

不同香菇菌渣配比对黑木耳栽培的影响

崔慧¹, 彭科研¹, 赵淑芳¹, 张燕¹, 官志远^{2,3}, 韩建东^{2,3}, 高霞¹

(1. 山东省农业技术推广中心 济南 250014; 2. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所 济南 250100;

3. 山东省农业科学院农业农村废弃物基质化利用重点实验室 济南 250100)

摘要:为解决香菇菌渣污染及黑木耳生产成本高的问题,本试验分别以香菇菌渣占栽培料的0(CK),10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%(配方I-VIII),探究不同香菇菌渣配比对黑木耳生产栽培的影响,分析香菇菌渣替代苹果木屑的可行性等。试验结果表明,香菇菌渣营养丰富,其中N、P、K和灰分含量高于苹果木屑,可将香菇菌渣视为黑木耳栽培的培养料;配方III菌丝生长速度高于CK,且较其他配方快;配方III耳芽形成最早,较CK早2d,且出芽整齐度为100%。在产量、效益方面,配方III鲜耳总产量最高,为822.72 g·袋⁻¹,生物学效率最高,为96.79%,配方I-VIII在总鲜耳产量方面呈先升高后降低趋势,生物学效率呈相同趋势。结合模糊隶属函数综合评价,根据本试验结果,建议用香菇菌渣作为基料栽培黑木耳时,在固定辅料(麦麸、豆粉、石灰、石膏)占13.5%情况下,当香菇菌渣质量占比为30%、苹果木屑质量占比为56.5%时,可获得较为理想的产量、商品性及经济效益。

关键词:黑木耳;香菇菌渣;产量;隶属函数

中图分类号:S646.6

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)11-114-06

Effects of different *Lentinus edodes* residue ratios on the cultivation of *Auricularia heimuer*

CUI Hui¹, PENG Keyan¹, ZHAO Shufang¹, ZHANG Yan¹, GONG Zhiyuan^{2,3}, HAN Jiandong^{2,3}, GAO Xia¹

(1. Shandong Agricultural Technology Extending Station, Jinan 250014, Shandong, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan 250100, Shandong, China; 3. Key Laboratory of Wastes Matrix Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Jinan 250100, Shandong, China)

Abstract: To address the issues of environmental pollution caused by *Lentinus edodes* residue and the high production costs for *Auricularia heimuer*, this study investigated the effects of different *Lentinus edodes* residue ratios (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, and 80%, corresponding to Formulations I to VIII) in the cultivation substrate on the growth of *A. heimuer*, and evaluated the feasibility of using *Lentinus edodes* residue to replace apple wood sawdust. The results showed that *Lentinus edodes* residue is rich in nutrients, with higher content of N, P, K, and ash compared to apple sawdust, making it a suitable cultivation material for *A. heimuer*. In formulation III, the mycelial growth rate was the fastest, significantly exceeding that of the control and other formulations. Additionally, this formulation promoted the earliest primordia formation, 2 days earlier than CK, with a primordia uniformity of 100%. In terms of yield and efficiency, Formulation III performed the best, achieving a total of fresh ear output of 822.72 g·bag⁻¹ and a biological efficiency of 96.79%. From Formulation I to VIII, both the total fresh ear output and biological efficiency showed an initial increase followed by a decreasing trend. Based on a comprehensive evaluation using fuzzy membership function method, it was determined that, with fixed supplementary materials (wheat bran, soybean powder, lime, and gypsum) accounting for 13.5% of the substrate, the optimal economic benefits for *A. heimuer* cultivation could be achieved when the *Lentinus edodes* residue constituted 30% and apple wood sawdust 56.5% of the formulation.

Key words: *Auricularia heimuer*; *Lentinus edodes* residue; Yield; Membership function

黑木耳属真菌学分类为担子菌纲,具有较高的营养价值,含有大量的蛋白质、钙、铁、维生素等营养物质,具有活血、润肺等作用。黑木耳属于典型

的木腐生菌类,受到森林资源保护的影响,黑木耳段木栽培已经逐渐减少,被木屑代料栽培替代^[1]。以柞树、苹果木屑等硬杂木树种的木屑为栽培基

收稿日期:2025-03-12;修回日期:2025-08-04

基金项目:山东省重点研发计划(农业良种工程)(2022LZGC023);山东省食用菌产业技术体系副首席兼栽培与设施岗位专家项目(SDAIT-07-11)

作者简介:崔慧,女,高级农艺师,主要从事农业技术推广、食用菌行政许可技术支持等工作。E-mail:cuihui2012@163.com

通信作者:高霞,女,正高级农艺师,主要从事农业技术推广、协同创新等工作。E-mail:chuchugao@163.com

质,黑木耳产量高、品质好^[2]。随着黑木耳产业的发展,苹果木屑价格逐年上涨,使黑木耳生产成本逐年增高。据中国食用菌协会统计^[3],山东常年栽培香菇在 25 万 t 以上,每年约产生香菇菌渣(干料)在 25 万 t 以上。对香菇菌渣的利用率仍然较低,以丢弃或者粉碎还田等粗放方式为主,易造成环境污染,并影响食用菌产业可持续发展^[1-2]。

李用芳等^[4]研究表明,香菇菌渣蛋白质含量较高,适合用于食用菌的栽培,郭建恩等^[5]研究表明,香菇菌渣可以添加到姬菇栽培料中,姬菇产量可提高 8.6%;高琴等^[6]研究表明,在大球盖菇栽培料中添加香菇菌渣,可提高品质,利于菌丝发育;常堃等^[7]研究表明,香菇菌渣代替木屑和甘蔗渣工厂化生产杏鲍菇,较常规配方经济效益明显。

为加强食用菌栽培基质的开发,探寻黑木耳的可替代性原料,降低黑木耳的生产成本,同时充分利用食用菌菌渣以解决农业环境面源污染的问题,本试验用香菇菌渣代替苹果木屑作为黑木耳栽培料,通过分析香菇菌渣营养成分,并探究不同香菇菌渣占比对黑木耳的菌丝长势、耳芽形成时间等方面的影响,结合生产实际分析在不同香菇菌渣占比下其产量、效益及生物学效率等内容,以期为香菇菌渣作为黑木耳栽培料替代苹果木屑提供理论依据,并为探寻更经济合理、资源利用高效的配比提供参考,为进一步解决面源环境污染问题、提高种植户经济效益做出积极贡献。

1 材料与方法

1.1 材料

黑木耳菌种为黑 29,引自黑龙江微生物所。试验于 2024 年 3—9 月在山东艾泽福吉生物科技有限公司进行。培养料包含香菇菌渣(由山东艾泽福吉生物科技有限公司提供,挑选新鲜无霉变的菌渣去掉残菇后粉碎晒干待用)、苹果木屑和固定配方(麦麸、豆粉、石灰、石膏)培养料。以上培养料均新鲜、干燥、无霉、无污染。

1.2 试验设计

试验以栽培材料的质量为单位,栽培主料(香菇菌渣+苹果木屑)占 86.5%,固定辅料(麦麸、豆粉、石灰、石膏)占 13.5%。以不含香菇菌渣主料(即 86.5%苹果木屑)为对照(CK),剩余处理为添加 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%的香菇菌渣同时减少相应的苹果木屑占比,各配比即编号如表 1 所示,每个处理分别加入同量的水,充分搅

表 1 不同培养料配方各培养成分质量占比

Table 1 Mass percentage of components in different substrate formulas

配方 Formula	各培养成分质量占比 Mass percentage of components/%					
	香菇菌渣 Shiitake residue	苹果木屑 Apple wood sawdust	麸皮 Wheat bran	豆粉 Soybean meal	石膏 Gypsum	石灰 Lime
CK	0	86.5	10	2	1	0.5
I	10	76.5	10	2	1	0.5
II	20	66.5	10	2	1	0.5
III	30	56.5	10	2	1	0.5
IV	40	46.5	10	2	1	0.5
V	50	36.5	10	2	1	0.5
VI	60	26.5	10	2	1	0.5
VII	70	16.5	10	2	1	0.5
VIII	80	6.5	10	2	1	0.5

拌均匀后装袋。

1.3 栽培试验

使用高密度聚乙烯培养袋装干料,菌包规格为 16.5 cm×36 cm×20 cm。每个配方 100 袋为 1 组,3 次重复。每袋均采用高压蒸汽灭菌 108 ℃维持 6 h,灭菌结束后,待菌袋冷却到常温后进行液体菌种接种。将菌袋放置于 23~24 ℃发菌室培养 42 d 左右,发菌后进行吊袋,均采用常规管理。

1.4 方法

对香菇菌渣、苹果木屑的营养成分在装袋前分别抽 3 组进行检测,测定方法参考李泰等^[8]的报道。

参照陈辉等^[9]的方法,观察并记录不同配方中菌丝的长势、菌丝生长速度、菌丝满袋时间、颜色、耳芽形成时间。

适时采收,整个生长期分三潮采收。采收前,使用游标卡尺对鲜木耳相关指标(长度、宽度、厚度)进行测定;使用传统方法测定第一潮、第二潮、第三潮产量,汇总三潮产量得到总鲜耳产量。

生物学效率(P)计算公式为:

$$P/\% = m_1/m_2 \times 100。$$

式中: m_1 表示子实体鲜质量(kg); m_2 表示培养料干质量(kg)。

按照当前本地市场价格统计,苹果树枝 440 元·t⁻¹、香菇菌渣 80 元·t⁻¹、麦麸 1.6 元·kg⁻¹、豆粉 4 元·kg⁻¹、石膏 0.9 元·kg⁻¹、石灰 1.2 元·kg⁻¹。计算每袋平均成本时,干料用量按 0.85 kg 计算,人工水电费按 1.4 元计算,干木耳与鲜木耳的干湿比

为 1:10。以干木耳 44 元·kg⁻¹ 计算,对不同配方投入、产出与效益进行分析。

1.5 数据处理

采用 Excel 和 IBM SPSS Statistics27 数据处理软件对试验结果进行分析。

2 结果与分析

2.1 香菇菌渣和苹果木屑营养成分分析

由表 2 可知,香菇菌渣与苹果木屑营养成分差别大,其中 N、P、K 和灰分含量高于苹果木屑,有机

表 2 香菇菌渣与苹果木屑营养成分含量
Table 2 Nutrient content of *Lentinus edodes* residue and apple sawdust

类型 Type	w(有机质) Organic matter content/%	w(N)/%	w(P)/%	w(K)/%	C/N	w(灰分) Ash content/%
香菇菌渣 <i>Lentinus edodes</i> residue	65.81	1.16	0.32	0.64	32.75	13.22
苹果木屑 Apple sawdust	77.99	0.63	0.22	0.28	79.62	2.94

质含量与 C/N 低于苹果木屑,香菇菌渣营养成分齐全,可将香菇菌渣作为栽培黑木耳的培养料。

2.2 不同香菇菌渣配比对黑木耳菌丝生长的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,配方 I 至 V 菌丝长势与 CK 相同,即在香菇菌渣质量占比在 50%以下时,菌丝长势与 CK 无明显差异,但当香菇菌渣质量占比高于 50%时,菌丝长势较 CK 弱。在菌丝生长速度方面,配方 III 为 3.42 mm·d⁻¹,显著高于 CK;除配方 VII 和 VIII 显著低于 CK 外,其余配方与 CK 差异不显著。在满袋时间方面,配方 I 至 IV 满袋时间基本相同,配方 V 到 VIII 满袋时间较晚,基本呈现香菇菌渣质量占比越高而满袋时间越晚的趋势。在菌丝颜色方面,配方 III 与 IV 洁白浓密,而 CK 与配方 I、II、VI、VII 为洁白,配方 V 与 VIII 为较洁白。

2.3 不同香菇菌渣配比对黑木耳出耳及鲜耳质量的影响

由表 4 可知,耳芽形成时间配方 I、II、III、IV 均短于 CK,其中配方 III 耳芽形成最早,为 10~12 d,较 CK 早 2 d,配方 VIII 耳芽形成最晚,为 17~19 d,较 CK 晚 5 d。在耳芽整齐度方面,配方 I~V 和 CK 整

表 3 不同香菇菌渣对比对黑木耳菌丝生长的影响
Table 3 Effects of different *Lentinus edodes* residue ratios on mycelial growth of *Auricularia heimuer*

配方 Formula	菌丝长势 Mycelial growth vigor	菌丝生长速度 Mycelial growth rate/(mm·d ⁻¹)	满袋时间 Full colonization time/d	菌丝颜色 Mycelial color
CK	***	3.10±0.11 bc	38~42	洁白 Pure white
I	***	3.12±0.06 bc	38~42	洁白 Pure white
II	***	3.18±0.17 b	38~41	洁白 Pure white
III	***	3.42±0.15 a	38~39	洁白浓密 White and thick
IV	***	3.21±0.09 ab	38~40	洁白浓密 White and thick
V	***	3.05±0.14 bc	40~43	较洁白 Relatively white
VI	**	2.92±0.19 cd	40~44	洁白 Pure white
VII	**	2.77±0.13 d	43~46	洁白 Pure white
VIII	**	2.46±0.15 e	45~48	较洁白 Relatively white

注:***表示菌丝浓密,**表示菌丝较浓密。同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: *** indicates dense mycelium, ** indicates relatively dense mycelium. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

齐度均为 100%,且配方 VI~VIII 整齐度呈降低趋势,其中 VIII 整齐度最低,为 79%。在鲜耳长度方

表 4 不同香菇菌渣对比对黑木耳出耳及鲜耳质量的影响
Table 4 Effects of different *Lentinus edodes* residue ratios on fruiting and fresh fruit body quality of *Auricularia heimuer*

配方 Formula	耳芽形成时间 Primordia formation time/d	耳芽整齐度 Primordia uniformity/%	鲜耳长度 Length of fresh fruit body/cm	鲜耳宽度 Width of fresh fruit body/cm	鲜耳厚度 Thickness of fresh fruit body/mm
CK	12~14	100	4.20±0.08 a	4.14±0.12 a	1.78±0.02 a
I	11~13	100	4.05±0.08 b	4.02±0.15 ab	1.74±0.05 ab
II	11~13	100	4.11±0.09 ab	4.04±0.15 ab	1.75±0.03 ab
III	10~12	100	4.13±0.08 ab	4.14±0.13 a	1.76±0.04 ab
IV	11~13	100	4.08±0.06 b	3.99±0.12 ab	1.71±0.02 bc
V	12~14	100	4.06±0.05 b	3.92±0.14 b	1.67±0.05 c
VI	12~14	92	4.02±0.04 b	3.87±0.11 b	1.58±0.01 d
VII	13~15	87	3.35±0.06 c	3.01±0.16 c	1.50±0.03 e
VIII	17~19	79	3.07±0.10 d	2.54±0.13 d	1.46±0.02 e

面,CK 鲜耳长度最长,其次为配方Ⅲ和Ⅱ,三者之间差异不显著,但均明显比其余配方长;在鲜耳宽度方面,配方Ⅲ与 CK 基本一致,没有显著差异,配方Ⅰ~Ⅲ呈现增加趋势,配方Ⅲ的鲜耳宽度最大,配方Ⅲ~Ⅷ鲜耳宽度呈现下降趋势;在鲜耳厚度方面,以 CK 最厚,配方Ⅲ次之,配方Ⅰ~Ⅲ与 CK 差异不显著。综合以上分析,配方Ⅲ既能充分再利用香菇菌渣营养,同时也利于黑木耳的出耳和生长。

2.4 不同香菇菌渣配比对黑木耳三潮采摘、总鲜耳产量及生物学效率的影响

由表 5 可知,在第一潮采收产量中,配方Ⅲ产量最高,为 389.33 g·袋⁻¹,显著高于 CK 和其余配方,且除 V 与 VI 差异不显著外,在香菇菌渣质量占

比超过 30%后,产量随香菇菌渣质量占比增加而呈显著降低趋势。在第二潮采收产量中,各配方产量显著低于 CK,且除Ⅰ与Ⅱ差异不显著外,配方Ⅲ之后产量随香菇菌渣质量占比增加而亦呈显著降低趋势。在第三潮采收产量中,配方Ⅲ产量最高,为 176.68 g·袋⁻¹,显著高于 CK,高 5.5%;配方Ⅱ为 167.12 g·袋⁻¹,与 CK 差异不显著,其余配方第三潮产量均显著低于 CK。在总鲜耳产量方面,配方Ⅲ总鲜耳产量最高,为 822.72 g·袋⁻¹,总鲜耳产量显著高于 CK,其余配方均显著低于 CK。配方Ⅲ生物学效率最高,为 96.79%,高于 CK,其余配方均低于 CK。在总鲜耳产量方面,配方Ⅰ~Ⅷ呈先升高后降低趋势,生物学效率呈同样趋势,其中配方Ⅲ总产量较配方Ⅷ产量高 36.15%,生物学效率高 25.7 个百分点。

表 5 不同香菇菌渣配比对黑木耳三潮采摘、总鲜耳产量及生物学效率的影响
Table 5 Effects of different *Lentinus edodes* residue ratios on harvest, total yield, and biological efficiency of *Auricularia heimuer*

配方 Formula	每袋鲜耳产量 Fresh yield per flush each bag/g			每袋总鲜耳产量 Total fresh yield each bag/g	生物学效率 Biological efficiency/%
	第一潮 1st flush	第二潮 2nd flush	第三潮 3rd flush		
CK	377.64±0.09 b	259.99±0.20 a	167.47±0.13 b	805.10±0.16 b	94.72
I	367.86±0.19 d	253.74±0.16 c	162.28±0.18 d	783.88±0.15 d	92.22
II	371.92±0.42 c	253.94±0.23 c	167.12±0.21 b	785.41±0.21 c	92.40
III	389.33±0.32 a	256.71±0.18 b	176.68±0.16 a	822.72±0.11 a	96.79
IV	364.66±0.23 e	249.21±0.25 d	163.93±0.17 c	777.80±0.19 e	91.51
V	334.07±0.37 f	231.77±0.16 e	147.31±0.31 e	713.15±0.23 f	83.90
VI	334.30±0.20 f	228.18±0.33 f	140.43±0.28 f	702.91±0.18 g	82.70
VII	330.29±0.14 g	215.25±0.12 g	133.28±0.19 g	678.82±0.29 h	79.86
VIII	294.12±0.17 h	190.06±0.18 h	120.08±0.12 h	604.26±0.31 i	71.09

2.5 不同香菇菌渣配比下黑木耳的效益分析

由表 6 可知,因香菇菌渣成本低,随着添加比例的增加,袋平均投入成本逐渐下降。CK 香菇菌

渣添加比例为 0,成本为 1.82 元·袋⁻¹,为 9 个配方中最高的。在袋平均产出方面,配方Ⅲ最高,为 3.29 元·袋⁻¹,显著高于 CK;除此之外,配方Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ

表 6 不同香菇菌渣配比下黑木耳的效益分析
Table 6 Economic analysis of *Auricularia heimuer* cultivation under different *Lentinus edodes* residue ratios

配方 Formula	每袋干料总质量	平均投入/(元·袋 ⁻¹)	平均产出/(元·袋 ⁻¹)	平均利润/(元·袋 ⁻¹)
	Total dry substrate mass per bag/ kg	Average input cost/ (Yuan·bag ⁻¹)	Average output revenue/ (Yuan·bag ⁻¹)	Average net profit/ (Yuan·bag ⁻¹)
CK	0.85	1.82	3.14±0.03 b	1.35±0.03 b
I	0.85	1.79	3.14±0.03 b	1.35±0.03 b
II	0.85	1.76	3.14±0.04 b	1.38±0.04 b
III	0.85	1.73	3.29±0.06 a	1.56±0.06 a
IV	0.85	1.70	3.11±0.04 b	1.41±0.04 b
V	0.85	1.66	2.85±0.07 c	1.19±0.07 c
VI	0.85	1.63	2.81±0.08 cd	1.18±0.08 cd
VII	0.85	1.60	2.72±0.11 d	1.16±0.11 d
VIII	0.85	1.55	2.42±0.09 e	0.87±0.09 e

均与 CK 差异不显著,但配方 V~VIII 均显著低于 CK。随着香菇菌渣占比的增加,产出逐渐降低,配方 VIII 最低,为 2.42 元·袋⁻¹。袋平均利润与袋平均产出趋势相似,以配方 III 袋平均利润最高,为 1.56 元·袋⁻¹,显著高于 CK 的 1.35 元·袋⁻¹,配方 I、II、IV 与 CK 差异不显著,且配方 V~VIII 袋平均利润逐渐降低,配方 VIII 最低,为 0.87 元·袋⁻¹。

2.6 模糊隶属函数法综合评价

木耳产量和袋平均利润是评价栽培基料配方的主要指标,利用模糊隶属函数法对各基料配方进行综合评价,隶属函数值的范围为 0~1,当隶属函数值越大时,表明该栽培基料配方越适合。由表 7 可知,在菌丝生长速度方面,配方 III 的隶属函数值最大,说明配方 III 菌丝生长最快;耳芽形成时间方

面,配方 III 隶属函数值最小,说明耳芽形成需要的时间最短,配方 VIII 隶属函数值最大,说明耳芽形成需要的时间最长;耳芽长度方面,CK 隶属函数值最大,说明同一时间段内 CK 耳芽长度最长,配方 III 和 V 仅次于 CK;在耳芽宽度方面,配方 III 隶属函数值最大,说明配方 III 的耳芽宽度在同一时间内最宽;在袋产量、生物学效率及袋平均利润方面,配方 III 隶属函数值均为最大,说明在投料质量相同的情况下,配方 III 产量最高,基料利用效率最高、袋平均利润最高;各配方总隶属函数值由大到小排序为配方 III>CK>配方 II>配方 I>配方 IV>配方 V>配方 VI>配方 VII>配方 VIII。综合来看,配方 III 不仅可以作为替代苹果木屑的配方,在一定方面对黑木耳质量的提高有着积极意义。

表 7 各配方隶属函数值及排名

Table 7 Membership function values and rankings of different formulations

配方 Formula	菌丝生长速度 Mycelial growth rate	耳芽形成时间 Primordia initiation time	耳芽长度 Primordia length	耳芽宽度 Primordia width	耳芽厚度 Primordia thickness	袋产量 Yield per bag	生物学效率 Biological efficiency	袋均投入 Input cost per bag	袋均利润 Net profit per bag	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank
CK	0.667	0.286	1.000	1.000	1.000	0.919	0.919	1.000	0.696	7.487	2
I	0.688	0.143	0.867	0.925	0.875	0.822	0.822	0.889	0.696	6.727	4
II	0.750	0.143	0.920	0.938	0.906	0.829	0.829	0.778	0.739	6.832	3
III	1.000	0.000	0.938	1.000	0.938	1.000	1.000	0.667	1.000	7.542	1
IV	0.781	0.286	0.894	0.906	0.781	0.794	0.795	0.556	0.783	6.575	5
V	0.615	0.286	0.938	0.919	0.656	0.498	0.498	0.407	0.464	5.281	6
VI	0.479	0.286	0.841	0.831	0.375	0.452	0.452	0.296	0.449	4.461	7
VII	0.323	0.429	0.248	0.294	0.125	0.341	0.341	0.185	0.420	2.706	8
VIII	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	9

3 讨论与结论

食用菌菌渣的营养成分种类齐全,菌渣还含有多糖类、有机酸类、酶及生物活性物质,可以用于二次种植食用菌,降低种植成本^[10-11]。宫志远等^[1]利用金针菇菌渣种植平菇、秀珍菇和金福菇等,利用杏鲍菇菌渣种植秀珍菇等,取得很好的效果。不同的栽培原料会影响黑木耳菌丝对营养的吸收利用,并进一步影响黑木耳产量和品质^[12-13]。本试验结果表明,配方 I~V 菌丝长势与对照基本相同,即香菇菌渣质量占比在 50%以下时,菌丝长势与对照无显著差异。菌丝颜色与菌丝长势相关联,菌丝长势较弱,菌落中菌丝较为稀疏,菌丝颜色为白色至灰白色^[14],菌丝颜色、生长速度等结果也基本对应了菌丝满袋时间、出耳和鲜耳品质等结果的差异。配方 I~IV 满袋时间基本相同,配方 V~VIII 满袋时间较 CK 与 I~IV 较晚,基本呈现香菇菌渣质量占比越高

而满袋时间越晚、产量也随之下行的趋势。随着香菇菌渣占比的增加,导致培养袋孔隙度越来越小,栽培料透气性变差,造成黑木耳生长慢、产量较低,此结果与包旭翔等^[14]的黑木耳栽培容重影响菌丝生产速度和出耳效果、容重不宜过大的结论相一致。

产品的商品性对产品的价格有着重要影响,黑木耳的商品性主要取决于鲜耳长度、鲜耳宽度、鲜耳厚度方面。与 CK 相比,配方 I~V 在鲜耳宽度方面差异不显著,配方 I~III 在鲜耳厚度方面差异不显著;与 CK 相比,配方 II、III 在鲜耳长度、鲜耳宽度以及鲜耳厚度方面无显著差异,配方 I 仅鲜耳长度显著低于 CK。因此,用香菇菌渣代替苹果木屑,在一定比例下,生产出的黑木耳商品性与未添加香菇菌渣差异不大,能够被市场认可和接受。

综上所述,在本试验条件下,结合模糊隶属函数法综合评价,当以香菇菌渣作为基料栽培黑木耳

(下接第 140 页)

23 份地梢瓜种质资源形态性状遗传多样性分析

魏建婷^{1,2}, 张凤兰^{1,2}, 杨忠仁^{1,2}, 黄修梅², 张晓艳^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院 呼和浩特 010010;

2. 内蒙古自治区野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室 呼和浩特 010010)

摘要: 对 23 份地梢瓜种质资源的 16 项形态指标进行调查观测, 并进行遗传多样性、相关性、主成分和聚类分析, 探究其形态性状遗传多样性, 为地梢瓜遗传育种提供理论依据。结果表明, 23 份地梢瓜资源形态性状的遗传多样性比较丰富, 其多样性指数在 1.48~1.98 之间, 平均为 1.75, 变异系数在 5.71%~60.63% 之间, 平均为 17.67%, 其中花朵数、结果数、坐果数、种子千粒重和种子宽的变异系数大于 15%, 可作为初步选育地梢瓜种质资源的评价指标。相关性分析表明, 有 31 对性状呈极显著正相关或负相关; 主成分分析表明, 前 5 个主成分可以反映出 82.685% 的信息, 其中有 3 份资源的综合得分 ≥ 3 ; 聚类分析可以将 23 份地梢瓜资源分为 3 类。综上, 地梢瓜资源存在丰富的形态变异, 研究结果可为下一步进行遗传改良和育种提供依据。

关键词: 地梢瓜; 种质资源; 形态性状; 遗传多样性

中图分类号: S642.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)11-119-08

Analysis of the morphological traits and genetic diversity of 23 *Cynanchum thesioides* (Freyn) K. Schum. resources

WEI Jianting^{1,2}, ZHANG Fenglan^{1,2}, YANG Zhongren^{1,2}, HUANG Xiumei², ZHANG Xiaoyan^{1,2}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China;

2. Key Laboratory of Wild Endemic Vegetable Germplasm Resources and Germplasm Innovation of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China)

Abstract: A survey was conducted on 16 morphological indicators of 23 accessions of *Cynanchum thesioides* (Freyn) K. Schum., and genetic diversity, correlation, principal component, and cluster analyses were performed to explore the genetic diversity of morphological traits, providing a theoretical basis for the genetic breeding of *C. thesioides*. The results indicate that the genetic diversity of morphological traits among the 23 resources is relatively rich, with a diversity index ranging from 1.48 to 1.98, averaging 1.75, and a coefficient of variation between 5.71% and 60.63%, averaging 17.67%, among them, the coefficient of variation of the number of flower, the number of fruit, the fruit setting rate, the thousand-grain mass of seeds and seed width are all greater than 15%, which can be used as evaluation indicators for the preliminary selection and breeding of the germplasm resources of *C. thesioides*. Correlation analysis indicates that there are 31 pairs of traits showing extremely significant positive or negative correlations. Principal component analysis indicates that the first five principal components can reflect 82.685% of the information, with three resources having a comprehensive score of above three, cluster analysis can categorize the 23 accessions of *C. thesioides* into three groups. In summary, there is rich morphological variation in *C. thesioides* resources, and the research results can provide a basis for further genetic improvement and breeding.

Key words: *Cynanchum thesioides* (Freyn) K. Schum.; Germplasm resource; Morphological trait; Genetic diversity

地梢瓜 [*Cynanchum thesioides* (Freyn) K. Schum.] 是萝藦科鹅绒藤属的多年生直立半灌木, 别名地梢花、女菁、蒿瓜、地瓜瓢、蒿瓜子等, 常生长于山坡、沙丘、荒地及田边等地^[1-4]。地梢瓜嫩果实可

食用, 口感鲜美且营养丰富, 富含多种维生素、矿物质及膳食纤维, 是天然的绿色食品^[5]。同时, 地梢瓜在传统医药领域也具有一定的药用价值, 其全株及果实均可入药, 可作为饲用、药用、食用及工业原

收稿日期: 2025-03-20; 修回日期: 2025-05-20

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2020MS03085); 内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目(种业振兴领军人才专项基金)(BR22-11-06); 内蒙古自治区科技成果转化专项资金项目(2021CG0023); 内蒙古自治区科技计划(2021GG0084)

作者简介: 魏建婷, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为野生与特色蔬菜种质资源创新。E-mail: weijianting945@163.com

通信作者: 张凤兰, 女, 教授, 主要从事种质资源与开发利用研究。E-mail: zhangfenglan041105@163.com

料,也可作为牧草,有利于草场水土保持,是治理荒漠化的先行作物,具有重要的经济和生态价值^[6-8]。地梢瓜的化学成分较为特殊,王玓^[7]从地梢瓜中分离得到 10 种化合物,其中包括 β -香树脂醇乙酸酯、羽扇豆醇乙酸酯、 α -香树脂醇正辛烷酸酯、 α -香树脂醇、 β -香树脂醇、齐墩果酸 6 种三萜类化合物,以及琥珀酸、 β -谷甾醇、胡萝卜苷、阿魏酸。地梢瓜中主要含有三萜类、脂肪酸类、甾醇类、苯丙素类和黄酮类化合物^[8]。王晓华等^[9]研究表明,山东省的地梢瓜烘干全草样品中稀有元素硒含量(w ,后同)为 $14.00\text{ }\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$,远高于其所研究的 104 种野生蔬菜硒含量平均水平,说明地梢瓜具有较强的富硒能力。赵宏宇等^[10]优化了地梢瓜果实总黄酮的提取工艺,使总黄酮的提取量达到 $3.377\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

目前,对地梢瓜的研究主要集中在营养成分及内含物质方面,其他方面相对滞后,特别是在种质资源方面,相较于其他重要经济作物,地梢瓜种质资源的调查、收集与评价工作起步较晚,因此,对其遗传多样性的了解十分有限,严重制约了地梢瓜的品种选育、资源保护以及可持续利用。形态多样性是指生物在形态结构上表现出的丰富差异,涵盖了

从微观细胞结构到宏观个体外形的各个层面^[11]。这种多样性源于遗传变异、环境适应性选择以及进化过程中的随机因素^[12-16],同时,形态多样性也是种质资源遗传多样性研究的重要组成部分,不少学者在包括山药、大豆、辣椒、水稻、大麦等多种作物上都进行了基于形态性状的遗传多样性研究^[17-26]。通过分析遗传多样性,可以确定具有优良性状的基因资源^[22]。鉴于此,笔者对 23 份来源不同的地梢瓜种质资源的形态特征进行统计分析,旨在揭示其形态特征变异规律,明确地梢瓜种质资源的遗传变异特性,以期在地梢瓜的遗传改良和资源利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

23 份地梢瓜种质来源见表 1。

1.2 测定项目与方法

2024 年 4 月中旬育苗,每份种质 10 株,3 次重复,于 5 月末定植于内蒙古农业大学园艺与植物保护学院沙生蔬菜资源圃,地点位于呼和浩特,海拔 1040 m,采用高垄种植,垄距为 80 cm,垄高 20 cm,株距为 50 cm。分别对 23 份地梢瓜种质资

表 1 地梢瓜种质资源来源
Table 1 Source of the tested *Cynanchum thesioides*

编号 No.	类型 Type	来源 Source
DS1	野生 Wild	河北承德 Chengde, Hebei
DS2	野生 Wild	内蒙古鄂尔多斯 Ordos, Inner Mongolia
DS3	野生 Wild	山东沂蒙 Yimeng, Shandong
DS4	野生 Wild	宁夏 Ningxia
DS5	野生 Wild	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Monglia
DS6	野生 Wild	陕西榆林靖边 Jingbian, Yulin, Shaanxi
DS7	野生 Wild	河南鹤壁 Hebi, Henan
DS8	野生 Wild	内蒙古包头市固阳 Guyang, Baotou, Inner Mongolia
DS9	野生 Wild	内蒙古锡林郭勒 Xilinguole, Inner Mongolia
DS10	栽培 Cultivated	内蒙古呼和浩特 Hohhot, Inner Mongolia
DS11	野生 Wild	江苏盐城 Yancheng, Jiangsu
DS12	野生 Wild	山东临沂 Linyi, Shandong
DS13	野生 Wild	甘肃 Gansu
DS14	野生 Wild	内蒙古呼和浩特托克托 Tuoketuo, Hohhot, Inner Mongolia
DS15	野生 Wild	内蒙古通辽扎鲁特 Zhalute, Tongliao, Inner Mongolia
DS16	野生 Wild	内蒙古通辽奈曼 Naiman, Tongliao, Inner Mongolia
DS17	野生 Wild	内蒙古通辽西哲里木 Zhelimu west, Tongliao, Inner Mongolia
DS18	野生 Wild	内蒙古兴安盟科尔沁右翼中旗代钦塔拉 Daiqintala, Keerqinyouyizhongqi, Xing'an, Inner Mongolia
DS19	野生 Wild	内蒙古通辽科尔沁 Keerqin, Tongliao, Inner Mongolia
DS20	栽培 Cultivated	内蒙古包头 Baotou, Inner Mongolia
DS21	野生 Wild	内蒙古锡林郭勒 Xilinguole, Inner Mongolia
DS22	栽培 Cultivated	内蒙古锡林郭勒 Xilinguole, Inner Mongolia
DS23	野生 Wild	河南南阳 Nanyang, Henan

源的 16 个形态性状进行观测,具体测定指标及方法见表 2。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件对数据进行整理并计算各形态性状的最大值、最小值、均值、极差、变异系数和 Shannon-Wiener 多样性指数。多样性指数 (H') 公式为:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i。$$

P_i 表示第 i 种变异类型出现的频率。计算形态性状 Shannon-Wiener 多样性指数时,首先进行 10

级分类处理,按 1 级 $<X-2s$, 2 级 $<X-1.5s$, 3 级 $<X-s$...10 级 $\geq X+2s$ 的标准,每一级相差 $0.5s$,其中, X 为平均值, s 为标准差。采用 SPSS 27.0 对数据进行标准化处理以及相关性、主成分和聚类分析;采用 OriginPro2024 作图。

2 结果与分析

2.1 地梢瓜形态性状变异及遗传多样性分析

23 份地梢瓜资源形态性状多样性分析见表 3,遗传多样性指数在 1.48~1.98 之间,平均为 1.75,其

表 2 地梢瓜形态性状测定指标及方法
Table 2 Determination indexes and methods of phenotypic traits of *Cynanchum thesioides*

序号 Serial number	指标 Index	测定方法 Detection method
1	株幅 Plant amplitude	植株东西长度与南北长度的平均值 The average length of the plant from east to west and from north to south
2	株高 Plant height	测量地面至植株顶部的垂直高度 Measure the vertical height from the ground to the top of the plant
3	株丛面积 Cluster area	测量株丛最大直径以及与株丛最大直径垂直的距离,相乘记为株丛面积 Measure the maximum diameter of the clump and the perpendicular distance to the maximum diameter of the clump, and multiply them to calculate the clump area
4	花朵数 Number of flower	每个植株所有花朵的数量 Number of flower per plant
5	茎粗 Stem thickness	植株贴近地面 1 cm 处的茎粗 The stem thickness of the plant 1 cm close to the ground
6	叶长 Leaf length	旺盛生长期取植株主枝生长均匀的叶片,测量叶基至叶尖的绝对长度 During the vigorous growth period, take evenly grown leaves from the main branches of the plant and measure the absolute length from the leaf base to the leaf tip
7	叶宽 Leaf width	取测量叶长的叶片,测量叶片最宽部分 Take the leaf whose length is measured and measure the widest part of the leaf
8	花序长 Inflorescence length	每个植株成熟花朵的花序长 Inflorescence length of mature flowers per plant
9	单果质量 Single fruit mass	万分之一天平称量果实质量 Weigh the mass of fruit using a 1/10000th scale
10	果长 Fruit length	随机取 10 个果,用直尺测量其长度 Pick 10 fruits at random and measure their lengths with a ruler
11	果宽 Fruit width	取测量果长的果实,测量果实最宽部分 Take the length of the fruit and measure the widest part of the fruit
12	结果数 Number of fruit	植株所有果实的数量 The number of fruit on the plant
13	坐果率 Fruit-setting rate	结果数/花朵数 Number of fruit/Number of flower
14	种子长 Seed length	随机取 10 粒种子,最长部分横向排列,测量其长度,测量值/10,记为种子长 Randomly pick 10 seeds, arrange the longest parts horizontally, and measure their length. The measured value/10 is recorded as the seed length
15	种子宽 Seed width	取测量种子长度的 10 粒种子,最宽部分横向排列,测量其长度,测量值/10,记为种子宽 Take 10 seeds whose lengths are measured, arrange the widest parts horizontally, measure their lengths, and record the measured value/10 as the seed width
16	种子千粒重 1000-grain mass	每 1000 粒种子的质量 Mass per 1000 seeds

表 3 形态性状多样性分析
Table 3 Diversity analysis of morphological traits

性状 Trait	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV/%	遗传多样性指数 H'
株幅 Plant amplitude/cm	17.50	24.17	20.54	6.67	1.52	7.41	1.90
株高 Plant height/cm	12.00	17.00	14.93	5.00	1.48	9.93	1.90
株丛面积 Cluster area/cm ²	222.00	408.33	316.91	186.33	48.54	15.32	1.98
花朵数 Number of flower	3 360.00	22 957.00	9 916.57	19 597.00	6 012.88	60.63	1.87
茎粗 Stem thickness/mm	2.46	3.39	2.80	0.93	0.22	7.90	1.84
叶长 Leaf length/cm	3.93	6.90	4.78	2.97	0.71	14.79	1.80
叶宽 Leaf width/cm	0.30	0.45	0.35	0.15	0.04	11.77	1.68
花序长 Inflorescence length/cm	5.00	7.33	6.00	2.33	0.56	9.32	1.73
单果质量 Single fruit mass/g	4.32	6.47	5.44	2.15	0.51	9.35	1.67
果长 Fruit length/cm	5.80	7.27	6.32	1.47	0.41	6.44	1.59
果宽 Fruit width/cm	1.37	1.73	1.53	0.36	0.09	5.71	1.77
结果数 Number of fruit	16.00	84.00	35.87	68.00	19.08	53.19	1.60
坐果率 Fruit-setting rate/%	0.21	0.53	0.40	0.32	0.09	21.78	1.96
种子长 Seed length/mm	5.00	9.50	6.66	4.50	0.94	14.04	1.58
种子宽 Seed width/mm	3.60	6.53	4.51	2.93	0.73	16.14	1.70
种子千粒重 1000-grain mass/g	4.10	8.92	5.20	4.82	0.99	19.00	1.48

中株丛面积最大,其次为坐果率,种子千粒重最低,具体表现为株丛面积>坐果率>株幅=株高>花朵数>茎粗>叶长>果宽>花序长>种子宽>叶宽>单果质量>结果数>果长>种子长>种子千粒重。16 个形态性状的变异系数在 5.71%~60.63%之间,平均为 17.67%,变异幅度较大。变异系数由大到小表现为花朵数>结果数>坐果率>种子千粒重>种子宽>株丛面积>叶长>种子长>叶宽>株高>单果质量>花序长>茎粗>株幅>果长>果宽,其中花朵数、结果数、坐果率、种子千粒重、种子宽变异系数均大于 15%,说明遗传变异明显,可以作为初步选育地梢瓜种质资源的评价指标。

2.2 地梢瓜形态性状相关性分析

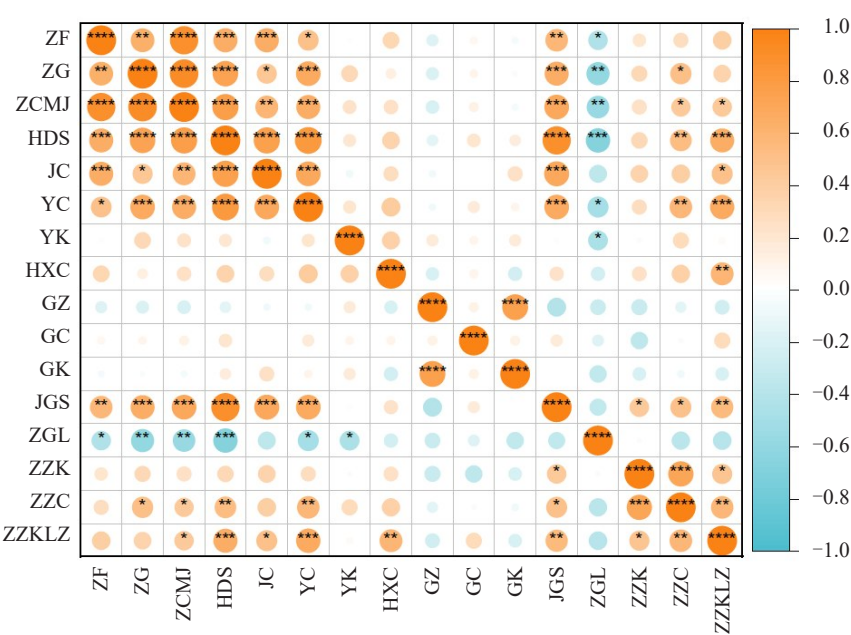
对 23 份地梢瓜资源的 16 个形态性状的相关性进行分析,结果如图 1 所示,16 个形态性状之间存在不同程度的相关性,呈极显著相关的性状有 31 对,其中 28 对性状之间呈极显著正相关,分别为株幅与株高、株丛面积、花朵数、茎粗、结果数;株高与株丛面积、花朵数、叶长、结果数;株丛面积与花朵数、茎粗、叶长、结果数;花朵数与茎粗、叶长、结果数、种子宽、种子千粒重;茎粗与叶长、结果数;叶长与结果数、种子宽、种子千粒重;花序长与种子千粒重;单果质量与果宽;结果数与种子千粒重;种子长与种子宽、种子宽与种子千粒重;3 对呈极显著负相关,分别为坐果率与株高、株丛面积、花朵数。呈显著相关的性状有 12 对,其中 9 对呈显著正相关,分别为株幅与叶长;结果数与种子长;种子宽与株高、株丛面积、结果数;种子千粒重与株丛面积、茎粗、

种子长;3 对呈显著负相关,分别为坐果率与株幅、叶长、叶宽。

2.3 地梢瓜形态性状主成分分析

主成分分析结果见表 4,前 5 个主成分累计贡献率达 82.685%,反映出地梢瓜形态性状的大部分信息。其中第 1 主成分特征值为 6.788,贡献率最高,为 42.424%,株丛面积、株高、株幅、花朵数的特征向量值较大,单果质量和坐果率的特征值为负;第 2 主成分特征值为 2.388,贡献率为 14.926%,种子千粒重、花序长和种子宽的特征向量值较大,单果质量、果宽和坐果率的特征值为负;第 3 主成分特征值为 1.497,贡献率为 9.354%,果宽和单果质量的特征向量值较大,株幅、株高、株丛面积、花序长、结果数、坐果率、种子长、种子千粒重的特征值为负;第 4 主成分特征值为 1.358,贡献率为 8.485%,叶宽和坐果率的特征向量绝对值较大,茎粗、果宽、结果数、坐果率、种子长、种子千粒重的特征值为负;第 5 主成分特征值为 1.199,贡献率为 7.496%,果长和种子长的特征向量绝对值较大,株幅、花朵数、叶长、叶宽、花序长、单果质量、果长、果宽、种子千粒重的特征值为负。

通过主成分分析,将 16 个形态性状降维成 5 个独立综合指标因子。计算出 5 个主成分的贡献权重系数分别为 0.51、0.18、0.11、0.10、0.09。23 份地梢瓜资源的综合得分(表 5)在 0.260~3.687 之间,排在前三位的资源为 DS6、DS4 和 DS5,其特征均为叶片长、植株大且粗壮、开花数



注:****、***、**、*分别表示在 0.000 1、0.001、0.01、0.05 水平上显著相关。ZF. 株幅;ZG. 株高;ZCMJ. 株丛面积;HDS. 花朵数;JC. 茎粗;YC. 叶长;YK. 叶宽;HXC. 花序长;GZ. 单果质量;GC. 果长;GK. 果宽;JGS. 结果数;ZGL. 坐果率;ZCC. 种子长;ZZK. 种子宽;ZZKLZ. 种子千粒重。

Note: ****、***、**、* represent significant correlation at 0.000 1、0.001、0.01、0.05 level, respectively. ZF. Plant amplitude; ZG. Plant height; ZC-MJ. Cluster area; HDS. Number of flower; JC. Stem thickness; YC. Leaf length; YK. Leaf width; HXC. Inflorescence length; GZ. Single fruit mass; GC. Fruit length; GK. Fruit width; JGS. Number of fruit; ZGL. Fruit-setting rate; ZCC. Seed length; ZZK. Seed width; ZZKLZ. 1000-grain mass.

图 1 形态性状间的相关系数

Fig. 1 Correlation coefficient between morphological traits

表 4 形态性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of morphological traits

性状 Trait	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
株幅 Plant amplitude	0.846	0.057	-0.139	0.012	-0.040
株高 Plant height	0.860	0.062	-0.089	0.336	0.134
株丛面积 Cluster area	0.944	0.066	-0.138	0.215	0.022
花朵数 Number of flower	0.843	0.443	0.125	0.034	-0.036
茎粗 Stem thickness	0.712	0.364	0.246	-0.312	0.131
叶长 Leaf length	0.666	0.544	0.132	0.072	-0.011
叶宽 Leaf width	0.068	0.140	0.130	0.894	-0.024
花序长 Inflorescence length	0.079	0.707	-0.242	0.330	-0.096
单果质量 Single fruit mass	-0.192	-0.129	0.866	0.188	-0.110
果长 Fruit length	0.101	0.271	0.079	0.019	-0.825
果宽 Fruit width	0.076	-0.105	0.940	-0.002	-0.064
结果数 Number of fruit	0.778	0.396	-0.080	-0.189	0.054
坐果率 Fruit-setting rate	-0.566	-0.193	-0.376	-0.502	0.064
种子长 Seed length	0.186	0.503	-0.155	-0.107	0.736
种子宽 Seed width	0.326	0.647	0.015	0.235	0.473
种子千粒重 1000-grain mass	0.361	0.840	-0.132	-0.043	-0.090
特征值 Eigenvalue	6.788	2.388	1.497	1.358	1.199
贡献率 Contribution rate/%	42.424	14.926	9.354	8.485	7.496
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	42.424	57.350	66.704	75.189	82.685

表 5 主成分得分
Table 5 Principal component score

编号 No.	主成分 1 Principal component1	主成分 2 Principal component2	主成分 3 Principal component3	主成分 4 Principal component4	主成分 5 Principal component5	综合得分 Score
DS1	2.940	1.644	0.688	1.040	-0.805	1.917
DS2	3.691	2.024	0.377	1.186	0.201	2.442
DS3	1.683	0.704	1.292	0.418	-0.504	1.134
DS4	5.098	3.081	1.705	1.190	-0.164	3.472
DS5	5.010	2.114	0.493	0.026	0.402	3.047
DS6	5.467	4.420	-0.583	0.736	0.819	3.687
DS7	3.781	2.070	0.098	0.253	0.222	2.371
DS8	2.452	1.784	0.608	1.519	0.231	1.826
DS9	2.887	1.835	1.339	0.752	0.729	2.107
DS10	1.792	1.049	0.190	0.047	0.589	1.188
DS11	1.175	0.971	1.349	0.318	0.181	0.980
DS12	0.213	0.592	0.667	-0.175	-0.145	0.260
DS13	1.220	1.342	0.122	0.082	0.587	0.944
DS14	0.702	0.528	0.322	-0.079	0.110	0.494
DS15	1.160	0.875	0.493	0.584	0.228	0.889
DS16	0.983	0.706	0.364	0.155	-0.166	0.674
DS17	0.577	0.988	0.214	-0.222	-0.576	0.423
DS18	0.677	0.769	0.405	0.394	0.020	0.574
DS19	0.857	0.693	0.170	0.225	0.053	0.612
DS20	2.508	1.115	-0.031	0.193	0.388	1.540
DS21	2.469	1.196	0.566	0.759	0.271	1.649
DS22	2.228	1.126	0.217	0.671	0.302	1.467
DS23	2.785	1.659	0.579	0.916	-0.005	1.887

量多、种子大而重,且综合得分均在 3 分以上,综合性状优异。

2.4 地梢瓜形态性状聚类分析

对 23 份地梢瓜的形态数据进行聚类分析,可以将 23 份地梢瓜划分为 3 大类群,结果见图 2,对

各类型的形态性状进行统计,见表 6。第 I 类群包含 DS1、DS2、DS3、DS4、DS8、DS23 等 6 份种质,其特点是叶片较宽,单果实重而大,但坐果率较低,其他性状表现适中;第 II 类群包括 DS9、DS10、DS11、DS12、DS13、DS14、DS15、DS16、DS17、DS18、

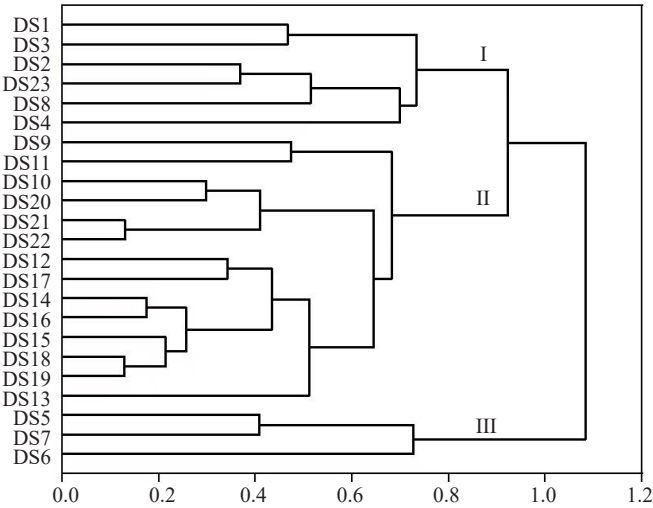


图 2 基于形态性状的聚类分析
Fig. 2 Clustering analysis based on morphological traits

表 6 地梢瓜种质资源各类群形态特征

Table 6 Morphological characteristics of various groups in the germplasm resources of *Cynanchum thesioides*

性状 Trait	第I类群 Group I			第II类群 Group II			第III类群 Group III		
	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 CV/%
株幅 Plant amplitude/cm	21.08	1.49	7.07	19.95	1.06	5.31	22.17	1.57	7.08
株高 Plant height/cm	15.83	0.54	3.38	14.17	1.31	9.27	16.67	0.27	1.63
株丛面积 Cluster area/cm ²	344.94	27.60	8.00	291.97	38.68	13.25	377.26	25.59	6.78
花朵数 Number of florets	13 632.22	3 906.57	28.66	6 078.10	2 062.21	33.93	20 397.78	2 920.92	14.32
茎粗 Stem thickness/mm	2.78	0.29	10.58	2.74	0.10	3.70	3.12	0.14	4.35
叶长 Leaf length/cm	5.05	0.91	18.08	4.47	0.32	7.15	5.68	0.33	5.86
叶宽 Leaf width/cm	0.39	0.04	9.48	0.35	0.04	10.39	0.33	0.03	8.16
花序长 Inflorescence length/cm	6.22	0.57	9.11	5.86	0.41	7.04	6.22	0.79	12.63
单果质量 Single fruit mass/g	5.73	0.44	7.67	5.48	0.38	6.91	4.71	0.36	7.72
果长 Fruit length/cm	6.64	0.44	6.63	6.16	0.30	4.84	6.39	0.28	4.31
果宽 Fruit width/cm	1.57	0.08	5.11	1.53	0.08	5.42	1.48	0.08	5.63
结果数 Number of fruit	37.67	6.47	17.17	25.67	5.96	23.23	79.56	4.90	6.16
坐果率 Fruit-setting rate/%	0.29	0.05	17.46	0.45	0.06	12.34	0.40	0.04	9.79
种子长 Seed length/mm	6.09	0.58	9.56	6.70	0.71	10.60	7.67	1.31	17.12
种子宽 Seed width/mm	4.65	0.44	9.41	4.31	0.61	14.10	5.18	1.05	20.33
种子千粒重 1000-grain mass/g	5.43	0.66	12.21	4.86	0.46	9.39	6.34	1.83	28.83

DS19、DS20、DS21、DS22 等 14 份资源,其中 DS10、DS20 和 DS22 为栽培种,其特点为植株矮小但坐果率较高;第III类群包括 DS5、DS6、DS7 等 3 份资源,其特点为植株高大,种子饱满,开花繁多且花序较长,坐果率较第II类群稍低。

3 讨论与结论

形态性状是经过长期驯化和自然选择形成的,是由基因和环境共同决定的^[27]。对地梢瓜种质资源的表型性状进行调查统计和多样性分析是种质资源研究的重要工作,同时也是获得育种材料的资源基础。笔者收集了来自全国范围内的 23 份地梢瓜种质资源,16 个形态性状的平均遗传多样性指数为 1.75,表明地梢瓜种质具有较高的丰富度。研究表明,群体的表型变异系数大于 10%,则说明其表型差异明显^[26,28]。本研究结果表明,16 个形态性状的变异系数范围为 5.71%~60.63%,其中有 9 个性状大于 10%,大于苜蓿种子的 1.87%~35.18%^[29]、冰草属的 10.93%~45.98%^[30],小于小麦的 4.42%~89.75%^[20],说明收集到的地梢瓜种质资源遗传变异较为丰富,有利于拓宽地梢瓜的遗传背景。

相关性分析能更好地了解作物性状之间的关联程度,不同种质资源的相关性分析对育种前期工作有重要的指导意义^[31]。23 份地梢瓜资源的形态性状相关性分析表明,株幅与株高、株丛面积、花朵

数、茎粗、结果数等均呈显著正相关,其对反映地梢瓜资源形态具有重要的参考依据。

在多样品多指标的综合评价分析中,主成分分析和聚类分析均得到了广泛应用^[21]。主成分分析是通过降维的方式,用少量综合指标代替原来多个指标的大部分信息,将复杂问题简单化,来反映样品基本特征信息。本研究表明,地梢瓜前 5 个主成分累计贡献率达 82.685%,其中 3 份资源的综合得分 ≥ 3 ,表明这些资源在多个性状上表现优异,具有较高的育种潜力,其贡献率低于辣椒的 84.488%^[21],高于新疆冰草属的 74.00%^[32]。

综上所述,笔者针对 23 份地梢瓜资源的形态性状展开深入分析,结果表明,23 份地梢瓜资源形态性状的遗传多样性比较丰富,遗传多样性指数在 1.48~1.98 之间,平均为 1.75;变异系数范围在 5.71%~60.63%之间,平均为 17.67%;相关性分析显示,31 个相关系数达到极显著水平,主成分分析表明,前 5 个主成分累计贡献率达 82.685%;聚类分析可以将 23 份地梢瓜资源分为 3 类。研究结果可为下一步进行地梢瓜遗传改良和育种提供依据。

参考文献

[1] 马玉兰,王晓英,王智慧,等.野生地梢瓜栽培试验[J].中国园艺文摘,2014,30(9):44-45.

[2] 王爱文,罗光宏,陈叶,等.沙生野菜地梢瓜的人工驯化研究初报[J].安徽农学通报,2006,12(10):100.

[3] 杨刚,张永康.地梢瓜的研究进展[J].山东畜牧兽医,2020,41

- (12):54-55.
- [4] 杨忠仁,翟学婧,张晓艳,等.沙生蔬菜地梢瓜新品种沙珍DG-1号[J].种子,2017,36(7):133-134.
- [5] 韩旭.地梢瓜硒蛋白提取工艺优化及体外抗氧化能力分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [6] 丁梦军,郝丽珍,那顺吉日嘎啦,等.内蒙古七种饲用植物的营养成分分析[J].黑龙江畜牧兽医,2017(4):165-167.
- [7] 王玓.地梢瓜果实化学成分及三七中皂苷类成分的研究[D].沈阳:沈阳药科大学,2007.
- [8] 张晓艳.地梢瓜和雀瓢抗旱生理及转录组学分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [9] 王晓华,李桂凤.山东省50种常食野生植物硒含量分析[J].营养学报,2003,25(2):171-2.
- [10] 赵宏宇,黄修梅,张凤兰,等.地梢瓜果实总黄酮提取工艺及抗氧化活性研究[J].饲料研究,2024,47(8):83-87.
- [11] 聂豪杰,程云龙,包玉国,等.稗草种质资源形态性状遗传多样性分析[J].草地学报,2025,33(2):457-464.
- [12] CALLEJAS-DÍAZ M, CLIMENT M J, GRIVET D. A decade of genetic makeup in the aerial seed bank of a fire-evader tree[J]. Fire Ecology, 2024, 20(1):106.
- [13] GERASMIO P R I, BOLOS M R, PLASUS G M M, et al. Low genetic diversity and identification of two management units for tri-spine horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819) in Palawan, Philippines[J]. Zoologischer Anzeiger, 2025, 314: 74-82.
- [14] JAGTAP A Y, JADHAV P R, SAFEENA S A, et al. Integrating molecular and phenotypic approaches to assess genetic diversity in *Heliconia* genotypes[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2024, 72(5):5409-5427.
- [15] KIENTEGA M, MORIANOU I, TRAORÉ N, et al. Genomic analyses revealed low genetic variation in the intron-exon boundary of the doublesex gene within the natural populations of *An. gambiae* s. l. in Burkina Faso[J]. BMC genomics, 2024, 26(1):320.
- [16] KIJAS J, CARVALHEIRO R, MENZIES M, et al. Genome-wide SNP variation reveals genetic structure and high levels of diversity in a global survey of wild and farmed pacific white shrimp[J]. Aquaculture, 2025, 597:741911.
- [17] 陈妍,杨午,万坤,等.基于表型多样性构建山西大豆地方品种核心种质[J].中国油料作物学报,2025,47(1):105-114.
- [18] 陈阳,叶明辉,丛尧华,等.福建省山药资源表型性状遗传多样性分析[J].中国蔬菜,2024(12):48-54.
- [19] 郇战宁,杨永乾,冯辉,等.58份大麦品种(系)主要农艺性状的遗传多样性分析[J].江苏农业科学,2025,53(2):144-149.
- [20] 金京花,李淑芳,赵亚东,等.1775份水稻种质资源重要农艺性状遗传多样性研究[J].植物遗传资源学报,2025,26(3):481-495.
- [21] 任朝辉,何建文,田怀志,等.基于主成分和聚类分析不同辣椒资源农艺和品质性状的综合评价[J].中国瓜菜,2025,38(2):50-58.
- [22] 迟翔丹,赵艳菲,王薇,等.甜瓜种质资源遗传多样性分析与评价[J].中国瓜菜,2024,37(12):19-28.
- [23] 付涛,崔梦楠,杨旻娜,等.云贵川竹节参野生资源的遗传多样性与亲缘关系分析[J/OL]. 分子植物育种, 1-15(2025-03-14). <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20241115.1600.008>.
- [24] 高慧霞,梁云慧,姚妙卓,等.蒙古黄芪全基因组 SSR 分子标记开发与居群遗传多样性分析[J].草地学报,2025,33(3):696-706.
- [25] 郭文慧,周虹宇,张梓,等.963份世界甘蓝型油菜种质资源的表型变异分析[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2025,51(2):240-251.
- [26] 魏书洞,孙晓雪,孟川,等.引进大白菜种质资源表型多样性分析[J].中国瓜菜,2023,36(11):40-49.
- [27] 葛优,曾凯,陈乐文,等.籽瓜及其近缘种表型遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2024,37(12):29-43.
- [28] 杨涛,黄雅婕,李生梅,等.海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J].中国农业科学,2021,54(12):2499-2509.
- [29] 黄雷,谢文辉,鲁林欣,等.59份苜蓿种质种子表型性状遗传多样性分析及评价[J].山东农业科学,2024,56(10):34-42.
- [30] 王通锐,王星,胡鹏飞,等.64份冰草属牧草种质资源表型性状的遗传多样性[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(6):71-81.
- [31] 王成,刘梦珂,郭浩杰,等.谷子高代品系农艺和品质性状遗传多样性分析及综合筛选[J].干旱地区农业研究,2024,42(6):276-284.
- [32] 王毓清,李陈建,孟岩,等.新疆53个冰草属居群表型性状多样性分析及综合评价[J].草业科学,2025,42(4):859-871.