

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2024.04.04

食葵种质资源遗传多样性分析

胡 杨, 白 苇, 张宝英, 杨素梅, 曲志华, 李 峰

(张家口市农业科学院, 河北 张家口 075000)

摘要:为了全方位了解食葵种质资源的背景和遗传多样性,以收集到的95份食葵种质资源为材料,对其10个主要农艺性状进行遗传多样性分析、相关性分析、通径分析、主成分分析和聚类分析。结果显示,95份食葵材料的主要农艺性状的遗传多样性指数在1.56~2.06,其中百粒质量多样性指数最高,生育期多样性指数最低;变异系数为5.2%~34.3%,其中,单盘粒质量变异系数最高,生育期变异系数最低。相关性分析发现,有42对性状呈极显著正相关,1对性状呈显著正相关,各性状与产量相关性大小依次为单盘粒质量>株高>盘径>茎粗>百粒质量>叶片数>生育期>粒长>粒宽。通径分析发现,各性状对产量的直接作用效果由强到弱依次为单盘粒质量>粒宽>株高>生育期>盘径>茎粗>叶片数>粒长>百粒质量。主成分分析获得3个主要因子,即株型因子、物候因子和产量因子,累计贡献率达81.083%。聚类分析结果显示,在遗传距离为5处,可将这95份种质资源分为5个类群,其中,第I类群中的种质资源植株高大,籽粒饱满,产量高;第II类群中的种质资源粒宽较宽,百粒质量较高;第III类群中的种质资源株高较低,盘径较小,籽粒细长;第IV类群中的种质资源百粒质量较高,茎秆较细;第V类群中的种质资源植株矮小,生育期短,百粒质量和产量较低。综合比较分析得出,第I类群中的种质资源综合表现最佳,综合利用价值最高。

关键词:食葵;种质资源;通径分析;主成分分析;聚类分析;农艺性状

中图分类号:S565.5

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2024)04-0025-09

Genetic Diversity Analysis of Edible Sunflower Germplasm Resources

HU Yang, BAI Wei, ZHANG Baoying, YANG Sumei, QU Zhihua, LI Feng

(Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract: In order to fully understand the background and genetic diversity of edible sunflower germplasm resources, in this study, 10 major agronomic traits of 95 edible sunflower germplasm resources collected were analyzed for genetic diversity, correlation analysis, path analysis, principal component analysis, and clustering analysis. The result showed that the genetic diversity indexes of the 10 main agronomic traits of the 95 materials were between 1.56 and 2.06, the diversity index of 100 grain weight was the highest and diversity index of growth period was the lowest. The coefficient of variation was between 5.2% and 34.3%, with the highest coefficient of variation for single disc grain quality and the lowest coefficient of variation for growth period. Correlation analysis found that 42 pairs of traits were extremely significantly positively correlated, and 1 pair of traits was significantly positively correlated, the correlation between each trait and yield was as follows: single disc grain weight > plant height > disc diameter > stem diameter > 100 grain weight > leaf number > growth period > grain length > grain width. Path analysis showed that the direct effect of each trait on yield was as follows: single disc grain weight > grain width > plant height > growth period > disc diameter > stem diameter > leaf number > grain length > 100 grain weight. 3 main factors, namely plant type factor, phenological factor, and yield factor, were obtained by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 81.083%. The results of cluster analysis showed that 95 germplasm resources could be divided into 5 groups at the site where genetic distance was 5. The germplasm resources in Group I were characterized by tall plant, full grains, and high yield. The germplasm resources in Group II had wider grain width and higher 100 grain weight. The germplasm resources in Group III had lower plant height, smaller disc diameter and slender grains. The germplasm resources in Group IV had higher 100 grain weight and thinner stalk. The germplasm resources in Group V had short plants, short growth period, low 100 grain weight and yield. Comprehensive comparative analysis showed that the germplasm resources in Group I had the best comprehensive performance and the highest comprehensive utilization value.

Key words: edible sunflower; germplasm resources; path analysis; principal component analysis; cluster analysis; agronomic traits

收稿日期: 2023-08-28

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-14-2-02)

作者简介: 胡 杨(1993-),女,河北唐山人,农艺师,硕士,主要从事向日葵育种与栽培研究工作。

通信作者: 白 苇(1981-),男,河北张家口人,副研究员,硕士,主要从事向日葵育种与栽培研究工作。

向日葵(*Helianthus annuus* L.)是1年生草本植物,是全球主要油料作物之一,现已成为世界性商业化经济作物^[1]。由于具有较高的使用价值,人们对其认可度越来越高,对向日葵资源的收集和保存也越来越重视。根据可查阅的互联网和文献数据库^[2-3],重点收集和保存的向日葵种质资源共计21 800多份,美国占45%,欧盟和中国次之。我国食用向日葵(食葵)在长期的生产、种植和选择过程中,株型、籽粒和商品性呈多样化,进而形成不同的地方资源。目前,我国收集入库的种质资源达2 800多份,少部分为育成品种,大多数为地方性资源,主要分布在东北、华北、西北及西南半干旱地区^[4]。地方资源在长期适应当地的土壤、气候等环境条件的过程中产生了丰富的遗传变异,因此,育种专家对其高度重视。

评价种质资源形态多样性水平是研究作物多样性的途径之一^[5-7]。研究向日葵表型性状是研究向日葵地方资源多样性的主要方法^[8-9]。杨素梅等^[10]对40份食葵资源材料10个性状进行鉴定分析,发现研究的10个性状均呈现丰富的变异,其中,株高变异最显著,也发现阳原地区向日葵资源最为多样。柳延涛等^[11]对新疆14个向日葵资源的11个主要农艺性状进行变异系数、相关性和主成分分析,结果表明,单盘粒质量、单盘小花数和百粒质量的变异系数较大,4个主成分累计贡献率达86.66%。奉斌等^[12]研究了贵州不同生态区65份向日葵品种,对25个主要农艺性状进行遗传多态性、主成分及聚类分析,结果表明,3个主成分累计贡献率达80.58%,聚类分析发现向日葵资源分为2个大类4个亚类,表明贵州地方向日葵资源具有十分丰富的多样性。郭树春^[13]对国内外50份向日葵资源进行了聚类分析,共分为3大类群,表明这些材料具有十分丰富的遗传多态性。梁春波^[14]对20个向

日葵品种的10个主要农艺性状进行了相关性分析和通径分析,发现结实率、百粒质量、单株粒数、花盘直径、籽仁率对单株产量影响较大。在食葵选育过程中,高产是育种的主要目标,不仅要把亲本选配作为育种的重点,还要有针对性地选择主要性状,必须综合兼顾性状间的关系^[15]。因此,分析主要农艺性状对产量的影响及其主次关系,明确性状选择方向,对选育优质高产新品种意义重大。

本研究对2017—2021年从向日葵主产区河北省、黑龙江省、山西省、内蒙古自治区收集到的95份食葵种质资源,开展了遗传多样性分析和鉴定评价,旨在了解种质资源的地域特色和优劣属性,把握资源利用的目标,为食葵深入研究、挖掘重要功能基因/QTL及品种改良奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2022年张家口市农业科学院坝下试验基地进行,试验地位于115°55'E,40°40'N,海拔643 m。日照时数为2 906.4 h,全年平均气温为6.2℃,年平均降水量为349.7 mm^[17]。试验地土壤有机质含量为16.3 g/kg,水解氮含量为43.9 mg/kg,有效磷含量为16.2 mg/kg,速效钾含量为189 mg/kg,pH值为8.56。

1.2 试验材料

2017—2021年从向日葵主产区河北省、黑龙江省、山西省、内蒙古自治区收集食葵种质资源95份(表1),其中河北省涿鹿县10份、阳原县11份、怀安县10份、宣化县13份、蔚县8份;山西省太原市3份、大同市8份;黑龙江省哈尔滨市6份、甘南县5份;内蒙古自治区呼和浩特市7份、赤峰市7份、巴彦淖尔市7份。

表1 食葵种质资源的来源地和主要农艺性状的统计分析

Tab.1 Statistical analysis of the origin and main agronomic traits of the edible sunflower germplasm resources

序号 Num ber	来源 Origin	生育期/d Growth period	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem di- ameter	盘径/cm Disc diam- eter	叶片数 Leaf num- ber	粒长/mm Seed length	粒宽/mm Seed width	单盘粒质量/g Single disc grain weight	百粒质量/g 100 grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
1	河北省涿鹿县	131	279.8	2.8	25.3	48.8	20.2	8.9	113.7	20.5	1 567.5
2	河北省涿鹿县	126	221.6	2.3	22.8	37.6	19.8	6.4	128.2	16.3	1 993.2
3	河北省涿鹿县	126	215.3	2.1	20.0	34.8	19.2	7.1	112.3	15.3	1 944.8
4	河北省涿鹿县	131	285.9	2.6	25.5	44.5	21.6	8.9	140.2	21.7	1 779.2
5	河北省涿鹿县	107	155.0	1.7	16.8	33.4	19.3	6.0	83.8	14.4	1 302.3
6	河北省涿鹿县	122	198.8	2.2	21.3	48.7	21.6	8.3	109.4	18.3	1 099.8
7	河北省涿鹿县	125	253.9	2.3	20.1	36.4	20.4	6.1	99.8	15.3	1 751.6

续表1 食葵种质资源的来源地和主要农艺性状的统计分析
 Tab.1 (Continued) Statistical analysis of the origin and main agronomic traits of the edible sunflower germplasm resources

序号 Number	来源 Origin	生育期/d Growth period	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	盘径/cm Disc diameter	叶片数 Leaf number	粒长/mm Seed length	粒宽/mm Seed width	单盘粒质量/g Single disc grain weight	百粒质量/g 100 grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
8	河北省涿鹿县	125	226.4	2.2	21.4	38.7	20.3	8.2	121.1	18.2	1 883.7
9	河北省涿鹿县	125	210.0	2.2	20.3	37.3	18.3	8.2	99.2	16.8	1 741.9
10	河北省涿鹿县	131	338.1	3.1	30.0	58.4	19.1	8.2	75.5	19.5	1 174.4
11	河北省阳原县	131	291.0	2.6	25.9	54.7	20.0	8.1	150.4	16.3	2 326.2
12	河北省阳原县	125	283.4	2.8	24.5	54.5	21.1	10.0	134.1	23.4	1 284.9
13	河北省阳原县	124	259.1	2.5	24.5	48.0	21.2	6.3	161.7	16.2	2 513.3
14	河北省阳原县	131	255.5	2.2	22.3	53.3	19.9	7.4	145.8	17.8	2 167.7
15	河北省阳原县	131	238.8	2.1	21.7	43.3	20.3	8.2	93.5	17.8	1 254.6
16	河北省阳原县	130	254.9	2.2	22.1	49.5	21.6	7.8	116.7	19.6	1 301.4
17	河北省阳原县	131	262.6	2.3	21.5	50.5	22.8	9.3	125.0	18.9	1 141.5
18	河北省阳原县	131	244.4	2.2	22.2	50.7	19.3	8.6	130.7	17.5	2 032.2
19	河北省阳原县	130	261.0	2.3	22.8	48.3	20.8	7.2	108.7	17.6	2 089.8
20	河北省阳原县	131	282.2	2.6	23.7	58.7	20.7	9.5	145.8	17.1	1 766.7
21	河北省阳原县	129	369.8	3.1	27.0	56.6	24.3	8.7	129.5	20.1	2 012.4
22	河北省怀安县	113	267.7	2.2	21.1	44.2	21.4	7.9	114.5	18.3	1 278.6
23	河北省怀安县	113	234.2	2.2	18.9	35.6	19.1	6.2	96.7	12.4	1 802.0
24	河北省怀安县	123	307.3	2.9	20.4	51.4	21.5	8.7	143.0	21.3	1 622.7
25	河北省怀安县	123	299.3	2.5	22.3	54.3	19.4	7.2	162.2	17.9	2 520.2
26	河北省怀安县	127	300.4	2.4	18.0	49.5	18.7	9.4	89.9	14.4	1 097.1
27	河北省怀安县	126	326.5	2.7	18.3	55.7	21.7	6.5	139.0	17.2	2 259.3
28	河北省怀安县	113	259.5	2.2	18.8	36.8	19.1	6.4	82.6	14.5	1 683.9
29	河北省怀安县	129	265.6	2.2	18.2	53.2	20.1	8.2	111.1	18.8	1 325.8
30	河北省怀安县	129	291.7	2.4	21.8	56.0	19.4	8.6	129.6	18.3	1 813.6
31	河北省怀安县	124	215.3	2.1	18.6	40.2	22.5	7.2	68.1	14.8	1 058.6
32	河北省宣化县	129	357.7	3.8	30.0	51.7	22.5	9.0	237.7	21.4	2 787.6
33	河北省宣化县	129	366.6	3.4	27.5	52.4	21.9	9.1	235.2	21.5	2 476.1
34	河北省宣化县	131	257.5	2.3	22.0	59.1	20.8	6.9	130.6	19.8	1 828.6
35	河北省宣化县	131	278.0	2.5	22.7	57.3	19.1	8.5	142.2	16.9	1 910.6
36	河北省宣化县	130	375.6	2.8	24.5	55.5	20.9	8.7	157.5	19.4	2 447.6
37	河北省宣化县	131	363.2	2.9	25.6	58.8	20.3	8.0	153.9	18.6	2 391.6
38	河北省宣化县	131	328.3	2.8	22.7	50.4	18.7	8.1	157.0	17.3	2 440.4
39	河北省宣化县	132	377.2	3.4	29.6	50.1	21.1	8.3	240.0	21.4	2 705.3
40	河北省宣化县	132	379.7	3.6	27.5	54.6	23.0	9.2	237.1	25.0	2 617.1
41	河北省宣化县	117	285.9	3.9	28.2	39.1	22.6	8.2	155.2	16.2	2 011.3
42	河北省宣化县	118	283.8	3.3	26.7	44.5	22.2	8.6	193.9	19.8	2 476.1
43	河北省宣化县	131	248.4	2.3	21.5	51.8	22.3	9.0	108.3	21.2	1 083.6
44	河北省宣化县	131	288.5	2.7	21.5	51.5	21.4	8.1	114.4	20.5	1 570.8
45	河北省蔚县	125	248.5	2.4	21.2	43.8	22.1	8.5	116.2	19.8	1 805.1
46	河北省蔚县	113	212.5	2.7	21.7	41.5	23.7	7.5	101.3	16.7	1 573.7
47	河北省蔚县	118	226.5	2.1	18.7	52.7	18.8	8.3	119.0	16.6	1 849.2
48	河北省蔚县	127	320.1	3.1	25.5	55.5	22.6	8.3	139.7	21.5	2 171.0
49	河北省蔚县	117	275.5	1.9	21.4	43.6	20.5	8.2	138.6	17.8	2 153.9
50	河北省蔚县	132	375.4	3.4	26.3	54.1	24.0	9.1	148.8	21.6	2 446.7
51	河北省蔚县	132	363.0	3.5	26.4	53.6	21.8	8.4	213.0	20.5	2 038.1

续表 1 食葵种质资源的来源地和主要农艺性状的统计分析
 Tab.1 (Continued) Statistical analysis of the origin and main agronomic traits of the edible sunflower germplasm resources

序号 Number	来源 Origin	生育期/d Growth period	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	盘径/cm Disc diameter	叶片数 Leaf number	粒长/mm Seed length	粒宽/mm Seed width	单盘粒质量/g Single disc grain weight	百粒质量/g 100 grain weight	产量/ (kg/hm ²) Yield
52	河北省蔚县	132	328.4	4.0	30.0	45.5	23.7	8.7	225.0	22.5	2 449.1
53	山西省太原市	109	131.2	1.7	16.3	28.0	16.2	7.2	24.8	9.5	385.4
54	山西省太原市	109	159.8	1.7	14.6	31.4	19.5	7.9	40.2	12.8	624.8
55	山西省太原市	111	139.1	1.6	16.2	24.8	18.7	6.4	34.5	11.4	536.1
56	山西省大同市	130	303.3	2.8	26.5	50.4	23.8	8.8	101.9	18.0	1 585.4
57	山西省大同市	130	263.6	2.2	19.8	55.2	19.1	8.4	107.2	17.2	1 667.4
58	山西省大同市	129	273.6	2.4	18.3	43.3	20.5	8.2	130.8	18.2	2 033.1
59	山西省大同市	129	265.5	2.1	17.6	41.2	19.7	7.5	93.1	14.4	1 446.3
60	山西省大同市	126	226.3	2.3	20.8	40.5	19.1	7.1	138.0	18.7	2 150.1
61	山西省大同市	126	206.7	2.3	21.5	33.1	19.2	8.1	132.4	18.5	1 957.6
62	山西省大同市	124	214.5	2.2	21.3	43.3	23.2	6.7	113.8	15.8	1 969.9
63	山西省大同市	125	233.4	2.5	21.3	39.3	21.5	7.4	110.1	15.9	2 111.7
64	黑龙江省哈尔滨市	118	313.5	3.8	26.3	58.5	26.6	9.7	234.3	21.3	2 097.5
65	黑龙江省哈尔滨市	128	333.7	2.7	26.6	56.8	26.5	9.6	142.5	20.8	2 214.3
66	黑龙江省哈尔滨市	128	335.4	3.5	32.7	57.7	22.8	10.4	225.0	23.5	2 747.0
67	黑龙江省哈尔滨市	131	401.4	3.2	30.2	59.0	24.3	10.0	230.3	24.1	2 614.8
68	黑龙江省哈尔滨市	132	342.0	3.6	26.8	54.3	20.7	8.6	197.8	18.9	2 242.7
69	黑龙江省哈尔滨市	123	260.7	2.5	23.8	36.2	21.3	7.9	177.3	18.1	2 755.8
70	黑龙江省甘南县	118	338.7	3.3	26.2	51.1	21.4	9.9	208.5	20.4	2 079.2
71	黑龙江省甘南县	132	316.5	4.0	27.5	50.9	21.8	8.0	178.3	19.1	1 924.1
72	黑龙江省甘南县	132	369.7	3.4	27.9	54.6	22.0	8.8	220.6	21.0	1 943.6
73	黑龙江省甘南县	131	300.7	4.1	24.7	53.7	21.8	9.3	129.8	22.4	2 017.2
74	黑龙江省甘南县	131	333.8	4.0	23.5	53.6	19.2	8.2	153.8	20.1	2 390.9
75	内蒙古呼和浩特市	131	255.5	2.2	22.2	47.2	20.5	8.4	100.7	17.6	1 565.4
76	内蒙古呼和浩特市	131	292.6	2.2	20.9	49.4	19.4	6.8	99.9	14.7	1 553.1
77	内蒙古呼和浩特市	131	287.7	2.8	25.6	53.9	21.2	9.3	89.8	19.4	1 400.7
78	内蒙古呼和浩特市	121	236.9	2.2	19.8	36.1	18.1	5.6	95.2	12.5	1 480.1
79	内蒙古呼和浩特市	131	248.1	2.2	26.0	48.0	21.7	8.2	134.8	21.3	1 486.1
80	内蒙古呼和浩特市	131	267.7	2.4	21.7	47.3	21.7	8.7	136.3	20.3	1 518.2
81	内蒙古呼和浩特市	123	311.1	2.6	19.4	46.2	23.8	8.2	118.9	19.2	1 647.0
82	内蒙古赤峰市	131	247.3	2.4	20.9	46.7	21.8	9.8	122.6	20.8	1 904.4
83	内蒙古赤峰市	126	246.1	2.5	18.7	42.3	25.7	7.2	114.9	18.1	1 785.5
84	内蒙古赤峰市	121	281.0	2.9	24.0	40.3	23.4	8.6	179.9	19.2	2 126.7
85	内蒙古赤峰市	121	275.5	2.7	26.3	42.3	25.0	8.0	216.6	21.2	2 469.5
86	内蒙古赤峰市	124	233.6	2.9	23.2	44.8	22.4	10.0	137.9	25.1	2 131.4
87	内蒙古赤峰市	125	215.5	2.2	20.5	34.7	19.2	7.8	109.4	12.8	1 700.3
88	内蒙古赤峰市	124	237.8	2.3	21.6	40.4	20.5	8.4	114.7	16.2	1 784.0
89	内蒙古巴彦淖尔市	113	225.4	2.3	17.7	35.2	20.8	5.6	71.1	12.5	1 505.4
90	内蒙古巴彦淖尔市	124	233.6	2.3	22.7	44.3	21.9	8.1	110.3	19.9	1 514.1
91	内蒙古巴彦淖尔市	131	288.8	2.7	23.5	51.7	21.3	9.2	151.4	23.2	1 554.6
92	内蒙古巴彦淖尔市	113	207.6	2.3	18.9	38.6	22.3	6.4	94.4	16.2	1 466.4
93	内蒙古巴彦淖尔市	128	274.6	2.6	23.8	58.5	21.6	9.4	92.9	22.1	1 442.9
94	内蒙古巴彦淖尔市	117	285.7	3.4	25.7	40.4	25.5	9.4	178.0	23.2	1 800.6
95	内蒙古巴彦淖尔市	118	259.1	3.7	26.4	36.5	23.3	8.5	128.2	17.5	1 601.4

1.3 试验方法

参试材料每份种植 2 行,顺序排列,小区面积 8.64 m² (5.4 m×1.6 m),行距 0.8 m,株距 0.6 m,田间管理同一般大田。向日葵成熟后,每小区随机连续选取有代表性的 10 株用于考种^[16],考察生育期 (X₁)、株高 (X₂)、茎粗 (X₃)、盘径 (X₄)、叶片数 (X₅)、粒长 (X₆)、粒宽 (X₇)、单盘粒质量 (X₈)、百粒质量 (X₉),收获时全区测产 (X₁₀)。

1.4 数据分析

运用 Excel 进行数据统计,SPSS 20.0 进行各农艺性状分析。遗传多样性指数采用 Shannon-weave 多样性指数计算公式所得。

$$H' = -\sum (P_i) (\ln P_i) \quad (1)$$

式中,*i* 为某一性状的分级,*P_i* 为该性状第 *i* 级出现的频率。在遗传多样性指数计算中,根据数据的平均值 (M) 和标准差 (S) 将数据分为 10 级,从第 1 级 $X_i < (M - 2S)$ 到第 10 级 $X_i > (M + 2S)$,

每 0.5 S 为一级^[18]。

2 结果与分析

2.1 主要农艺性状分析

从表 2 可以看出,对 95 份参试材料 10 个主要农艺性状的调查结果表明,遗传多样性指数变幅为 1.56~2.06,平均为 1.94,百粒质量的遗传多样性指数最高,生育期最低。株高、盘径、粒长、粒宽、百粒质量和产量 6 个性状的遗传多样性指数均高于平均值,说明它们具有较稳定的遗传。各农艺性状的变异系数变幅为 5.2%~34.3%,平均 18.0%,单盘粒质量的变异系数最高,生育期最低。株高、茎粗、盘径、叶片数、粒宽、单盘粒质量、百粒质量和产量 8 个性状的变异系数均超过 10%,在优异资源的利用方面有较大的选择空间。产量具有较高的遗传多样性指数和变异系数,这为筛选高产食葵资源提供了有利的条件。

表 2 主要农艺性状变异统计分析
Tab.2 Statistical analysis of variation of main agronomic traits

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV	遗传多样性指数 H'
X ₁	125.6	6.5	107.0	132.0	5.2	1.56
X ₂	275.5	55.2	131.2	401.4	20.0	2.00
X ₃	2.7	0.6	1.6	4.1	22.1	1.82
X ₄	22.9	3.6	14.6	32.7	15.8	2.01
X ₅	47.1	8.1	24.8	59.1	17.2	1.94
X ₆	21.2	1.9	16.2	26.6	9.1	2.01
X ₇	8.2	1.1	5.6	10.4	13.0	2.04
X ₈	135.2	46.4	24.8	240.0	34.3	1.89
X ₉	18.5	3.1	9.5	25.1	16.7	2.06
X ₁₀	1 839.5	493.3	385.4	2 787.6	26.8	2.05
平均 Mean					18.0	1.94

2.2 相关性分析

食葵种质资源的主要农艺性状相关性分析如

表 3 所示。

表 3 主要农艺性状相关性分析
Tab.3 Correlation analysis of major agronomic traits

性状 Trait	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
X ₂	0.569**	1							
X ₃	0.314**	0.744**	1						
X ₄	0.454**	0.736**	0.794**	1					
X ₅	0.660**	0.742**	0.459**	0.540**	1				
X ₆	0.080	0.393**	0.495**	0.483**	0.263*	1			
X ₇	0.413**	0.509**	0.502**	0.564**	0.554**	0.404**	1		
X ₈	0.350**	0.728**	0.730**	0.762**	0.470**	0.462**	0.470**	1	
X ₉	0.507**	0.631**	0.616**	0.688**	0.619**	0.582**	0.736**	0.663**	1
X ₁₀	0.339**	0.627**	0.561**	0.603**	0.367**	0.296**	0.199	0.798**	0.451**

注:**表示在 $P < 0.01$ 水平极显著相关;*表示在 $P < 0.05$ 水平显著相关。

Note: ** indicated the correlation was extremely significant at the 0.01 level; * indicated the correlation was significant at the 0.05 level.

从表 3 可以看出,对生育期、株高、茎粗、盘径、叶片数、粒长、粒宽、单盘粒质量、百粒质量和产量 10 个主要农艺性状进行相关性分析。结果表明,有 42 对性状呈极显著正相关($P < 0.01$), 1 对呈显著性正相关($P < 0.05$)。相关分析得出了较多的极显著正相关,说明各性状之间存在较多的相互影响,这组食葵资源材料的性状相辅相成,这有益于筛选优异性状。各性状与产量相关性由大到小依次为单盘粒质量>株高>盘径>茎粗>百粒质量>叶片数>生育期>粒长>粒宽。

2.3 通径分析

通过通径分析确定了各性状对产量的影响(表 4),各性状对产量的影响由大到小依次为单盘粒质量>粒宽>株高>生育期>盘径>茎粗>叶片数>

粒长>百粒质量。其中,单盘粒质量、株高、生育期、盘径、百粒质量对产量影响呈正向,说明这 5 个性状在不考虑其他性状的相互作用下对产量的影响起到了主要正向作用。粒宽、茎粗、叶片数、粒长对产量直接影响呈负向,说明这 4 个性状如果不考虑其他性状的相互作用下对产量起到了负向作用。单盘粒质量对产量的直接效应最高,达 0.789, 剩余 8 个性状对产量的直接效应较低,而通过单盘粒质量的间接效应均最高,表明在食葵生产中单盘粒质量起着重要的作用。但单盘粒质量通过茎粗、叶片数、粒长、粒宽均产生负效应,说明在食葵高育种过程中不能一味考虑正向选择,还要注意其他性状的综合作用。

表 4 产量与各农艺性状的通径分析
Tab.4 Path analysis between yield and agronomic traits

性状 Trait	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient								
		$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$	$\rightarrow X_8$	$\rightarrow X_9$
X_1	0.098		0.103	-0.018	0.028	-0.037	-0.002	-0.114	0.276	0.006
X_2	0.181	0.056		-0.043	0.046	-0.042	-0.012	-0.141	0.574	0.007
X_3	-0.058	0.031	0.135		0.050	-0.026	-0.015	-0.139	0.576	0.007
X_4	0.062	0.044	0.133	-0.046		-0.031	-0.014	-0.156	0.601	0.008
X_5	-0.057	0.065	0.134	-0.026	0.034		-0.008	-0.153	0.371	0.007
X_6	-0.029	0.008	0.071	-0.029	0.030	-0.015		-0.112	0.365	0.007
X_7	-0.276	0.040	0.092	-0.029	0.035	-0.031	-0.012		0.371	0.009
X_8	0.789	0.034	0.132	-0.042	0.048	-0.027	-0.014	-0.130		0.008
X_9	0.012	0.050	0.114	-0.035	0.043	-0.035	-0.017	-0.203	0.523	

2.4 主成分分析

通过主成分分析,对 10 个主要农艺性状进行研究,按照特征值大于 1 的标准,总结出 3 个因子,这 3 个因子所解释方差占变量所有方差的 81.083%,能够较为全面地反映所有遗传信息(表 5)。

第 1 主成分贡献率最大,为 58.972%,特征值为 5.897,特征向量主要由株高、茎粗、盘径、叶片数、单盘粒质量和百粒质量 6 个性状决定,这 6 个性状

均与株型有关,且相互之间呈极显著正相关($P < 0.01$),说明植株越高大,籽粒越重,可称为株型因子。第 2 主成分贡献率为 11.969%,特征值为 1.197,载荷较高的性状为生育期,特征向量为 0.576,总结为物候因子。第 3 主成分贡献率为 10.142%,特征值为 1.014,载荷较高的性状为粒长、粒宽和百粒质量,特征向量分别为 0.528、0.479 和 0.312,这 3 个性状均与产量有关,可称为产量因子。

表 5 主要农艺性状的主成分分析
Tab.5 Principal component analysis of major agronomic traits

性状 Trait	第 1 特征向量 Eigenvector 1	第 2 特征向量 Eigenvector 2	第 3 特征向量 Eigenvector 3	性状 Trait	第 1 特征向量 Eigenvector 1	第 2 特征向量 Eigenvector 2	第 3 特征向量 Eigenvector 3
X_1	0.248	0.576	-0.230	X_7	0.287	0.242	0.479
X_2	0.364	0.073	-0.204	X_8	0.352	-0.289	-0.198
X_3	0.341	-0.249	-0.006	X_9	0.350	0.081	0.312
X_4	0.362	-0.128	-0.026	X_{10}	0.286	-0.311	-0.507
X_5	0.305	0.457	-0.048	特征值 Eigenvalue	5.897	1.197	1.014
X_6	0.236	-0.361	0.528	贡献率/% Contribution	58.972	11.969	10.142

2.5 聚类分析

按照欧氏距离和类平均法,对95份种质资源的10个主要农艺性状进行聚类分析,将参试材料在遗传距离为5处划分为5个类群(图1)。

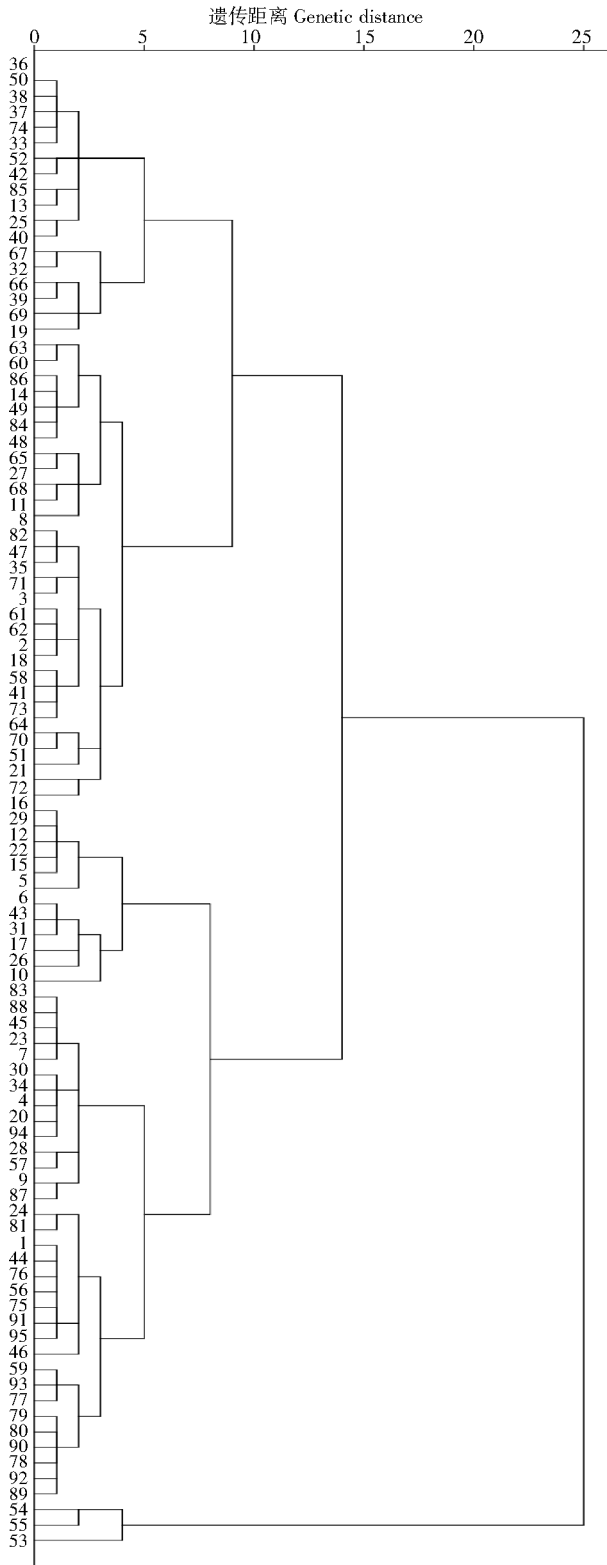


图1 95份食葵种质资源聚类分析
Fig.1 Clustering analysis of 95 germplasm resources of edible sunflower

第Ⅰ类群包括17份材料,分别来自河北省和黑龙江省7个市县,该类群材料生育期最长、植株高大、籽粒最重、商品性好、产量最高,其利用价值最大。第Ⅱ类群包括30份材料,分别来自河北省、黑龙江省和内蒙古自治区7个市县,该类材料粒宽和百粒质量表现相对突出,商品性优。第Ⅲ类群包括12份材料,均来自河北省的4个市县,株高最低,盘径较小,粒长较长,粒宽较短。第Ⅳ类群包括33份材料,该类材料最多,分布最广,分别来自河北省、山西省和内蒙古自治区9个市县,百粒质量较大,茎粗较小。第Ⅴ类群最少,只有3份材料,均来自山西省太原市,该类材料生育期最短、植株矮小、籽粒最轻、商品性差、产量最低,这3份材料不适宜本地种植。

3 结论与讨论

种质资源是育种研究的基础材料,是农业研究的“芯片”,关乎粮食安全的战略资源,在很多国家引起了高度重视^[19],而研究种质资源的方法主要是对其农艺性状的鉴定和评价^[20-21]。2017—2021年从向日葵主产区河北省、黑龙江省、山西省、内蒙古自治区收集食葵地方资源95份,是分布较为广泛的食葵地方资源。由于长年种植,经自然选择和人工选择,具有籽粒大、口感好、抗病性强、根系发达等特点;分布特点上,均种植在土壤干旱、贫瘠、盐碱地区,这与其抗逆性强的生长特性有关。

95份食葵种质资源具有丰富的遗传多样性,这为筛选优质、高产食葵资源提供了有利的条件。多样性指数和变异系数都是反映资源遗传多样性的指标。本研究的95份食葵地方资源10个主要农艺性状的遗传多样性指数变幅在1.56~2.06,变异系数变幅在5.2%~34.3%,表现出丰富的遗传多样性,资源可选范围大。其中,单盘粒质量和产量的变异系数较大,这与白苇等^[22]、尹海峰等^[23]研究结果一致。通过对食葵主要农艺性状与产量的相关分析和通径分析,各性状对食葵产量的相对重要性进行客观评价,研究表明各性状与产量相关,影响顺序依次为单盘粒质量>株高>盘径>茎粗>百粒质量>叶片数>生育期>粒长>粒宽,其中单盘粒质量对产量影响最大,这与王佰众等^[24]、张宝英等^[25]、刘鑫等^[26]研究结果一致。本研究认为,在食葵选育过程中,选择单盘粒质量、株高、盘径较高的品种(系)至关重要,这与张雷等^[27]、王鹏飞等^[28]研究结果一致。通径分析结果显示,各性状对产量的

影响依次为单盘粒质量>粒宽>株高>生育期>盘径>茎粗>叶片数>粒长>百粒质量,其中单盘粒质量、粒宽 2 个性状对产量具有较显著的直接作用,这与张宝英等^[25]研究结果一致。前人研究认为,百粒质量、粒长对食葵产量直接作用较大^[27],且均为正向。本研究中百粒质量、粒长虽然直接作用最低,但均通过单盘粒质量具有较高的间接作用。因此,各性状间的相互作用是复杂的,某一性状的加强常常伴随着一些性状效应的增强和另一些性状效应的减弱。

主成分分析和聚类分析是研究种质资源的主要方法。本研究通过主成分分析,提取出株型因子、物候因子和产量因子,这 3 个因子较全面反映了食葵主要农艺性状之间的关系,累计贡献率达 81.083%,能够比较全面地反映所有遗传信息。但不同生态区的主成分因子及贡献率有较大差异^[11,29],这主要受到了环境的影响,在不同生态区表现不完全一致。通过聚类分析,95 份食葵地方资源划分为 5 类,各个类群相互存在显著差异。第 I 类群材料表现最佳,利用价值高;第 II 类群材料商品性好,第 III 类群材料粒长较长,第 IV 类群材料百粒质量较重,第 V 类群材料表现最差,生育期短、植株矮小,对这些材料可进行有针对性的选择利用。因此,在种质资源利用过程中,根据各类群特点进行亲本选择,扬长补短,有针对性的挖掘优异性状基因,如利用第 I 类群材料综合性状优良的特点,选育高产、优质新品种;利用第 IV 类群材料百粒质量较高的特点,选育口感优良的嗑食瓜子;利用第 II、III 类群材料商品性好、籽粒长的特点,选育具有农家特色的高品质新品种;利用第 V 类群材料植株矮小的特点,选育观赏葵花。

参考文献:

- [1] 白苇,胡杨,胡卿卿,等.冀北油葵主要栽培因素对产量的影响[J].中国农学通报,2022,38(5):17-22.
BAI W, HU Y, HU Q Q, et al. Effect of main cultivation factors on yield of oil sunflower in north Hebei[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(5): 17-22.
- [2] National Multi-crop Databases [EB/OL]. [2010-06-13] <http://www.globalplanofaction.org>.
- [3] SINGH A K. Guidelines for registration of plant germplasm[M]. India: The member secretary plant germplasm registration committee, National Bureau of Plant Genetic Resources, 2005:1-20.
- [4] 谭美莲,严明芳,汪磊,等.世界特种油料种质资源保存概况[J].植物遗传资源学报,2011,12(3):339-345.
TAN M L, YAN M F, WANG L, et al. Status of special oil crops germplasm conservation in the world[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(3): 339-345.
- [5] 王晓洁,黎美霞,陶蕾,等.48份黑果枸杞种质主要表型和品质性状的遗传多样性研究[J].河南农业科学,2023,52(9):78-90.
WANG X J, LI M X, TAO L, et al. Study on the genetic diversity of phenotypic and quality traits of 48 germplasm resources of *Lycium ruthenicum* Murr.[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(9): 78-90.
- [6] 冯章丽,于文全,顾广军,等.东北部分地区山荆子种质资源表型多样性及聚类分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(6):984-992.
FENG Z L, YU W Q, GU G J, et al. Phenotypic diversity and clustering analysis of *Malus baccata* (L.) borkh. in some areas of northeast China[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(6): 984-992.
- [7] 万述伟,宋风景,郝俊杰,等.271份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2017,18(1):10-18.
WAN S W, SONG F J, HAO J J, et al. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 10-18.
- [8] 包海柱.向日葵农家种质资源评价[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
BAO H Z. Evaluation of sunflower germplasm resources of local endemic species[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [9] 谭美莲,杨明坤,严明芳,等.向日葵种质的SSR分析[J].西北植物学报,2011,31(12):2412-2419.
TAN M L, YANG M K, YAN M F, et al. Genetic analysis of sunflower germplasm with SSR markers[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(12): 2412-2419.
- [10] 杨素梅,杨德智,白苇,等.冀西北食用向日葵的鉴定与评价[J].黑龙江农业科学,2010(9):19-22.
YANG S M, YANG D Z, BAI W, et al. Identification and evaluation of confectionery sunflower in northwest Hebei province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010(9): 19-22.
- [11] 柳延涛,陈寅初,李万云,等.新疆绿洲农区油葵区试品种主要农艺性状的多元相关分析[J].西北农业学报,2012,21(2):78-82.
LIU Y T, CHEN Y C, LI W Y, et al. Correlation analysis of main agronomic characters of oil-sunflower in variety regional trial of Xinjiang oasis[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2012, 21(2): 78-82.
- [12] 奉斌,李慧琳,杨胜先,等.贵州地方向日葵种质资源表型性状多样性分析[J].中国农业科技导报,2018,20(7):34-41.
FENG B, LI H L, YANG S X, et al. Analysis of genetic diversity of sunflower germplasm resources in Guizhou[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(7): 34-41.
- [13] 郭树春.食用向日葵种质资源基础类群划分研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
GUO S C. Study on the classification of confection sunflower (*Helianthus annuus* L.) [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [14] 梁春波.油用向日葵杂交种(组合)主要农艺性状与单株产量的相关及通径分析[J].黑龙江农业科学,2016(12):23-27.
LIANG C B. Correlation and path analysis between agronomic traits and yield per plant in oil-type sunflower hybrids[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016(12): 23-27.

- [15] 朱东旭,关中波,徐桂真,等.油用向日葵品种主要农艺性状的主成分分析和聚类分析[J].中国农学通报,2015,31(12):152-156.
ZHU D X, GUAN Z B, XU G Z, et al. Principal component analysis and cluster analysis of main agronomic traits of oil-sunflower varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015,31(12):152-156.
- [16] 严兴初,张义.向日葵种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
YAN X C, ZHANG Y. Descriptors and data standard for sunflower (*Helianthus annuus* L.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [17] 张宝英,白苇,胡杨,等.油葵产量构成因素分析[J].辽宁农业科学,2019(3):18-21.
ZHANG B Y, BAI W, HU Y, et al. Analysis of the factors in the production of oil sunflower[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2019(3):18-21.
- [18] 陈雪燕,王亚娟,雒景吾,等.陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J].麦类作物学报,2007,(3):456-460.
CHEN X Y, WANG Y J, LUO J W, et al. Genetic diversity in main characters of wheat landraces in Shaanxi province[J]. Journal of Triticeae Crops, 2007,(3):456-460.
- [19] 张德慈.植物遗传资源[M].北京:中国农业科学技术出版社,1998.
ZHANG D C. Plant genetic resources[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998.
- [20] 王兰芬,武晶,王昭礼,等.普通菜豆种质资源表型鉴定及多样性分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(6):976-983.
WANG L F, WU J, WANG Z L, et al. Morphological diversity and classification of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016,17(6):976-983.
- [21] 赖俊声,江锡兵,龚榜初,等.板栗地方品种质量性状多样性分析[J].浙江农业科学,2016,57(8):1196-1200.
LAI J S, JIANG X B, GONG B C, et al. Diversity analysis of quality traits of local chestnut varieties[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2016,57(8):1196-1200.
- [22] 白苇,胡杨,杨素梅,等.冀西北食葵地方资源农艺性状分析[J].作物杂志,2021(1):54-59.
BAI W, HU Y, YANG S M, et al. Analysis on agronomic characteristics of confectionery sunflower local resources in northwest Hebei[J]. Crops, 2021(1):54-59.
- [23] 尹海峰,白苇,王宽,等.食葵主要数量性状的相关遗传力及通径分析[J].辽宁农业科学,2017(2):23-25.
YIN H F, BAI W, WANG K, et al. Correlation heritability and path analysis of main quantitative characters of sunflower[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2017(2):23-25.
- [24] 王佰众,李玉发,刘红欣,等.食用向日葵产量及主要性状相关与通径分析[J].现代农业科技,2014(22):18-19.
WANG B Z, LI Y F, LIU H X, et al. Correlation and path analysis on yield and main characters of confection sunflower [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(22):18-19.
- [25] 张宝英,白苇,杨素梅.冀北食葵产量构成因素分析[J].农业科技通讯,2018(7):196-199.
ZHANG B Y, BAI W, YANG S M. Analysis of yield components of sunflower in northern Hebei province[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(7):196-199.
- [26] 刘鑫,马庆,范瑞,等.食用向日葵农艺性状对单盘粒重的多元回归分析[J].内蒙古农业科技,2013(3):22-24.
LIU X, MA Q, FAN R, et al. Multiple regression analysis of agronomic character and single disk seed weight in confectionery sunflower[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2013,(3):22-24.
- [27] 张雷,宋宝军,于学鹏,等.食用向日葵产量与主要性状相关及通径分析[J].黑龙江农业科学,2010(9):46-49.
ZHANG L, SONG B J, YU X P, et al. Relative and path analysis of yield and main characters in confectionery sunflower[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010(9):46-49.
- [28] 王鹏飞,陈春梅.食用型向日葵不同性状对产量的贡献率[J].内蒙古农业科技,2015,43(4):17-20,46.
WANG P F, CHEN C M. The contribution of different traits of edible sunflower on yield[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2015,43(4):17-20,46.
- [29] 李素萍,安玉麟,郭树春,等.食葵主要农艺性状的遗传变异及相关性和主成分分析[J].黑龙江农业科学,2010(9):7-10.
LI S P, AN Y L, GUO S C, et al. Analysis on hereditary variation, correlation and principal components of main agronomic characters in confectionery sunflower[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010(9):7-10.