

## 不同繁殖技术芒草的种植成本估算与应用潜力评价

薛帅<sup>1</sup> 刘吉利<sup>2</sup> 任兰天<sup>3\*</sup>

(1. 德国霍恩海姆大学 作物科学学院, 斯图加特 70599;

2. 宁夏大学 新技术应用研究开发中心, 银川 750021;

3. 齐齐哈尔大学 轻工与纺织学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要** 为筛选适合我国国情的芒草产业化的低成本繁殖技术, 根据国外相对成熟的种植措施, 利用我国的农业生产数据, 对5种可行繁殖技术的后代种植成本进行估算。结果表明: 5种繁殖系统的后代材料在种植密度、除草剂类型及施用量、施肥量存在差异最大; 估算种植成本变异幅度为3 072.0~12 225.3元/hm<sup>2</sup>, 其中种子直播法成本最低, 而微繁育苗移栽法最高; 在各项投入要素中种植材料与化肥的成本最高, 合计约占总体生产成本的70%。此外, 还利用SWOT法对5种繁殖技术的利用潜力予以评价。结果表明: 在芒草产业化的初期, 根茎直播法将被广泛采用; 随着技术的进步, 根茎与茎秆育苗移栽法将会逐步取代根茎直播法; 最后, 种子直播法与微繁育苗移栽法将会主导芒草的商业化生产市场。

**关键词** 能源作物; 芒草; 繁殖技术; 生产成本; SWOT分析

中图分类号 S9; S216.2

文章编号 1007-4333(2013)06-0027-08

文献标志码 A

## Benefit-cost analysis and utilization potential evaluation of different *Miscanthus* propagation systems

XUE Shuai<sup>1</sup>, LIU Ji-li<sup>2</sup>, REN Lan-tian<sup>3\*</sup>

(1. Institute of Crop Science, University of Hohenheim, Stuttgart 70599, Germany;

2. New Technology Application Research and Development Center, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

3. College of Light Industry and Textiles, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

**Abstract** In order to screening the optimal propagation method for China *Miscanthus* bioenergy industry, establishment cost of five available propagation systems were estimated in this study. Major cost factors for *Miscanthus* propagation and establishment in western countries and China agricultural production data such as the production materials price, machine cost and labour salary were used for benefit-cost analysis. The results showed that: significant differences were found between establishing offspring propagated from five different methods in terms of planting density, herbicide type and application amount, fertilizer rate; the estimated cost varied largely from 3 072.0 – 12 225.3 yuan based on the per hectare total establishment cost; micro-propagated plantlets approach cost the highest whereas the seeds method the lowest; the propagation material and fertilizer cost were among the highest expenditure accounting for almost 70% of the total establishment cost together. The utilization potential of the five propagation methods was evaluated by using the SWOT analysis method. The results suggested that directly rhizome planting method might play an important role at the initial stage of *Miscanthus* industrialization; however, alternative approaches such as rhizome and stem derived plugs will be expected to become dominated methods for the development of the *Miscanthus* in the long run.

**Key words** energy crops; *Miscanthus*; propagation method; establishment cost; SWOT analysis

收稿日期: 2013-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31101103); 国家留学基金委资助项目(20120635)

第一作者: 薛帅, 博士研究生, E-mail: tiger\_shuai@hotmail.com

通讯作者: 任兰天, 讲师, 主要从事非粮生物质原料经济分析研究, E-mail: sky1981007@163.com

生物质能作为以光合作用形成的碳水化合物为物质载体的化学态能,具有储能性好、可再生性高、产品形态丰富等优点,而被国内外的决策者所青睐,并被认为是目前最具有前景的替代型新能源<sup>[1]</sup>。就世界范围来看,生物质能消耗量(约合45 EJ)已经占到全球一次性能源消费量的10%~15%并有逐年增加的趋势;但是,其大部分是以直接燃烧等低效率的方式消耗掉的<sup>[2]</sup>。近10年来,在降低石油对外依存度和减少温室气体排放的双重压力之下,全球范围内生物质能的利用进入到了新的发展阶段。据统计,2010年我国生物质能利用量(不含直接燃烧薪柴等传统利用方式)约合2400万t标准煤<sup>[3]</sup>;2011年德国一次能源消费量的8.4%来源于生物质能(主要以供热和发电方式利用),与2010年相比增加了0.7个百分点<sup>[4]</sup>。

低成本的可持续原料供应是产业发展的基础,能源农业作为为生物能源加工与生产提供原料的一种形式必然有广阔的发展前景<sup>[5]</sup>。通过利用技术成熟的商业化农业生产系统种植能源作物,进而实现可持续的生物能源供应,可以显著降低社会对化石资源的依赖<sup>[6]</sup>。与糖类、淀粉类一代能源作物相比,纤维素类能源草具有投入产出比低、抗逆性能高、生态效益好等优点,而被认为是未来生物能源产业发展的主力军<sup>[6]</sup>。芒草(*Miscanthus*)作为多年生C4植物,具有适应性广、光合效率高、水肥利用效率高、病虫害少等优点,在欧洲已被认定为模式能源植物并进行了系统的研究<sup>[7]</sup>。前人对我国不同生态区芒草表现的研究结果表明其应该是我国最适宜且最具潜力的草本能源植物之一<sup>[8]</sup>。虽然如此,至今芒草在我国并未实现商业化种植,即使在欧洲也才在近些年尝试了小规模化生产与应用。造成此种现象的主要原因是高昂的繁殖和种植成本减小了预期收益,降低了芒草种植的积极性。为了减小芒草的繁殖成本,多种繁殖方式被尝试与优化。目前,已被证实可行的芒草繁殖技术主要包括根茎直播法、根茎育苗移栽法、茎秆育苗移栽法、种子直播法和微繁育苗移栽法等<sup>[9]</sup>。本研究基于5种芒草繁殖方式的后代在西方国家的生产技术,利用我国生产数据将其种植成本中国化,分析比较了各生产要素在种植过程中的差异,以期为我国芒草商业化种植时选择适宜的繁殖方式和降低生产成本提供参考。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究的假设前提

目前,芒草的商业化种植在我国并未实现,因此本文对种植成本的估算是基于以下假设完成的:a)所有种植措施是借鉴西方国家成熟的生产技术;b)所有育苗移栽的繁殖方法施用相同剂量的除草剂和化肥,并且幼苗移栽机的工作效率相同;c)芒草种子直播法所施用的除草剂和化肥量以及种子播种机工作效率等同于柳枝稷(同为小种子作物)生产措施;d)为了保证成活率,种子直播后和育苗移栽后分别灌溉等同于20和40mm降水量的水分。

从长期来看(第2个生长季以后),芒草的田间表现在不同繁殖方式间并无差异且田间管理及收获方式相同<sup>[10]</sup>,因此本研究主要比较种植过程的投入成本。由于任何作物种植均需要土地投入,因此本研究并未考虑土地租赁成本;另外,芒草专业化种植设备技术尚未成熟,所以机械等固定投入成本也不在估算范围之内。经过分析芒草种植过程,本研究所涉及的投入项目主要包括生产资料投入(种植材料、除草剂、化肥、水)、机械油耗成本及劳力成本。

### 1.2 数据来源及分析

在Springer, Web of Science, Google等数据库中检索到与“芒草繁殖方法”、“芒草种植成本投入”、“芒草种植技术”相关的学术论文、项目结题报告、实验报告等文献54篇,提取了关于5种芒草繁殖方法其种植过程需投入项目的相关数据(表1)。

基于中国化肥网(www.fert.cn)、中国农药网(www.agrichem.cn)、中国苗木网(www.miaomu.com)的动态监测数据及不同商品形态中有效物质的含量,计算得出生产资料的单位投入成本;依据不同机械类型的输出功率,计算得出其单位油耗投入;依据不同项目的工作效率,利用公式(1)估算整个种植过程的单位劳力投入(表2)。

$$L = \sum_{a=0}^A \frac{N_a}{8E_a} \quad (1)$$

式中: $L$ 为种植过程劳力总体消耗量; $A$ 为所需劳力投入的农艺措施数量; $E_a$ 和 $N_a$ 分别为第 $a$ 项农艺措施每h的工作效率及所需劳力数量。

利用态势分析法(SWOT分析法)将5种芒草

表1 5种芒草繁殖方法的后代在种植过程所需要的农艺措施  
Table 1 Assumptions about agronomic practices for *Miscanthus* establishment using 5 different propagation methods

繁殖方法 Propagation methods	种植密度 Planting density	整地措施 Soil preparation operations	化肥与除草剂施用量 Fertilizer & herbicide	其他措施 Other operations	劳力消耗 (人·d/hm <sup>2</sup> ) Labour	数据来源 Citation
根茎直播法 Directly planting rhizome	16 000 块/hm <sup>2</sup> 16 000 cuttings	深耕1次 Ploughing for 1 time 耙地1次 Harrowing for 1 time	施磷7.4 kg/hm <sup>2</sup> , 钾94.3 kg/hm <sup>2</sup> Fertilization with 7.4 kg phosphorus and 94.3 kg potassium 草甘膦5 L/hm <sup>2</sup> Glyphosate 5 L	机械播种后进行碾压 Rolling after planting	1.23	[11]-[12]
根茎育苗移栽法 Transplanting rhizome-derived plugs	12 000 株/hm <sup>2</sup> 12 000 plants	深耕1次 Ploughing for 1 time 耙地1次 Harrowing for 1 time	施纯氮100 kg/hm <sup>2</sup> , 磷23 kg/hm <sup>2</sup> , 钾120 kg/hm <sup>2</sup> Fertilization with 100 kg nitrogen, 23 kg phosphorus and 120 kg potassium 二甲戊乐灵3 L/hm <sup>2</sup> Pendimethalin 3 L	移栽后灌水400 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Irrigation with 400 m <sup>3</sup>	0.71	[12]-[13]
茎秆育苗移栽法 Transplanting stem propagated plugs	12 000 株/hm <sup>2</sup> 12 000 plants	深耕1次 Ploughing for 1 time 耙地1次 Harrowing for 1 time	施纯氮100 kg/hm <sup>2</sup> , 磷23 kg/hm <sup>2</sup> , 钾120 kg/hm <sup>2</sup> Fertilization with 100 kg nitrogen, 23 kg phosphorus and 120 kg potassium 二甲戊乐灵3 L/hm <sup>2</sup> Pendimethalin 3 L	移栽后灌水400 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Irrigation with 400 m <sup>3</sup>	0.71	[12]-[13]
种子直播法 Directly planting seeds	100 粒/m <sup>2</sup> (0.8 kg/hm <sup>2</sup> ) 100 seeds (Equal to 0.8 kg)	深耕1次 Ploughing for 1 time 耙地2次 Harrowing for 2 times	施纯氮140 kg/hm <sup>2</sup> , 磷36 kg/hm <sup>2</sup> , 钾105 kg/hm <sup>2</sup> Fertilization with 140 kg nitrogen, 36 kg phosphorus and 105 kg potassium 莠去津3.52 L/hm <sup>2</sup> Atrazine 3.52 L 2,4-滴1.75 L/hm <sup>2</sup> 2,4-D 1.75 L	机械播种后进行碾压 Rolling after planting 播种后灌水200/hm <sup>2</sup> Irrigation with 200 m <sup>3</sup>	0.65	[14]-[16]
微繁殖育苗移栽法 Transplanting micro-propagated plugs	12 000 株/hm <sup>2</sup> 12 000 plants	深耕1次 Ploughing for 1 time 耙地1次 Harrowing for 1 time	施纯氮100 kg/hm <sup>2</sup> , 磷23 kg/hm <sup>2</sup> , 钾120 kg/hm <sup>2</sup> Fertilization with 100 kg nitrogen, 23 kg phosphorus and 120 kg potassium 二甲戊乐灵3 L/hm <sup>2</sup> Pendimethalin 3 L	移栽后灌水400 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Irrigation with 400 m <sup>3</sup>	0.71	[12]-[13]

表2 5种芒草繁殖方法的后代在种植过程所需投入生产资料和机械的单位成本

Table 2 Unit cost of materials and machines for establishing *Miscanthus* using 5 different propagation methods

项目 Item	单位 Unit	成本/元 Cost
机械 Machine	深耕机/(hm <sup>2</sup> /次) Plough	182.00
	旋耙机/(hm <sup>2</sup> /次) Harrower	48.00
	碾压机/(hm <sup>2</sup> /次) Roll	28.50
	撒肥机/(hm <sup>2</sup> /次) Fertilizer sprayer	31.00
	除草剂喷洒机/L Herbicide sprayer	0.05
	根茎种植机/hm <sup>2</sup> Rhizome planter/hm <sup>2</sup>	158.00
	种苗种植机/hm <sup>2</sup> Plugs planter	63.00
	种子播种机/hm <sup>2</sup> Seed planter	62.00
生产资料 Production materials	根茎/切段 Production materials	0.09
	根茎切断繁殖苗/株 Rhizome-derived plugs	0.06
	茎节切断繁殖苗可行/株 Stem-derived plugs	0.06
	组培微繁殖苗/株 Micro-propagated plantlets	0.80
	种子/kg Seed	170.00
	氮肥/kg Nitrogen	5.00
	磷肥/kg Phosphorus	6.10
	钾肥/kg Potassium	10.20
	草甘膦/L Glyphosate	60.00
	莠去津/L Atrazine	55.50
	2,4-滴/L 2,4-D	32.00
	二甲戊乐灵/L Pendimethalin	39.00
	灌溉用水/m <sup>3</sup> Irrigation water	0.51
	人工/(人·d) Labour	100.00

繁殖技术在实际应用过程中所具有的优势、劣势、机会及所面临的的风险结合起来给予综合分析,进而确定各个方法的生产潜力。

### 1.3 对5种繁殖系统后代材料在种植过程投入项目差异的说明

根据表1总结的现阶段西方国家芒草商业化种植所采取的农艺措施和种植过程假设的成本投入项目主要包括:16 000块/hm<sup>2</sup>根茎、12 000株/hm<sup>2</sup>移栽苗与100粒/m<sup>2</sup>种子的种植材料投入;芒草作为小种子植物(千粒重780 mg),其发芽与出苗极易受种床土壤间隙的影响,通过多次旋耙与播种后碾压可以保证种子与周围土壤的充分接触,进而提高种子出苗率,因此在深耕与旋耙的整地投入中除了种子直播法需要旋耙2次外,其余4种方式间无差

异。5种繁殖系统后代材料的在种植前均需要对地块施用广谱除草剂,以减小种植后其与杂草间的竞争保证成活率,另外由于种子繁殖苗在生长初期植株较小、竞争力弱,需要在生长中期(7—8月)施用选择性除草剂2,4-D,以保证已发芽种子苗在第一生长季的成活。在化肥施用量方面的差异,主要因为直播根茎中积累的氮可以满足其生长的需求,因此无需施用氮肥,而移栽苗与种子中所积累的营养元素远远小于其生长需求量,因而需要较大量的外界补充。种子发芽后与组培苗移栽后对干旱尤为敏感,且移栽苗被移入大田时植株较大(株高30 cm左右),叶片蒸腾较大,因此为了保证成活率在种子直播,根茎、茎节与微繁殖组培苗移栽后分别灌溉200与400 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>的水,而根茎直播无需灌溉。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基于不同繁殖方式的芒草后代种植农艺措施间的差异

农艺措施作为影响作物生长发育中生理生化代谢过程的重要因素,对其产量及品质形成均有重要影响<sup>[17]</sup>。因此,根据不同作物类型、不同种植材料类型及不同生态条件采取相应农艺措施是保证作物优质高产的重要途径。5种繁殖系统的后代材料在种植密度方面已表现出差异,为了达到最优的田间生长密度(10 000~12 000株/hm<sup>2</sup>),成活率较低(约80%)的根茎直播法较育苗移栽法(成活率>95%)需要更大的种植密度<sup>[18-19]</sup>;而成活率最低的种子直播法,100粒/m<sup>2</sup>的播种密度可保证5株/m<sup>2</sup>的生长密度<sup>[16]</sup>。在整地措施方面,对同为小种子植物的柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)种床准备研究发现2次旋耙与条播后碾压的出苗率显著高于撒播

与条播后未碾压的种植方式<sup>[20]</sup>。另外,不同繁殖材料间营养元素积累量的差别导致不同繁殖方式对养分的需求差异很大。5种繁殖方式后代材料在需肥量方面表现出种子直播法需求最高,育苗移栽法次之,根茎直播法最低;而劳动力投入表现出相反趋势。根茎直播法之所以需要投入最多的劳动力(1.23人·d/hm<sup>2</sup>),是因为现阶段的根茎播种机在播种之前需要对根茎切段进行分类与筛选,另外改造的播种机效率较低(比如改造后的马铃薯种植机效率为0.3hm<sup>2</sup>/h)<sup>[12]</sup>。

### 2.2 基于不同繁殖方式的芒草后代种植成本间的差异

除微繁育苗移栽法外其余4种繁殖系统种植成本间差异不大,其总体变异幅度为3 072.0~12 225.3元/hm<sup>2</sup>,其中种子直播法成本最低,而微繁育苗法最高(表3)。5种繁殖系统的种植过程在生产资料、机械花费与人工成本平均投入分别占到总成本的

表3 5种芒草繁殖方法后代种植过程的理论成本

Table 3 Estimated establishment budgets of *Miscanthus* propagated from 5 different methods 元/hm<sup>2</sup>

项目 Items	根茎直播法 Directly planting rhizome	根茎育苗移栽法 Transplanting rhizome-derived plugs	茎秆育苗移栽法 Transplanting stem propagated plugs	种子直播法 Directly planting seeds	微繁育苗移栽法 Transplanting micro-propagated plugs
耕地 Ploughing	182.0	182.0	182.0	182.0	182.0
耙地 Harrowing	48.0	48.0	48.0	96.0	48.0
碾压 Rlooting	28.5	0.0	0.0	28.5	0.0
施肥 Fertilizer spraying	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0
喷除草剂 Herbicide spraying	125.0	45.0	45.0	127.5	45.0
种植 Planting	158.0	63.0	63.0	62.0	63.0
种植材料 Rhizome (Plugs, seed)	1 440.0	720.0	720.0	136.0	9 600.0
化肥 Fertilizer	1 007.0	1 864.3	1 864.3	1 990.6	1 864.3
除草剂 Herbicide	300.0	117.0	117.0	251.4	117.0
灌溉水 Irrigation water	0.0	204.0	204.0	102.0	204.0
人工 Labour	123.0	71.0	71.0	65.0	71.0
总计 Total	3 442.5	3 345.3	3 345.3	3 072.0	12 225.3

86.1%、11.8%及2.1%。

在生产成本中生产资料种子与化肥的投入最高,合计成本变幅为2 126.6~11 464.3元/hm<sup>2</sup>,占总体生产成本的70%左右,而在微繁育苗法中已占至93.8%;由于现阶段微繁技术的不成熟导致在种植材料投入方面,微繁育苗法是种子直播法的70

倍。生产资料单项花费最低的是灌溉成本在0.0~204.0元/hm<sup>2</sup>之间,平均占生产成本的3.4%,而根茎直播法无需灌溉。

在播前整地、施肥等措施所产生的机械花费方面根茎直播法>种子直播法>育苗移栽法(根茎、茎节与微繁),且差异较小(369.0~572.5元/hm<sup>2</sup>);其

单项花费也表现出上述趋势,其中投入最高的是耕地(182.0元/hm<sup>2</sup>)且5种繁殖系统间无差异,而最低的是播后碾压。由于西方国家农业机械化程度高,所以人工投入较少(平均80.2元/hm<sup>2</sup>),约占总体投入的2%;其中根茎直播法人工投入最多(123元/hm<sup>2</sup>,占3.6%),而种植直播法投入最少(65元/hm<sup>2</sup>,占2.1%)。

将5种繁殖系统后代在我国生产条件下的估计种植成本与西方国家成本横向比较发现,其间的差异性在我国远远小于在西方国家生产条件下的变异。基于西方国家生产数据的种植成本,同样表现为种子直播法最低(约610欧元/hm<sup>2</sup>),微繁育苗法最高(约3900欧元/hm<sup>2</sup>);但是5种方式间的差异显著,根茎、茎节育苗法和根茎直播法的生产成本约是种子直播法的2倍与4倍<sup>[12-13,21]</sup>。造成此种现象的主要原因是,西方国家种植材料的价格差异远远大于我国。通过分析芒草不同繁殖技术的后代种植成本的构成发现降低种植材料的繁殖成本与化肥需求量则是解决阻碍芒草产业化发展瓶颈的关键问题所在;其中微繁育苗法成本降低空间最大,种子直播法生产资料成本最低,二者发展潜力最大。

### 2.3 不同芒草繁殖方式的利用潜力评价

虽然芒草繁殖技术在定植后的2个生长季内对其种植成活率、越冬成活率及大田表现会有影响,但是从长期来看其对产量和品质的影响作用可以忽略<sup>[10,22]</sup>;且利用不同繁殖方式种植的植株在第二个生长季后可采用相同的田间管理方法及收获贮藏方式<sup>[12]</sup>。因此,仅需评价不同繁殖方式在繁殖与种植过程所具备的优势、劣势、机会及所面临的风险即可确定其利用潜力,结果见表4。

根茎直播法作为现阶段技术最为成熟的方法,其种植成活率与越冬成活率较高,种植成本相对较低而受到芒草种植户的广泛欢迎。但由于其需要定植4~5年的植株作为最优种植材料来源且需要较大的根茎切块(60~75g)导致其繁殖系数较低(约1:10),存在不能满足芒草大面积种植对种子根茎的需求<sup>[23-24]</sup>;另外,根茎的收获、贮藏与种植过程较为复杂,需要消耗大量的劳动力,且改良的空间小。但因可直接利用现有的种植与收获机械,加上现阶段种植面积较小,在芒草产业化的初始阶段根茎直播法将是首要采用的繁殖技术。

随着技术改进,根茎和茎秆育苗移栽法的繁殖系数成倍增加(约1:35),但是其越冬成活率在寒

冷地区将会下降。通过施用生长素类物质增加生根率,其繁殖系数还有上升的空间,相应的生产成本也将下降<sup>[25]</sup>。通过其繁殖技术的改进,可逐渐替代根茎直播法。

种子直播法凭借生产效率高、生产成本低而成为现代农业广泛采用的生产技术。通过种子繁殖,芒草的繁殖系数可显著增加(约1:1200),且可以通过育种手段改良现有的种质资源,还可以直接利用小种子作物(如柳枝稷)播种机等机械。但对芒草种子繁殖来讲,存在以下主要问题:现阶段主要的商业化芒草品种奇岗(*Miscanthus × giganteus*)为三倍体,不能自然生产种子<sup>[26]</sup>;芒草种子生产对环境要求较为苛刻,在寒冷与长日照地区结实率较低甚至不结实<sup>[27]</sup>;作为小种子作物,其种子收获与脱粒技术存在挑战<sup>[14]</sup>。虽然如此,种子繁殖具有的生产效率高、种植成本最低的性质决定其仍有广阔的发展潜力。

对于不能结实的芒草品种来说,微繁育苗繁殖将是未来的最优选择。虽然现阶段,微繁技术还不成熟且生产成本过高,但是其繁殖速度快、繁殖系数高(约1:1600)、可进行脱毒种苗的周年供应、生产成本降低空间大,发展潜力巨大<sup>[28-30]</sup>。甘蔗脱毒种苗的生产与应用则证明了微繁育苗移栽法具有巨大的应用潜力。

## 3 结论

利用不同的繁殖技术及材料进行芒草生产,需要不同的农艺措施以保证其优质高产。现阶段已被证实可利用的5种繁殖技术在种植密度、除草剂类型及施用量、施肥量存在差异最大;其发展水平的现状基本为根茎直播法>根茎育苗移栽法>茎秆育苗移栽法>微繁育苗移栽法>种子直播法。

5种繁殖技术估算生产成本总体变异幅度为3072.0~12225.3元/hm<sup>2</sup>,其中种子直播法成本最低,而微繁育苗法最高。各投入要素的分析结果表明,生产资料投入>机械投入>劳力投入。在生产资料投入中种子与化肥的成本最高,约占总体生产成本的70%。

经过分析5种繁殖技术的生产应用中的优势、劣势、机会与风险结果表明:在芒草产业化的初期,根茎直播法将被广泛采用;随着技术的进步,根茎与茎秆育苗移栽法将会逐渐取代根茎直播法;最后,种子直播法与微繁育苗移栽法将会主导芒草的商业化生产市场。

表 4 5 种芒草繁殖技术的态势分析 (SWOT) 结果

繁殖方法	优势		劣势		机会		威胁	
	Strengths	Weaknesses	Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats	Opportunities	Threats
根茎直播种法	有可供商业化生产的成熟技术；	繁殖系数较低；	劳动需求量大；	繁殖系数较低；	可利用根茎育苗移栽法给予优化；	母体的病害可被遗传；	母体的病害可被遗传；	母体的病害可被遗传；
Directly planting rhizome	Commercial production with mature technology is available; 具有较高的种植和越冬成活率；	Low efficiency in parental plants division; Labour-intensive with limited improvement potential; 根茎的贮藏时间短；	Short storage period for rhizome after harvest.	Low efficiency in parental plants division; Labour-intensive with limited improvement potential; 根茎的贮藏时间短；	Use of rhizome-derived plugs to increase the division efficiency; 无需开发专用机械；	A risk for diseases transmitting and spreading from infected mother plants; 不能满足大规模种植对根茎的需求；	A risk for diseases transmitting and spreading from infected mother plants; 不能满足大规模种植对根茎的需求；	A risk for diseases transmitting and spreading from infected mother plants; 不能满足大规模种植对根茎的需求；
根茎和茎节育苗移栽法	可利用新定植的植株做母本；	母体材料生根率较低；	母体材料生根率较低；	母体材料生根率较低；	可利用生长素类物质提高生根率；	在恶劣条件下的成活率与越冬率可显著降低；	在恶劣条件下的成活率与越冬率可显著降低；	在恶劣条件下的成活率与越冬率可显著降低；
Transplanting rhizome & stem-derived plugs	A young material origin is available; 相比根茎直播其繁殖系数已提高；	Low rooting ability for direct planting; 种植和越冬成活率较低，尤其在寒冷地区；	Low establishment and winter survival success	Low rooting ability for direct planting; 种植和越冬成活率较低，尤其在寒冷地区；	Use of the auxin to enhance the rooting success;	A low germination and establishment success is possible under unsuitable conditions with low temperature and desiccation.	A low germination and establishment success is possible under unsuitable conditions with low temperature and desiccation.	A low germination and establishment success is possible under unsuitable conditions with low temperature and desiccation.
种子直播种法	可以利用育种技术改造现有品种；	种子生产对环境要求较为苛刻；	种子生产对环境要求较为苛刻；	种子生产对环境要求较为苛刻；	在适宜条件下可生产质量高的种子；	在干旱及杂草较多的地区种子发芽率会显著降低；	在干旱及杂草较多的地区种子发芽率会显著降低；	在干旱及杂草较多的地区种子发芽率会显著降低；
Directly planting seeds	Varieties with good performance can be bred; 可直接利用现有种植机械；	Geographical restrictions for seed production; 种子收获与脱粒技术存在挑战；	Technical challenges with seed harvesting.	Geographical restrictions for seed production; 种子收获与脱粒技术存在挑战；	Seeds with good quality could be produced under the optimal conditions. 通过育种技术提升，生产成本可降低；	Potentially emerging plants can die off due to desiccation and competition with weed.	Potentially emerging plants can die off due to desiccation and competition with weed.	Potentially emerging plants can die off due to desiccation and competition with weed.
微繁育苗移栽法	可生产脱毒种苗；	生产成本过高；	生产成本过高；	生产成本过高；	生产成本低降低的空间大。	在寒冷地区的越冬成活率低。	在寒冷地区的越冬成活率低。	在寒冷地区的越冬成活率低。
Transplanting micro-propagated plugs	Better control over the plants diseases; 可进行周年生产；	Currently expensive; 需要精细的田间管理，以保证成活率；	Care in the field is needed for good establishment (initial irrigation, weeding)	Currently expensive; 需要精细的田间管理，以保证成活率；	Large potential for cost reduction.	A low rate of winter survival in cold regions.	A low rate of winter survival in cold regions.	A low rate of winter survival in cold regions.

## 参 考 文 献

- [1] Wyman C E. Introduction overview: World energy resources and the need for biomass for energy and lower fossil carbon dioxide emissions[C]// Mascia P N, Scheffran J, Widholm J M, eds. Plant Biotechnology for Sustainable Production of Energy and Co-products. Springer, 2010: 3-24
- [2] Chandra R, Takeuchi H, Hasegawa T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2012, 16(3): 1462-1476
- [3] 国家能源局. 生物质能发展“十二五”规划[EB/OL]. [2012-12-28]. [http://www.gov.cn/zwgg/2012-12/28/content\\_2301176.htm](http://www.gov.cn/zwgg/2012-12/28/content_2301176.htm)
- [4] German National Academy of Science Leopoldina. Bioenergy-Chances and Limits[EB/OL]. [2012-12-28]. <http://www.leopoldina.org/en/publications/detailview/?publication%5Bpublication%5D=433>
- [5] 徐曼, 张涨, 左玉辉. 我国能源农业的发展前景与对策[J]. *环境保护*, 2008, 388(2): 55-57
- [6] Felten D, Fröba N, Fries J, et al. Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergy cropping systems (*Miscanthus*, rapeseed, and maize) based on farming conditions in Western Germany[J]. *Renew Energ*, 2013, 55: 160-174
- [7] 谢光辉, 危文亮, 庄会永, 等. 非粮能源植物: 生产原理和边际地栽培[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011
- [8] 范希峰, 左海涛, 侯新村, 等. 芒和荻作为草本能源植物的潜力分析[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(14): 381-387
- [9] Atkinson C J. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus* [J]. *Biomass Bioenergy*, 2009, 33: 752-759
- [10] Lewandowski I. Propagation method as an important factor in the growth and development of *Miscanthus × giganteus*[J]. *Ind Crop Prod*, 1998, 8: 229-245
- [11] Christian D G, Haase E. Agronomy of miscanthus[C]// Jones M B, Walsh M, eds. *Miscanthus for Energy and Fibre*. London: James and James (science Publisher) Ltd, 2001: 33-38
- [12] Caslin B, Finnan J, Easson L. *Miscanthus* best practice guidelines[M]. Hillsborough: The Agri-food and Bioscience Institute, 2011
- [13] The western university research park. Assessment of business case for purpose-grown biomass in Ontario[EB/OL]. [2012-12-28]. <http://biomass.cloverpad.org/Resources/Documents/assessment%20of%20business%20case%20for%20purpose-grown%20biomass%20in%20ontario%20march%202012.pdf>
- [14] Panter D M. Breeding & commercializing *Miscanthus* as a biofuels crop for the future[EB/OL]. [2012-12-28]. [http://www.sebioenergy.org/2010/PDF\\_10/August\\_4/Small\\_Auditorium/1\\_30-3.00/Panter%20DM%20-%20Breeding%20and%20Commercializing%20Miscanthus%20as%20a%20Biofuels%20Crop%20\(Final\).pdf](http://www.sebioenergy.org/2010/PDF_10/August_4/Small_Auditorium/1_30-3.00/Panter%20DM%20-%20Breeding%20and%20Commercializing%20Miscanthus%20as%20a%20Biofuels%20Crop%20(Final).pdf)
- [15] Khanna M, Dhungana B, Clifton-Brown J. Costs of production miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois [J]. *Biomass Bioenergy*, 2008, 32: 482-493
- [16] Christian D G, Yates N E, Riche A B. Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods[J]. *Ind Crop Prod*, 2005, 21: 109-111
- [17] 许美刚, 高剑波, 夏心祥, 等. 不同农艺措施对扬麦 11 号小麦产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(12): 2656-2658
- [18] Boersma N N, Heaton E A. Effect of temperature, illumination and node position on stem propagation of *Miscanthus × giganteus*[J]. *GCB Bioenergy*, 2012, 4: 680-687
- [19] Mann J D. Comparison of yield, calorific value and ash content in woody and herbaceous biomass used for bioenergy production in Southern Ontario [D]. Guelph: University of Guelph, 2012
- [20] Monti A, Venturi P, Elbersen H W. Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum virgatum* L) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy[J]. *Soil Till Res*, 2001, 63: 75-83
- [21] Panter D M. Powercane *Miscanthus* from Mendel Bioenergy seeds: A revolutionary dedicated-energy bioenergy crop production system [EB/OL]. [2012-12-28]. <http://www.sebioenergy.org/2011/speakers/Panter.pdf>
- [22] Boersma N. *Miscanthus × giganteus* propagated from plugs and rhizomes exhibits similar yields with different morphology [EB/OL]. [2012-12-28]. <http://a-c-s.confex.com/crops/2011am/webprogram/Paper65785.html>
- [23] Christian D G, Yates N E, Riche A B. Estimation of ramet production from *Miscanthus × giganteus* rhizome of different ages[J]. *Ind Crop Prod*, 2009, 30: 176-178
- [24] Pyter R J, Dohleman F G, Voigt T B. Effect of rhizome size, depth of planting and cold storage on *Miscanthus × giganteus* establishment in the Midwestern USA[J]. *Biomass Bioenergy*, 2010, 34: 1466-1470
- [25] Chin T Y, Meyer J M M, Beevers L. Abscisic-acid-stimulated rooting of stem cuttings[J]. *Planta*, 1969, 88(2): 192-196
- [26] Linde-Laursen I B. Cytogenetic analysis of *Miscanthus ‘Giganteus’*, an interspecific hybrid[J]. *Hereditas*, 1993, 91: 361-368
- [27] Meyer M H, Tchida C L. *Miscanthus Anderss.* produces viable seed in four USDA hardiness zones[J]. *J Environ Hort*, 1999, 17(3): 137-140
- [28] Gubišová M, Gubiš J, Mihálik D, et al. Enhanced in vitro propagation of *Miscanthus × giganteus* [J]. *Ind Crop Prod*, 2013, 41: 279-282
- [29] Kim H S, Zhang G, Juvik J, et al. *Miscanthus × giganteus* plant regeneration; effect of callus types, ages, and culture methods on regeneration competence [J]. *GCB Bioenergy*, 2010, 2: 192-200
- [30] Kim S, Da K, Mei C S. An efficient system for high-quality large-scale micropagation of *Miscanthus × giganteus* plants[J]. *In Vitro Cell Dev Biol-Pl*, 2012, 48(6): 613-619