

利用模糊聚类分析法评价西藏青稞资源的抗倒性

尹中江, 廖文华, 高小丽

(西藏自治区农牧科学院农业研究所, 西藏 拉萨 850032)

摘要:作物种质资源不仅是战略性资源,也是农业持续发展的重要保证。为了适应西藏农业的发展,科学评价西藏作物资源,持续推进西藏农业持续发展,本文根据实际获得青稞“株高、外径、壁厚和茎秆强度”4个指标数据,运用模糊聚类分析方法,开展西藏青稞资源的抗倒性方面部分评价分析工作,通过模糊聚类结果,可以将试验中的各参试青稞资源材料划分出不同的抗倒类型。本研究旨在解决资源的实际应用问题,并做出相关信息的归类和聚类结果,为西藏青稞(及其它作物)育种和生产提供强有力的数据和信息支撑。

关键词:模糊聚类;分析评价;抗倒;青稞;西藏

中图分类号:S512.3 **文献标识码:**A

Evaluation of Lodging Resistance of Tibet Highland Barley Resources by Using Fuzzy Cluster Analysis

YIN Zhong-jiang, LIAO Wen-hua, GAO Xiao-li

(Agricultural Research Institute, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850032, China)

Abstract: Crop germplasm resource is not only a strategic resource, but also an important guarantee for the sustainable development of agriculture. In order to adapt to the development of Tibet's agriculture, scientifically evaluate the crop resources in Tibet and continue to promote the sustainable development of Tibet's agriculture, the fuzzy clustering analysis method was used to carry out partial evaluation and analysis on the lodging resistance of Tibetan barley resources. Through the fuzzy clustering results, the tested barley resource materials could be classified into different types of lodging resistance. The experimental results classified lodging resistance of different types. Purpose with the work of this paper is the practical application of resources and to categorize and cluster the relevant information, and provide strong data and information support for the breeding and production of Tibetan barley (and other crops).

Key words: Fuzzy clustering; Analysis and evaluation; Lodging resistance; Highland barley; Tibet

作物种质资源(又称品种资源、遗传资源或基因资源)是人类社会生存与发展的战略性资源;是作物育种、生物科学研究和农业生产发展的物质基础,是农业持续发展的重要保障,是提高农业综合生产能力,是促进生产力发展的核心,是农业得以持续发展的重要基础,维系国家粮食安全的重要保证和重要资源;同信息资源一样,必须充分认识作物种质资源的战略重要性和潜在价值^[1]。

西藏农作物各持资源研究工作始于1952年,自

1978年开展学科体系以来,主要经历了资源引进、资源收集与考察、农艺性状鉴定与利用研究、资源贮藏^[2],目前研究工作重点与方向是资源评价利用、建立及适应西藏农业生产对更多资源需求利用研究。

本研究是基于对所分析青稞资源,研究采用模糊聚类的方法,主要目的是完成区内地方青稞资源(含野生近缘种)的品质检测与分析,并建立和完善西藏青稞资源品质性状信息库,并做出相关信息的评价,为西藏青稞(及其它作物)育种和生产提供强有力的支撑。

1 材料与方法

1.1 参试青稞资源抗倒性鉴定

项目实施地点资源田间种植部分安排在农业研

收稿日期:2018-05-20

基金项目:西藏自治区科技厅重大科研《特色农作物种质资源鉴定与利用》项目

作者简介:尹中江(1971-),男,硕士,研究员,西藏自治区农牧科学院农业研究所科研人员,主要从事农业信息与农业科研相关工作,E-mail:zjiang@taas.org。

究所 4 号试验地,占地 0.47 hm²。前茬为油菜,土质砂壤,肥力中等,试验于 2017 年 4 月 10 日播种,内容主要进行田间抗倒性鉴定试验;安排在农业研究所品种资源室温室内进行;实际种植参试 800 份青稞材料。笔者在数据分析实际中,仅选择了结果中 684 份材料作为本文分析应用数据(表 1)。

1.2 模糊聚类分析法

运用模糊数学方法将模糊性的定义,通过模糊关系运算与合成,将其定量化,确定青稞品种间的亲疏关系,通过“物与类聚”,对原有模糊性的概念客观分型归类^[3]。运用模糊数学方法之一进行模糊聚类分析。

2 数据处理与分析计算

为了对青稞抗倒性进行一个整体评价,主要选择同抗倒有关株高(cm)、外径(mm)、壁厚(mm)、茎秆强度 4 个测量值来衡量青稞茎秆强度与抗倒性。

数据处理与分析计算:为了进行评价优劣,消除量纲对观测值的影响,我们对数据进行了无量纲化处理计算,为了进行综合评价,我们采取了模糊聚类分析。通过编制程序,数据处理软件使用:MATLAB 2018 a 和 2017 b Windows 版上通过运行,计算机硬件使用上:笔记本 I7-7700 HQ CPU 和台式 I5-2400 CPU 通过运行。

表 1 青稞抗倒性数据

序号	田间编号	种植名称	株高 (cm)	外径 (mm)	壁厚 (mm)	茎秆强度 (kpa)
1	58	ZDM5766	0.00	0.00	0.00	0.00
2	552	ZDM4611	64.80	3.12	0.33	3.30
3	491	ZDM4790	73.80	1.86	0.30	2.28
4	537	ZDM5575	78.00	2.14	0.32	13.96
5	645	ZDM5500	73.40	2.18	0.31	13.07
6	588	ZDM5541	91.88	3.40	0.33	12.97
11	280	ZDM4443	45.20	4.54	0.40	11.61
12	122	ZDM5765	78.50	5.29	0.44	11.54
13	544	ZDM5646	79.00	3.43	0.53	11.36
14	455	ZDM5537	95.70	3.66	0.45	11.31
15	525	ZDM4819	121.00	3.16	0.29	10.98
...
336	321	ZDM4482	78.80	3.17	1.48	4.96
...
429	596	ZDM4813	76.40	32.20	0.25	4.28
430	641	ZDM4638	84.60	3.46	0.32	4.25
431	332	ZDM5598	82.40	3.66	0.22	4.24
432	211	ZDM4273	74.00	2.57	0.00	4.24
...
500	8	ZDM5681	67.40	4.42	0.44	3.77
501	594	ZDM4810	80.60	3.86	0.38	3.76
502	105	ZDM5771	64.10	4.85	0.36	3.75
503	654	ZDM5558	85.60	2.44	0.40	3.75
504	95	ZDM4732	24.30	2.14	0.29	3.75
...
659	513	ZDM4755	73.26	3.38	0.26	2.17
...
682	506	ZDM4780	55.30	3.39	0.26	1.02
683	62	ZDM4700	69.00	3.80	0.35	0.94
684	49	ZDM4704	52.60	2.49	0.24	0.92
...

注:此表限于篇幅只列出部分数据。

表 2 标准化数据矩阵结果

序号	1	2	3	4
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.5355	0.4575	0.3358	0.2364
3	0.6099	0.2727	0.3055	0.1633
4	0.6446	0.3138	0.3247	1.0000
5	.....	.....	.....	.....
6	.....	.....	.....	.....
7	0.2893	0.6223	0.2935	0.0851
8	0.4570	0.4974	0.2616	0.0728
9	0.5702	0.5566	0.3568	0.0672
10	0.4347	0.3657	0.2402	0.0660

2.1 数据标准化

将试验取得数据利用标准差公式中的平移·极差变换(也称:极差变换)^[4],对原始数据进行数据标准化计算处理。

$$x''_{ik} = \frac{x'_{ik} - \min\{x'_{ik}\}_{1 \leq i \leq n}}{\max\{x'_{ik}\}_{1 \leq i \leq n} - \min\{x'_{ik}\}_{1 \leq i \leq n}} (k = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

利用公式(1)标准化后的数据范围介于[0,1]之间,计算得到的数组矩阵,数据如表 2 所示(限于篇幅,数据列出了部分数据)。

2.2 标定(建立模糊相似矩阵)

标定,也就是计算模糊相似矩阵。其计算公式很多,本文利用欧式距离法(即:一般欧式距离

法)^[5]对分析数据进行标定计算。

$$r_{ij} = 1 - cd(u_i, u_j) \\ d(u_i, u_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

利用公式(2)计算,计算得到的数组矩阵,数据如表 3(只保留前 5 行和后 1 行部分数据)。

2.3 模糊聚类分析

2.3.1 计算模糊等价关系矩阵 按照计算所得的模糊相似矩阵,依据传递闭包法计算出模糊等价矩阵。

在模糊相似矩阵的基础上,经过 7 次计算,可以计算出模糊等价关系矩阵,计算得到的数组矩阵,数据如表 4(只保留部分数据)。

表 3 模糊相似矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	.....	.....
1	1.0000	0.6754	0.7004	0.4934	0.5220	0.4657	0.4626	0.4527	0.4956	.....	0.7531
2	0.6754	1.0000	0.9147	0.6876	0.7144	0.7098	0.7120	0.7080	0.7384	.....	0.9052
3	0.7004	0.9147	1.0000	0.6661	0.6917	0.6764	0.6768	0.6712	0.6793	.....	0.9083
4	0.4934	0.6876	0.6661	1.0000	0.9696	0.9088	0.9052	0.8809	0.8373	.....	0.6169
5	0.5220	0.7144	0.6917	0.9696	1.0000	0.9057	0.9017	0.8785	0.8496	.....	0.6454
.....
.....	0.7531	0.9052	0.9083	0.6169	0.6454	0.6272	0.6268	0.6232	0.6571	.....	1.0000

表 4 模糊等价关系矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	.....	.....
1	1.0000	0.8096	0.8096	0.8096	0.8096	0.8096	0.8096	0.8096	0.8096	.....	0.8096
2	0.8096	1.0000	0.9741	0.9088	0.9088	0.9368	0.9368	0.9368	0.9444	.....	0.9589
3	0.8096	0.9741	1.0000	0.9088	0.9088	0.9368	0.9368	0.9368	0.9444	.....	0.9589
4	0.8096	0.9088	0.9088	1.0000	0.9696	0.9088	0.9088	0.9088	0.9088	.....	0.9088
5	0.8096	0.9088	0.9088	0.9696	1.0000	0.9088	0.9088	0.9088	0.9088	.....	0.9088
.....
.....	0.8096	0.9589	0.9589	0.9088	0.9088	0.9368	0.9368	0.9368	0.9444	.....	1.0000

2.3.2 根据不同的 λ 截距水平进行分类 按照模糊等价矩阵基础上,可以计算出 λ 截距矩阵:数据如表 5。

进行聚类分析。

表 5 λ 截距矩阵及 λ 截距值

序号	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	0.9957	0.9954	0.9940	0.9933	0.9930
2	0.9926	0.9918	0.9911	0.9908	0.9907	0.9906
3	0.9899	0.9898	0.9897	0.9896	0.9895	0.9894
4	0.9887	0.9886	0.9882	0.9879	0.9877	0.9875
5	0.9874	0.9873	0.9870	0.9869	0.9868	0.9867
6	0.9866	0.9865	0.9864	0.9863	0.9862	0.9861
7	0.9860	0.9859	0.9858	0.9857	0.9856	0.9855
8	0.9853	0.9852	0.9851	0.9850	0.9849	0.9847
9	0.9846	0.9845	0.9844	0.9843	0.9842	0.9841
10	0.9840	0.9839	0.9838	0.9836	0.9835	0.9834
11	0.9833	0.9832	0.9831	0.9830	0.9829	0.9828
12	0.9827	0.9826	0.9825	0.9824	0.9823	0.9822
13	0.9821	0.9820	0.9819	0.9818	0.9817	0.9816
14	0.9815	0.9814	0.9813	0.9812	0.9811	0.9809
15	0.9808	0.9807	0.9806	0.9805	0.9804	0.9803
16	0.9802	0.9801	0.9800	0.9799	0.9798	0.9797
17	0.9796	0.9795	0.9794	0.9793	0.9792	0.9791
18	0.9790	0.9789	0.9788	0.9787	0.9786	0.9785
19	0.9784	0.9783	0.9782	0.9781	0.9780	0.9779
20	0.9778	0.9777	0.9776	0.9775	0.9774	0.9773
21	0.9772	0.9771	0.9770	0.9769	0.9767	0.9766
22	0.9765	0.9764	0.9762	0.9761	0.9760	0.9758
23	0.9757	0.9756	0.9755	0.9754	0.9753	0.9752
24	0.9751	0.9750	0.9749	0.9748	0.9747	0.9746
25	0.9745	0.9744	0.9743	0.9742	0.9741	0.9740
26	0.9739	0.9738	0.9737	0.9736	0.9735	0.9734
27	0.9733	0.9732	0.9731	0.9730	0.9729	0.9728
28	0.9727	0.9726	0.9725	0.9724	0.9723	0.9722
29	0.9721	0.9720	0.9719	0.9718	0.9717	0.9716
30	0.9715	0.9713	0.9712	0.9711	0.9710	0.9709
31	0.9708	0.9707	0.9705	0.9703	0.9702	0.9701
32	0.9700	0.9698	0.9697	0.9696	0.9695	0.9692
33	0.9691	0.9690	0.9689	0.9688	0.9687	0.9686
34	0.9685	0.9684	0.9683	0.9682	0.9681	0.9680
35	0.9679	0.9678	0.9677	0.9676	0.9675	0.9674
36	0.9673	0.9671	0.9670	0.9669	0.9668	0.9667
37	0.9666	0.9665	0.9664	0.9662	0.9661	0.9658
38	0.9657	0.9651	0.9649	0.9648	0.9647	0.9645
39	0.9644	0.9643	0.9642	0.9640	0.9638	0.9637
40	0.9636	0.9635	0.9634	0.9632	0.9630	0.9629
41	0.9625	0.9623	0.9622	0.9621	0.9620	0.9617
42	0.9616	0.9614	0.9611	0.9605	0.9601	0.9599
43	0.9597	0.9596	0.9592	0.9591	0.9589	0.9584
44	0.9581	0.9579	0.9575	0.9571	0.9569	0.9568

续表 5 Continued table 5

序号	1	2	3	4	5	6
45	0.9566	0.9563	0.9559	0.9556	0.9552	0.9546
46	0.9545	0.9543	0.9542	0.9530	0.9520	0.9517
47	0.9516	0.9508	0.9503	0.9492	0.9491	0.9481
48	0.9469	0.9466	0.9462	0.9458	0.9451	0.9446
49	0.9444	0.9433	0.9432	0.9420	0.9414	0.9398
50	0.9394	0.9384	0.9382	0.9377	0.9374	0.9368
51	0.9357	0.9351	0.9344	0.9341	0.9338	0.9337
52	0.9326	0.9272	0.9249	0.9232	0.9224	0.9088
53	0.8992	0.8719	0.8653	0.8151	0.8108	0.8096

注:318 个 λ 截距值。①说明参试青稞材料,据 λ 截距值可以分为 318 个类型。②但实际应用分类时,也要结合实际情况可再分不同需求类型。

2.3.3 画模糊聚类图 有了 λ 截距数据值,就可以将青稞材料,依据表 6 的 λ 截距水平,将材料划归于不同的类型。结合农业生产实际意义,聚类则更有意义。图 1 中左边竖排红色部分为 λ 值,顶部粉

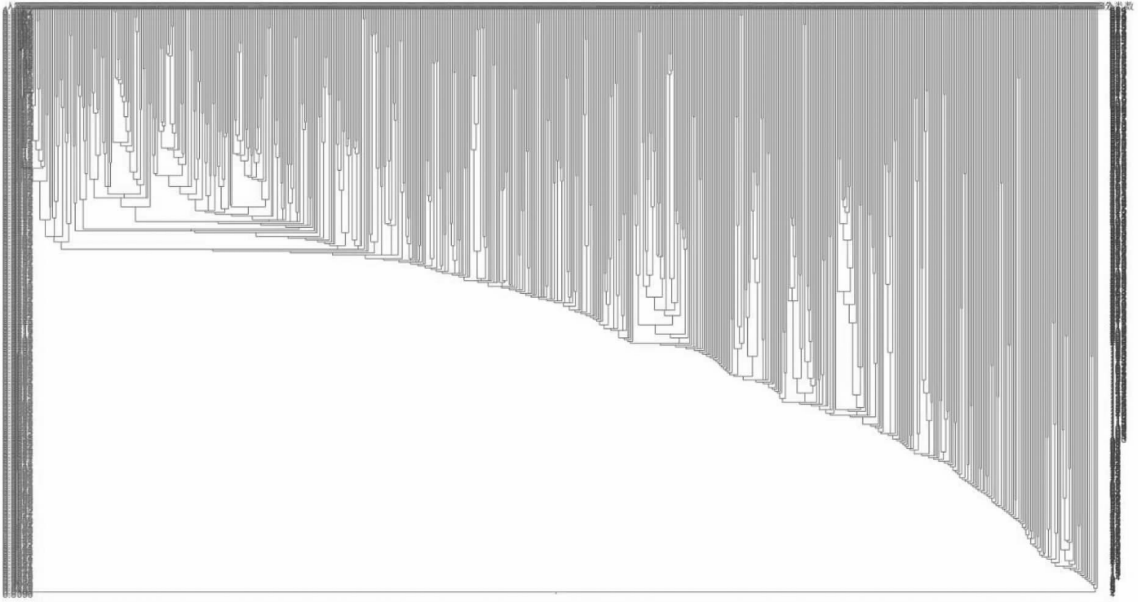


图 1 青稞模糊聚类图

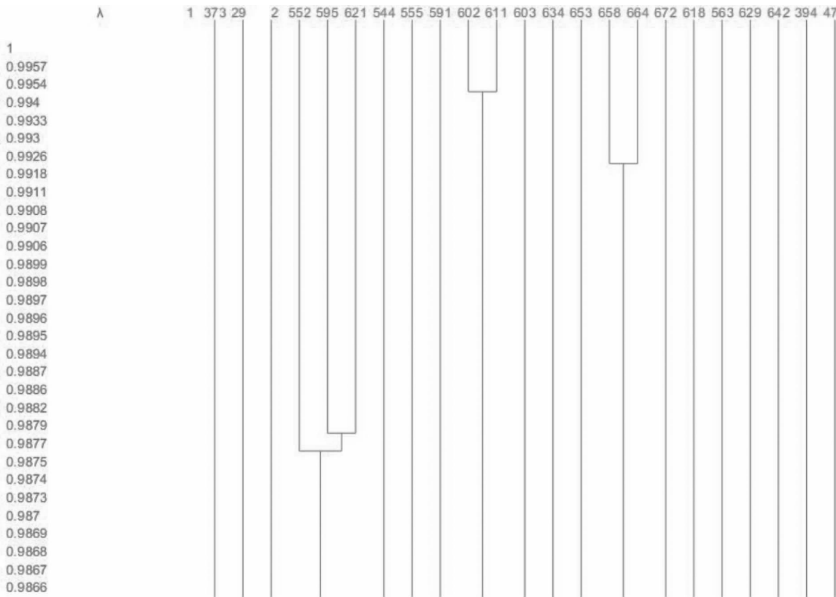


图 2 青稞模糊聚类图(图 1 λ 值和排序后数组局部放大效果图)

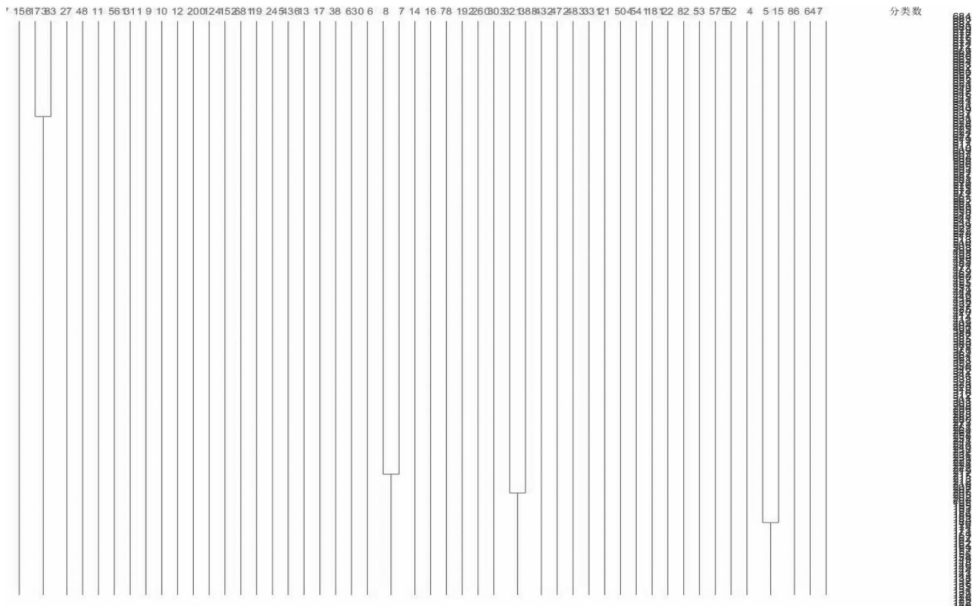


图 3 青稞糊聚类图(图 1 分类值和排序后数组局部放大效果图)

表 6 模糊聚类分析后的所所排序数组矩阵

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	373	29	2	552	595	621	544	555	591	602	611	603	634	653
2	658	664	672	618	563	629	642	394	478	274	328	329	355	381	400
3	461	486	288	300	346	316	341	142	185	164	149	165	206	155	189
4	229	240	167	202	204	233	236	282	287	285	218	244	289	293	269
5	357	401	296	330	344	393	402	348	351	368	360	371	375	384	422
6	410	404	412	435	345	396	451	476	291	397	416	429	211	265	271
7	278	299	365	367	366	405	447	455	477	501	510	559	467	310	524
8	487	511	539	453	521	527	583	625	374	379	406	430	466	378	424
9	305	353	415	465	508	327	385	352	283	359	364	295	322	392	421
10	497	230	248	308	389	420	499	533	545	506	496	565	593	640	637
11	667	413	425	434	479	507	543	679	641	663	509	517	309	502	223
12	268	280	337	395	414	441	438	315	361	442	495	531	458	500	572
13	528	306	377	399	445	456	489	557	606	514	243	302	284	326	184
14	197	209	246	162	188	459	290	616	523	540	553	537	574	617	613
15	615	635	659	518	532	536	600	636	570	623	580	605	249	254	301
16	320	354	335	376	423	498	253	267	380	382	437	463	471	522	473
17	505	474	596	549	566	594	624	350	356	409	408	475	419	232	573
18	631	643	644	576	639	334	398	452	494	457	481	548	577	407	446
19	488	139	179	551	614	150	177	208	214	261	225	226	314	383	597
20	627	391	411	3	534	538	550	607	628	655	542	581	622	587	462
21	484	493	119	134	468	519	210	234	276	298	259	262	433	529	554
22	599	620	633	143	172	470	491	562	213	220	221	654	219	257	646
23	272	286	317	590	632	652	666	670	325	347	403	443	338	369	427
24	464	535	449	512	515	560	564	669	212	279	318	492	592	255	651
25	668	676	682	358	428	480	649	579	239	582	363	568	151	215	252
26	227	235	258	238	520	530	609	612	247	270	312	332	386	584	370

续表 6 Continued table 6

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27	645	36	50	71	69	79	44	47	65	92	102	81	110	125	129
28	80	97	111	128	141	114	89	131	158	163	159	136	175	190	193
29	85	99	108	107	123	39	264	266	439	490	578	241	362	426	661
30	558	503	207	431	648	133	571	104	482	516	42	418	55	619	513
31	650	589	135	169	485	546	598	588	547	556	660	32	64	43	61
32	75	93	120	146	153	176	100	112	138	144	319	340	677	294	608
33	275	638	54	130	66	46	74	72	24	30	31	59	58	62	49
34	25	26	34	90	94	91	95	109	118	132	186	45	201	242	277
35	324	349	250	585	170	180	297	199	84	117	127	137	157	168	183
36	195	174	196	178	187	121	263	203	217	231	281	390	205	147	154
37	161	674	675	680	683	113	98	73	656	76	101	87	106	88	96
38	171	182	224	148	662	63	116	448	145	292	28	40	604	333	372
39	339	525	273	313	444	450	454	342	569	601	115	126	20	657	194
40	216	198	237	251	323	103	307	626	256	387	304	610	57	70	67
41	105	665	684	160	228	673	222	140	567	166	191	77	440	417	469
42	460	35	41	336	18	33	68	671	678	343	526	56	51	60	122
43	586	23	37	156	173	83	27	48	11	561	311	9	10	12	200
44	124	152	681	19	245	436	13	17	38	630	6	8	7	14	16
45	78	192	260	303	321	388	432	472	483	331	21	504	541	181	22
46	82	53	575	52	4	5	15	86	647						

注：参试的青稞，模糊聚类排序后的数组矩阵的排序值。

红色为聚类后的材料序号，右边竖排蓝色部为分类后的序号。

3 结果与分析

3.1 青稞抗倒性鉴定聚类结果分析

从收获的青稞材料整体分析，从模糊聚类结果上讲，依据 λ 值可以分为 318 个不同的类型，按照平均数简单的统计结果，在 684 份资源里则可以说每 2.15 个品种可归为 1 个相同的类型，即其品种的特征与特性是一样的，可以看作是同一个品种资源类型。

按照当 $\lambda = 1$ 时，参试青稞品种各自属于独立一类。即： $\{1, 373, 29, 2, 552, 595, 621, 544, 555, 591, 602, 611, 603, 634, 653, 658, 664, 672, \dots, 575, 52, 4, 5, 15, 86, 647\}$ ；

当 $\lambda = 0.9957$ 时，分为两类，即： $\{1, 29, 2, 552, 595, 621, 544, 555, 591, 602, 611, 603, 634, 653, 658, 664, 672, \dots, 575, 52, 4, 5, 15, 86, 647\}$ 和 $\{373\}$ 。

按照表 3 的 λ 值，依次类推，将参试青稞资源材料归类分为 318 个类型。

图 1~3 的模糊聚类结果图显示，青稞材料的有明显的差异性。从品种序号排序顺序上看，前面的

青稞品种如：1, 373, 29, 2, 552, 595, 621, 544, 555, 和排在后面青稞资源如：575, 52, 4, 5, 15, 86, 647 有着明显的差异性。

通过模糊聚类分析后，对应的青稞资源名，经过重新排序后，可以摸清其资源亲缘关系的远近程度，对于明确资源的类型是极其重要的。

从表 7 可以得到一个较为明确的结果类型。例如：前 10 个资源即：ZDM5766、ZDM5685、ZDM4381、ZDM4611、ZDM5497、ZDM4340、ZDM4684、ZDM4478、ZDM4387、ZDM4281，从类型上更相似和接近为同亲缘类型；后 10 个资源即：ZDM4821、ZDM4423、ZDM5479、ZDM4513、ZDM5559、ZDM5575、ZDM5500、ZDM4819、ZDM5781、ZDM4426 从类型上更相似和接近为同亲缘类型；但前后两者从亲缘和类型上则更加远离。从资源的利用上，该特性尤其重要，需要人们有针对性的、根据要求去选择亲缘关系：近、远及差异大小，才能有明确的目标。

3.2 结合表型数据的抗倒性评价

3.2.1 茎粗 模糊聚类的结果，表型数据较好是：模糊序号 82，种植序号：244，种植名称：ZDM4423，同聚类结果较为一致。

3.2.2 茎秆强度 模糊聚类的结果，表型数据较好

表 7 模糊聚类后的结果排序表

序号	模糊聚类后的序号	田间编号	种植名称
1	1	58	ZDM5766
2	373	15	ZDM5685
3	29	233	ZDM4381
4	2	552	ZDM4611
5	552	335	ZDM5497
6	595	193	ZDM4340
7	621	169	ZDM4684
8	544	306	ZDM4478
9	555	246	ZDM4387
10	591	192	ZDM4281
.....
675	22	524	ZDM4821
676	82	244	ZDM4423
677	53	587	ZDM5479
678	575	291	ZDM4513
679	52	581	ZDM5559
680	4	537	ZDM5575
681	5	645	ZDM5500
682	15	525	ZDM4819
683	86	120	ZDM5781
684	647	313	ZDM4426
.....

是: 模糊序号 4, 种植序号: 537, 种植名称: ZDM5575,同聚类结果较为一致。

3.2.3 茎秆壁厚 模糊聚类的结果,表型数据较好是:模糊序号 647, 种植序号: 313, 种植名称: ZDM4426,同聚类结果较为一致。

3.2.4 株高 结合模糊聚类排序情况:可知道,排序号为 682 号,模糊聚类后的序号是:15,实际田间编号是: 525, 种植品种名称: ZDM4819。其 ZDM4819 最高 121 cm。ZDM5479 的株高 105. 25 cm,其亲缘程度同分类结果吻合,可归属于高秆类型。参试表型株高最高的种质编号为 ZDM4819。青稞株高对于西藏青稞生产具有很好的实际意义,尤其是对于农区生产和农区发展农区畜牧业。

3.3 模糊聚类分析的结果综述

从模糊聚类分析的结果上看,综合抗倒性优质的青稞资源,主要集中模糊排序的最后一些在资源材料中,其整体体现较为抗倒性较为理想和优良。

4 小结与讨论

(1)通过 Matlab 程序]编制^[6-7],能够很容易克服大量的数组矩阵数学运算任务,节省大量的计算时间,避免人为计算出错。

(2)品种资源数量大,模糊聚类时,计算费时耗费。虽然分类容易,但出图的效果比品种资源数量小的情况差^[8]。

(3)由于资源数量大,评价分析工作和评价方法还需要进一步探讨和完善。

(4)对于青稞的抗倒性分析,还应该进行更多的指标进行综合评价分析;本文所涉及的数据仅是综合指标中的一个部分,对于青稞抗倒和青稞综合资源整体分析,还需求进一步开展多指标和多数据评价分析工作,才能更加有利于向从事青稞育种工作提供更多,更有价值的信息和实际利用的供体材料资源。

参考文献:

[1] 百度百科. 作物种质资源[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%BD%9C%E7%89%A9%E7%A7%8D%E8%B4%A8%E8%B5%84%E6%BA%90/3221385>. 2018-04-28.

[2] 胡颂杰. 西藏农业概论[M]. 成都:四川科学技术出版社,1995: 141-175.

[3] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津:天津科学技术出版社,1985.

[4] 李安贵,张志宏,孟艳,等. 模数数学及其应用(第2版)[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

[5] 李鸿吉. 模糊数学基础及实用算法[M]. 北京:科学出版社,2005.

[6] 谢季坚,刘承平. 模糊数方法及其应用(第三版)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2006.

[7] 谢季坚,刘承平. 模糊数方法及其应用(第四版)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2016.

[8] 尹中江,廖文华,卓嘎. 应用模糊聚类方法分析与探讨西藏马铃薯品种德育途径和评价判定方法[J]. 西藏农业科技,2012(3): 39-43.