

《芒属种质资源描述规范和数据标准》的制定

项伟¹, 易自力^{1,2}, 肖亮², 薛帅¹, 陈智勇¹

(¹湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; ²芒属植物生态应用技术湖南省工程实验室, 长沙 410128)

摘要:目前芒属植物被视为最有前景的木质纤维素能源作物, 在中国、美国、日本和欧洲国家得到了广泛研究和利用。但截至目前依然没有统一的芒属植物种质资源描述规范, 一定程度上阻碍了其信息的共享与交流。鉴于此, 本研究通过开展芒属植物种质资源描述和数据制定技术标准研究, 旨在为芒属能源作物品种的选育、审定与推广提供科学规范的依据。本文论述了芒属种质资源描述规范、数据标准与数据质量控制规范的制定原则、方法与内容, 对于促进整合全国芒属种质资源, 规范芒属种质资源的收集、保存、评价具有指导作用。

关键词: 芒属; 种质资源; 描述规范; 数据标准; 数据质量控制规范

Establishment of Description Criterion and Data Standard for *Miscanthus* Germplasm Evaluation

XIANG Wei¹, YI Zi-li^{1,2}, XIAO Liang², XUE Shuai¹, CHEN Zhi-yong¹

(¹College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;

²Hunan Engineering Laboratory for Ecological Application of *Miscanthus* resources, Changsha 410128)

Abstract: Nowadays, *Miscanthus* Andersson (*Miscanthus* spp.) is identified as the most promising lignocellulosic energy crop and is being researched and utilized across the world, e. g. in China, American, Japan and European countries. However, due to lack of a description criterion, information exchange and sharing among *Miscanthus* Andersson researcher is restricted on some extent. Under this situation, this paper tried to establish the formulation principles, methods and contents of the description criterion, data standard and data quality control for evaluating *Miscanthus* Andersson germplasm, breeding and registering new miscanthus varieties. In the future, this work can guide the collection, conservation, evaluation of the *Miscanthus* Andersson germplasm.

Key words: *Miscanthus*; germplasm; description criterion; data standard; data quality control

芒属植物 (*Miscanthus* spp.) 是指禾本科 (Gramineae) 黍亚科 (Panicoideae) 高粱族 (Trib. Andropogoneae) 甘蔗亚族 (Subtrib. Saccharinae) 芒属 (*Miscanthus* Andersson) 的一类多年生高大草本植物^[1], 俗称芒草。由于它适应能力强、生物质产量大、热值高、纤维素含量高、灰分含量低、生产成本低等优势, 被认为是当前最有开发前景的纤维素类能源植物之一^[2], 受到国内外的高度重视。全球芒属

植物分成 14 个种, 而中国就拥有 7 个种, 是芒属植物的分布中心^[3], 包括芒 (*Miscanthus sinensis* Andersson)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb.)、荻 (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.)、南荻 (*Miscanthus lutari-oriarius* L. Liou ex S. L. Chen & Renvoize)、尼泊尔芒 (*Miscanthus nepalensis* (Trin.) Hack.)、双药芒 (*Miscanthus nudipes* (Griseb.) Hack.) 和红山茅

收稿日期: 2016-03-26 修回日期: 2016-06-12 网络出版日期: 2017-02-17

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170217.1423.032.html>

基金项目: 湖南省研究生科研创新项目 (CX2016B272); 省部共建国家重点实验室培育基地科学基金开放项目 (15KFXM02); “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD22B01)

第一作者研究方向为能源植物种质资源评价。E-mail: hnydxw@163.com

通信作者: 易自力, 研究方向为能源植物资源开发与利用。E-mail: yizili@hunau.net

(*Miscanthus paniculatus* (B. S. Sun) Renvoize & S. L. Chen)等,其中,南荻与红山茅是我国的特有种。自2006年以来,湖南农业大学芒属植物研究所调查了30个省(市、自治区)、800多个县(市)、3000多个野生居群,保存了我国芒属植物7个种的活体样本1100余份,建成了国内第1个芒属植物资源圃,为我国芒属植物的研究提供了丰富的材料基础。

钟智林等^[4]用30对玉米引物将芒、五节芒和南荻等15份芒属野生材料扩增出多态性条带121个,占76.1%;李婧等^[5]用9个ISSR引物将广东省五节芒13个野生居群215个个体扩增出76个多态性位点,占93.83%;肖亮等^[6]用33对SSR引物将我国16个省46份芒野生种质扩增出75条多态性条带,占86.21%;肖亮等^[7]对我国10个省117份五节芒材料12个表型性状进行多样性分析,得出变异系数范围为2.80%~73.43%;聂刚等^[8]对我国西南区芒37个野生居群11个表型性状研究表明,居群间差异均达到极显著水平;李钰莹等^[9]用ISSR和荧光SSR技术对22种芒荻类植物进行遗传多样性分析,其中ISSR引物扩增出216个多态性位点,比率为96.86%,SSR引物扩增出111个多态性位点,比率为67.68%;Y. Qin等^[10]采用RAPD和AFLP分析38份芒属材料,其中30个RAPD引物扩增出135个多态性位点,占68.6%,4个AFLP引物扩增出923个多态性位点,占80.3%;W. Z. Xu等^[11]对中国西南部芒26个自然居群389份材料的研究表明扩增出的多态性位点比率为93.2%;M. J. Yook等^[12]对69份芒属种质14个形态学性状进行分析,并用31个SSR引物扩增出122个多态性位点,占74.39%。

认识与评价资源是开发与利用资源的基本前提。要将这些有着丰富遗传多样性的芒属植物野生资源培育为专用的能源作物,首先必须对其作为专用能源作物应用的相关性状进行评价与筛选。面对分布广泛、种类繁多、生态型丰富、遗传变异多样的芒属植物野生资源,要从中筛选出适合于能源利用的优良种质资源必须凭借芒属植物种质资源描述规范和数据标准的建立。没有科学规范的描述规范、数据标准和数据质量控制规范,优良种质的筛选、品种选育和审定工作无法规范。而芒属资源描述规范和数据标准在国内外都未见报道,鉴于此,本文通过开展芒属植物种质资源描述和数据制定技术标准研究,制定一个以芒属植物作能源植物利用为目的的标准规范,旨在为芒属能源作物品种的选育、审定与推广提供科学规范依据。

1 制定原则和方法

1.1 制定原则

(1)尽量使用国内外文献中已有的芒属种质描述符,并参考其主流的描述标准;(2)以芒属资源能源化利用为方向,以芒属能源作物育种为目标,兼顾产业发展;(3)参考中国农业科学院草原研究所主编的《牧草种质资源描述规范和数据标准》^[13]。

1.2 制定方法与要求^[14-15]

芒属描述符可分为6类:(1)基本信息;(2)形态学和生物学性状;(3)品质性状;(4)抗逆性;(5)抗病虫性;(6)其他特性。

芒属描述符代号为“类别号+两位序列号”。

描述符性质可分为3类:(1)必选描述符(芒属种质均要鉴定和评价),用“M”表示;(2)可选描述符(芒属种质选择鉴定和评价),用“O”表示;(3)条件描述符(特殊芒属种质鉴定和评价),用“C”表示。

字段类型可分为3类:(1)字符型(C);(2)数值型(N);(3)日期型(D)。

2 描述规范和数据质量控制规范的制定

2.1 描述的术语和定义

基本信息,指芒属种质的基本情况描述,包括种质名称、海拔、经度、纬度、来源地、保存单位、保存单位编号等;形态学和生物学性状,指芒属种质物候期、农艺性状和产量性状等;品质性状,指芒属种质作为能源利用的品质性状,包括芒属种质的成分含量、元素含量、热值及工业分析指标等;抗逆性,指在非生物胁迫下芒属种质的适应力或抵抗力,包括耐盐、抗旱、抗寒、耐淹、抗倒伏等;抗病虫性,指在生物胁迫下芒属种质的适应力或抵抗力,抗病包括叶斑病、叶枯病等,抗虫包括卷叶螟、钻心虫、蚜虫、蝗虫等。

2.2 数据质量控制的方法^[16]

2.2.1 形态学和生物学性状观测试验设计 (1)试验地选择:试验地所选环境不但要适合芒属种质正常生长,而且要保证其性状能够正常表达。(2)田间设计:设试验小区面积25 m²(5 m×5 m),随机区组排列,根据不同的芒属种质采用相应行距,至少设3次重复;试验地四周须设保护区(行)。(3)田间管理:土壤须肥力均匀、无污染,在当地有代表性,不容易受人畜破坏;在管理上统一方式,除移栽第1年外一般不施肥,及时防除杂草,保证幼苗与植株能够生长正常。

2.2.2 数据采集 考种一般安排在芒属种质种植

(或移栽)3年后,植株生长情况稳定时进行。若遇灾害等原因造成植株当年生长不正常,须在次年重新安排采集数据。

2.2.3 试验数据统计分析和校验 每份芒属种质的测量数据都要经过校验。取2年以上校验值,计算各芒属种质性状平均值、变异系数及标准差,同时作多重比较,对结果稳定性与可靠性进行判定。最后芒属种质的性状值以校验值的平均值来表示。

2.3 基础信息

由于芒属植物研究在我国起步较晚,芒属种质资源还暂未提交国家作物种质资源长期保存库,因此暂无全国统一编号(芒属种质的统一标志号)、种质库编号(芒属种质在国家农作物种质资源长期库中的编号)、圃编号(芒属种质在国家多年生与无性繁殖圃的编号)。

引种号(芒属种质从国外引入时的编号),由“引进年份+四位序列号”组成;采集号(在野外采集芒属种质时的编号),由“采集年份+两位省代码+序列号”组成;来源地,如芒属种质来源国内,则指我国省县名,如芒属种质从国外引进,则指来源国名(地区名或国际组织名);保存单位,指在提交国家库之前芒属种质所在单位的名称;保存单位编号,指在原保存单位芒属种质的编号。

种质名称(每份芒属种质资源的中文名),无中文名的引进芒属种质直接用外文名表示;种质外文名(芒属种质引进前外文名或芒属种质拼音名),国外引进的芒属种质外文名须注意大小写及空格;科名(芒属种质资源在分类学上的科名)、属名(芒属种质资源在分类学上的属名)、种名(芒属种质资源在分类学上的种的学名);学名采用拉丁名(属名+种名+命名者)组成。

原产国,指芒属种质的原产国家(地区或国际组织);原产省,芒属种质原产省份,国外引进种质原产国家的一级行政区名;原产地,芒属种质的原产县(县级市、区)、乡(镇)、村名称;海拔,芒属种质采集点的海拔高度,单位为“m”;经度,芒属种质采集点的经度,单位为“度”和“分”,东经为正值,西经为负值;纬度,芒属种质采集点的纬度,单位为“度”和“分”,北纬为正值,南纬为负值。

系谱,指芒草选育品种(系)的亲缘关系;选育单位,指选育芒草品种(系)的单位(个人);育成年份,指成功培育出芒草品种(系)的年份;选育方法,指芒草品种(系)育种的方法。

种质类型,芒属资源的类型可分为6类:(1)野生资源,(2)地方品种,(3)育成品种,(4)品系,(5)遗传材料,(6)其他;图像,芒属种质资源图像的文

件名,文件格式为.jpg;观测地点,芒属种质形态学和生物学性状测量的地点,包括省县名。

2.4 形态学和生物学性状

染色体倍性^[17],芒属种质体细胞核中的染色体组数,有二倍体、三倍体和四倍体。鉴别芒属种质资源染色体倍性主要用细胞染色体镜检,多采用挤压制片法,样品选取一般为芒属种质细胞分裂旺盛、组织幼嫩的部位。

出苗期(芽萌发出土的日期)、孕穗期(从旗叶的伸长、展开直至抽穗前)、抽穗期(花序从叶鞘内伸出的时期或状态)、开花期(小穗花瓣张开,花药成熟散粉,具有受精能力的时期)、枯黄期(茎叶自然干枯变黄的时期),用目测法,鉴定的标准是幼苗露出地面时为出苗期、从旗叶的伸长和展开直至抽穗前为孕穗期、50%的花序从顶部叶鞘伸出1cm时为抽穗期、50%的植株开花为初花期、80%的植株开花为盛花期、20%植株茎叶干枯变黄时为枯黄期,在这些发育阶段(时期)来到之前及其通过之时,每天进行观察。

再生性^[18],是指芒草被刈割后重新长出新芽恢复绿色植株的能力,以再生速率、再生次数和再生产量等3个指标来测定,可分为3级:(1)良好(再生速率快、再生次数多、再生产量高),(2)中等(在两者之间),(3)较差(再生速率慢、再生次数少、再生产量低)。干物质产量^[19],是指芒草在单位面积上的干物质重量,在枯黄期(或盛花期后)测定,测产小区应有代表性,通常按随机排列法排列测产小区,测产小区面积通常25m²,测产面积1m²(或1株),采用同样方法,至少重复3次,严防在边行及密度不正常的地段测产,将测定完鲜重的芒草分别取样装入样品袋,待烘干后称其干重,计算单位面积产量,以“t/hm²”表示。

根状茎^[20],是指芒草地下的变态茎,在植株的盛花期,以整个试验小区的植株为观测对象,随机选择至少3个植株的根状茎进行观测,可分为4级,(1)极发达(根状茎极粗),(2)较发达(根状茎较粗),(3)不发达(根状茎细小),(4)无(无根状茎)。株型,以整个试验小区的植株为对象进行观测,依据芒草根状茎的分生繁殖特点和形态特征,可分为2类,(1)丛生(茎秆在地面呈密集丛状),(2)散生(茎秆在地面呈散生状)。茎角度^[11](茎与地面垂直线的角度),用目测法,鉴定的标准是以单株所有茎秆的平均倾斜角度来判断:(1)<5°,(2)介于5°~30°,(3)介于30°~60°,(4)介于60°~90°。叶角度^[21](叶与地面垂直线的角度),用目测法,鉴定的标准是以单株所有叶片的平均倾斜角度来判断:

(1) $<30^\circ$, (2) 介于 $30^\circ \sim 60^\circ$, (3) 介于 $60^\circ \sim 90^\circ$ 。

茎高^[21] (从地面至最高舌叶(除旗叶外)处的高度)、茎径^[21] (离地面 5 cm 处的最大直径)、腋芽数^[22] (所有节环上的芽总数)、茎节点数^[23] (节环的数量), 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株, 分别以每株最高茎进行测量, 茎高以“cm”表示、茎径以“mm”表示、腋芽数和茎节点数以“个”表示。冠层高^[24] (地面至顶端大多数叶拐点处的高度)、冠层直径(冠层投影在地面的最大直径)、基部直径^[25] (茎丛在地面水平的最大的直径, 取最远两个分蘖之间的距离)、基部圆周^[23] (茎丛在地面水平的圆周), 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株分别测量, 以“cm”表示。分蘖数^[19] (离地面 10 cm 处所有的分枝数)、有效茎数^[21] (冠层高 50% 处所有的茎秆数)、根茎侧芽数^[20] (根状茎上的侧芽数量)、根茎顶芽数^[20] (根状茎上的顶芽数量), 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株分别测量, 分蘖数和有效茎数以“根”表示、根茎侧芽数和根茎顶芽数以“个”表示。茎密度^[26] (冠层高 50% 处的单位面积茎秆数) 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 1 m² 测量, 以“根/m²”表示; 花茎高(从地面至圆锥花序茎节的高度)、种子数(圆锥花序上的所有种子数量)、小穗数(圆锥花序上的所有小穗数量)、结实率^[20] (圆锥花序上一半种子数与所有小穗数的比率), 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株, 分别以每株最高花茎进行测量, 花茎高以“cm”表示、种子数和小穗数以“粒”表示, 结实率以“%”表示。发芽率^[20], 随机选取 100 粒种子, 在温室中培养, 计算种子发芽数占种子总数的比率, 用“%”表示。

叶茎比^[27], 在小区内选取 3~5 处代表性的地段, 每处选 3 株, 齐地面截断, 分出叶、茎各部, 分离叶片时不带其叶鞘, 分别烘干称其干重, 计算比值; 枯黄性(茎叶自然干枯变黄的特性), 用目测法, 鉴定的标准是以单株全部茎叶的枯黄程度来判断: (1) 全部枯黄($>80\%$), (2) 大量枯黄($50\% \sim 80\%$), (3) 少量枯黄($20\% \sim 50\%$), (4) 不枯黄($<20\%$); 落叶性(自然落叶的特性), 用目测法, 鉴定的标准是以单株全部叶片的掉落程度来判断: (1) 全部落叶($>80\%$), (2) 大量落叶($50\% \sim 80\%$), (3) 少量落叶($20\% \sim 50\%$), (4) 不落叶($<20\%$)。

叶长^[21,24] (沿着中央静脉测量叶舌至叶尖的长度)、叶宽^[21,24] (垂直中央静脉测量叶长度一半处的宽度)、叶面积^[25] (叶片平展时的面积), 在小区内选

取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株, 分别以每株最大叶进行测量, 其中叶面积采用手持活体叶面积测量仪进行测量, 叶长和叶宽以“cm”表示, 叶面积以“cm²”表示; 叶面积指数^[26] (所有叶片单面面积总和与植株所占土地面积的比值)、光截获率^[28] (冠层光合有效辐射截获率), 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株, 采用 SunScan 植物冠层分析仪分别测量, 其中光截获率用“%”表示。净光合速率^[29] (真正光合作用所同化的 CO₂ 量减去因呼吸作用而释放的 CO₂ 量) 在小区内选取具有代表性的地段 3~5 处, 每处选 3 株, 采用便携式光合作用测定仪分别测量, 单位用“ $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ”表示。

2.5 品质性状

纤维素含量^[30-31] (某个生育期纤维素占其干物质的比例)、半纤维素含量^[30-31] (某个生育期半纤维素占其干物质的比例)、木质素含量^[30-31] (某个生育期木质素占其干物质的比例), 将茎叶烘干后磨粉, 采用范氏洗涤纤维分析法测量, 用“%”表示。果胶含量(某个生育期果胶占其干物质的比例) 参照 GB/T 10742-2008, 将茎叶烘干后磨粉, 用重量法测量, 用“%”表示。淀粉含量^[31] (某个生育期淀粉占其干物质的比例) 参照 GB/T 5514-2008, 用“%”表示。可溶性糖含量^[31] (某个生育期可溶性糖占其干物质的比例) 采用蒽酮法测量, 用“%”表示。含水量^[32-33] (某个生育期水分占其鲜重的比例) 参照 GB/T 28733-2012, 采用烘干法测量, 用“%”表示。

高位热值^[34,36] (燃烧热和水蒸气的冷凝热的总数, 即芒草完全燃烧时所放出的总热量)、低位热值^[35-36] (燃烧热, 即由总热量减去冷凝热的差数), 参照 GB/T 30727-2014, 将茎叶烘干后磨粉, 用自动量热仪测量, 用“MJ/kg”表示。

灰分含量^[34] (某个生育期灰分占其干物质的比例)、挥发分含量^[34] (某个生育期挥发分占其干物质的比例)、固定碳含量^[34] (某个生育期固定碳占其干物质的比例), 参照 GB/T 28731-2012, 将茎叶烘干后磨粉, 用自动工业分析仪测量, 用“g/kg”表示。

碳元素含量^[36-38] (某个生育期碳占其干物质的比例)、氢元素含量^[36,38] (某个生育期氢占其干物质的比例) 参照 GB/T 28734-2012, 将茎叶烘干后磨粉, 用三节炉碳氢测定仪测量, 用“g/kg”表示; 氧元素含量^[36] (某个生育期氧占其干物质的比例), 通过干物质总重减去碳、氢、氮和灰分含量间接计算而得, 用“g/kg”表示; 氮元素含量^[36-38] (某个生育期氮占其干物质的比例) 参照 GB/T 30728-2014, 将茎叶

烘干后磨粉,采用凯氏定氮法测量,用“g/kg”表示;磷元素含量^[37-38](某个生育期磷占其干物质的比例)、硅元素含量^[37-38](某个生育期硅占其干物质的比例)、钾元素含量^[37-38](某个生育期钾占其干物质的比例)、钙元素含量^[37-38](某个生育期钙占其干物质的比例)、镁元素含量^[37-38](某个生育期镁占其干物质的比例)、钠元素含量^[37-38](某个生育期钠占其干物质的比例)、铁元素含量^[37-38](某个生育期铁占其干物质的比例)、铝元素含量^[37-38](某个生育期铝占其干物质的比例)参照 GB/T 30725-2014,将茎叶烘干后磨粉,磷采用磷钼蓝分光光度法,硅采用硅钼蓝分光光度法,钾、钙、镁、钠和铁采用原子吸收法,铝采用氟盐取代 EDTA 络合滴定法测定,用“mg/kg”表示;氯元素含量^[36-38](某个生育期氯占其干物质的比例)参照 GB/T 30729-2014,将茎叶烘干后磨粉,采用高温燃烧水解-电位滴定法测定,用“mg/kg”表示;硫元素含量^[36-38](某个生育期硫占其干物质的比例)参照 GB/T 28732-2012,将茎叶烘干后磨粉,采用艾士卡法测定,用“mg/kg”表示。

2.6 抗逆性

耐盐性^[39],指芒草对土壤中盐碱类物质的忍受能力,可分为4级,(1)耐盐(可耐土壤中1%以上NaCl含量的浓度),(2)中等耐盐(可耐土壤中0.6%~1% NaCl含量的浓度),(3)中等敏感(可耐0.3%~0.6% NaCl含量的浓度),(4)敏感(不耐0.3% NaCl含量);抗旱性^[40],指芒草通过干旱屏蔽抵抗缺水胁迫和增强水分吸收耐旱两方面的能力,可分为5级,(1)强(干旱时无受旱害表现),(2)较强(个别叶片有轻微的萎蔫),(3)中等(大量茎叶出现萎蔫现象,但生长未停止),(4)弱(大量植株出现萎蔫现象,生长停止,并有少量死亡),(5)最弱(所有植株萎蔫,30%死亡);抗寒性^[41],指芒草忍耐或抵抗低温或寒冷的能力,以越冬率为判定标准,小区面积25 m²(5 m×5 m),3次重复,随机区组排列,开始返青后定点测量,计算成活株数占总株数的百分比,用“%”表示;耐淹性,指芒草对水分过多缺氧的适应能力,可分为3级,(1)耐淹(淹水后能正常生长),(2)中等耐淹(淹水后能存活),(3)不耐淹(淹水后死亡);抗倒伏性^[42],指芒草茎秆抗倾斜倒伏的能力,以茎秆与地面垂直线的角度来表示,可分为3级,(1)抗(平均倾斜角度≤30°),(2)稍抗(平均倾斜角度≤60°),(3)不抗(平均倾斜角度>60°)。

2.7 抗病虫性

抗病性,指芒草抑制或延缓病原活动的能力,在

不同病害发生时期,选有代表性的小区做3次重复进行观测,可按受害程度分4级,(1)高抗(未观测到病原体),(2)低抗(5%以下植株感染,个别植株发现病原体,但不影响芒草生长),(3)感病(5%~10%的植株感染病原体,芒草生长受影响),(4)高感(10%以上植株感染,芒草生长停止)。

抗虫性,指芒草能避免受虫害、或耐虫害、或受虫害后自有补偿机制,在受害区选取代表小区,25 m²,重复3次,以目测法确定受害程度,可分为4级,(1)高抗(观察地区未发现其害虫的成虫、幼虫、卵),(2)低抗(即虫害还没有影响到植株生长),(3)染虫(影响到植株生长),(4)重染(严重的影响到植株生长,甚至造成死亡者)。

2.8 其他特性

利用方式,芒草作为生物质能源植物,其利用方式多种多样,可以直接燃烧发电,也可发酵制乙醇、沼气或热解制生物油、生物炭和生物气等,利用方式可分为3大类,(1)直接燃烧,(2)热化学转换,(3)生物化学转换;核型,运用细胞学实验方法鉴定芒草染色体数量、大小、形态及结构,用核型公式来表示;指纹图谱与分子标记,记录芒属种质指纹图谱(分子标记)的方法,标明引物和特征带分子大小或序列,标明标记的性状与连锁距离;备注,芒属种质资源特殊描述符(特殊代码)的详细说明。

3 描述简表和数据标准的制定

3.1 芒属种质资源描述简表(表1)

3.2 芒属种质资源数据标准表(表2)

4 标准制定的意义与作用

培育能源作物,开发生物质能源是人类在能源安全和环境压力下的必然选择,欧美国家早在10多年前就开始了这方面的研究。与欧美国家相比,我国在芒属植物的基础研究和产业化研究方面尚存在一定的差距,特别是在专用芒属能源作物的选育与应用上还刚刚起步,尽管我国有着丰富的资源优势,但这些宝贵资源还多处于野生状态,正等待我们去科学地发掘、利用和保护。

《芒属种质资源描述规范和数据标准》的研究制定,能使芒属种质在数据层上实现统一,有助于芒属种质资源鉴定与评价的进一步规范,不但可以促进我国芒属种质优良资源的筛选和品种选育,还能促进我国芒属种质资源信息平台的建设与共享,大大有利于我国芒属种质资源的整合^[43-44]。

表1 芒属种质资源描述简表

Table 1 Characterization table for evaluating *Miscanthus* germplasm

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	描述符性质 Category of descriptor	单位或代码 Unit or code
1	101	全国统一编号	M	
2	102	种质库编号	M	
3	103	圃编号	M	
4	104	引种号	C/国外资源	
5	105	采集号	C/野生资源和地方品种	
6	106	种质名称	M	
7	107	种质外文名	M	
8	108	科名	M	
9	109	属名	M	
10	110	学名	M	
11	111	原产国	M	
12	112	原产省	M	
13	113	原产地	M	
14	114	海拔	C/野生资源和地方品种	m
15	115	经度	C/野生资源和地方品种	
16	116	纬度	C/野生资源和地方品种	
17	117	来源地	M	
18	118	保存单位	M	
19	119	保存单位编号	M	
20	120	系谱	C/选育品种或品系	
21	121	选育单位	C/选育品种和品系	
22	122	育成年份	C/选育品种和品系	
23	123	选育方法	C/选育品种和品系	
24	124	种质类型	M	1:野生资源;2:地方品种;3:育成品种;4:品系;5:遗传材料;6:其他
25	125	图像	M	
26	126	观测地点	M	
27	201	染色体倍性	O	1:二倍体;2:三倍体;3:四倍体;4:多倍体
28	202	出苗期	M	
29	203	孕穗期	M	
30	204	抽穗期	M	
31	205	开花期	M	
32	206	枯黄期	M	
33	207	再生性	M	1:良好;2:中等;3:较差
34	208	根状茎	M	1:极发达;2:较发达;3:不发达;4:无
35	209	株型	M	1:丛生;2:散生
36	210	干物质产量	O	t/hm ²
37	211	茎高	O	cm
38	212	冠层高	O	cm
39	213	花茎高	O	cm
40	214	茎径	O	mm
41	215	基部直径	O	cm
42	216	基部圆周	O	cm
43	217	冠层直径	O	cm
44	218	分蘖数	O	根
45	219	有效茎数	O	根
46	220	茎密度	O	根/m ²
47	221	茎角度	O	1: <5°;2:介于5°~30°;3:介于30°~60°;4:介于60°~90°
48	222	叶角度	O	1: <30°;2:介于30°~60°;3:介于60°~90°
49	223	叶长	O	cm

表 1(续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	描述符性质 Category of descriptor	单位或代码 Unit or code
50	224	叶宽	0	cm
51	225	叶面积	0	cm ²
52	226	叶茎比	0	
53	227	枯黄性	0	1:全部枯黄;2:大量枯黄;3:少量枯黄;4:不枯黄
54	228	落叶性	0	1:全部落叶;2:大量落叶;3:少量落叶;4:不落叶
55	229	根茎侧芽数	0	个
56	230	根茎顶芽数	0	个
57	231	腋芽数	0	个
58	232	茎节点数	0	个
59	233	种子数	0	粒
60	234	小穗数	0	粒
61	235	结实率	0	%
62	236	发芽率	0	%
63	237	叶面积指数	0	
64	238	光截获率	0	%
65	239	净光合速率	0	μmol/m ² ·s
66	301	纤维素含量	0	%
67	302	半纤维素含量	0	%
68	303	木质素含量	0	%
69	304	果胶含量	0	%
70	305	淀粉含量	0	%
71	306	可溶性糖含量	0	%
72	307	高位热值	0	MJ/kg
73	308	低位热值	0	MJ/kg
74	309	C 含量	0	g/kg
75	310	H 含量	0	g/kg
76	311	O 含量	0	g/kg
77	312	N 含量	0	g/kg
78	313	P 含量	0	mg/kg
79	314	K 含量	0	mg/kg
80	315	Cl 含量	0	mg/kg
81	316	Si 含量	0	mg/kg
82	317	S 含量	0	mg/kg
83	318	Ca 含量	0	mg/kg
84	319	Mg 含量	0	mg/kg
85	320	Na 含量	0	mg/kg
86	321	Fe 含量	0	mg/kg
87	322	Al 含量	0	mg/kg
88	323	灰分含量	0	%
89	324	挥发分含量	0	g/kg
90	325	固定碳含量	0	g/kg
91	326	含水量	0	%
92	401	耐盐性	0	1:耐盐;2:中等耐盐;3:中等敏感;4:敏感
93	402	抗旱性	0	1:强;2:较强;3:中等;4:弱;5:最弱
94	403	抗寒性	0	%
95	404	耐淹性	0	1:抗;2:稍抗;3:不抗
96	405	抗倒伏性	0	1:抗;2:稍抗;3:不抗
97	501	抗病性	0	1:高抗;2:低抗;3:感病;4:高感
98	502	抗虫性	0	1:高抗;2:低抗;3:染虫;4:重染
99	601	利用方式	0	1:直接燃烧;2:热化学转换;3:生物化学转换
100	602	核型	0	
101	603	指纹图谱与分子标记	0	
102	604	备注	0	

表 2 芒属种质资源数据标准表
Table 2 List of data standard for characterizing *Miscanthus germplasm*

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段 类型 Field type	字段 长度 Field length	小数位 Decimal place of field	单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
1	101	全国统一编号	统一编号	Accession number	C	8					
2	102	种质库编号	库编号	Germplasm bank number	C	10					
3	103	圃编号	圃编号	Field genebank number	C	10					
4	104	引种号	引种号	Introduction number	C	8			20100001		
5	105	采集号	采集号	Collecting number	C	8			20064301		五节芒
6	106	种质名称	种质名称	Specific name	C	30					<i>Miscanthus × giganteus</i>
7	107	种质外文名	种质外文名	Alien name	C	40					Gramineae(禾本科)
8	108	科名	科名	Family name	C	30					<i>Miscanthus</i> (芒属)
9	109	属名	属名	Generic name	C	40					<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss. (芒)
10	110	学名	学名	Scientific name	C	50					
11	111	原产国	国家	Country of origin	C	16					中国
12	112	原产省	省	Province of origin	C	8					湖南
13	113	原产地	原产地	County of origin	C	20					沅江
14	114	海拔	海拔	Altitude	N	5	0	m			183
15	115	经度	经度	Longitude	N	6					E119°14.791'
16	116	纬度	纬度	Latitude	N	5					N26°47.046'
17	117	来源地	来源地	Sample source	C	24					日本
18	118	保存单位	保存单位	Depository authority	C	40					湖南农业大学芒属研究所
19	119	保存单位编号	单位编号	Germplasm number in depository authority	C	10					A0101
20	120	系谱	系谱	Pedigree	C	70					A0107 母本 × B0605 父本
21	121	选育单位	选育单位	Breeding institute	C	40					湖南农业大学芒属研究所
22	122	育成年份	育成年份	Variety registration year	N	4					2014
23	123	选育方法	选育方法	Breeding methods	C	20					轮回选择

表 2(续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段 类型 Field type	字段 长度 Field length	字段 小数位 Decimal place of field	单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
24	124	种质类型	种质类型	Germplasm type	C	12			1:野生资源; 2:地方品种; 3:育成品种; 4:品系; 5:遗传材料; 6:其他	1: Wild; 2: Traditional cultivar/Landrace; 3: cultivar; 4: Strain; 5: Genetic stocks; 6: Other	野生资源
25	125	图像	图像	Image	F	50					D0644. jpg
26	126	观测地点	观测地点	Observation site	C	16					湖南长沙
27	201	染色体倍性	染色体倍性	Chromosome ploidy	C	6			1:二倍体; 2:三倍体; 3:四倍体; 4:多倍体;	1: Diploid; 2: Triploid; 3: Tetraploid; 4: Polyploid	四倍体
28	202	出苗期	出苗期	Emergence date	D	8					20090225
29	203	孕穗期	孕穗期	Booting stage	C	17					20090920-20090927
30	204	抽穗期	抽穗期	Heading stage	C	17					20091001-20091008
31	205	开花期	开花期	Flowering stage	C	17					20091003-20091012
32	206	枯黄期	枯黄期	Withering date	D	8					20091204
33	207	再生性	再生性	Regeneration ability	C	4			1:良好; 2:中等; 3:较差	1: Well; 2: Intermediate; 3: Relatively poor;	2:中等
34	208	根状茎	根状茎	The developed level of rhizome	C	6			1:极发达; 2:较发达; 3:不发达; 4:无	1: Very developed; 2: More developed; 3: Underdevelopment; 4: No rhizome	1:极发达
35	209	株型	株型	Plant type	C	12			1:丛生; 2:散生	1: Tufted; 2: Dispersive	1:丛生

表 2(续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段类型 Field type	字段长度 Field length	字段		单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
							小数位 Decimal place	of field				
36	210	干物质产量	干物质产量	Dry matter yield	N	6	3		t/hm ²			32.140
37	211	茎高	茎高	Stem height	N	7	2		cm			303.16
38	212	冠层高	冠层高	Canopy height	N	7	2		cm			180.21
39	213	花茎高	花茎高	Panicle height	N	7	2		cm			318.74
40	214	茎径	茎径	Stem diameter	N	5	2		mm			12.36
41	215	基部直径	基部直径	Base diameter	N	6	2		cm			58.86
42	216	基部圆周	基部圆周	Basal circumference	N	6	2		cm			271.25
43	217	冠层直径	冠层直径	Canopy diameter	N	7	2		cm			196.73
44	218	分蘖数	分蘖数	Tiller number	N	4	0		根			83
45	219	有效茎数	有效茎数	Transsect count	N	4	0		根			76
46	220	茎密度	茎密度	Shoot density	N	4	0		根/m ²			32
47	221	茎角度	茎角度	Stem angle	C	10				1: <5°; 2: 介于 5° ~ 30°; 3: 介于 30° ~ 60°; 4: 介于 60° ~ 90°		2: ≤30°
48	222	叶角度	叶角度	Leaf angle	C	10				1: <30°; 2: 介于 30° ~ 60°; 3: 介于 60° ~ 90°		2: ≤60°
49	223	叶长	叶长	Leaf length	N	6	2		cm			102.74
50	224	叶宽	叶宽	Leaf width	N	5	2		cm			2.69
51	225	叶面积	叶面积	Leaf area	N	6	2		cm ²			204.35
52	226	叶茎比	叶茎比	Leaf/Stem ratio	N	7	3					0.289
53	227	枯黄性	枯黄性	Senescence score	C	20				1: 全部枯黄; 2: 大量枯黄; 3: 少量枯黄; 4: 不枯黄		1: 全部枯黄

表 2(续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段类型 Field type	字段长度 Field length	小数位 Decimal place	单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
54	228	落叶性	落叶性	Deciduous score	C	20			1:全部落叶; 2:大量落叶; 3:少量落叶; 4:不落叶	1: >80% deciduous; 2: 介于50% ~80% deciduous; 3: 介于20% ~50% deciduous; 4: <20% deciduous	2:大量落叶;
55	229	根茎侧芽数	根茎侧芽数	Rhizome bud count	N	4	0	个			38
56	230	根茎顶芽数	根茎顶芽数	Terminal bud count	N	4	0	个			7
57	231	腋芽数	腋芽数	Nodal bud count	N	2	0	个			5
58	232	茎节点数	茎节点数	Stem node count	N	2	0	个			10
59	233	种子数	种子数	Seed count	N	4	0	粒			875
60	234	小穗数	小穗数	Spikelet count	N	4	0	粒			496
61	235	结实率	结实率	Seed setting rate	N	6	2	%			88.21
62	236	发芽率	发芽率	Seed germination rate	N	6	2	%			98.96
63	237	叶面积指数	叶面积指数	Leaf area index	N	4	2				2.86
64	238	光截获率	光截获率	Light interception rate	N	6	2	%			78.79
65	239	净光合速率	净光合速率	Net photosynthetic rate	N	5	1	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$			38.6
66	301	纤维素含量	纤维素含量	Cellulose content	N	5	2	%			51.29
67	302	半纤维素含量	半纤维素含量	Hemicellulose content	N	5	2	%			30.47
68	303	木质素含量	木质素含量	Lignin content	N	5	2	%			14.86
69	304	果胶含量	果胶含量	Pectin content	N	4	2	%			1.01
70	305	淀粉含量	淀粉含量	Starch content	N	4	2	%			2.31
71	306	可溶性糖含量	可溶性糖含量	Soluble sugar content	N	4	2	%			2.68
72	307	高位热值	高位热值	High heating value	N	5	1	MJ/kg			18.7
73	308	低位热值	低位热值	Low heating value	N	5	1	MJ/kg			17.6
74	309	C 含量	C 含量	Carbon content	N	6	3	g/kg			483.275
75	310	H 含量	H 含量	Hydrogen content	N	6	3	g/kg			54.639

表 2(续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段 类型 Field type	字段 长度 Field length	字段		单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
							小数位 Decimal place	of field				
76	311	O 含量	O 含量	Oxygen content	N	6	3		g/kg			415.193
77	312	N 含量	N 含量	Nitrogen content	N	6	3		g/kg			2.178
78	313	P 含量	P 含量	Phosphorus content	N	5	0		mg/kg			1512
79	314	K 含量	K 含量	Kalium content	N	5	0		mg/kg			3605
80	315	Cl 含量	Cl 含量	Chlorine content	N	5	0		mg/kg			4529
81	316	Si 含量	Si 含量	Silicium content	N	5	0		mg/kg			9335
82	317	S 含量	S 含量	Sulphur content	N	5	0		mg/kg			6427
83	318	Ca 含量	Ca 含量	Calcium content	N	5	0		mg/kg			3418
84	319	Mg 含量	Mg 含量	Magnesium content	N	5	0		mg/kg			649
85	320	Na 含量	Na 含量	Sodium content	N	5	0		mg/kg			209
86	321	Fe 含量	Fe 含量	Ferrum content	N	5	0		mg/kg			324
87	322	Al 含量	Al 含量	Aluminum content	N	5	0		mg/kg			595
88	323	灰分含量	灰分含量	Ash content	N	6	2		%			44.58
89	324	挥发分含量	挥发分含量	Volatile solid content	N	6	1		g/kg			769.3
90	325	固定碳含量	固定碳含量	Fixed carbon content	N	6	1		g/kg			145.6
91	326	含水量	含水量	Moisture content	N	6	2		%			56.37
92	401	耐盐性	耐盐性	Salinity tolerance	C	8				1:耐盐; 2:中等耐盐; 3:中等敏感; 4:敏感	1:Resistance salinity; 2:Medium resistance salinity; 3:Medium sensitive; 4:Sensitive	2:中等耐盐
93	402	抗旱性	抗旱性	Drought resistance	C	4				1:强; 2:较强; 3:中等; 4:弱; 5:最弱	1:Very high; 2:High; 3:Medium; 4:Low; 5:Very low	3:中等

表 2 (续)

序号 Serial number	代号 Code name	描述符 Descriptor	字段名 Field name	字段英文名 Field name in English	字段 类型 Field type	字段 长度 Field length	字段 小数位 Decimal place of field		单位 Unit	代码 Code	代码英文名 Code in English	例子 Example
							5	2				
94	403	抗寒性	抗寒性	Cold resistance	N	5		2	%			
95	404	耐淹性	耐淹性	Submerge tolerance	C	5				1:耐淹; 2:中等耐淹; 3:不耐淹	1:Resistance; 2:Medium resistance; 3:No resistance	1:耐淹
96	405	抗倒伏性	抗倒伏性	Lodging resistant	C	5				1:抗; 2:稍抗; 3:不抗	1:Resistance; 2:Slightly resistance; 3:No resistance	1:抗
97	501	抗病性	抗病性	Disease resistance	C	5				1:高抗; 2:低抗; 3:感病; 4:高感	1:High resistance; 2:Low resistance; 3:Disease; 4:Heavy disease	1:高抗
98	502	抗虫性	抗虫性	Insect resistance	C	5				1:高抗; 2:低抗; 3:染虫; 4:重染	1:Very tolerant; 2:Low tolerant; 3:Pest attack; 4:Heavy pest attack	1:高抗
99	601	利用方式	利用方式	Utiliza way	C	5				1:直接燃烧; 2:热化学转换; 3:生物化学转换	1:Direct combustion; 2:Thermo-chemical conversion; 3:Biochemical conversion	2:热化学转换
100	602	核型	核型	Karyotype	C	20						$2n = 4x = 76 = 60m + 16sm$
101	603	指纹图谱与 分子标记	分子标记	Fingerprinting and molecular marker	C	40						
102	604	备注	备注	Remarks	C	40						

参考文献

- [1] Chen S L, Renvoise S A. *Miscanthus Andersson* [M] // Wu Z Y, Raven P H. *Flora of China*. Beijing: Science Press, 2006: 581-583
- [2] 于延冲, 易自力, 周功克. 能源植物芒草研究进展与综合利用现状[J]. *生命科学*, 2014, 26(5): 474-480
- [3] 易自力. 芒属能源植物资源的开发与利用[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2012, 38(5): 455-463
- [4] 钟智林, 蒋建雄, 杨璐, 等. 玉米 SSR 引物在芒属植物遗传多样性分析的应用研究[J]. *现代生物医学进展*, 2009, 9(11): 2076-2079, 2119
- [5] 李婧, 夏念和. 广东省五节芒遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2011, 19(6): 506-512
- [6] 肖亮, 薛德, 蒋建雄, 等. 中国芒 (*Miscanthus sinensis*) 种质资源 SSR 标记遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(1): 36-41
- [7] 肖亮, 蒋建雄, 易自力, 等. 五节芒种质资源的表型多样性分析[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2013, 39(2): 150-154
- [8] 聂刚, 张新全, 黄琳凯, 等. 中国西南区野生芒居群表型变异研究[J]. *草业学报*, 2013, 22(5): 52-61
- [9] 李钰莹, 范希峰, 侯新村, 等. 利用 ISSR 和 SSR 标记分析芒荻类植物资源遗传多样性[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(2): 21-27
- [10] Qin Y, Kabir M A, Wang H W, et al. Assessment of genetic diversity and relationships based on RAPD and AFLP analyses in *Miscanthus* genera landraces[J]. *Can J Plant Sci*, 2013, 93: 1-12
- [11] Xu W Z, Zhang X Q, Huang L K, et al. Higher genetic diversity and gene flow in wild populations of *Miscanthus sinensis* in southwest China[J]. *Biochem System Ecol*, 2013, 48: 174-181
- [12] Yook M J, Lim S H, Song J S, et al. Assessment of genetic diversity of Korean *Miscanthus* using morphological traits and SSR markers[J]. *Biom Bioen*, 2014, 66: 81-92
- [13] 李志勇, 王宗礼, 师文贵, 等. 牧草种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006
- [14] 师文贵, 李志勇, 李鸿雁, 等. 无芒雀麦种质资源主要描述性状比较分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(4): 510-513
- [15] 李志勇, 李鸿雁, 师文贵, 等. 苜蓿属 (*Medicago* L.) 种质资源描述规范和数据标准的制定及应用[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(1): 81-85
- [16] 陈洁珍. 荔枝种质资源描述规范及数据标准研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005
- [17] 杨宇晨, 陈智勇, 蒋建雄, 等. 芒属植物多倍体诱导技术的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(12): 13-16
- [18] Himken M, Lammel J, Neukirchen D, et al. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization[J]. *Plant Soil*, 1997, 189: 117-126
- [19] Jezowski S, Glowacka K, Kaczmarek Z. Variation on biomass yield and morphological traits of energy grasses from the genus *Miscanthus* during the first years of crop establishment[J]. *Biom Bioen*, 2011, 35: 814-821
- [20] Xue S, Kalinina O, Lewandowski I. Present and future options for *Miscanthus* propagation and establishment[J]. *Ren Sust Ener Rev*, 2015, 49: 1233-1246
- [21] Slavov G T, Nipper R, Robson P, et al. Genome-wide association studies and prediction of 17 traits related to phenology, biomass and cell wall composition in the energy grass *Miscanthus sinensis* [J]. *New Phytol*, 2014, 201: 1227-1239
- [22] 王禹, 易自力, 易镇邪, 等. 芒属能源植物繁殖与栽培技术研究进展[J]. *可再生能源*, 2012, 30(5): 84-88
- [23] Boersma N N, Heaton E A. Propagation method affects *Miscanthus × giganteus* developmental morphology[J]. *Ind Crop Prod*, 2014, 57: 59-68
- [24] Robson P, Jensen E, Hawkins S, et al. Accelerating the domestication of a bioenergy crop: identifying and modelling morphological targets for sustainable yield increase in *Miscanthus* [J]. *J Exp Bot*, 2013, 64: 4143-4155
- [25] Quinn L D, Stewart J R, Yamada T, et al. Environmental Tolerances of *Miscanthus sinensis* in Invasive and Native Populations [J]. *Bioen Res*, 2012, 5: 139-148
- [26] Heaton E A, Dohleman F G, Long S P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus* [J]. *Global Chan Biol*, 2008, 14: 2000-2014
- [27] Arnoult S, Obeuf A, Béthencourt L, et al. *Miscanthus* clones for cellulosic bioethanol production: Relationships between biomass production, biomass production components, and biomass chemical composition[J]. *Ind Crop Prod*, 2015, 63(10): 316-328
- [28] Jørgensen U, Mortensen J, Ohlsson C. Light interception and dry matter conversion efficiency of *Miscanthus* genotypes estimated from spectral reflectance measurements[J]. *New Phytol*, 2003, 157: 263-270
- [29] Wang D, Maughan M W, Sun J D, et al. Impact of nitrogen allocation on growth and photosynthesis of *Miscanthus* (*Miscanthus × giganteus*) [J]. *GCB Bioen*, 2012, 4(4): 688-697
- [30] Qin J P, Yang Y, Jiang J X, et al. Comparison of lignocellulose composition in four major species of *Miscanthus* [J]. *Afr J Biotechnol*, 2012, 11(62): 12529-12537
- [31] Byrt C S, Grof C P L, Furbank R T. C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective[J]. *J Integr Plant Biol*, 2011, 53(2): 120-135
- [32] Lewandowski I, Clifton-Brown J C, Scurlock J M O, et al. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop [J]. *Biom Bioen*, 2000, 19: 209-227
- [33] Chung J H, Kim D S. *Miscanthus* as a Potential Bioenergy Crop in East Asia [J]. *J Crop Sci Biotech*, 2012, 15(2): 65-77
- [34] Saddawi A, Jones J M, Williams A, et al. Commodity fuels from biomass through pretreatment and torrefaction: effects of mineral content on torrefied fuel characteristics and quality[J]. *Ener Fuel*, 2012, 26(11): 6466-6474
- [35] Fournel S, Palacios J H, Morissette R, et al. Influence of biomass properties on technical and environmental performance of a multi-fuel boiler during on-farm combustion of energy crops [J]. *Appl Ener*, 2015, 141: 247-259
- [36] Friedl A, Padouvas E, Rotter H, et al. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition[J]. *Anal Chim Acta*, 2005, 544: 191-198
- [37] Monti A, Virgilio N D, Venturi G. Mineral composition and ash content of six major energy crops [J]. *Biom Bioen*, 2008, 32: 216-223
- [38] Sommersacher P, Brunner T, Obernberger I, et al. Combustion related characterisation of *Miscanthus* peat blends applying novel fuel characterisation tools [J]. *Fuel*, 2015, 158: 253-262
- [39] 郑铖, 易自力, 肖亮, 等. NaCl 胁迫对芒属种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *中国草地学报*, 2015, 37(3): 37-42
- [40] 肖亮, 易自力, 段楚青, 等. 水分胁迫对芒草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(3): 40-46
- [41] Yan J, Chen W L, Luo F, et al. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication [J]. *GCB Bioen*, 2011, 4(1): 49-60
- [42] Kaack K, Schwarz K U. Morphological and mechanical properties of *Miscanthus* in relation to harvesting, lodging, and growth conditions [J]. *Ind Crop Prod*, 2001, 14: 145-154
- [43] 司海平, 刘俊辉, 马新明, 等. 农作物种质资源调查数据标准制定与共享[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(5): 704-708
- [44] 陈成斌. 野生稻种质资源描述规范和数据标准应用[J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(3): 257-259