

以猪粪垫料和泥炭为原料的栽培基质研究

陈博阳¹, 余彬彬¹, 杨静¹, 王露¹, 刘玲玲¹, 金婷¹, 曹永红², 钱晓晴^{1*}

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 泰州天洁生态农业科技有限公司, 江苏泰州 225300)

摘要 [目的]研究猪粪垫料和泥炭作为原料配制栽培基质的可行性。[方法]将猪粪垫料、泥炭、蚯蚓粪、蛭石、菜园土按照一定比例混合作为原料配入基质,分析不同配比基质的理化性质及不同处理的小白菜生长情况。[结果]猪粪50%、蚯蚓粪10%、蛭石20%、菜园土20%配比的基质促进小白菜出苗和幼苗生长效果最好。[结论]该研究可为蔬菜栽培基质的研究与开发提供新思路。

关键词 猪粪垫料; 泥炭; 栽培基质

中图分类号 S626 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)28-0026-04

Study on the Cultivation Substrate with Pig Manure Padding and Peat as Raw Materials

CHEN Bo-yang, YU Bin-bin, YANG Jing, QIAN Xiao-qing* et al (College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127)

Abstract [Objective] The aim was to examine the technical feasibility of pig manure padding and peat as raw materials to prepare culture substrate. [Method] After pig manure padding, peat, vermicompost, vermiculite, vegetable garden soil were mixed together at a certain proportion the physicochemical properties of different proportion matrix and growth of Chinese cabbage in various treatments were analyzed. [Result] The results showed that seedling emergence and seedling growth of Chinese cabbage were the best in the substrate made up of 50% pig manure padding, 10% vermicompost, 20% vermiculite, 20% vegetable garden soil. [Conclusion] The study can provide new ideas for research and development of vegetable cultivation substrate.

Key words Pig manure padding; Peat; Cultivation substrate

目前,常用于生产蔬菜育苗与栽培基质的原料主要有草炭、珍珠岩、岩棉等。但是,随着我国蔬菜无土栽培面积的不断扩大,草炭不可再生、珍珠岩成本过高、岩棉不可降解等问题日益凸显,因此利用来源方便、养分含量高、价格低廉的农业副产物或废弃物来开发新型蔬菜栽培基质已成为当前设施栽培研究的热点^[1-2]。随着我国生猪养殖规模的迅速发展和扩大,微生物发酵床养猪技术得到了广泛应用^[3],同时也产生了大量的垫料废弃物,其再利用问题亟待解决。微生物发酵床养猪形成的垫料经过高温发酵分解是不可多得的人工腐殖质和有机肥^[4]。目前对于垫料的资源化利用转化主要是利用高温堆肥处理将其制成有机肥料^[5]及用于栽培鸡腿菇^[6]。农业废弃物作为育苗、栽培基质在使用时可能存在对植物产生潜在毒害的问题,如某些化感物质对种子萌发的影响与浓度密切相关,正确使用可促进植物生长,但使用不当会对植物造成毒害^[7-8]。猪粪垫料作为农业废弃物,其收购成本低、养分含量高,是制作蔬菜育苗、栽培基质的优秀原料。泥炭是植物的有机残体在过度潮湿、空气较难进入的条件下,经过上千年的腐殖化之后,由植物残体组成的一种

有机矿产资源。泥炭一般产生在北半球地区的沼泽地带,具有有机质、腐殖酸含量高,纤维丰富,疏松多孔,通气透水性好等特点,是植物无土栽培的良好介质之一^[9]。蚯蚓粪保水透气能力比一般的土壤高3倍,有机质含量高达40%左右,是经过多次发酵、动物消化、所形成的团粒状物质,其不仅有机质含量高,而且养分丰富,易被植物利用,可促进土壤团粒结构形成及提高土壤通透性、保水性、保肥力^[10-16]。目前,有关利用垫料研制育苗或栽培基质的研究鲜有报道。基于此,笔者以猪粪垫料和泥炭为原料,添加一定量的菜园土和蚯蚓粪作调节来配置蔬菜育苗、栽培基质,对其理化性质及生物学性质展开研究,以期对蔬菜育苗、栽培基质研究和开发积累基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试小白菜品种为苏州青。供试蚯蚓粪取自扬州大学农牧场,供试泥炭为某花卉市场提供,供试猪粪垫料取自江苏省农业科学院畜禽养殖基地。供试材料的基础理化性质如表1所示。

1.2 试验设计 试验于2015年9~10月在扬州大学环境科

表1 供试材料基础理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested materials

材料 Materials	pH	电导率(EC值) Electrical conductivity μs/cm	全氮 Total nitrogen g/kg	全磷 Total phosphorus g/kg	速效钾 Rapidly available potassium//mg/kg	有机质 Organic matter g/kg
泥炭 Peat	6.17	535	7.18	1.80	102	130.32
猪粪垫料 Pig manure padding	7.98	7 950	30.05	11.67	22 400	135.46
蚯蚓粪 Vermicompost	6.56	1 400	39.55	13.74	1 640	468.95

基金项目 扬州大学大学生学术科技创新基金项目(x2015583);泰州市姜堰区农业科技支撑计划(2015)。

作者简介 陈博阳(1992-),男,江苏常州人,硕士研究生,研究方向:农业资源利用。*通讯作者,教授,从事资源环境科学领域的教学与研究工作。

收稿日期 2016-08-10

学与工程实验中心试验场进行。所用培养容器为50孔56 cm×30 cm的硬质穴盘。试验设6个处理, T₀为对照(CK), S₁为市售基质。各处理基质原料配比如表2所示。

表 2 不同处理基质原料配比

Table 2 Ratio of raw materials in different treatments %

处理 Treatment	菜园土 Vegetable garden soil	猪粪垫料 Pig manure padding	泥炭 Peat	蚯蚓粪 Vermicompost	蛭石 Vermiculite
T ₀ (CK)	100	0	0	0	0
T ₁	20	50	0	10	20
T ₂	30	30	0	10	30
T ₃	20	0	50	10	20
T ₄	30	0	30	10	30
S ₁	0	0	0	0	0

不同处理混合物重量均为 3 kg,各处理重复 3 次。小白菜于 2015 年 9 月 21 日播种,每穴播种 3 粒。适量灌水后,用薄膜覆盖,出苗后揭膜,培养期间保持基质含水量基本一致。观察并记录作物种子发芽及幼苗生长状况。种植 30 d 后,对植株进行取样、分析测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 基质理化性质。pH 采用 pH 计测定(水与基质比为 5:1);电导率(EC)采用电导仪测定(水与基质比为 5:1);速效磷采用钼蓝比色法测定;速效钾采用火焰光度法测定;硝态氮采用紫外分光光度法测定;有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法测定。

1.3.2 植株分析。白菜叶片中叶绿素以乙醇浸提,采用紫

外分光光度法测定。新鲜样品冲洗干净后,用吸水纸吸干水分,置于分析天平上称重,得到植株鲜重(g);将新鲜样品放入烘箱于 105 ℃下杀青 30 min,再于 80 ℃下烘干至恒重,用分析天平称重,得到植株干重(g)。计算根冠比及 G 值,计算公式:根冠比 = 根干重(根鲜重)/地上部分干重(地上部鲜重);G 值(干物质平均积累量) = 全株干重/育苗天数^[17-24]。

1.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行处理,采用 SPSS 18.0 统计分析软件进行差异显著性检验(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同配比基质的理化性质 由表 3 可知,T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理的 pH 均低于 CK,且均维持在中性左右,可为植株的生长提供有利的酸碱环境;T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理的 EC 值及硝态氮、速效磷、速效钾、有机质含量均高于 CK,且均达到了显著水平。加入猪粪垫料的 T₁、T₂ 处理,其 EC 值及硝态氮、速效磷、速效钾含量均高于加入泥炭的 T₃、T₄ 处理,且均达到了显著水平。由于猪粪垫料中养分含量较高,随着猪粪垫料加入量的增加,基质养分含量也随之变高,因此 T₁ 处理养分含量高于 T₂ 处理,同时其 EC 值也相应提升。与市售基质相比,以猪粪垫料为原料的基质 EC 值及硝态氮、速效磷含量均显著提高,但其有机质含量低于市售基质,两者速效钾含量差异不显著。以泥炭为原料的基质各项养分指标值均低于市售基质。

表 3 不同配比基质的理化性质

Table 3 The physicochemical properties of different proportion matrix

处理 Treatment	pH	EC 值 μs/cm	硝态氮 Nitrate nitrogen mg/kg	速效磷 Rapidly available phosphorus//mg/kg	速效钾 Rapidly available potassium//mg/kg	有机质 Organic matter g/kg
T ₀ (CK)	7.90	171.6	18.8 ± 0.2 e	30.8 ± 0.6 f	80 ± 2 c	1.6 ± 0.13 d
T ₁	7.75	3 390.0	1 129.3 ± 38.2 a	586.7 ± 28.3 a	8 400 ± 566 a	52.1 ± 1.87 b
T ₂	7.53	1 193.0	742.3 ± 25.0 b	436.7 ± 4.7 b	6 200 ± 283 b	32.1 ± 0.25 c
T ₃	6.95	688.0	265.8 ± 5.5 d	123.3 ± 4.6 e	186 ± 5 c	44.2 ± 15.10 bc
T ₄	7.14	644.0	262.2 ± 1.1 d	186.7 ± 18.9 d	188 ± 3 c	28.0 ± 5.27 c
S ₁	6.79	1 330.0	556.4 ± 9.1 c	293.3 ± 9.4 c	7 400 ± 848 ab	104.0 ± 8.40 a

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference at 0.05 level among treatments.

2.2 不同处理植株的生长情况

2.2.1 不同处理植株的鲜重、干重、根冠比、G 值。植株生物量是评价植株长势的重要因素之一^[25]。由表 4 可知,不同处理的蔬菜地上部和地下部生物量有所差异,但其对蔬菜鲜重和干重的影响趋势大致相同。CK 植株鲜重为 3.39 g,其他各处理植株鲜重均高于 CK,且均达到了显著水平,T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理植株鲜重较 CK 分别高 111.2%、70.8%、80.8%、56.7%、87.3%。不同处理下植株的干重也存在差异,CK 植株干重为 0.25 g,其他各处理植株干重均高于 CK,且均达到了显著水平,T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理植株干重较 CK 分别高 120.0%、92.0%、88.0%、72.0%、92.0%。T₁ 处理植株鲜重和干重均为最大,且均显著高于其他处理。可见,T₁、T₂、T₃、

T₄、S₁ 处理基质均适宜蔬菜生长,可作为栽培基质,T₁ 处理促进植株生长效果最明显。蔬菜早熟丰产的要求之一是壮苗,所以幼苗的素质会对蔬菜的产量产生较大影响。根冠比、G 值被广泛用于评价幼苗素质^[26]。根冠比反映了植物地上与地下相互促进、相互制约的关系。由表 4 可知,T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理的根冠比均高于 CK,且 T₄ 处理与 CK 间达到了显著水平,表明 T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理的基质均利于植株根冠比的增加。G 值可以反映蔬菜幼苗干物质的积累量。由表 4 可知,T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理的 G 值均高于 CK,且均达到了显著水平,其中 T₁ 处理 G 值最大,且显著高于其他处理。说明 T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理相对 CK 均有利于植株干物质的积累,其中 T₁ 处理效果最明显。

表4 不同处理植株的鲜重、干重、根冠比、G值

Table 4 Fresh weight, dry weight, root shoot ratio and G value of plants in different treatments

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight //g	干重 Dry weight //g	根冠比 Root shoot ratio	G值 G value
T ₀ (CK)	3.39 ± 0.14 e	0.25 ± 0.007 d	0.062 ± 0.001 bc	0.009 ± 0.000 25 d
T ₁	7.16 ± 0.08 a	0.55 ± 0.004 a	0.090 ± 0.005 ab	0.018 ± 0.000 13 a
T ₂	5.79 ± 0.34 cd	0.48 ± 0.010 b	0.077 ± 0.004 bc	0.016 ± 0.000 33 b
T ₃	6.13 ± 0.11 bc	0.47 ± 0.007 b	0.093 ± 0.004 ab	0.016 ± 0.000 24 b
T ₄	5.60 ± 0.16 d	0.43 ± 0.012 c	0.099 ± 0.001 a	0.014 ± 0.000 39 c
S ₁	6.35 ± 0.08 b	0.48 ± 0.030 b	0.078 ± 0.017 bc	0.016 ± 0.000 99 b

注: 同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference at 0.05 level among treatments.

2.2.2 不同处理植株的叶绿素、硝态氮及类胡萝卜素含量。植株叶绿素含量的高低可有效地反映出植物生长的健康状况。由表 5 可知, T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理植株中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素含量均高于 CK, 且差异均达显著水平, 表明各配比基质均可促进植物的光合作用, 提高小白菜对氮、磷等营养元素的吸收, 从而促进植株生长。加入猪粪垫料的 T₁ 处理叶绿素含量最高, T₂ 处理叶绿素含量次

之。植株中硝酸盐含量是评判植株生长状况的指标, 但是硝酸盐含量过高会危害人的身体健康。由表 5 可知, T₁、T₂、T₃、T₄、S₁ 处理植株硝酸盐含量均高于 CK, T₁、T₃ 处理与 CK 间均达到了显著水平, 但是均未超过 GB 19338—2003 标准中 3 000 mg/kg 的标准, 均属于可食用蔬菜范围。可见, 各配比基质处理均可促进植株健康生长, 其中 T₁ 处理的效果最为显著。

表5 不同处理植株的叶绿素、硝态氮及类胡萝卜素含量

Table 5 Chlorophyll and nitrate nitrogen content in plants in different treatments

处理 Treatment	硝态氮 Nitrate nitrogen mg/kg	叶绿素 a Chlorophyll a g/kg	叶绿素 b Chlorophyll b g/kg	类胡萝卜素 Carotenoid g/kg	总叶绿素 Total chlorophyll g/kg
T ₀ (CK)	490.61 ± 27.80 c	0.97 ± 0.016 b	0.55 ± 0.009 c	0.32 ± 0.036 b	1.50 ± 0.02 c
T ₁	1 519.21 ± 221.47 a	1.66 ± 0.019 a	1.17 ± 0.112 a	0.76 ± 0.006 a	2.85 ± 0.13 a
T ₂	502.70 ± 57.61 c	1.63 ± 0.014 a	0.98 ± 0.043 ab	0.68 ± 0.014 a	2.64 ± 0.06 ab
T ₃	913.67 ± 79.25 b	1.55 ± 0.102 a	0.86 ± 0.142 b	0.72 ± 0.157 a	2.44 ± 0.25 b
T ₄	527.27 ± 61.98 c	1.60 ± 0.009 a	0.90 ± 0.059 b	0.64 ± 0.029 a	2.52 ± 0.05 b
S ₁	641.34 ± 93.54 c	1.61 ± 0.023 a	0.90 ± 0.043 b	0.67 ± 0.033 a	2.50 ± 0.13 b

注: 同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference at 0.05 level among treatments.

3 讨论

该研究所采用的原料泥炭为传统的基质添加材料, 其养分含量比该研究采用的原土高且质地疏松多孔, 适宜作为栽培基质配料。猪粪垫料中的养分含量远高于泥炭, 但由于其电导率过高, 在植物生长过程中会阻碍植物的生长, 因此以猪粪垫料为添加材料时加入原土、蛭石等材料, 以调节基质各项理化性质, 使其适宜植株生长。蚯蚓粪为成熟的基质添加材料, 可提高基质养分含量, 促进作物生长, 从而提高基质使用效率。

不同材料配制出的不同基质的 pH 均趋于中性, 电导率也降至植物可耐受范围, 同时由猪粪垫料为原料配制的基质各项养分指标值均显著高于原土且与市售基质养分含量相近, 猪粪垫料中养分含量较高, 随着猪粪垫料加入量的增加, 基质养分含量也随之变高, 因此, T₁ 处理养分含量高于 T₂ 处理, 同时其电导率也相应提升, 但加入过多的猪粪垫料会导致基质的电导率过高从而抑制植物的生长。由泥炭为原料配制出的基质各项养分指标值均高于原土, 由于泥炭中所含养分比猪粪垫料少, 且 T₃、T₄ 处理基质养分含量差异不大, 推测养分主要来源于加入的蚯蚓粪, 蚯蚓粪中钾含量比猪粪垫料少, 所以泥炭基质中钾元素含量提升不如猪粪垫料基质

明显, 其其余各项养分指标值也均低于市售基质。

不同配比基质种植的小白菜植株生物量较原土均有显著提升, 其中 T₁ 处理种植的小白菜生物量提升最为明显, 其余处理小白菜生物量与市售基质相近, 可见, 各配比基质均可促进植株健康生长, 其养分指标也均达到了植株健康生长水平。T₁ 处理种植的小白菜叶绿素及硝态氮含量均显著高于其他处理, 说明 T₁ 处理种植的小白菜健康状况好于其他处理, 且其硝态氮含量并未超过我国蔬菜硝态氮含量标准, 属于可食用标准。其他各配比基质处理小白菜叶绿素和硝态氮含量也均高于原土种植的小白菜, 与市售基质种植的小白菜性质相近。

综上, 该研究中各配比基质的理化性质与原土相比均得到了显著提高, 种植出的小白菜生理指标也好于原土种植的小白菜, 因此, 各配比基质均适宜蔬菜的生长, 可作为蔬菜栽培基质。猪粪垫料中养分含量高, 适宜作为增加基质养分含量的原料, 泥炭养分含量少于猪粪垫料, 适宜作为改良基质疏松程度的配料, 该研究中 T₁ 处理 (猪粪垫料: 原土: 蛭石: 蚯蚓粪 = 5: 2: 2: 1) 的基质养分含量最高, 其植株健康状况最好。

4 结论

(1) 猪粪垫料含有大量植物生长所需的营养元素及丰富

的有机质,十分适宜作为蔬菜栽培基质的原料;泥炭疏松多孔,适宜作为改良基质疏松程度的配料。

(2)猪粪垫料的添加可提高基质养分含量,但随着猪粪垫料添加量的增加,基质电导率会升高,植株中硝态氮的含量也会增加,因此过量添加猪粪垫料会抑制植物生长。

(3)该研究中,猪粪垫料:原土:蛭石:蚯蚓粪=5:2:2:1为最佳配比,该配比基质养分含量最高,最适宜作为栽培基质种植蔬菜。

参考文献

- [1] 孙向丽,张启翔.混配基质在一品红无土栽培中的应用[J].园艺学报,2008(12):1831-1836.
- [2] 王运琦,张燕,刘建宁,等.地毯式草皮无土栽培基质的筛选试验[J].中国农学通报,2005(10):269-270,310.
- [3] 朱洪,常志州,叶小梅,等.基于畜禽废弃物管理的发酵床技术研究:Ⅲ高湿季节养殖效果评价[J].农业环境科学学报,2008(1):354-358.
- [4] 蓝江林,刘波,宋泽琼,等.微生物发酵床养猪技术研究进展[J].生物技术进展,2012(6):411-416.
- [5] 常志州,掌子凯.发酵床垫料的再生与堆肥[J].农家致富,2009(1):38.
- [6] 郑社会.千岛湖利用生态猪场发酵床垫料废渣栽培鸡腿菇[J].浙江食用菌,2010(5):46.
- [7] 魏云霞,鲁剑巍,李小坤,等.秸秆及绿肥浸提液对莴苣种子的化感作用[J].中国蔬菜,2013(4):60-64.
- [8] 于建光,顾元,常志州,等.小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J].土壤学报,2013(2):349-356.
- [9] 杜林峰,孙向阳,沈彦.泥炭作为园艺基质的研究进展[J].北方园艺,2007(10):68-70.
- [10] 周美荣,孙振江,申晓强.蚯蚓粪的研究及应用[J].山西农业科学,2012,40(8):921-924.

- [11] 柏彦超,周雄飞,汪孙军,等.牛粪经蚯蚓消解前后理化性质的比较研究[J].江西农业学报,2010,22(10):135-137.
- [12] 宋忠俭,赵海涛,钱晓晴.蚯蚓消解禽粪便生态资源化利用探析[J].现代农业科技,2012(23):228,230.
- [13] 邓惠,陈森,刁晓平,等.蚯蚓处理甘蔗渣和牛粪混合废弃物的初步研究[J].江苏农业科学,2013,41(9):329-331.
- [14] 王凤艳.蚯蚓粪对土壤的影响[J].吉林农业,2005(10):25.
- [15] 斐庆海.蚯蚓粪的优点、作用和对土壤的影响[J].农村实用科技信息,2005(10):18.
- [16] 张永平,乔永旭,赵绪明,等.蚯蚓粪作基肥对夏播花生生长与产量的影响[J].江苏农业科学,2014,42(8):97-99.
- [17] 袁颖辉,束胜,袁凌云.外源精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合作用的影响[J].江苏农业学报,2012,28(4):835-840.
- [18] 王广龙,夏冬,杨泽恩,等.幼苗质量对番茄植株生长发育和产量品质的影响[J].江苏农业科学,2014,42(5):140-144.
- [19] 王得元,张菊平,张兴志,等.辣椒壮苗指数与苗期性状的因素分析[J].洛阳农专学报,1993,13(2):24-28.
- [20] 任杰.不同配比基质及微生物菌剂对黄瓜穴盘育苗及生长发育的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013:10.
- [21] 李天林,沈兵.无土栽培基质选料的参考因素与发展趋势[J].石河子大学学报,1999,3(3):9-13.
- [22] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:科学出版社,2000:299-300.
- [23] 游莹卓.黄瓜育苗基质理化性状指标及功能型基质组配研究[D].泰安:山东农业大学,2013:13.
- [24] 黎咏蜀.饲用油菜栽培技术及营养价值研究[D].重庆:西南大学,2014:14.
- [25] 刘斌.桑树菌根化容器苗应用技术研究[D].重庆:西南大学,2014:22.
- [26] 车玲.蚓粪基质对番茄幼苗生长的影响研究[D].扬州:扬州大学,2014:24.

(上接第18页)

吸光值基本上呈线性关系,在该浓度范围内得到吸光值与 GA_3 的线性方程为: $y=0.00323x+0.55022$, $R=0.9901$ 。

2.6 福林试剂法与HPLC检测结果比较 由表4可知,福林试剂法与HPLC测试结果比较相似,说明福林试剂法可用于发酵液中 GA_3 的检测。

表4 福林试剂法与HPLC测试结果比较

Table 4 The comparison of determination results by Folin-ciocalteu's phenol reagent method and HPLC

样品 Samples	GA_3 含量 GA_3 content // mol/L	
	福林试剂法 Folin-ciocalteu's phenol reagent method	液相色谱法 HPLC
1	420	398
2	443	415
3	473	454
4	498	489
5	556	521

3 结论

通过对福林试剂法快速检测藤仓赤霉菌发酵液中 GA_3 进行探讨,优化了影响吸光值的3个因素,提高了系统的稳定性,并在此基础上对福林试剂法和HPLC进行了对比分析,从实践上验证了福林试剂法检测 GA_3 的可行性。与HPLC相比,福林试剂法操作简单、检测快速准确,大大降低了筛菌过程的工作量,对赤霉菌诱变育种工作中高产菌株的快速检测以及 GA_3 发酵过程的简易监测有重要作用。

参考文献

- [1] MUGE G, SELMA A T. Extractive fermentation of gibberellic acid with free and immobilized *Gibberella fujikuroi* [J]. Prep Biochem Biotechnol, 2014, 44(1):80-89.
- [2] BALLINGLL A M. The use of hormone herbicides for resistance management and control of difficult weeds in cereal crops in the UK (with special reference to Scotland) [J]. Julius Kühn Archiv, 2014, 443:268-272.
- [3] BÖMKE C, TUDZYNSKI B, BRAKHAGE A, et al. Diversity, regulation, and evolution of the gibberellin biosynthetic pathway in fungi compared to plants and bacteria [J]. Phytochemistry, 2009, 70(15/16):1876-1893.
- [4] MCSTEEN P, ZHAO Y. Plant hormones and signaling: Common themes and new developments [J]. Dev Cell, 2008, 14:467-473.
- [5] ARSHAD M, FRANKENBERGER W T. Microbial production of plant hormones [J]. Plant & soil, 1991, 133(1):1-8.
- [6] LU Q, ZHANG W, JIA G, et al. Simultaneous determination of plant hormones in peach based on dispersive liquid-liquid microextraction coupled with liquid chromatography-ion trap mass spectrometry [J]. Journal of chromatography B: Analytical technologies in the biomedical & life sciences, 2015, 992:8-13.
- [7] MANDER L N. Twenty years of gibberellin research [J]. Nat Prod Rep, 2003, 20(1):49-69.
- [8] ELEAZAR M E S, DENDOOVEN L, MAGANA I P, et al. Optimization of gibberellic acid production by immobilized *Gibberella fujikuroi*, mycelium in fluidized bioreactors [J]. Journal of biotechnology, 2000, 76:147-155.
- [9] TORRES K B, BRÜCKNER B, MEIER B. Obtaining mutants for protoplast fusion of gibberellin-forming *Gibberella fujikuroi* strains [J]. Applied biochemistry & biotechnology, 1992, 33(2):83-95.
- [10] 王卫,黎继烈,黄卫文,等.利用特比萘芬抗性筛选赤霉素高产菌株及相关发酵特性的研究[J].微生物学通报,2014,41(9):1837-1842.
- [11] 印天寿,陈世勇,于群英,等.赤霉素的快速分光光度测定法的研究[J].分析化学,1990,18(10):966-969.
- [12] 陈玉鑫,王占文,孙思祥.赤霉素的磷钼杂多酸光度测定法研究[J].南京化工学院学报,1993,15(1):51-54.
- [13] 罗国安,顾觉奋.荧光分光光度法测定赤霉素的含量[D].上海:复旦大学出版社,1984:187-188.