

杏鲍菇种质资源评价及优良杂交菌株选育

刘汶鑫¹, 王恬恬¹, 唐玉琴^{1,2}, 梁运江¹

(1. 延边大学 吉林延吉 133000; 2. 吉林农业科技学院 吉林吉林 132101)

摘要: 对杏鲍菇菌株进行种质资源多样性研究, 筛选出具有生育期短、产量高的优良菌株作为工厂化育种的试验材料, 为杏鲍菇育种手段和方法的深入研究及开发利用提供参考。以国内收集的 34 株杏鲍菇菌株(B1-B34)为试验材料, 对体细胞不亲和性试验、ISSR 分子标记技术、农艺性状评价进行比较分析及优良杂交菌株选育。结果表明, 参与试验的 34 株杏鲍菇菌株遗传变异丰富, 遗传相似系数的变化范围为 0.73~0.97, 当遗传相似性系数为 0.85 时, 可将 34 株杏鲍菇菌株分为 4 类。农艺性状分析结果表明, 产量最高的杏鲍菇菌株是 B2, 产量最低的是杏鲍菇 B7。生育期最短的杏鲍菇菌株是 B1, 只需要 63 d, 生育期最长的杏鲍菇菌株是 B11、B14 和 B30, 均为 80 d。综合以上结果, 筛选出产量高、生物学效率高的 B2 菌株与生长周期短的 B1 菌株作为杂交育种亲本, 最终筛选出优良杂交菌株 LX119, 该菌株生育期为 56 d、产量为 762.14 g·袋⁻¹。

关键词: 杏鲍菇; ISSR 分析; 拮抗反应; 农艺性状; 杂交育种

中图分类号: S646.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)07-109-18

Evaluation of *Pleurotus Eryngii* germplasm resources and breeding of excellent hybrid strains

LIU Wenxin¹, WANG Tiantian¹, TANG Yuqin^{1,2}, LIANG Yunjiang¹

(1. Yanbian University, Yanji 133000, Jilin, China; 2 Jilin Agricultural Science and Technology College, Jilin 132101, Jilin, China)

Abstract: To analyze the diversity of germplasm resources of *Pleurotus eryngii* strains, this study screened excellent strains with short growth period and high yield as industrial breeding materials, aiming to provide theoretical basis for the in-depth development of *P. eryngii* breeding technology. In this study, 34 strains of *P. eryngii* (B1-B34) collected domestically were used as test materials, and the somatic cell incompatibility experiment, ISSR molecular marker technology, and agronomic trait evaluation were compared and analyzed, and the excellent hybrid strains were selected. The results showed that the 34 strains of *P. eryngii* were rich in genetic variation, with a genetic similarity coefficient from 0.73-0.97. When the genetic similarity coefficient was 0.85, the 34 strains of *P. eryngii* could be classified into four categories. The agronomic traits showed that the highest total yield was B2, and the lowest yield was B7. The shortest growth period was B1, which took only 63 days, while the longest growth period was B11, B14 and B30, all of which took 80 days. Based on the analysis of the above results, the B2 strain with high yield and high biological efficiency and the B1 strain with short growth cycle were selected as hybrid breeding parents. Finally, the excellent hybrid strain LX119 was screened, with a growth period of 56 days and a yield of 762.14 g·bag⁻¹.

Key words: *Pleurotus eryngii*; ISSR analysis; Antagonistic reaction; Agronomic trait; Cross breeding

杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)又名刺芹侧耳, 隶属于侧耳科(Pleurotaceae)侧耳属(*Pleurotus*)。杏鲍菇最早起源于欧洲, 因其肉质肥厚如鲍鱼, 口感细腻, 质地脆嫩, 富有嚼劲, 是目前最受欢迎的蘑菇品种之一, 在亚洲的部分地区被广泛食用^[1-4]。其子实

体色泽雪白, 质地脆嫩, 也称“雪茸”, 又有“平菇王”“干贝菇”“草原上的美味牛肝菌”之美誉^[5]。杏鲍菇是一种药食两用的食用菌品种, 具有宜人的香气和良好的烹饪品质, 深受消费者欢迎^[6]。此外, 杏鲍菇还含有大量的生物活性物质, 如蛋白质、多糖、膳食

收稿日期: 2024-08-26; 修回日期: 2024-12-26

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20220202102NC)

作者简介: 刘汶鑫, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为农业环境与生物物质综合利用。E-mail: 1981317340@qq.com

通信作者: 唐玉琴, 女, 教授, 主要从事真菌资源开发与利用方面教学和研究。E-mail: 335673084@qq.com

梁运江, 男, 教授, 主要从事土壤学等研究工作。E-mail: lyjluo@ybu.edu.cn

纤维等,均具有潜在的生物活性功能^[7]。据颜明娟等^[8]研究显示,杏鲍菇干品中富含蛋白质、还原糖、总糖、脂肪、游离氨基酸、甘露醇、水溶性成分以及水分等多种营养成分。具体来说,其蛋白质含量高达 21.44%,甘露醇和游离氨基酸含量也相当丰富。与黑木耳、银耳和香菇干品相比,杏鲍菇的灰分和蛋白质含量更高,但脂肪和总糖含量则相对较低。此外,杏鲍菇中检测到了 17 种氨基酸,其中 8 种是人体所必需的。在矿物质元素方面^[9],杏鲍菇同样表现出色,每 100 g 干菇中含有多种对人体有益的微量元素,杏鲍菇以其脆嫩爽滑的口感和丰富的营养价值赢得了消费者的广泛喜爱,从而成为了市场上备受瞩目、发展潜力巨大的食用菌品种之一。

近年来,人工栽培杏鲍菇的农户及杏鲍菇工厂化生产企业日益增加,使杏鲍菇产业迅速增长。目前,国内杏鲍菇栽培品种比较单一,仅有少数杏鲍菇工厂拥有自己的栽培品种^[10]。一般杏鲍菇是自然栽培的,农户用种比较混杂,容易出现同物异名、同名异物、品种乱用等问题,造成每年杏鲍菇的品质和产量参差不齐,影响生产效益。此外,利用形态学方法进行比较和分类往往受环境等因素的影响而存在差异,而 ISSR、AFLP 等分子标记技术因其能反映 DNA 水平遗传多样性,且受环境影响小,在食用菌遗传分析中获广泛应用。周红艳^[11]对收集到的 25 个杏鲍菇菌株进行了农艺性状及菌丝体生长的研究,从中筛选到产量和生物学效率较高的高产优质菌株,为杏鲍菇种质资源的保护与研究提供了基础依据;刘宇等^[12]对 9 个杏鲍菇品种从菌丝生长速度、菌丝生长势、生物学效率等方面进行了品比试验,并从中筛选出菌丝生长速度较快、菌丝生长势较强、子实体产量最高、子实体形态特征最好的栽培品种。陈珣等^[13]、焦栢禾等^[14]、邓优锦等^[15]利用 ISSR 技术对金针菇、黑木耳、银耳等食用菌进行了遗传多样性研究。杨和川等^[16]则应用 ISSR 分子标记技术分析了杏鲍菇生产菌株的 DNA 序列多态性,通过 UPGMA 平均分类法分析,将 27 个杏鲍菇生产性菌株在遗传相似系数为 0.87 的水平上分为 4 类,这为杏鲍菇的杂交育种及亲缘关系分析提供了理论基础。

笔者以全国各地收集来的 34 个杏鲍菇品种为材料,采用体细胞不亲和性、分子标记技术及农艺性状的比较分析,在系统地对杏鲍菇菌株进行种质资源的综合评价的基础上,筛选出具备优秀开发潜

力的优良菌株以及优势互补的杂交亲本菌株,作为育种试验的材料。通过杂交育种,选育产量高、抗杂性强、生育周期短的杂交菌株,为杏鲍菇工厂化生产提供潜在具有经济价值的育种材料。

1 材料与方法

1.1 试供菌株

供试杏鲍菇菌株 B1~B34,均来自吉林农业科技学院食用菌实验室。试验于 2022 年 7 月至 2023 年 12 月在吉林益隆长白山实业有限公司进行。

1.2 主要仪器与试剂

主要试剂:琼脂、葡萄糖、10%的 KOH、3%的刚果红、蛋白胨、酵母膏、乙醇、磷酸二氢钾、硫酸镁。

仪器设备:电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司 BSA224S-CW)、灭菌锅(博讯 YXQ-100SII)、超净工作台(上海尚道仪器制造有限公司 SW-CJ-IFD)、生化培养箱(上海秋佐科学仪器有限公司 SPX-250)、微波炉(Midea 公司 M1-211D)。DNA 提取 Fast DNA SPIN Kit for Soil Kit 试剂盒(Invitrogen 公司 MF070-plus-01)、移液器(Eppendorf 公司 LR17113085)。

1.3 培养基

母种培养基为马铃薯综合培养基:马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 20 g、蛋白胨 5 g、酵母膏 1 g、水 1000 mL,于 121 °C 高压灭菌 30 min^[17]。

三角摇瓶培养基配方:马铃薯 100 g·L⁻¹、酵母膏 2.5 g·L⁻¹、葡萄糖 20 g·L⁻¹、蛋白胨 1 g·L⁻¹、硫酸镁 0.75 g·L⁻¹、磷酸二氢钾 0.75 g·L⁻¹,于 121 °C 高压灭菌 30 min^[18]。

栽培种培养基:木屑 42%、玉米芯 38%、麦麸 10%、豆粕 4.5%、玉米粉 4.5%、轻钙 0.5%、石膏 0.5%,含水量 60%~65%。将装好的栽培袋放入高压灭菌锅中灭菌 2 h,灭菌条件为 0.125 MPa、121 °C,待栽培袋晾至室温后接种^[19]。

1.4 体细胞不亲和性试验

将 34 株供试菌株于 24 °C 恒温培养 7 d 复壮。一个平板内平均分布 3 个菌株,菌株间相聚 1~2 cm,培养条件为 24 °C、避光、7~10 d,观察不同菌株菌丝接触部分是否有拮抗线并记录,将拮抗结果的有(+)、无(-)进行统计^[20],每个处理均设置 3 次重复,下同。

1.5 ISSR 分析方法

对 34 株杏鲍菇进行 DNA 提取,并进行 PCR 扩增,引物序列见表 1^[21]。采用北京博友顺生物技

术有限公司的磁珠试剂盒提取。取 3 μL DNA 用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测。PCR 扩增体系 (25 μL) 为: DNA 模板约 40 ng, 10 $\times$ Buffer 2.5 μL , primer 0.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 4 种 dNTPs 各 0.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, MgCl_2 1.5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, TaqDNA 聚合酶 1.25 U。PCR 扩增程序为: 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min, 然后进行 35 个循环: 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 45 s, 55~62 $^{\circ}\text{C}$ 复性 45 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1.5 min; 循环结束后 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 10 min, 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。PCR 结束后, 将 PCR 产物在 2.0% 的琼脂糖凝胶 (电压 120 V 电泳 50 min) 检测。PCR 扩增产物的电泳在凝胶的某个相同迁移率位置上有 DNA 条带记为 1, 无 DNA 条带记为 0。采用 NTSYS 软件计算相似系数 (DICE 系数), 并且按照遗传系数进行 UPGMA 聚类分析^[22]。用 POPGENE 32 软件对供试材料的遗传多样性指数进行分析。

表 1 ISSR 引物及其序列
Table 1 ISSR primer sequences

引物名称 Primer name	引物序列 Primer sequence
UBC807	AGAGAGAGAGAGAGAGT
UBC808	AGAGAGAGAGAGAGAGC
UBC809	AGAGAGAGAGAGAGAGG
UBC810	GAGAGAGAGAGAGAGAT
UBC811	GAGAGAGAGAGAGAGAC
UBC823	TCTCTCTCTCTCTCC
UBC834	AGAGAGAGAGAGAGAGYT
UBC836	AGAGAGAGAGAGAGAGYA
UBC841	GAGAGAGAGAGAGAGAYC
UBC842	GAGAGAGAGAGAGAGAYG
UBC873	GACAGACAGACAGACA
UBC899	DBDACACACACACAC

1.6 农艺性状分析

1.6.1 菌丝生长特性 取培养好的适龄菌块, 接种于培养基中, 24 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养, 采用十字划线法测量平板菌落的半径, 菌丝生长速度/ $(\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$ =菌落半径/培养总时间^[23]。

1.6.2 子实体生长状况测定 (1) 测定栽培袋一潮菇所采收的子实体总产量, 根据干料计算各菌株的生物学效率并取平均值。

(2) 在不同菌株中随机取样每个重复中的 3 袋, 观察其个体形态特征, 测量产量、菌盖直径、菌柄直径等, 不同菌株每个重复的试验数据均为取样数的平均值。

(3) 出菇后测定产量和生物学效率。

生物学效率/ $\%$ =(子实体鲜质量/培养料干质量) $\times 100$ ^[24]。

1.7 杂交菌株的选育

1.7.1 孢子的收集 根据综合农艺性状的评价, 筛选出优良菌株进行杂交试验。获取杏鲍菇亲本菌株的单孢和双孢, 进行单-单杂交和单-双杂交, 采用细胞学鉴定、生理特性鉴定相结合的方法鉴定杂交子的真实性, 通过对菌丝特性、生育期、商品性状及产量进行比较分析, 最终选育出优良的杂交杏鲍菇新菌株。

在无菌条件下, 用接种针轻轻地刮取硫酸纸上收集的杏鲍菇孢子, 放入 100 mL 无菌水中, 摇匀, 制成孢子悬浊液, 用移液器从中取出 1 mL 孢子悬浊液加入 9 mL 无菌水, 如此反复稀释, 获得 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} 、 10^{-8} 等 7 个浓度梯度的孢子稀释液, 分别将不同浓度的孢子稀释液均匀涂布于准备好的平板培养基上, 密封后 24 $^{\circ}\text{C}$ 黑暗培养。每天观察 2 次, 当培养基上的孢子萌发出肉眼可见的菌落, 立即挑取单菌落转接于 PDA 小试管斜面上, 编号后在 24 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中黑暗培养^[25]。

1.7.2 单核体分离 配制 10% 的 KOH 和 3% 的刚果红, 先滴入 1 滴 10% 的 KOH 再滴入 1 滴 3% 的刚果红到载玻片上, 挑取收集的单菌落的菌丝, 染色 1 min 后盖上盖玻片, 用滤纸将周围的染色液吸干, 在光学显微镜下 (物镜 40 $\times$, 目镜 10 $\times$) 观察菌丝锁状联合的有无, 拍摄并记录^[26]。

1.7.3 配制杂交组合 将 2 个鉴定出的单核菌株接到培养皿中, 2 菌种块相距 2 cm 左右, 24 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中遮光培养, 当菌丝长满培养皿后, 在超净工作台上挑取 2 单孢菌丝交界处的菌块转入平板培养基中, 距接种块 2 cm 处倾斜的插入灭菌后的盖玻片, 待菌丝爬上盖玻片后, 用镊子取出, 用显微镜观察菌丝有无锁状联合, 判断杂交是否成功。如有锁状联合, 立即转管, 以备杂交子真实性的鉴定。

1.7.4 杂交子真实性的鉴定 将具有锁状联合的杂交菌株与 2 亲本接种于同一平板培养基中, 各菌种块之间相距 2 cm 左右, 24 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养。待满皿后, 观察杂交子是否与两亲本接触部位产生明显的拮抗线。生理特性试验是鉴定不同菌株体细胞是否亲和的方法, 拮抗线的产生表现菌株之间不同的遗传特性。

1.7.5 优良杂交菌株的选育 对鉴定的真实杂交子进行农艺性状评价分析, 具体操作方法见 1.6。

1.8 数据分析

使用 SPSS 27.0 进行数据分析与处理, 对产量和生育期进行方差分析, 对农艺性状进行主成分分

析,明确性状之间的相关性和重要性,具体步骤参照姜婉竹等^[27]的方法,利用 Excel 2016 进行计算,所有数值均采用平均值表示,设置 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 体细胞不亲和性试验

34 株供试菌株的拮抗反应结果见表 2。结果表明,菌株 B16 和 B17、B18 和 B19、B24 和 B25 之间无拮抗线产生,这表明这 3 对菌株的体细胞亲

和,亲缘关系较近。但要确认它们是否为同一菌株,还需要进一步通过其他评价方法进行验证。其他 28 个菌株之间均有拮抗线产生,为不同品种的杏鲍菇菌株。

2.2 ISSR 分析

通过 12 条引物扩增的 ISSR 聚类图结果如图 1 所示,其遗传距离在 0.70~1.00 之间,在平均相似系数 0.85 处可将 34 个菌株杏鲍菇材料分为四大类群,说明供试菌株可能存在同物异名现象。其中,

表 2 不同菌株菌丝间的拮抗作用
Table 2 The antagonistic action of different strains on stock culture

菌株编号 Strain No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1																																		
2		+																																
3		+	+																															
4		+	+	+																														
5		+	+	+	+																													
6		+	+	+	+	+																												
7		+	+	+	+	+	+																											
8		+	+	+	+	+	+	+																										
9		+	+	+	+	+	+	+	+																									
10		+	+	+	+	+	+	+	+	+																								
11		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																							
12		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																						
13		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																					
14		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																				
15		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																			
16		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																		
17		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																	-
18		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																
19		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+															-
20		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+														
21		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+													
22		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+												
23		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+											
24		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
25		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+									-
26		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+								
27		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
28		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
29		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
30		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
31		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
32		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
33		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
34		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

注:“+”表示有拮抗现象,“-”表示无拮抗现象。
Note: “+” indicates antagonism, and “-” indicates no antagonism.

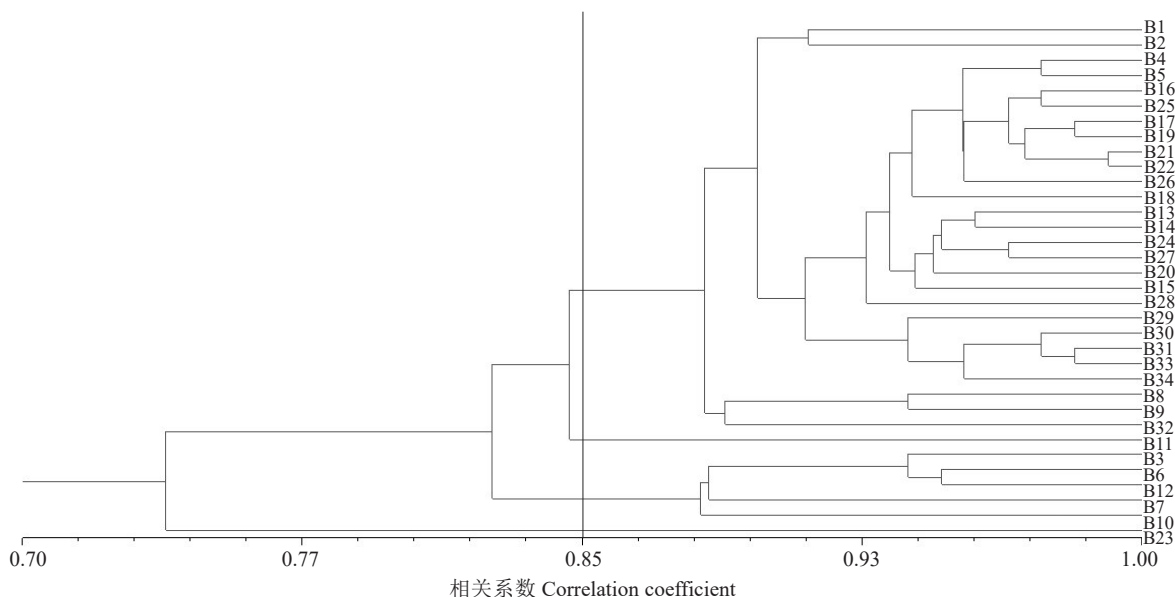


图1 34个供试样品的ISSR聚类分析

Fig. 1 ISSR clustering analysis of 34 tested samples

菌株 B1、B2、B4、B5、B8、B9、B13、B14、B15、B16、B17、B18、B19、B20、B21、B22、B24、B25、B26、B27、B28、B29、B30、B31、B32、B33、B34 可聚为第一大类;菌株 B11 为第二类;菌株 B3、B6、B7、B10、B12 被聚为第三类;菌株 B23 被聚为第四类。通过观察上述聚类分析结果,可以发现以下规律:来源于同一地区的菌株往往归为同一类群。从河北地区引进的菌株 B29、B30、B31、B32、B33、B34 被归为一类;同样地,来自江苏地区的 B8、B14、B16、B19 菌株也被归为一类;此外,从贵州引进的 B25、B26、B27 菌株同样属于同一类群。这一规律表明,菌株的类群与其地理来源存在一定的关联。综合 ISSR 聚类分析及体细胞不亲和性试验结果可证明菌株 B16 和 B17、B18 和 B19、B24 和 B25 为同一菌株。

2.3 杏鲍菇农艺性状评价

2.3.1 菌丝生长特性 在杏鲍菇菌丝适宜的温度 24℃下,对 34 个杏鲍菇菌株进行菌丝生长速度和满皿时间的测定及菌丝生长势和密度的比较,结果见表 3,各菌株菌丝体平均生长速度在 0.568 7~0.849 2 cm·d⁻¹,不同菌株在菌丝生长速度上存在差异,B2、B3、B12、B23 菌丝生长速度较快,满皿时间短,均为 10 d,菌丝长势强,较粗壮浓密,菌落整齐。B32 菌丝生长速度最慢,满皿时间为 15 d,但同一菌株在不同培养基中菌丝的生长速度及生长势有所不同,所以 B32 能否作为栽培种需进一步观察。

2.3.2 生育期评价 由表 4 可知,各菌株的生育期差异较大,生育期为 63~80 d,其中菌株 B1、B10、

B12、B19、B24、B27、B34 的满袋时间、原基发生时间、子实体成熟时间相对较短,生育期低于 65 d,属于早熟菌株;B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B13、B15、B16、B17、B18、B20、B21、B22、B23、B25、B26、B28、B29、B31、B33 生育期为 65~70 d,属于中熟菌株;B11、B14、B30、B32 生育期大于 70 d,属于晚熟菌株。除菌株 B16、B24、B31 均有污染情况的发生外,其他菌株均有较强的抗性。

2.3.3 商品性状评价 对各供试菌株的商品性状统计如表 5~6 所示,各菌株在子实体形态、菌盖颜色、菌盖直径、菌柄直径等商品性状方面差异较大,遗传性状比较丰富。子实体总长在 10.60~21.42 cm;菌盖直径在 3.13~7.52 cm;菌柄直径在 3.21~5.46 cm;子实体形态分为棒状、近棒状、保龄球形和近保龄球形;菌盖颜色分为浅褐、褐、深褐。其中,菌株 B1 的商品性状良好,B1 的子实体总长、菌盖直径及菌柄直径等指标均明显优于其他菌株,子实体棒状,菌盖颜色褐色。杏鲍菇 B2 产量最高,每袋产量为 745.01 g,生物学效率为 129.03%,属于高产型菌株;B5 的产量仅次于 B2,生物学效率为 122.71%,而 B7 每袋产量最低,仅为 215.81 g,生物学效率为 37.35%。

2.3.4 主成分分析 杏鲍菇菌株间农艺性状差异性明显,其中菌盖直径、子实体形态、菌柄直径和菌盖颜色等方面存在明显差异。

主成分分析的结果表明,9 个成分在提取值上呈现出很大的差异,这充分说明了各性状在整体考

表 3 不同菌株菌丝生长情况			
Table 3 Mycelial growth of different strains			
菌株 Strain No.	满皿时间 Full dish time/d	菌丝长势 Mycelium growth vigor	菌丝生长速度 Mycelial growth rate/(cm·d ⁻¹)
B2	10	++++	0.849 2±0.006 0 A
B3	10	++++	0.846 1±0.000 2 AB
B12	10	++++	0.837 6±0.000 5 BC
B23	10	++++	0.833 2±0.002 3 C
B19	11	+++	0.784 2±0.002 4 D
B24	11	+++	0.783 0±0.002 1 DE
B28	11	+++	0.782 1±0.009 8 DE
B27	11	+++	0.780 3±0.008 0 DEF
B33	11	+++	0.780 0±0.003 2 DEF
B29	11	+++	0.779 7±0.006 2 DEF
B30	11	+++	0.776 1±0.002 6 DEFG
B26	11	+++	0.774 6±0.002 0 DEFG
B13	11	+++	0.774 5±0.004 2 DEFG
B21	11	+++	0.773 7±0.002 9 DEFG
B18	11	+++	0.773 6±0.001 1 DEFG
B22	11	+++	0.773 6±0.004 5 DEFG
B9	11	+++	0.772 9±0.008 8 DEFG
B34	11	+++	0.770 3±0.002 9 DEFGH
B5	11	+++	0.770 0±0.000 4 EFGH
B1	11	+++	0.769 8±0.002 8 EFGH
B17	11	+++	0.769 0±0.002 6 EFGH
B10	11	+++	0.767 4±0.005 6 FGH
B4	11	+++	0.765 5±0.003 2 GH
B6	11	+++	0.764 9±0.005 8 GH
B8	11	+++	0.762 8±0.001 5 GH
B20	11	+++	0.758 2±0.008 7 H
B11	12	+++	0.713 2±0.001 9 I
B14	12	+++	0.712 9±0.002 6 I
B7	12	+++	0.711 6±0.001 1 I
B25	12	+++	0.705 9±0.000 6 I
B31	13	++	0.655 0±0.002 2 J
B15	14	++	0.605 0±0.001 5 K
B16	14	++	0.599 6±0.001 3 K
B32	15	++	0.568 7±0.005 4 L

注:++++代表粗壮、浓密;+++代表较粗壮、浓密;++代表菌丝稀疏、纤细。不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。下同。

Notes: ++++is sturdy and thick; +++is relative sturdy and thick; ++is thin and slender. Different capital letters indicate significant differences at 0.01 level. The same below.

量中的重要性并不相同。由表 7 可知,第 1 主成分的特征值为 2.209,贡献率高达 24.544%;第 2 主成分特征值是 1.610,贡献率为 17.891%;第 3 主成分特征值是 1.319,贡献率为 14.658%;第 4 主成分特征值是 1.140,贡献率为 12.666%。

由图 2 可知,最初的 4 个主成分的特征值变化

表 4 杏鲍菇生育期评价			
Table 4 Growth period evaluation of <i>P. eryngii</i>			
菌株 Strain No.	满袋时间 Mycelium full bag time/d	原基形成时间 Formation time of the primordium/d	子实体成熟时间 Maturity time of the fruit body/d
B1	26	46	63
B2	30	50	67
B3	29	49	66
B4	31	51	68
B5	29	49	66
B6	30	50	67
B7	32	52	69
B8	32	52	69
B9	32	52	69
B10	26	46	63
B11	43	63	80
B12	26	46	63
B13	32	52	69
B14	43	63	80
B15	31	51	68
B16	31	51	68
B17	32	52	69
B18	32	52	69
B19	26	46	63
B20	30	50	67
B21	32	52	69
B22	32	52	69
B23	32	52	69
B24	26	46	63
B25	32	52	69
B26	32	52	69
B27	26	46	63
B28	32	52	69
B29	32	52	69
B30	43	63	80
B31	31	51	68
B32	37	57	74
B33	31	51	68
B34	26	46	63

较大,而之后的各个主成分特征值则相对固定。这一现象意味着前 4 个主成分在阐释原始数据变量方面扮演了重要角色。因此,将这 4 个主成分作为分析的焦点是合适的。它们能够有效地反映原始数据的主要特征和变动趋势。

由表 7~8 可知,第 1 主成分以 24.544%的贡献率位居首位,其中菌盖直径的特征向量值最高,代表杏鲍菇菌盖大小的外观形态,因此将该主成分命名为外观形态构成因子。第 2 主成分的贡献率为 17.891%,略低于第 1 主成分,其特征向量值最大的

表 5 杏鲍菇商品性状比较

Table 5 Comparison of commodity traits of *P. eryngii*

菌株 Strain No.	子实体形态 Fruiting body morphology	菌盖直径 Pileus diameter/cm	菌柄直径 Stipe diameter/cm	子实体总长 Total length of fruit body/cm	菌盖颜色 Pileus color
B1	棒状 Rodlike	7.52	5.31	21.42	褐 Brown
B2	近棒状 Nearly stick-shaped	4.93	5.24	16.15	深褐 Dark brown
B3	近棒状 Nearly stick-shaped	4.25	4.46	15.27	褐 Brown
B4	近棒状 Nearly stick-shaped	5.13	4.12	13.01	浅褐 Light brown
B5	近棒状 Nearly stick-shaped	4.74	4.18	16.16	深褐 Dark brown
B6	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.86	4.33	14.35	深褐 Dark brown
B7	棒状 Rodlike	4.41	5.12	13.46	浅褐 Light brown
B8	棒状 Rodlike	5.94	5.26	15.37	褐 Brown
B9	棒状 Rodlike	4.96	4.18	13.57	褐 Brown
B10	保龄球形 Bowling ball shape	3.45	4.22	11.53	深褐 Dark brown
B11	近棒状 Nearly stick-shaped	5.13	4.61	12.99	深褐 Dark brown
B12	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	6.56	5.45	15.12	深褐 Dark brown
B13	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.41	4.13	12.00	深褐 Dark brown
B14	棒状 Rodlike	4.21	4.32	10.60	浅褐 Light brown
B15	棒状 Rodlike	3.96	3.72	14.36	褐 Brown
B16	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	5.56	5.23	15.97	浅褐 Light brown
B17	近棒状 Nearly stick-shaped	5.45	4.05	16.60	深褐 Dark brown
B18	近棒状 Nearly stick-shaped	3.61	3.46	14.21	浅褐 Light brown
B19	近棒状 Nearly stick-shaped	4.87	4.26	12.82	褐 Brown
B20	保龄球形 Bowling ball shape	4.23	4.83	13.31	浅褐 Light brown
B21	近棒状 Nearly stick-shaped	3.73	4.16	11.12	浅褐 Light brown
B22	棒状 Rodlike	3.96	4.24	13.24	深褐 Dark brown
B23	棒状 Rodlike	5.27	4.12	13.87	褐 Brown
B24	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.58	4.79	15.95	浅褐 Light brown
B25	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.13	3.21	12.94	深褐 Dark brown
B26	棒状 Rodlike	4.85	5.46	15.26	褐 Brown
B27	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	4.92	3.91	14.03	褐 Brown
B28	棒状 Rodlike	5.44	5.23	14.91	褐 Brown
B29	棒状 Rodlike	4.87	4.72	17.13	浅褐 Light brown
B30	棒状 Rodlike	4.54	4.35	13.71	深褐 Dark brown
B31	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	4.76	4.43	16.15	浅褐 Light brown
B32	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.33	3.34	12.87	浅褐 Light brown
B33	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	5.94	4.95	17.13	褐 Brown
B34	棒状 Rodlike	5.12	4.57	14.30	褐 Brown

表 6 供试菌株产量

Table 6 Yield of tested strains

菌株 Strain No.	每袋产量 Yield per bag/ g	生物学效率 Biological conversion rate/%	菌株 Strain No.	每袋产量 Yield per bag/ g	生物学效率 Biological conversion rate/%	菌株 Strain No.	每袋产量 Yield per bag/ g	生物学效率 Biological conversion rate/%
B2	745.01±34.30	129.03 A	B17	517.56±21.98	89.52 HI	B10	392.37±19.61	67.88 KLMN
B5	708.62±30.50	122.71 AB	B18	509.64±19.15	88.20 HIJ	B24	381.44±17.60	66.03 LMN
B1	687.68±29.76	119.10 BC	B6	507.34±20.67	87.91 HIJ	B11	370.36±18.71	64.21 MN
B16	679.86±30.40	117.66 BC	B15	506.36±20.31	87.76 HIJ	B12	370.10±15.40	64.03 MN
B3	646.33±33.40	111.86 CD	B19	458.70±22.20	79.39 IJK	B25	369.05±15.40	63.93 MN
B29	623.26±32.00	107.88 DE	B20	449.86±21.80	77.86 JKL	B32	351.74±17.24	60.84 NO
B13	592.67±25.70	102.57 DEF	B31	446.71±21.49	77.29 JKL	B26	338.46±13.24	58.50 NOP
B33	586.05±25.90	101.41 EFG	B34	446.53±22.30	77.26 JKL	B22	296.97±13.82	51.34 OP
B14	552.69±23.40	95.64 FGH	B28	432.83±11.15	74.98 KLM	B9	288.08±13.40	49.93 P
B21	540.32±30.20	93.62 FGH	B8	406.93±19.00	70.48 KLMN	B7	215.81±11.60	37.35 Q
B4	536.08±27.40	92.84 FGH	B23	405.20±18.70	70.22 KLMN			
B30	524.08±28.10	90.79 GH	B27	403.10±16.00	69.78 KLMN			

表 7 主成分分析解释的总方差表
Table 7 Total variance explained by principal component analysis

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取平方和载入 Extaction sums of squared loadings		
	合计 Total	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	合计 Total	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	2.209	24.544	24.544	2.209	24.544	24.544
2	1.610	17.891	42.435	1.610	17.891	42.435
3	1.319	14.658	57.092	1.319	14.658	57.092
4	1.140	12.666	69.758	1.140	12.666	69.758
5	0.817	9.083	78.841			
6	0.637	7.083	85.924			
7	0.513	5.704	91.628			
8	0.462	5.135	96.763			
9	0.291	3.237	100.000			

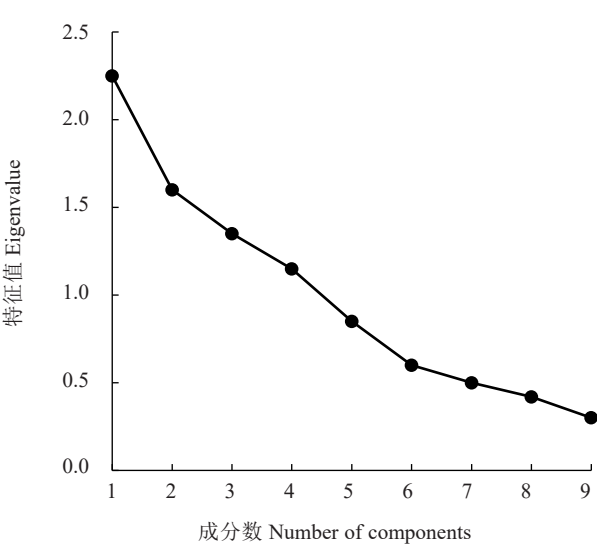


图 2 主成分分析碎石图
Fig. 2 Scree plot of principal component analysis

是生育期,代表杏鲍菇的出菇用时,命名为时间构成因子。第3主成分贡献率为14.658%,特征向量值最大的是子实体形态,代表杏鲍菇的子实体形态特征,称为子实体形态构成因子。第4主成分贡献率为12.666%,特征向量值最大的性状为菌丝长势,虽规律性不明显,但通过其贡献率可见一斑。

综上所述,9个性状的提取值有很大差异,说明各性状重要性不同,其中菌盖直径、生育期、子实体形态和菌丝长势4个性状的影响力较大。

2.4 优良杂交菌株的选育

2.4.1 杂交菌株生理特性鉴定 收集两亲本 B1 和 B2 的孢子,并配置菌悬液。在浓度为 10^{-5} 、 10^{-6} 、 10^{-7} 、 10^{-8} 的平板中挑出单核菌丝和双核菌丝,菌株 B1 收集 10 个单核菌丝,菌株 B2 收集 10 个单核菌丝、6 个双核菌丝,通过单-单杂交和单-双杂交共配制 160 个杂交组合。通过光学显微镜对 160 个杂交组合

表 8 主成分载荷矩阵
Table 8 Principal component loading matrix

性状 Character	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
菌盖直径 Pileus diameter	0.855	0.198	-0.145	0.103
子实体总长 Total length of fruit body	0.797	-0.168	0.190	-0.126
菌柄直径 Stipe diameter	0.778	0.067	-0.290	0.222
菌丝生长速度 Mycelial growth rate	0.263	-0.649	0.209	0.459
生育期 Period of growth and development	0.295	0.560	0.327	-0.213
菌盖颜色 Pileus color	-0.180	0.557	0.206	0.391
菌丝长势 Mycelium growth vigor	-0.021	0.557	0.353	0.490
子实体形态 Fruit body form	-0.039	-0.423	0.737	0.223
产量 Yield	0.214	0.058	0.563	-0.604

进行了详细观察,结果发现在这些组合中,有 106 个能够在显微镜下清晰地观察到锁状联合。利用拮抗试验检测了选定的 106 个杂交菌株与其亲本之间的体细胞不亲和性。试验结果见表 9,有 98 个杂交组合分别与两亲本发生拮抗反应,即出现 3 条拮抗线,体细胞不亲和,为生理特性不同的菌株。其他 8 个杂交菌株均不发生拮抗反应,体细胞亲和,为生理特性相同的菌株。

2.4.2 杂交菌株菌丝生长特性 在杏鲍菇菌丝适宜的温度 24℃温度条件下,对 98 个杂交菌株及 2 个亲本 B1、B2 进行菌丝生长速度和满皿时间的测定及菌丝生长势的比较,结果见表 10。杂交菌株菌丝生长速度为 $0.393\sim 0.959\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,不同菌株在菌丝体生长速度上存在差异。其中,生长速度最快的是杂交菌株 LX155,菌丝生长速度为 $0.959\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,杂交菌株 LX149 菌丝生长速度仅次于杂交菌株 LX155,菌丝生长速度为 $0.954\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$,杂交菌株 LX114 稍差于杂交菌株 LX155 和 LX149,菌株生

表9 杂交菌株生理特性鉴定
Table 9 Identification of physiological characteristics of hybrid strains

序号 Number	菌株 Strain	生理特性 Physiological characteristic	序号 Number	菌株 Strain	生理特性 Physiological characteristic
1	LX1	+	54	LX97	+
2	LX2	+	55	LX99	+
3	LX3	+	56	LX100	—
4	LX8	+	57	LX103	+
5	LX9	+	58	LX106	+
6	LX11	+	59	LX108	+
7	LX12	+	60	LX112	+
8	LX13	+	61	LX113	+
9	LX16	+	62	LX114	+
10	LX18	+	63	LX115	+
11	LX23	+	64	LX116	+
12	LX24	+	65	LX117	+
13	LX25	+	66	LX118	+
14	LX26	+	67	LX119	+
15	LX28	+	68	LX120	+
16	LX30	+	69	LX121	+
17	LX31	+	70	LX122	+
18	LX33	+	71	LX123	+
19	LX34	+	72	LX124	—
20	LX35	+	73	LX125	+
21	LX36	—	74	LX126	+
22	LX39	+	75	LX127	+
23	LX40	+	76	LX128	+
24	LX43	+	77	LX129	+
25	LX44	+	78	LX130	+
26	LX45	+	79	LX131	+
27	LX47	+	80	LX132	+
28	LX50	+	81	LX133	+
29	LX52	+	82	LX134	+
30	LX53	+	83	LX135	+
31	LX57	+	84	LX136	+
32	LX59	+	85	LX137	+
33	LX60	+	86	LX138	+
34	LX62	+	87	LX139	+
35	LX64	+	88	LX140	+
36	LX66	+	89	LX141	+
37	LX73	+	90	LX142	—
38	LX76	—	91	LX143	+
39	LX77	+	92	LX144	+
40	LX78	+	93	LX145	—
41	LX81	+	94	LX146	+
42	LX82	+	95	LX149	+
43	LX83	+	96	LX150	+
44	LX84	—	97	LX151	+
45	LX85	+	98	LX152	+
46	LX86	+	99	LX153	+
47	LX87	+	100	LX154	+
48	LX88	+	101	LX155	+
49	LX89	+	102	LX156	+
50	LX91	—	103	LX157	+
51	LX92	+	104	LX158	+
52	LX93	+	105	LX159	+
53	LX95	+	106	LX160	+

注:“+”表示有拮抗现象,“—”表示无拮抗现象。

Note: “+” indicates antagonism, and “—” indicates no antagonism.

长速度为 $0.952 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 菌丝生长速度第4的杂交菌株 LX119 为 $0.943 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$, 菌丝生长速度最慢的是杂交菌株 LX62, 为 $0.393 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.4.3 杂交菌株生育期比较 对95个杂交菌株及2个亲本的发菌特性的比较结果如表11所示, 由于四极性异宗结合特性部分杂交菌株不结实, 其他各杂交菌株的发菌时间在2~3 d、满袋时间在24~40 d、原基发生时间在39~65 d。其中, 杂交菌株 LX119 满袋时间最短, 为24 d, 原基发生期为39 d, 杂交菌株 LX2、LX23、LX115、LX118、LX135 的满袋时间仅次于 LX119, 为25 d, 满袋时间最长的是杂交菌株 LX137 和 LX155, 为40 d。

2.4.4 杂交菌株产量和商品性状比较 通过栽培试验, 最终得到72株可结实杂交菌株。对72株杂交菌株的产量和商品性状的比较结果见表12。子实体形态为棒状、近棒状、保龄球形和近保龄球形。杂交菌株菌盖直径在1.8~9.1 cm, 杂交菌株菌柄直径在2.2~8.0 cm, 子实体总长在5.4~21.5 cm, 杂交菌株菌盖颜色为浅褐色、褐色和深褐色, 杂交菌株每袋产量在170.55~762.14 g。其中, 产量最高的杂交菌株为 LX119, 每袋产量为762.14 g, 其生物学效率为132.01%, 其次是菌株 LX118, 每袋产量为725.06 g, 生物学效率为125.65%, 而杂交菌株 LX31 产量最低, 每袋产量为170.55 g, 生物学效率仅有29.49%。

综上所述, 杂交菌株 LX119 的产量最高, 生物学效率为132.01%, 比亲本菌株 B1、B2 分别高出19.46个百分点和15.21个百分点, 生育期时间为56 d。

2.4.5 杂交菌株主成分分析 通过主成分分析可知, 9个性状的提取值有很大差异, 说明各性状重要性不同。主成分的选择原则为特征值大于等于1的主成分。杂交菌株主成分分析中前3个主成分特征值都大于1, 累计贡献率达到68.283%(表13)。其中第1主成分的特征值为3.770, 贡献率高达41.894%; 第2主成分特征值是1.263, 贡献率为14.028%; 第3主成分特征值是1.113, 贡献率为12.361%。

从主成分碎石图可知, 前3个主成分的特征值变化非常明显, 随后的主成分特征值变化趋于平稳(图3), 说明提取的前3个主成分对原始变量的信息有明显的描述作用, 选择前3个主成分是恰当的。

由表13~14杂交菌株主成分载荷矩阵可知, 第1主成分贡献率为41.894%, 按照各性状分量的绝对值大小, 特征向量值最大的性状是杂交菌株子实体

表 10 杏鲍菇杂交菌株菌丝生长情况
 Table 10 Mycelial growth of *Pleurotus eryngii* hybrid strains

序号 Number	菌株 Strain	菌丝生长速度 Mycelial growth rate/(cm·d ⁻¹)	满皿时间 Full dish time/d	菌丝长势 Mycelial growth vigor	序号 Number	菌株 Strain	菌丝生长速度 Mycelial growth rate/(cm·d ⁻¹)	满皿时间 Full dish time/d	菌丝长势 Mycelial growth vigor
1	LX1	0.767	11	++	51	LX99	0.859	10	++++
2	LX2	0.618	14	++++	52	LX103	0.600	14	++
3	LX3	0.845	10	++++	53	LX106	0.774	11	+++
4	LX8	0.449	19	++++	54	LX108	0.599	14	++
5	LX9	0.783	11	++++	55	LX112	0.646	13	+++
6	LX11	0.487	17	++	56	LX113	0.854	10	++++
7	LX12	0.650	13	++++	57	LX114	0.952	9	++++
8	LX13	0.776	11	++	58	LX115	0.699	12	++++
9	LX16	0.491	17	++	59	LX116	0.699	12	++++
10	LX18	0.651	13	++	60	LX117	0.649	13	++++
11	LX23	0.788	11	++++	61	LX118	0.760	11	++++
12	LX24	0.606	14	++++	62	LX119	0.943	9	++++
13	LX25	0.616	14	++	63	LX120	0.855	10	++++
14	LX26	0.723	12	++	64	LX121	0.830	10	++++
15	LX28	0.714	12	++++	65	LX122	0.768	11	++++
16	LX30	0.842	10	++	66	LX123	0.774	11	++++
17	LX31	0.786	11	+++	67	LX125	0.528	16	++
18	LX33	0.775	11	++	68	LX126	0.534	16	++
19	LX34	0.851	10	++	69	LX127	0.773	11	+++
20	LX35	0.775	11	+++	70	LX128	0.863	10	++++
21	LX39	0.779	11	+++	71	LX129	0.704	12	++++
22	LX40	0.717	12	++	72	LX130	0.568	15	++++
23	LX43	0.710	12	+++	73	LX131	—		
24	LX44	0.781	11	++++	74	LX132	0.861	10	++++
25	LX45	0.710	12	++	75	LX133	0.856	10	++++
26	LX47	0.572	15	++++	76	LX134	0.771	11	++++
27	LX50	0.786	11	+++	77	LX135	0.865	10	++++
28	LX52	0.837	10	++++	78	LX136	0.843	10	++++
29	LX53	0.843	10	++	79	LX137	0.715	12	+++
30	LX57	0.776	11	+++	80	LX138	0.848	10	++++
31	LX59	0.661	13	++	81	LX139	0.860	10	++++
32	LX60	0.501	17	++++	82	LX140	0.709	12	++++
33	LX62	0.393	21	++++	83	LX141	—		
34	LX64	0.596	14	+++	84	LX143	0.850	10	+++
35	LX66	0.835	10	++	85	LX144	0.839	10	++++
36	LX73	0.778	11	++	86	LX146	0.858	10	+++
37	LX77	0.606	14	++	87	LX149	0.954	9	++++
38	LX78	0.725	12	++++	88	LX150	0.611	14	++++
39	LX81	0.712	12	++	89	LX151	0.856	10	++++
40	LX82	0.520	16	++++	90	LX152	0.607	14	++++
41	LX83	0.574	15	++++	91	LX153	0.599	14	++++
42	LX85	0.617	14	++++	92	LX154	0.709	12	+++
43	LX86	0.847	10	+++	93	LX155	0.959	9	+++
44	LX87	0.657	13	++++	94	LX156	0.832	10	++++
45	LX88	0.669	12	++++	95	LX157	—		
46	LX89	0.555	15	++++	96	LX158	0.770	11	++++
47	LX92	0.605	14	++	97	LX159	0.840	10	++++
48	LX93	0.701	12	++++	98	LX160	0.850	10	++++
49	LX95	0.499	17	++++	99	B1	0.836	10	++++
50	LX97	0.591	14	++++	100	B2	0.710	12	+++

注：++++代表粗壮、浓密；+++代表较粗壮、浓密；++代表菌丝稀疏、纤细；— 代表菌丝未萌发。
 Notes: ++++ is sturdy and thick; +++ is relative sturdy and thick; ++ is thin and slender; — is mycelium did not germinate.

表 11 杏鲍菇杂交菌株生育期评价
Table 11 Growth period evaluation of hybrid strains of *P. eryngii*

序号 Number	菌株 Strain	发菌时间 Spawn running time/d	满袋时间 Full bag time/d	原基发 生时间 Primordium differentiation time/d	子实体 成熟时间 Maturity time of the fruit body/d	序号 Number	菌株 Strain	发菌时间 Spawn running time/d	满袋时间 Full bag time/d	原基发 生时间 Primordium differentiation time/d	子实体 成熟时间 Maturity time of the fruit body/d
1	LX1	—				50	LX97	2	32	52	69
2	LX2	2	25	40	57	51	LX99	2	29	50	67
3	LX3	2	35	55	72	52	LX103	—			
4	LX8	2	35	57	74	53	LX106	2	31	51	68
5	LX9	2	31	51	68	54	LX108	2	31	51	68
6	LX11	—				55	LX112	2	26	41	58
7	LX12	—				56	LX113	2	29	46	63
8	LX13	2	29	49	66	57	LX114	—			
9	LX16	—				58	LX115	2	25	40	57
10	LX18	—				59	LX116	3	30	46	63
11	LX23	3	25	40	57	60	LX117	2	30	47	64
12	LX24	—				61	LX118	2	25	40	57
13	LX25	—				62	LX119	2	24	39	56
14	LX26	2	32	53	70	63	LX120	2	34	50	67
15	LX28	—				64	LX121	2	28	44	61
16	LX30	2	28	45	62	65	LX122	2	31	51	68
17	LX31	2	30	46	63	66	LX123	2	30	47	64
18	LX33	2	34	55	72	67	LX125	2	31	51	68
19	LX34	2	32	52	69	68	LX126	2	33	53	70
20	LX35	2	27	42	59	69	LX127	2	28	50	67
21	LX39	2	31	54	71	70	LX128	2	28	45	62
22	LX40	2	32	50	67	71	LX129	2	31	50	67
23	LX43	2	31	53	70	72	LX130	2	33	53	70
24	LX44	2	26	41	58	73	LX132	3	26	41	58
25	LX45	2	30	50	67	74	LX133	2	30	50	67
26	LX47	3	31	53	70	75	LX134	—			
27	LX50	2	32	53	70	76	LX135	2	25	43	60
28	LX52	2	37	60	77	77	LX136	2	30	49	66
29	LX53	2	31	47	64	78	LX137	2	40	60	77
30	LX57	2	35	60	77	79	LX138	2	29	45	62
31	LX59	—				80	LX139	2	37	59	76
32	LX60	—				81	LX140	—			
33	LX62	—				82	LX143	2	28	44	61
34	LX64	—				83	LX144	2	37	59	76
35	LX66	2	33	55	72	84	LX146	—			
36	LX73	2	35	55	72	85	LX149	2	30	50	67
37	LX77	—				86	LX150	3	30	50	67
38	LX78	2	30	48	65	87	LX151	2	35	56	73
39	LX81	2	31	51	68	88	LX152	—			
40	LX82	2	30	49	66	89	LX153	2	30	50	67
41	LX83	3	26	43	60	90	LX154	2	33	53	70
42	LX85	—				91	LX155	2	40	65	82
43	LX86	2	34	54	71	92	LX156	2	30	50	67
44	LX87	2	33	55	72	93	LX158	2	29	48	65
45	LX88	2	33	53	70	94	LX159	2	28	45	62
46	LX89	3	31	51	68	95	LX160	—			
47	LX92	—				96	B1	2	28	43	60
48	LX93	2	39	62	79	97	B2	2	30	45	62
49	LX95	—									

注:—代表栽培后未出菇。

Notes: — is no mushroom was produced after cultivation.

表 12 杏鲍菇杂交菌株产量和商品性状比较
Table 12 Comparison of yield and commodity traits of *Pleurotus eryngii* hybrid strains

序号 Number	菌株 Strain	子实体形态 Fruiting body morphology	菌盖直径 Pileus diameter/cm	菌柄直径 Stipe diameter/cm	子实体总长 Total length of fruit body/cm	菌盖颜色 Pileus color	每袋产量 Output per bag/ g	生物学效率 Biological efficiency/%
1	LX2	近棒状 Nearly stick-shaped	6.90	5.80	16.90	褐 Brown	489.93±20.00	84.85
2	LX3	保龄球形 Bowling ball shape	3.20	4.10	8.70	褐 Brown	284.90±21.72	49.44
3	LX8	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.00	3.90	9.60	褐 Brown	242.47±27.30	41.93
4	LX9	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	4.10	4.50	9.70	褐 Brown	201.63±20.01	34.98
5	LX13	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	4.10	5.20	11.60	浅褐 Light brown	447.21±23.91	77.52
6	LX23	近棒状 Nearly stick-shaped	9.10	7.20	20.80	深褐 Dark brown	618.28±17.91	107.13
7	LX26	棒状 Rodlike	3.90	4.40	8.70	褐 Brown	330.46±10.03	57.14
8	LX30	近棒状 Nearly stick-shaped	3.90	5.10	16.00	褐 Brown	671.13±21.89	116.34
9	LX31	近棒状 Nearly stick-shaped	5.30	4.60	13.50	浅褐 Light brown	170.55±15.60	29.49
10	LX33	棒状 Rodlike	2.90	3.00	8.10	褐 Brown	354.33±40.01	61.47
11	LX34	棒状 Rodlike	3.80	3.50	8.90	深褐 Dark brown	398.96±16.82	69.18
12	LX35	棒状 Rodlike	6.30	6.10	12.10	褐 Brown	484.95±24.50	84.04
13	LX39	保龄球形 Bowling ball shape	4.00	4.10	12.30	深褐 Dark brown	226.30±17.30	39.22
14	LX40	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.60	4.30	9.10	深褐 Dark brown	176.33±20.03	30.65
15	LX43	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.90	3.70	8.80	浅褐 Light brown	276.93±70.00	47.97
16	LX44	近棒状 Nearly stick-shaped	5.20	5.40	19.60	浅褐 Light brown	530.20±24.62	91.92
17	LX45	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.90	4.80	11.20	褐 Brown	332.73±16.85	57.69
18	LX47	近棒状 Nearly stick-shaped	3.30	4.20	12.10	褐 Brown	320.39±11.40	55.53
19	LX50	棒状 Rodlike	2.80	3.70	11.00	浅褐 Light brown	358.21±20.10	62.05
20	LX52	保龄球形 Bowling ball shape	3.60	3.90	11.30	褐 Brown	453.69±22.71	78.64
21	LX53	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.50	5.60	11.50	褐 Brown	312.74±16.71	54.23
22	LX57	保龄球形 Bowling ball shape	3.40	3.70	6.70	浅褐 Light brown	356.36±8.82	61.76
23	LX66	棒状 Rodlike	3.50	3.10	8.70	浅褐 Light brown	422.96±17.60	73.28
24	LX73	近棒状 Nearly stick-shaped	3.50	4.60	11.30	浅褐 Light brown	269.67±13.82	46.78

表 12 (续)
Table 12 (Continued)

序号 Number	菌株 Strain	子实体形态 Fruiting body morphology	菌盖直径 Pileus diameter/cm	菌柄直径 Stipe diameter/cm	子实体总长 Total length of fruit body/cm	菌盖颜色 Pileus color	每袋产量 Output per bag/ g	生物学效率 Biological efficiency/%
25	LX78	近棒状 Nearly stick-shaped	4.40	4.50	14.10	褐 Brown	545.69±26.41	94.57
26	LX81	棒状 Rodlike	3.20	2.70	12.40	浅褐 Light brown	355.56±17.68	61.74
27	LX82	近棒状 Nearly stick-shaped	3.90	3.40	13.60	浅褐 Light brown	318.73±10.01	55.24
28	LX83	棒状 Rodlike	4.80	3.60	15.10	浅褐 Light brown	257.48±13.40	44.59
29	LX86	保龄球形 Bowling ball shape	3.00	4.20	8.50	深褐 Dark brown	328.23±70.09	51.08
30	LX87	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.40	3.70	9.90	浅褐 Light brown	323.94±14.90	56.13
31	LX88	近棒状 Nearly stick-shaped	3.70	3.50	10.90	浅褐 Light brown	260.60±31.65	48.08
32	LX89	保龄球形 Bowling ball shape	3.70	4.10	11.20	深褐 Dark brown	227.88±11.30	39.42
33	LX93	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	1.80	2.80	6.50	浅褐 Light brown	250.88±11.00	43.46
34	LX97	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.50	3.70	10.20	浅褐 Light brown	401.07±16.53	69.50
35	LX99	近棒状 Nearly stick-shaped	4.10	4.70	10.20	褐 Brown	443.05±20.52	76.68
36	LX106	保龄球形 Bowling ball shape	4.50	4.30	11.30	浅褐 Light brown	592.01±21.00	102.48
37	LX108	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.10	5.20	8.90	深褐 Dark brown	236.05±14.90	40.84
38	LX112	近棒状 Nearly stick-shaped	6.80	6.10	17.50	褐 Brown	522.30±30.10	90.48
39	LX113	近棒状 Nearly stick-shaped	4.80	4.10	15.50	褐 Brown	510.83±10.00	88.48
40	LX115	棒状 Rodlike	7.00	4.00	21.50	浅褐 Light brown	607.66±30.01	105.28
41	LX116	近棒状 Nearly stick-shaped	4.20	4.60	17.00	浅褐 Light brown	572.13±18.20	99.10
42	LX117	近棒状 Nearly stick-shaped	5.30	3.70	16.70	褐 Brown	351.43±19.60	60.89
43	LX118	近棒状 Nearly stick-shaped	7.50	5.50	18.70	浅褐 Brown	725.06±31.71	125.65
44	LX119	棒状 Rodlike	7.35	6.10	20.00	浅褐 Brown	762.14±30.60	132.01
45	LX120	近棒状 Nearly stick-shaped	4.70	4.80	13.90	褐 Brown	532.98±21.30	92.32
46	LX121	近棒状 Nearly stick-shaped	7.30	4.60	16.90	褐 Brown	486.97±20.47	84.27
47	LX122	近棒状 Nearly stick-shaped	4.40	6.90	15.90	褐 Brown	571.97±22.96	99.08
48	LX123	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	5.30	6.70	15.60	深褐 Dark brown	628.38±26.81	108.89
49	LX125	近棒状 Nearly stick-shaped	4.40	4.10	13.50	浅褐 Light brown	459.72±20.01	79.65
50	LX126	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.05	2.80	12.40	浅褐 Light brown	507.43±7.04	87.79

表 12 (续)
Table 12 (Continued)

序号 Number	菌株 Strain	子实体形态 Fruiting body morphology	菌盖直径 Pileus diameter/cm	菌柄直径 Stipe diameter/cm	子实体总长 Total length of fruit body/cm	菌盖颜色 Pileus color	每袋产量 Output per bag/ g	生物学效率 Biological efficiency/%
51	LX127	棒状 Rodlike	3.90	4.40	8.10	浅褐 Light brown	219.93±14.00	38.10
52	LX128	近棒状 Nearly stick-shaped	3.80	3.40	14.30	浅褐 Light brown	556.43±20.01	96.28
53	LX129	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	4.40	5.10	13.50	深褐 Dark brown	402.37±16.70	69.67
54	LX130	近棒状 Nearly stick-shaped	4.30	3.90	12.60	深褐 Dark brown	468.66±20.00	81.21
55	LX132	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	6.30	6.20	17.20	深褐 Dark brown	526.16±23.79	91.17
56	LX133	近棒状 Nearly stick-shaped	3.70	4.20	10.30	深褐 Dark brown	297.18±13.10	51.46
57	LX135	近棒状 Nearly stick-shaped	5.50	6.20	13.50	浅褐 Light brown	332.92±13.40	57.63
58	LX136	近棒状 Nearly stick-shaped	2.90	4.30	13.30	浅褐 Light brown	635.97±23.80	110.16
59	LX137	棒状 Rodlike	3.80	4.00	7.00	深褐 Dark brown	516.47±23.40	89.44
60	LX138	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	5.80	6.50	18.00	深褐 Dark brown	615.33±13.01	106.49
61	LX139	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	3.10	3.90	9.80	浅褐 Light brown	458.33±19.23	79.31
62	LX143	近棒状 Nearly stick-shaped	6.30	4.20	16.80	褐 Brown	399.38±14.28	69.24
63	LX144	棒状 Rodlike	2.70	3.30	9.70	浅褐 Light brown	637.87±29.73	110.45
64	LX149	棒状 Rodlike	4.25	4.50	13.50	深褐 Dark brown	435.32±18.60	75.41
65	LX150	棒状 Rodlike	3.50	3.70	11.60	褐 Brown	299.10±11.60	51.80
66	LX151	棒状 Rodlike	4.70	4.00	11.60	深褐 Dark brown	236.94±13.40	41.03
67	LX153	近棒状 Nearly stick-shaped	6.10	4.90	17.10	深褐 Dark brown	643.37±30.80	111.37
68	LX154	棒状 Rodlike	3.80	3.70	12.80	浅褐 Light brown	493.43±22.10	85.48
69	LX155	棒状 Rodlike	2.00	2.20	5.40	褐 Brown	337.26±19.40	58.44
70	LX156	棒状 Rodlike	5.20	4.60	13.70	深褐 Dark brown	383.23±17.60	66.41
71	LX158	近棒状 Nearly stick-shaped	5.70	5.50	14.30	浅褐 Light brown	216.97±13.40	37.58
72	LX159	近保龄球形 Nearly bowling bowl-shaped	5.90	8.00	16.10	浅褐 Light brown	719.31±33.40	124.53
73	B1	棒状 Rodlike	7.00	5.20	22.00	褐 Brown	650.33±30.80	112.55
74	B2	近棒状 Nearly stick-shaped	4.87	5.70	19.50	深褐 Dark brown	674.80±33.00	116.80

总长,代表杏鲍菇的子实体长度,把第 1 主成分称为子实体大小构成因子。第 2 主成分贡献率为 14.028%,明显低于第 1 主成分,特征向量值最大的性状是杂交菌株子实体形态,代表杏鲍菇的外形性状,把第 2 主成分称为表观形态构成因子。第 3 主

成分贡献率为 12.361%,略低于第 2 主成分,特征向量值最大的性状是杂交菌株菌丝生长速度。

综上可知,9 个性状的提取值有很大差异,说明各性状重要性不同,其中杂交菌株子实体总长、杂交菌株子实体形态、杂交菌株菌丝生长速度是 3 个

表 13 杂交菌株主成分分析解释的总方差表
Table 13 Total variance explained by principal component analysis of hybrid strains

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取平方和载入 Extaction sums of squared loadings		
	合计 Total	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	合计 Total	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	3.770	41.894	41.894	3.770	41.894	41.894
2	1.263	14.028	55.922	1.263	14.028	55.922
3	1.113	12.361	68.283	1.113	12.361	68.283
4	0.901	10.010	78.293			
5	0.861	9.568	87.861			
6	0.567	6.298	94.159			
7	0.263	2.928	97.087			
8	0.166	1.841	98.927			
9	0.097	1.073	100.000			

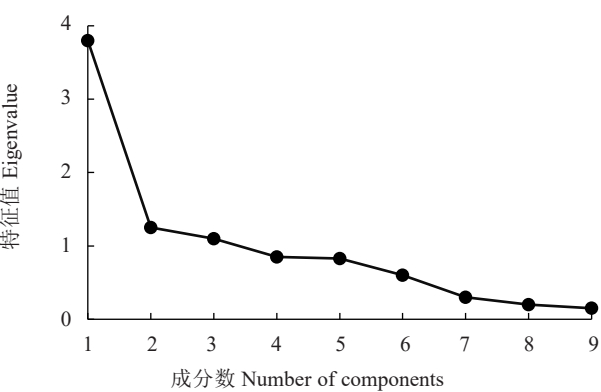


图 3 主成分分析碎石图
Fig. 3 Scree plot of principal component analysis

表 14 杂交菌株主成分载荷矩阵
Table 14 Principal component loading matrix of hybrid strains

性状 Character	主成分 Principal component		
	1	2	3
杂交菌株子实体总长 Total length of fruiting bodies of hybrid strains	0.924	-0.055	-0.192
杂交菌株菌盖直径 The pileus diameter of hybrid strains	0.910	0.017	-0.039
杂交菌株生育期 Growth period of hybrid strains	-0.875	-0.015	0.180
杂交菌株菌柄直径 Stem diameter of hybrid strains	0.777	0.379	0.178
杂交菌株产量 Hybrid strain yield	-0.695	-0.239	0.045
杂交菌株菌丝长势 Hyphae growth of hybrid strains	0.402	0.045	-0.121
杂交菌株子实体形态 The fruiting body morphology of hybrid strains	-0.141	0.818	-0.124
杂交菌株菌丝生长速度 Hyphae growth rate of hybrid strains	0.203	-0.349	0.777
杂交菌株菌盖颜色 The pileus color of hybrid strains	0.121	0.514	0.612

影响力较大的农艺性状。72 株杂交菌株子实体如图 4 所示。

3 讨论与结论

杏鲍菇以营养丰富、口感极佳、易栽培等特点，在许多国家和地区迅速推广，成为我国工厂化食用菌主要栽培种类之一^[28]，而目前我国杏鲍菇菌株管理混乱，同种异名现象屡见不鲜，菌株反复转接，缺乏提纯复壮技术，导致品种退化现象严重、育种材料匮乏、国内工厂化杏鲍菇栽培品种单一、可持续发展力量不足^[29]。因此，杏鲍菇优良种质资源的收集、鉴定、创制及新品种的选育工作极其重要。

陈靓^[30]、于娅^[31]都利用体细胞不亲和性的方法分别对平菇和榆耳进行了生理特性研究，分析供试菌株间的生理特性多样性及体细胞不亲和性的拮抗反应，常用于鉴别菌株的异同和种质资源多样性的评价。王振河等^[32]通过拮抗试验、菌丝培养特性试验和出菇试验，明确 8 个平菇各菌株间的亲缘关系。陈影等^[33]在黑木耳育种过程中利用拮抗反应对杂交菌株的亲缘关系进行初步鉴定。本研究中菌株 B16 和 B17、B18 和 B19、B24 和 B25 之间无拮抗线，说明每对菌株亲缘关系极为相近或者为同一个菌株。其他的菌株大部分都有拮抗线出现，说明这些菌株之间具有一定的生理差异。当拮抗试验中拮抗性表现不突出时，辨别菌株间是否真的发生了拮抗反应变得较为困难，据报道，培养基的成分变化对抑制边界的形成具有显著影响^[34]，在不同食用菌之间，抑制现象的强度也表现出明显的差异。例如，杏鲍菇等菌丝较为粗壮的食用菌，其抑制现象较为显著；而虫草、木耳、灵芝等菌丝较弱的食用菌品种间的抑制反应则相对较弱，拮抗试验通常用

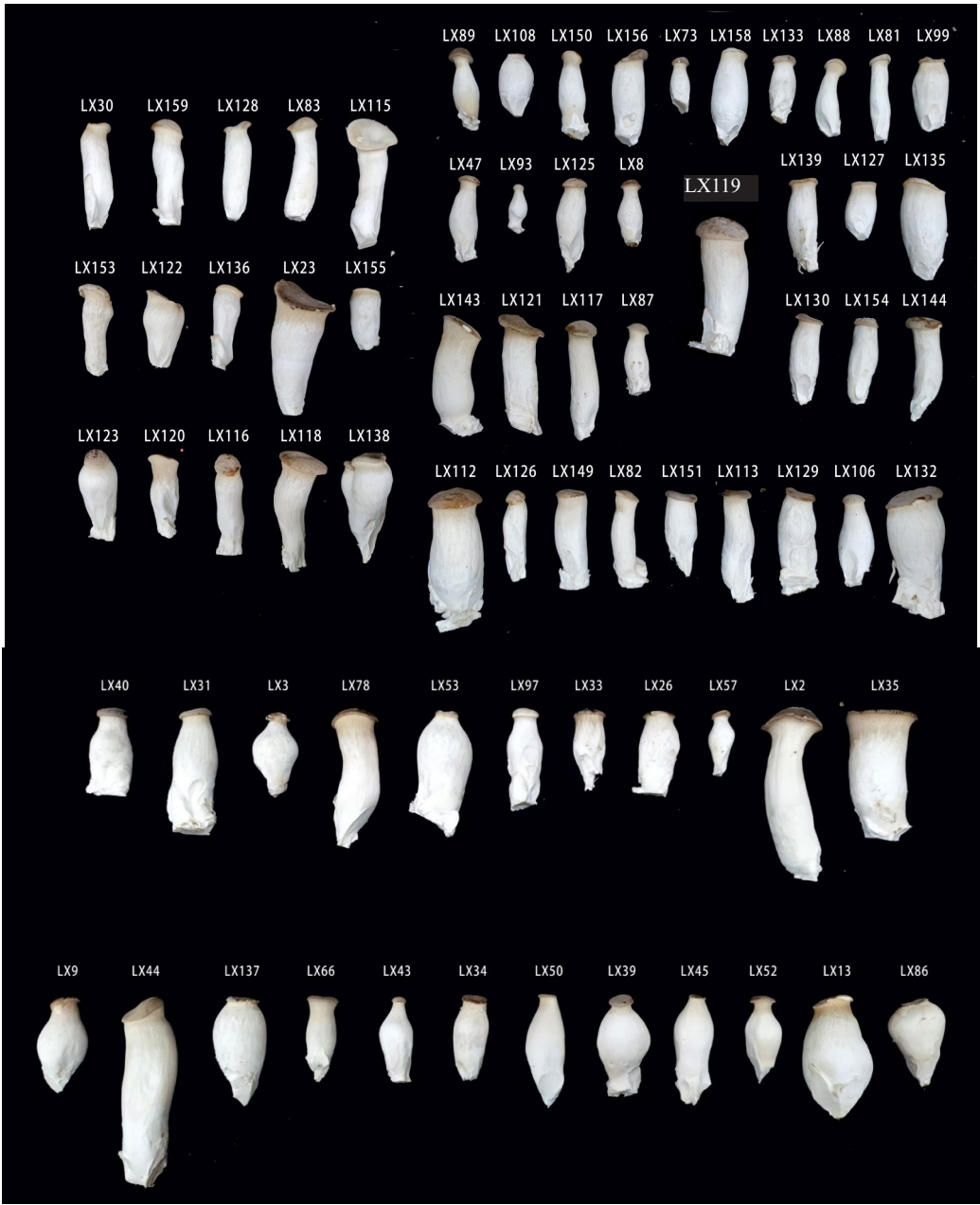


图 4 杂交新菌株
Fig. 4 New hybrid strains

于识别同一物种内不同菌株的拮抗特性,然而,由于缺少标准化的评估准则,仅依靠拮抗试验来确定菌株间的亲缘关系是不够精确的。为了获得更准确的鉴定结果,应该采用多种方法,对菌株的亲缘关系进行综合分析,因此在试验中加入了 ISSR 分子标记共同鉴定菌株间的亲缘关系。

陈影等^[35]、刘桂娟^[36]都采用农艺性状方法对黑木耳进行了种质资源多样性研究,为进一步研究供试菌株间的多样性,笔者对 34 株杏鲍菇菌株使用袋栽工厂化的方法进行出菇试验。在本次试验中,笔者对多个关键参数进行了详尽的测定与分析,包

括生育期、生物学效率等一系列与生长相关的参数,同时观察了子实体的形态特征,如菌盖的颜色、直径、菌柄直径和子实体长度等形态学特性。这些参数的测定与分析有助于全面评估杏鲍菇菌株的性能和特性,为选育优良的杏鲍菇菌株提供更坚实的科学依据。然而,本研究中的杏鲍菇产量显著高于陆娜^[37]和冯伟林^[38]的研究结果,可能的原因是使用的出菇室符合杏鲍菇工厂化生产的标准,能更好地满足杏鲍菇对生长环境的需求,同时使用的菌袋质量也超过了以往的试验。

单-单杂交和单-双杂交育种的关键步骤是单核

菌株的获得和杂交子真实性的鉴定。宋莹等^[39]利用原生质体单核体杂交技术,以野生香菇和几个主栽品种为研究对象进行单-单杂交,结果显示有3株菌株的农艺性状、产量等均优于亲本。笔者在此基础上获得了杏鲍菇杂交子真实性鉴定的相关参数。笔者获得的杂交菌株在生育期、菌丝日均生长速度和生物学效率等方面均优于冯伟林^[38]和潘慧^[40]的研究结果。这种差异可能来自两个方面:一方面,现代化的栽培环境更好地满足了杏鲍菇的生长需求,提供了稳定的温度、湿度、通风及无菌条件,从而促进了杂交菌株的生长;另一方面,通过大量的杂交育种试验,筛选出了具有优良性状的菌株。这些菌株在产量和生育期上表现突出,表明杂交育种在改良杏鲍菇农艺性状方面具有显著效果。因此,优化的栽培环境和精确的育种策略是提高杏鲍菇生产效率的关键因素。

笔者综合运用了体细胞不亲和性检验、分子标记分析以及农艺性状评估,对34株杏鲍菇菌株进行了全面评价,揭示了各试验菌株在不同性状上的遗传变异和具体表现。得出结论如下,菌株B16和B17、B18和B19、B24和B25之间不产生拮抗线,为相同菌株。菌株B1和B2展现出了优异的综合性状。特别是在发菌阶段,不仅菌丝生长迅速,而且生育期也较短。在生物学性状上,它们不仅外观良好,而且在产量和生物学效率上也展现出了显著的优势。因此,将B1、B2作为杂交亲本,用来选育性状优良的杏鲍菇后代。

通过应用杂交育种技术,成功筛选出了优异的杂交菌株LX119。在利用亲本B1和B2配置的160个杂交组合中,结合细胞学与生理特性的鉴定,获得98个真实杂交组合。通过出菇试验,最终有72株菌株结实且农艺性状差异较大,最终筛选出优良杂交菌株LX119。该菌株生物学效率为132.01%,生育期为56d,且外形良好、菌丝生长速度快、生育期短、产量高、抗杂性较强,是具有开发新品种潜力的杂交菌株。

参考文献

- [1] LI S Q, SHAH N P. Antioxidant and antibacterial activities of sulphated polysaccharides from *Pleurotus eryngii* and *Streptococcus thermophilus* ASCC 1275[J]. Food Chemistry, 2014, 165:262-270.
- [2] LI X B, FENG T, ZHOU F, et al. Effects of drying methods on the tasty compounds of *Pleurotus eryngii*[J]. Food Chemistry, 2015, 166:358-364.
- [3] RODRIGUEZ ESTRADA A E, ROYSE D J. Yield, size and bacterial blotch resistance of *Pleurotus eryngii* grown on cottonseed hulls/oak sawdust supplemented with manganese, copper and whole ground soybean[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(10):1898-906.
- [4] LI S Q, SHAH N P. Effects of various heat treatments on phenolic profiles and antioxidant activities of *Pleurotus eryngii* extracts[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(8):1122-1129.
- [5] 郭美英.珍稀食用菌杏鲍菇生物学特性的研究[J].福建农业学报,1998,13(3):45-50.
- [6] BOBOVCAK M, KUNIAKOVA R, GABRIZ J, et al. Effect of Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) supplementation on cellular immune response after intensive exercise in elite athletes[J]. Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, 2010, 35(6):755-762.
- [7] MUGAMBI A M, YANG W J, MUGAMBI D K, et al. Antiproliferative and immunostimulatory activity of a protein from *Pleurotus eryngii*[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(15):3152-3162.
- [8] 颜明娟,江枝和,蔡顺香.杏鲍菇营养成分的分析[J].食用菌,2002,24(2):11-12.
- [9] 吕爽.新型杏鲍菇深加工产品的制备及其特性研究[D].西安:陕西科技大学,2023.
- [10] 吴建坤,龚翔.杏鲍菇工厂化高效栽培关键技术要点[J].南方农业,2019,13(27):1-2.
- [11] 周红艳.杏鲍菇农艺性状比较研究[J].现代农业科技,2013(2):75-76.
- [12] 刘宇,陈文良,林秀敏,等.杏鲍菇不同菌株对比试验[J].食用菌,2004,26(3):11-12.
- [13] 陈珣,肇莹,龚娜,等.应用拮抗和 ISSR 标记鉴定 64 个金针菇菌株的亲缘关系[J].中南农业科技,2024,45(1):16-20.
- [14] 焦析禾,王凤利,马银鹏,等.黑木耳分子生物学研究进展[J].北方园艺,2023(17):124-129.
- [15] 邓优锦,王庆福,陈介斌,等.具有拮抗关系的18个香菇菌株遗传差异性分析[J].食用菌学报,2014,21(2):25-31.
- [16] 杨和川,苏文英,谭一罗,等.基于 ISSR 分子标记技术的杏鲍菇种质资源评价[J].西南农业学报,2019,32(7):1480-1486.
- [17] 李月梅,采俊香,牛瑞青.不同基质配方工厂化栽培杏鲍菇研究[J].北方园艺,2012(7):177-179.
- [18] 杨丽维,王玉,班立桐,等.杏鲍菇液体菌种培养基的筛选和优化[J].北方园艺,2014(6):150-152.
- [19] 张瑞华,王承香,田洪霞,等.玉米芯栽培杏鲍菇培养料配方比较试验[J].食用菌,2021,43(4):48-49.
- [20] SUSANNA S, SAYUTHI M, SALSABILA L, et al. Test antagonism of several *Trichoderma* species in suppressing the growth of *Alternaria* sp. *in vitro*[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1297(1):012066.
- [21] 郑雪平.杏鲍菇菌株资源遗传多样性分析和评价[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [22] 陈影,姚方杰,张友民,等.木耳栽培种质资源的数量分类研究[J].菌物学报,2014,33(5):153-163.
- [23] 李青,韩鹏远,李云霞,等.16种杏鲍菇的菌丝生长特性比较[J].农学学报,2016,6(12):39-42.
- [24] 黄春燕,郭惠东,杨鹏,等.21个杏鲍菇菌株比较研究[J].中国

- 食用菌,2018,37(5):11-14.
- [25] 姬建军.杏鲍菇菌株间遗传差异分析与单孢杂交配对研究[D].长沙:湖南农业大学,2012.
- [26] 刘桂娟.黑木耳不亲和性因子构成及优良品种选育的研究[D].长春:吉林农业大学,2011.
- [27] 姜婉竹,姚方杰,方明,等.榆耳种质资源主要农艺性状的数量评估[J].菌物学报,2021,40(12):3143-3156.
- [28] 张瑞华,王承香,丁美丽,等.工厂化生产杏鲍菇出菇期主要病害及防治措施[J].中国食用菌,2020,39(3):72-75.
- [29] 戴天放,徐光耀,卢慧,等.江西食用菌产业发展现状、问题与建议[J].中国食用菌,2020,39(9):94-99.
- [30] 陈靓.平菇种质资源评价及优良菌株选育的研究[D].长春:吉林农业大学,2015.
- [31] 于娅.榆耳种质资源评价及优良品种选育的研究[D].长春:吉林农业大学,2013.
- [32] 王振河,王斌,武忠伟,等.8个平菇栽培菌株的亲缘关系及培养特性研究[J].微生物学杂志,2007,27(4):50-53.
- [33] 陈影,姚方杰,张友民,等.黑木耳新品种选育研究[J].北方园艺,2014(8):133-134.
- [34] MICALI C O, SMITH M L. On the independence of barrage formation and heterokaryon incompatibility in *Neurospora crassa*[J]. Fungal Genetics and Biology, 2003, 38(2):209-219.
- [35] 陈影,姚方杰,刘桂娟,等.黑木耳栽培种质资源的农艺性状多样性研究[C].中国菌物学会 2009 学术年会论文摘要集,2009.
- [36] 刘桂娟.黑木耳不亲和性因子构成及优良品种选育的研究[D].长春:吉林农业大学,2011.
- [37] 陆娜.杏鲍菇优良品种筛选及配套栽培技术研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [38] 冯伟林.杏鲍菇优良杂交新菌株选育研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- [39] 宋莹,刘俊杰,张敏,等.采用原生质体单核体杂交技术创新香菇种质资源[J].北方园艺,2017(19):165-169.
- [40] 潘慧.杏鲍菇优良杂交子的初步选育[D].武汉:华中农业大学,2010.