

青岛农业大学

毕 业 论 文（设计）

题 目：____食用菌生物修复研究现状____

姓 名：____杨俊航____

学 院：____生命科学学院____

专 业：____生物技术（食用菌）____

班 级：____2016 级 01 班____

学 号：____20165188____

指导教师：____于浩____

2020 年 6 月 1 日

青岛农业大学

毕业论文（设计）诚信声明

本人郑重声明：所呈交的本科毕业论文（设计）是本人在指导老师的指导下，进行研究工作所取得的成果，成果不存在知识产权争议。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体在文中均作了明确的说明并表示了谢意。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

毕业论文（设计）作者签名：

年 月 日

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
前言	1
一、何为“修复技术”？	2
二、食用菌与修复技术.....	3
（一）当食用菌作为一种产品.....	3
（二）当食用菌是一种工具.....	4
（三）生物吸附.....	6
（四）生物转化.....	7
（五）生物修复目的.....	8
结论	9
参考文献	10
致谢	13

食用菌生物修复研究现状

生物技术（食用菌） 杨俊航

指导教师：于浩

摘要：食用菌因其风味独特、富含蛋白质而长期被人们所喜爱。同时因为食用菌又因为在污染物处理和生物修复中起到重要作用而受到广泛关注。食用菌进行生物修复主要因为食用菌分泌的各种酶能够高效降解有机污染物，同时食用菌菌丝及其菌糠能够吸收污染物（生物吸附过程），此外食用菌还能够转化污染物使其变为无毒或者低毒的物质。本文综述了以食用菌栽培为基础的真菌修复技术在污染物处理中应用的研究成果和现状。这篇综述也讨论了食用菌在污染物上栽培的安全问题。

关键词：生物降解；生物修复；基因毒性；生物吸附；农业的和工业的废弃物；生物转化

Research status of edible fungus bioremediation

Student majoring in Biotechnology (edible fungi) YangJanghang

Tutor: YuHao

Abstract: Edible fungi have long been loved for their unique flavor and high protein content. They are also known as Fungal remediation tools for their use in the remediation of different types of pollutants. Fungal remediation relies on the efficient enzymes produced by edible fungi to degrade contaminants. The mycelia and spent mushroom could also absorb contaminants (biosorption processes) and transform the contaminants into non-toxic and low-toxic compounds. In this paper, the research achievements and present situation of the application of fungi remediation technology based on edible fungi cultivation in contamination treatment were reviewed. This review also discusses the safety of cultivation of edible fungi on contaminants.

Key words: Biodegradation; Bioremediation; Genotoxicity; Biosorption Industrial waste; Agroindustrial waste; Bioconversion

前 言

随着科技发展，日新月异的生活带来的不止是便捷，污染也日益严重，所以解决污染的各种方式也被依次提出，其中有提出生物修复，生物修复，顾名思义，用大自然中已有的生物进行污染的处理。食用菌因其风味独特、富含蛋白质而长期作为食用菌产品使用，因食用菌在生物修复领域的运用也被称之为生物修复工具，其靠产生酶来降解污染物。除了废物降解，食用菌还属于一种可供出售的消费品。但是，有时它们会将污染物吸收到菌丝体中（生物吸附过程），并且因吸收废物而导致不能食用。本文综述了以食用菌栽培为基础的真菌修复技术在垃圾处理中的研究成果和现状，强调了食用菌作为产品的重要性。这篇评论也集中在食用菌在废物上栽培的安全问题。

一、何为“修复技术”？

“生物修复技术”是以工业和环境生物技术为基础的生物方法，旨在清除和治理环境污染的生物工程技术。它的重点是强调生产、减少废物产生、处理和以某种适当的形式转化废物。此外，这些修复技术侧重于使用生物方法用于污染物的修复。其所产生的菌糠酶可以解决环境中的污染物，其酶种类多可用于多种污染物降解，如表 1。

表 1 菌糠中的木质纤维素降解酶类

Table 1 Lignocellulosic enzymes detected in SMS

S. no	食用菌 Mushroom	栽培主料 Main compost components	酶的类别 Enzymes	来源 References
1	凤尾菇 <i>P. sajor-caju</i>	木屑、西谷椰子壳 Sawdust, sago hampas from sago palm	木质素过氧化物酶、纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶、漆酶、木聚糖酶 Lignin peroxidase, cellulase, β -glucosidase, laccase, xylanase	[1]
2	猴头菌、糖皮侧耳、滑子蘑 <i>H. erinaceum</i> , <i>P. ostreatus</i> , <i>Photionta nameko</i>	未提及 Not recorded	纤维素酶、木聚糖酶 Cellulase, xylanase	[2]
3	双孢蘑菇 <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Lactarius piperatus</i>	未提及 Not recorded	漆酶 Laccase	[3]
4	糙皮侧耳、香菇、金针菇、猴头菌 <i>P. ostreatus</i> , <i>L. edodes</i> , <i>F. velutipes</i> , <i>H. erinaceum</i>	木屑 Sawdust	纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶、漆酶、木聚糖酶、 α -淀粉酶 Cellulase, β -glucosidase, laccase, xylanase, α -amylase	[4]
5	未提及(商品化困糖) <i>Mushroom species not recorded (commercial SMS)</i>	小麦秸秆 Wheat straw	内切木聚糖酶、6-木糖酶、阿拉伯呋喃糖酶、乙酰酯酶、内切葡聚糖酶、纤维二糖酶、 β -葡萄糖苷酶、木质素过氧化物酶、酚氧化酶 Endoxylanase, 6-xylosidase, arabinofuranosidase, acetylerase, endoglucanase, cellobiosidase, β -glucosidase, lignin peroxidase, phenol	[5]

			oxidase	
6	糙皮侧耳、刺芹侧耳、白黄侧耳 <i>P. ostreatus</i> , <i>P. eryngii</i> , <i>P. cornucopiae</i>	木屑、棉籽粉、甜菜渣、米糠 和麦麸 Sawdust, cottonseed meal, beet pulp, rice polishings, wheat bran	α -淀粉酶、纤维素酶、漆酶、木聚糖酶 α - amylase, cellulase, laccase, xylanase	[6]
7	刺芹侧耳（杏鲍菇） <i>Pleurotus eryngii</i>	未提及 Not recorded	α -淀粉酶、纤维素酶、漆酶、木聚糖酶、木质素过氧化物酶、 β -葡萄糖苷酶、木糖酶 α - amylase, cellulase, laccase, xylanase, lignin peroxidase, β - glucosidase, xylosidase	[7]
8	白黄侧耳、凤尾菇、香菇、秀珍菇、金针菇 <i>P. cornucopiae</i> , <i>Por-cajw</i> , <i>L. edodes</i> , <i>P. geesteranus</i> , <i>F. velutipes</i>	未提及 Not recorded	果胶酶、 α -半乳糖苷酶、木聚糖酶、纤维素酶 Pectase, α -galactosidase, xylanase, cellulase	[8]

食用菌生产蛋白质的方式来自不同废物的生物量或子实体通过分泌多种水解和氧化酶来实现。这引起了对食用菌栽培和废弃物修复领域的研究关注，所以，食用菌变得越来越重要。许多研究已经强调了食用菌在生物修复领域的作用：生物降解、生物吸附和生物转化。许多学者研究探讨了不同酶的降解过程，它们的降解途径，以及影响它们活性的因素^{[9][10]}。在这篇综述中，我们将讨论如何利用食用菌作为清洁环境的生物工具。食用菌不仅仅是一种真菌修复工具，也是一种产品可以产生食用菌子实体供给食用，农业工业废弃物被认为是一种产品，并且可以利用这些废弃物种植食用菌。

二、食用菌与修复技术

（一）当食用菌作为一种产品

食用菌是栽培的产物，可以将生物废弃物、农业废弃物和工业废弃物作为栽培料开发利用。除此之外，这些食用菌还可以作为蛋白质、氨基酸和一些生物活性分子的来源，它们不仅提供营养，还是一种很好的医疗保健产品。因此可以知道食用菌是一种很重要的产品，它具有很高的营养价值，可以与牛奶、鸡蛋和肉类这些高蛋白食品相比较。食用菌是一种富含大量蛋白质的食品，被认为是一种很重要的蛋白质来源。它们富含丰富的氨基酸，如苯丙氨酸、苏氨酸和酪氨酸，易于吸收且胆固醇，糖类等含量低，所以卡路里含量低，适宜减肥者食用。而且食用菌含有大量纤维，促进消化。食用菌的营养状

况，受许多因素影响，如培养基类型，不同类型培养基栽培后营养成分会有差异^[11]。当然，营养成分的略有差异不会对他的可食用性造成影响。所以我们可以知道，食用菌即可作为一种修复工具，同时它又是一种食品。

（二）当食用菌是一种工具

真菌修复工具是指食用菌由于具有产生多种酶的能力，降解环境持久性污染物，改造工业污染，食用菌利用不同的方法净化污染点，治理环境。它的方法包括：生物降解，生物吸附和生物转化。生物降解一般指微生物的分解作用，对环境不会造成负面影响，它最终将物质降解成大自然继续循环利用的物质。这是一种将复杂化合物转变为简单化合物（如水、二氧化碳、硝酸盐或者其他无机物）的过程，很多研究已经对蘑菇的降解能力和它们的酶进行研究，如表 2 所示。

表 2 食用菌在污染物降解中的作用

Table 2 Role of mushroom in degradation of pollutants				
S. no.	食用菌 Mushroom spp.	废物/污染物 Waste/Pollutants	结论 Remarks	文献来源 References
1	平菇 <i>Pleurotus ostreatus</i>	生物降解塑料 Oxo-Biodegradable plastic	蘑菇把塑料降解并在上面生长。 Mushrooms degraded the plastic and grew on it.	[12]
2	香菇 <i>Lentinula edodes</i>	2,4-二氯苯酚 2,4-dichlorophenol	蘑菇降解 2,4-二氯苯酚 (DCP) 用香兰素作活化剂。 Mushrooms degraded 2,4-dichlorophenol (DCP) by using vanillin as an activator.	[13]
3	秀珍菇 <i>Pleurotus pulmonarius</i>	放射性纤维素废物 Radioactive cellulosic based waste	含有蘑菇菌丝体的废物用硅酸盐固化，然后这种固化的废物作为防止放射性污染物释放的第一道屏障。 Waste containing mushroom mycelium was solidified with portland cement and then this solidified waste act as first barrier against the release of radiocontaminants.	[14]
4	银耳，裂褶菌和多孔菌 <i>Jelly sp., Schizophyllum commune and Polyporous sp.</i>	孔雀绿 malachite green	10 天内降解率分别为 99.75%（银耳）、97.5%（裂褶菌）、68.5%（多孔菌） 99.75% (Jelly sp.), 97.5% (Schizophyllum commune), 68.5% (Polyporous sp.2) dye was degraded in 10 days	[15]

5	银耳，裂褶菌和 多孔菌 <i>Pleurotus pulmonarius</i>	原油 crude oil	原油被降解 crude oil was degraded	[16]
6	云芝 MKACC 52492 <i>Coriolus versicolor</i> MKACC 52492	多环芳烃 PAH	蘑菇具有降解 Poly-R 478 的能力，决定了其降解多环芳烃的适宜性。木质素修饰酶漆酶、锰依赖性过氧化物酶（MnP）和木质素过氧化物酶（LiP）被发现用于降解木质素 Mushroom possesses ability to degrade Poly-R 478 which decides its suitability to degrade PAH. Lignin-modifying enzymes laccase, manganese-dependent peroxidase (MnP), and lignin peroxidase (LiP) was found to produce for degradation	[17]

蘑菇能在细胞外产生过氧化物酶，木质素酶（木质素过氧化物酶，锰依赖性过氧化物酶和漆酶）、纤维素酶、果胶酶、木聚糖酶和氧化酶^[18]。它们能够在体外氧化难降解污染物。这些酶通常由它们的底物诱导。这些酶也被发现能降解非聚物、难降解的污染物，如硝基甲苯，多环芳烃，有机和合成染料在体外条件下。最近，有报道称蘑菇能够降解塑料等聚合物^[12]。生物降解机理非常复杂，这可能受其他生化系统的影响，如木质素分解酶与细胞色素的相互作用，P450 单加氧酶系统、羟基自由基和蘑菇产生的过氧化氢水平。

（三）生物吸附

蘑菇去除环境中金属/污染物的一个重要过程是生物吸附。生物吸附被认为是工业废水处理和废水中的金属离子去除的有效方法。生物吸附是基于金属离子/污染物/外源化合物的吸附的过程，制备生物吸附剂可以从蘑菇菌丝体和废蘑菇堆肥中提取。蘑菇对污染物/外源物质的吸收包括两个过程的组合：（i）生物累积，即活性代谢依赖过程，包括到单元的传输和分区进入细胞内成分；（ii）生物吸附，即污染物与生物量的结合代谢产能。生物吸附可能涉及几个化学过程，包括吸附、离子交换过程和共价结合。据 Mar'in 等人说，蛋白质、氨基酸、脂质的极性基团和结构多糖（几丁质、壳聚糖、葡聚糖）可能参与了生物吸附过程。对蘑菇生物量的吸附能力进行了大量的研究，见表 3。

表 3

生物吸附法去除污染物

Table 3 Removal of pollutants by biomass of mushroom using biosorption process

S. no	食用菌 Mushroom spp.	污染物 Pollutants	结论 Remarks	来源 References
1	双孢蘑菇 <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Lactarius piperatus</i>	镉(II)离子 Cadmium (II) ions	与栽培双孢蘑菇相比, 野生双孢蘑菇对镉(II)离子的去除率更高 Wild L. piperatus showed higher removal efficiency on Cd(II) ions compared to the cultivated A. bisporus	[19]
2	筋膜牛肝菌 <i>Fomes fasciatus</i>	铜(II) Copper (II)	蘑菇对铜(II)离子有很好的吸附作用, 热碱处理提高了它们对铜(II)离子的亲和力 Mushroom is efficient in biosorption of Cu (II) ions and hot-alkali treatment increased their affinity for Cu (II) ions	[20]
3	粗柄侧耳、双孢蘑菇、印度绿脓杆菌 <i>Pleurotus platypus</i> , <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Calocybe indica</i>	铜、锌、铁、镉、铅、镍 Copper, Zinc, Iron, Cadmium, Lead, Nickle	蘑菇是从水溶液中去除这些离子的有效生物吸附剂 Mushrooms are efficient biosorbent for the removal these ions from aqueous solution	[21]
4	金针菇 <i>Flammulina velutipes</i>	铜 Copper	蘑菇堆肥作为去除水溶液中铜离子的生物吸附剂 Mushroom compost used as biosorbent for removing copper ions from aqueous solution	[22]
5	侧耳 <i>Pleurotus tuber-regium</i>	重金属 Heavy metals	侧耳块茎生物吸附重金属污染土壤中的重金属 Pleurotus tuber-regium biosorb the pollutant heavy metals from the soil artificially contaminated with some heavy metals	[23]
6	平菇 <i>Pleurotus ostreatus</i>	镉 Cadmium	蘑菇具有生物吸附能力, 并观察了其吸附机理	[24]

			Mushroom possess biosorption capacity and mechanism of biosorption was observed	
7	白灵菇 <i>Pleurotus sajor-caju</i>	重金属锌 heavy metal Zn	蘑菇生物吸附重金属 Mushrooms biosorb the heavy metals	[25]

在生物吸附的情况下，死亡蘑菇的生物量相比活细胞有一定的优势。死蘑菇的生物量可以处理工业发酵过程的废物。此外，它对毒物浓度不敏感，它们的毒性效应和操作条件（pH 值、温度、养分供应、初始金属离子浓度、细胞浓度等）不同于活蘑菇的生物量。生物吸附技术现在变得非常流行，常用于去除污染物。生物吸附由于高吸收能力和非常合算的原料来源是一种很有效的方法。

（四）生物转化

现阶段，我国产业结构转换，农业工业污染转化为其他有用的成分的研究正在进行中。其中最重要的生物转化的产品是食用菌。任何木质纤维素废物，在处理后可用于栽培食用菌从而进一步作为产品使用。蘑菇种植栽培基质的选择通常是由原料的区域可得性决定的。蘑菇的种植可以对各种工业废物进行处理。真菌修复工具可行性要在开始修复项目之前进行可行性研究，以确定该过程的最佳条件。定义污染场地最重要的参数是：生物降解性、污染物、土壤的分布、化学反应性、氧的种类、性质、有效性和发生率、抑制物质^[26]。成功的真菌修复受三个重要因素控制：食用菌的可用性、污染物的可用性以及环境。因此，生物物种或污染特征，对于环境的选择是真菌修复方案的决定性因素^[26]。

食用菌修复环境有许多优点，但同时对研究人员和工程师来说是一个挑战。污染物的真菌修复可在现场和非现场进行。当在现场进行时，它取消了需要将有毒物质运送到研究中心。这是一种对环境友好的方法，只需要小空间、低成本、低技能的人就可以在现场操作。应用食用菌修复工具的一些缺点是食用菌需要时间来适应环境清理废物；利用工业废料栽培的菌可能具有毒性或遗传毒性；菌房的遗传毒性可能来自于耕种后的废物。因此，有必要评估食用菌的毒性或遗传毒性。

（五）生物修复目的

子实体中的毒性水平，即生物降解和生物吸附。食用菌拥有合适的酶机制，用于进行污染物降解，从基质中将子实体转化成毒性较小的产品，这样子实体就可以安全食用了。许多论文发表了说菌不仅能降解污染物，而且能够降低毒性或致突变性^[27]。许多研

究表明食用菌种类不同对遗传毒性不同。毒性降低也取决于底物。同一种真菌可能有不同的降解能力，不同的污染物^[27]由于食用菌中的酶存在，毒性和遗传毒性污染物可同时降低。几位研究人员已经证明蘑菇的抗突变和抗原性^[28]可用于降低污染物的遗传毒性。因此证明了食用菌有降解毒性的作用，这些菌类可用于牲畜的饲料，这将是未来一个很有意义的方向。

关于这些菌类的毒性水平需要更多的信息，无知会引起相关的健康问题。生物吸附法可以成为一种很好的解毒剂，但另一方面，这个过程产生非消耗性生物资产的处理成为它的新问题。通常研究人员一直致力于利用蘑菇菌丝体，比较不同生物量的吸附能力（表3）。少数出版物对各种类型的菌房具有不同的生物吸附能力^[29]的现象报告了原因，这个结论可能是进一步验证蘑菇物种的决定性因素。事实证明，食用菌具有不同的能力生物吸附、生物修复、生物降解和毒性减少能力。在我看来，研究人员应该首先培养高金属修复重金属吸收的食用菌的种类。然后，将低吸收可食用的物种用来在垃圾上种植，以便污染物可以降到最低。研究人员还应尝试开发使用生物量重复吸附污染物，这也会减少废物的产生。这些食用菌的遗传毒性应该是评估后，无毒种类可以用于消费。然而，在补救污染物的情况下，应优先考虑能降解污染物的物种。安全物种将被选为修复特定类型的废物和进一步用于消费。

结 论

在农业和工业废弃物上种植食用菌可能是一个增值过程，能够将这些被认为是废物的排放物转化为食物和饲料。除了生产营养丰富的食用菌，还要有减少遗传毒性和废弃物毒性的食用菌。通过温室栽培进行真菌修复将缓解废物积累与生产食品两个世界上主要的同时存在的问题。因此，有必要进一步研究开发食用菌作为生物修复工具及其安全性。

参考文献

- [1] SINGHAD , ABDULLAHN , VIKINESWARYS. Optimization of extraction of bulk enzymes from spent mushroom compost[J]. J Chem Technol Biotechnol, 2003, 78(7):743-752.
- [2] 马怀良, 龚振杰, 陈鑫等. 3 种食用菌菌糠纤维素酶和木聚糖酶部分酶学性质[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(28):15479-15480.
- [3] M AYOLO-DELOISA K , TREJO -H E M A N D E Z M D R , RITO-PALOMARES M. Recovery of laccase from the residual compost of *Agaricus bisporus* in aqueous two-phase systems[J]. Process Biochem, 2009, 44(4):435-439.
- [4] KOHG , PARK SH , KIM SH, *et al* • Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species[J]. Folia Microbiol, 2005, 50(2):103-106.
- [5] BALL AS, JACKSON AM. The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost[J]. Bioresource Technol, 1995, 54(3):311-314.
- [6] LIM SH , LEE Y H , KANG HW . Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from Oyster mushrooms, *Pleurotus* spp. , and potential use in dye decolorization [J]. Mycobiology, 2013, 41(4):214-220.
- [7] LIM SH , KIM J K , LEE Y H , *et al* • Production of lignocellulytic enzymes from spent mushroom compost of *Pleurotus eryngii* O[^]. Korean J Mycol, 2012, 40(3):152-158.
- [8] 刘莹莹, 张坚, 王红兵等. 不同菌糠酶活力测定及微生物菌种发酵效果比较[J]. 农业科技与信息, 2010(3):59-60.
- [9] 罗晓莉, 张沙沙. 微波杀青时间对 4 种食用菌酶活性的影响[J]. 农产品加工, 2019(09):31-33.
- [10] 郭敬, 易美琴, 宋波. 三种食用菌在温度胁迫下菌丝酶活性的变化研究[J]. 四川农业科技, 2019(05):53-56.
- [11] 闫鸿媛. 食用菌培养基配制及灭菌技术[J]. 蔬菜, 2017(05):63-64.
- [12] Da Luz JMR, Paes SA, Nunes MD, da Silva MCS, Kasuya MCM (2013) Degradation of Oxo-Biodegradable Plastic by *Pleurotus ostreatus*. PLoS ONE 8(8):69386
- [13] Tsujiyama S, Muraoka T, Takada N (2013) Biodegradation of 2,4-dichlorophenol by shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using vanillin as an activator. Biotechnol Lett 35:1079–1083
- [14] Eskander SB, Abd El-Aziz SM, El-Sayaad H, Saleh HM (2012) Cementation of bioproducts generated from biodegradation of radioactive cellulosic-based waste simulates by mushroom. ISRN Chemical Engineering

- [15] Rajput Y, Shit S, Shukla A, Shukla K (2011) Biodegradation of malachite green by wild mushroom of Chhatisgrah. *J Exp Sci* 2:69–72
- [16] Olusola SA, Anslem EE (2010) Bioremediation of a crude oil polluted soil with *Pleurotus Pulmonarius* and *Glomus Mosseae* using *Amaranthus Hybridus* as a test plant. *J Bioremed Biodegrad* 1:111
- [17] Jang KY, Cho SM, Seok SJ, Kong WS, Kim GH, Sung JM (2009) Screening of biodegradable function of indigenous ligno-degrading mushroom using dyes. *Mycobiology* 37:53–61
- [18] Nyanhongo GS, Gübitz G, Sukyai P, Leitner C, Haltrich D, Ludwig R (2007) Oxidoreductases from *Trametes* spp. in biotechnology: A wealth of catalytic activity. *Food Technol Biotechnol* 45:250–268
- [19] Nagy B, Măicăneanu A, Indolean C, Mânzatu C, Silaghi-Dumitrescu MC (2013) Comparative study of Cd(II) biosorption on cultivated *Agaricus bisporus* and wild *Lactarius piperatus* based biocomposites. Linear and nonlinear equilibrium modelling and kinetics *J Taiwan Inst Chem E*
- [20] Sutherland C, Venkobachar C (2013) Equilibrium modeling of Cu (II) biosorption onto untreated and treated forest macro-fungus *Fomes fasciatus*. *International Journal of Plant, Animal and Environment Sciences* 3:193–203
- [21] Lamrood PY, Ralegankar SD (2013) Biosorption of Cu, Zn, Fe, Cd, Pb and Ni by non-treated biomass of some edible mushrooms. *Asian J Exp Biol Sci* 4:190–195
- [22] Luo D, Yf X, Tan ZL, Li XD (2013) Removal of Cu²⁺ ions from aqueous solution by the abandoned mushroom compost of *Flammulina velutipes*. *J Environ Biol* 34:359–365
- [23] Oyetayo VO, Adebayo AO, Ibileye A (2012) Assessment of the biosorption potential of heavy metals by *Pleurotus tuber-regium*. *Int J Advanced Biol Res* 2:293–297
- [24] Tay CC, Liew HH, Yin CY, Abdul-Talib S, Surif S, Suhaimi AA, Yong SK (2011) Biosorption of Cadmium ions using *Pleurotus ostreatus*: Growth kinetics, isotherm study and biosorption mechanism. *Korean J Chem Eng* 28:825–830
- [25] Jibrán AK, Milsee Mol JP (2011) *Pleurotus sajor-caju* Protein: A potential biosorptive agent. *Adv Bio Tech* 11:25–27
- [26] Martín MC, González BA, Blanco SMJ (2004) Biological treatments for contaminated soils: hydrocarbon contamination. Fungal applications in bioremediation treatment. *Rev Iberoam Micol* 21:103–120
- [27] Choi YS, Long Y, Kim MJ, Kim JJ, Kim GH (2013) Decolorization and degradation of synthetic dyes by *Irpex lacteus* KUC8958. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 48:501–508
- [28] Filipic M, Umek A, Mlinaric A (2002) Screening of Basidiomycete mushroom extracts for antigenotoxic and bio-antimutagenic activity. *Harmazie* 57:416–420

[29] Kumhomkul T, Panich-pat T (2013) Lead accumulation in the straw mushroom, *Volvariella volvacea*, from lead contaminated rice straw and stubble. *Bull Environ Contam Toxicol* 91:231–234

致 谢

相别于冬日，再次相逢夏以至。在寒冬离开，却想不到相见恍如隔世，明明要继续前进，明明要与同学好好道别，明明要珍惜最后的校园时光。

于 2016 年与青岛农业大学相会，不知不觉以四年过去，相识了许多同学朋友，四年学习生涯使我成长了许多，也懂得了许多。我要感谢同学老师四年的帮助，你们的帮助才能使我四年的大学时光如此丰富多彩。

我要特别感谢于浩老师的关怀和教导。在我刚刚进入实验室时给与茫然无措的我指导，在我毕业论文的撰写过程中，给我提供了极大的帮助。从开始选题到修正，再到最终定稿，给我提供了许多的宝贵建议。在此，请允许我说一声：“于老师，您辛苦了！”

这次做论文的经历也会使我终身受益，我感受到做论文是要真真正正用心去做的一件事情，是真正的自己学习的过程。希望这次的经历在以后学习中激励我继续进步。

我还要感谢班主任田雪梅老师，四年的大学生活，有您指导，使我少走许多弯路。我还要感谢师兄师姐，你们的指导，是我进步的缘由。我还要感谢青岛农业大学，因为你，我才可以与他们相会。

最后，感谢我的家人，有你们鼓励，才给了我勇气继续前行。

青岛农业大学

毕业论文(设计)任务书

学生姓名	杨俊航	学 号	20165188
专业年级及班级	生技（食用菌） 1601	指导教师及职称	于浩（副教授）
毕业论文（设计）题目		食用菌生物修复研究现状	
选题来源	☐ 结合科研课题 课题名称：_____ ☐ 生产实际或社会实际 ☒ 其他		
选题性质	☐ 基础研究 ☐ 应用研究 ☒ 其他		
主要内容和要求（明确设计具体任务、主要技术指标；明确对学生试验数据、试验手段和技术水平等的要求） 1. 搜集文献 2. 整理汇总 3. 写作 4. 修改 论文的设计的具体任务为通过大量阅读中外文文献，掌握国内外对真菌降解污染物的研究程度。 目的及意义：蘑菇是众所周知的重要食物。在东西方蘑菇在烹饪中的用途是多种多样的，蘑菇的药用特性显示出巨大的潜力,治疗各种疾病的药物富含多种植物化学物质。在这篇评论中，我们试图包含最近的研究和蘑菇的科学进展及其作为食物或治疗特性利用（重金属/放射性核素）的能力，这是生物治疗的一个重要方面。然而，重金属的积累和天然或人为来源的放射性核素涉及潜在的营养危害，这些危险已在本综述中指出。 方法与要求：采取“发现问题、分析问题、解决问题”的研究思路，通过文献分析法，查阅有关真菌降解污染物方面的文献，掌握国内外对真菌降解污染物的研究程度。			

主要中文参考资料与外文资料（在确定了毕业论文（设计）题目和明确了要求后，指导教师应给学生提供一些相关资料和相关信息，或划定参考资料的范围，指导学生收集反映当前研究进展的近1—3年参考资料和文献。外文资料是指导老师根据选题情况明确学生需要阅读或翻译成中文的外文文献。）

[1] SINGHAD , ABDULLAHN ,VIKINESWARYS.Optimization of extraction of bulk enzymes from spent mushroom compost[J]. J Chem Technol Biotechnol, 2003,78(7) : 743-752.

[2] 马怀良,龚振杰,陈鑫等.3种食用菌菌糠纤维素酶和木聚糖酶部分酶学性质[J].安徽农业科学,2010,38(28):15479-15480.

[3] M AYOLO-DELOISA K , TREJO -H E M A N D E Z M D R , RITO-PALOMARES M. Recovery of laccase from the residual compost of *Agaricus bisporus* in aqueous two-phase systems[J]. Process Biochem , 2009, 44(4) : 435-439.

[4] KO H G , PARK SH , KIM SH, *et al* • Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species[J]. Folia Microbiol, 2005, 50(2) : 103-106.

[5] BALL AS, JACKSON AM . The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost[J]. Bioresource Technol, 1995, 54(3) : 311-314.

[6] LIM SH , LEE Y H , KANG HW . Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from Oyster mushrooms, *Pleurotus* spp. , and potential use in dye decolorization [J]. Mycobiology, 2013, 41 (4) : 214-220.

[7] LIM SH , KIM J K , LEE Y H , *et al* • Production of lignocellulolytic enzymes from spent mushroom compost of *Pleurotus eryngii* O⁺. Korean J Mycol, 2012, 40(3) : 152-158.

[8] 刘莹莹,张坚,王红兵等.不同菌糠酶活力测定及微生物菌种发酵效果比较[J].农业科技与信息,2010(3):59-60.

[9] 罗晓莉,张沙沙,微波杀青时间对4种食用菌酶活性的影响[J].农产品加工,2019(09):31-33.

[10] 郭敬,易美琴,宋波.三种食用菌在温度胁迫下菌丝酶活性的变化研究[J].四川农业科技,2019(05):53-56.

[11] 闫鸿媛.食用菌培养基配制及灭菌技术[J].蔬菜,2017(05):63-64.

[12] Da Luz JMR, Paes SA, Nunes MD, da Silva MCS, Kasuya MCM (2013) Degradation of Oxo-Biodegradable Plastic by *Pleurotus ostreatus*. PLoS ONE 8(8):69386, doi:10.1371/journal.pone.0069386

[13] Tsujiyama S, Muraoka T, Takada N (2013) Biodegradation of 2,4-dichlorophenol by shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using vanillin as an activator. Biotechnol Lett 35:1079–1083, doi:10.1007/s10529-013-1179-5

[14] Eskander SB, Abd El-Aziz SM, El-Sayaad H, Saleh HM (2012) Cementation of bioproducts generated from biodegradation of radioactive cellulosic-based waste simulates by mushroom. ISRN Chemical Engineering, doi:10.5402/2012/329676

[15] Rajput Y, Shit S, Shukla A, Shukla K (2011) Biodegradation of malachite green by wild mushroom of Chhatisgrah. J Exp Sci 2:69–72

[16] Olusola SA, Anslem EE (2010) Bioremediation of a crude oil polluted soil with *Pleurotus Pulmonarius* and *Glomus Mosseae* using *Amaranthus Hybridus* as a test plant. J Bioremed Biodegrad 1:111, doi:10.4172/2155-6199.1000113

[17] Jang KY, Cho SM, Seok SJ, Kong WS, Kim GH, Sung JM (2009) Screening of

biodegradable function of indigenous ligno-degrading mushroom using dyes. Mycobiology 37:53–61, doi:10.4489/MYCO.2009.37.1.053

[18] Nyanhongo GS, Gübitz G, Sukyai P, Leitner C, Haltrich D, Ludwig R (2007) Oxidoreductases from *Trametes* spp. in biotechnology: A wealth of catalytic activity. Food Technol Biotechnol 45:250–268

[19] Nagy B, Măicăneanu A, Indolean C, Mânzatu C, Silaghi-Dumitrescu MC (2013) Comparative study of Cd(II) biosorption on cultivated *Agaricus bisporus* and wild *Lactarius piperatus* based biocomposites. Linear and nonlinear equilibrium modelling and kinetics J Taiwan Inst Chem E. doi:10.1016/j.jtice.2013.08.013

[20] Sutherland C, Venkobachar C (2013) Equilibrium modeling of Cu (II) biosorption onto untreated and treated forest macro-fungus *Fomes fasciatus*. International Journal of Plant, Animal and Environment Sciences 3:193–203

[21] Lamrood PY, Ralegankar SD (2013) Biosorption of Cu, Zn, Fe, Cd, Pb and Ni by non-treated biomass of some edible mushrooms. Asian J Exp Biol Sci 4:190–195

[22] Luo D, Yf X, Tan ZL, Li XD (2013) Removal of Cu²⁺ ions from aqueous solution by the abandoned mushroom compost of *Flammulina velutipes*. J Environ Biol 34:359–365

[23] Oyetayo VO, Adebayo AO, Ibileye A (2012) Assessment of the biosorption potential of heavy metals by *Pleurotus tuber-regium*. Int J Advanced Biol Res 2:293–297

[24] Tay CC, Liew HH, Yin CY, Abdul-Talib S, Surif S, Suhaimi AA, Yong SK (2011) Biosorption of Cadmium ions using *Pleurotus ostreatus*: Growth kinetics, isotherm study and biosorption mechanism. Korean J Chem Eng 28:825–830, doi:10.1007/s11814-010-0435-9

[25] Jibrán AK, Milsee Mol JP (2011) *Pleurotus sajor-caju* Protein: A potential biosorptive agent. Adv Bio Tech 11:25–27

[26] Martín MC, González BA, Blanco SMJ (2004) Biological treatments for contaminated soils: hydrocarbon contamination. Fungal applications in bioremediation treatment. Rev Iberoam Micol 21:103–120

[27] Choi YS, Long Y, Kim MJ, Kim JJ, Kim GH (2013) Decolorization and degradation of synthetic dyes by *Irpex lacteus* KUC8958. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 48:501–508, doi:10.1080/10934529.2013.730419

[28] Filipic M, Umek A, Mlinaric A (2002) Screening of Basidiomycete mushroom extracts for antigenotoxic and bio-antimutagenic activity. Harmazie 57:416–420

[29] Kumhomkul T, Panich-pat T (2013) Lead accumulation in the straw mushroom, *Volvariella volvacea*, from lead contaminated rice straw and stubble. Bull Environ Contam Toxicol 91:231–234, doi:10.1007/s00128-013-1025-4

要求完成日期：2020年5月30日

指导教师签名：_____

接受任务日期：2020年3月20日

学生本人签名：_____

青岛农业大学

毕业论文(设计)开题报告

学生姓名	杨俊航	学 号	20165188
专业年级及班级	生技（食用菌）1601	指导教师及职称	于浩（副教授）
毕业论文（设计）题目	食用菌生物修复研究现状		

文献综述（选题研究意义、国内外研究现状、主要参考文献等，不少于 1000 字）

一、选题研究的背景与意义

食用菌是众所周知的重要食物。在东西方食用菌在烹饪中的用途是多种多样的，食用菌的药用特性也显示出巨大的潜力,治疗各种疾病的药物，富含多种植物化学物质。在这篇文章中，我们试图包含最近的研究和蘑菇的科学进展及其作为食物或治疗特性利用（重金属/放射性核素）的能力，这是生物治疗的一个重要方面。然而，重金属的积累和天然或人为来源的放射性核素涉及潜在的营养危害，这些危险已在本综述中指出。

二、研究的基本内容和拟解决的主要问题

生物修复技术”是以工业和环境生物技术为基础的生物方法，旨在清除和治理环境污染的生物工程技术。它的重点是强调生产、减少废物产生、处理和以某种适当的形式转化废物。此外，这些修复技术侧重于使用生物方法用于污染物的修复。其所产生的菌糠酶可以解决环境中的污染物，其酶种类多可用于多种污染物降解。食用菌生产蛋白质的方式来自不同废物的生物量或子实体通过分泌多种水解和氧化酶来实现。这引起了对食用菌栽培和废弃物修复领域的研究关注，所以，食用菌变得越来越重要。许多研究已经强调了食用菌在生物修复领域的作用：生物降解、生物吸附和生物转化。许多学者研究探讨了不同酶的降解过程，它们的降解途径，以及影响它们活性的因素。在这篇综述中，我们将讨论如何利用食用菌作为清洁环境的生物工具。食用菌不仅仅是一种真菌修复工具，也是一种产品可以产生食用菌子实体供给食用，农业工业废弃物被认为是一种产品，并且可以利用这些废弃物种植食用菌。

三、研究方法及措施

本文采取“发现问题、分析问题、解决问题”的研究思路，通过文献分析法，查阅有关真菌降解污染物方面的文献，掌握国内外对真菌降解污染物的研究程度。

参考文献:

- [1] SINGHAD , ABDULLAHN ,VIKINESWARYS.Optimization of extraction of bulk enzymes from spent mushroom compost[J]. J Chem Technol Biotechnol, 2003,78(7) : 743-752.
- [2] 马怀良,龚振杰,陈鑫等.3 种食用菌菌糠纤维素酶和木聚糖酶部分酶学性质[J].安徽农业科学, 2010, 38(28): 15479-15480.
- [3] MAYOLO-DELOISAK,TREJO-HEMAND EZMDR, RITO-PALOMARES M. Recovery of laccase from the residual compost of *Agaricus bisporus* in aqueous two-phase systems[J]. Process Biochem, 2009, 44(4) : 435-439.
- [4] KO H G,PARK SH,KIM SH,et al • Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species[J]. Folia Microbiol, 2005, 50(2) :103-106.
- [5] BALLAS, JACKSON AM . The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost[J]. Bioresource Technol, 1995, 54(3):311-314.
- [6] LIM SH , LEE Y H , KANG HW.Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from *Oyster mushrooms*, *Pleurotus* spp. , and potential use in dye decolorization [J]. Mycobiology, 2013, 41 (4):214-220.
- [7] LIM SH,KIM J K,LEEYH,et al • Production of lignocellulolytic enzymes from spent mushroom compost of *Pleurotus eryngii* O . Korean J Mycol, 2012, 40(3):152-158.
- [8] 刘莹莹,张坚,王红兵等.不同菌糠酶活力测定及微生物菌种发酵效果比较[J].农业科技与信息, 2010(3):59 -60.
- [9] 罗晓莉,张沙沙.微波杀青时间对 4 种食用菌酶活性的影响[J].农产品加工,2019(09):31-33.
- [10] 郭敬,易美琴,宋波.三种食用菌在温度胁迫下菌丝酶活性的变化研究[J].四川农业科技,2019(05):53-56.
- [11] 闫鸿媛.食用菌培养基配制及灭菌技术[J].蔬菜,2017(05):63-64.
- [12] Da Luz JMR, Paes SA, Nunes MD, da Silva MCS, Kasuya MCM (2013) Degradation of Oxo-Biodegradable Plastic by *Pleurotus ostreatus*. PLoS ONE 8(8):69386, doi:10.1371/journal.pone.0069386
- [13] Tsujiyama S, Muraoka T, Takada N (2013) Biodegradation of 2,4-dichlorophenol by shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) using vanillin as an activator.Biotechnol Lett 35:1079–1083,doi:10.1007/s10529-013-1179-5
- [14] Eskander SB, Abd El-Aziz SM, El-Sayaad H, Saleh HM (2012) Cementation of bioproducts generated from biodegradation of radioactive cellulosic-based waste simulates by mushroom. ISRN Chemical Engineering, doi:10.5402/2012/329676
- [15] Rajput Y, Shit S, Shukla A, Shukla K (2011) Biodegradation of malachite green by wild mushroom of *Chhatisgrah*. J Exp Sci 2:69–72
- [16] Olusola SA, Anslem EE (2010) Bioremediation of a crude oil polluted soil with *Pleurotus Pulmonarius* and *Glomus Mosseae* using *Amaranthus Hybridus* as a test plant. J Bioremed Biodegrad 1:111,doi:10.4172/2155-6199.1000113
- [17] Jang KY, Cho SM, Seok SJ, Kong WS, Kim GH, Sung JM (2009) Screening of biodegradable function of indigenous ligno-degrading mushroom using dyes. Mycobiology 37:53–61, doi:10.4489/MYCO.2009.37.1.053
- [18] Nyanhongo GS, Gübitz G, Sukyai P, Leitner C, Haltrich D, Ludwig R (2007) Oxidoreductases from *Trametes* spp. in biotechnology: A wealth of catalytic activity. Food Technol Biotechnol 45:250–268
- [19] Nagy B, Măicăneanu A, Indolean C, Mânzatu C, Silaghi-Dumitrescu MC (2013) Comparative study of Cd(II) biosorption on cultivated *Agaricus bisporus* and wild *Lactarius piperatus* based biocomposites. Linear and nonlinear equilibrium modelling and kinetics J Taiwan

Inst Chem E. doi:10.1016/j.jtice.2013.08.013

- [20] Sutherland C, Venkobachar C (2013) Equilibrium modeling of Cu (II) biosorption onto untreated and treated forest macro-fungus *Fomes fasciatus*. *International Journal of Plant, Animal and Environment Sciences* 3:193–203
- [21] Lamrood PY, Ralegankar SD (2013) Biosorption of Cu, Zn, Fe, Cd, Pb and Ni by non-treated biomass of some edible mushrooms. *Asian J Exp Biol Sci* 4:190–195
- [22] Luo D, Yf X, Tan ZL, Li XD (2013) Removal of Cu²⁺ ions from aqueous solution by the abandoned mushroom compost of *Flammulina velutipes*. *J Environ Biol* 34:359–365
- [23] Oyetayo VO, Adebayo AO, Ibileye A (2012) Assessment of the biosorption potential of heavy metals by *Pleurotus tuber-regium*. *Int J Advanced Biol Res* 2:293–297
- [24] Tay CC, Liew HH, YinCY, Abdul-Talib S, Surif S, Suhaimi AA, Yong SK (2011) Biosorption of Cadmium ions using *Pleurotus ostreatus*: Growth kinetics, isotherm study and biosorption mechanism. *Korean J Chem Eng* 28:825–830, doi:10.1007/s11814-010-0435-9
- [25] Jibrán AK, Milsee Mol JP (2011) *Pleurotus sajor-caju* Protein: A potential biosorptive agent. *Adv Bio Tech* 11:25–27
- [26] Martín MC, González BA, Blanco SMJ (2004) Biological treatments for contaminated soils: hydrocarbon contamination. Fungal applications in bioremediation treatment. *Rev Iberoam Micol* 21:103–120
- [27] Choi YS, Long Y, Kim MJ, Kim JJ, Kim GH (2013) Decolorization and degradation of synthetic dyes by *Irpex lacteus* KUC8958. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 48:501–508, doi:10.1080/10934529.2013.730419
- [28] Filipic M, Umek A, Mlinaric A (2002) Screening of Basidiomycete mushroom extracts for antigenotoxic and bio-antimutagenic activity. *Harmazie* 57:416–420
- [29] Kumhomkul T, Panich-pat T (2013) Lead accumulation in the straw mushroom, *Volvariella volvacea*, from lead contaminated rice straw and stubble. *Bull Environ Contam Toxicol* 91:231–234, doi:10.1007/s00128-013-1025-4

进程计划（各研究环节的时间安排、实施进度、完成程度等）

2020.03.13-2020.03.16 准备阶段，论文开题报告，任务书
2020.03.17-2020.03.28 查阅文献
2020.03.29-2020.04.15 初稿
2020.04.16-2020.04.25 修改初稿
2020.04.26-2020.05.10 二稿
2020.05.11-2020.05.20 二稿改

指导教师意见 同意开题 指导教师签字:	
毕业论文（设计）工作组意见 同意开题	
毕业论文（设计）工作 组成员签名	
论证地点: 生科院资料室 C305 论证日期:2020 年 3 月 22 日	