

林群英, 龚光禄, 李传华, 等. 新古尼异虫草培养及子实体成分分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 165-170.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.03.025

# 新古尼异虫草培养及子实体成分分析

林群英<sup>1,2</sup>, 龚光禄<sup>2</sup>, 李传华<sup>3</sup>, 吴亮亮<sup>1</sup>, 邓春英<sup>4</sup>

(1. 中华全国供销合作总社南京野生植物综合利用研究所, 江苏南京 211100; 2. 贵州省农业科学院/

贵州省食用菌育种重点实验室, 贵州贵阳 550006; 3. 农业农村部南方食用菌资源利用重点实验室/国家食用菌工程技术研究中心/

上海市农业遗传育种重点开放实验室/上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201403; 4. 贵州科学院, 贵州贵阳 550001)

**摘要:**为加快实现新古尼异虫草(*Metacordyceps neogunnii*)的人工栽培和开发利用,以分离自贵州的菌株为种质材料进行人工培养,对栽培获得的子实体进行成分分析。结果显示,果糖和蚕蛹水提液最利于菌丝体的生长,生长速度均为 1.5 mm/d, 25 ℃、pH 值为 5.0 时,菌丝体生长最快。以含果糖和蚕蛹的营养液配制小米培养基,新古尼异虫草子实体高可达 6 cm,生物转化率达 47.5%。子实体含粗蛋白 29.5%、粗纤维 20.4%、灰分 4.02%、水解氨基酸 14.3%;有效成分方面,含腺苷 497 mg/kg、粗多糖 5.5%、虫草酸 7.0%,但未检测出虫草素。研究结果将有效促进新古尼异虫草的人工栽培。

**关键词:**新古尼异虫草;古尼虫草;生物学特性;人工驯化;成分测定

**中图分类号:**S567.3+50.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)03-0165-06

虫草类真菌因其独特的生活史而备受关注,而显著的药理活性则大大促进其应用开发。近 20 年来,虫草类文献有 2 000 余篇<sup>[1]</sup>,蛹虫草(*Cordyceps militaris*)人工培养基相关专利申请数为 377 件<sup>[2]</sup>。除了冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)和蛹虫草外,广东虫草(*Tolypocladium guangdongense*)和蝉花(*C. chanhua*)等更多种类开始得到广泛应用<sup>[3-4]</sup>。新古尼异虫草(*Metacordyceps neogunnii*)的

外观与冬虫夏草十分相似,常被混淆或作为替代品使用,该种具有多种与冬虫夏草相似的药理活性,如抗肿瘤、抗氧化、镇痛、镇静、免疫调节和促进伤口愈合等多种活性作用<sup>[5-6]</sup>。新古尼异虫草在我国一直被认为是古尼虫草(*C. gunnii*),直至 2017 年才被重新鉴定为新种,且两者在遗传上有很大的差异<sup>[7]</sup>。

尽管新古尼异虫草具有突出的应用价值,但由于未能实现规模化商业栽培,目前仅能使用野生资源,这极大限制了其开发利用。新古尼异虫草人工培养始于 1985 年,当时报道新古尼异虫草的无性型及平板菌丝培养情况<sup>[8-9]</sup>。1990 年,刘杰麟等首次报道新古尼异虫草子实体的驯化栽培,在米饭培养基上长出少量子实体,生长周期为 3 个月<sup>[10]</sup>,直至 2015 年,孙超男证实小米最利于古尼虫草子实体的生长,产量较前者略有提高,但离生产要求仍有较大差距<sup>[11]</sup>。新古尼异虫草子实体栽培的研究进展

收稿日期:2022-04-26

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合支撑[2019]2451-2、[2019]2333号);贵州省食用菌育种重点实验室开放课题(编号:黔科合平台人才[2019]5105-2009号)。

作者简介:林群英(1979—),女,广东新会人,博士,研究员,研究方向为食用菌栽培与应用。E-mail:linqunying1007@126.com。

通信作者:邓春英,博士,副研究员,研究方向为大型真菌资源多样性与前期开发利用。E-mail:171934233@qq.com。

(7):e03049.

[16] Zhang Y, Zhang K L, Ji Y S, et al. Physical dormancy and soil seed bank dynamics in seeds of *Melilotus albus* (Fabaceae) [J]. *Flora*, 2020, 266: 151600.

[17] Yogeeshha H S, Shivananda T N, Bhanuprakash K. Effect of seed maturity, seed moisture and various pre-treatments on seed germination of annatto (*Bixa orellana* L.) [J]. *Seed Science and Technology*, 2005, 33(1): 97-104.

[18] Baskin J M, Baskin C C. A classification system for seed dormancy

[J]. *Seed Science Research*, 2004, 14(1): 1-16.

[19] Hu D D, Baskin J M, Baskin C C, et al. Ecological role of physical dormancy in seeds of *Oxytropis racemosa* in a semiarid sandland with unpredictable rainfall [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2017, 11(4): 542-552.

[20] 姚林君. 凤丹种子发育、休眠与萌发特性研究[D]. 扬州:扬州大学, 2020.

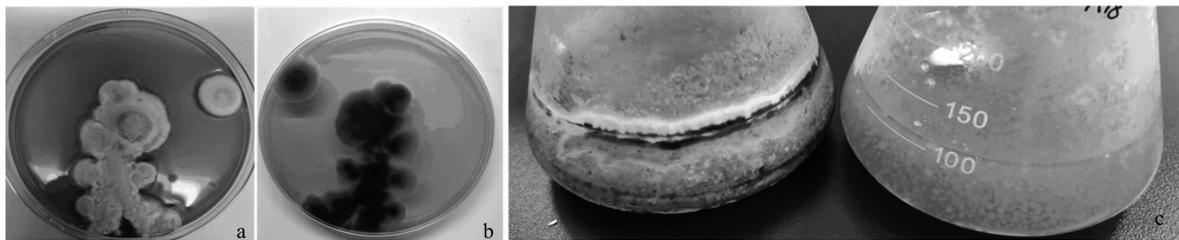
[21] 胡小文, 武艳培, 王彦荣, 等. 豆科种子休眠破除方法初探[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(3): 568-573.

很缓慢,可见其难度较大。尽管人工培养子实体的难度较大,但这一培养方式的产品与长久以来的使用习惯最为接近,因此,实现其人工培养是解决资源可持续利用的有力途径。本研究以分离于野生子实体的菌株为研究对象,对其生物学特性及产子实体能力进行研究,并对子实体成分进行分析,以期为该种人工栽培提供更多种质资源和参考依据,加快实现新古尼异虫草子实体的规模化人工栽培。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与菌种分离

以采集自贵州省黔东南苗族侗族自治州施秉



a—菌落正面; b—菌落反面; c—液体菌丝体

图1 新古尼异虫草菌种

### 1.2 生物学特性分析

**1.2.1 碳源对新古尼异虫草菌丝生长的影响** 将 6 种碳源分别添加至对照组培养基(蛋白胨 4 g/L, 牛肉浸膏 4 g/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.0 g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 g/L, 维生素  $\text{B}_1$  0.05 g/L, 琼脂 20 g/L, pH 值为 6.5, CK - C) 中, 用量为 20 g/L。115 °C 灭菌 30 min, 配制成平板培养基。培养基中心接种 1 个直径 5 mm 的圆形菌块, 培养温度 25 °C, 每个处理设置 3 个平行。采用十字划线法测量菌落半径计算菌丝日均生长速度, 每隔 5 d 标记 1 次菌落半径, 培养 15 d 后测量菌落半径, 计算菌丝生长速度。

**1.2.2 氮源对新古尼异虫草菌丝生长的影响** 将 11 种氮源分别添加至对照培养基(葡萄糖 20 g/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.0 g/L,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 g/L, 维生素  $\text{B}_1$  0.05 g/L, 琼脂 20 g/L, pH 值为 6.5, CK - N) 中, 用量为 8 g/L。余下步骤同“1.2.1”节, 各组设置 3 个平行。

**1.2.3 温度对新古尼异虫草菌丝生长的影响** 将菌块接至 PDA 平板上, 分别置于 15、20、25 °C 下, 避光培养, 设 3 个平行。余下步骤同“1.2.1”节。

**1.2.4 pH 值对新古尼异虫草菌丝生长的影响** PDA 培养基灭菌后用无菌的 0.1 mol/L HCl 和 0.1 mol/L NaOH 调节 pH 值至 4.0、5.0、6.0、7.0、

县的一批野生新古尼异虫草为材料, 采用组织分离的方法进行菌种分离, 将子实体和菌核中菌肉组织置于 PPDA 培养基, 20 °C 下暗培养 10 ~ 20 d。分离所得的菌种均经纯化, 确保无杂菌污染。经初步筛选, 获得 1 株可产生墨绿色素的菌种, 编号为: 2020031916。由图 1 可知, 初步确定为新古尼异虫草的无性型; 进行 ITS 序列测序, 序列提交至 GenBank, 编号为 OM967169。经对比, 最终确定为新古尼异虫草(*Metacordyceps neogunnii*)。菌种经转管扩繁, 保藏于中国典型培养物保藏中心, 保藏编号(CCTCC No.): M2021416。

8.0、9.0, 再将菌块分别接至不同 pH 值的平板上, 20 °C 下避光培养, 设 3 个重复。余下步骤同“1.2.1”节。

### 1.3 新古尼异虫草出草试验

新古尼异虫草按照以下方法进行出草试验: 斜面菌种接入液体培养基(葡萄糖 20 g/L, 蛋白胨 8 g/L, 磷酸二氢钾 1.0 g/L, 硫酸镁 0.5 g/L, 维生素  $\text{B}_1$  0.02 g/L), 20 °C 下进行振荡培养 5 d, 转速为 160 r/min。将液体菌种按 10 mL/瓶的接种量接入小米培养基。每个栽培瓶含 25 g 小米、0.5 g 蚕蛹粉和 45 mL 营养液, 营养液配方为: 果糖 20 g, 酵母浸膏 1 g, 维生素  $\text{B}_1$  0.02 g, 磷酸二氢钾 1.0 g, 硫酸镁 0.5 g, 水定容至 1 L。20 °C 下暗培养 8 d, 至菌丝长满整个培养基, 开始产生墨绿色色素时, 开始转入光照培养阶段。光照度为 800 lx, 光照时间 12 h/d, 温度为 18 °C, 加强通风, 通风时间为 0.5 h/次, 2 次/d。继续培养至子实体顶端略膨大, 即可采收。60 °C 烘干子实体。

### 1.4 人工栽培的子实体成分分析

子实体中粗蛋白的含量按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法测定, 换算系数为 6.25; 粗纤维含量按照 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维》测定; 总灰

分含量按照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分》测定;水解氨基酸含量按照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸》测定;微量元素按照 GB 5009.268—2016 第二法进行测定;重金属砷、镉和铅含量按照 GB 5009.268—2016 第一法进行测定,汞按照 GB 5009.17—2014 第一篇第一法进行测定;虫草酸用高效液体色谱法<sup>[12]</sup>测定、虫草素和腺苷含量按 NY/T 2116—2012 中的方法测定;粗多糖含量按照 NY/T 1676—2008 中的方法进行测定。

### 1.5 数据分析

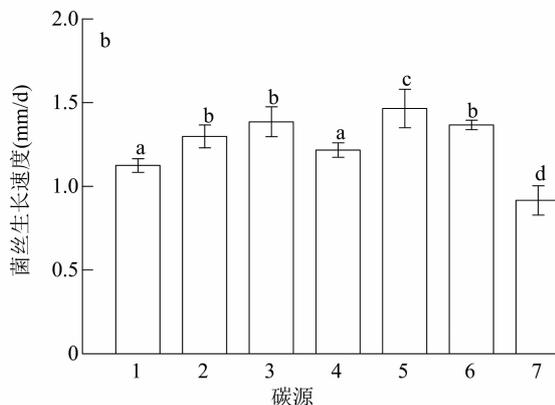
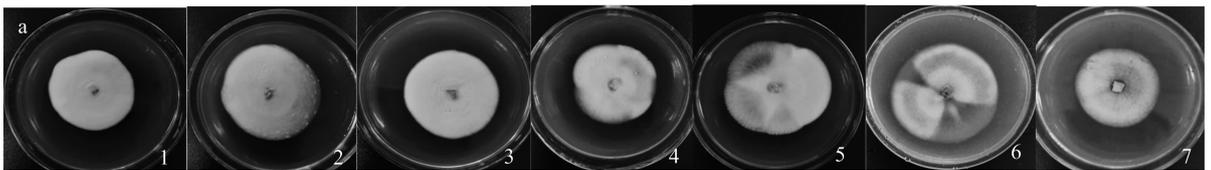
试验数据采用 SPSS 26.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) 软件进行处理,通过一维方差分析 (analysis of

variance, ANOVA) 最小显著差法 (least significant difference, *LSD*,  $\alpha=0.05$ ) 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 碳源对新古尼异虫草菌丝体生长的影响

新古尼异虫草在不同碳源固体培养基中生长差异较为明显。由图 1-b 和图 2 可知,果糖为碳源时菌丝生长最快,菌丝生长速度为 1.5 mm/d,菌丝粗壮、浓密、洁白;其次是麦芽糖和玉米淀粉,这 2 种碳源的培养基上菌丝浓密,但生长速度略慢;蔗糖和甘油为碳源时菌丝生长较慢,且菌丝长势一般;对照组培养基的菌丝生长速度最慢,仅 0.9 mm/d。



1—蔗糖; 2—葡萄糖; 3—麦芽糖; 4—甘油; 5—果糖; 6—玉米淀粉; 7—对照组;

不同小写字母表示处理差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同

图2 碳源对新古尼异虫草菌丝体生长速度的影响

### 2.2 氮源对新古尼异虫草菌丝体生长的影响

利用不同氮源培养新古尼异虫草时,菌丝的生长速度和长势均有差异。由图 3 可知,蚕蛹水提物为氮源时菌丝生长速度快,1.5 mm/d,菌丝粗壮、浓密、洁白,其次是棉籽蛋白,且两者无统计学差异;胰蛋白胍和蛋白胍为氮源时菌丝生长速度相同,略低于蚕蛹水提物,为 1.4 mm/d;硫酸铵为氮源时菌丝生长受到抑制,远低于对照组。

### 2.3 温度对新古尼异虫草菌丝体生长的影响

由图 4 可知,新古尼异虫草菌株 20200309016 最佳的生长温度为 25 °C,其次是 20 °C,生长速度分别为 1.1、1.0 mm/d,在 15 °C 低温条件下,菌丝的生

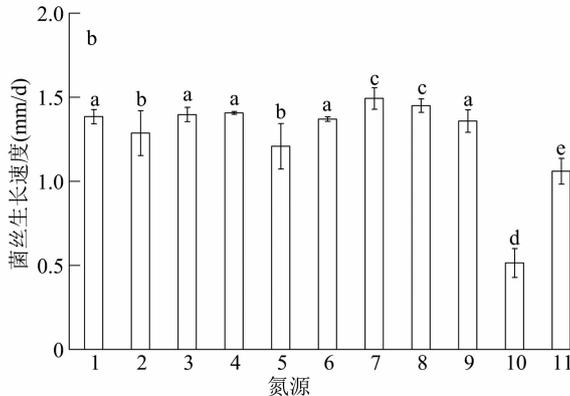
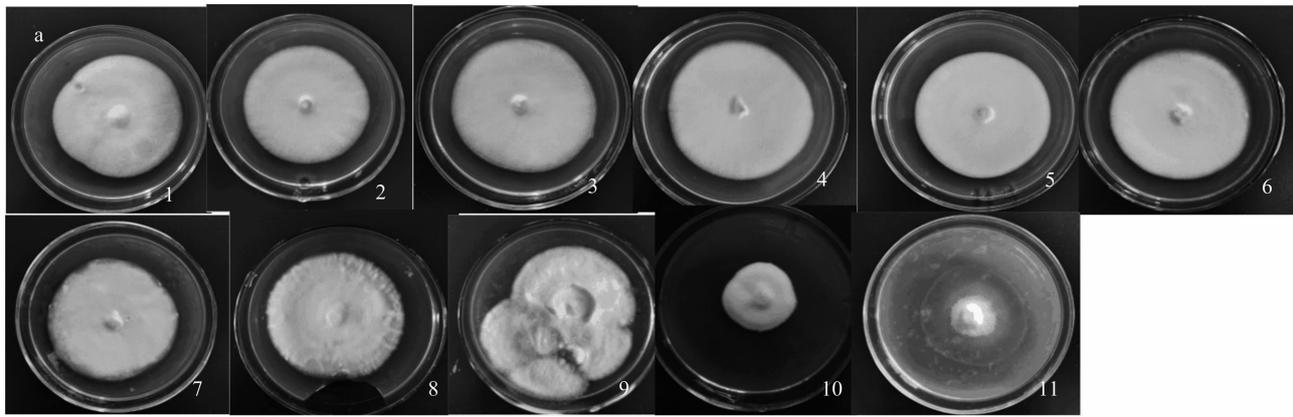
长速度大大降低,仅为 0.6 mm/d,比 20 °C 下降了 40%。可见该菌株对温度较为敏感。

### 2.4 pH 值对新古尼异虫草菌丝体生长的影响

由图 5 可知,弱酸性环境最利于新古尼异虫草菌丝的生长,以 pH 值为 5.0 最佳,生长速度达 1.2 mm/d,pH 值为 8.0~9.0 碱性条件不利于菌丝的生长,菌丝生长缓慢且稀疏。

### 2.5 子实体人工栽培

小米培养基为主要原料栽培新古尼异虫草的效果良好,菌丝长满培养基表面需时 4~5 d,菌丝长满培养料需时 8 d。光照培养后,菌丝产生明显的墨绿色素,而表面的气生菌丝仍以白色为主,色素不明



1—牛肉浸出粉；2—马铃薯浸出粉；3—胰蛋白胨；4—蛋白胨；5—酵母浸粉；6—大豆蛋白胨；7—蚕蛹水提液；8—棉籽蛋白；9—棉籽壳浸出粉；10—硫酸铵；11—对照组

图3 氮源对新古尼异虫草菌丝体生长速度的影响

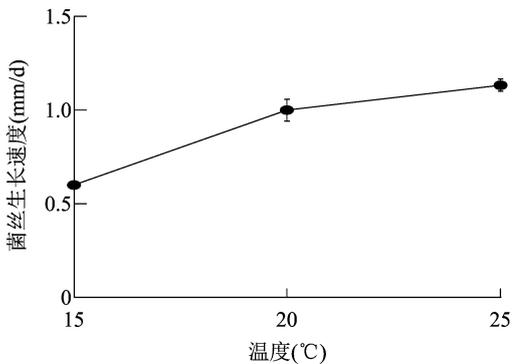


图4 温度对新古尼异虫草菌丝体生长速度的影响

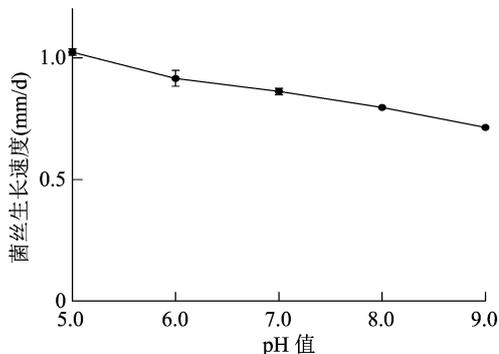


图5 pH 值对新古尼异虫草菌丝体生长速度的影响

显。由图 6 可知,光照 10 d 后,原基开始形成,呈圆形。自原基形成起,子实体生长至成熟,需时 40 ~ 50 d。成熟时,子实体顶端略膨大,部分会呈暗绿色。子实体最高可达 6 cm,产量最高可达 9.5 g/瓶,生物转化率为 47.5%,平均产量 6.22 g/瓶,生物转化率为 31%。

## 2.6 人工栽培的子实体成分分析

2.6.1 常规成分 人工栽培的新古尼异虫草子实体干品含粗蛋白质 29.5% (按转换系数 6.25 计算)。含粗纤维 20.4%,灰分 4.02%。

2.6.2 水解氨基酸 由表 1 可知,子实体和培养残基均含有 16 种水解氨基酸,总含量分别为 14.30% 和 7.06%。子实体含谷氨酸含量最高,为 2.37%,其次是天冬氨酸和丙氨酸,为 1.56% 和 1.12%。培养残基的谷氨酸含量最高,为 1.28%,其次是丙氨酸,为 0.69%。由于培养残基中菌丝的生物量远低于子实体,因此两者水解氨基酸含量差异很大。

2.6.3 微量元素及重金属 由表 2 可知,新古尼异虫草子实体中锰、铁、铜、锌和钙等 5 种微量元素的含量分别是 9.13、21.50、2.69、85.20、223.00 mg/kg。

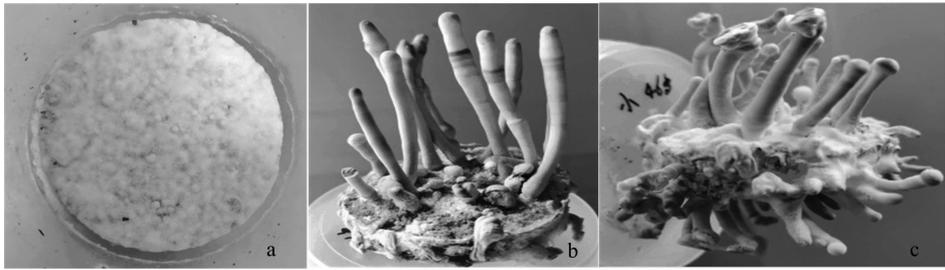


图6 新古尼异虫草子实体生长情况

表1 新古尼异虫草子实体水解氨基酸的含量

水解氨基酸	含量(%)	
	子实体	培养残基
天冬氨酸(Asp)	1.56	0.67
谷氨酸(Glu)	2.37	1.28
丝氨酸(Ser)	0.80	0.40
组氨酸(His)	0.32	0.16
甘氨酸(Gly)	0.72	0.31
苏氨酸*(Thr)	0.90	0.39
精氨酸(Arg)	1.00	0.30
丙氨酸(Ala)	1.12	0.69
酪氨酸(Typ)	0.38	0.17
缬氨酸*(Val)	0.74	0.35
蛋氨酸*(Met)	0.10	0.02
苯丙氨酸*(Phe)	0.59	0.37
异亮氨酸*(Ile)	0.89	0.23
亮氨酸*(Leu)	0.79	0.68
赖氨酸*(Lys)	1.03	0.36
脯氨酸(Pro)	1.01	0.68
必需氨基酸	5.04	2.40
总和	14.30	7.06

注: \* 必需氨基酸。

表2 新古尼异虫草微量元素和重金属的含量

微量元素	含量 (mg/kg)	重金属	含量 (mg/kg)
锰	9.13	砷	0.067 6
铁	21.50	铅	—
铜	2.69	汞	—
锌	85.20	镉	0.044 1
钙	223.00		

注: “—”表示低于检测限量,未检出。

同时,还对4种重金属进行检测发现,砷和镉含量分别为0.067 6、0.044 1 mg/kg,铅、汞均未检出。这4种重金属的含量符合GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》要求。

2.6.4 有效成分 新古尼异虫草人工栽培的子实

体含腺苷0.049 7%、虫草酸7.8%、多糖5.5%,但未检测到虫草素。

### 3 讨论

新古尼异虫草在我国的研究历史已有30余年,主要集中在药理活性、成分分析和液体培养等方面。人工驯化和子实体栽培方面的研究少,主要是由于难度较大所致。本研究以自行分离获得的菌株进行生物学特性及人工栽培研究,成功获得栽培性状优良的子实体。由于新古尼异虫草存在内菌核多菌定殖现象,所以菌株的真实性有必要经分子及形态鉴定以保证研究的有效性<sup>[13-14]</sup>。

新古尼异虫草无性型在菌落形态、菌丝体活性成分等方面存在较大差异。本研究所用的菌株在液体培养时菌丝形态有时会出现较大差别。贾学渊等<sup>[15]</sup>和蒋岚等<sup>[16]</sup>均证实菌株类型与活性成分含量有极大的相关性。本研究所采用的菌株2020031916菌落最显著的特点是产墨绿色色素,与已报道的菌株<sup>[15-16]</sup>相同。但此菌株生长速度慢,仅1.2 mm/d,比孟祥贤等报道的4.0~5.5 mm/d<sup>[17]</sup>慢。在pH值方面,此菌株偏好弱酸性条件,与菌株5-19<sup>[18]</sup>不同。营养条件方面,果糖和蚕蛹水提物最利于菌株2020031916菌丝的生长,而菌株5-19则以葡萄糖和尿素为最佳的碳氮源<sup>[19]</sup>。刘晓翠等证实,可溶性淀粉和蛋白胨最利于菌丝体的生长<sup>[20]</sup>,这极可能是由于研究采用的菌株和所测试的碳氮源的范围不同所致。

新古尼异虫草菌株2020031916具有优良的出草能力,最高产量可达9.5 g/瓶,生物转化率为47.5%,远高于目前已有的报道。刘杰麟等采用5-19-M菌株,以覆盖松针等方法栽培获得子实体9个/瓶,在栽培瓶中获得的子实体长度为7 cm<sup>[10]</sup>。而孙超男采用的单孢菌株S21获得子实体,产量为2.46 g/瓶,子实体平均高度为3.02 cm<sup>[11]</sup>。虽然本研究取得了较前人更好的进展,但离生产应

用仍有很大距离。为更好地实现人工栽培, Long 等已对新古尼异虫草的基因组和转录组进行了测序分析<sup>[21]</sup>, 以获得关键遗传信息用于菌株筛选和生理调控。

人工栽培获得的新古尼异虫草子实体富含多种营养和活性物质。子实体粗蛋白含量较高, 接近 30%, 高于蛹虫草、冬虫夏草和广东虫草, 而粗纤维同样高于这些种类<sup>[22]</sup>。水解氨基酸则与这些种类相近。人工栽培的子实体未检测出虫草素, 这结果与武为宝等的结果<sup>[32]</sup>一致, 但与液体培养的菌丝体中的检测结果<sup>[15-16]</sup>不一致。新古尼异虫草中虫草酸和粗多糖的含量与常规条件下栽培的蛹虫草子实体<sup>[24]</sup>相近。基于这些主要营养及活性成分的比较分析, 可推测人工栽培的新古尼异虫草子实体具有食品新资源原料和保健食品的开发潜力。

#### 4 结论

通过对菌株 2020031916 进行生物学特性及人工栽培研究, 成功实现性状优良的子实体人工栽培, 部分营养及活性成分高于当前已规模化栽培的虫草种类或与之相近。果糖和蚕蛹水提液最利于菌丝体的生长; 25 ℃、pH 值为 5.0 时, 菌丝体生长最快。新古尼异虫草子实体最高可达 6 cm, 生物转化率最高达 47.50%。子实体含粗蛋白 29.50%、粗纤维 20.40%、灰分 4.02%、水解氨基酸 14.30%; 有效成分方面, 含腺苷 497 mg/kg、粗多糖 5.50%、虫草酸 7.00%。本研究为新古尼异虫草的人工栽培提供了优良的种质资源, 将有助于加快实现该种类子实体规模化人工栽培。

#### 参考文献:

- [1] 朱碧纯, 曾 玮, 吴爱民, 等. 基于 CiteSpace 的蛹虫草研究进展可视化分析[J]. 中国食用菌, 2021, 40(11): 82-91.
- [2] 孙 婕. 蛹虫草人工培养基质专利申请情况分析[J]. 食用菌, 2020, 28(2): 103-106.
- [3] 孙程远, 王刚正, 张成花, 等. 广东虫草子实体乙醇提取物对高脂饮食诱导小鼠肥胖指标及肠道菌群的影响[J]. 食用菌学报, 2022, 29(2): 73-83.
- [4] Zheng Y, Li S Y, Li C, et al. Polysaccharides from spores of *Cordyceps cicadae* protect against cyclophosphamide - induced immunosuppression and oxidative stress in mice[J]. Foods, 2022, 11(4): 515.
- [5] 甘卓亭, 姚 婷, 丁 璐. 新古尼异虫草的化学成分、药理作用及

- 开发应用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(6): 1109-1115, 1108.
- [6] ALKolaibe A G, Elkhateeb W A, Elnahas M O, et al. Wound healing, anti - pancreatic cancer, and  $\alpha$  - amylase inhibitory potentials of the edible mushroom, *Metacordyceps neogunnii* [J]. Research Journal of Pharmacy and Technology, 2021: 5249-5253.
- [7] Wen T C, Xiao Y P, Han Y F, et al. Multigene phylogeny and morphology reveal that the Chinese medicinal mushroom ' *Cordyceps gunnii* ' is *Metacordyceps neogunnii* sp. nov [J]. Phytotaxa, 2017, 302(1): 27.
- [8] 梁宗琦. 古尼虫草分生孢子阶段的分离和鉴定[J]. 真菌学报, 1985, 4(3): 162-166, 197.
- [9] 张志光, 张天晓, 刘杰麟. 古尼虫草 *Cordyceps gunnii* Berk 生活史的研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1985, 8(4): 53-62.
- [10] 刘杰麟, 梁宗琦, 刘爱英. 古尼虫草子实体的人工培养[J]. 西南农业学报, 1990, 3(4): 6-10.
- [11] 孙超男. 古尼虫草子实体的人工诱发及菌丝富集钙镁锌的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015: 24-29.
- [12] 白 鸿. 保健食品功效成分检测方法[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2011.
- [13] 胡胜兰, 梁建东, 陈万浩, 等. 新古尼异虫草内菌核的多菌定殖现象[J]. 菌物学报, 2018, 37(9): 1199-1206.
- [14] Raja H A, Miller A N, Pearce C J, et al. Fungal identification using molecular tools: a primer for the natural products research community[J]. Journal of Natural Products, 2017, 80(3): 756-770.
- [15] 贾学渊, 郭 瑞, 虞 泓, 等. 产不同色素古尼拟青霉菌株功效成分分析[J]. 中国食用菌, 2014, 33(3): 41-44.
- [16] 蒋 岚, 于士军, 张 莹, 等. 古尼拟青霉表型多样性及其与活性成分的关系[J]. 中国微生物学杂志, 2012, 24(1): 33-36, 39.
- [17] 孟祥贤. 古尼虫草生物学特性及其生理活性物质的研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2001: 29.
- [18] 刘杰麟, 梁宗琦, 刘爱英. 古尼虫草无性型菌丝生长条件的研究[J]. 贵州农学院学报, 1989, 8(2): 20-26.
- [19] 曹 蕾, 梁宗琦, 刘爱英. 营养条件对古尼虫草菌丝生长量的影响[J]. 贵州农业科学, 1991, 19(3): 24-26.
- [20] 刘晓翠, 朱振元, 孙会轻, 等. 液体发酵生产古尼虫草多糖的营养条件优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 225-229.
- [21] Long L K, Liu Z, Deng C Y, et al. Genomic sequence and transcriptome analysis of the medicinal fungus *keithomyces neogunnii* [J]. Genome Biology and Evolution, 2022, 14(3): evac033.
- [22] 林群英, 李秦辉, 宋 斌, 等. 广东虫草与冬虫夏草及蛹虫草的成分比较[J]. 食用菌学报, 2009, 16(4): 54-57.
- [23] 武为宝, 唐 军. 皖产古尼虫草中核苷和碱基成分的 HPLC 分析[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(9): 1668-1671.
- [24] 朱丽娜, 刘艳芳, 张红霞, 等. 培养基和栽培方式对蛹虫草子实体活性成分的影响[J]. 菌物学报, 2021, 40(11): 3034-3045.