

花生壳对水土污染物吸附的研究进展

李玲^{1,2}, 全沁果^{1,2}, 敖艳^{1,2}, 谭力^{1,2}, 段丽萍^{1,2}, 徐思敏^{1,2}, 闫旭宇^{1,2,*}

(1. 湖南科技学院生命科学与化学工程系, 湖南永州 425199;

2. 湖南科技学院湘南优势植物资源综合利用湖南省重点实验室, 湖南永州 425199)

摘要:花生壳是花生加工的副产物,资源十分丰富。为探讨花生壳对水土污染修复的利用现状,本文结合目前国内外的研究,综述了花生壳作为生物吸附剂在重金属、工业添加剂、抗生素等污染的应用进展,并进行了总结。以期为提高花生壳及其它农业废弃物的环境污染修复效率提供参考,并提出了今后的研究重点和方向。

关键词:花生壳,水土污染,生物吸附剂

Research progress in pollutants adsorption from soil and water by peanut shells

LI Ling^{1,2}, QUAN Qin-guo^{1,2}, AO Yan^{1,2}, TAN Li^{1,2},
DUAN Li-ping^{1,2}, XU Si-min^{1,2}, YAN Xu-yu^{1,2,*}

(1. Department of Biochemistry, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, China;

2. Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Advantage Plants Resources in Hunan South, Hunan University of Science and Technology, Yongzhou 425199, China)

Abstract: Peanut shells are by-products of peanut processing, the resource is very abundant. This paper reviewed the application development of peanut shells as bio-adsorbents in the treatment of pollution containing heavy metal ions, industry additives, antibiotics, for discussing the utilization situation of water and soil pollution restoration by peanut shells, combined current research at home and abroad. It provided some useful information for improving the remediation efficiency of environmental pollution using peanut shells and other agricultural wastes, and put forward to the future research emphasis and directions.

Key words: peanut shells; soil and water pollution; bio-adsorbent

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)07-0367-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.07.069

生态环境恶化已成为制约我国经济发展的重要因素,严重威胁到我们自身的生存环境^[1-2]。当前环境污染以水土污染最为突出,以重金属、工业添加剂、有机溶剂等污染为典型代表,这些环境污染物因其非生物降解性、富集性、持久有害性等特点,可破坏当地生态系统,并最终可能对人类构成威胁^[3-4]。传统修复技术如沉淀法、电解法、离子交换法、物理吸附法、反渗透和点渗析法等成本高、工艺繁琐、修复效果欠佳,易造成二次污染^[5-6]。传统吸附法的吸附剂大都采用活性炭^[7-8],其价格偏高,再生时损失较大,严重制约了其发展。为此,寻找来源广、廉价且高效的吸附材料成为治理环境的关键。由于农作物的来源广、产量大、成本低、无需再生、无二次污染且环境友好等优点,已成为生物吸附剂材料的首选。

花生是我国主要的油料作物和传统的出口农产

品,年产约 1564.4 万 t,估计年产花生壳约 516 万 t^[9]。除少部分花生壳被制成饲料或当成燃料外,大部分被丢弃或烧毁,造成了资源浪费和环境污染^[10]。国内外就花生壳开发生物吸附剂治理环境污染方面做了大量研究^[11-14],已证实此法具有良好的可行性,可促进花生资源的综合利用,提升花生加工产品的附加值,是一种“以废治废”、环境友好的绿色方案,前景甚为广阔。为此,本文拟对当前国内外以花生壳为原料开发生物吸附剂来治理环境污染的研究进展做简要归纳,并提出了今后发展的方向,以期对花生壳综合利用和环境污染治理提供一定的理论依据。

1 花生壳对重金属的吸附

花生壳含有粗纤维素 65.7%~79.3%^[15],纤维素可由酸水解为单糖,每个单糖中含有 3 个醇羟基,醇

收稿日期: 2014-06-13

作者简介: 李玲(1982-),女,博士,讲师,研究方向:食品生物技术和环境生态学。

*通讯作者: 闫旭宇(1979-),男,硕士,讲师,研究方向:植物逆境胁迫与分子调控研究。

基金项目: 湖南省永州市 2013 年度指导性科技计划项目(2013-17-1);湖南科技学院湘南优势植物资源综合利用湖南省重点实验室开放基金(XNZW14C12)。

羟基上的氢原子活泼性很强,具有脱除重金属离子和螯合重金属离子的作用^[16]。此外,花生壳物理结构上孔隙度较高、表面积大,可以与金属离子发生物理吸附^[17]。因此,花生壳作为一种良好的重金属离子生物吸附剂逐渐得到人们的重视,特别是利用花生壳对水土重金属污染修复效应的研究较为深入。

1.1 花生壳对水体重金属污染的吸附

工业废水中重金属污染具有非常强的扩散性,对环境的危害严重,并可通过食物链富集作用进入人体。由于重金属很难进行生物降解,使得重金属的处理难度较大。目前,已证实花生壳具备吸附重金属离子的特性和孔隙特征,开发成生物吸附剂处理重金属水体污染具有良好的可行性^[18],并重点报道了花生壳对废水中重金属铬(Cr)、铜(Cu)、铅(Pb)和镉(Cd)污染等吸附特性的研究。

1.1.1 花生壳对 Cr^{6+} 的吸附 水体中的铬主要以 Cr^{6+} 存在,酸性条件下易被还原成 Cr^{3+} ,与 Cr^{3+} 相比, Cr^{6+} 有很强的毒性及致癌、致突变作用。而我国每年排放的电镀废水约 40 亿 m^3 , Cr^{6+} 的浓度一般在 50~250mg/L,远超出安全限值。因此,降低水体中 Cr^{6+} 的含量显得尤为重要^[19]。

目前,花生壳是处理 Cr^{6+} 水体污染常用的农业废弃物之一。研究表明,用 1mg/L 的磷酸对洗涤粉碎后的花生壳进行改性,投加 30g/L 改性后的花生壳对 40mg/L 的 Cr^{6+} 废水进行处理,在 pH2,温度为 25℃ 条件下吸附处理 100min, Cr^{6+} 的去除率为 96.8%^[20];也可用冰醋酸和浓硫酸对花生壳进行酯化改性,在 pH1,温度为 25℃ 的条件下,投加 1g/L 酯化改性花生壳对 20mg/L 的 Cr^{6+} 废水进行处理,1h 后吸附达到平衡, Cr^{6+} 的去除率为 98.7%^[21];还可用 34% 的甲醛和 0.1mg/L 的硫酸按 1:5 混合后对花生壳进行改性,在 pH1,温度为 25℃ 时,投加 20g/L 酯化改性花生壳对 50mg/L 的 Cr^{6+} 废水进行处理,300min 后吸附达到平衡, Cr^{6+} 的去除率可达 99.71%^[22]。因此,酸度越强越有利于改性花生壳对 Cr^{6+} 的吸附性能,吸附剂与 Cr^{6+} 污染水体量合理的添加比例是提高 Cr^{6+} 去除率的保证。

1.1.2 花生壳对 Cu^{2+} 的吸附 目前,冶金、采矿、电镀、催化、仪表、合金和化工等工业生产过程中会产生大量的含铜废水,铜为不可降解物质,会在生物体中累积,最终将通过食物链对动植物及人体造成危害。寻找去除废水中 Cu^{2+} 的有效方法已刻不容缓^[23]。有关资料显示,花生壳作为生物吸附剂使用对 Cu^{2+} 具有很好的亲和力^[24]。

目前,主要采用改性花生壳吸附废水中的 Cu^{2+} 。王东梅等^[25]以花生壳为原料,50% 氯化锌溶液为活化剂,采用功率为 640W 的微波照射 4min 下制备成改性花生壳,发现未改性花生壳对 Cu^{2+} 的去除效果劣于改性花生壳;同时研究发现,以改性花生壳作为吸附剂对废水中的 Cu^{2+} 进行吸附,最佳改性方法为 KMnO_4 改性法,且以 Langmuir 方程拟合更佳^[26-27]。

1.1.3 花生壳对 Pb^{2+} 的吸附 铅及其化合物是当代重要的工业原料,广泛应用于各个领域。目前铅对

环境的污染主要是由废弃的含铅蓄电池和汽油防爆剂对土壤、水源和大气的污染所致。全世界每年铅的消耗量约 $4 \times 10^6 \text{t}$,其中约有 1/4 被重新回收利用,其余大部分以各种形式排放到环境中,进而对人体造成伤害^[28]。

据报道,花生壳在 Pb^{2+} 污染水体的修复中得到了广泛应用。洪礼法等^[29]研究表明:将花生壳在乙醇和醋酸混合液作用下分离出黄色素后,剩余残渣对 Pb^{2+} 浓度为 915mg/L 的废水处理, Pb^{2+} 浓度可降至 0.21mg/L 以下,且不存在二次污染;廖朝东等^[30]发现,改性花生壳对水中 Pb^{2+} 的吸附率达 80% 以上;古亚昕^[31]研究了花生壳粉对模拟废水中 Pb^{2+} 的吸附效果,在 Pb^{2+} 初始浓度为 30mg/L、pH6、搅拌 2h、花生壳粉的投加量为 0.25g 的条件下, Pb^{2+} 的去除率达到了 92.2%。吕慧峰等^[32]发现通过酸性甲醛改性花生壳可明显提高 Pb^{2+} 的吸附量。

1.1.4 花生壳对 Cd^{2+} 的吸附 重金属 Cd^{2+} 是人体非必需元素,在自然界中常以化合物状态存在,一般含量很低,正常环境状态下,不会影响人体健康,过量时可损害肝肾功能,此外还可导致骨质疏松和软化。

研究证实,花生壳对 Cd^{2+} 的最大吸附量为 2.95mg/g^[33],吸附能力较强。pH、废水中 Cd^{2+} 的初始浓度、吸附时间等因素均能影响花生壳粉对 Cd^{2+} 的吸附效果,在 Cd^{2+} 初始浓度为 30mg/L, pH6、搅拌 2h、花生壳粉的投加量为 0.25g 的条件下, Cd^{2+} 的去除率达到 92.2%,花生壳粉对 Cd^{2+} 的吸附等温线符合 Langmuir 模式^[31];林芳芳等^[34]研究利用块状高锰酸钾改性花生壳后发现,对 Cd^{2+} 的吸附量最大可达 43.11mg/g,改性使花生壳吸附重金属的能力明显提高。

1.2 花生壳对土壤重金属污染的吸附

土壤重金属污染是当今人类面临的面积最广、危害最大的环境问题之一。土壤重金属污染可恶化生态环境,使土壤肥力和作物的产量与品质降低,最终通过食物链危及人类的生命和健康。因此,研究土壤重金属污染的治理方法具有十分重要的意义,是人类生存环境可持续发展的必然要求^[35]。

近年来,有关花生壳对重金属污染土壤的吸附性能的研究已逐渐展开。花生壳对轻度 Pb^{2+} 污染土壤的修复效果比较理想, Pb^{2+} 的有效态下降范围为 17.59%~19.22%,而对于严重铅污染土壤的修复效果并不理想^[36];褚兴飞等^[37]以花生壳为原料,借助 Tessier 五步法分析土壤中铅、镉的形态,证明了花生壳粉对 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 污染土壤的修复主要通过表面吸附作用,促使活性态 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 向铁锰氧化态转化,随着 Pb^{2+} 投加量的增加,花生壳粉修复 Cd^{2+} 污染土壤的能力逐渐下降,但随着 Cd^{2+} 投加量的增加,花生壳粉修复 Pb^{2+} 污染土壤的能力未受太大干扰,且花生壳粉对 Pb^{2+} 的解吸率很低。

花生壳治理重金属污染水体的相关研究日趋成熟,且吸附效果大都能超过普通活性炭的吸附能力,具有较高的应用价值,而有关花生壳对重金属污染土壤修复的研究尚处于起步阶段。目前,已证实花

生壳对轻度重金属污染土壤有良好的吸附性,且花生壳含有植物生长所需的多种元素,有望在有效治理土壤重金属污染的同时还可改善土壤的肥力,相对于传统方法优势显著。

2 花生壳对工业添加剂的吸附

据统计,我国各行业工业污染物排放量日趋严重,其中废水的排放量约占总量的 80%^[38]。废水中残留的工业添加剂如染料、有机溶剂、有毒盐类、抗生素等物质,若不进行有效处理,可严重污染周边环境,危害人类的健康。

2.1 花生壳对染料的吸附

染料废水性质稳定,不易被生物降解,属难处理的工业废水,因而常用吸附法处理染料废水^[39-40]。染料可分为阳离子染料、阴离子染料、非离子染料 3 种。阴离子染料包括酸性染料、直接染料、活性染料等;阳离子染料即碱性染料,包括孔雀石绿以及中性红、亚甲基蓝、甲基紫、结晶紫、碱性复红、蕃红等;非离子染料主要应用于印染工业中。花生壳具有多孔结构和特殊的化学组成,其所含的活性成分具有潜在的吸附性能,可用来处理染料废水^[41]。

2.1.1 花生壳对阴离子染料的吸附 王丽敏等^[42]采用花生壳为原料,以活性艳蓝为模拟废水,研究发现花生壳活性炭的吸附量随活性艳蓝初始浓度的提升而增大,室温下,花生壳活性炭对活性艳蓝的最大吸附量为 482.8mg/g; Bilir 等^[43]证实了花生壳活性炭吸附活性艳蓝的能力还跟反应温度、离子强度和 pH 有关;李英柳等^[44]用硫酸-甲醛和铁盐改性的花生壳粉,对于质量浓度为 500mg/L 以下的蓝染料废水,花生壳粉投加量为 5g/L 时,平均脱色率达到了 93.6%。

2.1.2 花生壳对阳离子染料的吸附 将花生壳与 85% 的磷酸按 1:1 的比例混合处理亚甲基蓝和亮绿染料溶液,测得花生壳对亚甲基蓝和亮绿的饱和吸附量为 596mol/L 和 528mol/L,表明改性花生壳对阳离子染料具备较强的吸附效果^[45];刘亚纳等^[46]以花生壳为原料,氯化锌为活化剂制备花生壳活性炭,采用高分辨电子扫描电镜和氮吸附曲线对花生壳活性炭进行表征,结果显示花生壳活性炭具有较高的 BET 比表面积,高于一般商品活性炭,得到了质量浓度与吸附量的回归方程为 $y = 0.175x + 0.015$, $R^2 = 0.9995$ 。

2.1.3 花生壳对非离子染料的吸附 杨莉等^[47]以花生壳为原料制备生物吸附剂,研究了对活性黄、活性蓝及活性红 3 种染料的吸附作用,在吸附剂浓度为 6.7g/L,吸附剂粒径为 80~120 目,染液 pH2~3,染料浓度 100mg/L,吸附时间 15min 的条件下,花生壳对活性黄、活性红的吸附脱色率为 86.6% 和 91.2%,吸附时间为 45min 时,对活性蓝的吸附脱色率为 89.0%; Zhang 等^[48]利用花生壳制得改性活性炭,并研究了吸附结晶紫反应过程中吉布斯自由能参数 (ΔG)、焓变 (ΔH)、熵变 (ΔS) 的参数变化,发现反应是自发的吸热反应,吸附方式属于物理吸附。

2.2 花生壳对有机溶剂的吸附

随着研究的不断深入,花生壳已成功应用于多种有机污染物的修复^[49]。Lochananon 等^[50]采用磷酸

改性花生壳制得活性炭,用 BET 方程评价了花生壳活性炭对苯蒸汽的吸附效果,发现苯的吸附平衡常数与活性炭的表面积成正比;窦建芝^[51]等发现以花生壳为原料经磷酸活化法制得花生壳活性炭对苯酚和对硝基苯酚有良好的吸附能力,两种酚在活性炭上的吸附等温线可用 Freundlich 或 Langmuir 等温式分析,吸附动力学曲线可用假一级或假二级动力学模型拟合;龚正君等^[52]使用环氧氯丙烷、二甲基胺及吡啶,以 N,N-二甲基甲酰胺为反应介质改性花生壳处理苯酚模拟废水,改性吸附剂的吸附量在 pH 为 9,吸附时间为 120min 时达到最大,对苯酚的吸附率达到 40.18%,相对于改性前吸附效率提高了 5.22 倍。

目前,用常规吸附剂处理工业添加剂污染水土的成本较高,且效果较差。花生壳作为一种农业废弃物,对上述工业添加剂有较大的吸附潜力,可通过后续研究提高工业添加剂污染治理的水平,降低治理成本,进一步挖掘花生壳的综合效益。

3 花生壳对抗生素的吸附

四环素类抗生素广泛应用于养殖业,以价格低、抗菌谱广、使用方便、药效显著等优点颇受欢迎,但此类抗生素具有水溶性较好、半衰期长、不易生物降解等特点,若使用和处理不当,极易在环境中蓄积,对生态环境造成不良影响,并通过食物链传递,危害人体健康^[53]。目前抗生素废水处理方法主要有高级氧化,光催化降解和特殊生物降解等^[54],但总体运行成本都较高,并可能产生二次污染。研究发现,树皮、果壳等天然产物中含有众多由木质素、纤维素、半纤维素和蛋白质等组成的活性基团,能通过表面吸附、络合、离子交换等作用吸附污染物质,且成本低、来源广,在治理抗生素污染水体中有着良好的应用前景^[55]。

关于花生壳对抗生素吸附作用的研究,国内外尚处于萌芽阶段。刘希等^[56]以花生壳为原料制得 NaOH 改性花生壳吸附剂,对 3 种四环素类抗生素(土霉素、四环素和强力霉素)进行静态吸附实验,改性花生壳对 3 种抗生素的吸附在 12h 时基本达到平衡,对 OTC、TC、DOXY 的吸附量分别达到 16.84、17.81、18.64mg/g,该吸附过程与准二级动力学模型和 Langmuir 等温吸附模型拟合;在后续研究中,刘希等^[57]确定了碱改性花生壳的最佳改性方案是 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 室温下改性 5h,对 OTC、TC 和 DOXY 三种四环素的去除率分别为 67.27%、79.08% 和 87.40%,并用傅里叶红外光谱和扫描电镜对碱改性的花生壳结构特性进行表征,结果显示其吸附抗生素的主要官能团可能是 C-O 基团; Belaib 等^[58]将花生壳添加聚苯胺涂层制得生物吸附剂,研究了其对水生环境中氧四环素的吸附过程及效果,发现影响花生壳对氧四环素吸附量的主要因素是反应时间和氧四环素的初始浓度,反应过程为放热反应,吸附率最高可达 87.91%。说明花生壳对抗生素有较强的吸附能力,进一步证明了花生壳是一种开发前景广阔的生物吸附剂材料。

4 展望

目前,花生壳主要应用于重金属、工业添加剂和抗生素等污染的修复,由于花生壳具备来源广泛、价

格低廉、无二次污染等优点,已成为当前治理环境污染的理想选择。研究证实以花生壳作为改性植物材料开发生物吸附剂,对水土污染物具有较宽的吸附范围,并体现了良好的吸附效果和较高的吸附潜能。改性花生壳吸附剂一般需要接枝反应及较复杂的反应条件,加之现有的改性试剂价格一般较高,造成了实际应用中成本的上升,且花生壳改性吸附剂大都以粉末状为主,给实际应用造成了一定的局限性。因此,笔者认为今后的研究重点应着重于三个方面:继续研究花生壳在环境污染修复中的应用,不断提升其应用价值,探讨利用花生壳修复多因素复合环境污染的可能性;研究廉价易得的绿色改性试剂,进一步提高花生壳及其它生物材料吸附剂的性能;开发大颗粒和可适应其它领域的花生壳吸附剂,不断拓展其适用范围。

参考文献

- [1] 王伟,石春.技术与法律交叉视野下环境污染因果关系证明规则[J].环境污染与防治,2014,36(1):92-96.
- [2] 杜江,罗璐.我国农业环境污染的现状和成因及治理对策[J].农业现代化研究,2013,34(1):91-94.
- [3] 杨洁,黄蕾,李凤英,等.中国1991-2010年环境污染事故频数动态变化因素分解[J].中国环境科学,2013,33(5):931-937.
- [4] 韦朝海,张小璇,任源,等.持久性有机污染物的水污染控制:吸附富集、生物降解与过程分析[J].环境化学,2011,30(1):301-308.
- [5] Ahluwalia SS, Goyal D. Removal of heavy metals from waste tealeaves from aqueous solution[J]. Engineering in Life Science, 2005, 5(2):158-162.
- [6] Johnson TA, Niveta J, Joshi HC, et al. Agricultural and agro-processing wastes as low cost adsorbents for metal removal from waste water: A review [J]. Journal of Scientific & Industrial Research, 2008, 67(9):647-658.
- [7] 陈再明,方远,徐义亮,等.水稻秸秆生物炭对重金属 Pb^{2+} 的吸附作用及影响因素[J].环境科学学报,2012,32(4):769-776.
- [8] 韩彩芸,张六一,邹照华,等.吸附法处理含砷废水的研究进展[J].环境化学,2011,30(2):517-523.
- [9] 国家统计局.中国统计年鉴-2011[M].北京:中国统计出版社,2011.
- [10] 武秋颖,陈复生,时冬梅,等.响应面优化超声辅助碱法提取花生壳木聚糖的工艺研究[J].食品工业科技,2012,33(2):307-310.
- [11] Wilson K, Yang H, Seo C W, et al. Select metal adsorption by activated carbon made from peanut shells [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(18):2266-2270.
- [12] 杨莉,谢宇,邱贤华,等.花生壳残渣制备活性炭及吸附性能测定[J].花生学报,2010,39(2):16-20.
- [13] Zhong ZY, Yang Q, Li XM, et al. Preparation of peanut hull-based activated carbon by microwave-induced phosphoric acid activation and its application in Remazol Brilliant Blue Adsorption [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 3(17):178-185.
- [14] 王震宇,徐振华,郑浩,等.花生壳生物炭对中国北方典型果园酸化土壤改性研究[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2013,43(8):86-91.
- [15] 杨性坤,钟黎,井强山.浅谈花生壳的综合开发利用[J].信阳师范学院学报:自然科学版,1998,11(2):188-192.
- [16] 周文化,刘绍,董加宝,等.食品营养与卫生学[M].长沙:中南大学出版社,2013.
- [17] 张庆芳,朱宇斌,李金平,等.改性花生壳和改性玉米芯吸附重金属的对比实验研究[J].花生学报,2009,38(2):6-10.
- [18] AL-Othman ZA, Ali R, Naushad M. Hexavalent chromium removal from aqueous medium by activated carbon prepared from peanut shell: Adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic studies [J]. Chemical Engineering Journal, 2012(184):238-247.
- [19] 张北,刘斌,岳敏,等.改性花生壳吸附去除水中 $Cr(VI)$ 的性能研究[J].山东化工,2013,42(4):20-24.
- [20] 刘智峰,李旭.改性花生壳吸附废水中 $Cr(VI)$ 条件的优选实验[J].安徽农业科学,2010,38(29):16498-16500.
- [21] 周艳,兰紫燕,许必军.酯化改性花生壳吸附水中 $Cr(VI)$ 的研究[J].广州化工,2011,39(15):103-105.
- [22] 鲁秀国,钟璐,孟锋.改性花生壳对废水中 $Cr(VI)$ 的静态吸附特性研究[J].邢台职业技术学院学报,2012,29(1):45-48.
- [23] Amarasinghe Bmwpk, Williams A R. Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater [J]. Chemical Engineering Journal, 2007, 132:299-309.
- [24] Witek - Krowiak A, Szafran RG, Modelski S. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut shell as a low-cost biosorbent [J]. Desalination, 2011(265):126-134.
- [25] 王东梅,龚正君,陈钰,等. $ZnCl_2$ 改性花生壳对含铜废水的吸附研究[J].广东农业科学,2013,(19):175-177.
- [26] 施薇,严素定,唐大平.改性花生壳对 Cu^{2+} 的吸附[J].离子交换与吸附,2012,28(5):442-448.
- [27] 陈敬员,唐大平,揭武,等.改性农业废弃物对 $Cu(II)$ 的吸附研究[J].农业环境与发展,2013(3):90-102.
- [28] 杨金燕,杨肖娥,何振立.土壤中铅的来源及生物有效性[J].土壤通报,2005,36(5):765-772.
- [29] 洪礼法,郭玮伟,许春风.提取黄色素后的花生壳粉在金属废水处理中的应用[J].苏州科技学院学报(工程技术版),2003,16(1):44-48.
- [30] 廖朝东,廖正福.花生壳粉的综合利用研究(一)[J].广西师范学院学报,2004,1(21):68-70.
- [31] 谷亚昕.花生壳粉吸附模拟废水中 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 的研究[J].安徽农业科学,2008,36(36):16126-16128.
- [32] 吕慧峰,翟建平,李琴,等.酸性甲醛改性对花生壳吸附重金属离子的影响[J].环境污染与防治,2007,29(11):837-840.
- [33] 张再利,况群,贾晓珊.花生壳吸附 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Ni^{2+} 的动力学和热力学研究[J].生态环境学报,2010,19(12):2973-2977.
- [34] 林芳芳,易筱绮,党志,等.改性花生壳对水中 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 的吸附研究[J].农业环境科学学报,2011,30(7):1404-1408.
- [35] 王金贵.我国典型农田中重金属镉的吸附-解吸特征研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [36] 钱翌,褚兴飞.核桃壳和花生壳在 Pb 污染土壤治理中的

- 应用[J].中国农学通报,2011,27(11):246-249.
- [37]褚兴飞.纳米羟基磷灰石、核桃壳与花生壳修复 Cd、Pb 污染土壤的效评价[D].青岛:青岛科技大学,2011.
- [38]袁界平.实行食品工业污染治理战略转变的障碍与对策[J].食品科学,2007,28(7):565-568.
- [39]彭会清,许开.印染废水处理现状与进展[J].四川纺织科技,2003(2):11-13.
- [40]刘梅红.印染废水处理技术研究进展[J].纺织学报,2007,28(1):116-119.
- [41]Sadiq M, Hussian. An Efficient Activated Carbon for the Wastewater Treatment, Prepared from Peanut Shell [J]. Modern Research in Catalysis, 2013(2):148-156.
- [42]王丽敏,张勇度.花生壳活性炭对水溶液中活性艳兰染料的吸附[J].吉林化工学院学报,2013,30(11):100-103.
- [43]Bilir MH, Sakalar N, Acemioglu B, et al. Sorption of remazol brilliant blue R onto polyurethane - type foam prepared from peanut shell [J]. J Appl Polym Sci, 2012, 127(6):4340-4351.
- [44]李英柳,薛彦君,雷春生.改性废弃生物质对直接染料的吸附研究[J].常州大学学报:自然科学版,2013,25(4):64-68.
- [45]刘金芝,贾兴涛,王慧,等.花生壳活性炭对溶液中亚甲基蓝和亮绿的吸附[J].常熟理工学院学报,2010,24(2):45-47.
- [46]刘亚纳,汤红妍,朱书法,等.花生壳活性炭对亚甲基蓝的吸附特性[J].环境工程学报,2013,7(8):3048-3052.
- [47]杨莉,赵晖.花生壳粉去除印染废水中活性染料的研究[J].湖北农业科学,2013,52(9):2035-2037.
- [48]Zhang JX, Qu LL. Kinetic, isotherm and thermodynamic

- studies of the adsorption of crystal violet by activated carbon from peanut shells [J]. Water Sci Technol, 2013, 67(4):737-744.
- [49]Gonzo EE. Adsorption of Organic Compounds on Activated Carbon Derived from Peanut Shells. Potential Theory Correlation for Estimating Adsorption Capacities and Affinity Coefficients [J]. Adsorption Science & Technology, 2003, 21(10):911-920.
- [50]Lochananon W, Chatsiriwech D. Effect of phosphoric acid concentration on properties of peanut shell adsorbents [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2008(14):84-88.
- [51]窦建芝,刘金芝,王慧,等.花生壳活性炭吸附苯酚及对硝基苯酚[J].常熟理工学院学报,2011,25(2):47-51.
- [52]龚正君,张志鹏,陈钰.改性花生壳对苯酚的吸附[J].环境工程学报,2012,6(10):3591-3596.
- [53]韩静磊,贺德春,王志良,等.规模化养殖场废水中抗生素种类及残留特征研究[J].广州化学,2012,37(1):27-31.
- [54]詹礼庆,何成遮,罗亚红,等.四环素类抗生素生产废水处理技术进展[J].环境科学与管理,2006,31(7):99-102.
- [55]邱会东,段传人.农作物废弃物在工业废水处理方面的研究应用[J].工业水处理,2007,27(1):5-7.
- [56]刘希,张宇峰,罗平.改性花生壳对四环素类抗生素的吸附特性研究[J].环境污染与防治,2013,35(5):35-39.
- [57]刘希,张宇峰,罗平.天然纤维材料改性及其吸附抗生素的应用研究[J].农业环境科学学报,2013,32(10):2061-2065.
- [58]Belaib F, Azzedine M, Boubeker B, et al. Experimental study of oxytetracycline retention by adsorption onto polyaniline coated peanut shells [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2014(39):1511-1515.

(上接第 260 页)

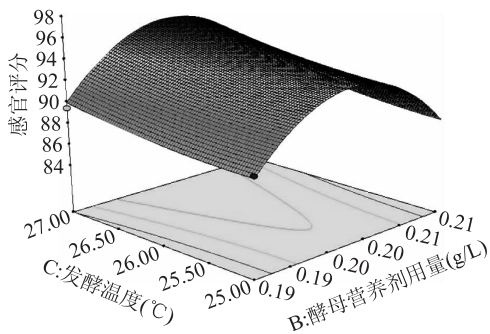


图7 $Y=f(X_2, X_3)$ 的响应面

Fig.7 Responsive surface of $Y=f(X_2, X_3)$

过单因素实验与响应面优化分析得到蜂蜜酒最佳发酵工艺条件为蜂蜜汁糖度 24%, 酒母用量 32%, 酵母营养剂用量 0.2g/L, 发酵温度 25℃, 发酵 14d。在此工艺条件下, 酿造出的蜂蜜酒澄清透亮、口感醇和细腻、蜜香与曲香协调、营养丰富、酒精度 14~15% vol, 总酸 6.5~6.8g/L, 残糖 6~7g/L, 感官评分为 95 分, 各项理化指标均符合国家标准。该研究对蜂蜜酒的大规模生产有一定的指导意义。

参考文献

- [1]唐大桓,王艳逊,等.蜂蜜[M].北京:科学技术出版

社,2005.

- [2]曹炜,尉亚辉,等.蜂产品保健原理与加工技术[M].北京:化学工业出版社,2002,9:191.
- [3]关丽英.蜂蜜酒酿造工艺的研究[D].福建:福建农林大学,2008,3-5.
- [4]翟文俊.蜂蜜酒的营养价值与保健作用[J].食品科技,2004(8):62-65.
- [5]Daniel S. McConnell, Kenneth D. Schramm. An Analysis of Mead, Mead Making and the Role of its Primary Constituents. got mead, 2007, 3:1-9.
- [6]Pawel Sroka, Tadeusz Tuszymski. Changes in organic acid contents during mead wort fermentation [J]. Food Chemistry, 2007, 104:1250-1257.
- [7]周立平,陈旭峰,孙佰申.日本米曲霉菌菌株特性及通风制曲工艺[J].酿酒科技,2004(4):23-26.
- [8]马美范.蜂蜜发酵酒的研制[J].食品研究与开发,2013,34(4):47-48.
- [9]GB/T 15038-2006.葡萄酒、果酒通用分析方法国家标准[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [10]武平,赵文婧,徐晓娇,等.测定葡萄酒中总糖方法的探讨[J].中国酿造,2011,30(1):163-165.
- [11]颜雪辉,吕梅,史路路,等.柑橘酒酿造工艺研究[J].中国酿造,2013,32(11):98-101.