

低落粒老芒麦种质筛选及农艺性状综合评价

赵旭红, 姜 旭, 赵 凯, 赵希花, 殷 锦, 谢文刚

(草地农业生态系统国家重点实验室/兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020)

摘要:以 28 份野生老芒麦种质为试验材料, 于 2013–2014 年对落粒率等 15 个农艺性状进行田间观测, 采用 SPSS 19.0 数据分析软件对观测指标进行聚类、主成分和相关性分析, 并利用隶属函数法对其农艺性状进行综合评价, 以期筛选出落粒率低和综合性状表现优异的材料。结果表明: 供试老芒麦在盛花期后 31d, 各材料的落粒率显著增加, 达到最大。其中 ZhN03 和 MQ01 的落粒率变化最为明显, 落粒率在 ZhN02、HZ03 和 LQ05 的各单株间存在明显变异。两年落粒观测数据表明 XH09 的落粒率最高, 其次为 XH03、LQ03 和 LQ04。落粒率最低的材料为 ZhN03, MQ01 次之。相关分析表明落粒率与旗叶宽和茎节数呈显著负相关, 与倒二叶宽呈极显著负相关。其余各观测性状也存在较大变异, 分蘖数在所有评价指标中变异性最大, 变异系数为 17.07%。隶属函数分析表明, ZhN03 的综合性状隶属函数值为 0.73, 最接近于 1, 在 28 份种质中综合农艺性状最优。本研究筛选的低落粒老芒麦种质和综合性状优异材料为老芒麦育种提供了宝贵的遗传资源。

关键词:老芒麦; 种质; 落粒率; 农艺性状评价

Screening of Germplasm with Low Seed Shattering Rate and Evaluation on Agronomic Traits in *Elymus sibiricus* L.

ZHAO Xu-hong, JIANG Xu, ZHAO Kai, ZHAO Xi-hua, YIN Jin, XIE Wen-gang

(State Key Lab. of Grassland Agro-ecosystems/College of Pastoral Agricultural Science and Technology,
Lanzhou University, Lanzhou 730020)

Abstract: In this study, 28 *E. sibiricus* accessions were selected and evaluated by 15 agronomic traits in 2013–2014, with the goal of screening the materials with low seed shattering rate and excellent agronomic performance. The cluster analysis, correlative analysis, and component analysis were conducted by SPSS 19.0, and the subordinate function was also used for the comprehensive evaluation of agronomic traits. The results indicated the higher seed shattering rate were found at about 31 days after flowering. Seed shattering variation varied among tested accessions. Great variation existed in ZhN03 and MQ01. Meanwhile, seed shattering variation greatly varied among individual plants of ZhN01, HZ03 and LQ05. Based on two years' data, XH09 had the highest seed shattering rate, followed by XH03, LQ03 and LQ04; ZhN03 and MQ01 had relatively low seed shattering rate. The correlative analysis revealed significantly negative correlation was found between seed shattering rate and flag leaf width, as well as internode number; Length of the second leaf from the inflorescence is highly significant negative correlative with seed shattering rate. Phenotypic variation were also found in other traits, of which tiller number has the greatest variation with the CV of 17.07%. The subordinate function showed ZhN03 had the best comprehensive performance with subordinate function value of 0.73. These screened materials with low seed shattering rate and excellent agronomic performance are important materials for future breeding programs.

Key words: *Elymus sibiricus* L.; germplasm; seed shattering rate; agronomic trait evaluation

老芒麦 (*Elymus sibiricus* L.), 又称西伯利亚披碱草, 是禾本科披碱草属多年生疏丛型中旱生植物,

收稿日期: 2014-11-07 修回日期: 2015-04-02 网络出版日期: 2015-06-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150611.0949.013.html>

基金项目: “973”项目(2014CB138704); 国家自然科学基金项目(31302023); 长江学者和创新团队发展计划(IRT13019)

第一作者研究方向为作物种质资源的创新与利用。E-mail: zhaohx14@lzu.edu.cn

通信作者: 谢文刚, 主要从事牧草种质资源及育种研究。E-mail: xiewg@lzu.edu.cn

具有适应性强、抗寒、粗蛋白含量高、适口性好和易栽培等优点,可用于建植人工草地和放牧草地,对退化草地改良和种草养畜具有重要意义^[1]。我国野生老芒麦资源丰富,主要分布于东北地区和内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川及西藏等省区^[2]。据报道,目前我国已收集到的老芒麦种质资源约 700 份^[4],丰富的野生老芒麦资源为优异种质的挖掘、新种质创制及新品种选育提供了重要的物质基础^[3]。

近年来,随着退牧还草工程的实施,对优质老芒麦品种的需求日益增加,但我国老芒麦育种工作起步较晚,育成品种数量少,远不能满足生产的需要^[5]。据统计,我国通过全国草品种审定委员会审定登记的老芒麦品种仅有 7 个,分别为:吉林老芒麦、川草 1 号老芒麦、川草 2 号老芒麦、农牧老芒麦、青牧 1 号老芒麦、同德老芒麦以及阿坝老芒麦^[6]。这些品种多为当地野生材料驯化而来,品种优势主要集中在产量上,缺乏突出的抗逆性,品种推广和使用范围有限^[1]。

落粒性是植物长期生存竞争中形成的一种有效繁衍后代、扩大种群及抵御恶劣自然条件的适应机制^[7],但却是影响牧草种子生产的重要因素之一,大量种子在成熟时脱落,造成种子产量的严重损失,对品种的选育及推广利用具有不利影响^[8]。研究表明,由于牧草种子成熟期的不一致性和落粒性,牧草种子生产中的实际种子产量仅为潜在产量的 10% ~ 20%^[9]。因此,筛选低落粒率种质,研究其落粒动态,有利于确定种子的最适收获期,不仅可以避免由于过早收获而造成种子活力低、成熟度差和质量差等问题,也可减少因收获过晚而造成的种子落粒损失^[10-11]。落粒增加了老芒麦种子采收的难度,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^[12]。目前,国内外对老芒麦低落粒品种的选育工作开展较少,为解决在实际生产中老芒麦落粒率高的问题,有必要对我国野生老芒麦种质进行低落粒率筛选,发掘优良的遗传变异,同时对老芒麦综合性状进行科学全面的评价,以加速抗落粒老芒麦新品种的选育和推广应用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省兰州大学草地农业科技学院榆中实验站(103°34' E, 35°34' N),海拔 1720 m,年平均气温 6.57 °C,年均降水量 350 mm,全年无霜期

159 d;土壤较为疏松,平均孔隙度为 53%,平均含水率为 14.50%,pH 值为 8.21,土壤表层的平均有机质含量为 1.95%^[13]。

1.2 试验材料

试验以生长在青藏高原东北缘的 28 份野生老芒麦种质为研究对象(表 1)。2013 年 3 月将每份材料的种子在光照培养箱发芽,并在人工智能温室培养,待材料长出 3 片叶子时移栽至榆中实验田,所有材料按常规方式进行田间管理。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计及测定方法 小区面积为 2 m² (1 m × 2 m),行距为 50 cm,株距为 50 cm。2013 和 2014 年,在老芒麦的抽穗期对其株高、茎粗、茎节数、穗长、穗节数、分蘖数、旗叶长、旗叶宽、倒二叶长和倒二叶宽进行田间测量;在子粒蜡熟期测定子粒外稃长、外稃宽、外稃芒长,并测其千粒重。每个指标重复 10 次。

1.3.2 老芒麦落粒率的测定 参照 S. R. Larson 等^[14]测定禾本科牧草种子落粒的方法进行老芒麦落粒率的测定。在 28 份种质均达到乳熟期时,每份种质随机选取 5 个单株,共观测 140 个单株;在每个单株中选取 5 个形状相似、成熟度一致的穗子作为一组,人工用均一力度将每一组穗子震荡 10 次,并记录各组的落粒数。测量时间从老芒麦乳熟期(盛花期 10 d 后)开始直到完熟期,期间每隔 7 d 进行 1 次落粒测定。测定结束后,总落粒数与测定穗子剩余粒数之和为所测穗子总的子粒数,落粒数与子粒总数之比的百分率为老芒麦的落粒率。落粒率计算公式如下:

$$\text{落粒率}(\%) = \frac{\text{穗子落粒数}}{\text{穗子子粒总数}} \times 100$$

1.3.3 数据处理 采用 Excel 7 和 SPSS 19.0 数据分析软件,对观测数据进行统计、相关性、聚类 and 主成分分析,为更直观地展现老芒麦的落粒动态特征,对供试材料的落粒动态进行图表描述。

1.3.4 老芒麦综合性状评价方法 各指标隶属函数值的大小可反映性状品质优劣,通过各指标隶属函数值的平均值大小可对老芒麦综合性状的优劣进行评价,并为老芒麦优异育种材料的筛选提供科学依据。隶属函数值的计算公式^[15-18]如下:

$$R_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (\text{正相关})$$

$$R_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (\text{负相关})$$

表 1 供试老芒麦材料来源

Table 1 The source of all the materials

材料 Materials	来源地 Origin	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	海拔 (m) Altitude
LT05	甘肃省临潭县冶力关镇	103°29′	34°56′	2336
LT02	甘肃省临潭县洮河林场	103°37′	34°45′	3010
LT04	甘肃省临潭县莲花山自然保护区	103°39′	34°55′	2571
LT03	甘肃省临潭县羊沙乡	103°39′	34°49′	2434
ZhN03	甘肃省卓尼县柳林镇	103°34′	34°35′	2605
ZhN05	甘肃省卓尼县木耳镇	103°36′	34°34′	2501
ZhN06	甘肃省卓尼县洮河林场	103°37′	34°46′	2678
ZhN01	甘肃省卓尼县完冒乡	103°01′	34°51′	3218
ZhN07	甘肃省卓尼县完冒乡	103°01′	34°51′	3218
ZhN04	甘肃省卓尼县木耳镇	103°32′	34°33′	2586
ZhN02	甘肃省卓尼县阿子滩乡	103°15′	34°45′	3037
LQ03	甘肃省碌曲县阿拉电站	102°38′	34°33′	3032
LQ10	甘肃省碌曲县郎木寺镇	102°37′	34°05′	3389
LQ04	甘肃省碌曲县西仓乡	102°39′	34°30′	3023
LQ06	甘肃省碌曲县西仓乡	102°33′	34°34′	3095
LQ05	甘肃省碌曲县拉仁关乡	102°39′	34°31′	3030
LQ09	甘肃省碌曲县玛艾镇杂秀村	102°21′	34°29′	3481
HZ02	甘肃省合作市上卡加	102°54′	35°03′	2900
HZ03	甘肃省合作市那吾乡	102°55′	34°55′	3011
HZ01	甘肃省合作市下卡加	102°52′	35°06′	2715
XH02	甘肃省夏河县麻当乡	102°49′	35°13′	2510
XH03	甘肃省夏河县达麦乡	102°33′	35°11′	2896
XH09	甘肃省夏河县阿木去乎乡	102°33′	34°45′	3171
XH06	甘肃省夏河县九甲乡	102°32′	35°12′	2916
SC02	四川省若尔盖县降扎乡	102°46′	34°07′	3126
SC01	四川省若尔盖县红星乡 1 村	102°46′	34°06′	3140
SC03	四川省若尔盖县红星乡	102°44′	34°05′	3175
MQ01	甘肃省玛曲县草原站	102°06′	33°59′	3475

R_{ij} 表示各指标的隶属函数值, X_{ij} 表示所测指标的平均值, X_{jmin} 表示所测指标所有值中的最小值, X_{jmax} 表示所测指标所有值中的最大值。

2 结果与分析

2.1 低落粒老芒麦种质的筛选

研究表明落粒率在 28 份种质的 140 个单株间存在明显差异,总体变异系数达 24.58%,单株间落粒率变化范围为 7.58% (ZhN02) ~ 80.68% (XH09)。140 个单株中落粒率在 30.00% 以下的有

15 个,在 60.00% 以上的有 8 个。28 份种质的平均落粒率见图 1,其中,XH09 种质的平均落粒率为 59.91%,落粒最为严重,其种质内单株间落粒变异较大。XH03、LQ03 和 LQ04 的落粒率均较 XH09 低,分别为 53.25%、52.76% 和 52.37%,其中 LQ03 各单株间落粒率变化最大,LQ04 次之。落粒率最低的材料为 ZhN03,落粒率为 30.10%,单株间落粒变异小。MQ01 落粒率较 ZhN03 高,为 32.50%,单株间落粒变异较大。

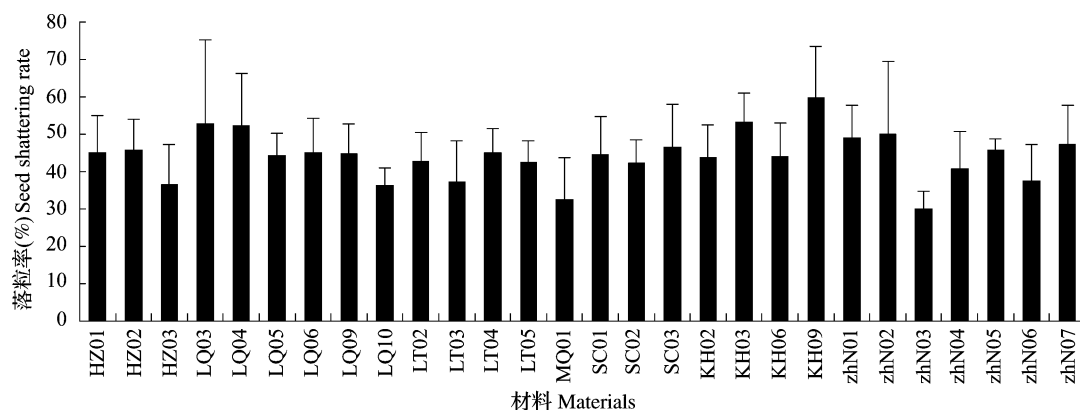


图1 28份供试老芒麦种质落粒率

Fig. 1 The average seed shattering rate of 28 *E. Sibiricus* accessions

2.2 老芒麦落粒动态分析

如图2所示,供试老芒麦种质在盛花期后10 d,各材料的落粒率均较低,且每一份种质单株间的落粒率变异较小,材料间落粒差异不明显;盛花期后17 d,各材料间落粒差异增大,且落粒率普遍高于盛花期后10 d时的观测值,同一种质内各单株间落粒波动性小;盛花期后24 d,各种质间落粒的变化幅度较盛花期后17 d时略小,但大部分材料的落粒率都在持续升高,材料内单株间落粒波动不明显;在盛花期后31 d,除 ZhN03、ZhN05、LT02、XH02、SC02 和 MQ01 的落粒率没有增加或增加较少外,其余材料落粒率都有明显的增加,但同一种质各单株间落粒波动性不明显;盛花期后38 d,各种质的落粒率均远高于前几个测定时期,其中材料 ZhN03 与 MQ01 落粒率的增加最为明显,分别由前4个时期测定的2.38%、10.75%、6.79%、9.73%和0.09%、7.19%、10.31%、9.37%增长到70.36%和73.64%。28份供试老芒麦落粒动态表明,为避免因子粒大量脱落造成产量的严重损失,老芒麦收获时期应在盛花期后38 d之前,尤其是 ZhN03 和 MQ01,在盛花期后31 d之内收获较好,落粒对种子生产造成的损失最小。

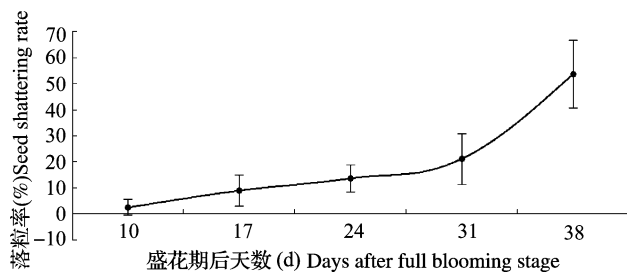


图2 28份供试老芒麦材料的落粒动态

Fig. 2 The dynamics of seed shattering rate of 28 *E. sibiricus*

2.3 老芒麦重要农艺性状的变异分析

采用 SPSS 数据分析软件,对供试老芒麦 15 种观测指标的最小值、最大值、平均值、标准差和变异系数进行分析。结果表明(表2),在28份老芒麦种质间,分蘖数变异最为明显,变异系数为17.07%,说明老芒麦的分蘖数具有丰富的遗传多样性;其次,旗叶宽、茎节数、株高、倒二叶宽、落粒率、千粒重的变异系数分别为16.55%、15.93%、15.77%、15.76%、14.58%和14.08%,表明供试老芒麦种质在分蘖数、株高等主要农艺性状具有较为丰富的遗传变异,可为优质高产老芒麦品种的选育提供重要育种材料。

2.4 老芒麦重要农艺性状的相关性分析

15个农艺性状相关性结果表明(表3),老芒麦的落粒率与旗叶宽、茎节数呈显著负相关,相关系数分别为-0.47和-0.44,落粒率与倒二叶宽呈极显著负相关,相关性系数为-0.50;建议在低落粒老芒麦品种的选育中,应该首先考虑旗叶和倒二叶较宽、茎节数较多的材料。此外,相关性分析结果也表明,老芒麦叶部性状与茎秆性状及其穗部性状也呈现出了一定的相关性。

2.5 供试老芒麦种质聚类分析

基于15个性状的聚类分析表明(图3):28个供试材料被聚为4类。第I类包含21份材料,可分为3个亚类:第1亚类包含 SC03、ZhN07、HZ01、LQ05、LQ09、SC02、ZhN02、LT02、SC01 和 LQ03,共10份材料,这类材料的总体农艺性状表现为中间水平,落粒率普遍较高;第2亚类包含 HZ03、LT03、LQ10、LT05、ZhN04、LQ04、XH03、MQ01、ZhN06 和 XH06,共10份材料,这类材料的植株较低,分蘖数较少;第3亚类仅包含 ZhN05 一份材料,其叶片性

状优良、植株高大、茎粗、穗轴多、穗长、落粒率中等;第Ⅱ类包含 2 份材料: XH02 和 XH09,它们均表现为分蘖少、茎节数多、穗节多、穗长、植株较高大,且落粒率高;第Ⅲ类包括 4 份材料: LT04、ZhN01、HZ02 和 LQ06,这类材料分蘖能力较强、其叶片窄且短、植株较矮、穗短、落粒率较高;第Ⅳ类仅包含 ZhN03,这份材料穗部性状、叶片性状表现突出,具有最多茎节数和分蘖数,总体表现为植株高大,叶片宽且长,穗长,落粒率低,是新品种选育的优良候选材料。

表 2 2013 – 2014 年供试老芒麦材料各观测指标值

Table 2 The results of 15 morphological traits from 2013 to 2014

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
旗叶长(cm) FL	12.46	18.79	16.10	1.56	9.71
旗叶宽(cm) FW	0.73	1.26	0.97	0.16	16.55
倒二叶长(cm) LSLI	17.43	24.32	20.97	1.71	8.16
倒二叶宽(cm) WSLI	0.73	1.33	1.04	0.16	15.76
株高(cm) PH	51.81	96.85	71.46	11.27	15.77
茎粗(cm) SD	0.22	0.29	0.26	0.02	7.72
茎节数 IN	2.00	4.00	3.05	0.49	15.93
分蘖数 TN	89.00	181.00	128.89	22.00	17.07
穗长(cm) PL	16.86	23.49	19.94	1.96	9.83
穗节数 FN	20.00	31.00	24.25	2.60	10.74
千粒重(g) TKW	3.16	5.28	3.84	0.54	14.08
子粒外稃长(cm) KLL	1.03	1.16	1.11	0.03	2.78
子粒外稃宽(cm) KLW	0.15	0.20	0.16	0.01	6.64
子粒外稃芒长(cm) KLAL	1.07	1.48	1.25	0.11	8.45
落粒率(%) SR	30.10	59.91	44.20	6.44	14.58

FL: Flag leaf length,FW: Flag leaf width,LSLI: Length of the second leaf from the inflorescence,WSLI: Width of the second leaf from the inflorescence,PH: Plant height,SD: Stem diameter,IN: Internodes number,TN: Tillering number,PL: Panicle length,FN: Fringe number,TKW: Thousand kernel weight,KLL: kernel long lemma,KLW: kernel lemma wide,KLAL: kernel lemma awn length,SR: Shattered rate. The same as below

表 3 2013 – 2014 年老芒麦性状的相关性分析

Table 3 The correlative analysis on the traits of *Elymus sibiricus* L. grown from 2013 to 2014

性状 Traits	FL	FW	LSLI	WSLI	PH	SD	IN	TN	PL	FN	TKW	KLL	KLW	KLAL	SR
旗叶长 FL	1.00														
旗叶宽 FW	0.67**	1.00													
倒二叶长 LSLI	0.70**	0.57**	1.00												
倒二叶宽 WSLI	0.65**	0.96**	0.64**	1.00											
株高 PH	0.12	0.23	0.22	0.2	1.00										
茎粗 SD	0.45*	0.53**	0.25	0.56**	0.02	1.00									
茎节数 IN	0.12	0.54**	0.28	0.52**	0.44*	-0.04	1.00								
分蘖数 TN	0.06	0.01	0.28	0.05	0.01	-0.04	-0.02	1.00							
穗长 PL	0.22	0.09	0.15	0.04	0.52**	0.03	0.09	-0.01	1.00						
穗节数 FN	0.42*	0.21	0.37	0.25	0.51**	0.27	-0.03	-0.15	0.63**	1.00					
千粒重 TKW	0.08	0.43*	0.19	0.47*	0.19	0.2	0.25	-0.26	0.19	0.31	1.00				
子粒外稃长 KLL	0.15	0.31	0.26	0.36	-0.1	0.32	-0.02	0.09	-0.12	0	0.23	1.00			
子粒外稃宽 KLW	0.24	0.17	0.40*	0.29	-0.09	0.05	-0.08	0.04	-0.33	0.25	0.09	0.12	1.00		
子粒外稃芒长 KLAL	-0.03	0.06	0.09	-0.04	0.47*	-0.14	0.36	-0.06	0.49**	0.29	0.1	0.05	-0.27	1.00	
落粒率 SR	-0.25	-0.47*	-0.29	-0.50**	0.11	-0.11	-0.44*	-0.22	-0.02	0.15	-0.26	-0.12	-0.02	0.03	1.00

* 表示在 0.05 水平上相关性显著,** 表示在 0.01 水平上相关性极显著

* show significance at the level of 0.05,** show significance at the level of 0.01

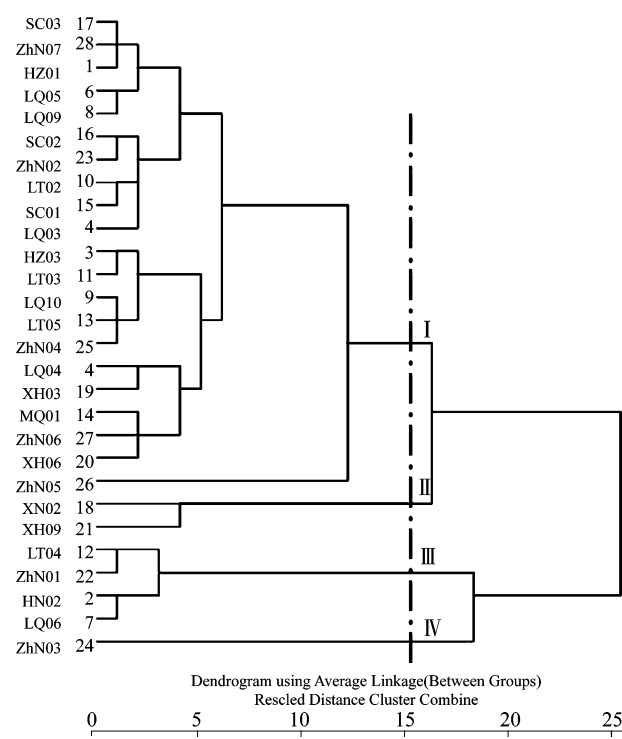


图 3 基于老芒麦 15 个农艺性状的聚类图

Fig.3 The cluster of *E. sibiricus* based on 15 agronomic traits

以老芒麦的落粒率为变量对老芒麦进行聚类(图 4), 28 份种质被聚为 4 类: 第 I 类包含 HZ01、LQ06、LT04、LQ09、SC01、XH02、XH06、LQ05、HZ02、ZhN05、SC03、ZhN07、LT05、SC02、LT02 和 ZhN04 共 16 份材料, 这些材料的落粒率在 40.00%~48.00% (含 48.00%) 之间; 第 II 类包含 LQ03、LQ04、XH03、ZhN01 和 ZhN02 共 5 份材料, 这类材料的落粒率在 48.00%~54.00% 之间; 第 III 类包含 LT03、ZhN06、HZ03、LQ10、MQ01 和 ZhN03 共 6 份材料, 落粒率都在 30.00%~40.00% 之间; XH09 落粒率最高, 被单独聚为第 IV 类。

2.6 老芒麦 15 个农艺性状的主因子分析

28 份供试材料 15 个性状的主成分分析(表 4、表 5)表明: 前 5 个主成分的累加贡献率为 74.916%, 特征值总和为 11.237, 表明这 5 个主成分完全可以表现老芒麦 15 项指标所代表的大部分信息。第 1 主成分主要受旗叶长(0.929)、旗叶宽(0.905)、倒二叶长(0.795)和倒二叶宽(0.748)的影响, 说明第 1 主成分主要反映老芒麦的叶片性状特征; 第 2 主成分受茎粗(0.778)和茎节数(0.722)的影响, 表明第 2 主成分反映植株茎部特征; 第 3 个主成分主要受穗节数(0.596)和千粒重(0.565)的影响, 表明第 3 主成分反映老芒麦种子产量性状; 第 4 主成分受种子外稃长(0.781)和倒二叶长(0.415)的影响大, 表明第 4 主成

分反映老芒麦的种子和叶片的长度特征; 第 5 主成分主要受株高(0.454)和茎粗(0.266)的影响, 表明第 5 主成分集中反映老芒麦茎秆特征。这 5 个主成分客观上代表了老芒麦形态性状的大部分信息, 在进行老芒麦形态特征遗传多样性及相关的研究时, 可以集中在这 5 类性状上。

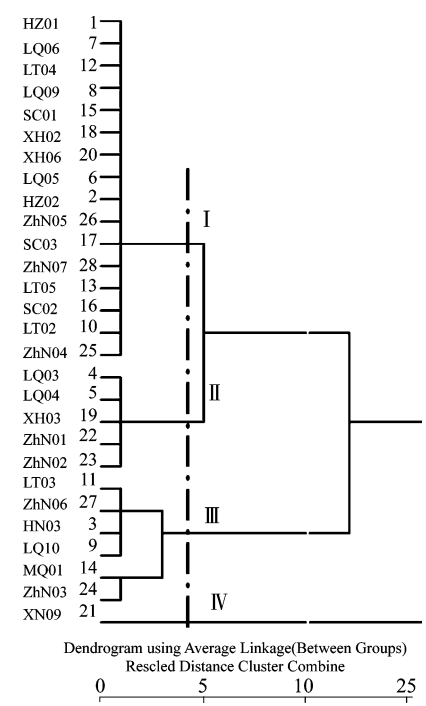


图 4 以老芒麦落粒率为变量的聚类图

Fig.4 The cluster of *E. sibiricus* L. based on seed shattering rate

表 4 各观测指标主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvalue and accumulative contribution rate for *Elymus sibiricus* L.

主成分 Principal com- ponent	特征值 Eigen value	贡献率(%) Rate of variance	累加贡献率(%) Accumulative rate of contribution
1	4.531	30.206	30.206
2	2.532	16.881	47.088
3	1.702	11.349	58.436
4	1.375	9.169	67.606
5	1.097	7.311	74.916
6	0.960	6.398	81.315
7	0.786	5.241	86.556
8	0.631	4.204	90.760
9	0.402	2.682	93.442
10	0.329	2.191	95.633
11	0.230	1.530	97.164
12	0.187	1.248	98.411
13	0.131	0.871	99.283
14	0.090	0.602	99.885
15	0.017	0.115	100

表 5 供试材料前 5 个主成分的因子负荷矩阵

Table 5 Principal component matrix among for *Elymus sibiricus* L.

性状 Traits	第 1 主成分 1st component	第 2 主成分 2nd component	第 3 主成分 3rd component	第 4 主成分 4th component	第 5 主成分 5th component
旗叶长 FL	0.929	-0.253	-0.114	-0.100	-0.034
旗叶宽 FW	0.905	-0.167	-0.171	-0.117	0.031
倒二叶长 LSLI	0.759	-0.11	0.154	0.415	-0.120
倒二叶宽 WSLI	0.748	-0.126	0.314	0.233	0.093
株高 PH	0.538	-0.235	0.311	-0.284	0.454
茎粗 SD	0.293	0.778	0.137	0.108	0.266
茎节数 IN	0.175	0.722	-0.232	0.059	0.093
分蘖数 TN	0.383	0.717	-0.033	0.123	-0.146
穗长 PL	0.505	0.212	-0.695	0.009	-0.283
穗节数 FN	0.489	0.527	0.596	-0.007	-0.101
千粒重 KTW	-0.469	0.284	0.565	-0.104	-0.058
子粒外稃长 KLL	0.059	-0.205	-0.137	0.781	0.277
子粒外稃宽 KLW	0.502	0.112	-0.086	-0.576	-0.161
子粒外稃芒长 KLAL	0.263	-0.407	0.424	0.142	-0.638
落粒率 SR	0.348	-0.305	0.052	-0.204	0.402

2.7 老芒麦农艺性状的综合评价

对老芒麦各性状指标值求隶属函数值,隶属函数值的大小反映了该性状的优劣。隶属函数值越接近 1,说明该性状表现越优异;隶属函数值越接近 0,说明该性状表现越差。对每份材料各性状指标的隶属函数值求平均值,平均值的大小反映该材料综合性状的优劣,隶属函数平均值越接近 1,综合性状就越好;越接近于 0,则越差。

老芒麦 15 种性状的隶属函数值见表 6,ZhN03 的综合性状隶属函数值为 0.73,在所有材料中综合农艺性状最优,主要表现为分蘖数多、旗叶和倒二叶宽且长、植株高、落粒率低、生物产量较高、种子生产受落粒性的影响小。其次,ZhN05、LT02、MQ01 和 ZhN07 的综合性状隶属函数值分别为 0.70、0.68、0.63 和 0.62,综合农艺性状较好。28 份材料中,SC02 的综合性状隶属函数值最小,为 0.22;XH03 次之,为 0.28,说明这两种材料的农艺综合性状均较差。

3 讨论

对 28 份老芒麦种质落粒率观测表明:高落粒率的材料有 XH09、XH03、LQ03 和 LQ04,低落粒率的材料是 ZhN03 和 MQ01。各材料在盛花期后 31~38 d

落粒率明显增大,材料间落粒变化差异明显,为避免因子粒大量脱落造成产量的严重损失,老芒麦种子应在盛花期后 31 d 之内完成收获。各农艺性状相关性分析表明,老芒麦落粒率与旗叶宽、茎节数呈显著负相关,与倒二叶宽呈极显著负相关。在 15 项观测指标的变异分析中,分蘖数的变异最大,多样性最丰富。综合性状评价表明:ZhN03、ZhN05、LT02、MQ01 和 ZhN07 分蘖数多、旗叶和倒二叶宽且长、植株高、落粒率低、生物产量较高,种子生产受落粒性的影响小,综合农艺性状表现较好。

3.1 老芒麦种质落粒率变异

本研究发现,落粒率在老芒麦不同种质间存在不同程度的差异,在同一种质的不同单株之间也存在不同程度的差异(图 1 和图 2),如:ZhN02 和 LQ03 种质内不同单株之间的落粒率差异较大,变异系数分别达到了 47.23% 和 40.50%。本研究结果与游明鸿等^[19]的对川西北老芒麦落粒性研究结果相似。低落粒种质是抗落粒老芒麦新品种选育的基础,同时在后续的育种项目中,也可作为亲本材料组配杂交组合,对现有品种进行遗传改良。这些落粒性存在差异的种质也为进一步开展老芒麦落粒的解剖、遗传和分子机理提供重要的基础。

表 6 各观测指标的隶属函数值
Table 6 The subordinate function analysis for studied traits

材料 Materials	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	S1
HZ01	0.62	0.43	0.79	0.68	0.33	0.42	0.42	0.45	0.00	0.55	0.41	0.81	1.00	0.14	0.50	0.50
HZ02	0.65	0.29	0.55	0.33	0.16	0.46	0.00	0.76	0.43	0.32	0.22	0.51	0.23	0.42	0.48	0.39
HZ03	0.58	0.58	0.80	0.72	0.32	0.43	0.58	0.36	0.32	0.27	1.00	0.74	0.18	0.28	0.79	0.53
LQ03	0.92	0.39	0.74	0.37	0.64	0.52	0.11	0.33	1.00	1.00	0.21	0.39	0.35	0.65	0.24	0.52
LQ04	0.54	0.27	0.65	0.35	0.22	0.04	0.39	0.25	0.60	0.36	0.29	0.62	0.02	0.64	0.25	0.37
LQ05	0.69	0.35	0.27	0.42	0.54	0.49	0.39	0.56	0.59	0.66	0.19	0.36	0.13	0.68	0.52	0.46
LQ06	0.25	0.31	0.39	0.47	0.00	0.36	0.29	0.81	0.11	0.25	0.12	0.96	0.25	0.00	0.50	0.34
LQ09	0.43	0.11	0.43	0.27	0.37	0.04	0.67	0.59	0.52	0.33	0.00	0.56	0.28	0.49	0.51	0.37
LQ10	0.59	0.57	0.52	0.62	0.19	0.30	0.61	0.38	0.06	0.00	0.15	0.44	0.33	0.44	0.80	0.40
LT02	0.86	0.91	0.84	1.00	0.74	0.71	0.79	0.39	0.59	0.86	0.84	0.36	0.42	0.37	0.58	0.68
LT03	0.84	0.40	0.67	0.60	0.42	0.41	0.42	0.37	0.62	0.66	0.31	0.68	0.18	0.14	0.76	0.50
LT04	0.57	0.32	0.60	0.46	0.34	0.97	0.08	0.80	0.55	0.27	0.10	0.84	0.14	0.16	0.50	0.45
LT05	0.29	0.00	0.30	0.28	0.12	0.50	0.37	0.41	0.26	0.12	0.30	0.64	0.16	0.47	0.58	0.32
MQ01	0.51	0.81	0.40	0.78	0.27	0.71	0.71	0.23	0.79	0.60	0.80	1.00	0.16	0.78	0.92	0.63
SC01	0.57	0.41	0.40	0.47	0.59	0.40	0.63	0.35	0.90	0.49	0.71	0.59	0.07	0.54	0.51	0.51
SC02	0.00	0.04	0.09	0.00	0.45	0.00	0.63	0.37	0.22	0.00	0.13	0.22	0.00	0.50	0.59	0.22
SC03	0.70	0.26	0.45	0.35	0.40	0.52	0.66	0.52	0.29	0.33	0.10	0.78	0.10	0.68	0.45	0.44
XH02	0.46	0.53	0.27	0.57	0.54	0.07	0.76	0.00	0.70	0.31	0.28	0.39	0.20	0.54	0.54	0.41
XH03	0.64	0.13	0.42	0.18	0.50	0.13	0.32	0.26	0.19	0.25	0.02	0.61	0.21	0.09	0.22	0.28
XH06	0.54	0.22	0.15	0.29	0.31	0.64	0.29	0.13	0.82	0.43	0.29	0.48	0.07	0.14	0.54	0.36
XH09	0.12	0.02	0.34	0.13	0.78	0.49	0.42	0.02	0.49	0.63	0.39	0.89	0.17	1.00	0.00	0.39
ZhN01	0.26	0.09	0.39	0.19	0.46	0.19	0.71	0.79	0.52	0.21	0.11	0.00	0.13	0.38	0.37	0.32
ZhN02	0.29	0.55	0.00	0.56	0.59	0.49	0.39	0.41	0.07	0.14	0.62	0.79	0.14	0.19	0.33	0.37
ZhN03	0.75	0.76	1.00	0.76	0.99	0.11	1.00	1.00	0.85	0.39	0.32	0.91	0.17	0.94	1.00	0.73
ZhN04	1.00	0.91	0.61	0.81	0.02	0.86	0.50	0.35	0.09	0.06	0.14	0.88	0.25	0.29	0.64	0.49
ZhN05	0.77	0.94	0.73	0.99	1.00	0.93	0.82	0.55	0.92	0.62	0.28	0.75	0.10	0.61	0.47	0.70
ZhN06	0.74	0.82	0.73	0.91	0.52	1.00	0.89	0.22	0.14	0.39	0.22	0.46	0.17	0.28	0.75	0.55
ZhN07	0.90	1.00	0.83	0.97	0.42	0.64	0.89	0.48	0.37	0.36	0.44	0.88	0.24	0.52	0.42	0.62

R1 ~ R15 分别代表旗叶长、旗叶宽、倒二叶长、倒二叶宽、株高、茎粗、茎节数、分蘖数、穗长、穗节数、千粒重、子粒外稃长、子粒外稃宽、外稃芒长和落粒率的隶属函数值,S1 代表材料各指标的隶属函数平均值

R1 ~ R15 represent respectively the subordinative function value of flag leaf length,the flag leaf width,length of the second leaf from the inflorescence,width of the second leaf from the inflorescence,plant height,stem diameter,internodes number,tillering number,panicle length,fringe number,thousand kernel weight,kernel long lemma,kernel lemma wide,kernel lemma awn length and kernel holding rate;S1 represents the mean subordinative function value of every trait

3.2 老芒麦落粒动态与种子收获时期的关系

本研究发现,老芒麦不同种质间落粒率存在明显差异,但具有相似的落粒动态曲线。供试老芒麦在盛花期 31 d 后落粒率激增,在这一时期之前收获种子,则落粒对种子产量造成的损失将会大大降低,但由于种子成熟度的不一致,收获时间过早种子的产量和质量都会降低,因此,明确老芒麦种子收获

最佳时期,对老芒麦种子的产量和质量及后续生产利用具有重要影响。研究表明,蜡熟期收割是提高种子产量的有效途径,种子在这一时期具有发芽力^[19],随着种子成熟度的增加,则落粒率将增大,种子产量将降低。相关研究也表明,种子落粒性与当年的气候、栽培技术等有很大的关系,倒伏的植株落粒率低^[19],栽培历史短的牧草种子自然脱落比较严

重^[20]。由此推测,老芒麦落粒率还可能与栽培区域气候条件、栽培技术、栽培历史以及植株的株型有关。因此,不同区域老芒麦的种子收获时期还应该考虑到老芒麦的具体存在状态。鉴于研究时间和精力有限,本试验重点研究了落粒在不同材料之间的差异以及落粒与形态指标的关系,而对落粒与气候因素、栽培技术和栽培历史的关系还未涉及。所以,要进一步弄清老芒麦落粒与种子收获时期的关系,还需要进行更深入的研究。

3.3 老芒麦落粒率测定方法

植物落粒率的测定方法有人工摇穗法^[21]、高处摔落法^[22-23]、木板滑下法^[24]、拉力仪法^[25]、自然落粒收集法^[26]等。人工摇穗法虽然简单易行,但人工摇动的力度很难掌握,不能准确模拟田间自然落粒情况^[12];高处摔落法由于穗子间密度不同,受力部位难以把握,致使结果重复性较差^[12];木板滑下法对于不同种及品种间的比较具有可操作性,但同样不能准确测定田间条件下的种子落粒率^[12];拉力仪法精确度较高,但费时费力,难以对大量材料进行落粒率的测定^[12];自然落粒收集法可测定落粒动态,并定位落粒部位^[12],但对实验人员的操作要求较高,测定结果受环境条件的影响大,且不利于田间的大量操作。本研究测定老芒麦的落粒率选用了 S. R. Larson 等^[14]测定禾本科牧草种子落粒的方法,这种方法操作简便、快捷,适合于抗落粒材料的筛选,也适合于大田操作,通过采取多次重复测定的方式来降低由摇穗力度不均对测定结果产生的影响,而且连续多次的定期测定能表现出供试材料的落粒动态特征。虽然目前已报道了多种测定落粒率的方法,但每种测定方法都有其具体的适用条件,为更便捷、高效、准确和科学地对老芒麦落粒率进行测定,还需要对老芒麦落粒率测定方法进一步探索和优化。

参考文献

- [1] 马啸,周永红,于海清,等. 野生垂穗披碱草种质的醇溶蛋白遗传多样性分析[J]. 遗传,2006,28(6):699-706
- [2] 郭本兆. 中国植物志:第九卷第三分册[M]. 北京:科学出版社,1987:7-104
- [3] 鄢家俊,白史旦,马啸,等. 老芒麦遗传多样性及育种研究进展[J]. 植物学通报,2007,24(2):226-231
- [4] 王照兰,赵来喜. 老芒麦种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2007:1-2
- [5] 李才旺,柏正强. 适合川西北牧区推广种植的优良牧草新品种川草一号二号老芒麦[J]. 四川草原,1988(4):24-51
- [6] 刘新亮. 两种披碱草属牧草种质资源遗传多样性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011
- [7] 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
- [8] 杨绍华,杨玲,李建君,等. 水稻落粒性的研究进展[J]. 天津农业科学,2011,17(3):112-114
- [9] Lorenzetti F. Achieving potential herbage seed yields in species of temperate regions [C]// Palmerston North, New Zealand: Proceeding of the XVII International Grassland Congress, 1993: 1621-1628
- [10] Hampton J G. Herbage seed lot vigour: Do problems start with seed production[J]. J Appl Seed Prod, 1991(9):87-93
- [11] Hebblethwaite P D, Ahmed M H. Optimum time of combine harvesting for amenity grasses grown for seed [J]. Grass Forage Sci, 1978,33(1):35-40
- [12] 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(9):1420-1427
- [13] 邓峰煜,赵一莎,白泽琳,等. 兰州市夏官营镇农业土壤理化性质分析[J]. 现代化农业,2012(9):22-23
- [14] Larson S R, Kellogg E. Genetic dissection of seed production traits and identification of a major-effect seed retention QTL in hybrid *Leymus* (Triticeae) wildrye[J]. Crop Sci, 2009,49:29-40
- [15] 魏永胜,梁宗锁,山仑,等. 利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J]. 草业科学,2005,22(6):33-36
- [16] 王兰芬,武晶,景蕊莲,等. 绿豆种质资源芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(3):498-503
- [17] 曹齐卫,李利斌,孔素萍,等. 我国设施黄瓜新育成品种芽期耐盐性评价[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(3):546-553
- [18] 席万鹏,王有科,孙飞达. 利用隶属函数值法综合评价花椒的抗旱性[J]. 甘肃林业科技,2004,29(1):5-6
- [19] 游明鸿,刘金平,白史旦,等. 老芒麦落粒性与种子发育及产量性状关系的研究[J]. 西南农业学报,2011(4):1256-1260
- [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
- [21] Ramiah K. Rice breeding and genetics [J]. Tamil Nadu: Indian Council of Agricultural Research, 1953
- [22] 张妙青. 垂穗披碱草种子落粒性及其相关 MADS-box 基因研究[D]. 兰州:兰州大学,2011
- [23] Lamo J, Tongoona P. A new cheap and efficient single-grain shatter tester for use in rice breeding [J]. Crop Sci, 2011,51(2):651-655
- [24] Rao H. A simple device for estimation of sheding [J]. Madras Agric J, 1935,23:77-78
- [25] Yang Q, Kin S M, Zhao X H, et al. Identification for quantitative trait loci controlling grain shattering in rice [J]. Geneti Genom, 2010,32(2):173-180
- [26] 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(6):18-23