

香菇产量及其构成因素的相关性和回归分析

梁雪迪^{1,2}, 吴杰², 刘金玲², 王昱峰², 刘阳², 张玉亭², 孔维丽², 高玉千¹

(1. 河南农业大学生命科学学院 郑州 450002; 2. 农业农村部黄淮海食用菌种质资源创新与利用重点实验室·河南省农业科学院食用菌研究所 郑州 450002)

摘要: 研究香菇产量及产量构成因素之间的关系, 为香菇育种及栽培提供理论依据, 以河南省参加区试的 9 株香菇菌株为研究材料, 测量了香菇产量及产量构成的 13 个因素, 采用 IBM SPSS Statistics 27 分析软件对产量与产量构成因素进行相关和通径分析, 分析参试香菇品种产量及产量构成因素的变化及关系。结果表明, 参试香菇品种的产量及产量构成因素差异显著, 成菇数与产量呈极显著正相关, 菌盖厚度及菌盖硬度与产量呈显著负相关, 成菇数与菌盖厚度、单菇质量呈显著负相关, 菌盖厚度与菌盖硬度呈显著正相关。通过多元线性回归分析, 以产量(Y)为因变量, 以成菇数(X_1)和菌盖质量(X_2)建立回归模型, $Y = -41.889 + 1.100X_1 + 0.314X_2$ 。进一步进行通径分析的结果表明, 对产量直接贡献值最大的是成菇数, 其次是菌盖质量。综上, 在管理过程中, 提高成菇数量、适宜的菌盖质量可以显著提高香菇产量, 同时也应综合考虑各因素之间的相互作用。高产香菇品种选育中应重点挖掘影响成菇数量的菌盖发育关键的基因。

关键词: 香菇; 产量构成因素; 通径分析; 回归分析

中图分类号: S646.1² 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)10-056-07

Correlation and regression analysis of *Lentinula edodes* yield and its constituent factors

LIANG Xuedi^{1,2}, WU Jie², LIU Jinling², WANG Yufeng², LIU Yang², ZHANG Yuting², KONG Weili², GAO Yuqian¹

(1. College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Key Laboratory of Evaluation and Utilization of Edible Fungi Germplasm Resources in Huang-Huai-Hai Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Edible Fungi, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: In order to study the relationship between the yield of *Lentinula edodes* and its component factors, and to provide theoretical basis for the breeding and cultivation of *Lentinula edodes*. Using 9 strains of *Lentinula edodes* in Henan province as the experimental material, 13 factors of *Lentinula edodes* yield and yield composition were measured. IBM SPSS Statistics 27 analysis software was used to conduct correlation and path analysis of the yield and yield composition factors, and analyze the changes and relationships of the yield and yield composition factors of the tested *Lentinula edodes* varieties. The results showed that there were significant difference in yield and yield components of the tested varieties. The number of finished fruit bodies was positively correlated with the yield, the pileus thickness and the pileus rigidity were negatively correlated with the yield, the number of finished fruitbodies was negatively correlated with the pileus thickness and the mass of single fruiting bodies, and the pileus thickness was positively correlated with the pileus rigidity. Through multiple linear regression analysis, with yield (Y) as the dependent variable, the regression model was established with the number of finished fruitbodies (X_1) and the mass of pileus (X_2), $Y = -41.889 + 1.100X_1 + 0.314X_2$. The results of further path analysis showed that the largest direct contribution value to yield was the number of finished fruitbodies, followed by the mass of pileus. In the process of management, increasing the number of finished fruit bodies and appropriate the mass of pileus can significantly improve the yield of mushroom, and the interaction between various factors should be considered comprehensively. The selection of high-yielding *Lentinula edodes* varieties should focus on the excavation of key genes for pileus development that affect the number of finished fruit bodies.

Key words: *Lentinula edodes*; Yield components; Path analysis; Regression analysis

收稿日期: 2024-06-18; 修回日期: 2024-08-09

基金项目: 河南省现代农业产业技术体系(HARS-22-08-S, HARS-22-08G1)

作者简介: 梁雪迪, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为微生物学。E-mail: 215694807@qq.com

通信作者: 孔维丽, 女, 研究员, 主要从事食用菌育种研究工作。E-mail: kongweili2005@126.com

高玉千, 女, 副教授, 主要从事食用菌育种研究工作。E-mail: 13503869225@163.com

香菇别名中国香菇、香蕈、香信、冬菇、花菇、香蕈,隶属于真菌界担子菌门蘑菇亚门蘑菇纲蘑菇目类脐菇科微香菇属,具有较高的食用、药用和经济价值,在我国广泛种植^[1-2]。据中国食用菌协会统计调查,2022年我国食用菌产量约为4 222.54万t,增长2.14%。其中香菇产量最高,为1 295.48万t,占比约为30.68%^[3]。

提高单位菌棒的产量是香菇生产的主要目标。近年来,在食用菌领域,食用菌产量构成因素与产量的关系颇受关注。董辉等^[4]以68个香菇菌株为试验菌株,采用相关性分析的方法得出单棒产量与鳞片的有无、原基期的长短、单棒菇数、生物学效率呈极显著正相关;与菇峰期、菌盖直径、菌盖厚度、菌柄直径、菌柄厚度、单菇鲜质量呈极显著负相关。林芳灿^[5]以23个香菇菌株为试验材料,采用相关性分析和通径分析的方法,得出成菇数与产量呈极显著正相关,菇峰期与产量呈极显著负相关。林芳灿等^[6]对23个香菇菌株的单菇质量、菌盖直径、菇峰期等8个农艺性状的相关性进行了研究,得出单菇鲜质量与菌盖厚度、菌盖直径、菌柄长度、菌柄直径均呈极显著正相关。张桂香等^[7]以L808为试验菌株,采用相关性分析的方法探究栽培料中碳、氮含量与香菇产量的相关性,得出栽培料中碳、氮含量与香菇产量均有不同程度的相关性。于海龙等^[8]采用相关性分析、通径分析以及多元逐步回归分析探究杏鲍菇主要农艺性状与单菇鲜质量的关系,得出杏鲍菇5个农艺性状与单菇鲜质量有不同程度的相关性。吴杰等^[9]对41个平菇菌株的产量及其8个产量构成因素进行相关性、逐步多元回归及通径分析,得出一茬菇产量与菌盖宽度、菌盖厚度、菌柄直径、出菇率这4个性状显著相关,菌盖宽度和出菇率与产量呈极显著正相关,菌盖厚度与产量呈极显著负相关。产量构成因素等不同品种间子实体性状差异较大,对产量构成要素的研究方法及结果不尽相同,重复的验证结论较少。

香菇是生育期较长的食用菌品种之一,产量受自身及环境因子等多种因素的影响,品种、原料配方、养菌期温度、出菇温度、二氧化碳浓度、生育期、出菇密度、外观形态等均影响香菇产量。在本研究中,以参加河南省区试的9个香菇品种为试验菌株,采用相关性分析、通径分析和多元逐步回归分析的方法对产量及产量构成因素进行分析,研究各产量构成因素之间的相关性以及与产量的相关性,并建立产量构成因素回归模型,利用通径分析将香

菇产量与产量构成因素之间的相关系数分解为直接作用和间接作用,探究香菇产量与产量构成因素之间的相关性,为制定香菇育种技术方案奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 参试菌株 以河南省食用菌种质资源库收集保存的9株香菇菌株为研究材料,按照香1~香9对其编号(表1)。

表1 9株香菇品种编号

Table 1 9 *Lentinula edodes* variety numbers

编号 Number	名称 Name
香1 No. 1	豫香3号 Yuxiang 3
香2 No. 2	驻香1号 Zhuxiang 1
香3 No. 3	秋香1号 Qiuxiang 1
香4 No. 4	宛T08 Wan T08
香5 No. 5	宛Z163 Wan Z163
香6 No. 6	金海F6 Jinhai F6
香7 No. 7	夏香2号 Xiexiang 2
香8 No. 8	香808 Xiang 808
香9 No. 9	金菇5号 Jingu 5

1.1.2 培养基 母种培养基配方:PDA粉37g、蛋白胨2g、KH₂PO₄1g、MgSO₄0.5g、水1L;原种培养基配方:小麦97%、白糖1%、石膏1%、CaCO₃1%;栽培袋配方:栎木屑81%、麸皮18%、石膏1%。

1.2 方法

于2023年9月19日制作菌棒,菌棒制作委托河南金海生物科技有限公司完成,栽培种由河南省农业科学院食用菌研究所提供。按照配方将栎木屑、麸皮、石膏提前15d预湿,加入拌料机搅拌均匀,培养料含水量50%~51%。采用17cm×57cm的高密度聚乙烯菌袋,一端封口,一端系口,菌袋单袋质量为2.7kg左右。113℃高温高压灭菌5h,灭菌后培养料含水量49%左右,冷却室降温至25℃左右时接种,无菌接种间内臭氧消毒2h,采用无菌接种方式。利用前期制作的16.5cm×35cm、1.2kg的木屑菌棒进行打穴接种,每棒4穴,每穴直径

3 cm,穴深4 cm,接种量为5%。每个品种接60袋,接种后培养袋放入25℃发菌室培养至菌丝满袋。菌丝发满菌棒运送至河南省新乡市平原新区河南现代农业开发基地进行转色管理。

2023年11月8日进行转色刺孔处理,每袋刺孔数量84~96个,转色条件:温度为20~22℃,LED条带灯光照射,室内相对湿度为50%±2%,每间隔2~3 h通风换气1次,每次10~15 min,保证通风良好。

2023年12月3日,转色完成后进行脱袋入棚出菇管理,大棚为日光温室型,加盖保温被和黑白膜,层架出菇,三茬出菇时间为2024年1月16日至2024年5月13日,共采收3茬香菇。

每一茬选取10~20朵具有代表性的成菇,共选3茬。测量母种菌丝长速、菌棒菌丝长速、菌龄、出菇温度、成菇数、菌盖直径、菌盖厚度、菌盖质量、菌盖硬度、菌柄长度、菌柄直径、菌柄质量、单菇质量等13个农艺性状,待子实体成熟后称产量。分析数据为所选取香菇子实体平均数据,测量方法参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试

指南——香菇》,菌盖硬度测定参照刘芹等^[10]方法,见表2。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel进行数据处理及图表绘制,用IBM SPSS Statistics 27进行相关性和回归统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同香菇品种的产量及产量构成因素变化及变异程度分析

由表3可以得出,不同的香菇供试菌株的主要农艺性状及产量均有不同程度的差异。其中香9产量最高,为94.25 kg;香5产量最低,为17.80 kg。香2、香3在PDA培养皿中菌丝长速较快,但在木屑菌袋中菌丝长速相对较慢。香2菌盖厚度最大。香9在PDA培养皿中菌丝长速最慢。香1的菌棒菌丝长速、出菇温度、菌盖质量、菌柄长度、菌柄直径、菌柄质量、菌盖硬度、单菇质量均为最高。香4菌龄最长,为120 d;香3菌龄最短,为80 d。香2、香5出菇温度最低。香9成菇数最多,为4100

表2 本试验中农艺性状测量标准

Table 2 Standards for measuring agronomic traits

性状 Trait	描述 Description
母种菌丝长速 Mycelial growth rate of the parent species, PGR	在PDA培养基上的菌丝生长速度 Mycelium growth rate on PDA
菌棒菌丝长速 Mycelium growth rate of the stick, SGR	在菌棒中菌丝生长速度 Growth rate of mycelium in mycelium sticks
菌龄 Mushroom age, MA	菌袋发菌期至现蕾总天数 Total number of days from mycelium germination to bud emergence
出菇温度 Mushroom growth temperature, MGT	现蕾当天全天温度平均值 Average temperature of the whole day of the budding day
成菇数 Number of finished fruitbodies, NF	子实体菌膜破裂时采收的总数量 Total quantity harvested when the fruiting body membrane breaks
菌盖直径 Pileus diameter, PD	菌盖最长部位 The longest part of the pileus
菌盖厚度 Pileus thickness, PT	菌盖平均厚度,测量菌盖最厚部位 Average thickness of the pileus, measuring the thickest part of the pileus
菌盖质量 Pileus weight, PW	菌盖平均质量 The average weight of the pileus
菌盖硬度 Pileus rigidity, PR	菌盖中心部位1 cm ³ 大小的坚硬程度 Hardness of 1 cm ³ in the center of the pileus
菌柄长度 Stipe length, SL	菌柄平均长度 The average length of the stipe
菌柄直径 Stipe diameter, SD	菌柄平均直径,测量菌柄中部 Mean diameter of stipe, measuring the middle of stipe
菌柄质量 Stipe weight, SW	菌柄平均质量 The average weight of the stipe
单菇质量 Weight of single fruiting bodies, WF	收获期间的单菇鲜质量 Fresh weight of single mushrooms during harvest
产量 Yield, Y	所有菌袋三茬成熟子实体鲜质量的总和 The sum of the fresh weight of the mature fruiting bodies of the three stages of all the bags

表3 不同香菇品种产量及产量构成因素变化
Table 3 Changes of yield and yield component factors of different *Lentinula edodes* varieties

品种 Variety	母种菌丝 长速 PGR/ (cm·d ⁻¹)	菌棒菌丝 长速 SGR/ (cm·d ⁻¹)	菌龄 MA/ d	出菇 温度 MGT/°C	成菇数 NF	菌盖 直径 PD/cm	菌盖 厚度 PT/cm	菌盖 质量 PW/g	菌柄 长度 SL/cm	菌柄 直径 SD/cm	菌柄 质量 SW/g	菌盖 硬度 PR/N	单菇 质量 WF/g	产量 Y/kg
香 1 No. 1	0.63	0.48	106	11.58	796	6.04	1.58	20.93	5.32	1.96	14.57	45.12	35.50	26.94
香 2 No. 2	0.77	0.41	105	4.12	1246	5.50	1.67	16.55	4.43	1.49	8.19	37.95	30.23	32.29
香 3 No. 3	0.78	0.26	80	5.18	1604	5.62	1.62	18.58	4.60	1.52	6.82	44.06	31.33	35.96
香 4 No. 4	0.58	0.35	120	5.18	2203	5.14	1.43	11.46	3.98	1.43	5.66	40.02	19.90	31.66
香 5 No. 5	0.65	0.26	100	4.12	510	5.56	1.55	20.76	4.87	1.73	10.80	37.89	35.33	17.80
香 6 No. 6	0.76	0.23	102	5.08	2103	5.56	1.26	18.11	4.36	1.52	5.97	36.18	25.43	50.30
香 7 No. 7	0.75	0.28	102	5.08	2091	6.05	1.41	18.04	4.67	1.59	8.26	33.66	25.73	51.29
香 8 No. 8	0.64	0.17	100	5.69	1273	5.32	1.61	15.36	4.87	1.37	6.19	41.08	28.00	31.10
香 9 No. 9	0.46	0.31	100	11.56	4100	5.73	1.31	15.85	4.47	1.48	7.93	31.73	23.78	94.25

朵;香 5 成菇数最少,为 510 朵。香 7 菌盖直径最大,但菌盖厚度、菌盖硬度均较小。香 4 菌盖质量、菌盖直径、单菇质量均为最小。

采用变异系数(CV)衡量产量构成因素的变异幅度。由表 4 可知,香菇各产量构成因素的变异程度不同,各产量构成因素的变异系数为 8.57%~58.21%。变异系数最大的构成因素是成菇数,为 58.21%;最小的构成因素是菌盖直径,为 8.57%。变异系数从大到小依次为:成菇数>菌柄质量>出菇温度>菌棒菌丝长速>单菇质量>菌盖质量>菌柄直径>菌盖硬度>菌柄长度>菌盖厚度>母种菌丝长速>菌龄>菌盖直径,说明菌盖直径在不同香菇品种之间变化较小,且不同的香菇品种成菇数差异较大。

2.2 不同香菇产量构成因素与产量的相关性

由表 5 可知,不同香菇产量构成因素之间存在

不同程度的相关性。其中,母种菌丝长速与出菇温度呈显著负相关,相关系数为-0.667,即母种菌丝长速越快,出菇温度越低;成菇数与菌盖厚度、单菇质量均呈显著负相关,相关系数分别是-0.716、-0.749,即成菇数越多,菌盖越薄,单菇质量越轻;菌盖直径与菌盖质量、菌柄直径均呈显著正相关,相关系数分别是 0.701、0.680,即菌盖越大,菌盖越重,菌柄越粗;菌盖质量与菌柄长度、菌柄直径、菌柄质量均呈显著正相关,相关系数分别是 0.767、0.780、0.716,与单菇质量呈极显著正相关,相关系数为 0.854,即菌盖越重,则菌柄越长、越粗、越重,单菇质量越重;菌柄长度与菌柄直径、菌柄质量呈显著正相关,相关系数分别是 0.728、0.796,与单菇质量呈极显著正相关,相关系数为 0.815,即菌柄越长,菌柄越粗、越重,单菇质量越重;菌柄直径与菌柄质量呈极显著正相关,相关系数为 0.947,与单

表 4 香菇产量构成因素变异结果
Table 4 Variation results of yield composition factors of *Lentinula edodes*

性状 Characters	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variable coefficient/%
母种菌丝长速 PGR/(cm·d ⁻¹)	0.80	0.45	0.67	0.10	14.93
菌棒菌丝长速 SGR/(cm·d ⁻¹)	0.62	0.12	0.30	0.13	43.33
菌龄 MA/d	120.00	80.00	101.70	9.68	9.52
出菇温度 MGT/°C	13.80	3.70	6.51	3.11	47.77
成菇数 NF	142.00	1 415.00	589.59	343.20	58.21
菌盖直径 PD/cm	7.70	5.50	6.42	0.55	8.57
菌盖厚度 PT/cm	2.50	1.20	1.65	0.31	18.79
菌盖质量 PW/g	29.04	10.24	18.66	5.10	27.33
菌柄长度 SL/cm	6.00	2.10	4.15	0.79	19.04
菌柄直径 SD/cm	2.80	0.90	1.74	0.43	24.71
菌柄质量 SW/g	23.55	4.53	9.15	4.42	48.31
菌盖硬度 PR/N	60.54	24.23	41.12	9.21	22.40
单菇质量 WF/g	50.32	16.34	27.82	8.61	30.94

表5 香菇产量与产量构成因素间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between total *Lentinula edodes* yield and the components of total yield

性状 Characters	PGR	BGR	MA	MGT	NF	PD	PT	PW	SL	SD	SW	PR	WF	Y
PGR	1													
BGR	-0.122	1												
MA	-0.385	0.412	1											
MGT	-0.667*	0.453	0.059	1										
NF	-0.513	-0.128	0.056	0.046	1									
PD	0.121	0.332	-0.278	0.485	0.016	1								
PT	0.317	0.231	-0.254	-0.219	-0.716*	-0.098	1							
PW	0.348	0.109	-0.054	0.144	-0.491	0.701*	0.204	1						
SL	0.028	0.165	-0.036	0.397	-0.538	0.610	0.436	0.767*	1					
SD	0.021	0.576	0.011	0.412	-0.477	0.680*	0.168	0.780*	0.728*	1				
SW	-0.127	0.635	0.041	0.514	-0.445	0.658	0.305	0.716*	0.796*	0.947**	1			
PR	0.240	0.274	-0.164	0.009	-0.665	-0.120	0.678*	0.191	0.410	0.342	0.301	1		
WF	0.300	0.229	-0.435	0.060	-0.749*	0.405	0.646	0.854**	0.815**	0.715*	0.748*	0.509	1	
Y	-0.456	-0.122	-0.097	0.511	0.946**	0.253	-0.684*	-0.227	-0.300	-0.318	-0.261	-0.716*	-0.539	1

注:*和**分别表示在 0.05 水平显著相关和 0.01 水平极显著相关。下同。

Note: * and ** mean significant correlation at 0.05 and extremely significant correlation at 0.01, respectively. The same below.

菇质量呈显著正相关,相关系数为 0.715,即菌柄越粗菌柄越重,单菇质量越重;菌柄质量与单菇质量呈显著正相关,相关系数为 0.748,即菌柄越重,单菇质量越重;产量与成菇数呈极显著正相关,相关系数为 0.946,与菌盖厚度呈显著负相关,相关系数为-0.684,与菌盖硬度呈显著负相关,相关系数为-0.716,即成菇数越多,产量越高;菌盖越厚,产量越低;菌盖越硬,产量越低。

2.3 香菇产量与产量构成因素的回归分析

通过逐步回归分析从所有可供选择的自变量中逐步加入或剔除某个自变量,直到建立最优回归方程模型 2 为止(表 6)。由表 6 可知,随着自变量的引入,相关系数 R 和决定系数 R^2 逐渐增大,表明引入的变量对产量的作用在逐渐增大。

由表 7 可知,共建立 2 个回归模型,模型 2 是最优回归模型,成菇数对产量的影响最大,标准回归系数为 1.100,其次是菌盖质量,标准回归系数是 0.314。由此可得出,在香菇产量构成因素中,相比菌盖质量,成菇数对产量具有更直接的作用,但各农艺性状之间的相互作用对产量也会存在间接作用。以产量(Y)为因变量,以成菇数(X_1)、菌盖质量(X_2)为自变量,建立最优线性回归方程, $Y=-41.889+1.100X_1+0.314X_2$,当成菇数(X_1)每增加 1 朵,菌盖质量的取值固定在试验范围内的某一水平时,产量增加 1.100 kg;当菌盖质量(X_2)每增加 1 g,

成菇数的取值固定在试验范围内的某一水平时,产量增加 0.314 kg。为了验证回归模型的可靠性,对表 7 的回归模型进行共线性诊断,得出 VIF 均 <2 (表 7),说明不存在多重共线性,表明该回归方程具有可靠性。

2.4 香菇产量与产量构成因素的通径分析

通径分析是在相关性分析和回归分析的基础上,利用通径系数分析法将相关系数分为直接通径系数和间接通径系数。由于不同的香菇产量构成因素之间存在相互作用,仅通过相关性分析不能完全反映各产量构成因素对产量的重要性,因此,需要进一步对产量构成因素与产量进行通径分析,进一步确定各产量构成因素对产量的具体效应。成菇数和菌盖质量的相关系数为 $r=-0.491$ (表 5),菌盖质量对产量的标准回归系数即为直接通径系数 $P_1=0.314$ (表 7),同理,成菇数对产量的直接通径系数 $P_2=1.100$ (表 7),由此可求出成菇数通过菌盖质量对产量的间接通径系数为 $P_1 \times r=0.314 \times (-0.491)=-0.1542$,同理可求出菌盖质量通过成菇数对产量的间接通径系数为 $P_2 \times r=1.100 \times (-0.491)=-0.5401$ 。由表 8 可知,成菇数的直接通径系数为 1.100,远大于菌盖质量的直接通径系数,说明成菇数是影响产量的重要因素。成菇数通过菌盖质量与产量的间接通径系数为-0.1542,菌盖质量通过成菇数与总产量的间接通径系数

表6 回归方程模型概述输出结果
Table 6 Output results of regression equation model

模型 Model	相关系数 R Correlation coefficient	决定系数 R ² Coefficient of determination	调整系数 Coefficient of adjust	标准估计误差 Error of standard estimation
1	0.946 a	0.894	0.879	7.82
2	0.984 b	0.969	0.958	4.59

注:a 预测变量(常量):成菇数;b 预测变量(常量):成菇数,菌盖质量。

Note: a. Predictors (constant): Number of finished fruitbodies; b. Predictors (constant): Number of finished fruitbodies, Pileus weight.

表7 香菇产量和产量构成因素的多元标准回归分析
Table 7 Multiple standard regression analysis of yield and yield components of *Lentinus edodes*

模型 Model		非标准化回归系数 Non-standardized regression coefficient		标准回归系数 Standard regression		共线性统计 Collinearity statistics		
		B	标准误差 Standard error	t	Sig.	容差 Tolerance		VIF
1	常量 Constant	5.626	5.320		1.057	0.325		
	成菇数 NF	0.020	0.003	0.946	7.691	<0.001**	1.000	1.000
2	常量 Constant	-41.889	12.916		-3.243	0.018		
	成菇数 NF	0.023	0.002	1.100	13.291	<0.001**	0.759	1.318
	菌盖质量 PW	2.412	0.636	0.314	3.791	0.009**	0.759	1.318

表8 香菇产量与产量构成因素的通径分析
Table 8 Passage analysis of total *Lentinula edodes* production and yield components production and yield components

产量构成因素 Yield component	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		总计 Total
		成菇数 NF	菌盖质量 PW	
成菇数 NF	1.100		-0.154 2	-0.154 2
菌盖质量 PW	0.314	-0.540 1		-0.540 1

为-0.540 1。

3 讨论与结论

了解香菇产量及产量构成因素的变化规律和差异,有助于香菇种质资源的创新与利用和育种目标性状的确定,同时结合高产栽培管理技术,能最大程度地发挥香菇品种内在的生产潜力。变异系数反映品种的静态稳定性,变异系数越小,说明品种的静态稳定性越好^[11]。本研究结果表明,参试的香菇菌株的产量构成因素变异系数为 8.57%~58.21%,说明其受栽培因素和环境条件的影响较大。香菇产量与成菇数呈极显著正相关,相关系数为 0.946,这与林芳灿^[5]和林范学等^[12]的试验结果相似。林方灿^[5]对香菇主要数量的遗传相关及通径分析结果表明,菇数与产量成极显著正相关,相关系数为 0.887 7。林范学等^[12]对香菇数量性状因子的分析结果表明,菇数和鲜菇产量呈极显著正相关,相关系数为 0.84。同时,香菇产量与菌盖厚度、菌盖硬度均呈显著负相关,相关系数分别

为-0.684、-0.716。

通径分析是在相关分析和回归分析的基础上,进一步研究自变量和因变量之间的关系,并将相关系数分解为直接通径系数和间接通径系数,揭示了各因子对产量的重要性,比相关分析和回归分析更加精确合理^[13]。通过通径分析可知,13 个产量构成因素中成菇数对香菇产量贡献值最大,这与林芳灿^[5]的试验结果相似,其次是菌盖质量,二者的直接通径系数相差较大。同时,以 13 个产量构成因素与产量进行逐步回归分析得到成菇数(X_1)、菌盖质量(X_2)对产量(Y)具有显著影响,建立最优线性回归方程, $Y=-41.889+1.100 X_1+0.314 X_2$,当成菇数量增加时,对产量的提高有较明显的作用。

相关性分析表明,香菇产量与成菇数呈极显著正相关;成菇数受菌盖厚度、单菇质量的影响,且均与成菇数呈显著负相关;菌盖厚度与菌盖硬度呈显著正相关,可通过降低菌盖硬度来降低菌盖厚度,进而提高成菇数量和产量。单菇质量与菌柄长度呈极显著正相关,相关系数为 0.815,这与林芳灿

等^[6]的试验结果相似,林芳灿等对香菇主要数量性状遗传率及相关性研究结果表明,单菇鲜质量与菌柄长度呈极显著正相关,相关系数为0.70。同时,单菇鲜质量与菌柄直径、菌柄质量呈显著正相关,与菌盖质量呈极显著正相关;菌盖质量与菌盖厚度相关性不显著,主要考虑菇质对菌盖质量的影响。可通过降低菌柄的营养利用价值以及降低菌盖质量,进而降低单菇质量,提高成菇数,提高香菇产量。

参试香菇品种的产量与产量构成因素呈不同程度的相关性,其中成菇数与产量呈极显著正相关,菌盖质量通过成菇数对产量产生间接作用,提高成菇数量和适宜的菌盖质量可以显著提高香菇产量,高产香菇品种选育中应重点关注影响成菇数量的菌盖发育关键基因的挖掘。另外,通过相关性分析可以得出,成菇数受单菇质量影响较大,同时单菇质量受菌柄影响较为明显,后续可围绕菌柄与产量的相关性进行深入研究。

参考文献

- [1] XU L, FANG X J, WU W J, et al. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 406-413.
- [2] 靳荣线, 李峰, 邹明, 等. 基于主成分分析法的不同等级香菇品质评价[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(8): 50-56.
- [3] 中国食用菌协会. 2022年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2024, 43(1): 118-126.
- [4] 董辉, 尚晓冬, 曹晖, 等. 若干香菇菌株出菇性状与产量的相关性因子分析[J]. 食药菌, 2012, 20(4): 222-225.
- [5] 林芳灿. 香菇主要数量性状的遗传相关及通径分析[J]. 食用菌学报, 1995, 2(2): 9-12.
- [6] 林芳灿, 高国琪, 张晓昱, 等. 香菇主要数量性状遗传率及相关性研究[J]. 华中农业大学学报, 1993, 12(1): 27-30.
- [7] 张桂香, 杨建杰, 刘明军, 等. 香菇培养料主要营养物质吸收利用规律与产量和产品品质的相关性分析[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(1): 81-85.
- [8] 于海龙, 郭倩, 杨娟, 等. 杏鲍菇主要农艺性状与单菇产量的相关分析及通径分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 13024-13025.
- [9] 吴杰, 师子文, 崔筱, 等. 平菇杂交品种产量及其构成因素的相关性及回归分析[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 42-47.
- [10] 刘芹, 胡素娟, 牛森园, 等. 不同干燥方式对香菇品质、质构和微观结构的影响[J]. 北方园艺, 2023(11): 98-106.
- [11] 朱红彩, 范永胜, 王玲燕, 等. 新麦32产量及其构成因素相关性分析和通径分析[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(17): 13-15.
- [12] 林范学, 程水明, 潘迎捷. 香菇数量性状的因子分析[J]. 菌物学报, 2004, 23(4): 502-507.
- [13] 段银妹, 陈国琛, 尹雪芬, 等. 凤豆十八号产量组成因子的相关分析及通径分析[J]. 农业科技通讯, 2018(12): 142-144.