

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2024.02.006

4 种入侵性雀麦属种子的形态鉴定

徐 瑛^{1,2*}, 赵 雷^{1,2}, 张吉红^{1,2}, 虞 赟³, 方亦午^{1,2}

¹宁波海关技术中心, 浙江 宁波 315192; ²宁波检验检疫科学技术研究院, 浙江 宁波 315192;

³福州海关技术中心, 福建 福州 350001

摘要:【目的】不实雀麦、硬雀麦、双雄雀麦和旱雀麦因具危害性已被公认为入侵性杂草, 其种子(小花)常随进境农产品进入中国, 由于外观形态较为接近易引起混淆, 需对其进行进一步研究并建立鉴定方法。【方法】使用光学显微镜和扫描电镜对 4 种雀麦小花的小穗轴、基盘、内稃、外稃等外部结构进行形态学观察和比对。【结果】不实雀麦外稃脉纹呈脊状排列; 旱雀麦内稃脊具长毛被, 小穗轴疤痕面明显塌陷; 硬雀麦小穗轴和基盘疤痕明显拉长等宏观特征可用于种间区别。在微形态方面可通过内外稃冠细胞分布密度进行区别。【结论】结合宏观和微形态特征的鉴定方法可用于 4 种雀麦属杂草种子的快速识别。
关键词: 雀麦属; 入侵种; 小花; 鉴定



开放科学标识码
(OSID 码)

Morphological identification of four invasive seeds in the genus *Bromus*

XU Ying^{1,2}, ZHAO Lei^{1,2}, ZHANG Jihong^{1,2}, YU Yun³, FANG Yiwu^{1,2}

¹Technical Center of Ningbo Customs, Ningbo, Zhejiang 315192, Chian; ²Ningbo Academy of Inspection and Quarantine, Ningbo, Zhejiang 315192, Chian; ³Technical Center of Fuzhou Customs, Fuzhou, Fujian 350001, China

Abstract: 【Aim】*Bromus sterilis*, *B. rigidus*, *B. diandrus*, and *B. tectorum* have been recognized as invasive weeds because they are harmful and their seeds (florets) make their way into China through imported agricultural products. The morphological characteristics of these species are very similar; hence, further studies on their identification methods are required. 【Method】External structures such as spikelet axis, basal disc, palea, and lemma of four types of brome grass florets were morphologically observed and compared using light microscope (LM) and scanning electron microscope (SEM). 【Result】The lemma veins of *B. sterilis* are arranged in a ridged pattern; *B. tectorum* has long hairs located on the ridge of the palea and significantly collapsed rachilla scars; and the rachilla and callus scars of *B. rigidus* are significantly elongated. These macroscopic features can be used in identification. Micromorphology can be used to distinguish characteristics, including the distribution density of crown cells in the palea and lemma. 【Conclusion】A combination of macroscopic and micromorphological features can be employed in the identification of four species of *Bromus* seeds.

Key words: *Bromus* sp.; invasive species; florets; identification

硬雀麦 *Bromus rigidus* Roth、双雄雀麦 *B. diandrus* Roth、旱雀麦 *B. tectorum* L. 和不实雀麦 *B. sterilis* L. 属禾本科 Gramineae 雀麦属 *Bromus* 窄穗组 sect. *Genea* (刘亮等, 2002), 原产于欧洲、地中海和西亚地区, 是进境农产品经常截获的有害生物。由于其具有很强的入侵性, 目前已传入多个国家, 并作为有害杂草给入侵地的农田、牧场生产带来危害(刘耀斌等, 2013; 徐瑛等, 2023; Borger *et al.*, 2021; Fenesi *et al.*, 2011)。其中, 硬雀麦被我国([http://dzs.customs.](http://dzs.customs.gov.cn/dzs/2746776/3699554/index.html)

[gov.cn/dzs/2746776/3699554/index.html](http://dzs/2746776/3699554/index.html)) 和巴拉圭 (https://assets.ippc.int/static/media/files/reporting-obligation/2021/05/19/Lista_de_plagas_cuarentenarias_PY_enero_2021.pdf) 列为检疫性杂草, 也是我国进境哈萨克斯坦大豆 *Glycine max* (L.) Merr. 和玉米 *Zea mays* L.、阿根廷大麦 *Hordeum vulgare* L.、塞尔维亚小麦 *Triticum aestivum* L.、澳大利亚大麦和小麦等双边协议中规定不得携带的有害生物; 不实雀麦被秘鲁 (<https://www.gob.pe/institucion/senasa/in->

收稿日期(Received): 2023-05-10 接受日期(Accepted): 2023-09-15

基金项目: 宁波市公益性科技计划项目(2021S078)

作者简介: 徐瑛, 女, 研究员。研究方向: 杂草鉴定。E-mail: nbxuy@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 徐瑛, E-mail: nbxuy@163.com

formas-publicaciones/1944496- lista-de-plagas-cuarentenarias-lpc.)列为检疫性杂草,是墨西哥(<https://www.ippc.int/es/countries/mexico/reportingobligation/2015/10/lista-de-plagas-reglamentadas-de-mexico/>)和危地马拉(https://assets.ippc.int/static/media/files/reportingobligation/2015/04/10/1201796708752_plagas_cuarentenarias_granos_y_harinas_2013042321-18Es.pdf)的限定性有害生物,芬兰(<https://gd.eppo.int/reporting/article-2551>)的潜在外来入侵植物,也是我国进境塞尔维亚小麦、英国、芬兰、丹麦大麦等双边协议中规定不得携带的有害生物;旱雀麦是秘鲁(<https://www.gob.pe/institucion/senasa/informes-publicaciones/1944496-lista-de-plagas-cuarentenarias-lpc>)的检疫性杂草;双雄雀麦是美国内布拉斯加州(<https://neinvasives.com/documents/invasive-plants-watch-list.pdf>)的I类有害生物,也被内华达州(https://www.blm.gov/sites/blm.gov/files/documents/files/nv_rubypipeline_App_C_Noxious_Invasive_Weeds_Lists.pdf)列为入侵杂草。

国内外分类学资料对该类群的宏观形态学描述多基于植株高度、圆锥花序形态(松散或紧凑)、小穗着生状态、颖片特征(脉的数量和长度)等,由于其传播体(小花)形态较为接近,对其描述比较简单,且通常是基于完整小花的状态,如内外稃长度、芒长、外稃裂片长等(刘亮等,2002; Barkworth *et al.*, 2006; Sales, 1993)。在微形态方面, Mosafari & Keshavarzi (2001)研究了伊朗的21种雀麦属的内外稃(仅含不实雀麦和旱雀麦),评估微形态的分类学价值; Acedo & Llamas (2001)对产自伊比利亚半岛(Iberian Peninsula)雀麦属22种(仅含不实雀麦)植物的微形态特征进行研究,利用外稃和内稃的微形态特征对雀麦属进行亚属级别的描述。进境植物及其产品中检出的雀麦属小花(种子)由于混杂在农产品中,经收割、装卸、运输等过程导致外稃顶端破损、芒脱落或折断等,无法使用现有资料进行分类鉴定。因此,本研究对上述4种雀麦属杂草的小花进行形态学研究,以期为其准确鉴定提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试种类及来源

4种雀麦属小花来自国内外标本交换或采集获得(表1)。标本和数字影像资料保存于宁波海关技术中心植物检疫实验室。

表1 供试种类及来源	
Table 1 Types and sources of testing	
种类 Species	来源 Source
双雄雀麦 <i>Bromus diandrus</i>	澳大利亚 Australia *
	加拿大 Canadian
	法国 France
	丹麦 Denmark
硬雀麦 <i>Bromus rigidus</i>	澳大利亚 Australia *
	法国 France
不实雀麦 <i>Bromus sterilis</i>	法国 France *
	德国 Germany
	乌拉圭 Uruguay
	巴西 Brazilian
	乌克兰 Ukraine
	丹麦 Denmark
旱雀麦 <i>Bromus tectorum</i>	中国青海 Qinghai, China *
	意大利 Italy
	乌克兰 Ukraine

* 表示样本除用于光学显微镜观察,还用于扫描电镜拍摄。
* indicates samples were used for scanning electron microscopy in addition to light microscopy.

1.2 方法

每种挑选20个成熟且外观尽量完整的小花在光学显微镜(light microscope, LM, ZEISS Smart-zoom5)下观察其外部形态特征,测量小花的长宽、小穗轴、颖果等部位,取平均值。并对小花整体外观进行拍摄。

将4种雀麦小花分别装入指形管中,倒入适量无水乙醇,使用超声波清洗仪对小花进行表面清洁,自然晾干后用导电胶粘在样品台上,使用扫描电镜(scanning electron microscope, SEM, HITACHI TM4000 Plus II)观察,拍摄小穗轴疤痕、基盘、内外稃等特征。形态学描述参照刘长江等(2004),亚显微结构描述参考郑湘如和王希善(1983)。

2 结果与分析

2.1 小花外观

进境货物截获的雀麦属小花,其外观都有一定程度的破损,特别是外稃和芒,因此,无法测量其完整的小花尺寸,为比较种间个体大小,选择以基盘至内稃顶端的位置作为小花长度进行测量,宽度为小花的最宽处,通常在小花中部稍下方。4种小花外观为窄卵形(图1),双雄雀麦的长度和宽度最大,硬雀麦次之,不实雀麦和旱雀麦较小。双雄雀麦的平均长14.03 mm (12.00~16.50 mm),宽1.89 mm (1.50~2.40 mm);硬雀麦平均长13.05 mm (10.60~15.00 mm),宽1.61 mm (1.30~1.80 mm);不实雀麦小花平均长11.34 mm (9.00~13.00 mm),宽1.37 mm (1.00~1.50 mm);旱雀麦平均长11.19 mm (8.50~12.60 mm),宽1.46 mm (1.10~1.68 mm)。

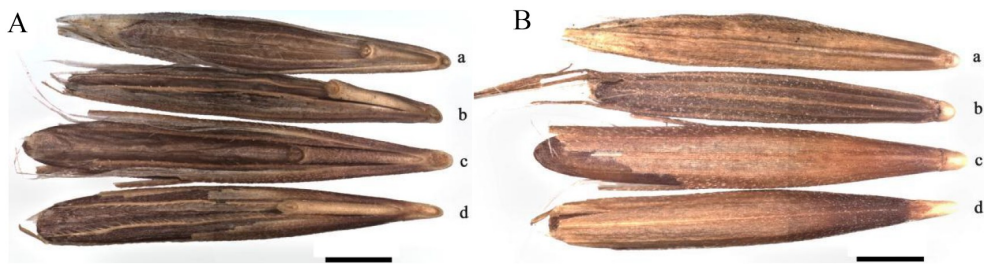


图 1 光学显微镜下的小花

Fig.1 Florets under a light microscope

A:腹面观;B:背面观;a:早雀麦;b:不实雀麦;c:双雄雀麦;d:硬雀麦。A、B 比例尺:2 mm。
A: Dorsal view; B: Ventral view; a: *B. tectorum*; b: *B. sterilis*; c: *B. diandrus*; d: *B. rigidus*. Scale of A, B: 2 mm.

2.2 颖果

双雄雀麦颖果平均长 13.27 mm (10.00 ~ 15.60 mm),硬雀麦颖果平均长 12.13 mm (11.00 ~ 12.70 mm),不实雀麦颖果平均长 10.43 mm (9.10 ~ 12.00 mm),早雀麦颖果平均长 9.48 mm (8.60 ~ 10.00 mm)。不实雀麦颖果长度通常不超过 12.00 mm,早雀麦颖果长度通常不超过 10.00 mm。

2.3 小穗轴

小穗轴又称小穗轴间节(rachilla),是 2 朵小花的连接处,下部小花通过小穗轴间节端部与上部小花基盘的离层进行分离。雀麦属小穗轴位于内稃基部上方,通常残存在外稃包裹内稃的凹槽中,因此,口岸截获的雀麦属小花的小穗轴通常完整。双雄雀麦小穗平均轴长 4.42 mm (2.91 ~ 5.09 mm),硬雀麦平均轴长 3.67 mm (2.80 ~ 5.00 mm),而不实雀麦和早雀麦轴长较短,平均值分别为 2.99 mm (1.80 ~ 3.71 mm)和 2.59 mm (1.80 ~ 3.12 mm)。虽

然在数值上存在一定的重合,但也可作为种间区分的一个参考指标。图 1A 也显示了 4 种雀麦的小穗轴长度间的差异。

小穗轴疤痕位于小穗轴顶端,为 2 朵小花分离留下的离层结构,从形态来看,双雄雀麦大多为卵形,顶端有一尖或圆的突起;硬雀麦通常为尖椭圆形,顶端尖锐;早雀麦为扁圆形,疤痕面通常塌陷,明显低于小穗轴;不实雀麦为近圆形。具有典型特征的小花的小穗轴疤痕形态可作为几种雀麦区分的鉴定特征之一。4 种雀麦小花小穗轴疤痕显微特征见图 2A~D。

2.4 基盘疤痕形态

图 2E~H 显示了几种雀麦的基盘疤痕形态,硬雀麦基盘明显拉长,双雄雀麦次之,早雀麦为三角状卵形,不实雀麦基盘为近圆形。前 2 种长度明显大于后 2 种。

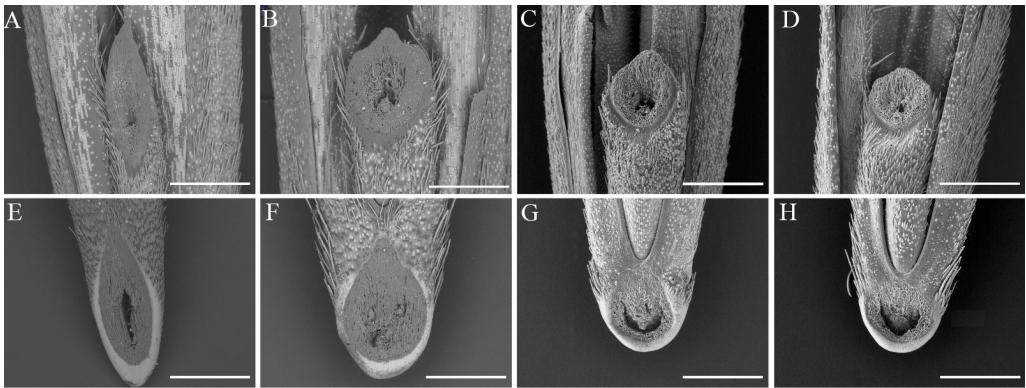


图 2 小穗轴疤痕(A~D)和基盘疤痕(E~H)电镜照片

Fig.2 SEM photographs of rachilla scars (A~D) and callus scar (E~H)

A,E:硬雀麦;B,F:双雄雀麦;C,G:不实雀麦;D,H:早雀麦。A~H 比例尺:500 μm。
A, E: *B. rigidus*; B, F: *B. diandrus*; C, G: *B. sterilis*; D, H: *B. tectorum*. Scale of A~H: 500 μm.

2.5 内稃和外稃

雀麦属的内稃极薄,2 脉呈双脊状,具侧翼。如图 3J 所示,早雀麦内稃脊上具长纤毛,毛长约 5.00 mm,其

他 3 种显示为短刺毛列,刺长 1.00~3.00 mm,其中硬雀麦和双雄雀麦内稃脊刺稍显粗大(图 3A、D),而不实雀麦内稃脊刺较为细弱(图 3G),且容易脱落。不实雀

麦外稃除中脉外还能见到呈脊状隆起的侧脉,而其他 3 种仅中脉明显,侧脉模糊(图 1B)。

2.6 微形态

扫描电镜下 4 种雀麦小花常见的表皮细胞包括:长细胞(l)、冠细胞(crc)、硅细胞(s)和大型表皮毛,简称“大毛”(h)。长细胞外观呈狭长矩形;冠细胞外观呈圆锥形,顶端有尖突;硅细胞形态多变,为颗粒状结晶体,半圆形、圆形至方形不等,大多分布于冠细胞的下方有时分布在刺或大型表皮毛下方;短细胞密度与长细胞长度存在一定相关性。

不实雀麦内稃长细胞明显短于其他 3 种,冠细胞和硅细胞分布密度明显多于其他 3 种(图 3G~I)。硬雀麦、双雄雀麦内外稃长细胞结构较为清

晰,冠细胞和硅细胞分布稀疏且零散(图 3B、C、E、F,图 4B、C、E、F)。早雀麦外稃长细胞较短,冠细胞分布密集(图 4K、L),而内稃长细胞较长,冠细胞和硅细胞部分较为稀疏(图 3K、L)。硬雀麦多数小花内稃脊间具大毛(图 3A~C),本研究用于电镜观察的其他 3 种标本未见大毛(图 3D~L)。在观察其他标本时发现,早雀麦小花内稃除脊上的长毛外未见毛被,但双雄雀麦和不实雀麦的个别小花内稃具稀疏毛被。

2.7 4 种雀麦属小花分种检索表

根据以上研究结果,给出 4 种雀麦属小花的简明特征检索表(表 2)。

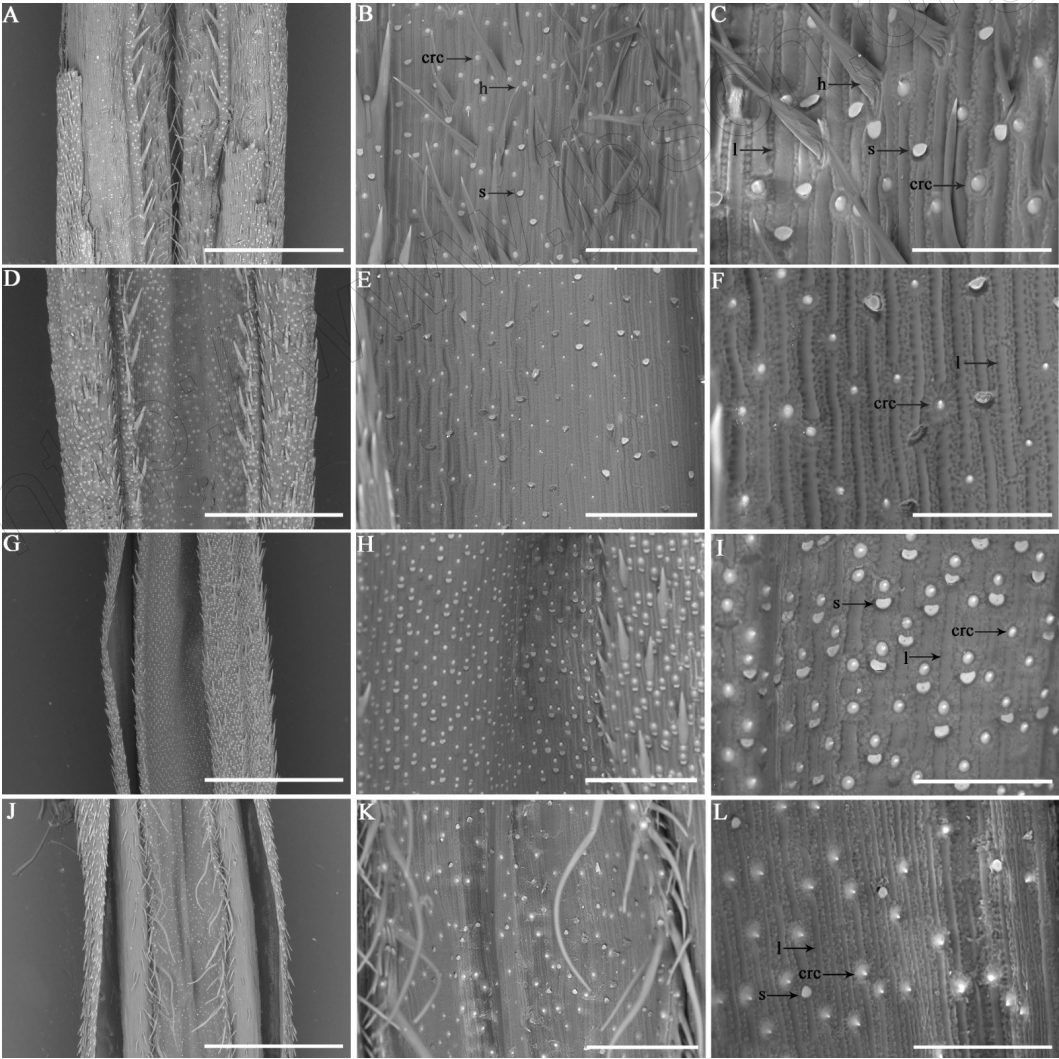


图 3 内稃微形态特征

Fig.3 Micromorphological characters of the palea

A~C: 硬雀麦; D~F: 双雄雀麦; G~I: 不实雀麦; J~L: 早雀麦; s: 硅细胞; crc: 冠细胞; l: 长细胞; h: 大型表皮毛。

A、D、G、J 比例尺: 1 mm; B、E、H、K 比例尺: 200 μm; C、F、I、L 比例尺: 100 μm。

A~C: *B. rigidus*; D~F: *B. diandrus*; G~I: *B. sterilis*; J~L: *B. tectorum*; s: Silica cell; crc: Crown cell; l: Long cell; h: Macrohairs.

Scale of A, D, G, J: 1 mm; Scale of B, E, H, K: 200 μm; Scale of C, F, I, L: 100 μm.

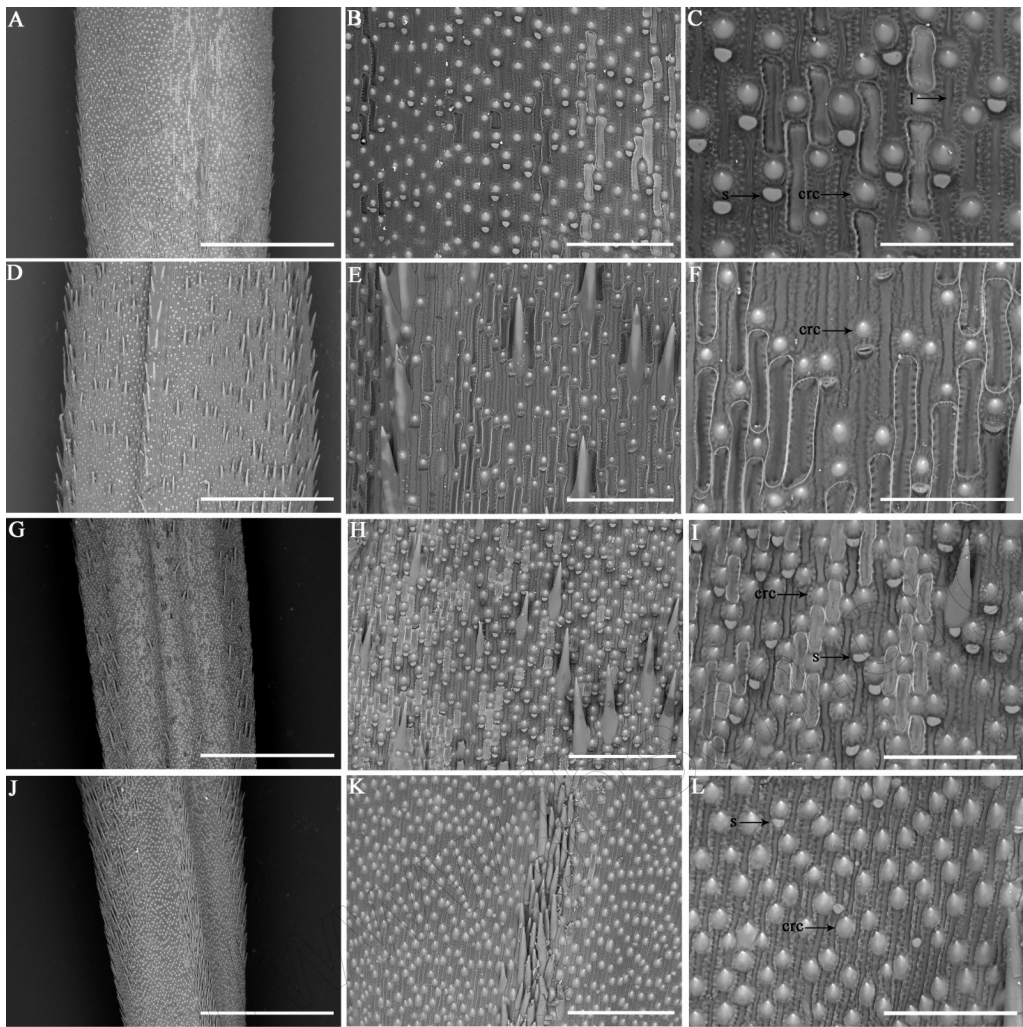


图 4 外稃中部微形态特征

Fig.4 Epidermal micromorphology of the lemma

A~C;硬雀麦;D~F;双雄雀麦;G~I;不实雀麦;J~L;旱雀麦;s:硅细胞;crc:冠细胞;l:长细胞。
A、D、G、J 比例尺:1 mm;B、E、H、K 比例尺:200 μm;C、F、I、L 比例尺:100 μm。
A~C: *B. rigidus*; D~F: *B. diandrus*; G~I: *B. sterilis*; J~L: *B. tectorum*; s; Silica cell; crc; Crown cell; l: Long cell.
Scale of A, D, G, J: 1 mm; Scale of B, E, H, K: 200 μm; Scale of C, F, I, L: 100 μm.

表 2 4 种雀麦属小花的简明特征检索表

Table 2 Key to four species of *Bromus*

1 内稃两脊具长柔毛,穗轴疤痕扁圆形,疤痕面明显低于小穗轴;冠细胞外稃分布密集,内稃分布稀疏 ...	旱雀麦 <i>B. tectorum</i>
1 内稃脊仅有短刺列	2
2 外稃脉纹明显,呈脊状排列;内、外稃长细胞均较短,冠细胞分布密集	不实雀麦 <i>B. sterilis</i>
外稃仅主脉明显,侧脉模糊;内外稃长细胞明显,冠细胞分布稀疏	3
3 小穗轴疤痕和小花基盘呈尖椭圆形,内稃脊间大多具毛	硬雀麦 <i>B. rigidus</i>
小穗轴疤痕和小花基盘为卵形或椭圆形,内稃脊间无毛(稀有毛)	双雄雀麦 <i>B. diandrus</i>

3 讨论

(1)硬雀麦与双雄雀麦因在花序形态、小花基盘,染色体数目、休眠和生活习性等均存在差异,在传统分类上双雄雀麦(8 倍体)和硬雀麦(6 倍体)被作为 2 个独立的种。目前仍被 CABI (<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.10032>)和 EPPO (<https://gd.eppo.int/taxon/BRORI>)

等网站所采纳。但 Esnault & Huon (1987)认为它们是多倍体复合体 (polyploid complex);Sales (1993)认为两者存在很多中间特征的个体,地理和生态分离不明确,将它们处理为 *B. diandrus* 的 2 个变种,即 *B. diandrus* Roth var. *rigidus* (Roth) Sales 和 *B. diandrus* Roth var. *diandrus*。Oja & Jaaska (1996)根据同工酶研究认为,它们在基因上密切相关,不应被列为

单独的物种;而 Saarela *et al.* (2014) 则将两者合并处理为 *B. diandrus*。据观察,两者具典型特征种子存在较大区别,但存在处于中间特征的种类。虽然两者的分类学关系仍在争论中,但它们与不实雀麦和旱雀麦可通过小穗轴脱落疤痕、基盘、外稃和内稃的微形态等特征进行区分。

(2) 硬雀麦检疫鉴定方法(中华人民共和国质量监督检验检疫总局,2013)附录 A 检索表对硬雀麦、不实雀麦进行了比较,认为不实雀麦外稃 9 脉而硬雀麦外稃 7 脉。对于不实雀麦外稃脉数,大部分的资料为 7 脉(刘亮等,2002; Saarela, 2008)、5~7 脉(Acedo & Llamas, 1999)、7(9)脉(Barkworth *et al.*, 2006),而对硬雀麦(双雄雀麦)的描述为 5(7)脉(Saarela, 2008)、7 脉(刘亮等,2002; Acedo & Llamas, 1999; Barkworth *et al.*, 2006; Saarela *et al.*, 2008)。根据本研究观察,不实雀麦外稃脉呈脊状突起,比较明显,而硬雀麦等 3 种外稃除中脉明显外,其他脉纹较为模糊,因此,在实际鉴定时,外稃脉数很难计数。4 种雀麦小花的芒均自中脉延伸而成,外稃外侧膜质部分干燥后在顶端撕裂形成二齿裂状,因此,标准中的“芒自中脉延长”和“芒自齿间稍下方伸出”作为 2 种区别的特征值得商榷。

(3) 关于内稃脊间的毛被, Mosafari & Keshavarzi (2021) 认为不实雀麦内稃具长毛,旱雀麦内稃未见毛被,他们研究的标本未包括双雄雀麦和硬雀麦。而本研究发现,不实雀麦和双雄雀麦仅个别种子内稃脊间具毛被,而硬雀麦除个别外均具毛被。

种子的形态特征一般比较稳定,通常可从个体大小、种皮纹饰、表皮细胞的形状纹饰等方面进行鉴别。依据种子的特征鉴定不知名种子隶属的植物类群,不仅被植物分类学家承认,也被遗传学、生态学、园艺学、农学、中药学等学科的专家,以及商业部门、司法部门、检疫部门和海关承认(刘长江等,2004)。本研究通过比较 4 种入侵性雀麦种子的形态特征,为其鉴定提供参考依据。

致谢: 青海省农林科学院魏有海研究员提供旱雀麦标本,宁波大学植物病毒研究所实习研究员田艳珍协助电镜观察与拍照,在此一并致谢。

参考文献

刘长江, 林祁, 贺建秀, 2004. 中国植物种子形态学研究方法和术语. 西北植物学报, 24(1): 178-188.

- 刘亮, 朱太平, 陈文俐, 吴珍兰, 卢生莲, 2002. 中国植物志: 第 9 卷第 2 分册. 北京: 科学出版社.
- 刘耀斌, 张元明, DIMEYEVA L, 2013. 旱雀麦(*Bromus tectorum* L.) 入侵机制的研究进展. 生态学杂志, 32(7): 1928-1936.
- 徐瑛, 赵雷, 方亦午, 张吉红, 李修鹏, 2023. 双雄雀麦传入中国的风险评估. 生物安全学报, 32(1): 51-55.
- 郑湘如, 王希善, 1983. 植物解剖结构显微图谱. 北京: 中国农业出版社: 98-107.
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 2013. 硬雀麦检疫鉴定方法: SN/T 3688—2013. 北京: 中国标准出版社.
- ACEDO C, LIAMAS F, 1999. *The genus Bromus L. (Poaceae) in the Iberian Peninsula*. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagbuchhandlung.
- ACEDO C, LIAMAS F, 2001. Variation of micromorphological characters of lemma and palea in the genus *Bromus* (Poaceae). *Finnish Zoological and Botanical Publishing Board*, 38(1): 1-14.
- BARKWORTH M E, CAPELS K M, LONG S, ANDERTON L K, ANDERTON L K, PIEP M B, 2006. *Flora of North America, North of Mexico: Volume 24: Magnoliophyta: Comelinidae (in part): Poaceae, part 1*. New York and Oxford: Oxford University Press.
- BORGER C P D, TORRA J, ROYO-ESNAL A, DAVIES L, NEWCOMBE G, 2021. *Bromus diandrus* and *Bromus rigidus*// CHAUHAN B S. *Biology and management of problematic crop weed species*. London: Elsevier: 67-88.
- ESNAULT M A, HUON A, 1987. Études morphologiques et caryologiques de *Bromus rigidus* et *Bromus diandrus* Roth: relations taxonomiques. *Société Botanique de France*, 134(3): 299-304.
- FENESI A, RÉDEI T, BOTTA-DUKÁT Z, 2011. Hard traits of three *Bromus* species in their source area explain their current invasive success. *Acta Oecologica*, 37(5): 441-448.
- MOSAFERI S, KESHAVARZI M, 2001. Micromorphological observations on lemma and palea surface of *Bromus* (Poaceae) in Iran. *Phytotaxa*, 508(1): 22-38.
- OJA T, JAAKA V, 1996. Isoenzyme data on the genetic divergence and allopolyploidy in the section *Genea* of the grass genus *Bromus* (Poaceae). *Hereditas*, 125: 249-255.
- SALE F, 1993. Taxonomy and nomenclature of *Bromus* sect. *Genea*. *Edinburgh Journal of Botany*, 50: 1-31.
- SAARELA J M, PETERSON P M, VALDES R J, 2014. A taxonomic revision of *Bromus* (Poaceae: Pooideae: Bromeae) in Mexico and Central America. *Phytotaxa*, 185(1): 1-147.
- SAARELA J M, 2008. Taxonomy of *Bromus* (Poaceae: Pooideae: Bromeae) sections *Bromopsis*, *Bromus*, and *Genea* in British Columbia. *Canada Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 2(1): 323-372.

(责任编辑:陈晓雯)