

许俊齐,贾 君,徐 超,等. 响应面法优化野生白灵菇菌丝生长条件[J]. 江苏农业科学,2020,48(5):137-142.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.05.029

响应面法优化野生白灵菇菌丝生长条件

许俊齐,贾 君,徐 超,凡军民,谢春芹,曹 森,魏壮壮

(江苏农林职业技术学院茶与食品科技学院,江苏句容 212400)

摘要:以新疆维吾尔自治区塔城县野生白灵菇为研究对象,探讨其菌丝培养阶段 pH 值、温度、碳源、氮源、碳氮比(C/N)对野生白灵菇菌丝生长特性的影响。结果表明,pH 值为 6.5~7.5 条件下,白灵菇菌丝生长速度保持在相对较高水平,培养温度为 24~26℃较利于白灵菇菌丝的生长;白灵菇菌丝培养良好的碳源为蔗糖、麦芽糖,氮源为蛋白胨、酵母浸膏;培养基中,C/N 为 20:1 时,菌丝生长速度相对最快。根据 Box-Behnken 中心组合试验原理,设计 3 因素 3 水平响应面试验对白灵菇菌丝生长条件进行优化,结果表明,菌丝生长较优的条件为温度 24℃、pH 值 6.5、碳氮比 21:1,此条件下白灵菇菌落直径为 58.13 mm,菌丝生长速度为 4.79 mm/d,与预测值相符。

关键词:白灵菇;菌丝特性;温度;碳氮比;pH 值;响应面法

中图分类号:S646.1⁺40.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)05-0137-06

白灵菇(*Pleurotus nebrodensis*)别称天山白灵芝,担子菌纲伞菌目侧耳科侧耳属(*Pleurotus*)真菌^[1],子实体通体洁白,菇体肥大,盖厚柄粗,脆嫩可口,质地密实,香味浓郁,具有药用和保健功能。白灵菇营养丰富,人体必需的 8 种氨基酸含量相对较高,占其总氨基酸含量的 35%,对提高人体非特异性免疫功能具有良好的促进作用,是一种珍稀的天然保健食品^[2-7],存在较好的市场潜力和经济效益。

白灵菇在我国仅分布于新疆维吾尔自治区的干旱沙漠地区,故又有“天山神菇”“西天白灵菇”之称^[8-9],其中,新疆塔城县白灵菇具有朵型大、颜色洁白、产量高等特点。本试验以新疆塔城县白灵菇菌种为对象,探讨其菌丝培养条件及生长特性,以选育出适合江苏地区产业发展的菌株,增加江苏白灵菇品类,并改进其现有栽培技术,为新疆白灵菇的成功引种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌种 白灵菇菌种,由新疆维吾尔自治区塔城县白灵菇种植基地提供。

1.1.2 仪器与设备 JA2003 型电子天平,上海天平仪器厂生产;美的(Midea)WK2102 型电磁炉,美

收稿日期:2019-01-24

基金项目:江苏农林职业技术学院科技项目——现代园艺工程技术中心平台建设(编号:2014KJ26)。

作者简介:许俊齐(1986—),男,陕西西安人,硕士,实验师,从事农产品加工及贮藏技术研究。E-mail:wzajurong@163.com。

通信作者:贾 君(1966—),博士,教授,从事食品质量分析、农畜产品质量评价及加工研究。E-mail:772805883@qq.com。

[8]李建明,潘铜华,王玲慧,等. 水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(10):82-90.

[9]周振江,牛晓丽,李 瑞,等. 番茄叶片光合作用对水肥耦合的响应[J]. 节水灌溉,2012(2):28-32,37.

[10]戴相林,马瑞萍,廖文华,等. 不同土壤含水量下施氮量及施氮时期对西藏春小麦农艺性状和产量的影响[J]. 西南农业学报,2017,30(6):1382-1389.

[11]武继承,杨永辉,郑惠玲,等. 水肥互作对小麦-玉米周年产量及水分利用率的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(7):67-72.

[12]何 军,崔远来,张大鹏,等. 不同水肥耦合条件下水稻干物质积累与分配特征[J]. 灌溉排水学报,2010,29(5):1-5.

[13]中国刚. 罗平小黄姜产业发展现状及对策[J]. 云南农业,2016

(12):61-63.

[14]张美玲,雷丽仙,雷元宽,等. 生姜-油菜生产模式在云南罗平县的示范效果解析[J]. 中国种业,2017(8):45-46.

[15]李 邵,薛绪掌,郭文善,等. 水肥耦合对温室盆栽黄瓜产量与水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):376-381.

[16]高 静,梁银丽,贺丽娜,等. 水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响[J]. 中国农学通报,2008(5):250-255.

[17]程福厚,苑春华,张纪英,等. 施肥和灌水对核桃产量和生长的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(1):269-272.

[18]吕清海. 不同水肥供应水平下温光对番茄生长及产量和水肥利用率的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.

的集团股份有限公司生产;HH-2 型数显恒温水浴锅,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司生产;SW-CJ-LF 型净化操作台,圣欣科学仪器有限公司生产;LRH-150B 型恒温培养箱,天津市中环实验电炉有限公司生产;XFS-280A 型高压灭菌锅,上海尚道仪器设备有限公司生产。

1.1.3 基础培养基 蛋白胨 2.0 g、葡萄糖 20.0 g、 KH_2PO_4 1.0 g、 MgSO_4 0.5 g、琼脂粉 12.0 g、蒸馏水 1 000 mL,自然 pH 值。

1.2 试验方法

1.2.1 不同培养条件对白灵菇菌丝生长的影响

将菌龄与厚度基本一致、颜色洁白、直径为 5 mm 的白灵菇菌种圆片,分别接种到 1 个条件或物质发生变化、其他条件或物质相对固定不变的基础培养基上,相对湿度为 75%~80%、25℃ 恒温培养箱中黑暗培养;待菌丝萌发,采用“十”字交叉法测定菌落直径,每隔 12 h 测量 1 次,连续测量 5 d,测量 10 次,计算菌丝日均生长速率及菌丝长势。试验设置不同 pH 值为 4.5、5.5、6.5、7.5、8.5;设置光照培养箱不同温度为 20、22、24、26、28℃;设置不同碳源为葡萄糖、蔗糖、可溶性淀粉、乳糖、麦芽糖;设置不同氮源为硫酸铵、酵母浸膏、硝酸钾、蛋白胨;固定基础培养基中蔗糖含量不变,变换蛋白胨含量,设置不同碳氮比(C/N)为 10:1、15:1、20:1、25:1、30:1。每处理重复 3 次。

1.2.2 响应曲面设计 在单因素试验的基础上,分别以菌丝生长速度平均值、菌丝培养 5 d 时的菌落直径为响应值,采用响应曲面分析法对白灵菇菌丝生长温度、pH 值、C/N 这 3 个条件进行 3 因素 3 水平 Box-Behnken 中心组合试验。

1.3 统计分析

采用 Minitab 数据处理系统、WPS 2016 软件对试验数据进行统计,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析,利用 Design-expert 8.0.6 软件对响应曲面法获得的试验数据进行处理和回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同培养条件对白灵菇菌丝生长的影响

2.1.1 pH 值 由图 1 可知,白灵菇菌丝在 pH 值为 4.5~8.5 的培养基上均能生长,且菌丝生长速度在不同 pH 值条件下相互间差异不显著($P>0.05$);随培养时间的延长,白灵菇菌丝生长速度整体呈先增加后降低趋势,培养 3 d 时菌丝日生长速度相对

最高,这可能与培养基中菌丝营养物质被逐渐消耗有关;pH 值为 8.5 的较高 pH 值条件及 pH 值为 4.5、5.5 的较低 pH 值条件下,菌丝日生长速度相对较低,而 pH 值为 6.5、7.5 条件下,菌丝日生长速度保持在 4.23 mm/d 以上,且菌丝洁白、浓密。因此,白灵菇菌丝生长培养基相对最适合的 pH 值为 6.5~7.5。

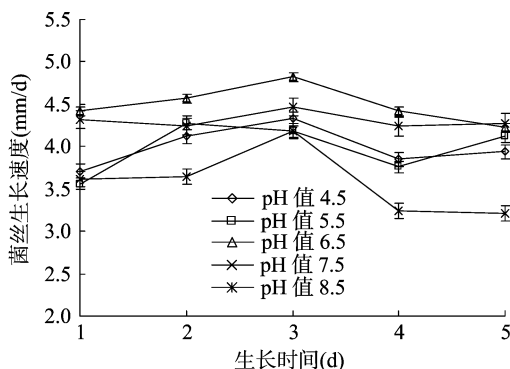


图1 不同 pH 值培养基对白灵菇菌丝生长的影响

2.1.2 培养温度 由表 1 可知,在不同培养温度条件下,白灵菇菌丝生长速度存在明显差异;随培养温度的增加,白灵菇菌丝日均生长速度呈先增加后下降趋势,其中,24℃ 时菌丝生长速度达到最大,菌丝日均生长速度达到 4.482 mm/d,与 26、28℃ 培养的的差异不显著($P>0.05$),极显著高于 22、20℃ 条件下培养的菌丝($P<0.01$);24、26℃ 条件下培养的白灵菇其菌丝洁白、浓密、粗壮,而 28℃ 条件下培养的白灵菇其菌丝日均生长速度较 24、26℃ 的有所下降,菌丝色泽偏黄,且较为稀松,28℃ 的温度条件已不适宜白灵菇菌丝生长。因此,白灵菇菌丝生长相对最适合的温度为 24~26℃。

2.1.3 碳源 蔗糖、麦芽糖为双糖,常在培养基中被用作小分子碳源。由表 2 可知,白灵菇菌丝在葡萄糖、蔗糖、可溶性淀粉、乳糖、麦芽糖这 5 种供试碳源培养基上均能生长,其中,以蔗糖、麦芽糖作为碳源相对较好,白灵菇菌丝日均生长速度相对较高,分别为 4.504、4.450 mm/d,极显著高于其他 3 种碳源($P<0.01$);以葡萄糖、可溶性淀粉、果糖作为碳源培养白灵菇,其菌丝日均生长速度相互间存在显著差异($P<0.05$),其中以果糖作为碳源的菌丝生长速度相对最小。因此,蔗糖、麦芽糖作为碳源较适合白灵菇菌丝的生长,综合考虑以蔗糖作为碳源白灵菇菌丝日均生长速度较为平稳,且价格低廉,较易获得,故选择蔗糖为白灵菇菌丝培养的较佳碳源。

表 1 不同培养温度对白灵菇菌丝生长的影响

温度 (℃)	菌丝生长速度(mm/d)						差异显著性	
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	均值	0.05	0.01
20	3.79 ± 0.11	3.56 ± 0.08	3.52 ± 0.05	3.23 ± 0.06	3.31 ± 0.07	3.482	c	C
22	4.13 ± 0.04	3.89 ± 0.02	4.06 ± 0.12	4.11 ± 0.07	3.98 ± 0.06	4.034	b	B
24	4.62 ± 0.05	4.52 ± 0.04	4.44 ± 0.09	4.50 ± 0.08	4.33 ± 0.11	4.482	a	A
26	4.55 ± 0.08	4.47 ± 0.06	4.39 ± 0.06	4.42 ± 0.07	4.36 ± 0.13	4.438	a	A
28	4.43 ± 0.03	4.45 ± 0.03	4.36 ± 0.11	4.36 ± 0.09	4.32 ± 0.08	4.384	a	A

表 2 不同碳源对白灵菇菌丝生长的影响

碳源	菌丝生长速度(mm/d)						差异显著性	
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	均值	0.05	0.01
蔗糖	4.42 ± 0.09	4.60 ± 0.08	4.50 ± 0.07	4.49 ± 0.09	4.51 ± 0.09	4.504	a	A
麦芽糖	4.26 ± 0.08	4.52 ± 0.05	4.58 ± 0.07	4.42 ± 0.13	4.47 ± 0.12	4.450	a	A
葡萄糖	4.03 ± 0.10	4.12 ± 0.07	4.14 ± 0.14	4.20 ± 0.14	4.12 ± 0.11	4.122	b	B
可溶性淀粉	3.75 ± 0.11	3.68 ± 0.05	3.59 ± 0.13	3.48 ± 0.09	3.44 ± 0.08	3.588	c	C
果糖	3.12 ± 0.09	2.87 ± 0.03	2.95 ± 0.11	3.01 ± 0.08	3.11 ± 0.06	3.012	d	D

2.1.4 氮源 由表 3 可知,白灵菇菌丝培养可利用硫酸铵、酵母浸膏、硝酸钾、蛋白胨作为氮源,但菌丝生长速度有明显不同,其中,酵母浸膏、蛋白胨作为氮源的白灵菇菌丝日均生长速度相对较高,分别为 4.192、4.014 mm/d,对菌丝生长的影响相互间差异不显著($P>0.05$),但极显著高于其他 2 种氮源

($P<0.01$)。观察菌丝外观发现,以硫酸铵、硝酸钾为氮源的白灵菇菌丝较为稀松、颜色浅白,而以酵母浸膏、蛋白胨为氮源的白灵菇菌丝浓密,且菌落直径明显大于其他 2 组。因此,白灵菇菌丝生长的较佳氮源为酵母浸膏与蛋白胨。

表 3 不同氮源对白灵菇菌丝生长的影响

氮源	菌丝生长速度(mm/d)						差异显著性	
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	均值	0.05	0.01
酵母浸膏	4.32 ± 0.10	4.15 ± 0.08	4.22 ± 0.07	4.10 ± 0.08	4.17 ± 0.13	4.192	a	A
蛋白胨	4.12 ± 0.07	4.03 ± 0.06	4.04 ± 0.04	3.79 ± 0.04	4.09 ± 0.06	4.014	ab	AB
硫酸铵	3.98 ± 0.06	4.03 ± 0.05	3.59 ± 0.06	3.83 ± 0.14	3.65 ± 0.04	3.816	b	B
硝酸钾	2.75 ± 0.05	3.05 ± 0.03	3.03 ± 0.08	2.59 ± 0.05	2.95 ± 0.06	2.874	c	C

2.1.5 碳氮比 由表 4 可知,在不同碳氮比条件下,白灵菇菌丝都能生长,但菌丝生长速度有明显不同; C/N 为 20 : 1 时,白灵菇菌丝日均生长速度为 4.378 mm/d,显著高于其他 4 个处理($P<0.05$); C/N 为 25 : 1 的白灵菇菌丝日均生长速度与 C/N 为 15 : 1 的处理相互间差异不显著($P>0.05$), C/N 为 10 : 1 的白灵菇菌丝日均生长速度与 C/N 为 30 : 1 的处理相互间差异不显著。观察菌丝外观状况发现, C/N 分别为 20 : 1、25 : 1 培养基培养的白灵菇菌丝浓密健壮,菌丝生长优良。可见,白灵菇为典型的木腐菌,在营养生长阶段对碳源的需求相对较

大,当 C/N 为 20 : 1 时利于白灵菇菌丝的生长。

2.2 白灵菇菌丝生长条件的优化

2.2.1 响应曲面设计多元回归结果 采用 Design Expert 8.0.6 软件对表 5 试验结果进行多元回归拟合,得出温度(A)、pH 值(B)、 C/N (C)与菌丝生长速度(Y_1)、菌落直径(Y_2)这 2 个响应值之间不是简单的线性关系,而得到二次回归方程(模型)分别为:

$$Y_1 = 4.78 + 0.10A + 0.099B + 0.066C - 0.11AB + 0.120AC + 0.07BC - 0.23A^2 - 0.33B^2 - 0.26C^2;$$
$$Y_2 = 57.28 + 3.43A + 0.420B + 3.330C - 0.23AB - 0.205AC - 0.07BC - 5.94A^2 - 4.36B^2 - 5.24C^2。$$

表 4 不同碳氮比对白灵菇菌丝生长的影响

C/N	菌丝生长速度 (mm/d)						差异显著性	
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	均值	0.05	0.01
10 : 1	3.21 ±0.07	3.55 ±0.06	3.44 ±0.13	3.50 ±0.08	3.46 ±0.05	3.432	c	C
15 : 1	4.11 ±0.06	3.89 ±0.06	3.95 ±0.07	3.75 ±0.07	3.56 ±0.14	3.852	b	B
20 : 1	4.23 ±0.11	4.52 ±0.08	4.44 ±0.11	4.32 ±0.09	4.38 ±0.08	4.378	a	A
25 : 1	4.13 ±0.05	4.26 ±0.09	4.18 ±0.12	4.11 ±0.08	3.85 ±0.05	4.106	b	AB
30 : 1	3.12 ±0.09	3.20 ±0.07	3.16 ±0.14	3.27 ±0.04	3.15 ±0.07	3.180	c	C

表 5 响应曲面 Box – Benhnken 设计方案及试验结果

序号	A:温度 (℃)	B:pH 值	C : C/N 比	菌丝生长速度 (mm/d)	菌落直径 (mm)
1	24	7.0	15 : 1	4.12	45.30
2	23	6.0	20 : 1	3.85	42.62
3	24	6.0	25 : 1	4.13	50.21
4	24	6.0	15 : 1	4.14	43.58
5	25	6.5	15 : 1	4.18	47.53
6	24	7.0	25 : 1	4.39	51.65
7	24	6.5	20 : 1	4.87	57.49
8	24	6.5	20 : 1	4.79	58.16
9	23	6.5	25 : 1	4.17	48.77
10	24	6.5	20 : 1	4.76	57.32
11	23	7.0	20 : 1	4.34	43.19
12	25	6.5	25 : 1	4.56	50.26
13	25	6.0	20 : 1	4.32	51.23
14	23	6.5	15 : 1	4.28	37.86
15	24	6.5	20 : 1	4.75	56.48
16	24	6.5	20 : 1	4.73	56.95
17	25	7.0	20 : 1	4.38	50.88

由表 6 可知,菌丝生长速度、菌落直径模型 P 值均 < 0.0001 ,影响极显著,失拟项 P 值分别为 0.255 2、0.116 2,影响不显著($P > 0.05$),说明试验模型建立合理,试验设计可行,回归方程能准确反映温度、pH 值、C/N 比对白灵菇菌丝生长速度、菌落直径的影响;菌丝生长速度、菌落直径模型决定系数 R^2 分别为 0.986 6、0.989 8,调整决定系数 R^2_{Adj} 分别为 0.969 4、0.968 0,说明模型拟合度较好,误差较小,可用于白灵菇生长条件优化试验的分析与预测;菌丝生长速度模型中,一次项 A 、 B 、交互项 AC 、二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对模型影响极显著($P < 0.01$),一次项 C 、交互项 AB 对模型影响显著($P < 0.05$),交互项 BC 对模型影响不显著($P > 0.05$),而白灵菇菌落直径模型中,一次项 A 、 C ,交互项 AC ,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对模型影响极显著,一次项 B ,交互项 AB 、 BC 对模型影响不显著。

2.2.2 因素间的交互作用 响应面三维图可反映各因素之间的交互作用,响应曲面坡度越陡峭,说明响应值受到相应因素变化的影响较为显著。由图 2、图 3 可知,温度、pH 值、C/N 各两因素对菌丝生长速度、菌落直径响应曲面较为陡峭,交互作用较为明显,与回归模型分析结果较为一致。

2.2.3 菌丝生长条件优化与验证 根据二次多项式回归方程,计算得到白灵菇菌落直径相对最大的条件为温度 24.24℃、pH 值 6.02、C/N 21.35 : 1,此条件下菌落直径预测值为 58.152 9 mm;菌丝生长速度相对最优的条件为温度 24.24℃、pH 值 6.565、C/N 21.05 : 1,此条件下菌丝生长速度预测值为 4.805 57 mm/d。为便于实际生产操作,将优化条件调整为温度 24℃、pH 值 6.5、C/N 21 : 1,此条件下测得的菌落直径为 58.13 mm,菌丝生长速度为 4.79 mm/d,与 Design – Expert 8.0.6 得出的最优

表 6 回归方程方差分析

响应值 方差来源	菌丝生长速度 (mm/d)					菌落直径 (mm)				
	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1.380	9	0.150	35.61	<0.000 1 **	584.80	9	64.98	75.73	<0.000 1 **
A:温度	0.080	1	0.080	18.62	0.003 5 **	94.26	1	94.26	109.85	<0.000 1 **
B:pH 值	0.078	1	0.078	18.16	0.003 7 **	1.43	1	1.43	1.66	0.238 0
C:C/N	0.035	1	0.035	8.17	0.024 4 *	88.58	1	88.58	103.23	<0.000 1 **
AB	0.046	1	0.046	10.76	0.013 5 *	0.21	1	0.21	0.25	0.634 7
AC	0.060	1	0.060	13.97	0.007 3 **	16.73	1	16.73	19.50	0.003 1 **
BC	0.020	1	0.020	4.56	0.070 1	0.02	1	0.02	0.02	0.884 1
A ²	0.220	1	0.220	50.72	0.000 2 **	148.56	1	148.56	173.14	<0.000 1 **
B ²	0.460	1	0.460	106.72	<0.000 1 **	80.04	1	80.04	93.28	<0.000 1 **
C ²	0.270	1	0.270	63.72	<0.000 1 **	115.39	1	115.39	134.48	<0.000 1 **
残差	0.030	7				6.01	7	0.86		
失拟项	0.018	3		2.01	0.255 2	4.44	3	1.48	3.77	0.116 2
纯误差	0.012	4				1.57	4	0.39		
总离差	93 329.83	16				590.81	16			
R ²	0.986 6	0.989 8								
R ² _{Adj}	0.969 4	0.968 0								

注：*、** 分别表示统计结果对模型影响显著 ($P<0.05$)、极显著 ($P<0.01$)。

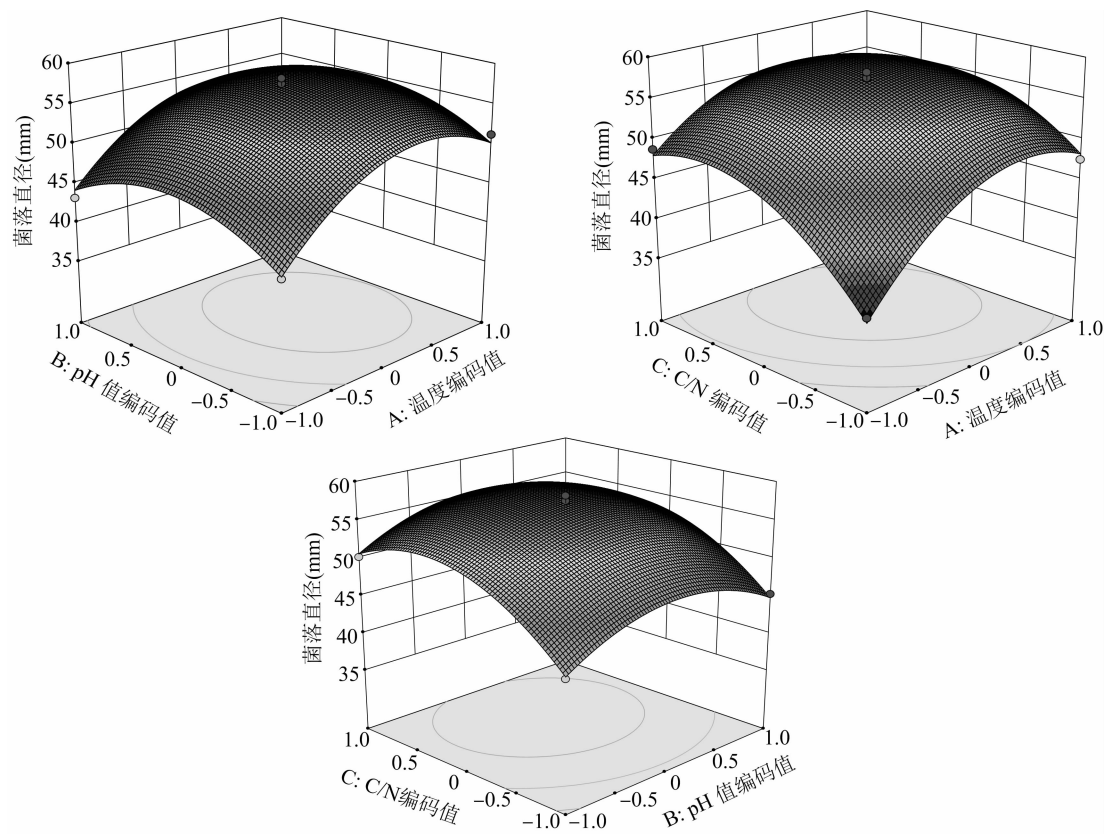


图2 温度、pH 值、C/N 各两因素交互作用对菌丝生长速度的响应曲面

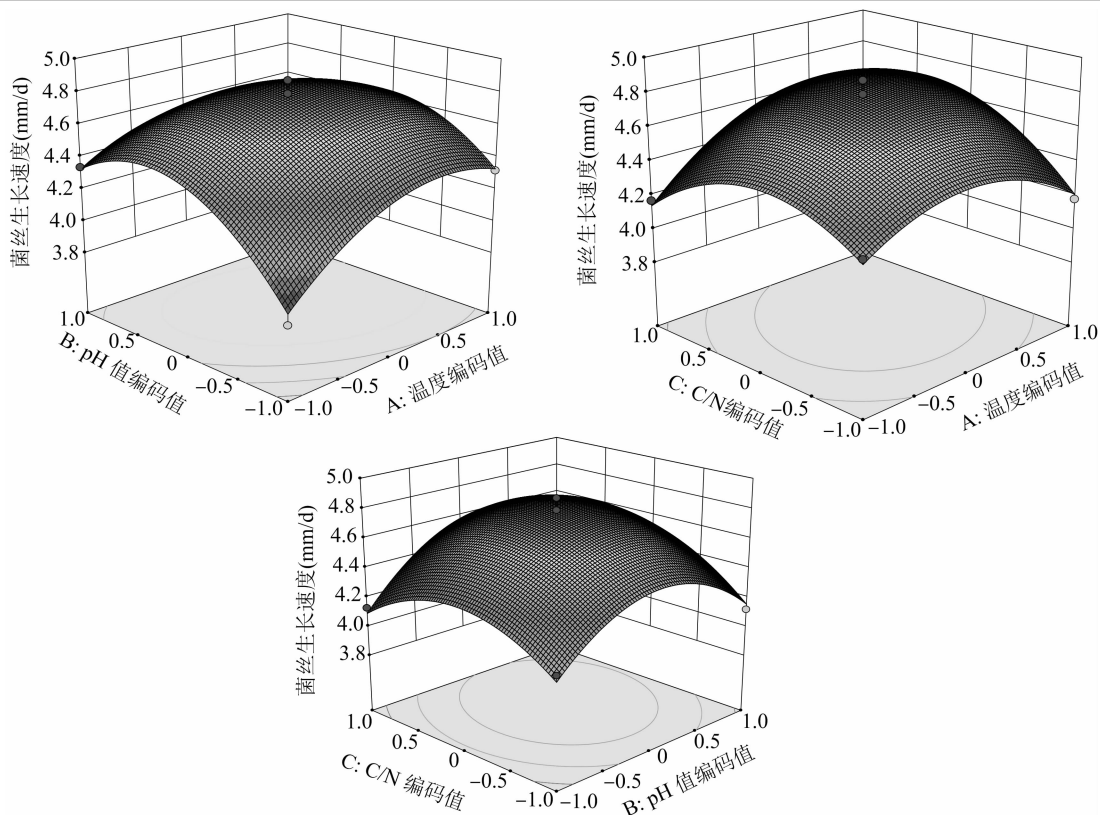


图3 温度、pH值、C/N 各两因素交互作用对菌落直径的响应曲面

参数预测值较为吻合,可见该试验设计方法可靠有效。

3 结论

本试验结果表明,新疆维吾尔自治区塔城县白灵菇菌丝在不同 pH 值培养基上均能生长,其中,在 pH 值为 6.5 的培养基上白灵菇菌丝生长发育良好;适宜白灵菇菌丝生长的相对最佳温度为 24 ~ 26 ℃,此条件下培养的白灵菇菌丝洁白、浓密、粗壮;白灵菇菌丝在葡萄糖、蔗糖、可溶性淀粉、乳糖、麦芽糖这 5 种供试碳源培养基上均能生长,其中以蔗糖作为碳源相对最好,白灵菇菌丝日均生长速度较为平稳,且蔗糖价格低廉,较易获得;酵母浸膏是白灵菇菌丝生长相对较好的氮源,培养基中 C/N 为 20 : 1 时更利于白灵菇菌丝的生长。

在单因素试验的基础上,按照 Box - Benhnken 中心组合试验设计原理,分别以菌落直径、菌丝生长速度为响应值,以温度、pH 值、C/N 为影响因子设计 3 因素 3 水平响应曲面试验,对白灵菇菌丝生长条件进行优化,结果表明,得到的二次回归模型相关性极显著 ($P < 0.01$),准确度、精密度较高,并

得出白灵菇菌丝最优生长参数为温度 24 ℃、pH 值 6.5、C/N 21 : 0,此条件下测得菌落直径为 58.13 mm,菌丝生长速度为 4.79 mm/d。

参考文献:

- [1] 王兰青,刘 宇,王守现,等. 工厂化栽培白灵菇配方筛选试验[J]. 北方园艺,2012(1):156 - 158.
- [2] 王耀荣,徐全飞,韩晓芳,等. 白灵菇工厂化栽培培养料筛选及栽培工艺的研究[J]. 天津农业科学,2011,17(3):118 - 121.
- [3] 谷延泽. 白灵菇和杏鲍菇的营养分析与比较[J]. 安徽农业科学,2009,37(21):9931 - 9932.
- [4] Cui H Y, Wu S F, Sun Y P, et al. Polysaccharide from *Pleurotus nebrodensis* induces apoptosis via a mitochondrial path way in HepG2 cells[J]. Food & Function,2016,7:455 - 463.
- [5] 董洪新,刘新海,陈志玲,等. 白灵菇子实体多糖提取工艺的研究[J]. 食用菌学报,2004,11(1):22 - 25.
- [6] 余冬芳,樊卫国,徐彦军. 白灵菇和大球盖菇的营养分析与比较[J]. 食用菌,2007(4):57 - 58.
- [7] 赵占军,张 勇,李 毅,等. 白灵菇生理生化研究进展[J]. 山西农业科学,2012,40(3):292 - 294.
- [8] 周长青. 白灵菇栽培基础生理和关键技术研究[D]. 泰安:山东农业大学,2007.
- [9] 吕作舟. 食用菌栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.