

基于计算机模拟的香菜保鲜响应面分析法优化

邓珂¹, 张玉薇², 张倩³

(1. 广西科技大学 研究生处, 广西 柳州 545006; 2. 广西科技大学 电气与信息工程学院, 广西 柳州 545006;

3. 广西防城港市质量监督局, 广西 防城港 538100)

摘要:以新鲜香菜为试材,以叶绿素含量及含水量为参考指标,在单因素试验的基础上,选择温度、营养液浓度、过氧化钙含量 3 个因素,利用 Box-Behnken 中心组合试验和响应面分析法,模拟了二次多项式回归方程的预测模型,利用计算机模拟验证该模型的有效性,研究了各自变量交互作用对香菜保鲜的影响。结果表明:最佳保鲜条件为贮藏温度 4.2℃、过氧化钙含量 0.096 g/L、营养液配方为 0.339 g/L KH_2PO_4 + 15.5 mg/L FeSO_4 + 0.524 g/L MgSO_4 + 1.23 g/L CaCl_2 + 0.234 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + 0.226 mg/L Zn_2SO_4 + 2.79 mg/L H_3BO_3 。

关键词:响应面分析法;计算机模拟;香菜;保鲜

中图分类号:S 436.36 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)06-0140-04

香菜属芫荽属具有强烈气味的草本植物,其不但具有增香去腥的作用,还具有促进周围血液循环的功效,寒性体质者适当吃点香菜还能改善手脚发凉的等症状。响应面分析法(Response Surface Methodology, 记为 RSM)是由数学家 Box 和 Wilson 于 1951 年提出的一种最优化方法,通过建立数学模型来解决受多因素影响的最优组合问题,在更加广泛的范围内考虑因素的组合、预测响应值,比单因素分析方法更为有效^[1-2]。目前,响应面法已成为优化加工条件、降低成本的一种有效方法,广泛应用于食品、农业、化学、生物等领域^[3]。响应面分析法(RSM)主要有 3 种常用的试验设计方案,其中 Box-Behnken^[4]设计以因其因素水平少、试验次数少等优点在化学工业、食品学、工程学、生态学等其它领域中受到了广泛关注,并取得了较好的成果。

新鲜香菜难以保存,为了使香菜保鲜效果达到最优,选取温度、营养液浓度、过氧化钙含量 3 个因素,在单因素试验的基础之上,采用响应面法建立香菜活体保鲜效果的二次多项数学模型,并验证该模型的有效性;逐步分析探讨温度、营养液浓度、过氧化钙含量 3 个因素的最佳值,并为其它绿叶蔬菜的贮藏保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从菜地摘取新鲜香菜,剔除有机械伤、过老、过嫩的植株,挑选出无机械损伤、无病虫害,且成熟度一致的香

菜,用水冲洗掉根部泥土,然后随机分组。

1.2 试验方法

A 组用保鲜膜包裹,B 组香菜紧密地假植在含有水的保鲜箱中,并且使其根尖部位接触保鲜箱中的水分。C 组香菜植于同等含量水分的保鲜箱中,但其根尖部位不接触保鲜箱中的水分。后 2 种均置于 4℃ 环境下保藏。

根据 Box-Behnken 模型的中心组合试验设计原理。选取温度、营养液浓度、过氧化钙含量为自变量,分别以 X、Y、Z 来表示,每个变量 3 个水平,并以 -1、0、1 分别代表自变量的高、中、低水平,保鲜效果作为响应值^[5]。以前期试验为基础,通过多次比较、调配营养液浓度,以 0.35 g/L KH_2PO_4 + 16 mg/L FeSO_4 + 0.54 g/L MgSO_4 + 1.27 g/L CaCl_2 + 0.24 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + 0.23 mg/L Zn_2SO_4 + 2.88 mg/L H_3BO_3 营养液为 1 倍,选取 0.75、1.00、1.25 倍作为试验水平进行研究。试验因素及水平见表 1。

表 1 响应面试验因素与水平

水平	因素		
	X 温度/℃	Y 营养液浓度/倍	Z 过氧化钙含量/g·L ⁻¹
-1	2	0.75	0.08
0	5	1.00	0.10
1	8	1.25	0.12

1.3 项目测定

叶绿素含量的测定采用紫外分光光度计法^[5];含水量的测定采用烘干称重法^[5]。

2 结果与分析

2.1 温度、营养液成分、过氧化钙浓度对叶绿素含量的影响

2.1.1 模型方程的建立与显著性检验 基于计算机模

第一作者简介:邓珂(1980-),男,硕士,助理研究员,研究方向为计算机应用技术。E-mail:dengk1980@163.com.

收稿日期:2013-11-13

拟,对表2中数据进行多元回归拟合,选择对香菜保鲜效果较显著的3种因素(即X、Y、Z因素)为自变量,可得保鲜期的二次多项回归方程^[6]: $G_1 = -0.19X^2 - 0.032Y^2 - 9.250E-003Z^2 + 7.500E-003XY + 5.000E-003XZ - 0.025YZ - 0.039X - 0.014Y + 0.018Z + 1.26$ 。

表2 响应面法指标设计与试验结果

试验号	X 温度 /℃	Y 营养液 浓度/倍	Z 过氧化钙 含量/g·L ⁻¹	叶绿素含量 /mg·g ⁻¹	含水量 /%
1	-1	1	0	1.04	89.36
2	-1	-1	0	1.09	89.45
3	-1	0	-1	1.04	89.23
4	-1	0	-1	1.1	89.31
5	0	-1	-1	1.18	89.74
6	0	1	-1	1.21	89.63
7	0	-1	1	1.23	89.37
8	0	1	1	1.16	89.41
9	0	0	0	1.25	90.26
10	0	0	0	1.21	90.25
11	0	0	0	1.23	90.36
12	1	-1	0	0.98	88.63
13	1	1	0	0.96	88.23
14	1	0	-1	0.97	88.56
15	1	0	1	1.05	88.25

由表3可知,相关系数 $R^2=0.9737$,由此可以看出该试验所选用的模型高度显著,拟合优度好,试验误差小;校正决定系数 $R_{Adj}^2=0.9405$,说明此模型能解释94.05%的响应值变化,失拟项在0.05水平上不显著($P=0.1741>0.05$),表明模型与实际情况拟合较好,可用此模型对试验进行分析和预测^[7]。

表3 回归模型的方差分析

方差来源	自由度	平方和	均方和	F 值	P 值
回归模型	8	0.17	0.018	28.94	0.0001
失拟检验	3	3.176E-003	1.058E-003	2.79	0.1741
纯误差	4	1.526E-003	3.802E-004		
总误差	15	0.19			

$$R_{Adj}^2=0.9405; R^2=0.9737$$

表4 回归方程系数及其显著性检验

方程设计	均方值	系数估计值	P 值	F 值
截距		1.26		
X	0.012	-0.039	0.0039	17.91
Y	1.512E-003	-0.014	0.1769	2.26
Z	2.450E-003	0.018	0.0976	3.65
XY	2.250E-004	7.500E-003	0.5806	0.34
XZ	1.000E-004	5.000E-003	0.7109	0.15
YZ	2.500E-003	-0.025	0.0948	3.73
X ²	0.15	-0.19	<0.0001	218.94
Y ²	4.244E-003	-0.032	0.0401	6.33
Z ²	3.603E-004	-9.250E-003	0.4874	0.54

从表4可以看出,该试验所建立的模型中,因素X、X²对菠菜叶绿素含量的影响极显著($P<0.01$);Y²($P<$

0.05)影响显著;Y、Z、XY、XZ、YZ、Z²($P>0.05$)影响不显著。

2.1.2 叶绿素含量的响应面分析 分别将模型中X、Y、Z因素固定在初始水平,得到另外2个因素对保鲜期的模型,根据说的模型绘制出相应面图^[8]。

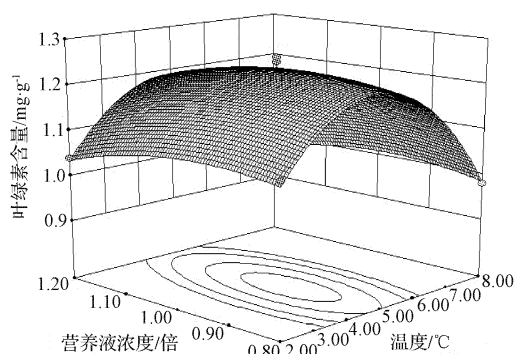


图1 温度与营养液浓度的响应面图

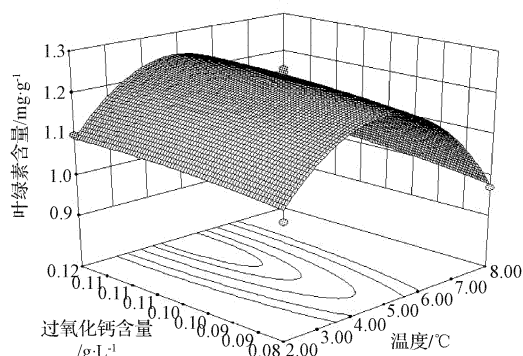


图2 温度与过氧化钙含量的响应面图

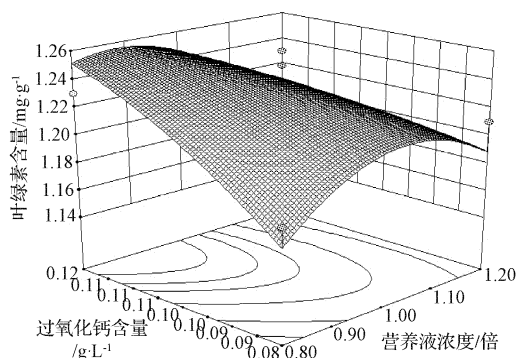


图3 营养液浓度与过氧化钙含量的响应面图

2.2 温度、营养液浓度、过氧化钙含量对含水量的影响

2.2.1 模型方程的建立与显著性检验 采用同样的方法,可得X、Y、Z因素与含水量之间的二次多项回归方程: $G_2 = -1.02X^2 - 0.32Y^2 - 0.43Z^2 - 2.5E-003XY - 0.098XZ + 0.037YZ + 90.37 - 0.45X - 0.078Y - 0.10Z$ 。由表5可知,相关系数 $R^2=0.9932$,由此可以看出该试验所选用的模型高度显著,拟合优度好,试验误差小;校

正决定系数 $R_{Adj}^2=0.9841$,说明此模型能解释 98.41% 的响应值变化;失拟项在 0.05 水平上不显著($P=0.0503>0.05$),表明模型与实际情况拟合较好,因而可用此模型对试验进行分析和预测。

表 5 回归模型的方差分析

方差计算	自由度取值	平方和数值	均方和取值	F 值	P 值
回归模型	8	7.76	0.88	108.24	<0.0001
失拟检验	3	0.0459	0.0145	6.60	0.0503
纯误差	4	9.401E-003	2.348E-003		
总误差	14	7.82			

$$R^2=0.9932 \quad R_{Adj}^2=0.9841$$

从表 6 可以看出,该试验所建立的模型中,因素 X、 X^2 、 Y^2 、 Z^2 对保鲜期的影响极显著($P<0.01$);Y、Z($P<0.05$)影响显著;XY、XZ、XZ($P>0.05$)影响不显著。

表 6 回归方程系数及其显著性检验

回归方程项	均方值	系数估计值	P 值	F 值
截距		90.37		
X^2	4.35	-1.02	<0.0001	546.98
Y^2	0.42	-0.32	0.0002	52.97
Z^2	0.77	-0.43	<0.0001	96.23
XY	2.500E-005	-2.500E-003	0.9568	3.145E-003
XZ	0.038	-0.098	0.0650	4.78
YZ	5.625E-003	0.037	0.4281	0.71
X	1.58	-0.45	<0.0001	199.27
Y	0.048	-0.078	0.0436	6.04
Z	0.084	-0.10	0.0140	10.57

2.2.2 含水量的响应面分析 从图 4~6 可以看出,等高线封闭表明有极值(最大值)存在,为了求回归方程最优解,将拟合方程对各自变量求偏导数并整理得到方程组: $-0.078-0.0025X-0.64Y+0.037Z=0$; $-0.45-2.04X-0.0025Y-0.098Z=0$; $-0.1-0.098X+0.037Y-0.86Z=0$,得出在温度为 4.2℃、营养液浓度为 0.97 倍、过氧化钙含量为 0.096 g/L,其相应的响应值为 90.43%。

2.2.3 验证试验结果 为了进一步验证最优保鲜条件,在温度为 4.2℃、营养液浓度为 0.97 倍、过氧化钙含量为 0.097 g/L 条件下,响应值达到了 90.27%,相对误差

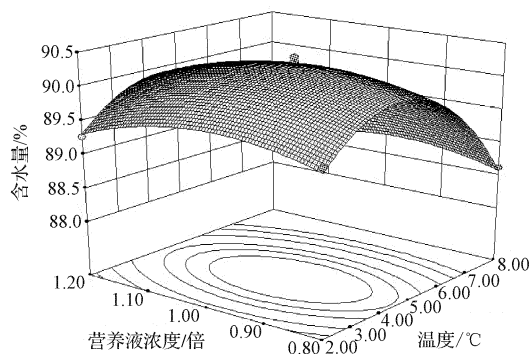


图 4 温度与营养液浓度的响应面图

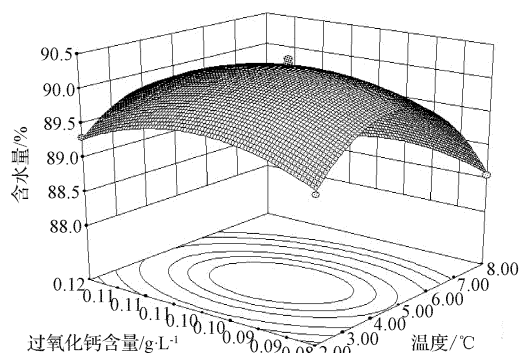


图 5 温度与过氧化钙含量的响应面图

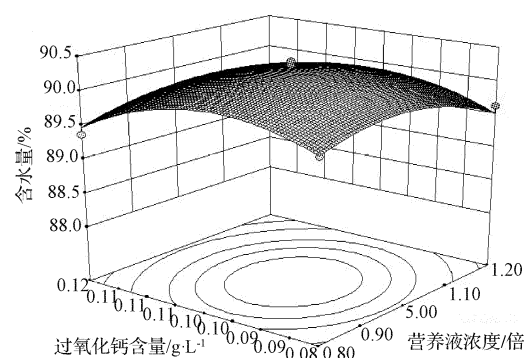


图 6 营养液浓度与过氧化钙含量的响应面图

为 0.16%。因此,采用响应面分析法得到的最优条件是准确可行的。

3 结论

该试验结果表明,响应面模型与实际情况拟合较好,可用此模型对试验进行分析和预测。试验确定了最佳保鲜条件:贮藏温度 4.2℃、过氧化钙含量 0.096 g/L、营养液浓度为 0.97 倍,即营养液配方为 0.339 g/L KH_2PO_4 + 15.5 mg/L FeSO_4 + 0.524 g/L MgSO_4 + 1.23 g/L CaCl_2 + 0.234 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + 0.226 mg/L Zn_2SO_4 + 2.79 mg/L H_3BO_3 。该试验结果表明,基于数值分析的响应面法优化,对香菜保鲜是可以提供有用的指导的。

参考文献

- [1] 慕运动. 响应面方法及其在食品工业中的应用[J]. 郑州工程学院学报, 2001, 22(3): 91-94.
- [2] 章凯, 黄国林, 黄小兰. 响应面法优化微波辅助萃取柠檬皮中果胶的研究[J]. 精细化工, 2010, 27(1): 52-56.
- [3] Smith J P, Daifas D P, El-Khoury W, et al. Shelf life and safety concerns of bakery products—a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2004, 44(1): 19-55.
- [4] 王瑾. 臭氧对鲜切花椰菜保鲜及农药残留降解的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [5] 李喜宏, 陈丽. 实用果蔬保鲜技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2001: 5-59.

白灵菇高活力液体菌种摇瓶发酵培养条件的优化

董玉兰, 李书生, 张丽萍, 程辉彩, 习彦花, 张根伟

(河北省科学院 生物研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要:以白灵菇为试材,通过摇瓶方法,以白灵菇菌丝生物量、菌球密度及萌发活力指数为检测指标,对白灵菇高活力液体菌种培养条件进行了优化研究,以期提高白灵菇液体菌种的活力。结果表明:该菌株的最适培养条件为温度 28℃,转速 180 r/min,培养时间 60 h;最佳培养基配方为 3.0%玉米粉、1.5%葡萄糖、0.3%蛋白胨、2.0%黄豆粉、0.1%KH₂PO₄、0.1%MgSO₄。

关键词:液体菌种;培养条件;生物量;菌球密度;萌发活力

中图分类号:S 646 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)06-0143-04

白灵菇(*Pleurotus nebrodensis*)是一种食药价值很高的大型真菌,又名阿魏菇,在食品、医药等方面具有广阔的开发和应用前景^[1]。先进的制种技术对白灵菇

的生产和国际贸易具有重要影响,传统的由母种到栽培种的固体菌种栽培方式费时费力、生长周期长,使白灵菇大规模生产受到一定的限制,满足不了市场的需要^[2],液体菌种具有培养时间短、发菌快、菌龄整齐、接种方便等优点,可以相应地延后制种期和投料期,在华北地区实现 8 月底投料、10 月初菌丝满袋、养菌 1 个月后出菇,改变传统的 5 月初投料、秋季出菇模式,减少过夏养菌对养分的消耗,可显著提高原料利用率、降低污染、提高产量,便于实现工厂化生产,受到众多食用菌生产企业的青睐,已成为食用菌制种产业的发展趋势^[3]。

食用菌液体菌种生产技术和综合食用菌及工业发

第一作者简介:董玉兰(1986-),女,吉林辽源人,硕士,实习研究员,现主要从事有益微生物等研究工作。E-mail: dong_yulan@126.com。

责任作者:张根伟(1976-),男,河北博野人,本科,副研究员,现主要从事农业有益微生物等研究工作。E-mail: 889io@sina.com。

基金项目:河北省科技攻关资助项目(09235502D);河北省科学院科技计划资助项目(11326)。

收稿日期:2013-12-17

[6] 付光中,章超桦,吉宏武,等. 凡纳滨对虾虾头协同水解工艺的响应面优化[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 18-21.

[7] 申迎宾,范子剑,麻浩. 响应面法优化发芽豇豆积累-氨基丁酸工艺条

件的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 10-16.

[8] 王永菲,王成国. 响应面法的理论与应用[J]. 中央民族大学(自然科学版), 2005, 14(3): 236-240.

Response Surface Methodology of Parsley Preservation Based on Computer Simulation

DENG Ke¹, ZHANG Yu-wei², ZHANG Qian³

(1. Graduate School, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545006; 2. School of Electrical and Information Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545006; 3. Fangchenggang Bureau of Quality Supervision, Fangchenggang, Guangxi 538100)

Abstract: Choosing fresh parsley as test material, chlorophyll and water content as reference indicators, based on the univariate tests, temperature, and nutrition liquid concentration and oxidation calcium concentration such 3 factors were selected using Box-Behnken Center combination test and response surface analysis law. Prediction model of quadratic polynomial regression was simulated here and effectiveness of the model would be verified by computer simulation. So interaction on cilantro and fresh-keeping effects of the respective variable were studied. The results showed that the best preservation conditions storage temperature was 4.2℃, calcium peroxide content was 0.096 g/L and nutrient solution formula was 0.339 g/L KH₂PO₄ + 15.5 mg/L FeSO₄ + 0.524 g/L MgSO₄ + 1.23 g/L CaCl₂ + 0.234 g/L (NH₄)₂SO₄ + 0.226 mg/L Zn₂SO₄ + 2.79 mg/L H₃BO₃.

Key words: response surface methodology; computer simulation; parsley; preservation