



魏云辉

研究员，江西农业大学硕士生导师，江西省农业科学院农业应用微生物研究所副所长、食用菌研究室首席专家、食药菌资源保育及创新利用团队负责人，聘任为国家食用菌产业技术体系南昌综合试验站站长，兼任中国食用菌协会理事、中国菌物学会大球盖菇产业分会副会长、中国农学会香菇产业分会理事、江西省食用菌协会秘书长。长期从事食药菌种质资源收集、鉴定、评价，食用菌新品种选育及高效栽培技术与示范推广工作。先后主持科技部农业科技成果转化资金项目、农业农村部“948”项目、江西省科技厅重点研发重大项目等省部级科研项目 16 项，荣获江西省科技进步三等奖 2 项、南昌市科技进步奖 2 项、江西省农科教突出贡献奖 3 项。获得授权国家技术发明专利 5 项，制定农业行业标准 1 项、江西省地方标准 8 项，发表论文 20 余篇，出版专著 2 部。

我国主栽皱环球盖菇菌株遗传多样性及栽培特性

陈绪涛¹ 章炉军² 孙鹏¹ 胡文君³ 王瑞娟² 张美彦² 魏云辉^{1*}
王洪秀¹ 胡佳¹ 熊泽亚¹

①江西省农业科学院农业应用微生物研究所 江西 南昌 330200

②上海市农业科学院食用菌研究所 上海 201403

③高安市公共检验检测中心 江西 高安 330800

摘要：对我国皱环球盖菇 *Stropharia rugosoannulata* 20 个主栽菌株进行了 ISSR 标记遗传多样性分析，使用的 28 个 ISSR 引物中 22 个具有多态性，UPGMA 聚类分析显示遗传相似性水平在 0.68–0.86 之间，在 0.72 时可将菌株分为 6 个类群，类群间遗传差异较大。在 PDA 培养基上，除菌株 Sr-03 和 Sr-05 最适生长 pH 值为 8.0 外，其他菌株均为 pH 5.0–6.0；在 5–30℃ 的温度范围内，除菌株 Sr-01、Sr-08、Sr-11 在 30℃ 时长速受到抑制外，其他菌株长速随温度升高而加快，但在 35℃ 时仅有 5 个菌株在培养 20d 时具有活性；皱环球盖菇菌丝在以木屑为主的原种培养料中长速较慢，为 0.73–1.08mm/d。在菌株的农艺性状比较中，菌株 Sr-12 的菇型比例最好、产量最高，生物学效率达 98.09%，菌株 Sr-08 和 Sr-12 菇体硬度较大，菌盖

基金项目：财政部和农业农村部：国家现代农业产业技术体系(CARS-20)；江西省重点研发计划重点项目(20212BBF61002)；江西省重点研发计划一般项目(20212BBF63013)

Supported by China Agricultural Research System of MOF and MARA (CARS-20), Key Project of Jiangxi Province Key Research and Development Plan (20212BBF61002), and General Project of Jiangxi Province Key Research and Development Plan (20212BBF63013).

*Corresponding author. E-mail: yunhuiwei@sina.com

ORCID: CHEN Xu-Tao (0000-0002-2198-1659), WEI Yun-Hui (0000-0003-2890-301X)

Received: 2021-08-13, accepted: 2021-09-13

颜色与其他菌株差异显著, 菌株 Sr-19 和 Sr-20 的菌褶颜色较其他菌株差异较大。本研究筛选出了 7 个具有遗传差异的优异种质, 产量高、抗逆性强, 并在菇型、菌盖颜色、菌褶颜色等农艺性状上具有较大的差异, 可为皱环球盖菇育种及遗传研究提供菌株选择。

关键词: 皱环球盖菇, 遗传多样性, 优异种质, 育种

[引用本文] 陈绪涛, 章炉军, 孙鹏, 胡文君, 王瑞娟, 张美彦, 魏云辉, 王洪秀, 胡佳, 熊泽亚, 2021. 我国主栽皱环球盖菇菌株遗传多样性及栽培特性. 菌物学报, 40(12): 3081-3095

Chen XT, Zhang LJ, Sun P, Hu WJ, Wang RJ, Zhang MY, Wei YH, Wang HX, Hu J, Xiong ZY, 2021. Genetic diversity and cultivation characteristics of the main cultivars of *Stropharia rugosoannulata* in China. *Mycosystema*, 40(12): 3081-3095

Genetic diversity and cultivation characteristics of the main cultivars of *Stropharia rugosoannulata* in China

CHEN Xu-Tao¹ ZHANG Lu-Jun² SUN Peng¹ HU Wen-Jun³ WANG Rui-Juan²
ZHANG Mei-Yan² WEI Yun-Hui^{1*} WANG Hong-Xiu¹ HU Jia¹ XIONG Ze-Ya¹

①Institute of Agricultural Applied Microbiology, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang, Jiangxi 330200, China

②Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China

③Gao'an Public Inspection and Testing Center, Gao'an, Jiangxi 330800, China

Abstract: Genetic diversity analysis was carried out by using ISSR markers in 20 main cultivars of *Stropharia rugosoannulata* in China. In 28 commonly used ISSR primers 22 were polymorphic. UPGMA cluster analysis showed the genetic similarity level was 0.68–0.86. Strains can be divided into six groups at 0.72 level, which indicate great genetic differences between groups. The optimum pH value for growth on PDA medium was 5.0–6.0, except for strains Sr-03 and Sr-05 which were at pH 8.0. The growth temperature ranged from 5°C to 30°C, except for strains Sr-01, Sr-08, and Sr-11 which stagnated at 30°C. The growth rate was increased with the increase of temperature, and only five strains were survival at 35°C in 20 days of cultivation. The mycelia of *Stropharia rugosoannulata* grows slowly in the compost using sawdust as main substrate, with growth rate of 0.73–1.08mm/d. Comparison of the agronomic characteristics among strains indicates that the strain Sr-12 has the best fruiting-body shape and the highest yield, with a biological efficiency of 98.09%. Sr-08 and Sr-12 strains have better fruiting-body hardness and significant difference in cap color as compared with other strains. The gill color of Sr-19 and Sr-20 differs from that of other strains. Combining the differences in genetic diversity, biological characteristics, and agronomic traits, this experiment screened out seven excellent germplasms with high yield and strong stress resistance, and they can be selected for breeding and genetic research of *S. rugosoannulata*.

Key words: *Stropharia rugosoannulata*, genetic diversity, excellent germplasm, breeding

皱环球盖菇 *Stropharia rugosoannulata* Farl. ex Murrill 隶属于伞菌纲 Agaricomycetes、伞菌目 Agaricales、球盖菇科 Strophariaceae (Hawksworth 1991)。皱环球盖菇是联合国粮农组织向发展中国家推荐栽培的食用菌之一(尚俊军等 2020),在我国食用菌中是新起之秀,根据中国食用菌协会统计,2018 年和 2019 年我国皱环球盖菇产量比上一年分别增长了 96.92%和 149.99%,增长速度仅次于羊肚菌,2019 年产量超过了 14 万吨。由于皱环球盖菇抗逆性(申进文 2014)及秸秆降解能力强(谭爱华 2018),能使大量秸秆等农林废弃物变废为宝,产生经济价值(杨顺强等 2020)和生态效益(Francesc *et al.* 2018; Pozdnyakova *et al.* 2018; 白云等 2020),并且皱环球盖菇营养丰富、口感嫩滑,富含丰富的活性成分(Wu *et al.* 2013; Liu *et al.* 2020; Yan *et al.* 2020),具有抗氧化、抗肿瘤等药用特性(Wu *et al.* 2014; Wu *et al.* 2019; Wang *et al.* 2021),深受人们喜爱(Brodzinska & Lasota 1981),在我国福建、江西、辽宁、四川、新疆、青海、河南、湖北等地均有大量栽培(王建宝等 2013; 沈少华等 2019)。随着皱环球盖菇栽培逐渐向着规模化与产业化发展的趋势,栽培面积逐渐扩大(Zhang *et al.* 2017),制约皱环球盖菇产业的主要问题也逐渐凸显出来,其中皱环球盖菇优异栽培品种短缺、品种混乱、种性退化等菌种“卡脖子”问题尤为突出(任纪帆等 2020),目前主栽品种的遗传背景不明确(鲍大鹏 2019),各地引种造成“同物异名”等现象,不利于产业的健康发展。

皱环球盖菇的栽培主要受到菌种质量、气候条件和土壤理化性质影响。由于品种混乱和种性退化问题,容易导致皱环球盖菇在生产上不稳定。菌种作为食用菌重要的基础材料(张金霞等 2011),其收集、保藏、遗

传多样性评价与创新利用是遗传育种中一个重要的研究方向(边银丙 2005)。针对生产中遇到的实际问题,本研究对收集的 20 个主栽品种进行了 ISSR 分子标记的遗传多样性分析,明确其亲缘关系,同时对这些菌株的主要生物学特性,包括生长最适 pH 和温度范围,以及产量、菌盖颜色、菌褶颜色、菇型菇质等主要农艺性状进行研究,为皱环球盖菇育种实践提供科学基础(鲍大鹏和谢宝贵 2020),为皱环球盖菇品种选育提供优良种质和中间材料,为皱环球盖菇栽培品种选择和育种提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 菌株: 供试的 20 株皱环球盖菇菌株由江西省农业科学院(Jiangxi Academy of Agriculture Sciences, JAAS)农业应用微生物研究所(Institute of Agricultural Applied Microbiology, IAAM)收集并保藏,保藏编号及菌株来源信息见表 1。

1.1.2 供试培养基: 马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基: 200g 马铃薯, 20g 葡萄糖, 20g 琼脂, 蒸馏水定容至 1 000mL, pH 自然; 原种袋料配方: 细木屑 78%, 麸皮 20%, 石灰 1%, 石膏 1%; 出菇试验配方(3 000kg/667m², 简称 3:2:1 配方): 50%稻草, 33%木屑, 17%谷壳。

1.1.3 试剂及引物: 离心柱型 DP305 植物基因组 DNA 提取试剂盒(天根生化科技有限公司); Premix TaqTM(宝日医生物技术有限公司); ISSR 引物见表 2(黄晨阳等 2009), 由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

1.2 遗传多样性分析

将保存的皱环球盖菇菌株接于 PDA 培养基活化 10d,接入铺了灭菌玻璃纸的平皿 PDA 培养基上, 25℃黑暗培养 10d。用无菌镊子

将菌丝轻轻刮入 1.5mL 离心管中，称重备用。采用植物基因组 DNA 提取试剂盒（离心柱型 DP305）提取菌丝基因组 DNA。

遗传多样性分析采用 ISSR 标记进行（黄晨阳等 2009），先选择两个彼此有明显拮抗菌株的 5 个 DNA 样品对 28 条 ISSR 引物进行筛选，琼脂糖凝胶电泳检测，选出电泳条带清晰、重复性好且多态性高的引物进行所有

菌株的 PCR 扩增。

PCR 扩增反应体系（20μL）：含有 Premix Taq 10μL，4μmol/L 引物，20ng 模板 DNA，加灭菌双蒸水至 20μL。按照上述比例将反应液依次加入 0.2mL 离心管中，混匀，放入 PCR 仪中，进行 PCR 扩增。反应程序：94℃预变性 3min，94℃变性 30s，55℃复性 45s，72℃延伸 2min，共 35 个循环，72℃延伸 5min，4℃

表 1 供试皱环球盖菇菌株来源及编号

Table 1 Source and strain number of *Stropharia rugosoannulata* test strains

菌株编号	来源	菌株编号	来源
Strain	Origin	Strain	Origin
Sr-01	浙江武义栽培场 Wuyi cultivation farm, Zhejiang	Sr-11	福建省农业科学院食用菌研究所 Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Sr-02	北京市农林科学院 Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences	Sr-12	福建省农业科学院食用菌研究所 Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences
Sr-03	江西新余栽培场 Xinyu cultivation farm, Jiangxi	Sr-13	江西高安栽培场 Gao'an cultivation farm, Jiangxi
Sr-04	江西省农业科学院农业应用微生物研究所 Institute of Agricultural Applied Microbiology, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences (IAAM, JAAS)	Sr-14	上海市农业科学院食用菌研究所 Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences
Sr-05	江西永丰栽培场 Yongfeng cultivation farm, Jiangxi	Sr-15	山东省农业科学院农业资源与环境研究所 Institute of Agriculture Resources and Environment, Shandong Academy of Agriculture Sciences
Sr-06	福建古田林灯菌场 Gutian Lindeng Fungi Farm, Fujian	Sr-16	山东省农业科学院农业资源与环境研究所 Institute of Agriculture Resources and Environment, Shandong Academy of Agriculture Sciences
Sr-07	江西万安栽培场 Wan'an cultivation farm, Jiangxi	Sr-17	江西省农业科学院农业应用微生物研究所 IAAM, JAAS
Sr-08	江西省金溪县合市镇栽培场 Heshi Town cultivation farm, Jinxi County, Jiangxi	Sr-18	江西省农业科学院农业应用微生物研究所 IAAM, JAAS
Sr-09	江西省金溪县合市镇栽培场 Heshi Town cultivation farm, Jinxi County, Jiangxi	Sr-19	江西省农业科学院农业应用微生物研究所 IAAM, JAAS
Sr-10	福建省农业科学院食用菌研究所 Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences	Sr-20	江西省农业科学院农业应用微生物研究所 IAAM, JAAS

表 2 ISSR 引物列表

Table 2 List of the ISSR primers

引物名称	引物序列	引物名称	引物序列
Primer name	Primer sequence (5'-3')	Primer name	Primer sequence (5'-3')
P1	TGCACACACACAC	P15	GTGTGTGTGTGTGTGTTA
P2	GTGACACACACAC	P16	TGTGTGTGTGTGTGTGGA
P3	GTGACGACTCTCTCTCT	P17	ACACACACACACAC
P4	GGATGCACACACACAC	P18	ACACACACACACACACC
P5	CGTGTGTGTGTGTGT	P19	ACACACACACACACACCT
P6	AGTGTGTGTGTGTGT	P20	ACACACACACACACACCTG
P7	CCAGTGGTGGTGGTG	P21	AGCAGCAGCAGCAGCAGCG
P8	GGAGTGGTGGTGGTG	P22	AAGAAGAAGAAGAAGAAGC
P9	AGAGAGAGAGAGAGAGG	P23	GAGAGAGAGAGAGAGACT
P10	GAGAGAGAGAGAGAGAC	P24	CACGAGAGAGAGAGAGA
P11	GAGAGAGAGAGAGAGAAC	P25	GAGAGAGAGAGAGAGACC
P12	AGAGAGAGAGAGAGAGGC	P26	CACCACACACACACA
P13	TCTCTCTCTCTCTCCG	P27	GTATGTATGTATGTATGG
P14	ACACACACACACACCCG	P28	GTATGTATGTATGTATGC

保存。PCR 产物在 1.5%琼脂糖凝胶电泳检测。统计各 ISSR 引物扩增结果，电泳条带按 0/1 进行 2 进制数据转换，条带清晰且再现性强的条带记为 1，无条带的记为 0，采用 NTsys-pc2.10e 软件绘制 UPGMA 系统进化树。

1.3 供试菌株生长最适 pH 值范围

使用 1mol/L 盐酸和 1mol/L 氢氧化钠将灭菌的 PDA 培养基 pH 分别调到 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0 和 10.0，将供试菌株用直径 9mm 打孔器打孔后接种到不同 pH 值的 PDA 培养基上，接种后置于 25℃培养箱中黑暗培养，第 3 天开始每天测量一次菌落直径，观察与记录菌丝生长情况，每个处理设 3 个重复。

1.4 供试菌株最适生长温度

PDA 培养基接种不同供试菌株后分别置于 5、10、15、20、25、30 和 35℃的恒温培养箱进行黑暗培养，第 3 天开始每天测量一次菌落直径，观察与记录菌丝生长情况，每个处理设 3 个重复。

1.5 供试菌株袋料生长速度试验

将原种袋料配方混合均匀，调节含水量为 60%左右，采用 12cm×24cm 聚丙烯折角塑料袋，每袋装干料重为 150g，高温高压（121℃、0.1MPa）灭菌 2.5h，自然冷却后接种，然后置于 25℃恒温培养室内黑暗培养，待菌丝封料面之后，每 1 个星期测量并记录一次菌丝在培养料中的生长距离，每个处理 3 个重复。

1.6 皱环球盖菇菌株出菇试验

选用稻草、木屑和谷壳 3:2:1 的常用栽培配方进行 20 株皱环球盖菇菌株出菇试验，栽培料干重为 7.5kg/m²，栽培方法见魏云辉等（2020）制定的皱环球盖菇大田栽培技术规程。试验地点在江西省农业科学院院内食用菌温室大棚内，试验采用小区设计，每个小区 2.52m²，垄长 4.2m，垄宽 0.6m，两垄间距 0.4m，各栽培料重复 3 次。

1.7 产量和农艺性状的测定

选取皱环球盖菇子实体菌褶未破裂菌盖呈钟形时随机统计农艺性状，产量为每个试

验小区从开始出菇到出菇结束的鲜菇总重。子实体的高度、菌盖厚度、菌盖直径(十字法测量,取平均值)、菌柄长度、菌柄直径(十字法测量,取平均值)等采用游标卡尺进行测量,单菇重采用电子秤进行测量,菇体硬度采用手捏判断。菌盖直径与菌柄长度的比值为菇型比例,子实体鲜重与栽培料干重的比值为生物学效率。

2 结果与分析

2.1 ISSR 分子标记分析

从 28 个食用菌通用 ISSR 引物中筛选出 22 个适宜引物,对 20 株供试菌株共扩增出 132 个条带,其中 P25 和 P11 引物扩增最多,有 8 个条带,P5 引物扩增最少,只有 4 个条带。统计多态性条带结果发现,共扩增出 110 个多态性条带,多态性比率达到 83.33%。扩增出的 DNA 片段条带的大小在 250–2 000bp 之间,图 1 为引物 P14 对 20 个供试菌株的扩增结果。

根据皱环球盖菇 ISSR 聚类图,20 株皱环球盖菇菌株遗传相似性水平在 0.68–0.86 之间,在遗传相似性水平为 0.72 时供试菌株可分为 6 个类群(图 2),类群 I 包括 4 个菌株(Sr-01、Sr-02、Sr-03、Sr-13),类群 II 包括 3

个菌株(Sr-07、Sr-19、Sr-20),类群 III 包括 1 个菌株(Sr-12),类群 IV 包括 7 个菌株(Sr-04、Sr-05、Sr-06、Sr-14、Sr-16、Sr-17、Sr-18),类群 V 包括 1 个菌株(Sr-15),类群 VI 包括 4 个菌株(Sr-08、Sr-09、Sr-10、Sr-11);20 株皱环球盖菇菌株中 Sr-12 和 Sr-15 与其他类群的遗传差异较大;Sr-08 和 Sr-09 遗传相似水平最高为 0.86。

2.2 皱环球盖菇菌丝生长最适 pH 值范围

将 20 株供试皱环球盖菇菌株在 pH 值为 4.0–10.0 之间的 PDA 培养基上培养后发现所有菌株在 pH 4.0–10.0 之间均可生长,按照菌株在不同 pH 值下生长速度的适应性,可以分为 4 组(表 3),总体表现为耐酸性的菌株有 18 个,但其最适 pH 值并不相同,最适 pH 值为 5.0 的菌株有 14 株,表现为在 pH 5.0 时生长速度最快,pH 值 6.0–10.0 时生长速度逐渐降低,代表菌株为 Sr-17;最适 pH 为 6.0 的菌株有 4 个(Sr-07、Sr-08、Sr-11、Sr-18);另外菌株 Sr-01 和 Sr-14 虽然最适 pH 也为 5.0,但在高于 5.0 的 pH 值下,生长速度受到较大抑制,表现出对 pH 的高度敏感。2 个菌株(Sr-03 和 Sr-05)生长最佳 pH 是 8.0,表现出耐碱不耐酸的特性。4 个类型标准菌株在各 pH 值下的生长速度见图 3,对 pH 值适应

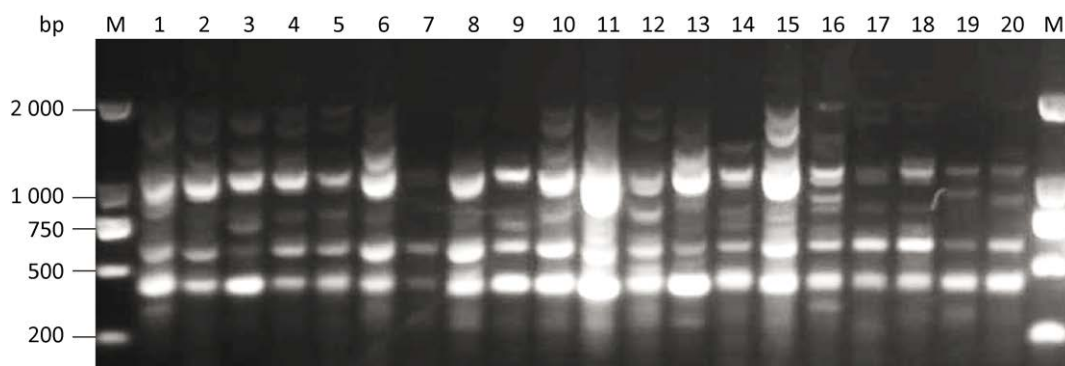


图 1 引物 P14 的 PCR 扩增图谱

Fig. 1 PCR amplification map of primer P14. M: DNA markers; 1–20: *Stropharia rugosoannulata* test strains Sr-01–Sr-20.

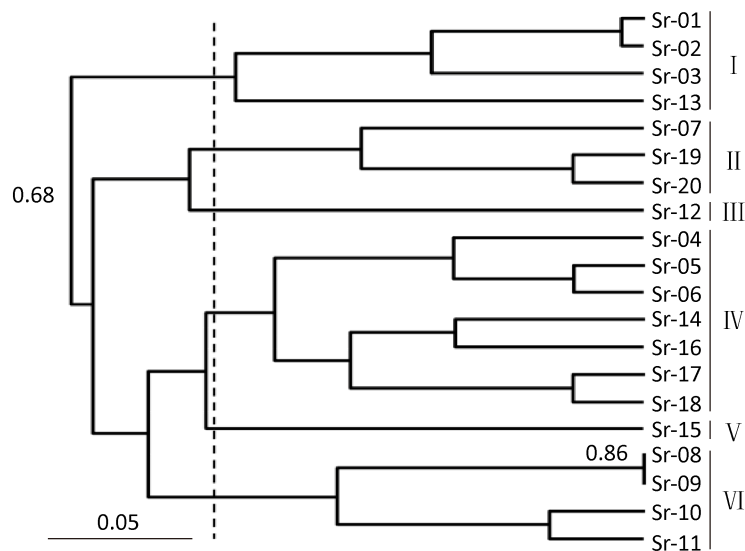


图 2 20 株皱环球盖菇菌株基于 ISSR 分子标记分析的聚类图

Fig. 2 Cluster diagram of 20 *Stropharia rugosoannulata* strains based on ISSR. 1–20: *Stropharia rugosoannulata* test strains Sr-01–Sr-20.

表 3 供试皱环球盖菇在 PDA 培养基上对 pH 值的适应性分组及代表菌株

pH 值适应性	菌株	代表菌株
pH adaptability	Strains	Representative strain
耐酸性, pH 5.0 最适	Sr-17, Sr-04, Sr-19, Sr-10, Sr-13, Sr-02, Sr-12,	Sr-17
Acid resistance, optimal pH 5.0	Sr-16, Sr-06, Sr-09, Sr-20, Sr-15, Sr-01, Sr-14	
耐酸性, pH 6.0 最适	Sr-18, Sr-07, Sr-11, Sr-08	Sr-18
Acid resistance, optimal pH 6.0		
耐酸性, 对 pH 敏感	Sr-01, Sr-14	Sr-01
Acid resistance, sensitive to pH		
耐碱性, pH8.0 最适	Sr-05, Sr-03	Sr-05
Alkali resistance, optimal pH 8.0		

性最强的菌株为 Sr-17 和 Sr-18, 在不同 pH 下生长速度均高于 2mm/d 以上, 最适 pH 值下生长速度均在 3mm/d 以上, 其中耐酸性最强的菌株是 Sr-18, 耐碱性最强的菌株是 Sr-17; 生长速度最快的是 Sr-01, 在 pH 5.0 条件下达到(3.14±0.04)mm/d, 生长速度最慢的是 Sr-01 在 pH 10.0 条件下的(0.13±0.03)mm/d。另外, 在各 pH 条件下总体生长最慢的菌株为 Sr-15, 生长速度均低于 1mm/d。筛选出两株对酸碱

性抗逆较强的菌株 Sr-17 和 Sr-18。

2.3 温度对皱环球盖菇菌丝生长的影响

20 株皱环球盖菇菌丝在温度 5–30℃ 之间均可生长, 最适生长温度在 25–30℃。温度为 5℃ 时, 菌丝能缓慢生长, 生长速度均在 0.30mm/d 以下。将 20 个菌株在 5–30℃ 间的生长速度进行线性回归分析, 菌株 Sr-01、Sr-08、Sr-11、Sr-14 和 Sr-15 在 30℃ 时受到抑制, 其回归系数较低, 生长速度与温度间不

符合线性关系,其余 15 个菌株的线性回归分析见表 4, 回归系数 (R^2) 在 0.949–0.989 之间, 菌株按照斜率即长速随温度的增长速度高低进行排列, 斜率值在 0.079–0.115 之间。温度为 35℃时, 只有 Sr-04、Sr-07、Sr-10、Sr-16 和 Sr-17 这 5 个菌株可以萌发, 且培养 20d 后仍具有活性, 其余菌株不萌发, 20d 后无活性。

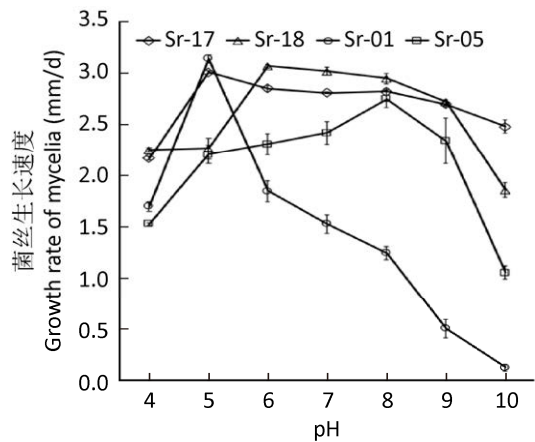


图 3 培养基 pH 对皱环球盖菇菌丝生长速度的影响
Fig. 3 Effects of medium pH on the growth rate of *Stropharia rugosoannulata* mycelium.

2.4 培养料中菌丝生长速度比较

皱环球盖菇菌丝在以木屑为主的原种袋

料中均可生长, 但生长速度较慢, 其中生长速度最快的菌株依次是 Sr-07、Sr-17、Sr-18、Sr-16 和 Sr-03 (表 5), 分别为(1.20±0.09)、(1.08±0.14)、(1.02±0.01)、(1.02±0.04)和(1.02±0.09) mm/d, 其余菌株生长速度均在 1mm/d 以下, Sr-04 生长速度最慢为 0.73mm/d。

2.5 不同菌株产量与子实体性状比较

20 株皱环球盖菇菌株出菇试验产量结果见表 6, Sr-12 菌株产量显著高于其他菌株, 其生物学效率高达 98.09%, Sr-15 产量最低, 生物学效率仅为 3.2%, 筛选出产量最高的优异菌株 Sr-12。出菇时间最短的菌株为 Sr-06, 最长的为 Sr-15。采收持续时间最长的 Sr-06, 最短的为 Sr-15。

20 株皱环球盖菇菌株子实体的农艺性状见表 7, Sr-16 菌株子实体个体较大, 其子实体高度、菇盖直径、菇盖厚度、菇柄长和单菇重等指标均显著高于其他菌株, 筛选出菇体较大、产量较好的菌株 Sr-16。Sr-08 和 Sr-12 菇体硬度较好, Sr-11 和 Sr-15 菇体硬度较差, 其他菌株菇体硬度正常。菌盖颜色大部分为酒红色 (图 4A), 其中 Sr-08 菌盖颜色为淡黄色 (图 4B), Sr-12 菌盖周围为酒红色, 菌盖中心凸起部分为黄色 (图 4C)。菌褶颜

表 4 菌株生长速度与温度间的线性回归分析

Table 4 Linear regression analysis between strain growth rate and temperature

菌株	回归系数	线性回归方程	菌株	回归系数	线性回归方程
Strains	Regression coefficients	Linear regression equation	Strains	Regression coefficients	Linear regression equation
Sr-13	0.981	y=0.115x-0.329	Sr-07	0.979	y=0.101x-0.161
Sr-17	0.984	y=0.114x-0.304	Sr-18	0.976	y=0.101x-0.155
Sr-02	0.960	y=0.113x-0.168	Sr-03	0.949	y=0.100x-0.066
Sr-12	0.969	y=0.111x-0.343	Sr-06	0.976	y=0.099x-0.198
Sr-19	0.953	y=0.108x-0.424	Sr-09	0.972	y=0.098x-0.079
Sr-16	0.978	y=0.105x-0.218	Sr-05	0.987	y=0.098x-0.210
Sr-10	0.953	y=0.103x-0.131	Sr-20	0.989	y=0.079x-0.164
Sr-04	0.975	y=0.102x-0.152			

表 5 皱环球盖菇菌丝吃料能力

Table 5 Feeding capacity of *Stropharia rugosoannulata* mycelium

菌株	菌丝生长速度	菌株	菌丝生长速度
Strains	Mycelial growth rate (mm/d)	Strains	Mycelial growth rate (mm/d)
Sr-07	1.20±0.09a	Sr-13	0.92±0.06cdef
Sr-17	1.08±0.14ab	Sr-01	0.91±0.09cdef
Sr-18	1.02±0.01bc	Sr-10	0.90±0.03defg
Sr-16	1.02±0.04bc	Sr-06	0.90±0.06cdef
Sr-03	1.02±0.09bc	Sr-09	0.85±0bcd
Sr-12	0.98±0.07bcd	Sr-11	0.84±0.11cdef
Sr-08	0.98±0.08 bcd	Sr-14	0.81±0.05efg
Sr-05	0.97±0.05bcde	Sr-15	0.76±0.12fg
Sr-02	0.96±0.07bcde	Sr-19	0.77±0.12fg
Sr-20	0.96±0.08bcde	Sr-04	0.73±0.12g

注：数据为 3 次试验平均值±标准误差，小写英文字母表示 $P<0.05$ 的差异显著性，下同

Note: Values represent the mean of three replicates ± SD; different lower case letters indicate a significant difference at $P<0.05$, the same below.

色除菌株 Sr-19 为纯白色（图 5C）和 Sr-20 为灰白色（图 5B）外，其余均表现出灰黑色（图 5A），而且菌褶颜色越浅，产孢量越少（图 5）。纯白色菌褶的菌株菌盖颜色比灰黑色或灰白色菌褶的菌株菌盖颜色要浅（图 6）。20 株菌株的菇型比例（钟雪美等 1990）有 19 株达到优良，1 株 Sr-09 为较好，其中 Sr-12 菌株菇型比例最好，达 1.36。筛选出菌盖颜色和菌褶颜色显著差异的菌株 Sr-08、Sr-19 和 Sr-20。

3 讨论

本研究主要对来自本实验室选育、收集和保藏的 20 个皱环球盖菇菌株进行了遗传多样性分析、并检测了这些菌株的主要生物学特性和农艺性状。本研究采用 ISSR 标记进行菌株间的遗传多样性研究，同样采用 UPGMA 聚类分析，相似系数总体上较朱静娴等（2018）采用 SRAP 标记的要小，表现出更大的遗传差异。推测一方面是本试验所使用

的群体来源更为多样，另一方面是 ISSR 标记的多态性更为丰富，但 ISSR 标记的结果不易统计，存在一定的统计误差。采用结果更加稳定、易于统计，以及基因组覆盖率更高的分子标记如 SSR、SNP、InDel 等标记将有助于减少误差。

皱环球盖菇菌株在 pH 值为 4.0–10.0 之间均可生长（颜淑婉 2002；萨仁图雅和图力古尔 2005），本研究有 18 个菌株最佳 pH 生长条件偏酸性，2 个菌株偏弱碱性，与孙萌等（2013）的相关研究结果相近，本研究采用 PDA 培养基进行不同 pH 适应性的结果较金银慧（2020）在土壤中检测的最适 pH 值范围更广，可能存在菌株上的差异。皱环球盖菇菌株在温度 5–30℃ 之间均可生长（闫培生等 2001；刘本洪 2004），最适生长温度在 25–30℃（Zhou *et al.* 2010），其中筛选出 5 个菌株（Sr-04、Sr-07、Sr-10、Sr-16 和 Sr-17）在 35℃ 培养 20d 仍具活性，比俞志纯（1996）研究的菌株具有更强的耐热性。

表 6 不同菌株产量统计

Table 6 Yield statistics of different strains

菌株 Strains	单位面积产量 Yield per unit area (kg/m ²)	接种至出菇时间 Cultivation cycle from inoculation to fruiting (d)	采收持续时间 Harvest duration (d)	生物学效率 Biological efficiency (%)
Sr-01	3.22±0.21i	127	74	42.89±2.74i
Sr-02	4.57±0.06fg	110	73	60.89±0.74fg
Sr-03	4.52±0.09fg	96	76	60.27±1.14fg
Sr-04	6.75±0.16b	94	86	89.96±2.09b
Sr-05	5.73±0.22cd	108	82	76.44±2.94cd
Sr-06	5.78±0.08cd	77	113	77.11±1.07cd
Sr-07	3.94±0.40h	112	80	52.49±5.29h
Sr-08	6.11±0.27c	86	114	81.42±3.57c
Sr-09	4.53±0.30fg	96	84	60.35±3.96fg
Sr-10	5.97±0.27cd	92	105	79.55±3.61c
Sr-11	1.49±0.42j	137	47	19.82±5.54j
Sr-12	7.36±0.34a	94	86	98.09±4.53a
Sr-13	5.80±0.24cd	84	111	77.38±3.2cd
Sr-14	5.93±0.2cd	132	54	79.11±2.67c
Sr-15	0.24±0.10k	142	5	3.2±1.27k
Sr-16	5.80±0.18cd	108	79	77.29±2.35cd
Sr-17	4.23±0.19gh	113	79	56.36±2.57gh
Sr-18	5.59±0.35d	94	83	71.16±10.26de
Sr-19	4.92±0.10ef	94	86	65.65±1.28ef
Sr-20	5.11±0.43e	94	86	68.09±5.74e

皱环球盖菇菌丝在以木屑为主的栽培基质中生长普遍较慢, Sr-03、Sr-07、Sr-16、Sr-17 和 Sr-18 吃料能力较强。皱环球盖菇出菇试验表明, 大部分菌株的生物学效率与付江习(2000)的栽培结果相当, 部分菌株生物学效率较高, 可达 90%以上。在本试验的栽培环境和栽培配方下 95%的菌株菇型比例为优良(>0.8), 普遍高于杨琦智等(2021)的研究结果, 说明栽培环境与配方对皱环球盖菇的菇型影响较大。

本试验的 20 个供试菌株中, Sr-12 和 Sr-15 与其他菌株的遗传差异较大, Sr-12 产

量显著高于其他菌株, 菇型比例最大, 为 1.36, 菇体硬度也较好; 而 Sr-15 产量最低、菇体硬度较差, 性状表现差异较大; Sr-04 和 Sr-12 生物学效率较高分别为 89.96%与 98.09%, 而其他菌株的生物学效率普遍分布于 60%–80%, 其中 Sr-04 位于类群Ⅳ中, Sr-12 位于类群Ⅲ, 它们与同一类群菌株的生物学效率差距较大; Sr-17 和 Sr-18 同为第Ⅳ大类, 这 2 个菌株对不同 pH 值的适应性均较强, 但同为Ⅳ大类的菌株 Sr-05 却表现为 pH 8.0 最适; Sr-19 和 Sr-20 同为第Ⅱ大类, 这两者菌褶颜色极其相近, 并且有异于其他菌株, 但

表 7 不同子实体的性状统计

Table 7 Character statistics of different fruiting bodies										
菌株	子实体高度	菇盖直径	菇盖厚度	菌柄直径	菌柄长度	菌盖硬度	菌褶颜色	菌盖颜色	单菇重	菇型比例
Strains	Fruiting body height (mm)	Pileus diameter (mm)	Pileus thickness (mm)	Stalk diameter (mm)	Stalk length (mm)	Pileus hardness	Gill color	Pileus color	Mushroom weight (g)	Shape ratio
Sr-01	71.06±5.44efghi	45.32±6.19bc	26.04±5.12bc	33.76±4.32abcd	44.69±10.56defgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	57.15±4.85efgh	1.01
Sr-02	61.47±4.01i	48.34±3.54bc	24.18±2.34bc	38.19±3.57abc	36.98±5.90h	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	65.72±2.61bcdef	1.31
Sr-03	79.00±6.92bcde	53.01±5.89b	30.82±3.14abc	39.32±3.97ab	47.58±6.86cdefg	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	76.7±4.63bc	1.11
Sr-04	75.11±7.57defg	49.82±0.99bc	29.01±4.13abc	38.27±2.42abc	45.09±3.95defgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	69.37±4.45bcde	1.10
Sr-05	70.54±5.18efghi	47.03±9.26bc	27.42±7.06abc	35.38±6.47abcd	42.53±2.05efgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	59.89±9.37defgh	1.10
Sr-06	60.43±3.76i	43.75±3.95bc	24.39±1.92bc	32.23±4.53abcd	36.01±2.49h	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	45.6±3.99hi	1.21
Sr-07	71.31±5.59efghi	50.13±3.56bc	25.47±2.74bc	39.56±7.94a	45.19±3.22defgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	61.31±5.23cdefgh	1.11
Sr-08	66.04±10.62fghi	38.38±3.06c	25.03±2.04bc	26.93±4.23cd	40.52±9.67fgh	+++	灰黑 Gray black	淡黄色 Faint yellow	34.43±5.64i	0.95
Sr-09	91.18±5.60b	38.44±7.45c	27.04±5.49abc	24.48±5.2d	63.14±3.99b	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	49.5±4.65gh	0.61
Sr-10	80.29±11.41bcde	45.27±8.09bc	32.18±3.36bc	27.89±5.47bcd	45.47±7.31defgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	52.02±7.38fgh	1.00
Sr-11	81.44±4.95bcde	42.06±6.4bc	29.27±6.49abc	33.84±3.37abcd	51.21±0.92cde	+	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	58.32±6.4efgh	0.82
Sr-12	62.49±0.45hi	48.92±7.4bc	26.38±3.91bc	36.68±8.15abc	35.85±3.7h	+++	灰黑 Gray black	红黄色 Reddish yellow	53.54±4.5efgh	1.36
Sr-13	87.16±2.79bcd	52.58±4.42b	30.49±3.30abc	36.02±2.74abc	55.09±5.12bcd	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	80.34±9.53b	0.95
Sr-14	82.02±9.8bcde	52.62±8.65b	30.14±2.19abc	37.61±7.14abc	51.07±6.41cdef	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	68.42±3.44bcde	1.03
Sr-15	87.53±8.27bc	50.66±5.72b	31.00±4.96abc	35.26±6.73abcd	56.46±3.60bc	+	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	74.55±6.43bcd	0.90
Sr-16	117.64±7.95a	70.81±7.76a	35.81±8.36a	43.58±5.43a	81.10±3.84a	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	202.69±14.14a	0.87
Sr-17	77.4±5.35cdef	47.64±6.56bc	30.96±6.47abc	35.99±5.58abc	46.15±6.66defgh	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	65.17±4.85bcdefg	1.03
Sr-18	73.96±4.84efgh	49.51±6.19bc	25.33±2.55bc	43.37±4.88a	47.73±2.5cdefg	++	灰黑 Gray black	酒红色 Wine red	78.29±5.99b	1.04
Sr-19	63.59±4.49ghi	45.44±4.38bc	24.93±4.72bc	35.2±0.44abcd	37.82±6.4gh	++	纯白 Pure white	酒红色 Wine red	55.72±6.75efgh	1.20
Sr-20	59.37±3.62i	42.28±3.01bc	22.3±2.10c	33.31±1.62abcd	36.84±1.5h	++	灰白 Greyish white	酒红色 Wine red	47.93±5.97hi	1.15

注：菇体硬度中“+”越多表示硬度越好
Note: The more “+” in fruiting body hardness the better the mushroom quality is.



图 4 皱环球盖菇子实体颜色

Fig. 4 Color of *Stropharia rugosoannulata* fruiting bodies.

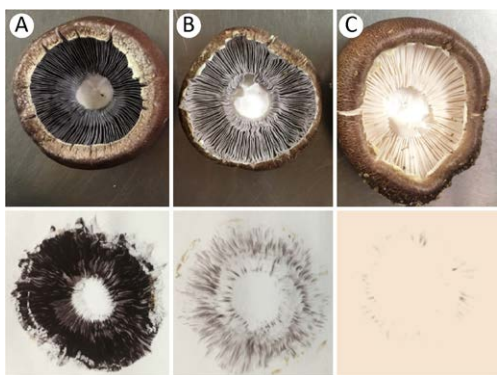


图 5 灰黑、灰白和纯白色菌褶及其孢子印

Fig. 5 Grayish black, greyish white and pure white gills of *Stropharia rugosoannulata* and their spore print.



图 6 菌褶颜色和菌盖颜色的关系

Fig. 6 The relationship between gill color and pileus color.

同为第Ⅱ大类的菌株 Sr-07 却与大部分菌株比较相似；Sr-08 与 Sr-09、Sr-10、Sr-11 同为第Ⅵ类，但 Sr-08 菌盖颜色显著差异于其他 3 个菌株；Sr-01 与 Sr-02、Sr-03、Sr-13 同为第Ⅰ类，但只有 Sr-01 在温型试验中不符合线性关系。本研究的遗传多样性差异与菌株农艺性状间存在较大差异，说明皱环球盖菇种质类型丰富，性状表现多样，单纯依靠形态特征鉴定会存在一定偏差，皱环球盖菇可能同其他类型的大型真菌一样，其大多数重要的生物学特性和农艺性状都是由多个数量基因座位和栽培外在环境因素共同控制的（Gong *et al.* 2019）。

通过对 20 个供试菌株的筛选，Sr-16 菌株子实体个体较大，耐高温，吃料能力较强；Sr-08 菇体硬度较好，菌盖颜色为淡黄色且产量较高，Sr-12 菌盖中心凸起部分红黄色且产量最高；Sr-19 和 Sr-20 菌褶颜色为特异的纯白色和灰白色，而且菌褶颜色越浅，产孢量越少，纯白色菌褶的菌株几乎不产孢；菌株 Sr-17 和 Sr-18 耐酸性最强，耐高温以及袋料吃料能力强。这 7 个菌株在主要生物学特性、农艺性状和遗传多样性中差异较大，并且栽培表现优异，可作为以强抗逆性、不同菌盖颜色和不同菌褶颜色为目标的皱环球盖菇品种选育的亲本及其育种的中间材料，可为皱环球盖菇遗传多样性研究和遗传育种亲本的选择提供了理论依据。

[REFERENCES]

- Bai Y, Deng W, Li YC, Zhang XS, Wu J, Dou YQ, 2020. Effects of rice straw pretreatment and returning on soil nutrient leaching and COD. *Journal of Soil and Water Conservation*, 34(3): 238-244 (in Chinese)
- Bao DP, 2019. Research progress on the mating-typing locus structures of basidiomycete

- mushrooms. *Mycosystema*, 38(12): 971-976 (in Chinese)
- Bao DP, Xie BG, 2020. Some research directions worthy of attention in the genetics of edible mushrooms in China. *Mycosystema*, 39(6): 971-976 (in Chinese)
- Bian YB, 2005. Discussion on the quality of edible mushroom spawn and its management countermeasures—technical support for quality management of edible mushroom spawn in China. *Edible Fungi of China*, 2005(6): 5-6+23 (in Chinese)
- Brodzinska Z, Lasota W, 1981. Chemical composition of cultivated mushrooms Part I. *Stropharia rugosoannulata* Farlow ex Murr. *Bromatologia i Chemia Toksy Kologiczna*, 14(3-4): 229-238
- Francesc CR, Daniel L, Marta V, Sara RM, Damià B, Montserrat S, 2018. *Stropharia rugosoannulata* and *Gymnopilus luteofolius*: promising fungal species for pharmaceutical biodegradation in contaminated water. *Journal of Environmental Management*, 207: 396-404
- Fu JX, 2000. High yield cultivation technique of *Stropharia rugosoannulata*. *Edible Fungi of China*, 19(4): 22-23 (in Chinese)
- Gong WB, Xie CL, Zhou YJ, Zhu ZH, Wang YH, Peng YD, 2019. A resequencing-based ultradense genetic map of *Hericium erinaceus* for anchoring genome sequences and identifying genetic loci associated with monokaryon growth. *Frontiers in Microbiology*, 10: 3129
- Hawksworth DL, 1991. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research*, 95(6): 641-655
- Huang CY, Li HP, Zhang JX, Chen Q, 2009. Verification of genuineness for edible mushroom spawn—ISSR. *Industrial Standard*, NY/T 1730 (in Chinese)
- Jin YH, 2020. Studies on the biological characteristics of *Stropharia rugosoannulata*. *Agriculture & Technology*, 40(24): 63-64 (in Chinese)
- Liu BH, 2004. Selection of *Stropharia rugosoannulata* strain for decomposition of crop residues and its application in mushroom production. Master Thesis, Sichuan University, Chengdu. 34-37 (in Chinese)
- Liu Y, Hu CF, Feng X, Cheng L, Ibrahim S, Wang CT, Huang W, 2020. Isolation, characterization and antioxidant of polysaccharides from *Stropharia rugosoannulata*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155: 883-889
- Pozdnyakova N, Schlosser D, Dubrovskaya E, Balandina S, Sigida E, Grinev V, Turkovskaya O, 2018. The degradative activity and adaptation potential of the litter-decomposing fungus *Stropharia rugosoannulata*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(9): 1-14
- Ren JF, Zhu JX, Wang QJ, Gao XM, Jiang SX, 2020. Breeding of *Stropharia rugosoannulata* “Shannongqiugai No. 3”. *Mycosystema*, 39(6): 977-982 (in Chinese)
- Sarentoya WAN, Bau T, 2005. Advances in the study on *Stropharia rugosoannulata*. *Acta Edulis Fungi*, 2005(4): 57-64 (in Chinese)
- Shang JJ, Hou D, Li Y, Zhou CL, Guo T, Tang LH, Mao WJ, Chen Q, Bao DP, Yang RH, 2020. Analyses of mating systems in *Stropharia rugosoannulata* based on genomic data. *Mycosystema*, 39(6): 1152-1161 (in Chinese)
- Shen JW, 2014. Edible fungus production technology. Henan Science and Technology Press, Zhengzhou. 301-305 (in Chinese)
- Shen SH, Xie GQ, Chen YF, Peng CF, Dai M, Che PG, Zhou QB, Wei YH, 2019. A preliminary study on cultivation techniques of *Stropharia rugosoannulata* in northern Jiangxi. *Edible Fungi of China*, 38(9): 104-106 (in Chinese)
- Sun M, Chen YQ, Ran LP, 2013. The biological characteristics of *Stropharia rugosoannulata* mycelia. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 35(1): 51-55 (in Chinese)
- Tan AH, 2018. Key points of cultivation of *Stropharia rugosoannulata* with crop straw. *Edible Fungi*, 40(4): 51-52 (in Chinese)

- Wang JB, Liu AQ, Chen QK, Shi SX, Yan HX, Fu ZY, Zhong ZC, Zhang FQ, 2013. Key technical points of interplanting *Stropharia rugosoannulata* under forest in northern Xinjiang. *Edible Fungi of China*, 32(2): 58 (in Chinese)
- Wang Q, Zhao YL, Feng X, Ibrahim S, Huang W, Liu Y, 2021. Effects of drying on the structural characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from *Stropharia rugosoannulata*. *Journal of Food Science and Technology*, Doi: 10.1007/S13197-021-05120-6
- Wei YH, Chen XT, Sun P, Wang HX, Hu J, Li J, Xie GQ, Shen SH, Dai CY, Xiong XW, 2020. Technical regulation for field cultivation of *Stropharia rugosoannulata*. *Local Standard of Jiangxi*, DB36/T 1374 (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98: 1-76
- Wu J, Fushimi K, Tokuyama S, Ohno S, Miwa T, Koyama T, Yazawa K, Nagai K, Matsumoto T, Hirai H, Kawagishi H, 2014. Functional-food constituents in the fruiting bodies of *Stropharia rugosoannulata*. *Journal of Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry*, 75(8): 1631-1634
- Wu J, Suzuki T, Choi JH, Yasuda N, Noguchi K, Hirai H, Kawagishi H, 2013. An unusual sterol from the mushroom *Stropharia rugosoannulata*. *Tetrahedron Letters*, 54(36): 4900-4902
- Yan PS, Li GF, Jiang JH, 2001. Effects of nutrients and environmental factors on the mycelial growth of *Stropharia rugosoannulata*. *Acta Edulis Fungi*, 8(1): 5-9 (in Chinese)
- Yan QX, Huang MX, Sun P, Cheng SX, Zhang Q, Dai H, 2020. Steroids, fatty acids and ceramide from the mushroom *Stropharia rugosoannulata* Farlow apud Merrill. *Biochemical Systematics and Ecology*, Doi: 10.1016/j.bse.2019.103963
- Yan SW, 2002. Biological characteristics of *Stropharia rugosoannulata*. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2002(3): 401-403 (in Chinese)
- Yang QZ, Zhao QQ, Chen QJ, Zhang GQ, Liu GP, 2021. Agronomic character analysis of *Stropharia rugosoannulata* cultivated in solar greenhouse with different formulas and preparation techniques. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 37(14): 59-65 (in Chinese)
- Yang SQ, Cheng LJ, Zhao QJ, Chen Y, Ran QY, Xiao ZX, Qiu YH, Gao GX, 2020. Effect of cultivation of different edible fungi under grapevines. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 29(7): 1045-1050 (in Chinese)
- Yu ZC, 1996. Key technology of artificial cultivation of *Stropharia rugosoannulata*. *Edible Fungi*, 1996(6): 29-30 (in Chinese)
- Zhang JX, Wang B, Wang ZS, Bian YB, Ren PF, Li B, Li CH, Li TH, Song B, Zhang RY, Chen Q, Chen MJ, Chen MY, Zheng SY, Hu QX, Gao W, Gong ZY, Yao FJ, Jia SM, Huang CY, Cao H, Xie BG, Tan Q, Ji H, 2011. Chinese edible mushroom spawn. *China Agriculture Press, Beijing*. 121-140 (in Chinese)
- Zhang Y, Ni JP, Yang J, Zhang T, Xie D, 2017. Citrus stand ages regulate the fraction alteration of soil organic carbon under a citrus/*Stropharia rugosoannulata* intercropping system in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(22): 18363-18371
- Zhong XM, Du ST, Wang BC, 1990. Comprehensive evaluation of production properties of different strains of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 1990(4): 63-68 (in Chinese)
- Zhou B, Jia L, Meng FY, Song Z, Liu XN, Deng P, Fan KM, 2010. Statistical optimization of cultivation conditions for exopolysaccharide production and mycelia growth by *Stropharia rugosoannulata*. *Annals of Microbiology*, 60(1): 89-96
- Zhu JX, Li LJ, Zhao SF, Chen C, Jiang SX, 2018. Genetic diversity and phylogenetic relationship analysis of 23 *Stropharia rugosoannulata* strains based

on SRAP molecular marker. Shandong Agricultural Sciences, 50(3): 22-28 (in Chinese)

[附中文参考文献]

- 白云, 邓威, 李玉成, 张学胜, 吴娟, 窦月芹, 2020. 水稻秸秆预处理还田对土壤养分淋溶及 COD 的影响. 水土保持学报, 34(3): 238-244
- 鲍大鹏, 2019. 担子菌类食用菌交配型位点结构的研究进展. 菌物学报, 38(12): 971-976
- 鲍大鹏, 谢宝贵, 2020. 我国食用菌遗传学中一些值得关注的研究方向. 菌物学报, 39(6): 971-976
- 边银丙, 2005. 食用菌菌种质量与菌种管理对策的商榷—我国食用菌菌种质量管理的技术支撑问题. 中国食用菌, 2005(6): 5-6+23
- 付江习, 2000. 大球盖菇高产栽培技术. 中国食用菌, 19(4): 22-23
- 黄晨阳, 李辉平, 张金霞, 陈强, 2009. 食用菌菌种真实性鉴定 ISSR 法. 行业标准, NY/T 1730
- 金银慧, 2020. 大球盖菇生物学特性的研究. 农业与技术, 40(24): 63-64
- 刘本洪, 2004. 降解作物秸秆的大球盖菇菌株选育及应用. 四川大学硕士论文, 成都. 34-37
- 任纪帆, 朱静娴, 王庆佶, 高馨酶, 姜淑霞, 2020. 大球盖菇“山农球盖 3 号”品种的选育. 菌物学报, 39(6): 977-982
- 萨仁图雅, 图力古尔, 2005. 大球盖菇研究进展. 食用菌学报, 2005(4): 57-64
- 尚俊军, 侯娣, 李燕, 周陈力, 郭婷, 唐利华, 茅文俊, 陈群, 鲍大鹏, 杨瑞恒, 2020. 基于基因组数据解析大球盖菇交配型系统. 菌物学报, 39(6): 1152-1161
- 申进文, 2014. 食用菌生产技术大全. 郑州: 河南科学技术出版社. 301-305
- 沈少华, 谢国强, 陈艳芳, 彭春风, 代鸣, 车品高, 周庆嶷, 魏云辉, 2019. 赣北地区大球盖菇栽培技术初探. 中国食用菌, 38(9): 104-106
- 孙萌, 陈艳秋, 冉丽萍, 2013. 大球盖菇菌丝体生

物特性研究. 延边大学农学学报, 35(1): 51-55

- 谭爱华, 2018. 利用农作物秸秆栽培大球盖菇技术要点. 食用菌, 40(4): 51-52
- 王建宝, 刘安全, 陈庆宽, 石生香, 闫红霞, 付振艳, 钟祝灿, 张凤琴, 2013. 新疆北疆地区林下套种大球盖菇技术要点. 中国食用菌, 32(2): 58
- 魏云辉, 陈绪涛, 孙鹏, 王洪秀, 胡佳, 李菁, 谢国强, 沈少华, 戴朝阳, 熊小文, 2020. 大球盖菇大田栽培技术规程. 江西省地方标准, DB36/T 1374
- 闫培生, 李桂舫, 蒋家慧, 2001. 大球盖菇菌丝生长的营养需求及环境条件. 食用菌学报, 8(1): 5-9
- 颜淑婉, 2002. 大球盖菇的生物学特性. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002(3): 401-403
- 杨琦智, 赵青青, 陈青君, 张国庆, 刘桂平, 2021. 日光温室不同配方和工艺栽培大球盖菇的农艺性状分析. 中国农学通报, 37(14): 59-65
- 杨顺强, 程立君, 赵启君, 陈悦, 冉秋月, 肖作秀, 邱永洪, 高国希, 2020. 葡萄林下栽培不同食用菌的效应. 西北农业学报, 29(7): 1045-1050
- 俞志纯, 1996. 皱环球盖菇人工栽培技术关键. 食用菌, 1996(6): 29-30
- 张金霞, 王波, 王泽生, 边银丙, 任鹏飞, 李博, 李传华, 李太辉, 宋斌, 张瑞颖, 陈强, 陈明杰, 陈美元, 郑素月, 胡清秀, 高巍, 宫志远, 姚方杰, 贾身茂, 黄晨阳, 曹晖, 谢宝贵, 谭琦, 冀宏, 2011. 中国食用菌菌种学. 北京: 中国农业出版社. 121-140
- 钟雪美, 杜双田, 王本成, 1990. 不同平菇菌株生产性能的综合评判研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1990(4): 63-68
- 朱静娴, 李丽君, 赵淑芳, 陈宸, 姜淑霞, 2018. 基于 SRAP 分子标记的 23 株大球盖菇遗传多样性和亲缘关系分析. 山东农业科学, 50(3): 22-28

(本文责编: 王敏)