

蝉花菌质的改良和营养成分分析

徐振栋^{1,2}, 沈佳奇^{1,2}, 崔俏俏², 钟剑国², 孙长胜^{1,2*}

¹浙江泛亚生命科学研究院, 浙江 平湖

²浙江泛亚生物医药股份有限公司, 浙江 平湖

收稿日期: 2022年3月22日; 录用日期: 2022年6月16日; 发布日期: 2022年6月24日

摘要

通过米曲霉和酵母对蝉花菌质进行发酵改良以提高其蛋白质含量, 采用国际通用的蛋白质评价方法对菌质改良前后蛋白质营养价值进行分析。结果显示, 经过改良, 蛋白质含量从14.60%增至26.16%, 除半胱氨酸、谷氨酸、脯氨酸外的其余氨基酸含量均有所上升, 单位蛋白质的质量有所下降, 第一限制氨基酸从赖氨酸变为含硫氨基酸, 综合来看, 改良后菌质营养价值和氨基酸平衡性均高于改良前, 是一种高蛋白、低胆固醇、低钠, 富含膳食纤维、维生素和矿物质的优质原料。

关键词

蝉花菌质, 米曲霉, 酵母, 营养价值

Improvement of Substrate and Analysis of Nutritional Components in Cordyceps Chanhua

Zhendong Xu^{1,2}, Jiaqi Shen^{1,2}, Qiaoqiao Cui², Jianguo Zhong², Changsheng Sun^{1,2*}

¹Zhejiang Bioasia Institutes for Biological Sciences, Pinghu Zhejiang

²Zhejiang Bioasia Pharmaceutical Co., Ltd., Pinghu Zhejiang

Received: Mar. 22nd, 2022; accepted: Jun. 16th, 2022; published: Jun. 24th, 2022

Abstract

Through *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae*, the substrate of chanhua is fermented to improve its protein content. The nutritional value of protein before and after the quality im-

*通讯作者。

provement was analyzed by international protein evaluation method. The results showed that the protein content increased from 14.60% to 26.16%. Except cysteine, glutamic acid and proline, the contents of other amino acids increased, the quality of unit protein decreased, and the first limiting amino acid changed from lysine to sulfur-containing amino acid. In general, the nutritional value and amino acid balance of the improved substrate were higher than those before. It is a high-quality raw material with high protein, low cholesterol, low sodium and rich in dietary fiber, vitamins and minerals.

Keywords

Fermented Substrate of *Cordyceps Chanhua*, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*, Nutritional Value

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

蝉花(*Cordyceps chanhua*), 顾名思义, 其为寄生在蝉上的一种虫生真菌, 是虫草科(*Cordycipitaceae*)、虫草属(*Cordyceps*) [1]的一种中药材, 在我国有上千年利用历史。其主要成分有腺苷、虫草素、虫草酸(甘露醇)、虫草多糖、麦角甾醇等, 具有增强免疫力[2]、改善睡眠[3]、抗疲劳[4]等功能。人工培养的蝉花子实体在 2021 年获卫健委批准为新食品原料。

目前蝉花的人工培养主要为采用小麦、燕麦等谷物作为培养基进行固体培养, 因此在采收完孢梗束后会有许多的菌质(固体培养残基)残留, 其含有大量的未利用彻底的谷物营养成分及蝉花生长过程中产生的腺苷、麦角甾醇、甘露醇、多糖、HEA 等生物活性物质和维生素、矿物质等[5]。而随着生产工艺的改进, 蝉花孢梗束的质量不断提升, 菌质的质量和营养随之下降, 因此, 对蝉花菌质改良的研究, 有利于提升菌质的营养利用水平, 更好地发挥其作为饲料原料的价值。

蝉花菌质的改良选择了米曲霉和酵母这两种真菌对菌质进行发酵改良。米曲霉是一能产生蛋白酶、纤维素酶、淀粉酶等多种酶的菌种。淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶能分别降解原料中的大分子蛋白、直链支链淀粉、粗纤维等, 使之成为更易被人体吸收的小分子物质, 起到提高原料营养价值、保健功效和消化率的作用, 被广泛应用于食品、饲料、酿酒等发酵工业[6]。酵母菌也是一种人类很早就利用的微生物, 其营养价值高, 含有多种蛋白质、氨基酸、维生素和生物活性物质等, 且具有生长周期短、发酵能力强、容易进行大规模培养的优点, 因此在食品、医药、酿酒等领域广泛应用[7]。选定这两种菌后进行大量实验, 筛选出最合适的蝉花菌质发酵方案。本文主要对改良前后菌质的营养成分进行对比分析, 明确菌质改良结果, 为改良菌质的开发利用提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料

2.1.1. 供试材料

蝉花菌质: 由培养蝉花的培养基质及蝉花的营养菌丝组成的一种营养物质, 由浙江泛亚生物医药股份有限公司提供; 酱油曲精(米曲霉): 购自上海佳民酿造食品有限公司酿造一厂, 为蛋白酶和淀粉酶活性

较高的中科 3.951 米曲霉的孢子；天然酵母：购自通许县瑞祥农家人副食商行。

2.1.2. 仪器与试剂

HPX-300BSH-3 恒温恒湿培养箱(上海新苗医疗器械制造有限公司)；ZHJH-C1214B 超净工作台(上海智城分析仪器制造有限公司)；ML304T 分析天平(美国梅特勒-托利多公司)；SKD-100 凯氏定氮仪(上海沛欧分析仪器有限公司)，L-8900 型氨基酸自动分析仪(日本日立公司)安捷伦 1260 液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司)等。

2.2. 方法

2.2.1. 酵母菌种分离纯化

土豆洗净去皮，称取 200.0 g 土豆切成小块，加水煮沸 30 min，八层纱布过滤；再加 20.0 g 葡萄糖和 20.0 g 琼脂，加热溶解，补热水至 1 L，分装入试管中，加塞，121℃灭菌 30 min，冷却制成马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)斜面。取 0.3 g 天然酵母溶于 50 mL 无菌水中，接种环蘸取少许液体后于 PDA 斜面由下至上划线，28℃培养 24 h，获得第一代天然酵母。随后用接种环蘸取第一代天然酵母单菌落于另一 PDA 斜面划线，28℃培养 24 h，获得纯化的第二代天然酵母。取第二代天然酵母于批量的 PDA 斜面划线，28℃培养 24 h，获得批量的第三代天然酵母，4℃冰箱保存。

2.2.2. 天然酵母菌液制备

取 1 支天然酵母 PDA 斜面试管，向其中加入 5 mL 马铃薯葡萄糖水(PDB)培养基，用接种环刮下斜面上的菌落，随后将斜面试管中的 PDB 培养基倒入装有 995 mL PDB 培养基的锥形瓶中，于 25℃，180 rpm/min 摇床中震荡培养 24 h，得到天然酵母菌液。

2.2.3. 菌质改良

取蝉花菌质 300.0 g，加入 300 mL 水和 0.15 g 米曲霉(酱油曲精)，充分混匀，得 600.0 g 初始发酵料，将其于 30℃恒温培养 48 h；培养结束后揉碎成粒径 < 2 cm 的小颗粒，加入 40 mL 天然酵母菌液，充分混匀，于 25℃恒温培养 72 h，结束后再次揉碎，平铺于托盘中除湿 24 h，60℃烘干 6~8 h，得到干燥的可长期保存的改良菌质。

2.2.4. 营养成分检测

蛋白质检测参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》，氨基酸检测参考 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》，脂肪检测参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》，脂肪酸检测参考 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》，总糖检测参考 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》，碳水化合物参考 GB 28050-2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》，能量测定参考 GB 29922-2013《食品安全国家标准 特殊医学用途配方食品通则》，膳食纤维检测参考 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》，钠、钾、钙、镁、磷、铁、锌、铜、铬、锰、镉、碘的测定参考 GB 5009.91-2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》、GB 5009.92-2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.241-2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》、GB 5009.87-2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》、GB 5009.90-2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》、GB 5009.14-2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》、GB 5009.13-2017《食品安全国家标准 食品中铜的测定》、GB 5009.123-2014《食品安全国家标准

食品中铬的测定》、GB 5009.242-2017《食品安全国家标准 食品中锰的测定》、GB 5009.15-2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》、GB 5009.267-2020《食品安全国家标准 食品中碘的测定》，
 钼的测定参考 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》，
 维生素 E 的测定参考 GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》，
 维生素 C 的测定参考 GB 5413.18-2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中维生素 C 的测定》，
 胆固醇测定参考 GB 5009.128-2016《食品安全国家标准 食品中胆固醇的测定》，
 维生素 B1、B2、B6 的测定参考 GB 5009.84-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B1 的测定》、
 GB 5009.85-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B2 的测定》、GB 5009.154-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B6 的测定》，
 维生素 K1 的测定参考 GB 5009.158-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 K1 的测定》，
 叶酸测定参考 GB 5009.211-2014《食品安全国家标准 食品中叶酸的测定》。

2.2.5. 菌质蛋白质营养价值评价

其中化学评分(Cheical score, CS)按照联合国粮农组织(FAO)的方法计算[8];氨基酸评分(Amino acid score, AAS),必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI),生物价(Biological valence, BV)和营养指数(Nutritional index, NI)采用 Bano Z 等[9]的方法计算获得;氨基酸比值(Ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(Ratio coefficient of amino acid, RCAA)和氨基酸比值系数分(Score of ratio coefficient of amino acid, SRCAA)采用彭智华等[10]和朱圣陶等[11]的方法进行计算。

具体公式如下:

氨基酸评分(AAS) = [样品蛋白质中某必需氨基酸含量(mg/g)]/[FAO/WHO 评分标准模式中相应必需氨基酸含量(mg/g)] × 100;

化学评分(CS) = [样品蛋白质中某必需氨基酸含量(mg/g)] × [标准鸡蛋蛋白中必需氨基酸总含量(mg/g)]/[样品蛋白质中必需氨基酸总含量(mg/g)]/[标准鸡蛋蛋白中相应必需氨基酸含量(mg/g)] × 100;

必需氨基酸指数(EAAI) = 样品中各必需氨基酸含量与标准鸡蛋蛋白中相应氨基酸含量比值的几何平均数 × 100;

生物价(BV) = 1.09 × EAAI - 11.7;

营养指数(NI) = 必需氨基酸指数(EAAI) × 样品蛋白质含量(PP)/100;

氨基酸比值(RAA) = [样品中氨基酸含量]/[FAO/WHO 模式氨基酸含量];

氨基酸比值系数(RCAA) = 氨基酸比值/氨基酸比值之均数;

氨基酸比值系数分(SRCAA) = 100 - RCAA 变异系数 × 100。

3. 结果与分析

3.1. 营养成分变化

从表 1 的测定结果可以看出,采用米曲霉和酵母发酵后的菌质蛋白质含量达到了 26.16 g/100g,比起改良前的 14.60 g/100g,提高了 79.18%。蛋白质是机体生长的重要营养物质,动物肌肉增长需要补充蛋白质,养殖动物适当提高饲料蛋白含量有助于其生长,并且水产动物对蛋白质的需求量更高[12]。改良后菌质中各种矿物质如钙、镁、钾、铁、锌等也有不同程度的提升。钙、镁是动物骨骼发育的重要成分,且对动物产蛋、产奶十分重要[13] [14]。铁是组成血红蛋白必不可少的一部分,能预防仔猪等幼崽出现腹泻[15],锌能增加食欲,提高采食量及消化率,增强免疫,加强代谢合成,从而促进生长[16]。此外,表 1 中 B 族维生素的含量均有所提升。维生素 B1、B2 是能量代谢中不可缺少的成分,能提高机体对蛋白

质的利用率, 促进生长发育。并且维生素 B1、B2 还分别有助于维持神经系统正常生理功能、维持皮肤和粘膜健康[17] [18]。而维生素 B6 参与蛋白质代谢和利用, 能提高动物的生长性能[19]。

Table 1. Changes of nutritional components after improvement of substrate

表 1. 改良前后菌质营养成分的变化

项目	单位	改良前菌质	改良后菌质	提高率/%
蛋白质	g/100g	14.60	26.16	79.18
脂肪	g/100g	1.40	3.30	135.71
饱和脂肪酸	g/100g	0.20	2.24	1020.00
不饱和脂肪酸	g/100g	0.55	5.30	863.64
总糖	%	43.3	8.4	-80.60
碳水化合物	g/100g	78.6	61.9	-21.25
能量	kJ/100g	1637	1635	-0.12
可溶性膳食纤维	g/100g	未检出(<0.01)	0.880	+
不溶性膳食纤维	g/100g	17.49	5.46	-68.78
钠	mg/100g	54.10	0.99	-98.17
钙(以 Ca 计)	mg/100g	16.90	82.90	390.53
钾	mg/100g	1.60	36.50	2181.25
镁	mg/100g	154	355	130.52
磷	mg/100g	343	626	82.51
铁	mg/100g	1.42	16.80	1083.10
锌	mg/100g	14.9	17.8	19.46
铜	mg/100g	61.60	0.01	-99.98
铬(以 Cr 计)	mg/100g	5.90	0.15	-97.41
锰	mg/100g	3406.00	7.46	-99.78
镉(以 Cd 计)	mg/100g	未检出(<0.0003)	0.0042	+
钼(以 Mo 计)	mg/100g	0.797	0.128	-83.94
碘	mg/100g	未检出(<140)	0.53	+
维生素 E	mg/100g	14.27	15.70	10.02
维生素 C	mg/100g	13.0	8.4	-35.38
胆固醇	mg/100g	未检出(<1.0)	1.48	+
维生素 B1	mg/100g	未检出(<0.10)	0.241	+
维生素 B2	mg/100g	0.30	1.66	453.33
维生素 B6	mg/100g	2.05	2.24	9.27
维生素 K1	μg/100g	未检出(<5)	7.65	+
叶酸	μg/100g	12.04	601.00	4891.69

注: “+”表示含量有所提高但无法计算提高率。

3.2. 氨基酸种类和含量

由表 2 的氨基酸测定结果来看, 改良后菌质中除半胱氨酸, 谷氨酸, 脯氨酸含量略微下降以外, 测定的其他氨基酸含量均有所上升, 其中组氨酸含量提升最大, 达到了 10 倍以上。总氨基酸从 8.96% 提升至 15.49%。组氨酸是鸡、猪的必需氨基酸, 对动物生长有所影响, 能提高肌肉抗氧化能力, 改善肉品质并延长保存时间。组氨酸是肌肽合成的前体物质, 肌肽具有抗氧化、抗衰老、抗疲劳、维持 pH 稳定等特性, 在治疗老年痴呆和帕金森等疾病方面也具有重要作用[20]。

Table 2. Types and contents of amino acids before and after improvement of substrate (%)

表 2. 菌质改良前后氨基酸的种类和含量(%)

氨基酸种类	改良前菌质	改良后菌质	提高/%
天冬氨酸	0.74	1.41	90.54
苏氨酸	0.40	0.70	75.00
丝氨酸	0.46	0.71	54.35
谷氨酸	2.05	1.97	-3.90
甘氨酸	0.43	0.71	65.12
丙氨酸	0.49	0.87	77.55
半胱氨酸	0.17	0.00	-100.00
缬氨酸	0.48	0.80	66.67
蛋氨酸	0.11	0.25	127.27
异亮氨酸	0.38	0.60	57.89
亮氨酸	0.64	0.93	45.31
酪氨酸	0.40	0.43	7.50
苯丙氨酸	0.37	0.52	40.54
赖氨酸	0.25	0.95	280.00
组氨酸	0.28	3.23	1053.57
精氨酸	0.58	0.77	32.76
脯氨酸	0.73	0.64	-12.33
总氨基酸	8.96	15.49	72.88

3.3. 必需氨基酸组成

从表 3 可知, 虽然改良后菌质的蛋白质含量提高较大, 但是每克蛋白质中必需氨基酸的含量除赖氨酸外均有所下降, 总必需氨基酸相对含量略有降低, 差距不大。菌质改良前后其必需氨基酸的含量与鸡蛋模式和 FAO/WHO 模式相比均有较大的差距。

Table 3. Composition of essential amino acids before and after improvement of substrate**表 3.** 菌质改良前后必需氨基酸的组成

氨基酸(mg/g protein)	鸡蛋模式[21]	FAO/WHO 模式[22]	改良前菌质	改良后菌质
异亮氨酸	54	40	26.03	22.94
亮氨酸	86	70	43.84	35.55
赖氨酸	70	55	17.12	36.31
蛋氨酸 + 半胱氨酸	57	35	19.18	9.56
苯丙氨酸 + 酪氨酸	93	60	52.74	36.31
苏氨酸	47	40	27.40	26.76
缬氨酸	66	50	32.88	30.58
总必需氨基酸	473	350	219.18	198.01

3.4. 蛋白质的 AAS 和 CS

氨基酸评分 AAS 值越接近 100, 说明该氨基酸含量与 FAO/WHO 模式的氨基酸含量越接近。

化学评分 CS 越接近 100, 说明样品中该氨基酸的相对含量与鸡蛋中对应氨基酸的相对含量越接近。所有必需氨基酸中评分最低的氨基酸为第一限制氨基酸。其在必需氨基酸中缺乏最多, 影响机体对蛋白质的利用, 决定蛋白质的质量。

由表 4 可知, 改良前菌质的 AAS 和 CS 分别为 31.13 和 52.79, 改良后菌质的 AAS 和 CS 分别为 27.30 和 40.05。改良前菌质的第一限制氨基酸为赖氨酸, 改良后菌质的第一限制氨基酸变为了含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)。通常, 赖氨酸是谷类蛋白质的第一限制氨基酸。而含硫氨基酸则是大多数非谷类植物蛋白质的第一限制氨基酸[23], 这一结果表明, 米曲霉和酵母双重发酵将蝉花菌质氨基酸组成偏向从谷物蛋白转为非谷类蛋白。

Table 4. AAS and CS of protein before and after improvement of substrate**表 4.** 菌质改良前后蛋白质的 AAS 和 CS

氨基酸	AAS		CS	
	改良前菌质	改良后菌质	改良前菌质	改良后菌质
异亮氨酸	65.07	57.34	104.02	101.46
亮氨酸	62.62	50.79	110.00	98.75
赖氨酸	31.13	66.03	52.79	123.92
蛋氨酸 + 半胱氨酸	54.79	27.30	72.61	40.05
苯丙氨酸 + 酪氨酸	87.90	60.52	122.38	93.28
苏氨酸	68.49	66.90	125.80	136.00
缬氨酸	65.75	61.16	107.50	110.68
蛋白评分	31.13	27.30	52.79	40.05

注: AAS 氨基酸评分; CS 化学评分。

3.5. 蛋白质的 EAAI、BV 和 NI

EAAI 越接近 100, 说明样品蛋白质的必需氨基酸组成和标准鸡蛋蛋白氨基酸组成越相似, 营养价值越高。

生物价(BV)是反映食物中蛋白质被消化吸收后, 被机体利用程度的指标, 生物价的价值越高, 表明其被机体利用程度越高, 即蛋白质的营养价值越高。

营养指数(NI)这一评价指标综合考虑了蛋白质含量及氨基酸组成, 数值越高, 说明样品营养价值越高。

表 5 结果显示, 改良前菌质的 EAAI 和 BV 均高于改良后, 而 NI 则低于改良后菌质, 说明虽然改良前菌质的每单位蛋白质的质量较高, 但是由于改良后菌质蛋白质含量的大幅提升, 综合考虑, 改良前菌质的营养价值低于改良后菌质。

Table 5. EAAI, BV and NI of protein before and after improvement of substrate

表 5. 菌质改良前后蛋白质的 EAAI、BV 和 NI

项目	EAAI	BV	NI
改良前菌质	53.05	46.13	7.75
改良后菌质	48.81	41.51	12.77

注: EAAI 必需氨基酸指数; BV 生物价; NI 营养指数。

3.6. 蛋白质的 RAA、RCAA、SRCAA

RAA 表示样品中氨基酸含量为 FAO/WHO 模式氨基酸含量的倍数。

RCAA、SRCAA 分别表示样品中单个或整体氨基酸组成与模式氨基酸组成的接近程度。RCAA > 1 表示该氨基酸相对过剩, RCAA < 1 表示该氨基酸相对不足。SRCAA 越接近 100, 与模式氨基酸越一致, 营养价值越高[11]。

Table 6. RAA, RCAA and SRCAA of protein before and after improvement of substrate

表 6. 菌质改良前后蛋白质的 RAA、RCAA、SRCAA

氨基酸	改良前		改良后	
	RAA	RCAA	RAA	RCAA
异亮氨酸	0.65	1.05	0.57	1.03
亮氨酸	0.63	1.01	0.51	0.91
赖氨酸	0.31	0.50	0.66	1.18
蛋氨酸 + 半胱氨酸	0.55	0.88	0.27	0.49
苯丙氨酸 + 酪氨酸	0.88	1.41	0.61	1.09
苏氨酸	0.68	1.10	0.67	1.20
缬氨酸	0.66	1.06	0.61	1.10
SRCAA	72.64		75.50	

注: RAA 氨基酸比值; RCAA 氨基酸比值系数; SRCAA 氨基酸比值系数分。

现代营养学研究表明, 不仅氨基酸不足会影响蛋白质的营养价值, 而且氨基酸过剩也限制蛋白质的营养价值[24]。化学分只考虑一种限制性氨基酸对蛋白质营养价值的影响, 现代营养学则更多地强调蛋白质的氨基酸平衡。SRCAA 用各种必需氨基酸偏离氨基酸模式的离散度来评价蛋白质质量, 比化学分更能反映蛋白质质量[11]。

由表 6 可知, 改良前菌质的赖氨酸含量缺乏、改良后菌质含硫氨基酸含量缺乏, 但改良后菌质的 SCRAA 高于改良前菌质, 说明改良后菌质蛋白质的氨基酸组成的均衡性高于改良前。

4. 结论与讨论

原有的蝉花菌质经过米曲霉和酵母先后发酵 48 h 与 72 h 后, 营养成分发生了明显改变, 最主要是蛋白质含量和氨基酸含量得到明显提升, 氨基酸含量由改良前的 8.96%, 提升为 15.49%, 提高了 72.88%, 蛋白质含量由原来 14.60 g/100g, 提高为 26.16 g/100g, 提升了 79.18%。所测 B 族维生素含量均有不同程度提高, 部分矿物质、微量元素含量也均有提高。

从蛋白质分析结果来看, 改良后菌质的蛋白质和氨基酸含量均有所上升, 但每克蛋白质的必需氨基酸含量下降。采用通用的营养评价方法进行分析, 结果表明改良前菌质的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、生物学效价(BV)高于改良后, 而改良后菌质的营养指数(NI)和氨基酸比值系数分(SRCAA)则较改良前有所提高。综上可得, 改良后菌质的蛋白质质量有所下降, 但氨基酸平衡性和营养价值均有所提高。

综合以上结果来看, 改良后的菌质是一种高蛋白、低胆固醇、低钠, 富含膳食纤维、维生素和矿物质的营养物质, 添加入饲料后能降低鸡、鸭、猪、牛等畜禽饲养成本, 增加效益, 也可作为生物有机肥使用, 改良土壤, 增加肥力, 提高作物产量, 具有非常广泛的应用前景。通过米曲霉和酵母对蝉花菌质的改良, 能使得蝉花培养后废料更好地进行资源再利用, 这一方法能进一步推广应用于大部分食用菌培养废料的再利用上, 在节约资源的同时增加效益, 对环境保护有积极意义。

参考文献

- [1] 李增智, 栾丰刚, Hywel-Jones Nigel, L, 张胜利, 陈名君, 黄勃, 孙长胜, 陈祝安, 李春如, 谭悠久, 董建飞. 与蝉花有关的虫草菌生物多样性的研究 II: 重要药用真菌蝉花有性型的发现及命名[J]. 菌物学报, 2021, 40(1): 95-107.
- [2] 宋捷民, 陈玲, 陈玮, 等. 蝉花对免疫功能影响的实验研究[J]. 中国中医药杂志, 2007, 14(1): 37-38.
- [3] 张忠亮, 王玉芹, 樊美珍. 培育蝉花改善小鼠睡眠功能的试验研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2016, 32(6): 5.
- [4] 王砚, 赵小京, 唐法娣. 蝉花药理作用的初步探讨[J]. 浙江中医杂志, 2001(36): 219-220.
- [5] 于士军, 柴新义, 樊美珍. 蝉花菌质主要营养成分和活性成分分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 155-158.
- [6] 赵龙飞, 徐亚军. 米曲霉的应用研究进展[J]. 中国酿造, 2006, 25(3): 8-10.
- [7] 史玉宁, 赵鹏娟, 陈如水, 付瑞珍, 石宁. 米曲霉和酿酒酵母复合菌种发酵豆粕的研究[J]. 现代畜牧兽医, 2017(6): 8-11.
- [8] FAO (1970) Amino Acid Content of Foods and Biological Data on Proteins. *Nutritional Studies*, 24, 5-6.
- [9] Bano, Z. and Rajarathnam, S. (1982) Pleurotus Mushroom as a Nutritious Food. In: *Tropical Mushrooms: Biological Nature and Cultivated Methods*, The Chinese University Press, Hong Kong, 363-380.
- [10] 彭智华, 龚敏方. 蛋白质的营养评价及其在食用菌营养评价上的应用[J]. 食用菌学报, 1996, 3(3): 58-66.
- [11] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988(2): 187-190.
- [12] 王冰柯, 张芹, 王延晖. 饲料蛋白质水平对水产动物生长及抗氧化的影响[J]. 河南水产, 2021(4): 3-5.
- [13] 邹仕成. 动物日粮中钙磷的合理供给探讨[J]. 现代农业科技, 2008(15): 303-304.

-
- [14] 贺春宝. 硫酸镁在饲料添加剂中的应用[C]//2006年中国镁盐行业年会暨新技术、新产品、新设备推介会论文集, 2006: 259-262.
- [15] 吴凡. 微量元素铁在动物生产上的应用[J]. 江西饲料, 2012(4): 10-12.
- [16] 李凯年, 逯德山. 动物日粮中锌的营养与药理作用研究动态[J]. 中国动物保健, 2007(6): 62-63+66.
- [17] 王仁华, 邢磊. 饲料中维生素 B1 的应用进展[J]. 饲料与畜牧, 2016(11): 60-61.
- [18] 邢磊, 姜文娟. 浅谈饲料中的维生素 B2 [J]. 江西饲料, 2016(4): 12-13+21.
- [19] 党晓鹏. 维生素 B6 与畜禽蛋白质代谢[J]. 湖南饲料, 2016(2): 36-38.
- [20] 胡孟, 武书庚, 王晶, 齐广海, 张海军. 组氨酸的生理功能及在动物生产中的应用[J]. 中国饲料, 2018(7): 38-45.
- [21] 于士军, 纪伟, 董建飞, 陈奇超, 樊美珍. 不同蝉花产品蛋白质营养价值分析[J]. 氨基酸和生物资源, 2014, 36(4): 35-39.
- [22] FAO/WHO (1973) Energy and Protein Requirements: Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52, WHO Technical Report Series No. 522, Geneva, 40-73.
- [23] K. W. Giles, S. M. Hobday, 沈治平. 改良植物蛋白质以供人类的需要[J]. 生理科学进展, 1978(1): 79-85.
- [24] 宫志远, 于淑芳, 刘岚铮, 等. 珍稀菇类阿魏蘑蛋白质营养价值评价的研究[J]. 中国食物与营养, 2003(4): 47-49.