

DOI: 10.13376/j.cbls/2014065

文章编号: 1004-0374(2014)05-0440-07

干旱能源植物的发掘与应用策略

杨廷雪, 李学贤*

(中国农业大学资环学院植物营养系, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 北京 100193)

摘要: 随着人类社会的快速发展和对化石能源的不合理开采, 化石能源整体可开采量锐减; 另一方面, 化石能源的大量使用造成日益凸显的环境污染问题, 发展生物质能源对解决能源危机、促进社会可持续发展具有重要意义。囿于人口持续增长和粮食需求不断增加, 发展能源植物的重要突破口在于大力开发不与粮食作物争地争水的干旱能源植物。因此, 从能源植物概念及其意义入手, 论述国内外干旱能源植物应用现状和在实际种植生产过程中存在的问题, 综合分析适合作为干旱能源植物的新类型, 进而提出干旱能源植物的应用策略。

关键词: 干旱能源植物; 新型干旱能源植物; 干旱能源植物应用

中图分类号: Q949.9; TK6 **文献标志码:** A

Exploitation and application strategies of drought-resistant energy plants

YANG Ting-Xue, LI Xue-Xian*

(Department of Plant Nutrition, College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, Beijing 100193, China)

Abstract: With rapid development of human society and uncontrolled mining of fossil energy resources, global reserve of fossil fuel is dropping quickly. On the other hand, overuse of fossil fuel causes increasingly serious environmental pollution problems. Thus, development of biomass energy resources is important to solve the energy crisis and maintain sustainable development of the globe. Due to continuously enlarging population and ever increasing food demand, a key step of development of energy plants is to screen drought-resistant energy plants that do not compete for the soil and water resources with food crops. Here, in this review, we define the energy plants and their energy values, and discuss the distribution and application of current drought-resistant energy plants and challenges of cultivation of these specific types of energy plants in the world. We further analyze new potential energy plant species with high water use efficiency, and then propose an overall application strategy of drought-resistant energy plants.

Key words: drought-resistant energy plants; new drought-resistant energy plants; application of drought-resistant energy plants

能源是人类生存、社会进步的重要基础, 随着经济的不断发展, 全球对能源的依赖程度日渐增加。2000年至2030年期间, 全球主要化石能源消费年均增长1.8%^[1]。2012年世界年均能源消费约折合为100亿吨纯石油^[2], 作为新兴经济体的发展中国家的能源需求增长占全球的90%, 中国贡献了世界能源消费增长的71%^[3]。但世界能源储量有限, 按照目前的开采速度对世界已探明能源矿产进行开采,

煤炭资源尚可开采100年, 天然气50~60年, 石油在100年后将被耗尽^[4]。同时, 煤、石油和天然气等化石能源的生产和使用产生CO、SO₂、CO₂和NO₂等大量污染物, 全世界每年由于矿物燃料的燃

收稿日期: 2013-07-01; 修回日期: 2013-08-15

基金项目: 教育部新世纪人才基金(NCET-12-0521)

*通信作者: E-mail: steve@cau.edu.cn; Tel: 86-10-62733886

烧仅碳排放就达 60 多亿 t^[5], 这些污染物所导致的温室效应与酸雨等环境污染问题已成为全世界必须应对的战略难题。因而寻求新的替代资源, 减少对矿质能源的依赖, 改善能源消费结构, 保障国家能源安全, 减轻生态环境污染显得尤为迫切。

核能发电具有核资源丰富、能量密度高、生产成本低和零碳排放等优点, 在很长一段时间内被认为是理想的未来能源, 但其安全性和抵抗自然灾害的能力较差, 近年来备受质疑; 中国支持发展核电提高清洁能源比重, 但更强调发展安全高效新型能源。生物质能 (biomass energy) 是一种重要的清洁可再生能源, 它以生物质为载体, 是太阳能以化学能形式贮存在生物体中, 即利用太阳能和生物可再生原料生产的可持续利用的清洁能源, 而能源植物则是最有前景的生物质能之一。能源植物 (energy plants) 又称为石油植物、柴油植物或生物燃料油植物, 通常是指那些利用光能效率高, 具有较高合成还原性烃能力, 可产生接近石油成分或可替代石油产品的植物以及富含油脂、糖类、淀粉类、纤维素等的植物^[6], 包括生活在陆地上的木本植物和草本植物, 以及生活在淡水和海洋中的各种水生植物, 特别是一些特殊藻类^[7], 具有安全环保、持续稳定、易普及推广、可再生性、生态多样性等特点。而干旱能源植物是指能够在年降水量低于 400 mm 的我国干旱、半干旱地区生长的高光能效率、富含油脂、糖类、淀粉类、纤维素等的木本和草本植物。

植物生长发育过程中, 水分是维持植物体温相对稳定, 促进植物光合作用、呼吸作用等各项生理活动, 改善植物生存环境湿度、温度等所必需物质。而全球性干旱日趋明显, 水资源短缺持续加剧, 土壤有效水含量逐年减少^[8-9]。据统计, 世界干旱区总面积约为 6 100 万平方公里, 占全球陆地总面积的 35%, 中国干旱半干旱地区总面积约 470.48 万平方公里, 约占我国国土面积的 50%^[10]。研究表明, 干旱胁迫是自然界主要的非生物胁迫之一, 严重影响植物生长及作物生产^[11]; 并且世界人口持续增长, 粮食需求不断增大, 超过 1/7 的贫困人口无法获得足够的食物, 中国、印度等发展中国家粮食供需矛盾也日益加剧。全球人口到本世纪中叶将持续增加到约 90 亿的人口高峰^[12], 这为粮食的充足有效供给提出崭新挑战, 粮食安全仍然是世界农业和经济发展的首要问题。因此, 必须千方百计地增加粮食种植面积及其产量。由此看出, 能源植物的优先发

展方向在于不与粮食作物争水争地的干旱能源植物。

在能源危机、环境污染、粮食安全等多种结构性矛盾并存情况下, 研究干旱能源植物的应用与实际种植生产中存在的问题, 可以更进一步优化种植管理, 对能源植物进行合理开发利用, 满足经济、社会可持续发展; 发掘干旱能源植物新类型可以为寻找新的替代资源开辟广阔空间, 具有广泛的现实意义和深远社会价值; 充分利用干旱能源植物, 对保障能源安全, 减轻环境污染, 减缓全球气候变暖, 维持生物多样性, 防止广大干旱地区生态退化具有重大意义。

1 干旱能源植物的应用

1.1 国内外干旱能源植物应用现状

能源植物可以根据植物系统法、生活周期、光合途径、化学成分组成及转化利用目的产物等多种方式进行分类。本文根据国内外主要干旱能源植物化学成分和用途对其进行分类, 依次分为纤维素类植物、糖料植物、淀粉类植物、油脂植物和含油微藻植物 5 类, 以便阐明干旱能源植物的应用现状。

1.1.1 纤维素类植物

纤维素类能源植物的生物质组分主要有纤维素、半纤维素、木质纤维素等碳水化合物, 可通过致密成型、直接燃烧、与煤混燃、热解气化、沼气发酵和乙醇发酵等多种途径加以利用^[13-14]。抗旱性纤维素类木本和草本植物是适宜边际干旱土地发展的能源植物类型, 生产成本低, 主要用于生产燃料乙醇和生物柴油。

欧美国家短期轮伐抗旱木本作物主要有硬木类的柳树、杨树、桉树、刺槐等。柳树 (*Salix* spp.), 杨柳科柳属落叶乔木或灌木, 具有耐寒耐旱、生长快、生物量大等特点, 主要分布在我国东北、西北、西南山区^[15]。目前, 瑞典拥有世界领先的柳树生物质能源生产技术。杨柳科杨属木本植物杨树 (*Populus* spp.) 主要分布在我国北方、西南及华中, 具有生长速度快、丰产、纤维长且含量高、易于加工生产等特性^[16]。桃金娘科桉属乔木桉树 (*Eucalyptus* spp.) 大多起源于澳大利亚, 是中国南方的最重要的速生商品林。桉树具有耐干旱瘠薄、萌芽力强、种植容易、速生高产等特点^[17]; 除木材因纤维素含量高可生产燃料乙醇外, 桉叶油可用于提炼生物柴油。刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.), 蝶形花科刺槐属落叶乔木, 原产于北美, 是我国北方的优良能源树种, 具

有根系发达、耐干旱瘠薄、萌芽力强、生长迅速、易于更新、燃烧值高等优点^[18]。

与上述木本植物相比,草本纤维素类植物抗旱耐瘠薄性更强。在美国研究的18种根茎植物中,柳枝稷是最具有潜力的能源植物^[19]。柳枝稷(*Panicum virgatum* L.),多年生禾本科稷属C₄草本植物^[20],美国土生种,根系发达,抗旱性强,在贫瘠地区能获得高产,可用于加工生产燃料乙醇。此外,多年生禾本科芒属C₄草本植物芒(*Miscanthus* spp.)原产中国华北和日本^[21-24],具有生长速度快、耐受干旱胁迫、耐高温、高产优质、再生能力强等特点,是最理想的草本能源作物之一。多年生禾本科荻属C₄草本植物荻(*Triarrhena sacchariflora* (Maxim.) Nakai)原产东亚,主要生长在干旱、盐碱、贫瘠等逆境胁迫的边际土地上,具有生产成本低,适应性广,抗逆性强,净能产出高等优良特性。

1.1.2 糖料植物

具有抗旱性的糖料植物甜高粱、甜菜、菊芋等主要用于燃料乙醇的生产^[25]。甜高粱(*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench),禾本科高粱属C₄植物,起源于亚洲,在中国分布于黑龙江、四川、新疆、江苏等大部分地区,具有耐旱、耐瘠薄、耐盐碱、较高的能源转化效率及经济效益等特点^[26]。甜菜(*Beta vulgaris*)属于藜科甜菜属,原产于欧洲西部和南部沿海,我国黑龙江、新疆和内蒙古三省也有大面积种植,可在干旱沙地、盐碱地等边际地区种植,高产高效;具有生物质产量高,乙醇转化率高,含糖量适中等特点^[27]。菊芋(*Helianthus tuberosus* L.),菊科向日葵属宿根性草本植物,原产北美,在欧洲、北美、中国各地广泛栽培利用。菊芋耐贫瘠、耐寒、耐旱,抗风沙能力强;其块茎中富含菊糖,含量比甘蔗高30%,并且地上部生物量巨大,可作为糖类和纤维素类乙醇生产的优质原料,是抗逆高产、高密度能源植物,适合在荒漠、滩涂、盐碱草地等边缘性土地上推广耕种^[28]。

1.1.3 淀粉类植物

在淀粉类植物中,耐旱耐瘠的木薯最适合作为生产乙醇的能源植物。木薯(*Manihot esculenta* crantz (*M. utilissima* Pohl)),多年生大戟科木薯属灌木,起源于热带美洲,在我国主要种植于广东、广西、海南、台湾、福建等地。另外,蕉芋、葛根、橡子、野百合等野生植物适应性广,具有较强耐旱性和丰富的淀粉含量,也可用于燃料乙醇的生产。

1.1.4 油脂植物

富含油脂的能源植物可以加工制备生物柴油,应用价值较大且具较强抗旱性的油脂植物主要有麻疯树、白沙蒿等^[29]。麻疯树(*Dendrocnide urentissima* (Gagnep.) Chew),大戟科麻疯树属落叶灌木或小乔木,原产美洲,在我国主要分布于云南、四川、广东、广西等地。它具有速生,含油率高,适应范围广,喜高温、耐干旱瘠薄等特点,是世界重点发展的能源植物之一。白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch.),多年生菊科蒿属半灌木,是我国东北、华北、西北荒漠半荒漠地区的特有植物,分布面积已达3.75亿亩。白沙蒿具有抗风沙,耐旱、耐瘠薄、耐寒等特性;叶子和种子含油量达21.5%^[30],可用于生物柴油生产。

1.1.5 含油微藻植物

微藻植物富含烃类或脂类,生长周期短,可用于生产生物柴油;微藻与微生物混合培养也可生产高纯度乙醇。含油微藻可在干旱区废弃地、盐碱地、荒漠及其他没有农业利用价值的土地上利用废水进行大规模培养,其研究及应用在国内外已取得长足发展。

现阶段,干旱能源植物在世界各地虽有广泛种植与应用(表1),但基本未呈现合理种植、有序管理以及高效加工利用的规模产业化状态。切实解决干旱能源植物生产中存在的问题,进一步加强干旱能源植物的发掘和利用才能满足整个产业发展的客观需求。

1.2 干旱能源植物在生产应用中存在的问题

目前,人们对干旱能源植物应用的迫切性以及合理开发利用干旱地区的重要性并未充分认识,对其研究探索仅处于起步阶段,因此,发展干旱能源植物存在多方面的问题。主要体现在:(1)缺乏全面系统的调查与整理。世界范围内干旱区面积广阔,干旱区总面积占全球陆地总面积的35%,中国干旱半干旱地区总面积约占我国国土面积的50%^[10],干旱能源植物资源丰富,至今没有关于植物种类数量、性质特点及其对各种不同干旱区的适应性和生产性等的系统调查、评价与记载。(2)科研与技术滞后。干旱能源植物优良繁殖材料匮乏,高效培育以及良种筛选技术没有深入开展;现代科学技术在干旱能源植物的大面积种植,实现环境效益与经济效益的“双赢”^[32]等方面的应用有待进一步探究;现阶段对一些能源植物的加工、提取正处于初试阶段^[33],生物液体油的提炼效率低,加工技术不完善,在实际

表1 国内外主要干旱能源植物的应用

名称	科, 属	形状	分布	成分
柳树	杨柳科, 柳属	乔木或灌木	瑞典、中国	生物乙醇、柴油 ^[15]
杨树	杨柳科, 杨属	乔木	美国、中国	生物乙醇 ^[16]
桉树	桃金娘科, 桉属	乔木	澳大利亚、中国	汽油 ^[6]
刺槐	蝶形花科, 刺槐属	乔木	亚洲、欧洲、北美洲	汽油 ^[6,18]
柳枝稷	禾本科, 稷属	草本	美国、加拿大	生物乙醇 ^[20]
芒	禾本科, 芒属	草本	北欧、南欧、中国	石油 ^[6,21-24]
荻	禾本科, 荻属	草本	东亚	石油 ^[6]
甜高粱	禾本科, 高粱属	草本	苏丹、尼日利亚、亚洲	生物乙醇 ^[26]
甜菜	藜科, 甜菜属	草本	欧洲、中国	生物乙醇 ^[27]
菊芋	菊科, 向日葵属	草本	欧洲、北美、中国	生物乙醇 ^[28]
木薯	大戟科, 木薯属	灌木	美洲、亚洲	生物乙醇 ^[31]
麻疯树	大戟科, 麻疯树属	灌木或小乔木	美洲、亚洲	柴油 ^[6]
白沙蒿	菊科, 蒿属	灌木	中国	柴油 ^[30]

应用过程中因生物燃料油品位低会产生诸多问题。

(3) 缺乏规模化生产动力。干旱能源植物在较短时期内很难产生较高经济、社会、生态效益, 以桉树生产生物油为例, 1 hm² 桉树 1 年能产 90.92 L 生物柴油^[17], 柴油按 6 元/L 价格计算, 可产生 545.52 元的经济效益。这样看来, 人们对其发展前景容易低估, 群众生产积极性低, 其栽培推广难度大, 缺乏有效管理, 单位面积产量低, 造成资源浪费, 并导致恶性循环。(4) 缺乏规范化统一标准。生物质液体燃料生产商品链的运行处于初级阶段, 缺乏统一行业产销以及质量标准, 难以形成标准化有效市场, 原料成本与产品定价均具有较大的不确定性, 影响产业链的顺利运行。(5) 干旱区缺乏有效利用, 非粮干旱能源植物并非主要能源生产原料供给。世界范围内, 良田有限, 但人们仍然利用优质土地发展生物能源, 大面积干旱难利用土地没有得到很好利用; 民以食为天, 多数粮油作物是人民赖以生存的物质, 但现在大量生物质燃料油是由粮食作物炼制而成, 非粮干旱能源植物的开发利用规模偏小。(6) 野生资源与微藻应用规模小。野生能源植物具有较强的抗逆能力和生态适应性以及较高的生物学产量, 在开发应用其抗旱、耐贫瘠、高产性能方面更具优势; 微藻植物具有强大的生态适应性和产油能力, 可以充分利用干旱地的不可灌溉用废水, 因此极具规模开发潜力; 但现阶段野生资源与微藻的利用种类明显偏少。

2 干旱能源植物的发掘

世界各国的能源储量日渐衰减, 能源需求日益

膨胀, 并且全世界拥有广阔的难利用干旱土地, 为缓解能源危机, 在大面积干旱贫瘠地区发展利用具有抗旱性的能源植物十分重要。中国的国土面积虽然大, 耕地却不多, 仅占国土面积的 14%, 人均耕地低于联合国粮农组织 (FAO) 规定的 533.6 m² 的警戒线^[13]。而且中国接近一半的国土面积处于干旱半干旱地区, 土壤含水量低, 对一般植物的生长极为不利, 农作物获得产量一般需要 400 mm 以上的年降水量, 但新型干旱能源植物在年降水量 200 mm 的情况下仍然可以生存, 本着“不与民争粮, 不与粮争地”的原则, 在大面积难以利用的干旱区种植耐旱能源植物, 不但可以缓解人均耕地面积偏小的压力, 而且还能修复退化土地, 提供能源满足人们消费需求, 减少因石化能源的使用而排放的温室气体, 丰富干旱区生物多样性。因此, 开发具有潜力的干旱能源植物对能源安全以及人类生存意义重大。

2.1 干旱能源植物新类型

2.1.1 绿玉树

绿玉树 (*Euphorbia tirucalli* L.), 别名光棍树、光枝树、绿珊瑚、青珊瑚、白蚁树、乳葱树、龙骨树等, 大戟科大戟属直立灌木或小乔木, 原产非洲, 在我国现种植于广东、福建一带。它具有喜高温光照、低温敏感、不耐寒、抗旱性极强等特点。其肉质茎干枝条中的白色乳汁里富含碳氢化合物, 可用于提炼石油。绿玉树既是重要的燃料油树种, 同时又是环保资源, 适应性强, 在干旱区、退化林下均能生长, 是绿化荒山、防治水土流失、护堤固坡的好树种^[34]。近年科研工作者对在绿色植物中寻求能

源的研究不断深入, 它被认为是未来石油原料的希望替代者。

2.1.2 油楠

油楠 (*Sindora glabra* Merr.ex de Wit), 多年生苏木科油楠属常绿阔叶乔木, 主要分布于东南亚的马来西亚、越南、泰国、菲律宾等国和我国海南省的三亚、白沙等地。它适应性强, 喜阳光、耐高温、耐干旱。油楠是热带、亚热带能源树种, 其树干木质内含有一种似柴油成分的淡棕色可燃性油质液体, 出油率高达 90%, 因此, 也被称为“柴油树”。

2.1.3 黄连木

黄连木 (*Pistacia chinensis* Btmge.), 别名黄楝树、黄连茶、木蓼树、鸡冠木、烂心木、黄华、楷树、药木、石连、洋杨等, 漆树科黄连木属落叶乔木, 原产中国, 主要分布在我国河北、河南、山西、陕西等地。它喜光, 喜温暖, 耐干旱瘠薄, 深根性, 主根发达, 萌芽力强, 对土壤要求不严。黄连木种子含油率为 35%~42.46%, 出油率为 22%~30%, 非常适合作为干旱能源植物进行开发利用。

2.1.4 芦竹

芦竹 (*Arundo donax* Linn.), 别名江苇、荻芦竹、旱地芦苇, 多年生禾本科芦竹属 C_3 草本植物, 原产于亚洲, 分布在英国、日本等国和我国广东、广西、福建、江苏、浙江等地。它喜温暖, 地下根茎发达, 耐旱、耐贫瘠、耐盐碱, 土壤适应性强, 抗逆能力强, 植株高大, 生物质产量高。

2.1.5 杂交狼尾草

杂交狼尾草 (*Pennisetum americanum* x *P. purpur*) 是二倍体美洲狼尾草 (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) 和四倍体象草 (*P.purpureum* Schum.) 交配产生的多年生禾本科种间杂交种, 亲本美洲狼尾草和象草原产热带非洲, 杂种一代主要在热带和亚热带地区栽培, 分布于美国 and 我国广东、广西、海南等省区。它喜温暖湿润、高产优质、耐旱、抗倒伏、生产能力强。杂交狼尾草在我国北方不能过冬, 为一年生草本植物。

2.1.6 野生蓖麻

野生蓖麻 (*Ricinus communi*), 野生草本能源植物, 具有优良的遗传基因, 抗旱、抗盐、耐瘠薄, 可以有效利用荒地和盐碱地, 还能治理荒山, 改善生态环境^[35]。野生蓖麻不仅种子含油量高达 40% 以上^[36], 而且植株含油量也接近 14%, 是一种非常有潜力的能源植物。

2.2 新类型的生态适应性

干旱能源植物新类型不仅能自身或经加工提供液体能源, 而且普遍拥有旺盛的生命力、较强生态适应性、耐受干旱贫瘠的强抗逆性, 较高的生物质生产潜力以及良好的水土保持能力, 能稳固植物生产群体整体布局, 充分合理利用干旱贫瘠地区, 持续稳定地提供生产原料, 保障能源安全, 在一定程度上改善生态环境, 促进干旱贫瘠区引种能源植物生态效益的实现。在此, 需要强调, 多年生禾本科甘蔗属 C_4 宿根草本植物甘蔗 (*Saccharum*), 它原产于热带、亚热带, 现主要分布在巴西、印度、中国等地^[28], 是一种高光效作物。它的生物产量和收益都很大。巴西主要利用甘蔗生产燃料乙醇, 2008 年巴西以甘蔗为原料的燃料乙醇的产量已经取代了该国 40%~50% 以上的汽油消费, 现在巴西约 1/3 的汽车为酒精、汽油两用汽车, 温室气体排放减少了 20%^[4,19,37]。甘蔗因其巨大的生物产量和广阔的发展空间被特别列为干旱能源植物新类型, 并且它在干旱条件下会出现形态、生理、生化等一系列变化以适应外界环境, 因此在开发育种过程中应向着培育抗旱、耐瘠以及宿根性强品种的方向发展^[38]。

3 干旱能源植物应用策略

鉴于干旱能源植物生产现状、存在问题及其应用潜力, 提出以下干旱能源植物应用策略, 以期推动干旱能源植物规模化种植和产业化进程。

3.1 干旱能源植物资源全面调查、整理与评价

根据国内外干旱能源植物研究情况, 对其在世界不同区域范围内按照一定分类标准有重点地收集考察, 并建立一套合理选择指标体系, 摸清干旱能源植物资源分布格局、数量性状、潜在的开发利用价值, 综合评价开发不同植物的技术方法和途径, 为干旱能源植物战略资源开发储备、筛选保护提供科学参考依据。

3.2 新型优良干旱能源植物选育

在了解有广阔前景的干旱能源植物化学成分及生物学特性的基础上, 采用诱变育种、杂交育种、人工栽培等方法培育生物质产量高、抗逆性强的新型高效能源植物以生产出高品位燃料油。最好能建立良种繁育基地, 运用生物技术有计划地引种驯化, 选育高产速效的优良干旱能源植物品种。

3.3 野生和非粮抗旱能源植物的开发

野生植物具有优良的遗传基因, 抗旱、抗盐、

耐瘠薄,可以有效利用荒地和盐碱地,还能治理荒山,改善生态环境^[35]。继续从野生植物中筛选含油量高、抗逆性强的品种是一个研究方向^[39]。选育速生高产、环境友好型的野生和非粮干旱能源植物,经合理规划配置,不断栽培改造,以丰富能源植物资源,利于生物质产量形成。

3.4 遗传改良抗旱能源植物种质资源

利用国内现有种质资源的同时,引进国外种质资源,采用关键基因转化利用^[40],定向化改良的种质资源的遗传组成。利用基因工程,从基因层面调控植物生长方向^[41],以提高能源植物纤维素、糖、淀粉、油脂等的含量,增加生物质转化利用的资源量,促进根系生长发育、增强耐旱能力,培育干旱能源植物新种质,减轻人类对化石燃料的依赖程度^[42]。

3.5 干旱能源植物规模化种植

世界范围内干旱区、荒山废地及其他的非粮食生产土地面积非常大,在广大难利用土地上进行干旱能源植物的规模化种植可以在保障能源安全的同时,充分利用土地资源。需要注意,干旱能源植物的开发利用要与生态保护有机结合,在技术运用、规模种植、栽培管理各个方面实现生态、经济和社会的可持续发展,保持生态系统稳定性,修复退化土地。

3.6 加快生物质燃料油提炼技术的科学研究

生物质原料转化为环保液体燃料资源的技术有待进一步优化,科研人员应根据干旱能源植物的化学组分含量,转化利用特点,研究出具体提取炼制方法。有必要建立系统研究平台,加大人力、物力投入,为干旱能源植物开发利用技术研发提供有力的科技支撑。

3.7 优化技术,实现干旱能源植物规模产业目标

据统计,我国现有干旱木本燃料油植物总面积超过 1 600 hm²,年果实产量 200 多 t,大多数资源尚未得到合理利用,将目前基本处于低效利用的木本燃料油资源的 1/3 用来制取生物柴油,每年就有近百万吨原料可利用^[43]。据测算,将现有宜林荒山荒地的 10% 用于种植木本燃料油植物,每年可新增木本油料资源 1 000 万 t 以上^[44-45],按照 60% 转化率生产生物柴油,每吨生物柴油 8 000 元,这些资源可创造直接经济效益约 528 万元。同样,干旱草本能源植物的直接经济效益也是非常可观的。

在现有条件下,鼓励支持生物质能源商品化生产,制定统一标准,以利于形成商品产业链,使生

物质能源生产有一定经济效益。同时,因种植干旱能源植物存在投资风险性,应给予经济补助措施,以保证生物质原料的持续供应。

此外,还需引进国际先进经验和先进技术,优化种质选育、规模化管理栽培、生物质收获处理、转化利用等各个过程,推进生物质能源商品化、市场化。

[参 考 文 献]

- [1] Mahmud K. Fuel cell and renewable hydrogen energy to meet household energy demand. *Inter J Adv Sci Technol*, 2013, 54: 97-104
- [2] Samimi A, Zarinabadi S, Samimi M. Solar energy application on environmental protection. *Inter J Sci Engin Investig*, 2012, 1(8): 21-4
- [3] BP世界能源统计年鉴[R]. 英国: BP, 2012
- [4] 王莉衡. 关于开发能源植物问题的思考. *陕西农业科学*, 2010, (4): 123-6
- [5] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environ Inter*, 2005, 31(4): 575-84
- [6] 王莉衡. 能源植物的研究与开发利用. *化学与生物工程*, 2010, 27(4): 6-8
- [7] 张志国, 史本林. 我国能源植物发展现状及建议. *现代农业科技*, 2009, (12): 92-3
- [8] Oweis TY. Improving agricultural water productivity: a viable response to water scarcity in the dry areas. *Integr Water Resour Manag Mediterranean Region*, 2012: 39-55
- [9] Shan L. Plant water use efficiency and agriculture water use in semi-arid area. *Plant Physiol Commun*, 1994, 30(1): 61-6
- [10] 曹清尧. 对我国干旱半干旱地区国土绿化的思考. *求是*, 2010, (19): 56-8
- [11] 岳桂东. 玉米干旱胁迫相关基因的克隆与分析[D]. 山东济南: 山东大学, 2008
- [12] Godfray HC, Beddington JR, Crute LR, et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010, 327(5967): 812-8
- [13] Lewandowski I, Clifton-Brown JC, Scurlock JM, et al. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenergy*, 2000, 19(4): 209-27
- [14] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质能源利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 46
- [15] 宋炜, 蒋丽娟, 李昌珠. 能源柳研究应用现状及发展趋势. *湖南林业科技*, 2009, 36(6): 4-7
- [16] 尹春英, 李春阳. 杨树抗旱性研究进展. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(6): 662-8
- [17] 陈少雄, 刘杰锋, 孙正军, 等. 桉树生物质能源的优势、现状和潜力. *生物质化学工程*, 2006, s0: 119-28
- [18] 蔡宝军, 刘军朝, 沈永存, 等. 北京石质山地燃料型能源树种刺槐无性系筛选. *林业科技开发*, 2008, 22(1): 71-5
- [19] 谢光辉. 能源植物分类及其转化利用. *中国农业大学学报*, 2011, 16(2): 1-7
- [20] 左海涛, 杨秀山, 陈群. 纤维素类草本能源植物研究进展. *可持续发展通讯*, 2008, (9): 11-6
- [21] Lewandowska I, Scurlockb JMO, Lindvallc E, et al. The

- development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy*, 2003, 25(4): 335-61
- [22] 谢光辉, 卓岳, 赵亚丽, 等. 欧美根茎能源植物研究现状及其在我国北方的资源潜力. *中国农业大学学报*, 2008, 13(6): 11-8
- [23] Venendaal R, Jorgensen U, Forsters CA. European energy crops: a synthesis. *Biomass Bioenergy*, 1997, 13(3): 147-85
- [24] Clifton-Brown JC, Lewandowski I. Winter frost tolerance of juvenile *Miscanthus* plantations: studies on five genotypes at four European sites. *New Phytologist*, 2000, 148: 287-94
- [25] 汤亮. 循环经济模式有效提高生物乙醇的技术经济效率. *中国外资*, 2012, (15): 44
- [26] Harlan JR. Agricultural origins: centers and noncenters. *Science*, 1971, 10(174): 468-74
- [27] 史淑芝, 程大友, 马凤鸣. 生物质能源作物—能源甜菜的开发利用. *农村能源科学*, 2007, (11): 416-9
- [28] 刘丹梅, 姜吉禹, 杨君. 菊芋的生态功能研究. *北方园艺*, 2009, (10): 140-2
- [29] 王涛. 中国主要生物质燃料油木本能源植物资源概况与展望. *科技导报*, 2005, 23(5): 12-4
- [30] 牛小霞, 李润喜, 刘文涛. 野生植物白沙蒿的种子特性及开发应用研究进展. *农业科技通讯*, 2012, 5(17): 234-7
- [31] 张佳, 璞文辉, 张慧坚. 国内外木薯产业发展近况. *中国农学通报*, 2010, 26(16): 353-61
- [32] 程序. 以生物能源产业重新振兴中国生态农业. *中国生态农业学报*, 2013, 21(1): 23-8
- [33] 李勇进, 侯昊, 王学华, 等. 能源植物研究现状及展望. *安徽农业科学*, 2013, 41(4): 1682-3
- [34] 蒋丽娟. 引进植物绿玉树的繁殖技术及提高抗寒性的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2002
- [35] 吴普特, 冯浩, 牛文全. 中国节水农业战略思考与研发重点. *科技导报*, 2006, 24(5): 14-7
- [36] 中国油脂植物编写委员会. 中国油脂植物[M]. 北京: 农业出版社, 1987: 1-278
- [37] 张华, 陈如凯. 提升我国甘蔗核心技术竞争力的研究. *甘蔗*, 2003, 10(3): 49-54
- [38] 毕黎明, 刘伟丽, 李杨瑞. 甘蔗抗旱性研究进展与展望. *广西农业科学*, 2006, 37(5): 522-7
- [39] 范淑琴, 梁淑文. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 50-3
- [40] Duvick DN, Smith JS, Cooper M, et al. Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant Breeding Rev*, 2004, 24: 109-51
- [41] Hammer G, Cooper M, Tardieu F, et al. Models for navigating biological complexity in breeding improved crop plants. *Trends Plant Sci*, 2006, 11(12): 587-93
- [42] Valentine J, Brown JC, Hastings A, et al. Food vs fuel: the use of land for lignocelluloses' 'next generation' energy crops that minimize competition with primary food production. *GCB Bioenergy*, 2012, 4: 1-19
- [43] 王峥, 陶玲, 任君. 荒漠能源植物资源开发研究. *陕西农业科学*, 2007, (3): 22-4
- [44] 郭月玲, 江海东, 张磊, 等. 我国主要能源植物及其开发利用的现状与前景. *浙江农业科学*, 2009, 6: 1057-62
- [45] 王亚萍, 姚小华, 王开良. 燃料油植物资源研究现状与发展对策. *中国油脂*, 2007, 32(5): 7-10