

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.04.009

王涛, 雷锦桂, 黄语燕, 等. D-最优混料设计优化草菇菇渣复合基质的黄瓜栽培配方. 土壤, 2022, 54(4): 723–732.

D-最优混料设计优化草菇菇渣复合基质的黄瓜栽培配方^①

王涛, 雷锦桂, 黄语燕, 陈永快*, 廖水兰

(福建省农业科学院数字农业研究所, 福州 350003)

摘要: 应用 D-最优混料设计方法, 以黄瓜植株的农艺性状、果实品质和产量为评价指标, 探索了草菇菇渣、草炭和珍珠岩不同配比复合基质对黄瓜栽培的影响, 建立了各配比基质与黄瓜植株响应值之间的回归模型, 考察了配方中各基质的相互作用对黄瓜植株各响应值的影响。试验结果表明: 菇渣营养丰富, 但电导率和酸碱度偏高; 草炭呈酸性, 持水性、透气性强, 可降低 pH; 珍珠岩吸水能力强, 透气性好。草炭、珍珠岩复配的基质 EC、pH 较低, 而含草菇菇渣的复配基质 EC 和 pH 随菇渣添加量的增加而升高, 最终优化得到的最优基质配比为草菇菇渣 32.02%、草炭 60.00%、珍珠岩 7.98%, 该配方的理化性质良好, 适宜黄瓜生长; 经验证该配方生长的植株株高、茎粗、维生素 C 含量、可溶性糖含量、单株产量和硝酸盐含量分别为 350.00 cm、11.74 mm、101.01 mg/kg、1.31%、2 123.33 g 和 351.04 mg/kg, 与草炭相比, 株高、茎粗、维生素 C 含量、可溶性糖含量和单株产量分别提高 20.69%、1.73%、12.79%、14.79% 和 41.56%, 硝酸盐含量降低 14.66%, 且生产成本可节省约 33%。可见, 通过混料设计将草菇菇渣复合基质进行优化, 可解决单一基质存在的电导率、酸碱度偏高等问题, 栽培效果更佳, 将草菇菇渣应用于黄瓜无土栽培是完全可行的。

关键词: D-最优混料设计; 草菇菇渣; 黄瓜; 配方

中图分类号: S627 文献标志码: A

D-optimal Mixture Design Optimizes *Volvariella volvacea* Residue Compound Matrix Formula for Cucumber Cultivation

WANG Tao, LEI Jingui, HUANG Yuyan, CHEN Yongkuai*, LIAO Shuilan

(Agricultural Digital Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Using the D-optimal mixture design method, taking the agronomic properties, fruit quality and yield of cucumber plants as evaluation indicators, the effects of different ratios of *Volvariella volvacea* residue, peat and perlite on cucumber cultivation were explored, the regression model between the ratio of each substrate and the response value was established, and the effects of the interaction of each substrate in the formula on the response value of cucumber were investigated. The test results show that *Volvariella volvacea* residue is rich in nutrients, but electrical conductivity (EC) and the potential of hydrogen (pH) are higher. The peat is acidic, has strong water retention and air permeability, can lower pH, and perlite has strong water absorption and air permeability. EC and pH of the matrix compounded with peat and perlite are lower, while EC and pH of the compound matrix containing *Volvariella volvacea* residue are increased with the increase of the added amount of *Volvariella volvacea* residue. The final optimized substrate ratio is *Volvariella volvacea* residue 32.02%, peat 60.00% and perlite 7.98%. It has been verified that, compared with peat, plant height, stem diameter, vitamin C and soluble sugar contents and yield per plant are 350.00 cm, 11.74 mm and 101.01 mg/kg 1.31%, 2 123.33 g for the optimized formula, increased by 20.69%, 1.73%, 12.79%, 14.79% and 41.56%, respectively, while nitrate content is 351.04 mg/kg, reduced by 14.66%, and production cost is reduced by about 33%. This study shows that optimizing *Volvariella volvacea* residue composite substrate through the mixture design can solve the problems of high EC and pH in a single substrate, and the cultivation effect is better, thus, applying *Volvariella volvacea* residue in soilless cultivation of cucumbers is completely feasible.

①基金项目: 福建省人民政府-中国农业科学院农业高质量发展超越“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021015)、福建省农业科学院科技创新团队项目(CXTD2021012-3)和福建省农业科学院对外合作项目(DWHZ2021-05)资助。

* 通讯作者(stonecyk@126.com)

作者简介: 王涛(1992—), 男, 福建福州人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为设施农业无土栽培、废弃物资源化利用。E-mail: 793831167@qq.com

Key words: D-optimal mixture design; *Volvariella volvacea* residue; Cucumber; Formula

菇渣是食用菌生产后的废弃物,其平均产量为食用菌的 5 倍^[1]。中国是食用菌世界第一生产大国,食用菌年产量约占世界总产量的 3/4 以上,菌渣年产量超过 8.0×10^7 t^[2]。目前,我国菌渣利用率较低,大部分菌渣被随意丢弃或焚烧,造成严重的土壤、水体环境污染和大量的资源浪费^[3]。菇渣含有丰富的粗蛋白、氨基酸、菌体蛋白酶、维生素、矿质元素等营养物质,同时包含大量微生物及菌丝体残留,经菌丝分解后,具有良好的理化性质,透气性佳、持水性高,利用价值较高^[4]。目前,关于菌渣资源的再利用研究较多,可用于制作肥料、畜牧业饲料、食用菌再生产的配料以及栽培基质等方面。其中,开发食用菌菌渣基质化再利用的研究较多,各种食用菌均有涉及。陆思文等^[5]研究发现,施用金针菇渣与双孢蘑菇渣能显著提高土壤多种养分和有机质含量,增加生菜叶片可溶性蛋白质的含量,降低生菜叶片硝态氮含量。王涛等^[6-9]研究发现,将海鲜菇渣、绣球菌渣分别与蛭石、珍珠岩、草炭复配,可用于结球莴苣^[6]、黄瓜^[7]育苗以及茄子^[8]、黄瓜^[9]栽培。王景瑞^[10]研究发现,平菇渣复配草炭和蛭石既可以保证甜瓜秧苗质量,又可降低育苗基质使用成本,保护生态环境。

目前福建省设施大棚内,栽培基质主要采用进口草炭为主,其价格较高,且草炭作为一种不可再生资源,过度的开采对环境造成严重的威胁和破坏^[11]。用菇渣代替草炭,不仅能够解决目前大量菇渣废弃而导致的环境问题,还能够变废为宝,实现农业的可持续发展^[12]。

草菇(*Volvariella volvacea*),多生长于稻草上,是世界上第三大栽培食用菌,我国草菇产量居世界之首,草菇含有丰富的蛋白质、多糖和纤维素等物质,味道鲜美,深受消费者的喜爱^[13]。草菇菇渣是草菇生产后留下的培养料废渣,目前关于草菇菇渣研究主要集中在食用菌栽培方面,而在无土栽培基质上应用的研究鲜见。D-最优混料设计是一种将 D-最优化设计应用于混料试验中的设计方法,具有试验次数少、参数预测精度高、多目标同步优化的特点,被广泛应用于各行业^[14],但在菇渣无土栽培资源化利用领域未见报道。

由此,本研究采用 D-最优混料设计法,以草菇菇渣、草炭、珍珠岩为栽培基质,开展黄瓜栽培试验,以黄瓜植株的农艺性状、果实品质和产量作为考察指标,对 3 种基质配比进行优化,以筛选替代单一草炭基质的最优基质配比,为草菇菇渣废弃物合理开发及利用提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试植物为夏之光黄瓜,由荷兰瑞克斯旺公司提供,该品种早熟,生长势中等,单性结实,每节 1~2 个果,具有抗病、耐热等特点。供试草菇菇渣取自福建省罗源县百谷农业发展有限公司,菇渣经过充分腐熟后备用;供试草炭采用进口德国 K 牌草炭土;供试珍珠岩(0~10 mm)购自众耕(厦门)农业科技有限公司。各供试基质材料的理化性质如表 1 所示。

表 1 基质材料的理化性质
Table 1 Physiochemical properties of matrix materials

基质材料	干容重(g/cm ³)	总孔隙度(%)	通气孔隙度(%)	持水孔隙度(%)	pH	EC(mS/cm)
草菇菇渣	0.36	73.27	3.05	70.22	10.34	7.98
草炭	0.11	83.99	3.39	80.61	0.51	5.39
珍珠岩	0.07	60.05	23.03	37.02	0.13	6.97

1.2 试验方法

1.2.1 混料配方设计 本试验根据前期试验及实际生产经验^[6-9],对每种基质在配方中所占的比例进行了限制,应用 Design-Expert.V8.0.6 软件中的 D-optimal 设计,将 3 种基质的添加比例(体积比)分别设定为:草菇菇渣 0~50%,草炭 0~60%,珍珠岩 0~50%,通过软件设计得到 16 个不同的组合配方,剔除 5 个重复组合配方,合计 11 个不同组合配方,详见表 2。

1.2.2 栽培试验 试验于 2019 年 5 月至 8 月在福建省农业科学院中以示范农场薄膜温室、玻璃温室和生理生化实验室进行。黄瓜播种时间为 5 月 13 日,采用 54 cm × 28 cm × 4 cm 的 72 孔穴盘育苗。栽培基质混配时间为 6 月 2 日,将草菇菇渣、草炭与珍珠岩以不同的比例(V/V)配成复合基质(表 2),将混配好的基质倒入营养钵内,营养钵高度和直径均为 25 cm。栽培前对基质进行滴灌式洗盐 3 h,洗至浸出液 EC<1.50 mS/cm,黄瓜定植时间为 6 月 3 日。试验

表2 混料设计表(%)
Table 2 Mixing design table

配方编号	A: 草菇菇渣	B: 草炭	C: 珍珠岩
1	50.00	25.00	25.00
2	0.00	50.00	50.00
3	20.00	60.00	20.00
4	14.00	49.50	36.50
5	50.00	0.00	50.00
6	36.50	49.50	14.00
7	39.00	22.00	39.00
8	50.00	50.00	0.00
9	28.00	44.00	28.00
10	16.66	36.67	46.67
11	25.00	25.00	50.00

采用随机区组设计,每个配方3次重复(3个小区/列),共计33个小区。每小区长7.85 m、宽0.3 m,面积2.36 m²,每小区种植黄瓜20株,植株间距35 cm,列间距1.25 m。通过自制水肥一体化控制系统进行营养液自动灌溉,滴灌时间为每天上午8:00和11:00,下午2:00和5:00,每次滴灌8 min,栽培初期EC值设定为1.50 mS/cm,大量结果期设定为2.50 mS/cm。营养液配方:配方分为母液A和母液B,其中母液A为每200 L水中添加MgSO₄ 14.72 kg, KH₂PO₄ 6.40 kg, H₃BO₃ 91.52 g, MnSO₄ 51.66 g, ZnSO₄ 7.00 g, CuSO₄ 2.56 g, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 0.64 g;母液B为每200 L水中添加Ca(NO₃)₂ 23.60 kg, KNO₃ 13.12 kg, EDTA-Fe 640 g。黄瓜形态指标测定时间为2019年8月12日,黄瓜采收时间为2019年6月27日至8月15日,果实品质于2019年7月22日测定。

优化配方验证试验时间为2020年5月至8月,以草炭作为对照,试验地点、试验材料、黄瓜播种时间、定植时间、形态指标测定、果实采收时间以及果实品质测试时间等均与上述一致。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 基质的理化性质测定 容重、总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度的测定参考连兆焯^[15]的饱和浸提法。

基质与去离子水按1:10的质量比进行混合,振荡,静置,取上清液,分别用pHS-25台式酸度计和DDS-307电导率仪测定pH和EC。

1.3.2 黄瓜农艺性状、果实品质和产量测定 每个基质配方上选取长势一致的10株黄瓜测定株高和茎粗,株高用卷尺测量,即植株基部至主茎顶端(即生长点)的距离;茎粗采用MNT-200锌合金数显卡尺测

量,以第一片真叶下部节间为基准。

每个基质配方上选取节位相同的3根黄瓜,环切黄瓜取得果实样品,测定果实中的维生素C、可溶性糖和硝酸盐含量。维生素C含量参照解胜利等^[16]的紫外分光光度法测定;可溶性糖含量参照曹建康等^[17]的蒽酮比色法测定;硝酸盐含量检测参照GB5009.33—2016^[18],每个指标测定重复3次。

黄瓜产量测定:记录各个基质配方上每株黄瓜的结果数和单果重量,单果重量用感量0.01 g的电子天平称量,最后统计单株产量。

1.4 数据处理

采用DPS 7.05软件的Duncan法进行配方面差异显著性分析;选用Design-Expert.V8.0.6软件中的Linear、Cubic和Special Quartic分析模型,采用Scheffe多项式进行拟合分析,建立回归方程模型,得出等高线图和响应曲面图,利用Optimization功能,进行多目标的优化分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质配比的理化性质

由表3可知,除2号配方外,其余配方的基质容重在0.13~0.24 g/cm³,符合理想基质要求的0.1~0.8 g/cm³^[19];总孔隙度在59.69%~73.17%,均在理想基质的要求范围54%~96%^[19],2号配方的总孔隙度最高,与除10号外的其他配方存在显著性差异;各配方通气孔隙度在5.85%~13.89%,以7号配方表现最好,与其余配方之间差异显著;各配方持水孔隙度在52.73%~62.65%,以3号配方表现最佳,但与9号和2号配方差异不显著。表3中的pH和EC为未经洗盐处理的基质原始值,栽培蔬菜的基质pH以6.0~7.5为宜^[19],除2号配方的pH<6.0、5号配方的pH>7.5外,其余配方的pH均在适宜范围内,pH总体上随着草菇菇渣添加量的增加而升高;栽培蔬菜作物时适宜的EC范围在1.0~2.5 mS/cm^[19],除2号配方的EC较低外,其余配方EC均超过2.5 mS/cm,EC值基本也随着草菇菇渣添加量的增加而升高,因此本次栽培试验前通过淋洗来降低基质中的盐分含量。

2.2 预测模型及回归方程的建立

混料设计试验结果见表4,采用Design-Expert软件对试验结果进行回归拟合分析。根据Design-Expert建议,黄瓜株高选用线性分析模型,茎粗、可溶性糖含量、硝酸盐含量和单株产量选用特殊四次分析模型,维生素C含量采用立方分析模型,得到的预测方程如表5所示。

表 3 不同基质配比的理化性质
Table 3 Physiochemical properties of different matrix ratios

配方编号	干容重(g/cm ³)	总孔隙度(%)	通气孔隙度(%)	持水孔隙度(%)	pH	EC(mS/cm)
1	0.24 ± 0.02 a	62.53 ± 1.28 ef	7.20 ± 0.23 cd	55.32 ± 1.11 d	7.35 ± 0.07 b	5.06 ± 0.15 b
2	0.09 ± 0.01 g	73.17 ± 2.78 a	12.02 ± 1.22 b	61.15 ± 1.40 ab	5.59 ± 0.05 g	0.33 ± 0.02 h
3	0.16 ± 0.01 e	69.08 ± 2.16 bc	6.43 ± 1.32 cd	62.65 ± 1.38 a	6.92 ± 0.03 f	3.62 ± 0.13 de
4	0.14 ± 0.01 ef	66.10 ± 1.62 cde	6.63 ± 0.67 cd	59.47 ± 1.10 bc	6.94 ± 0.07 f	2.97 ± 0.45 g
5	0.21 ± 0.02 bc	59.69 ± 1.47 f	5.85 ± 0.73 d	53.84 ± 0.99 de	7.61 ± 0.02 a	5.61 ± 0.20 a
6	0.23 ± 0.01 ab	64.59 ± 3.28 de	5.88 ± 1.08 d	58.71 ± 0.17 c	7.29 ± 0.04 bc	3.81 ± 0.16 d
7	0.19 ± 0.01 cd	67.32 ± 3.05 cd	13.89 ± 1.14 a	53.43 ± 2.05 de	7.30 ± 0.07 bc	4.37 ± 0.16 c
8	0.24 ± 0.01 a	60.44 ± 0.66 f	7.71 ± 0.53c	52.73 ± 1.24 e	7.17 ± 0.14 de	3.86 ± 0.29 d
9	0.20 ± 0.00 cd	68.70 ± 2.20 bc	6.62 ± 1.09 cd	62.08 ± 1.77 a	7.07 ± 0.02 e	3.38 ± 0.11 ef
10	0.13 ± 0.01 f	71.65 ± 2.41 ab	12.25 ± 0.60 b	59.40 ± 0.77 bc	6.94 ± 0.03 f	3.06 ± 0.17 fg
11	0.18 ± 0.01 d	66.72 ± 1.72 cd	7.56 ± 0.17 cd	59.16 ± 1.11 bc	7.22 ± 0.08 cd	4.38 ± 0.25 c

注：同列数据后的不同小写字母表示各配方间差异显著($P < 0.05$)，下同。

表 4 混料设计试验结果
Table 4 Results of mixture design experiment

配方编号	株高(cm)	茎粗(mm)	维生素 C(mg/kg)	可溶性糖(%)	硝酸盐(mg/kg)	单株产量(g)
1	316.00 ± 10.00 cde	11.31 ± 0.49 abcd	100.09 ± 0.43 bc	0.95 ± 0.02 efg	458.43 ± 10.06 c	2 140.97 ± 494.79 abc
2	267.00 ± 10.00 hi	12.29 ± 1.12 a	95.91 ± 1.68 bc	1.05 ± 0.02 cdef	498.18 ± 2.79 b	1 821.80 ± 316.25 bcd
3	332.00 ± 10.00 bc	11.86 ± 0.20 abc	81.93 ± 1.85 de	1.02 ± 0.03 cdef	402.51 ± 2.84 ef	2 377.00 ± 83.91 ab
4	330.67 ± 11.02 bc	10.76 ± 0.73 cde	93.48 ± 9.42 cde	1.15 ± 0.10 abc	512.73 ± 13.30 a	2 334.10 ± 236.00 ab
5	291.00 ± 5.00 fg	11.73 ± 0.22 abcd	100.39 ± 2.00 bc	1.11 ± 0.00 bcd	326.79 ± 10.02 j	1 825.97 ± 100.14 bcd
6	324.33 ± 14.57 bcd	10.56 ± 0.91 de	108.69 ± 5.22 b	0.93 ± 0.07 fg	381.93 ± 5.30 hi	2 343.90 ± 350.18 ab
7	328.67 ± 25.03 bcd	11.81 ± 0.11 abc	81.83 ± 8.08 de	0.88 ± 0.09 g	399.31 ± 10.91 efg	2 200.53 ± 457.12 ab
8	353.00 ± 10.00 a	11.47 ± 0.13 abcd	97.44 ± 2.40 bc	1.27 ± 0.00 a	385.41 ± 6.13 gh	1 527.43 ± 201.76 d
9	308.00 ± 8.89 defg	11.14 ± 0.85 abcde	95.18 ± 6.38 bcd	1.01 ± 0.19 def	392.37 ± 7.90 fgh	2 527.35 ± 446.86 a
10	289.67 ± 18.23 fg	11.06 ± 0.87 bcde	140.61 ± 21.10 a	1.11 ± 0.09 bcd	505.47 ± 10.18 ab	2 182.37 ± 512.18 abc
11	300.33 ± 4.73 efg	10.01 ± 0.90 e	90.37 ± 10.88 cde	1.11 ± 0.10 bcd	407.59 ± 12.84 e	2 123.67 ± 186.93 abcd

表 5 各指标的回归模型
Table 5 Regression model of each index

指标	模型类型	预测方程	P	R ²
株高	线性	$Y_1 = 281.80A + 290.79B + 356.32C$	0.001 7	0.625 9
茎粗	特殊四次	$Y_2 = 14.04A + 11.60B + 11.57C - 10.32AB - 3.52AC - 2.34BC - 51.01A^2BC + 138.87AB^2C - 43.59ABC^2$	0.005 0	0.908 4
维生素 C	立方	$Y_3 = -144.87A + 102.01B + 248.73C + 584.60AB + 118.02AC - 393.26BC - 149.52ABC + 1254.47AB(A-B) - 176.93AC(A-C) + 764.77BC(B-C)$	0.000 2	0.979 4
可溶性糖	特殊四次	$Y_4 = 1.03A + 1.10B + 1.47C + 0.11AB - 0.87AC - 1.30BC + 19.79A^2BC - 9.85AB^2C - 12.15ABC^2$	0.000 4	0.958 5
硝酸盐	特殊四次	$Y_5 = 496.59A + 315.21B + 307.20C + 131.50AB - 57.79AC + 555.06BC + 6449.92A^2BC - 2647.10AB^2C - 5285.20ABC^2$	0.003 7	0.916 4
单株产量	特殊四次	$Y_6 = 1523.34A + 1841.15B + 1048.91C + 1766.76AB + 4364.77AC + 2662.39BC - 902.93A^2BC - 9182.97AB^2C + 11424.04ABC^2$	<0.000 1	0.996 3

由表 5 可知，对于株高指标，预测方程 $P < 0.01$ ，表明该模型极显著，回归系数 $R^2 = 0.625 9$ ，说明株高的变异中有 62.59% 是由变量(A、B、C)引起的。回

归方程的自变量系数 K ，反映各自变量对方程的贡献程度。由株高方程可知，自变量系数由大到小依次为 $K_C(356.32) > K_B(290.79) > K_A(281.80)$ ，表明各基

质对株高的贡献程度大小为 C(珍珠岩)>B(草炭)>A(草菇菇渣)。

对于茎粗指标, 预测方程 $P<0.01$, 表明该模型极显著, 回归系数 $R^2=0.9084$, 说明茎粗的变异中有 90.84% 是由变量(A、B、C)引起的; 方程系数 $K_A(14.04)>K_B(11.60)>K_C(11.57)$, 表明各基质对茎粗的贡献程度为 $A>B>C$; 二次项系数大小依次为 $K_{BC}(-2.34)>K_{AC}(-3.52)>K_{AB}(-10.32)$, 说明草炭和珍珠岩搭配对茎粗的贡献程度最大。

对于维生素 C 指标, 预测方程 $P<0.01$, 表明该模型极显著, 回归系数 $R^2=0.9794$, 说明该模型很好地拟合了基质配比与维生素 C 含量之间的关系; 方程系数由大到小依次为 $K_C(248.73)>K_B(102.01)>K_A(-144.87)$, 表明各基质对维生素 C 含量的贡献程度大小为 $C>B>A$; 二次项回归系数从大到小依次为 $K_{AB}(584.60)>K_{AC}(118.02)>K_{BC}(-393.26)$, 说明草菇菇渣和草炭搭配对维生素 C 含量的贡献最好。

对于可溶性糖指标, 预测方程 $P<0.01$, 表明该模型极显著, 回归系数 $R^2=0.9585$, 表明该模型与试验数据有 95.85% 的符合度; 由方程可知, $K_C(1.47)>K_B(1.10)>K_A(1.03)$, 说明各基质的贡献程度大小依次为 $C>B>A$; 二次回归系数的大小顺序为 $K_{AB}(0.11)>K_{AC}(-0.87)>K_{BC}(-1.30)$, 表明草菇菇渣和草炭搭配对可溶性糖含量的贡献最好。

对于硝酸盐指标, 预测方程 $P<0.01$, 回归系数 $R^2=0.9164$, 说明试验结果与模型拟合良好, 可以用该模型来推测试验结果; 方程系数 $K_A(496.59)>K_B(315.21)>K_C(307.20)$, 即各基质对硝酸盐含量的贡献

程度大小依次为 $A>B>C$; 二次回归系数大小依次为 $K_{BC}(555.06)>K_{AB}(131.50)>K_{AC}(-57.79)$, 说明草炭和珍珠岩搭配对硝酸盐含量的贡献度最高。

对于单株产量指标, 预测方程 $P<0.0001$, 表明该模型极显著, 回归系数 $R^2=0.9963$, 表明该模型与试验数据有 99.63% 的符合度, 单株产量的变异中有 99.63% 是由变量(A、B、C)引起的, 表明模型可信度较高, 很好地拟合了各基质与单株产量之间的关系; 方程系数 $K_B(1841.15)>K_A(1523.34)>K_C(1048.91)$, 表明各基质对单株产量的贡献程度大小为 $B>A>C$; 二次项系数 $K_{AC}(4364.77)>K_{BC}(2662.39)>K_{AB}(1766.76)$, 说明草菇菇渣和珍珠岩搭配对单株产量的贡献度最高。

2.3 不同基质比对黄瓜农艺性状、果实品质和产量的影响

在混料设计中, 各因素的变化对指标的影响作用可以在等高线图和响应曲面图上描述。在本试验中, 草菇菇渣、草炭和珍珠岩三者的交互作用对株高、茎粗、维生素 C 含量、可溶性糖含量、硝酸盐含量和单株产量的影响作用如图 1~6 所示。

2.3.1 不同基质比对株高的影响 由表 4 可知, 8 号配方植株株高最大, 与其余配方差异显著; 2 号配方植株株高最小, 与其余配方差异显著。由图 1 可知, 3 种基质比对株高影响的响应面为一平面, 说明三者之间没有交互作用; 随着草菇菇渣含量的增加, 株高也增加, 草炭对株高有相同的影响, 而珍珠岩则相反, 出现负相关; 响应平面向上倾斜, 株高有最大值。

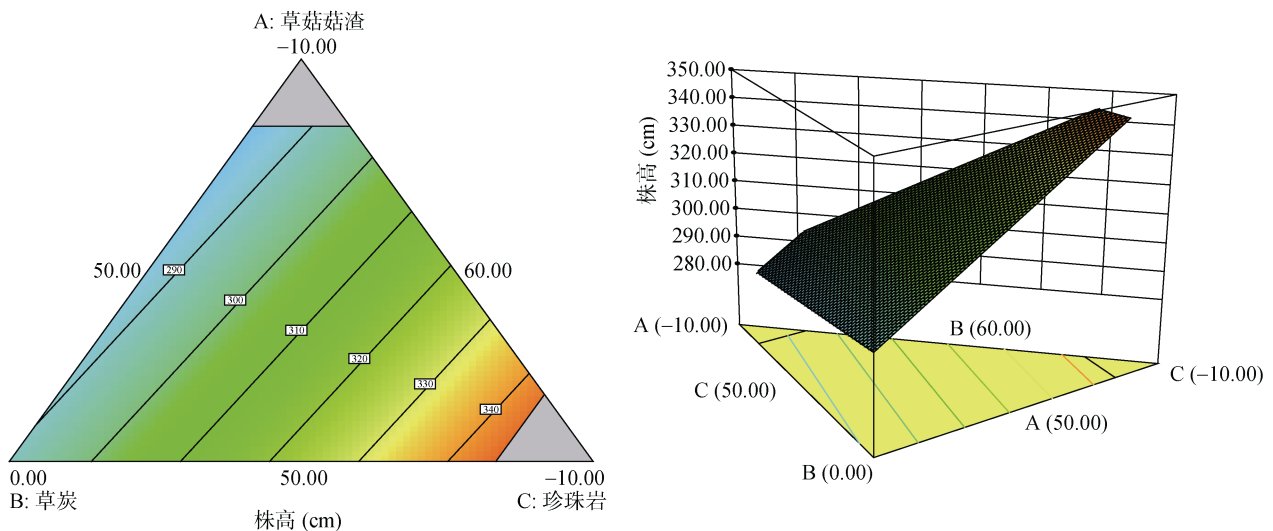


图 1 不同基质比对黄瓜株高影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 1 Contour plot and response surface plot of effects of different substrate ratios on plant height of cucumber

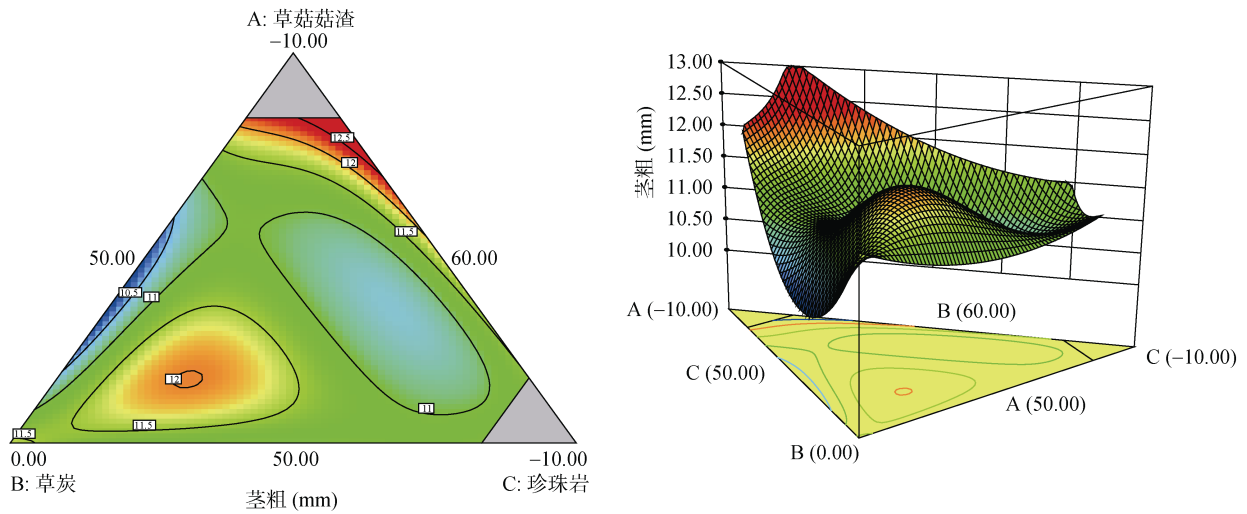


图 2 不同基质配比对黄瓜茎粗影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 2 Contour plot and response surface plot of effects of different substrate ratios on stem diameter of cucumber

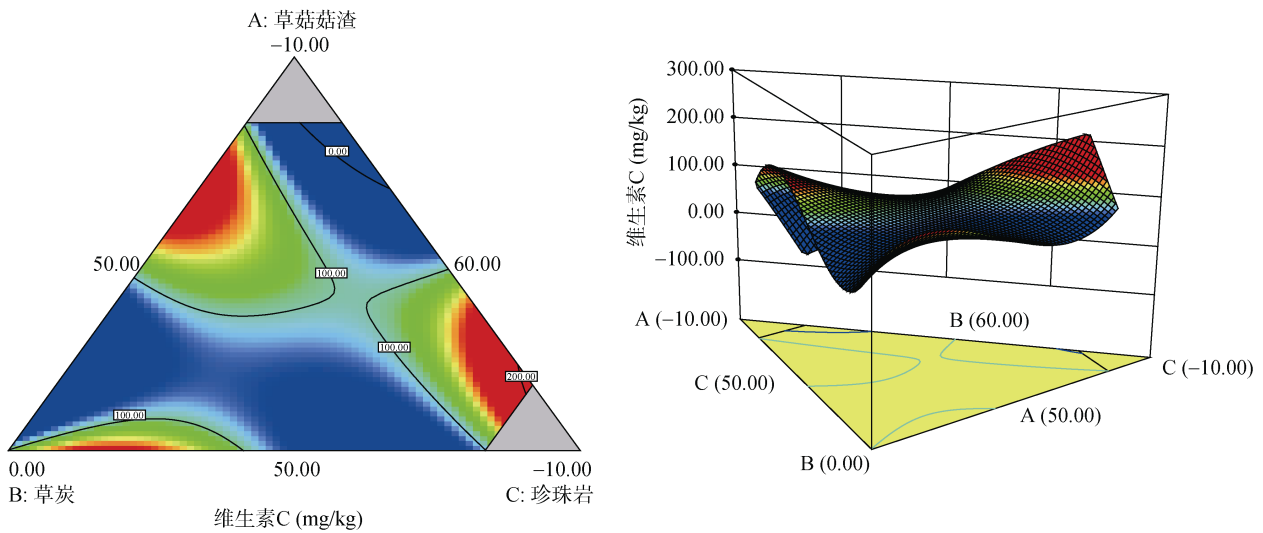


图 3 不同基质配比对黄瓜维生素 C 含量影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 3 Contour plot and response surface plot of effects of different matrix ratios on vitamin C content of cucumber

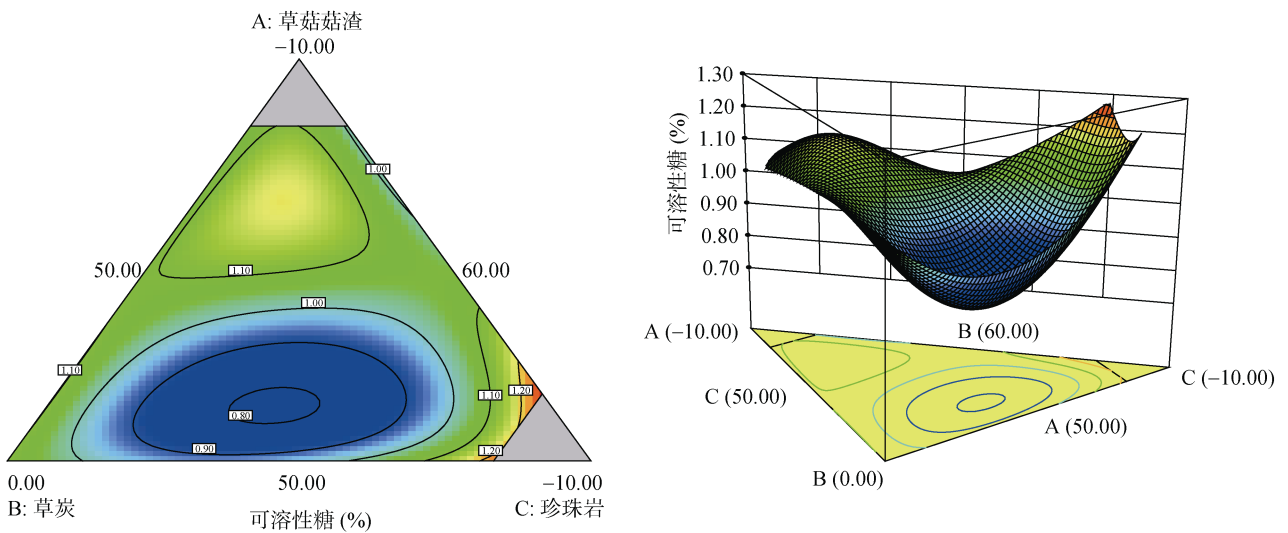


图 4 不同基质配比对黄瓜可溶性糖含量影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 4 Contour plot and response surface plot of effects of different matrix ratios on soluble sugar content of cucumber

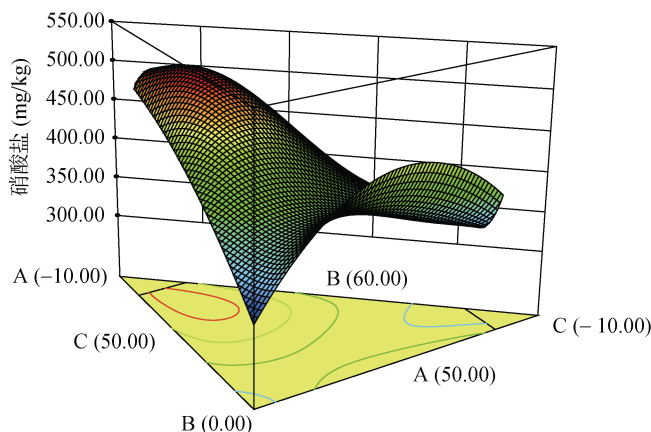
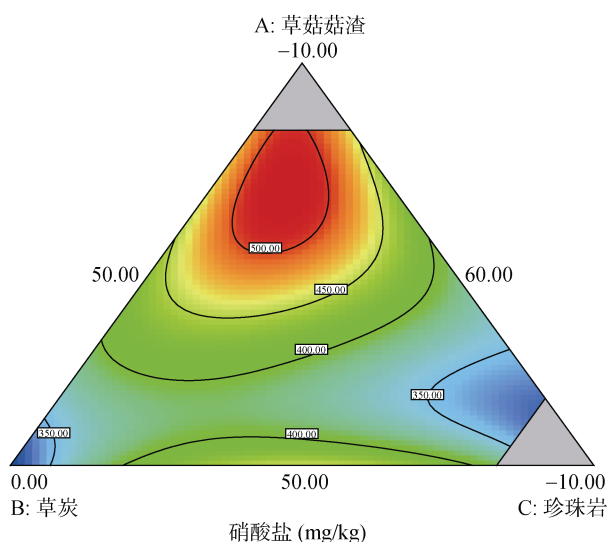


图 5 不同基质配比对黄瓜硝酸盐含量影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 5 Contour plot and response surface plot of effects of different substrate ratios on nitrate content of cucumber

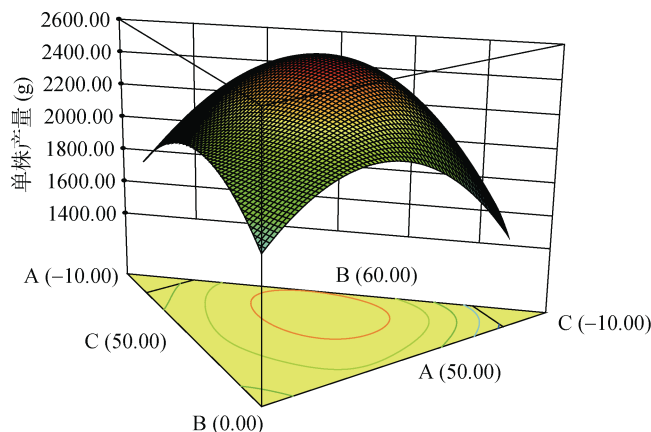
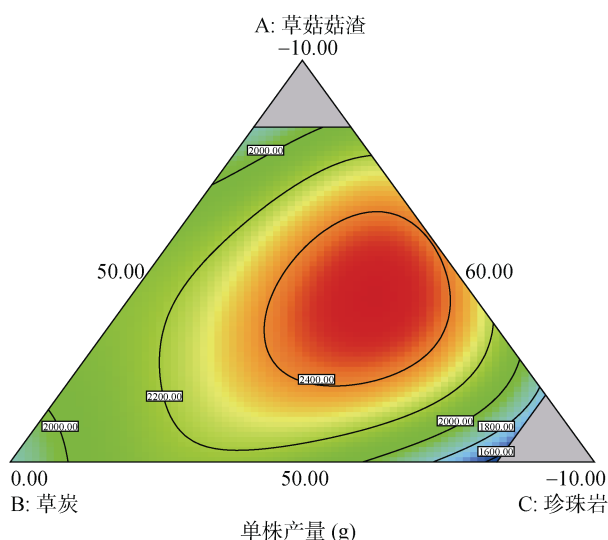


图 6 不同基质配比对黄瓜产量影响的等高线图及响应曲面图

Fig. 6 Contour plot and response surface plot of effects of different substrate ratios on yield of cucumber

2.3.2 不同基质配比对茎粗的影响 由表 4 可知, 2 号配方植株茎粗最大, 11 号配方植株茎粗最小。由图 2 可知, 3 种基质配比对茎粗影响的等高线为椭圆, 响应面为曲面, 说明三者之间存在交互作用, 其中, 草菇菇渣和草炭的交互作用明显大于草菇菇渣和珍珠岩、草炭和珍珠岩的交互作用, 曲面波动受草炭添加量的影响比较大, 在草炭添加量较少处, 曲面呈现球面状, 而随着草炭添加量的增大, 响应平面向上倾斜, 茎粗有最大值。

2.3.3 不同基质配比对维生素 C 含量的影响 由表 4 可知, 10 号配方黄瓜维生素 C 含量最高, 与其余配方存在显著性差异, 3 号配方黄瓜维生素 C 含量最低。如图 3 所示, 3 种基质配比对维生素 C 含量影

响的响应面为曲面, 说明 3 种基质之间交互作用明显, 当 3 种基质的添加量适宜时, 维生素 C 含量有最大值。且响应曲面图呈现马鞍形, 当草菇菇渣添加量达到 50% 时, 草炭与珍珠岩交互作用可显著提高维生素 C 含量。

2.3.4 不同基质配比对可溶性糖含量的影响 由表 4 可知, 8 号配方黄瓜可溶性糖含量最高, 与 4 号配方差异不显著, 与其余配方差异显著; 7 号配方黄瓜可溶性糖含量最低, 与 1 号、6 号配方无显著差异, 与其余配方差异显著。如图 4 所示, 3 种基质对比对可溶性糖含量影响的等高线为椭圆形, 三者的交互作用显著, 其中草炭和珍珠岩的交互作用最明显; 当草菇菇渣添加量保持在 40% 左右, 可溶糖含

量随着草炭添加量的减少、珍珠岩添加量的增加而下降, 响应曲面呈倒球面状, 可溶性糖含量有最小值; 反之, 随着草炭添加量的增加、珍珠岩添加量的减少, 可溶糖含量升高, 响应面往右上方倾斜, 可溶糖含量有最大值。

2.3.5 不同基质比对硝酸盐含量的影响 表 4 结果表明, 4 号、10 号配方黄瓜硝酸盐含量较高, 二者差异不显著; 6 号配方黄瓜硝酸盐含量最低, 与其余配方存在显著性差异。如图 5 所示, 3 种基质比对硝酸盐含量影响的等高线为椭圆形, 说明三者之间具有明显的交互作用, 其中草炭与珍珠岩的交互作用明显大于其他两种, 可显著提高硝酸盐含量。硝酸盐含量随着草菇菇渣含量的减少, 草炭、珍珠岩含量的增加而增加, 响应曲面呈现鞍形上倾状, 硝酸盐含量有最大值。

2.3.6 不同基质比对单株产量的影响 单株产量的分析结果(表 4)表明, 9 号配方黄瓜单株产量最高, 8 号配方黄瓜单株产量最低。如图 6 所示, 3 种基质比对单株产量影响的等高线为椭圆形, 说明三者之间交互作用较强; 响应曲面图呈拱形, 说明三者间具有一定的交互作用。由图 6 还可知, 任意两种基质配比时, 单株产量较低; 而草菇菇渣与珍珠岩交互作用可显著提高单株产量, 单株产量随着草菇菇渣、草炭添加量的减少, 珍珠岩添加量的增加而增加, 当草菇菇渣、草炭、珍珠岩的添加量分别达到 28%、44%、

28%时, 产量有最大值; 当草菇菇渣、草炭添加量继续减少, 珍珠岩添加量继续增加, 产量出现下降。

2.4 基质配方优化及验证试验

根据回归方程分析设定各指标的期望响应值, 期望维生素 C 含量、可溶性糖含量和单株产量同时达到最大值, 硝酸盐含量达到最小值, 株高、茎粗在设定范围内, 本研究优化得到 3 个组合配方: 配方 1: 草菇菇渣 32.02%, 草炭 60.00%, 珍珠岩 7.98%; 配方 2: 草菇菇渣 50.00%, 草炭 4.96%, 珍珠岩 45.04%; 配方 3: 草菇菇渣 17.27%, 草炭 32.73%, 珍珠岩 50.00%。分析优化结果可知, 期望值越接近 1, 综合评价越佳, 配方 1 期望值为 0.75, 高于配方 2 和配方 3, 故配方 1 为最优配方。

对得到的 3 组优化配方进行验证试验, 以草炭作为对照, 结果见表 6。3 个配方的黄瓜株高实测值均高于预测值, 茎粗实测值与预测值差异较小; 3 个配方中黄瓜维生素 C 含量均与预测值差异较大, 可溶性糖含量与预测值差异较小; 配方 1 和配方 2 黄瓜硝酸盐含量与预测值差异较小, 配方 3 黄瓜硝酸盐含量与预测值差异较大; 配方 1 和配方 3 黄瓜单株产量与预测值差异较小, 配方 2 黄瓜单株产量与预测值差异较大。配方 1 黄瓜株高、茎粗、维生素 C 含量、可溶性糖含量和单株产量均高于对照, 硝酸盐含量低于对照, 而配方 2、配方 3 黄瓜茎粗均小于对照。因此, 可选择配方 1 替代对照配方。

表 6 优化配方验证试验结果
Table 6 Verification test results of optimized formula

组别	株高(cm)		茎粗(mm)		维生素 C(mg/kg)		可溶性糖(%)		硝酸盐(mg/kg)		单株产量(g)	
	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值
配方 1	333.99	350.00	11.57	11.74	170.45	101.01	1.16	1.31	351.83	351.04	2 107.17	2 123.33
配方 2	296.21	313.33	11.42	11.24	132.85	106.49	1.03	1.21	356.64	357.46	1 977.56	1 766.67
配方 3	285.89	305.00	10.37	10.75	140.61	112.47	1.09	1.21	446.77	404.45	2 105.77	2 096.67
对照	-	290.00	-	11.54	-	89.55	-	1.14	-	411.34	-	1 500.00

注: - 表示对照组试验无预测值。

3 讨论

3.1 基质理化性状

栽培基质的好坏对植物的生长发育乃至产量品质起到直接的影响, 基质作为植物生长的介质, 除了支持、固定植株外, 还应为植物的生长提供稳定协调的根际环境^[20]。目前基质的评价指标主要以基质的容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度、EC、pH 为主^[21]。大量研究表明, 使用菌渣作为基质存在 EC 值偏高的问题, 结合本次试验发现, 草炭与珍珠

岩复配的基质 EC 值较低, 草菇菇渣与草炭、珍珠岩复配的基质 EC 值均超过 2.50 mS/cm, 因此黄瓜栽培前采用滴灌清水进行洗盐, 从而降低 EC 值, 避免黄瓜烧根。本试验结果表明, 随着草菇菇渣用量增加, pH 和 EC 值逐步升高, 说明菇渣中含有丰富的营养成分和较高的盐分, 可能是制作菌棒的原料中含有较多的营养成分和石灰所致^[22]。本试验中最优配方的基质比例为草菇菇渣 32.02%、草炭 60.00%、珍珠岩 7.98%, 测得该配方的容重为 0.16 g/cm³, 总孔隙度为 68.20%, EC 值为 1.87 mS/cm, pH 为 7.27, 各项

指标均适合黄瓜生长。

3.2 优化配方对黄瓜农艺性状、果实品质和产量的影响

株高、茎粗等形态指标可以直观地反映植株的生长情况。本试验中,草菇菇渣和草炭对黄瓜植株株高的影响显著,草炭对黄瓜植株茎粗的影响较大,最优配方验证得到的株高为350.00 cm,茎粗为11.74 mm,均高于对照草炭,说明该配方适合黄瓜生长,这与田锁霞等^[23]、张颖等^[24]的研究结果相似,菇渣替代草炭的最大比例不超过40%,黄瓜长势较好。

维生素C及可溶性糖含量是影响果实营养品质的主要因素^[25]。硝酸盐含量是衡量果蔬品质的一个重要指标,硝酸盐含量小于432 mg/kg,可以安全生食^[26]。本试验中,最优配方验证得到的维生素C含量为101.01 mg/kg,高于对照草炭12.79%;可溶性糖含量为1.31%,比对照高14.79%;硝酸盐含量为351.04 mg/kg,比对照低14.66%;说明菇渣使用比例为32.02%,与草炭、珍珠岩混配,能有效改善基质的理化性状,提高黄瓜的品质,这与王涛等^[7]的研究结果相似,即海鲜菇菇渣使用比例为33%,搭配珍珠岩与蛭石,黄瓜果实品质较好。本次试验中,维生素C含量和可溶性糖含量与预测值具有一定误差,可能是由于设施大棚环境变化而导致黄瓜在维生素C和可溶性糖积累上存在偏差。

产量是衡量基质是否适合植株生长的重要指标之一。本试验中最优配方的黄瓜产量为2 123.33 g,较对照草炭提高41.56%,说明添加32.02%草菇菇渣与草炭、珍珠岩复配,栽培效果较好,产量高于对照草炭,这与王涛等^[7,9]、张颖等^[24]的研究结果相似。本试验中,草炭栽培的黄瓜品质和产量显著低于菇渣基质栽培,可能是草炭的肥力有限,在未施其他肥料的情况下,草炭的营养低于菇渣基质,导致栽培效果差,与葛桂民等^[27]的研究结论相似。

3.3 优化配方的效益分析

目前福建省进口的德国K牌草炭土约1 000元/m³,珍珠岩约400元/m³,草菇菇渣约120元/m³,使用最优配方草菇菇渣32.02%、草炭60.00%、珍珠岩7.98%,成本只需670元/m³左右,与纯草炭相比,可节省成本约33%。

4 结论

本试验采用混料设计,建立不同基质配比与黄瓜农艺性状、果实品质和产量之间的回归模型,通过优化,得到最优基质配方为草菇菇渣32.02%、草炭

60.00%、珍珠岩7.98%,经验证,其株高、茎粗、维生素C含量、可溶性糖含量和单株产量均高于对照草炭,硝酸盐含量较低,说明该配方具有较高的可行性,混料设计法在优化基质配比上有效可行,草菇菇渣可代替草炭基质,节省成本,有效减少农业废弃物,实现废弃物的循环再利用,保护生态环境,促进农业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 柳霖,高峰,韩宁,等. 基于黑木耳菌渣的生菜栽培基质研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(4): 492-506.
- [2] 胡留杰,李燕,田时炳,等. 菌渣还田对菜地土壤理化性状、微生物及酶活性的影响研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(1): 98-104.
- [3] 栗方亮,王焯平,张青,等. 菌渣对土壤性状和作物的影响及其再利用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(3): 100-106.
- [4] 桑羽希,张昊琳,高晓静,等. 草菇菇渣栽培双孢蘑菇过程中的理化性状和木质纤维素分解利用研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(8): 152-157.
- [5] 陆思文,罗凡,兰国俊,等. 施用菇渣与有机肥对生菜生长和重金属累积的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 969-978.
- [6] 王涛,雷锦桂,陈永快,等. 海鲜菇渣复合基质对结球莴苣生长的影响[J]. 福建农业学报, 2018, 33(10): 1043-1048.
- [7] 王涛,雷锦桂,陈永快,等. 海鲜菇渣复合基质对黄瓜生长、果实品质和产量的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(1): 32-38.
- [8] 王涛,雷锦桂,陈永快,等. 海鲜菇渣复配基质在茄子栽培上的应用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 175-179.
- [9] 王涛,雷锦桂,黄语燕,等. 绣球菌渣复合基质对黄瓜幼苗素质及产量的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(1): 177-185.
- [10] 王景瑞. 平菇菇渣复配基质对甜瓜秧苗质量的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [11] 刘伟,余宏军,蒋卫杰. 我国蔬菜无土栽培基质研究与应用进展[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 4-7.
- [12] 李亚娇,孙国琴,郭九峰,等. 食用菌菌糠利用的最新研究进展[J]. 中国食用菌, 2017, 36(4): 1-4.
- [13] 余昌霞,赵妍,陈明杰,等. 利用不同培养料栽培的草菇子实体挥发性风味成分分析[J]. 食用菌学报, 2019, 26(2): 37-44.
- [14] 张丽姿,高涵,田益玲,等. D-最优混料设计优化树莓平菇解酒片主料配比[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 112-117.
- [15] 连兆煌. 无土栽培原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [16] 解胜利,刘娟娟,苟建霞. 果蔬中抗坏血酸含量的测定[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(1): 169-171.

- [17] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB 5009.33—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 焦永刚, 石琳琪, 董灵迪, 等. 蔬菜无土栽培基质初步筛选研究[J]. 河北农业科学, 2010, 14(9): 26–28.
- [20] 徐强, 张沛东, 涂忠. 植物基质栽培的研究进展[J]. 山东农业科学, 2015, 47(3): 131–137.
- [21] 康红梅, 张启翔, 唐菁. 栽培基质的研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 124–127.
- [22] 程斐, 张文静, 孙令强, 等. 棉籽壳菇渣复配基质理化性质分析及其对黄瓜幼苗的影响[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(12): 41–44.
- [23] 田锁霞, 陈清, 龚建英, 等. 蘑菇渣和园林废物堆肥复配基质在黄瓜育苗上的应用效果[J]. 中国蔬菜, 2011(12): 37–41.
- [24] 张颖, 牟森, 张金梅, 等. 不同配比菇渣基质对黄瓜产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2019(11): 1–5.
- [25] 刘晓英, 徐文栋, 焦学磊, 等. 不同配比红蓝 LED 光对黄瓜果实产量和品质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 80–84.
- [26] 范荣辉, 李岩, 杨辰海. 蔬菜中硝酸盐含量的安全标准及减控策略[J]. 河北农业科学, 2008, 12(11): 50–51.
- [27] 葛桂民, 李建欣, 卢钦灿, 等. 四种食用菌菌渣发酵后的理化性质及其栽培黄瓜的效果比较[J]. 北方园艺, 2020(14): 56–59.