

大麦属物种形态学多样性分析和电子名片构建

金彦龙^{1,2}, 蒋枏璁¹, 吉万全², 杨平¹

(¹中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ²西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 大麦属(*Hordeum*)隶属于禾本科(Poaceae)小麦族(*Triticeae*), 自然群落分布广阔、生态迥异, 部分物种具有重要的经济利用价值。由于大麦属各物种之间在形态上辨识度低, 同名异物、同物异名的现象时常发生, 降低了野外资源考察鉴别物种的效率和准确度。构建完整且详细的分组分种检索表及各物种电子名片, 将为物种分类检索及快速识别大麦属物种提供重要的参考模本以及实践数据, 推动大麦属植物资源的调查、收集、评价和利用。本研究选取32个大麦属物种的38份材料, 于2020和2021年度开展大麦属各物种的温室种植试验, 调查统计了45个质量性状和15个数量性状。通过对整株、穗部、三联小穗等重要表型性状拍照以及各物种细微差异比较, 可以精确区分大麦属各个物种, 并构建了大麦属物种分组分种检索表和各物种的电子名片。

关键词: 大麦属; 形态学; 检索表; 多样性; 名片

Morphological Diversity Analysis and Electronic Identity Card Construction for *Hordeum* Species

JIN Yanlong^{1,2}, JIANG Congcong¹, JI Wanquan², YANG Ping¹

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

²College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi)

Abstract: The genus *Hordeum* belongs to the *Triticeae* tribe of the Poaceae family. The *Hordeum* species are distributed in wide geographical regions showing diversified local climates, making them as important adapted germplasm resources facing climatic changes. However, the morphological similarity among *Hordeum* species often complicated their classification on efficiency and accuracy in the survey and germplasm collection. The construction of the retrieving key of *Hordeum* species and a unique electronic 'identity card' for each species will provide an reference for species classification and rapid identification of *Hordeum* species, valuable in the survey, collection, evaluation and utilization of *Hordeum* germplasm resources. In this study, 38 accessions of 32 *Hordeum* species were grown under greenhouse conditions in 2020 and 2021, in order to investigate 45 qualitative and 15 quantitative traits. Based on photographing important phenotypes such as whole plant, spike, and triple spikelets, as well as analyzing the subtle differences, each *Hordeum* species was classified. As a result, a taxonomic key table for the *Hordeum* species and the electronic identity card for each species were achieved.

Key words: *Hordeum*; morphology; key table; diversity; identity card

近一个世纪以来, 科学家对物种分类提出了很多不同的概念, 其中“形态学物种”是使用最广泛的

物种概念^[1]。大麦属植物具有非常重要的资源价值, 但是分类存在些许不一, 严重阻碍了全球大麦

收稿日期: 2023-05-07 修回日期: 2023-06-07 网络出版日期: 2023-06-13

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230507002>

第一作者研究方向为大麦基因资源, E-mail: jinyanlong@caas.cn

通信作者: 杨平, 研究方向为大麦基因资源, E-mail: yangping@caas.cn

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 and 基本科研业务费(Y2022XK25)

Foundation project: Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS and Fundamental Research Funds for Central Non-Profit (Y2022XK25)

属植物资源的收集、整理、评价和利用。由于前人对大麦属物种形态学特征仅是手绘,颜色特征无法显现^[2],且都是纸质书籍刊发,降低了野外考察随时随地鉴别物种的效率和准确度。因此,大麦属详细且完整的表型特征描述以及形态特征实图展示将是物种分类所必需的,构建大麦属分组分种检索表及各物种电子名片,这将极大提高物种鉴别效率以及物种的多样性保护。大麦属物种的分类研究对大麦种质资源收集、保护、利用、育种和基础生物学研究都具有重要的指导意义。

20世纪80年代, Linne^[3]对大麦属物种进行了初步的划分,为大麦属物种的分类奠定了开端,继而从单一外部形态区分演化到综合形态的比较,使该属的分类研究日趋完善^[2,4-5]。徐廷文^[6]和郭本兆等^[7]对大麦属同种异名,同名异种,种间和种内亚种、变种间界限不明的混乱现象进行了划分和评述,并结合多个形态学特征对部分大麦属的属间亲缘和属下分类进行了划分。20世纪初,颜济^[2]通过对大麦属的大部分物种的系统研究,综合形态学和细胞学特征对大麦属物种进行了精细划分。随后, Blattner等^[5]将大麦属分为两个亚属及五个组,更加完善了大麦属物种的分类。电子名片可以打破纸质版植物对照鉴别的局限性,通过各种数据的汇集、处理,相关科研

人员通过扫码能够实时、准确地了解更多信息,实现信息交互,提高了野外考察的便捷及鉴别效率^[8-10]。

本研究利用32个(个别物种中同时存在二倍体和多倍体)大麦属物种,可视化整株、穗部、三联小穗等重要表型并比较分析了15个数量性状和调查了45个质量性状,进一步细化大麦属各物种的表型性状差异,并构建了大麦属物种分组分种检索表以及各物种特有电子名片,为分类检索及快速识别大麦属物种提供重要的参考模本以及实践数据,推动大麦属物种的分类研究,为物种多样性的研究及保护奠定坚实的基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本研究以32个(部分物种同时存在二倍体和多倍体)大麦属物种的38份品种为试验材料(表1),其中28份来自德国联邦基因库(IPK-Gatersleben, Germany)、6份来自NordGen(Alnarp, Sweden)、2份来自USDA-ARS(Aberdeen, USA)、2份来自中国农业科学院作物科学研究所大麦基因资源创新组。基于形态学特征(侧重生殖器官小穗构造,辅助其他表型性状)研究, Blattner等^[5]将大麦属物种进行划分,如表1所示。

表1 大麦属物种材料信息

Table 1 Information of *Hordeum* accessions in this study

物种名 Species name	代表品种 Representative accession	单倍型基因组 Haploid genome	倍性水平 Ploidy level	生活史 Life form
禾谷亚属 Subgenus <i>Hordeum</i>				
禾谷组 Section <i>Hordeum</i>				
普通大麦 <i>H. vulgare</i>	Morex ^d	H	2X	一年生
	HTX ^d	H	2X	一年生
球茎大麦 <i>H. bulbosum</i>	PI 380878 ^c	H	2X	一年生
	GRA 1148 ^a	HH	4X	一年生
异颖组 Section <i>Trichostachys</i>				
灰鼠大麦 <i>H. murinum</i>	GRA 3223 ^a	Xu	2X	一年生
	GRA 2893 ^a	XuXu	4X	一年生
	BCC 2010 ^a	XuXuXu	6X	一年生
大麦草亚属 Subgenus <i>Hordeastrum</i>				
海大麦组 Section <i>Marina</i>				
海大麦 <i>H. marinum</i>	BCC 2001 ^a	Xa	2X	一年生
小海大麦 <i>H. gussoneanum</i>	NGB 6831 ^b	Xa	2X	一年生
	NGB 6519 ^b	XaXa	4X	一年生
直刺颖组 Section <i>Stenostachys</i>				
短芒系列 Series <i>Sibirica</i>				
布顿大麦 <i>H. bogdanii</i>	BCC 2070 ^a	I	2X	多年生

表 1 (续)

物种名 Species name	代表品种 Representative accession	单倍型基因组 Haploid genome	倍性水平 Ploidy level	生活史 Life form
短芒大麦 <i>H. brevisubulatum</i>	GRA 1080 ^a	III	6X	多年生
紫大麦 <i>H. roshevitzii</i>	BCC 2069 ^a	I	2X	多年生
弯软颖系列 Series <i>Critesion</i>				
毛花大麦 <i>H. pubiflorum</i>	NGB 8538 ^a	I	2X	多年生
长毛大麦 <i>H. comosum</i>	GRA 2664 ^a	I	2X	多年生
科多大麦 <i>H. cordobense</i>	BCC 2067 ^a	I	2X	多年生
宽颖大麦 <i>H. euclaston</i>	BCC 2029 ^a	I	2X	一年生
窄小大麦 <i>H. pusillum</i>	BCC 2043 ^a	I	2X	一年生
弯曲大麦 <i>H. flexuosum</i>	BCC 2023 ^a	I	2X	多年生
微茫大麦 <i>H. muticum</i>	NGB 90062 ^b	I	2X	多年生
圣迭大麦 <i>H. intercedens</i>	BCC 2044 ^a	I	2X	一年生
巴哥大麦 <i>H. patagonicum</i>	BCC 2065 ^a	I	2X	多年生
毛穗大麦 <i>H. stenostachys</i>	BCC 2021 ^a	I	2X	多年生
智利大麦 <i>H. chilense</i>	PI 531781 ^c	I	2X	多年生
直立大麦(拟) <i>H. erectifolium</i>	BCC 2026 ^a	I	2X	多年生
平展大麦 <i>H. depressum</i>	GRA 975 ^a	II	4X	多年生
弯软颖和短芒系列融合形成的异源多倍体 Interserial allopolyploids of series <i>Critesion</i> and <i>Sibirica</i>				
四倍大麦(拟) <i>H. tetraploidum</i>	NGB 90042 ^b	II	4X	多年生
火地岛大麦(拟) <i>H. fuegianum</i>	NGB 6471 ^b	II	4X	多年生
危地马拉大麦(拟) <i>H. guatemalense</i>	NGB 90554 ^b	II	4X	多年生
芒颖大麦 <i>H. jubatum</i>	GRA 644 ^a	II	4X	多年生
李氏大麦 <i>H. lechleri</i>	GRA 981 ^a	III	6X	多年生
硕穗大麦 <i>H. procerum</i>	BCC 2024 ^a	III	6X	多年生
帕氏大麦 <i>H. parodii</i>	BCC 2025 ^a	III	6X	多年生
亚桑大麦 <i>H. arizonicum</i>	BCC 2054 ^a	III	6X	多年生
短药大麦 <i>H. brachyantherum</i>	BCC 2056 ^a	II	4X	多年生
结节组 Section <i>Nodosa</i>				
短药大麦 <i>H. brachyantherum</i>	BCC 2046 ^a	II Xa	6X	多年生
南非大麦 <i>H. secalinum</i>	GRA 1327 ^a	I Xa	4X	多年生
黑麦状大麦 <i>H. capense</i>	BCC 2062 ^a	I Xa	4X	多年生

^a: 德国联邦基因库; ^b: 北欧种质资源基因库; ^c: 美国农业资源服务基因库; ^d: 中国农业科学院作物科学研究所大麦基因资源创新组

^a: German Federal Ex situ Gene Bank; ^b: NordGen (Alnarp, Sweden); ^c: USDA-ARS (Aberdeen, USA); ^d: Barley Gene Resource Innovation Group of Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences

1.2 植株生长及形态学调查

于2020和2021年每年3月将种子(每个材料10粒种子)置于湿润纱布的发芽盒(10 cm×10 cm)中, 4℃低温处理48 h, 并转移至室温黑暗条件下发芽。将生长10 d的幼苗单株移栽并室温培养7 d, 然后在培养箱光照16 h、温度8℃, 黑暗8 h、温度4℃, 湿度80%条件下春化处理45 d后, 单株盆栽移至室外生长, 生长发育时期每两天浇水一次, 保证植株正常生长。

按照《大麦种质资源数据质量控制规范》

(<https://www.cgris.net/#>)进行形态学性状的统一调查记录。于2020-2022年, 全生育期调查大麦属物种的60个性状, 其中有45个质量性状: 生命形式、茎下部是否具膨大球茎、中央小穗是否可育、中央小穗是否具柄、侧生小穗是否具柄、侧生小穗是否可育、内外稃长短比较、穗形、穗色、棱数、粒色、芒的有无、秆形态、节间毛的有无、节毛的有无、叶舌是否白色蜡质、叶舌上端平截是否具细齿、是否具叶耳、叶耳是否包围茎秆、叶鞘是否具毛、叶面/叶背

是否具毛、是否丛生、叶形、皮裸性、穗脆性、花药色、基部是否有紫晕、叶鞘是否蜡质、幼苗生长习性、最低位叶叶鞘是否具茸毛、旗叶叶耳有无花青苷色泽、旗叶叶耳花青苷色泽强弱、抽穗期、旗叶叶鞘蜡质、茎秆粗细、旗叶叶鞘曲度、芒尖端花青苷颜色、芒尖端花青苷颜色强弱、穗部蜡质、穗形态、旗叶倾斜角度、穗轴第一节长度、穗轴第一节扭曲度和分蘖能力;15个数量性状:株高、旗叶叶长、旗叶叶宽、节数、穗下第一节间长、穗长、穗宽、穗粒数、粒长、粒宽、中央小穗芒长、中央小穗颖长、侧生小穗芒长、侧生小穗第一颖长和侧生小穗第二颖长。质量性状至少对3株植株进行独立判断。数量性状使用标准量尺至少测量3株植株。

生活史是物种生长、分化、生殖、休眠和迁移等各种过程的整体格局。不同的物种具有不同的生活史,例如一年生或者多年生。对植株表型拍照及调查并收获种子后(生长发育时期每两天浇水一次,保证植株正常生长),剪去地上部分植株,保留10 cm左右,便于后期重新生长。如果植株再次生长并结实,判定为多年生;如果植株枯死,判定为一年生。

1.3 数据整理及分析

大麦属物种所有性状均在Excel中统计整理,并对所有表型数据进行统计性描述。采用软件GraphPad Prism 8进行绘制,数据采用均值±标准差表示。

1.4 分组分种检索表及电子名片构建

对大麦属各物种主要表型进行拍照:整株、穗

部、三联小穗腹面观、三联小穗背面观、侧生小穗、侧生小穗外稃、侧生小穗第一颖、侧生小穗第二颖、中央小穗、中央小穗颖片和中央小穗外稃。大麦属物种具穗脆特性,为拍照的完整性,在开花时期对植株进行表型拍照。

根据各物种特有属性,对大麦属物种进行区别划分,构建分组分种检索表。数据筛选及对标选择均在Excel中进行。将各物种的形态特征实图和表型信息整合到二维码中制作其独有的电子名片,采用在线网址(<https://cli.im/>)的“产品信息”模块,个性化制作各物种的动态码。

2 结果与分析

2.1 大麦属物种重要表型差异比较分析

本研究32个大麦属物种共有38份材料(部分物种中同时存在二倍体和多倍体),其中二倍体20份、四倍体11份、六倍体7份。比较分析整株、穗部、三联小穗、中央小穗和侧生小穗的15个数量性状以及重要表型特征,解析32个物种(38份材料)之间的变异及其差异,深刻了解大麦属各物种表型之间的差异,为认知和区别大麦属物种提供重要的参考模本以及实践数据。

2.1.1 整株 大麦属物种形态各异,部分物种能够根据其形态学整株特征进行鉴定(图1)。例如,根据整株特征可以鉴别大麦属物种中的*H. jubatum*,其多分蘖丛生,穗长扇形,呈毛絮状,弯曲下垂,在所有物种中中央小穗和侧生小穗颖长都为最长。

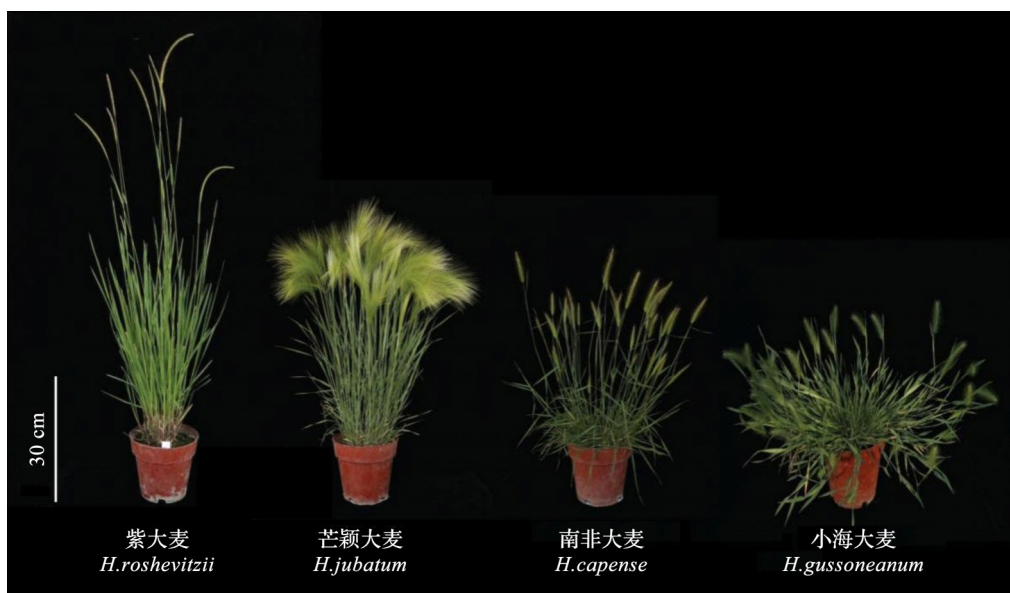


图1 部分大麦属物种的整株

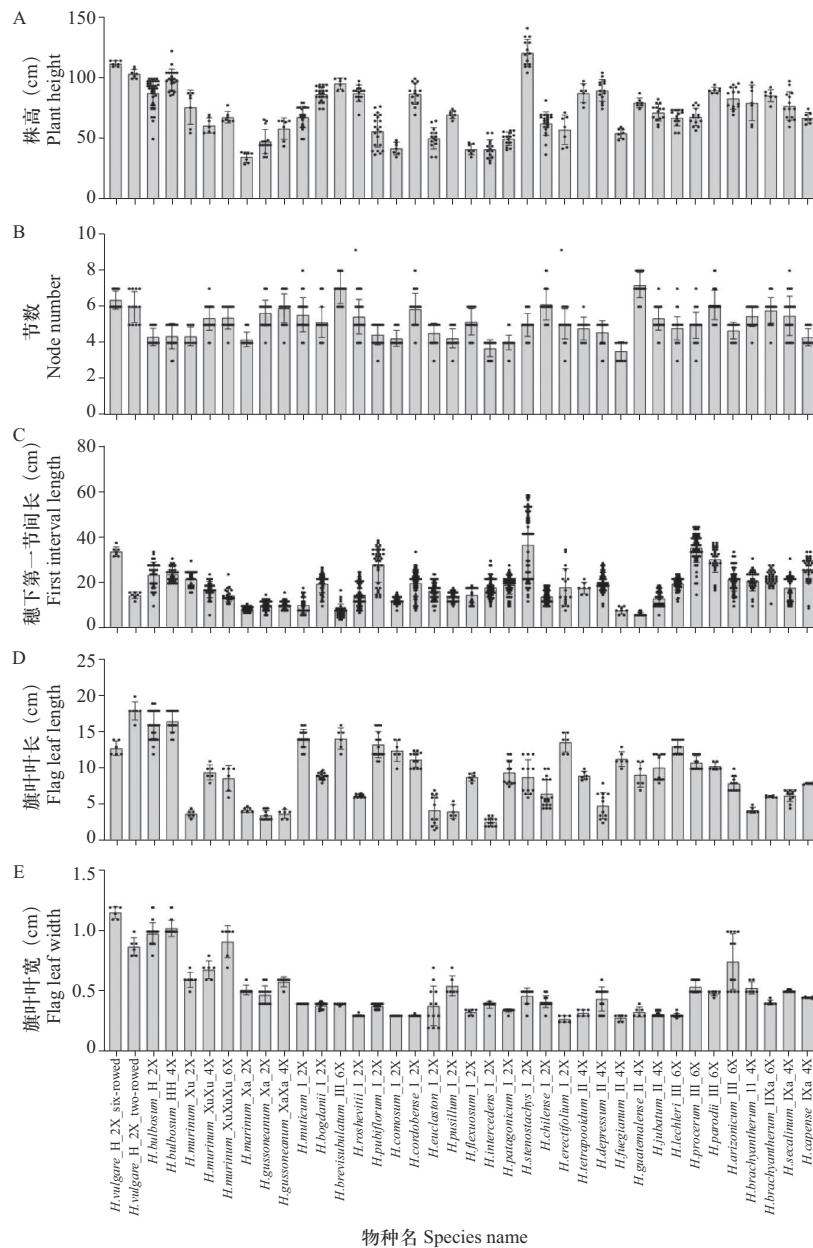
Fig.1 Whole plants in a subset of *Hordeum*

物种的生活史是探讨适应性的重要内容。在大麦属物种中,一年生与多年生的比例为1:3,其中75%为多年生(24个物种),占据绝大部分。

通过对整株重要数量性状比较分析(图2A~C),可以看出在大麦属物种中 *H. stenostachys* 株高最高,其穗下第一节间长也最长,但节数并不是最多, *H. vulgare* 次之。 *H. marinum* 株高最低,穗下第一节相对较低,秆膝曲状丛生并矮化。 *H. comosum*、 *H. flexuosum* 和 *H. intercedens* 略高且几乎等高,节

数和穗下第一节间长也基本相等。大部分植株株高在50~100 cm,节数在4~6节,穗下第一节间长多数为20 cm左右。其中 *H. guatemalense* 节数最多,但穗下第一节长却最短。

植株旗叶叶片长度和宽度结果显示,叶长变化幅度较大(图2D), *H. vulgare* 和 *H. bulbosum* 叶片最长, *H. intercedens* 最短。叶宽除个别宽度达到1 cm以上,其余基本保持在0.3~0.6 cm,种间差异较小(图2E)。



物种名集合由物种名、单倍体基因组和倍性水平组成,下同

The set of species names consists of species names, haploid genome and ploidy level, the same as below

图2 大麦属物种株高、节数、穗下第一节间长、旗叶叶长、旗叶叶宽比较分析

Fig.2 Comparative analysis of plant height, node number, first interval length, flag leaf length, flag leaf width in *Hordeum* species

2.1.2 穗部 从大麦属物种穗部情况可以看出, *H. vulgare* 和 *H. guatemalense* 穗部较宽, 但 *H. guatemalense* 穗长最短。多数物种穗长7~10 cm, 穗宽0.4~0.6 cm。除六棱栽培大麦, *H. cordobense* 穗粒数最多, 其次为 *H. roshevitzii*、*H. bogdanii*、*H. brevisubulatum*、*H. pubiflorum*、*H. flexuosum*、*H. erectifolium*、*H. jubatum* 和 *H. procerum* (图

3A~B)。除极端个体外, 穗粒数基本集中在20~30粒(图3C)。结果表明穗粒数越少, 穗长和穗宽不一定越大。除栽培大麦外, *H. murinum* 和 *H. bulbosum* 的粒长和粒宽最大, 并且 *H. brachyantherum*、*H. fuegianum*、*H. stenostachys* 和 *H. chilense* 显示出类似的结果, 即粒长和粒宽都较长(图3D~E)。

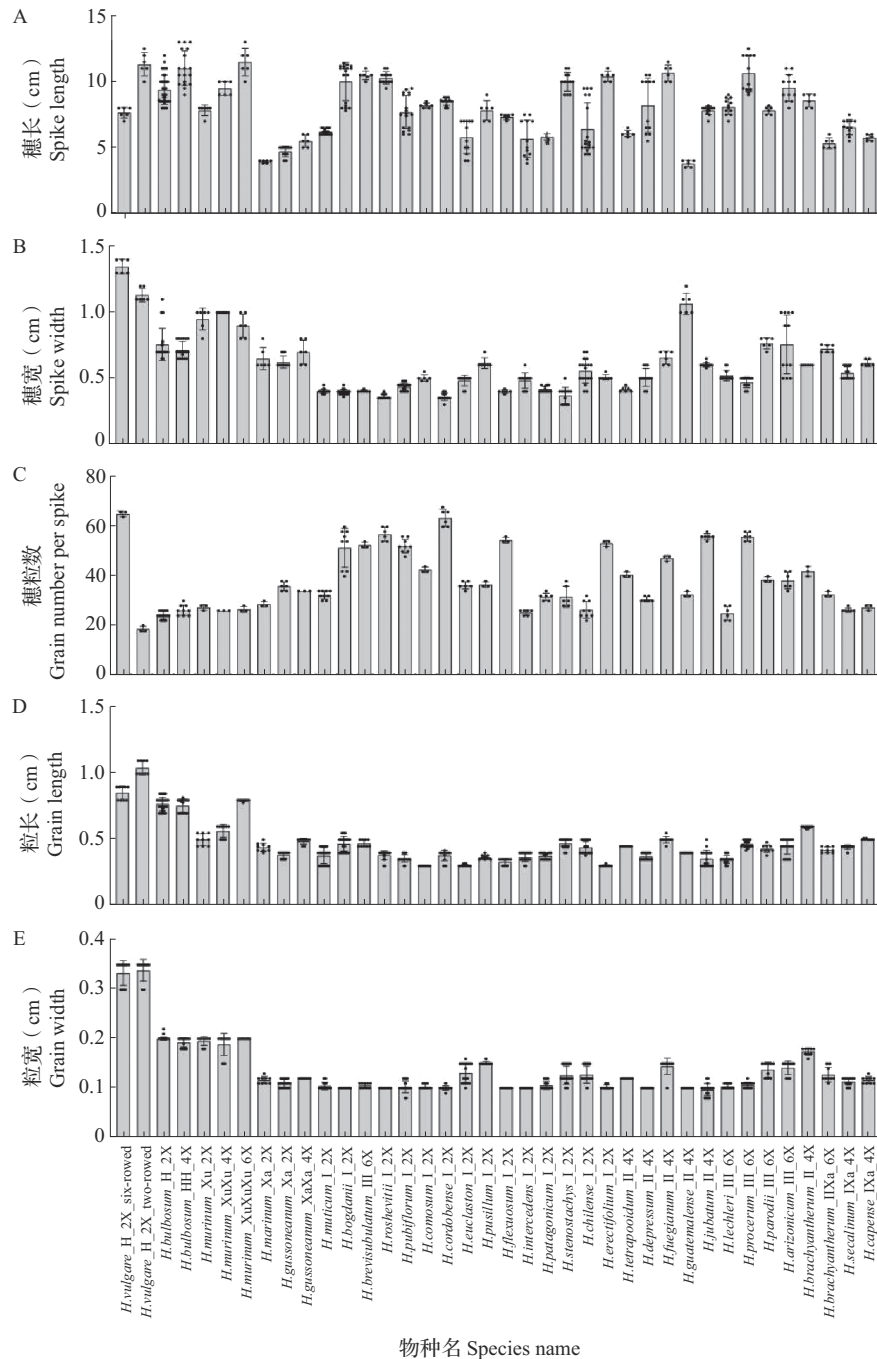


图3 大麦属物种穗长、穗宽、穗粒数、粒长和粒宽比较分析

Fig.3 Comparative analysis of spike length, spike width, grain number per spike, grain length and grain width of *Hordeum* species

2.1.3 三联小穗(中央小穗和侧生小穗) 对大麦属物种的中央小穗与侧生小穗进行比较,结果表明中央小穗芒长在两极存在较大差异(图4A),除栽培大麦最长外,在野生物种中 *H. jubatum* 最长,其中央小穗颖长也最长;可以看出直刺颖组(Section *Stenostachys*)的中央小穗芒长较短(0.5~1 cm)。中央小穗颖长基本上处于1~2 cm(图4B)。

大麦属物种的侧生小穗第一颖长和第二颖长基本相似(图4D~E)。*H. jubatum* 颖长最长,但芒长较短,呈Y式。*H. lechleri*、*H. comosum*、*H. bulbosum* 和 *H. murinum* 颖长次之。除 *H. vulgare* 外,*H. murinum* 侧生小穗芒长最长,*H. marinum*、*H. gussoneanum*、*H. jubatum* 和 *H. lechleri* 的芒长为0.3~1 cm,其余略带芒或无芒(图4C)。

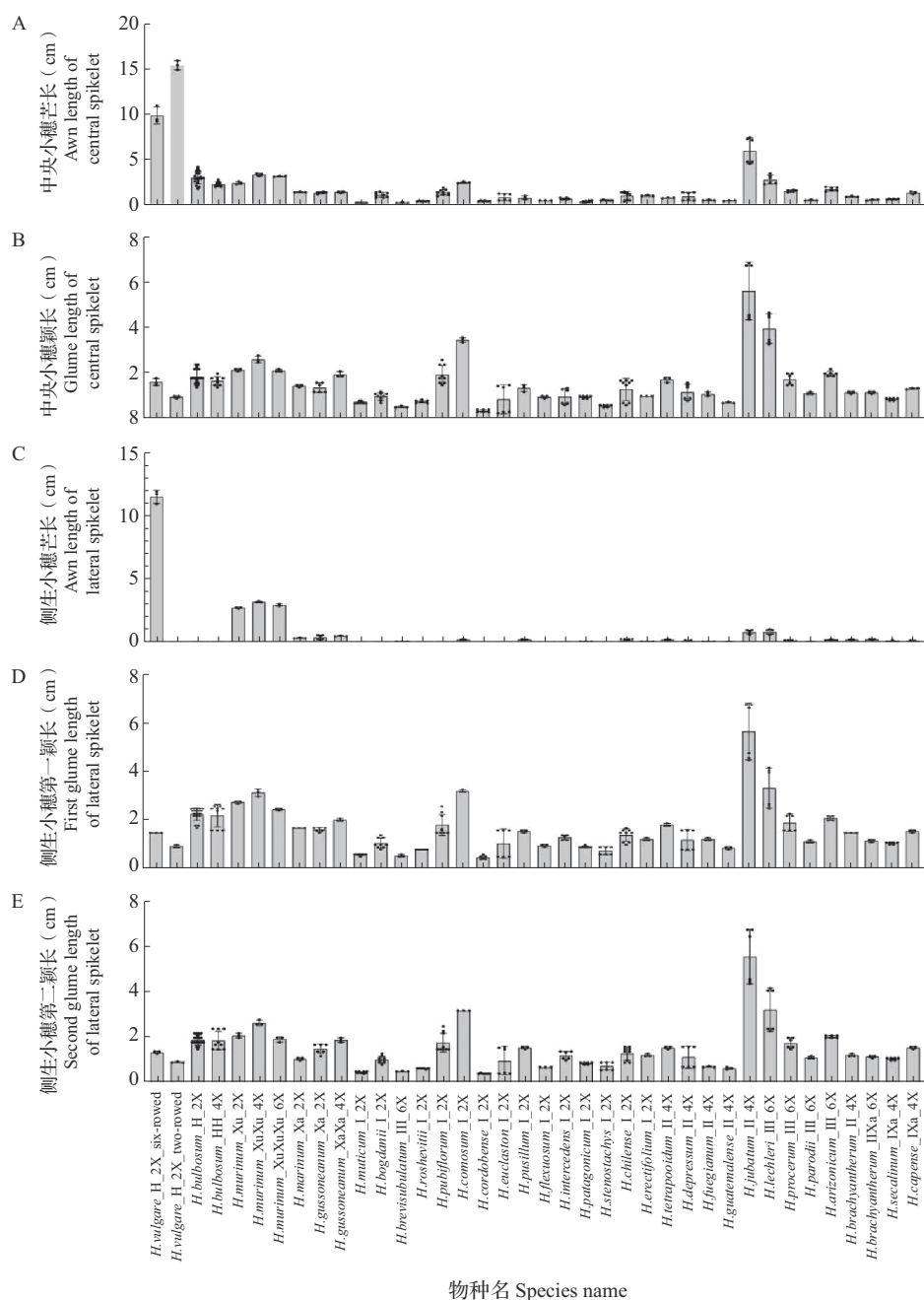


图4 大麦属物种中央小穗芒长、中央小穗颖长、侧生小穗芒长、侧生小穗第一颖长及侧生小穗第二颖长比较分析
Fig.4 Comparative analysis of awn length of central spikelet, glume length of central spikelet, awn length of lateral spikelets, first and second glume length of lateral spikelets in *Hordeum* species

2.2 大麦属物种分组分种检索表

随着对大麦属物种分类的逐渐深入研究,其分类群的系统地位已经确立^[2,5]。为了在前人基础^[2]上完善大麦属物种的分组分种检索表,本研究量化并细化了多个质量和数量性状,构建了各物种之间具有明显特征差异的分组分种检索表,以期能够提

高检索效率。通过部分明显表型缩小物种范围,并辅助其他特征鉴定其物种,如细化穗部和颖果颜色等级,可明显区分弯曲大麦和巴哥大麦以及紫大麦和火地岛大麦;并结合颖部特征(是否具毛和长度)和内外稃比较,可辨别出智利大麦和亚桑大麦以及李氏大麦和芒颖大麦(表2)。

表2 大麦属物种分组分种检索表

Table 2 A taxonomic key table for the *Hordeum* species

1. 植株高大,株高60~140 cm;叶耳长大,穗长且宽	
2. 一年生,茎秆粗壮,颖边沿不具长纤毛;如具长纤毛,则具球茎	
3. 茎基部无膨大球茎	
4. 穗轴坚韧(非脆性)	
5. 侧生小穗不育(二棱)	
6. 具稃.....	栽培二棱皮大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>distichon</i>)
6. 无稃.....	栽培二棱裸大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>nudum</i>)
5. 侧生小穗可育(六棱)	
7. 具稃.....	栽培六棱皮大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>hexastichon</i>)
7. 无稃.....	栽培六棱裸大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>revelatum</i>)
4. 穗轴易断折(脆性)	
8. 侧生小穗不育.....	二棱野生大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>spontaneum</i>)
8. 侧生小穗可育.....	六棱野生大麦(<i>H. vulgare</i> L. subsp. <i>agriocrithon</i>)
3. 茎基部有膨大球茎	
9. 中央小穗颖无毛,具4~7节;叶细窄;二倍体.....	球茎大麦(<i>H. bulbosum</i> L. subsp. <i>nodosum</i>)
9. 中央小穗颖有毛,具3~4节;叶长宽;四倍体.....	球茎大麦(<i>H. bulbosum</i> L. subsp. <i>bulbosum</i>)
2. 一年生,茎秆纤细,颖边沿具长纤毛	
10. 植株高60~90 cm,秆粗壮,中央小穗具柄	
11. 叶鞘无微毛;二倍体.....	灰鼠大麦(<i>H. murinum</i> L. subsp. <i>glaucum</i>)
11. 叶鞘具微毛;四倍体.....	灰鼠大麦(<i>H. murinum</i> L. subsp. <i>murinum</i>)
10. 植株高25~40 cm;秆纤细,中央小穗无柄.....	灰鼠大麦(<i>H. murinum</i> L. subsp. <i>leporinum</i>)
1. 植株中高,15~110 cm;具小叶耳或无叶耳;穗窄小	
12. 一年生,株高15~75 cm	
13. 无叶耳或稀具叶耳;穗轴坚韧,穗绿色或灰绿色	
14. 叶鞘无茸毛,侧生小穗颖异形,第一颖基部呈翼状.....	海大麦(<i>H. marinum</i>)
14. 叶鞘具茸毛,侧生小穗颖同形,第一颖不具尾翼	
15. 叶鞘无蜡质,穗宽扇形,二倍体.....	小海大麦(<i>H. gussoneanum</i>)
15. 叶鞘具蜡质,穗长扇形,四倍体.....	小海大麦(<i>H. gussoneanum</i>)
13. 无叶耳;穗白绿色或深绿色,颖果呈红褐色	
16. 中央小穗颖刚毛状或稍扁平,第一颖与第二颖同形.....	平展大麦(<i>H. depressum</i>)
16. 中央小穗颖宽扁平	
17. 节和叶鞘基部无毛,具蜡质,急尖无芒.....	宽颖大麦(<i>H. euclaston</i>)
17. 节和叶鞘基部被微毛,无蜡质,第一颖广披针形	
18. 短芒或具喙.....	窄小大麦(<i>H. pusillum</i>)
18. 急尖无芒或钝尖.....	圣迭大麦(<i>H. intercedens</i>)
12. 多年生	
19. 中央小穗下部宽扁平	
20. 成熟时颖张开	
21. 颖无毛;内稃短于外稃,穗绿色或深绿色.....	智利大麦(<i>H. chilense</i>)
21. 颖具毛,内稃与外稃等长,穗白绿色.....	亚桑大麦(<i>H. arizonicum</i>)
20. 成熟时颖不张开	
22. 叶鞘无毛,穗深绿色或绿色.....	科多大麦(<i>H. cordobense</i>)
22. 叶鞘具微毛	

表2(续)

23. 外稃光滑无毛, 侧生小穗第一颖下部稍扁平, 内稃与外稃等长; 叶鞘具紫晕	
24. 外稃芒长约4 mm, 穗黄绿色, 颖果紫黑色	弯曲大麦(<i>H. flexuosum</i>)
24. 外稃芒长约1 mm, 穗淡绿色, 颖果橄榄绿	巴哥大麦(<i>H. patagonicum</i>)
23. 外稃被毛, 侧生小穗第一颖下部宽扁平, 内稃稍短于外稃; 叶鞘无紫晕	
25. 外稃被茸毛, 穗绿色或深绿色	毛穗大麦(<i>H. stenostachys</i>)
25. 外稃被疏茸毛, 穗灰蓝色或蓝色	微芒大麦(<i>H. muticum</i>)
19. 中央小穗颖下部稍扁平	
26. 成熟时颖张开	
27. 中央小穗芒长小于10 mm	
28. 侧生小穗颖同形, 穗蓝紫色或紫色, 颖果暗紫蓝色	紫大麦(<i>H. roshevitzii</i>)
28. 侧生小穗颖异形, 穗蓝绿带紫色, 颖果橄榄绿	火地岛大麦(<i>H. fuegianum</i>)
27. 中央小穗芒长大于10 mm	
29. 侧生小穗外稃具长芒, 为15 mm, 穗黄绿色或紫红色	长毛大麦(<i>H. comosum</i>)
29. 侧生小穗外稃钝尖或具短芒, 芒长小于15 mm	
30. 中央小穗外稃糙涩无毛; 叶鞘无毛; 穗淡绿色	硕穗大麦(<i>H. procerum</i>)
30. 中央小穗外稃光滑或被疏毛; 叶鞘具茸毛; 穗常为紫色	
31. 穗两侧扁压; 颖与侧生小穗外稃常具毛	
32. 穗黄绿色; 叶耳半环绕茎秆	南非大麦(<i>H. capense</i>)
32. 穗紫红或紫黑色; 无叶耳	
33. 穗紫黑色, 三联小穗常大于20 mm	毛花大麦(<i>H. pubiflorum</i>)
33. 穗紫红色, 三联小穗常小于20 mm	毛花大麦(<i>H. halophilum</i>)
31. 穗两侧不扁压; 颖与侧生小穗外稃无毛	
34. 侧生小穗颖长约30 mm; 内稃短于外稃	李氏大麦(<i>H. lechleri</i>)
34. 侧生小穗颖长约70 mm; 外稃长于内稃	芒颖大麦(<i>H. jubatum</i>)
26. 成熟时颖不张开	
35. 植株矮小, 株高10~40 cm	巴哥大麦(<i>H. patagonicum</i>)
35. 植株矮高, 株高30 cm以上	
36. 花药大于3 mm, 外稃被微毛, 叶鞘具紫晕	
37. 具叶耳, 中央小穗具短柄, 内稃短于外稃	黑麦状大麦(<i>H. secalinum</i>)
37. 无叶耳, 中央小穗无柄, 内稃与外稃等长	
38. 穗白绿色或紫蓝色	
39. 颖与外稃等长, 二倍体	短芒大麦(<i>H. brevisubalatum</i>)
39. 颖短于外稃, 四倍体	短芒大麦(<i>H. brevisubalatum</i>)
39. 颖长于外稃, 六倍体	短芒大麦(<i>H. brevisubalatum</i>)
35. 植株矮小, 株高10~40 cm	巴哥大麦(<i>H. patagonicum</i>)
38. 穗淡绿色或灰绿色	四倍大麦(<i>H. tetraploidum</i>)
36. 花药小于3 mm, 外稃光滑无毛	
40. 穗轴坚韧, 外稃疏生微毛	布顿大麦(<i>H. bogdanii</i>)
40. 穗轴断折, 外稃光滑无毛	
41. 具根茎, 第一颖与第二颖异形	
42. 疏丛, 根茎较长, 穗紫黑色	危地马拉大麦(<i>H. guatemalense</i>)
42. 密丛, 根茎较短, 穗灰绿色	帕氏大麦(<i>H. parodii</i>)
41. 不具根茎, 第一颖与第二颖同形	
43. 茎叶不膝曲, 叶直立, 叶鞘具蜡质	直立大麦(<i>H. erectifolium</i>)
43. 茎秆膝曲, 叶不直立, 叶鞘无蜡质	
44. 植株矮小; 穗绿色或紫绿色	加利福尼亚大麦(<i>H. californicum</i>)
44. 植株高大; 穗暗绿色	
45. 抽穗期较晚, 叶鞘无蜡质, 四倍体	短药大麦(<i>H. brachyantherum</i>)
45. 抽穗期较早, 叶鞘具蜡质, 六倍体	短药大麦(<i>H. brachyantherum</i>)

2.3 大麦属各物种的电子名片

电子名片相当于身份证(身份卡片), 能够简

洁、快速且有效了解该事物的固有特性。通过电子设备扫描二维码或条形码, 获取图文或声像, 深入

探知该事物属性^[11-12]。为辨别和认识大麦属各物种,本研究将大麦属各物种的形态特征实图和表型信息整合到二维码中制作了其独有的名片,以便于快速推广和鉴别。如图 5 所示,从单个物种的名片

可以直观的知道物种的基因型名称、倍性水平、基因组和分布区域的信息。通过电子设备扫描二维码,可详细且全面的查看该物种的表型信息及形态学特征实图。



图 5 大麦属各物种电子名片
Fig.5 The identity card for each species of *Hordeum*

3 讨论

本研究对大麦属32个物种的形态学特征进行比较分析,构建大麦属物种分类检索表和各物种的电子名片,通过扫描二维码名片获得每个物种的详细信息。电子名片是快速且有效识别并鉴定物种的“标准卡”^[11-12]。电子名片在大田作物^[12-13]和园林植物^[8-9]上已经广泛应用。此外,数据库图片与采样植株进行对比,可以快速辨别真伪,这将极大的促进野外物种考察的进程。

3.1 大麦属个别易混淆物种的区分

大麦属部分物种生态地理多样,加之种内变异大,增加了鉴别难度。例如,物种 *H. patagonicum*、*H. brachyantherum*、*H. gussoneanum*, 其中 *H. patagonicum* 是一个多形态物种,在不同生态栖息地、不同群体,彼此形态存在明显差异,曾被混淆并定义为不同的物种,但彼此之间相互可自由杂交,无生殖隔离^[5,7]。*H. brachyantherum* 和 *H. gussoneanum* 两个物种的各自亚种间均存在倍性水平的差异,形态特征极其相似,通过染色体观察判别不同的倍性,进而区分其亚种。有些同域物种,形态学特征非常相似,不能快速辨别出物种类别,必须通过杂交(判别是否生殖隔离)或者染色体观察来区分,如 *H. lechleri* 和 *H. jubatum*、*H. flexuosum* 和 *H. patagonicum*^[2,5,14]。本研究对大麦属的32个物种的15个数量性状进行了比较分析,显示 *H. brachyantherum* 和 *H. gussoneanum* 的亚种间在叶宽、穗长及穗粒数上存在明显差异。*H. lechleri* 和 *H. jubatum*、*H. flexuosum* 和 *H. patagonicum* 种间在叶长、中央小穗芒长及颖长,侧生小穗第一颖长及第二颖长和穗粒数上存在不同,能够明显对物种进行种内及种间区分。大麦属物种分组分种检索表显示 *H. pusillum* 和 *H. intercedens* 形态学特征非常相似,极易混淆,只能通过有无芒及芒尖具喙或钝尖来区分。通过进一步细化其数量性状以及其电子名片,肉眼能够观察到其明显差异,在野外可以进行精准的样本识别并采集。

3.2 大麦属物种电子名片的价值与应用

物种特有的电子名片与DNA指纹图谱功能相同,都是为了迅速且准确区分不同的生物个体。相比于DNA指纹图谱,电子名片是将物种基本描述信息及形态学特征实图整合到二维码或条形码中,以便于更加直观并准确的辨别物种之间的差异。电子名片因其自身独有的特性,可利用电子设备扫描

二维码或条形码,能够方便快捷地识别,提高品种资源鉴定和评价的效率。物种电子名片的唯一性,也可有效甄别同名异物、同物异名混乱的现象,有利于物种识别与保护。在许多植物中物种电子名片已被应用,如核桃^[15]、油茶^[16]、板栗^[17]、藜麦^[18]。未来DNA条形码将能够显著升级鉴别手段,有效阻止同名异物、同物异名的事件发生,也会成为准确鉴别物种强有力的手段^[15-16],也将成为未来大麦属物种研究的重要手段。

综上所述,本研究首次利用32个大麦属物种(部分物种同时存在二倍体和多倍体)的倍性水平、基因组、分布区域、资源类型、形态学特征等信息,抽象化成特定的二维码,制作其独有的电子名片。本研究的结果对于大麦属物种的区分和精准鉴定、数据数字化建立具有重要的意义和实际应用价值。

参考文献

- [1] 洪德元. 生物多样性事业需要科学、可操作的物种概念. 生物多样性, 2016, 24(9): 979-999
Hong D Y. Biodiversity pursuits need a scientific and operative species concept. Biodiversity Science, 2016, 24(9): 979-999
- [2] 颜济. 小麦族生物系统学. 北京: 中国农业出版社, 2006: 286-360
Yan J. Biosystematics of *Triticeae*. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 286-360
- [3] Linne C. *Species Plantarum*. Sweden: Laurentius Salvius, 1753: 84-85
- [4] von Bothmer R, Jacobsen N, Baden C, Jorgensen R B, Linde-Laursen I. An ecogeographical study of the genus *Hordeum*. 2nd edition. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1995: 129
- [5] Blattner F R, Frank R. Taxonomy of the genus *Hordeum* and barley (*Hordeum vulgare*). Switzerland: Compendium of Plant Genomes, 2018: 11-23
- [6] 徐廷文. 大麦属的亲缘关系与分类. 四川农学院学报, 1984, 2(1): 11-18
Xu T W. Consanguinity and taxonomy of the genus *Hordeum*. Journal of Sichuan Agricultural College, 1984, 2(1): 11-18
- [7] 郭本兆, 王世金, 李健华. 大麦属的属间亲缘和属下分类的研究. 西北植物学报, 1986, 6(1): 23-31
Guo B Z, Wang S J, Li J H. A study on the relationships among the genera and the classification under the genus of *Hordeum* L.. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1986, 6(1): 23-31
- [8] 姚秋宾, 张华颖, 朱春桃. 二维码技术在园林树木方面的应用. 园林, 2016 (9): 60-63
Yao Q B, Zhang H Y, Zhu C T. Application of two-dimensional code technology in landscape trees. Landscape

- Garden, 2016(9):60-63
- [9] 杨帆, 杨逢玉, 田伟然. 二维码技术在园林植物认知中的应用. 教育现代化, 2019, 6(98): 218-219,231
Yang F, Yang F Y, Tian W R. The application of two-dimensional code technology in the recognition of landscape plants. Education Modernization, 2019, 6(98): 218-219,231
- [10] 覃欣广. 四种技术在种质库中的应用场景及特性分析. 南方农业, 2022, 16(7): 242-245
Qin X G. Scenarios and characterisation of four technologies in germplasm banking. South China Agriculture, 2022, 16(7): 242-245
- [11] 陈莹, 张友华, 郭书普, 陆徐忠. 基于智慧包装的小麦种子防伪预警系统设计与实现. 安徽农业大学学报, 2016, 43(6): 1033-1038
Chen Y, Zhang Y H, Guo S P, Lu X Z. Design and implementation of wheat seeds anti-counterfeiting early warning system based on wisdom packaging. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(6): 1033-1038
- [12] 李卫华. 二维码技术在小麦粉质量追溯系统中的应用研究. 现代面粉工业, 2019, 33(4): 1-4
Li W H. Application of two-dimensional code technology in wheat flour quality traceability system. Modern Flour Industry, 2019, 33(4): 1-4
- [13] 李婧慧, 金彦龙, 乔艳清, 许哲, 胡经煌, 张新宇, 孙杰, 薛飞. 新疆 150 份陆地棉品种 DNA 指纹图谱构建与遗传多样性分析. 分子植物育种, 2022, 20(9): 2983-3001
Li J H, Jin Y L, Qiao Y Q, Xu Z, Hu J H, Zhang X Y, Sun J, Xue F. Construction of DNA fingerprint and genetic diversity of 150 upland cotton varieties in Xinjiang. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(9): 2983-3001
- [14] Stein N. The barley genome. Switzerland: Compendium of Plant Genomes, 2016: 11-23
- [15] 张成才, 王亚萍, 王开良, 常君, 任华东, 姚小华. 利用 SSR 构建薄壳山核桃主要品种的分子身份证. 植物遗传资源学报, 2022, 23(6): 1835-1846
Zhang C C, Wang Y P, Wang K L, Chang J, Ren H D, Yao X H. Construction of molecular IDs for major cultivars in pecan (*Carya illinoensis*) using SSR markers. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1835-1846
- [16] 林萍, 王开良, 姚小华, 任华东. 基于转录组 SNP 构建油茶主要品种资源的分子身份证. 中国农业科学, 2023, 56(2): 217-235
Lin P, Wang K L, Yao X H, Ren H D. Development of DNA molecular ID in *Camellia Oleifera* germplasm based on transcriptome-wide SNPs. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(2): 217-235
- [17] 白晓倩, 陈于, 张仕杰, 赵玉强, 王武, 朱灿灿. 基于表型性状和 SSR 标记的板栗品种遗传多样性分析及分子身份证构建. 植物遗传资源学报, 2022, 23(4): 972-984
Bai X Q, Chen Y, Zhang S J, Zhao Y Q, Wang W, Zhu C C. Genetic diversity analysis and fingerprinting of chestnut varieties based on phenotypic traits and SSR markers. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(4): 972-984
- [18] 刘彬, 赵雨露, 杨鑫雷, 张建恒, 孙鑫博, 刘晓清, 温晓敏, 耿艳楼, 李悦有, 穆国俊, 吕玮. 251 份藜麦种质资源遗传多样性及分子身份证构建. 植物遗传资源学报, 2022, 23(3): 706-721
Liu B, Zhao Y L, Yang X L, Zhang J H, Sun X B, Liu X Q, Wen X M, Geng Y L, Li Y Y, Mu G J, Lv W. Genetic diversity of 251 germplasm accessions and construction of molecular ID in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(3): 706-721