

甘肃省甘南高原黄绿卷毛菇研究

王海峰, 尚晓花, 卓玛草, 毛玉萍, 尚红梅, 张丽萍, 周兰兰

(甘肃省甘南州农业科学研究所, 甘肃 合作 747000)

摘要: 对采自甘南草原的黄绿卷毛菇进行生长环境、生物学特性、营养成分、子实体组织结构、菌丝体特征等研究。结果表明: 黄绿卷毛菇在 6 月中下旬—9 月下旬均有发生, 且在雨后土壤较湿润时会大量出现。营养测定结果显示, 黄绿卷毛菇中含有维生素 B1、维生素 B2、维生素 D2, 其中维生素 B2 含量较高为 18.81 mg/kg; 同时富含钙、镁、锰、磷、铜、钾、铁、磷、钠、硒等微量元素。菌丝生长速度较慢, 初期形成的菌落中部稍凸, 色泽纯白; 随后逐渐平展, 色泽浅白, 菌落有清晰轮纹, 边缘呈土黄色, 菌落背面呈金黄色。

关键词: 黄绿卷毛菇; 研究; 甘南高原

中图分类号: Q949.329+.81

文献标识码: A

Initial Exploration of the Yellow-Green Felt Mushroom in the Gannan Plateau

Wang Haifeng, Shang Xiaohua, Zhuomacao, Mao Yuping, Shang Hongmei, Zhang Liping, Zhou Lanlan
(Gannan Prefectural Institute of Agricultural Sciences, Hezuo Gansu 747000, China)

Abstract: In this paper, the growth environment, biological characteristics, nutritional components, fruiting body tissue structure, and mycelial characteristics of the yellow-green felt mushroom collected from the Gannan Grassland were preliminarily studied. The results showed that the yellow-green felt mushroom generally occurs from mid-late June to late September and emerges in large numbers when the soil is moist after rain. Nutritional analysis revealed that it contains vitamin B1, vitamin B2, and vitamin D2, among which, vitamin B2 has the highest content 18.81 mg/kg. Additionally, it is rich in trace elements such as calcium, magnesium, manganese, phosphorus, copper, potassium, iron, sodium and selenium. The mycelial growth rate is slow: initially, the center of the colony is slightly convex and pure white; subsequently, it gradually flattens, becoming pale white, with distinct concentric rings, a khaki edge, and a golden yellow reverse side.

Key words: yellow-green felt mushroom; research; Gannan plateau

黄绿卷毛菇(*Floccularia ludevirens*), 又名黄蘑菇、黄金菇、黄环菌、黄绿蜜环菌^[1], 隶属于担子菌门((Basidiomycota)), 伞菌纲(Agaricomycetes), 伞菌目(Agaricales), 伞菌科(Agaricaceae), 卷毛菇属(*Floccularia*)^[2]。黄绿卷毛菇为稀有的高原蘑菇, 是一种十分名贵的食药菌, 主要分布于我国青藏高原, 生长在海拔 3 200~4 200 m 的高寒草甸上, 自然生长, 为纯

绿色食品, 具有重要的经济价值和生态功能, 是青藏高原特有真菌^[1]。金黄色的黄绿卷毛菇是蘑菇中的极品, 香浓色丽, 润滑爽口, 当地人称“酥油”菇。牧民在火炉上将黄绿卷毛菇菌柄朝上, 在菌伞上放一点酥油煎烤或用来炖羊肉汤等, 味道鲜美。黄绿卷毛菇不但含丰富的蛋白质、矿物质和多种维生素, 而且是世界稀有珍品。有记载表明清末年间黄绿卷毛菇即为朝廷贡

收稿日期: 2025-05-11

基金项目: 甘肃省甘南州科技计划项目——甘南高原黄绿卷毛菇的菌丝体培养及培养基筛选(2023JY2NZ002)。

作者简介: 王海峰(1978—), 男, 研究员, 主要从事食用菌资源与利用研究, E-mail: 466024948@qq.com。

通信作者: 周兰兰(1987—), 女, 高级农艺师, 主要从事食用菌资源与利用研究, E-mail: 3403245047@qq.com。

品^[5]。在唐代被载入藏医经典书籍《四部医典》中,记载其具有药用价值,可用于治疗肿胀、感冒等病症^[1]。

甘南藏族自治州地处青藏高原东北边缘,甘肃省西南部,甘、青、川交界处。全州总面积为4.5万km²,处于青藏高原和黄土高原过渡地带,地势西北部高,东南部低。境内海拔1100~4900m。境内有天然草原272.3万hm²,占土地总面积的70.28%。平均气温1.7℃,无霜期短,日照时间长,长冬无夏,春秋短促,全州各地年平均气温在1.7~13℃之间,气温的年较差一般在20~22℃之间^[3],全州降水量暖季多,冷季少,雨热同季特征显著,日照时数在2800~3400h之间,紫外线强烈,日照率68%以上^[4]。此外,甘南州属于高寒阴湿区,土壤有机质含量高,牧区草原上蕴藏着极其丰富的野生蘑菇资源、药材、山珍野菜等珍贵的天然资源,在适宜的温度、水分、光照等气候条件下草原上就会生长金黄的黄绿卷毛菇。

经市场调研,发现每年7—8月份,在合作市、夏河县及卓尼县等地的菜市场,农牧民经常将现采摘的新鲜黄绿卷毛菇摆摊销售,市价为60~100元/kg。青海等地通过电商直播向全国各地售卖,售价为140~160元/kg,干品达1000元/kg以上。由于市场需求及经济利益的驱动,近年来人们滥采过度,不但破坏了草原生态植被,又因不合理采摘幼菇,同时子实体的菌盖尚未打开,孢子不能弹射到草原上,黄绿卷毛菇无法完成有性生殖与种群繁衍,影响其种群数量^[2],长此以往将导致黄绿卷毛菇野生资源枯竭。黄绿卷毛菇不仅丰富了人们的菜篮子,增加了群众的收入,同时对保护生物多样性及生态平衡具有重要意义,因而进行人工栽培研究十分必要。本研究通过对甘南高原黄绿卷毛菇自然生长环境、形态特征、营养成分进行实地观察记录和测定,并采用组织分离法对子实体进行组织分离,观察菌丝体生长特征,记录菌丝形态、外观等,以为甘南高原黄绿卷毛菇的后续研究提供一定的理论依据。

1 黄绿卷毛菇的生长环境及形态特征

1.1 黄绿卷毛菇生长环境

2023年9月24日,项目组在夏河县阿木去

乎镇草原采集黄绿卷毛菇,中午12:00,气温13℃,2cm地温16.00℃,光照强度62800lx;坐标:N34.85、E102.64,海拔3119.5m,菌盖黄色或白色,菌盖有鳞片,菌褶黄色,菌柄白色,有菌裙2~5层(图1)。



图1 黄绿卷毛菇子实体

2024年6月20日—7月20日,坐标:N34.89、E103.20,海拔3200m,白天中午平均气温17℃,2cm地温13℃,菌盖黄色或白色,菌盖有鳞片,菌褶黄色,菌柄白色,有菌裙;2024年10月9日—10月15日,白天中午平均气温7℃,2cm地温11.5℃,生长有黄绿卷毛菇。黄绿卷毛菇生长在高寒草原,与蒿草属植物,如矮蒿草(*Kobresia humilis*)、毛茛属(*Ranunculus*)、蒲公英属(*Daraxacum*)等植物共生^[8]。

1.2 黄绿卷毛菇的形态学特征

黄绿卷毛菇的菌盖直径介于3~15cm之间,呈现出凸镜状或扁平状,中部可突起或平坦,颜色从淡黄色至鲜黄色不等,在强烈光照和干燥条件下可变为白色。菌盖表面具有絮毛状鳞片或光滑,边缘内卷。菌肉较厚,呈白色。菌褶较密,从近直生至弯生,颜色从米色至黄色,或与菌盖颜色相似,通常黄色更为显著,长度不等。菌柄长度为3.5~9cm,直径为1~2.6cm,颜色为白色或带黄色,实心,偶尔基部膨大呈腹鼓状,基部存在螺旋状排列的卷毛。菌环位于上位,颜色为黄色,菌环下方则有黄色鳞片^[1]。

黄绿卷毛菇通常在雨后大量出现,从现蕾到成熟开伞需10d,若遇干旱、高温等不利条件,开伞时间会提前。鲜菇质量约为20~50g,晾晒5d后质量减至10~25g,10d后质量减至2~5g并定型。

根据生长速度、菌盖直径及鳞片状态,可将黄绿卷毛菇分为 4 个阶段^[9]。

菇蕾期:黄绿卷毛菇开始显现菇蕾,菌盖直径约为 1 cm,表面光滑,鳞片不明显,子实体高度约为 1.5 cm;

幼菇期:菌盖增长明显,鳞片开始出现分层;

开伞期:菌盖生长迅速,鳞片分层明显,菌柄上的菌裙清晰可见;

衰败期:生长速度减缓,菌盖出现开裂,菌盖明显皱缩。

黄绿卷毛菇以单生、散生、簇生、丛生的方式生长^[2](图 2)。



图 2 黄绿卷毛菇的生长方式

2 研究方法

2.1 空气温度、空气湿度、土壤温度、土壤湿度记录

在黄绿卷毛菇陆续出菇的 80 d 内(7 月 9 日—9 月 26 日)对夏河县阿木去乎镇草原空气温度、空气湿度、土壤温度、土壤湿度进行记录。

利用温、湿度自动记录器记录空气温度、空气湿度(距离地面 15 cm),每 30 min 记录 1 次(仪器名称:7in1 多参数传感器,规格型号:YYW-S7IN1),并计算每天的平均值。

利用温、湿度记录器记录土壤 2 cm 深处的温度、湿度,每 30 min 记录 1 次,并计算每天的平均值。

2.2 营养成分测定

甘南州农业科学研究所于 2024 年 7 月在甘南藏族自治州合作市卡加曼乡草原采集新鲜的黄绿卷毛菇,由“生工生物工程(上海)股份有限公司”进行营养成分测试。

2.3 子实体及孢子在显微镜下的形态结构

将采集到的黄绿卷毛菇子实体制作成组织

切片以及野外收集到的孢子在显微镜下进行观察。

2.4 子实体组织分离

2.4.1 实验材料

由甘南州农业科学研究所于夏河县阿木去乎镇草原采集的黄绿卷毛菇子作为实体标本。

2.4.2 母种培养基

采用 PDA 培养基(广东环凯微生物),按常规方法分装到培养皿 18 mm×180 mm 试管或三角瓶中,放入高压蒸汽灭菌锅中,121 ℃、0.6 kPa 灭菌 20 min,灭完菌后自然冷却至指针回到原位才可打开,试管放成斜面或平板培养皿冷却备用,三角瓶中的培养基转移至超净工作台中,紫外消杀 20 min,分装到一次性无菌培养皿中,放置冷却凝固备用。

2.4.3 菌种分离实验方法

将采集好的新鲜黄绿卷毛菇子实体用自来水冲洗干净,放入超净工作台,用 75% 的酒精进行表面消毒,用紫外灯将环境杀菌 20 min;然后将子实体放入无菌培养皿中用无菌水冲洗 5 次,放到无菌滤纸上充分吸干水分。在无菌操作条件下用解剖刀切取 2~5 mm 菌盖与菌柄结合处的块茎,接种于 PDA 培养基中,编号标记好后放入室温(温度为 20 ℃)暗室培养,定期观察菌丝萌发情况,并在显微镜下观察组织结构。

2.5 数据处理

采用 Excel 2007 进行数据统计与分析。

3 结果与分析

3.1 空气温度、空气湿度变化

甘南高原黄绿卷毛菇发生期一般在 6—10 月之间,子实体生长期为 15~20 d,白天温度高,晚上温度低,空气温度日平均最高 25.3 ℃,最低 9.76 ℃,平均气温日温差可达 16 ℃。实际观测的温度,7 月 30 日,5:30 瞬时最低 -2.34 ℃,持续在 30 min 以内,14:35 瞬时最高 34.86 ℃,持续在 30 min 以内,温差达到 37.2 ℃。虽然日平均温度为 12.76 ℃,但每天温差剧烈,这也可以看出黄绿卷毛菇对大温差具有适应能力(表 1)。从空气温度变化曲线可以看出,在 80 d 的观测时段,日平均温度在 15 ℃左右,整体温度逐渐下降(图 3)。

表1 空气温度记录

序号	日期	空气温度 /°C	序号	日期	空气温度 /°C	序号	日期	空气温度 /°C	序号	日期	空气温度 /°C
1	7月9日	22.08	21	7月29日	12.64	41	8月18日	11.90	61	9月7日	14.52
2	7月10日	21.64	22	7月30日	12.76	42	8月19日	13.57	62	9月8日	18.49
3	7月11日	21.48	23	7月31日	14.06	43	8月20日	12.99	63	9月9日	10.42
4	7月12日	21.64	24	8月1日	16.37	44	8月21日	13.93	64	9月10日	11.82
5	7月13日	20.85	25	8月2日	13.62	45	8月22日	16.08	65	9月11日	15.84
6	7月14日	21.10	26	8月3日	13.94	46	8月23日	16.37	66	9月12日	16.10
7	7月15日	21.66	27	8月4日	14.08	47	8月24日	18.80	67	9月13日	11.19
8	7月16日	21.87	28	8月5日	15.47	48	8月25日	17.52	68	9月14日	16.17
9	7月17日	22.30	29	8月6日	14.53	49	8月26日	15.00	69	9月15日	13.38
10	7月18日	22.66	30	8月7日	14.98	50	8月27日	18.34	70	9月16日	14.02
11	7月19日	22.93	31	8月8日	15.72	51	8月28日	19.57	71	9月17日	15.70
12	7月20日	25.30	32	8月9日	15.55	52	8月29日	19.50	72	9月18日	15.95
13	7月21日	20.77	33	8月10日	13.48	53	8月30日	20.10	73	9月19日	15.24
14	7月22日	18.46	34	8月11日	12.55	54	8月31日	16.67	74	9月20日	9.77
15	7月23日	18.03	35	8月12日	14.21	55	9月1日	17.91	75	9月21日	11.60
16	7月24日	18.04	36	8月13日	15.87	56	9月2日	17.23	76	9月22日	12.53
17	7月25日	21.53	37	8月14日	10.60	57	9月3日	20.38	77	9月23日	12.70
18	7月26日	12.61	38	8月15日	10.49	58	9月4日	11.16	78	9月24日	11.30
19	7月27日	13.40	39	8月16日	11.65	59	9月5日	10.87	79	9月25日	10.00
20	7月28日	12.29	40	8月17日	9.76	60	9月6日	11.10	80	9月26日	10.00

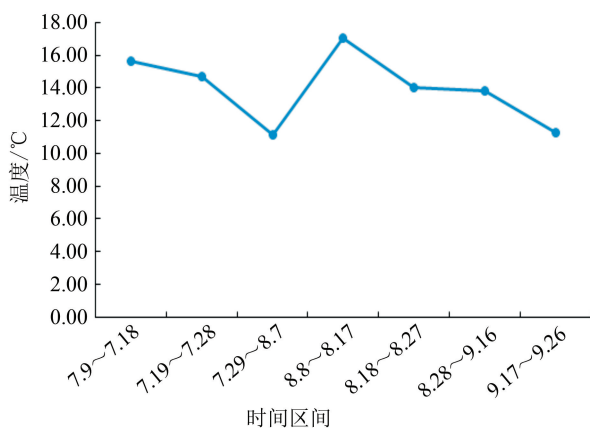


图3 空气温度变化趋势图

空气湿度结果见表2。由表2可知,空气平均湿度为76.93%,空气湿度处于较高状态,高湿度有利于子实体生长,因此下雨后草原上会大量生长出黄绿卷毛菇。

表2 空气湿度

空气湿度/%	最高	最低	平均
数值	99.45	19.25	76.93

3.2 土壤温度、土壤湿度变化

土壤温度见表3。由表3可知,在80 d的观测期内,平均土壤温度为15.73 °C,温度呈现出逐渐下降的趋势。在11~20 °C的土壤温度范围内有61 d,是黄绿卷毛菇子实体生长及陆续出菇的主要时期。

表3 土壤温度

土壤温度	5~10 °C	11~14 °C	15~20 °C	21~26 °C
天数	5	29	32	14

土壤湿度见表4。由表4可知,土壤平均湿度为16.92%,土壤基本处于见湿状态,有利于子实体生长。

表4 土壤湿度

土壤湿度/%	最高	最低	平均
数值	29.77	11.12	16.92

3.3 黄绿卷毛菇营养成分

黄绿卷毛菇营养成分测试结果见表5。由表5可知,黄绿卷毛菇中含有维生素B1、维生

素 B2、维生素 D2,其中维生素 B2 含量较高为 18.81 mg/kg;同时富含钙、镁、锰、磷、铜、钾、铁、磷、钠、硒等微量元素。此外,还含有蛋白质、脂肪、膳食纤维等营养物质。

研究表明,黄绿卷毛菇的多糖能够抑制肿瘤细胞增殖,并诱导其凋亡,同时对正常细胞无明显影响,对多种肿瘤具有一定的防治作用^[6]。黄绿卷毛菇中的多糖等成分可以调节血糖水平,促进胰岛素分泌,增强机体对葡萄糖的利用,具有一定的降血糖作用,对糖尿病及其并发症的预防和治疗有一定的帮助。从含量来看,黄绿卷毛菇中脂肪含量、胆固醇等较低,因此黄绿卷毛菇是天然的减肥食品。此外,黄绿卷毛菇具有补脾的作用,能够增强脾胃功能,促进人体消化吸收^[7]。

3.4 黄绿卷毛菇菌子实体组织结构

将黄绿卷毛菇子实体做成组织切片,在 100 倍显微镜下进行观察(图 4)。图 4 中 A、B、C 分别为菌盖、菌褶、菌柄在显微镜下的组织结构。由图可知,菌盖:由圆形的组织相互结合组成;菌褶:长条的片状组织构成;菌柄:长条的片状组织构成,但比菌褶的片状组织要窄。

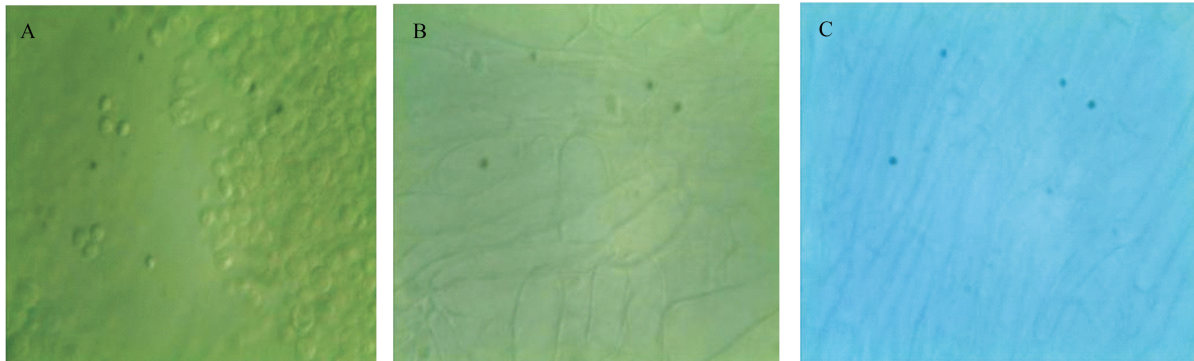


图 4 黄绿卷毛菇鲜菇子实体不同部位在显微镜下的组织结构

3.5 孢子

野外收集黄绿卷毛菇弹射的孢子,在 100 倍显微镜下观察(图 5)。由图 5 可知,孢子为圆形,白色,表面光滑。外面有一层皱褶的包裹层,厚度约 5~30 μm,有椭圆形、圆形,大小约 80~180 μm。有的包裹层里面有一个孢子,有的里面有两个孢子,大致像鸡蛋的蛋清与蛋黄,有的是双黄蛋。

3.6 菌丝体形态特征

将组织分离法分离的菌丝培养 30 d,菌丝体生长 1 cm,白色,致密,绒毛状,不连续。在 100

表 5 黄绿卷毛菇营养成分表

序号	测试指标	测试结果
1	维生素 B1/(mg · kg ⁻¹)	2.10
2	维生素 B2/(mg · kg ⁻¹)	18.81
3	维生素 D2/(mg · kg ⁻¹)	2.310
4	钙/(mg · kg ⁻¹)	187
5	镁/(mg · kg ⁻¹)	1.05×10 ³
6	铁/(mg · kg ⁻¹)	85.4
7	锰/(mg · kg ⁻¹)	8.18
8	铜/(mg · kg ⁻¹)	42.3
9	钾/(mg · kg ⁻¹)	3.95×10 ⁴
10	磷/(mg · kg ⁻¹)	7.49×10 ³
11	钠/(mg · kg ⁻¹)	88.2
12	硒/(mg · kg ⁻¹)	1.07
13	蛋白质/(mg · g ⁻¹)	33.9
14	脂肪/(mg · g ⁻¹)	1.7
15	膳食纤维/(mg · g ⁻¹)	21.6
16	胆固醇/(mg · kg ⁻¹)	3.48
17	碳水化合物/(mg · g ⁻¹)	40.7

倍显微镜下观察,菌丝内可见圆形核,菌丝具明显锁状联合^[11],匍匐生长(图 6)。生长速度较慢,初期形成的菌落中部稍凸,色泽纯白;随后逐渐平展,色泽浅白,菌落有清晰轮纹,边缘呈土黄色,菌落背面呈金黄色^[10]。无色素分泌至培养基中,将培养纯化的培养皿菌丝体(编号“su 干 11.2”)经生物工程(上海)股份有限公司进行菌种鉴定后,菌株被鉴定为 *Floccularia* (卷毛菌属),推测为 *Floccularia ludeovirens* (黄绿卷毛菇)。同义名:*Armillaria ludeovirens*。

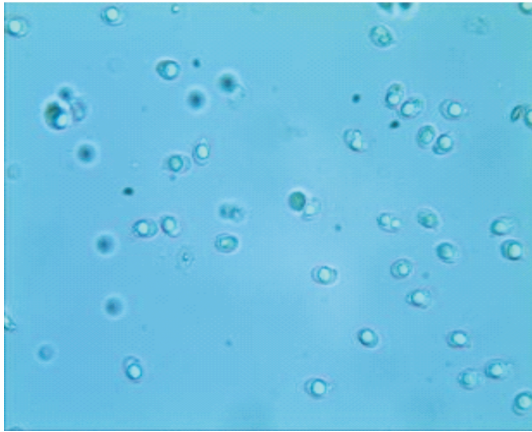


图5 黄绿卷毛菇孢子在显微镜下的组织结构

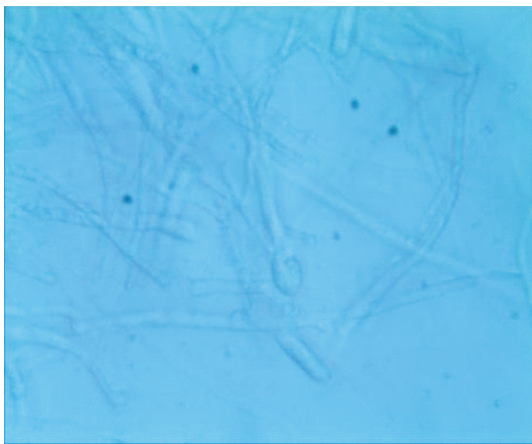


图6 黄绿卷毛菇菌丝体特征

4 讨论

研究表明,黄绿卷毛菇生长在海拔3 000 m以上的草原上,生长时间为6月中下旬—9月下旬,是青藏高原特有的真菌^[1],在降水过后生长会明显增多^[12],现未报道有人工种植出菇的情况。本文对其自然生长环境、形态特

征、营养成分、子实体组织特征、菌丝体特征进行了研究,为下一步工作提供理论支持。

参考文献:

- [1] 刘昆,蒋俊,郑巧平,等.黄绿卷毛菇研究进展[J].中国食用菌,2019,38(5):1-5,12.
- [2] 谢占玲,赵联正,李柳,等.青藏高原特有种黄绿卷毛菇的地理分布与生态环境的相关性[J].生态学报,2016,36(10):2851-2857.
- [3] 史建桥,白淑英,周寅,等.近50年甘肃日照时数时空变化特征及突变分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2016,8(1):64-70.
- [4] 王兴丽,蒋友严,张翼飞,等.2001—2020年甘南高原植被变化特征及驱动因素[J].草业科学,2023,40(9):2185-2198.
- [5] 刘昆,蒋俊,郑巧平,等.黄绿卷毛菇研究进展[J].中国食用菌,2019,38(5):1-5,12.
- [6] 刘政捷.黄绿卷毛菇的生理特性、关键活性物质挖掘及其多组学研究及遗传代谢解析[D].杭州:浙江大学,2020.
- [7] 郑涵.菌类养生功效多,但有些人不能吃[J].烹调知识,2019(2):70.
- [8] 彭青青,孙占清,毛玉晶,等.高寒草甸蘑菇圈上植物内生真菌多样性[J].草业科学,2024,41(5):1112-1122.
- [9] 杨满军,德庆央吉,张彩峡.黄绿卷毛菇的生长规律[J].江西农业,2018(2):106.
- [10] 戴大日,谢占玲,郭璟,等.黄绿卷毛菇优良菌株筛选及其发酵特性[J].食用菌学报,2020,27(4):115-119.
- [11] 王宝,谢占玲,戴大日,等.黄绿卷毛菇菌丝体长势与显微结构的相关性[J].青海大学学报,2022(4):39-44,68.
- [12] 韩兴宝,谢占玲.黄绿卷毛菇生长规律的初步研究[J].江苏农业科学,2015,43(6):219-222.