DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2024.0418

不同栽培条件对榆黄蘑生理特性及总黄酮含量的影响

巫桂芬[1],梁剑柳[1,2],韦桥旺[1]

（1.广西民族师范学院　广西崇左　532200；　2.广西大学　南宁　530004）

摘　要:为探讨不同栽培条件对榆黄蘑生理特性及总黄酮含量的影响,以榆黄蘑为材料,采用超声波辅助提取法对13种不同栽培条件下的榆黄蘑进行总黄酮提取,并用亚硝酸钠-硝酸铝显色法进行显色分析。结果表明,在510 nm处,R^2=0.995 9,线性关系良好;在不同栽培条件下,榆黄蘑子实体均检测出黄酮类化合物;在不同光照处理中,自然光处理榆黄蘑总黄酮含量(*w*,后同)最高,为22.607 mg·g^{-1},红光处理总黄酮含量最低,为14.667 mg·g^{-1};在不同栽培料处理中,混合栽培料处理榆黄蘑总黄酮含量最高,为22.007 mg·g^{-1},玉米芯处理含量最低,为17.663 mg·g^{-1};在不同部位的总黄酮含量分析中,菌盖总黄酮含量最高,为25.154 mg·g^{-1},菌座总黄酮含量最低,为13.918 mg·g^{-1}。不同栽培条件影响榆黄蘑的黄酮含量,且对其生理特性也有一定的影响,栽培条件直接或间接地影响体内黄酮的积累与转移。

关键词:榆黄蘑;生理特性;黄酮;超声波

中图分类号:S646.1$^+$4　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2024)11-075-06

Effects of different cultivation conditions on physiological properties and total flavonoids content of *Pleurotus citrinopileatus*

WU Guifen[1], LIANG Jianliu[1,2], WEI Qiaowang[1]

(*1. Guangxi Minzu Normal University, Chongzuo 532200, Guangxi, China; 2. Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China*)

Abstract: In order to study the effect of different cultivation conditions on the physiological characteristics and total flavonoid content of *Pleurotus citrinopileatus*, the total flavonoid was extracted from 13 kinds of *P. citrinopileatus* under different cultivation conditions by ultrasonic-assisted extraction method, and the color analysis was carried out by sodium nitrite and aluminum nitrate. The results showed that the linear relationship was good at 510 nm(R^2=0.995 9). Flavonoids were detected in the *P. citrinopileatus* under different cultivation conditions. In different light treatments, the total flavonoid content of natural light treatment was the highest(22.607 mg · g^{-1}), while the red light treatment was the lowest (14.667 mg · g^{-1}). Among different cultivation materials, the mixed cultivation material treatment had the highest total flavonoid content of 22.007 mg·g^{-1}, while the corn cobs treatment had the lowest of 17.663 mg·g^{-1}. In the analysis of total flavonoid content in different parts, the content of total flavonoid in the cap of *P. citrinopileatus* was the highest(25.154 mg · g^{-1}), while the content of total flavonoid in the fungal seat was the lowest(13.918 mg · g^{-1}). Different cultivation conditions had influence on the flavonoid content and physiological characteristics of *P. citrinopileatus*. Cultivation conditions directly or indirectly affected the accumulation and transfer of flavonoid in the body.

Key words: *Pleurotus citrinopileatus*; Physiological characteristics; Flavonoids; Ultrasound

榆黄蘑(*Pleurotus citrinopileatus*)又称金顶侧耳、玉皇蘑,菌盖呈漏斗形,直径2~10 cm,呈亮黄色,属担子菌亚门、层菌纲、伞菌目、侧耳科、侧耳属,富含多种营养物质,如蛋白质、氨基酸、矿物质以及微量元素等,深受广大消费者的喜爱[1-2]。榆黄蘑是珍贵的药食同源经济菌之一,具有多种生理、药理活性物质,黄酮是其主要的活性成分之一[3-5]。黄酮类化合物是植物特有的次生代谢产物[6]。目前

收稿日期:2024-07-06;**修回日期:**2024-09-05

基金项目:广西自然科学基金(2022GXNSFBA035524);崇左市科技计划项目(崇科20220618);广西民族师范学院服务地方专项(2022FW072)

作者简介:巫桂芬,女,助理研究员,研究方向为食用菌栽培与育种。E-mail:wuguifen9999@163.com

已知的黄酮类化合物超过 1 万种，根据结构的不同可以分为二氢黄酮、黄酮、异黄酮、黄酮醇、黄烷醇和花色素六大类[7-9]。试验研究证实，黄酮具有抗氧化、抗炎症、抗动脉粥样硬化、免疫调节等广泛、优良的生物学效应[10-12]，同时具有改善血液循环和降低胆固醇的作用[13-14]。因此，榆黄蘑黄酮的研究在药物开发和食品营养领域具有广泛的应用前景[15-16]。

食用菌中含有较多的黄酮类物质，近年来，以食用菌为原料提取黄酮类化合物的研究成为营养学领域最重要、最具有意义的研究课题之一[17]，但榆黄蘑菌体内的黄酮类化合物研究较少。笔者采用超声波提取法，利用超声波的空化作用、机械作用和热效应，破坏细胞和细胞膜结构，从而提高细胞内容物通过细胞膜的穿透能力，促进黄酮类化合物的释放与溶出，采用硝酸铝-亚硝酸钠显色法和分光光度法[18]对不同栽培条件下榆黄蘑子实体的总黄酮含量进行测定，以期为榆黄蘑的开发利用提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为山东省平邑县食用菌研究所提供的平顶 8-31 榆黄蘑，经组织分离纯化而来。

1.2 方法

试验于 2021 年 7 月至 2022 年 6 月在广西民族师范学院崇智楼进行。采用不同栽培条件对榆黄蘑进行处理，其中不同栽培料为混合栽培料、玉米芯、杂木屑、稻草；不同光照为自然光、白光、蓝光、紫光、红光、暗处理；不同子实体部位分别取菌盖、菌柄、菌座 3 个部位。

试验采用菌包袋栽培榆黄蘑，菌包长度为 15 cm，单个菌包接种菌种面积 16 cm^2（4 cm×4 cm）。接种后，先避光培养，菌丝在暗环境培养至满袋后即可展开不同因素的试验。各处理的子实体全部采收作为黄酮含量分析的试验材料，将子实体表面杂质去除，放入烘箱（60 ℃，6 h）烘干，每个处理试验材料分别粉碎混匀后密封保存备用。试验采用完全随机设计法，所有处理均设 3 次以上重复。

1.2.1 不同光照处理对榆黄蘑生理特性及总黄酮含量的影响 分别采用自然光、蓝光、紫光、白光、红光和暗处理进行榆黄蘑的出菇培养，栽培基质配方为50%杂木屑、40%玉米芯、8%玉米粉、2%石灰。每个处理采用单独培养柜隔开，避免各试验组光照条件间相互干扰。

1.2.2 不同栽培料处理对榆黄蘑生理特性及总黄酮含量的影响 以混合栽培料、玉米芯、杂木屑、稻草 4 种配方探讨不同栽培料对榆黄蘑总黄酮含量的影响。4 种配方处理如表 1 所示，各处理组的培养环境条件保持一致。

表 1 榆黄蘑的不同栽培料处理

Table 1 Different culture materials of *Pleurotus citrinopileatus*

处理 Treatment	栽培基质配方 Culture medium formula
混合栽培料 Mixed culture material	50%杂木屑、40%玉米芯、8%玉米粉、2%石灰 50% Sawdust, 40% corn cobs, 8% corn meal, 2% lime
玉米芯 Corn cobs	98%玉米芯、2%石灰 98% Corn cobs, 2% lime
杂木屑 Sawdust	98%杂木屑、2%石灰 98% Sawdust, 2% lime
稻草 Straw	98%稻草、2%石灰 98% Straw, 2% lime

1.2.3 榆黄蘑子实体不同部位总黄酮含量比较分析 该试验的栽培基质配方为 50%杂木屑、40%玉米芯、8%玉米粉、2%石灰。分别取成熟期榆黄蘑的菌盖、菌柄、菌座 3 个部位（图 1）进行总黄酮含量提取和分析。

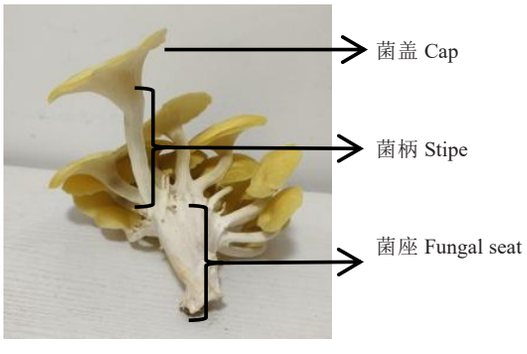


图 1 榆黄蘑取样部位示意图

Fig. 1 Diagram of sampling site of *Pleurotus citrinopileatus*

1.2.4 菌丝生长指标计算 采用长度法每隔 7 d 标记 1 次菌丝长度并计算菌丝生长速率。

菌丝生长速率/（$cm \cdot d^{-1}$）=菌丝平均长度（cm）/培养时间（d）[19]。 （1）

菌丝生长指数：培养第 15 天测量菌落直径后，对菌丝长势进行评分。菌丝长势评分标准为：5 分，菌丝长势浓密，均匀；4 分，菌丝长势较浓密，较均匀；3 分，菌丝长势较稀疏，均匀；2 分，菌丝长势较稀疏，较均匀；1 分，菌丝长势稀疏，不均匀。以此计

算菌丝的生长指数[20-21]。

菌丝生长指数＝菌落长势评分×菌丝生长速率。　　（2）

1.2.5　芦丁标准液的配制及标准曲线制作　精确称取芦丁 10 mg，加 60%乙醇溶液溶解，定容至 50 mL，即得芦丁标准液（0.20 mg·mL^{-1}）。参照龙华等[22]的试验方法测标准曲线，按照以下梯度准确吸取芦丁标准溶液 0、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00、3.50 mL 分别置于 10 mL 容量瓶中，先加入 5% $NaNO_2$ 溶液 0.40 mL，摇匀 6 min 后；再加入 10% $Al(NO_3)_3$ 溶液 0.40 mL，摇匀放置 6 min；最后加 1 mol·mL^{-1} NaOH 溶液 4.00 mL，加入 60%乙醇定容至 10 mL，摇匀放置 15 min。取少量待测液润洗比色皿 2 次，倒入 2/3 的待测液，擦拭比色皿周围的液体，放入紫外分光光度计，在 510 nm 处测定吸光值。

1.2.6　总黄酮提取液的制备　精准称取 1.00 g 干燥样品于 100 mL 锥形瓶内，缓慢加入 60%乙醇 50 mL，在超声提取功率 300 W、温度 60 ℃、时间 40 min 条件下提取总黄酮。然后在 3000 r·m^{-1} 条件下离心 15 min。离心结束后，取出上清液并加入 60%乙醇溶液定容至 50 mL，即得待测液。

1.2.7　总黄酮含量测定　精确移取黄酮提取液 1.00 mL 至 10 mL 容量瓶内，加入 5% $NaNO_2$ 溶液 0.40 mL，摇匀放置 6 min；加入 10%的 $Al(NO_3)_3$ 溶液 0.40 mL，摇匀放置 6 min；最后加 1 mol·mL^{-1} NaOH 溶液 4.00 mL，用 60%乙醇定容至刻度，摇匀后放置 15 min，置于最大吸收波长 510 nm 处测定吸光度值，以芦丁含量为 0 的处理为空白对照。总黄酮含量（w，后同）测定计算公式如下：

w（总黄酮）/（mg·g^{-1}）=（C×N×V）/m。　　（3）

式中：C 表示从标准曲线中计算所得到的总黄酮质量浓度（mg·mL^{-1}）；N 表示所稀释的溶液倍数；V 表示提取液所定容的体积（mL）；m 表示称取的样品质量（g）[23-24]。

1.2.8　精密度和重复性试验　取芦丁标准溶液按照 1.2.5 进行标准曲线绘制，榆黄蘑样品溶液按 1.2.6、1.2.7 的方法进行操作。两者均在 510 nm 下测吸光度值，重复测定 5 次，测定榆黄蘑样品总黄酮的含量，计算相对标准偏差（RSD）[25]。

RSD/%=S/X×100。　　（4）

式中：S 表示标准偏差；X 表示样品总黄酮含量的平均值。

1.3　显色稳定性试验

取榆黄蘑样品，根据放置时间的延后，按 1.2.6、1.2.7 样品溶液的测定条件，将其显色后每间隔 10 min 测定 1 次吸光度值，共测量 7 次，分析总黄酮含量的变化情况。

1.4　数据处理

采用 Excel 2010 进行图表绘制及生长速率计算等，采用 SPSS18.0 对榆黄蘑总黄酮含量进行多重比较，分析样品间的显著性和相关性。

2　结果与分析

2.1　不同栽培条件对榆黄蘑生理特性的影响

从表 2 知，榆黄蘑在 4 种栽培料中菌丝均可正常生长，其中混合栽培料中的菌丝生长情况最好，菌丝颜色浓白，菌丝浓密均匀，评分为 5 分；在玉米芯栽培料上的菌丝生长情况最差，菌丝颜色浅白色，均匀度较稀疏，评分仅为 2 分；在稻草和杂木屑栽培料上的菌丝生长情况相近，但稻草栽培料上菌丝颜色为浓白色，杂木屑栽培料上菌丝为白色，而密度和均匀度相同，评分皆为 4 分。

2.2　不同栽培条件对榆黄蘑菌丝生长的影响

由图 2 可知，4 种栽培料在 1~7 d 的生长期中菌丝生长指数均表现出快速生长的趋势，到 8~14 d 时菌丝生长指数均表现出下降的趋势，15~21 d 时玉米芯和杂木屑的菌丝生长指数逐步下降，混合栽培料和稻草表现出上升趋势。其中，榆黄蘑菌丝在

表 2　榆黄蘑菌丝在不同栽培料上的生长情况

Table 2　Growth of the *Pleurotus citrinopileatus* hyphae on different culture medias

栽培料 Culture media	菌丝颜色 Hypha color	密度 Density	均匀度 Uniformity	菌丝长势评分 Hyphae growth score
混合栽培料 Mixed culture material	浓白色 Thick white	+++++	均匀 Even	5
玉米芯 Corn cobs	浅白色 Light white	++	稀疏 Sparse	2
稻草 Straw	浓白色 Thick white	++++	较均匀 Slightly even	4
杂木屑 Sawdust	白色 White	++++	较均匀 Slightly even	4

注：+++++表示榆黄蘑菌丝极浓密；++++表示菌丝浓密；++表示菌丝稀疏。下同。

Note: +++++ means that the mycelium of *Pleurotus citrinopileatus* is extremely dense; ++++ indicates that the mycelium is dense; ++ indicates that the mycelium is sparse. The same below.

杂木屑中生长速率最快，在 1~7 d 时以 1 cm·d^{-1} 的速度生长；在 8~14 d 时以 0.75 cm·d^{-1} 的速度生长；在 15~21 d 时以 0.69 cm·d^{-1} 的速度生长。榆黄蘑菌丝在混合栽培料和稻草栽培料上的速度较为平稳；菌丝在玉米芯栽培料上的生长最缓慢。

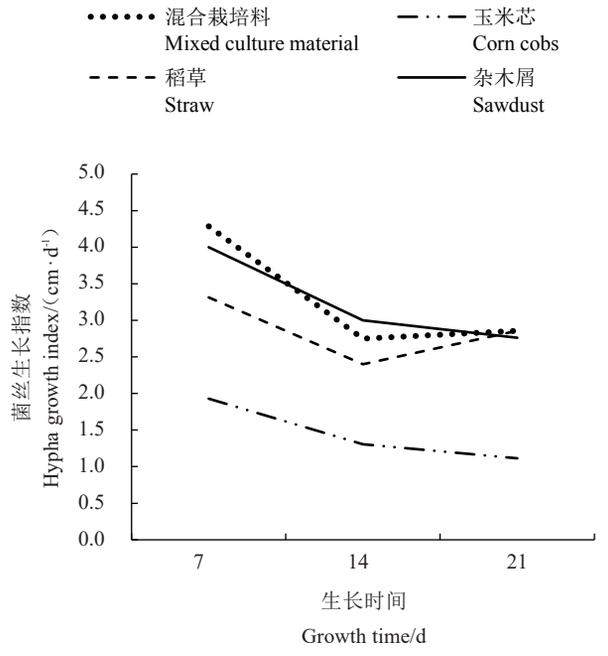


图 2　榆黄蘑在不同栽培料上的菌丝生长指数

Fig. 2　Hypha growth index of *Pleurotus citrinopileatus* on different clture medias

2.3　标准曲线绘制与榆黄蘑总黄酮含量测定

2.3.1　标准曲线绘制　以芦丁浓度（C）为横坐标，吸光度值为纵坐标绘制成标准曲线。结果如图 3，得出标准曲线方程为：y=0.011 1x−0.019 3，R^2=0.995 9，表明两者的线性关系良好。

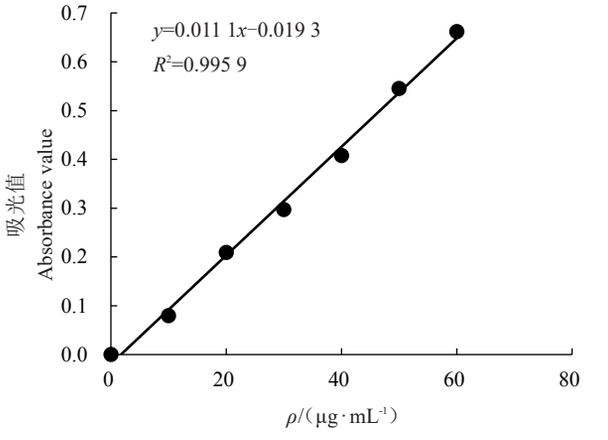


图 3　芦丁标准曲线

Fig. 3　Standard curve of rutin

表 3　精密度重复性试验结果

Table 3　Experimental results of precision and reproducibilit

项目 Project	芦丁吸光度 Rutin absorbance	w（总黄酮）Content of total flavonoids/(mg·g^{-1})
1	0.285	21.258
2	0.311	20.360
3	0.305	22.607
4	0.322	21.258
5	0.291	22.157
平均值 Average	0.302	21.528
相对标准偏差 RSD Relative standard deviation/%	0.490	0.400

2.3.2　精密度和重复性试验结果分析　在 510 nm 处测芦丁吸光值，如表 3 所示。芦丁标准液平均吸光值为 0.302，相对标准偏差（RSD）为 0.490%（n=5），榆黄蘑总黄酮均值为 21.528 mg·g^{-1}，RSD 为 0.400%。芦丁标准溶液与榆黄蘑总黄酮含量的 RSD 均在 1%以下，表明仪器精密度良好，该方法重复性好，条件合理。

2.3.3　显色稳定性试验结果　榆黄蘑菌样 60 min 内总黄酮含量变化如图 4 所示。20~30 min 内榆黄蘑总黄酮含量相差最小，为 0.898 mg·g^{-1}，相对平稳，此时段最适宜进行总黄酮含量的测定；其余阶段的榆黄蘑总黄酮含量的差值均大于 20~30 min 阶段，波动较大，不适宜进行榆黄蘑总黄酮含量的测定。在 0~60 min 内，榆黄蘑总黄酮含量共下降 16.180 mg·g^{-1}，这可能是静止产生了沉淀效应。

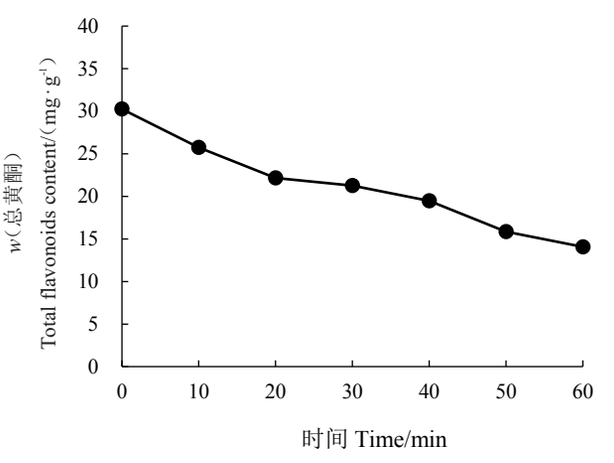


图 4　榆黄蘑 60 min 内总黄酮含量变化

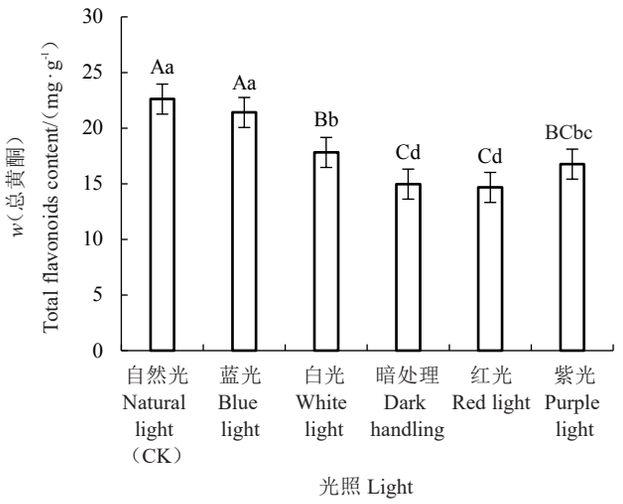
Fig. 4　Changes in total flavonoids content of *Pleurotus citrinopileatus* in 60 minutes

在配好样品 20~30 min 时，对样品的总黄酮含量进行测定，测得吸光度平均值为 0.028，样品平均

总黄酮含量为 21.258 mg·g^{-1}，RSD=0.26%（n=7），样品相对标准偏差小于 5%。由此可以看出，样品在测定 20~30 min 时显色较为稳定。

2.4　不同光照处理对榆黄蘑总黄酮含量的影响

不同光照处理的榆黄蘑总黄酮含量如图 5 所示，6 种光处理的总黄酮含量均不相同，自然光处理的榆黄蘑总黄酮含量最高，为 22.607 mg·g^{-1}，极显著高于除蓝光外的其他处理。6 种不同光照条件下榆黄蘑总黄酮含量的高低排序为：自然光、蓝光、白光、紫光、暗处理和红光。



注：不同大写字母表示各处理间在 0.01 水平存在极显著差异，不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平存在显著差异。下同。

Note: Different uppercase letters indicate extremely significant difference between different treatments at 0.01 level, and different lowercase letters mean significant difference between different treatments at 0.05 level. The same below.

图 5　不同光照处理对榆黄蘑总黄酮含量的影响

Fig. 5　Effects of light treatment on total flavonoids content of *Pleurotus citrinopileatus*

2.5　不同栽培料处理对榆黄蘑总黄酮含量的影响

不同栽培料处理榆黄蘑总黄酮含量的影响如图 6 所示，4 种处理中总黄酮含量均不相同，混合栽培料栽培出的榆黄蘑的总黄酮含量最高，为 22.007 mg·g^{-1}，其次为杂木屑处理，二者显著高于玉米芯和稻草处理，玉米芯处理的榆黄蘑总黄酮含量最低。

2.6　不同榆黄蘑部位的总黄酮含量

由图 7 可知，不同部位的榆黄蘑总黄酮含量呈极显著差异，菌盖的总黄酮含量最高，为 25.154 mg·g^{-1}，菌柄次之，菌座最低。

3　讨论与结论

笔者采用超声波辅助提取，紫外分光光度检

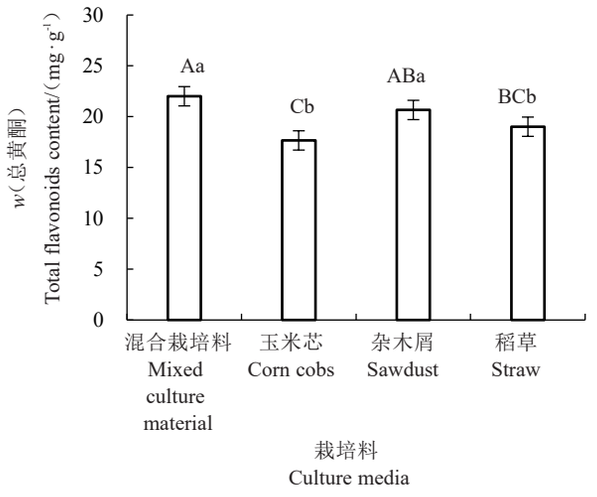


图 6　不同栽培料处理对榆黄蘑总黄酮含量的影响

Fig. 6　Effects of culture media on total flavonoids content of *Pleurotus citrinopileatus*

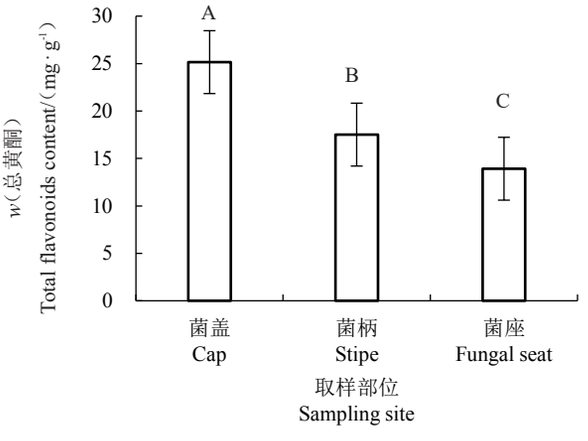


图 7　不同部位的榆黄蘑总黄酮含量分析

Fig. 7　Analysis of total flavonoids content of different sites of *Pleurotus citrinopileatus*

测，并用亚硝酸钠-硝酸铝显色法进行分析。结果表明，该方法的精密度高、重复性良好，不同处理条件下榆黄蘑均检测出黄酮类化合物，且总黄酮含量呈显著差异。

在不同光照处理中，总黄酮含量由高到低依次为自然光、蓝光、白光、紫光、暗处理和红光。根据潘俊倩等[26]的研究推测，自然光总黄酮含量最高，这可能是因为自然光包含更多有效光源，如蓝光、紫光等短波段光，利于总黄酮含量的积累，而长波段光如红光则抑制黄酮积累，与本研究的结果一致。

在不同栽培料处理中，总黄酮含量由高到低依次为混合栽培料、杂木屑、稻草、玉米芯。其中混合栽培料处理的总黄酮含量最高，这可能是因为混合栽培料中的多种复合营养成分促进榆黄蘑总黄酮

含量的积累；玉米芯栽培的榆黄蘑总黄酮含量最低，可能是玉米芯中的营养成分单一。玉米芯中的营养成分主要为碳源，不能满足榆黄蘑所需的营养成分需求，不利于榆黄蘑总黄酮含量的积累，所测总黄酮含量较低。因此在榆黄蘑栽培过程中应满足其生长及物质积累所需的营养成分，才能保证产品的品质。

榆黄蘑不同部位总黄酮含量由高到低依次为菌盖、菌柄、菌座。已知黄酮类物质的分布与器官、生长发育时期有关[27]，刘佳微等[28]在研究贵芨1号不同部位总黄酮含量时推测其分布还与营养成分有关。其中榆黄蘑菌盖的总黄酮含量最高，这可能是其生长期及生长后期菌盖的代谢较菌柄和菌座旺盛。菌盖是产生孢子的部位，其次级代谢产物不断转移和积累在该部位。黄酮作为榆黄蘑的重要次级代谢产物，其含量也在菌盖中得到积累与呈现。菌座的总黄酮含量最低，可能是该部位只作为黄酮转运通道，不具备黄酮的“储存仓”，因此不利于榆黄蘑总黄酮的积累。

综上所述，在自然光（完全可见波长）培养条件下，养分越均衡越有利于榆黄蘑黄酮的积累。不同榆黄蘑部位的总黄酮合成或积累量不同，其中菌盖的含量最高。了解榆黄蘑体内黄酮含量变化及分布规律，对榆黄蘑的开发利用具有重要的指导意义，对其他的食用菌亦有一定的借鉴作用。

参考文献

[1] 王玥玮，王麒琳，张立娟.榆黄蘑营养成分及其生物活性的研究进展[J].食品研究与开发，2017，38(4)：201-203.

[2] 王有兵，严毅，周庆宏.油橄榄研究进展[J].林业调查规划，2013，38(1)：39-44.

[3] 魏晶晶，张浩然，王志鸽，等.真菌金顶侧耳的研究进展[J].青海草业，2020，29(2)：28-31.

[4] 万鲁长，韩建东.榆黄蘑：金黄艳丽的蕈菌美食[J].解放军健康，2018(5)：16-17.

[5] 宫雪，张博，辛广，等.食用菌中黄酮类物质的研究进展[J].食品安全质量检测学报，2016，7(7)：2821-2827.

[6] 李永霞，韩俊杰，杨晓莉，等.金顶侧耳次级代谢产物及抗氧化活性研究(英文)[J].菌物学报，2013，32(5)：876-882.

[7] 杨志峰，朱英，李珊珊.植物黄酮的抗肿瘤作用及构效关系的研究进展[J].四川中医，2011，29(9)：35-38.

[8] GONZÁLEZ-GALLEGO J，SANCHEZ-CAMPOS S，TUÑÓN M J. Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids[J]. Nutricion Hospitalaria，2007，22(3)：287-293.

[9] WINKEL-SHIRLEY B. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics，biochemistry，cell biology，and biotechnology[J]. Plant Physiology，2001，126(2)：485-493.

[10] ZHOU M，KONIGSBERG W H，HAO C H，et al. Bioactivity and mechanisms of flavonoids in decreasing insulin resistance . [J]. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry，2023，38(1)：2199168.

[11] BAG S，GHOSAL S，KARMAKAR S，et al. Uncovering the contrasting binding behavior of plant flavonoids fisetin and morin having subsidiary hydroxyl groups(-OH)with HRAS1 and HRAS2 i-Motif DNA structures：Decoding the structural alterations and positional influences[J]. ACS Omega，2023，8(33)：30315-30329.

[12] MOHAMMED H A，EMWAS A H，KHAN R A. Salt-tolerant plants，halophytes，as renewable natural resources for cancer prevention and treatment：Roles of phenolics and flavonoids in immunomodulation and suppression of oxidative stress towards cancer management[J]. International Journal of Molecular Sciences，2023，24(6)：5171.

[13] 俞洁，邹永鹏.黄酮类化合物在动脉粥样硬化中的研究进展[J].心血管康复医学杂志.2024，33(3)：347-350.

[14] COMMENGES D，SCOTET V，JACQMIN-GADDA H，et al. Intake of flavonoids and risk of dementia[J]. European Journal of Epidemiology，2000，16(4)：357-363.

[15] 林启炫，杜灿凯，林稚凯，等.黄酮类化合物的生物活性及应用研究[J].现代食品，2024，30(2)：92-97.

[16] 缪钱江，刘宇，许峰，等.4种食用菌总黄酮生物功能的研究[J].食品科技，2014，39(7)：206-209.

[17] 刘月芹，贺晓龙，任桂梅.食用菌中黄酮类化合物的最新研究进展[J].贵州农业科学，2016，44(10)：119-122.

[18] 马陶陶，张群林，李俊.中药总黄酮的含量测定方法[J].安徽医药，2007(11)：1030-1032.

[19] 罗莹，张志军，周永斌，等.食用菌菌丝在不同谷物培养基上的生长研究[J].北方园艺，2020(13)：124-128.

[20] 巫桂芬，苏劲，梁剑柳，等.榆黄蘑菌丝生长条件优化[J].中国瓜菜，2023，36(10)：112-120.

[21] 温鲁.用谷物培养食用菌来生产功能食品[J].食品科学，2005，26(9)：574-577.

[22] 龙华，刘斌，李政东.9种常见野生食用菌总黄酮的提取鉴定分析[J].中国食用菌，2019，38(8)：45-47.

[23] 楚禄建，刘阳，朱单洁，等.超声法提取杏鲍菇菌糠总黄酮工艺[J].天津农业科学，2017，23(5)：49-52.

[24] 王晓波，何晓燕，王梅，等.火龙果皮总黄酮提取与体外抗氧化作用研究[J].食品工业科技，2011，32(11)：156-159.

[25] 杜庆鑫，魏艳秀，刘攀峰，等.分光光度法测定杜仲雄花和叶中的总黄酮[J].中南林业科技大学学报，2017，37(5)：96-100.

[26] 潘俊倩，佟曦然，郭宝林.光对植物黄酮类化合物的影响研究进展[J].中国中药杂志，2016，41(21)：3897-3903.

[27] 田云芳，曹婷婷，周明媚，等.黄瓜假还阳参不同部位黄酮提取及抗氧化活性[J].北方园艺，2022(17)：100-104.

[28] 刘佳微，曹国璠，吴明开，等.贵芨1号不同部位中总酚、总黄酮、总多糖含量测定及其生物活性研究[J].中成药，2024，46(6)：1968-1972.