

芒属植物的地理分布、资源利用现状、 潜在入侵风险及入侵特性

陈超¹⁺, 张辉¹⁺, 逯辉^{1,2}, 滕文军¹, 武菊英¹

¹北京市农林科学院草业花卉与景观生态研究所, 北京 100097;

²新疆农业大学草业学院, 新疆 乌鲁木齐 830052

摘要:【目的】对芒属植物的地理分布状况、资源利用现状和入侵特性等进行分析,以防范其潜在的入侵风险,发掘芒属植物资源的应用潜力。【方法】通过对文献资料的整理和分析,对芒属植物在全球范围内的地理分布状况和资源利用现状进行汇总和绘图;并采用2种风险评估体系(WG-WRA和WRA)对我国应用较多的植物种类进行风险评估。【结果】本研究汇总了18种芒属植物的地理分布信息,其中,4种为广布种,14种为狭域种。芒属植物在亚洲有广泛的分布,但大多处于野生或半被利用状态,被充分开发利用的种类相对贫乏;在欧美地区,芒属植物最早主要作为外来植物被引入,目前观赏型芒和奇岗等有较为广泛的种植和应用。随着芒属植物(尤其是观赏芒类)的大面积种植(或推广),其潜在的入侵风险也日渐显现。风险评估结果表明,芒属植物尚未在我国造成明显的入侵危害,低入侵风险比例为64.3%。但是其中的一些种类存在较高的入侵风险,例如五节芒和荻,其WG-WRA分值分别高达34和31分,为高风险。芒属植物具有很强的无性繁殖能力和广泛的环境适应性等,可能是其造成入侵危害的重要属性,需要引起重视。【结论】芒属植物已经在一些国家和地区造成了入侵危害,需要警惕其未来时期的入侵风险。对于具有很强扩繁能力的种类(或品种),需要做好引种前的风险评估工作,做到充分合理利用其优良性状而防范其入侵风险。



开放科学标识码
(OSID)

关键词: 芒属植物; 风险评估; 观赏草; 能源草; 入侵风险

Distribution, utilization status, potential risk, and invasion characteristics of *Miscanthus* species

CHEN Chao¹⁺, ZHANG Hui¹⁺, LU Hui^{1,2}, TENG Wenjun¹, WU Juying¹

¹Institute of Grassland, Flower and Ecology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;

²College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China

Abstract:【Aim】The distribution, resource utilization, and invasion characteristics of *Miscanthus* species were investigated and the potential application of the *Miscanthus* resources was explored.【Method】Based on collected information and data analysis, we analyzed the current situation of resource utilization and generated a map of the distribution of *Miscanthus* species worldwide. Meanwhile, two risk assessment systems [Weed Risk Assessment for Central Europe (WG-WRA) and Australian (or New Zealand) Weed Risk Assessment (WRA)] were used to evaluate the risk of widely used *Miscanthus* species in China.【Result】Eighteen *Miscanthus* species were evaluated, of which four species had a wide distribution and the remaining 14 had a relatively narrow distribution. Members of the genus *Miscanthus* are widely distributed across Asia; however, most of them are wild or semi-utilized. Fully utilized species are relatively scarce. In the European and American regions, *Miscanthus* plants were introduced mainly as exotic plants, then as ornamental cultivars; currently, the ornamental types of *Miscanthus* and *Miscanthus* × *giganteus* have a wide range of applications. With the large-scale usage of *Miscanthus* species, especially the ornamental types, their potential invasion risks are becoming increasingly apparent. The genus *Miscanthus* has a low-risk ratio of 64.3% and has overall not yet posed significant

收稿日期(Received): 2023-11-10 接受日期(Accepted): 2024-01-20

基金项目: 北京市农林科学院青年基金(QNJ202113); “蒙科聚”创新驱动平台项目(2023MKJ0023)

作者简介: 陈超, 男, 副研究员。研究方向: 草地生态学和入侵生态学。E-mail: xiaoyingwulu@163.com; 张辉, 男, 副研究员。研究方向: 园林植物及景观设计。E-mail: peakzeal@163.com

+ 同等贡献作者(The two authors contribution equally to this work)

* 通信作者(Author for correspondence), 武菊英, E-mail: wujuying@grass-env.com

invasion hazards in China. Nonetheless, some species, including *M. floridulus* and *M. sacchariflorus*, with WG-WRA scores of 34 and 31 respectively, are classified as high-risk species. Some characteristics of *Miscanthus* species, such as strong asexual reproduction ability and extensive environmental adaptability, may be important attributes that pose invasion hazards and require special attention. 【Conclusion】 *Miscanthus* species have posed invasion hazards in some countries and regions. Vigilance about their future invasion risk is necessary. For species (or cultivars) with strong reproductive capacity, conducting risk assessment for introduced varieties is urgently needed to fully utilize their beneficial traits, while being cautious about their invasion risks.

Key words: *Miscanthus* species; risk assessment; ornamental grass; energy grass; invasion risk

芒属为禾本科多年生高大草本植物,主要分布于东亚、东南亚及附近岛屿,非洲也有少数种类的分布(冯淑敏等,2022;任君霞等,2012)。根据《中国植物志》(中国科学院中国植物志编辑委员会,1997)记载,我国芒属植物有6种,即黄金芒 *Miscanthus flavidus* Honda、五节芒 *M. floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.、金县芒 *M. jinxianensis* L. Liou、紫芒 *M. purpurascens* Anderss.、芒 *M. sinensis* Anderss.、高山芒/常绿芒 *M. transmorrisonensis* Hayata。Chen & Renvoize (2006)亦将荻 *M. sacchariflorus* (Maximowicz) Hackel、南荻 *M. lutarioriparius* L. Liu ex Renvoize & S. L. Chen 等划归为芒属。关于芒属植物分类学方面的研究较多且存在一定的争议(马洪峥,2015;Chen & Renvoize,2006;Sun *et al.*,2010),本研究暂不对此方面展开讨论。

目前,大多数的芒属植物资源利用程度较低,尤其是分布于我国西南部、印度和非洲等地的芒属植物资源大多处于野生状态,几未被开发利用。欧美地区芒属植物的种植应用较为常见,但基本上作为观赏草的芒及其品种在园林中的应用,如奇岗 *Miscanthus × giganteus* Greif et Deu. 作为能源植物种植较为广泛(Christian *et al.*,2008)。整体上,芒属植物作为观赏植物和能源植物进行应用的种类(含品种)相对较多(马洪峥,2015;任君霞等,2012;Darke,1999;Grounds,1998;Neil,2016),随着生态园林的兴起,芒属植物作为一类新型的园艺植物逐渐在我国园林中得以推广应用。但是,芒属植物作为观赏草应用存在一定的入侵风险。相关的研究表明,在欧美等地区,芒属植物在种植区域外已形成扩散群体(Dougherty *et al.*,2014;Schnitzler & Essl,2015),且在意大利和德国有较大的种群(Brennert,2008);荻在美国的多个洲有从种植区逃逸的情况(Bonin *et al.*,2014)。随着芒属植物在我国的推广和应用日渐广泛,其带来的负面作用也日益突显。鉴于芒属植物可能存在的入侵风险,在其

推广应用中应防范其风险,故本研究对芒属植物的入侵风险进行评估,以期充分合理利用其优良性状及防范其潜在的入侵风险提供参考。

1 研究方法

1.1 数据收集与汇总

通过对文献资料的整理和数据收集,汇总芒属植物种类及其地理分布信息;同时,采用 ArcGIS 10.3.1 for Desktop 软件对芒属植物在全球范围内的分布状况进行绘图。其中,芒属植物的地理分布信息主要来源于文献、中国植物志(<http://www.iplant.cn/frps>)及图像库等,包括植物标本和实地考察的信息。芒属植物的品种信息主要来源于英国皇家园艺学会(Royal Horticultural Society, RHS)发布的数据(<https://www.rhs.org.uk/plants/search-results?form-mode=true&query=Miscanthus>)及发表的文献资料等。

1.2 风险评估

采用国际上通用的中欧风险评估体系(Weed Risk Assessment for Central Europe, WG-WRA, Weber & Gut,2004)和澳大利亚(或新西兰)杂草风险评估体系[Australian (or New Zealand) Weed Risk Assessment system, WRA, Pheloung *et al.*,1999]对芒属植物进行了入侵风险评估。其中,WG-WRA 主要从原产地、地域分布、繁殖能力及生活型等12个方面对植物进行入侵风险评估,并根据最终风险评估分值(分值均为整数)分为3个等级:低风险(I,3~20分)、中等风险(II,21~27分)、高风险(III,28~39分)。WRA 主要从植物对农业和环境的影响进行评估,涉及以下8个方面:驯化栽培史、气候和分布、杂草特性、不可期性状、植物类型、繁殖特性、扩散机制以及抗逆性。当最终评估得分超过6分时,即认为其具有较高的入侵风险,应慎重引种并在引入后需加以检测;得分小于1分的种类则认为无明显入侵风险。其中,如果农业和环境方面的得分介于1~6分,则表明该种需要进一步的

观测和分析。

此外,本研究对上述 2 种风险评估体系的区域范围等进行了修订。在 WG-WRA 中,“欧洲”和“国家”分别被修订为“中国”和“省份”(附录 1,扫描本文 OSID 码查看详情);在 WRA 中,将气候分布区域范围从“澳大利亚”修订为“中国”(附录 2,扫描本文 OSID 码查看详情)。本研究主要针对芒属广泛应用的种类(含品种)进行了风险评估,对于尚处于野生状态、未充分开发利用的种类未进行风险评估。在本研究参与风险评估的芒属植物中,除 4 种广布种和常绿芒原产于中国外,其他皆为外来引入的种类(或品种)。这 5 种本土植物在我国有其自然分布,但在实际应用中种植的均是经培育而成的植物资源,其风险评估也是基于其实际应用状况进行。

2 结果与分析

2.1 植物种类及分布状况

本研究结合文献资料的整理,汇总了全球范围

内 18 种芒属植物的地理分布状况,其中 4 种为广布种,分布范围广泛。广布种中,芒在我国 29 个省区市均有分布,荻在 28 个省区市有分布,五节芒在 24 个省区有分布,南荻的分布范围相对较狭窄,仅在 14 个省区有分布(图 1)。另外的 14 种芒属植物为狭域种,分布范围较为狭窄,多为区域特有种,分别是尼泊尔芒 *M. nepalensis* (Trinius) Hackel、双药芒 *M. nudipes* (Grisebach) Hackel、红山茅 *M. paniculatus* (B. S. Sun) Renvoize & S.L. Chen、毛轴芒 *M. villosus* Y. C. Liu & H. Peng、少序芒 *M. oligostachyus* Stapf、短毛荻 *M. tinctorius* (Steud.) Hack.、中间型芒 *M. intermedius* (Honda) Honda、奇岗(原产于日本的自然杂交种)、*M. fuscus* (Roxb.) Benth.、*M. changii* Y.N. Lee、*M. junceus* (Stapf) Pilg.、*M. violaceus* (K. Schum.) Pilg.、*M. ecklonii* (Nees) Mabb.、*M. sorghum* (Nees) Pilg., 主要分布于中国的西南部和不丹、印度、尼泊尔、朝鲜半岛、日本以及非洲南部等地区(图 2)。

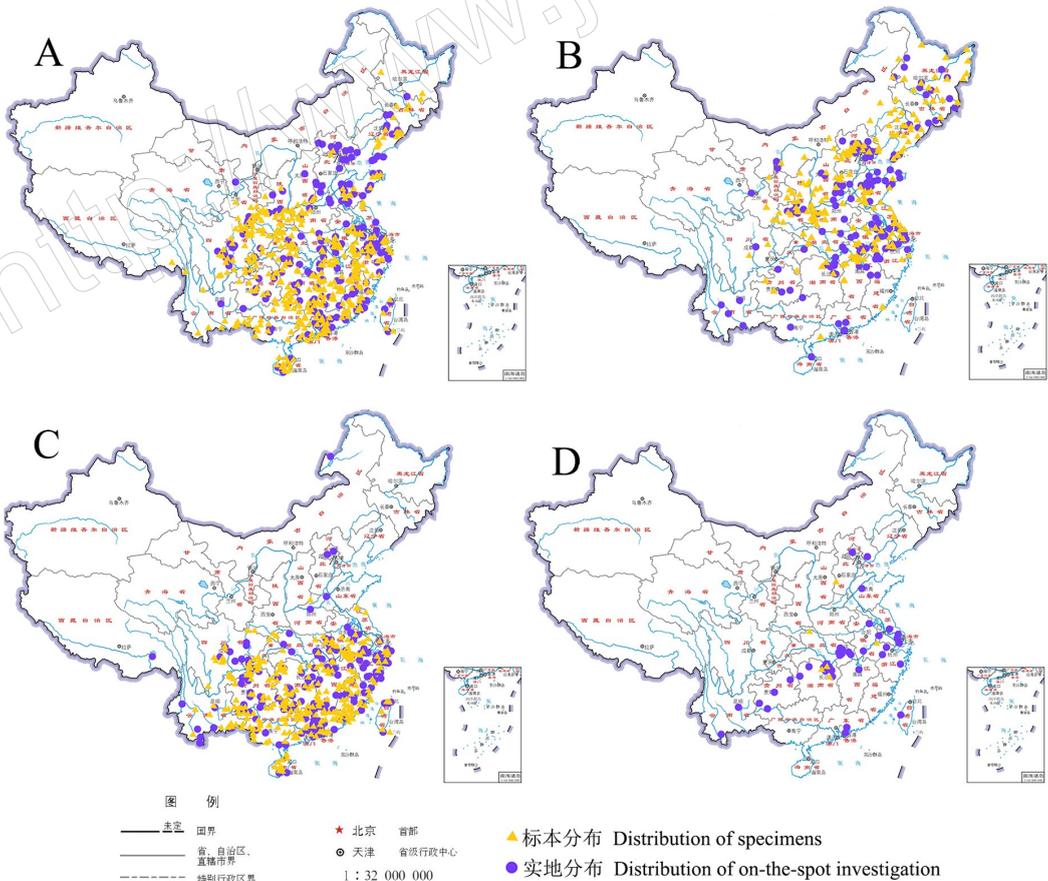


图 1 芒属广布种的分布[审图号 GS(2024)2459 号]

Fig.1 Distribution of wide-ranged species in *Miscanthus*

A: 芒; B: 荻; C: 五节芒; D: 南荻。

A: *M. sinensis*; B: *M. sacchariflorus*; C: *M. floridulus*; D: *M. lutarioriparius*.

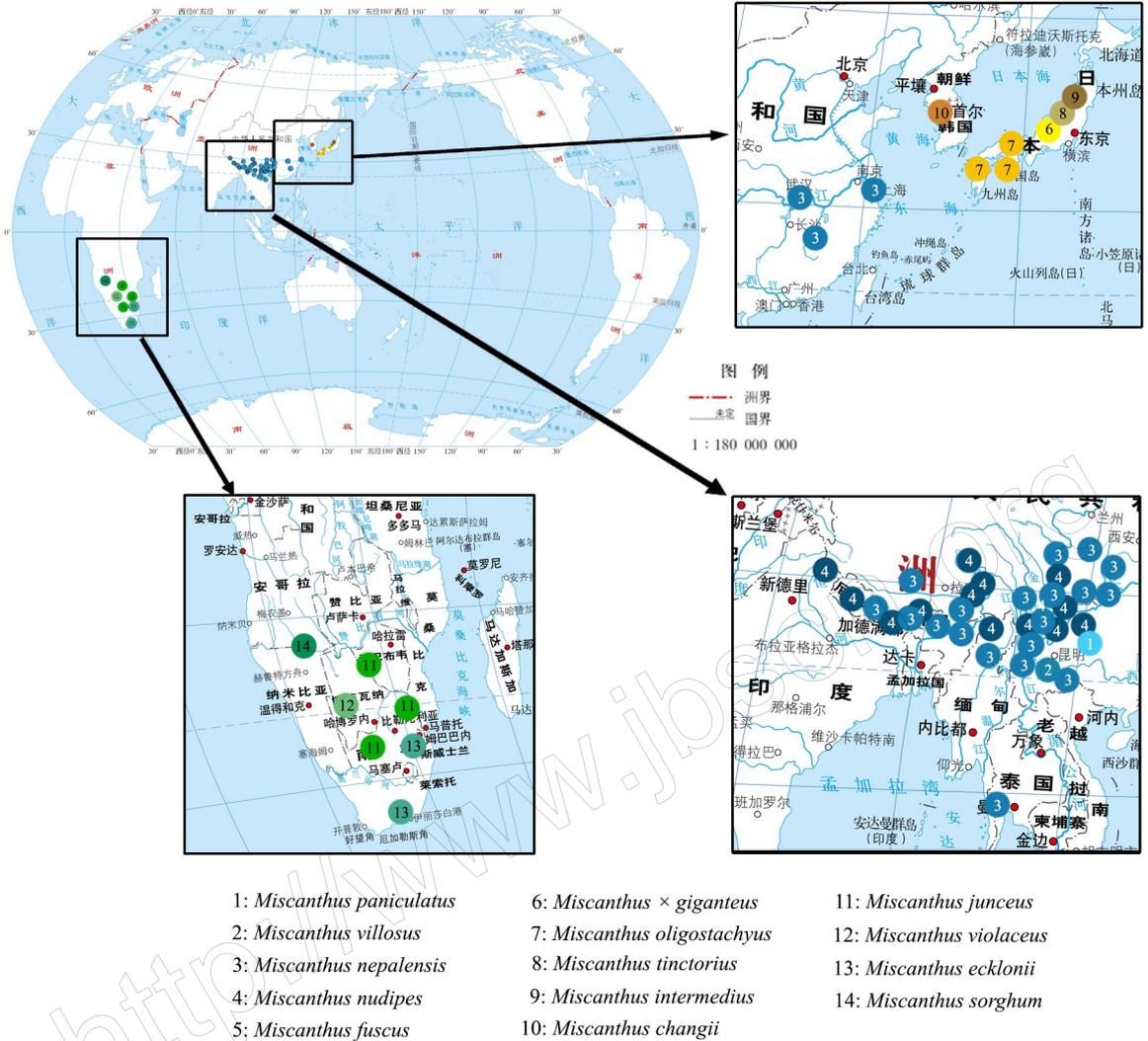


图 2 芒属狭域种的分布[审图号 GS(2024)2459 号]

Fig.2 Distribution of narrow-ranged species in *Miscanthus*

2.2 植物资源和品种

芒属作为观赏草应用的种类(或品种)繁多,相关的统计结果表明,目前国际上发布的芒属植物新品种至少有 234 个,其中,芒有 217 个品种,奇岗 7 个,芒与少序芒的杂交种 3 个,五节芒和少序芒各 2 个,荻、南荻和尼泊尔芒各 1 个(附录 3,扫描本文 OSID 码查看详情)。我国常见引入的芒观赏品种有:‘花叶’芒 *Miscanthus sinensis* ‘Variegatus’、‘斑叶’芒 *M. sinensis* ‘Zebrinus’、‘细叶’芒 *M. sinensis* ‘Gracilimus’、‘晨光’芒 *M. sinensis* ‘Morning Light’、‘金酒吧’芒 *M. sinensis* ‘Gold Bar’、‘玲珑’芒 *M. sinensis* ‘Adagio’、‘悍’芒 *M. sinensis* ‘Malepartus’、‘劲’芒 *M. sinensis* ‘Strictus’等;另外,我国也有自主选育的品种,例如‘纤序’芒 *M. sinensis*

‘Xianxu’、‘红穗’芒 *M. sinensis* ‘Hong sui’、‘长序’芒 *M. sinensis* ‘Changxu’等(表 1)。

2.3 风险评估

风险评估结果(表 2)表明,对于 WG-WRA 体系,本研究评定的芒属植物高、中、低风险比例分别为 14.3% (Ⅲ)、21.4% (Ⅱ)和 64.3% (Ⅰ);且芒属植物原种的风险明显高于品种(含杂交种)。在 WRA 体系下,所有参与评定的 14 个芒属植物均为需要在引种时加以限制的种类(大于 6 分)。整体上,芒属植物是入侵风险相对较低的植物类群,尤其是观赏芒。但是,评估结果表明,芒属植物中也存在具有入侵风险较高的种类,例如五节芒和荻,其 WG-WRA 分值分别高达 34 和 31 分。

表 1 我国自主选育的芒属植物新品种
Table 1 Independently bred varieties of *Miscanthus* in China

选育单位 Breeding institution	物种 Species	选育时间 Breed time	用途 Application value
北京草业与环境研究发展中心 Beijing Research & Development Center for Grass and Environment	‘纤序’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Xianxu’	2014	观赏 Ornamentals
	‘红穗’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Hongxui’	2015	观赏 Ornamentals
	‘长序’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Changxu’	2015	观赏 Ornamentals
	‘密花’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Mihua’	2015	观赏 Ornamentals
	‘绿姬’奇巨芒 <i>M. giganteus</i> ‘Lüji’	2016	观赏/能源 Ornamentals/energy crop
北京市农林科学院 Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences	‘京荻 1 号’荻 <i>M. sacchariflorus</i> ‘Jingdi No.1’	2022	观赏/能源 Ornamentals/energy crop
湖南农业大学 Hunan Agricultural University	湘杂芒 1 号 <i>M. sinensis</i> × <i>M. lutarioriparius</i> No. 1	2011	能源 Energy crop
	湘杂芒 2 号 <i>M. sinensis</i> × <i>M. lutarioriparius</i> No. 2	2011	能源 Energy crop
	湘杂芒 3 号 <i>M. sinensis</i> × <i>M. lutarioriparius</i> No. 3	2011	能源 Energy crop
	湘南荻 1 号 <i>M. sinensis</i> × <i>M. lutarioriparius</i> No. 1	2014	能源 Energy crop
	湘南荻 2 号 <i>M. sinensis</i> × <i>M. lutarioriparius</i> No. 2	2014	能源 Energy crop

表 2 芒属植物的风险评估分值和入侵等级
Table 2 Risk Assessment and risk level of *Miscanthus* species

物种 Species	中欧风险评估体系 WG-WRA		澳大利亚风险评估体系 WRA		
	分值 Scores	等级 Level	分值 Scores	农业分值 A-scores	环境分值 E-scores
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	34	III	22	12	15
荻 <i>M. sacchariflorus</i>	31	III	21	11	15
南荻 <i>M. lutarioriparius</i>	25	II	21	11	15
芒 <i>M. sinensis</i>	24	II	25	12	17
常绿芒 <i>M. transmorrisonensis</i>	22	II	26	14	18
‘悍’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Malepartus’	21	I	19	6	14
‘细叶’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Gracillimus’	19	I	17	5	12
‘斑叶’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Zebrinus’	19	I	14	2	9
‘花叶’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Variegatus’	19	I	14	2	9
‘晨光’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Morning Light’	19	I	14	2	9
‘玲珑’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Adagio’	19	I	14	2	9
‘劲’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Strictus’	19	I	14	2	9
奇岗 <i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i>	18	I	9	0	5
‘金酒吧’芒 <i>M. sinensis</i> ‘Gold Bar’	17	I	14	2	9

2.4 资源及利用现状

2.4.1 作为观赏草 芒属植物作为观赏草在园林中的应用较早,始于 20 世纪 30 年代的德国,至 20 世纪 70 年代末期,Ernst Pagels 等育种者已经培育了一批观赏芒的品种,而后美国从德国引种并培育出更多品种。我国园林应用的芒属观赏草种类(或品种)相对较少,且大多数品种都是从国外引种(陈超等,2015; 刘宗华等,2008)。但是,随着生态园林理念的深入,芒属植物以其独特的观赏性和广泛的适应性将在园林中有更广泛的应用;并且,芒属的新品种也在不断选育中,产生了我国自主选育的新品种。

2.4.2 作为能源草 芒属植物不仅可以作为观赏草,亦可作为能源植物进行利用。芒属植物产量大,纤维素、半纤维素和木质素等的产能高效,其作

为能源植物在英国、德国、法国、荷兰、比利时、意大利等以及美国(东部和北部)等有大规模商业化种植(郭孟齐等,2019; Quinn *et al.*, 2010; Schnitzler & Essl, 2015)。我国也开展了芒属植物作为能源植物的诸多研究(刁英等,2011; 易自力,2012)。种植试验表明,芒属植物具有很高的生物产量:芒为 5.10~23.55 t · hm⁻²,五节芒为 6.3~31.2 t · hm⁻²,荻为 3.0~13.5 t · hm⁻²,南荻为 10.5~33.0 t · hm⁻²(易自力,2012)。在北京地区,荻种植第 3 年时可收获产量达 39.05 t · hm⁻²(范希峰等,2012);在山东微山地区,荻可收获的产量为 43.76 t · hm⁻²(刘大汉和张施耀,1993)。奇岗在我国的种植范围较少,但是在欧美地区的种植更为广泛(Perrier *et al.*, 2019; Pittman *et al.*, 2015)。奇岗在中欧地区干物质产量可达 20 t · hm⁻²,在南欧地区可达 30

$t \cdot \text{hm}^{-2}$ (Chung & Kim, 2012; Heaton *et al.*, 2004)。其中,在法国,奇岗的最大生物量达到 $49 t \cdot \text{hm}^{-2}$ (Clifton-brown *et al.*, 2001);在美国伊利诺斯州,奇岗最高产量约 $61 t \cdot \text{hm}^{-2}$ (Heaton *et al.*, 2008)。同时,我国也开展了芒属能源草的选育工作。目前,通过人工杂交培育的芒属能源草品种有‘湘杂芒1号’和‘湘杂芒3号’(*M. sinensis* × *M. lutarioriparius* No. 3)等,年干物质产量平均为 $30 \sim 40 t \cdot \text{hm}^{-2}$ (王禹, 2012)。鉴于芒属植物巨大的生物产量和应用潜力,可能在未来时期有大面积的推广应用。

2.4.3 食用和药用 芒属植物具有一定的食用价值,其根状茎或幼嫩茎秆可食。例如,南荻幼苗期地上部分茎秆剥去表皮可食用,可以炒食或者做成罐头(王钻, 2017),南荻的根状茎可以用于制糖、酿酒等(易自力等, 2001; 周婧等, 2011);荻根茎含糖量高,嫩芽可以直接食用、做菜或罐头(高捍东等, 2009)。此外,芒属植物具有良好的药用价值。芒的花序、幼茎、根状茎以及笋尖等熬煮服用,可以活血、疏通经脉;芒和荻的叶片汁液具有清热活血、散瘀化毒的功效;荻和南荻的根状茎也可用作药材(柴继莹, 2018; 易自力等, 2001; 周婧等, 2011);五节芒茎秆提取物具有清热解毒的功效,其地下根茎有利尿之效、可以治疗小便不利等症状(周婧等, 2011)。

2.4.4 作为饲草 芒属植物常被用作牧草饲喂牛、羊、驴、马等牲畜(柴继莹, 2018; 李亚丹, 2012; Hirata *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 1995)。在韩国和日本的一些地区,芒属植物亦被用于饲喂犍牛和梅花鹿等(Seto *et al.*, 2015)。萧运峰等(1997)研究表明,五节芒是一种适口性较好、产草量高、营养价值高的优良饲草,其拔节期的粗蛋白含量在 $9.52\% \sim 11.21\%$ 之间;柳建良和于新(2004)研究表明,南荻幼茎和叶产量高、营养丰富、耐刈割,可以作为牧草来开发,用于饲养牛、猪等。

2.4.5 用于生态修复及其他用途 芒属植物具有广泛的生态适应性和环境抗逆性,可用于生态修复等。芒属植物抗逆能力的研究报道较多,例如耐热、耐寒、耐旱、耐盐、耐阴等,这对于芒属植物的引种栽培工作提供了大量可靠依据(冯淑敏等, 2022)。还有研究表明,五节芒对铜(Cu)、锌(Zn)、铁(Fe)金属元素具有较强的吸收和富集作用(迟光宇等, 2005);而芒对铅(Pb)、Zn、Cu、镉(Cd)等皆

有耐受性(李勤奋等, 2006; Hou *et al.*, 2020),可以作为监测矿区土壤污染的指示植物和修复植物并加以利用。但是,基于芒属植物耐受性方面选育的品种尚未见报道。芒属植物具有防止水土流失、维持生态系统稳定性的作用。在欧洲西北部,芒草可以有效控制硝酸盐的流失,提高了利用率并且保护环境,对于维护当地农田生态系统发挥着重要作用(Zapater *et al.*, 2017)。另外,芒属植物通常含有大量的纤维,在造纸、建筑和生活用品等方面发挥作用。例如,南荻纤维还可制成人造棉和人造板;其地上茎还可用于编织和盖房屋;其花序可作扫帚、枕心和保温用品等(王钻, 2017; 易自力等, 2001)。

3 讨论

3.1 分布特征

芒属植物在亚洲、非洲及大洋洲等皆有其自然分布,但集中分布区为亚洲的东部和南部地区,且不同植物种类的分布范围存在明显的差异。芒属植物在我国有较为广泛的分布,例如芒在我国南北地区均有广泛的分布,荻在北方地区的分布较为广泛,而五节芒在南方地区分布广泛。但是,目前大多数种类和资源处于野生或半被利用状态,被充分开发利用的种类相对贫乏。在欧美地区,种植利用的芒属植物种类(含品种)繁多,但主要是从亚洲引入的资源及后期培育的品种,其中以芒的观赏品种和奇岗的种植分布范围最为广泛。

3.2 入侵风险和入侵特性分析

芒属植物具有良好的应用价值和应用潜力,但是在规模化种植中需要防范其生态入侵风险。相关研究表明,五节芒、荻和芒等在我国规模化种植过程中具有中低生态风险(郭孟齐等, 2019)。但中国是多种芒属植物的自然分布区,在推广种植过程中存在逃逸和扩散的风险,可能会在未来时期造成一定的入侵危害。因此,需要结合我国自身的情况,对于可能存在的风险作有效的防范,在对其引种和推广应用前,必须加强管理和监测(王坤等, 2024)。

3.2.1 繁殖能力和扩展能力 芒属植物具有很强的繁殖能力和扩展能力。芒属植物在繁殖类型上以无性繁殖为主;有性生殖方面,芒属植物自交不亲和,但种间种内均可杂交结实,其主要通过风力进行花粉传播。研究表明,芒的结实率为 32.17% (最高),五节芒为 26.00% ,南荻为 18.17% ,荻为

2.33%, 奇岗为天然杂交种、不结实(胡彬, 2012)。

芒属植物具有很强的无性繁殖能力, 分蘖数可达 100, 且一些种类具有横走根茎, 可形成致密的根系-根茎立体网络系统(解新明等, 2008), 进而发展成为优势群落。并且, 芒属植物形成种群结构稳定, 持续时间长达 25 年以上(詹伟君等, 2012)。

3.2.2 环境适应性 芒属植物具有广泛的适应性。研究表明, 芒在边际土地上往往容易成为先锋物种, 可以通过快速繁殖生长迅速占领生境并形成“郁蔽效应”抑制其他物种的生长, 进而展现出生态入侵潜力(Yang *et al.*, 2013)。在我国, 芒属植物表现出很强的竞争力。芒属植物浸提液对青葙 *Celosia argentea* L.、苋 *Amaranthus tricolor* L.、稗 *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. 等杂草种子的萌发与幼苗生长存在明显的化感效应(肖晶等, 2023); 在南方地区, 芒是影响杉木幼林生长最大的杂草种类之一(谢先兰, 2008)。

3.2.3 扩散模式 芒属植物的种子细小且带有毛, 可以进行远距离风传播。例如, 根据我国不同地区采集的资源, 测得芒的千粒重为 1.08~1.86 g, 荻的千粒重为 0.24~0.63 g, 五节芒的千粒重平均为 0.27 g(刘秀明, 2013); 南荻的千粒重为 0.27 g(魏娟, 2016)。笔者测得北京地区‘悍’芒 *Miscanthus sinensis* ‘Malepartus’ 的千粒重为 (0.83 ± 0.05) g。当然, 不同地区的资源也存在差异, 例如日本地区芒的种子较轻, 千粒重为 0.87~0.96 g(Hayashi, 1979; Nakagoshi, 1984)。

在传播方面, 芒属植物的自扩散能力相对较弱。Stewart *et al.* (2009) 研究表明, 芒母株 4 m 以外的实生苗很少见(小于 20%)。但是, 观赏芒通常是通过人为引种、栽培种植等方式引入; 并且随着世界范围内资源的交流, 这个过程还在持续中。因此, 需要加强该方面的监控和检疫, 尽量减少其带来的危害。

3.2.4 生态危害性 芒属植物生物产量大, 在植株地上部分枯黄后若不及时清理则可能引起着火危险。相关研究表明, 芒属植物可从火烧中获益(Miyabuchi *et al.*, 2012)。芒属植物的地上部分(尤其是顶部)会在火灾中受损害, 但因其具有发达的地下根茎, 可在火烧后快速恢复种群。例如在日本, 芒草草地可以通过定期的火烧来维持其群落(Miyabuchi *et al.*, 2012)。因此, 在实际应用中, 需

要注意防范芒属植物可能引起的着火风险。

4 小结和展望

我国是芒属植物资源的重要分布区, 但是整体上其利用程度相对较低、大多处于野生未开发状态。目前, 国内应用较多的观赏芒多为外来引入的种类(或品种), 自主选育的品种匮乏。开展对我国芒属植物特有类群的深入发掘和开发利用, 可以有效拓宽芒属植物的应用范围, 或者通过收集资源材料、培育自主知识产权的新品种而延伸芒属植物的应用领域, 例如用作能源植物、饲用植物或用于生态恢复等, 从而实现更多方面的经济价值和生态效益。作为芒属植物的重要原产地, 应充分发掘芒属植物资源的应用潜力, 但同时需要防范其潜在的入侵风险。

致谢: 感谢陕西省国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室张卫华博士在绘图方面给予的帮助, 感谢英国亚伯大学(Aberystwyth University) Charlotte Jones 博士对英文摘要部分的修改和建议!

参考文献

- 柴继莹, 2018. 基于近红外光谱技术的芒草秸秆蛋白质含量的测定方法与应用. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.
- 陈超, 袁小环, 杨学军, 滕文军, 武菊英, 2015. 观赏草的研究概况和园林应用. 中国农学通报, 31(19): 135-143.
- 迟光宇, 刘新会, 刘素红, 杨志峰, 2005. 大河流域重金属污染与五节芒光谱效应关系研究. 生态环境, 14(4): 549-554.
- 刁英, 余作平, 胡中立, 2011. 芒属植物研究进展. 现代农业科技(2): 265-268.
- 冯淑敏, 胡宝全, 马洪峥, 2022. 芒属植物资源研究、利用现状和开发前景. 热带亚热带植物学报, 30(4): 592-604.
- 高捍东, 蔡伟建, 朱典想, 邓玉和, 孙军, 邹玲, 2009. 荻草的栽培与利用. 中国野生植物资源, 28(3): 65-67.
- 郭孟齐, 杨塞, 易自力, 薛帅, 2019. 我国芒属植物规模化种植的生态风险评估. 中国农业大学学报, 24(6): 49-56.
- 范希峰, 侯新村, 武菊英, 朱毅, 2012. 我国北方能源草研究进展及发展潜力. 中国农业大学学报, 17(6): 150-158.
- 胡彬, 2012. 芒属植物自交不亲和性初步研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 李勤奋, 杜卫兵, 李志安, 王峥峰, 彭少麟, 2006. 金属矿

- 区芒草种群对重金属的积累及其与土壤特性的关系. 生态学杂志, 25(3): 255-258, 264.
- 李亚丹, 2012. 芒草驯养湘西黄牛 (*Bos taurus*) 瘤胃微生物多样性及 β -葡萄糖苷酶新基因的克隆与表达研究. 博士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 刘大汉, 张施耀, 1993. 南荻北引栽培技术研究. 山东农业科学 (1): 45-46.
- 刘秀明, 2013. 中国芒属植物野生种质资源的生物学评价. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.
- 刘宗华, 罗弦, 张安才, 杨学军, 武菊英, 2008. 观赏草的研究与应用. 安徽农业科学, 36(23): 9958-9960.
- 柳建良, 于新, 2004. 南荻资源的人工开发利用. 仲恺农业技术学院学报, 17(2): 63-67.
- 马洪峥, 2015. 芒属系统发育重建和双药芒类群变异式样研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.
- 任君霞, 方佳, 何勇清, 郑炳松, 蔡建国, 2012. 芒属观赏草的研究进展. 科技通报, 28(11): 66-71.
- 王坤, 石娟, 孙双艳, 2024. 植物种质资源引进风险分析方法概述. 生物安全学报, 33(1): 1-6.
- 王禹, 2012. 芒属能源植物关键栽培技术研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 王钻, 2017. 南荻与芒杂交后代遗传性状比较及优良株系筛选. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 魏娟, 2016. 能源草本植物南荻繁殖体系构建. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学.
- 肖晶, 陈娜, 周晓激, 罗博伦, 易自力, 薛帅, 2023. 芒属植物对3种杂草种子萌发与幼苗生长的化感效应研究. 草地学报, 31(4): 1016-1025.
- 萧运峰, 高洁, 王锐, 1997. 五节芒的生产性状及饲用价值的研究. 四川草原 (1): 20-24.
- 谢先兰, 2008. 芒对杉木幼林生长的影响及抑制措施. 湖南林业科技, 35(5): 43-44, 47.
- 解新明, 周峰, 赵燕慧, 卢小良, 2008. 多年生能源禾草的产能和生态效益. 生态学报, 28(5): 2329-2342.
- 易自力, 2012. 芒属能源植物资源的开发与利用. 湖南农业大学学报(自然科学版), 38(5): 455-463.
- 易自力, 周朴华, 储成才, 李祥, 田文忠, 王力, 曹守云, 唐柞舜, 2001. 南荻遗传转化系统的建立及转基因植株的获得. 高技术通讯 (4): 20-24.
- 詹伟君, 任君霞, 金松恒, 黄有军, 潘寅辉, 郑炳松, 2012. 能源植物芒草的农学特性研究进展. 浙江农林大学学报, 29(1): 119-124.
- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1997. 中国植物志: 第十卷第二分册. 北京: 科学出版社.
- 周婧, 李巧云, 关欣, 2011. 芒荻类植物的利用现状及发展前景. 安徽农业科学, 39(22): 13638-13640.
- BONIN C L, HEATON E A, BARB J, 2014. *Miscanthus sacchariflorus*-biofuel parent or new weed? *Global Change Biology Bioenergy*, 6(6): 629-636.
- BRENNENSTUHL G, 2008. Zur Einbürgerung von *€ Vinca* und *Miscanthus*-Taxa-Beobachtungen im Gebiet um Salzwedel. *Mitteilungen der Floristischen Kartierung Sachsen-Anhalt*, 13: 77-84.
- CHEN S L, RENVOIZE S A, 2006. *Miscanthus Andersson*, Öfvers. Kongl. Vetensk.-Akad. Förh. 12: 165. 1855: 芒属 mang shu // *Flora of China*. Vol 22. Beijing: Science Press & St Louis: Missouri Botanical Garden Press: 581-583.
- CHRISTIAN D, RICHE B, YATES N E, 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops & Products*, 28(3): 320-327.
- CHUNG J H, KIM D S, 2012. *Miscanthus* as a potential bioenergy crop in East Asia. *Journal of Crop Science & Biotechnology*, 15(2): 65-77.
- CLIFTON-BROWN J C, LEWANDOWSKI I, ANDERSSON B, BASCH G, CHRISTIAN D G, KJELDSEN J B, JØRGENSEN U, MORTENSEN J V, RICHE A B, SCHWARZ K-U, TAYEBI K, TEIXEIRA F, 2001. Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, 93: 1013-1019.
- DARKE R, 1999. *The color encyclopedia of ornamental grasses*. Potrland: Timber Press.
- DOUGHERTY R F, QUINN L D, ENDRES A B, VOIGT T B, BARNEY J N, 2014. Natural history survey of the ornamental grass *Miscanthus sinensis* in the introduced range. *Invasive Plant Science and Management*, 7(1): 113-120.
- GROUNDS R, 1998. *The plantfinder's guide to ornamental grasses*. Potrland: Timber Press.
- HAYASHI I, 1979. Ecology, phytosociology and productivity of grasses and grasslands: the autecology of some grassland species // NUMATA M. *Ecology of grasslands and bamboo lands in the world*. Boston: Dr. W. Junk BV Publishers: 141-152.
- HEATON E A, DOHLEMAN F G, LONG S P, 2008. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 14: 2000-2014.
- HEATONE A, LONG S P, VOIGT T B, JONES M B, CLIFTON-BROWN J, 2004. *Miscanthus* for renewable energy generation: European union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9(4): 433-451.
- HIRATA M, HASEGAWA N, NOGAMI K, SONODA T,

2007. Evaluation of forest grazing as a management practice to utilize and control *Miscanthus sinensis* in a young tree plantation in southern Kyushu, Japan. *Grassland Science*, 53: 181–191.
- HONG S K, NAKAGOSHI N, KAMADA M, 1995. Human impacts on pine-dominated vegetation in rural landscapes in Korea and western Japan. *Vegetatio*, 116(2): 161–172.
- HOU X C, TENG W J, HU Y X, YANG Z C, LI C, SCULLION J, GUO Q, ZHENG R L, 2020. Potential phytoremediation of soil cadmium and zinc by diverse ornamental and energy grasses. *Bioresources*, 15(1): 616–640.
- MIYABUCHI Y, SUGIYAMA S, NAGAOKA Y, 2012. Vegetation and fire history during the last 30,000 years based on phytolith and macroscopic charcoal records in the eastern and western areas of Aso Volcano, Japan. *Quaternary International*, 254: 28–35.
- NAKAGOSHI N, 1984. Buried viable seed populations in forest communities on the Hiba Mountains, southwestern Japan. *Journal of Science of Hiroshima University-Series B, Division 2*, 19: 1–56.
- NEIL L, 2016. *Designing with grasses*. Potrland: Timber Press.
- PERRIER A, HARDION L, ROZAN A, STAENTZEL C, COMBROUX I, 2019. *Miscanthus* × *giganteus* crop fields hide a genotype of the invasive *M. sacchariflorus*. *Weed Research*, 59(6): 446–457.
- PHELOUNGP C, WILLIAMS P A, HALLOY S R, 1999. A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management*, 57(4): 239–251.
- PITTMAN S E, MUTHUKRISHNAN R, WEST N M, DAVIS A S, JORDAN N R, FORESTER J D, 2015. Mitigating the potential for invasive spread of the exotic biofuel crop, *Miscanthus* × *giganteus*. *Biological Invasions*, 17(11): 3247–3261.
- QUINN L D, ALLEN D J, STEWART J R, 2010. Invasiveness potential of *Miscanthus sinensis*: implications for bioenergy production in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 2: 310–320.
- SCHNITZLER A, ESSL F, 2015. From horticulture and biofuel to invasion: the spread of *Miscanthus* taxa in the USA and Europe. *Weed Research*, 55(3): 221–225.
- SETO T, MATSUDA N, OKAHISA Y, KAJI K, 2015. Effects of population density and snow depth on the winter diet composition of sika deer. *Journal of Wildlife Management*, 79(2): 243–253.
- STEWART J R, TOMA Y, FERNÁNDEZ F G, NISHIWAKI A, YAMADA T, BOLLERO G, 2009. The ecology and agronomy of *Miscanthus sinensis*, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan: a review. *GCB Bioenergy*, 1: 126–153.
- SUN Q, LIN Q, YI Z L, YANG Z R, ZHOU F S, 2010. A taxonomic revision of *Miscanthus s.l.* (Poaceae) from China. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 164(2): 178–220.
- WEBER E, GUT D, 2004. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 12(3): 171–179.
- YANG L, REN H, LIU N, WANG J, 2013. Can perennial dominant grass *Miscanthus sinensis*, be nurse plant in recovery of degraded hilly land landscape in South China? *Landscape & Ecological Engineering*, 9(2): 213–225.
- ZAPATER M, CATTEROU M, MARY B, OLLIER M, FINGAR L, MIGNOT E, FERCHAUD F, STRULLU L, DUBOIS F, BRANCOURT-HULMEL M, 2017. A single and robust critical nitrogen dilution curve for *Miscanthus* × *giganteus* and *Miscanthus sinensis*. *Bioenergy Research*, 10(1): 115–128.

(责任编辑:郑姗姗)