

平菇杂交品种产量及其构成因素的相关性及回归分析

吴杰^{1,2}, 师子文², 崔筱², 胡素娟², 刘芹², 张玉亭², 孔维丽²

(1.河南农业大学生命科学学院 郑州 450002; 2.河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 郑州 450002)

摘要: 为了研究平菇一茬菇产量及产量构成要素之间的关系,为平菇工厂化高产育种及管理提供依据,测量了41个平菇菌株的产量及产量构成的8个因素,即出菇率、平均朵片数、20片菇质量、菌盖长度、菌盖宽度、菌盖厚度、菌柄长度、菌柄直径,应用SPSS 22对各性状因子与产量之间进行相关性、逐步多元回归及通径分析。结果表明,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;进一步进行通径分析的结果表明,菌盖宽度(X_2)和出菇率(X_6)两者与一茬菇产量呈极显著正相关,菌盖厚度(X_3)与一茬菇产量呈极显著负相关,出菇率对产量的直接通径系数为0.552,相关系数达到0.704,是对产量直接作用最大的性状,与逐步回归分析结果一致,以出菇率、菌盖厚度、菌盖宽度为3要素的一茬菇产量最优的回归模型为 $Y=0.270 X_2-0.359 X_3+0.552 X_6$ 。提高出菇率能够显著提高平菇一茬菇产量,适当增加菌盖宽度、减少菌盖厚度可以提高平菇产量,应综合考虑各因素之间互相协调。

关键词: 平菇;产量;相关性;通径分析;回归分析

中图分类号:S646.1⁴ 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2023)01-042-06

Correlation and regression analysis of yield and its components of oyster mushroom hybrid varieties

WU Jie^{1,2}, SHI Ziwen², CUI Xiao², HU Sujuan², LIU Qin², ZHANG Yuting², KONG Weili²

(1.College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2.Institute of Plant Nutrition and Resources and Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: The research aimed to study the relationship between the yield of one crop of oyster mushroom and its components, and to provide the basis for industrialized high-yield breeding and management of oyster mushroom. The yield of 41 oyster mushroom strains and 8 factors of yield composition were measured: fruiting rate, average number of florets, weight of 20 pieces of mushrooms, cap length, width and thickness, stem length and diameter. Correlation, stepwise multiple regression and general economic analysis were performed between them. The results showed that the yield of one batch of mushrooms was significantly correlated with the four traits of cap width, thickness, stalk diameter, and fruiting rate. Further path analysis showed that the mushroom cap width (X_2) and mushroom yield (X_6) were significantly positively correlated with the yield of one crop, and the mushroom cap thickness (X_3) was significantly negatively correlated with the yield of one crop. The direct path coefficient of fruiting rate to yield was $P=0.552$, and the correlation coefficient reached 0.704, which was the trait with the greatest direct effect on yield, which was consistent with the results of stepwise regression analysis. The optimal regression model for the yield of one crop of mushrooms with the three factors of rate, cap thickness and cap width was: $Y=0.270 X_2-0.359 X_3+0.552 X_6$. Increasing the mushroom yield can significantly increase the yield of oyster mushrooms, appropriately increasing the width of the cap and reducing the thickness of the cap can increase the yield of oyster mushrooms, and it is necessary to comprehensively consider the coordination between various factors.

Key words: Oyster mushroom; Yield; Correlation; Path analysis; Regression analysis

平菇因具有丰富的蛋白质、氨基酸等营养物质和显著的抗病毒、抗氧化效果^[1-2],在全球范围内广泛种植。平菇是我国第三大食用菌栽培种类,2020

年总产量682.96万t,主要分布在山东、河南、河北黄淮海地区,其中河南平菇产量达117.17万t,占全国产量的17.2%^[3]。随着居民收入增加,保健意识增

收稿日期:2022-06-24;修回日期:2022-11-02

基金项目:河南省重大公益性专项(201300110700);河南省现代农业产业技术体系专项资金(S2013-09、S2013-09-G02)

作者简介:吴杰,男,在读硕士研究生,研究方向为微生物学。E-mail:884690543@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

强,对鲜平菇周年消费需求逐年增加^[4],分散栽培模式以季节性供应为主,工厂化周年生产模式成为未来平菇发展方向,工厂化平菇品种要求第一茬菇生物学效率须突破60%^[5],高产是平菇工厂化育种的核心指标。平菇产量受多个因子控制,对产量构成因子进行准确分析,研究各性状因子与产量的相关性及其相互之间的关系,对把握育种目标,指导平菇品种选育意义重大。产量构成因素与产量的关系及在产量组成中的作用一直是近年来食用菌育种关注的问题,途径分析及多元回归方法常用于玉米^[6]、水稻^[7]、花生^[8]产量及产量构成因素的研究。食用菌产量与产量构成因子的分析文献较少,盛春鸽等^[9]采用途径及多元回归分析方法得到了平菇产量与生育期、菌盖厚度、单菇数、整齐度等因素的回归方程。刘立恒等^[10]采用相关性及途径分析发现菌盖直径、菌盖厚度和菌柄长度3个栽培性状对产量影响最大。董辉等^[11]应用单棒菇数、菌盖直径、污染率等3个出菇性状指标对香菇单棒产量进行了回归分析,并得到产量与3个因素的回归方程。现有报

道对产量构成采集的因素并不完全一致,还需要进一步验证。对于平菇工厂栽培品种的产量构成因素分析尚未见报道,笔者以杂交选育的41个平菇菌株为试验菌株,采用途径分析及逐步多元回归分析的方法对产量构成的8个因子与一茬菇产量进行分析,研究各性状在产量组成中的相对重要性及各性状间的相关性,建立产量构成回归模型,指导平菇工厂化生产改善管理措施,协调各性状达到最佳程度,从而为平菇高产育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 参试菌株

以收集保存的41个平菇菌株种质资源为研究材料,均来源于河南省食用菌种质资源库,按照PZ01~PZ41对材料进行编号,41个菌株由栽培菌株黑抗650与5个野生菌株驻研1号(ZY-1)、NY-2、NY-3、卢氏野生平菇(LP)、陕州野生平菇(SP)通过单孢杂交获得(表1)。

1.2 参试培养基

表1 参试菌株信息

菌株编号	亲本	菌株编号	亲本	菌株编号	亲本
PZ01	黑抗 650×NY-2	PZ15	黑抗 650×LP	PZ29	黑抗 650×NY-2
PZ02	黑抗 650×NY-2	PZ16	黑抗 650×NY-2	PZ30	黑抗 650×NY-2
PZ03	黑抗 650×NY-3	PZ17	黑抗 650×NY-2	PZ31	黑抗 650×NY-3
PZ04	黑抗 650×NY-3	PZ18	黑抗 650×ZY-1	PZ32	黑抗 650×NY-2
PZ05	黑抗 650×NY-3	PZ19	黑抗 650×ZY-1	PZ33	黑抗 650×SP
PZ06	黑抗 650×NY-3	PZ20	黑抗 650×ZY-1	PZ34	黑抗 650×SP
PZ07	黑抗 650×NY-2	PZ21	黑抗 650×NY-2	PZ35	黑抗 650×NY-3
PZ08	黑抗 650×NY-3	PZ22	黑抗 650×ZY-1	PZ36	黑抗 650×NY-2
PZ09	黑抗 650×NY-2	PZ23	黑抗 650×ZY-1	PZ37	黑抗 650×NY-3
PZ10	黑抗 650×NY-3	PZ24	黑抗 650×NY-3	PZ38	黑抗 650×NY-2
PZ11	黑抗 650×LP	PZ25	黑抗 650×NY-3	PZ39	黑抗 650×NY-2
PZ12	黑抗 650×NY-2	PZ26	黑抗 650×NY-2	PZ40	黑抗 650×ZY-1
PZ13	黑抗 650×NY-3	PZ27	黑抗 650×NY-2	PZ41	黑抗 650×ZY-1
PZ14	黑抗 650×LP	PZ28	黑抗 650×ZY-1		

母种培养基:马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA),购自北京奥博星生物技术有限责任公司。栽培袋培养基配方:棉籽壳98%,石灰2%, $V_{料}:V_{水}=1.0:1.3$;棉籽壳购自河北省,石灰购自原阳。主要仪器:一次性使用培养皿(江苏扬州市光华医疗器械厂)、恒温培养箱(上海博讯医疗生物仪器股份有限公司)、装袋机(河南内黄县昌兴生物机械设备有限公司)、高压蒸汽灭菌锅(上海申安医疗器械厂)、超净工作台(江苏苏州安泰空气技术有限公司)、电子数显卡尺(昌邑市瑞源经贸有限公司)、电子天平(余姚纪铭称重校验设备有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 平菇栽培袋制作时间、地点及方法 2021年9月5日制作栽培袋,栽培地点为原阳县平原新区河南现代农业开发基地。按照配方将棉籽壳培养料加入搅拌机搅拌均匀,采用14 cm规格的装袋机装袋,出料孔径为14 cm。菌袋为规格14 cm×28 cm的聚丙烯袋,一端封口,一端加套环,每袋料质量550 g,20℃高压灭菌90 min,冷却室内降温至25℃左右开始接种,无菌室内采用无菌接种方式。每个培养皿接种9袋,每个品种接种30袋,接种后培养袋置于25℃培养至菌丝满袋。

1.3.2 产量相关性状指标数据采集 10月8日,菌丝满袋后移入拱形大棚内进行出菇管理,品种间随机区组排列。每个参试菌株30袋,10袋为1组,3次重复。大棚内温度10~28℃,湿度80%~95%,二氧化碳浓度小于407.23 mL·L⁻¹,光照度100 lx。记录出菇时间及出菇率,子实体七成熟采收,每组选择3朵子实体记录菌盖直径1 cm以上的菇片数量并计算平均每朵菇的菇片个数;选取20片代表性的菇片,计算质量;称量每组一茬菇产量。将选取的20片菇片,根据《植物品种特异性(可区别性)、一致性和稳定性测试指南(NY/T 3718—2020)》的方法测量子实体菌盖、菌柄特征性状。分析数据为

3组数据平均值。

$$\text{出菇率}/\%=(M-N)/M\times 100;$$

N为未出菇袋数,M为每组总袋数。

1.4 数据分析

采用IBM SPSS Statistics 22和Microsoft Excel 2007软件对数据进行差异性、相关性、回归分析,并得出产量回归方程。

2 结果与分析

2.1 平菇产量相关性状及差异显著性检验

由表2可以看出,供试各品种平菇主要农艺性状与一茬菇产量性状差异较大。其中PZ09一茬菇

表2 试验菌种主要农艺性状和产量

品种	菌盖长度/mm	菌盖宽度/mm	菌盖厚度/mm	菌柄长度/mm	菌柄直径/mm	出菇率/%	平均朵片数	20片成菇质量/kg	一茬菇产量/kg
PZ01	72.60	70.20	4.69	50.00	15.04	100	25	0.34	1.97
PZ02	66.17	63.67	4.22	45.83	13.67	100	29	0.18	1.97
PZ03	57.78	56.22	4.83	51.00	12.11	90	46	0.14	1.97
PZ04	67.00	67.71	4.67	70.29	11.68	80	28	0.34	1.28
PZ05	71.25	52.88	5.17	55.25	16.30	80	34	0.24	1.10
PZ06	69.38	65.63	3.91	66.38	11.01	80	38	0.21	1.93
PZ07	59.25	60.00	3.79	55.00	13.34	95	37	0.16	1.45
PZ08	55.92	56.15	3.68	43.31	7.84	95	34	0.21	1.46
PZ09	67.29	69.29	4.00	61.43	12.49	100	31	0.30	2.40
PZ10	67.57	60.86	4.97	48.71	13.14	85	27	0.31	1.37
PZ11	63.33	57.33	4.47	67.75	18.66	45	27	0.28	0.76
PZ12	67.71	60.00	4.59	32.14	16.15	85	22	0.30	1.36
PZ13	68.80	63.10	4.08	38.90	17.02	95	26	0.42	1.88
PZ14	64.89	53.33	3.57	55.89	12.31	90	34	0.32	1.93
PZ15	67.17	57.50	4.58	63.67	14.26	85	13	0.47	1.28
PZ16	62.83	64.33	3.38	42.00	13.86	100	61	0.16	1.74
PZ17	62.33	59.44	3.77	38.11	12.18	100	53	0.16	1.59
PZ18	54.22	56.00	3.86	48.44	10.75	70	75	0.15	1.38
PZ19	60.78	53.56	3.52	66.00	10.99	95	50	0.16	1.81
PZ20	76.88	63.75	4.08	64.50	12.46	75	35	0.33	1.42
PZ21	66.00	62.80	5.28	75.40	13.00	90	38	0.24	1.67
PZ22	61.07	60.80	3.32	54.93	8.87	100	37	0.22	2.20
PZ23	61.00	72.17	4.72	60.50	11.35	100	57	0.21	2.06
PZ24	59.44	51.00	5.11	53.56	13.76	80	82	0.14	1.21
PZ25	61.50	56.50	4.23	59.38	11.99	85	33	0.20	0.96
PZ26	60.57	61.71	4.37	46.86	13.56	90	44	0.25	1.78
PZ27	77.43	72.86	4.64	44.86	17.21	95	21	0.30	1.81
PZ28	62.13	54.67	2.64	73.00	13.33	85	35	0.30	1.96
PZ29	79.43	82.29	4.95	45.83	15.49	95	31	0.28	1.70
PZ30	66.17	63.67	4.22	45.83	13.67	80	39	0.21	1.45
PZ31	77.43	67.14	5.05	66.43	15.59	90	24	0.29	1.43
PZ32	72.00	64.50	3.71	74.83	12.63	90	42	0.26	1.76
PZ33	63.71	68.43	3.37	61.86	11.85	85	40	0.19	1.69
PZ34	70.13	62.25	4.07	63.75	12.63	80	33	0.27	1.40
PZ35	57.88	60.50	5.12	49.50	11.10	90	40	0.17	1.26
PZ36	68.71	69.86	3.89	47.43	13.65	100	39	0.34	1.88
PZ37	73.57	70.43	4.33	72.71	12.77	100	30	0.29	1.95
PZ38	61.29	65.43	3.90	50.86	14.47	85	41	0.14	1.66
PZ39	61.25	64.29	3.71	55.00	11.14	100	45	0.21	2.32
PZ40	61.25	62.13	3.16	45.13	9.62	90	73	0.18	2.20
PZ41	84.30	75.60	4.78	61.20	13.12	100	54	0.37	2.24

产量最高, PZ39、PZ41、PZ22、PZ40、PZ23 次之, PZ11 产量最低;菌盖长度最长的菌株为 PZ41,最短的为 PZ18,且两者相差很大;PZ29 菌盖宽度最大,同时也具有较大的菌盖长度,是一种菌盖较大菌株;PZ21 的菌盖厚度和菌柄长度都为最大值;PZ11 的菌柄直径最大,但是出菇率最低;PZ15 的平均朵片数最小,但 20 片成菇质量最大。

表 3 对 41 个平菇杂交品种子实体菌盖长度、菌盖宽度、菌盖厚度、菌柄长度、菌柄直径、出菇率、平均朵片数、20 片成菇质量、一茬菇产量进行方差分析,结果表明,各性状间存在极显著差异,因此可以进行后续的分析。

表 3 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
区组间	332 928.583	8	41 616.073	628.430	0.000 1
处理间	24 436.016	369	66.222		
总计	357 364.599	377			

2.2 平菇产量及产量构成因素的遗传相关性分析

由表 4 可以看出,平菇产量与菌盖宽度、菌盖

厚度、菌柄直径、出菇率这 4 个性状显著相关,与菌盖宽度呈显著正相关,与出菇率呈极显著正相关,相关系数分别为 0.477、0.704,与菌盖厚度呈极显著负相关,与菌柄直径呈显著负相关,相关系数为-0.453 和-0.344。这 4 个性状对平菇产量有着显著的影响,因此提高出菇率、适当增加菌盖宽度、减少菌盖厚度和菌柄直径可能会使平菇的产量得到提高。菌盖宽度分别与菌盖长度(相关系数=0.506)和出菇率(相关系数=0.502)呈极显著正相关,且相关系数均大于 0.5,适当增加菌盖宽度这一性状,同时能够增加菌盖长度,提高出菇率,从而提高产量。菌盖厚度与菌盖长度(相关系数=-0.154)呈显著负相关,与菌柄直径(相关系数=0.318)呈显著正相关,减少菌盖厚度同时能够降低菌柄直径并提高菌盖长度,提高产量;菌柄直径与出菇率(相关系数=0.380)、平均朵片数(相关系数=0.387)和 20 片成菇质量(相关系数=0.354)呈显著正相关;出菇率与菌柄长度(相关系数=-0.317)也呈显著负相关,表明菌柄长度降低,能够提高出菇率,从营养利用角度

表 4 产量与产量性状之间相关性

性状	菌盖长度	菌盖宽度	菌盖厚度	菌柄长度	菌柄直径	出菇率	平均朵片数	20 片成菇质量	一茬菇产量
菌盖长度	1								
菌盖宽度	0.506**	1							
菌盖厚度	-0.154*	0.020	1						
菌柄长度	0.221	0.038	0.063	1					
菌柄直径	0.225	0.130	0.318*	0.006	1				
出菇率	0.124	0.502**	0.210	-0.317*	0.380*	1			
平均朵片数	0.516**	0.216	0.299	0.205	0.387*	0.019	1		
20 片成菇质量	-0.636**	0.246	0.146	0.249	0.354*	-0.002	0.622**	1	
一茬菇产量	0.103	0.477*	-0.453**	0.096	-0.344*	0.704**	0.160	0.034	1

注:*表示在 0.05 水平差异显著,**表示在 0.01 水平差异显著。下同。

考虑,菌柄营养利用减少,不仅提高了菌盖营养利用率和出菇率,还提高了产量。菌盖长度与平均朵片数(相关系数=0.516)呈极显著正相关,与 20 片成菇质量(相关系数=-0.636)呈极显著负相关;平均朵片数与 20 片成菇质量(相关系数=0.622)呈极显著正相关,表明朵片数越多,20 片成菇质量越大。与一茬菇产量呈显著相关的性状之间也存在相互制约的关系,4 个性状与其他产量性状之间的部分相关系数的绝对值达到了 0.35 的极显著水平。因此,平菇高产菌株高产性状除了 4 个主要因素之外,需要综合考虑产量构成因素之间的协调关系。

2.3 平菇产量性状的回归分析

为了进一步研究产量相关因素与产量之间的关系,采用多元逐步回归的分析方法,通过逐步对

偏回归系数进行显著性检验,将变量逐个引入模型。首先引入出菇率(表 5,模型 1),然后对未被引入的变量进行显著性检验和 *t* 检验(表 6,模型 1),检验结果表明,菌盖厚度达到了显著性水平,被引入模型 2(表 6)。通过逐步引入的方法确保每次引入新的变量之前,回归方程中只包含显著性变量。通过这种反复的过程,直到没有显著的解释变量引入回归方程为止,以建最优回归方程。以一茬菇产量(*Y*)为因变量,以菌盖长度(X_1)、菌盖宽度(X_2)、菌盖厚度(X_3)、菌柄长度(X_4)、菌柄直径(X_5)、出菇率(X_6)、平均朵片数(X_7)、20 片成菇质量(X_8)为自变量进行逐步回归分析。从表 7 得知,随着自变量被引入,相关系数 *R* 和决定系数 R^2 逐渐增大,说明引入的自变量对理论产量的作用在增加,最后决

表5 引入变量模型分析

模型	非标准化系数	标准化系数	t	Sig
1 常量	1.092 E-15		0.000	1.000
出菇率	0.704	0.704	6.183	0.000
2 常量	1.117 E-15		0.000	1.000
出菇率	0.667	0.667	6.292	0.000
菌盖厚度	-0.294	-0.294	-2.770	0.009
3 常量	9.741 E-16		0.000	1.000
出菇率	0.552	0.552	4.994	0.000
菌盖厚度	-0.359	-0.359	-3.470	0.001
菌盖宽度	0.270	0.270	2.413	0.021

表6 排除变量模型分析

模型		标准系数	t	显著性
1	菌盖长度	0.036	0.308	0.760
	菌盖宽度	0.168	1.372	0.178
	菌盖厚度	-0.294	-2.770	0.009
	菌柄长度	0.162	1.397	0.170
	菌柄直径	-0.135	-1.148	0.258
	平均朵片数	0.148	1.310	0.198
	20片成菇质量	0.035	0.307	0.761
2	菌盖长度	0.166	1.477	0.148
	菌盖宽度	0.270	2.413	0.021
	菌柄长度	0.153	1.427	0.162
	菌柄直径	-0.014	-0.112	0.911
	平均朵片数	0.091	0.838	0.407
3	20片成菇质量	0.096	0.893	0.378
	菌盖长度	0.009	0.066	0.948
	菌柄长度	0.121	1.173	0.248
	菌柄直径	-0.081	-0.696	0.491
	平均朵片数	0.139	1.362	0.182
20片成菇质量	0.029	0.272	0.787	

表7 相关系数与决定系数模型分析

模型	R	R ²	调整后的R ²	显著性
1	0.704 a	0.191	0.171	0.004
2	0.761 b	0.374	0.342	0.002
3	0.798 c	0.813	0.798	0.001

注:a. 出菇率预测值;b. 菌盖厚度、出菇率预测值;c. 菌盖宽度、菌盖厚度、出菇率预测值。

定系数 $R^2=0.841$, 则剩余因子 $e=\sqrt{1-0.841^2}=0.293$, 该值较大, 说明还有对产量有影响的因素未考虑到, 有待于更深入的研究。

通过变量系数表以及对应的显著性检验结果, 可以得到线性回归方程 $Y=0.270 X_2-0.359 X_3+0.552 X_6$, 由于常数 9.741×10^{-16} 太小, 忽略不计。显著性检测结果表明, 所筛选留下来的3个因素的偏回归达到了显著性检测结果的水平, 具有统计学意义, 可以保留在方程中。获得回归方程后, 为了验

证回归模型的可靠性和可信度, 对表5的模型进行了共线性诊断, 得到结果 VIF 均 <2 , 说明不存在多重共线性。随后通过残差正态分布考察, 残差的分布结果也满足正态分布条件。通过验证, 表明线性回归方程具有可靠性和可信度。

2.4 通径分析

由表8可知, 菌盖宽度、菌盖厚度、出菇率对一茬菇产量的相关系数达到极显著水平, 相关程度大小为出菇率 $>$ 菌盖宽度 $>$ 菌盖厚度, 出菇率对一茬菇产量的直接通径系数为0.552, 相关系数达到0.704, 是3个因素中直接作用最大的性状, 说明出菇率对一茬菇产量的直接效应占据重要地位, 工厂化平菇育种中应该着重考虑出菇率这一性状。出菇率对菌盖宽度(0.136)和菌盖厚度(0.075)的间接效应都是正值, 菌盖宽度的间接效应值最大, 因此提高出菇率有助于增加菌盖宽度。

表8 产量相关性状的通径分析

自变量	与y相关系数	直接通径系数	间接通径系数			总计
			菌盖宽度	菌盖厚度	出菇率	
菌盖宽度	0.477**	0.270		0.007	0.277	0.284
菌盖厚度	-0.453**	-0.359	-0.005		-0.116	-0.121
出菇率	0.704**	0.552	0.136	0.075		0.211

菌盖厚度对一茬菇产量的直接通径系数为-0.359, 相关系数为-0.453, 均为负值。从间接通径系数来看, 菌盖厚度对菌盖宽度(-0.005)和出菇率(-0.116)的间接作用均为负值。对菌盖宽度的间接效应较低, 因此, 在育种过程中选择合适菌盖厚度的品种, 在高产管理方面适当控制菌盖的厚度有利于高产。

菌盖宽度对一茬菇产量的直接通径系数为0.270, 相关系数为0.477, 菌盖宽度对出菇率的间接通径系数为0.277, 说明菌盖宽度对出菇率的影响较大, 对菌盖厚度的间接通径系数为0.007, 影响较小。

3 讨论与结论

菌盖颜色是影响消费者购买行为的重要因素, 所以目前相关研究的重点偏向于菌盖颜色这一商品性状, 其中张妍等^[12]对平菇色素进行了分离鉴定, 发现了控制菌盖颜色的关键基因——酪氨酸酶基因^[13-14]。但产量是评价平菇品种好坏的一个重要指标, 笔者对41个平菇杂交菌株的9个性状指标进行差异显著性检验、相关性分析, 结果表明一茬菇产量和出菇率、菌盖宽度、菌盖厚度、菌柄直径这4

个性状显著相关,其中与出菇率呈极显著正相关,与菌盖宽度呈显著正相关,与菌盖厚度呈极显著负相关,与菌柄直径呈显著负相关。

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作用系数和间接作用系数,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^[5]。进一步通过通径分析,更加详细地得到菌盖宽度、菌盖厚度、出菇率3个出菇性状指标对产量的直接和间接影响。通径分析这一分析方法已经在大多数农作物上广泛使用,盛春鸽等^[9]曾通过通径分析的方法发现平菇产量与生育期、菌盖厚度、单菇数、整齐度密切相关,整齐度和出菇率两个因素是一致的,数据采集并不完全一致。生育期在笔者的研究中未涉及,平均朵片数在本研究里面未达到显著水平,文献里面单菇数与产量的相关系数也是最小的;刘立恒等^[10]的试验中都得到了菌盖厚度与产量有很强的正相关性,与笔者的研究结果不同,造成差异的原因可能是品种、产量构成因素及采集方式的不同。而笔者试验所选材料为通过单孢杂交获得的杂交群体,其一亲本黑抗650为专利高产菌株,可以更好地通过亲本与杂交子之间的性状差异来探究影响产量的因素。以8个因素与一茬菇产量进行逐步回归分析得到出菇率、菌盖厚度、菌盖宽度3个因素对产量具有显著性影响,随着自变量的引入,相关系数和确定系数增大,而决定系数 $R^2=0.841$,则剩余因子 $e=\sqrt{1-0.841^2}=0.293$,该值较大,说明还有对产量有影响的因素未考虑到,有待于更深入的研究。

一茬菇出菇率是影响工厂化平菇栽培的关键因素,同时出菇率受菌盖宽度、菌盖长度、菌柄直径等因素影响,相关性分析结果表明,菌柄的长短与出菇率呈显著负相关,菌盖宽度与出菇率呈极显著正相关,菌柄直径与出菇率呈显著的正相关。从营养利用角度考虑,菌柄长度方面的营养利用减少,提高了菌盖营养利用率和出菇率,从而提高产量。所以在实际生产中,除了品种自身的特性之外,生产环境对出菇率及子实体性状的影响较大,因此采用合理的栽培管理方式,保证菌株的出菇率是生产管理的关键;在发菌阶段,适当降低环境的温度,延长生育期,保证菌丝生长发育一致性,可以有效提高一茬菇的出菇率,达到增产目的^[16]。

菌盖在平菇产量中的占比非常高,也是平菇的

主要食用部分。笔者通过研究得出菌盖宽度、菌盖厚度与菌盖相关的数量性状和产量具有显著的相关性,为围绕菌盖开展数量性状位点的挖掘、开展平菇菌盖发育调控机制研究提供了方向,也为平菇育种工作提供了参考和借鉴。

参考文献

- [1] 刘芹,孔维丽,徐柯,等.糙皮侧耳不同生长时期发酵料中微生物和代谢物的变化[J].菌物学报,2021,40(6):1458-1479.
- [2] KOUTROTSIOS G, KALOGEROPOULOS N, STATHOPOULOS P, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity exhibit high intraspecific variability in *Pleurotus ostreatus* mushrooms and correlate well with cultivation performance parameters[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2017, 33(5):98.
- [3] 2020年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2022,41(1):85-91.
- [4] 王国梁,王在勤,庄夕江,等.平菇越夏高产高效栽培模式[J].西北园艺(综合),2022(2):29-31.
- [5] 孔维威,康源春,袁瑞奇,等.工厂化瓶栽平菇培养基配方筛选[J].食用菌,2021,43(3):38-39.
- [6] 张莹莹,卢道文,孙海潮,等.黄淮海区域玉米收获期籽粒含水量与主要农艺性状的相关分析和通径分析[J].江苏农业科学,2022,50(13):119-123.
- [7] 陈丽娟.优质稻明1优臻占作中稻种植产量构成特征及高产栽培技术[J].福建稻麦科技,2022,40(2):33-36.
- [8] 苗建利,邓丽,郭敏杰,等.开农82花生主要性状与产量的相关性和通径分析[J].湖南农业科学,2021(9):8-11.
- [9] 盛春鸽,王延锋,史磊,等.平菇主要农艺性状与产量的相关分析及通径分析[J].中国林副特产,2015(3):4-6.
- [10] 刘立恒,孙敏,李士君,等.平菇栽培性状与产量的相关性研究[J].辽宁农业科学,2005(2):20-21.
- [11] 董辉,尚晓冬,曹晖,等.香菇菌株出菇性状与产量的相关分析[J].南方农业学报,2012,43(6):810-813.
- [12] ZHANG Y, WU X L, HUANG C Y, et al. Isolation and identification of pigments from oyster mushrooms with black, yellow and pink caps[J]. Food Chemistry, 2022, 372: 131171.
- [13] ZHANG Y, GAO W, SONNENBERG A, et al. Genetic linkage and physical mapping for an oyster mushroom (*Pleurotus cornucopiae*) and quantitative trait locus analysis for cap color[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2021, 87(21): e00953-21.
- [14] ZHANG Y, HUANG C Y, VAN PEER A F, et al. Fine mapping and functional analysis of the gene *PcTYR*, involved in control of cap color of *Pleurotus cornucopiae*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2022, 88(7): e02173-21.
- [15] 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.
- [16] 张介驰,韩增华,张丕奇,等.发菌温度对黑木耳菌丝和子实体生长的影响[J].食用菌学报,2014,21(2):36-40.