

中国宜能非粮土地资源评价研究进展

谢光辉^{1,3} 刘奇颀^{1,3} 段增强^{2,3} 张宝贵^{2,3}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;

3. 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100193)

摘要 就近年来中国不影响粮食安全的适宜发展能源植物生产的土地资源的研究成果进行综合述评。分析相关的概念定义,确定宜能非粮地或宜能边际地作为同义词是最合适的术语,其定义为经济上或生态上不适宜生产粮食,但具备能源植物生长需要的基本条件,适宜于规模化种植或天然生长非粮能源植物的土地。讨论并确定宜能非粮地包含的土地种类,即不适于粮食作物和果树的耕地和园地、宜能林地、荒草地、可复垦工矿废弃地、坑塘水面、水利设施林带、盐碱地、沙地和裸地。总结前人研究结果,不同研究者的结果差异很大,宜能非粮地的面积包括林地在3 420~16 374 万 hm^2 ,不包括林地在700~6 473 万 hm^2 ,在各省市区分布上的结果差异也很大。进一步研究方向是制定相关行业标准,以更准确地确定宜能非粮地资源分布和生产潜力,建立不改变土地用途的、因地制宜的土地利用规范,并加强政策性管理方法的研究。

关键词 边际性土地;宜能边际地;宜农荒地

中图分类号 S 216.2; Q 77

文章编号 1007-4333(2015)02-0001-10

文献标志码 A

Review on resource of non-food land suitable for energy plant production in China

XIE Guang-hui^{1,3}, LIU Qi-qi^{1,3}, DUAN Zeng-qiang^{2,3}, ZHANG Bao-gui^{2,3}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing 100193, China)

Abstract It is of significance that evaluating land availability for energy plant production under the condition of not affecting the food security negatively in China. This paper reviewed the current progress of researches in this field. After the related terminologies suggested by previous researcher were discussed intensively, the marginal land suitable for energy plant production (MLSEP) and non-food land suitable for energy plant production (NLSEP) as synonyms were concluded as the most appropriate terminologies. It was defined as the land which was not suitable for food crop production economically or ecologically but satisfied the basic requirements for large scale non-food energy plant production, including the natural system for harvesting aboveground biomass without cultivation. The possible categories of NLSEP were identified as cultivated land and orchard land which were not suitable for food and fruit production, forest land, waste grass land, reclaimable mining abandoned land, water lever of pond, forest belt of water conservancy facilities, saline-alkali soil, sand and bare land. The NLSEP area potential and its distribution exhibited considerable variation between previous researchers, i.e. total potential between $3\,420 - 16\,374 \times 10^4 \text{ hm}^2$ including forest land and that between $700 - 6\,473 \times 10^4 \text{ hm}^2$ excluding forest land. Further studies on related industry standards, more accurate land availability and production potential assessment, proper land utilization requirement without change land use, and administrative regulation were suggested.

Key words marginal land; marginal land suitable for energy; wasteland suitable for energy

收稿日期: 2014-07-07

基金项目: 国家能源局能源节约和科技装备司项目(科技司函[2012]32号); 河南天冠企业集团有限公司资助

第一作者: 谢光辉, 教授, 主要从事非粮生物质原料和能源植物研究, E-mail: xiegh@cau.edu.cn

生物质能属可再生能源,因能降低碳排放、部分替代化石能源、促进农业经济发展,在国内外迅速发展成为了一个新兴产业。原料及其可获得性决定着该产业发展方向和规模,除充分利用农林业和工业有机废弃物外,发展规模化、低成本和高效益的非粮能源植物生产,也是建立中国生物质原料供应体系的重要内容^[1]。但是,中国人均土地资源少,保证国家粮食安全依然是当前中国土地利用的核心目标。研究在不影响粮食安全条件下可用于中国能源植物生产的土地资源受到广泛重视,笔者拟总结、完善近年来前人对中国宜能生产用地的术语及其定义,综述其包含的土地类型和面积分布研究结果,分析该研究方向存在的问题,旨在为进一步研究宜能非粮地相关标准、资源及其分布、利用提供理论依据。

1 术语与定义

迄今为止,适宜于中国生产非粮能源植物又不影响粮食安全的土地术语已有若干个,包括边际性土地^[2-3]、宜能荒地和宜能边际土地^[4-6]、边远性和废弃土地^[7]、未利用土地和后备土地^[8-10]、非耕地^[7]和宜能非粮地^[1,11]。尽管这些术语不统一,且其中少数不一定合理,但是,宜能边际土地和宜能非粮地均可作为适宜于中国不影响粮食安全条件下生产非粮能源植物土地的总称。

1.1 边际性土地

边际性土地,也称边际土地或边际地,属外来词 Marginal land。尽管目前学者们仍然没有完全一致的定义,但其基本内涵是很明确的。边际性土地原本属于经济学范畴,指农地边际化逐渐导致纯收益下降且处在小于或等于零时的那种状态。对于生产粮食为主的耕地,其边际化的最终结果,即便是粮食生产能力得到最佳利用,其经济生产能力仍逐渐降低直到消失,土地利用的边际收益等于或小于零^[12]。经济合作与发展组织^[13]定义边际地为作为农用地品质太差并且也不适合用作建造房屋或其他用途的土地。欧洲环境局^[14]将产出小于投入,品质低的土地称为边际地。由于多数边际土地具有生态脆弱性,生态因素也被纳入边际地的概念^[12,15]。张文龙^[16]将环境、经济和社会效益多目标决策转化为单一目标函数,依据不同的区域特征赋予各目标不同的权重值,通过数学模型量化地确定边际地,但是,这个方法在操作应用中会遇到许多实际困难。因此,笼统地,边际土地实际上等同于质量较好的未

利用地或质量较差的农用地。

1.2 宜能边际性土地

边际性土地是国内外最早、最广泛用于表述不影响粮食安全条件下可用于能源植物生产的土地,指边际收益不适宜种粮而可以种植抗逆性强的能源植物的荒地和低质农田,或指尚未利用土地中条件比较好以及现利用农林地中条件较差的那些土地^[2,5,10,17],也指生态和环境上不宜种粮而可用种植具有水土保持作用的多年生能源作物的土地^[18-20]。其实,不论仅从经济学的边际收益,还是从更复杂的经济和生态因素考虑,尽管已经提出了数学模型的方法^[16],还未看到以量化方法计算确定中国特定土地是否适宜种粮的文献。对于不适宜种粮土地的判断依据,最明显的是各地区长期存在的大量的撂荒耕地^[11],以及近年逐渐揭开面纱的污染超标耕地^[21-22]。

1.3 宜能非粮地

从学术上宜能边际性土地已是较完善的术语,虽然其定义尤其是内涵还需要继续研究以取得最广泛共识后才能确定。但是,正是由于该术语学术性太强,在能源行业和政府层面,人们很难将其联想到经济意义上的“边际效益”,而往往直观地理解为地理边远、规模零碎的土地,而不符合能源行业大规模生产对土地规模的要求,而且由于保障粮食安全具有一定政治特性,在中国发展能源植物生产的土地必须自觉地将“非粮”这个紧箍咒戴上。为此,谢光辉等^[11]提出宜能非粮地作为宜能边际土地的同义词,弱化其学术性而强调其非粮属性,以适应政策和产业领域的需要。

1.4 定义的结论

综上所述,笔者将经济上或生态上不适宜生产粮食,但具备能源植物生长需要的基本条件,适宜于规模化种植或天然生长非粮能源植物的土地,统称为宜能非粮地或宜能边际地。尽管传统农作物、林业和畜禽生产形成大量的有机残余物也属于生物质原料,但不属于能源植物范畴,其生产用地亦不属于宜能非粮地。与前人相比,这个定义的内涵应是最全面、准确表征不影响粮食安全可用于能源植物生产的土地。例如,既包括可人工耕作的土地,也包括不耕作而可收获地上部分植物的天然生态系统土地;包括适宜于规模化种植的集中连片土地;不仅仅强调未利用地,还包括撂荒耕地和污染超标耕地。

2 宜能非粮地包含的土地种类

依据国家标准土地利用现状分类(GB/T 21010—2007)^[23],表1归纳了前人对中国宜能生产用地包含土地种类的研究结果。

2.1 宜能非粮地包含土地种类分析

石元春等^[2]和严良政等^[3]将适合能源植物生产用地叫边际性土地。虽然两者结果相近,但其包含的土地种类不完全一致(表1)。石元春等^[2]确定的土地种类相对地更全面一些,包括3类:一是在可利用而尚未利用的土地(也称后备土地)中条件相对较好的宜林地和宜农地;二是已开发的现有能源林地,即薪炭、木本油料和灌木林地;三是可以通过调整种植结构,在现有非粮低产农田中可开辟出用于种植能源作物的土地。

寇建平^[4]、《中国能源作物可持续发展战略研究》编委会^[10]、Tian等^[8]和田宜水等^[9]对宜能非粮地及其包含土地种类的报导系列应属农业部组织、资助的研究成果。Tian等^[8]和田宜水等^[9]用的术语为未利用地,《中国能源作物可持续发展战略研究》编委会^[10]用了后备土地一词,原文还称后备耕地,可能作者认为二者是同义词(表1)。这3个报导仅包括可种植草本农作物的可利用而尚未利用的土地(也称耕地后备资源),即石元春等^[2]报导的3类边际性土地中的1类,但不含沼泽地和苇地。相对地,寇建平^[4]所称的宜能荒地,其含有的种类以发展能源植物生产(原文称生物液体燃料)为目的,使用了更全面而准确的表述,包括适宜于种植能源作物的天然草地、疏林地、灌木林地和未利用地(表1)。并纳入宜能冬闲田,即在基本不影响春播的条件下可种植一季能源作物的空置冬闲田。排除天然林保护区、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和灌木林地,划入防洪行洪区和湿地保护区的滩地,以及零散不好利用土地。

庄大方等^[6,24]也是研究中国能源作物适宜土地资源的重要力量之一,该团队采用的术语为宜能边际土地,指自然条件相对差但可以种植能源植物的土地,或目前没有进行农业生产但能种植能源作物的土地,包括灌丛、疏林地、草地、滩涂与滩地、盐碱地和裸土地6类(表1)。

谢光辉等^[11]依据国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)^[23],将宜能非粮地分为宜

能非粮耕地、宜能园地、宜能林地(含宜能有林地和灌木林地、宜能疏林地和迹地)、宜能荒草地、宜能交通运输绿化用地、宜能水域和水利设施用地以及其他未利用宜能土地(含宜能盐碱地、宜能沼泽地、宜能沙地和宜能裸地)共7大类(表1)。

此外,欧阳益兰等^[25]研究适宜发展象草的边际土地资源,包括除保护区以外的疏林地、灌木林地和天然草地(包括高、中和低覆被草地),除防洪行洪区和湿地保护区滩地外的沙地、裸地、沼泽、裸岩和滩涂等未利用地,以及其他边际土地(但未见具体内涵)。Tang等^[26]还将田坎、路边地、高速公路绿化带和废弃矿地等列入边际地中(表1)。

2.2 宜能非粮地包含土地种类研究存在的问题及讨论

无论是从准确评价宜能非粮地资源方面,还是从生物质原料生产产业发展需求方面,都迫切需要宜能非粮地包含统一的土地种类。前人确定的宜能非粮地所含土地种类不一致(表1),是这个方向研究存在的最大问题。其中,首要的问题是必须确定应该采用什么分类标准。土地分类方法有多种,就确定能源植物生产用地来说,国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)^[23]是最合适的,然而未被大多数研究者采用,目前多采用这个国标发布以前的2005年和更早的相关土地统计资料分类术语。由于以前所用的分类标准不统一,例如,在前人采用最多的《中国耕地后备资源》^[27]的耕地后备资源分类中,既含有可开垦沼泽地和可开垦滩涂,也含有可开垦苇地。而生长芦苇的土地主要是沼泽地和滩涂地,原著也称“生长芦苇的土地,包括滩涂上的苇地,……”。因此,导致前人^[2-3]报导宜能后备土地中,既含有沼泽地和滩涂,又含有苇地。另一个问题是前人对宜能非粮地应含有土地种类确实有不同的观点,为达到共识,依据国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010—2007)^[23],讨论如下:

1)耕地:石元春等^[2]将可以通过调整种植结构,在现有非粮低产农田中可开辟出用于种植能源作物的土地,谢光辉^[1]曾将基本农田以外的耕地归入宜能非粮地。那么,在耕地中究竟有没有不影响粮食安全用于能源作物的地呢?从当前大量耕地处于弃种撂荒状态^[11]来看,答案是肯定的。中国耕地季节性撂荒面积也很大^[11],冬闲田是其中主要的类型,例如,2008年南方冬作区福建、江西、湖南、湖北、广东、广西、贵州和云南8个省区冬闲耕地面积为 $7.45 \times$

表 1 中国宜能非粮地包含的土地种类

Table 1 Types of non-food land suitable for energy plants in China

土地类型 *	宜能非粮地不同术语								结论	3 大类土地对照 *
	边际性土地 ^{a[2]}	边际性土地 ^{a[3]}	边际性土地 ^{k[10]}	未利用地(后备耕地) ^[26]	宜能边际土地 ^[6]	宜能荒地和冬闲田 ^{b[4]}	适宜发展象草的边际土地 ^{b[25]}	宜能非粮地 ^[11]		
耕地	√ ^b			√ ⁱ		√ ⁱ		√ ^m	√ ^m	农用地
园地								√ ^m	√ ^m	农用地
有林地	√ ^c	√ ^c						√ ⁿ	√ ⁿ	农用地
灌木林地	√ ^c	√ ^c			√ ^d	√ ^s	√ ^s	√ ⁿ	√ ⁿ	农用地
其他林地	√ ^p				√ ^e	√ ^{e,s}	√ ^s	√ ^g	√ ^g	农用地
天然牧草地					√ ^{r,s,u}	√ ^{q,s}	√ ^{r,s}		×	农用地
人工牧草地					√ ^{r,s,u}		√ ^{r,s}		×	农用地
其他草地	√ ^j	√ ^j		√ ^j	√ ^{r,s,u}	√ ^{f,s}	√ ^{r,s}	√ ^j	√ ^j	未利用地
废弃工矿仓储用地			√					√	√	建设用地
铁路绿化用地								√ ^t	×	建设用地
公路绿化用地			√					√ ^t	×	建设用地
街巷绿化用地			√					√ ^t	×	建设用地
农村道路绿化用地			√					√ ^t	×	农用地
河流、湖泊水面								√ ^o	×	未利用地
坑塘水面								√ ^o	√	农用地
沿海滩涂	√	√		√	√	√ ^{f,s}	√ ^s	√	×	未利用地
内陆滩涂	√	√		√	√	√ ^{f,s}	√ ^s	√	×	未利用地
沟渠护堤林								√ ^t	√	农用地
田坎			√						×	农用地
盐碱地	√	√		√	√	√ ^{f,s}	√ ^s	√	√	未利用地
沼泽地	√	×		×		√ ^{f,s}	√ ^s	√	×	未利用地
沙地	√ ^l	√ ^l		√ ^l		√ ^{f,s}	√	√	√	未利用地
裸地	√ ^l	√ ^l		√ ^l	√	√ ^{f,s}	√	√	√	未利用地

注：* 依据 GB/T 21010—2007^[23]。√ 指适宜作为宜能非粮地；× 指不适宜作为宜能非粮地。其他文字和√ 右上角的英文字母注解为前人原文所用术语或内容：a 除本表所列外，原报告还含“苇地”；b 包括可以通过调整种植结构在现有非粮低产农田中可开辟出用于种植能源作物的土地；c 包括现有能源林地（薪炭林、木本油料林和灌木林）；d 原文为灌丛；e 原文仅包括疏林地；f 原文为未利用地（耕地后备资源），根据原文引用文献^[27]包括滩涂、荒草地、盐碱地、沼泽地、裸土地和沙土地等；g 树木郁闭度 10%~19% 的疏林地和采伐迹地、火烧迹地等无立木林地；h 除本表所列外原报告还含“其他”边际土地，但未见其具体内涵；i 仅包括冬闲田；j 原文为荒草地；k 仅包括种植草本农作物用于生产燃料乙醇和生物柴油的土地；l 原文为其他未利用土地，根据原文引用文献^[27]包括可开垦的裸土地和可开垦的沙土地；m 从经济、生态或食品安全等方面不适于种植粮食、果树和茶树等植物，甚至废弃的园地和耕地；n 主要包括薪炭林地、能源油料林地和能源速生林地；o 人工开挖或天然形成的适宜于养殖或收获水生能源植物的水面；p 包括荒山荒地、采伐迹地、火烧迹地和宜林沙荒地；q 原文为天然草地；r 原文分为高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地；s 不包括其中的保护区和防洪行洪区；t 可用以种植以护路绿化为主要目的兼用于能源的植物；u 不包括 5 大牧场所在省区（青海、新疆、内蒙古、西藏和宁夏）的高、中覆盖度草地。

10^6 hm^2 ,占耕地总面积的 36%^[28],归入宜能非粮地^[1,4]。根据专家研究,中国复种指数潜力为 181%~199%^[29-30],而 2007 和 2008 年复种指数分别为 126%和 128%,不但与潜力理论值相差较大,比 20 世纪 90 年代还分别下降 29%和 27%^[31-32]。另一方面,根据最近全国土地调查成果,中国有相当数量耕地受到中度和重度污染,大多不宜耕种^[22]。根据环境保护部公布数据^[21],我国污染超标面积约为 1 000 万 hm^2 ,占总耕地面积 8.3%。而媒体报导重金属污染面积达 2 400 万 hm^2 ,占耕地总面积的 20%^[33]。因此,从经济、生态或食品安全等方面不适于粮食作物甚至废弃的耕地,包括季节性撂荒的耕地,应属于宜能非粮地的范畴。

2)园地:虽然除谢光辉等^[11]外,未见园地是否适宜种植能源植物的报导。但是,园地不属于生产粮食用地,从经济、生态或食品安全等方面不适于种植果树类植物甚至废弃的园地,应属于宜能非粮地的范畴。

3)林地:表 1 所列中国宜能生产用地包含的土地种类研究结果中,除只研究草本作物用地外^[8-10],可以认为林地可列入宜能非粮地是获得共识的。包括宜能有林地和灌木林地,即天然生长或人工培育可用作能源的有林地和灌木林地,主要应为薪炭林地、能源油料林地和能源速生林地;以及宜能疏林地和迹地,即树木郁闭度 10%~19%的疏林地和采伐迹地、火烧迹地等无立木林地等^[11]。Shao 等^[34]根据 1998 年国家第五次森林调查结果计算,确定可用于林业能源植物生产的废弃地总面积为 54 万 hm^2 ,其中山地占 87%。

4)草地:草地分为天然牧草地、人工牧草地和其他草地。有报导天然草地^[4]或未区分种类的草地^[6,25,35]可用于种植能源植物,尽管只要种植多年生能源草与草原保护和利用不相矛盾,但是,仔细阅读《中华人民共和国草原法(2002 年修订)》等相关法律,并考虑不影响畜牧业发展,不宜提倡天然牧草地和人工牧草地种植能源植物。而且,多数研究^[2-3,8-11]认为荒草地可归入宜能非粮地(表 1)。荒草地属于草地中的其他草地,其他草地指树林郁闭度 <0.1 ,表层为土质,不用于畜牧业的草地,属未利用地。

5)可复垦工矿废弃地:黄树焘等^[36]报导了将重金属污染的尾矿库用于能源作物生产示范基地。尽管修复工矿废弃地种植能源作物的难度和成本很

高,还是应归为用作能源植物的生产用地^[11,26]。

6)铁路、公路、街巷和农村道路绿化用地:Tang 等^[26]将公路、街巷和农村道路的两侧绿化带土地归入宜能非粮地中,有研究提出还应包括铁路两侧绿化带^[11]。但是,《公路养护技术规范-JTG H10-2009》和《铁路林业技术管理规则》都对公路和铁路两侧绿化带林木的管理与砍伐有严格规定,其土地属于建设用地,不宜用作种植能源植物。农村道路绿化用地属于农用地,以护路绿化为主要目的、可兼用作能源植物的土地,但因其分布一般较为分散,不能进行规模化生产,因此也不考虑在宜能非粮地范畴内。

7)水域和水利设施用地:有研究将人工开挖或天然形成的适宜于养殖或收获水生能源植物的水面称为宜能水面,划入宜能非粮地^[11],这是不合适的。从自然规律和环境保护的方面,河流水面、湖泊水面和水库水面既不适宜养殖,也不适宜收获水生能源植物。尽管污染的水面可以产出一定量的生物质,但不能可持续地供应原料。另外,根据国家林业局《湿地保护管理规定》,禁止开(围)垦湿地,禁止在湿地内采挖野生植物,沿海滩涂和内陆滩涂属于湿地,也不应该作为宜能非粮地。水面中仅有坑塘水面用地属于农用地,可能用于养殖水生能源植物(如藻类)。沟渠护堤林用地也属于农用地,可用以护路绿化为主要目的、兼用作能源植物的土地。

8)其他土地(沼泽地、盐碱地、沙地和裸地):符合生长条件的盐碱地、沙地和裸地作为宜能非粮地基本没有争议(表 1)。有报导认为沼泽地可种植能源植物^[3-4,11,25],但是,沼泽地属于湿地不适宜作为种植能源作物的土地,严良政等^[3]和《中国能源作物可持续发展战略研究》编委会^[10]也提出沼泽地不适宜种植能源作物。

2.3 宜能非粮地包含土地种类的结论

综上,宜能非粮地应包含:1)从经济、生态或食品安全等方面不适于粮食作物和果树甚至废弃的耕地(包括季节性撂荒的耕地)和园地;2)宜能有林地和灌木林地(主要为薪炭林地、能源油料林地和能源速生林地)以及宜能疏林地和迹地;3)荒草地,即树林郁闭度 <0.1 ,表层为土质,不用于畜牧业的草地;4)工矿废弃地;5)坑塘水面可用于养殖水生能源植物;6)水利设施林带可用以护路绿化为主要目的,兼用作能源植物的土地;7)符合能源植物生长条件的盐碱地、沙地和裸地(表 1)。

3 中国宜能非粮地面积与分布

3.1 资源总面积及各类型土地分布

将前人对宜能非粮地面积的主要研究结果汇总于表 2。严良政等^[3]称之为适合生物乙醇植物种植的宜耕边际性土地的面积 700.16 万 hm²,包括荒草地(361.6 万 hm²)、盐碱地(80.1 万 hm²)、滩涂(54.7 万 hm²)、可开垦的裸土地和沙土地(171.1 万

hm²)。《中国能源作物可持续发展战略研究》编委会^[10]报导的用于生产燃料乙醇用地面积及其各种类面积与严良政等^[3]相同,还计算了适宜种植油菜籽的冬闲田面积 558.5 万 hm²。这 2 个研究所指燃料乙醇为甜高粱、木薯、甘薯、甜菜和菊芋等一年生草本作物为原料。其不当之处是包括了滩涂,剔除滩涂后面积为 645.5 万 hm²(表 2)。由于这 2 个研究均未包括宜能林地,因而比其他研究结果的面积小。

表 2 中国不同种类的宜能非粮地面积主要研究结果汇总

Table 2 Summary of main researches on area of different kinds of non-food land suitable for energy plants in China 万 hm ²							
土地类型*	面积 Area						
	边际性土地 ^[2]	边际性土地 ^[17]	可用于生产生物乙醇能源作物的集中连片边际性土地 ^[3]	可用于生产燃料乙醇和生物柴油的未利用地 ^[10]	边际性土地 ^[26]	宜农边际土地 ^[6]	宜能荒地 和冬闲田 ^[4]
耕地	2 000.0 ^b	2 000.0 ^b		558.5 ^c			740.0 ^c
有林地	5 176.0	5 883.0				3 610.3	
灌木林地						2 951.5	
其他林地	5 704.0	5 704.0					
天然牧草地						5 950.9 ^e	
人工牧草地							
其他草地	361.6		361.6	361.6			
废弃工矿仓储用地					300.0		
农村道路绿化用地					75.0		
沿海滩涂	54.7	107.0	54.7	54.7		217.7	
内陆滩涂							
田坎					1 661.0		
盐碱地	80.1		80.1	80.1		249.7	
沼泽地	19.7						
沙地	171.1		171.1	171.1			
裸地						54.3	
苇地 ^a	14.6						
可复垦土地 ^a	32.7		32.7	32.7			
宜能荒地 ^a							2 680.0 ^g
合计	13 614.0	16 374.0 ^d	700.2	1 258.7	11 000.0 ^f	13 034.4	3 420.0
本研究建议扣除	滩涂、沼泽地、苇地	疏林地、滩涂、沼泽地、苇地	滩涂	滩涂	滩涂	滩涂、天然及人工牧草地	天然草地、滩涂、沼泽地
按上行扣除后合计	13 525.0		645.5	1 204.0	10 296.0	7 301.2	

注：* 依据 GB/T21010—2007^[23]。a 原文使用的术语,在 GB/T21010—2007 中无此土地利用类型,应包含在 GB/T21010—2007 的某类型中,或为数个不同类型(或其部分)的总和;b 原文指通过调整种植结构在现有非粮低产农田中可开辟出用于种植能源作物的土地;c 原文指冬闲田;d 原文包括引用寇建平^[4]的宜能荒地 2 680.0 万 hm²;e 原文包括高覆盖度草地(1 903.6 万 hm²)、中覆盖度草地(2 247.8 万 hm²)和低覆盖度草地(1 799.5 万 hm²);f 原文包括引用严良政等(2008)边际地面积 8 230.0 万 hm²,但严良政等^[3]边际地面积结果为 8 254.0 万 hm²;g 原文包括Ⅰ等宜能荒地 433.3 万 hm²(16.2%)、Ⅱ等宜能荒地 873.3 万 hm²(32.6%)和Ⅲ等宜能荒地 1 373.3 万 hm²(占 51.2%)。

Tang 等^[26]引用了严良政等^[3]研究结果,虽然其边际地面积数值也未包括林地,但增加了田坎(16.61 万 hm^2)和废弃工矿用地(300 万 hm^2),这样可用于生物燃料原料生产的边际地面积为 11 000 万 hm^2 (表 2)。

石元春等^[2]的研究得出的边际性土地面积及种类分布与严良政等^[3]相比(表 2),增加了林地资源 10 880 万 hm^2 (其中宜林后备土地 5 704 万 hm^2 、现有能源林 5 176 万 hm^2)、边际性农地资源 2 000 万 hm^2 、苇地(14.6 万 hm^2)和沼泽地(19.7 万 hm^2),即可用于生物质能源原料的边际土地共 13 614 万 hm^2 。减去其中的滩涂、沼泽地和苇地后面积为 13 525 万 hm^2 。3 年后,石元春^[17]再次发表的研究成果有所不同:1)根据当时国家林业局森林资源管理司^[37]最新公布的数据,更新了现有边际性林地面积(5 883 万 hm^2),比其以前的数值提高了;2)未列荒草地、盐碱地、沼泽地、可开垦的裸土地和沙土地、苇地、可复垦土地,而代之以比其面积总和更大的当时最新成果即寇建平等^[4]的宜能荒地 2 680 万 hm^2 ,称之为荒地型边际性宜农地;3)滩涂地面积几乎翻了一倍,但未见理由。这个结果除了不应包括滩涂、沼泽地和苇地等湿地外,采用寇建平等^[4]的宜农荒地作为宜农地也是不合适的,与宜林后备土地面积有重叠,因为寇建平等^[4]明确指出其宜农荒地包括疏林地。因此,该研究结果(16 374 万 hm^2)明显高估了边际性土地面积。由于寇建平等^[4]未列出具体的土地种类,无法对石元春^[17]的研究成果进行修正。

寇建平等^[4]宜能荒地是以发展生物液体燃料为目的,包括适宜于种植能源作物的天然草地、疏林地、灌木林地和未利用地,扣除了各类保护区和防洪行洪区,总面积为 2 680 万 hm^2 (表 2)。该研究没有按土地利用类型报导其面积分布,而是按照可以利用、需改造才能利用以及需工程措施保障才能利用的标准分为 3 个等级,将对农业利用无限制或少限制的称为 I 等宜能荒地,面积为 433.33 万 hm^2 ,占 16.2%;将对农业利用有一定限制的称为 II 等宜能荒地,面积为 873.33 万 hm^2 ,占 32.6%;将对农业利用有较大限制的称为 III 等宜能荒地,面积为 1 373.33 万 hm^2 ,占 51.2%。这 3 个等级的宜能荒地总和加上宜能冬闲田 740 万 hm^2 ,合计 3 420 万 hm^2 。其不足之处是包括了天然草地、滩涂和沼泽地(表 1)。

庄大方等^[6]研究应用了遥感和 GIS 技术,当前其结果应是最新的,扣除了各类保护区、防洪行洪区

和零散地,确定了适宜于开垦种植能源作物的土地资源总量为 13 034.4 万 hm^2 (表 2)。这个数值与石元春等^[2]的研究结果相近,但是,其现有林地(灌丛)(3 610.3 万 hm^2)和疏林地面积(2 951.5 万 hm^2)有较大的减少,而由于包括了不应该包括的天然及人工牧草地,导致草地面积(5 950.9 万 hm^2)比石元春等^[2]的结果增大 15 倍以上,同时盐碱地面积(217.7 万 hm^2)也增大了约 2 倍。此外,其不足之处是包括了滩涂。

此外,Zhuang 等^[24]研究还得到适宜种植不同能源作物的土地面积,包括菊芋 1 762 万 hm^2 、黄连木 2 294 万 hm^2 、麻疯树 302 万 hm^2 、木薯 17 万 hm^2 和油桐 302 万 hm^2 。欧阳益兰等^[25]分析得到非常适宜和基本适宜种植象草的边际地总面积为 12 561.23 万 hm^2 。

3.2 各省市资源分布

对宜能非粮地在省市区分布的主要研究结果中^[3-4,6]的主要省份面积分布汇总见表 3。除严良政等^[3]的研究结果不包括林地而不具可比性外,寇建平等^[4]和庄大方等^[6]的研究结果虽然所用术语不同,而实质内涵是一致的,都是研究中国所有种类宜能非粮地的面积,但是,可以看出不同研究的省市区分布差异却很大。例如,前者宜能非粮地面积最大的依次是内蒙古、新疆、贵州、云南和四川,而后者则分别为云南、贵州、陕西、广西和内蒙古。又如,对内蒙古来说,前者的面积为 443.1 万 hm^2 ,而后者为 825.8 万 hm^2 ,几乎相差 1 倍。

近年来也有对某一特定省份或特定地区的宜能边际地的研究。袁展汽等^[38]通过调查分析得出江西省宜能边际土地面积 131.2 万 hm^2 ,其中冬闲田面积 79.1 万 hm^2 、宜能荒地面积 52.1 万 hm^2 。王芳等^[5]研究分析得出广东省宜能边际土地面积 105.3 万 hm^2 。吴伟光等^[39]评价西南 3 省(云南、四川和贵州)麻疯树土地适宜性,适宜种植麻疯树的土地共 7.0 万 hm^2 ,主要集中在云南;较适宜种植的土地合计 143.1 万 hm^2 。尹芳等^[40]分析木薯在西南 5 省(云南、四川、贵州、广西和重庆)的土地适宜性,适宜和较适宜种植木薯的土地面积分别为 88.5 和 456.6 万 hm^2 ,适宜性土地主要集中在广西和云南,四川、贵州和重庆没有适宜种植木薯的土地,只有较适宜的土地。此外,王小兰等^[41]研究认为在四川种植油桐适宜和较适宜的土地资源分别为 46.1 和 64.1 万 hm^2 ,冯正飞^[42]确定在内蒙古种植甜高粱适宜和较适宜的土地面积分别为 209.8 和 110.1 万 hm^2 。

表 3 宜能非粮地在主要省区的资源分布
Table 3 Distribution of non-food land suitable for energy plants in different regions

省(市、区) Province (City,district)	可垦后备耕地 资源 ^[3]			宜能荒地 ^[4] Waste land suitable for energy						适宜能源作物发展的 土地 ^[6]			
	Reclaimable cultivated land			I 等地 First		II 等地 Second		III 等地 Third		合计 Total		Land suitable for energy plants	
	面积	排名		面积	排名	面积	排名	面积	排名	面积 ^a	排名	面积	排名
	Area	Ranking		Area	Ranking	Area	Ranking	Area	Ranking	Area	Ranking	Area	Ranking
内蒙古 Inner Mongolia	17.1	9		71.9	2	131.5	2	239.6	1	443.1	1	825.8	5
新疆 Sinkiang	327.7	1		115.9	1	160.9	1	35.0~65.0	c	311.9~341.9	2	469.8	11
宁夏 Ningxia	24.9	5		<15.0	c	<25.0	c	<35.0	c	<75.0	c	139.7	22
甘肃 Gansu	74.6	2		<15.0	c	25.0~65.0	c	127.3	4	152.3~207.3	6	749.5	6
陕西 Shanxi	5.6	21		<15.0	c	<25.0	c	<35.0	c	<75.0	c	1 098.3	3
黑龙江 Heilongjiang	20.6	7		15.0~71.9 ^b	c	25.0~65.0	c	35.0~65.0	c	75.0~201.9	c	404.8	13
山东 Shandong	34.2	3		<15.0	c	<25.0	c	<35.0	c	<75.0	c	156.3	21
河南 Henan	10.4	14		15.0~71.9 ^b	c	25.0~65.0	c	35.0~65.0	c	75.0~201.9	c	137.5	23
江西 Jiangxi	26.6	4		<15.0	c	<25.0	c	<35.0	c	<75.0	c	363.8	8
四川 Sichuan	12.4	12		15.0~71.9 ^b	c	25.0~65.0	c	90.9	5	130.9~227.8	5	717.0	7
贵州 Guizhou	0.5	30		15.0~71.9 ^b	c	69.2	4	163.5	2	247.7~304.6	3	1 116.0	2
云南 Yunnan	12.5	11		15.0~71.9 ^b	c	74.2	3	143.5	3	232.7~289.6	4	2 034.7	1
广西 Guangxi	1.9	26		<15.0	c	<25.0	c	35.0~65.0	c	35.0~105.0	c	881.7	4

注:a 原文未给出面积合计,由笔者根据原文 3 个等级的数值加和形成;b 原文为大于 15 万 hm²,该范围的最大值是笔者根据原文推导确定的;c 由于原文中无具体的面积数值而无法排名。
Note:a. There is no total area in the original,the value in the table are calculated according the numerical value of three grade mentioned in the original;b. The value is $\geq 15\times 10^4$ hm² in the original, the range in the table are deduced according to the original;c. It cannot be ranking because there are no area value in the original.

3.3 结论及讨论

不同研究者对宜能非粮地总面积的研究结果差异很大,包括林地 $3\,420\sim 16\,374$ 万 hm^2 ,不包括林地 $700\sim 6\,473$ 万 hm^2 。在各省市区分布研究结果差异也很大。除不同研究者的定义及其所含土地种类不一致外,研究方法包括所采用适宜性评价指标不同也是造成结果差异的主要原因,刘奇顺等^[43]就此进行了详细的研究。

4 展 望

结合上述研究现状,有关进一步研究的展望如下:

首先,在更宽的专业和产业范围内深入研究符合中国国情的宜能非粮地定义、分类和研究方法,形成行业标准,才能准确地确定其资源分布和生产潜力。

其次,坚持可持续发展原则,不改变土地用途,确定因地制宜的宜能非粮地的使用具体条件。必须遵守自然规律和国家法律法规,依照国家和地方相关土地规划,既要保护耕地,提高耕地质量,保障国家粮食综合生产能力,又要按照建设环境友好型社会的要求,保障国家生态安全,大力推进土地生态保护。尤其在干旱半干旱地区边际地资源环境问题较为突出^[44],种植能源植物必须坚持经济效益与环境效益相结合。

最后,有些土地种类,例如弃种的耕地和园地尤其是季节性撂荒地,存在较难认定、统计和管理的问题。加强研究政策性管理方法,建立相应的标准化认证体系,有利于相关政府主管部门对生物质原料生产基地进行有效科学的管理。

参 考 文 献

- [1] 谢光辉. 非粮生物质原料体系研发进展及方向[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 1-19
- [2] 石元春, 汪燮卿, 尹伟伦, 等. 中国可再生能源发展战略研究丛书: 生物质能卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008
- [3] 严良政, 张琳, 王士强, 等. 中国能源作物生产生物乙醇的潜力及分布特点[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 213-216
- [4] 寇建平, 毕于运, 赵立欣, 等. 中国宜能荒地资源调查与评价[J]. 可再生能源, 2008, 26(6): 3-9
- [5] 王芳, 卓莉, 陈建飞, 等. 宜能边际土地开发潜力熵权模糊综合评价: 以广东省为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1520-1531
- [6] 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
- [7] 崔海兴, 郑福田, 张彩虹. 中国生物质利用政策演变与展望[J]. 林业经济, 2008(10): 22-26
- [8] Tian Y S, Zhao L X, Meng H B, et al. Estimation of un-used land potential for biofuels development in (the) People's Republic of China [J]. Appl Energy, 2009, 86: S77-S85
- [9] 田宜水, 赵立欣, 孙丽英, 等. 农业生物质能资源分析与评价[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 24-28
- [10] 《中国能源作物可持续发展战略研究》编委会. 中国能源作物可持续发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009
- [11] 谢光辉, 段增强, 张宝贵, 等. 中国适宜用于非粮能源植物生产的土地概念、分类和发展战略[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(2): 1-8
- [12] 刘成武, 李秀彬. 农地边际化的表现特征及其诊断标准[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 106-113
- [13] OECD. Glossary of Statistical Terms [EB/OL]. 2008. <http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1591>
- [14] Gemet thesaurus, Marginal land [EB/OL]. 2012-7-20. <http://www.eionet.europa.eu/gemet/concept?ns=1&cp=5023>
- [15] Eugene Podum. 生态学基础[M]. 孙儒泳, 钱国桢, 林浩然, 等, 译. 北京: 人民教育出版社, 1981: 153-154
- [16] 张文龙. 基于边际土地利用的能源安全策略: 以中国能源植物种植为例[J]. 可再生能源, 2010, 28(6): 112-117
- [17] 石元春. 中国生物质原料资源[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 16-23
- [18] Hamdar B. An efficiency approach to managing Mississippi's marginal land based on the conservation reserve program (CRP) [J]. Resour Conserv Recy, 1999, 26: 15-24
- [19] 程序, 朱万斌, 谢光辉. 论农业生物能源和能源作物[J]. 自然资源, 2009, 24(5): 842-848
- [20] Ceotto E, Candilo M D. Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use [C]// In: (Lichtfouse E Ed) Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture, 2010: 101-122
- [21] 周生贤. 向人大常委会报告环境保护工作情况(实录)[EB/OL]. 2011-10-25. http://www.china.com.cn/news/2011-10/25/content_23723648.htm
- [22] 国土资源部, 国家统计局, 国务院第二次全国土地调查领导小组办公室. 关于第二次全国土地调查主要数据成果的公报[EB/OL]. 2013-12-30. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230_1298865.htm
- [23] 中国国家标准化管理委员会. GB/T21010—2007, 土地利用现状分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007
- [24] Zhuang D F, Jiang D, Liu L, et al. Assessment of bioenergy potential on marginal land in China [J]. Renew Sust Energ Rev, 2011, 15: 1050-1056
- [25] 欧阳益兰, 刘洛, 段建南. 中国适宜发展象草的边际土地资源分析与评价[J]. 经济研究导刊, 2013(13): 256-258
- [26] Tang Y, Xie J S, Geng S. Marginal Land-based Biomass Energy Production in China [J]. J Integr Plant Biol, 2010, 52(1): 112-121

- [27] 温明炬,唐成杰.中国耕地后备资源[M].北京:中国大地出版社,2005,38:61-62
- [28] 米健,罗其友,高明杰.南方冬作区马铃薯增产潜力与适度规模[J].安徽农业科学,2011,39(9):5124-5127,5174
- [29] 范锦龙,吴炳方.基于GIS的复种指数潜力研究[J].遥感学报,2004,8(6):637-644
- [30] 史俊通,刘孟君,李军.论复种与我国粮食生产的可持续发展[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):51-57
- [31] 廖西元,李凤博,徐春春,等.粮食安全的国家战略[J].农业经济问题,2011(4):9-15
- [32] 李琳凤,李孟刚.提高复种指数是保障我国粮食安全的有效途径[J].管理现代化,2012(3):26-28
- [33] 孙彬,管建涛,连振祥,等.大地之殇三·重金属之痛[N].经济参考报,2012-06-13
- [34] Shao H B, Chu L Y. Resource evaluation of typical energy plants and possible functional zone planning in China [J]. Biomass Bioenerg, 2008, 32(4): 283-288
- [35] Zhou X, Wang F, Hu H W, et al. Assessment of sustainable biomass resource for energy use in China [J]. Biomass Bioenerg, 2011, 35: 1-11
- [36] 黄树焘,宋静,骆永明,等.铜陵杨山冲尾矿库能源植物生产示范基地的特征化[J].广西农业科学,2009,40(6):691-695
- [37] 国家林业局森林资源管理司.第七次全国森林资源清查及森林资源状况[J].林业资源管理,2010(1):1-8
- [38] 袁展汽,肖运萍,刘仁根,等.江西省适宜种植能源作物的边际土地资源分析及评价[J].江西农业学报,2008,20(1):92-94
- [39] 吴伟光,黄季焜,邓祥征.中国生物柴油原料树种麻疯树种植土地潜力分析[J].中国科学D辑:地球科学,2009,39(12):1672-1680
- [40] 尹芳,刘磊,江东,等.中国西南地区木薯燃料乙醇发展潜力及对温室气体减排的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(6):18-26
- [41] 王小兰,苏春江,王海娥,等.能源植物油桐在四川省边际土地种植潜力评价[J].可再生能源,2013,31(8):82-87
- [42] 冯正飞.内蒙古宜能边际土地生产潜力和开发利用模式研究[D].北京:中国农业大学,2014
- [43] 刘奇颀,段增强,冯立平,等.中国宜能非粮土地资源研究方法和适宜性指标[J].中国农业大学学报,2014,20(2):11-20
- [44] 张宝贵,谢光辉.干旱半干旱地区边际地种植能源植物的资源环境问题探讨[J].中国农业大学学报,2014,19(2):9-13

责任编辑:袁文业