

# 秸秆能源化利用技术综述

陈明波,汪玉璋,杨晓东,陈静

(扬州市邗江区农产品质量监督检测中心,江苏 扬州 225009)

**摘要:** 秸秆能源化利用技术是近年来迅速发展起来的生物质能利用新技术,我国农作物秸秆资源丰富,秸秆生物质资源的有效利用对解决环境污染和优化能源结构具有重要的意义。综述了秸秆固化、秸秆沼气、秸秆气化、秸秆发电、秸秆液化等秸秆能源化利用技术的原理,分析了各类技术的发展状况及存在的问题,认为在部分技术中存在生产成本高、技术不成熟、生产效率低、能耗高、行业标准缺失等问题,最后展望了秸秆能源化利用技术的发展和未来发展趋势。

**关键词:** 秸秆; 能源化利用; 技术

**中图分类号:** S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8581(2014)12-0066-04

## Summary of Straw Energy Utilization Technology

CHEN Ming-bo, WANG Yu-zhang, YANG Xiao-dong, CHEN Jing

(Center of Agricultural Product Quality Supervision and Inspection in Hanjiang District of Yangzhou City, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** The energy-from-straw utilization technology is a new biomass energy utilization technology which is rapidly developed in recent years. There are rich crop straw resources in China, and the effective use of straw biomass resources has important significance for the solution of environmental pollution problem and the optimization of energy structure. The article summarizes the principle of energy-from-straw utilization technologies (straw curing, straw biogas, straw gasification, straw power-generation, straw liquefaction, etc.), and analyzes the developmental status and existing problems of various technologies. We think that some technologies have the following problems: high cost of production, immature technology, low productivity, high energy consumption, and lack of industrial standards. Finally the author discusses the developmental direction and future trend of straw energy utilization technology.

**Key words:** Straw; Energy utilization; Technology

能源是人类赖以生存的物质基础,我国能源供应主要依靠煤炭、石油和天然气等化石能源,化石能源资源的有限性及其开发利用过程对生态环境造成的巨大压力,严重制约着经济社会的可持续发展。因此,开发清洁的可再生能源已成为解决我国能源与环境问题的一条重要途径。农作物秸秆作为生物质能资源的主要来源之一,是目前世界上仅次于煤炭、石油以及天然气的第四大能源<sup>[1]</sup>,在世界能源总消费量中占14%<sup>[2]</sup>。目前秸秆生物质资源开发利用的主要技术有固化成型技术、直燃及气化发电技术、气化集中供气技术、热裂解液化技术、秸秆沼气发酵技术以及制取燃料乙醇技术等<sup>[3]</sup>。本文从应用层面对秸秆能源化利用各类技术原理进行了综述,分析了各类技术的发展状况及存在的问题,并展望了秸秆能源化利用技术的发展和未来发展趋势,旨在为秸秆能源化利用和相关产业发展提供参考。

## 1 秸秆生物质能源

生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物质中

的能量,它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用。在风能、生物质能、太阳能、地热等可再生能源中,生物质能是唯一可存储和运输的可再生能源。作为生物质能的主要来源之一<sup>[4]</sup>,农作物秸秆与化石能源相比具有来源丰富、清洁环保、可再生、分布分散等特点,其主要成分为纤维素、半纤维素和木质素,其中纤维素含量为40%~55%、半纤维素含量为10%~25%、木质素含量为20%~30%<sup>[5]</sup>。木质素除自身难以分解外,还常与纤维素、半纤维素等成分相互缠绕,形成致密的空间结构进而阻碍纤维素的降解<sup>[6]</sup>。因此,秸秆转化利用的关键是将其主要组分(纤维素、半纤维素和木质素)进行有目的地转化利用。如何通过物理、化学、热解以及生物学方法实现秸秆资源的高效转化利用已成为生物能源工作者的研究热点。

## 2 秸秆能源化利用技术

**2.1 秸秆固化成型技术** 秸秆固化成型是指在一定温度和压力作用下,利用固化成型设备将秸秆压缩成

收稿日期:2014-06-06

作者简介:陈明波(1981—),男,河南平顶山人,农艺师,硕士,主要从事农业生态环境保护与农村能源工作。

棒状、块状或颗粒状等成型燃料的技术<sup>[7-9]</sup>。秸秆生物质的基本组织是纤维素、半纤维素和木质素,它们在适当的温度(通常为 200~300℃)下可以软化,利用这一特性,用压缩成型机械将经干燥和粉碎过的松散生物质废料在超高压(0.5~1.0 t/cm<sup>2</sup>)的条件下,靠机械与生物质废料之间及其生物质废料相互之间摩擦产生的热量或外部加热,使纤维素、木质素软化,经挤压成型后得到具有一定形状和规格的新型燃料<sup>[3]</sup>。秸秆固化成型基本生产工艺流程包括: 秸秆收集、粉碎、干燥、混料、成型、冷却、包装等程序。固化成型后的秸秆燃料,密度可达 0.8~1.2 t/m<sup>3</sup><sup>[10]</sup>,热值可达 13~25 MJ/m<sup>3</sup><sup>[11]</sup>,可代替木柴、原煤、燃油、液化气等,广泛用于生物质锅炉、生活炉灶、生物质发电等。

根据秸秆压缩成型设备工作原理的不同,可将秸秆固化成型设备分为三大类<sup>[12]</sup>,即螺旋挤压型成型设备、活塞冲压型成型设备、辊压型成型设备。螺旋挤压型成型设备主要依靠锥形螺旋推进器旋压成型; 活塞冲压型成型设备通常不用加热,物料由活塞推动挤压成型,该技术成型密度较大,对物料含水量要求较宽,但生产率较低,产品质量不太稳定,成型模腔容易磨损,一般模腔平均寿命为 100 h 左右; 辊模成型设备依靠物料挤压成型时产生的摩擦热即可使物料软化、黏合,对原料的含水率要求较宽,一般在 10%~18% 均能成型,该技术效率较高,辊模使用寿命较长,可达 1000 h 以上<sup>[13]</sup>。

固化成型工艺可分为三大类: 一是热成型工艺,根据原料被加热的部位不同,又可细分为 2 类: 一类是原料在进入压缩结构之前和在成型部位分别加热,称为预热热压成型工艺; 另一类是原料只在成型部位加热,称为非预热热压成型工艺。从实际应用情况看,由于预热成型工艺能耗较高、生产工序复杂,非预热热压成型工艺在市场中占主导地位。二是常温成型工艺,秸秆常温成型工艺即在常温条件下将生物质燃料经过粉碎、干燥等预处理后放入秸秆压块机械挤压成型的过程。常温成型工艺一般需要很大的成型压力,有时需要在成型过程中加入一定的黏结剂。除了上述 2 种主要的成型工艺外,目前市场上采用的还有炭化成型工艺等<sup>[3]</sup>。

**2.2 秸秆沼气技术** 秸秆沼气技术以秸秆为发酵原料,在隔绝空气并维持一定温度、湿度、酸碱度等条件下,经过沼气细菌的发酵作用生产沼气。沼气是一种混合气体,主要成分是甲烷,其次为二氧化碳、氧气、氮气和硫化氢等,其中甲烷含量为 55%~70%,沼气热值为 20~25 MJ/m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>。根据处理工艺秸秆,沼气发酵可分为干法和湿法发酵两类; 另外从工程规模和利用方式上又可分为户用秸秆沼气和秸秆沼气集中供气工程两类。由于秸秆不易被厌氧微生物及酶直接利用,因

此在发酵前需对其进行预处理。秸秆中的 C/N 比较高<sup>[14]</sup>,在 50 以上,高于正常发酵所需的 20~30,因此在发酵时需添加富含氮素的原料,如碳酸氢铵、尿素或动物粪污等,以减少发酵启动时间,提高沼气产量<sup>[15]</sup>。

生物质秸秆的预处理方法大体上分为物理法、化学法、热处理法和生物法四大类<sup>[16-17]</sup>。物理法主要是通过粉碎、揉丝、浸泡等方法,改变秸秆的外部形态或内部组织结构; 化学处理就是利用化学制剂(氢氧化钠、氨水等)破坏秸秆细胞壁中半纤维素与木质素形成的共价键,从而达到提高秸秆消化率的目的<sup>[14]</sup>。此方法处理后秸秆中残存的化学试剂可能对沼气发酵产生抑制作用以及易引起环境的二次污染等问题限制了其应用。热处理法目前应用的主要是高压水蒸气爆破法,通过高压水蒸气爆破破坏秸秆结构,提高秸秆利用率<sup>[14]</sup>。该方法的处理成本较高,需要专用的设备,因而在推广应用中受到了限制。生物法主要是利用微生物对秸秆进行预处理,主要包括以乳酸菌为核心的青贮方法,以降解木质素的白腐真菌为核心的绿秸灵复合菌剂<sup>[18]</sup>,以及利用沼液中的水解微生物对秸秆进行堆沤等<sup>[19]</sup>。生物法处理成本较低,条件温和且无需专门的设备设施,处理效果较好,因而近年来受到极大的关注,在实践中应用较多。秸秆户用沼气以秸秆作为沼气发酵原料,通过秸秆发酵菌剂(绿秸灵复合菌剂等)预处理秸秆,利用甲烷细菌发酵产生沼气。一般一口 8 m<sup>3</sup> 的沼气池,需 400 kg 秸秆、1 kg 秸秆发酵菌剂、15 kg 左右碳酸氢铵、4 t 左右的水,10%~15% 的接种物,可持续产气 8~10 个月<sup>[20]</sup>。主要工艺流程分为秸秆预处理—投料—加水封池—点火试气等几个阶段。

秸秆沼气工程根据秸秆物料在反应器中的形态不同可分为液态消化工艺、固态消化工艺和固液两相消化工艺<sup>[21]</sup>。液态消化是指秸秆物料在有流动水状态下进行的厌氧消化过程。消化反应器通常为立式或卧式,通常采用序批式或连续式进出料方式,沼液回流循环使用。固态消化工艺主要有车库(集装箱)式、红泥塑料和覆膜槽干式厌氧消化工艺,以序批式投料为主,大都采用多个不同消化阶段反应器并联的方式运行,以保证整个系统产气稳定。固液两相消化工艺通过将固相和液相发酵原料分在不同区域,以达到产酸相和产甲烷相分离,有利于产酸菌和产甲烷菌在各自的反应区内保持适宜的生长环境,并利用沼液回流实现循环接种<sup>[22]</sup>。

**2.3 秸秆气化技术** 秸秆热解气化是指秸秆原料在缺氧状态下发生热化学反应转化为气体燃料的能量转换过程<sup>[24-25]</sup>。生物质是由碳、氢、氧等元素组成的,当生物质原料在气化炉中燃烧时,随着温度的升高,燃烧产生的气体与赤热的炭层反应,转换为含一氧化碳、氢气、甲烷等成分的可燃气体。热解气化过程主要分为

秸秆干燥、裂解反应、氧化反应、还原反应 4 个阶段<sup>[6]</sup>。秸秆燃气经冷却、除尘、除焦等处理后,可供民用炊事、取暖、发电等使用。

根据气化工工艺不同,秸秆气化炉可分为固定床秸秆气化炉和流化床气化炉 2 种类型<sup>[7]</sup>。固定床气化炉又可进一步细分为固定床上吸式气化炉和固定床下吸式气化炉两类。固定床上吸式气化炉进料口位于炉体顶部,物料由炉顶加料口进入炉内,炉内料层自上而下分别为干燥层、热解层、还原层和氧化层;气化剂由炉体底部的进风口进入炉内参与气化反应。固定床下吸式气化炉物料由炉顶加料口加入炉内,气化剂由炉体上部进风口和炉顶进风口进入炉内,可燃气最终通过炉体下部排出<sup>[8]</sup>。流化床气化炉流化床材料为精选过的惰性材料沙子,物料通过输送搅龙进入炉内,炉底以较大压力通入气化剂,使炉内呈沸腾、鼓泡等不同状态,物料和气化剂的充分接触,发生气化反应。该类气化炉具有受热均匀、气化反应快、产气率高、燃气焦油含量少等优点<sup>[9]</sup>,但其对秸秆物料大小要求严格,气化炉结构复杂,可燃气中灰分较多,实践中应用较少。

**2.4 秸秆发电技术** 秸秆发电技术是以农作物秸秆为原料的一种发电方式,根据秸秆利用方式的不同,主要有以下 3 种技术路线:秸秆直接燃烧发电、秸秆/煤混合燃烧发电、秸秆气化发电<sup>[10-11]</sup>。截止 2010 年 6 月底,国内各级政府核准的生物质秸秆发电项目累计超过了 170 个,总装机容量从 2006 年的 1400 MW 增长到了 2010 年的 5500 MW,并有 50 多个项目成功实现了并网发电,发电装机容量达 2000 MW 以上<sup>[12]</sup>。

秸秆直接燃烧发电是指把秸秆原料送入锅炉中直接燃烧产出高压水蒸汽,通过汽轮机的涡轮膨胀做功,驱动发电机发电。目前,秸秆直接燃烧发电技术主要有 2 类,分别为水冷式振动炉排燃烧发电技术和流化床燃烧发电技术<sup>[13-14]</sup>。秸秆混合燃烧发电是指使用秸秆和煤的混合燃料进行发电,秸秆混合燃烧方式主要有直接混合燃烧、间接混合燃烧和并联燃烧 3 种方式<sup>[15]</sup>。直接混合燃烧是指在秸秆预处理阶段,将粉碎处理好的秸秆与煤粉在进料的上游充分混合后,输入锅炉燃烧。间接混合燃烧是指先对秸秆进行气化,然后将秸秆燃气输送至锅炉燃烧。并联混合燃烧指秸秆在独立的锅炉中燃烧,将产生的蒸汽与传统燃煤锅炉产生的蒸汽一并供给汽轮机发电机组做功。秸秆气化发电是指,首先使生物质原料在缺氧状态下发生热化学反应转化为气体燃料(一氧化碳、氢气、甲烷),然后将转化后的可燃气由风机抽出,经冷却除尘、去焦油和杂质后,供给内燃机或者小型燃气轮机,带动发电机发电。目前秸秆气化发电主要用于较小规模的发电项目<sup>[16]</sup>。

**2.5 秸秆液化技术** 秸秆液化是指通过物理、化学或生物学方法,使秸秆中的木质素、纤维素等转化为醇类、可燃性油或其他化工原料<sup>[16-17]</sup>。根据生物质液化方式的不同,主要分为直接液化、高温高压液化、微波液化 3 种形式<sup>[18]</sup>。

直接液化是指在中低温、高压并有催化剂参与情况下,将生物质转化为液体的热化学反应过程,通常有还原性气体(例如氢气、一氧化碳等)参与反应。根据液化目的不同,可将直接液化细分为两大类:一类是反应产物保留植物纤维原料的大分子结构,主要目的是制备天然高分子材料;另一类是破坏原料的大分子结构,将植物纤维原料转化成小分子后再加以利用,如生产乙醇等。由秸秆生产乙醇主要包括预处理、水解和发酵三大步骤,预处理主要是通过物理、化学、热解以及生物法等破坏木质纤维素的结构,分离或脱除生物质中木质素,增加生物质的孔隙率,提高接触比表面积和酶对纤维素的可及性,从而提高转化率<sup>[19]</sup>。预处理后的秸秆物质在一定温度和催化剂作用下,其中的纤维素和半纤维素经水解过程转化为单糖,再通过微生物发酵技术,将其转化为乙醇<sup>[20]</sup>。

高温高压液化是指在高压下发生热化学反应的过程,典型的液化工艺是在较高的压力和温度(300~500℃)以及在催化剂存在下进行的。此方式需要消耗大量的能量,同时对设备耐压要求较高,目前研究较多的主要有秸秆制柴油等技术。以秸秆等木质纤维素为原料,通过快速热解液化、加压催化液化等转化分离出碳水化合物<sup>[21]</sup>,再经水解、发酵、转酯化过程制备生物柴油<sup>[22]</sup>。微波液化是指利用微波辐射使小分子极性物质产生物理效应,从而加速反应、改变反应机理或启通新的反应通道的一项技术。一般情况下,微波能量越高,辐射时间越长,添加的催化剂越多,液化效率就越高。

### 3 秸秆能源化技术存在的问题

一是在秸秆固化方面,主要是成型设备标准不统一、生产率低、能耗高、主要工作部件的使用寿命短、易出故障、易损件费用高、设备系统配合协调能力差、运行不稳定等。二是在秸秆沼气方面,主要为沼气反应体系不稳定,秸秆消化效率不高,中高浓度的秸秆易结壳、出料困难,反应器设计有待优化等问题<sup>[23-24]</sup>。三是在秸秆气化方面,主要问题是燃气热值低,一般在 5 MJ/m<sup>3</sup> 左右;焦油含量过高,焦油占秸秆气总能量的 5%~15%,在低温下焦油凝结为液态,容易堵塞送气管道和燃烧灶具<sup>[25]</sup>。目前采用较为广泛的湿法除尘除焦技术容易带来处理水的二次污染问题。四是在秸秆发电方面,目前国产秸秆发电锅炉结焦、腐蚀和效率低等问题还不能得到很好的解决,秸秆发电核心技术和设备大部分依靠进口,价格昂贵,在现有的技术水平

下,生物质发电成本约为煤电的 1.5 倍<sup>[6-4]</sup>。五是在秸秆液化方面,目前国内外对秸秆液化机理和数学模型的研究还很欠缺,秸秆预处理技术有待发展,高效催化剂的筛选方面有待提高,液化产物的分离、提纯技术有待发展。六是就秸秆能源化产业而言,目前整个产业还未建立完善的产品质量标准体系和质量检测体系,市场上销售的秸秆能源化设备质量参差不齐,运行不稳定、经济效益不明显<sup>[48-49]</sup>。

#### 4 结论与建议

推广秸秆能源化利用技术,对于控制秸秆焚烧、保护环境、减少碳排放、应对能源短缺等方面有着重大意义。我国秸秆能源化利用技术的研究与应用尚处于起步阶段,目前部分秸秆能源利用技术还存在着工艺技术不成熟、生产效率低、能耗高、行业标准缺失、经济效益不明显等问题。因此,应加大对秸秆能源化基础性研究的支持力度,积极引进国外先进技术和经验<sup>[6]</sup>,加强科技攻关,重点在农作物秸秆高效低能耗转化、生物质热解生产、生物质发电、木质纤维素生产燃料乙醇、生物柴油等方面开展研究,尽快完善农业生物质资源化利用标准体系。虽然我国目前在秸秆生物质能利用领域还存在着一些亟待解决的问题,但其具有的综合效益越来越为人们所认知和重视。秸秆生物质能作为可再生能源中唯一可存储和运输的能源,在我国自然环境、社会环境和政策环境下,秸秆生物质的大规模开发利用必将成为未来的发展趋势。

#### 参考文献:

- [1] 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):4146-4147,4150.
- [2] 韩佳慧,杨扬,张景来. 利用回归模型比较秸秆利用方式[J]. 安徽科技学院学报,2009,23(6):87-91.
- [3] 梅晓岩,武敬岩,刘荣厚. 辽宁农作物秸秆资源评价及能源化利用分析[J]. 可再生能源,2008,26(6):97-100.
- [4] 张培栋,杨艳丽,李光全,等. 中国农作物秸秆能源化潜力估算[J]. 可再生能源,2007,25(6):80-83.
- [5] 赵蒙蒙,姜曼,周祚万. 几种农作物秸秆的成分分析[J]. 材料导报,2011,25(16):122-125.
- [6] 高翔. 江苏省农作物秸秆综合利用技术分析[J]. 江西农业学报,2010,22(12):130-133.
- [7] 周宝银,周翔. 江苏秸秆固化成型技术推广工作初探[J]. 农业开发与装备,2013(6):32-33.
- [8] 李泉临,秦大东. 秸秆固化成型燃料开发利用初探[J]. 可再生能源,2008,26(5):116-118.
- [9] 王庆和,孙勇. 我国生物质燃料固化成型设备研究现状[J]. 农机化研究,2011(3):211-214.
- [10] 彭卫东,单宏业. 农作物秸秆综合利用 100 问(第一版)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2013:80.
- [11] 付明星. 农村生态能源技术[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2013:180.
- [12] 崔昌龙,王伟,张楠. 秸秆固化技术现状及发展趋势分析[J]. 应用能源技术,2010(6):53-55.
- [13] 张坚勇. 农作物秸秆综合利用实用技术(第一版)[M]. 南京:东南大学出版社,2011:139.
- [14] 邱凌,刘芳,毕于运,等. 户用秸秆沼气技术现状与关键技术优化[J]. 中国沼气,2012,30(6):52-58.
- [15] 刘德江,邱桃玉,刘歆,等. 秸秆与粪便不同配比发酵产沼气试验研究[J]. 中国沼气,2011,29(4):13-15.
- [16] 胡秋龙,熊兴耀,谭琳,等. 木质纤维素生物质预处理技术的研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(10):1-7.
- [17] 崔文文,梁军锋,杜连柱. 中国规模化秸秆沼气工程现状及存在问题[J]. 中国农学通报,2013,29(11):121-125.
- [18] 徐桂转,范帅尧,王新锋,等. 汽爆预处理青玉米秸秆厌氧发酵特性[J]. 农业工程学报,2012,28(13):205-209.
- [19] 沈慧. 秸秆沼气技术操作要点及注意事项[J]. 科学种养,2009(11):52.
- [20] 楚莉莉,李轶冰,冯永忠,等. 沼液预处理对小麦秸秆厌氧发酵产气特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(1):247-251.
- [21] 席尚明. 农村户用秸秆沼气技术的关键工艺[J]. 当代农机,2013(11):58-59.
- [22] 陈羚,赵立欣,董保成,等. 我国秸秆沼气工程发展现状与趋势[J]. 可再生能源,2010,28(3):145-148.
- [23] 吴楠,孔垂雪,刘景涛,等. 农作物秸秆产沼气技术研究进展[J]. 中国沼气,2012,30(4):14-20.
- [24] 李乡壮. 秸秆转化利用技术(第一版)[M]. 西安:西北工业大学出版社,2012:120.
- [25] 刘培军,张曰林. 作物秸秆综合利用技术(第一版)[M]. 济南:山东科学技术出版社,2010:55.
- [26] 张小东,刘敏. 秸秆气化技术及其应用浅析[J]. 科技情报开发与经济,2007,17(23):151-152.
- [27] 张文斌,张龙全. 秸秆气化技术研究现状与对策分析[J]. 中国农机化,2009(6):90-93.
- [28] 李鹏,王维新,吴杰,等. 生物质气化及气化炉的研究进展[J]. 新疆农机化,2007(7):46-47.
- [29] 陈蔚萍,陈迎伟,刘振峰. 生物质气化工艺技术应用与进展[J]. 河南大学学报,2007,37(1):37-38.
- [30] 刘小娜,康振兴,胡克. 浅谈秸秆发电技术[J]. 能源与节能,2011(7):18-21.
- [31] 戴敬,严巧玲,徐俊兵,等. 扬州市农作物秸秆能源化利用的实践与启示[J]. 循环经济,2012,5(8):11-14.
- [32] 师戡. 秸秆发电项目的效益与现状分析[J]. 华北电力大学学报:社会科学版,2011(12):16-17.
- [33] 张卫杰,关海滨,姜建国. 我国秸秆发电技术的应用及前景[J]. 农机化研究,2009(5):10-13.
- [34] 何张陈,袁竹林. 农作物秸秆发电的各种技术路线分析与研究[J]. 新能源与新材料,2008(2):29-33.
- [35] 田宜水,赵立欣,孟海波,等. 生物质-煤混合燃烧技术的发展研究[J]. 水利电力机械,2006,28(12):87-91.
- [36] 翟继辉,周慧秋. 黑龙江省农作物秸秆能源化利用现状、存在问题及对策研究[J]. 东北农业大学学报:社会科学版,2013,11(1):20-24.

(下转第 73 页)

素造成的,其中人为破坏是造成盆地内地表水面积大量减少的最主要原因。

表 2 蛟河盆地森林面积与土地面积变化

| 类型   | 面积/km <sup>2</sup> |          |          | 面积变化/km <sup>2</sup> |             |
|------|--------------------|----------|----------|----------------------|-------------|
|      | 1991 年             | 2000 年   | 2011 年   | 1991~2000 年          | 2000~2011 年 |
| 林地   | 2479.139           | 2303.725 | 2615.871 | -175.414             | 312.146     |
| 城镇用地 | 18.297             | 18.564   | 21.134   | 0.267                | 2.570       |
| 农业用地 | 1715.601           | 1924.309 | 1623.305 | 208.708              | -301.004    |

依据不同的影响因素,本文提出如下建议:(1) 坚决加大退耕还林力度,减少耕地面积,扩大森林面积,以减少水土流失,提高水土保持能力;(2) 在适宜地区扩大水田面积,改善旱田用水状况,达到合理利用农业用水的目的;(3) 蛟河市有关部门应合理规划盆地内水利工程的布局,调整库塘数量,实现既可调节水源又不影响本地区生态环境的和谐发展;(4) 提高全民的环境保护意识,城镇和工矿企业严格执行节约用水,合理利用水资源;(5) 建议在松江湖下游地区筑造水坝拦截水流下泄,创造储水条件,从而提高松江湖水位,保证湖水的水域面积,同时能够增加水动力,若合理建设水电站,将会极大推动当地社会、经济的发展。

#### 参考文献:

- [1] 李纪人. 遥感与水问题 [J]. 国土资源遥感,1999,41: 23-27.
- [2] 刘阳春. 水资源价值理论及模型研究 [D]. 重庆: 重庆大学,2004.
- [3] 崔庆涛. 吉林省松花江三湖保护区概况及其保护和治理 [J]. 林业科技,1998,23(5): 15-17.
- [4] 陈昕. 吉林省松花江三湖保护区水污染防治对策研究 [D]. 长春: 东北师范大学,2002.
- [5] 刘文,王松林. 三湖保护区自然资源和环保工作 [J]. 吉林林业科技,1995(6): 55-58.

- [6] 崔库,秦丽杰,吕康银,等. 松花江三湖保护区生态旅游开发研究 [J]. 经济地理,1997,17(4): 103-106.
- [7] 佟才. 松花江流域水生态系统价值及其可持续利用的研究 [D]. 长春: 东北师范大学,2004.
- [8] 年吉刚,刘会青. 三湖保护区水土流失及防治对策 [J]. 中国水土保持,1997(9): 10-12.
- [9] 耿郁,刘富裕. 蛟河市城区水资源状况浅析 [J]. 吉林水利,2010(10): 12-14.
- [10] 杨笑冰. 蛟河流域水资源状况分析 [J]. 无线互联科技,2012(10): 75.
- [11] 白磊,姜琦刚,刘万崧,等. 近 30 年来河西走廊湿地变化及其机理初探 [J]. 国土资源遥感,2010,83: 101-106.
- [12] 姜琦刚,崔瀚文,李远华. 东北三江平原湿地动态变化研究 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版,2009,39(6): 1127-1132.
- [13] 崔瀚文,姜琦刚,李远华,等. CBERS\_02 星数据在三江平原湿地生态环境调查中的应用 [J]. 国土资源遥感,2009,79: 100-104.
- [14] 邢宇,姜琦刚,王坤,等. 20 世纪 70 年代以来东北三省湿地动态变化 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版,2011,41(2): 600-607.
- [15] 曾辉,黎小正,吴祥庆,等. 岩滩水电开发对库区水环境的影响 [J]. 南方农业学报,2013,44(4): 621-626.

(责任编辑: 黄荣华)

#### (上接第 69 页)

- [7] 徐凤英,梁英,方桂珍. 秸秆直接液化技术研究进展 [J]. 安徽农业科学,2008,36(18): 7836-7838.
- [8] 牛文娟,肖卫华,韩鲁佳. 生物质液化及其产物分析方法和应用研究进展 [J]. 中国环境科学学会. 中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集. 北京: 中国农业工程学会,2011: 1941-1946.
- [9] 董宇,马晶,张涛,等. 秸秆利用途径的分析比较 [J]. 中国农学通报,2010,26(19): 327-332.
- [10] 常杰. 生物质液化技术的研究进展 [J]. 现代化工,2003,23(9): 13-16.
- [11] 安文杰,许德平,王海京. 生物柴油的化学制备方法 [J]. 粮食与油脂,2005(7): 3-6.
- [12] 李佩胜,王宏志. 关于科学发展秸秆沼气项目的探讨 [J]. 节能,2008(7): 9-10.
- [13] 张荣成,李秀金. 作物秸秆能源转化技术研究进展 [J]. 现代化工,2005,25(6): 14-17.
- [14] 张国臣,贾晨夜,高志永,等. 我国农作物秸秆综合利用技

术发展浅析 [J]. 中国环境科学学会. 2012 中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学学会,2012: 3301-3304.

- [15] 赵荷娟,魏后舜,王琳等. 南京市农作物秸秆综合利用现状及发展 [J]. 江苏农业科学,2013,41(12): 384-386.
- [16] 张钦,周德群. 江苏省秸秆发电的现状分析及对策 [J]. 中国软科学,2010(10): 104-111.
- [17] 崔和瑞,邱大芳,任峰. 我国秸秆发电项目推广中的问题与政府责任及其实现路径 [J]. 农业现代化研究,2012,33(1): 69-73.
- [18] 朱莉云,王一线,殷志明. 苏北地区秸秆能源化利用实践与思考 [J]. 农业环境与发展,2010(6): 36-39.
- [19] 聂飞,王宇波. 咸宁市秸秆资源潜力估算及能源化利用分析 [J]. 湖北农业科学,2011,50(24): 5075-5078.
- [20] 丁翔文. 德国和丹麦农作物秸秆利用技术与装备考察报告 [J]. 农机科技推广,2009(12): 51-55.

(责任编辑: 曾小军)