网络出版时间:2025-07-18 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.01.015

西藏血红密孔菌的驯化栽培及营养评价

张君丽[1],傅俊生[2]

(1 西藏自治区农牧科学院 蔬菜研究所,西藏 拉萨 850000;2 福建农林大学 生命科学学院,福建 福州 350000)

[摘 要] 【目的】对采自西藏地区的野生菌株 X21020 进行鉴定,探究其最佳培养条件及驯化栽培条件,并测定其驯化栽培子实体的常规营养成分,为血红密孔菌的进一步开发利用提供参考。【方法】采用组织分离法对野生菌株 X21020 进行分离纯化,采用分子测序法和形态学特征观察法对其进行菌种鉴定,探究其生物学特性并开展驯化栽培,测定驯化栽培成功子实体的常规营养成分。【结果】结合形态学特征观察和 ITS 测序,将野生菌株 X21020 鉴定为血红密孔菌(*Fabisporus sanguineus*)。该菌株菌丝生长的最适碳源为葡萄糖,最适氮源为蛋白胨,pH 为 5,最适培养温度为 40 ℃。该菌株在以杂木屑为主的栽培料中生长良好,菌丝满袋时间为 30 d,原基形成时间为 10 d,80 d 后采收第一潮菇,单朵子实体鲜质量为 32.82 g。该菌株子实体中膳食纤维含量高达 7.110 g/kg,粗蛋白含量达 1.190 g/kg,脂肪含量仅为 0.020 g/kg。含有 15 种氨基酸,氨基酸总含量为 0.486 g/kg。其中药效氨基酸含量为 0.109 g/kg,占氨基酸总含量的 22.43%,且以天冬氨酸含量最高(0.061 g/kg)。【结论】西藏来源的血红密孔菌 X21020 可在以杂木屑为主的栽培料中良好生长,其驯化子实体含有丰富的蛋白质和膳食纤维,氨基酸种类多,脂肪含量低,该结果为其在医学和保健品领域的开发利用提供了参考。

[关键词] 血红密孔菌;菌种鉴定;生物学特性;驯化栽培;营养评价;食用菌

[中图分类号] S567.3+9 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)01-0148-08

Domestication, cultivation and nutritional evaluation of *Fabisporus sanguineus* in Xizang

ZHANG Junli[1], FU Junsheng[2]

(1 *Institute of Vegetable Research, Xizang Autonomous Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa, Xizang* 850000, *China*; 2 *College of Life Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian* 350000, *China*)

Abstract: 【Objective】 The objective of this study is to identify the wild strain X21020 collected from Xizang, explore its optimal culture conditions and domestication cultivation conditions, determine the conventional nutrient composition of its domesticated cultivation fruiting body, so as to provide reference data for the further development and utilization of *Fabisporus sanguineus*. 【Method】 Wild fungus X21020 was isolated and purified by tissue separation method, and its strains were identified by molecular sequencing and morphological characteristics observation. Its biological characteristics were explored, and domestication cultivation was carried out. The conventional nutritional components of the successfully domesticated fruiting bodies were determined. 【Result】 According to morphological observation and ITS sequencing, the strain was identified as *F. sanguineus*. In the study of growth characteristics, the most suitable carbon source for mycelial growth of this strain was glucose, nitrogen source was peptone, pH was 5, and the temperature was 40 ℃. The strain grew well in the cultivation material dominated by miscellaneous wood

[收稿日期] 2024-10-25 [修回日期] 2024-12-11

[基金项目] 西藏自治区科学技术示范重点研发项目(XZ202001ZY0041N)

[作者简介] 张君丽(1979—),女,陕西渭南人,副研究员,硕士,主要从事食用菌资源收集与驯化利用研究。E-mail: 594686187@qq.com

chips. Its hyphae full bag time was 30 days, the primordium formation time was 10 days, and the first tide mushroom was harvested after 80 days, with the fresh weight of a single flower being about 32.82 g. The content of dietary fiber in the fruiting body of the strain was as high as 7.110 g/kg, crude protein content was 1.190 g/kg, and fat content was 0.020 g/kg. 15 kinds of amino acids were contained, and the total content of amino acids was 0.486 g/kg, of which the pharmacodynamic amino acids content was 0.109 g/kg, accounting for 22.43% of the total acids content, with the content of aspartic acid being the highest (0.061 g/kg).【Conclusion】The *F. sanguineus* X21020 from Xizang can grow well in the cultivation material mainly composed of miscellaneous wood chips, and its domesticated fruiting body is rich in protein and dietary fiber, with various amino acids and low fat content. The results provide a reference for its development and utilization in the field of medicine and health care products.

Key words: *Fabisporus sanguineus*; strain identification; biological characteristics; domestication and cultivation; nutrition evaluation; edible fungi

血红密孔菌（*Pycnoporus sanguineus*）又称血红栓菌（*Trametes sanguinea*），隶属于担子菌门（Basidiomycota）多孔菌目（Polyporales）密孔菌属（*Fabisporus*）[1]。其子实体呈革质，大多单生、聚合群生或瓦状簇生于夏秋两季的槭树、栎树、木犀等多种阔叶树倒木、树桩和腐木上；菌盖近半圆形、扇形或肾形，扁平无柄，新鲜时呈浅红褐色、锈褐色至黄褐色，后期褪色，但干后颜色几乎不变；边缘锐，颜色较浅，有时波状，无明显环纹[2]。血红密孔菌在黑龙江、甘肃、四川、广西等地区均有分布，但截至目前尚未见西藏地区血红密孔菌分布的相关报道。

血红密孔菌是一种药用真菌[3]，其药用成分丰富，具有消炎和抗肿瘤等作用[4]。鲁铁等[5]研究发现，血红密孔菌菌丝体多糖具有抗氧化活性和抑菌能力；陈艳艳等[6]研究表明，血红栓菌黄酮类物质可清除自由基，具有抗氧化活性。血红密孔菌也是一种白腐真菌[7]，在生物降解和环境保护等方面研究颇多。申艳萍等[8]研究发现，血红密孔菌能显著提高污泥的降解速度；王丹梅等[9]研究发现，血红密孔菌能产生木质素降解酶，进而降解木质素以减轻环境污染；还有研究发现，血红密孔菌对水稻秸秆有厌氧消化作用[10]；范晶晶[11]等和宋自力等[12]研究发现，血红密孔菌可通过产生漆酶进行生物降解。目前关于血红密孔菌活性成分提取及其作用的研究较多，但关于其野生资源开发以及驯化栽培方面的研究相对较少。为此，本研究对一株采自西藏地区的野生菌株 X21020 进行鉴定，确定其为血红密孔菌（*Fabisporus sanguineus*），并对其生物学特性进行研究，确定其最适生长条件；再以 60% 杂木屑为主要栽培料对其进行驯化栽培，测定成功驯化栽培子实体的常规营养成分，为促进血红密孔菌野生资源的开发利用及其驯化栽培提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试菌株　野生菌株子实体于 2023 年 8 月采自西藏自治区林芝市波密县山林中的一棵阔叶树上，采用组织分离法[13]在 PDA 加富培养基上培养纯化，获得供试菌株 X21020 用于后续试验。

1.1.2　培养基及驯化栽培料　PDA 加富培养基（具体配方：去皮马铃薯 200 g，葡萄糖 20 g，琼脂条 20 g，KH_2PO_4 2 g，$MgSO_4$ 1.5 g，维生素 B_1 10 mg，加水定容至 1 L，pH 自然。）和 PDB 加富液体培养基（具体配方：去皮马铃薯 200 g，葡萄糖 20 g，KH_2PO_4 2 g，$MgSO_4$ 1.5 g，维生素 B_1 10 mg，水 1 L，pH 自然。）。

驯化栽培料配方：杂木屑 60%，棉籽壳 20%，麦麸 18%，石灰 1%，蔗糖 1%，含水率 65%，pH 自然。

1.2　野生菌株 X21020 的鉴定

1.2.1　菌株组织分离　挑选新鲜、健康、成熟的 X21020 菌株子实体，表面清洗并消毒后置于无菌工作台中，用解剖刀切取芝麻粒状大小的组织块，放进 PDA 培养基中心部位，重复以上步骤，得到多组菌种置于 25 ℃培养，观察菌丝生长情况。

1.2.2　形态学鉴定　对 X21020 菌株子实体形状、质地、色泽和大小，菌盖边缘、直径和厚度，菌柄长度和宽度，以及菌种着生方式等宏观特征进行观察和记录，并参考《中国大型真菌原色图鉴》进行初步鉴定。

1.2.3　分子鉴定　参照 OMEGA 真菌 DNA 提取试剂盒说明书，按步骤提取供试菌株 X21020 子实体 DNA，并以 ITS1 和 ITS4 通用引物进行 PCR 扩增。PCR 反应体系：2× Fine *Taq* PCR Super Mix

(+dye)12.5 μL,引物 ITS1 和 ITS4 各 1 μL,DNA 模板 1 μL,ddH_2O 9.5 μL。PCR 反应程序:95 ℃预变性 5 min;95 ℃变性 30 s,58 ℃退火 30 s,72 ℃延伸 90 s,循环 35 次;72 ℃终延伸 7 min。PCR 反应结束后,取 3 μL PCR 产物进行 1%琼脂糖凝胶电泳检测,之后将剩余的 PCR 产物送至福州市华测品标检测有限公司进行测序。根据测序基因序列与 NCBI 网站相应数据进行 BLAST 比对,得到最相近的结果,下载与待测菌种同源性较高的 ITS-rDNA 序列,使用最大似然法通过 MEGA11 软件构建系统发育树。

1.3 菌株 X21020 培养条件的优化

1.3.1 *碳源对菌丝生长的影响* 参照张云龙[14]的方法,以 PDA 加富培养基为基础培养基,分别定量添加 20 g 麦芽糖、果糖、葡萄糖、蔗糖、甘露糖和淀粉配制成 6 种不同碳源培养基。用打孔器在供试菌株菌落最外缘取直径 5 mm 的菌饼,用接种钩将菌饼分别接入 6 种不同碳源培养基中央,置于恒温培养箱中 25 ℃避光培养,待菌丝体长至平板 2/3 时停止培养,观察记录菌丝生长情况,并计算菌丝生长速度。

生长速度=(菌落直径−菌饼直径)/培养时间。

1.3.2 *氮源对菌丝生长的影响* 以 PDA 加富培养基为基础培养基,分别添加 5 g 尿素、硫酸铵、硝酸铵、酵母粉、牛肉粉和蛋白胨,配制成 6 种不同氮源培养基。其他操作同 1.3.1 节。

1.3.3 *pH 对菌丝生长的影响* 以 PDA 加富培养基为基础培养基,用 1.0 mol/L NaOH 和 1.0 mol/L HCl 缓冲溶液调节培养基 pH 分别为 5,6,7,8,9 和 10,其他操作同 1.3.1 节。

1.3.4 *温度对菌丝生长的影响* 将供试菌株接种到 PDA 加富培养基上,分别置于 15,20,25,30,35 和 40 ℃恒温培养箱中培养,其他操作同 1.3.1 节。

1.4 菌株 X21020 的驯化栽培

1.4.1 *栽培种制备* 采用液体菌种接种法[15],具体为:将 PDB 加富培养基分装在 250 mL 三角瓶中,每瓶 100 mL,121 ℃高压灭菌 3 h 后冷却备用。在超净工作台中,用孔径 5 mm 打孔器在供试菌落上均匀打孔,然后用接种钩取完整菌饼接入 PDB 加富培养基中,每瓶 5 个菌饼,封口膜封口,于 25 ℃、160 r/min 振荡避光培养 7 d。

1.4.2 *菌包制作及栽培出菇* 菌包制作参照 1.1.1 节驯化栽培料配方,将栽培料按比例配置并搅拌均匀分装至栽培袋中,121 ℃灭菌 3 h,冷却后接种,每袋菌包接入 15 mL 液体菌种。接种后将菌包在 25～28 ℃黑暗条件下培养,早晚各通风一次以保证充足的氧气供应,及时观察菌包污染情况,一旦发现污染立即清除。待菌丝满袋后,将菌包移入出菇房进行出菇培养,设置温度 30～35 ℃,相对湿度 90%以上。出菇过程观察并记录原基形成的时间、转色情况及子实体生长发育状态。

1.5 血红密孔菌新鲜子实体常规营养成分的测定

1.5.1 *样品处理* 采集驯化成功的血红密孔菌新鲜子实体 150 g,于 50 ℃电热恒温鼓风干燥箱中烘至质量恒定,密封保存备用。

1.5.2 *常规营养成分的测定* 依据国家标准[16-20],分别测定血红密孔菌子实体的水分、钠元素、蛋白、膳食纤维、灰分、脂肪、总糖含量及氨基酸组成与含量。每个指标平行测定 3 次,结果取平均值。

1.6 数据统计与分析

采用 SPSS 26.0、GraphPad Prism5.0 软件对试验数据进行处理,结果以“平均值±标准差”表示;采用 LSD 检验分析不同处理之间的差异显著性,以 $P<0.05$ 表示显著差异。

2 结果与分析

2.1 X21020 菌株的鉴定

2.1.1 *形态学鉴定* 观察发现,来自西藏地区的野生菌 X21020 菌株子实体呈革质,表面光滑,手感较硬,菌盖扇形、半圆形或肾形;新鲜菌盖正面呈浅红褐色、锈褐色至黄褐色,后期褪色,但干后颜色几乎不变(图 1-A);背面颜色较正面深,为红褐色(图 1-B)。菌盖边缘锐,颜色较浅,有时波状,无明显柄基(图 1-A,B)。菌丝匍匐、毛绒状,颜色洁白(图 1-C)。培养 4～6 d 后,菌丝开始转为橘红色(图 1-D)。结合 X21020 菌株子实体和菌丝体形态结构特征,查阅《中国大型真菌原色图鉴》,将其初步鉴定为担子菌门密孔菌属的血红密孔菌(*Fabisporus sanguineus*)。

2.1.2 *分子生物学鉴定* 供试菌株 X21020 子实体 DAN PCR 扩增后,扩增产物测序得到 601 bp 序列,将该序列上传至 NCBI 数据库得到其登录号为 PQ066022.1。序列比对分析发现,其与 *Pycnoporus sanguineu* GQ402826.1 的相似性为 99.83%。使用最大似然法在 MEGA11 软件上构建其系统发育树,结果(图 2)显示,供试菌株 X21020 与 *Pycnoporus sanguineu* GQ402826.1 汇聚一支。结合形态学特征分析,将野生菌株 X21020 鉴定为血红密孔菌(*Fabisporus sanguineus*)。



A. 野生子实体正面；B. 野生子实体背面；C. 菌丝初期形态；D. 菌丝后期形态。

A. Front of wild fruiting body; B. Back of wild fruiting body; C. Initial mycelial morphology; D. Late mycelium morphology.

图 1　野生菌株 X21020 子实体及菌丝形态特征

Fig. 1　Fruiting body and mycelial morphological characteristics of wild strain X21020

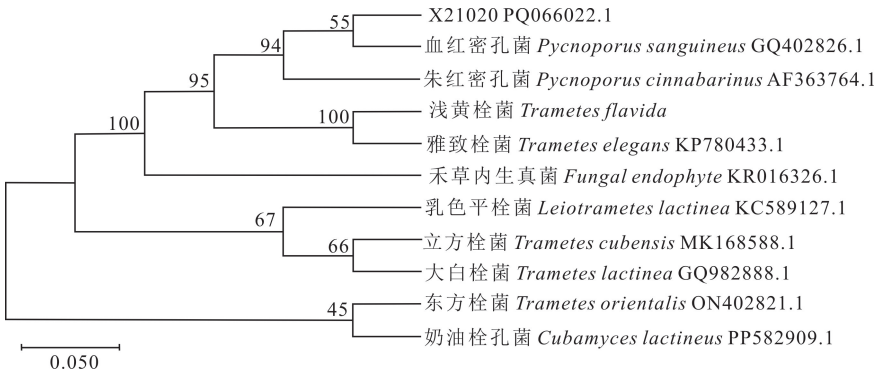


图 2　基于 ITS 序列构建的菌株 X21020 系统发育树

Fig. 2　Phylogenetic tree of strain X21020 constructed based on ITS sequence

2.2　血红密孔菌 X21020 培养条件的优化

2.2.1　*碳源对菌丝生长的影响*　由图 3-A 可知，血红密孔菌 X21020 在供试碳源培养基上皆能良好生长，且其在 6 种不同碳源培养基上的生长速度无显著差异，表明碳源对血红密孔菌 X21020 菌丝生长的影响不大。观察还发现，在以葡萄糖为碳源的 PDA 培养基上，血红密孔菌 X21020 菌丝生长最密，菌丝颜色变为橘红色更明显。因此确定血红密孔菌生长的最适碳源为葡萄糖。

2.2.2　*氮源对菌丝生长的影响*　由图 3-B 可知，血红密孔菌 X21020 在以尿素为氮源的 PDA 培养基上不生长，在以蛋白胨、牛肉粉、酵母粉、硫酸铵、硝酸铵为氮源的 PDA 培养基上均能生长，但其在不同氮源 PDA 培养基上的生长速度差异明显。其中在以蛋白胨和牛肉粉为氮源的 PDA 培养基上生长速度最快，显著高于其他氮源，特别是以蛋白胨为氮源时，X21020 菌丝生长速度最快，为（10.25±0.46）mm/d，且菌丝边缘整齐，浓密均一。因此确定血红密孔菌生长的最适氮源为蛋白胨。

2.2.3　*pH 对菌丝生长的影响*　由图 3-C 可知，血红密孔菌 X21020 在 pH 为 5，6，7，8，9，10 的 PDA 培养基上均能生长，且随着 pH 升高，菌丝生长速度呈下降趋势。当 pH 为 5 时，X21020 菌丝生长速度可达（12.27±0.77）mm/d，显著高于其他处理；且菌丝浓密均一、颜色呈橘红色，结合菌丝生长速度和菌丝长势确定血红密孔菌生长的最适 pH 为 5。

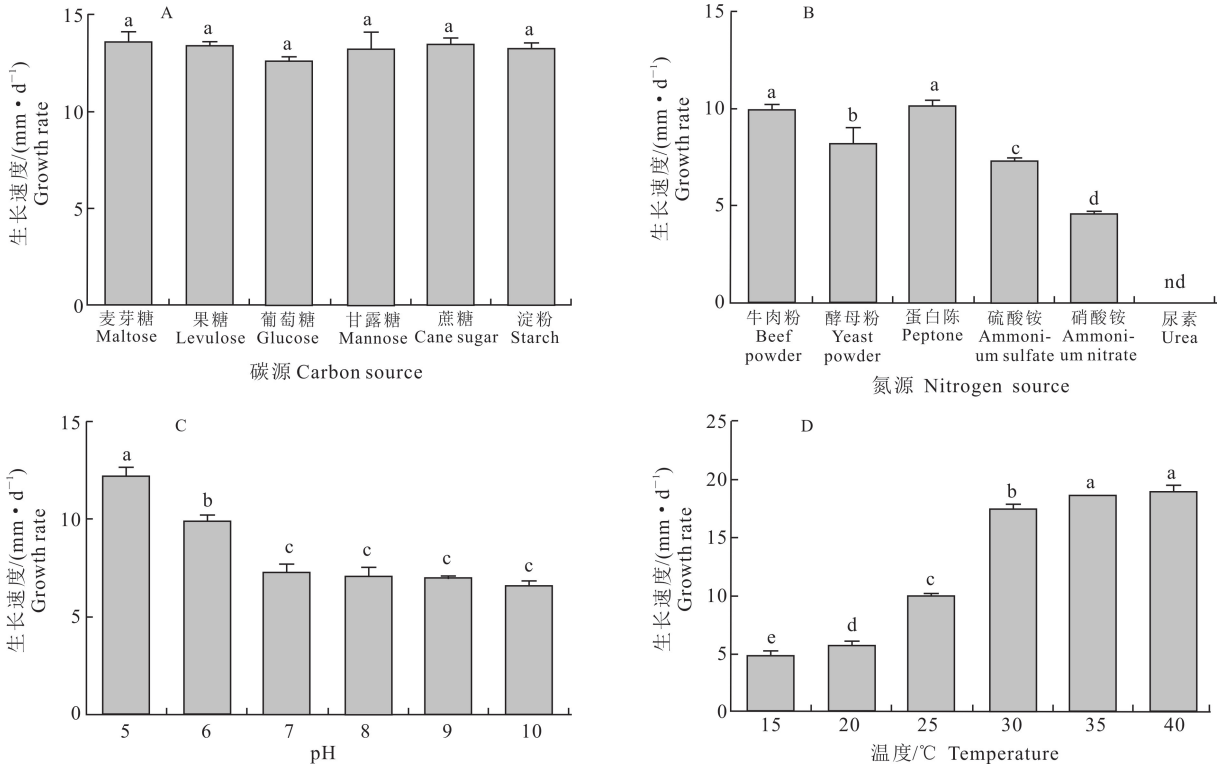
2.2.4　*温度对菌丝生长的影响*　由图 3-D 可知，血红密孔菌 X21020 在 15，20，25，30，35 和 40 ℃均能正常生长，且生长速度与温度呈正相关。当培养温度达到 40 ℃时，X21020 菌丝生长速度可达（19.13±0.70）mm/d，菌丝浓密粗壮，边缘整齐。因此，确定血红密孔菌菌丝生长的最适温度为 40 ℃。

综上可知，血红密孔菌 X21020 的最适培养条件为：温度 40 ℃，pH 为 5，以蛋白胨为氮源，以葡萄糖为碳源。

2.3　血红密孔菌 X21020 的驯化栽培

采用液体菌种接种菌包，25～28 ℃避光培养。观察发现，血红密孔菌 X21020 菌丝生长状况良好，培养 10 d 形成原基，培养 30 d 菌丝满袋，培养 80 d 出现第一潮菇，单朵子实体鲜质量为 32.82 g。血红密孔菌 X21020 子实体菌盖半圆形或扇形，呈革质，菌盖浅红褐色且有白色年轮状纹理，成熟后子实层

产红色孢子,无柄。在驯化栽培过程中还发现,血红密孔菌从两片子实体单生逐渐发展为聚合群生(图4),人工驯化栽培得到的 X21020 子实体形态特征相较于野生子实体更丰富,但其基本特征一致。

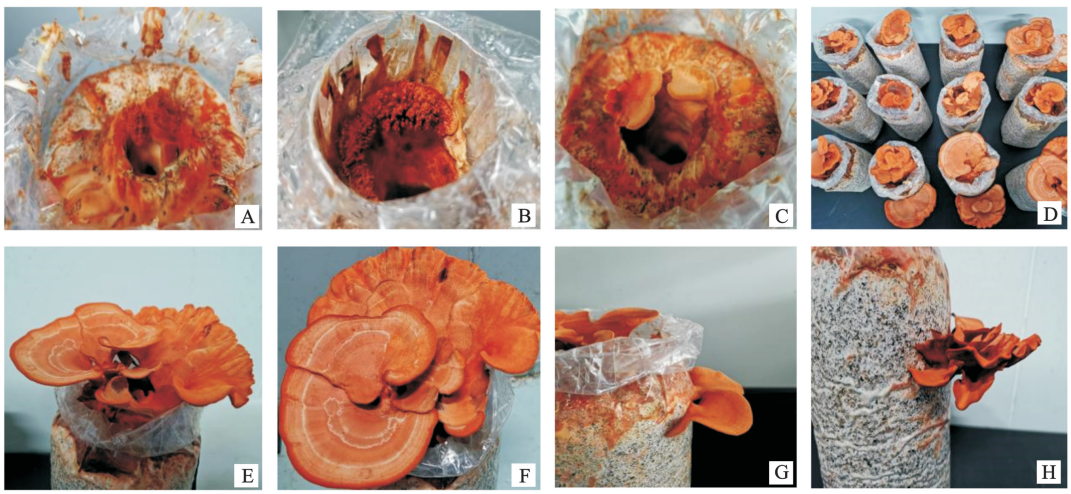


图柱上标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters marked on the column indicate significant differences between different treatments($P<0.05$).

图 3 血红密孔菌 X21020 在不同培养条件下的菌丝生长情况

Fig. 3 Mycelial growth of *Fabisporus sanguineus* X21020 under different culture conditions



A. 形成原基;B. 培养 30 d 菌丝满袋;C. 培养 50 d;D. 培养 80 d 出菇;E. 子实体正面观;F. 子实体菌盖;G. 子实体单生;H. 子实体聚合群生。

A. Formation of primordia;B. Cultivate mycelium in full bags for 30 days;C. Cultivate for 50 days;D. Cultivate mushrooms for 80 days;E. Front view of fruiting body;F. Fruiting body cap;G. Fruiting body solitary;H:Fruiting body aggregation swarm.

图 4 血红密孔菌 X21020 的驯化栽培

Fig. 4 Domestication of *Fabisporus sanguineus* X21020

2.4 血红密孔菌 X21020 的常规营养成分

收集驯化栽培成功的血红密孔菌 X21020 新鲜子实体,于 50 ℃电热恒温鼓风干燥箱中烘至质量恒定,依据国家标准[16-20]对其常规营养成分进行测定。由表 1 可知,血红密孔菌 X21020 子实体中膳食纤维含量为 7.110 g/kg,粗蛋白含量高达 1.190

g/kg，脂肪含量仅为 0.020 g/kg，钠含量为 2.300 g/kg。血红密孔菌 X21020 子实体中含有 15 种氨基酸，氨基酸总含量达 0.486 g/kg。其中人体必需氨基酸含量为 0.168 g/kg，占氨基酸总含量的 34.57%；人体非必需氨基酸含量为 0.318 g/kg，占氨基酸总含量的 65.43%；鲜味氨基酸（苯丙氨酸、丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、酪氨酸）含量为 0.219 g/kg，占氨基酸总含量的 45.06%；甜味氨基酸（丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸、羟基脯氨酸）含量为 0.117 g/kg，占氨基酸总含量的 24.07%；苦味氨基酸（亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸、精氨酸、苯丙氨酸）含量为 0.133 g/kg，占氨基酸总含量的 27.37%；芳香族氨基酸（酪氨酸、苯丙氨酸、色氨酸）含量为 0.074 g/kg，占氨基酸总含量的 15.23%；药效氨基酸（谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸）含量为 0.109 g/kg，占氨基酸总含量的 22.43%。15 种氨基酸中天冬氨酸含量最高，为 0.061 g/kg；其次是谷氨酸，含量为 0.058 g/kg。

表 1　血红密孔菌 X21020 子实体的营养成分

Table 1　Nutrient content of *Fabisporus sanguineus* fruiting body

营养成分 Nutritional ingredient	含量/(g·kg^{-1}) Content	营养成分 Nutritional ingredient	含量/(g·kg^{-1}) Content
鲜品水 Fresh moisture	6.280	精氨酸 Arginine	0.022
干品水分 Dry moisture	1.330	组氨酸 Histidine	0.009
粗蛋白 Crude protein	1.190	酪氨酸 Tyrosine	0.048
灰分 Ash content	0.240	丙氨酸 Alanine	0.036
脂肪 Fat	0.020	脯氨酸 Proline	0.029
总糖 Total sugar	0.043	丝氨酸 Serine	0.029
膳食纤维 Dietary fiber	7.110	谷氨酸 Glutamic acid	0.058
钠 Sodium	2.300	甘氨酸 Glycine	0.026
异亮氨酸 Isoleucine	0.020	天冬氨酸 Aspartic acid	0.061
缬氨酸 Valine	0.027	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.026
赖氨酸 Lysine	0.024	苏氨酸 Threonine	0.033
亮氨酸 Leucine	0.038		

3　讨　论

食用菌具有调节免疫、抗癌、抗炎和预防心血管疾病等功能[21-22]，我国食用菌资源丰富[23]，食用菌品种选育、驯化栽培、成分提取和产品开发等一直是科研工作者关注的热点。对于未知菌种的研究首先是鉴定，只有通过鉴定得到其准确的分类地位才能有目的地进行开发利用，而目前常依据形态学观察和分子测序分析进行菌株鉴定。本研究依据菌株形态特征及分子测序分析，将来源于西藏的未知野生菌 X21020 鉴定为担子菌门密孔菌属的血红密孔菌（*Fabisporus sanguineus*）。

血红密孔菌是一种药用真菌，本研究发现，在供试碳源培养基上血红密孔菌菌丝均能良好生长，且以葡萄糖为碳源时其菌丝生长速度最快，分布最密集，因此确定葡萄糖是培养血红密孔菌的最适碳源；在以蛋白胨和牛肉粉为氮源的 PDA 培养基上，X21020 菌丝生长速度和长势显著优于其他处理，且在以蛋白胨为氮源的 PDA 培养基上，其菌丝生长速度和长势最佳，因此确定蛋白胨是培养血红密孔菌的最适氮源。温度和 pH 是影响血红密孔菌生长的重要因素，陈艳通等[24]研究发现，偏酸环境更适合血红密孔菌的生长，当 pH 为 5 时血红密孔菌的生物量最高。本研究结果表明，培养基 pH 为 5 时，X21020 菌丝生长速度最快，菌丝最密，且菌丝为明显的橙红色，这与前人的结果[24-25]一致。本研究结果表明，血红密孔菌 X21020 在 15，20，25，30，35 和 40 ℃均能正常生长，且生长速度与温度呈正相关；当培养温度达到 35 ℃时，其生长速度不再明显上升；当培养温度达到 40 ℃时，X21020 菌丝生长速度可达（19.13±0.70）mm/d，菌丝浓密粗壮，边缘整齐。因此，确定血红密孔菌菌丝生长的最适温度为 40 ℃。本研究通过单因素试验探讨了血红密孔菌 X21020 的最适生长条件，在后续工作中将通过响应面优化探讨单因素间的相互作用，以期得到其最适培养机制。

血红密孔菌是木腐真菌，通常以杂木屑为主要基质进行驯化栽培。本研究以液体菌种接种菌包，采用代料栽培方式进行血红密孔菌 X21020 的驯化出菇，结果发现血红密孔菌 X21020 可在以杂木屑为主要栽培料中生长，原基形成时间为 10 d，菌丝满袋时间为 30 d，较香菇[26]、木耳[27]、金针菇[28]等食用菌生长更快，培养 80 d 后采收第一潮菇，单朵子实体鲜质量为 32.82 g。营养成分测定结果表明，血红密孔菌 X21020 子实体中膳食纤维丰富，为 7.110

g/kg。膳食纤维具有调节血糖水平、降血脂等功能[29-30],被肠道微生物发酵后可改善肠道功能[31],该数据为后续开展血红密孔菌膳食纤维提取研究等奠定了基础。血红密孔菌 X21020 子实体中粗蛋白含量可达 1.190 g/kg,脂肪含量仅为 0.02 g/kg,营养价值高,未来可向功能保健品方向开发。此外,血红密孔菌 X21020 子实体含有 15 种氨基酸,其中人体必需氨基酸含量为 0.168 g/kg,占氨基酸总含量的 34.75%;人体非必需氨基酸含量为 0.318 g/kg,占氨基酸总含量的 65.43%;鲜味氨基酸(苯丙氨酸、丙氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、酪氨酸)含量为 0.219 g/kg,占氨基酸总含量的 45.06%;甜味氨基酸(丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸、羟基脯氨酸)含量为 0.117 g/kg,占氨基酸总含量的 24.07%;苦味氨基酸(亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、色氨酸、精氨酸、苯丙氨酸)含量为 0.133 g/kg,占氨基酸总含量的 27.37%;芳香族氨基酸(酪氨酸、苯丙氨酸、色氨酸)含量为 0.074 g/kg,占氨基酸总含量的 15.23%;药效氨基酸(谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸)含量为 0.109 g/kg,占氨基酸总含量的 22.43%,且以天冬氨酸含量最高,为 0.061 g/kg。天冬氨酸是生命体中合成其他物质的重要前体,可以调节脑和神经的代谢功能,还可作为一种手性药物,用作药物合成的前体和中间体[32]。

4 结 论

结合形态学观察和分子测序分析,将采自西藏地区的野生菌株 X21020 鉴定为血红密孔菌(*Fabisporus sanguineus*)。其最适生长条件为:温度 40 ℃,pH 为 5,以蛋白胨为氮源,以葡萄糖为碳源。驯化栽培试验发现,血红密孔菌在以杂木屑为主的栽培料中生长良好,培养 10 d 可形成原基,培养 30 d 菌丝满袋,培养 80 d 出现第一潮菇,单朵子实体鲜质量为 32.82 g。驯化栽培的血红密孔菌 X21020 子实体中膳食纤维含量可达 7.110 g/kg,粗蛋白含量高达 1.190 g/kg,脂肪含量仅为 0.020 g/kg。含有 15 种氨基酸,氨基酸总含量为 0.486 g/kg,其中药效氨基酸(谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸)含量为 0.109 g/kg,占氨基酸总含量的 22.43%,且以天冬氨酸含量最高,为 0.061 g/kg。该研究结果为血红密孔菌在医学和功能保健品领域的开发利用提供了参考。

[参考文献]

[1] 王南南,王付彬,刘长安,等.1 株野生血红栓菌的分离鉴定及生物学特性分析[J].中国食用菌,2024,43(4):14-20.
WANG N N,WANG F B,LIU C A,et al. Isolation,identification and biological characteristics analysis of a wild strain of *Trametes sanguinea*[J]. Edible Fungi of China,2024,43(4):14-20.

[2] 黄年来.中国大型真菌原色图鉴[M].北京:中国农业出版社,1998.
HUANG N L. Colored illustrations of macrofungi (mushrooms) of China[M]. Beijing:China Agriculture Press,1998.

[3] 康曼,陈涛,王彦超.一株野生血红栓菌生物学特性及人工栽培研究[J].山西大学学报(自然科学版),2023,46(4):981-988.
KANG M,CHEN T,WANG Y C. Biological characteristics and artificial cultivation of a wild-type strain of *Trametes sanguinea*[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition),2023,46(4):981-988.

[4] 骆守鹏.血红密孔菌产吩噁酮色素及其抑菌活性的初步研究[D].江苏无锡:江南大学,2015.
LUO S P. Production of phenoxazinone pigments by *Pycnoporus sanguineus* and their antibacterial activity[D]. Wuxi,Jiangsu:Jiangnan University,2015.

[5] 鲁铁,李登,朱园园,等.血红密孔菌菌丝体多糖提取条件优化及活性研究[J].中国食用菌,2022,41(6):52-58.
LU T,LI D,ZHU Y Y,et al. Optimization in extraction technology of polysaccharides from *Pycnoporus sanguineus* mycelium and its activity[J]. Edible Fungi of China,2022,41(6):52-58.

[6] 陈艳艳,段鹏菲,苏正娴,等.血红栓菌总黄酮提取条件的优化及抗氧化活性研究[J].河南城建学院学报,2023,32(2):113-120.
CHEN Y Y,DUAN P F,SU Z X,et al. Optimization of extraction conditions and antioxidant activity of total flavonoids of *Trametes sanguinea*[J]. Journal of Henan University of Urban Construction,2023,32(2):113-120.

[7] ORLIKOWSKA M,DE J ROSTRO-ALANIS M,BUJACZ A,et al. Structural studies of two thermostable laccases from the white-rot fungus *Pycnoporus sanguineus*[J]. International Journal of Biological Macromolecules,2018,107:1629-1640.

[8] 申艳萍,王巧利,胡绳,等.产漆酶血红密孔菌对城市污泥堆肥过程中有机氯农药的降解效应[J].环境工程学报,2017,11(12):6450-6457.
SHEN Y P,WANG Q L,HU S,et al. Degradation effect of laccase-producing *Bacillus haemogaseum* on organochlorine pesticides in the process of municipal sludge composting[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2017,11(12):6450-6457.

[9] 王丹梅,任大明,李秀娜,等.木质素高效降解菌血红密孔菌产酶条件研究[J].安徽农业科学,2008,36(16):6617-6619.
WANG D M,REN D M,LI X N,et al. Study on fermentation conditions of *Pycnoporus sanguineus*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2008,36(16):6617-6619.

[10] RANI J,DHOBLE A S. Effect of fungal pretreatment by *Pycnoporus sanguineus* and *Trichoderma longibrachiatum* on the anaerobic digestion of rice straw[J]. Bioresource Technology,

2023，387：129503.

[11] 范晶晶，马德丽，席艳茹，等. 血红密孔菌 *Pycnoporus sanguineus* SYBC-L12 固态发酵小麦秸秆产漆酶及其对小麦秸秆的降解作用[J]. 食品与生物技术学报，2015，34(2)：128-133.
FAN J J，MA D L，XI Y R，et al. Laccase production under solid-state fermentation of wheat straw and its degradation by *Pycnoporus sanguineus* SYBC-L12[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2015，34(2)：128-133.

[12] 宋自力，张伟，廖头根，等. 血红密孔菌高产漆酶菌株的筛选及其对烟梗的生物降解[J]. 菌物学报，2019，38(3)：381-392.
SONG Z L，ZHANG W，LIAO T G，et al. Highly laccase-yielding strains of *Pycnoporus sanguineus* and their activities on tobacco stem biodegradation[J]. Mycosystema，2019，38(3)：381-392.

[13] 黎智文，代俊杰，李晓. 羊肚菌干子实体组织分离与孢子分离获得菌种的比较试验[J]. 食药用菌，2018，26(2)：94-95.
LI Z W，DAI J J，LI X. Comparative study on tissue and spore isolation strains from the dried fruiting body of *Morchella*[J]. Edible and Medicinal Mushrooms，2018，26(2)：94-95.

[14] 张云龙. 一株野生食用菌鉴定及其生物学特性研究[D]. 河北邯郸：河北工程大学，2020.
ZHANG Y L. Identification of a wild edible fungus and its biological characteristics[D]. Handan，Hebei：Hebei University of Engineering，2020.

[15] 周超，马银鹏，包旭翔，等. 响应面法优化黑木耳液体菌种发酵配方及条件[J]. 山西农业科学，2023，51(6)：653-662.
ZHOU C，MA Y P，BAO X X，et al. Optimization of fermentation formula and conditions of *Auricularia heimuer* liquid strain by response surface methodology[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences，2023，51(6)：653-662.

[16] 国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定：GB 5009.5－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission，State Food and Drug Administration. National standards for food safety determination of proteins in food：GB 5009.5－2016[S]. Beijing：Standards Press of China，2017.

[17] 国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定：GB 5009.6－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission，State Food and Drug Administration. National standards for food safety determination of fats in food：GB 5009.6－2016[S]. Beijing：Standards Press of China，2017.

[18] 国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定：GB 5009.4－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission，State Food and Drug Administration. National standards for food safety determination of ash in food：GB 5009.4－2016[S]. Beijing：Standards Press of China，2017.

[19] 国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定：GB 5009.88－2014[S]. 北京：中国标准出版社，2016.
National Health and Family Planning Commission，State Food and Drug Administration. National standards for food safety determination of dietary fiber in food：GB 5009.88－2014[S]. Beijing：Standards Press of China，2016.

[20] 国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定：GB 5009.124－2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
National Health and Family Planning Commission，State Food and Drug Administration. National standards for food safety determination of amino acids in food：GB 5009.124－2016[S]. Beijing：Standards Press of China，2017.

[21] 陈建胜，杨正友，王延圣，等. 食用菌营养组成、功能活性及加工现状研究进展[J]. 食品工业科技，2024，45(12)：358-366.
CHEN J S，YANG Z Y，WANG Y S，et al. Research progress in nutrient composition，functional activity and processing status of edible fungi[J]. Science and Technology of Food Industry，2024，45(12)：358-366.

[22] 李妍. 食用菌食品的营养价值及其保健功能[J]. 现代食品，2020，26(23)：153-155.
LI Y. Nutritional value and prominent health function of edible fungus food[J]. Modern Food，2020，26(23)：153-155.

[23] 张素霞，魏秋红，赵美琳. 我国食用菌资源的利用与开发研究[J]. 漯河职业技术学院学报，2009，8(2)：91-92.
ZHANG S X，WEI Q H，ZHAO M L. Study on utilization and development of China's edible fungus resources[J]. Journal of Luohe Vocational Technology College，2009，8(2)：91-92.

[24] 陈艳通，侯典海，杨晓，等. 光照和 pH 对血红密孔菌生长及抗氧化活性的影响[J]. 微生物学杂志，2019，39(3)：29-34.
CHEN Y T，HOU D H，YANG X，et al. Effects of illumination and pH on the growth and antioxidant activities of *Pycnoporus sanguineus*[J]. Journal of Microbiology，2019，39(3)：29-34.

[25] 鲁铁，图力古尔. 血红栓菌培养特性[J]. 东北林业大学学报，2013，41(7)：123-128.
LU T，TULIGUER. Cultural characters of wild medicinal mushroom *Pycnoporus sanguineus*[J]. Journal of Northeast Forestry University，2013，41(7)：123-128.

[26] 张锋. 香菇栽培技术研究进展[J]. 食品工程，2008(2)：28-30，40.
ZHANG F. Research progresses on cultivation technique of the shiitake mushroom[J]. Food Engineering，2008(2)：28-30，40.

[27] 张介驰，张丕奇，韩增华，等. 黑木耳袋栽技术研究进展[J]. 中国食用菌，2010，29(6)：3-7.
ZHANG J C，ZHANG P Q，HAN Z H，et al. Research progress on black fungus bag cultivation technology[J]. Edible Fungi of China，2010，29(6)：3-7.

（下转第 167 页）

WANG L Y，WAN H J. Studies on the chemical constituents of *Poria cocos*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs，1998，29(3)：145-148.

[24] 张小龙，吴斌霞，朱钊宇，等. 山栀子不同部位活性成分含量及抗氧化活性[J]. 食品工业科技，2024，45(12)：10-17.
ZHANG X L，WU B X，ZHU Z Y，et al. Content and antioxidant activity of active components in different parts of *Gardenia jasminoides* Ellis[J]. Science and Technology of Food Industry，2024，45(12)：10-17.

[25] 谭著明，沈宝明，谭云，等. 以松材线虫病疫木为基质栽培茯苓的安全性评价[J]. 湖南林业科技，2025，52(1)：91-95.
TAN Z M，SHEN B M，TAN Y，et al. A safety evaluation of culturing *Wolfiporia hoelen* with plague woodas base material which infected with *Bursaphelenchus xylophilus*[J]. Hunan Forestry Science & Technology，2025，52(1)：91-95.

[26] 吴云忠. 松材线虫病疫木种植茯苓试验[J]. 福建林业科技，2013，40(4)：51-55.
WU Y Z. A preliminary study on cultivation of *Poria cocos* on nematode affected pine wood[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology，2013，40(4)：51-55.

[27] VELASCO-AZORSA R，CRUZ-SANTIAGO H，DEL PRADO-VERA I C，et al. Chemical characterization of plant extracts and evaluation of their nematicidal and phytotoxic potential[J]. Molecules，2021，26(8)：2216.

[28] FERHEEN S，AKHTAR M，AHMED A N，et al. Nematicidal potential of the *Galinsoga parviflora*[J]. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research：Biological Sciences，2011，54(2)：83-87.

（责任编辑：温晓平）

（上接第 155 页）

[28] 冯伟林，金群力，沈颖越，等. 金针菇‘浙金 102’、香菇‘L901’和猴头‘浙林猴 2 号’的选育报告[J]. 菌物学报，2023，42(10)：2152-2156.
FENG W L，JIN Q L，SHEN Y Y，et al. Breeding new cultivars of *Flammulina filiformis* ‘Zhejin 102’，*Lentinula edodes* ‘L901’ and *Hericium erinaceus* ‘Zhelinhou No. 2’[J]. Mycosystema，2023，42(10)：2152-2156.

[29] 王彬彬，李茂淋，王三，等. 提取方法对猴头菇不溶性膳食纤维结构、理化及功能特性的影响[J]. 食品研究与开发，2024，45(17)：14-22.
WANG B B，LI M L，WANG S，et al. Effects of extraction methods on structure，physicochemical and functional properties of insoluble dietary fiber from *Hericium erinaceus*[J]. Food Research and Development，2024，45(17)：14-22.

[30] SOLIMAN G A. Dietary fiber，atherosclerosis，and cardiovascular disease[J]. Nutrients，2019，11(5)：1155.

[31] 董慧，张会婷，杨艳玲，等. 膳食纤维：改善胃肠道功能的关键性营养素[J]. 中国实用儿科杂志，2023，38(10)：751-754.
DONG H，ZHANG H T，YANG Y L，et al. Dietary fibre as a key nutrient to improve the gastrointestinal function[J]. Chinese Journal of Practical Pediatrics，2023，38(10)：751-754.

[32] 冯志彬，殷曰彩，米阳，等. 天冬氨酸生产工艺的研究进展[J]. 发酵科技通讯，2012，41(2)：38-41.
FENG Z B，YIN Y C，MI Y，et al. Research progress on aspartic acid production process[J]. Bulletin of Fermentation Science and Technology，2012，41(2)：38-41.

（责任编辑：陈丽）