

文章编号:1000-8551(2019)01-0096-07

12 株侧耳属食用菌菌丝中主要营养成分分析

殷朝敏¹ 范秀芝¹ 刘纯友² 史德芳¹ 高虹^{1,*}⁽¹湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/国家食用菌加工技术研发分中心,湖北 武汉 430064;²广西科技大学生物与化学工程学院,广西 柳州 545006)

摘要:为探究湖北省侧耳属食用菌常见栽培种的主要营养成分,采用常规方法测定了 12 株侧耳属食用菌菌丝中灰分、粗蛋白、粗脂肪和总糖的含量,利用高效液相色谱法测定了菌丝中洛伐他汀和麦角硫因的含量。结果表明,食用菌菌丝中灰分含量为 3.81%~6.65%,粗蛋白含量为 11.18%~21.4%,粗脂肪含量为 0.65%~3.45%,总糖含量为 15.18%~24.70%,洛伐他汀含量为 12.94~42.10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,麦角硫因含量为 13.59~61.25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。菌株 P380 菌丝中洛伐他汀和麦角硫因的相对含量较高,分别为 42.10、51.70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,表明菌株 P380 可能是洛伐他汀和麦角硫因合成的优势菌株。本研究结果为后期生物活性物质富集培养基的筛选及侧耳属食用菌生物活性物质的合理开发与利用奠定了基础。

关键词:侧耳属食用菌;洛伐他汀;麦角硫因;高效液相色谱

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2019.01.0096

侧耳属 (*Pleurotus*) 食用菌隶属于担子菌门 (Basidiomycota) 伞菌纲 (Agaricomycetes) 伞菌目 (Agaricales) 侧耳科 (Pleurotaceae), 是世界第二大人工栽培的食用菌^[1-2]。侧耳属食用菌不仅肉质脆嫩、味道鲜美,还含有丰富的生物活性物质,如多糖^[3-4]、甾体类化合物^[5]、洛伐他汀^[6]和麦角硫因^[7-8]等。研究表明,洛伐他汀能显著降低人体血液中胆固醇的含量,而麦角硫因抗氧化活性强,具有提高机体免疫力、延缓衰老等功效,二者已引起人们的极大关注^[9]。

洛伐他汀是一种次级代谢产物,主要存在于侧耳属 (*Pleurotus*)、红曲霉 (*Monascus ruber*)、土曲霉 (*Aspergillus terreus*) 等真菌中^[10-12]。研究发现洛伐他汀化学结构中开环羧基部分与 3-羟基-3-甲基-戊二酰辅酶 A (HMG-CoA) 的化学结构十分相似^[11]。目前,洛伐他汀已被用于高血脂等疾病的治疗。在胆固醇合成的早期阶段,洛伐他汀可以竞争性地抑制胆固醇生物合成限速酶——HMG-CoA 还原酶,继而抑制内源性胆固醇合成,调节体内异常血脂的生成^[13]。麦角硫因 (巯基组氨酸三甲基内盐) 是一种天然的氨基酸类强抗氧化剂,具有抗氧化、清除自由基、螯合金属离子、调节细胞

内的氧化还原反应等多种功能^[14-15],是机体内的重要活性物质。麦角硫广泛存在于豆类及动物的肝、肾等器官中,而在人和动物体内不能由机体自身合成,只能从食物中摄取^[14,16]。研究表明,某些真菌、放线菌和蓝细菌能够通过自身代谢合成麦角硫因^[17]。

为探究湖北省侧耳属食用菌常见栽培种的主要营养成分,利用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC) 测定了 12 株侧耳属菌丝中洛伐他汀和麦角硫因的含量,并用常规方法测定了菌丝中灰分、粗蛋白、粗脂肪和总糖的含量,以期侧耳属食用菌生物活性物质的合理开发与利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

侧耳属菌种:糙皮侧耳 (*Pleurotus ostreatus*) P650、糙皮侧耳 P712、糙皮侧耳 P615、糙皮侧耳 P380、糙皮侧耳 P49、糙皮侧耳 P6、糙皮侧耳 P803、糙皮侧耳 PH2、糙皮侧耳 P03;淡红侧耳 (*Pleurotus djamor*) P719;

收稿日期:2017-08-18 接受日期:2017-12-22

基金项目:湖北省农业科学院青年基金(2017NKyj04),湖北省农业科学院竞争性科技计划项目(2016jzjh016),食用菌集约化栽培及精加工技术开发项目(201603D21106)

作者简介:殷朝敏,男,助理研究员,主要从事食用菌活性物质代谢调控研究。E-mail: yinchaomin@163.com

* **通讯作者:**高虹,男,研究员,主要从事生物活性物质开发研究。E-mail: highong@163.com

姬菇 (*Pleurotus cornucopiae*) P51; 杏鲍菇 (*Pleurotus eryngii*) P30, 侧耳属菌种保存于湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所功能食品实验室。

试验前将侧耳属菌种接种至马铃薯琼脂培养基上, 25℃ 恒温静置培养数天, 待白色菌丝铺满整个平板, 用小勺刮下菌丝体, 冻干后粉碎, 过 80 目筛后保存于 4℃ 冰箱中备用。

1.2 主要试剂与仪器

洛伐他汀(纯度 ≥ 98%)、麦角硫因(纯度 ≥ 98%) 标准品, 上海金穗生物科技有限公司; 色谱级乙腈, 上海霍尼韦尔公司; 纯净水, 杭州娃哈哈集团有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

LC-20AT 高效液相色谱仪(自配 SIL-20A 自动进样器、SPD-M20A 二极管阵列检测器), 日本岛津公司; Inert-Sustain C18 色谱柱, 广州菲罗门科学仪器有限公司; UV1800 紫外可见分光光度计, 岛津企业管理(中国)有限公司; LX-300 型冷却水循环机, 北京长流科学仪器有限公司; HH-2 数字显示恒温水浴锅, 常州市国华仪器有限公司; KQ5200E 超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 标准曲线的绘制 精密称取洛伐他汀、麦角硫因标准品, 置于 100 mL 棕色容量瓶中, 用色谱级甲醇定容, 摇匀, 即得洛伐他汀(浓度为 200 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 和麦角硫因标准品(浓度为 100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 贮存液, 4℃ 条件下保存备用。分别吸取上述两种贮存液配置成 2、5、10、20、50 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 等不同浓度的标准液。0.45 μm 微孔滤膜过滤后各取 20 μL 进样, 以标准品质量浓度 x ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 为横坐标, 标准品峰面积 y 为纵坐标绘制标准溶液曲线。

1.3.2 样品溶液制备 参考 Chen 等^[18] 的方法并略作改动。精密称取侧耳属食用菌样品粉末 2 g, 加入 15 mL 75% 乙醇, 搅拌均匀后 450 W 超声处理 50 min, 然后 5 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min, 取上清液用 75% 乙醇定容至 20 mL, 0.45 μm 微孔滤膜过滤后获得洛伐他汀和麦角硫因的供试溶液。

1.3.3 色谱条件 洛伐他汀测定条件参考 Chen 等^[18] 的方法; 麦角硫因测定条件参考 Lin 等^[19] 的方法。试验所用色谱柱为 Inert-Sustain C18 色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm); 流动相: 乙腈-水[洛伐他汀 70:30(v/v); 麦角硫因 3:97(v/v)]; 流速 1.0 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 洛伐他汀检测波长 238 nm, 麦角硫因检测波长 254 nm; 检测时间 15 min; 柱温 30℃; 进样量 20 μL 。

1.3.4 样品中水分含量的测定 精密称取样品粉末

0.5 g, 平铺于干燥的扁形称量瓶中, 打开瓶盖在 100~105℃ 干燥 3 h, 然后将瓶盖盖好, 移置干燥器中冷却 30 min, 精密称量, 再于上述温度条件下干燥 1 h, 冷却称重, 至连续 2 次称重的差异不超过 5 mg 为止, 根据减失的重量, 计算样品中的水分含量。

1.3.5 洛伐他汀和麦角硫因含量的计算 依照上述方法测定各供试样品中水分含量及洛伐他汀、麦角硫因的浓度, 按照公式计算各样品中洛伐他汀和麦角硫因的含量:

$$\text{洛伐他汀和麦角硫因的含量} (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{C \times V}{M \times (1 - W)}$$

式中, C: 供试品中洛伐他汀/麦角硫因的浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$); M: 样品的质量 (g); V: 样品溶液体积 (20 mL); W: 样品的水分含量 (%)。

1.3.6 方法学验证

1.3.6.1 精密度试验 分别吸取质量浓度为 20 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的洛伐他汀和麦角硫因标准品溶液, 设定进样量 20 μL , 重复进样 5 次, 测定色谱峰面积, 计算相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD) 值。

1.3.6.2 重复性试验 称取糙皮侧耳 P380 菌丝样品 5 份, 每份 2 g, 按照 1.3.2 所述方法制备待测溶液, 按照 1.3.3 方法测定洛伐他汀和麦角硫因的含量并计算 RSD 值。

1.3.6.3 稳定性试验 称取糙皮侧耳 P380 菌丝样品 2 g, 按照 1.3.2 所述方法制备待测溶液, 分别于 0、2、4、6、8、12 h 后进样测定色谱峰面积, 计算 RSD 值。

1.3.6.4 加标回收试验 取已知洛伐他汀和麦角硫因含量的糙皮侧耳 P380 菌丝样品 2 份, 每份 2 g, 分别加入相当于样品中洛伐他汀和麦角硫因含量 80%、100%、120% 的标准品溶液, 按照 1.3.2 所述方法制备待测溶液, 按照 1.3.3 所述方法测定洛伐他汀和麦角硫因的含量。

1.3.7 样品常规指标的测定 侧耳属食用菌菌丝中灰分的测定参照国标 GB 5009.4-2016^[20] 的测定方法; 菌丝中总糖的测定参照国标 GB/T 15672-2009^[21] 的测定方法; 菌丝中粗蛋白的测定参照国标 GB/T 15673-2009^[22] 的测定方法; 菌丝中粗脂肪的测定参照国标 GB/T 15674-2009^[23] 的测定方法。

2 结果与分析

2.1 洛伐他汀和麦角硫因标准曲线的绘制

以峰面积 y 对标准品的质量浓度 x ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 进

行线性回归^[24],绘制洛伐他汀、麦角硫因标准品的标准曲线。由图 1 可知,洛伐他汀、麦角硫因浓度在 2~50 μg·mL⁻¹ 范围内与峰面积相关性均较好,其标准曲线方程分别为 $y=59\,879x+2\,112.5$ ($R^2=0.999\,9$) 和 $y=59\,190x-101\,040$ ($R^2=0.999\,1$)。

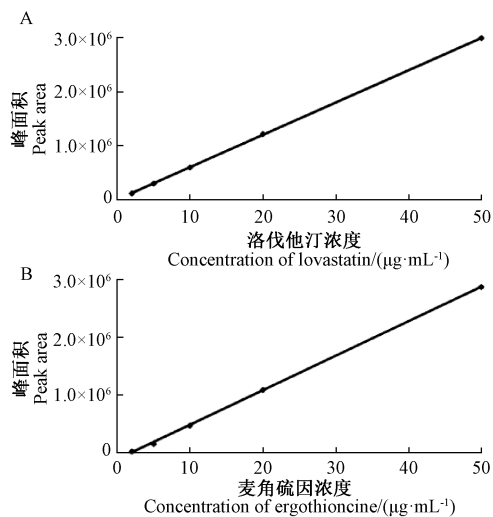


图 1 洛伐他汀 (A) 及麦角硫因 (B) 标准品的标准曲线图
Fig.1 Standard curve of lovastatin (A) and ergothioneine (B)

2.2 方法学考察

2.2.1 试验仪器精密度分析 由表 1 可知,连续进样 5 次,洛伐他汀和麦角硫因峰面积的 RSD 值分别为 0.41% 和 0.36%,表明在设定的色谱条件下仪器精密度良好。

表 1 方法的精密度试验结果

Table 1 Precision results of the methods		
编号 Number	洛伐他汀峰面积 Peak area of lovastatin	麦角硫因峰面积 Peak area of ergothioneine
1	598 879	465 923
2	601 896	466 749
3	596 442	464 829
4	599 912	469 112
5	595 945	467 945
平均值 Average value	598 614.80	466 911.60
相对标准偏差 RSD/%	0.41	0.36

2.2.2 试验方法重现性分析 由表 2 可知,样品糙皮侧耳 P380 中洛伐他汀和麦角硫因平均含量分别为 42.00 μg·g⁻¹ 和 52.25 μg·g⁻¹,RSD 值分别为 2.13% 和 1.69%,表明该方法重现性良好。

表 2 方法的重现性试验结果

Table 2 Repeatability results of the methods		
编号 Number	洛伐他汀含量 Lovastatin content /(μg·g ⁻¹)	麦角硫因含量 Ergothioneine content/(μg·g ⁻¹)
1	42.30	51.70
2	41.70	52.40
3	42.90	53.30
4	42.50	52.78
5	40.60	51.06
平均值 Average value	42.00	52.25
相对标准偏差 RSD/%	2.13	1.69

2.2.3 试验方法的稳定性分析 由表 3 可知,样品溶液放置不同时间后,洛伐他汀和麦角硫因峰面积的 RSD 值分别为 1.57% 和 2.03%,表明在 12 h 内供试样品溶液稳定性良好。

表 3 方法的稳定性试验结果

Table 3 Stability results of the methods		
编号 Number	洛伐他汀峰面积 Peak area of lovastatin	麦角硫因峰面积 Peak area of ergothioneine
1	251 760	209 070
2	259 047	210 248
3	262 038	200 515
4	258 840	206 897
5	254 743	202 569
平均值 Average value	257 285.60	205 859.80
相对标准偏差 RSD/%	1.57	2.03

2.2.4 加标回收试验 由表 4 可知,洛伐他汀的平均加标回收率为 98.35%,RSD 值为 0.84%,样品加标回收率在 97.08%~99.63% 之间;麦角硫因的平均加标回收率为 98.54%,RSD 值为 0.74%,样品加标回收率在 97.62%~100.10% 之间,表明试验采用的 HPLC 法准确度良好。

2.3 侧耳属食用菌主要成分分析

由表 5 可知,12 株侧耳属菌丝中灰分含量最高的是 P615(6.65%),含量最低的是 P712(3.81%),其他菌丝灰分含量在 4.13%~6.11% 之间。况丹^[25] 和韩志平等^[26] 分别测得平菇灰分为 6.40% 和 7.78%,与本试验结果差别不大。12 株侧耳属菌丝中粗蛋白含量为 11.18%~21.40%,其中 PH2 的粗蛋白含量最高(21.40%),其次是 P49(20.58%)、P380(19.89%) 和

表 4 样品加标回收率试验结果

Table 4 Adding standard recovery results of lovastatin and ergothioneine

供试样品 Sample	样品量 Sample content /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	标准品加入量 Standard addition/ μg	测定值 Measured value/ μg	回收率 Recovery rate/%	平均回收率 Average recovery rate/%	相对标准 偏差 RSD/%
洛伐他汀 Lovastatin	83.384 2	60.000 0	139.202 8	97.08	98.35	0.84
		60.000 0	142.101 3	99.11		
		60.000 0	141.182 3	98.46		
	84.596 6	80.000 0	162.201 3	98.54		
		80.000 0	160.025 6	97.22		
		80.000 0	162.452 1	98.70		
	84.992 2	100.000 0	184.305 6	99.63		
		100.000 0	182.236 8	98.51		
		100.000 0	181.123 6	97.91		
麦角硫因 Ergothioneine	103.397 3	80.000 0	181.982 6	99.23	98.54	0.74
		80.000 0	180.687 5	98.52		
		80.000 0	179.992 5	98.14		
	104.784 8	100.000 0	201.982 5	98.63		
		100.000 0	204.992 3	100.10		
		100.000 0	200.656 8	97.98		
	105.567 0	120.000 0	221.654 9	98.27		
		120.000 0	220.198 6	97.62		
		120.000 0	221.892 3	98.37		

P615(19.27%),这4株菌丝中粗蛋白含量均高于况丹^[25]的测定结果(19.08%)。12株侧耳属菌丝中粗脂肪的含量为0.65%~3.45%,况丹^[25]测定平菇中粗脂肪为1.71%,于士军等^[27]测定平菇中粗脂肪为2.28%,这表明粗脂肪含量可能与菌株有关。12株侧耳属菌丝中总糖含量为15.18%~24.70%,显著低于香菇(32.40%)、金针菇(47.89%)和杏鲍菇(52.1%)等^[25]。

由图2可知,供试样品中洛伐他汀、麦角硫因各自的出峰时间与标准品出峰时间接近,附近不存在干扰峰,分离度良好,检测结果准确可靠。由表5可知,12株侧耳属菌丝均含有洛伐他汀(12.94~42.10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和麦角硫因(13.59~61.25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),但不同菌株菌丝中洛伐他汀和麦角硫因的含量差异较大,这表明洛伐他汀和麦角硫因的含量与菌种有较大关系。糙皮侧耳P380菌丝中洛伐他汀含量最高(42.10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),P6菌丝中洛伐他汀含量最低(12.94 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),二者相差3倍以上。麦角硫因含量最高的是P49菌丝(61.25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),其次是P380菌丝(51.70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)。Chen等^[18]测定了不同食药菌菌丝中洛伐他汀和麦角硫

因的含量,发现不同菌种中洛伐他汀和麦角硫因含量差距较大,这与本研究结果相一致。

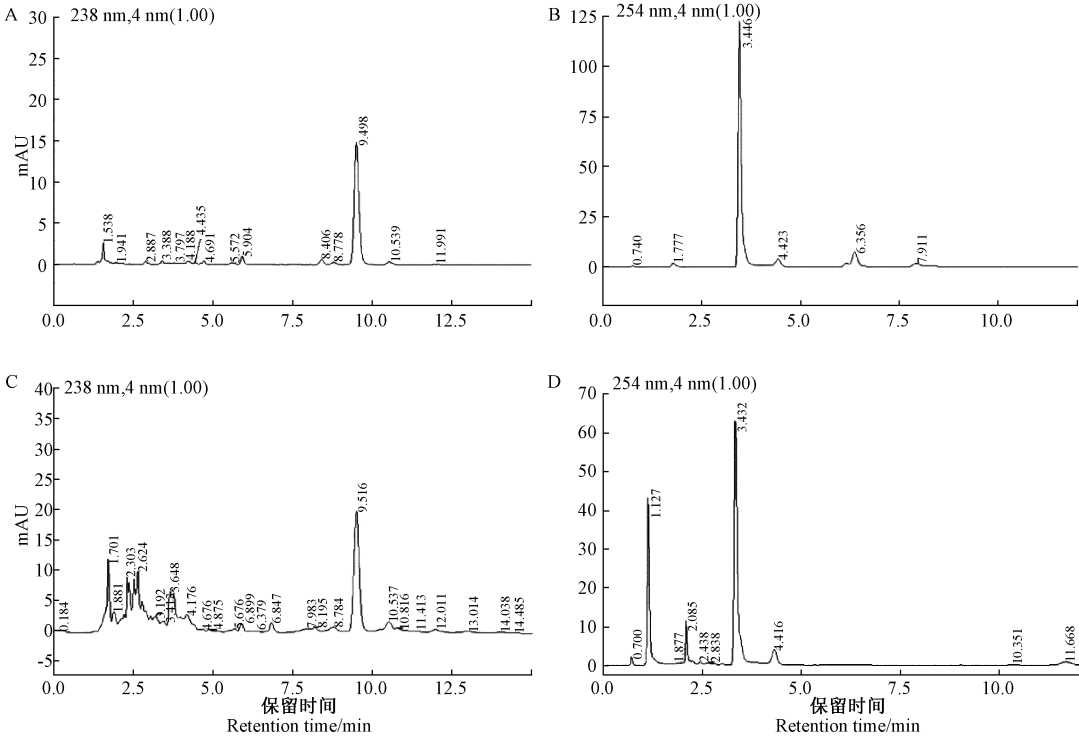
3 讨论

洛伐他汀在侧耳属食用菌的子实体和菌丝中含量丰富,动物试验显示喂食一定量糙皮侧耳干粉能显著降低小鼠和兔子血液中胆固醇的含量^[28-29]。此外,研究表明,洛伐他汀还具有一定的抗菌性及治疗癌症、骨骼疾病等功能^[11,30]。麦角硫因作为一种水溶性硫醇化合物,具有良好的抗氧化活性,其抗氧化能力可与还原型谷胱甘肽、水溶性维生素E等相媲美^[31]。Chen等^[18]研究发现糙皮侧耳子实体中含有丰富的麦角硫因,且动物试验证实糙皮侧耳的抗氧化活性与麦角硫因有关。本研究中,12株侧耳属食用菌菌丝中均检测到洛伐他汀和麦角硫因,但不同菌株中洛伐他汀和麦角硫因含量差异较大,这可能是由于食用菌菌株不同引起的。12株侧耳属食用菌菌丝中,菌株P380洛伐他汀含量最高(42.10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),麦角硫因含量(51.70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)仅次于菌株P49。此外,菌株P380菌丝中粗

表 5 侧耳属食用菌菌丝的主要成分

Table 5 The main nutrient components in different samples of *Pleurotus* mushroom

样品 Sample	编号 Number	水分含量 Moisture content/%	洛伐他汀 含量 Lovastatin content /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	麦角硫因 含量 Ergothioneine content /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	灰分含量 Ash content/%	粗蛋白含量 Crude protein content/%	粗脂肪含量 Fat content/%	总糖含量 Total sugar content/%
糙皮侧耳 <i>Pleurotus ostreatus</i>	P650	7.43±0.25	14.21±0.55	18.34±1.25	4.13±0.12	13.69±1.25	0.81±0.15	23.87±1.25
	P712	8.68±0.16	18.70±0.42	16.68±1.06	3.81±0.16	18.56±1.06	0.65±0.10	20.45±1.56
	P615	8.56±0.18	16.17±0.38	13.59±0.95	6.65±0.18	19.27±0.98	1.89±0.12	18.64±1.45
	P803	7.69±0.28	18.45±1.25	18.18±0.56	6.11±0.25	15.69±1.26	1.28±0.26	16.59±1.29
	P49	6.98±0.34	35.83±0.12	61.25±1.06	5.54±0.19	20.58±1.35	2.45±0.13	18.21±1.44
	P6	5.89±0.33	12.94±0.38	25.57±1.45	4.98±0.24	16.34±1.13	2.16±0.18	15.18±1.32
	P380	6.54±0.16	42.10±0.65	51.70±1.02	5.47±0.21	19.89±1.38	3.45±0.28	21.24±1.56
	PH2	5.78±0.25	38.09±1.26	19.63±0.98	4.62±0.26	21.40±1.26	1.96±0.11	24.70±2.01
	P03	6.14±0.19	14.94±0.25	15.31±0.45	4.29±0.17	18.96±1.22	1.25±0.16	20.19±1.88
淡红侧耳 <i>Pleurotus djamor</i>	P719	6.54±0.20	16.73±0.78	31.05±1.20	5.16±0.28	11.18±1.05	1.62±0.13	21.43±1.96
姬菇 <i>Pleurotus cornucopiae</i>	P51	7.12±0.21	30.44±0.96	26.30±0.68	5.28±0.25	15.83±1.24	0.94±0.11	22.68±1.87
杏鲍菇 <i>Pleurotus eryngii</i>	P30	5.98±0.24	18.23±0.56	25.70±1.25	5.62±0.16	12.24±1.01	1.85±0.16	18.76±1.65



注: A: 洛伐他汀标准品色谱图; B: 样品 P380 洛伐他汀色谱图; C: 麦角硫因标准品色谱图; D: 样品 P380 麦角硫因色谱图。

Note: A: Standard of lovastatin. B: Sample of P380 for lovastatin. C: Standard of ergothioneine. D: Sample of P380 for ergothioneine.

图 2 洛伐他汀和麦角硫因标准品及样品的高效液相色谱图

Fig.2 The HPLC chromatography of lovastatin standard, ergothioneine standard and text samples

脂肪含量最高(3.45%),且粗蛋白和总糖含量均在20%左右,是12株侧耳属食用菌菌丝中营养成分含量相对较高的一个菌株,推测菌株P380可能是洛伐他汀和麦角硫因合成优势菌株。Sánchez^[1]认为菌株品种、培养条件等因素对侧耳属食用菌的生长及次级代谢产物的积累影响较大。Atli等^[32]和Alarcón等^[33]研究发现侧耳属真菌中洛伐他汀等次级代谢产物的生成与培养基中C/N比例密切相关。因此,下一步研究可以菌株P380为目标菌株,通过优化培养基营养比例、合理控制生长条件,进一步提高菌丝中洛伐他汀和麦角硫因的含量,为功能型饮品的开发奠定基础。

4 结论

本研究建立了侧耳属食用菌菌丝中洛伐他汀和麦角硫因含量的高效液相色谱检测法,该方法简便、快捷、结果准确。利用该方法对12株湖北省侧耳属常见栽培种菌丝中洛伐他汀和麦角硫因含量进行了测定,其中菌株P380中洛伐他汀和麦角硫因含量较高,分别为42.10、51.70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,表明菌株P380是洛伐他汀和麦角硫因合成的优势菌株。此外,菌株P380营养成分含量在12株侧耳属食用菌中也相对较高,因此,菌株P380可作为菌丝液体发酵的优良品种。

参考文献:

- [1] Sánchez C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2010, 85(5): 1321-1337
- [2] Szwengiel A, Stachowiak B. Deproteinization of water-soluble β -glucan during acid extraction from fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* mushrooms [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 146: 310-319
- [3] Radzka W, Ziąja-Sołtys M, Nowak J, Rzymowski J, Topolska J, Sławińska A, Michalak-Majewska M, Zalewska-Korona M, Kuczumow A. Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* mushroom [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 66: 27-33
- [4] Kong F, Li F E, He Z, Jiang Y, Hao R, Sun X, Tong H. Anti-tumor and macrophage activation induced by alkali-extracted polysaccharide from *Pleurotus ostreatus* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 69(8): 561-566
- [5] Sapozhnikova Y, Byrdwell W C, Lobato A, Romig B. Effects of UV-B radiation levels on concentrations of phytosterols, ergothioneine, and polyphenolic compounds in mushroom powders used as dietary supplements [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(14): 3034-3042
- [6] Lin S Y, Chen Y K, Yu H T, Barseghyan G S, Asatiani M D,

- Wasser S P, Mau J L. Comparative study of contents of several bioactive components in fruiting bodies and mycelia of culinary-medicinal mushrooms [J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2013, 15(3): 315-323
- [7] Fernandes Â, Barros L, Martins A, Herbert P, Ferreira I C. Nutritional characterisation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. produced using paper scraps as substrate [J]. *Food Chemistry*, 2015, 169(3): 396-400
- [8] Schneidera I, Kressela G, Meyerb A, Kringsb U, GBergerb R, Hahn A. Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans [J]. *Journal of Functional Foods*, 2011, 3(1): 17-24
- [9] 马轲, 陶巧巧, 汪锴, 韩俊杰, 宝丽, 刘宏伟. 侧耳属真菌次级代谢产物化学及其生物学活性研究进展[J]. *菌物学报*, 2015, 34(4): 569-580
- [10] Barrios-González J, Miranda R U. Biotechnological production and applications of statins [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2010, 85(4): 869-883
- [11] Mulder K C, Mulinari F, Franco O L, Soares M S, Magalhães B S, Parachin N S. Lovastatin production: from molecular basis to industrial process optimization [J]. *Biotechnology Advances*, 2015, 33(6): 648-665
- [12] Campbell C D, Vederas J C. Biosynthesis of lovastatin and related metabolites formed by fungal iterative PKS enzymes [J]. *Biopolymers*, 2010, 93(9): 755-763
- [13] Parthasarathy R, Sathiyabama M. Lovastatin-producing endophytic fungus isolated from a medicinal plant *Solanum xanthocarpum* [J]. *Natural Product Research*, 2015, 29(24): 1-5
- [14] Cremades O, Diaz-Herrero M M, Carbonero-Aguilar P, Gutierrez-Gilb J F, Fontiverosb E, Bautistab J. White button mushroom ergothioneine aqueous extracts obtained by the application of enzymes and membrane technology [J]. *Food Bioscience*, 2015, 10: 42-47
- [15] Nguyen T H, Giri A, Ohshima T. A rapid HPLC post-column reaction analysis for the quantification of ergothioneine in edible mushrooms and in animals fed a diet supplemented with extracts from the processing waste of cultivated mushrooms [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(2): 585-591
- [16] Cai L, Wu X, Dong Z, Li X, Yi S, Li J. Physicochemical responses and quality changes of red sea bream (*Pagrosomus major*) to gum arabic coating enriched with ergothioneine treatment during refrigerated storage [J]. *Food Chemistry*, 2014, 160(11): 82-89
- [17] Tepwong P, Giri A, Sasaki F, Fukui R, Ohshima T. Mycobial enhancement of ergothioneine by submerged cultivation of edible mushroom mycelia and its application as an antioxidative compound [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(1): 247-258
- [18] Chen S Y, Ho K J, Hsieh Y J, Wang L T, Mau J L. Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 47(2): 274-278
- [19] Lin S Y, Chen Y K, Yu H T, Barseghyan G S, Asatiani M D, Wasser S P, Mau J L. Comparative study of contents of several bioactive components in fruiting bodies and mycelia of culinary-

- medicinal mushrooms [J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2013, 15(3): 315-323
- [20] 食品安全国家标准. GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [21] 农业部食用菌产品质量监督检验测试中心(上海). GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [22] 农业部食用菌产品质量监督检验测试中心(上海). GB/T 15673-2009 食用菌中粗蛋白含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [23] 农业部食用菌产品质量监督检验测试中心(上海). GB/T 15674-2009 食用菌中粗脂肪含量的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [24] 代沙, 吴卫, 李钰. HPLC 法测定不同品系紫苏酚类物质的含量 [J]. 核农学报, 2014, 28(1): 108-115
- [25] 况丹. 七种食用菌营养成分分析比较 [J]. 食用菌, 2011(4): 57-59
- [26] 韩志平, 贺荣, 张海霞, 李洋, 高兆岩, 杜宝洁. 4 种食用菌营养成分的比较分析 [J]. 食药菌, 2014, 22(4): 222-223
- [27] 于士军, 何玲艳, 张莹, 王伟玲, 许艳红, 柴新义. 六种食用菌营养和功能成分的主成分分析和聚类分析 [J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2018, 35(1): 37-42
- [28] Lee J W, Lee S M, Gwak K S, Lee J Y, Choi I G. Screening of edible mushrooms for the production of lovastatin and its HMG-CoA reductase inhibitory activity [J]. The Korean Journal of Microbiology, 2006, 42(2): 83-88
- [29] Lindequist U, Niedermeyer T H J, Jülich W D. The pharmacological potential of mushrooms [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2005, 2(3): 285-299
- [30] Chegwin-Angarita C, Nieto-Ramirez I J, Diaz G J, Rojas L J R, Sepúlveda L, Atehortúa L. Evaluation of a method using high performance liquid chromatography with ultraviolet detection for the determination of statins in macromycetes of the genus *Pleurotus* cultivated by fermentation processes [J]. Talanta, 2013, 116(116): 56-64
- [31] Franzoni F, Colognato R, Galetta F, Laurenza I, Barsotti M, Di Stefano R, Bocchetti R, Regoli F, Carpi A, Balbarini A, Migliore L, Santoro G. An *in vitro* study on the free radical scavenging capacity of ergothioneine: comparison with reduced glutathione, uric acid and trolox [J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2006, 60(8): 453-457
- [32] Atli B, Yamac M, Yildiz Z. Optimization of submerged fermentation conditions for lovastatin production by the culinary-medicinal oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Higher Basidiomycetes) [J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2013, 15(5): 487-495
- [33] Alarcón J, Aguila S. Lovastatin production by *Pleurotus ostreatus*: effects of the C:N ratio [J]. Zeitschrift Fur Naturforschung Section C-A Journal of Biosciences, 2006, 61(1/2): 95-98

Analysis of Main Nutrient Components in Mycelia of 12 *Pleurotus* Mushroom

YIN Chaomin¹ FAN Xiuzhi¹ LIU Chunyou² SHI Defang¹ GAO Hong^{1,*}

(¹ National Research and Development Center for Edible Fungi Processing/Institute of Agro-Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430064;

² College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545006)

Abstract: In order to explore the main nutrient components in mycelia of *Pleurotus* mushroom which are commonly cultivated in Hubei province, we determined the contents of ash, crude protein, crude fat and total sugar using conventional methods, as well as the contents of lovastatin and ergothioneine using high-performance liquid chromatography method. The results showed the content of ash, crude protein, crude fat, and total sugar were 3.81% ~ 6.65%, 11.18% ~ 21.4%, 0.65% ~ 3.45%, and 15.18% ~ 24.70%, respectively. The content of lovastatin and ergothioneine were 12.94 ~ 42.10 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and 13.59 ~ 61.25 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. The highest contents of lovastatin (42.10 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) and ergothioneine (61.25 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) were found in mycelia of strain P380 which showed the P380 strain might be a high-yield strain for lovastatin and ergothioneine production. Our research will lay a foundation for enrichment medium screening and the rational development and utilization of bioactive substances from *Pleurotus* mushroom in future research.

Keywords: *Pleurotus*, lovastatin, ergothioneine, high performance liquid chromatography