

DOI: 10.13376/j.cbils/2014066

文章编号: 1004-0374(2014)05-0447-04

西北干旱区利用间套作促进能源植物的高产高效

左元梅*, 张立祯, 李 隆

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 在全球性能源紧缺和我国能源植物大规模种植困难等大背景下, 优质、充足的原料供应已成为制约生物质能源产业发展的主要限制因素。在确保能源植物高效生产和克服“与粮争地、与人争粮”现实的同时, 挖掘我国边际土壤高产高效生产能源植物的土地优势和增产潜力。通过筛选评价适宜西北干旱地区高抗逆的新型能源植物种类, 开发应用能源植物与粮经作物间套作栽培技术, 实现新型能源植物对逆境资源的高效利用和可持续规模化种植, 提高能源植物的生产力和优化能源物种的区域配置, 增加土地产值和农民收入, 缓解能源紧缺, 达到经济、生态和社会效益多赢, 为我国能源和粮食安全提供技术支撑。

关键词: 高抗逆能源植物; 间套种植技术; 边际土地; 资源高效; 高产高效

中图分类号: Q949.9; TK6

文献标志码: A

Intercropping for enhancing bioenergy crops productivity with efficient resource use in arid area of North-West China

ZUO Yuan-Mei*, ZHANG Li-Zhen, LI Long

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: With high rates of worldwide consumption of non-renewable fossil fuel and dedicated biomass crops for biofuels, which may lead to supply shortages, and, in turn, to an limitation in biomass-derived fuels production and development, a great challenge is to provide enough raw industrial materials in a sustainable way. In order to acquire high production of bioenergy crops, the goal for the selection of new bioenergy crops in China is to grow on marginal land not suited for food crops, thus removing competition between the uses of land for food and fuel production. Screening resistant bioenergy crop species in arid area of North-West China is not only a potential resource of bioenergy plants, but also for soil and water conservation and feedstuff in China. Importantly, the resources use efficiency and crop productivity can be enhanced by intercropping. Therefore, intercropping of bioenergy plants and other plants is an effective strategy for high production of bioenergy plants. The effective application of intercropping technology provides a potential pathway for bioenergy plants production by improving bioenergy crop resistance to environmental stress and resources use efficiency in marginal lands. It is suggested that fine-tuning cropping patterns at different scales from individual to agroecosystem levels will be more economically and environmentally sustainable as a bioenergy feedstock and food security in China.

Key words: resistant bioenergy crops; intercropping management; marginal lands; resources use efficiency; high production

进入 21 世纪以来, 人类面临的能源和环境问题日趋严重, 生物质能源被认为是同时解决能源与环境问题的有效途径, 世界各国均对生物质能源的开发给予了极大关注。发展生物质能源对我国更具有保障国家能源安全和国民经济健康发展的重要作用。我国生物质能源发展必须遵循“不与民争粮、

不与粮争地”的基本准则^[1], 许多区域由于长期片面追求经济增速而破坏了生态环境, 造成生态脆弱

收稿日期: 2013-08-06

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD22B02)

*通信作者: E-mail: zuoym@cau.edu.cn; Tel: 010-62733407

等一系列严重的社会问题,在我国西北地区尤为突出。我国西部和西北地区拥有大量的贫瘠土地,难以种植农作物,但人口密度相对较少,非常适宜于进行大规模生物质能源的开发,在提供能源的同时带动相关产业发展,改良土壤和改善生态环境,创造就业机会,提高生活水平,这也符合国家西部大开发的重大战略需求。可再生的生物质能源被认为是解决我国能源及环境问题的重要途径。然而,在我国发展生物能源面临着原料大面积种植困难、转化效率低、产品单一及生产成本高等瓶颈问题。在未来生物质能源研究中,应该特别强调的是利用贫瘠土地进行生物质能源的种植和培育,并在生物质能源利用系统内寻求保障土壤可持续发展的途径,保障生物质能源系统的可持续性发展。因此,发展生物能源是我国能源、环境和粮食安全形势的需求,但能源植物高产高效面临各种挑战。

1 边际土壤具有能源作物生产的独特优势

我国可用于种植能源植物的边际性土地1.30~1.36亿 hm^2 ,需生态修复土地至少2亿 hm^2 ^[2]。在内蒙和西部地区,水资源缺乏是该地区植物高产的主要限制因素之一,但是该地区从20世纪90年代开始大规模应用滴灌技术,已经形成了一套成熟的高效利用水资源的技术,如新疆农业灌溉耗水量占资源开发量的95%,可用于其他作物灌溉的比例十分有限,但是劣质水、微咸水资源十分丰富,初步估计达到88.2亿 m^3 。微咸水、劣质水资源主要分布在沙漠-绿洲交错带,在空间分布上与边缘土地匹配。一般大田作物不适合劣质水、微咸水灌溉,但沙生、旱生植物一般具有高度耐旱、耐盐碱性,适合采用这些水源进行灌溉并产生较高生物量。西北地区土壤质地粗糙通透性好,通过合理的灌溉措施可阶段性洗盐,避免盐分在土壤中过度积累影响植物生长^[3]。因此,西北干旱地区具有高抗逆能源作物生产的土地优势、技术优势和增产潜力,可在保障国家能源安全、改善生态环境、应对气候变化和发展乡村经济等方面做出贡献。例如,在保障能源安全与改善能源结构方面,利用我国内蒙西北边际土地发展生物能源可大量替代化石能源,促进我国能源结构的多元化;在改善生态环境方面,提升清洁能源比例可降低能源工业对于环境的污染,通过提高植被覆盖率,增加生物多样性和减少土壤风蚀,可实现能源、环境、生态协调发展;在能源及产品提供层面,可提供诸多可再生的能源替代品、

生物基材料和高附加值产品,为国家经济发展和降低二氧化碳排放做出贡献;在应对气候变化方面,通过降低化石能源的消耗可大幅减少温室气体排放;在促进新农村建设方面,规模化发展生物能源产业可大量解决农村剩余劳动力的就业问题,提升农村优质能源的消费比例、改善农村居民的生活质量。

2 西北干旱地区高抗逆能源植物筛选

目前,国际上生物质资源的研究热点与重点主要包括:能源植物与藻类资源优质种质资源的筛选改造、分子育种与规模化种植研究;大规模生物质资源的收集、运输、加工与储藏的工程化研究。能源植物的选育主要以解决能源植物遗传特性、改善其光合效率、提高能量密度为研究目的^[4]。事实上,能源植物的选择必须与备选种植区域的土壤及气候条件结合起来综合考虑,国际上重点研究的一些能源植物可能不适合我国西北部的边际土壤,因此,必须选择符合我国西北部气候及土壤特色的高抗逆的新型能源植物。据国家有关部门的统计数据,生物质资源开发的土地潜力近2亿 hm^2 。宜农荒地主要分布于新疆、甘肃和内蒙古,荒草地主要分布于西藏和新疆,盐碱地主要分布于甘肃和新疆^[1]。因此,筛选和评价现有的适合西北地区生长的高抗逆植物梭梭、沙柳、沙蒿、盐蒿、柠条、柳枝稷、芨芨草作为新型高抗逆植物尤为重要,这些高抗逆新型能源植物的筛选在确保能源植物高效生产的同时,避免“与粮争地、与人争粮”,期望形成生态友好型的低投入和水土保持型新种植系统,达到经济、生态效益并重,提高农民收入,修复生态环境,促进我国新型能源植物的生产和农业的可持续稳定发展。

3 利用间套种植技术促进高抗逆新型能源作物高产高效

目前,生物质能源中对种植策略研究较少,能源植物常被单一种植,会引起严重的生态失衡并造成生物多样性下降。多样性种植(间套混作)在我国已经有悠久的历史,并在解决粮食安全和促进社会经济发展上起到了至关重要的作用,主要是该种植方式能够充分利用光、热、水、空气和土地等自然资源^[5],从而可以大幅度增加产量、减少肥料投入和减轻环境压力。间作是在同一田地上于同一生长期内,分行或分带相间种植两种或两种以上作物

的种植方式;套种是在前一种作物的生长末期,于其行内或行间播种或栽植另一种作物的种植方式,国际上统称为间套作。与单作相比,不同间作体系能够使得产量增加10%~80%,主要是由于1 hm²土地上获得的干物质相当于1.1~1.5 hm²单作获得的产量^[5]。因此,间套作投资风险小且产值稳定,而种间相互作用是间套作体系高产高效的关键,主要体现以下几个方面。(1)多样性复合群体通过增加叶面积指数和延长光合时间增加光能利用而增产。如C₄与C₃植物间套作由于高秆的C₄植物光饱和点高,改善了光照质量,而较矮的C₃植物由于其对低能量光的利用效率高,从而提高了光能利用效率^[6]。(2)间作提高水分利用效率。大量研究表明,间套作的水分利用效率(WUE)一般明显高于单作。间套中因为上层土壤根系较多,所以土壤上层水分利用较多,这也是间套作棵间蒸发减少的原因之一。(3)增加了养分资源的利用效率。在豆科/禾本科间作系统中,由于豆科植物具有较强的自身生物固氮能力,不仅满足自身对氮的需求,同时也可以给与之间作或套作的植物提供氮源,因此,通过该体系可以促进作物的生产力,同时减少氮肥的投入^[7]。另外,合理的间套作能够使间作作物对磷的吸收和利用增加11%~83%,主要是因为间作体系不同植物根系分泌物能够充分活化和利用土壤难溶磷,从而提高对磷资源的利用效率^[8-9]。禾本科与双子叶间作明显改善双子叶植物对微量元素铁和锌等的吸收^[10-12]。因此,不同生物学特性的作物间作套作在高效利用资源方面具有非常明显的间作优势。

应用间套作的技术提高生物质资源的产量和土地产值在技术上是可行的。Tilman等^[13]提出应用植物物种多样性在低投入的草原生态系统生产更多的生物质资源,从而达到降低碳排放、减少化学污染物质投入的新思路,为生物质能源发展提供了新的途径。我国草原面积有限,更不可能在农田上种植能源植物。然而,我国有荒地面积约1亿hm²,盐碱地1000万hm²,其中大部分分布在我国的新疆、甘肃和内蒙古等地,在这些地区发展能源植物生产是未来生物质能源发展的方向。我们有理由认为,将植物间作套作这种高效利用资源的种植模式应用到能源植物和经济作物的种植生产中,一方面可以促进能源植物和经济作物的高效生产,同时也可以有效地保护生态环境;另一方面,能源植物的高效生产也迫切需要引进、改良高生物量和能量密度的能源植物,对现有的低效植物资源进行筛选和遗传

改良,提高能源植物的生产效率。利用间套作种植发展能源植物和经济作物将是一种非常适合中国国情的新途径,这不仅能够避免“与人争粮、与粮争地”的现象出现,而且可以形成生态友好型的低投入和水土保持型新种植系统,修复生态环境,提高农民收入,达到经济和生态效益并重,促进我国农业和生物质能源共同的可持续稳定发展。

合理的植物搭配和组合是间套作体系增产的重要保证,间套作体系在共生期内两作物必然发生相互作用。因此,间套作研究与单作相比更为复杂,而且间套作作物的相对竞争能力强弱受环境条件影响较大,特定环境条件下的最佳作物组合并不一定适应于所有的种植区域。播种时间、作物组合、肥料施用方法和病虫害控制方法等都影响物种间的相对竞争能力,从而影响间作优势发挥。对于作物间套作物种搭配和组合已有大量的研究和种植经验,但生物质能源是一个新的发展方向,能源植物物种的搭配和组合几乎很少有人研究。本课题组的初步研究表明,我国西部地区非常适合种植一些高效的能源植物,如梭梭、沙柳、沙蒿、柠条、柳枝稷、芨芨草。值得一提的是,在新疆大面积的盐碱土壤上大量生长的盐生植物(如盐蒿),由于其生物量很大,很可能是一种极具潜力的能源植物。在这些贫瘠土壤生长的各种豆科牧草,如苜蓿、草木樨、苦豆子等,由于具有较强的生物固氮能力,不仅满足自身对氮的需求,同时也可以给与之间作或套作的能源植物和经济作物提供氮源,还可以通过这些豆科植物与能源植物间(套)作来促进能源植物的生产力的提高,同时减少氮肥的投入,这对于充分挖掘和利用植物间互惠作用的遗传潜力,发挥间作最大优势,促进能源植物和经济作物的生产和环境友好具有重要的理论和实践意义。在西北干旱地区,农业靠天吃饭,产量低而不稳,农村劳动力大量转移到城市打工,农田荒置严重,造成一系列的生态和社会经济问题。但是,加大退耕还林还草的力度,在退耕地利用生物多样性原理,间套作或混种两种或两种以上多年生灌木,如柠条和柳枝稷与箭舌豌豆、绿洲边缘沙荒地梭梭寄生肉苁蓉间作苦豆子间作混种,又能提高土地产出和经济效益,又减少农业用工投入,还能有效地防止土壤风蚀沙化和水蚀,提高退耕地的生态恢复速度和效果。因此,多年生小灌木和草本高生物量的能源植物间套作或混作,在半干旱国家倡导的退耕还林还草地区具有广阔的开发前景。

另外,我国西北部地区还是我国粮食和经济作物的重要生产基地,如果能够将优良的能源作物与高附加值经济作物进行间套混种,将有可能在获得大量生物资源的同时获得经济作物及其深加工产品等高附加值产物,为我国西部生态修复及社会发展做出贡献。因此,以保证粮食、做强能源植物、大力发展特色产业为目标的能源植物和经济作物间作种植是西北地区种植业结构调整的历史机遇和重大挑战。

4 微咸水、劣质水灌溉技术与能源植物丰产栽培技术

西北地区水资源严重短缺,研究利用微咸水进行灌溉是解决灌溉水资源短缺的重要措施之一。在新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、河南、河北、山东、辽宁等省区,都开展了利用微咸水进行灌溉的试验和生产实践。各地利用咸水进行灌溉的试验证明,如果采用的技术和管理措施合理,利用微咸水灌溉农田可获得持续发展。灌溉方法随微咸水、劣质水的水质而不同,主要可分为直接灌溉、轮灌和咸淡水混灌3大类。在小麦、玉米、棉花、梭梭、芨芨草作物中的众多研究表明,通过合理的灌溉方法,微咸水在这些作物上能起到显著增产作用且不会对土壤盐分积累产生显著的影响。滴灌技术是最近20年在新疆逐步推广的新型灌溉技术,目前全疆推广面积达到120万 hm^2 以上^[3]。滴灌可在地形起伏的地区有效进行灌溉,且通过滴头间距设计可将水分灌溉到作物根系附近,大幅度降低灌溉定额。因此,在边缘土地上种植能源植物,可将滴灌技术与劣质水、微咸水灌溉有效结合,显著促进能源植物生长发育,获得较高生物量,并避免与农业争水。

5 展望

尽管我国生物质资源培育和利用方面研究已有大量开展,但针对不同区域边际土地利用乡土木本纤维类植物资源的培育为重点的生物能源的研究和技术集成项目尚未开展。在我国不同生态区边际土地上挖掘和筛选高抗逆新型能源植物种质资源,确

立这些新型能源植物高产高效栽培技术,可以为生物质能源产业提供新的廉价原料,同时有助于通过增加植被覆盖改良西北地区的生态环境,为我国新农村建设提供新的经济增长点,一定程度上保障国家能源和粮食安全。

[参 考 文 献]

- [1] 石元春. 发展生物质产业. 发明与创新, 2000, (5): 4-6
- [2] 谢光辉, 郭兴强, 王鑫, 等. 能源作物资源现状与发展前景. 资源科学, 2007, 29(5): 74-80
- [3] 彭珂珊. 西部大开发与水资源保护之分析. 水利科技与经济, 2002, 8(4): 227-33
- [4] Nageswara-Rao M, Soneji JR, Kwit C, et al. Advances in biotechnology and genomics of switchgrass. *Biotechnol Biofuels*, 2013, 6(1): 77
- [5] Li L, Li SM, Sun JH, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104(27): 11192-6
- [6] Zhang LZ, van der Werf W, Bastiaans L, et al. Light interception and utilization in relay strip intercrops of wheat and cotton. *Field Crop Res*, 2008, 107: 29-42
- [7] Szumigalski AR, van Acker RC. Land equivalent ratios, light interception, and water use in annual intercrops in the presence or absence of in-crop herbicides. *Agron J*, 2008, 100: 1145-54
- [8] Stavridou E, Kristensen HL, Krumbein AS, et al. Effect of differential N and S competition in inter- and sole cropping of *Brassica* species and lettuce on glucosinolate concentration. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(25): 6268-78
- [9] Zhang Y, Chen F, Li L, et al. The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. *Sci Chn: Life Sci*, 2012, 55(11): 993-1001
- [10] Zuo YM, Zhang FS. Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species. *Agron Sustain Dev*, 2009, 29: 63-71
- [11] Xiong H, Kakei Y, Kobayashi T, et al. Molecular evidence for phytosiderophore-induced improvement of iron nutrition of peanut intercropped with maize in calcareous soil. *Plant Cell Environ*, 2013, 36(10): 1888-902
- [12] Xiong H, Shen H, Zhang L, et al. Comparative proteomic analysis for assessment of the ecological significance of maize and peanut intercropping. *J Proteomics*, 2013, 78: 447-60
- [13] Tilman D, Hill J, Lehman C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 2006, 314(5805): 1598-600