



姚方杰

吉林农业大学教授, 博士生导师, 首届全国创新争先奖、风鹏行动·种业功臣获得者。现任国家食用菌体系岗位科学家、中国菌物学会木耳类产业分会会长、国家植物新品种标委会委员等职。从事食用菌遗传育种及高效栽培研究, 主持参加 30 余项国家级和省部级科研项目, 获国家和省部级奖励 10 余项, 发表 SCI 等论文 100 余篇, 出版专著 6 部、译著 2 部, 国审省审品种 17 个, 国标行标等 10 项。

榆耳种质资源主要农艺性状的数量评估

姜婉竹¹ 姚方杰^{1, 2*} 方明² 鲁丽鑫² 张友民² 马晓旭¹ 尹莉岚²
孙旭² 刘丽佳² 周帅²

① 吉林农业大学食用菌新种质资源创制国际联合研究中心 吉林 长春 130118

② 吉林农业大学园艺学院 吉林 长春 130118

摘 要: 榆耳是我国东北地区食药两用菌之一, 对肠胃系统疾病具有极高的治疗效果, 在中国已开始推广栽培, 但目前尚不清楚哪些性状主要受遗传因素影响, 哪些性状主要受环境因素影响, 也无区分品种间性状差异的标准。因此本研究对 26 个榆耳性状进行 R 型聚类分析和主成分分析, 明确 DUS 测试性状。结果表明, 榆耳农艺性状具有较大的差异, R 型聚类分析可知性状间具有较好的相关性, 在欧氏距离 3.57 处, 可将性状分为两大类。主成分分析可知性状的提取值大多数都在 0.9 以上, 性状重要性均较高, 将 26 个性状分为 9 个主成分, 累计贡献率达到 94.458%, 筛选出 12 个性状为榆耳种质资源评价的主要指标。本研究旨在为榆耳的品种保护提供依据, 从而推动产业的健康可持续发展。

关键词: 榆耳, 农艺性状, 聚类分析, 主成分分析

[引用本文] 姜婉竹, 姚方杰, 方明, 鲁丽鑫, 张友民, 马晓旭, 尹莉岚, 孙旭, 刘丽佳, 周帅, 2021. 榆耳种质资源主要农艺性状的数量评估. 菌物学报, 40(12): 3143-3156

Jiang WZ, Yao FJ, Fang M, Lu LX, Zhang YM, Ma XX, Yin LL, Sun X, Liu LJ, Zhou S, 2021. Numerical evaluation of the main agronomic traits of the germplasm resources of *Gloeostereum incarnatum*. Mycosystema, 40(12): 3143-3156

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资助 (CARS-20)

Supported by China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-20).

*Corresponding author. E-mail: yaofj@aliyun.com

Received: 2021-08-20, accepted: 2021-10-09

Numerical evaluation of the main agronomic traits of the germplasm resources of *Gloeostereum incarnatum*

JIANG Wan-Zhu¹ YAO Fang-Jie^{1, 2} FANG Ming² LU Li-Xin² ZHANG You-Min²
MA Xiao-Xu¹ YIN Li-Lan² SUN Xu² LIU Li-Jia² ZHOU Shuai²

①International Cooperation Research Center of China for New Germplasm Breeding of Edible Mushrooms, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China

②College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China

Abstract: *Gloeostereum incarnatum* is a rare edible and medicinal fungus in China, with high therapeutic effect on gastrointestinal diseases. It has been popularized and cultivated in China. However, traits mainly affected by genetic and environmental factors are still imperfectly known, and the differences of traits between varieties also have not been standardized. In this study R-model cluster analysis and principal component analysis on 26 *G. incarnatum* traits are conducted. R-model cluster analysis showed that there was evident correlation between agronomic traits of *G. incarnatum*. At the Euclidean distance of 3.57, the traits could be divided into two categories. The results of principal component analysis showed that most of the extracted values of traits were above 0.9, and the importance of traits was high. The 26 traits were divided into 9 principal components, and the cumulative contribution rate reached 94.458%. In total, 12 traits regarded as main indicators for evaluation of *G. incarnatum* germplasm resources are screened. This study provides basis for variety protection and promoting sustainable industrialized development of the *G. incarnatum*.

Key words: *Gloeostereum incarnatum*, agronomic trait, R-model cluster analysis, principal component analysis

榆耳 *Gloeostereum incarnatum* S. Ito & S. Imai 属担子菌门 Basidiomycota、伞菌纲 Agaricomycetes、伞菌目 Agaricales、挂钟菌科 Cyphellaceae (李玉等 2015), 自然条件下主要生长在榆树和蒙古栎等阔叶树死树和倒木上 (Dai 2010, 2011), 其耳片花形或扇形, 背面粉白色或粉红色, 覆盖一层茸毛, 腹面有疣状突起, 无菌柄, 耳片边缘内卷呈波浪状。食之似海参, 味道鲜美可口。含有多糖、倍半萜类、酚类和留醇等化合物 (高炬等 1992; 李典忠 2002; 马珊珊 2008; 齐彦秋 2014), 具有抗菌、抗炎和抗氧化等

特性 (陶申傲等 2006; 李雨婷等 2010; Wang *et al.* 2018; Li *et al.* 2020), 对腹泻、肠炎等具有较好治疗效果 (Zhang *et al.* 2015)。由中国最先驯化栽培成功, 并进行推广栽培, 目前已在乡村振兴和大健康领域做出了积极贡献, 产业发展前景良好。

随着榆耳的推广栽培, 市场上急需优良品种满足市场需求, 目前榆耳的新品种选育多以系统选育和杂交选育为主 (于娅等 2013b, 2016), 有关分子标记辅助育种、基因的精确定位及克隆更是鲜有报道。优良品种是高效生产的基础, 而种质资源是品种选

育的前提和保证。目前仅于娅(2013)对榆耳进行了种质资源评价方面的研究,但尚不确定哪些性状可以稳定遗传,也无区分品种间性状差异的标准,这不利于榆耳的种质资源开发及新品种选育。

本课题组对榆耳开展了遗传育种及高效栽培(宋宏等 2008; 于娅等 2013a)研究,明确了营养利用规律(宋宏 2008),建立了种质资源库(于娅 2013),获得了具有自主知识产权的品种(于娅等 2013b, 2016),编制了 DUS 测试指南(NY/T 3737-2020),解析了全基因组序列(Jiang *et al.* 2021a),构建了遗传连锁图谱并定位了农艺性状(Jiang *et al.* 2021b)。在此基础上,收集 27 株榆耳菌株,采用数量分类的研究方法对榆耳农艺性状进行分析。建立了有效的榆耳种质资源评价方法,筛选种质评价的指标,提高榆耳新品种的选育效率,为榆耳优良品种的选育及品种保护提供参考依据,从而推动榆耳产业的健康可持续发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株: 27 株榆耳菌株,包括 20 株栽培菌株和 7 株野生菌株,均由本实验室保藏,供试菌株见表 1。

1.1.2 培养基配方: PDA 培养基配方: 马铃薯 200g (浸出汁), 葡萄糖 20g, 琼脂粉 20g, 水 1 000mL, pH 自然。

木屑培养基配方: 阔叶木屑 78%, 麦麸 20%, 石灰 1%, 石膏 1%, 含水量 60%±2%。

1.2 栽培出菇管理

采用随机区组排列,每个菌株 3 次重复,每次重复 5 袋。春秋两季栽培,采用代料栽培模式进行栽培,利用剪袋方式出菇,栽培注意事项参照于娅等(2013a)的报道。

1.3 农艺性状测试

供试菌株的 26 个农艺性状指标和各性状赋值方法见表 2。不同温度下的菌丝生长速度按照徐珍等(2019)的方法进行测量;菌落密度、菌落形态和气生菌丝体发达程度性状待菌丝接种第 10 天观察;菌落正面色素和菌落背面色素性状待菌丝接种第 15 天观察;栽培袋中菌丝扭结情况性状待栽培种菌棒满袋后 5-10d 观察;子实体相关性状对采收的子实体进行观测;生育期为接种第 2 天到子实体采收的天数;长度、宽度和厚度用游标卡尺测量子实体;干湿比是子实体干重与泡发后的湿重之比;耳片质地为观测子实体胶质含量。菌丝体阶段性性状 3 次重复,子实体阶段性性状 5 次重复。

1.4 数据统计分析

将数据录入 Excel 表格,计算最小值、最大值、均值等。利用 NTSYS-pc2.10e 软件,以 26 个农艺性状指标为分类运算单位(OTUs),进行 R 型聚类分析,利用 SPSS 17.0 软件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,具体步骤参照陈影等(2014)的方法。

2 结果与分析

2.1 农艺性状差异性

榆耳菌株间农艺性状差异性明显,其中菌落密度、菌落背面色素、栽培袋中菌丝扭结情况和子实体背面颜色等方面存在明显差异(图 1-图 4)。

2.2 R 型聚类分析

采用 R 型聚类分析农艺性状之间的关系(图 5),在欧氏距离 3.57 处,将 26 个性状分为两大类。第一类包含 25 个性状,性状分布较集中,表明性状间相关性明显,关系密切。第二类仅包含 1 个生育期性状,性状相对独立。在欧氏距离 2.02 处,又可将第一

表 1 榆耳供试菌株

Table 1 Test strains of *Gloeostereum incarnatum*

编号	菌株名称	菌株来源	编号	菌株名称	菌株来源
No.	Name	Sources of strains	No.	Name	Sources of strains
1	榆耳 MX-a Yuer MX-a	吉林省敦化市明星特产技术 开发有限责任公司（栽培菌株） Jilin Dunhua Specialty Technology Development Co., Ltd. (cultivated strain)	15	zjax25-1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
2	榆耳 C-1 Yuer C-1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	16	zjbf1-17	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
3	榆耳四平 Yuer siping	吉林省四平市（栽培菌株） Siping City, Jilin Province (cultivated strain)	17	zjbe1-1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
4	yrzp-1	吉林省四平市（栽培菌株） Siping City, Jilin Province (cultivated strain)	18	zjbc24-129	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
5	yryp-2	吉林省桦甸市（栽培菌株） Huadian City, Jilin Province (cultivated strain)	19	zjbe24-5	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
6	yrys-L	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	20	zjce108-5	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)
7	旗肉 2 号 Qirou 2	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	21	旗肉 1 号 Qirou 1	吉林省临江市（野生菌株） Linjiang City, Jilin Province (wild strain)
8	吉肉 1 号 Jirou 1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	22	榆耳 xb Yuer xb	辽宁省抚顺市（野生菌株） Fushun City, Liaoning Province (wild strain)
9	zjab23-24	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	23	榆耳 fh Yuer fh	辽宁省抚顺市（野生菌株） Fushun City, Liaoning Province (wild strain)
10	zjad23-1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	24	榆耳 qn-1 Yuer qn-1	辽宁省抚顺市（野生菌株） Fushun City, Liaoning Province (wild strain)
11	zjad23-5	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	25	榆耳 qb-2 Yuer qb-2	辽宁省抚顺市（野生菌株） Fushun City, Liaoning Province (wild strain)
12	zjae23-13	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	26	榆耳 cj-1 Yuer cj-1	吉林省长春市（野生菌株） Changchun City, Jilin Province (wild strain)
13	zjac25-108	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)	27	GY027	吉林省白山市（野生菌株） Baishan City, Jilin Province (wild strain)
14	zjad25-1	吉林农业大学（栽培菌株） Jilin Agricultural University (cultivated strain)			

表 2 榆耳测试性状和赋值方法

Table 2 Test character index of *Gloeostereum incarnatum*

序号	性状	赋值或记录统计
No.	Character	Statistics of evaluation method or record
T1	菌丝体: 15℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 15℃	记录 Record based on actual observation
T2	菌丝体: 20℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 20℃	记录 Record based on actual observation
T3	菌丝体: 25℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 25℃	记录 Record based on actual observation
T4	菌丝体: 30℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 30℃	记录 Record based on actual observation
T5	菌丝体: 菌落密度 Mycelium: colonial mycelium density	疏=1, 中=2, 密=3 Sparse=1, medium=2, dense=3
T6	菌丝体: 菌落形态 Mycelium: colony morphology	非均匀形=1, 均匀形=2 Not uniform=1, uniform=2
T7	菌丝体: 气生菌丝体发达程度 Mycelium: development degree of aerial mycelium	弱=1, 中=2, 强=3 Weak=1, medium=2, strong=3
T8	菌丝体: 菌落正面色素 Mycelium: obverse side pigment of colony	不明显=1, 明显=2 Not obvious=1, obvious=2
T9	菌丝体: 菌落背面色素 Mycelium: reverse side pigment of colony	不明显=1, 明显=2 Not obvious=1, obvious=2
T10	菌丝体: 栽培袋中菌丝扭结情况 Mycelium: mycelium kinking state in the cultivation bag	不明显=1, 明显=2 Not obvious=1, obvious=2
T11	子实体: 朵形 Fruiting body: shape of fruiting body clump	单瓣型=1, 重瓣型=2 Single fruiting body =1, Multiple aggregated fruiting bodies=2
T12	子实体: 耳片形态 Fruiting body: morphology	扇形=1, 中间形=2, 花形=3 Fan shape=1, intermediate=2, flower shape=3
T13	子实体: 背面颜色 Fruiting body: reverse side color	粉白色=1, 粉橘色=2, 粉红色=3 Pink white=1, pink orange=2, pink red=3
T14	子实体: 腹面颜色 Fruiting body: ventral side color	非均匀色=1, 均匀色=2 Not uniform=1, uniform=2
T15	子实体: 腹面疣状突起物 Fruiting body: ventral side verrucous protrusion	不明显=1, 明显=2 Not obvious=1, obvious=2
T16	子实体: 腹面环纹分布位置 Fruiting body: ventral surface ring pattern distribution position	外缘形=1, 全缘形=2 Distributed in outer edge=1, entirely distributed =2
T17	子实体: 边缘延伸方向 Fruiting body: edge extension direction	上翘=1, 下垂=2 Upturned=1, sagging=2
T18	子实体: 边缘形态 Fruiting body: edge form	平滑=1, 波褶=2 Smooth=1, corrugation=2

待续

续表 2

T19	子实体：生育期 Fruiting body: growth period	记录 Record based on actual observation
T20	子实体：干耳背面颜色 Fruiting body: dry reverse side color	浅褐色=1，深褐色=2 Light brown=1, dark brown=2
T21	子实体：干耳腹面颜色 Fruiting body: dry ventral side color	浅褐色=1，深褐色=2 Light brown=1, dark brown=2
T22	子实体：长度 Fruiting body: length	记录 Record based on actual observation
T23	子实体：宽度 Fruiting body: width	记录 Record based on actual observation
T24	子实体：厚度 Fruiting body: thickness	记录 Record based on actual observation
T25	子实体：干湿比 Fruiting body: dry-wet ratio	记录 Record based on actual observation
T26	子实体：耳片质地 Fruiting body: texture	软=1，硬=2 Soft=1, hard=2

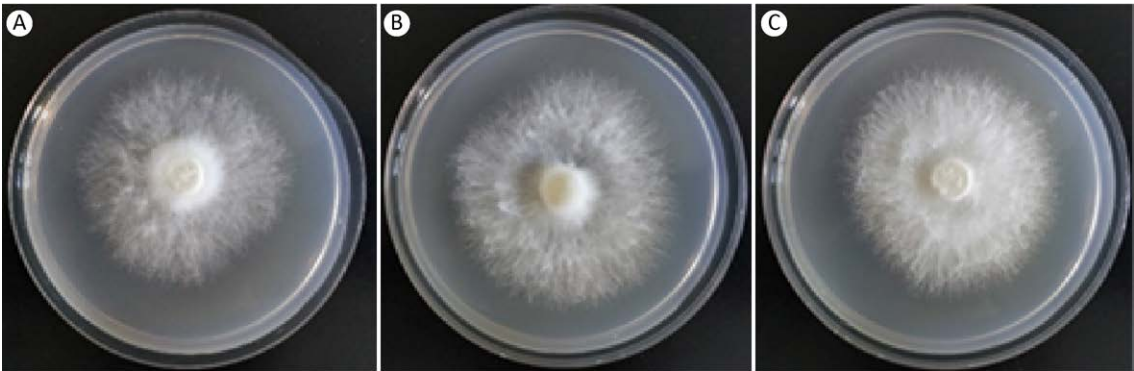


图 1 榆耳菌丝体菌落密度 A: 疏; B: 中; C: 密
Fig. 1 Colonial mycelium density of *Gloeostereum incarnatum*. A: Sparse; B: Medium; C: Dense.

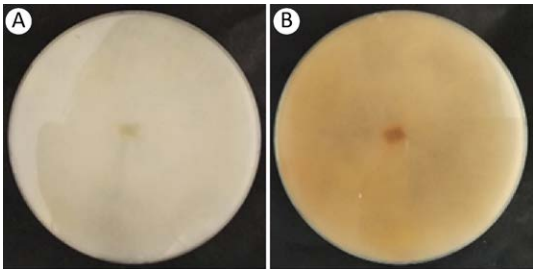


图 2 榆耳菌丝体菌落背面色素 A: 不明显; B: 明显
Fig. 2 Pigment in the reverse side of colony of *Gloeostereum incarnatum*. A: Not obvious; B: Obvious.

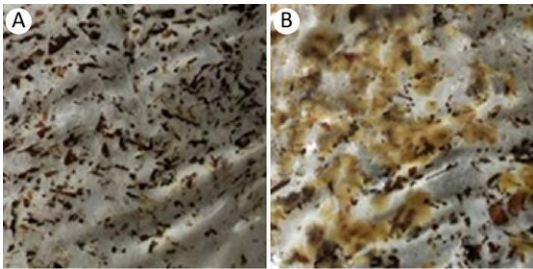


图 3 榆耳菌丝体栽培袋中菌丝扭结情况 A: 不明显; B: 明显
Fig. 3 Mycelia of *Gloeostereum incarnatum* kinking state in the cultivation bag. A: Not obvious; B: Obvious.



图 4 榆耳子实体背面颜色 A: 粉白色; B: 粉橘色; C: 粉红色

Fig. 4 Reverse side color of fruiting bodies of *Gloeostereum incarnatum*. A: Pink white; B: Pink orange; C: Pink red.

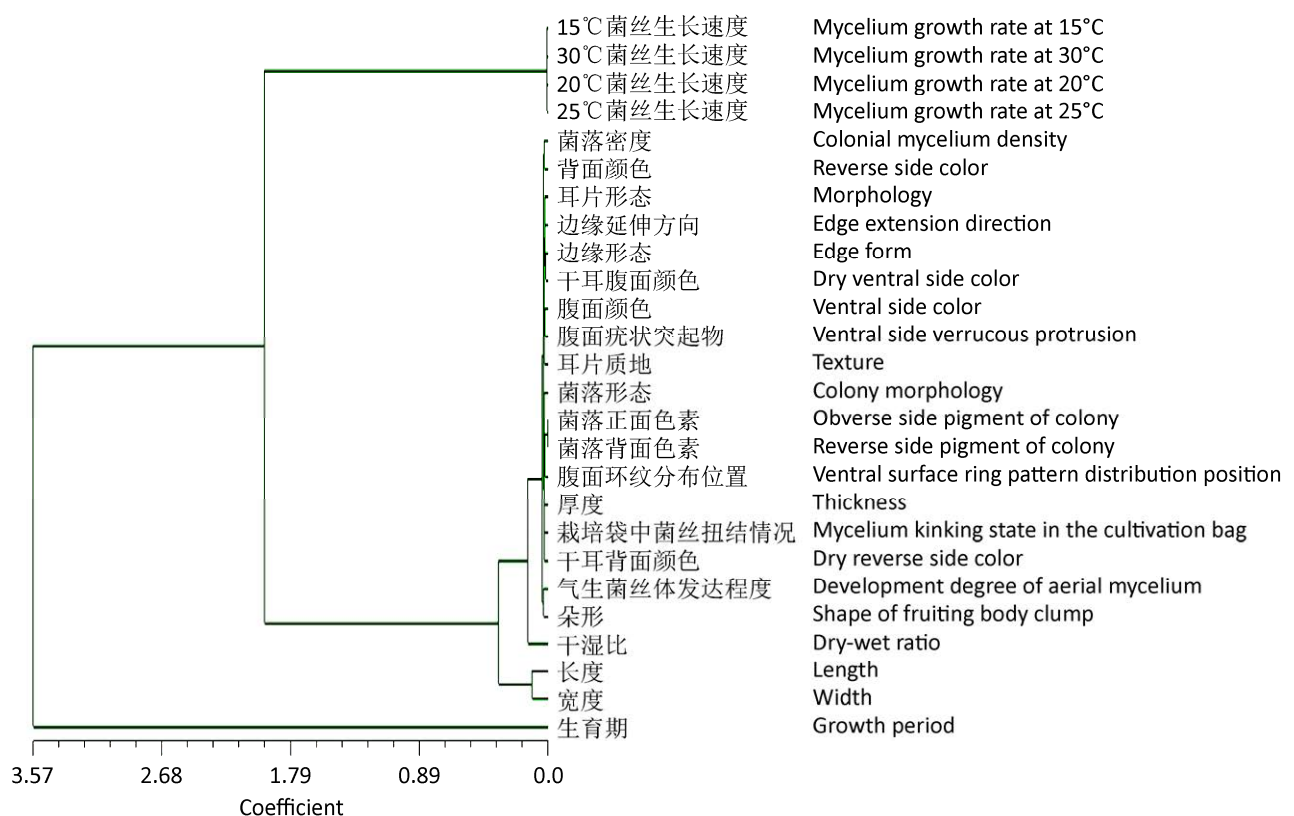


图 5 R 型聚类分析图

Fig. 5 R-model cluster analysis results.

大类划分为两个亚类群，类群 I 包含 15℃、20℃、25℃ 和 30℃ 下的菌丝生长速度等 4 个性状，类群 II 包含菌丝体特性、子实体表观形态、子实体大小等 21 个性状。

综上所述，R 型聚类分析能相对较好地反映各个性状之间的相关性，但并不能很好地反映各个性状的相对重要性。

2.3 主成分分析

通过主成分分析可知，26 个性状的提取值大多数都在 0.9 以上，说明各性状重要性较高（表 3）。其中菌落正面色素、菌落背面色素、菌落形态、腹面疣状突起物、干耳腹面颜色、生育期、栽培袋中菌丝扭结情况、宽度、朵形和背面颜色等性状的重要

表 3 公因子方差

Table 3 Communalities

性状	初始	提取	性状	初始	提取
Characters	Initial	Extraction	Characters	Initial	Extraction
菌丝体：菌落正面色素 Mycelium: obverse side pigment of colony	1.000	0.999	子实体：长度 Fruiting body: length	1.000	0.954
菌丝体：菌落背面色素 Mycelium: reverse side pigment of colony	1.000	0.999	菌丝体：30℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 30℃	1.000	0.947
菌丝体：菌落形态 Mycelium: colony morphology	1.000	0.996	子实体：干耳背面颜色 Fruiting body: dry reverse side color	1.000	0.942
子实体：腹面疣状突起物 Fruiting body: ventral side verrucous protrusion	1.000	0.994	子实体：腹面环纹分布位置 Fruiting body: ventral surface ring pattern distribution position	1.000	0.934
子实体：干耳腹面颜色 Fruiting body: dry ventral side color	1.000	0.982	菌丝体：25℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 25℃	1.000	0.934
子实体：生育期 Fruiting body: growth period	1.000	0.978	子实体：耳片质地 Fruiting body: texture	1.000	0.923
菌丝体：栽培袋中菌丝扭结情况 Mycelium: mycelium kinking state in the cultivation bag	1.000	0.978	菌丝体：15℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 15℃	1.000	0.922
子实体：宽度 Fruiting body: width	1.000	0.975	子实体：干湿比 Fruiting body: dry-wet ratio	1.000	0.919
子实体：朵形 Fruiting body: shape of fruiting body clump	1.000	0.974	菌丝体：菌落密度 Mycelium: colonial mycelium density	1.000	0.904
子实体：背面颜色 Fruiting body: reverse side color	1.000	0.972	菌丝体：气生菌丝体发达程度 Mycelium: development degree of aerial mycelium	1.000	0.894
子实体：边缘延伸方向 Fruiting body: edge extension direction	1.000	0.968	子实体：边缘形态 Fruiting body: edge form	1.000	0.890
菌丝体：20℃菌丝生长速度 Mycelium: mycelium growth rate at 20℃	1.000	0.962	子实体：厚度 Fruiting body: thickness	1.000	0.865
子实体：腹面颜色 Fruiting body: ventral side color	1.000	0.955	子实体：耳片形态 Fruiting body: morphology	1.000	0.799

性排序靠前，随着提取数值的减小，重要性逐渐降低。

主成分的选择原则为特征值大于等于 1 的主成分累计贡献率大于 80%（邓维斌等 2012）。本研究中前 9 个主成分特征值都大于 1，累计贡献率达到 94.458%（表 4）。其中第 1 主成分的特征值为 5.455，贡献率高达 20.979%；第 2 主成分特征值是 4.730，贡献

率为 18.191%；第 3 主成分特征值是 3.097，贡献率为 11.910%；第 4 主成分特征值是 2.512，贡献率为 9.660%；第 5 主成分特征值是 2.402，贡献率为 9.237%；第 6 主成分特征值是 2.081，贡献率为 8.005%；第 7 主成分特征值是 1.630，贡献率为 6.270%；第 8 主成分特征值是 1.590，贡献率为 6.115%；第 9 主成分特征值是 1.064，贡献率为 4.091%。

表 4 主成分分析解释的总方差表

Table 4 Total variance explained by principal component analysis

成分 Component	初始特征值			提取平方和载入		
	Initial eigenvalues			Extraction sums of squared loadings		
	合计 Total	贡献率 Ratio of variance (%)	累积贡献率 Cumulative ratio (%)	合计 Total	贡献率 Ratio of variance (%)	累积贡献率 Cumulative ratio (%)
1	5.455	20.979	20.979	5.455	20.979	20.979
2	4.730	18.191	39.170	4.730	18.191	39.170
3	3.097	11.910	51.080	3.097	11.910	51.080
4	2.512	9.660	60.740	2.512	9.660	60.740
5	2.402	9.237	69.977	2.402	9.237	69.977
6	2.081	8.005	77.982	2.081	8.005	77.982
7	1.630	6.270	84.252	1.630	6.270	84.252
8	1.590	6.115	90.367	1.590	6.115	90.367
9	1.064	4.091	94.458	1.064	4.091	94.458
10	0.798	3.070	97.528			
11	0.470	1.809	99.337			
12	0.172	0.663	100			
13	8.92414E-16	3.43236E-15	100			
14	4.59994E-16	1.76921E-15	100			
15	3.47809E-16	1.33773E-15	100			
16	2.63691E-16	1.01419E-15	100			
17	2.17445E-16	8.36326E-16	100			
18	1.01086E-16	3.88794E-16	100			
19	3.38441E-17	1.3017E-16	100			
20	-1.11493E-33	-4.2882E-33	100			
21	-1.44657E-17	-5.56375E-17	100			
22	-9.25016E-17	-3.55775E-16	100			
23	-1.64759E-16	-6.33688E-16	100			
24	-2.00614E-16	-7.71593E-16	100			
25	-3.01146E-16	-1.15825E-15	100			
26	-4.61848E-16	-1.77634E-15	100			

从主成分碎石图可知，前 9 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 6），说明提取的前 9 个主成分对原始变量的信息有显著的描述作用，选择前 9 个主成分是恰当的。

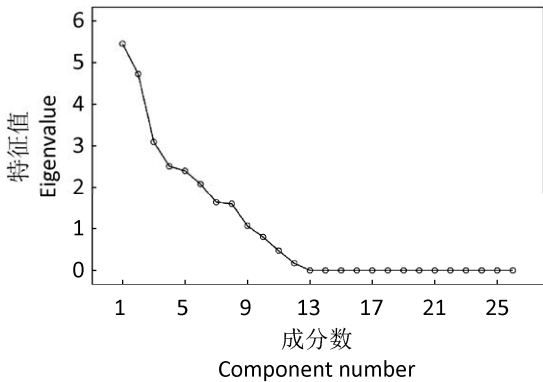


图 6 主成分分析碎石图
Fig. 6 Scree plot of principal component analysis.

根据主成分载荷矩阵可知 9 个主成分中每个性状的对对应系数即特征向量，根据各性状在主成分中特征向量的大小，确定性状的重要

性（表 5）。

第 1 主成分贡献率为 20.979%，按照各性状分量的绝对值大小，选出腹面环纹分布位置，代表榆耳的表观形态特征性状，把第 1 主成分称为表观形态构成因子。第 2 主成分贡献率为 18.191%，略低于第 1 主成分，特征向量值最大的性状是厚度，代表榆耳的大小特征性状，把第 2 主成分称为子实体大小构成因子。第 3 主成分贡献率为 11.910%，明显低于第 1 主成分和第 2 主成分，特征向量值较大的分量是腹面疣状突起物，代表榆耳的腹面表观形态特征性状，把第 3 主成分称为腹面表观形态构成因子。

第 4 主成分贡献率为 9.660%，特征向量值最大的性状是干耳背面颜色和 20℃ 菌丝生长速度这 2 个性状，规律性不十分明显。第 5 主成分贡献率为 9.237%，特征向量值最大的性状是栽培袋中菌丝扭结情况，代表榆耳的表观形态特征性状，把第 5 主成分称为表观形态构成因子。第 6 主成分贡献率为

表 5 主成分载荷矩阵
Table 5 Principal component loading matrix

性状 Characters	成分 Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
腹面环纹分布位置 Ventral surface ring pattern distribution position	-0.854	-0.081	-0.098	-0.084	0.062	0.035	-0.016	-0.378	0.183
干耳腹面颜色 Dry ventral side color	0.785	-0.296	0.078	0.087	0.177	0.174	-0.445	-0.075	-0.005
边缘形态 Edge form	0.784	0.022	-0.084	0.209	-0.155	-0.319	-0.291	-0.084	-0.079
菌落背面色素 Reverse side pigment of colony	-0.721	0.040	-0.311	0.327	-0.189	0.356	-0.147	0.298	-0.036
菌落正面色素 Obverse side pigment of colony	-0.721	0.040	-0.311	0.327	-0.189	0.356	-0.147	0.298	-0.036
背面颜色 Reverse side color	-0.646	-0.075	0.012	-0.440	0.069	-0.199	0.194	-0.264	-0.451

待续

续表 5

30℃菌丝生长速度	0.554	0.571	-0.245	0.103	-0.264	0.230	-0.187	-0.258	0.135
Mycelium growth rate at 30℃									
25℃菌丝生长速度	0.511	0.477	-0.606	0.081	0.044	-0.073	-0.051	0.058	-0.240
Mycelium growth rate at 25℃									
气生菌丝体发达程度	0.488	0.250	0.435	0.022	-0.271	0.410	0.388	-0.047	0.097
Development degree of aerial mycelium									
长度	-0.400	0.669	0.281	0.309	-0.160	-0.206	-0.230	-0.217	0.063
Length									
干耳背面颜色	0.399	0.063	0.138	0.523	-0.555	0.167	0.213	0.119	-0.301
Dry reverse side color									
朵形	0.381	0.535	0.162	-0.410	0.129	0.495	0.004	0.286	0.073
Shape of fruiting body clump									
20℃菌丝生长速度	0.366	0.622	-0.122	-0.517	0.211	-0.136	0.147	0.172	-0.209
Mycelium growth rate at 20℃									
边缘延伸方向	0.345	-0.624	-0.232	0.341	0.008	0.434	0.176	-0.196	0.175
Edge extension direction									
耳片形态	0.332	-0.468	0.086	0.241	0.126	-0.385	0.413	-0.264	0.002
Morphology									
腹面疣状突起物	-0.308	-0.018	0.717	0.296	0.203	0.209	-0.028	0.110	-0.445
Ventral side verrucous protrusion									
菌落密度	-0.263	-0.071	0.523	-0.469	-0.037	0.501	-0.199	-0.133	0.160
Colonial mycelium density									
生育期	-0.258	0.381	-0.405	0.442	0.363	-0.026	0.430	0.123	0.273
Growth period									
宽度	0.212	-0.634	-0.404	-0.426	0.182	0.329	-0.124	-0.140	-0.080
Width									
15℃菌丝生长速度	-0.204	0.762	-0.258	0.169	0.317	0.156	0.111	-0.202	-0.162
Mycelium growth rate at 15℃									
干湿比	0.159	0.212	0.498	0.197	0.549	0.190	0.392	-0.221	0.148
Dry-wet ratio									
栽培袋中菌丝扭结情况	-0.158	0.200	-0.095	-0.397	-0.681	-0.322	0.196	0.094	0.363
Mycelium kinking state in the cultivation bag									
菌落形态	0.104	-0.461	-0.331	-0.078	0.550	-0.019	0.119	0.577	0.087
Colony morphology									
厚度	-0.096	-0.839	0.203	0.252	-0.104	-0.158	-0.088	0.062	0.011
Thickness									
腹面颜色	0.090	0.130	0.679	0.030	0.057	-0.343	-0.085	0.562	0.153
Ventral side color									
耳片质地	-0.08	0.354	0.108	0.263	0.567	-0.216	-0.532	-0.134	0.205
Texture									

8.005%，特征向量值较大的性状是菌落密度和朵形这2个性状，规律性不十分明显。第7主成分贡献率为6.270%，特征向量值最大的性状是耳片质地，代表榆耳的耳片质地特征性状，把第7主成分称为耳片质地构成因子。第8主成分贡献率为6.115%，特征向量较大的性状是菌落形态和腹面颜色，规律性不十分明显。第9主成分贡献率为4.091%，特征向量值最大的性状是背面颜色，代表榆耳的颜色特征性状，把第9主成分称为颜色构成因子。

综上所述，26个性状中提取值大多数都在0.9以上，说明各性状重要性较高，其中腹面环纹分布位置、厚度、腹面疣状突起物、干耳背面颜色、20℃菌丝生长速度、栽培袋中菌丝扭结情况、菌落密度、朵形、耳片质地、菌落形态、腹面颜色和背面颜色12个测试性状的影响力较大。

3 讨论

农艺性状是进行种质资源评价及DUS测试指南的重要参考依据，如国内发布实施的白灵侧耳(NY/T 2438-2013)、金顶侧耳(NY/T 2523-2013)、双孢蘑菇(NY/T 2524-2013)、草菇(NY/T 2525-2013)、香菇(NY/T 2560-2014)、黑木耳(NY/T 2588-2014)、真姬菇(NY/T 3713-2020)、蛹虫草(NY/T 3714-2020)、长根菇(NY/T 3715-2020)、金针菇(NY/T 3716-2020)、猴头菌(NY/T 3717-2020)、糙皮侧耳(NY/T 3718-2020)、毛木耳(NY/T 3729-2020)和美味扇菇(NY/T 3736-2020)等十余种食用菌DUS测试指南均以农艺性状为测试依据。

本研究中农艺性状的R型聚类分析能相对较好反映各个性状间的相关性，但一些性状未能完全区分开，这与榆耳本身形态结构简单，分化层次较低有关。根据主成分分析

可知，测试性状的提取值大多数都在0.9以上，说明各性状重要性较高，确定了榆耳种质评价的12个主要指标，即腹面环纹分布位置、厚度、腹面疣状突起物、干耳背面颜色、20℃菌丝生长速度、栽培袋中菌丝扭结情况、菌落密度、朵形、耳片质地、菌落形态、腹面颜色和背面颜色。利用R型聚类分析及主成分分析，可以真实客观地评价农艺性状，为榆耳的种质资源评价及新品种选育提供了理论依据。

[REFERENCES]

- Chen Y, Yao FJ, Zhang YM, Fang M, 2014. Numerical classification of cultivated germplasm of *Auricularia auricula-judae*. *Mycosystema*, 33(5): 984-996 (in Chinese)
- Dai YC, 2010. Species diversity of wood-decaying fungi in Northeast China. *Mycosystema*, 29(6): 801-818 (in Chinese)
- Dai YC, 2011. A revised checklist of corticioid and hydroid fungi in China for 2010. *Mycoscience*, 52(1): 69-79
- Deng WB, Tang XY, Hu DQ, Zhou YM, 2012. SPSS 19. (Chinese version) statistical analysis practical tutorial. Publishing House of Electronics Industry, Beijing. 1-300 (in Chinese)
- Gao J, Yue DC, Cheng KD, Wang SC, Yu KB, Zheng QT, Yang JS, 1992. Gloeosteretriol, a new sesquiterpene from the fermentation products of *Gloeostereum incarnatum* S. Ito et Imai. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 27(1): 33-36 (in Chinese)
- Jiang WZ, Yao FJ, Fang M, Lu LX, Zhang YM, Wang P, Meng JJ, Lu J, Ma XX, He Q, Shao KS, Asif AK, Wei YH, 2021a. Analysis of the genome sequence of strain GiC-126 of *Gloeostereum incarnatum* with genetic linkage map. *Mycobiology*, 49(4): 406-420
- Jiang WZ, Yao FJ, Lu LX, Fang M, Wang P, Zhang YM, Meng JJ, Lu J, Ma XX, He Q, Shao KS, 2021b. Genetic linkage map construction and

- quantitative trait loci mapping of agronomic traits in *Gloeostereum incarnatum*. The Journal of Microbiology, 59: 41-50
- Li DZ, 2002. Studies on chemical compositions and pharmacological activity from fruitbodies and culture fluid of *Gloeostereum incarnatum*. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-138 (in Chinese)
- Li X, Liu X, Zhang YF, Zhang YQ, Liu SY, Zhang N, Li Y, Wang D, 2020. Protective effect of *Gloeostereum incarnatum* on ulcerative colitis via modulation of Nrf2/NF κ B signaling in C57BL/6 mice. Molecular Medicine Reports, 22: 3418-3428
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC, 2015. Iconography of macrofungal resources of China. Zhongyuan Peasant Press, Zhengzhou. 1-1077 (in Chinese)
- Li YT, Song H, Li YQ, Liu Q, 2010. Study on antioxidant properties of alcohol extract of *Gloeostereum incarnatum* fermentation. Journal of Fungal Research, 8(2): 90-92, 102 (in Chinese)
- Ma SS, 2008. Study on pharmacognosy of *Gloeostereum incarnatum* S. Ito et Imai. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-91 (in Chinese)
- Qi YQ, 2014. Study on chemical constituents, antioxidant activity and new product development of *Gloeostereum incarnatum*. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-70 (in Chinese)
- Song H, 2008. Study on new variety breeding and nutrient physiological characteristics of *Gloeostereum incarnatum*. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-54 (in Chinese)
- Song H, Yao FJ, Tang J, Nie LL, 2008. Research overview of *Gloeostereum incarnatum*. Chinese Edible Fungi, 27(1): 3-4, 13 (in Chinese)
- Tao SA, Li J, Yue GH, Cai YF, 2006. Antibacterial component of fermentation broth of *Gloeostereum incarnatum* S. Ito et Imai. Food and Fermentation Industries, 32(2): 33-36 (in Chinese)
- Wang D, Li Q, Qu YD, Wang MY, Li LZ, Liu Y, Li Y, 2018. The investigation of immunomodulatory activities of *Gloeostereum incarnatum* polysaccharides in cyclophosphamide-induced immunosuppression mice. Experimental and Therapeutic Medicine, 15(4): 3633-3638
- Xu Z, Zhang LJ, Shang XD, Liu JY, Zhang D, Yang H, Yu HL, Zhang MY, Wang RJ, 2019. Gradation and evaluation for *Flammulina filiformis* DUS testing traits. Mycosystema, 38(5): 658-668 (in Chinese)
- Yu Y, 2013. Study on germplasm resources evaluation and breeding of *Gloeostereum incarnatum*. Master Thesis, Jilin Agricultural University, Changchun. 1-49 (in Chinese)
- Yu Y, Yao FJ, Sun ML, Zhang AQ, 2013a. Spring and autumn cultivation management technology of *Gloeostereum incarnatum*. Northern Horticulture, 10: 145-146 (in Chinese)
- Yu Y, Yao FJ, Sun ML, Zhang YM, Hu X, 2013b. A new *Gloeostereum incarnatum* cultivar 'Qirou 1'. Acta Horticulturae Sinica, 40: 15 (in Chinese)
- Yu Y, Yao FJ, Zhang YM, 2016. A new *Gloeostereum incarnatum* cultivar 'Jirou 1'. Acta Horticulturae Sinica, 43: 1013-1014 (in Chinese)
- Zhang ZF, Lv GY, Jiang X, Chen JH, Fan LF, 2015. Extraction optimization and biological properties of a polysaccharide isolated from *Gloeostereum incarnatum*. Carbohydrate Polymers, 117: 185-191
- [附中文参考文献]
- 陈影, 姚方杰, 张友民, 方明, 2014. 木耳栽培种质资源的数量分类研究. 菌物学报, 33(5): 984-996
- 戴玉成, 2010. 中国东北地区木材腐朽菌的多样性. 菌物学报, 29(6): 801-818
- 邓维斌, 唐兴艳, 胡大权, 周玉敏, 2012. SPSS 19 (中文版) 统计分析实用教程. 北京: 电子工业出版社. 1-300
- 高炬, 岳德超, 程克棣, 王树春, 郁开北, 郑启泰、杨峻山, 1992. 榆耳发酵液中新倍半萜——榆耳三醇的结构. 药学学报, 27(1): 33-36
- 李典忠, 2002. 榆耳 (*Gloeostereum incarnatum*) 子实体及发酵液化学成分和药理活性研究. 吉

- 林农业大学硕士论文, 长春. 1-138
- 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 图力古尔, 戴玉成, 2015. 中国大型菌物资源图鉴. 郑州: 中原农民出版社. 1-1077
- 李雨婷, 宋慧, 李艳秋, 刘麒, 2010. 榆耳深层发酵浸膏醇提物的抗氧化活性研究. 菌物研究, 8(2): 90-92, 102
- 马珊珊, 2008. 榆耳 (*Gloeostereum incarnatum*) 的生药学研究. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-91
- 齐彦秋, 2014. 榆耳化学成分与抗氧化活性研究及新产品研制. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-70
- 宋宏, 2008. 榆耳新品种选育及营养生理特性研究. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-54
- 宋宏, 姚方杰, 唐峻, 聂玲玲, 2008. 榆耳研究概况. 中国食用菌, 27(1): 3-4, 13
- 陶申傲, 李绩, 岳国海, 蔡永峰, 2006. 榆耳发酵液抑菌成分的初步研究. 食品与发酵工业, 32(2): 33-36
- 于娅, 2013. 榆耳种质资源评价及优良品种选育的研究. 吉林农业大学硕士论文, 长春. 1-49
- 于娅, 姚方杰, 孙梅丽, 张安琪, 2013a. 榆耳春秋季节栽培管理技术. 北方园艺, 2013(10): 145-146
- 于娅, 姚方杰, 孙梅丽, 张友民, 胡欣, 2013b. 榆耳新品种 ‘旗肉 1 号’. 园艺学报, 40(5): 1015-1016
- 于娅, 姚方杰, 张友民, 2016. 榆耳新品种 ‘吉肉 1 号’. 园艺学报, 43(5): 1013-1014
- 徐珍, 章炉军, 尚晓冬, 刘建雨, 张丹, 杨慧, 于海龙, 张美彦, 王瑞娟, 2019. 金针菇品种 DUS 测试性状的分级与评价. 菌物学报, 38(5): 658-668

(本文责编: 王敏)