

饲用稻和稻米产业副产品在长江中下游地区饲料化加工的应用前景

裘实^{1,2}, 许轲^{1*}, 韩超^{1,2}, 卫平洋^{1,2}, 魏海燕^{1,2}, 施林林^{1,2}, 韦还和^{1,2}, 徐栋^{1,2}, 高尚勤³, 张军⁴, 张洪程¹ (1.江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室,扬州大学农学院,江苏扬州 225009;2.江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,扬州大学,江苏扬州 225009;3.安徽省凤台县农业技术推广中心,安徽淮南 232100;4.江苏省淮安市农业技术推广中心,江苏淮安 223000)

摘要 近年来,随着长江中下游地区水稻单产的不断提,稻米加工产业的快速发展,积压了大量早稻和稻米产业副产品,如乞食米、劣质米、碎米、米糠和秸秆等。若将这些稻米生产副产品进行饲料化加工,不但有助于降低加工副产品的库存,还可降低区域饲料成本,弥补南方地区饲料业缺口,缓和饲料资源紧缺的局面。该文介绍了饲用型稻米和稻米加工过程产生中碎米、米糠和秸秆等的饲用价值、加工工艺及其在畜禽生产中的应用,以期为长江中下游地区稻米产业副产品应用于饲料化加工提供参考。

关键词 水稻产业化;稻米副产品;饲料稻;米糠深加工

中图分类号 S-9 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)20-0010-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.20.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application Prospect of Fodder Rice and By-products of Rice Industry in Feed Processing in Middle and Lower Reaches of the Yangtze River

QIU Shi^{1,2}, XU Ke¹, HAN Chao^{1,2} et al (1. Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology, Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009; 2. Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract In recent years, with the continuous improvement of rice yield in the middle and lower reaches of the Yangtze River and the rapid development of rice processing industry, a large backlog of by-products of early rice and rice industry have been accumulated, such as begging rice, inferior rice, broken rice, rice bran and straw. If these by-products of rice production are processed into feed, it will not only help to reduce the stock of processing by-products, but also reduce the cost of regional feed, make up for the gap of feed industry in southern China, and alleviate the shortage of feed resources. This paper mainly introduced the forage value, the processing technology and its application in livestock and poultry production of the feed rice, broken rice, rice bran and straws produced during rice processing, in order to provide reference for the application of rice industry by-products in feed processing in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key words Rice industrialization; Rice by-products; Forage rice; Deep processing of rice bran

种植业是传统农业的重要根基,粮棉油糖菜是关系国计民生的重要产品。水稻作为我国第一大粮食作物,在我国种植业生产中占据着举足轻重的地位,而长江中下游地区作为我国水稻生产的主产区,年均水稻生产量高达9 000万t,占全国水稻生产量的45%^[1-3]。2000—2014年我国稻谷供需从紧平衡甚至个别年度供不应求的状态逐渐过渡到供需盈余;我国稻谷以口粮消费为主,但消费比重减少明显,工业和饲料消费比重增加^[4]。未来10年,农业高质量发展将会取得明显效果,农业发展不平衡、不充分的问题将得到有效解决。新时期,随着丰产优质稻米品种的不断推出,水稻产业化体系的不断完善,长江中下游地区的水稻单产和总产仍将持续增长^[5-8],伴随着稻米加工也会产生大量的工业副产品,合理综合利用稻米生产的副产品对促进我国农牧业绿色发展具有重要意义^[9-11]。2016年《国务院办公厅关于进一步促进农产品加工业发展的意见》中明确指出要加快推进秸秆、

稻壳、米糠等农产品加工副产品的综合利用,首次从国家层面强调农产品深加工及副产物利用的必要性,从开发新能源、新材料、新产品等角度提出要求^[12-13]。新时期,农业生产副产品饲料化已被纳入国家农业绿色发展的重要议题,妥善处理稻米加工副产品为南方稻区农业可循环发展提供了契机。随着饲料原料价格不断上涨,畜牧行业生产成本不断提高,开发价廉物美的饲料原料是我国饲料工业发展中的有效措施之一^[14-16]。其中,可用于饲料化加工的主要有碎米、稻秸秆、米糠、米糠油和脱脂米糠^[17-22]。有研究发现^[23-25],随着人们生活水平的不断提高,社会人群对肉、蛋、奶的食用量逐步增加,人均口粮需求量将逐年减少,而饲料用粮将逐年增加,这意味着今后我国粮食消费增长主要是饲料用粮,将来我国粮食问题关键是饲料用粮问题。这更凸显出稻米产业副产品饲料化利用的重要性。总体而言,饲用稻米、碎米、秸秆和米糠属于稻米加工业的初级产品,而米糠粕、米糠油等属于稻米产业副产品中的中级产品,其饲用价值在特殊工艺加工下更优,而米糠蛋白及米糠肽等则是进一步深加工的精制产品,后者已经超出了饲用化的范畴^[26-29]。

1 碎米和饲用稻米利用

1.1 应用前景 稻谷在脱壳、碾米等加工过程中产生的碎米粒,即为碎米。由于碎米的商品经济性差、口感不佳且市场收购价低,因此通常将碎米加工成饲料原料。碎米中含有较多淀粉和营养品质较好的蛋白质,综合利用的传统产品主要

基金项目 国家重点研发计划(2016YFD0300503);江苏省重点研发计划(BE2016344);江苏省农业科技自主创新基金(CX[15]1002);扬州大学拔尖人才计划;江苏省农业三新工程(SXGC[2017]294);江苏省科技支撑计划(农业)重点项目(BE2017343)。

作者简介 裘实(1994—),男,江苏淮安人,硕士,从事水稻轻简化机械化栽培、优质稻米品种筛选及种植配套技术研究。*通信作者,教授,博士,从事作物生理、作物优质高产高效栽培新技术与理论研究。

收稿日期 2019-05-01;;**修回日期** 2019-05-12

是酒、醋和饴糖等,还可以开发再造米^[26,30-34]。而饲用稻米主要是指早籼稻^[23,35],由于口感较差、市场销路狭隘,稻米消费市场逐渐被优质粳稻占据,加之各地早籼稻已退出保护价收购体系,多地早籼稻的收购价格低至 1.2~2.0 元/kg,未来积压将增多,因此将低质的早籼稻转向饲用化已经成为一种趋势。从 20 世纪开始,饲料稻专用品种的培育工作就已经开始进行^[23,36],早在 1993 年湖南省农业厅就率先在全国提出了对“三高”特征饲料稻的开发,1995 年饲料稻的开发被列为国家水稻工程的“九·五”攻关项目的重要内容。其再次提出了“三高”的饲用稻育种目标,明确了饲料稻的内涵是指在生育期适宜、抗逆性强的基础上,采用优化栽培,能实现产量高(≥ 550 kg)、糙米粗蛋白质含量高($\geq 12\%$)、出糙率高($\geq 80\%$)、适合饲用的水稻品种^[23]。前人研究发现,开发出超高产、高蛋白、高出糙率的饲料稻作能量饲料主料,饲料自身的蛋白质含量提高而相应减少豆粕、鱼粉等价格高的蛋白饲料用量,又以就地收购的饲料稻取代外地购买运回的玉米作能量饲料,不仅可减少运输费用,节省人力、物力,又降低了饲料成本,且保证了饲料的营养价值。

1.2 饲用价值 稻米中富含直链淀粉、蛋白质和脂类,相较于传统的饲用玉米,饲用稻米和碎米虽然在粗蛋白质含量上低于饲用玉米,但其氨基酸含量并不逊于饲用玉米,且其蛋白质氨基酸组成比较合理,尤其是赖氨酸含量较高^[26]。大米蛋白主要由 2%~10% 的球蛋白、2%~5% 的清蛋白、10%~50% 的醇溶性蛋白和 $\geq 80\%$ 的谷蛋白组成,其中清蛋白和球蛋白主要存在于大米胚中,醇溶蛋白和谷物蛋白主要存在于大米胚乳中^[35]。前人研究发现,稻谷和糙米的常规养分含量,除了稻谷的粗纤维含量比糙米高外,其他养分均较糙米低,这降低了猪对稻谷中干物质和其他养分包括总能、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物的消化率^[36-37]。江容生等^[38]报道,蛋鸡生长阶段用稻谷代替其他能量饲料不影响采食量、饲料转化率及体增重。贺建华等^[39]测定了稻谷和糙米对不同动物的有效能值,发现猪对稻谷能量和其他养分消化率明显低于糙米,以此论证不宜直接用作猪饲料原料,但是,稻谷纤维不影响鸭对其能量的利用。夏晨^[40]研究发现,以稻谷部分或完全替代玉米饲喂生长肥育猪完全可行。李丽立等^[41]证实,稻谷替代玉米饲喂肉鸭,对肉鸭的生产性能无显著影响。沈维军等^[42-44]用早籼稻饲用糙米和普通饲用玉米对比研究发现,两者营养成分相当,并证明了糙米可完全代替玉米作鸡和猪等的饲料,不仅无不良影响,在增重效率等方面还略有优势。

2 稻秸秆利用

2.1 稻秸秆的应用前景及饲用价值 稻草、小麦秸、玉米秸是我国三大作物秸秆,我国农作物秸秆年产量 6 亿~7 亿 t,约占世界秸秆总量的 30%,列世界之首,如何将农业生产过程中产生的大量秸秆进行饲料化处理引起了科研工作者们的重视^[45-46]。我国是秸秆生产大国,提高秸秆利用率实质上等于提高了农业资源的产出率。必须把秸秆当作农产品一样看待,在收储运等产业链环节上下功夫,把秸秆产业做大

做强。我国目前尚未得到利用的秸秆如果能被充分利用,相当于增加了 21%~27% 的农业资源^[47]。秸秆饲料化是一项比较复杂的系统工程,涉及秸秆的回收、运输、储藏、粉碎、饲喂、配料等多个环节,但是长期以来由于农机与牧艺技术的脱节,导致秸秆收获和后处理技术严重脱节^[48]。农业秸秆含有氮、磷、钾、钙、镁等矿物质和蛋白质、纤维素等有机质,是自然界中数量极大且具有多用途的可再生生物资源^[49]。未经处理的秸秆因其没有浓缩效应,故粗蛋白含量低,秸秆营养吸收率也较低,而且适口性差。故加强秸秆资源化利用,形成秸秆资源的良性循环,对彻底解决秸秆焚烧和污染问题,增加农民收入,具有现实意义。前人已针对秸秆还田、秸秆生物质能利用、秸秆沼液发酵等作了大量的研究^[50-54],目的在于将秸秆农作物肥料化和能源化利用,具有良好的社会前景。但是南方地区以稻麦轮作制度为主,每年的秸秆产生量较大,产生的速度也较快,已有专家建议,拓展稻麦秸秆的饲料化利用渠道,为秸秆综合利用寻找新的出路。常见农作物秸秆虽然主要成分为木质素、纤维素和半纤维素,特别是其木质素不仅影响秸秆的适口性,而且影响营养成分的吸收转化,而饲料精加工不仅可改善秸秆的适口性和营养成分,提高秸秆的成分转化效率,也可以使一些不适合直接饲喂的秸秆成为适宜饲喂的可就地取材的优良饲料^[55-57]。水稻秸秆主要包括颖壳和稻草,稻草中粗纤维、粗蛋白、粗脂肪和可溶性碳水化合物含量在不同类型品种间差异较大,但水稻秸秆饲料具有和干草近似的质量,具有丰富营养,是反刍家畜粗饲料的重要来源;稻草适宜直接饲喂和加工饲喂,但稻壳即使加工后也不适宜饲喂动物^[58-59]。在秸秆精加工饲用化运用方面,前人已作了大量的相关研究。张佩华等^[60]研究发现,水稻秸秆青贮处理极显著提高了饲料稻秸秆中干物质的中性洗涤纤维的瘤胃有效降解率,并得出青贮鲜湿稻秸秆能显著改善其被奶牛瘤胃消化利用的结论,是南方奶牛饲养的重要粗饲料资源。由于秸秆中粗纤维含量高、蛋白质含量少、适口性差、消化率低,直接饲喂效果不佳,因此,只有很少一部分秸秆用作牛羊等反刍动物的粗饲料,而在猪禽等单胃动物饲料中,仅可作为填充料使用或不被利用,造成了巨大的资源浪费^[61]。文奇南^[62]研究表明,添加剂处理的水稻秸与干水稻秸相比,添加青玉米汁发酵液的水稻秸青贮营养物质表观消化率最高,能显著提高奶牛的产奶量,改善乳品质。门宇新^[63]研究表明,随着乳酸菌添加量的增加青贮饲料营养物质的损失降低,能显著改善青贮饲料的品质。赵金鹏等^[64]研究发现,添加甲酸、纤维素酶和乳酸菌对水稻秸秆青贮发酵品质和结构性碳水化合物降解的影响显著,添加甲酸能显著提高水稻秸秆水溶性碳水化合物含量,添加纤维素酶和乳酸菌对水稻秸秆青贮发酵品质有一定的改善效果。

2.2 稻秸秆的饲料化生产 水稻秸秆的营养特点为:蛋白质、可溶性碳水化合物、矿物质和胡萝卜素含量低,而粗纤维含量高,因此消化率低,适口性差^[22,64]。前人研究发现,对秸秆进行适当的物理、化学、生物等技术处理,其营养价值和适口性会得到很大提高^[65]。其中,秸秆的化学处理主要包括

秸秆的氨化处理^[66]、碱化处理^[67]和氧化剂^[68]处理,秸秆氨化原理是利用氨的弱碱性作用使半纤维素和木质素部分溶解,还能给反刍动物提供氮源,改善秸秆适口性。秸秆碱化处理包括用氢氧化钠、氢氧化钙或氢氧化钾等处理,其目的是利用碱性环境打破秸秆粗纤维中纤维素、半纤维素、木质素之间的醚键或酯键,增加纤维素之间的空隙度,提高纤维素在动物体内的降解率。秸秆的氧化剂处理目前被认为是最有效的方法,其原理是植物的木质化纤维素对氧化剂表现较强的敏感性,通过氧化剂消解秸秆中的粗纤维。水稻秸秆的物理处理主要包括碾磨、捣碎、切碎和制粒等^[69-71]。物理加工方法主要涉及以铡切机、揉切机、粉碎机、揉搓机等为代表的秸秆加工设备,全混合日粮饲喂设备和稻秸秆制粒设备。其中,稻秸秆通过粉碎、制粒设备加工成颗粒饲料,利用高温工作环境减少饲料中的抗营养因子,并杀死饲料中的有害微生物,使物料中的有机成分发生反应,能显著提高饲料的适口性和营养价值^[72]。秸秆的生物处理技术主要包括青贮^[62,64,73]、酶解、微生物分解(如乳酸杆菌、白腐真菌或细菌)^[74-76]等。综上,通过将秸秆青贮、秸秆氨化盐化、秸秆机械化加工和发展全混合口粮,可以有效提高奶牛产奶量和质量,降低饲料和劳力成本,显著提高反刍动物的养殖效益。

3 米糠和米糠油和利用

3.1 米糠和米糠油的饲用价值 我国属于米糠产生大国,据农业部统计,2018年我国年产米糠1 134万t^[77]。米糠是稻谷脱壳后依附在糙米上的表面层,由外果皮、中果皮、交联层、种皮及糊粉层组成,是大米加工的主要副产物,集中了64%的稻米营养素及90%以上的人体必需元素,通常占稻谷重量的5%~7%,富含近百种营养成分和数十种功能性生物活性因子,有非常高的饲用价值,市场应用前景广阔^[78-79]。米糠中各种成分的含量因稻谷原料和加工技术的不同而异,是一种很好的能量饲料,根据其加工方式可分为普通米糠、脱脂米糠和细米糠,其均是饲用化的潜在原料^[80]。一般而言,产蛋鸡对米糠的耐受量较肉鸡强,因此肉鸡饲料中的米糠添加量不要过大,而产蛋鸡的米糠添加量可适当增加,这是由于米糠中亚麻酸含量高,使用含脱脂米糠日粮的产蛋鸡蛋重往往有所增加^[81]。日粮中随着米糠使用量的增加,肉鸡生长速度显著下降,饲料转化率也逐渐降低^[82-83]。同时,米糠富含粗蛋白、粗脂肪和矿物质等营养物质,与玉米相比,氨基酸组成更合理^[84-85]。黄开华等^[86]研究发现,在饲料中使用米糠并同时使用复合添加剂,不但没有对蛋鸡的生产性能产生负面影响,而且还提高了产蛋率。刘丽等^[87]研究发现,饲喂单胃动物大量米糠,会引起蛋白质消化障碍和雏鸡胰腺肥大等症状。周安国等^[81,88]研究发现,米糠对猪的适口性不佳,如用于肉猪肥育,随用量的增加(取代玉米25%~100%),猪生长速度和饲料转化效率降低,所以猪出栏时间推迟,从而造成圈舍利用率降低。郝帅师等^[89-90]研究认为,在猪饲料中适量搭配米糠粕可降低饲养成本,但是用米糠替代部分玉米作为猪日粮时,米糠的喂量应控制在25%~30%,不宜超过30%。过多的米糠摄入将致使猪肉品质受到影响,

会产生低品质的软脂肉,还会引起猪皮炎等症;会使种猪体重过重,繁殖性能降低,降低其血小板数目和血小板压积,同时增加猪肉皮下脂肪的不饱和脂肪酸含量,降低猪肉饱和脂肪酸含量。长期米糠过量摄入还会引起仔猪腹泻,不利于其正常生长发育。综上,米糠的综合利用虽然是稻米副产品饲料化生产的重要一环,但是米糠在饲料中的使用量必须严格控制,否则对蛋鸡和生猪的生产均会产生负面效应,同时,米糠中的抗营养因子^[91-92]还需要更多的针对性研究,米糠饲用化的价值离不开米糠精加工产品的推出,这无疑是米糠饲料化利用的根本出路。

米糠油功效丰富,是一种营养价值和附加值都很高的油品,米糠油中含有饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸和部分生物活性物质。其中不饱和脂肪酸占60%~70%,不饱和脂肪酸含有油酸和亚油酸,部分生物活性物质包括维生素E、植物甾醇、角鲨烯和特有的 γ -谷维素。另外,米糠油不含长链饱和脂肪酸,不能形成反式脂肪酸^[93],对畜禽个体生长具有显著的促进效用。其也常作为热能的饲料原料加入配合饲料中,从而提高肉料比^[94]。前人研究发现^[95-97],米糠代谢能为7.2~7.8 MJ/kg,大约是玉米2.3倍,而米糠中主要的代谢能由米糠油构成,这对于家畜尤为重要。米糠油不仅可以作为能量补充剂在高温环境中提高畜禽抗热能力、避免热应激,还可以改善色素及脂溶性维生素的吸收利用,提高饲料的适口性^[79,98]。

3.2 米糠和米糠油的饲料化生产 米糠是玉米豆粕型饲料重要替代产品。米糠富含营养,但由于生米糠中含有油脂,易被脂肪酶分解,特别在高温多湿的夏季,会迅速产生游离脂肪酸,产生油脂酸败,使酸值急剧上升。另外,微生物污染也可使酸值上升,这大大限制了米糠饲料化使用的范围^[87,90]。米糠的稳定化是提高米糠附加值,增加原料利用效率的技术关键。米糠经过脱脂、高温膨化处理,蛋白质和脂肪酸品质提高,部分抗营养因子含量降低,这意味对米糠进行处理不仅可以提高其饲用化的效率,更可以降低大量米糠摄入对畜禽的影响^[82,85-87]。前人研究发现,米糠直接饲喂牲畜常带来生产上的不良影响,为促成米糠的深度利用,饲料化利用中常对米糠进行物理处理、化学处理和生物处理,以便于米糠稳定化利用,关键技术就是要抑制或钝化米糠中的脂酶,又称脱酶,而米糠稳定化的机理是采用高温高压高剪切使脂酶钝化失活,从而延缓其酸败变质^[99]。米糠处理的常见方法有挤压蒸煮、脱脂、加酶制剂和抗氧化剂等^[100-104]。而米糠油和脱脂米糠均为米糠的进一步加工产品,其中米糠油作为饲料加工中的重要添加剂,前人已对其精炼作了大量研究,其提取方法包括溶剂浸出法、压榨法、超临界CO₂浸出法、酶催化浸出制油法等^[105-109]。

4 小结与展望

长江中下游地区作为我国南方稻米生产的重要基地,也是稻米产业化发展的最前线。劣质早籼稻和稻米生产过程中产生的大量加工副产品,正成为稻米产业化健康发展和区域饲料精加工产业发展的桎梏。目前我国稻米副产物利用产业化还较弱,其饲料化加工的科技含量和高附加值产品都

有待提升。综上所述,基于全产业链和全利用的思路,碎米和饲料稻以及稻秸秆和米糠等稻米产业副产品的综合利用前景仍然广阔,对贯通稻米产业化和饲料工业化的双向进步,促进资源节约化利用和能源回收具有重要意义,符合国家节能减排和可持续发展的基本国策。

参考文献

- [1] 张洪程,郭保卫,龚金龙,等.加快发展水稻丰产栽培机械化 稳步提升我国稻作现代化水平[J].中国稻米,2013,19(1):3-6.
- [2] 成升魁,徐增让,谢高地,等.中国粮食安全百年变化历程[J].农学学报,2018,8(1):186-192.
- [3] 亢霞,杜天一.我国稻米产业现状,发展瓶颈及对策建议[J].农场经济管理,2014(12):4-7.
- [4] 郭金花,刘晓洁,吴良,等.我国稻谷供给与消费平衡的时空格局[J].自然资源学报,2018,33(6):954-964.
- [5] 徐庆国,刘红梅,徐持平,等.推进农业供给侧结构性改革的探讨[J].作物研究,2016,30(6):607-611.
- [6] 韩长斌.着力推进农业供给侧结构性改革[J].求是,2016(9):37-39.
- [7] 孔宪琴,董翠,张克勤,等.我国稻米产业形势与企业发展策略[J].中国稻米,2013,19(6):32-34,36.
- [8] 肖玉,成升魁,谢高地,等.我国主要粮食品种供给与消费平衡分析[J].自然资源学报,2017,32(6):927-936.
- [9] 师园园,王娉婷,李长乐,等.大米加工副产品的综合利用[J].粮食加工,2017,42(5):27-29.
- [10] 张树林,徐正进,曾亚琴.我国食用粳米生产加工现状、问题与对策[J].沈阳农业大学学报,2003,34(5):385-388.
- [11] 李楠楠,赵思明,张宾佳,等.稻米副产品的综合利用[J].中国粮油学报,2017,32(9):188-192.
- [12] TORRES M D,SEIJO J.Water sorption behaviour of by-products from the rice industry[J].Industrial crops and products,2016,86:273-278.
- [13] 俞兰苓,黄小平.碾米工业副产品的综合利用[J].粮食与饲料工业,2011(5):54-58.
- [14] 李俊荣,杨新宇,单春花,等.2016年国内外牛饲料营养的研究进展[J].粮食与饲料工业,2017(9):60-67.
- [15] 杨荣,朱双红,王华朗,等.大米加工主要副产品资源在畜禽饲料中的应用[J].广东饲料,2018,27(9):39-42.
- [16] 潘迪子,胡贵丽,王玉诗,等.大米及其加工副产品在肉鸡生产中的应用[J].饲料研究,2017(1):48-52.
- [17] 周显青,崔岩珂,张玉荣,等.我国碎米资源及其转化利用技术现状与发展[J].粮食与饲料工业,2015(2):29-34.
- [18] 周显青,杨继红,张玉荣.国内外米糠资源利用现状与发展[J].粮食加工,2014,39(5):24-29.
- [19] 周凤超,王藤宇,关海宁,等.米糠蛋白的提取及应用现状[J].粮食加工,2010(1):55-57.
- [20] 陈正行,姚惠源,周素梅.米蛋白和米糠蛋白开发利用[J].粮食与油脂,2002(4):6-9.
- [21] 顾克军,张斯梅,许博,等.江苏省水稻秸秆资源量及其可收集量估算[J].生态与农村环境学报,2012,28(1):32-36.
- [22] 徐德胜,张鸿燕,黄振侠.秸秆资源化利用现状及展望[J].现代园艺,2018(2):46-48.
- [23] 唐为民,呼玉山.我国稻米饲用及饲料型稻米开发[J].粮食与食品工业,2004,12(2):31-33.
- [24] 吴朝晖,周瑞庆.饲用稻高产与高蛋白的农艺协调研究进展[J].作物研究,2001,19(3):59-63.
- [25] 饲料稻“三壮三高”综合栽培技术及应用理论研究协作组.饲料稻“三壮三高”综合栽培技术及应用理论研究 I.研究概要[J].作物研究,1999,13(2):4-7.
- [26] 严松,任传英,孟庆虹,等.碎米及米糠在食品工业中的综合利用[J].食品科学,2011,32(S1):132-134.
- [27] 王秀.米糠油在饲料生产中的应用[J].江西畜牧兽医杂志,2009(1):29-30.
- [28] 高经梁,刘玉兰,高伟梁,等.米糠的高效利用研究[J].粮食加工,2012,37(4):32-35.
- [29] 吕莹果,季慧,张晖,等.米糠资源的综合利用[J].粮食与饲料工业,2009(4):19-22.
- [30] 滕碧蔚.碎米资源及其综合利用概述[J].轻工科技,2013(1):13-14,31.
- [31] 俞兰苓,黄小平.碾米工业副产品的综合利用[J].粮食与饲料工业,2011(5):54-58.
- [32] 周艳华,覃世民,胡元斌,等.稻米深加工及其副产品的综合利用[J].食品与发酵科技,2012,48(4):3-6.
- [33] 迟明梅,方伟森.碎米资源的综合利用[J].粮食加工,2006(4):39-41.
- [34] 李新华,姜金宏,祁琛杰.碎米和米糠制备营养米糊的工艺与配方研究[J].沈阳农业大学学报,2012,43(1):72-75.
- [35] 陈静静,孙志高.大米蛋白的研究进展[J].粮油食品科技,2008,16(6):8-10.
- [36] ROBELS A,EWAN R C.Utilization of energy of rice and rice bran by young pig[J].Journal of animal science,1982,55(3):572-577.
- [37] ALCANTARA P E,CORDOVA E D,VILLETA M O, et al.Substitution values of rice bran(D)and rough rice(palay)for growing finishing swine rations[J].Philippine journal of veterinary and animal science,1989,15(1/2):1-22.
- [38] 江容生,罗永刚.用稻谷代替玉米饲喂生长鸡的试验效果[J].畜禽业,2012(10):34-36.
- [39] 贺建华,徐庆国,黄美华,等.饲料用稻谷和糙米的营养特性[J].中国水稻科学,2000,14(4):229-232.
- [40] 夏晨,赵国斌.稻谷取代玉米饲喂生长肥育猪试验研究[J].中国饲料,2001(3):28-29.
- [41] 李丽立,张彬,杨坤明,等.稻谷替代玉米饲喂肉鸭对资源和环境的影响[J].长江流域资源与环境,2002,11(1):60-63.
- [42] 沈维军,张石蕊,范志勇,等.饲料中糙米替代玉米的比例对饲料制粒性能的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(2):161-163.
- [43] 高国海,董桃喜.用糙米代替玉米饲喂太湖猪的初步研究[J].湖北农业科学,1993(11):25-26.
- [44] 左家斌,吴厚义,彭伟兵,等.稻谷日粮与玉米日粮喂猪的效果对比[J].江西畜牧兽医杂志,1999(2):40-42.
- [45] 农业部新闻办公室.全国农作物秸秆资源调查与评价报告[J].农业工程技术(新能源产业),2011(2):2-5.
- [46] 王长波,平英华,刘先才,等.我国秸秆资源“五化”利用研究进展[J].安徽农业科学,2018,46(7):22-26,29.
- [47] 方放,李想,万祖梁,等.黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J].农业工程学报,2015,31(2):228-234.
- [48] 李海亮,汪春,孙海天,等.农作物秸秆的综合利用与可持续发展[J].农机化研究,2017(8):256-262.
- [49] 毕于运,高春雨,王亚静,等.中国农作物秸秆资源数量估算[J].农业工程学报,2009,25(12):211-217.
- [50] 龚静静,胡宏祥,朱昌雄,等.秸秆还田对农田生态环境的影响综述[J].江苏农业科学,2018,46(23):36-40.
- [51] ADESODUN J K,MBAGWU J S C,OTI N.Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems[J].Soil & tillage research,2001,60(3/4):135-142.
- [52] 王永胜,刘荣.生物质秸秆转化利用技术研究进展[J].贵州农业科学,2008,46(12):149-153.
- [53] 马春红,刘旭,李运朝,等.秸秆转化为生物质能源利用研究[J].安徽农业科学,2011,39(7):2146-2147,4150.
- [54] 王英琪,杨宏志,孟海波,等.沼液预处理玉米秸秆产沼气工艺参数优化[J].农业工程学报,2018,34(23):239-245.
- [55] 冯素飞,蒋高明,孔令杰,等.农业生物质资源在生态农业中的应用:秸秆转化效率研究[J].工程研究-跨学科视野中的工程,2012,4(1):10-18.
- [56] 王永军,郭航,田秀娥.农作物秸秆饲料化的技术路线与关键技术[J].家畜生态学报,2015,36(12):6-11.
- [57] 张艳菊.秸秆饲料加工技术和利用综述[J].当代畜牧,2016(5):49-50.
- [58] 张祖立,刘晓峰,李永强,等.农作物秸秆膨化技术及膨化机理分析[J].沈阳农业大学学报,2001,32(2):128-130.
- [59] 刘博群,鞠美庭,刘金鹏,等.我国青贮技术发展的关键问题及解决对策[J].生态经济,2013(1):231-236.
- [60] 张佩华,王加启,贺建华,等.青贮对饲料稻秸秆 DM 和 NDF 瘤胃降解特性的影响[J].草业科学,2008,25(6):80-84.
- [61] 陈继富,王文浩,周伟.高蛋白整粒秸秆氮化饲料及其技术研究[J].陕西农业科学,2005(2):6-8.
- [62] 文奇男.不同添加剂对水稻秸秆品质及奶牛生产性能的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.
- [63] 门宇新.添加乳酸菌制剂和酶制剂对水稻秸秆贮藏发酵品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2007.
- [64] 赵金鹏,赵杰,李君凤,等.不同添加剂对水稻秸秆青贮发酵品质和结构性碳水化合物组分的影响[J].南京农业大学学报,2019,42(1):152-159.
- [65] 沙洪林,佟时,张维友,等.我国农作物秸秆产生及综合利用现状分析[J].吉林农业科学,2010,35(4):51-55.
- [66] 刘辉,徐荣,董克.基于氨化技术的作物秸秆饲料化研究[J].青海师范大学学报(自然科学版),2017(2):59-63.
- [67] 彭远荣.秸秆饲料碱化处理技术[J].中国畜牧兽医文摘,2012,28(3):192.
- [68] 王小琴,张耿峻,黄志华,等.不同氧化剂辅助光催化反应对提高木质

- 纤维素酶解效果的影响[J/OL].环境科学研究,2019-01-24[2019-03-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1827.X.20190124.1113.001.html>.DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.
- [69] 阿依肯·叶留拜,刘富强,温宝琴,等.农作物秸秆饲用化加工技术装备研究[J].安徽农业科学,2019,47(1):224-226.
- [70] 袁洪方,王德成,王光辉,等.秸秆铡切揉搓装置优化设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(S1):153-157.
- [71] 刘希锋,宋秋梅,闫景凤.全混合日粮搅拌机性能分析与评价[J].农机化研究,2009(11):80-82.
- [72] 康宏彬.小型制粒试验平台研制及颗粒强度分布规律研究[D].北京:中国农业大学,2015.
- [73] 石祖梁,邵宇航,王飞,等.我国秸秆综合利用面临形势与对策研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(10):30-36.
- [74] 陈凌华,杨志坚,程祖铨.添加酶制剂和乳酸菌对水稻秸秆青贮质量的影响[J].中国饲料,2018(20):81-85.
- [75] 陈兴,茅慧玲,王佳莹,等.外源纤维酶制剂对青贮玉米体外发酵特性以及甲烷生成的影响[J].动物营养学报,2013,25(1):214-221.
- [76] 席兴军,韩鲁佳,原慎一郎,等.添加乳酸菌和纤维素酶对玉米秸秆青贮饲料品质的影响[J].中国农业大学学报,2003,8(2):21-24.
- [77] 中华人民共和国国家统计局.国家统计局关于2018年粮食产量的公告[R].2018.
- [78] 刘靖,张石蕊.米糠的营养价值及其开发利用[J].湖南饲料,2010(3):12-14,17.
- [79] 周显青,杨继红,张玉荣.国内外米糠资源利用现状与发展[J].粮食加工,2014(5):24-29.
- [80] 周显青.稻谷精深加工技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [81] 周安国.饲料手册[M].北京:中国农业出版社,2002:134-192.
- [82] 葛蔚,高玲,李巧英,等.米糠基础日粮添加不同剂量粗酶制剂对肉仔鸡生产性能的影响[J].饲料工业,2008,29(19):34-35.
- [83] ZARE-SHEIBANI A A, ARAB M, ZAMIRI M J, et al. Effects of extrusion of rice bran on performance and phosphorous bioavailability in broiler chickens[J]. Journal of animal science and technology, 2015, 57:1-5.
- [84] 陈季旺,姚惠源.大米蛋白的开发利用[J].食品工业科技,2002,23(6):87-89.
- [85] 吕莹果,季慧,张晖,等.米糠资源的综合利用[J].粮食与饲料工业,2009(4):19-22.
- [86] 黄开华,沈静,杨海明,等.米糠在蛋鸡生产中研究与应用[J].家禽科学,2017(3):45-46.
- [87] 刘丽,井铸忠.米糠粕的营养价值及其在畜禽生产中的应用[J].饲料广角,2010(11):44-45.
- [88] 李德发.猪的营养[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003.
- [89] 郝帅帅,张叶秋,马翔,等.米糠替代部分玉米的高纤维日粮对苏淮母猪健康及脂肪相关指标的影响[J].畜牧与兽医,2016,48(5):18-25.
- [90] 王秀.米糠在畜禽饲料中的应用[J].农业养殖技术,2009(15):35.
- [91] 尹喜海,姜凤,王伟杰.米糠中的抗营养因子及消除方法研究进展[J].吉林畜牧兽医,2012(5):29-32.
- [92] 王冲,姜玉杰.常见饲料中抗营养因子及对动物的影响[J].家畜生态,2000,21(4):39-43.
- [93] 王秀.米糠油在饲料生产中的应用[J].江西畜牧兽医杂志,2009(1):29-30.
- [94] 丁丽,周维仁,章世元,等.米糠油生理功能及制取工艺的研究[J].粮食与食品工业,2009,16(4):9-11,17.
- [95] 陈宗道,阙健全.食用油脂化学[M].重庆:西南师范大学出版社,1997.
- [96] 侯景芳.米糠油的功用及品质变化研究[J].农产品加工,2014(4):39-40.
- [97] 潘亚萍.米糠的开发与应用[J].中国油脂,2010(6):52-54.
- [98] 叶虔臻,王微,李春松,等.米糠油应用研究进展[J].食品工业科技,2019,40(3):300-306.
- [99] 姚惠源.米糠稳定化技术及其食品开发[J].粮油食品科技,2002,10(3):4-6.
- [100] 赵旭,李新华,郑焱焱.米糠稳定化方法的研究现状[J].粮食加工,2006,31(6):41-43.
- [101] 谢婷,程江华,闫晓明,等.米糠油工业化制取关键技术研究现状和进展[J].粮食与油脂,2015,28(11):6-9.
- [102] 张金建,唐思煜,赵优萍,等.低温破壁法与溶剂浸出法制备米糠油研究[J].浙江科技学院学报,2016,28(6):450-455.
- [103] 阮剑均,宦海琳,闫俊书,等.不同抗氧化剂对米糠毛油氧化稳定性的影响[J].中国饲料,2013(20):26-29.
- [104] 马超,廖宇杰,杨涛,等.微波辅助酶法提取米糠油的工艺研究[J].食品科技,2014,39(3):132-135.
- [105] 孙端贞.小米糠中亚油酸的提取及深加工利用[D].太原:山西大学,2013.
- [106] 霍文兰.超临界CO₂流体萃取法和溶剂法萃取米糠油脂脂肪酸成分研究[J].中国油脂,2009,34(8):77-79.
- [107] 郭梅,刘敏尧,王娜,等.酶催化浸出米糠油的研究[J].食品科学,2009,29(11):201-202.
- [108] 谢婷,程江华,闫晓明,等.米糠油工业化制取关键技术研究现状和进展[J].粮食与油脂,2015,28(11):6-9.
- [109] 唐卿雁,高瑞霞,黄润,等.酶法辅助提取米糠油的工艺条件探讨[J].食品研究与开发,2015,36(23):103-105.

(上接第9页)

- [5] TRUCKESS M W, STOLOFF L, YOUNG K, et al. Aflatoxigenic and aflatoxins B1 and M1 in eggs and tissues of laying hens consuming aflatoxin-contaminated feed[J]. Poultry science, 1983, 62(1):2176-2182.
- [6] IBEH I N, URAIH N, OGONAR J L. Dietary exposure to aflatoxin in human male infertility in Benin City, Nigeria[J]. International journal of fertility and menopause studies, 1994, 39(4):208-214.
- [7] DEY R, PAL K K, BHATT D M, et al. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Microbiological research, 2004, 159(4):371-394.
- [8] 何红,邱恩鑫,胡方平,等.植物内生细菌生物学作用研究进展[J].微生物学杂志,2004,24(3):40-45.
- [9] 姚彦彬,张立田,郑百芹,等.花生黄曲霉毒素污染生防细菌筛选及菌株 B85-1 的鉴定和抗菌活性[J].花生学报,2016,45(3):20-26.
- [10] 姚彦彬,丁丹,张友青,等.玉米黄曲霉毒素污染生防细菌筛选及菌株 B42-3 抗菌活性研究[J].中国粮油学报,2018,33(3):84-88.
- [11] HUANG Y, ADAMS M C. In vitro assessment of the upper gastrointestinal tolerance of potential probiotic dairy propionibacteria[J]. International journal of food microbiology, 2004, 91(3):253-260.
- [12] 东秀珠,蔡妙英.常见细菌系统鉴定手册[M].北京:科学出版社,2001.
- [13] WU F, KHLANGWISET P. Health economic impacts and cost-effectiveness of aflatoxin-reduction strategies in Africa: Case studies in biocontrol and post-harvest interventions[J]. Food additives and contaminants, 2010, 27(4):496-509.
- [14] LIU Y, WU F. Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: A risk assessment[J]. Environmental health perspectives, 2010, 118(6):818-824.
- [15] VAN EGMOND H, DRAGACCI S. Liquid chromatographic method for aflatoxin M1 in milk[J]. Methods in molecular biology, 2001, 157:59-69.
- [16] TEKIN ŞEN K K, EKEN H S. Aflatoxin M1 levels in UHT milk and kashar cheese consumed in Turkey[J]. Food and chemical toxicology, 2008, 46:3287-3289.
- [17] KIRK G D, BAH E, MONTESANO R. Molecular epidemiology of human liver cancer: Insights into etiology, pathogenesis and prevention from The Gambia, West Africa[J]. Carcinogenesis, 2006, 27(10):2070-2082.
- [18] GROOPMAN J D, KENSLER T W, WILD C P. Protective interventions to prevent aflatoxin-induced carcinogenesis in developing countries[J]. Annual review of public health, 2008, 29:187-203.
- [19] 孔青,刘奇正,于方塘,等.1株海洋芽孢杆菌抑制黄曲霉生长和毒素合成的研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2010,36(4):387-392.
- [20] ABBAS H K, ZABLOTOWICZ R M, BRUNS H A, et al. Biocontrol of aflatoxin in corn by inoculation with non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* isolate[J]. Biocontrol science and technology, 2006, 16(5):437-449.