

干旱半干旱地区边际地种植能源作物的资源环境问题探讨

张宝贵^{1,3} 谢光辉^{2,3}

- (1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;
2. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193;
3. 国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193)

摘要 为减少对进口石油的依赖及应对燃烧化石能源造成的空气污染和温室气体排放问题,世界各国争相发展生物质能源产业。针对利用能源植物带来的粮价上涨和粮食安全问题,适应人多耕地少的国情,我国制定了“不与民争粮,不与粮争地”生物质能源的发展原则。许多学者提出利用边际性土地种植能源作物。多数边际性土地过于零散,不利于能源作物大规模种植和收获、运输,人们把注意力集中到草原及荒地。干旱和半干旱地区天然降水不能满足植物旺盛生长的水分需求。大规模集约化种植一年生能源作物,主要依靠灌溉,消耗大量的水资源,同“不与民争粮,与粮争地”一样威胁粮食安全,同时还可能会造成生物多样性丧失、植被破坏、土地沙化、土壤次生盐渍化等环境和生态问题,影响草原畜牧业发展,使牧民生活无靠,与现有的《草原法》等法律、法规相悖,且无异于“问题搬家”。本研究通过分析能源作物,特别是在干旱和半干旱区规模化、集约化种植,对资源、生态环境的影响,依据国家相关法律法规,提出了干旱和半干旱地区边际土地能源作物规模化种植准入政策建议,以为生物质能源产业的健康可持续发展提供依据。

关键词 能源作物; 干旱和半干旱区; 草原; 边际地; 水资源

中图分类号 S 216.2; X 171.1; Q 77 **文章编号** 1007-4333(2014)02-0009-05 **文献标志码** A

Resource and environment issues of energy plant culture on marginal lands in arid and semi-arid regions

ZHANG Bao-gui^{1,3}, XIE Guang-hui^{2,3}

- (1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
3. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to reduce the dependency on imported petroleum oil and cope with the issues arose by combustion of fossil energy resource, such as air pollution and emission of greenhouse gas, bio-energy industry is developed throughout the world. Taking into account the fact that energy crop cultivation may result in higher food price and arising food security issue, in China, with combination of scarcity of arable lands and a great population, the principle of bio-energy development is defined as “non competing food with people, and no competing lands with food crops”. Many authors suggested to grow energy plants on marginal lands. As most marginal lands are too much fragmented to suit large-scale growth, harvest and transportation of energy crops, potential lands for energy crops were focused on grassland and barren lands. The natural precipitation in the arid and semi-arid regions is not sufficient for vigorous plant growth, and intensive large-scale culture of annual energy crops relies mainly on irrigation with consumption of large quantity of water resource, which amounts to the competition of food with people and lands with food crops. In addition, it may cause issues as reduction of biodiversity and lead to destruction of vegetation, desertification and induce secondary soil salinization. All this will impact the animal husbandry and the people living on the grassland, not only it is contradiction

收稿日期: 2013-09-02

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD05B02); 国家能源局能源节约和科技装备司项目(科技司函[2012]32号)

第一作者: 张宝贵, 教授, 主要从事土壤-作物系统模型及农业可持续发展研究, E-mail: zhangbg@cau.edu.cn

with current laws and regulation such as “Act of grassland of the Republic of China”, also it displaces rather than resolves the problems. In the present paper, impact of large-scale intensive culture of energy plants especially in the (semi)-arid regions on resource, ecological environments was analysed. According to the current related laws and regulations, approval policy of large scale culture of energy plants on marginal lands in arid and semi-arid regions is proposed in order to provide guidance for health and sustainable bio-energy development.

Key words energy crop; semi-arid and arid region; grassland; marginal lands; water resource

1 引言

为应对化石能源的渐趋耗竭及碳排放导致的全球气候变暖,世界各国争相发展生物质能源产业。生物质能源的主要原料是种植业、养殖业、林业废弃物,工业加工和生活废弃物以及专用能源作物^[1]。鉴于巴西、美国等国家利用耕地种植甘蔗、玉米和大豆生产燃料乙醇和生物柴油,导致世界粮价上涨^[2-3],以及我国人多耕地少的国情,我国应在保证粮食安全的条件下发展生物质能源^[4]。为此,在农业部发布的农业生物质能产业发展规划(2007—2015年)^[5]中提出,目前适宜开发用于生产燃料乙醇的农作物主要为甘蔗、甜高粱、木薯和甘薯。寇建平等^[6]根据农业部对我国适宜种植能源作物边际土地资源调查评估结果,确定了宜能荒地和宜能冬闲田的重点开发区。尽管其宜能荒地的分类评价中不包括天然林保护区、自然保护区、野生动植物保护区、水源林保护区、水土保持区、防护林区等保护区的疏林地、灌木林地,也不包括防洪行洪区和湿地保护区的滩地,但是把天然草地列入宜能荒地,结论为43%以上的宜能荒地位于新疆和内蒙古缺水的地区^[6]。庄大方等^[7]利用多因子综合评价法,结合文献查阅和专家咨询,利用遥感和地理信息系统技术,调查了适宜能源作物发展的土地资源总量,把可能与粮食生产、畜牧业发展、生态保护争地的土地都排除在外,只针对草地、疏林地、灌木林、滩涂与滩地、盐碱地、裸地。考虑到生物质能产业的经济效益,特别是建立生物质原料规模化生产及收储运体系的需要,扣除了面积小、支离破碎不连片的土地。调查结果显示,适宜能源作物发展的土地在西北和黄土高原连片分布,内蒙古边际土地资源总量较大。同样,农业部规划设计研究院根据国土资源部土地利用现状数据,进行了宜能边际性土地资源量的估算,认为中国50%的宜能边际地集中分布于干旱和半干旱的内蒙古和新疆,适宜种植的能源作物为甜高粱^[8]。黄季焜^[8]等指出,这些贫瘠、缺水土地上种植能

源植物产量和收益不会很高。但其他对中国适宜种植能源作物土地资源量的研究均没有考虑水资源的因素^[9-10]。

本研究分析在干旱和半干旱草地和沙地大规模种植能源植物对资源、生态环境的影响,根据《中华人民共和国水土保持法》、《中华人民共和国防沙治沙法》、《中华人民共和国草原法》、《内蒙古自治区基本草原保护条例》、《国务院关于加强草原保护与建设的若干意见》、《内蒙古自治区生态保护与建设“十一五”规划》、农业部《全国草原保护建设利用总体规划》等法律、法规和条例,提出干旱和半干旱地区能源植物种植准入政策建议,为生物质能源产业的健康可持续发展提供依据。

2 能源作物对资源、生态及环境的影响

能源作物可根据其光合途径(C3、C4)、利用和转化物质的化学组成(糖料、淀粉、油料和木质纤维素)和其生长习性(一年生、二年生和多年生)进行分类^[11]。本研究主要讨论能源作物对水土资源利用和保护的关系,根据植物的生长习性和形态特征分为木本能源作物、草本能源作物,后者又进一步分为一、二年生和多年生草本能源作物^[1]。与草本植物相比,木本植物扎根深,耗水量大;木本植物和多年生草本保持水土、防风固沙能力比一年生、二年生植物强。

2.1 能源作物种植对资源影响

2.1.1 草原资源

草原是西、北部干旱地区维护生态平衡的主要植被,草原畜牧业是牧区经济的支柱产业(国发(2002)19号)。同时,草原是我国少数民族的主要聚居区,是牧民赖以生存的基本生产资料。农业部《全国草原保护建设利用总体规划》中提出,草原与耕地、森林、海洋等自然资源一样,是我国重要的战略资源。

自20世纪50年代以来,我国累计开垦草原约2 000万hm²,其中近一半已被撂荒成为裸地或沙

地(草原规划)。因此,从保护草原资源角度,应禁止在草原上种植一年生能源作物,可种植多年生草本能源植物。事实上,2003年1月1日施行的《中华人民共和国草原法》第四十六条明确规定禁止开垦草原。

草原的功能是发展畜牧业、调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙、保护生物多样性。《草原法》第四十二条国家实行基本草原保护制度中划定基本草原:重要放牧地;割草地;用于畜牧业生产的人工草地、退耕还草地以及改良草地、草种基地;对调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙具有特殊作用的草原;作为国家重点保护野生动植物生存环境的草原。尽管某些能源作物也能实现草原的部分功能,但能源作物规模化发展从本质上与草原的功能不同,因此,基本草原上应禁止种植任何种类的能源作物。

2.1.2 水资源

在国民经济的行业中,农业历来是用水大户,灌溉用取水量占全国用水总量的60%~70%。尽管甜高粱抗旱性较其他常见农作物强,如果仅依赖大气降水和地下水补充,远远不能满足其需水要求,即使能勉强维持生命,也不能良好生长,需要灌溉才能达到产业化所需的产量。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域研究站在河西走廊中部的沙地种植甜高粱试验,灌溉耗水量达 $9\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$,相当于970 mm降水^[12],是干旱和半干旱区年降雨量的几倍。

边际土地资源分布调查表明,一半以上的宜能边际地位于新疆和内蒙古干旱和半干旱区,可以种植能源作物甜高粱。由于天然降水不足,种植甜高粱要靠开采地下水和利用地表水,在内蒙古主要是黄河水。黄河是世界上开采水量最多的河系之一,2010年流域内总人口约11 368万人^[13],其中的半干旱区有1.1亿人口依靠其生活。同时黄河作为联结河源、上中下游及河口等湿地生态单元的“廊道”,是维持河流水生生物和洄游鱼类栖息、繁殖的重要基础。同时由于特殊的地理环境,黄河流域也是我国生态脆弱区分布面积最大、脆弱生态类型最多、生态脆弱性表现最明显的流域之一。自20世纪70年代早期开始,大规模从黄河取水,导致“黄河断流”,即黄河水在一年的大部分时间里无法到达入海口。尽管黄河水利委员会通过制定严格的省级水利用法,自1999年起,黄河水每年都可以到达入海口。

然而,黄河的流量仍然低于生态需求所必需的水平。根据《黄河流域综合规划(2012—2030年)》^[14],黄河流域未来经济社会发展的重点之一是发展高效节水农业,形成以黄淮海平原主产区、汾渭平原主产区、河套灌区主产区为主的全国重要的农业生产基地。

干旱和半干地区的旱生植物在长期的进化与自然选择过程中,形成了适应大气干旱与土壤干旱的机制。如沙拐枣(*Calligonum mongolicum* Turcz.)、梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)叶退化或叶片缩小,有效降低蒸腾;针茅(*Stipa* spp.)、蒿(*Artemisia*)等植物发达、但分布浅的根系能及时吸收降水后土壤表层水分;骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)扎根深度可达30 m,根系吸收范围超过地上部的几千倍。旱生植物的这些抗旱机制,使其在充分吸收地下水的同时,减少蒸腾耗水。

中生木本植物蒸腾量大,仅靠大气降水不能满足其水分需求。北方干旱和半干旱草原区干旱少雨,年降水量一般在400 mm以下,降水分布不均,部分地区低于50 mm。中生木本植物作为能源植物大面积种植,如无人工灌溉,会大量消耗地下水,导致旱生植物死亡。农业部《全国草原保护建设利用总体规划》中就指出,由于不合理开采草原水资源,致使下游湖泊干涸,绿洲草原及其外围植被不断消失。农业部在《全国草原保护建设利用总体规划》中,根据我国草原的区域性特点、存在的主要问题和保护建设利用的需要,将我国草原划分为北方干旱和半干旱草原区、青藏高寒草原区、东北华北湿润半湿润草原区和南方草地区等4大区域。在北方干旱和半干旱草原区、青藏高寒草原区、东北华北湿润半湿润草原区,降水量不足支持森林,由于乔木类木本植物不但扎根深、而且耗水量大,大量消耗地下水,盲目种植会造成沙生植物死亡。

在自然降水不足的干旱和半干旱地区,灌溉水是除土地外限制粮食生产的另一决定因素,规模化种植大量消耗水资源的植物,包括“非粮”能源植物,即便“不与民争粮,不与粮争地”,也会通过“与粮争水”,影响粮食安全,更何况在这些地区,由于缺水,有时连农业用水都让位于首先满足人畜饮水。因此,从保护水资源,维持草原生态和草原的永续利用的角度,应该禁止在草原上集约化、规模化种植一年生能源作物,利用这类地区的荒草地种植能源植物应立足于包括多年生草本和灌木在内的旱生

植物。

2.2 能源作物种植对生态和环境的影响

草原地区降水量小、多风、蒸发量大。特别是土壤贫瘠的荒草地、沙地盐碱地,植被覆盖度低、植物生长缓慢、生态脆弱、土壤风蚀严重,是沙尘暴的主要原因。2007年农业部长期《全国草原保护建设利用总体规划》中指出,不合理的开发利用,导致草原不断退化,沙尘暴、荒漠化、水土流失等危害日益加剧。国外学者 Larsen^[15]也指出我国北方正在形成一个大的沙尘暴侵蚀区(Sand Bowl)。2003年1月1日施行的《中华人民共和国草原法》第四十六条规定对水土流失严重、有沙化趋势、需要改善生态环境的已垦草原,应当有计划、有步骤地退耕还草;《国务院关于进一步加强草原保护与建设的若干意见》(国发(2002)19号)^[16]也要求,实施已垦草原退耕还草。“对有利于改善生态环境的、水土流失严重的、有沙化趋势的已垦草原,实行退耕还草。”退耕还草重点放在江河源区、风沙源区、农牧交错带和对生态有重大影响的地区。条例强调“要坚持生态效益优先,兼顾农牧民生产生活及地方经济发展,加快推进退耕还草工作。”

2.2.1 植被覆盖

尽管荒草地、沙地等植被覆盖度较低,但土壤表面由地衣、苔藓细菌和土壤颗粒组成的土壤生物痂皮或沙壳,可以减少土壤风蚀。这层沙壳和土壤生物痂皮很脆弱,在人畜踩踏、机械碾压后破坏。一年生能源作物种植过程中,播种、收获会造成土壤扰动,破坏土壤表面的保护层和植被。《防沙治沙法》第十二条规定,“在规划期内不具备治理条件的以及因保护生态的需要不宜开发利用的连片沙化土地,应当规划为沙化土地封禁保护区,实行封禁保护”。新修订的《中华人民共和国水土保持法》第十八条指出:“水土流失严重、生态脆弱的地区,应当限制或者禁止可能造成水土流失的生产建设活动,严格保护植物、沙壳、结皮、地衣等”。同时,集约化、规模化的能源作物种植中,施用除草剂会破坏原生植被;作物收获后土表裸露。

2.2.2 生物多样性和生物入侵

在千年生态系统评估所列出的6项导致生物多样性丧失的主因中,生物能源发展占了4项^[17],如能源作物大面积单作、土地利用方式改变会导致生物物种栖息地破坏^[18]、入侵物种等。能源草有些已被列入入侵物种名录^[19],如芒草(*Miscanthus*)类中

的中国芒(*Miscanthus sinensis*)、藨草(*Phalaris arundinacea*)、芦竹(*Arundo donax*)。这些禾本科(Gramineae)草为多年生植物,既可以通过无性繁殖在局部地区快速蔓延,又可以通过种子远距离传播。它们可忍受各种恶劣的环境,包括土壤pH改变、土壤紧实、贫瘠、高温及干旱,进入农田会成为恶性杂草。为避免象草(*Miscanthus giganteus*)在密苏里、俄亥俄、阿肯色州和宾夕法尼亚州成为入侵物种,美国农业部生物质作物资助项目(Biomass Crop Assistance Program),规定在这些州种植象草,只能用不育品种伊利诺品系(“Illinois Clone”)的根状茎。此外,发展生物质燃料的热门树种,牧豆树(*Prosopis juliflora*)为速生灌木,营养需求低,能在干旱和半干旱土地上良好生长。但一旦定殖,很难甚至不可能移除。放任其繁殖,牧豆树会发展成浓密的树丛,让原生种无立锥之地。能源作物大规模单作,土壤耕翻、无节制地施用杀虫剂、除草剂等也可能造成生物多样性的丧失。

2.2.3 土壤退化

荒草地土壤养分含量低,集约化种植需大量施用化肥,但这类土壤由于有机质含量低、质地粗、土壤保肥性差又容易造成N、P对地表水和地下水污染。灌溉不当,会造成地下水位抬升,如地下水矿化度高,就可能引发土壤次生盐渍化。因此从保护生态环境角度,在沙地、荒草地特别是已经实施退耕还林还草地区,应禁止种植一年生能源作物。

3 结论和建议

种植能源作物不应以威胁粮食安全、破坏草原资源、耗竭水、破坏或污染环境为代价。而规模集约化种植能源作物特别是一年生能源作物会占用破坏草原资源、消耗水资源,与畜牧业及防风固沙、保持水土、保护生物多样性生态发展争地、争水。针对利用干旱和半干旱地区边际土地大规模种植能源植物可能出现的问题,建议国家出台相应的生物质能源产业准入政策和技术规范,包括:

1)从保护草原资源出发,应禁止在基本草原上种植能源作物,改变草原用途。禁止开垦草原或荒草地,特别是在水土流失严重、有沙化趋势的土地上种植一年生能源作物。种植多年生草本能源作物,最好选用能草兼用型的物种,以兼顾能源与饲料之用。

2)在干旱和半干旱草原和荒草地种植多年生草

本能源作物,需尽量选用本土植物物种,避免引入的能源植物在当地成为入侵物种。

3) 研究制定详细的干旱和半干旱区能源作物种植技术规范,包括:能源作物种植应采取的防风固沙、节水灌溉、养分综合管理、保护性耕作、病虫害综合防治技术规范。并出台相应的经济刺激政策,鼓励企业和种植户自愿采用这些技术规范。

4) 从水资源保护角度,应限制或禁止在北方干旱和半干旱草原区种植耗水量大的乔木类木本能源作物如短轮伐周期的速生杨树等和一年生草本能源植物。另外,产品水足迹(Water footprint)即产品全生命周期消耗的淡水总量分析表明,生物乙醇全生命周期耗水量很大^[20]。除在原料生产(农业阶段)直接消耗“绿水”和“蓝水”外,还因施用化肥、农药及乙醇生产过程中对水体污染而产生“灰水”消耗。所谓“绿水”是指利用和结合入最终产品的自然降水量,如作物蒸腾耗水和作物体的水分,“蓝水”是指消耗的地表水和地下水的量,“灰水”是产品全生命周期导致水体污染的指标,相当于将污染物稀释到符合水质标准所需的净水体积^[21]。因此,建议对在干旱和半干旱地区发展能源产业对水资源的消耗进行系统的、量化研究,为国家制定相应的政策提供数据支持。

参 考 文 献

- [1] Angelis-Dimakis A, Pinedo I, Robba M. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(2): 1182-1200
- [2] Lal R. Soils and food sufficiency: A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2009, 29(1): 113-133
- [3] Tilman D, Somerville C, Williams R, et al. Beneficial biofuels: The food, energy, and environment trilemma [J]. *Science*, 2009, 325(5938): 270-271
- [4] 谢光辉. 论我国非粮生物质原料的非粮属性 [J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(6): 1-5
- [5] 农业部. 农业生物质能产业发展规划(2007—2015年) [EB/OL]. 2008-01-01. http://www.moa.gov.cn/zwlml/ghjh/200808/t20080826_1168529.htm
- [6] 寇建平, 毕于运, 赵立欣, 等. 中国宜能荒地资源与调查 [J]. *可再生能源*, 2008, 26(6): 3-9
- [7] 庄大方, 江东, 刘磊. 能源植物发展潜力遥感信息获取与评价 [M]. 北京: 气象出版社, 2013: 125
- [8] Qiu H, Huang J, Keyzer M, et al. Biofuel development, food security and the use of marginal land in China [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2011(40): 1058-1067
- [9] Cai X, Zhang X, Wang D. Land availability for biofuel production [J]. *Environmental Science Technology*, 2010(45): 334-339
- [10] Qin Z, Zhuang Q, Zhu X, et al. Carbon consequences and agricultural implications of growing biofuel crops on marginal agricultural lands in China [J]. *Environmental Science Technology*, 2011(45): 10765-10772
- [11] 谢光辉. 非粮能源植物: 生产原理和边际地栽培 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011
- [12] Xie T, Su P, Shan L, et al. Yield, quality and irrigation water use efficiency of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench] under different land types in arid regions [J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6: 10-16
- [13] 水利部黄河水利委员会. 黄河概况 [EB/OL]. 2011-08-14. 黄河网, http://www.yellowriver.gov.cn/hhyl/hhggk/zs/201108/t20110814_103443.html
- [14] 水利部黄河水利委员会. 黄河流域综合规划(2012—2030年)概要 [EB/OL]. 2013-03-21. 黄河网, http://www.yellowriver.gov.cn/zwzc/lygh/zhgh/201303/t20130321_129411.html
- [15] Larsen J. Expanding dust bowls worsening food prospects in China and Africa [EB/OL]. 2012-12-20. Plan B Updates, Earth Policy Institute, http://www.earth-policy.org/plan_b_updates/2012/update110
- [16] 国务院关于加强草原保护与建设的若干意见 [EB/OL]. 2002-01-01. http://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61781.htm
- [17] Gasparatos A, Stromberg P, Takeuchi K. Sustainability impacts of first-generation biofuels [J]. *Animal Frontiers*, 2013(3): 12-26
- [18] Millennium Ecosystem Assessment. Millennium ecosystem assessment: Current state and trends assessment [EB/OL]. 2013-09-01. Washington DC: Island Press, 2005. <http://www.millenniumassessment.org/en/Condition.aspx>
- [19] Global invasive species database [EB/OL]. 2013-09-01. <http://www.issg.org/database/species/List.asp>
- [20] Chiu Y, Walseth B, Suh S. Water embodied in bioethanol in the United States [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43: 2688-2692
- [21] Rost S, Gerten D, Bondeau A, et al. Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system [J]. *Water Resources Research*, 2008, 44: 1-17