

边际土地草本能源植物应用潜力评价

侯新村 范希峰 武菊英* 朱毅 张永侠 赵春桥

(北京市农林科学院 草业与环境研究发展中心,北京 100097)

摘要 为促进中国边际土地草本能源植物种植与生物质原料生产,基于京郊边际土地草本能源植物规模化种植的实践,从生产潜力、生物质品质、生物质利用潜力、生态效应等4个方面对荻的应用潜力进行了分析评价。结果表明:荻在京郊挖沙废弃地上的生产潜力为 2.31 t/hm^2 ,达到京郊耕地条件下的8.41%,生物质品质优良,其标准煤折算当量、沼气产量、纤维素乙醇产量分别为 1.42 t/hm^2 、 $289.99 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 0.59 t/hm^2 ,分别达到京郊耕地条件下的8.38%、8.37%、8.15%,生态效应明显。荻在边际土地上具备良好的应用潜力。

关键词 边际土地; 草本能源植物; 荻; 生物质; 应用潜力

中图分类号 S 216.2

文章编号 1007-4333(2013)01-0172-06

文献标志码 A

Evaluation of application potential of herbaceous bioenergy plant on marginal land

HOU Xin-cun, FAN Xi-feng, WU Ju-ying*, ZHU Yi, ZHANG Yong-xia, ZHAO Chun-qiao

(Research and Development Center for Grass and Environment,

Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract For the promotion of cultivation of herbaceous bioenergy plant and production of biomass feedstock on marginal land in China, the evaluation of application potential of silver reed was conducted, including the analysis of production potential, biomass quality, biomass utilization potential and ecological effects, based on the practical activities of the large-scale cultivation of herbaceous bioenergy plant on marginal land in Beijing suburb. The results showed that the production potential of silver reed was $2.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ on abandoned sandpits in Beijing suburb, accounting for 8.41% of that on arable land in Beijing suburb. With good biomass quality and ecological effect, its standard coal equivalent, biogas and cellulosic ethanol yield were $1.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $289.99 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, $0.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, accounting for 8.38%, 8.37%, 8.15% of that on arable land in Beijing suburb. Silver reed has a great application potential on marginal land in the future.

Key words marginal land; herbaceous bioenergy plant; silver reed; biomass; application potential

进入21世纪以来,全球能源紧缺与环境污染问题日益突出,可再生能源的研究与利用对于世界各国都是关系到可持续发展的战略问题^[1]。在各类可再生能源中,生物质能因以植物为载体而可储存,加之其生产与转化利用过程具有良好的碳平衡性,有望成为可再生能源中的主导性能源^[2-3]。生物质能

原料来源广泛,资源储量极为丰富,被视为全球第四大能源^[4-5]。到2020年,中国可供开发利用的生物质原料资源总量约相当于 $1.34 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤^[6],发展潜力巨大。

草本能源植物(本文指木质纤维素类草本能源植物),植株高大,根系发达,生长迅速,多数多年生;

收稿日期:2012-03-01

基金项目:农业部引进国际先进农业科学技术计划项目(2011-Z62);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX201102005,KJCX201101003)

第一作者:侯新村,助理研究员,主要从事草本能源植物研究,E-mail:houxincun@yahoo.com.cn

通讯作者:武菊英,研究员,主要从事草本植物资源研究,E-mail:wujuying1@263.net

具有较高的 CO₂ 固定效率,光能与水分利用效率以及光合速率高;可再生能力强,繁殖技术简单;生态适应性强,抗病虫害,抗倒伏,抗干旱,耐瘠薄,地理分布区域广阔;属于非粮(粮、油、糖)类生物质原料,生物质产量高,生物质品质优良,生物质热值高,灰分低,灰熔点高,纤维素、半纤维素等有效物质质量分数高,生物质利用过程中排放的有毒物质较少;种植管理与收获技术简单,成熟时生物质含水量较低,易于储存和运输,可连年持续供应生物质原料。草本能源植物是一种重要的生物质资源,有望在全球未来生物质能产业体系中占有基础地位^[7-8]。荻(*Miscanthus sacchariflorus*),禾本科(Gramineae)多年生草本植物,秆直立高大,匍匐根状茎发达,原产东亚地区,在中国分布范围广阔,原为优良的防沙护坡植物^[9],现已成为应用前景良好的木质纤维素类草本能源植物^[7-8,10-12]。

根据中国《生物质能发展“十二五”规划》、《农业生物质能产业发展规划(2007—2015年)》、《促进生物产业加快发展的若干政策》等战略发展规划,中国能源植物种植与生物质原料生产应该坚持“不与民争粮,不与粮争地”的原则,立足于各类边际土地开

展能源植物资源培育与规模化种植是解决中国当前生物质原料供应瓶颈的有效途径之一。当前,基于规模化种植实践对荻在边际土地上发展潜力的系统分析尚未见报道。

近年来已经在京郊地区 6 个区县的 11 处边际土地上开展了草本能源植物的规模化种植,面积达到 202.00 hm²^[8]。本研究基于这种实践,拟通过分析比较荻在京郊挖沙废弃地和耕地上的应用潜力,分析荻在边际土地的种植与应用前景,旨在为中国基于边际土地开展草本能源植物规模化种植与生物质原料生产提供技术支撑与科学参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

研究地点位于北京市昌平区:Ⅰ为边际土地,位于马池口镇土楼村(简称土楼村)一处挖沙废弃地,试验地粒径>5.00 mm 的石砾超过 30%,土壤成分中粒径为 1.00~0.05 mm 的砂粒超过 80%,属于多砾质粗砂土^[13];Ⅱ为耕地,位于小汤山镇国家精准农业研究示范基地(简称小汤山)。研究地点的气候条件与土壤肥力见表 1。

表 1 研究地点的气候条件与土壤肥力

Table 1 Climatic condition and soil fertility quality of research sites

研究地点 Research site ^①	气候条件 Climatic condition					
	年平均气温/℃ Annual mean temperature	1月平均气温/℃ Average temperature in January	7月平均气温/℃ Average temperature in July	年平均降水量/mm Precipitation	年日照时数/h Sunshine period	无霜期/d Non-frost period
	Ⅰ	11.7	-4.1	25.8	569.8	2 641.4
Ⅱ						
研究地点 Research site ^①	土壤肥力 Soil fertility quality					
	ω(有机质)/(g/kg) Organic matter	ω(碱解氮)/(mg/kg) Alkali hydrolyzable nitrogen	ω(速效磷)/(mg/kg) Available phosphorus	ω(速效钾)/(mg/kg) Available potassium	pH	
	Ⅰ	7.2	10.50	3.95	49.50	7.81
Ⅱ	15.2	84.00	6.50	129.00	7.62	

注:①Ⅰ,边际土地,位于北京市昌平区马池口镇土楼村;Ⅱ,耕地,位于北京市昌平区小汤山镇国家精准农业研究示范基地。下同。

Note:①Ⅰ, marginal land, in Tulou Village, Machikou Town, Changping District, Beijing; Ⅱ, arable land, in State Research and Demonstration Base for Precision Agriculture, Xiaotangshan Town, Changping District, Beijing. The same as below.

2008年5月,在土楼村和小汤山同步开展荻的规模化种植,面积分别为 20.0 和 0.5 hm²,其根

茎均采自山西省运城市郊区野生资源;采用开沟埋土方式种植,株行距均设置为 0.8 m,种植时浇

透水,并在种植后适时除1次杂草,以保证其正常生长。

1.2 分析方法

从生产潜力、生物质品质、生物质利用潜力、生态效应等4个方面对获的应用潜力进行分析评价:生产潜力主要通过生物质产量反映,生物质品质主要通过灰分、灰熔点、热值(本文指低位发热量)、固定碳、挥发分、纤维素、半纤维素、木质素等指标反映,生物质利用潜力主要通过生物质固体成型燃料产量、生物质气体燃料产量、液体生物燃料产量等指标反映,生态效应主要通过固定CO₂量、释放O₂量、吸收SO₂量、滞降粉尘量等指标反映。

1.2.1 生产潜力

2009年10月,在试验地内随机选取规格为2.4 m×2.4 m的样方,收获样方内地上部全部生物质,在烘箱内于80℃烘干至恒重。

称量前述烘干至恒重的试验材料,计算生物质产量,并将土楼村挖沙废弃地与小汤山耕地条件下的生物质产量进行比较。

1.2.2 生物质品质

1)灰分、固定碳和挥发分。参照NY/T 1881—2010^[14]测定分析。

2)灰熔点。参照GB/T 219—2008^[15],利用河南省鹤壁市智胜科技有限公司生产的ZRC98灰熔点测定仪测定变形温度、软化温度、半球温度、流动温度等4个熔融特征温度。

3)热值。利用上海昌吉地质仪器有限公司生产的XRY-1C氧弹式热量计测定。

4)纤维素、半纤维素和木质素。采用Van Soest分析方法,参照GB/T 20806—2006^[16]、NY/T 1459—2007^[17]、GB/T 20805—2006^[18],利用意大利VELP公司生产的FIWE 6纤维素测定仪测定中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和酸性洗涤木质素的质量分数,然后计算纤维素、半纤维素和木质素的质量分数。

$$w(\text{纤维素}) = w(\text{ADF}) - w(\text{ADL})$$

$$w(\text{半纤维素}) = w(\text{NDF}) - w(\text{ADF})$$

$$w(\text{木质素}) =$$

$$w(\text{ADL}) - w(\text{氧化硅,不溶性灰分})$$

式中: w 表示样品中所测定物质的质量分数,其中,

w (氧化硅,不溶性灰分)为样品中测定酸性洗涤木质素质量分数后剩余的氧化硅和不溶性灰分的质量分数, %。

1.2.3 生物质利用潜力

分别根据固体成型燃料加工、气体燃料转化、纤维素乙醇液体生物燃料制备3种生物质利用方式核算生物质利用潜力,并将土楼村挖沙废弃地与小汤山耕地条件下的生物质利用潜力进行比较。

1)生物质固体成型燃料加工。参照GB/T 2589—2008^[19],计算标准煤折算当量。

$$\text{标准煤折算系数} =$$

$$\text{生物质热值} / \text{标准煤热值}$$

$$\text{标准煤折算当量} =$$

$$\text{生物质产量} \times \text{标准煤折算系数}$$

2)生物质气体燃料转化。利用自行设计的沼气发酵试验装置开展沼气发酵试验(接种物为中国科学院成都生物研究所研制、北京合百意生态能源科技开发有限公司生产的绿秸灵,有效活菌数量 $\geq 5.0 \times 10^7 \cdot \text{g}^{-1}$),采用排水法收集沼气,计算沼气产率。

$$\text{沼气产量} = \text{生物质产量} \times \text{沼气产率}$$

3)纤维素乙醇液体生物燃料制备。采用稀酸水解—纤维素酶酶解发酵工艺开展纤维素乙醇制备试验,分别获得纤维素和半纤维素的转化效率,计算纤维素乙醇产率。

$$\text{纤维素乙醇产量} =$$

$$\text{生物质产量} \times \text{纤维素乙醇产率}$$

1.2.4 生态效应

根据生物质产量和种植面积核算生态效应,并将土楼村挖沙废弃地与小汤山耕地条件下的生态效应进行比较。

在本研究中,主要核算大气净化生态效应。在1个生长季中,按每形成1.00 kg生物质,吸收CO₂ 1.62 kg^[20]、释放O₂ 1.20 kg^[20]、每天吸收SO₂ 0.001 kg^[21]计算(获在京郊地区的生长季按210 d计);滞降粉尘量按1.20 kg·hm²/a计算^[21]。

2 结果与分析

2.1 获在边际土地上的生产潜力

生产潜力是评价草本能源植物应用潜力的基

础。2009 年, 荻在土楼村挖沙废弃地和小汤山耕地条件下的生物质产量分别为 2.31 和 27.50 t/hm², 前者为后者的 8.41%, 荻在京郊边际土地上具备良好的生产潜力。

2.2 荻在边际土地上的生物质品质

荻在土楼村挖沙废弃地上的各生物质品质与小汤山耕地之间的差异均达到显著水平 ($P < 0.05$, 表 2), 前者的灰分、灰熔点、热值、挥发分和纤维素均明

表 2 荻在京郊地区的生物质品质

Table 2 Biomass quality of silver reed in Beijing suburb

研究地点 Research site	w (灰分)/% Ash content	灰熔点/°C Ash melting point			
		变形温度 Deformation temperature	软化温度 Sphere temperature	半球温度 Hemisphere temperature	流动温度 Flow temperature
I	1.35 b	1 087.25 b	1 169.33 b	1 174.28 b	1 228.35 b
II	3.64 a	1 138.32 a	1 183.65 a	1 195.34 a	1 251.29 a

研究地点 Research site	热值/(kJ/kg) Calorific value	w (固定碳)/% Fixed carbon	w (挥发分)/% Volatile content	w (纤维素)/% Cellulose content	w (半纤维素)/% Hemicellulose content	w (木质素)/% Lignin content
I	17 967.00 b	18.09 a	80.56 b	34.16 b	30.92 a	6.85 a
II	18 034.26 a	14.31 b	82.05 a	38.87 a	26.14 b	6.47 b

注: 同列数字不同字母表示 0.05 水平上差异显著。

Note: Different letters in the same column indicates significant differences at 0.05 levels ($P < 0.05$).

显低于后者, 而固定碳、半纤维素和木质素则明显高于后者。

2.3 荻在边际土地上的生物质利用潜力

荻在京郊边际土地上具备良好的生物质利用潜

力。将土楼村挖沙废弃地收获的荻的全部生物质分别按标准煤折算、沼气发酵、纤维素乙醇制备 3 种方式核算, 其生物质利用潜力分别为 1.42 t/hm²、289.99 m³/hm²、0.59 t/hm²(表 3), 分别相当于小

表 3 荻在京郊地区的生物质利用潜力

Table 3 Biomass utilization potential of silver reed in Beijing suburb

研究地点 Research site	标准煤折算当量/(t/hm ²) Standard coal equivalent	沼气产量/(m ³ /hm ²) Biogas yield	纤维素乙醇产量/(t/hm ²) Cellulosic ethanol yield
I	1.42	289.99	0.59
II	16.92	3465.32	7.25

汤山耕地条件下的 8.38%、8.37%、8.15%。

2.4 荻在边际土地上的生态效应

荻在生长过程中具有明显的大气净化生态效应。因分析方法所致, 在土楼村挖沙废弃地, 荻在固

定 CO₂、释放 O₂、吸收 SO₂ 等 3 个方面的生态效应均与其生物质产量直接相关, 分别为 3 746.25、2 775.00、485.63 kg/hm²(表 4), 均为小汤山耕地条件下的 8.41%。

表 4 荻在京郊地区的生态效应

Table 4 Ecological effect of silver reed in Beijing suburb

研究地点 Research site	固定 CO ₂ 量 Quantity of CO ₂ fixation	释放 O ₂ 量 Quantity of oxygen release	吸收 SO ₂ 量 Quantity of SO ₂ absorption	滞降粉尘量 Quantity of dust retardation
I	3 746.25	2 775.00	485.63	1.20
II	44 554.05	33 003.00	5 775.53	1.20

获在规模化种植与应用过程中能够固定大量 CO₂, 这对于缓解全球气候变暖趋势具有积极作用。

因滞降粉尘量是按种植面积计算, 获在土楼村挖沙废弃地与小汤山耕地的滞降粉尘量相同, 均为 1.20 kg/hm²。

3 讨论

1) 与小麦 (*Triticum aestivum*)、大麦 (*Hordeum vulgare*)、玉米 (*Zea mays*) 等常见作物秸秆相比, 获的热值较高^[22], 其标准煤折算当量高于作物秸秆; 其灰分低于小麦、大麦、玉米秸秆^[22], 而其灰熔点低于玉米秸秆^[23-24], 高于小麦秸秆^[24], 与稻秆相当^[24]。获比较适用于加工生物质固体成型燃料。获的纤维素和半纤维素总质量分数与玉米秸秆相当^[25], 而其木质素质量分数明显低于玉米秸秆^[25], 在当前工艺水平下, 比较适宜用作纤维素乙醇制备原料。获的生物质品质优良, 但是, 受纤维素、半纤维素等高分子物质质量分数较高的影响, 获的沼气产率低于相近条件下其他发酵原料^[26-27]。

2) 本研究从生产潜力、生物质品质、生物质利用潜力、生态效应等 4 个方面对京郊挖沙废弃地这一典型边际土地上种植的木质纤维素类草本能源植物获的应用潜力进行了分析评价。该方法适用于对芒 (*Miscanthus sinensis*)、柳枝稷 (*Panicum virgatum*)、芦竹 (*Arundo donax*)、奇岗 (*Miscanthus × giganteus*)、象草 (*Pennisetum purpureum*)、杂交狼尾草 (*Pennisetum americanum × P. purpureum*) 等其他木质纤维素类草本能源植物应用潜力的分析评价。

在能源植物研究与应用过程中, 进一步的研究工作可以开展边际土地草本能源植物评价指标体系构建与各指标权重分析, 并基于边际土地规模化种植实践, 运用该指标体系对各种草本能源植物开展应用潜力的系统比较分析, 为中国立足于边际土地开展能源植物基地化种植与生物质原料规模化生产提供技术支撑。

3) 能源是人类发展与现代文明的重要物质基础, 1973 年全球能源危机以后, 开发可再生能源、实现可持续发展便提上世界各国政府日程; 进入 21 世纪以来, 尤其是哥本哈根世界气候大会之后, 控制温室气体排放、应对全球气候变化成为国际社会共识。

立足于边际地开展草本能源植物基地化种植与规模化营造, 培育生物质原料可持续生产基地, 同时利用草本能源植物固定大量 CO₂, 对于解决上述 2 个方面的问题均具有积极意义。

然而, 如果不加以科学规划与合理调控, 草本能源植物的规模化种植将意味着占用大面积边际土地种植单一或少数几种植物, 这在一定程度上可能会对种植地原有的生物多样性与生态平衡带来负面影响^[28]。生物多样性的科学保护与可持续利用是生物质能产业可持续发展的基础与保证^[29], 从发展生物质能、实现可持续发展的角度考虑, 应该研究分析草本能源植物规模化种植对生物多样性与生态系统带来的可能影响, 进而提出科学的边际土地草本能源植物规模化种植规划, 为生物质原料的可持续生产提供科学参考。

参 考 文 献

- [1] 中国可再生能源发展战略研究项目组. 中国可再生能源发展战略研究丛书·综合卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 11-12
- [2] 石元春. 决胜生物质[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 58-59
- [3] 石元春. 生物质能源主导论[N]. 科学时报: 2010-12-09(A1, A3)
- [4] 穆献中, 刘炳义. 新能源和可再生能源发展与产业化研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 18
- [5] 刘广青, 董仁杰, 李秀金. 生物质能源转化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 6
- [6] 刘卫东, 陆大道, 张雷, 等. 我国低碳经济发展框架与科学基础[M]. 北京: 商务印书馆, 2010: 118
- [7] 侯新村, 范希峰, 武菊英, 等. 草本能源植物修复重金属污染土壤的潜力[J]. 中国草地学报, 2012, 34(1): 59-64, 76
- [8] 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
- [9] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 10 卷, 第 2 分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 19, 26-27
- [10] Yan Juan, Chen Wenli, Luo Fan, et al. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication[J]. GCB Bioenergy, 2012, 4(1): 49-60
- [11] Nishiwaki A, Mizuguti A, Kuwabara S, et al. Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan[J]. Am J Bot, 2011, 98(1): 154-159
- [12] 詹伟君, 任君霞, 金松恒, 等. 能源植物芒草的农学特性研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(1): 119-124
- [13] 王荫槐. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 20
- [14] NY/T 1881—2010 生物质固体成型燃料试验方法[S]. 北京:

- 农业部, 2010
- [15] GB/T 219—2008 煤灰熔融性的测定方法[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2008
- [16] GB/T 20806—2006, 饲料中中性洗涤纤维的测定[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2006
- [17] NY/T 1459—2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S]. 北京: 农业部, 2007
- [18] GB/T 20805—2006 饲料中酸性洗涤木质素的测定[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2006
- [19] GB/T 2589—2008 综合能耗计算通则[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2008
- [20] 柳碧晗, 郭继勋. 吉林省西部草地生态系统服务价值评估[J]. 中国草地, 2005, 27(1): 12-16, 21
- [21] 叶文虎, 魏斌, 全川. 城市生态补偿能力衡量和应用[J]. 中国环境科学, 1998, 18(4): 298-301
- [22] Mani S, Tabil L G, Sokhansanj S. Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass[J]. *Biomass Bioenergy*, 2004, 27(4): 339-352
- [23] 袁艳文, 赵立欣, 孟海波, 等. 玉米秸秆颗粒燃料抗结渣剂效果的比较[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 251-255
- [24] 乐园, 李龙生. 秸秆类生物质燃烧特性的研究[J]. 能源工程, 2006(4): 30-33
- [25] 刘丽英, 陈洪章. 玉米秸秆组分近红外漫反射光谱(NIRS)测定方法的建立[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(2): 275-278
- [26] Bruhn A, Dahl J, Nielsen H B, et al. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: Biomass yield, methane production and combustion[J]. *Bioresource Technol*, 2011, 102(3): 2595-2604
- [27] 王金丽, 焦静, 张劲, 等. 甘蔗叶干法厌氧发酵工艺研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 109-114
- [28] Dauber J, Jones M B, Stout J C. The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity [J]. *GCB Bioenergy*, 2010, 2(6): 289-309
- [29] 刘吉开. 生物多样性利用与生物经济[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2010, 19(2): 79-82

责任编辑: 刘迎春