

网络出版时间:2013-08-26 17:53
网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130826.1753.025.html>

基质料水比对蛹虫草生长发育的影响

张园园,杜双田,孟胜楠,张疏雨,徐鸿雁
(西北农林科技大学 生命科学学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**探索基质料水比对蛹虫草生长发育相关指标的影响,为蛹虫草的高产优质栽培提供依据。**【方法】**以蛹虫草菌株 CM-16 为研究对象,小麦为主要栽培基质,采用规格为 300 mm×200 mm×110 mm 的蛹虫草栽培专用盘,设置基质料(g)水(mL)比分别为 1:1.3,1:1.4,1:1.5,1:1.6 和 1:1.7,研究基质料水比对蛹虫草的子座鲜质量、生产周期、子座密度、子座长度、子座生物学效率及基质利用率的影响。**【结果】**随着基质料水比的增加,蛹虫草子座鲜质量、子座密度、子座生物学效率和基质利用率均呈先增加后降低的趋势,生产周期呈先降低后增加的趋势,子座长度变化幅度较小。当基质料水比为 1:1.6 时,上述 6 个指标均达到最大值,其中,子座鲜质量为 305.9 g/盒,生产周期为 56 d,子座密度为 8.9 根/cm²,子座长度为 9.7 cm/个,子座生物学效率为 102%,基质利用率为 51.5%。**【结论】**基质料水比是影响蛹虫草生长发育及子座产量的重要因素,当以小麦为主要原料栽培蛹虫草时,最佳基质料水比为 1:1.6。

【关键词】 蛹虫草;栽培基质;料水比;生长发育
【中图分类号】 S567.3⁺9 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2013)09-0169-06

Effect of medium substrate-to-water ratio on growth and development of *Cordyceps militaris*

ZHANG Yuan-yuan, DU Shuang-tian, MENG Sheng-nan,
ZHANG Shu-yu, XU Hong-yuan

(College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** This study was to research the effects of medium substrate-to-water ratio on correlated growth and development indexes of *Cordyceps militaris*. **【Method】** *Cordyceps militaris* strain CM-16 was used as test material and wheat was used as the main cultivation medium. 300 mm×200 mm×110 mm plates were used to cultivate *Cordyceps militaris*, and 5 substrate (g)-to-water (mL) ratios, 1:1.3, 1:1.4, 1:1.5, 1:1.6 and 1:1.7 were tested to obtain the effect of medium substrate-to-water ratio on stroma fresh weight, production cycle, stroma density, stroma length, stroma biology efficiency and medium utilization rate of *Cordyceps militaris*. **【Result】** With the increase of medium substrate-to-water ratio, stroma yield, stroma density, stroma biology efficiency, and medium utilization rate increased initially followed by decrease while production cycle decreased before increasing. Stroma length did not change dramatically. When the medium substrate-to-water ratio was 1:1.6, six indexes reached maximum (the stroma yield 305.9 g/box, the production cycle 56 days, the stroma density 8.9 cm⁻², the stroma length 9.7 cm, stroma biology efficiency 102% and medium utilization rate 51.5%). **【Conclusion】** The medium sub-

[收稿日期] 2012-11-13
[基金项目] 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2011KTCL02-16)
[作者简介] 张园园(1987—),女,陕西扶风人,在读硕士,主要从事微生物资源与利用研究。E-mail:zhangyuanyuan405@163.com
[通信作者] 杜双田(1961—),男,陕西扶风人,副教授,主要从事食用与药用真菌研究。E-mail:dst6107@126.com

strate-to-water ratio played an important role in affecting growth, development and stroma yield of *Cordyceps militaris*. The obtained best substrate-to-water ratio for wheat was 1 : 1. 6.

Key words: *Cordyceps militaris*; cultivation medium; substrate-to-water ratio of medium; growth and development

蛹虫草(*Cordyceps militaris*),又名北冬虫夏草,简称北虫草,隶属于囊菌亚门(Ascomycotina)、核菌纲(Pyrenomycetes)、麦角菌目(Clavicipitales)、麦角菌科(Clavicipitaceae)、虫草属(*Cordyceps*),与冬虫夏草(*Cordyceps sineisis*)同属异种,具有很高的营养价值和药用价值^[1-3]。

大量研究资料表明,蛹虫草的主要药用成分与冬虫夏草相同^[4-6],且虫草素、虫草多糖、超氧化物歧化酶(SOD)的含量均高于冬虫夏草^[7-10]。此外,蛹虫草与冬虫夏草具有相似的药理功效,如抗疲劳、抗肿瘤、降血压、降血糖、增强人体免疫力等^[11-16]。由于冬虫夏草野生资源日趋枯竭,其人工栽培技术至今未有突破性进展,因而对蛹虫草栽培技术的研究日益受到了人们的重视。

多年来,国内外学者对蛹虫草进行了大量的研究,已在人工培养、菌种选育、分子生物学、活性成分等方面取得了较大的进展^[17-18]。我国是第一个对蛹虫草进行商业化栽培生产的国家。关于蛹虫草的栽培研究虽有 20 余年,但由于影响蛹虫草人工栽培的因素较多,导致栽培技术发展缓慢,蛹虫草人工栽培技术在我国仍未得到普及和推广。其中,蛹虫草优良菌株的选育和高产技术的研究,仍是规模化生产面临的关键问题。为此,本试验就基质料水比对蛹虫草生长发育的影响进行了系统的研究,以期对蛹虫草的工厂化生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 供试菌株 供试菌株由西北农林科技大学

生命科学学院提供,菌株编号 CM-16。采用规格 300 mm×200 mm×110 mm 蛹虫草栽培专用盘,主要栽培原料为小麦。

1.1.2 培养基 母种培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 10 g,蔗糖 10 g,蛋白胨 2 g,磷酸二氢钾 1 g,硫酸镁 0.5 g,琼脂粉 12 g,蒸馏水 1 000 mL (pH=7.0)。液体培养基:蛋白胨 5 g,葡萄糖 10 g,可溶性淀粉 5 g,柠檬酸铁铵 0.5 g,磷酸二氢钾 1 g,硫酸镁 0.5 g,蒸馏水 1 000 mL (pH=7.0)。

1.2 基质料水比优化试验

试验设置 5 个基质料(g)水(mL)比处理,分别为 1 : 1. 3,1 : 1. 4,1 : 1. 5,1 : 1. 6 和 1 : 1. 7(表 1),每处理重复 10 次。发菌条件:温度 21~23 ℃,空气相对湿度 60%~70%,二氧化碳体积分数小于 0.05%;转色与原基分化条件:温度 21~23 ℃,空气相对湿度 70%~80%,二氧化碳体积分数小于 0.1%,光照强度 200~500 lx,光照时间 8 h/d;子座生长条件:温度 21~23 ℃,空气相对湿度 80%~90%,二氧化碳体积分数小于 0.1%,光照强度 200~500 lx,光照时间 8 h/d。试验中所有栽培盒均随机排放,并定期调换堆放位置,保持温度、光照均匀,整个培养过程保持栽培室内空气新鲜。采收后分别测定蛹虫草子座鲜质量、长度和子座密度,计算生产周期、子座生物学效率以及基质利用率等指标。

子座生物学效率=子座鲜质量/初始基质风干质量×100%;

基质利用率=(初始基质风干质量-剩余基质风干质量)/初始基质风干质量×100%。

表 1 蛹虫草基质料水比的试验设计方案

Table 1 Experimental design of different substrate-to-water ratios

处理 Treatment	小麦用量/(g·盒 ⁻¹) Wheat usage	水量/(mL·盒 ⁻¹) Water usage	料水比 Substrate-to-water ratio
1	300	390	1 : 1. 3
2	300	420	1 : 1. 4
3	300	450	1 : 1. 5
4	300	480	1 : 1. 6
5	300	510	1 : 1. 7

1.3 数据分析

析。

用 DPS(Version 7.05)对试验数据进行统计分

2 结果与分析

2.1 基质料水比对蛹虫草子座鲜质量的影响

由图 1 可见,随着基质料水比的增加,蛹虫草子座鲜质量呈先增加后降低的趋势。当基质料水比从 1 : 1.3 增加到 1 : 1.5 时,蛹虫草子座鲜质量的增加趋势明显,几乎呈直线上升;当基质料水比从 1 : 1.5 增加到 1 : 1.6 时,子座鲜质量增加趋势缓慢,当基质料水比为 1 : 1.6 时,子座鲜质量达最大值,为 305.9 g/盒;之后随着基质料水比的增加,子座鲜质量呈下降趋势。这是因为当基质料水比过低时,菌丝生长缓慢,不利于菌丝体的营养积累及子座的生长发育,子座产量较低;当基质料水比过高时,水分占据了基质间的空隙,致使培养基透气性差,导致菌丝生长缓慢,不能满足子座生长发育的营养需求,同时料水比较大时,基质的水活度大,细菌容易生长,往往会造成杂菌污染。可见,适宜的料水比不仅能为蛹虫草提供充足的营养,而且对基质的物理结构也有一定的影响。因此,蛹虫草栽培基质料水比以 1 : 1.6 为宜。

经计算得蛹虫草子座鲜质量(Y_1)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_1 = -1\,024.8X_1^2 + 3\,284.2X_1 - 2\,338.3. \quad (1)$$

对方程(1)进行检验可得: $F_{\text{回归}} = 20.607\,2 > F_{0.05(2,2)} = 19, R^2 = 0.953\,7$,表明该方程达到显著水平,其拟合值与实测值符合度较好。

对方程(1)求极值得: $X_{1\text{max}} = 1 : 1.6, Y_{1\text{max}} = 292.9$ (g/盒)。可知当基质料水比为 1 : 1.6 时,蛹虫草子座鲜质量最大,为 292.9 g/盒。

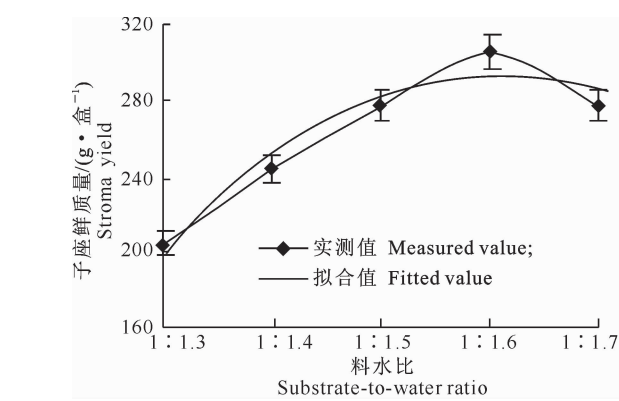


图 1 基质料水比对蛹虫草子座鲜质量的影响
Fig. 1 Effect of substrate-to-water ratio of medium on stroma yield of *Cordyceps militaris*

2.3 基质料水比对蛹虫草子座密度的影响

由图 3 可见,随着基质料水比的增加,蛹虫草子

2.2 基质料水比对蛹虫草生产周期的影响

蛹虫草的生长发育包括菌丝生长、菌丝转色、子座分化、子座生长 4 个阶段,为了计算方便,本研究定义蛹虫草的生产周期为从接种到子座采收之间的培养时间。

由图 2 可见,当基质料水比从 1 : 1.3 增加到 1 : 1.6 时,蛹虫草的生产周期随基质料水比的增加逐渐缩短;当基质料水比为 1 : 1.6 时,蛹虫草的生产周期达到最小值 56 d;之后随着基质料水比的增加,生产周期又呈延长的趋势。当基质料水比过高时,培养基下方容易积水,影响菌丝体的呼吸代谢,导致菌丝生长缓慢,菌丝萌发、转色、子座分化和生长时间延长,蛹虫草的生产周期也相应延长;基质料水比过低则不能提供蛹虫草生长发育所需的水分,蛹虫草的生产周期也有所延长。生产周期是影响生产厂房利用率、生产过程的耗能及蛹虫草栽培经济效益的关键因素。所以,在实际生产中,将生产周期控制在适宜的范围内,对于提高蛹虫草的经济效益具有重要意义。由此可见,蛹虫草栽培基质料水比以 1 : 1.6 为宜。

经计算得蛹虫草生产周期(Y_2)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_2 = 59.286X_1^2 - 187.16X_1 + 204.22. \quad (2)$$

对方程(2)进行检验可得: $F_{\text{回归}} = 29.353\,5 > F_{0.05(2,2)} = 19, R^2 = 0.967\,1$,表明该方程达到显著水平,其拟合值与实测值符合度较好。

对方程(2)求极值得: $X_{1\text{max}} = 1 : 1.6, Y_{2\text{max}} = 56.5$ d。表明蛹虫草基质料水比为 1 : 1.6 时,蛹虫草的生产周期最短,为 56.5 d。

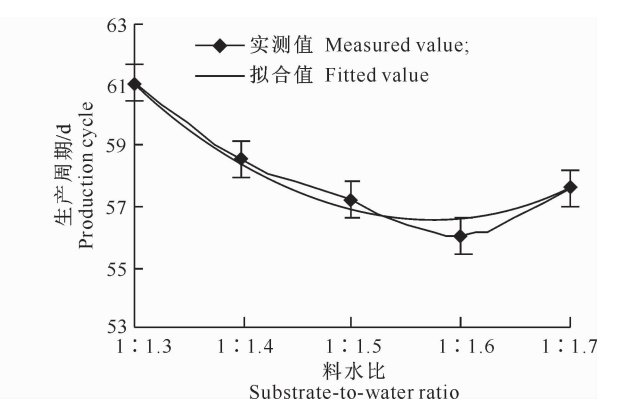


图 2 基质料水比对蛹虫草生产周期的影响
Fig. 2 Effect of the substrate-to-water ratio of medium on production cycle of *Cordyceps militaris*

座密度呈先增加后降低的趋势。当基质料水比增加到 1 : 1.6 时,蛹虫草子座密度达到最大值 8.9

根/cm²。当基质料水比过低时,不利于物质的运输,影响蛹虫草子座的分化,导致子座密度较小;基质料水比过高时,在栽培浅盘单位面积内形成的基质黏性相对较大,透气性差,因供氧量的不足也会导致子座密度较小。因此,适宜的料水比有利于营养物质的降解、吸收及运输,从而有助于子座密度的增大,增加子座密度是提高蛹虫草产量的关键途径。所以,在进行大规模生产中,控制水分的用量是提高子座密度的重要环节。

经计算得蛹虫草子座密度(Y_3)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_3 = -38.307X_1^2 + 121.62X_1 - 87.659. \quad (3)$$

对方程(3)进行检验可得: $F_{\text{回归}} = 34.847\ 6 > F_{0.05(2,2)} = 19, R^2 = 0.972\ 3$,表明该方程达到显著水平,其拟合值与实测值符合度较好。对方程(3)求极值得: $X_{1\text{max}} = 1:1.6, Y_{3\text{max}} = 8.8$ (根/cm²)。即蛹虫草基质料水比为1:1.6时,蛹虫草子座密度最大,

为8.8根/cm²。

2.4 基质料水比对蛹虫草子座长度的影响

基质料水比对蛹虫草子座长度的影响见图4。由图4可见,随着基质料水比的增加,蛹虫草子座长度无明显变化,其中当基质料水比为1:1.6时,子座长度为9.7cm/个。依据生产经验,子座长度与环境中的温度、二氧化碳浓度、光照强度等因素有关。在栽培环境相对稳定的情况下,子座长度变化不大。

采用 DPS 数据处理系统对结果进行分析,可得蛹虫草子座长度(Y_4)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_4 = 0.692\ 9X_1^2 - 2.041\ 6X_1 + 11.25. \quad (4)$$

经计算得, $P = 0.555 > 0.05$,表明该方程不显著; $R^2 = 0.445$,说明该模型拟合值与实测值符合度较差。即在试验范围内,基质料水比对蛹虫草子座长度无显著影响。

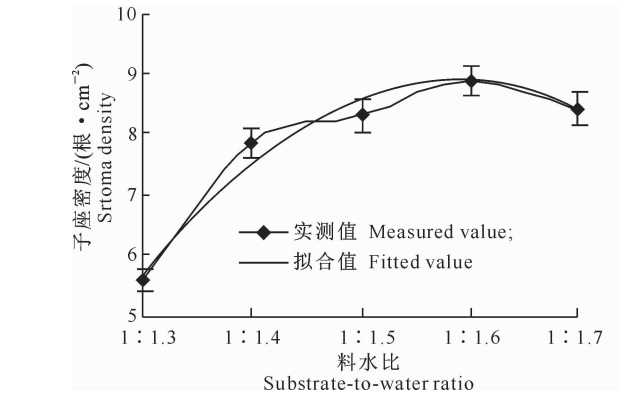


图 3 基质料水比对蛹虫草子座密度的影响

Fig. 3 Effect of the substrate-to-water ratio of medium on stroma density of *Cordyceps militaris*

2.5 基质料水比对蛹虫草子座生物学效率的影响

由图5可见,当基质料水比从1:1.3增加到1:1.5时,蛹虫草子座的生物学效率随着基质料水比的增加而增大,上升趋势明显;当基质料水比从1:1.5增加到1:1.6时,蛹虫草子座生物学效率随着基质料水比的增加而增大,但增势缓慢并趋于稳定,其中当基质料水比为1:1.6时,子座生物学效率最高,为102%;当基质料水比从1:1.6增加到1:1.7时,蛹虫草子座的生物学效率随着基质料水比的增加而减少。蛹虫草子座生物学效率越高,表明子座鲜质量越大,蛹虫草对基质的利用也越充分。当基质料水比过低时,不利于子座产量的提高,子座生物学效率也较低;当基质料水比过高时,基质中水分过多,导致透气性减弱,不利于蛹虫草的生长

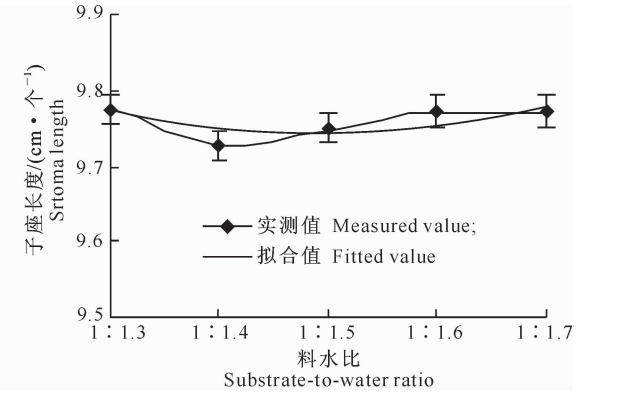


图 4 基质料水比对蛹虫草子座长度的影响

Fig. 4 Effect of the substrate-to-water ratio of medium on stroma length of *Cordyceps militaris*

发育,最终也不利于子座生物学效率提高。因此,提高蛹虫草生物学效率的适宜基质料水比为1:1.6。

经计算得蛹虫草子座生物学效率(Y_5)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_5 = -3.357\ 1X_1^2 + 10.781X_1 - 7.677\ 4. \quad (5)$$

对方程(5)进行检验可得: $F_{\text{回归}} = 21.136\ 9 > F_{0.05(2,2)} = 19, R^2 = 0.954\ 8$,表明该方程达到显著水平,该模型对实测值拟合效果较好。对方程(5)求极值得: $X_{1\text{max}} = 1:1.6, Y_{5\text{max}} = 97.8\%$ 。即蛹虫草基质料水比为1:1.6时,生物学效率最大,为97.8%。

2.6 基质料水比对蛹虫草基质利用率的影响

在蛹虫草的生长发育过程完成后,栽培基质一部分转化为菌丝体,一部分转化为蛹虫草子座,还有一部分作为能源物质代谢后生成二氧化碳等代谢物

质并释放出能量。所以,剩余的栽培基质中主要包括菌丝体、代谢物质及未利用的营养物质。

由图 6 可见,当基质料水比从 1 : 1.3 增加到 1 : 1.6 时,蛹虫草基质利用率逐渐增加,当基质料水比为 1 : 1.6 时,蛹虫草栽培基质利用率达到最大值 51.5%;当基质料水比继续增加时,蛹虫草栽培基质利用率又随之降低。蛹虫草栽培基质利用率越高,说明蛹虫草子座生长发育过程中的物质代谢越旺盛,基质中的营养物质利用越充分,蛹虫草菌丝和子座的生长速率越高。所以,在适当的条件下,可通过调节基质料水比达到提高基质利用率的目的。这是因为,水分是微生物菌体的重要组成部分,也是微生物新陈代谢和输送营养物质不可缺少的基本物

质。所以,适宜的水分对蛹虫草的生长发育影响较大。由此可见,提高蛹虫草栽培基质利用率的适宜栽培基质料水比为 1 : 1.6。

经计算得蛹虫草栽培基质利用率(Y_6)与基质料水比(X_1)之间的函数关系为:

$$Y_6 = -0.685\ 7X_1^2 + 2.219\ 1X_1 - 1.285\ 3. \quad (6)$$

对方程(6)进行检验可得: $F_{\text{回归}} = 56.487\ 0 > F_{0.05(2,2)} = 19, R^2 = 0.982\ 6$,表明该方程达到显著水平,该模型对实测值拟合效果较好。

对方程(6)求极值得: $X_{1\text{max}} = 1 : 1.6, Y_{6\text{max}} = 51\%$ 。即蛹虫草基质料水比为 1 : 1.6 时,栽培基质利用率最大,为 51%。

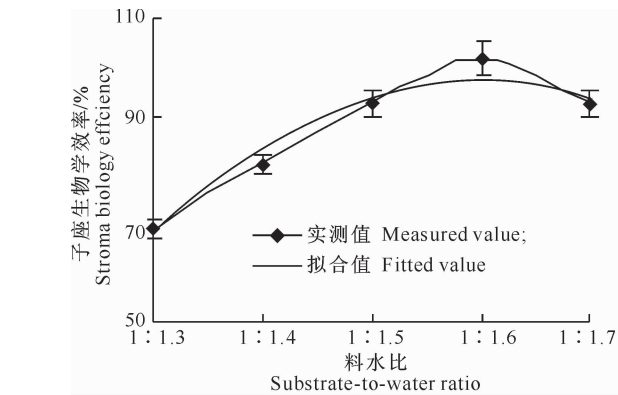


图 5 基质料水比对蛹虫草子座生物学效率的影响
Fig.5 Effect of the substrate-to-water ratio of medium on stroma biology efficiency of *Cordyceps militaris*

2.7 蛹虫草生长发育指标间的相关性

对蛹虫草生长发育过程中的 6 个指标,即子座鲜质量(Y_1)、生产周期(Y_2)、子座密度(Y_3)、子座长

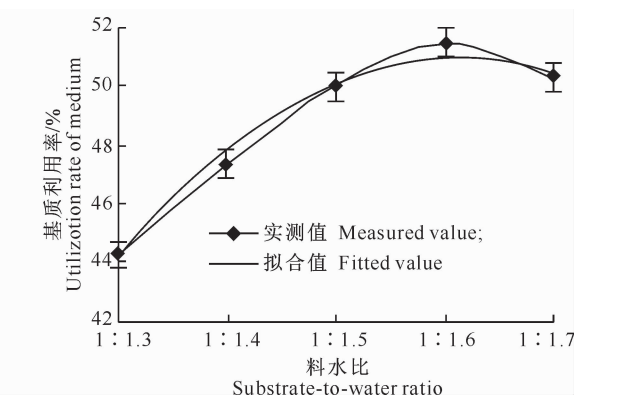


图 6 基质料水比对蛹虫草基质利用率的影响
Fig.6 Effect of the substrate-to-water ratio of medium on utilization rate of *Cordyceps militaris*

度(Y_4)、子座生物学效率(Y_5)和基质利用率(Y_6)进行相关性分析,结果见表 2。

表 2 蛹虫草生长发育指标间的相关性

Table 2 Correlation coefficient among different growth and development indicators of *Cordyceps militaris*

指标 Index	子座鲜质量(Y_1) Stroma yield	生产周期(Y_2) Production cycle	子座密度(Y_3) Srtoma density	子座长度(Y_4) Srtoma length	生物学效率(Y_5) Biology efficiency	基质利用率(Y_6) Utilization rate of medium
子座鲜质量(Y_1) Stroma yield	1.000 0					
生产周期(Y_2) Production cycle	-0.990 0**	1.000 0				
子座密度(Y_3) Srtoma density	0.950 0**	-0.970 0**	1.000 0			
子座长度(Y_4) Srtoma length	0.070 0	0.060 0	-0.200 0	1.000 0		
生物学效率(Y_5) Biology efficiency	1.000 0**	-0.990 0**	0.950 0**	0.090 0	1.000 0	
基质利用率(Y_6) Utilization rate of medium	0.990 0**	-0.980 0**	0.960 0**	0.070 0	1.000 0**	1.000 0

注:“*”表示相关性显著($P<0.05$),“**”表示相关性极显著($P<0.01$)。
Note:“*” shows marked correlation($P<0.05$),“**” shows extra-marked correlation($P<0.01$).

由表 2 可知,子座鲜质量与子座密度呈极显著正相关,与生产周期呈极显著负相关,生产周期与子

座密度、子座生物学效率、基质利用率呈极显著负相关,表明增加子座密度是提高蛹虫草产量的关键途径,而生产周期延长不利于子座产量的提高,也不利于生物学效率和基质利用率的提高。这是因为浅盘栽培蛹虫草时,基质厚度较小,在栽培过程中基质易失水,影响子座的生长发育。一般情况下,蛹虫草子座生长较慢时,产量普遍较低。所以,生产周期延长会影响子座鲜质量,并最终影响子座密度、子座生物学效率和基质利用率的提高。蛹虫草子座生物学效率、基质利用率与子座鲜质量及子座密度均呈极显著正相关,表明高产栽培情况下,子座生物学效率和基质利用率也会较高。子座长度与子座鲜质量、生产周期、子座密度、生物学效率及基质利用率的相关性均不显著,表明在试验条件下,基质料水比对子座长度影响较小。

3 结 论

1) 随着基质料水比的增加,蛹虫草子座鲜质量、子座密度、子座生物学效率和基质利用率均呈先增加后降低的趋势,生产周期呈先降低后增加的趋势,子座长度变化幅度较小。这表明基质料水比对蛹虫草子座鲜质量、子座密度、子座生物学效率、基质利用率和生产周期影响较大,但对子座长度无明显影响。

2) 综合分析认为,以小麦为主要原料进行蛹虫草栽培时,最佳的基质料水比为 1 : 1.6,此时蛹虫草子座的产量最高、密度最大、生产周期最短、基质利用率最高,经济效益最好。

〔参考文献〕

- [1] 卯晓岚. 我国常见食药食用菌名称 [J]. 中国食用菌, 2002, 21(4): 24-26.
Mao X L. Common edible and medical fungus name in China [J]. Edible Fungi of China, 2002, 21(4): 24-26. (in Chinese)
- [2] 林晓民, 李振岐, 侯 军. 中国大型真菌多样性 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 38-39.
Lin X M, Li Z Q, Hou J. Large fungal diversity in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 38-39. (in Chinese)
- [3] 来航线, 杜双田. 食用与药用真菌学 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998: 33.
Lai H X, Du S T. Edible and medical fungi [M]. Xi'an: World Books Company, 1998: 33. (in Chinese)
- [4] 都兴范, 李 军, 米 锐. 蛹虫草和冬虫夏草主要活性成分含量比较 [J]. 食用菌, 2010(6): 61-62.
Du X F, Li J, Mi R. Comparison of the main active components contents between *Cordyceps militaris* and *Cordyceps sinensis* [J]. Edible Fungi, 2010(6): 61-62. (in Chinese)
- [5] 贡成良, 吴卫东, 徐承智, 等. 家蚕蛹虫草的化学分析 [J]. 蚕业科学, 2002, 28(2): 168-172.
Gong C L, Wu W D, Xu C Z, et al. Analysis of chemical compositions of silkworm *Cordyceps militaris* [J]. Science of Sericulture, 2002, 28(2): 168-172. (in Chinese)
- [6] 吕子明, 姜永涛, 吴立军, 等. 人工蛹虫草子实体化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(24): 2914-2917.
Lü Z M, Jiang Y T, Wu L J, et al. Chemical constituents from dried sporophore of cultured *Cordyceps militaris* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(24): 2914-2917. (in Chinese)
- [7] 黄兰芳, 郭方遒, 梁逸曾, 等. HPLC-ESI-MS 测定冬虫夏草和蚕蛹虫草中腺苷和虫草素含量 [J]. 中国中药杂志, 2004, 29(8): 762-764.
Huang L F, Guo F Q, Liang Y Z, et al. Determination of adenosine and cordycepin in *Cordyceps sinensis* and *C. militaris* with HPLC-ESI-MS [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2004, 29(8): 762-764. (in Chinese)
- [8] 连云岚, 杨中林. 北虫草化学成分及药理作用研究进展 [J]. 山西医药杂志, 2006, 35(1): 44-45.
Lian Y L, Yang Z L. Advances in the studies on chemical composition and pharmacological action of *Cordyceps militaris* [J]. Shanxi Medical Journal, 2006, 35(1): 44-45. (in Chinese)
- [9] 黄 冕, 张 松. 虫草素生理功效的研究进展 [J]. 菌物研究, 2010, 8(4): 234-239.
Huang M, Zhang S. Research advances of physiological efficiencies of cordycepin [J]. Journal of Fungal Research, 2010, 8(4): 234-239. (in Chinese)
- [10] 蔡 晓, 汤晓勤, 杨长晓. 蛹虫草子实体的多糖含量测定研究 [J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(4): 837-838.
Cai X, Tang X Q, Yang C X. A study on determination of polysaccharides in sporophore of *Cordyceps militaris* [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2011, 21(4): 837-838. (in Chinese)
- [11] 宾 文, 宋丽艳, 于荣敏, 等. 人工培养蛹虫草多糖的抗炎及免疫作用的研究 [J]. 时珍国医国药, 2003, 14(1): 1-2.
Bin W, Song L Y, Yu R M, et al. Studies on the anti-inflammatory and immunomodulating actions of the polysaccharide in the tissue culture of *Cordyceps militaris* [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medical Research, 2003, 14(1): 1-2. (in Chinese)
- [12] 桂仲争, 朱雅红. 蛹虫草的人工培养、有效成分及药理作用研究进展 [J]. 蚕业科学, 2008, 34(1): 178-180.
Gui Z Z, Zhu Y H. Advance on cultivation bioactive compound and pharmacological mechanism of *Cordyceps militaris* [J]. Science of Sericulture, 2008, 34(1): 178-180. (in Chinese)
- [13] 柴建萍, 白兴荣, 谢道燕. 蛹虫草主要有效成分及药理功效 [J]. 云南农业科技, 2003(4): 22-23.
Chai J P, Bai X R, Xie D Y. The main active ingredient and pharmacology efficiency of *Cordyceps militaris* [J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2003(4): 22-23. (in Chinese)