20.00、30.00 μg/mL 黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤的标准液。

### 1.4 供试品制备

赤松茸 3 批,烘干后,分别取完整菌株、菌盖、菌柄,适量,粉碎,过 100 目筛,各称取 0.2 g,置于 50 mL 圆瓶烧瓶中,加入 10 mL 70% 高氯酸,采用 100 °C 水浴加热回流的方法水解 30 min 后,置于冰水浴中冷却,再用 10 mL/L 的 KOH 的水溶液调至中性,滤纸真空过滤后,在滤液中加入 1 mol/L 的磷酸调 pH 至 3.8,3 600 r/min 离心 10 min,取上清液,用纯化水定容至 50 mL 棕色容量瓶中,保存于 4 °C 冰箱中备用。

### 1.5 系统适应性实验

取对照品溶液、供试品溶液进样分析,液相图谱见图 2 和图 3。各待测组分分离效果良好(分离度 > 1.5),拖尾因子在 0.96 ~ 1.17,理论塔板数以各色谱峰计均在 5 000 以上。

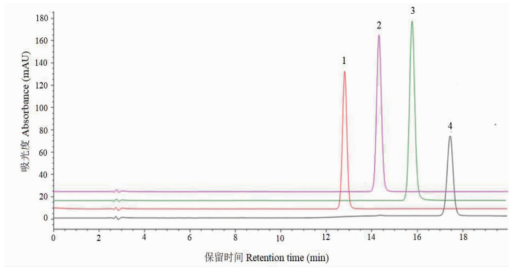


图2 嘌呤标准品的液相色谱图

Fig. 2 HPLC chromatogram of purine standard

注:1. 鸟嘌呤;2. 次黄嘌呤;3. 腺嘌呤;4. 黄嘌呤,下同。Note:1. Guanine;2. Hypoxanthine;3. Adenine;4. Xanthine, the same below.

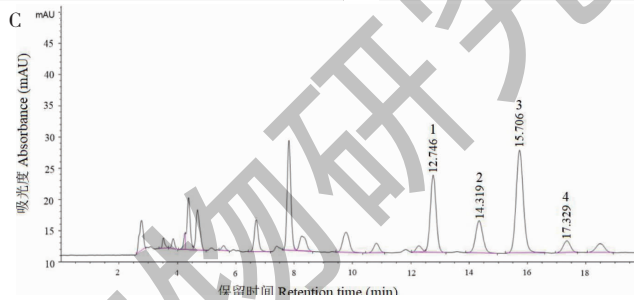
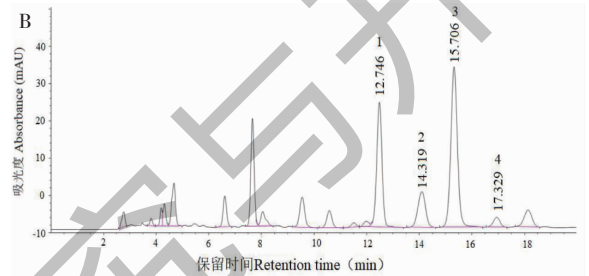
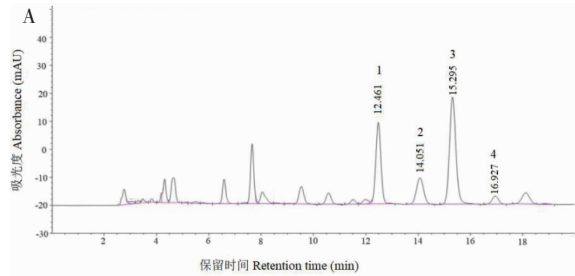


图3 赤松茸菌柄样品液相色谱图

Fig. 3 HPLC chromatogram of *S. rugosoannulata* samples

注:A. 完整菌株;B. 菌盖;C. 菌柄。Note: A. Intact strain; B. Cap; C. Stipe.

进样,进行 HPLC 含量测定,并分别计算 4 种嘌呤色谱峰面积的 RSD 值。

#### 1.6.4 加样回收率试验

赤松茸完整菌株粉末(过四号筛)约 0.25 g,精密称定,置于具塞锥形瓶中,分别添加 4 种浓度为 0.5 mg/mL 的嘌呤标准液 0.1、0.2、0.3 mL,按照“1.3”的步骤操作,每个浓度进行 5 个平行试验,分

## 1.6 方法学考察

### 1.6.1 校准曲线及其线性回归

以嘌呤标准品的浓度为横坐标,色谱峰面积为纵坐标,绘制标准曲线,拟合线性回归方程,并计算线性相关系数( $r$ )和线性最低浓度信噪比(S/N)。

### 1.6.2 精密度试验

所有批次赤松茸完整菌株干品样品,按照“1.4”方法制备供试品,按照“1.3”的色谱条件,分别重复测定 6 次,对检测方法的精密度进行试验。

### 1.6.3 稳定性试验

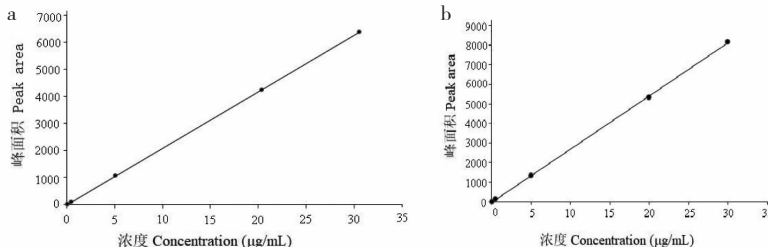
取同一供试品溶液,分别在 0、2、4、8、12、24 h

别计算加样回收率。

## 2 结果与分析

### 2.1 线性方程

结果显示,在 0.05 ~ 30.00  $\mu\text{g/mL}$  线性范围(标准曲线见图 4)内,4 种嘌呤得到完全分离(四种嘌呤液相色谱图见图 2),线性最低浓度信噪比(S/N)均大于 10,线性关系详细结果见表 1。



续图 4(Continued Fig.4)

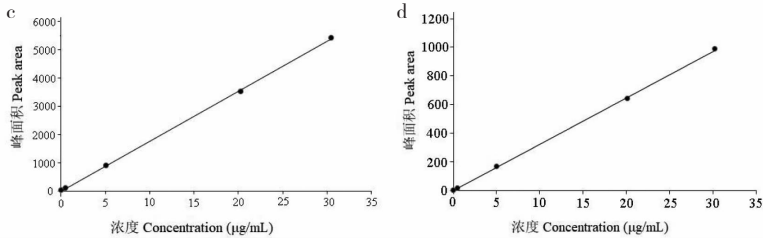


图4 四种嘌呤的标准曲线

Fig. 4 Standard curve of the four purines

注:a. 黄嘌呤;b. 鸟嘌呤;c. 腺嘌呤;d. 次黄嘌呤。Note:1. Xanthine;2. Guanin;3. Adenine;4. Hypoxanthine.

## 2.2 精密度试验

RSD 平均 < 3.0%, 说明精密度良好。

结果见表2, 同一样品在平行测定6次, 结果

表1 四种嘌呤的线性关系

Table 1 Linear relationship of four purines

嘌呤种类 Purine type	线性方程 Linearequation	相关系数 Relatedcoefficient	线性范围 Linearrange(µg/mL)
黄嘌呤 Xanthine	$y = 188.3x + 0.1107$	$r = 1$	0.05 ~ 30.00
鸟嘌呤 Guanine	$y = 261.47x - 9.6345$	$r = 0.9999$	0.05 ~ 30.00
腺嘌呤 Adenine	$y = 160.47x - 11.204$	$r = 0.9999$	0.05 ~ 30.00
次黄嘌呤 Hypoxanthine	$y = 28.971x - 0.492$	$r = 0.9998$	0.05 ~ 30.00

表2 赤松茸完整菌株嘌呤测定精密度试验结果

Table 2 Precision test results of purines determination of intact strains of *S. rugosoannulata*

序号 No.	样品质量 Sample mass(g)	含量 Content(µg/mL)			
		黄嘌呤 Xanthine	鸟嘌呤 Guanin	腺嘌呤 Adenine	次黄嘌呤 Hypoxanthine
1	0.1967	553.88	2478.18	2487.22	3398.16
2	0.2008	591.16	2485.98	2430.90	3268.66
3	0.2043	577.65	2554.08	2452.49	3390.34
4	0.2037	585.32	2626.79	2510.13	3359.72
5	0.2031	579.63	2594.53	2572.05	3400.71
6	0.2080	588.79	2589.39	2489.64	3389.57
平均值 Average value		579.41	2554.83	2490.40	3367.86
RSD(%)		2.13	2.18	2.18	1.38

## 2.3 稳定性试验

结果黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤的色谱峰面积 RSD 分别为 1.11%、1.43%、1.341%、1.03%、0.96%、2.55% ( $n=6$ ), 以腺嘌呤的保留时间和峰面积为参照, 各共有峰相对保留时间和相对峰面积 RSD 均 < 3%, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

## 2.4 加样回收率试验

结果见表3, 结果显示四种嘌呤的平均回收率在 98.91% ~ 101.23% 之间, 表明本方法的准确度良好。

## 2.5 一测多评法测定4种嘌呤的含量

### 2.5.1 相对校正因子( $f$ )的计算

以腺嘌呤作为内参物, 按公式  $f_{s/x} = f_s/f_x = (A_s/C_s)/(A_x/C_x)$  计算, 式中  $f_{s/x}$  为腺嘌呤与嘌呤  $x$  的相对校正因子,  $A_s$  为腺嘌呤色谱峰峰面积,  $C_s$  为腺嘌呤浓度,  $A_x$  为其化嘌呤  $x$  的色谱峰峰面积,  $C_x$  为其他嘌呤  $x$  的浓度。精密吸取不同质量浓度混合对照品溶液 10 µL 进样测定, 计算黄嘌呤、鸟嘌呤、和次黄嘌呤的  $f$  值, 结果显示黄嘌呤、鸟嘌呤和次黄嘌呤相对于腺嘌呤的平均  $f$  分别为 0.826、0.595 和 5.213,

表3 赤松茸完整菌株嘌呤测定稳定性试验结果

Table 3 Purine stability test result of intact strain of *S. rugosoannulata*

添加量 Addition amount	平均回收率 Average recovery(%)			
	黄嘌呤 Xanthine	鸟嘌呤 Guanin	腺嘌呤 Adenine	次黄嘌呤 Hypoxanthine
0.1 mL	99.36	99.41	99.43	99.89
0.2 mL	100.23	100.31	100.29	98.91
0.3 mL	101.23	101.89	101.35	98.99

RSD 分别为 1.31%、1.21% 和 1.03%。

### 2.5.2 高效液相色谱仪及色谱柱耐用性考察

考察了 2 套色谱系统(岛津 LC-20AT, Waters 600E 和 Agilent 1260)及不同色谱柱(Waters Atlantis

T3 C<sub>18</sub>、Waters Sunfire C<sub>18</sub>、Waters X-Bridge C<sub>18</sub>)对校正因子的影响,结果 RSD 均小于 5%,表明相对校正因子在不同色谱系统和不同色谱柱下耐用性良好(见表 4)。

表 4 应用不同色谱柱和色谱仪器所测定嘌呤成分的  $f$  值Table 4 The  $f$  values of purines determined by different chromatographic columns and chromatographic instruments

仪器 Instrument	色谱柱 Chromatographic column	相对校正因子 $f$ Relative correction factor $f$		
		黄嘌呤 Xanthine	鸟嘌呤 Guanin	次黄嘌呤 Hypoxanthine
LC-20AT	Waters Atlantis T3 C <sub>18</sub>	0.846	0.607	5.243
	Waters Sunfire C <sub>18</sub>	0.831	0.587	5.231
	Waters XBridge C <sub>18</sub>	0.835	0.596	5.210
Agilent 1260	Waters Atlantis T3 C <sub>18</sub>	0.826	0.595	5.213
	Waters Sunfire C <sub>18</sub>	0.817	0.625	5.182
	Waters XBridge C <sub>18</sub>	0.838	0.586	5.235
	平均值 Average value	0.832	0.599	5.219
	相对标准偏差 RSD(%)	1.00	1.47	2.22

### 2.5.3 嘌呤色谱峰的定位

按公式  $t_{Rx} = t_x / t_s$  (其中  $t_{Rx}$  表示待测嘌呤  $x$  色谱峰的保留时间与腺嘌呤色谱峰保留时间的比值,即待测嘌呤  $x$  的相对保留时间; $t_x$  表示待测嘌呤  $x$  色谱峰的保留时间; $t_s$  表示腺嘌呤色谱峰的保留时

间),计算在三种色谱仪器或三种不同色谱柱中黄嘌呤、鸟嘌呤和次黄嘌呤成分色谱峰与腺嘌呤色谱峰的相对保留时间,对各待测成分进行定位。结果表明相对保留时间的波动较小,其 RSD 均小于 3%(见表 5)。

表 5 应用不同色谱柱和色谱仪器所测定嘌呤成分的  $t_{Rx}$  值Table 5 The  $t_{Rx}$  values of purine components determined by different chromatographic columns and chromatographic instruments

仪器 Instrument	色谱柱 Chromatographic column	$t_{Rx}$		
		黄嘌呤 Xanthine	鸟嘌呤 Guanin	次黄嘌呤 Hypoxanthine
LC-20AT	Waters Atlantis T3 C <sub>18</sub>	0.806	0.902	1.126
	Waters Sunfire C <sub>18</sub>	0.843	0.935	1.117
	Waters XBridge C <sub>18</sub>	0.819	0.910	1.121
Agilent 1260	Waters Atlantis T3 C <sub>18</sub>	0.836	0.921	1.106

续表5(Continued Tab. 5)

仪器 Instrument	色谱柱 Chromatographic column	$t_{R_x}$		
		黄嘌呤 Xanthine	鸟嘌呤 Guanin	次黄嘌呤 Hypoxanthine
	Waters Sunfire C <sub>18</sub>	0.783	0.948	1.160
	Waters XBridge C <sub>18</sub>	0.823	0.919	1.180
	平均值 Average value	0.818	0.932	1.135
	相对标准偏差 RSD(%)	1.98	1.52	2.61

#### 2.5.4 一测多评法与外标法测定结果比较

采用一测多评和外标法分别对3批赤松茸菌株、菌盖、菌柄样品中黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤含量进行测定,其中一测多评法中供试品溶液含有嘌呤的浓度按公式  $C_x = f_{s/x} \cdot A_x \cdot C_s / A_s$  计算,

两种方法测定结果见表6~8。将两种方法测定结果经  $t$  检验,  $P$  大于0.05,说明两种方法计算所得的结果不存在显著性差异,且一测多评法较外标法更为简便、易操作、低成本,在赤松茸样品中嘌呤的质量控制中是可行的。

表6 两种方法对不同批次赤松茸菌株中4种嘌呤含量测定结果( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )Table 6 Determination results of four purines in different batches of *S. rugosoannulata* strains by two methods ( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )

编号 No.	腺嘌呤 Adenine		黄嘌呤 Xanthine		鸟嘌呤 Guanin		次黄嘌呤 Hypoxanthine	
	a	b	a	b	a	b	a	b
S1	2 987.22	552.16	553.01	3 061.22	3 058.61	4 877.94	4 888.177	
S2	2 430.90	591.17	590.23	2 394.49	2 392.45	3 634.58	3 642.203	
S3	1 572.05	633.87	632.86	1 535.85	1 534.54	1 914.29	1 918.309	

注:a. 外标法;b. 一测多评法;RSD < 2%,下同。

Note:a. External standard method;b. One test and multiple evaluation method;RSD < 2%, the same below.

表7 两种方法对不同批次赤松茸菌盖中4种嘌呤含量测定结果( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )Table 7 Determination results of four purines in different batches of *S. rugosoannulata* cap by two methods ( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )

编号 No.	腺嘌呤 Adenine		黄嘌呤 Xanthine		鸟嘌呤 Guanin		次黄嘌呤 Hypoxanthine	
	a	b	a	b	a	b	a	b
S1	244.20	501.80	499.96	3 610.09	3 599.56	5 370.08	5 328.92	
S2	253.20	630.21	627.91	3 503.07	3 492.85	5 775.02	5 730.76	
S3	247.70	506.29	504.44	3 630.17	3 619.59	5 577.62	5 534.87	

表8 两种方法对不同批次赤松茸菌柄中4种嘌呤含量测定结果( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )Table 8 Determination results of four purines in different batches of *S. rugosoannulata* stipes by two methods ( $n = 3, \mu\text{g/mL}$ )

编号 No.	腺嘌呤 Adenine		黄嘌呤 Xanthine		鸟嘌呤 Guanin		次黄嘌呤 Hypoxanthine	
	a	b	a	b	a	b	a	b
S1	1 374.88	383.34	381.80	1 234.60	1 234.30	1 093.10	1 074.14	
S2	1 642.11	279.01	277.89	1 425.21	1 424.87	1 148.04	1 128.12	
S3	1 378.24	458.92	457.07	1 232.15	1 231.86	1 122.81	1 103.33	

### 3 结论

黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤、次黄嘌呤这四种嘌呤结构式相近,极性都很大,且在赤松茸中的含量很低,常规的色谱方法很难实现四者的基线分离。目前还没有针对赤松茸及其衍生物中嘌呤类成分的检

测方法和质量控制方法见诸报道。其它食用菌虽然有嘌呤含量的检测方法,但多存在样品前处理方法繁琐、检测操作过程复杂等缺陷。同时针对每一种嘌呤都需要与其相同的高纯度标准品,而符合含量测定的高纯度标准品很难获得,因此检测成本很高。

本研究公开了一种基于 HPLC 法同时测定赤松茸及其衍生物中黄嘌呤、鸟嘌呤、腺嘌呤和次黄嘌呤定性定量检测的技术方法,通过 HPLC-UV 联用检测技术,建立了一测多评含量测定的方法,实现了仅采用其中一种嘌呤标准品,便捷地同时对赤松茸及其衍生物供试样品中具有代表性的四个嘌呤成分的定性定量测定。本研究所提供的检测方法操作简单,灵敏度高,只需要一种标准品,降低了标准品成本,简化了实验步骤,能够准确地评价赤松茸产品的品质。针对目前还没有定性定量检测赤松茸及其相关产品中嘌呤类物质的方法的现状,本研究可以用于赤松茸的鉴别与质量控制,对赤松茸的研究与产业发展具有重要的意义。

### 参考文献

- Li WG. Industrialized production of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Protect For Sci Techbol (防护林科技), 2017(11): 100-101.
- Chen JS, Wong MJ, Lai PF, et al. Distribution of *Stropharia rugosoannulata* polysaccharides molecular weight and component sugar [J]. Sci Agric Sin (中国农业科学), 2011, 44: 2109-2117.
- Wu YL, Feng WY, Zhang LY, et al. Extraction of polysaccharide from *Stropharia rugosoannulata* and its effect on immunity of mice [J]. Food Nutri China (中国食物与营养), 2020, 26(10): 50-53.
- Zhai X, Zhao A, Geng L, et al. Fermentation characteristics and hypoglycemic activity of an exopolysaccharide produced by submerged culture of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Ann Microbiol, 2013, 63: 1013-1020.
- Ying L, Cfh B, Xi FC, et al. Isolation, characterization and antioxidant of polysaccharides from *Stropharia rugosoannulata* [J]. Int J Biol Macromo, 2020, 155: 883-889.
- He P, Geng L, Wang J, et al. Production, purification, molecular characterization and bioactivities of exopolysaccharides produced by the wine cap culinary-medicinal mushroom, *Stropharia rugosoannulata* 2# (higher basidiomycetes) [J]. Int J Med Mush, 2012, 14: 365-376.
- Wu J, Fushimi K, Tokuyama S, et al. Functional-Food Constituents in the fruiting bodies of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Biosci Biotech Bioch, 2011, 75: 1631-1634.
- Wu J, Kobori H, Kawaide M, et al. Isolation of bioactive steroids from the *Stropharia rugosoannulata* mushroom and absolute configuration of strophasterol B [J]. Biosci Biotech Bioch, 2013, 77: 1779-1781.
- Wu J, Suzuki T, Choi JH, et al. An unusual sterol from the mushroom *Stropharia rugosoannulata* [J]. Tetrahedron Lett, 2013, 54: 4900-4902.
- Wu J, Tokuyama S, Nagai K, et al. Strophasterols A to D with an unprecedented steroid skeleton from the mushroom *Stropharia rugosoannulata* [J]. Angew Chem Int Ed, 2012, 51: 10820-10822.
- Yan, QX, Huang MX, Sun P, et al. Steroids, fatty acids and ceramide from the mushroom *Stropharia rugosoannulata* farlow apud murrill [J]. Biochem Syst Ecol, 2020, 88: 103963.
- Li JL, Wang SL, Luo GQ, et al. Determination of main nutritional components of *Pleurotus ostreatus* in three bases of Guizhou Province [J]. China Food Safe Mag (食品安全导刊), 2020, 289(30): 128-129.
- Zhang, W, Tian G, Geng X, et al. Isolation and characterization of a novel lectin from the edible mushroom *Stropharia rugosoannulata* [J]. Molecules, 2014, 19: 19880-19891.
- Miao YZ, Ma JB, Jia L, et al. The antioxidant activity determination of seplysaccharide from *Stropharia rugosoannulata* SQ-01 *in vivo* [J]. Biotech Bull (生物技术通报), 2009 (S1): 181-183.
- Chen XW, Zhan W, Tao MX, et al. Analysis of nutritional components and antioxidant substances of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Edible Fungi (食用菌), 2007, 29(6): 62-63.
- Wang H, Chen H, Zhang JJ, et al. Research progresses on bioactive components in *Stropharia rugosoannulata* and their pharmacological effects [J]. Acta Edulis Fungi (食用菌学报), 2018, 25(4): 115-120.
- Liu J, Min DQ, Tang KL, et al. Research status and development prospect of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Hunan Agric Sci (湖南农业科学), 2021(6): 113-117.
- Rong SZ, Ye HT, Guan HJ, et al. Analysis on purine in different kinds of fresh fungi and dried fungi [J]. Food Nutri China (中国食物与营养), 2014, 20(3): 62-64.
- Wang J, Zhang L. Progress in drug treatment of hyperuricemia [J]. Clin Med J (临床药物治疗杂志), 2021, 19(5): 32-35.
- Ren HY, Xing AP, Ru JL. Progress in research on uric acid metabolism pathway [J]. J Clin Nephrol (临床肾脏病杂志), 2019, 19: 935-937.
- Liu P, Jin J, Meng XY, et al. Research progress on relationship between hyperuricemia and its therapeutic drugs and kidney diseases [J]. Eval Res (药物评价研究), 2021, 44: 2013-2019.
- Wu F, Wang L, Li HT, et al. Progress in hyperuricemia model establishment and uric acid-lowering drugs [J]. Chin J Pathophysiol (中国病理生理杂志), 2021, 37: 1283-1294.