

我国柳枝稷规模化种植现状与前景

马永清¹ 郝智强² 熊韶峻³ 刘吉利⁴

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 瑞典农业科学大学 生物质技术和化学研究所, 瑞典于默奥 SE-904 03;

4. 宁夏大学 新技术应用研究开发中心, 银川 750021)

摘要 柳枝稷是国际上公认的最适合作为生物燃料的能源植物。我国目前柳枝稷的种植规模不大,处于引种的初级阶段。柳枝稷引种主要集中在我国北方,南方尚未见报道。本研究简要叙述了我国柳枝稷引种历史和种植现状;根据近年来引种柳枝稷出现的问题,分析阐述了柳枝稷种植过程中的技术问题,以及我国柳枝稷种植的前景。作为一种有效的水土保持植物、优质牧草,能够在废弃的工矿区、盐碱地和不适宜农作物种植的地区种植的第二代能源植物,柳枝稷在我国有着广泛种植前景,需要政府-企业-农户有机的结合,有计划的引种种植。

关键词 柳枝稷; 引种; 种植; 生物能源

中图分类号 S 315;S 322.2

文章编号 1007-4333(2012)06-0133-05

文献标志码 A

Present status and future of switchgrass going to scale plantation in China

MA Yong-qing^{1*}, HAO Zhi-qiang², XIONG Shao-jun³, LIU Ji-li⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

3. Unit of Biomass Technology and Chemistry, Sweden University of Agricultural Sciences, Box 4097, SE-904 03 Umea, Sweden;

4. Application of New Technology Research and Development Center, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract Switchgrass is internationally recognized as the most suitable biofuel plant. The planting scale of switchgrass is relatively small in China, so the introduction of switchgrass is still in the initial stage. Switchgrass is mainly introduced to northern part of China while it is not reported that there is an introduction of switchgrass to southern part of China. The introduction history of switchgrass and its cultivation status were briefly described in this paper. According to the problems appeared in the process of introduction, we analyzed the technical problems in switchgrass planting and the prospect for planting switchgrass in our country. It has prosperous prospects for switchgrass plantation in China because it was reported that the switchgrass is an effective soil and water conservation plant and is a high-quality forage. As the second generation bioenergy plant, switchgrass could be planted in abandoned sandpits, saline-alkali soils and lands unfavorable for crop production. However, in order to introduce switchgrass systematically, a closely cooperation among enterprises, government and farmers is still needed.

Key words switchgrass; introduction; plantation; prosperous prospects

随着我国国民生产总值的不断提高,能源问题日益突出,寻找替代性清洁能源就成为化解能源危机和温室效应的最佳策略。而作为生物能源产业发

展基础的能源农业,也必然在今后进入一个高速发展时期。能源农业就是“为生物质能源的生产与加工提供原料的农业形态”^[1]。由于生物质能作为一

收稿日期: 2012-02-06

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD31B05)

第一作者: 马永清,教授,主要从事植物化感作用和生物质能源植物柳枝稷引种栽培研究, E-mail: mayongqing@ms.iswc.ac.cn

种化学态能,不仅能够发电、供热,而且还能转化为液态燃料和生物基产品,是唯一可大规模替代化石燃料的能源,主要发达国家的技术专家和决策者都非常重视。

《福布斯》曾就未来10年可能发生的重大新闻进行了预测。该杂志网站公布了他们预测的2011—2020年可能发生的重大事件,随着原油价格的上升,2017年从柳枝稷草中提取的乙醇成本比汽油低得多,甚至不需要政府补贴。美国能源部联合生物能源研究所研究人员通过转基因工程,首次制造出能消化柳枝稷生物质的埃希氏菌(*Escherichia coli*),将其中的糖转化为可代替汽油、柴油和航空燃料3种运输燃料的先进生物能源,而且无需添加任何酶^[2]。一项大规模实验表明,用柳枝稷制取的乙醇产生的能量是生产、收割和运输植物以及将其转化为乙醇所需要的能量的5倍^[3]。开发木质纤维素生物燃料已成为当今生物能源发展的主攻方向之一。柳枝稷是目前国际上公认的最适合作为木质纤维素生物燃料的模式植物。

1 柳枝稷引种历史

柳枝稷最早由日本宇都宫大学的一前宣正教授于20世纪80年代开始引进我国的。1987年他参加由日本东京大学名誉教授田村三郎主持的“黄土高原绿化与沙漠化防治”项目,1988年7月将自己收集的柳枝稷种子首先引种到中国科学院宁夏回族自治区固原生态试验站和中国科学院安塞水土保持综合试验站,12年后一前先生和徐炳成就引种结果进行了报道^[4-5]。再5年后一前先生对柳枝稷的水土保持效益进行了报道^[6]。与一前宣正教授合作的

李代琼教授和刘国彬教授也有关于柳枝稷引种的研究问世^[7]。安塞试验站的项目后来在徐炳成博士的坚持下研究工作没有间断,他也是我国目前关于柳枝稷生理生态方面论文最多的研究者。

中国农业大学程序教授于2005年专程赴美国考察能源作物,引进了Shawnee和Trailblazer2个柳枝稷品种,并在我国北方开始试种^[8]。本研究组2005-04—09在日本宇都宫大学做客座教授期间,在一前宣正教授的指导下了解到能源植物柳枝稷,之前徐炳成博士保留着一些一前教授提供的柳枝稷样品(染色体倍性不详),这些样品后来成为很珍贵的育种材料。本研究组从2005年开始利用这些种质资源开始了株系选育。同时,2005-09本研究组请求一前教授从美国购买了10个柳枝稷品种(Alamo、Blackwell、Cave-in-Rock、Dakota、Forestberg、Illinois USA、Kanlow、Nebraska 28、Pathfinder和Sunburst),这些品种先后种植在宁夏回族自治区固原、同心、银川以及陕西省定边县,并开展了柳枝稷化感作用和生态适应性研究^[9-11]。目前,未检索到我国南方省市引种柳枝稷的报道。

2 柳枝稷种植现状

目前,兰州大学在定西地区种植柳枝稷^[12]。2008年以后北京市农林科学院开展了北京郊区边际土地种植柳枝稷的试验研究,截至2010年底该地区种植的柳枝稷面积已经达到115 hm²,是目前国内种植面积最大的地区^[13]。本研究组将柳枝稷分别于2006年春播种于陕西杨凌和宁夏固原;2010年春播种于陕西定边。截止2011年为止,共有面积0.8 hm²。柳枝稷的品种、生态型及染色体倍性见表1。

表1 柳枝稷的生态型和染色体倍性

Table 1 Ecotypes and chromosome ploidy of switchgrass

品种	生态型	倍性	原产地
Alamo	低地 Lowland	四倍体 Tetraploid	South Texas
Blackwell	高地 Upland	八倍体 Octoploid	Northern Oklahoma
Cave-in-Rock	中地 Intermediate	八倍体 Octoploid	Southern Illinois
Dakota	高地 Upland	四倍体 Tetraploid	North Dakota
Forestberg	高地 Upland	四倍体 Tetraploid	South Dakota
Kanlow	低地 Lowland	四倍体 Tetraploid	Central Oklahoma
Nebraska 28	高地 Upland	未知 Unknown	Northern Nebraska
Pathfinder	高地 Upland	八倍体 Octoploid	Nebraska/Kansas
Sunburst	高地 Upland	未知 Unknown	South Dakota

表1所示的10个柳枝稷品种于2006-04分别播种于杨凌和固原生态试验站,10个品种均在7~9 d出土。第1年生长情况较好。2007年春天观察各个品种的越冬情况,结果表明,10个品种均能在杨凌生长并完成生命周期。而2个低地品种 Alamo 和 Kanlow 在固原未能发芽出土^[10]。

陕西定边种植的10个柳枝稷品种,第1年生长情况较好,2010年春观察越冬及存活情况,结果与固原的统计结果相同,2个低地品种 Alamo 和 Kanlow 在定边也未能稳定生长。2008-04,2个低地品种 Alamo 和 Kanlow 由陕西杨凌移栽到宁夏固原,当季生长较好并能安全越冬,说明 Alamo 和 Kanlow 可能通过移栽在固原等地种植,并建立稳定的种群结构。2010年秋,2个低地品种 Alamo 与 Kanlow 株高分别达到 133.4 和 187.8 cm^[10]。

2009-10对柳枝稷生物量监测结果表明,杨凌种植的10个柳枝稷品种中,2个低地品种 Alamo 和 Kanlow 表现出最高的生产力,与 Hopkins 等^[14]的结果一致。Alamo 表现出最大的生物学产量,干物质质量达 44.22 t/hm²,其次为 Kanlow 和 Cave-in-Rock,干物质质量分别达到 26.73 和 20.14 t/hm²; Pathfinder 的产量最低,只有 3.47 t/hm²。此外, Dakota 的生物学产量未监测,原因是该品种于2008年春移栽,第2年的存活株数有限^[10]。

北京市农林科学院设立数个科研项目在京郊挖沙废弃地上开展了柳枝稷的规模化种植探索,并从生物质产量和生态经济价值角度研究了其生产潜力^[15]。徐炳成等^[16]研究了黄土丘陵半干旱区引种

禾草柳枝稷的生物量与水分利用效率,研究结果表明柳枝稷在黄土丘陵区旱川地的年度地上生物量在 13 t/hm²,远高于山地梯田和坡地的 2.6 t/hm²。中国科学院安塞试验站种植的柳枝稷,先后有中国农业大学的多名研究生在安塞站开展调查研究^[17-18]。

我国引种柳枝稷的工作处于初级阶段,还没有有组织的开展引种和试验示范工作,面积尚未达到开展生物乙醇工厂化生产的要求,急需有组织的大面积引种和规范化栽培的研究。

3 柳枝稷种植中的技术问题

3.1 直接播种时土壤水管理及其适宜的刈割期

我国北方干旱半干旱地区存在着大量的闲置地、退耕地,以及盐碱地和不适合种植农作物的土地,适合柳枝稷的种植和生长。柳枝稷种子发芽需要 15℃ 以上的温度,要达到这样的温度一般均在 5 月份以后,而这时尚未到达雨季,土壤表层干旱,大气干旱,直接播种面临保墒问题。2006年本研究组第1次在中国科学院宁夏回族自治区固原生态站播种柳枝稷时遇到这样的问题,只好采取植物秸秆表面覆盖的办法(图1(a))。这种办法不适宜大面积推广种植。黄土高原地区大部分土壤浇水后如遇到大气干旱会出现板结,浇水少又不能满足柳枝稷生长的需要;柳枝稷种子很小,不能进行深播种,只能播种在 2~3 cm 土壤表层。因此,播种到出苗的 9~10 d 土壤水管理是一件十分重要的工作。柳枝稷是一种适宜刈割的多年生禾本科牧草,冬前刈割有利于来年返青(图1(b))。



(a) 杂草覆盖保墒



(b) 冬前刈割

图1 干旱条件下植物秸秆表面覆盖种植柳枝稷

Fig. 1 Switchgrass sowing under drought condition(Direct sowing of switchgrass seeds covered by stubble for keeping top soil moisture (a);Cutting in winter is good for next year turn green (b))

3.2 春季移栽要注意的问题

柳枝稷经过2年种植后在适宜的条件下会出现大量分蘖,并形成庞大的根系系统,在第3年春季柳枝稷刚出土时可以将芽与相连的根一起分开进行移栽,移栽成活率高。需要注意的是,开沟的深度要满足柳枝稷的根系能够直立向下,移栽时需要给苗的附近浇水,一旦缓苗过程完成,不需要进一步的水分管理。2007—2008年本研究组在固原开展了春季移栽,移栽成活率就高。这种移栽方式可以大面积推广,但要求作业的时间很短,需要集中人力开展移栽,一旦柳枝稷叶片生长过大,移栽成活率会降低。

3.3 穴盘育苗移栽需要注意的问题

2009—2011年本研究组开展了柳枝稷穴盘育苗移栽的实验研究。2009年初次采用穴盘育苗移栽实验,由于条件所限以及决定采用穴盘育苗的时间偏晚,在柳枝稷苗没有长到足够的时间移栽,成活率较低。宁夏回族自治区固原的生态环境条件,穴盘育苗移栽柳枝稷需要气温达到15℃以上才能开始育苗,苗高5~8cm时才可以移栽。当然,有条件的地方如果能够在温棚育苗,时间可以提前,提前育苗就可以做到提前移栽,这样做的好处是能够充分利用7—9月份雨热同季的气候特点让柳枝稷在当年有足够的时间生长,不会出现越冬死苗的情况。2010年本研究组采用穴盘覆盖地膜的育苗方法开展柳枝稷的育苗移栽工作,需要指出的是,采用穴盘覆盖地膜育苗的办法可以提高柳枝稷的发芽率和减少每天浇水的工作量,并且提高柳枝稷的出苗率。同时,采用该方法可以提前育苗,做到提前移栽,提高移栽成活率。2011年本研究组采用穴盘覆盖地膜的方法育苗,培育的幼苗移栽到早酥梨林地的行间,成活率和生长情况良好。

4 我国柳枝稷种植的前景

我国目前有荒漠化和盐碱化土地260万km²,占国土总面积的27.3%,还有7300km²退耕地。若能够因地制宜利用好这些土地资源种植适宜的能源植物,这将既能起到恢复生态又能创造经济价值的双重收益^[19]。在不远的将来,全球能源模式将发生重大变化,各种可再生能源将迅速取代化石型能源。到2015年,全球总能耗将有40%来自于生物能源^[20]。柳枝稷作为一种在严酷的环境中能够正常生长的植物,在水土保持、防沙治沙、盐碱地治理等方面均具有广阔的前景。

4.1 引种柳枝稷成为生物能源作物

在我国沙漠、荒山、河岸等废弃地种植多年生草本植物柳枝稷,可以合理利用退耕还林土地,开发能源农场,为生物质能产业提供充足的原料资源。合理开发土地既不会影响中国粮食作物产量,又能改善土壤生态功能,缓解我国田地贫瘠和沙化现象^[21]。有研究指出能源农业可能会产生环境伦理冲突,引种柳枝稷可能产生生物侵略问题^[22]。引种柳枝稷首先应该考虑其用途的广泛性、长期性和持续性,除了考虑其作为生物质能源植物以外,加强其作为饲草的研究也十分需要,只要能够妥善的加以利用,柳枝稷会和玉米、西红柿等大家熟知的作物一样为我国国民经济发展提供服务。

4.2 柳枝稷的推广及种植方式

柳枝稷放牧实验早在20世纪80年代在美国的内布拉斯加州开展,采用Trailblazer和LowIVDMD PC 2个品系,Trailblazer的新变种于1984年推出,1986年大量种植^[23]。由于国家退耕还林政策的实施以及当地政府的不懈努力,我国北方地区目前大面积退耕地主要种植豆科牧草苜蓿,而这些苜蓿均已经进入盛草期,当地农牧民不缺豆科牧草,但是只饲喂苜蓿会使牛、羊生鼓胀病,目前禾本科牧草短缺,尤其是每年11月到来年5月,牧民需要购买禾本科牧草以维持最低的牛羊存栏。随着我国社会经济的进一步发展,调整农业产业结构迫在眉睫,种植多年生禾本科牧草可以解决不需要每年种植牧草的难题,牧民在需要时去种植的地方收割牧草就可以达到养殖家畜的工作。

在我国北方不同的地区根据当地土地资源和水资源现状,开展柳枝稷种植的规划以及能够设立燃料乙醇生产的工厂布局和调研工作,不能一拥而上,在开发第一代燃料乙醇项目时,由于没有考虑到玉米生产区与乙醇加工厂之间的联系,目前有很多以玉米为原料加工生物乙醇的工厂倒闭,主要原因是原料与加工工厂之间的距离太大,运输成本太高而不得不停产。在这方面美国的教训值得我们借鉴。

4.3 柳枝稷全国行业技术体系的建立

对柳枝稷在产业化过程中的关键技术问题展开系统研究;对柳枝稷进行丰产栽培、发展模式及生理生态评价。在我国不同的生态类型区建立丰产栽培试验示范基地,获得其高产栽培配套技术与最佳发展模式,并形成完整的丰产栽培技术和资料,为以后的大面积生产与推广提供技术支撑。近些年来,我

国已大力资助生物质降解转化技术方面的研发工作,取得了一定进展。但有关能源植物培育的项目,少之甚少^[24]。柳枝稷的种植目前还没有形成一个行业,急需得到国家有关部门的支持。

参 考 文 献

- [1] 徐曼,张涨,左玉辉,等.我国能源农业的发展前景与对策[J].环境保护,2008,388(2):55-57
- [2] Bokinsky G, Peralta-Yahya P P, George A, et al. Synthesis of three advanced biofuels from ionic liquid-pretreated switchgrass using engineered *Escherichia coli* [J]. PNAS, 2011, 108(50):19949-19954
- [3] Schmer M R, Vogel K P, Mitchell R B, et al. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass[J]. PNAS, 2008, 105(20):464-469
- [4] 一前宣正,西尾孝佳,刘国彬,等.中国黄土高原丘陵地区植被管理与水土流失的关系以及植被恢复中多年生植物的选择[J].杂草研究,2001,46(2):97-103
- [5] 徐炳成,山仑,黄占斌,等.黄土丘陵区柳枝稷光合生理生态特征的初步研究[J].西北植物学报,2001,21(4):625-630
- [6] Ichizen N, Takahashi H, Nishio T, et al. Impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) planting on soil erosion in the hills of the Loess Plateau in China [J]. Weed Biology and Management, 2005, 5(1):31-34
- [7] 李代琼,梁一民,刘国彬,等.半干旱黄土丘陵区多元化草地建设技术研究[J].西北植物学报,2003,23(7):1258-1265
- [8] 谢光辉,郭兴强,王鑫,等.能源作物资源现状与发展前景[J].资源科学,2007,29(5):74-80
- [9] Shui J F, An Y, Ma Y Q, et al. Allelopathic potential of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. Environmental Management, 2010, 46:590-598
- [10] Ma Y Q, An Y, Shui J F. Adaptability evaluation of *Panicum virgatum* L. cultivars on the Loess Plateau of China[J]. Plant Science, 2011, 181:638-643
- [11] 安雨,税军峰,马永清.引种牧草柳枝稷对生化学感作用初探[J].西北农业学报,2011,20(2):143-149
- [12] 胡松梅,龚泽修,蒋道松.生物能源植物柳枝稷简介[J].草业科学,2008,25(6):29-33
- [13] 侯新村,范希峰,武菊英,等.京郊边际土地纤维素类能源草规模化种植与管理技术[J].作物杂志,2011(4):98-101
- [14] Andrew A, Hopkins K, Vogel P, et al. Genotype effects and genotype by environment interactions for traits of elite switchgrass populations[J]. Crop Science, 1995, 35:125-132
- [15] 侯新村,范希峰,武菊英,等.京郊挖沙废弃地能源草生产潜力评价[J].自然资源学报,2011,26(10):1768-1774
- [16] 徐炳成,山仑,李凤民.黄土丘陵半干旱区引种禾草柳枝稷的生物量与水分利用效率[J].生态学报,2005,25(9):2206-2213
- [17] 林长松,程序,杨新国.半干旱黄土丘陵沟壑区引种能源植物柳枝稷生态适宜性分析[J].西南大学学报:自然科学版,2008,30(7):125-132
- [18] 杨新国,李玉英,吴天龙,等.半干旱黄土丘陵区柳枝稷(*Panicum virgatum*)的生物物质形成[J].生态学报,2008,28(12):6043-6050
- [19] Jia H S, Xu Y N. World biodiesel utilization and development strategies in China[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2):221-230
- [20] 张乍如,陈日光.浅议绿色能源植物的特点及开发利用[J].湖南农业科学,2006(6):99-101
- [21] 李改莲,王远红,杨继涛,等.中国生物质能的利用状况及展望[J].河南农业大学学报,2004,38(1):100-104
- [22] 张帆.中国能源农业政策可能产生的伦理冲突及其对策研究[J].黑龙江农业科学,2009(5):130-132
- [23] Anderson B, Ward J K, Vogel K P, et al. Forage quality and performance of yearlings grazing switchgrass strains selected for differing digestibility[J]. Journal of Animal Science, 1988, 66:2239-2244
- [24] 彭良才.论中国生物能源发展的根本出路[J].华中农业大学学报:社会科学版,2011,92(2):1-6

责任编辑:刘迎春