



引用格式: 孙艳楠, 路耿新, 李冠义, 等. 燕麦种质资源形态学性状的遗传多样性[J]. 西北植物学报, 2024, 44(1): 0112-0121. [SUN Y N, LU G X, LI G Y, et al. Analysis of the genetic diversity of morphological traits of oat germplasms[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2024, 44(1): 0112-0121.] DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.20230473

燕麦种质资源形态学性状的遗传多样性

孙艳楠, 路耿新, 李冠义, 王欣欣*, 唐 超

(赤峰市农牧科学研究所, 内蒙古赤峰 024031)

摘 要 【目的】燕麦种质资源遗传多样性研究不仅有助于种质资源的收集和评价, 而且对燕麦生产和育种具有重要指导意义。【方法】研究对 260 份燕麦种质资源的 20 个形态学性状多样性、变异及聚类进行分析, 评价其形态学性状的遗传变异水平, 明确燕麦种质资源的性状特点与遗传多样性, 以期对燕麦种质创新和品种改良提供依据。【结果】260 份燕麦种质资源形态学性状间存在广泛的遗传多样性, 质量性状的遗传多样性指数以粒色最大(1.53), 芒色最小(0.76); 12 个数量性状呈正态分布, 数量性状的遗传多样性指数以千粒重最大(2.03), 有效分蘖数最小(1.22), 变异系数最大的是有效分蘖数(89.02%), 最小的是株高(11.19%)。根据燕麦品种(系)间各性状的遗传差异, 聚类分析将供试的 260 份燕麦种质资源分为 6 类, 其中种质群 I 包括 42 份材料, 可作为种用型育种目标的亲本材料; 种质群 II 包括 31 份材料, 可作为选育高产饲草品种的亲本材料; 种质群 IV 包括 41 份材料, 可作为选育大粒专用型品种的育种材料; 种质群 V 包括 46 份材料, 可作为燕麦矮化的亲本材料; 而种质群 III 包括 46 份材料, 种质群 VI 包括 54 份材料, 这两类种质群材料的综合性状表现不突出。【结论】该研究可为内蒙古东部地区燕麦种质资源的保护和开发利用提供理论依据。

关键词 燕麦; 种质资源; 形态学性状; 遗传多样性

中图分类号 Q943; S544.9 **文献标志码** A

Analysis of the genetic diversity of morphological traits of oat germplasms

SUN Yannan, LU Gengxin, LI Guanyi, WANG Xinxin*, TANG Chao

(Chifeng Institute of Agricultural and Animal Sciences, Chifeng, Inner Mongolia 024031, China)

Abstract [Objective] The study of genetic diversity in oat germplasm resources not only contributes to the collection and evaluation of germplasm resources, but also has important guiding significance for the production and breeding of oats. [Methods] This study analyzed the diversity, variation, and clustering of 20 morphological traits in 260 oat germplasm resources, evaluated the genetic variation level of their morphological traits, and examined the traits and genetic diversity of oat germplasm resources, aiming to provide a basis for oat germplasm innovation and variety improvement. [Results] There was a significant genetic diversity of morphological traits in the 260 oat germplasm resources. The genetic diversity index of the qualitative traits was the highest in grain color (1.53) and the lowest in awn color (0.76). The genetic diversity index of the 12 quantitative traits was normally distributed, and that of the quantitative traits was the largest in thousand grain weight (2.03) and the smallest in effective tillers (1.22). The highest variable coefficient was the effective tillering number (89.02%), while the lowest was the plant height

收稿日期: 2023-07-18; 修改稿收到日期: 2023-10-19

基金项目: 国家现代农业(燕麦荞麦)产业技术体系建设专项(CARS-07-G-18); 内蒙古自治区科技重大专项(2021SZD0017)

作者简介: 孙艳楠(1996—), 女, 硕士, 研究实习生, 主要从事作物遗传育种及栽培研究。E-mail: sunyn96@126.com

* 通信作者: 王欣欣, 研究员, 主要从事燕麦等杂粮作物育种与栽培研究。E-mail: wx986@163.com

(11.19%)。According to genetic difference of each characteristic varieties, the 260 accessions should be classified into 6 categories by cluster analysis. Germplasm group I included 42 accessions which could be used as parent materials for seed type selection. Germplasm group II had 31 accessions that could be used as parent materials for breeding high-yield forage varieties. Germplasm group IV includes 41 accessions that could be used for breeding large grain varieties. Germplasm group V includes 46 accessions that could be used as parents for oat dwarfing. Germplasm group III included 46 accessions and group VI included 54 accessions, and both were not outstanding in comprehensive characters analyzed. [Conclusion] This study could provide theoretical basis for the protection, development and utilization of oat germplasm resources in eastern Inner Mongolia.

Key words oat; germplasm resource; morphological traits; genetic diversity

燕麦(*Avena sativa* L.)是禾本科(Gramineae)燕麦族(Aveneae)燕麦属(*Avena* L.)的一年生草本植物,一般分为带稃型(皮燕麦)和裸粒型(裸燕麦)2种,因其营养丰富、粮饲兼用、抗旱、耐瘠薄等特性,深受广大人民的喜爱^[1-2]。燕麦在中国有着悠久的种植历史,种植地主要集中在内蒙古、甘肃、山西、河北和西藏等地区,其中内蒙古由于独特的地理环境与气候条件,十分适宜燕麦生产,因此内蒙古地区是中国燕麦的主产区,也是最好的燕麦原粮产地,其种植面积约占全国的42%以上^[3-5]。

燕麦种质资源的收集及鉴定评价是新品种选育的基础^[6],研究和探讨燕麦种质资源性状间的遗传多样性,对合理利用燕麦种质资源和选育燕麦新品种具有十分重要的指导意义^[7]。国外关于燕麦种质资源收集、鉴定等方面研究较为深入,也采用了分子生物等相关技术手段对燕麦种质资源进行遗传多样性评价,为燕麦分子育种工作提供了依据^[8-10]。以往中国对燕麦的研究主要侧重于栽培技术、生产性能以及营养品质等方面^[3,5,11-13]。近年来随着生物技术的迅猛发展,中国学者也将分子标记等相关技术手段运用到燕麦种质资源遗传多样性分析中,并发现所试材料具有丰富的遗传多样性,为燕麦种质资源的收集保护和育种研究提供了理论依据^[14-15]。虽然分子生物等相关技术手段已被广泛应用于燕麦种质资源的鉴定和评价中^[16],但表型鉴定方法依然是最直接、易行且成本最低的检测方法,也是资源鉴定的首选方法,更是分子鉴定的前提和基础^[6-7]。因此,近年来对燕麦种质资源的生物学性状、农艺性状的遗传多样性研究也逐渐增多,南铭等^[17]、张琦等^[18]、穆志新等^[19]、纪明雪等^[20]分别对不同燕麦种质资源的农艺性状和生物学性状的遗传多样性进行了分析,均发现所试材料遗传基础广、差异大,具有丰富的遗传多样性,为燕麦种质资源的进一步开发利用提供了参考依据。

燕麦是内蒙古农牧业生产过程中不可或缺的重

要粮饲兼用型作物,但是针对于燕麦种质资源评价和筛选的研究主要集中在内蒙古中西部地区^[2,20-21],在内蒙古东部地区的相关研究较少。植物种质资源表型性状的评价过程易受自然因素和人为因素的影响,加之部分研究种质材料份数相对较少,使得反映的信息不够全面^[19,22-23]。

为此本研究通过调查260份燕麦种质资源的20个形态学性状,并对其遗传多样性进行分析,利用遗传变异和聚类分析的方法揭示燕麦种质资源形态学性状之间的遗传关系和变异特点,最大程度地反映260份燕麦种质资源在内蒙古东部地区的综合性状表现,以期对燕麦种质资源的开发利用及品种改良提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试的260份燕麦品种(系)均为裸燕麦,品种(系)编号及名称见表1。以上材料均由国家燕麦荞麦产业技术体系内蒙古赤峰综合试验站提供。

1.2 试验地点及试验设计

试验于2022年5—9月在内蒙古自治区赤峰市喀喇沁旗西桥镇农业产业园试验基地(北纬41°51′,东经119°08′)进行。该基地气候属于温带半干旱大陆性季风气候,降水主要集中在6—8月,雨热同季,无霜期130 d左右,年有效积温2 900~3 100℃,年平均气温为6.5℃,年平均降雨量在300~500 mm之间,多年平均蒸发量为1 600~2 500 mm。

试验地耕作层土壤为砂壤土,前茬作物为玉米,有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量分别为11.2 g/kg、49 mg/kg、21.3 mg/kg和92 mg/kg,pH值7.98。5月16日进行播种,播种方式为人工条播。每份燕麦种质种植4行,行长5 m,行距25 cm,小区面积5 m²(1 m×5 m),小区间距50 cm。播量165 kg/hm²,播种深度4~6 cm。不施肥,旱作,人工除草。

表 1 供试燕麦材料编号与名称

Table 1 The codes and names of oats cultivars in this study

编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)
1	YM023	42	燕科 1 号 Yanke 1	83	YM077	124	YM120
2	YM022	43	白燕 2 号 Baiyan 2	84	YM078	125	09-180-2
3	YM021	44	示 11 Shi 11	85	YM079	126	08119-1
4	YM020	45	定莠 9 号 Dingyou 9	86	YM080	127	07-45
5	YM019	46	草莠 1 号 Caoyou 1	87	YM081	128	07-44
6	YM018	47	YM041	88	YM082	129	07-43
7	YM017	48	YM042	89	YM083	130	07-40-86-2
8	YM016	49	YM043	90	YM084	131	07-9-120-2
9	YM015	50	YM044	91	YM085	132	克旗野生燕麦 Keqi-Wird oats
10	YM014	51	YM045	92	YM086	133	大莠麦-克旗 Keqi-oats
11	YM013	52	YM046	93	YM087	134	11-109
12	YM012	53	YM047	94	YM088	135	10-183
13	YM011	54	YM048	95	YM089	136	赤燕 7 号 Chiyan 7
14	YM010	55	YM049	96	YM090	137	12-13
15	YM009	56	YM050	97	YM092	138	赤燕 6 号 Chiyan 6
16	YM008	57	YM051	98	YM093	139	02-02
17	YM007	58	YM052	99	YM094	140	坝莠 1 号 Bayou 1
18	YM006	59	YM053	100	YM095	141	10-31
19	YM005	60	YM054	101	YM096	142	LY04-09
20	YM004	61	YM055	102	YM097	143	LY04-08
21	YM003	62	YM056	103	YM098	144	LY04-07
22	YM002	63	YM057	104	YM099	145	LY04-06
23	YM001	64	YM058	105	YM101	146	LY04-05
24	YM040	65	YM059	106	YM102	147	LY04-04
25	YM039	66	YM060	107	YM103	148	LY04-03
26	YM038	67	YM061	108	YM104	149	LY04-02
27	YM037	68	YM062	109	YM105	150	LY04-01
28	YM036	69	YM063	110	YM106	151	Y-DZ-4
29	YM035	70	YM064	111	YM107	152	M1-38
30	YM034	71	YM065	112	YM108	153	Y-DZ-7
31	YM033	72	YM066	113	YM109	154	M1-35
32	YM032	73	YM067	114	YM110	155	M1-52
33	YM031	74	YM068	115	YM111	156	M1-53
34	YM030	75	YM069	116	YM112	157	M1-55
35	YM029	76	YM070	117	YM113	158	M1-48
36	YM028	77	YM071	118	YM114	159	M1-36
37	YM027	78	YM072	119	YM115	160	M1-59
38	YM026	79	YM073	120	YM116	161	白燕 8 号 Baiyan 8
39	YM025	80	YM074	121	YM117	162	燕科 2 号 Yanke 2
40	YM024	81	YM075	122	YM118	163	远杂 2 号 Yuanza 2
41	9642-2	82	YM076	123	YM119	164	远杂 1 号 Yuanza 1

续表 1 Continued table 1

编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)	编号 Code	品种(系)名 Name of cultivars (lines)
165	M1-37	189	Y-TC-1	213	M1-1	237	坝菽 8 号 Bayou 8
166	M1-46	190	M1-68	214	M1-20	238	坝菽 6 号 Bayou 6
167	M1-13	191	M1-25	215	M1-8	239	坝菽 13 号 Bayou 13
168	M1-16	192	M1-57	216	M1-6	240	坝菽 14 号 Bayou 14
169	M1-42	193	M1-18	217	Y-DZ-2	241	10-25
170	M1-33	194	Y-DZ-6	218	M1-11	242	108H120
171	Y-TC-34	195	M1-24	219	M1-5	243	杂燕麦 Mixed oats
172	M1-26	196	M1-32	220	Y-DZ-5	244	10-5-9
173	M1-15	197	M1-21	221	M1-45	245	10-5-13
174	Y-TC-2	198	M1-34	222	M1-9	246	10-5-18
175	M1-43	199	M1-2	223	M1-10	247	未知-3 Weizhi-3
176	M1-51	200	M1-30	224	Y-TC-39	248	09-207
177	M1-47	201	M1-23	225	M1-3	249	07-35-31-2
178	Y-TC-47	202	M1-14	226	0905-12-14	250	12-15
179	M1-27	203	M1-7	227	坝菽 16 号 Bayou 16	251	无标签-4 Wubiaoqian-4
180	M1-28	204	Y-TC-16	228	坝菽 19 号 Bayou 19	252	10-152
181	Y-TC-3	205	Y-DZ-3	229	白燕 20 号 Baiyan 20	253	赤燕 5 号 Chiyan 5
182	M1-31	206	M1-12	230	M38	254	10-5-26
183	M1-22	207	Y-DZ-1	231	坝菽 18 号 Bayou 18	255	09-185
184	M1-29	208	M1-44	232	Yy11-18	256	WT-3
185	M1-40	209	M1-19	233	10-5-5	257	10-5-14
186	M1-4	210	M1-50	234	坝菽 1 号 Bayou 1	258	白燕 18 号 Baiyan 18
187	M1-58	211	M1-39	235	坝菽 9 号 Bayou 9	259	GL381
188	M1-49	212	M1-56	236	魏都菽 5 号 Weiduyou 5	260	H44

1.3 性状调查

于成熟期随机选取各材料燕麦单株各 5 株(重复 3 次),调查生物学性状等相关指标。性状调查分为两类:一是描述其穗型、粒型、粒色、芒型、芒色、芒性、落粒性和籽粒饱满度 8 个质量性状,并将各质量性状指标按照标准要求进行分级赋值;二是使用卷尺、游标卡尺、电子天平等工具测量小穗数、主穗籽粒数、主穗籽粒重、主穗穗重、株高、有效分蘖数、茎节数、穗长、旗叶长度、旗叶宽度、茎粗度、千粒重 12 个数量性状。

1.4 数据处理与分析

利用 Excel 2016 整理各性状数据并进行统计分析。质量性状主要统计分析各类别的频率分布并计算遗传多样性指数;数量性状主要计算其平均值、极差、标准差、变异系数和遗传多样性指数等指标。遗传多样性指数计算采用 Shannon-Weaver 信息指数,参照梁国玲等^[6]的方法。使用 Origin 2022 进行正态性检验。使用 R 4.2.2 语言,利用 Ward 法对燕麦种质进行聚类并绘制圆形聚类分析图。

2 结果与分析

2.1 燕麦种质资源质量性状分布及遗传多样性

由表 2 可以看出,260 份燕麦种质资源 8 个质量性状遗传多样性指数范围为 0.76~1.53,顺序依次为粒色(1.53)>粒型(1.02)=芒型(1.02)>籽粒饱满度(1.01)>芒性(0.90)>穗型(0.84)>落粒性(0.82)>芒色(0.76),其中粒色的遗传多样性指数最高,为 1.53。

260 份燕麦种质 8 个质量性状的分布类型和分布频率(表 2)表明,籽粒饱满度较好的种质约占资源总数的 36.15%,籽粒饱满度中等的种质约占资源总数的 48.46%;落粒性一般,口松的种质约占资源总数的 63.46%;60.77%的种质具芒,芒型以弯曲型居多,约占资源总数的 45.00%,芒色以黄色居多,约占资源总数 57.31%,芒性较弱;穗型以侧散型为主,约占资源总数的 70.38%;粒型以披针形居多,约占资源总数的 61.92%;籽粒颜色以白色居多,约占资源总数的 42.69%。

表 2 260 份燕麦种质资源质量性状的遗传多样性

Table 2 Genetic diversity of qualitative traits in 260 oats germplasm resources

性状 Traits	遗传多样性指数 H'	频率分布 Frequency distribution/%						
		0	1	2	3	4	5	6
ST	0.84	—	20.38	70.38	2.31	6.92	—	—
GT	1.02	—	3.85	20.00	14.23	61.92	—	—
GC	1.53	—	42.69	20.77	7.31	10.77	14.23	4.23
AT	1.02	39.23	15.77	45.00	—	—	—	—
AC	0.90	39.23	53.08	7.69	—	—	—	—
ACR	0.76	39.23	57.31	1.92	1.54	—	—	—
SS	0.82	—	63.46	30.38	6.15	—	—	—
GP	1.01	—	15.38	48.46	36.15	—	—	—

注:ST.穗型,1.侧紧型,2.侧散型,3.周紧型,4.周散型;GT.粒型,1.纺锤形,2.披针形,3.线形,4.宽披针形;GC.粒色,1.白色,2.灰色,3.浅黄色,4.黄色,5.浅褐色,6.黑褐色;AT.芒型,0.无,1.挺直,2.弯曲;AC.芒性,0.无,1.弱,2.强;ACL.芒色,0.无,1.黄色,2.褐色,3.黑色;SS.落粒性,1.口松,2.中等,3.口紧;GP.籽粒饱满度,1.瘦小,2.中等,3.饱满。

Note: ST, spike type, 1, lateral tight type, 2, lateral scattered type, 3, circumferential tight type, 4, circumferential scattered type. GT, grain type, 1, spindle shape, 2, wide lanceolate shape, 3, linear shape, 4, lanceolate. GC, grain color, 1, white, 2, gray, 3, light yellow, 4, yellow, 5, light brown, 6, dark brown. AT, awn type, 0, no awn, 1, straight awn, 2, curved awn. AC, awn character, 0, no, 1, weak, 2, strong. ACR, awn color, 0, colorless, 1, yellow, 2, brown, 3, black. SS, seed shattering, 1, high seed shattering, 2, moderate seed shattering, 3, low seed shattering. GP, grain plumpness, 1, thin, 2, medium, 3, full.

2.2 燕麦种质资源数量性状变异及遗传多样性

260 份燕麦种质数量性状变异情况分析(表 3)显示,12 个数量性状的平均变异系数为 28.96%,12 个数量性状的变异系数均大于 10%,且不同性状的变异系数存在很大差异,其中,12 个数量性状的变异系数大小依次为:有效分蘖数>主穗籽粒重>主

穗穗重>主穗籽粒数>主穗小穗数>旗叶宽度>旗叶长度>千粒重>茎节数>穗长>茎粗>株高。12 个数量性状的平均多样性指数为 1.89,遗传多样性指数的排序为:千粒重>株高>主穗小穗数>穗长>主穗籽粒数、茎粗、茎节数>主穗穗重>主穗籽粒重>旗叶长度>旗叶宽度>有效分蘖数。

表 3 260 份燕麦种质资源数量性状变异

Table 3 The phenotypic variation of quantitative traits in 260 oats germplasm resources

性状 Traits	最大值 Max	最小值 Min	标准差 SD	平均值 Mean	极差 Range	变异系数 CV/%	遗传多样性指数 H'
PH/cm	151.10	78.80	12.98	116.03	72.30	11.19	2.01
ST/mm	6.30	2.47	0.65	4.53	3.83	14.34	1.96
EL/cm	23.90	12.80	3.19	21.87	11.10	14.56	1.98
PB	4.00	0.00	0.71	0.80	4.00	89.02	1.22
NSN	8.00	2.60	0.80	4.95	5.40	16.14	1.96
LL/cm	30.10	6.72	3.80	18.14	23.38	20.96	1.85
WL/cm	1.74	0.36	0.23	1.00	1.38	23.20	1.84
SWMs/g	72.60	13.75	9.07	36.22	58.85	25.05	2.00
SNMs	5.64	0.61	0.79	2.27	5.01	34.91	1.94
GNMs	147.20	5.50	19.47	60.98	141.70	31.93	1.96
GWMs/g	3.95	0.17	0.63	1.36	3.78	46.25	1.88
TKW/g	33.95	12.00	3.94	19.75	21.95	19.97	2.03

注:PH.株高;ST.茎粗;EL.穗长;PB.有效分蘖数;NSN.茎节数;LL.旗叶长度;WL.旗叶宽度;SWMs.主穗穗重;SNMs.主穗小穗数;GNMs.主穗籽粒数;GWMs.主穗籽粒重;TKW.千粒重。下同。

Note: PH, plant height. ST, stem thick. EL, ear length. PB, productive branches. NSN, number of stem node. LL, length of leaf. WL, width of leaf. SWMs, spikelet weight of the main spike. SNMs, spikelet number of the main spike. GNMs, grain number of the main spike. GWMs, grain weight of the main spike. TKW, thousand kernel weight. The same as below.

燕麦的平均株高为 116.03 cm,株高变化范围在 78.80~151.10 cm 之间,11.92%的燕麦株高低于 100 cm,株高在 110~130 cm 之间的燕麦种质最多,约为 73.46%;各燕麦种质之间的茎粗具有较大差异,范围在 2.47~6.30 mm 之间,55.77%的燕麦种质茎粗在 4~5 mm 之间,23.46%的燕麦种质茎粗在 5~6 mm 之间;燕麦种质的穗长在 12.80~23.90 cm 之间,其中 72.31%的燕麦种质的穗长在 18~25 cm 之间,仅有 11 个种质的穗长大于 27 cm;73.85%的燕麦种质有效分蘖数在 0.4~1.5 之间,15.38%的燕麦种质有效分蘖数在 0~0.4 之间,10.77%的燕麦种质有效分蘖数大于 1.5;79.23%的燕麦种质茎节数在 4~6 节之间;在旗叶长、宽方面,各种质的旗叶长宽差异极大,旗叶长 在 6.72~30.10 cm 之间,旗叶宽在 0.36~1.74 cm 之间,其中 65.77%的种质旗叶长度在 13

~20 cm 之间,77.69%的种质旗叶宽度在 0.6~1.2 cm 之间;在主穗小穗数和穗重方面,各种质间差异较大,主穗小穗数在 13.75~72.60 个之间,主穗穗重在 0.61~5.64 g 之间,60%的种质主穗小穗数在 27~40 之间,72.92%的种质主穗穗重在 1.5~3.0 g 之间;各燕麦种质在主穗籽粒数和籽粒重上差异较大,主穗籽粒数在 5.50~147.20 个之间,主穗籽粒重在 0.17~3.95 g 之间,64.23%的种质主穗籽粒数在 37~70 个之间,59.62%的燕麦种质主穗籽粒重在 0.8~1.6 g 之间;千粒重的范围在 12.00~33.95 g 之间,其中 76.92%的种质千粒重在 15~25 g 之间。

将 260 份燕麦种质的 12 个数量性状数据进行矩形频率分布直方图展示。由图 1 可看出,燕麦 12 个性状的数据呈现很好的正态分布,数据分布范围较广,表明这 260 份燕麦种质资源存在广泛的遗传多样性。

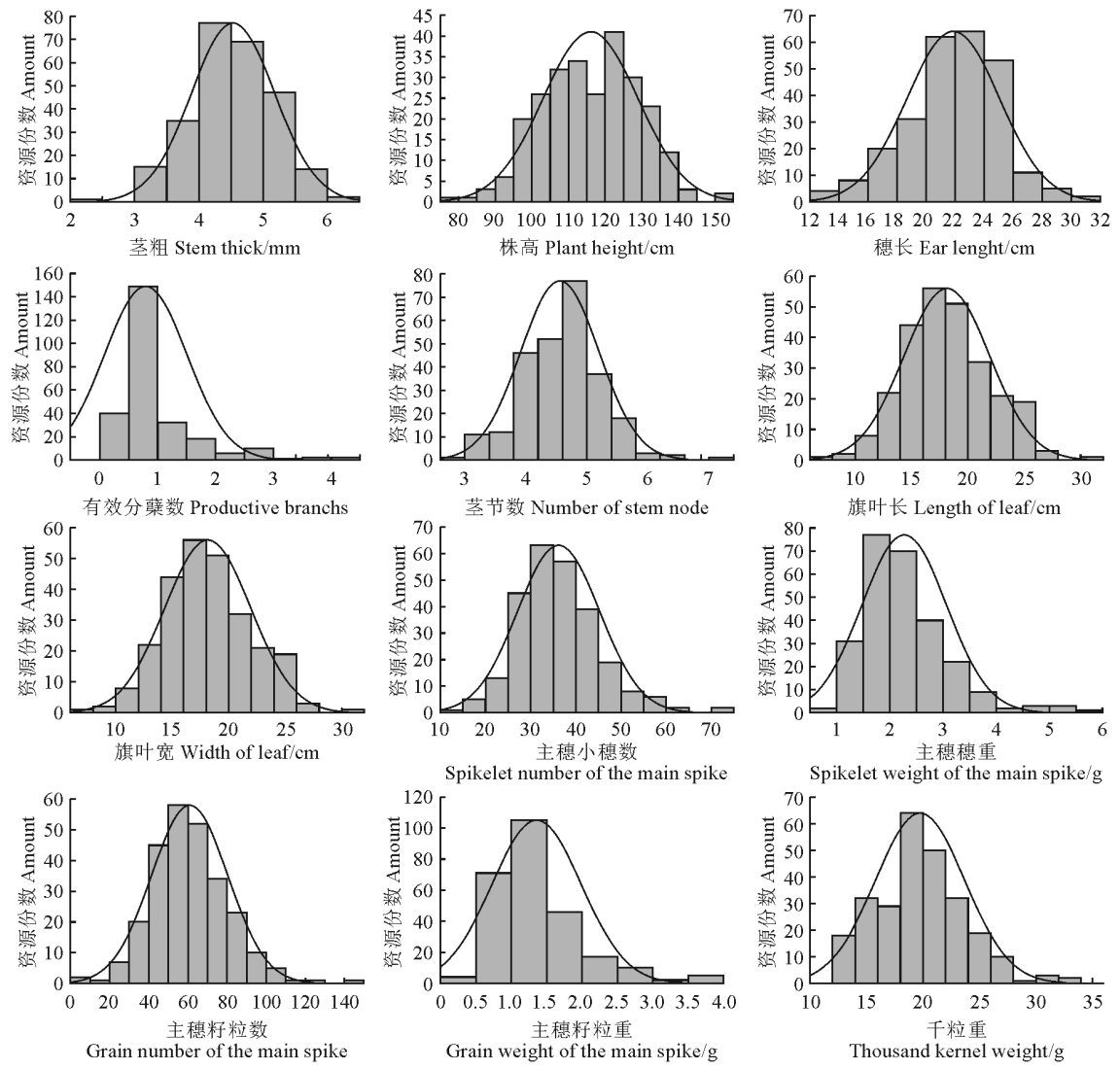


图 1 燕麦种质资源数量性状次数分布

Fig. 1 Distribution of quantitative traits in oats germplasm resources

2.3 燕麦种质资源类群划分及归类

对 260 份燕麦种质资源的 20 个形态学性状数据进行聚类分析,分析结果将 260 份种质划分为 6 类(图 2),并对各类群性状的平均值和变异系数进行统计分析(表 4)。

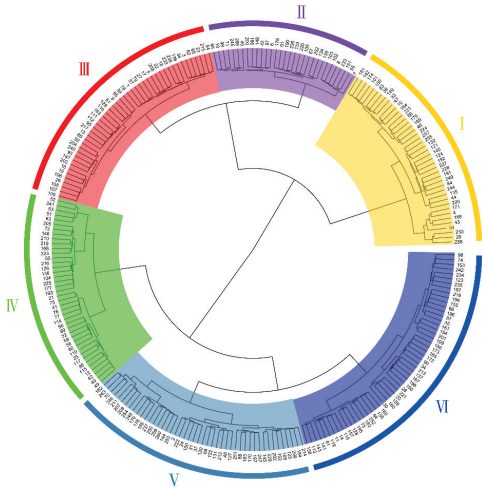


图 2 260 份燕麦种质资源聚类图

Fig.2 Cluster analysis in 260 oats germplasm resources map

第Ⅰ类群包括 42 份种质,这一类群种质穗型以侧紧型和侧散型为主,粒型以纺锤形和宽披针形为主,粒色大部分是白色,大部分种质具黄色的直或弯芒,大部分种质籽粒饱满,落粒性适中;主穗小穗数(47.22 个)、主穗穗重(3.28 g)、主穗籽粒数(92.43 个)、主穗籽粒重(2.01 g)的平均值是 6 个类群中最大的;株高是中等水平,分蘖能力中等,千粒重表现中等。该类群产量相关的性状均最高且籽粒大小适中,种子生产性能较好,具有较高的利用价值。

第Ⅱ类群包括 31 份种质,这一类群种质穗型侧散型、侧紧型和周散型均有,粒型以披针形和线形为主,大部分种质为白色,大部分种质具黄色弯芒,落粒性一般,籽粒饱满度一般;株高(128.28 cm)、茎粗(4.98 mm)、穗长(23.93 cm)的平均值在 6 个类群中处于最高水平,而变异系数较小,分别为 5.56%,13.75%和 14.04%;主穗小穗数(38.45 个)、主穗穗重(2.53 g)、主穗籽粒数(73.24 个)排第 2,主穗籽粒重(1.47 g)排第 3;分蘖能力一般,千粒重表现中等。该类群可以作为选育粮饲兼用型燕麦品种的育种材料。

表 4 260 份燕麦种质资源各类群数量性状特征

		种质群 Germplasm groups					
性状 Traits		I	II	III	IV	V	VI
PH	平均值 Mean/cm	120.80	128.28	126.65	117.49	105.95	103.71
	变异系数 CV/%	10.13	5.56	4.53	9.57	7.04	7.11
ST	平均值 Mean/mm	4.71	4.98	4.59	4.43	4.36	4.32
	变异系数 CV/%	12.99	13.75	13.85	11.40	13.45	15.02
EL	平均值 Mean/cm	21.16	23.93	23.73	22.01	20.53	20.69
	变异系数 CV/%	13.43	14.04	11.92	12.04	12.33	15.11
PB	平均值 Mean	0.80	0.66	0.76	0.96	0.79	0.81
	变异系数 CV/%	96.30	47.58	80.62	99.55	84.19	88.52
NSN	平均值 Mean	5.20	5.10	5.10	4.79	4.93	4.69
	变异系数 CV/%	16.65	11.39	11.64	15.59	18.30	18.03
LL	平均值 Mean/cm	17.41	19.16	18.76	18.78	17.00	18.07
	变异系数 CV/%	24.70	19.64	19.55	15.87	19.88	22.40
WL	平均值 Mean/cm	1.06	1.11	1.02	0.99	0.93	0.93
	变异系数 CV/%	23.49	22.80	21.87	20.58	22.40	22.20
SWMs	平均值 Mean/g	47.22	38.45	32.00	29.23	40.34	31.75
	变异系数 CV/%	19.22	11.85	13.26	23.37	19.03	18.81
SNMs	平均值 Mean	3.28	2.53	1.93	1.62	2.46	1.96
	变异系数 CV/%	25.03	20.55	27.08	28.82	23.52	27.34
GNMs	平均值 Mean	92.43	73.24	57.62	35.92	63.94	48.83
	变异系数 CV/%	14.33	6.42	7.01	27.52	12.13	12.80
GWMs	平均值 Mean/g	2.01	1.47	1.13	0.87	1.50	1.18
	变异系数 CV/%	30.31	25.87	41.36	46.26	36.39	41.35
TKW	平均值 Mean/g	19.42	19.59	17.72	23.81	19.85	20.16
	变异系数 CV/%	12.08	17.79	21.80	22.25	18.87	18.55

第Ⅲ类群包括 46 份种质,这一类群种质的穗型以侧散型为主,粒型纺锤形、宽披针形、线形、披针形均有,但以披针形为最多,粒色较为丰富,白色最多,大部分种质具黄色直芒,落粒性一般,籽粒饱满度中等;该类群与产量相关的主穗籽粒数(57.62 个)、主穗籽粒重(1.13 g)等性状表现较差,且籽粒较瘦小,千粒重在 6 个类群中为最小,仅有 17.72 g,分蘖能力一般。该类群有益性状不明显。

第Ⅳ类群包括 41 份种质,这一类群种质的穗型以侧散型为主,粒型以宽披针形为主,粒色较为丰富,部分种质不具芒,部分种质具黄色弯或直芒,落粒较为严重,籽粒饱满度高;株高(117.49 cm)中等,有效分蘖数(0.96 个)和千粒重(23.81 g)在 6 个类群中最大,但主穗籽粒数(35.92 个)和主穗籽粒重(0.87 g)最小。该类群产量表现较差,但籽粒大小属于大粒型。

第Ⅴ类群包括 46 份种质,这一类群种质的穗型以侧紧型和侧散型为主,粒型分为披针形和宽披针形两种,粒色较丰富,以白色居多,大部分种质不具芒,落粒较为严重,籽粒饱满度适中;株高(105.95 cm)较矮,分蘖能力较好,千粒重(19.85 g)适中。该类群燕麦多为矮秆燕麦品种。

第Ⅵ类群包括 54 份种质,这一类群种质的穗型以侧散型为主,以宽披针形为主要粒型,粒色较丰富,以白色和灰色居多,大部分种质不具芒,落粒较严重,籽粒较为饱满;株高(103.71 cm)最矮,千粒重(20.16 g)适中,分蘖能力较好,但与产量相关的性状表现较差,且无突出优异性状。

3 讨 论

种质资源是育种工作的基础,而种质资源的遗传多样性分析不仅有助于种质资源的管理、评价和利用,更利于核心种质的创新研究^[24-25]。因此,本研究以 260 份燕麦种质资源为对象,通过对供试燕麦种质的 20 个形态学性状进行统计分析,发现各性状遗传差异较大,供试材料遗传基础较广,具有丰富的遗传多样性,对燕麦遗传育种具有重要意义。结果表明,燕麦 8 个质量性状分布类型和分布频率基本涵盖其所有的变异类型。8 个质量性状的遗传多样性指数以粒色最高,这与梁国玲等^[6]、王建丽等^[26]的研究结论相一致,但与南铭等^[17]的粒色遗传多样性指数最低相反,原因可能是所选择的质量性状不同或是其研究的燕麦种质资源数量相对较少所致。

260 份燕麦种质资源的 12 个数量性状均遵从正态分布,但各数量性状的分布存在差异,这表明不同的燕麦种质资源表型多样性丰富,这与梁国玲等^[6]得出的结果基本相同。数量性状遗传多样性指数最高的是千粒重,其次是株高和主穗小穗数,说明影响种子产量的这几个性状遗传差异较大,遗传基础比较广泛,这与齐冰洁等^[21]得出的对燕麦产量起决定作用的单株粒重、千粒重和主穗粒重的遗传多样性指数都很高的研究结果基本一致,也与张坤等^[27]研究得出的主穗小穗数、主穗粒重和千粒重遗传多样性指数较高的结论基本一致。一般情况下当变异系数大于 10% 时则表明该性状在种质个体间的差异较大^[28]。本研究中 12 个数量性状的变异系数均大于 10%,其中有效分蘖数、主穗籽粒重和主穗穗重的变异系数较大,这与耿小丽等^[7]与王娟等^[29]得出的单株分蘖数的变异系数最大的结论相一致,也与南铭等^[17]得出的燕麦单株粒重变异系数最大的研究结论基本相吻合。同时多样性分析也表明,变异系数的高低和遗传多样性指数大小不具有统一性,其原因可能是研究对象、种植区域以及所选性状不同所导致。本研究以 260 份燕麦种质资源为对象,群体庞大,克服了仅以个别性状进行直观、经验性分类的误差,不仅为内蒙古东部地区燕麦种质的科学分类提供了评价方法,也为燕麦品种改良提供了丰富、优良的亲本材料,对合理利用燕麦种质资源具有重要的实际意义。

聚类分析可以明确燕麦种质资源的不同类型,方便选取差异较大的种质材料,为亲本的选择提供理论依据^[30]。本试验将供试的 260 份燕麦种质资源划分为 6 类,明确了供试燕麦种质资源的不同类型,并从形态学上鉴定出一批优异的种质材料。其中类群Ⅰ为籽粒高产型燕麦;类群Ⅱ为粮饲兼用型燕麦;类群Ⅳ为大粒型燕麦;类群Ⅴ为矮秆燕麦;而类群Ⅲ和类群Ⅵ的燕麦性状表现不突出。在实际育种工作中可以根据相应的育种目标选择性状优良互补的亲本材料,使燕麦的育种工作更加高效。同时针对现有的具有丰富表型多态性的燕麦种质资源,在今后应结合细胞生物学和分子生物学方法进行更加深入的鉴定和评价,以便更加准确地了解育种材料,并与常规育种相结合,充分利用其育种潜力,进而提高燕麦育种工作效率。

4 结 论

260 份燕麦种质资源之间遗传多样性较为丰

富,质量性状中粒色的遗传多样性指数最大;数量性状中遗传多样性指数最大的是千粒重,变异系数最大的是有效分蘖数。通过聚类分析将 260 份燕麦种质分为 6 类,其中类群Ⅰ可作为筛选籽粒高产型燕麦的优良亲本;类群Ⅱ可作为筛选高产饲用型燕麦

的优良亲本;类群Ⅳ可作为选育大粒型燕麦的优良亲本;类群Ⅴ可作为选育矮秆燕麦的优良亲本;而类群Ⅲ和类群Ⅵ的材料并未发现突出的特点。在实际育种工作中可以依据不同的育种目标选择相应的亲本材料,以使燕麦育种中的亲本选配更趋完善。

参考文献:

[1] 刘景辉,胡跃高. 燕麦抗逆性研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2011: 1-2.

[2] 叶文兴,石凤翎,赵萌莉,等. 适宜内蒙古中西部地区饲用燕麦品种筛选[J]. 中国草地学报, 2022, 44(3): 66-71.

YE W X, SHI F L, ZHAO M L, *et al.* Screening of suitable forage oat varieties in central and western regions of Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(3): 66-71.

[3] 马凤仪,赵宝平,张茹,等. 燕麦植株生长及叶片生理活性对土壤镉胁迫的响应[J]. 西北植物学报, 2022, 42(8): 1347-1354.

MA F Y, ZHAO B P, ZHANG R, *et al.* Response of oat plant growth and leaf physiological activity to soil cadmium stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(8): 1347-1354.

[4] 王凤梅. 内蒙古燕麦种植情况调查研究[J]. 农业与技术, 2015, 35(16): 120.

WANG F M. Investigation on oat planting in Inner Mongolia[J]. *Agriculture and Technology*, 2015, 35(16): 120.

[5] 景芳,任生兰,边芳,等. 16 个燕麦品种在甘肃陇中地区的适应性评价与筛选[J]. 中国草地学报, 2023, 45(1): 68-76.

JING F, REN S L, BIAN F, *et al.* Adaptability evaluation and screening of 16 oat varieties in Longzhong area of Gansu[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2023, 45(1): 68-76.

[6] 梁国玲,刘文辉,马祥. 590 份皮燕麦种质资源穗部性状遗传多样性分析[J]. 草地学报, 2021, 29(3): 495-503.

LIANG G L, LIU W H, MA X. Phenotypic diversity of panicle among 590 covered oats germplasm resources in apline of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(3): 495-503.

[7] 耿小丽,张榕,张少平,等. 130 份燕麦种质表型性状多样性分析及评价[J]. 草业科学, 2020, 37(10): 2022-2034.

GENG X L, ZHANG R, ZHANG S P, *et al.* Comprehensive evaluation of the phenotypic diversity of 130 oat germplasms[J]. *Pratacultural Science*, 2020, 37(10): 2022-2034.

[8] HERMANN M H, YU J Z, BEUCH S, *et al.* Quantitative trait loci for quality and agronomic traits in two advanced back-cross populations in oat (*Avena sativa* L.)[J]. *Plant Breed*, 2014, 133(5): 588-601.

[9] TINKER N A, WIGHT C P, BEKELE W A, *et al.* Genome analysis in *Avena sativa* reveals hidden breeding barriers and opportunities for oat improvement[J]. *Communications Biology*, 2022, 5(1): 474.

[10] ZIMMER C M, MCNISH I G, ESVELT K K, *et al.* Genome-wide association mapping for kernel shape and its association with β -glucan content in oats[J]. *Crop Science*, 2021, 61(6): 3986-3999.

[11] 李英浩,刘景辉,赵宝平,等. 干旱胁迫下腐植酸对燕麦叶片非结构性碳水化合物代谢的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(12): 2101-2107.

LI Y H, LIU J H, ZHAO B P, *et al.* Effects of humic acid on metabolism of Non-structural carbohydrates in oat leavers under drought stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40(12): 2101-2107.

[12] 付东青,王彦超,毛家乡,等. 山区旱作条件下不同燕麦品种品质分析及评价[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(2): 344-352.

FU D Q, WANG Y C, MAO J X, *et al.* Comprehensive quality analysis and evaluation oat varieties under dry farming conditions in balluk mountain[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(2): 344-352.

[13] 朱珊珊,米俊珍,赵宝平,等. 干旱胁迫下喷施黄腐酸对燕麦光合及其抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2022, 42(11): 1902-1909.

ZHU S S, MI J Z, ZHAO B P, *et al.* Effect of fulvic acid on photosynthesis and antioxidant enzyme activities of *Avena sativa* under drought stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(11): 1902-1909.

[14] 宋高原,霍朋杰,吴斌,等. 裸燕麦子粒性状的 QTL 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(5): 1034-1039.

SONG G Y, HUO P J, WU B, *et al.* Study on QTLs for grain traits in hexaploid naked oat[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(5): 1034-1039.

[15] 相怀军,张宗文,吴斌. 利用 AFLP 标记分析皮燕麦种质资源遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 271-277.

XIANG H J, ZHANG Z W, WU B. Assessment of genetic diversity for hulled oat germplasm using AFLP markers[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(3): 271-277.

[16] 齐冰洁,张智勇,赵利梅,等. 燕麦种质资源遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(4): 648-652.

QI B J, ZHANG Z Y, ZHAO L M, *et al.* Genetic diversity of oat germplasm revealed by AFLP analysis[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(4): 648-652.

[17] 南铭,马宁,刘彦明,等. 燕麦种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 262-267.

NAN M, MA N, LIU Y M, *et al.* Genetic diversity analysis on agronomic characteristics of oat germplasms[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(1): 262-267.

[18] 张琦,魏臻武,闫天芳,等. 燕麦种质资源农艺性状遗传多样性的鉴定评价[J]. 草地学报, 2021, 29(2): 309-316.

ZHANG Q, WEI Z W, YAN T F, *et al.* Identification and evaluation of genetic diversity of agronomic traits in oat germplasm resources[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(2): 309-316.

[19] 穆志新,刘龙龙,张丽君,等. 燕麦资源生物学性状多样性分析[J]. 山西农业科学, 2016, 44(12): 1751-1754.

MU Z X, LIU L L, ZHANG L J, *et al.* Diversity analysis on biological characters of oat resources [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(12): 1751-1754.

[20] 纪明雪,张智勇,齐冰洁,等. 燕麦种质资源抗倒伏及生物学性状的差异评价[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(4): 453-462.

JI M X, ZHANG Z Y, QI B J, *et al.* Evaluation of lodging resistance and difference of biological characters of oat germplasm resources[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(4): 453-462.

[21] 齐冰洁,刘景辉,张智勇,等. 燕麦种质资源生物学性状的遗传多样性[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(4): 594-599.

QI B J, LIU J H, ZHANG Z Y, *et al.* Genetic diversity of biological characters in oat germplasm[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2008, 28(4): 594-599.

[22] 卢中科,曾亚军,王港,等. 贵州核桃种质资源表型性状多样性研究[J]. 西北植物学报, 2023, 43(3): 462-473.

LU Z K, ZENG Y J, WANG G, *et al.* Phenotypic traits diversities of walnut germplasm resources in Guizhou[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2023, 43(3): 462-473.

[23] 韩振诚,李苇洁,王加国,等. 贵州野生猕猴桃表型遗传多样性分析[J]. 西北植物学报, 2023, 43(8): 1378-1395.

HAN Z C, LI W J, WANG J G, *et al.* Phenotypic genetic diversity of wild kiwifruit resource distributed in Guizhou[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2023, 43(8): 1378-1395.

[24] 张锦豪,王树彦,杨恩泽,等. 藜麦种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国草地学报, 2022, 44(12): 37-46.

ZHANG J H, WANG S Y, YANG E Z, *et al.* Genetic diversity analysis of phenotypic traits in *Chenopodium quinoa* Willd. germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(12): 37-46.

[25] TINKER N A, KILIAN A, WIGHT C P, *et al.* New DArT markers for oat provide enhanced map coverage and global germplasm characterization[J]. *BMC Genomics*, 2009, 10(1): 39.

[26] 王建丽,马利超,申忠宝,等. 基于遗传多样性评估燕麦品种的农艺性状[J]. 草业学报, 2019, 28(2): 133-141.

WANG J L, MA L C, SHEN Z B, *et al.* An evaluation of agronomic traits and genetic diversity among 51 oat germplasm accessions[J]. *Acta Prataculturae Sinice*, 2019, 28(2): 133-141.

[27] 张坤,颜红波,周青平,等. 42 份燕麦种质资源农艺性状多样性研究[J]. 青海大学学报, 2014, 32(4): 11-16, 26.

ZHANG K, YAN H B, ZHOU Q P, *et al.* Analysis of genetic diversity of biological characters on 42 oat germplasm resources[J]. *Journal of Qinghai University*, 2014, 32(4): 11-16, 26.

[28] 李颖,毛培胜. 燕麦种质资源研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 72-76.

LI Y, MAO P S. Research progress on oat germplasm resources[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(1): 72-76.

[29] 王娟,李荫藩,梁秀芝,等. 北方主栽燕麦品种种质资源形态多样性分析[J]. 作物杂志, 2017(4): 27-32.

WANG J, LI Y F, LIANG X Z, *et al.* Morphological diversity of main oat germplasm resources in northern China[J]. *Crops*, 2017(4): 27-32.

[30] 曾翰国,岳佳铭,张曙恒,等. 76 份老芒麦种质资源的农艺性状综合评价[J]. 草地学报, 2022, 30(11): 3046-3055.

ZENG H G, YUE J M, ZHANG S H, *et al.* Comprehensive evaluation of agronomic traits of 76 germplasm resources of *Elymus sibiricus*[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(11): 3046-3055.