

不同落粒时间无芒雀麦种子形态与萌发特性

刘文昊, 靳瑰丽, 吴雪儿, 宫珂, 韩万强

(新疆农业大学草业学院/新疆草地资源与重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要:【目的】不同落粒时间无芒雀麦种子形态与萌发特性, 种子脱落是植物为应对复杂多变的自然环境及种群繁衍而表现出的生存策略, 而脱落时间的早晚对种子的发育情况产生重要影响。【方法】以天山北坡中段原生境野生无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 居群为材料, 研究 4 个不同自然脱落时间种子的长、宽、厚、附属物 (外稃长、内稃长、芒长)、种子重量, 以及发芽率、发芽势、萌发指数和平均发芽速度, 分析自然落粒时间差异对种子形态及萌发特性的影响。【结果】无芒雀麦的落粒率在 4 次收集时间分别为 2.87%、2.55%、2.87% 及 3.49%; 随着脱落时间的推移, 种子形态特征整体表现出种子长、宽、厚及种子重量增加, 外稃长、内稃长先减后增, 芒长呈减小的趋势, 芒长较长的种子最容易脱落; 随着脱落时间的推移, 种子发芽率、发芽势、萌发指数增加, 平均发芽速度减小; 落粒率与芒长呈极显著正相关关系, 相关系数达到 1.000。【结论】自然状况下, 野生无芒雀麦属于弱落粒性种质; 脱落时间的推迟不但使种子大小变大, 而且增加了种子的重量, 进而提高了种子的萌发能力。

关键词: 无芒雀麦; 种子形态; 萌发特性; 落粒性

中图分类号: S543

文献标志码: A

文章编号: 1001-4330(2023)03-0727-08

0 引言

【研究意义】多年生禾本科牧草种子的自然脱落现象是其在长期生存竞争中形成的一种适应特性, 是抵御恶劣自然条件进行有效繁衍后代的一种机制^[1], 种子脱落后形成土壤种子库成为植物主要的有性繁殖方式。禾本科牧草种子落粒情况的严重程度与牧草的遗传因素、当地气候条件、种子成熟程度、收获方式等都有较大关系^[2]。种子落粒受到离区结构特征、花序形态、激素含量、遗传基因、含水量等因素的影响^[3], 大多数牧草种子成熟后在植株上难以保存, 种子收获前禾草种子的自然脱落是造成种子产量低的重要因素^[4]。种子在收获前自然脱落, 不仅增加了种子收获的难度, 还提高了种子生产的成本, 使种子质量和产量均受到严重影响^[5]。尤其是在人工种子生产中, 种子提前脱落是造成种子实际产量较低的重要因素。落粒性也是野生牧草种质引种驯化考虑的特性。对于野生自然种群,

研究不同落粒时间的种子特性, 为探索种群自我有性更新基础及优质种质资源的筛选具有一定的意义。植物进化出各种各样的应对策略来应对繁殖的不确定性, 其中种子性状决定了在复杂多变的环境繁殖的成功与否^[6]。自然种群种子形态特征的研究是遗传变异研究的重要环节^[7], 不仅决定其扩散能力, 也影响种子萌发、幼苗存活及定植, 对种群更新和生存对策都具有重要意义^[8]。作为对种子质量影响较为重要的形态、萌发指标与种子形成的时间 (脱离母体的时间) 息息相关^[9], 研究不同落粒时间对这两类指标具有重要意义。【本研究切入点】无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 作为多年生禾本科 (Poaceae) 牧草, 既是优质的野生种质资源, 也是良好的栽培牧草^[10], 广泛分布于新疆天山北坡的草甸草原, 在牧草育种与种子生产中发挥着重要的作用。近年来, 在种质资源筛选及生产方面对无芒雀麦的种子进行了诸多研究, 例如种子抗逆性^[11-12]、种子产量^[13-14]以及生理特性^[15]等。需研究原生境无芒雀麦居

收稿日期 (Received): 2022-06-20

基金项目: 国家牧草产业体系项目 (CARS-34)

作者简介: 刘文昊 (1995-), 女, 新疆昌吉人, 硕士研究生, 研究方向为草地资源与生态, (E-mail) 840465448@qq.com

通信作者: 靳瑰丽 (1979-), 女, 教授, 博士, 研究方向为草地资源与生态, (E-mail) jguili@126.com

群种子落粒率动态变化规律不同落粒时间收集的种子形态特征差异引起萌发特性的差异等。【拟解决的关键问题】以天山北坡中段典型原生境野生无芒雀麦居群为研究对象,研究 4 个不同落粒时间的种子的形态、重量及萌发特性,为研究野生无芒雀麦种群自我有性更新基础以及种质资源的保护和选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区位于新疆乌鲁木齐县南山种羊场,地理位置 87.035°E,43.514°N,年均温 5.43℃,年均降水量 481.49 mm。试验区为山地草甸草原,植物群落物种由无芒雀麦、赖草(*Leymus secalinus*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、黄花草木樨(*Melilotus officinalis*)、梯牧草(*Phleum pratense*)、红三叶(*Trifolium pratense*)等物种组成,其中无芒雀麦的重要值最大达到 0.302,属于该草地群落的优势种。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

在样地内设置 3 条间隔大于 10 m 的平行样带,每个样带选取株高相对一致的无芒雀麦单株,共 99 株。盛花期后 20 d,选取每株上相对一致的生殖枝进行挂牌编号并套上白色纱袋,每 10 d 收集袋内掉落的种子,并编号阴干,收入牛皮纸信封袋室内透风避光保存,至植物枯黄期结束,共收集掉落种子 4 次,分别测定其形态及萌发特性,并在最后 1 次采样结束后将套袋生殖枝的穗部剪下编号后放入信封袋中保存,带回实验室统计每穗剩余种子数,收回的种子储藏于通风干燥的室内(25±2)℃备用。

1.2.2 测定指标

1.2.2.1 种子落粒动态

统计每次收集的种子数量,以及 4 次种子采样结束后每穗剩余种子数。按照文献^[16]的公式,计算无芒雀麦种子成熟过程中的落粒率。

$$\text{落粒率}(\%) = (\text{每穗落粒数} / \text{每穗种子总数}) \times 100. \quad (1)$$

1.2.2.2 种子形态特征

选取 4 次落粒时间收集的无芒雀麦种子各 50 粒,根据《无芒雀麦种质资源描述规范和数据标准》^[17],使用电子游标卡尺对种子长度、宽度、厚度及附属物(外稃、内稃及芒长)等形态特征进行测定,使用万分之一天平称量种子重量。

表 1 无芒雀麦落粒种子收集时间

Tab.1 Seed collection schedule for *Bromus inermis*

收集次数 Number of collections	收集时间 Collection time	生育期 Growth period
C ₁	7.20 ~ 7.29	乳熟期
C ₂	7.30 ~ 8.08	蜡熟期
C ₃	8.09 ~ 8.18	完熟期
C ₄	8.19 ~ 8.28	枯黄期

种子长:以种子的纵轴为其长。

种子宽:以腹面横向最大宽度为其宽。

种子厚:以腹面与背面的最大距离为其厚。

外稃长:种子完熟期,小穗小花外稃的长度(不包括芒长)。

内稃长:种子完熟期,小穗小花外稃的长度。

芒长:种子完熟期,小穗小花芒的绝对长度(不包括外稃长)。

种子重量:50 粒种子的重量。

1.2.2.3 种子萌发特性

种子萌发试验采用 TP 法,从不同生育期的无芒雀麦种子中筛选出大小均匀、籽粒饱满具芒的成熟种子,用 75% 乙醇处理 2 min,蒸馏水冲洗 3 次,进行消毒。每个处理各选 30 粒种子均匀置于铺有两层滤纸、直径为 9 cm 的培养皿中于人工智能培养箱中进行萌发试验。培养条件为光照时间 12 h/d,光照强度 250 μmol/(m²·s),试验在 25℃ 下进行,每个种源均设 3 个重复。种子萌发以胚根突破种皮 1 mm 为标准,连续培养 21 d,每天并记录正常发芽的种子数目,持续观察 5 d 不萌发时计为萌发结束,每隔 5 d 更换 1 次无菌滤纸,并及时清理污染发霉的种子,逐日统计发芽数,发芽率(GR)、发芽势(GE),计算萌发指数(GI)及平均发芽速度(GV)^[18-19]。

发芽率 GR(%) = (正常发芽种子数/供试种子数) × 100; (2)

发芽势 GE(%) = (发芽数达高峰的前 1/3 天数内正常发芽种子数/供试种数) × 100; (3)

萌发指数 GI = Σ(Gt/Dt)(Gt 为第 t 日的萌发数,Dt 为相应的萌发数); (4)

平均发芽速度 GV = Σ(Gi × Di)/ΣGi(Gi 为第 i d 发芽数,Di 为天数)。 (5)

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 对数据进行预处理,SPSS

20.0 统计分析软件进行单因素方差分析(One – Way ANOVA)及相关性分析,对经方差分析显著的数据采用多重比较(LSD)检验确定各组数据平均值之间的差异,Sigma Plot 14.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 无芒雀麦落粒率变化

研究表明,随着时间的推移,落粒率呈先减小后增大的趋势,并在第 4 次收集时达到最大值,4 次收集次数落粒率分别为 2.87%、2.55%、2.87% 及 3.49%。图 1

2.2 无芒雀麦种子形态特征

研究表明,第 1 次收集种子的宽最小,芒长最大($P<0.05$);第 2 次收集种子的长、种子厚显著小于其他 3 次的($P<0.05$);外稃长及内稃长

均随收集时间的推迟表现出先减小后增大的趋势($P<0.05$)。表 2

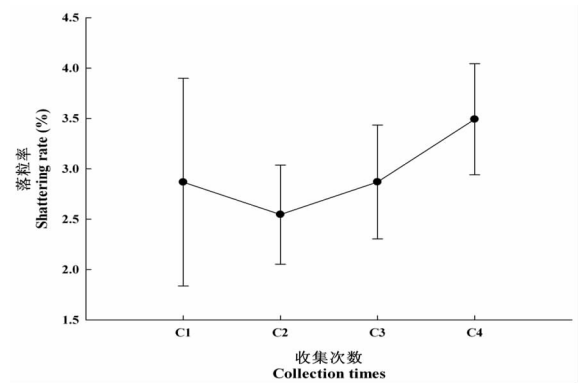


图 1 种子发育过程中落粒率变化
Fig. 1 Changes of shattering rate during seed development

表 2 种子形态特征方差变化

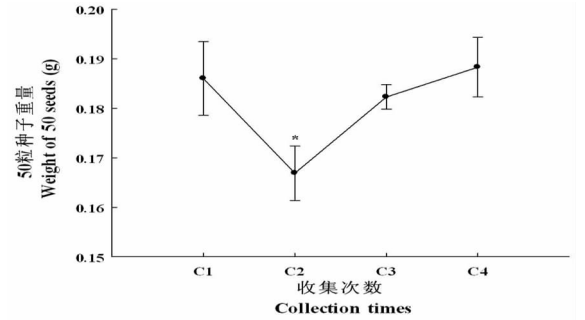
Tab.2 Analysis of morphological characteristics of seeds (Mean ± Sd)

收集次数 Number of collections	种子长 Seed length (mm)	种子宽 Seed width (mm)	种子厚 Seed thickness (mm)	外稃长 Lemma length (mm)	内稃长 Palea length (mm)	芒长 Awn length (mm)
C ₁	8.12 ± 0.07 ^a	1.60 ± 0.03 ^b	0.48 ± 0.02 ^a	10.24 ± 0.12 ^a	9.37 ± 0.09 ^a	1.90 ± 0.10 ^a
C ₂	7.93 ± 0.05 ^b	1.65 ± 0.02 ^{ab}	0.44 ± 0.01 ^b	9.61 ± 0.12 ^b	8.86 ± 0.06 ^c	1.49 ± 0.09 ^b
C ₃	8.18 ± 0.05 ^a	1.71 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.01 ^a	9.49 ± 0.07 ^b	8.86 ± 0.06 ^c	1.57 ± 0.08 ^b
C ₄	8.25 ± 0.07 ^a	1.70 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.01 ^a	10.06 ± 0.1 ^a	9.06 ± 0.06 ^b	1.45 ± 0.07 ^b

注:同行不同小写字母表示相同指标不同收集次数间差异显著($P<0.05$)。下同
Note: Different lowercase letters within the same row indicate significant differences among the same index and different collection times at the 0.05 level, the same as below

2.3 不同收果时间种子重量变化

研究表明,第 2 次收集时的种子重量显著低于其他 3 次($P<0.05$);随着时间的推移,无芒雀麦种子重量整体表现出先减小后增加的趋势。图 2



注:符号*表示不同收集次数的种子重量在 0.05 的水平上差异显著
Note: The symbol * indicates that the seed weight of different collection times is significantly different at the level of 0.05

图 2 不同收集时间种子重量比较
Fig. 2 Comparison of seed weight at different number of collections

2.4 种子萌发特性比较

研究表明,随着生育期的推进,第 1 次收集的种子发芽率显著小于第 3、4 次收集($P<0.05$),而与第 2 次收集之间不存在显著差异($P>0.05$);第 1 次收集种子发芽势显著小于其他 3 次($P<0.05$);萌发指数逐渐增大,且 4 次收集间差异显著($P<0.05$);种子萌发所需要的平均发芽速度逐渐减小,第 1 次收集显著大于其他 3 次($P<0.05$)。图 3

2.5 落粒率与萌发各指标间相关性

研究表明,落粒率与芒长呈极显著正相关关系($P<0.01$);种子长与种子宽、厚、外稃长、内稃长极显著正相关($P<0.01$),与芒长显著正相关($P<0.05$);种子宽与外稃长及内稃长极显著正相关($P<0.01$);种子厚与外稃长极显著正相关($P<0.01$),与内稃长显著正相关($P<0.05$);外稃长与内稃长极显著正相关($P<0.01$)。表 3

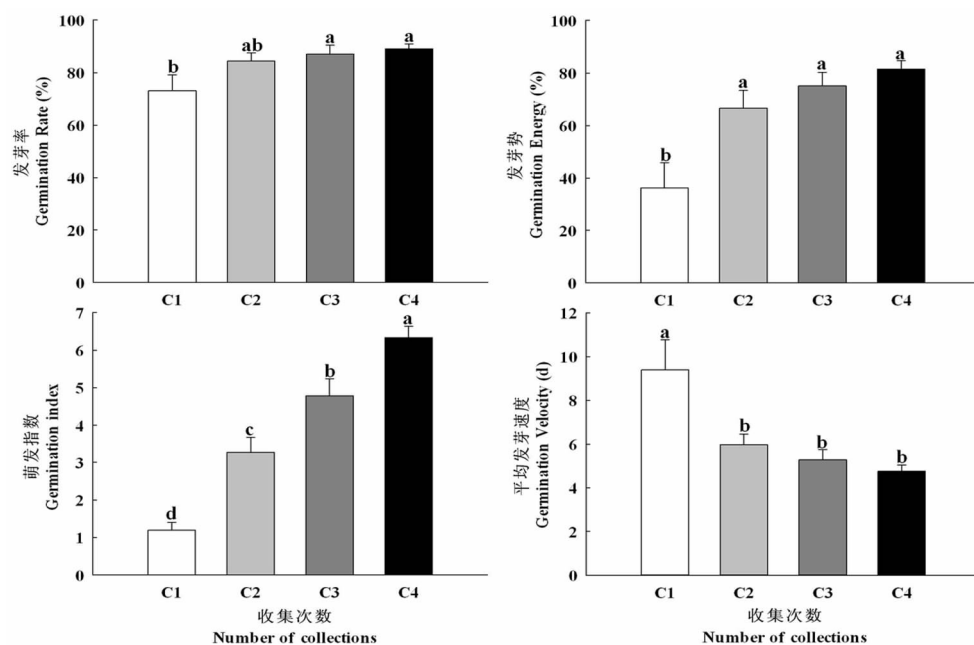


图 3 种子萌发特性比较

Fig. 3 Characteristics of seed germination

表 3 落粒率与种子形态指标间相关性

Tab. 3 Correlation analysis of seed shattering rate and seed morphology

	落粒率 Shattering rate	种子长 Seed length	种子宽 Seed width	种子厚 Seed thickness	外稃长 Lemma length	内稃长 Palea length	芒长 Awn length
种子长 Seed length	0.141						
种子宽 Seed width	0.284	0.383 **					
种子厚 Seed thickness	-0.586	0.172 **	0.037				
外稃长 Lemma length	-0.604	0.489 **	0.169 **	0.123 **			
内稃长 Palea length	-0.652	0.662 **	0.239 **	0.099 *	0.659 **		
芒长 Awn length	1.000 **	0.208 *	0.031	0.058	0.141	0.162	
种子重量 Seed weight	0.924	0.103	-0.007	-0.077	-0.012	0.149	-0.047

落粒率与萌发指标间无显著相关关系 ($P > 0.05$); 发芽率、发芽势及萌发指数间极显著正相关, 与平均发芽速度极显著负相关 ($P < 0.01$)。表 4

3 讨论

王立群等^[20]观察了 5 种禾本科牧草的落粒性, 发现在花后 24 d 时自然脱落率老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 为 26%, 披碱草 (*Elymus dahuricus*) 为 23%, 缘毛雀麦 (*Bromus ciliatus*) 为 14%, 冰草

(*Agropyron cristatum*) 为 7%, 蒙古冰草 (*Agropyron mongolicum*) 为 6%, 而在种子完熟时自然脱落率分别为 35%、28%、20%、10%、11%; 曾霞^[21]研究发现不同海拔垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 种子在生理成熟期落粒率达到 27% ~ 44%; 青海扁茎早熟禾 (*Poa pratensis* var. *anceps* cv. Qinghai) 种子在花后 40 d 落粒率可达到 42.3%^[22]; 吴瑞等^[23]对 15 份青藏高原老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 进行落粒性研究, 发现其自然落粒率在 17.54% ~ 56.92%; 刘祝江等^[24]发现羊草 (*Leymus chinensis*) 的落粒率在 22.8% ~ 79.9%, 而研究中无芒

表4 落粒率与萌发指标间相关性

Tab.4 Correlation analysis of seed shattering rate and germination indicators

	落粒率 Shattering rate	发芽率 Germina tion rate	发芽势 Germin - ation energy	萌发指数 Germin - ation index
发芽率 Germination rate	-0.087			
发芽势 Germination energy	-0.025	0.842 **		
萌发指数 Germination index	0.730	0.453 **	0.634 **	
平均发芽速度 Average germination rate	-0.170	-0.677 **	-0.919 **	-0.581 **

雀麦落粒率在2.55%~3.49%,落粒率显著低于其他禾本科牧草。

种子大小不仅在一个物种、品种或遗传系内变化,也在同一株植物内发生变化,在同一遗传背景下,种子大小的差异很可能是由母体植物所经历的环境因素控制的,对种子个体的生理和发育产生了很大的影响^[25]。研究发现,随着收集次数的推移,种子形态特征整体表现出种子长、种子宽、种子厚增加,外稃长、内稃长表现为先减小后增加,芒长总体减小的趋势;通过相关性分析发现,落粒率与芒长极显著正相关,芒较长的种子最容易从植株上脱落,吴瑞等^[23]研究同样表明种子的落粒率与芒长关系密切;种子重量表现出先减小后增加的趋势。对种子重量与成熟度,发现种子重量受到脱落时间的影响,刘文辉等^[3]研究表明,采收时间的推迟会使禾草种子的重量逐渐增加;张美艳等^[26]研究表明,采收时间对伏生臂形草(*Brachiaria decumbens*)的种子重量产生影响。

种子的粒重、大小是反映其干物质积累程度、种子品质和产量的重要指标,并对种子发芽与成苗产生重要影响^[27]。随着时间的推移,种子体内的贮藏物质逐渐积累,种子的发芽率和种子活力也逐渐提高,一直到生理成熟期达到高峰^[28]。王显国等^[29]研究表明,种子活力随着种子的成熟而逐渐增加并于种子获得最大干重时,活力达到最高。研究中,种子重量在最后1次收集时最大值,发芽率、发芽势及萌发指数随收集时间的推迟逐渐增加,平均发芽速度则越来越短,有研究表明大种子拥有比小种子更高的发芽

率及更低的平均发芽速度^[30]。一般脱落时间越迟的种子,发芽率、发芽势及萌发指数越大,平均发芽速度越快,即种子成熟度越高,发芽能力越强,毛培胜等^[31]研究同样发现种子生活力会随着种子的进一步成熟很快达到较高水平。相关性分析显示,落粒率与萌发特性间并不存在显著的相关关系,种子萌发指标之间除与平均发芽速度之间极显著负相关外,其他指标之间均呈极显著正相关关系。较晚的脱落时间,提高了种子的发芽率、发芽势、萌发指数,加快了种子的发芽速度,种子具有更强的发芽能力。

4 结论

4.1 野生无芒雀麦的落粒率从乳熟期至枯黄期逐渐增加且在植株枯黄期时达到3.82%,落粒性不强。

4.2 随着脱落时间的推移,芒长递减,而种子长、宽、厚等形态指标呈增加趋势,种子外观逐渐变大,重量变重;乳熟期芒长较长、种型较大的种子会最先脱落。

4.3 种子脱落时间越晚,发芽率、发芽势、萌发指数高,发芽速度快,种子发芽能力强。

参考文献(References)

- [1] 王立群,杨静. 禾本科牧草种子脱落机制的解剖学研究[J]. 内蒙古草业,1995,(Z2):47-50.
WANG Liqun, YANG Jing. Anatomical study on seed abscission mechanism of gramineous grasses [J]. Inner Mongolia Prataculture, 1995, (Z2): 47-50.
- [2] 田宏,张鹤山,熊军波,等. 扁穗雀麦种子落粒性和适宜采收期的研究[J]. 湖北农业科学,2015,54(23):5969-5972.
TIAN Hong, ZHANG Heshan, XIONG Junbo, et al. Study on the seed shattering and suitable seed harvesting time of *Bromus cartharticus* Vahl [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(23): 5969-5972.
- [3] 成苗苗,张美艳,蔡明,等. 牧草种子生产中落粒性的影响因素与防控技术[J]. 热带农业科学,2014,34(5):19-24.
CHENG Miaomiao, ZHANG Meiyuan, CAI Ming, et al. Affect factors and controlling measures on seed shattering in forage seed production [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(5): 19-24.
- [4] 刘文辉,梁国玲,周青平,等. 青海扁茎早熟禾种子成熟过程中落粒性与生长生理特性的研究[J]. 种子,2009,28(6):18-23.
LIU Wenhui, LIANG Guoling, ZHOU Qingping, et al. Study on shattering and growth, physiological characteristics of *Poa pratensis* var. *anceps* during the process of seed development [J]. Seed, 2009, 28(6): 18-23.
- [5] 范树高,王彦荣,张妙青,等. 禾本科牧草种子的落粒性[J].

- 草业科学, 2013, 30(9): 1420 - 1427.
- FAN Shugao, WANG Yanrong, ZHANG Miaoqing, et al. Research progress of forage grass seed shattering [J]. *Pratacultural Science*, 2013, 30(9): 1420 - 1427.
- [6] Flore Viard - Cr  tat, Francesco de Bello, Ove Eriksson, et al. Filtering of seed traits revealed by convergence and divergence patterns in subalpine grasslands [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2011, 12(5): 423 - 431.
- [7] Kaushik N, Kumar K, Kumar S, et al. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha (Jatropha curcas L.)* accessions [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2007, 31(7): 497 - 502.
- [8] Isaza C, Anaya K, Jonny Z D P, et al. Image analysis and datamining techniques for classification of morphological and color features for seeds of the wild castor oil plant (*Ricinus communis L.*) [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2018, 77(2): 2593 - 2610.
- [9] 程汉享, 刘景坤, 严廷良, 等. 不同采收期对药用植物 - 益智种子质量的影响研究[J]. *热带作物学报*, 2017, 38(10): 1840 - 1845.
- CHENG Hanting, LIU Jingkun, YAN Tingliang, et al. Effects of different picking on seed quality of medicinal plants *Alpinia oxyphylla* Miq. [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38(10): 1840 - 1845.
- [10] 宫珂, 靳瑰丽, 李陈建, 等. 天山北坡野生无芒雀麦的表型性状[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(9): 2615 - 2621.
- GONG Ke, JIN Guili, LI Chenjian, et al. Phenotypic traits of *Bromus inermis* on the northern slope of Tianshan Mountains [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(9): 2615 - 2621.
- [11] 杨磊. 干旱胁迫对本地和引进无芒雀麦种子萌发及幼苗生理活性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- YANG Lei. *Effect of drought stress on seed germination and physiological activities of Bromus inermis and Bromus stamineus* [D]. Huhhot: Inner Mongolia University, 2017.
- [12] 李波, 李祥莉. $^{60}\text{Co} - \gamma$ 辐射诱变处理对无芒雀麦种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(2): 118 - 123.
- LI Bo, LI Xiangli. Effect of drought resistance of Bromes irradiated by $^{60}\text{Co} - \gamma$ - ray in the seed germination stage [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(2): 118 - 123.
- [13] 孙铁军, 韩建国, 赵守强, 等. 施肥对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响[J]. *草业学报*, 2005, 14(2): 84 - 92.
- SUN Tiejun, HAN Jianguo, ZHAO Shouqinag, et al. Effects of fertilizer application on seed yield and yield components of *Bromus inermis* [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(2): 84 - 92.
- [14] 朱振磊, 张永亮, 潘多锋, 等. 行距与播种量对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响[J]. *草地学报*, 2011, 19(4): 631 - 636.
- ZHU Zhenglei, ZHANG Yongliang, PAN Duofeng, et al. Effect of row spacing and seeding rate on seed yield and yield components of *Bromus inermis* Leyss [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(4): 631 - 636.
- [15] 毛培胜, 韩建国, 王培, 等. 无芒雀麦种子发育过程中的生理生化变化[J]. *中国草地*, 2001, (1): 26 - 31.
- MAO Peisheng, HAN Jianguo, WANG Pei, et al. Changes of physiology and biochemistry during seed development of smooth bromegrass [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2001, (1): 27 - 32.
- [16] 赵旭红. 老芒麦落粒机理初探及新种质创制[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- ZHAO Xuhong. *The primary investigation of seed shattering mechanism and novel accession creation in Siberian wildrye (Elymus sibiricus L.)* [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.
- [17] 李志勇, 师文贵. 无芒雀麦种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- LI Zhiyong, SHI Wengui. *Descriptors and Data Standard for Smooth Brome (Bromus inermis Leyss.)* [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2007.
- [18] 魏志刚, 高玉池, 杨传平, 等. 引种盐松不同种源种子表型性状和发芽特性[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(11): 7 - 10.
- WEI Zhigang, GAO Yuchi, YANG Chuanping, et al. Phenotypic traits and germination characters of *Pinus sylvestris* spp. *kulensis* seeds from different provenances introduced abroad [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(11): 7 - 10.
- [19] 岳永寰, 靳瑰丽, 宫珂, 等. 人工模拟降水格局变化对醉马草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(3): 838 - 846.
- YUE Yonghuan, JIN Guili, GONG Ke, et al. Effects of simulated precipitation pattern changes on seed germination and seedling growth of *Achnatherum inebrians* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(3): 838 - 846.
- [20] 王立群, 杨静, 石凤翎. 多年生禾本科牧草种子脱落机制及适宜采收期的研究[J]. *中国草地*, 1996, (3): 7 - 16.
- WANG Liqun, YANG Jing, SHI Fengling. The study of perennial forage seed fall down function and its collection period [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 1996, (3): 7 - 16.
- [21] 曾霞. 不同海拔垂穗披碱草种子的落粒和发芽特性[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- ZENG Xia. *Seed shattering and germination characteristics of Elymus nutans in different elevations* [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.
- [22] 刘文辉, 周青平, 颜红波. 青海扁茎早熟禾种子生长生理特性研究[J]. *草业科学*, 2007, 24(5): 69 - 73.
- LIU Wenhui, ZHOU Qingping, YAN Hongbo. Study on growing and physiological characteristics of *Poa pratensis* var. *anceps* during the process of seed development [J]. *Pratacultural Science*, 2007, 24(5): 69 - 73.
- [23] 吴瑞, 刘文辉, 张永超, 等. 青藏高原老芒麦落粒性及农艺性状相关性研究[J]. *草业学报*, 2021, 30(4): 130 - 139.
- WU Rui, LIU Wenhui, ZHANG Yongchao, et al. A study of the correlation between seed shattering and agronomic traits of *Elymus sibiricus* on the Qinghai - Tibetan Plateau [J]. *Acta*

- Prataculturae Sinica*, 2021, 30(4): 130–139.
- [24] 刘祝江,陈延,蒙静,等.羊草种子的落粒性及其相关特征的研究[J].草地学报,2013,21(1):152–158.
- LIU Zhujiang, CHEN Yan, MENG Jing, et al. Seed shattering and relevant traits of *Leymus chinensis*. [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2013 21(1): 152–158.
- [25] Martínez – Andújar C, Martin R C, Nonogaki H. Seed traits and genes important for translational biology – highlights from recent discoveries [J]. *Plant & Cell Physiology*, 2012, 53(1): 5–15.
- [26] 张美艳,薛世明,崔玲艳,等.不同收种时间和收种方式对贝斯莉斯克伏生臂形草种子产量和质量的影响[J].草业学报,2014,23(4):351–356.
- ZHANG Meiyan, XUE Shiming, CUI Lingyan, et al. Effect of harvest time and harvest method on seed yield and quality of *Bra-chiaria decumbens* ‘basilisk’ [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014,23(4): 351–356.
- [27] 侯文焕,赵艳红,廖小芳,等.不同采收时间对玫瑰茄种子质量的影响[J].西南农业学报,2019,32(12):2913–2918.
- HOU Wenhuan, ZHAO Yanhong, LIAO Xiaofang, et al. Effects of different harvest times on seed quality of roselle [J]. *South-west China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(12): 2913–2918.
- [28] 兰艳.影响小麦种子活力形成的主要因素研究[D].泰安:山东农业大学,2015.
- LAN Yan. *Studies on the effect of main factors of seed vigor in wheat* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015.
- [29] 王显国,韩建国,陈志红,等.新麦草种子成熟过程中活力变化的研究[J].草地学报,2000,8(4):306–311.
- WANG Xianguo, HAN Jianguo, CHEN Zhihong, et al. Studies on the vigor changes during seed maturation of Russian Wildrye [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2000,8(4):306–311.
- [30] Galíndez G, Ortega – Baes P, Daws M I, et al. Seed mass and germination in Asteraceae species of Argentina [J]. *Seed ence & Technology*, 2009, 37(3):786–790.
- [31] 毛培胜,韩建国,浦心春,等.高羊茅种子成熟过程中的活力变化[J].中国草地,1997,(2):37–42.
- MAO Peisheng, HAN Jianguo, PU Xinchun, et al. Change of seed vigour during maturation in Tall Fescue [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 1997,(2): 37–42.

Seed Morphology and Germination Characteristics of *Bromus inermis* at Different Seed Shattering Times

LIU Wenhao, JIN Guili, WU Xueer, GONG Ke, HAN Wanqiang

(Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology/College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: **[Objective]** Seed morphology and germination characteristics of *Bromus inermis* at different seed shattering times. **[Method]** In this project, the seeds of wild *Bromus inermis* populations in the middle part of the northern slope of Tianshan Mountain were used as research materials. The length, width, thickness, appendages (lemma length, palea length, awn length), seed weight, germination rate, germination potential, germination index and average germination rate of seeds with different natural falling time were studied to explore the effects of different natural falling time on seed morphology and germination characteristics. **[Result]** The seed shattering rate reached 2.42%, 2.45%, 2.95% and 3.82% respectively in the four collection times; with the lapse of abscission time, the seed morphological characteristics showed that the seed length, width, thickness and seed weight increased, the lemma length and palea length decreased first and then increased, and the awn length decreased, and the seeds with longer awn length were most likely to fall off; with the lapse of abscission time, the seed with longer awn length was more likely to fall off, the germination rate, germination energy and germination index increased, but the germination velocity decreased; there was a significant positive correlation between the seed shattering rate and awn length, and the correlation coefficient was 1.000. **[Conclusion]** It can be seen that under the condition of natural abscission, the seed shattering rate of wild *B. inermis* reaches the maximum of 3.82% in the yellow withered stage. The delay of abscission time not only makes the seed volume larger, but also increases the weight of the seed, thus improving the germination ability of the seed.

Key words: *Bromus inermis*; seed morphology; germination characteristics; seed shattering