

稻壳理化特性及其综合利用研究进展

赵黎明,王士强,顾春梅,王丽萍,王 贺,那永光,解保胜
(黑龙江省农垦科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:稻壳是我国丰富的生物质资源之一,对其进行科学的开发与利用具有重要的社会与经济意义。通过查阅并引用了大量国内外关于稻壳理化特性及综合利用研究方面的参考文献,较全面地阐述了稻壳的物理与化学特性,详细介绍了稻壳的科学开发与利用情况,其中着重分析了稻壳在农业、工业、建筑业以及医疗卫生等行业上的利用现状与开发价值,提出我国稻壳深加工与资源再利用的未来发展方向与新趋势,进而为今后开展稻壳利用相关研究提供理论支持与技术引导。

关键词:稻壳;理化特性;综合利用;研究进展

中图分类号:S38 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2017)03-0147-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.03.0147

中国是世界上第一产稻大国,占世界稻谷总产量的1/3以上,年生产稻谷4亿多t。稻壳作为稻米加工的副产物,是一种天然的植物类生物质资源,出壳率为20%左右,年产8000多万t,产量非常巨大,占世界总产量的30%以上^[1-2],如此丰富的稻壳资源对于稻壳综合利用和提高水稻生产效率具有重要经济意义。然而,稻壳因为木质素和硅含量较高,不易吸水,大多被丢弃或者燃烧,因而利用率不高^[3],且燃烧处理还会释放出CO₂而造成二次污染^[4]。目前,根据稻壳独特的理化特性,使得它在能源、畜牧饲料填充物和工业原料

方面具有一定优势。相关报道如稻壳发电^[5]、水泥增强剂^[6]、作金属吸附剂^[7]、催化剂载体^[8]、分子筛的制备原料^[9]、酚类物质^[10]、二氧化硅提取^[11]等方面的开发与利用,大大促进了稻壳深加工领域的发展。同时稻壳作为一种可再生且数量丰富的生物质资源,其焚烧后得到的稻壳灰含有大量的二氧化硅^[12-13],是理想的活性矿物掺料^[14]。因此,深入了解稻壳的理化特性及综合利用研究进展,对于科学的开发稻壳新资源,促进农业、建筑业和化工业发展具有重要社会与经济意义。

1 稻壳理化特性

稻壳是由外颖、内颖、护颖和小穗轴等几部分组成,是稻米的一种外层覆盖物,约占稻谷量的20%^[15],具有保护内部不受外界昆虫和细菌攻击的作用^[16]。通过数年的自然进化,稻壳中形成一种独特的纳米多孔二氧化硅层,这些无定形SiO₂主要集中在外表面,少量分布在稻壳内表面^[17]。

收稿日期:2017-02-25
基金项目:“十三五”国家重点研发计划专项资助项目(2016YFD0300504-02);公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201303102)
第一作者简介:赵黎明(1980-),男,黑龙江省海伦市人,博士,副研究员,从事水稻栽培与化学调控研究。E-mail:nk-zlm@126.com。
通讯作者:那永光(1967-),男,硕士,研究员,从事水稻栽培生理研究。E-mail:nknyg@163.com。

Research Progress of Paclitaxel in *Corylus*

CHENG Wen-bo¹, LI Zhi-jun²

(1. Liaoning Sand Fixation and Afforestation Institute, Fuxin, Liaoning 123000; 2. Economic Forestry Research Institute, Dalian, Liaoning 116031)

Abstract: In order to study paclitaxel compounds further in-depth in plants of the genus *corylus heterophylla*, and discusses its application prospect, the research progress of the secondary metabolites paclitaxel of hazel was reviewed. The hazel was featured variety, extensive in distribution, fast-growing, high yield, and high regeneration ability, by developing appropriate methodologies, and hazel might become a new commercial source of paclitaxel, to be used as new therapeutic agent, which had potential values for further study.

Keywords: hazel; paclitaxel; research progress

稻壳具有良好的韧性、多孔性、表面坚硬和高热值等优点,但也有表面凸凹不平,毛刺多,密度小和堆放困难等缺点^[18]。稻壳一般长 5~10 mm、宽 2.5~5.0 mm、厚 25~30 μm ,色泽多为稻黄色、金黄色和黄褐色等颜色,其真实密度和自然堆积密度分别约为 $720 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $83\sim 160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[19]。稻壳主要由 C、O、H 和 Si 等元素组成,成分多为纤维素类、木质素类和硅类,大致含量(因品种及产地不同而有所差别)为:粗纤维 35.5%~45.0%(缩聚戊糖 16%~22%)、木质素 21%~26%、二氧化硅 10%~21% 和灰分 11.4%~22.0%^[20]。

稻壳中所含的诸类物质中不但有机成分可以作为能源,而且无机成分也具有很高的利用潜力。李华等^[21]研究表明,稻壳中含有大量亲水官能团,可作为反硝化碳源去除海水中的硝酸盐,且持续供碳能力强,能够满足微生物的持续利用。Butsat 和 Siriamornpun^[22]认为稻壳中酚类物质(具有抗氧化功能)含量要比稻谷米糠、糙米和精米部位高得多。李青等^[23]研究表明,稻壳中的总酚和单体酚主要以结合态形式为主,且品种间差异显著。此外,稻壳燃烧后的稻壳灰质量一般占 20%,而稻壳灰中含 80% 以上的二氧化硅和 20% 左右灰分及少量粗蛋白、粗脂肪等有机化合物^[24],其中二氧化硅起着骨架作用,木质素和纤维素等物质镶嵌其中^[25]。

2 稻壳的综合利用

2.1 稻壳在农业中的综合利用

近年来,国内一些学者利用稻壳资源在农业领域上取得了一定的进展。相关研究表明,将稻壳铺在地表面,能够防止杂草的生长,保持土壤温度,进而有利于植物吸收养分,提高抗菌能力^[26];而在苗床播种后用粉碎的稻壳覆盖,可直接作为栽培基质实现无土育苗,且培育出的苗根多且长,同时便于幼苗起运^[27-28]。也有研究表明,育秧基质采用稻壳和菌糠同体积混合可提高秧苗的综合素质,有效地节约生态资源^[29];而在钵体育秧覆土部分掺入 20% 稻壳,可提高出苗率,改善秧苗素质^[30]。还有研究表明,利用稻壳作为原材料制备的育苗钵可用于作物育苗,且育苗效果好^[31];也可利用稻壳或混合其它材料制作培养基栽培竹荪^[32]、平菇^[33]、金针菇^[34]和灵芝^[35]。

此外,稻壳与其它物质等量混合能够改善土壤的酸性条件,且稻壳燃烧后可作为土壤改良剂。

而在稻田中施用稻壳灰有机复合肥可以提高水稻的抗病和抗倒伏能力,进而实现增产,同时因稻壳灰中的二氧化硅能够将昆虫胸部的蜡质表层腐蚀,进而打乱昆虫正常的新陈代谢,致使其死亡。国外的一些相关研究认为从稻壳中能够提取出除草剂和生物抑制剂,其中 Eun 等认为稻壳中木质素及其硝基苯氧化单体具有抗菌性^[36];而 Puzafi 则利用稻壳中物质为底物生产出一种生物制剂,该制剂能够控制稻铁甲虫^[37]。

2.2 稻壳在化工上的综合利用

稻壳具有高灰分含量,可以生产活性炭,且经过化学改性后,吸附能力更强^[38]。国外一些相关研究表明,以稻壳为原料可以制备有吸附有害重金属离子(如 Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}) 能力的改性活性炭^[39],也可制备出用来净化水,降低 BOD、COD 值和除去固体悬浮物的化学产品^[40]。Ioannidou 和 Zabaniotou^[41]研究表明,稻壳中的 SiO_2 起骨架作用,当稻壳中木质素和纤维素被降解之后,炭便会附着在骨架上,使稻壳成为理想吸附剂原料。Tanin 等^[42]人用 ZnCl_2 , H_3PO_4 和 CO_2 来活化或炭化稻壳制取活性炭,主要用来吸附亚甲基蓝。Tantrakulsiri^[43]研究发现,将稻壳灰在马弗炉中加热 2 h 后,再用硫酸滤去金属氧化物,可制备出的酸化稻壳灰能够用来固定假丝酵母菌筒状脂肪酶,增加其耐热性。Zheng 等^[44]研究表明,稻壳中的生物炭可以减少水稻秧苗地上部对 Cd、Pb 和 Zn 的吸收量。

关于利用稻壳活性炭吸附水中重金属的研究在我国也有一些。如钱俊青等^[45]利用稻壳的吸附特性制备成吸附剂,可用于增加啤酒的稳定性。孙楠等^[46]研究表明,稻壳碳化后表面官能团中的 -OH 凭借离子交换与表面络合作用能够去除 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。李楠等^[47]利用稻壳经炭化、活化、酸洗和水洗等工艺制备出一种稻壳活性炭,该活性炭对磷的吸附速度较快。龙逸云等^[48]认为改性稻壳可作为吸附剂吸附水中的铀,且吸附效果好,去除率达 98%。叶芳等^[49]利用稻壳灰与碱液反应可制备出硅酸钠产品。此外,在白酒酿造中,稻壳可通过调整入窖酸度和淀粉含量,进而直接影响到酒质量的好坏^[50]。刘天霞等^[51]采用高效木糖酒精发酵菌株使稻壳粉水解液发酵,并将水解液中的葡萄糖和木糖转化为酒精,酒精转化率可达 38%。

2.3 稻壳在建筑行业中的综合利用

稻壳燃烧后剩下的稻壳灰主要成分是二氧化硅,含量高达 87%~97%,是制砖的上等原料。国外一些研究表明,将稻壳和水泥混合,研制出一种性价比比较高的人造预制木砖,该预制木砖具有良好的耐久性、外形规则和粘接力强等特点,可完全代替天然木砖用于建筑工程中^[52]。相比之下,稻壳灰又是一种较为理想的生物质原料,具有多孔性、比表面积大、含硅量高等特性,利用价值广泛。如在混凝土制作工艺中,应用稻壳灰可以提高混凝土的工作性能和力学性能,改善混凝土的耐久性。相关研究表明,稻壳燃烧后剩下的稻壳灰可掺入水泥浆中可缩短工作时间,提升混凝土的生产效率^[53],也可制备稻壳灰-水泥复合材料^[54],其中将稻壳灰与水泥、树脂三者混合,再经快速模压制成稻壳灰砖^[55],也可与矿物外加剂、胶凝材料混合后再经过搅拌压缩等程序可得到空心砖^[56]。也有研究表明,稻壳灰中的硅可再处理应用,将稻壳硅和硫酸铝混合通过炭化、碱溶和水热合成工艺,制备成具有较高结晶度的洗涤助剂 P 型分析^[57]。此外,稻壳内含有约 38% 的干性纤维素,根据该特性将稻壳灰添加到涂料中,可使常见的涂料龟裂现象消失^[58]。

2.4 稻壳在生物工程与医疗药物中的综合利用

Tantrakulsiri^[43]研究表明,稻壳可作为酶载体且有一些特殊的功效,并认为酸化稻壳灰可固定假丝酵母脂肪酶,且耐热性得到增加。Eun^[36]研究认为从稻壳中可以提取一些生物抑制剂,如稻壳中的木质素及其硝基苯氧化单体;Cho^[59]认为从稻壳中分离出的 4-羟基苯甲酸和转 4-羟基肉桂酸,可作为大多数革兰氏阴性菌和部分革兰氏阳性菌抗菌剂。Jeon 等^[60]报道稻壳甲醇提取物中酚类物质不仅具有较高的抗氧化活性,还能抑制过氧化氢激发的人淋巴细胞 DNA 损伤。蔡碧琼等^[61]人以乙醇为提取溶剂,认为廉价的稻壳可以作为提取黄酮类物质的原料,并利用现代分析手段对提取物进行分析和性质表征,而黄酮又是一种很强的抗氧化剂,具有较强的抗脂质过氧化能力,可有效清除体内的氧自由基,改善血液循环,降低胆固醇,抑制炎症性生物酶的渗出,增进伤口愈合和止痛,还能诱导很多药物代谢酶的表达。

于加平等^[62]人研究表明,采用索氏提取法,以 70% 甲醇水溶液为提取剂,可以从稻壳中提取绿原酸,而绿原酸具有抗菌、消炎、解毒、利胆、降

压和升高白细胞及显著增加胃肠蠕动和促进胃液分泌等药理作用,对大肠杆菌、金色葡萄球菌、肺炎球菌和病毒有较强的抑制作用。也有研究表明,利用稻壳为原材料可制备纤维素,再经碱提取^[63]或通过微生物降解^[64],最终产生木聚糖,而木聚糖通过降解又可形成低聚木糖,它是一种重要的功能性食品,具有低热、安全、稳定、无毒等良好的理化特性,还具有减少有毒发酵产物及有害细菌酶的产生,抑制病原菌和腹泻,防止便秘,保护肝脏功能,降低血清胆固醇,降低血压,增强机体免疫力,具有良好的配伍性,促使机体生成多种营养物质,包括维生素 B₁、B₂、B₆、B₁₂、烟酸和叶酸,抑制口腔病菌的滋生等生理功能。马军强等人^[65]利用蒸汽加热对稻壳进行硫酸水解试验生产糠醛,该方法生产糠醛的效率明显高于玉米芯。糠醛主要用作溶剂,它的衍生物具有很强的杀菌能力,可合成镇痛药莫沙朵林和抗日本血吸虫病药物。

3 展望

水稻是我国种植的主要粮食作物,产量居世界第一。稻壳作为稻米加工副产物,资源丰富,但利用率低。因此,稻壳的科学利用与开发是今后研究的必然趋势,如果能从廉价的稻壳中科学的开发出目前农业、工业、建筑业以及医疗卫生所急需的相关产品,尤其是生物质能源研究领域上的一些高科技产品,将会在很大程度上提高稻壳的利用率,进而创造出更大的经济效益,同时对于提高人们的生活质量、优化稻谷生产结构、减少环境污染和实现粮食增值等具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 张平,李科林,肖剑波,等.米糠在微波条件下解毒残渣中六价铬的研究[J].环境科学与技术,2010,33(12):124-127.
- [2] Li Y, Ding X, Guo Y, et al. A new method of comprehensive utilization of rice husk[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 186: 2151-2156.
- [3] Chuah T G, Jumasiah A, Azni I, et al. Rice husk as a potentially low-cost bio-sorbent for heavy metal and dye removal: an over-view [J]. Desalination, 2005, 175: 305-316.
- [4] 王立,王领军,姚惠源,等.稻壳吸附剂生产技术[J].粮食与油脂,2006(3):16-18.
- [5] Jung D S, Ryou M H, Sung Y J, et al. Recycling rice husks for high-capacity lithium battery anodes[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(30): 12229-12234.
- [6] Jaturapitakkul C, Roongreung B. Cementing material from calcium carbide residue-rice husk ash[J]. Journal of Materi-

- als in Civil Engineering, 2003, 15(5): 470-475.
- [7] Nakbanpote W, Thiravetyan P, Kalambaheti C. Preconcentration of gold by rice husk ash[J]. Minerals Engineering, 2000, 13(4): 391-400.
- [8] Shinde A B, Shrigadi N B, Samant S D. Development of Fe, Sb, Bi and Al impregnated silicacatalysts using rice husk silica as a support for friedel-crafts benzylation of arenes[J]. Journal of Chemical Technology Biotechnology, 2003, 78(12): 1234-1238.
- [9] Mohamed M M, Zidan F I, Thabet M. Synthesis of zsm-5-zeolite from rice husk ash: characterization and implications for photo catalytic degradation catalysts[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2008, 108(1-3): 193-203.
- [10] Heim K E, Tagliaferro A R, Bobilya D J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure activity relationships[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2002, 13: 572-584.
- [11] Yalin N, Sevin V. Studies on silica obtained from rice husk[J]. Ceramics International, 2001, 27(2): 219-224.
- [12] Zhang H, Zhao X, Ding X, et al. A study on the consecutive preparation of D-xylose and pure superfine silica from rice husk [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(4): 1263-1267.
- [13] Li D, Chen D, Zhu X. Reduction in time required for synthesis of high specific surface area silica from pyrolyzed rice husk by precipitation at low pH[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(13): 7001-7003.
- [14] De Sensale G R. Effect of rice husk ash on mechanical behavior and durability of high-performance concrete[J]. Second International Conference on Engineering Materials, 2001, 1: 521-532.
- [15] Chandrasekhar S, satyanarayana K G, pramada P N, et al. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk: an overview[J]. Journal of materials science, 2003, 38(15): 3159-3168.
- [16] Estevez M, Vargas S, Castaño V, et al. Silica nano-particles produced by worms through a bio-digestion process of rice husk[J]. Journal of Non-crystalline Solids, 2009, 355(14): 844-850.
- [17] Ma J F, Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants [J]. Trends Plant Science, 2006, 11(8): 392-397.
- [18] 张宏喜. 稻壳主要组分的分离与应用基础研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [19] 朱永义. 稻壳综合利用技术与产业化前景[J]. 粮食加工, 2010(1): 43-45.
- [20] 董梅. 国外稻壳综合利用的进展[J]. 粮食流通技术, 2004(3): 32-35.
- [21] 李华, 周子明, 刘青松, 等. 稻壳作为反硝化碳源在海水中的脱氮性能研究[J]. 工业水处理, 2016, 36(3): 58-61.
- [22] Butsat S, Siriamornpun S. Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of rice[J]. Food Chemistry, 2010, 119: 606-613.
- [23] 李青, 张名位, 张瑞芬, 等. 5 种籼稻品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及其抗氧化活性比较[J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1150-1158.
- [24] Evandro G T, Carmo J R, Guilherme L F, et al. Optimization of alkaline pretreatment of coffee pulp for production of bioethanol [J]. Biotechnology Progress, 2014, 30: 451-462.
- [25] 任素霞. 稻壳资源的综合利用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [26] 刘晓军. 稻壳的开发利用[J]. 粮食加工, 2007(5): 14-15.
- [27] 郭图强. 彩椒有机生态型无土栽培基质的筛选[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 278-280, 283.
- [28] 谢嘉霖, 徐卫红, 林弘, 等. 弯叶画眉草的无土栽培试验[J]. 江苏农业科学, 2006(6): 229-231.
- [29] 刘双, 赵洪颜, 陈迪, 等. 不同育秧基质对水稻育苗的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 45-46, 53.
- [30] 刘祥臣, 李彦婷, 丰大清, 等. 不同覆盖物对水稻钵苗育秧出苗率及秧苗素质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 94-97.
- [31] 孙恩惠, 黄红英, 武国峰, 等. 稻壳 6 大豆蛋白黏合剂成型育苗钵性能评价及成因分析[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(6): 1202-1209.
- [32] 陈锡雄. 纯谷壳栽培平菇的研究[J]. 宁德师专学报: 自然科学版, 1996(2): 194-196.
- [33] 张恒. 稻壳替代棉籽壳栽培平菇研究[J]. 中国食用菌, 1998(6): 15-16.
- [34] 贺新生, 贾继东, 梁福. 稻壳膨化粉栽培金针菇试验[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报, 1996(3): 23-26.
- [35] 庄磊. 稻壳含量对灵芝菌丝发育及子实体性状的影响[J]. 食用菌, 2016(2): 41-42.
- [36] Eun C. Antimicrobial activities of rice hull lignins and their nitrobenzene-oxidized monomers[J]. Abstracts of Papers American Chemical Society, 2000, 220: 56-58.
- [37] Puzari D. Medium for mass production of beauveria bassiana(Balsano) vuillemin[J]. Journal of Biological Control, 1997, 11(12): 97-100.
- [38] Chen Y, Zhai S R, Liu N, et al. Dye removal of activated carbons prepared from NaOH-pretreated rice husks by low-temperature solution-processed carbonization and H₃PO₄ activation [J]. Bioresource Technology, 2013, 144: 401-409.
- [39] Lin L, Zhai S R, Xiao Z Y, et al. Dye adsorption of mesoporous activated carbons produced from NaOH- pretreated rice husks [J]. Bioresource Technology, 2013, 136: 437-443.
- [40] Nakamura Shinichi. Waste water purifying agent and method of producing same; Japan, JP53100655 [P]. 1978-09-02.
- [41] Ioannidou O, Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11(9): 1966-2005.
- [42] Tanin N. Investigation of the possibilities of the production

- of active carbon from rice hulls [J]. *Chimica Acta Turc*, 1987, 3: 461-476.
- [43] Tantrakulsiri J, Jeyashoke N, Krisanangkura K. Utilization of rice hull ash as a support material for immobilization of *Candida cylindracea* lipase [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1997, 2: 173-175.
- [44] Zheng R L, Cai C, Liang H J, et al. The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings [J]. *Chemosphere*, 2012, 89(7): 856 - 862.
- [45] 钱俊青, 谢祥茂. 稻壳吸附剂提高啤酒稳定性的研究 [J]. 离子交换与吸附, 2001(2): 145-151.
- [46] 孙楠, 田伟伟, 张颖, 等. 碳化稻壳吸附严寒地区村镇地下水 Fe^{2+} 与 Mn^{2+} 的性能分析 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(13): 197-206.
- [47] 李楠, 单保庆, 唐文忠, 等. 稻壳活性炭制备及其对磷的吸附 [J]. *环境工程学报*, 2013, 7(3): 1024-1028.
- [48] 龙逸云, 李金轩, 李小燕. 改性稻壳对废水中铈的吸附性能 [J]. *济南大学学报: 自然科学版*, 2013, 27(4): 386-389.
- [49] 叶芳, 刘英, 王展. 不同压力条件下稻壳灰制备硅酸钠的工艺研究 [J]. *粮食与饲料工业*, 2008(2): 4-5.
- [50] 李大和. 白酒酿造工教程 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [51] 刘天霞, 刘雅琴. 稻壳粉水解液发酵生产燃料酒精的研究 [J]. *可再生能源*, 2005(5): 20-23.
- [52] Chatveera B, Lertwattanaruk P. Durability of conventional concretes containing black rice husk ash [J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92: 59-66.
- [53] 梁世庆, 孙波成. 稻壳灰混凝土性能研究 [J]. *混凝土*, 2009(2): 73-75.
- [54] 陈墨, 熊德胜, 韩福芹. CMC-g-PMMA 对稻壳-水泥复合材料耐久性能的影响 [J]. *新型建筑材料*, 2011(10): 37-39.
- [55] 鹿保鑫, 张丕智. 稻壳的综合利用技术 [J]. *农机化研究*, 2005(4): 195-196.
- [56] 章云, 陈太林, 秦永昊, 等. 稻壳综合利用 [J]. *河南建材*, 2010(2): 60-61.
- [57] 杨君, 马红超, 付颖寰, 等. 稻壳碱溶活化制备 P 型分子筛 [J]. *吉林大学学报*, 2011, 49(4): 767-771.
- [58] 程贤春, 万萍, 涂传文, 等. 利用稻壳合成 SiC 的研究 [J]. *耐火材料*, 1998(6): 337-338.
- [59] Cho J Y, Moon J H, Seong K Y, et al. Antimicrobial activity of 4-hydroxybenzoic acid and trans 4-hydroxycinnamic isolated and identified from rice hull [J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 1998, 62(11): 2273-2276.
- [60] Jeon K I, Park E J, Park H R, et al. Antioxidant activity of far-infrared radiated rice hull extracts on reactive oxygen species scavenging and oxidative DNA damage in human lymphocytes [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2006, 9(1): 42-48.
- [61] 蔡碧琼, 蔡珠玉, 张福娣, 等. 稻壳中黄酮提取物的抗氧化性质研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2010, 32(4): 813-818.
- [62] 于加平, 李一卓. 稻壳中绿原酸的提取及含量测定 [J]. *湖北农业科学*, 2009, 48(2): 445-447.
- [63] 张春雨, 玉洁. 稻壳中木聚糖的提研究 [J]. *食品科技*, 2009, 34(1): 146-149.
- [64] 李丽坤, 赵丽红, 李伟群. 利用稻壳提取阿拉伯木聚糖的研究 [J]. *黑龙江农业科学*, 2008(1): 22-24.
- [65] 马军强, 冯贵颖. 稻壳制备糠醛的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(16): 4738-4739.

Research Progress of Rice Husk on Physical and Chemical Properties and Comprehensive Utilization

ZHAO Li-ming, WANG Shi-qiang, GU Chun-mei, WANG Li-ping, WANG He, NA Yong-guang, XIE Bao-sheng

(Rice Research Institute of Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007)

Abstract: Rice husk is one of the most abundant biomass resources in China, scientific development and utilization of rice husk has important social and economic significance. The research development at home and abroad about the physicochemical properties of rice husk and comprehensive utilization of reference research were analyzed, the physical and chemical characteristics of rice husk was comprehensively described, and the scientific development and utilization of rice husk were introduced, including the utilization status and development value of rice husk in agriculture, industry, construction industry and medical the health industry, future development directions and new trend in rice husk utilization and deep processing of resources were put forward, so as to provide a theoretical support and technical guidance for the future development and utilization of rice husk.

Keywords: rice husk; physical and chemical properties; comprehensive utilization; research progress