

DOI:10.11686/cyxb2021217

http://cyxb.magtech.com.cn

沈吉成, 王蕾, 赵彩霞, 等. 77份裸燕麦品种籽粒相关性状分析. 草业学报, 2022, 31(3): 156—167.

SHEN Ji-cheng, WANG Lei, ZHAO Cai-xia, et al. Analysis of the grain related traits of 77 naked oat varieties. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(3): 156—167.

77份裸燕麦品种籽粒相关性状分析

沈吉成^{1,2}, 王蕾^{1,2}, 赵彩霞^{1,2,3}, 叶发慧^{1,2,3}, 吕士凯^{1,2}, 刘德梅^{1,2}, 刘瑞娟^{1,2}, 张怀刚^{1,2,3}, 陈文杰^{1,2*}

(1. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 中国科学院西北高原生物研究所, 中国科学院种子创新研究院, 青海 西宁 810008; 2. 青海省作物分子育种重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:对77份裸燕麦品种籽粒品质等相关性状进行测定,运用聚类分析方法对测定指标进行分类比较,并采用灰色关联度进行综合评价,以期筛选出籽粒性状在青海表现良好的裸燕麦品种。主要研究结果如下:1)供试燕麦品种千粒重变异系数最高为49.29%,籽粒粗脂肪和粗蛋白含量变异系数相对较低,分别为12.23%和9.83%;千粒重与籽粒长度、宽度和直径呈极显著正相关;籽粒含水率与粗蛋白、淀粉含量呈极显著负相关,籽粒粗蛋白含量与粗脂肪含量呈极显著负相关;2)灰色关联分析表明77份裸燕麦品种籽粒性状综合评价较高的3个品种分别为5号(0.679)、73号(0.676)和26号(0.649);3)供试燕麦性状聚类分析表明,77份裸燕麦品种可被分成6个类群,其中类群Ⅵ中综合评价前10的品种占70%,包括综合评价较高的3个品种(5号、73号和26号),可考虑作为优异燕麦品种的选择区域。

关键词:裸燕麦;籽粒营养品质;权重;灰色关联度;综合评价

Analysis of the grain related traits of 77 naked oat varieties

SHEN Ji-cheng^{1,2}, WANG Lei^{1,2}, ZHAO Cai-xia^{1,2,3}, YE Fa-hui^{1,2,3}, LV Shi-kai^{1,2}, LIU De-mei^{1,2}, LIU Rui-juan^{1,2}, ZHANG Huai-gang^{1,2,3}, CHEN Wen-jie^{1,2*}

1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Innovation Academy for Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Crop Molecular Breeding, Xining 810008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The objective of this study was to measure the grain quality and other traits of 77 naked oat (*Avena nuda*) varieties, and use the cluster analysis method to classify and compare the measurement indicators, and use the gray correlation degree for a multivariate evaluation, to identify naked oat varieties most suitable for planting in Qinghai. The main findings were as follows: 1) The coefficient of variation of 1000-grain weight was the highest at 49.29%, followed by grain crude fat and crude protein contents (12.23% and 9.83%, respectively). The highest significant positive correlations with 1000-grain weight were for grain length, width and diameter. The grain crude protein and starch contents were significantly negatively correlated with grain moisture content, and the grain crude protein content was extremely significantly negatively correlated with crude fat content. 2) The results of multivariate

收稿日期:2021-06-01;改回日期:2021-08-20

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0303),青海省重点研发与转化计划项目(2019-NK-117),青海省创新平台建设项目(2021-ZJ-Y05)和中国科学院青年创新促进会(2019420)资助。

作者简介:沈吉成(1989-),男,甘肃兰州人,助理工程师,硕士。E-mail: 1911561480@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wjchen@nwpb.cas.cn

evaluation of multiple indicators of the tested oat varieties using grey system theory showed that three varieties with the best multivariate score among the 77 different naked oat varieties were No. 5 (0.679), No. 73 (0.676) and No. 26 (0.649). 3) Cluster analysis of the same traits of the tested varieties yielded six groups, and among these group VI included 70% of the top 10 varieties identified by multivariate evaluation, including the 3 varieties with the highest multivariate score (Nos. 5, 73 and 26). This group can therefore be regarded as identifying excellent naked oat varieties.

Key words: naked oat; grain nutritional quality; weight; gray relevancy; multivariate evaluation

燕麦(*Avena sativa*)是禾本科燕麦属(*Avena*)一年生粮饲兼用作物,具有生产潜力大,适应性强、高产优质等特点,广泛种植于世界各地,既为畜牧业提供了大量的饲草来源,其籽粒也是重要的粮食,尤其对我国畜牧业发展和生态建设都具有重要意义^[1-2]。相关研究表明燕麦的籽粒产量在世界粮食产量中居第六位,因其籽粒中蛋白质、淀粉等含量居8种主粮作物之首,可作为极好的营养食品^[3-4];燕麦籽粒的蛋白质不仅含量较高,更是一种优质的谷物蛋白,同时燕麦籽粒中 β -葡聚糖、酚类和油脂等还具有潜在的降血脂功能^[5-6]。目前我国燕麦种植面积达到 $34.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右,主要分布在华北、东北、西北等各大生态区^[7-8]。按脱粒种子是否带稃可将燕麦分为带稃型和裸粒型两大类,带稃型的燕麦常被称为皮燕麦(*Avena sativa*),裸粒型的燕麦则常被称为裸燕麦(*Avena nuda*),其中皮燕麦起源于伊朗和俄罗斯等地,而裸燕麦则起源于中国和蒙古国^[9-10]。通常认为裸燕麦由于籽粒中含有丰富的蛋白质、脂肪等营养物质,可以作为极好的膳食纤维,而皮燕麦因其茎叶汁多柔嫩,粗蛋白含量高,氨基酸含量均衡等特点作为饲草使用,我国栽培的燕麦则是以裸燕麦为主^[11-12]。大量研究表明,不同燕麦品种由于遗传基础不同,其适应能力和生长潜力差异较大,同时不同生态条件和栽培措施下燕麦品种的农艺性状和品质表现各异,筛选出的适宜栽培品种不尽相同^[13-14]。因此开展不同燕麦品种籽粒性状差异研究,通过熵权赋权法的灰色系统理论对燕麦种质资源进行综合评价可以为优异燕麦品种的挖掘提供基础数据^[15-16]。

以往关于青海地区不同燕麦品种产量与品质评价的研究主要集中在饲草产量和品质等方面^[17-18],但对裸燕麦品种籽粒表型性状和品质方面缺乏研究,因此本研究运用聚类分析方法对77个裸燕麦品种进行分类比较,并采用灰色关联度进行综合评价,筛选籽粒性状优异的裸燕麦品种,以期作为引种和选育适宜该地区种植的优异裸燕麦品种提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试裸燕麦品种来自17个国家(77份),由青海省作物分子育种重点实验室提供。其中来自德国的材料最多,占20.78%,其次为来自俄罗斯和法国的材料,分别占10.39%和9.09%。供试裸燕麦品种在各年限种植后均有稳定表现,发芽率 $\geq 95\%$,本研究于2020年4月播种,用于收获后测定籽粒相关性状,裸燕麦起源地见表1。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 试验区概况 本研究于2020年3—9月在中国科学院西北高原生物研究所海东生态农业试验站进行($100^{\circ}41.5' - 103^{\circ}04' \text{ E}$, $35^{\circ}25.9' - 37^{\circ}05' \text{ N}$),该地区属于典型的黄土高原向青藏高原过渡镶嵌地带,海拔2016 m,年均气温 $3.2 \sim 8.6^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $319.2 \sim 531.9 \text{ mm}$,蒸发量 $1275.6 \sim 1861 \text{ mm}$,年均日照 $2708 \sim 3636 \text{ h}$,无霜期约90 d。

1.2.2 籽粒表型形态测定 燕麦收获后,每个品种随机选取50粒完整的燕麦籽粒,固定在同一直线夹板上,用游标卡尺(ACE101-150,广东)分别测定50粒籽粒总的长度、宽度和直径,每个品种测定3次重复,然后换算成单个籽粒长度(mm)、宽度(mm)和直径值(mm);千粒重用万分之一电子天平(BSA224S,德国Sartorius)测定,每次随机取500粒称重,3次重复,最后换算成千粒重(g)。

1.2.3 籽粒品质指标测定 将燕麦籽粒去除碎麦、石粒等杂物,放入离心粉碎机中进行粉碎,经 0.25 mm 滤

网过滤,将各测定样品充分混匀后置于阴凉处保存。参照 GB/T 20264-2006^[19],使用便携式快速水分测定仪(PM-8188-A,日本KETTT)测定样品含水率(%);参照 GB/T 5519-2008^[19],采用粗蛋白自动分析仪(KDN-08C,托普云农)测定粗蛋白含量(%);参照 GB/T 14772-2008^[19],使用脂肪抽提测定仪(JOYN-SXT-06,巴跃仪器)测定粗脂肪含量(%);使用 DA7200 近红外仪(Perten,瑞典波通)测定淀粉含量;重复 3 次。

表 1 供试裸燕麦品种

Table 1 The naked oats varieties for testing

编号 No.	来源 Origin	编号 No.	来源 Origin	编号 No.	来源 Origin	编号 No.	来源 Origin
1	美国 United States	21	俄罗斯 Russia	41	英国 United Kingdom	61	法国 France
2	美国 United States	22	俄罗斯 Russia	42	荷兰 Netherlands	62	波兰 Poland
3	加拿大 Canada	23	俄罗斯 Russia	43	荷兰 Netherlands	63	美国 United States
4	俄罗斯 Russia	24	俄罗斯 Russia	44	德国 Germany	64	波兰 Poland
5	日本 Japan	25	德国 Germany	45	德国 Germany	65	荷兰 Netherlands
6	日本 Japan	26	罗马尼亚 Romania	46	加拿大 Canada	66	荷兰 Netherlands
7	日本 Japan	27	德国 Germany	47	英国 United Kingdom	67	德国 Germany
8	捷克斯洛伐克 Czechoslovakia	28	中国 China	48	法国 France	68	德国 Germany
9	德国 Germany	29	英国 United Kingdom	49	荷兰 Netherlands	69	德国 Germany
10	中国 China	30	法国 France	50	波兰 Poland	70	德国 Germany
11	中国 China	31	波兰 Poland	51	波兰 Poland	71	德国 Germany
12	芬兰 Finland	32	法国 France	52	波兰 Poland	72	美国 United States
13	罗马尼亚 Romania	33	法国 France	53	荷兰 Netherlands	73	俄罗斯 Russia
14	波兰 Poland	34	加拿大 Canada	54	德国 Germany	74	俄罗斯 Russia
15	土耳其 Turkey	35	加拿大 Canada	55	荷兰 Netherlands	75	中国 China
16	阿根廷 Argentina	36	加拿大 Canada	56	德国 Germany	76	中国 China
17	印度 India	37	加拿大 Canada	57	德国 Germany	77	英国 United Kingdom
18	俄罗斯 Russia	38	德国 Germany	58	德国 Germany		
19	蒙古 Mongolia	39	英国 United Kingdom	59	法国 France		
20	蒙古 Mongolia	40	德国 Germany	60	法国 France		

1.3 灰色关联度分析

灰色关联度分析是一种定量化比较分析方法,是根据数列的可比性和相似性,分析系统内部主要因素之间的相关程度,它反映了因素间的密切程度,关联度越大,因素间相互关系越密切^[15,20]。根据灰色关联理论,将所有的供试燕麦品种看成一个灰色系统,每一个燕麦品种都是系统中的一个因素,选出各项指标最优的作为参考品种,分析系统中各因素与最优品种的联系程度来对其进行综合评价。本研究选用裸燕麦千粒重、籽粒长度、宽度、直径、含水率、粗蛋白、粗脂肪和淀粉进行灰色关联度分析和综合评价。关联系数和加权关联度(γ_i)的计算公式分别为:

$$A_k = \min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$$

$$B_k = |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(K) - X_i(k)|$$

$$\Psi_i(k) = A_k / B_k$$

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n W_i \times \Psi_i(k)$$

式中: $\Psi_i(k)$ 是 X_0 和 X_i 关联系数; $|X_0(k) - X_i(k)|$ 表示 X_0 数列与 X_i 数列在 k 点的绝对值差, $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最小差值; $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差值; ρ 为分辨系数,取值范围为0~1,本研究取0.5; W_i 是

根据文献计算的各指标权重值^[15]。

1.4 数据分析

采用 SigmaPlot 12.5 绘图,用 SPSS 19.0 对数据进行显著性、相关性及回归分析,不同处理间的比较采用 Duncan's 新复极差法($P<0.05$)。

2 结果与分析

供试燕麦品种籽粒千粒重平均值为 19.52 g(表 2),变异系数为 49.29%,变异范围为 6.07~44.23 g; ≥ 40 g 的材料占 3.90%,69 号最高,为 44.23 g; ≤ 10 g 的材料占 7.79%,9 号最低,为 6.07 g;69 号比 9 号高 628.67%,二者差异显著($P<0.05$)。

表 2 不同品种裸燕麦籽粒千粒重、籽粒大小变化

Table 2 Changes in 1000-grain weight and grain size of different varieties of naked oats

品种	千粒重	籽粒长度	籽粒宽度	长/宽	籽粒直径
Variety	1000-grain weight (g)	Grain length (mm)	Grain width (mm)	Length/width	Seed diameter (mm)
1	23.90bcde	8.64abcde fgh	1.93jkl	4.47a	1.81abcde fghijk
2	17.77bcde fgh	7.82fghijklmnopq	2.25de fghij	3.47cde fghijk	1.78cde fghijkl
3	21.13bcde	8.58abcde fghij	2.42bcde fghi	3.55cde fghij	1.66hijklmn
4	22.33bcde	8.90abcd	2.67ab	3.33de fghijk	1.91abcde fgh
5	21.03bcde	8.62abcde fghi	2.76a	3.12hijk	1.86abcde fghi
6	13.23efgh	8.13de fghijklmno	2.25de fghij	3.61bcde fghij	1.82abcde fghijk
7	26.23bc	9.07ab	2.27de fghi	4.00abcd	1.80abcde fghijk
8	17.13bcde fgh	8.61abcde fghi	2.10hijk	4.10abc	1.56klmnop
9	6.07h	5.52t	1.60mn	3.45cde fghijk	1.43nopq
10	19.67bcde	7.52lmnopq	2.24de fghijk	3.35de fghijk	2.00abcd
11	26.90b	9.03abc	2.44abcde fgh	3.70bcde fghi	1.98abcde
12	17.67bcde fgh	8.19cde fghijklmn	2.32cde fghi	3.53cde fghijk	1.82abcde fghijk
13	15.27bcde fgh	7.05qr	2.15fghijk	3.27efghij	1.70efghijklm
14	16.40bcde fgh	8.64abcde fgh	2.17de fghijk	3.97abcde	1.57jklmnop
15	19.70bcde	8.05efghijklmno	2.45abcde fg	3.29efghij	1.98abcde f
16	12.37efgh	7.11pq	1.76lm	4.03abc	1.61ijklmno
17	12.90efgh	7.93nopq	2.26de fghij	3.27fghijk	1.68ghijklmn
18	23.63bcde	7.55klmnopq	2.64abc	2.86kl	1.87abcde fghi
19	17.57bcde fgh	8.14de fghijklmno	2.30de fghi	3.54cde fghijk	1.82abcde fghijk
20	14.27cde fgh	7.32opq	2.40bcde fghi	3.05ijkl	2.04abc
21	17.17bcde fgh	7.40mnopq	2.25de fghijk	3.29fghijk	1.76cde fghijkl
22	17.77bcde fgh	8.31bcde fghijkl	2.09ijk	3.97abc	1.79cde fghijk
23	17.10bcde fgh	7.90fghijklmnop	2.25de fghijk	3.51cde fghijk	1.94abcde fgh
24	22.33bcde	7.78ijklmnopq	2.43bcde fghi	3.20ghijkl	1.96abcde fg
25	14.47cde fgh	7.82ghijklmnopq	2.17efghijk	3.61bcde fghi	1.70fghijklm
26	22.50bcde	8.63abcde fgh	2.11ghijk	4.09abc	1.89abcde fghi
27	20.73bcde	7.79hijklmnopq	2.24de fghijk	3.48cde fghijk	1.88abcde fghi
28	16.90bcde fgh	8.67abcde f	2.15fghijk	4.03abc	1.93abcde fgh
29	17.27bcde fgh	6.38rs	2.48abcde f	2.58i	2.09a
30	21.30bcde	9.16a	2.23de fghijk	4.10abc	1.83abcde fghijk
31	19.47bcde	7.97fghijklmno	2.50abcde	2.57ghijkl	2.09ab
32	18.87bcde fg	7.78ijklmnopq	2.13ghijk	3.66bcde fghi	1.73de fghijklm
33	18.43bcde fg	8.00fghijklmno	2.41bcde fghi	3.31de fghijk	1.99abcd
34	20.33bcde	8.52abcde fghij	2.30de fghi	3.70bcde fghi	1.93abcde fgh

续表 Continued Table

品种 Variety	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒长度 Grain length (mm)	籽粒宽度 Grain width (mm)	长/宽 Length/width	籽粒直径 Seed diameter (mm)
35	19. 10bcdef	8. 38abcdefghijk	2. 41bcdefghi	3. 47cdefghijk	1. 84abcdefghij
36	17. 60bcdefgh	8. 87abcde	2. 26defghij	3. 92bcdefg	1. 77cdefghijkl
37	22. 30bcde	8. 98abcd	2. 76a	3. 25fghijk	1. 98abcdef
38	17. 83bcdefgh	8. 32bcdefghijkl	2. 41bcdefghi	3. 45cdefghijk	1. 73defghijklm
39	14. 10defgh	7. 34nopq	1. 92kl	3. 82abcdef	1. 51lmnopq
40	19. 97bcde	7. 47lmnopq	2. 38bcdefghi	3. 13hijkl	1. 88abcdefghi
41	6. 43h	5. 61t	1. 62mn	3. 47cdefghijk	1. 33pq
42	7. 33fgh	5. 87st	1. 57mn	3. 75bcdefgh	1. 36opq
43	7. 23gh	5. 69st	1. 50mn	3. 78bcdefgh	1. 30q
44	25. 40bcd	7. 81ghijklmnopq	2. 51abcd	3. 11hijkl	1. 86abcdefghi
45	20. 73bcde	7. 99fghijklmno	2. 43bcdefghi	3. 29fghijk	1. 87abcdefghi
46	6. 43h	6. 14st	1. 45n	4. 24ab	1. 47mnopq
47	20. 10bcde	8. 24bcdefghijklm	2. 51abcd	3. 28fghijk	2. 10a
48	20. 43bcde	7. 73jklmnopq	2. 64abc	2. 93jkl	2. 08ab
49	42. 33a	8. 66abcdefg	2. 47abcdef	3. 50cdefghijk	2. 00abcd
50	22. 30bcde	7. 79hijklmnopq	2. 36bcdefghi	3. 31efghij	1. 94abcdefgh
51	17. 37bcdefgh	7. 85ghijklmnopq	2. 53abcd	3. 10hijkl	1. 82abcdefghijk
52	20. 03bcde	7. 95fghijklmno	2. 58abcdefg	3. 08ijkl	1. 94abcdefgh
53	20. 67bcde	7. 93fghijklmno	2. 46ijk	3. 23efghij	2. 05abc
54	18. 53bcdefg	8. 03fghijklmno	1. 17n	6. 86a	0. 97q
55	42. 47a	8. 09defghijklmno	2. 00ijk	4. 05abc	1. 85abcdefghi
56	19. 37bcde	7. 17pq	2. 49abcdef	2. 88kl	1. 88abcdefghi
57	18. 00bcdefgh	9. 22a	2. 35bcdefghi	3. 92bcdefg	1. 89abcdefghi
58	17. 43bcdefgh	9. 34a	2. 07ijk	4. 52ab	1. 85abcdefghi
59	20. 17bcde	5. 67t	2. 32cdefghi	2. 45i	1. 99abcd
60	22. 13bcde	7. 77ijklmnopq	2. 33cdefghi	3. 33defghijkl	1. 92abcdefgh
61	18. 97bcdefg	7. 27opq	2. 35bcdefghi	3. 10ijkl	1. 83abcdefghijk
62	23. 67bcde	8. 03fghijklmno	2. 27defghi	3. 54cdefghij	1. 98abcdef
63	20. 10bcde	8. 67abcdefgh	2. 44abcdef	3. 55cdefghij	2. 01abcd
64	23. 57bcde	8. 34opq	2. 41bcdefghi	3. 45cdefghijk	1. 87abcdefghi
65	27. 37b	9. 22a	2. 45abcdef	3. 76bcdefgh	1. 70efghijklm
66	16. 30bcdefgh	8. 76abcde	2. 23abcdefgh	3. 94abc	1. 86abcdefghi
67	7. 40fgh	5. 93st	1. 44n	4. 13abc	1. 37opq
68	17. 70bcdefgh	7. 76ijklmnopq	2. 35bcdefghi	3. 30defghijk	1. 82abcdefghijk
69	44. 23a	7. 76ijklmnopq	2. 12ghijk	3. 66bcdefghij	1. 89abcdefghi
70	21. 57bcde	8. 71abcde	2. 21defghijk	3. 94abc	2. 06abc
71	21. 23bcde	7. 87ghijklmnopq	2. 41bcdefghi	3. 26fghijk	1. 82abcdefghijk
72	15. 63bcdefgh	7. 83ghijklmnopq	2. 35bcdefghi	3. 33defghijk	1. 85abcdefghi
73	21. 10bcde	7. 70abcde	2. 81a	2. 74kl	2. 12a
74	21. 77bcde	8. 81abcde	2. 46abcdef	3. 59cdefghijk	1. 99abcd
75	16. 70bcdefgh	8. 06fghijklmno	2. 31cdefghi	3. 49cdefghijk	1. 84abcdefghi
76	22. 27bcde	7. 36nopq	2. 84a	2. 60i	1. 88abcdefghi
77	27. 90b	8. 73abcde	2. 51abcd	3. 48cdefghijk	1. 96abcdefg
平均值 Average	19. 52	7. 91	2. 27	3. 56	1. 82
变幅 Change range	6. 07~44. 23	5. 52~9. 34	1. 17~2. 84	2. 45~6. 86	0. 97~2. 21
变异系数 CV (%)	49. 29	12. 79	15. 54	18. 48	12. 97

CV: Coefficient of variation; 同列不同小写字母表示不同品种间在 0.05 水平上差异显著,下同。Different small letters indicate significant differences among different varieties at 0.05 level, the same below.

籽粒长度的平均值为 7.91 mm,变异系数为 12.79%,变异范围较小,为 5.52~9.34 mm; ≥ 9 mm 的材料占 7.79%,58 号籽粒长度最大,为 9.34 mm,9 号长度最小,为 5.52 mm;58 号比 9 号显著增加 69.20%(表 2)。

籽粒宽度的平均值为 2.27 mm,变异系数为 15.54%,76 号宽度最大,为 2.84 mm,54 号最小,为 1.17 mm,76 号比 54 号显著增加 142.74%(表 2)。

表 3 不同品种燕麦籽粒品质变化

Table 3 Grain quality changes of different varieties oats (%)

品种 Variety	含水率 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	淀粉 Starch	品种 Variety	含水率 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	淀粉 Starch
1	4.10p	14.96cdefghi	4.30op	47.47ab	41	7.00bcd	12.56opq	5.15hij	44.91jklmnopq
2	6.77cdefgh	13.51jklmno	5.80ab	44.60mnopqrst	42	6.87bcdef	13.93ghijklmn	5.05ijk	44.80klmnopq
3	6.60fghij	15.39abcde	4.55mno	44.18tu	43	7.02bc	14.42defghijkl	4.52mno	45.09ijklm
4	6.68cdefghij	13.31lmnop	4.72lm	44.47pqrst	44	4.63mno	14.50defghijk	4.42nop	47.77a
5	5.71i	15.44abcde	5.62bcd	45.22ghijk	45	6.41ij	15.71abc	4.31op	44.41qrst
6	4.84m	14.81cdefghi	5.29fghi	46.00def	46	6.97bcde	13.42klmno	4.52mno	46.19d
7	3.97p	16.21ab	5.02jk	46.88c	47	6.56fghij	15.41abcde	3.62rs	44.26stu
8	4.43q	14.38efghijkl	5.46defg	47.14bc	48	6.54fghij	14.31efghijkl	3.87q	44.49pqrst
9	7.02bc	15.05cdefgh	4.19p	45.35ghij	49	6.50ghij	14.94cdefghi	3.83qr	44.43pqrst
10	6.60fghij	16.28a	4.68lm	44.65mnopqrst	50	6.63efghij	14.66cdefghij	3.77qr	44.52opqrst
11	4.85m	14.06fghijklm	5.33efgh	46.03de	51	6.63fghij	13.15lmnop	5.00jk	44.07u
12	4.51no	14.88cdefghi	4.52mno	47.02c	52	6.33j	15.25abcde	4.51mno	44.58mnopqrst
13	6.68cdefghi	14.94cdefghi	5.46defg	44.29stu	53	6.65fghij	13.38lmnop	5.29fghi	44.21stu
14	4.65mno	15.15abcdef	5.86a	45.64efg	54	6.67cdefghij	12.16pq	5.12hij	44.38qrst
15	6.01k	14.75cdefghi	4.21p	44.45pqrst	55	6.47cdefghij	15.05cdefgh	4.39op	43.96u
16	6.72cdefghi	11.89qr	5.28fghi	45.58efgh	56	6.90bcdef	14.56cdefghi	4.88kl	44.42pqrst
17	6.99bcd	13.84ijklmn	4.74lm	44.94jklmnopq	57	6.56fghij	13.22lmnop	5.43defg	44.39qrst
18	6.44hij	15.14abcdef	5.36efgh	44.55opqrst	58	6.69cdefghij	13.55jklmno	5.01jk	44.89jklmnopq
19	6.87cdef	14.92cdefghi	5.15hij	44.90jklmnopq	59	6.55fghij	14.81cdefghi	3.88q	44.06u
20	6.33j	13.03mnop	5.26ghij	44.31rstu	60	6.51ghij	14.70cdefghi	3.75qr	44.54opqrst
21	6.03k	15.11bcdefg	5.28fghi	44.72klmnopqrs	61	6.35j	13.53jklmno	4.84kl	44.40qrst
22	7.00bcd	12.48opq	5.34efgh	44.73klmnopqrs	62	6.47hij	16.65ab	3.71qr	44.05u
23	6.99bcd	13.45klmno	5.13hij	44.71lmnopqrs	63	6.75cdefgh	15.25abcdef	4.96jk	44.75klmnopqrs
24	6.65defghij	12.66opq	5.07ijk	44.22stu	64	5.92kl	17.62a	4.58mno	44.25stu
25	5.89kl	15.59abcd	4.20p	45.07jklmn	65	6.48hij	13.44klmno	4.41nop	44.21stu
26	6.96bcde	14.12fghijklm	5.66abcd	45.55fghi	66	6.73cdefghi	12.78nopq	5.16hij	45.23ghijk
27	6.88bcdef	14.78cdefghi	5.32efgh	44.58nopqrst	67	6.83bcdef	14.10fghijklm	4.60lmn	44.89jklmnopq
28	6.71cdefghi	12.86nopq	5.48cdefg	45.00jklmno	68	5.82kl	13.84ijklmn	5.1cdef	44.14tu
29	6.48hij	13.83ijklmn	5.72abc	43.91u	69	6.54fghij	12.71nopq	5.68abcd	45.28ghijk
30	4.77mn	10.45s	3.53s	47.49ab	70	6.52ghij	13.43klmno	5.06ijk	45.15hijkl
31	6.56fghij	15.70abc	4.37op	45.15hijkl	71	6.03k	14.73cdefghi	5.01jk	44.36rstu
32	6.55fghij	12.22pq	5.52cdef	44.54opqrst	72	6.40q	12.26pq	5.54cdef	44.63mnopqrst
33	6.50ghij	14.94cdefghi	4.21p	44.60mnopqrst	73	6.15k	16.86ab	5.44cdefg	43.87u
34	7.21b	13.04mnop	5.57bcde	44.83klmnopq	74	6.31j	14.13fghijklm	5.12hij	44.43qrst
35	6.51ghij	13.91hijklmn	4.87kl	44.88jklmnopq	75	6.62fghij	13.42klmno	5.30efgh	44.82klmnopqr
36	6.88bcdef	11.14rs	5.62bcd	45.17hijkl	76	6.43hij	11.19rs	5.40defg	45.43pqrst
37	6.70cdefghi	13.30lmnop	4.69lm	44.57nopqrst	77	4.93m	13.55jklmno	5.50cdef	46.99c
38	6.51ghij	13.46klmno	4.65lmn	44.68lmnopqrst	平均值 Average	6.33	14.12	4.90	44.96
39	7.63a	14.69cdefghi	4.42nop	45.94def	变幅 Change range	3.97~7.63	10.45~17.62	3.53~5.86	43.87~47.44
40	6.85cdefg	14.71cdefghi	5.48cdefg	44.67lmnopqrst	变异系数 CV	12.18	9.83	12.23	2.01

籽粒长宽比的平均值为3.56,其中54号最高,为6.86,其他材料籽粒长宽比范围为2.45~4.52;籽粒直径的平均值为1.82 mm,变异系数为12.97%, ≥ 2 mm的材料占14.29%,73号最大,为2.12 mm,54号最小,为0.97 mm,73号比54号显著增加118.56%(表2)。

籽粒含水率的平均值为6.33%(表3),变异系数为12.18%,变异范围为3.97%~7.63%,含水率 $\geq 7\%$ 的材料占7.79%。39号籽粒含水率最高,为7.63%,比7号高92.19%,7号最低,为3.97%,两者差异显著;粗蛋白含量的平均值为14.12%,变异系数为9.83%,变异范围为10.45%~17.62%, $\geq 16\%$ 的材料占6.49%,64号最高,为17.62%,30号最低,为10.45%,64号比30号显著提高68.61%;粗脂肪含量的平均值为4.90%,变异系数为12.23%,粗脂肪含量 $\geq 5.50\%$ 的材料占15.58%,14号最高,为5.86%,30号最低,为3.53%,14号比30号显著提高66.01%;淀粉含量的平均值为44.96%,变异系数为2.01%,44号籽粒中淀粉含量最高为47.77%,73号最低为43.87%,44号籽粒淀粉含量较73号显著提高8.89%。

供试燕麦品种千粒重与籽粒含水率呈显著负相关(表4),籽粒含水率与粗蛋白、淀粉含量呈极显著负相关,籽粒粗蛋白含量与粗脂肪含量呈极显著负相关。

采用函数方程来分析供试燕麦千粒重和籽粒大小之间的关系(图1)。供试燕麦千粒重与籽粒长度之间的决

表4 供试品种不同性状指标间相关性分析

Table 4 Correlation analysis of different naked oat varieties

指标 Index	含水率 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	淀粉 Starch
千粒重 1000-grain weight	-0.160*	0.093	-0.055	-0.009
含水率 Moisture		-0.236**	0.016	-0.641**
粗蛋白 Crude protein			-0.296**	-0.119
粗脂肪 Crude fat				-0.019

“*”: $P < 0.05$, “**”: $P < 0.01$.

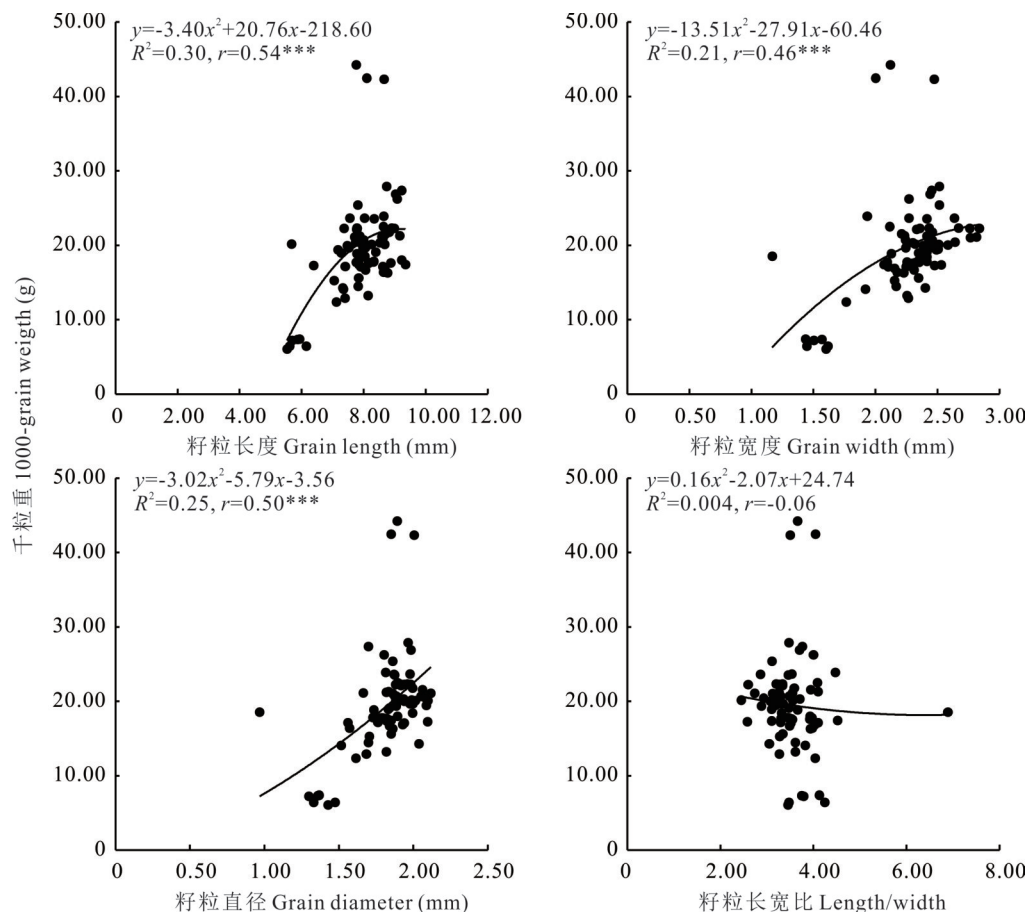


图1 燕麦千粒重与籽粒大小相关性

Fig. 1 Correlation with 1000-grain weight and grain size of oat

***: $P < 0.001$.

定系数(R^2)最高为 0.30,与籽粒直径、宽度之间的决定系数分别为 0.25 和 0.21,而与籽粒长宽比之间的决定系数最低为 0.004,因此千粒重与籽粒长度的拟合曲线解释程度最高,与籽粒长宽比拟合曲线解释程度最低;千粒重与籽粒长度、宽度和直径呈极显著正相关($P<0.001$),与籽粒长宽比无相关性($P>0.05$)。

采用熵权法用于燕麦种质资源综合评价中各因素的赋权,并应用灰色系统理论对其种质资源进行综合评价,结果表明,供试燕麦品种籽粒粗蛋白含量权重最高为 0.247,其次为粗脂肪为 0.246,籽粒长度和含水率权重较高,分别为 0.163、0.113(表 5)。灰色关联度综合评价较高的 10 个品种分别为 5、73、26、14、18、40、77、2、63 和 34 号(表 6),其中综合评价最高的 3 个品种分别为 5($r=0.679$)、73($r=0.676$)和 26 号($r=0.649$)。

表 5 供试燕麦各指标权重及排名

Table 5 Weights and rank of each index of tested oats

指标 Index	权重 Weight	排序 Rank	指标 Index	权重 Weight	排序 Rank
千粒重 1000-grain weight	0.068	6	含水率 Moisture	0.113	4
籽粒长度 Grain length	0.163	3	粗蛋白 Crude protein	0.247	1
籽粒宽度 Grain width	0.091	5	粗脂肪 Crude fat	0.246	2
籽粒直径 Grain diameter	0.047	7	淀粉 Starch	0.025	8

表 6 供试燕麦加权关联度及排名

Table 6 Weight relevance and rank of tested oat varieties

编号 No.	加权关联度 Weighted relevance	排名 Rank	编号 No.	加权关联度 Weighted relevance	排名 Rank	编号 No.	加权关联度 Weighted relevance	排名 Rank
1	0.489	63	27	0.609	13	53	0.570	27
2	0.615	8	28	0.581	22	54	0.455	69
3	0.565	30	29	0.580	23	55	0.524	51
4	0.552	41	30	0.334	77	56	0.558	37
5	0.679	1	31	0.560	34	57	0.598	17
6	0.573	25	32	0.539	45	58	0.564	31
7	0.611	12	33	0.510	58	59	0.417	76
8	0.588	20	34	0.614	10	60	0.453	70
9	0.428	75	35	0.557	38	61	0.506	59
10	0.576	24	36	0.564	32	62	0.499	60
11	0.599	16	37	0.556	39	63	0.614	9
12	0.517	55	38	0.518	54	64	0.612	11
13	0.592	18	39	0.525	50	65	0.517	56
14	0.638	4	40	0.622	6	66	0.558	36
15	0.494	62	41	0.446	71	67	0.430	73
16	0.486	64	42	0.474	66	68	0.571	26
17	0.522	52	43	0.436	72	69	0.603	15
18	0.628	5	44	0.520	53	70	0.563	33
19	0.607	14	45	0.538	46	71	0.565	29
20	0.529	48	46	0.430	74	72	0.550	43
21	0.583	21	47	0.474	65	73	0.676	2
22	0.553	40	48	0.467	67	74	0.589	19
23	0.558	35	49	0.511	57	75	0.570	28
24	0.528	49	50	0.459	68	76	0.540	44
25	0.497	61	51	0.533	47	77	0.615	7
26	0.649	3	52	0.551	42			

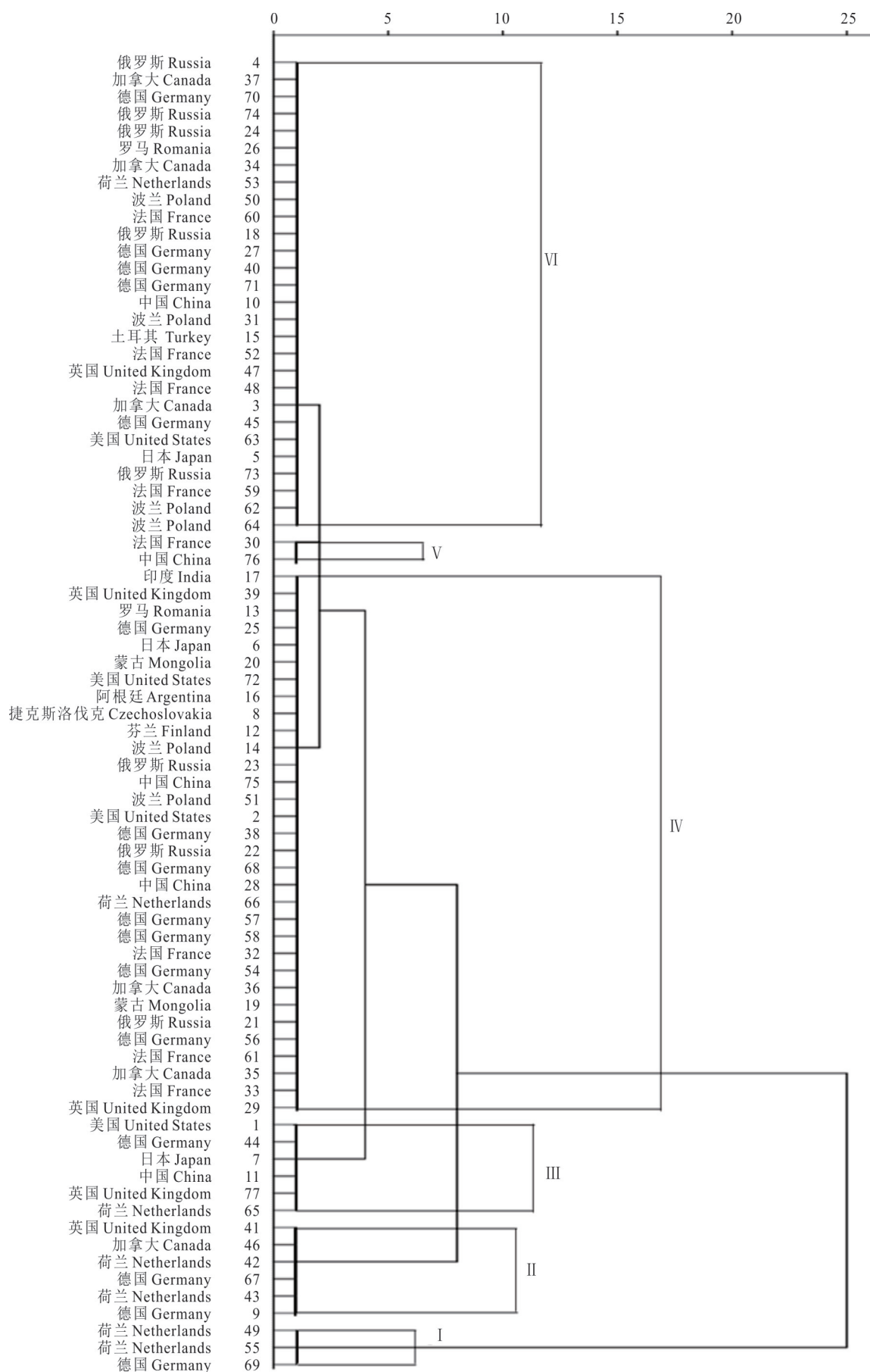


图2 燕麦品种聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of oat varieties

采用欧氏距离类平均法对供试燕麦籽粒性状进行聚类分析(图2),结果表明,在欧氏距离小于1.0水平上,77份燕麦品种分为6类:类群Ⅰ包含3份材料,2份来自荷兰,1份来自德国;类群Ⅱ包含6份材料,其中来自德国和荷兰的品种各2份,英国、加拿大各1份;类群Ⅲ包含6份材料,中国、美国、德国、英国、荷兰和日本各1份;类群Ⅳ包含32份材料,其中7份来自德国、3份来自法国、3份来自俄罗斯;类群Ⅴ包含2份材料,分别来自中国 and 法国;类群Ⅵ包含28份材料,其中5份来自俄罗斯、5份来自德国和4份来自法国。

结合供试燕麦籽粒性状表现(表2~3)可见,类群Ⅰ中千粒重、籽粒含水率均较高,其中以千粒重表现尤为突出;类群Ⅱ中籽粒含水率最高,淀粉含量较高,其他各性状指标均相对较低;类群Ⅲ中籽粒长度和淀粉含量最高,籽粒含水率最低,其他各性状指标均相对较高;类群Ⅳ中籽粒粗脂肪含量最高;类群Ⅴ中籽粒宽度最高,淀粉含量较高;类群Ⅵ中籽粒粗蛋白含量最高,籽粒宽度较高。总体来看,综合评价较高的前10个品种当中类群Ⅵ包含了其中的7个,分别为5、18、26、34、40、63和73号;类群Ⅳ包含2个,分别为2和14号;类群Ⅲ包含1个,为77号。

3 讨论

采用灰色关联度对燕麦品种进行综合评价的关键是依据育种目标、结合生产实际进行性状的选取、各性状权重值的确定和参考品种的构建^[21-22]。研究表明对燕麦引进品种筛选和综合评价方面所选取的指标中粗蛋白含量是反映燕麦籽粒营养品质最重要、最具代表性的指标^[12]。本研究通过熵权赋值法对供试裸燕麦品种籽粒性状进行权重确定,结果表明籽粒粗蛋白含量所占权重最高为0.247,粗脂肪为0.246,这与王桃等^[23]、周启龙^[24]研究结果基本一致。因此,该地区今后在燕麦引种工作中,应把燕麦籽粒粗蛋白含量作为重要指标加以考虑。

灰色关联度可将多个性状综合起来定量评价,使各品种的优劣评价结果更全面,准确可靠,根据其结果可以综合判别品种的优劣,避免传统方法中仅靠单一指标的片面判断,从而可为筛选、推广适宜该地区的优良品种提供可靠的依据^[15,25]。本研究结果表明,综合评价较高的3个品种分别为5、73、26号,其中5号综合评价最高为0.679,73号综合评价值为0.676,26号为0.649;聚类分析结果表明,类群Ⅵ中籽粒粗蛋白含量最高,且类群Ⅵ中综合评价前10的品种占70%,其中包括综合评价最高的3个品种(5、73和26号),同时综合评价较高的品种与大田试验所测结果基本一致,说明基于熵权法的灰色系统理论可以在燕麦种质资源综合评价中应用,而且其结果是可靠的,这与张光雨等^[26]、刘刚等^[15]的研究结果相似。因此类群Ⅵ可考虑作为优异燕麦品种的选择区域,5、73和26号可被考虑用作改良燕麦籽粒品质性状的良好供试材料。

变异系数表示性状离散程度,变异系数越大则表明离散程度越高^[27-28]。本研究中供试燕麦品种千粒重变异系数最高为49.29%,籽粒粗脂肪和粗蛋白含量变异系数相对较低,分别为12.23%和9.83%,因此供试燕麦品种在籽粒千粒重等相关指标上具有丰富的遗传多样性,作为引种材料时可选择范围较大;同时本研究结果表明千粒重与籽粒长度、宽度和直径呈极显著正相关;籽粒含水率与粗蛋白、淀粉含量呈极显著负相关,这些结果与前人的研究基本一致^[11-12];本研究中籽粒粗蛋白含量与粗脂肪含量呈极显著负相关,这与南铭等^[29]的研究结果不一致,这可能是由品种、气候条件及土壤条件等因素引起的^[13-14,29]。因此在筛选青海宜种粒用裸燕麦品种时,应在权衡高产与优质关系的前提下,兼顾较低籽粒含水率,考虑综合评价指数较高的燕麦品种作为优选材料。

4 结论

本研究采用灰色关联分析法对77份裸燕麦品种籽粒性状进行综合评价,结果表明:籽粒粗蛋白含量所占权重最高,为0.247;综合评价较高的3个品种分别为:5、73、26号;聚类分析表明,类群Ⅵ可考虑作为优异燕麦品种的选择区域。因此,5、73和26号可被考虑用作改良燕麦籽粒品质性状的良好供试材料。

参考文献 References:

- [1] Ren C Z, Hu Y G. Chinese oatology. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
任长忠, 胡跃高. 中国燕麦学. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] Yang C, Wang G G, Wang M L, *et al.* The production and trade of oat grass in China. *Pratacultural Science*, 2017, 34(5): 1129-1135.

- 杨春, 王国刚, 王明利, 等. 我国的燕麦草生产和贸易. 草业科学, 2017, 34(5): 1129—1135.
- [3] Ma X F, Liu S. Quality analysis of oats and thoughts on industrial development approaches. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(1): 242—244.
马晓凤, 刘森. 燕麦品质分析及产业化开发途径的思考. 农业工程学报, 2005, 21(1): 242—244.
- [4] Yang C, Zhou H T, Li T L, *et al.* Comparison of the main nutrients of large-grain naked oats and common cultivated oats. Agricultural Products Processing, 2010, 9(9): 53—54.
杨才, 周海涛, 李天亮, 等. 大粒裸燕麦与普通栽培燕麦主要营养成分的比较. 农产品加工, 2010, 9(9): 53—54.
- [5] Liu Y, Dong L. The nutritional composition and health effects of oats. China Food and Nutrition, 2009, 29(3): 55—57.
刘影, 董利. 燕麦的营养成分与保健作用. 中国食物与营养, 2009, 29(3): 55—57.
- [6] Yao W, Peng M, Yao F, *et al.* Research progress on oats bioactive components and physiological functions. Food and Oils, 2020, 33(8): 11—14.
姚望, 彭毛, 姚芬, 等. 燕麦生物活性成分及生理功能研究进展. 粮食与油脂, 2020, 33(8): 11—14.
- [7] Bratt K, Sunnerheim K, Bryngelsson S, *et al.* Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-antioxidant activity relationships. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(3): 594—600.
- [8] Zhao S F, Tian C Y, Wang Z G, *et al.* Current status and future development direction of oat production and scientific research in China. Miscellaneous Crops, 2007, 27(6): 428—431.
赵世锋, 田长叶, 王志刚, 等. 我国燕麦生产和科研现状及未来发展方向. 杂粮作物, 2007, 27(6): 428—431.
- [9] Zhou P P, Yan H H, Peng Y Y, *et al.* Study on the origin of cultivated oat hexaploid based on high-throughput GBS-SNP markers. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(10): 1604—1612.
周萍萍, 颜红海, 彭远英, 等. 基于高通量 GBS-SNP 标记的栽培燕麦六倍体起源研究. 作物学报, 2019, 45(10): 1604—1612.
- [10] Zhao X F, Rong Y P, Zhao L X, *et al.* The collection and evaluation of oat germplasm resources in China. Pratacultural Science, 2007, 24(3): 36—40.
赵秀芳, 戎郁萍, 赵来喜, 等. 我国燕麦种质资源的收集和评价. 草业科学, 2007, 24(3): 36—40.
- [11] Chen L M, Zhao G M, Liao Y Y, *et al.* Comparative analysis of yield and nutrient composition of 7 oat varieties in northwestern Sichuan. Prataculture and Animal Husbandry, 2016, 37(2): 19—23.
陈莉敏, 赵国敏, 廖英勇, 等. 川西北 7 个燕麦品种产量及营养成分比较分析. 草业与畜牧, 2016, 37(2): 19—23.
- [12] Zhou Q P, Yan H B, Liang G L, *et al.* Analysis of forage and grain production performance of different oat varieties. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(10): 120—130.
周青平, 颜红波, 梁国玲, 等. 不同燕麦品种饲草和籽粒生产性能分析. 草业学报, 2015, 24(10): 120—130.
- [13] Lin W J, Wu G F, Li C H, *et al.* Effects of variety and environment on the nutritional quality of naked oats in China. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(6): 1087—1092.
林伟静, 吴广枫, 李春红, 等. 品种与环境对我国裸燕麦营养品质的影响. 作物学报, 2011, 37(6): 1087—1092.
- [14] Chai J K, Mu P, Zhao G Q, *et al.* Yield stability of 8 oat varieties in Gansu and a representative study on pilot projects. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(5): 1100—1107.
柴继宽, 慕平, 赵桂琴, 等. 8 个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究. 草地学报, 2016, 24(5): 1100—1107.
- [15] Liu G, Zhao G Q, Wei L M, *et al.* Application of grey system theory based on entropy weighting method in comprehensive evaluation of oat varieties. Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(3): 84—88.
刘刚, 赵桂琴, 魏黎明, 等. 基于熵权赋权法的灰色系统理论在燕麦品种综合评价中的应用. 中国草地学报, 2007, 29(3): 84—88.
- [16] Vinayagamoorthy R, Xavior M A. Parametric optimization on multi-objective precision turning using grey relation analysis. Procedia Engineering, 2014, 97(7): 299—307.
- [17] Li C X, Ye R R, Zhou Y B, *et al.* Study on the yield and quality of different oat varieties in alpine pasture area. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(4): 882—888.
李春喜, 叶润荣, 周玉碧, 等. 高寒牧区不同燕麦品种饲草产量及品质的研究. 草地学报, 2014, 22(4): 882—888.
- [18] Wei X X, A Q L, Liu Y, *et al.* Comparison of production performance and nutritional quality of different forage oat varieties in the eastern agricultural region of Qinghai. Agricultural Research in Arid Areas, 2019, 37(6): 24—28.
魏小星, 阿啟兰, 刘勇, 等. 青海东部农区不同饲用燕麦品种生产性能及营养品质的比较. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 24—28.

- [19] Li H S, Hou C B, Li L. Research on the standardization of crop seeds in China. *Agricultural Network Information*, 2007(8): 161–164.
李虎申, 侯传本, 李莉. 我国农作物种子标准化问题的研究. *农业网络信息*, 2007(8): 161–164.
- [20] Wei N, Jin T. Grey correlation evaluation of 5 new oat varieties introduced to Tibet. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(5): 919–922.
魏娜, 金涛. 5 个引种到西藏的燕麦新品种的灰色关联度评价. *麦类作物学报*, 2013, 33(5): 919–922.
- [21] Guo R. *Crop grey breeding*. Beijing: China Agriculture Press, 1988: 26–40.
- [22] Jian L, Qin X J, Yu D F. Principal components and grey correlation analysis of agronomic traits of wild oats in karst mountain area. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(21): 57–60.
蹇黎, 秦小军, 余丹凤. 喀斯特山区野生燕麦农艺性状的主成分与灰色关联度分析. *中国农学通报*, 2013, 29(21): 57–60.
- [23] Wang T, Xu C L, Jiang W Q, *et al.* Comprehensive evaluation of nutritional value of oat varieties for feed in alpine meadow area. *Chinese Journal of Grassland*, 2010, 32(3): 68–75.
王桃, 徐长林, 姜文清, 等. 高寒草甸区饲用燕麦品种营养价值综合评价研究. *中国草地学报*, 2010, 32(3): 68–75.
- [24] Zhou Q L. Analysis of genetic diversity of main agronomic traits and nutritional components of 18 imported oat varieties in Lhasa. *Pratacultural Science*, 2020, 37(3): 550–558.
周启龙. 拉萨 18 个引进燕麦品种主要农艺性状和营养成分的遗传多样性分析. *草业科学*, 2020, 37(3): 550–558.
- [25] Liang G L, Qin Y, Wei X X, *et al.* Forage production performance and quality evaluation of I–D oat line in the alpine region of the Qinghai–Tibet Plateau. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(4): 917–927.
梁国玲, 秦燕, 魏小星, 等. 青藏高原高寒区 I–D 燕麦品系饲草生产性能及品质评价. *草地学报*, 2018, 26(4): 917–927.
- [26] Zhang G Y, Ma H P, Shao X M, *et al.* Comparative study on production performance and nutritional quality of nine introduced oat varieties in Tibet valley area. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(5): 121–131.
张光雨, 马和平, 邵小明, 等. 西藏河谷区 9 个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较研究. *草业学报*, 2019, 28(5): 121–131.
- [27] Zhang Y Y, Yu Y M, Wang L. Construction of honeysuckle quality evaluation model based on entropy weight and coefficient of variation combination weight. *Journal of Food Safety Quality Inspection*, 2021, 12(10): 4303–4308.
张媛媛, 于咏梅, 王蕾. 基于熵权—变异系数组合权重的金银花质量评价模型构建. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(10): 4303–4308.
- [28] Lei X, You M H, Bai S Q, *et al.* Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic traits of 50 oat germplasms in Northwest Sichuan plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(7): 131–142.
雷雄, 游明鸿, 白史旦, 等. 川西北高原 50 份燕麦种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价. *草业学报*, 2020, 29(7): 131–142.
- [29] Nan M, Zhao G Q, Li J, *et al.* The correlation analysis and evaluation of yield and quality of introduced oat varieties in northwest semi-arid region. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 125–133.
南铭, 赵桂琴, 李晶, 等. 西北半干旱区引种燕麦品种产量与品质的关联分析及评价. *草地学报*, 2018, 26(1): 125–133.