

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0086

冀北高山高原区青花菜表型性状分析及综合评价

申领艳¹, 陈子臻², 栗淑芳¹, 康少辉¹, 曹雪梅¹, 庞建文¹, 姚月霞³, 陈宝刚⁴, 闫凤岐¹

(1. 张家口市农业科学院 河北张家口 075000; 2. 河北农业大学园艺学院 河北保定 071000;
3. 赤城县农业农村局 河北赤城 075500; 4. 张家口市乡村振兴促进中心 河北张家口 075000)

摘要: 为了给高山高原地区青花菜的良好选育提供理论指导, 运用灰色关联度分析法对 14 个青花菜新品种单株产量与表型性状进行分析。结果表明, 青花菜单株产量与 11 个表型性状的关联度大小依次为: 花球主茎横径>花球主茎高>叶片宽度>花球纵径>开展度>花球横径>株高>叶片长度>分枝数量>外叶数量>生育期。得出对单株产量的影响以花球主茎横径和花球主茎高最大, 其关联度分别为 0.795 4 和 0.759 5。根据各性状权重数据得到青花菜综合评价模型: $H=0.080 8Z_1+0.090 4Z_2+0.092 3Z_3+0.083 5Z_4+0.088 8Z_5+0.095 4Z_6+0.084 0Z_7+0.093 6Z_8+0.091 6Z_9+0.097 5Z_{10}+0.102 1Z_{11}$, 筛选出中青 518、中青 16、中青 118 和中青 193 可作为下一年当地试验示范推广品种。因此, 在青花菜杂交育种过程中, 以产量为育种目标, 可注重花球主茎横径和花球主茎高 2 个性状的选择, 同时兼顾其他性状进行综合筛选。

关键词: 青花菜; 产量; 表型性状; 灰色关联度; 综合评价

中图分类号: S635.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)11-138-07

Phenotypic traits analysis and comprehensive evaluation of broccoli in northern Hebei plateau

SHEN Lingyan¹, CHEN Zizhen², LI Shufang¹, KANG Shaohui¹, CAO Xuemei¹, PANG Jianwen¹, YAO Yuexia³, CHEN Baogang⁴, YAN Fengqi¹

(1. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; 2. College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; 3. Chicheng County Agricultural and Rural Bureau, Chicheng 075500, Hebei, China; 4. Zhangjiakou Rural Revitalization Promotion Center, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

Abstract: In order to provide theoretical guidance for the breeding of broccoli in the alpine plateau region, in this study, the yield per plant and phenotypic quantitative traits of 14 new varieties of broccoli were analyzed by grey correlation analysis. The results showed the correlation degree between yield per plant and 11 phenotypic quantitative traits of broccoli was as follows: Center column width > Center column height > Leaf width > Flower head vertical diameter > Expansion degree > Flower head transverse diameter > Plant height > Leaf length > Branch number > Outer leaf number > Growth period. It was concluded that the width and height of the central column had the greatest influence on the yield per plant, and the correlation degrees were 0.795 4 and 0.759 5, respectively. According to the weight data of each trait, the comprehensive evaluation model of broccoli was obtained: $H = 0.080 8Z_1 + 0.090 4Z_2 + 0.092 3Z_3 + 0.083 5Z_4 + 0.088 8Z_5 + 0.095 4Z_6 + 0.084 0Z_7 + 0.093 6Z_8 + 0.091 6Z_9 + 0.097 5Z_{10} + 0.102 1Z_{11}$. Four varieties were selected as Zhongqing 518, Zhongqing16, Zhongqing 118 and Zhongqing 193, which could be used as local test demonstration and promotion varieties. Therefore, in the process of hybrid breeding of broccoli, if the yield was breeding goal, the two traits of center column width and height could be paid attention, and comprehensively consider other traits for comprehensive screening.

Key words: Broccoli; Yield; Phenotypic quantitative traits; Grey correlation degree; Comprehensive evaluation

收稿日期: 2024-02-05; 修回日期: 2024-08-24

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-23-G07); 河北省现代农业产业技术体系露地蔬菜创新团队建设(项目号: HBCT202414)

作者简介: 申领艳, 女, 副研究员, 研究方向为蔬菜栽培与育种。E-mail: jiyou7132212@163.com

共同第一作者: 陈子臻, 男, 在读本科生, 研究方向为十字花科蔬菜性状与遗传。E-mail: 2789730539@qq.com

通信作者: 闫凤岐, 男, 研究员, 研究方向为蔬菜栽培与育种。E-mail: zjkyfq@126.com

陈宝刚, 男, 高级农艺师, 研究方向为蔬菜栽培与推广。E-mail: 66658297@qq.com

青花菜又名绿菜花、西蓝花、绿花椰菜等,为十字花科芸薹属甘蓝类蔬菜变种之一^[1]。青花菜的主要食用部位是花球,营养丰富,富含抗癌活性成分^[2-4],是备受国内外消费者青睐的高营养及保健蔬菜。中国农业科学院蔬菜花卉研究所是国内最早开展青花菜育种的单位之一,早在20世纪80年代初就开始从事青花菜种质资源收集、创新和遗传育种工作^[5-6],保存了1000余份种质资源,在青花菜育种技术和品种培育方面处于国内领先地位。张家口市农业科学院与之合作承担了国家青花菜重大科研联合体一级测试点任务。目前,青花菜在我国的种植面积超过86 000 hm²,总产量高达4 158 000 t,年出口量基本稳定在140 000 t左右^[7]。然而,我国青花菜育种工作起步晚,国内品种在球型、蕾粒、色泽一致性等外观品相和抗性等方面存在不足;青花菜种子主要从国外进口,不利于中国青花菜产业的健康发展。研究青花菜表型性状是开展青花菜育种的前提,可以加速育种进程并提高育种效率。申领艳等^[8]采用通径分析法对86份青花菜材料进行研究,发现产量与花球高、外叶长和外叶宽呈极显著相关;高旭等^[9]利用相关性分析发现,青花菜单株产量与球位高、茎径和花球横径呈极显著相关;崔丽红^[10]利用相关性分析发现,青花菜单株产量与叶面积指数、花球直径呈极显著相关。但有关高山高原地区特定的环境条件下利用灰色关联度分析法探索青花菜产量与表型性状相关性的研究较少。笔者采用灰色关联度法研究14个青花菜新品种生育期、株高、开展度、外叶数、叶片长度、叶片宽度、分枝数、花球纵径等11个表型数量性状与单株产量间的关系,以揭示各表型性状对单株产量影响的主次关系,进而提高青花菜育种效率,促进青花菜种质资源改良和创新,为选育适合市场的新品种提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

参试材料由中国农业科学院蔬菜花卉研究所培育并提供,青花菜品种共13个,以耐寒优秀(日本坂田种苗株式会社)为试验对照,共计14个青花菜品种(表1)。

1.2 方法

田间试验于2021年6—9月在张家口市农业科学院坝上(张北县喜顺沟)基地进行,地势平坦、土壤肥力均匀,前茬作物为结球甘蓝。参试材料于2021年4月28日在张家口市农业科学院沙岭子基

表1 青花菜材料及其来源

Table 1 Broccoli materials and sources

序号 Number	品种 Variety	来源 Source
1	中青520 Zhongqing 520	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
2	中青512 Zhongqing 512	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
3	中青16 Zhongqing 16	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
4	中青18 Zhongqing 18	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
5	中青118 Zhongqing 118	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
6	中青518 Zhongqing 518	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
7	中青51H Zhongqing 51H	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
8	中青16H Zhongqing 16H	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
9	中青1035 Zhongqing 1035	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
10	中青192 Zhongqing 192	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
11	中青329 Zhongqing 329	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
12	中青193 Zhongqing 193	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
13	中青N2 Zhongqing N2	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences
14	耐寒优秀 Naihanyouxiu	日本坂田种苗株式会社 Sakata seed corporation, Japan

地温室播种育苗,6月2日定植于坝上(张北县喜顺沟)基地试验田。试验地采用黑地膜覆盖起垄,垄宽60 cm,垄高10 cm,垄沟宽50 cm,每垄2行,株距50 cm。采用随机区组设计排列,3次重复,小区10 m²。试验地四周设保护行,田间管理与当地青花菜大田生产保持一致。

1.3 表型数量性状调查

按照《花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数

据标准》^[11]的方法。每个小区随机选取5株青花菜,测定生育期、株高、开展度、外叶数、叶片长度、叶片宽度、分枝数、花球纵径、花球横径、花球主茎高、花球主茎横径、单株产量等12个性状。

1.4 数据分析

根据灰色系统理论^[12],将青花菜新品种单株产量及11个表型数量性状看作一个整体,为一个灰色系统,设青花菜新品种单株产量(kg)作为参考序列记为 Z_0 ;11个主要农艺性状作为比较序列 Z_i ,生育期(Z_1)/d、株高(Z_2)/cm、开展度(Z_3)/cm、外叶数量(Z_4)/片、叶片长度(Z_5)/cm、叶片宽度(Z_6)/cm、分枝

数量(Z_7)/个、花球纵径(Z_8)/cm、花球横径(Z_9)/cm、花球主茎高(Z_{10})/cm、花球主茎横径(Z_{11})/cm。

采用 Microsoft Excel 2010 计算各性状指标数据取平均值,采用 DPS 7.05 统计软件进行灰色关联分析。

2 结果与分析

2.1 数据无量纲标准化处理

14个青花菜新品种的单株产量和主要表型数量性状调查结果求平均值(表2)。由于原始数据中各性状量纲不同,需进行无量纲标准化处理,计算

表2 各参试青花菜的性状平均值
Table 2 Average value of tested broccoli traits

品种 Variety	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}	Z_0
中青 520 Zhongqing 520	56	65.20	74.40	14.40	63.42	26.28	5.00	11.54	15.20	26.88	3.84	0.60
中青 512 Zhongqing 512	60	56.40	73.40	13.00	53.80	21.50	11.40	13.96	15.18	9.76	3.86	0.50
中青 16 Zhongqing 16	60	57.00	67.10	11.80	50.34	21.46	5.80	13.14	13.92	9.96	3.36	0.38
中青 18 Zhongqing 18	59	55.00	66.90	15.20	54.30	22.76	10.60	12.68	14.22	9.44	3.22	0.34
中青 118 Zhongqing 118	59	57.00	68.60	13.40	55.88	22.26	1.80	11.44	13.54	8.88	4.08	0.42
中青 518 Zhongqing 518	58	53.80	69.50	14.40	52.52	22.22	9.00	11.84	14.42	10.38	3.74	0.44
中青 51H Zhongqing 51H	54	55.80	67.30	11.00	46.98	19.50	8.60	12.64	14.94	9.82	3.54	0.37
中青 16H Zhongqing 16H	57	67.20	66.20	14.60	62.38	23.38	3.80	12.76	14.72	9.60	3.72	0.41
中青 1035 Zhongqing 1035	56	45.80	56.20	12.00	40.56	20.22	7.00	12.00	12.84	9.08	3.66	0.37
中青 192 Zhongqing 192	58	50.60	71.30	15.20	53.92	20.10	5.20	8.98	11.38	6.66	3.22	0.29
中青 329 Zhongqing 329	64	63.20	76.10	17.00	53.38	24.48	8.20	12.68	13.74	9.26	3.62	0.46
中青 193 Zhongqing 193	58	48.80	70.80	12.60	45.30	19.10	3.60	10.94	14.14	7.96	3.24	0.34
中青 N2 Zhongqing N2	62	61.40	72.50	15.60	60.62	24.18	3.00	10.48	12.70	7.16	3.42	0.37
耐寒优秀 Naihanyouxiu	56	59.60	72.50	14.60	58.74	22.88	3.20	13.44	14.44	10.58	3.90	0.50

方法见式(1)。数据无量纲标准化处理结果见表3。

$$Z(K) = \frac{z_i(K) - z_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, $z_i(K)$:原始数据; z_i :平均值; S_i :标准差; K :品系($K=1, 2, 3, \dots, 14$); $i=0, 1, 2, 3, \dots, 11$); i :某个表型性状。

2.2 参考序列与比较序列间的绝对差值序列

求绝对差值序列见式(2)。

$$\Delta Z_i(K) = |Z_0(K) - Z_i(K)| \quad (2)$$

式中, $\Delta Z_i(K)$:绝对差值序列; $Z_0(K)$:参考序列; $Z_i(K)$:比较序列。

参考序列与各比较序列的绝对差值序列计算结果见表4。

2.3 单株产量性状与表型数量性状间的关联系数

由表4可得,最小绝对差值:

$$\Delta \min = \min \min |Z_0(K) - Z_i(K)| = 0.0076。$$

最大绝对差值:

$$\Delta \max = \max \max |Z_0(K) - Z_i(K)| = 3.1983。$$

ρ 称为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$,取值0.5^[12]; $\Delta Z_i(K)$ 为参考序列与比较序列间对应的绝对差值,代入公式(3),计算各性状的关联系数。

求关联系数 $[\xi_i(K)]$,计算公式如下。

$$\begin{aligned} \xi_i(K) &= \frac{\Delta \min + \rho \Delta \max}{\Delta Z_i(K) + \rho \Delta \max} \\ &= \frac{0.0076 + 0.5 \times 3.1983}{\Delta Z_i(K) + 0.5 \times 3.1983} \end{aligned} \quad (3)$$

将表4式中差值序列 $\Delta Z_i(K)$ 值代入公式(3),求出参试青花菜单株产量与表型数量性状的关联系数 $\xi_i(K)$ 的值,计算结果见表5。

参试青花菜单株产量与各表型数量性状的关联系数不同,与同一表型数量性状关联系数也存在很大差异。如耐寒优秀花球纵径与单株产量关联

表3 各参试青花菜的性状数据无量纲标准化
Table 3 Dimensionless standardization of trait data of tested broccoli

品种 Variety	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₀
中青 520 Zhongqing 520	-0.899 8	1.35 6	1.003 7	0.289 7	1.491 4	2.015 2	-0.383 5	-0.380 3	1.165 0	3.377 9	0.862 1	2.298 5
中青 512 Zhongqing 512	0.627 1	-0.084 2	0.799 4	-0.545 4	0.011 6	-0.326 1	1.737 7	1.471 0	1.146 2	-0.128 4	0.934 4	1.065 6
中青 16 Zhongqing 16	0.627 1	0.014 0	-0.487 3	-1.261 2	-0.520 6	-0.345 7	-0.118 4	0.843 7	-0.033 4	-0.087 5	-0.872 4	-0.413 9
中青 18 Zhongqing 18	0.245 4	-0.313 3	-0.528 1	0.766 9	0.088 6	0.291 1	1.472 6	0.491 8	0.247 4	-0.194 0	-1.378 3	-0.907 1
中青 118 Zhongqing 118	0.245 4	0.014 0	-0.180 9	-0.306 8	0.331 6	0.046 2	-1.444 2	-0.456 8	-0.389 2	-0.308 7	1.729 3	0.079 3
中青 518 Zhongqing 518	-0.136 3	-0.509 7	0.002 9	0.289 7	-0.185 2	0.026 6	0.942 3	-0.150 8	0.434 7	-0.001 5	0.500 7	0.325 8
中青 51H Zhongqing 51H	-1.663 2	-0.182 4	-0.446 4	-1.738	-1.037 4	-1.305 7	0.809 7	0.461 2	0.921 5	-0.116 2	-0.222 0	-0.537 2
中青 16H Zhongqing 16H	-0.518 1	1.683 2	-0.671 1	0.409 0	1.3314	0.5948	-0.781 3	0.553 0	0.715 6	-0.161 2	0.428 5	-0.044 0
中青 1035 Zhongqing 1035	-0.899 8	-1.818 8	-2.713 4	-1.141 9	-2.0249	-0.953	0.279 4	-0.028 4	-1.044 6	-0.267 7	0.211 7	-0.537 2
中青 192 Zhongqing 192	-0.136 3	-1.033 3	0.370 5	0.766 9	0.030 1	-1.011 8	-0.317 2	-2.338 8	-2.411 5	-0.763 4	-1.378 3	-1.523 5
中青 329 Zhongqing 329	2.154 0	1.028 7	1.350 9	1.840 6	-0.053 0	1.133 5	0.677 1	0.491 8	-0.202 0	-0.230 9	0.067 1	0.572 4
中青 193 Zhongqing 193	-0.136 3	-1.327 9	0.268 4	-0.784	-1.295 8	-1.501 6	-0.847 6	-0.839 3	0.172 5	-0.497 1	-1.306 0	-0.907 1
中青 N2 Zhongqing N2	1.390 6	0.734 1	0.615 6	1.0055	1.060 7	0.986 6	-1.046 4	-1.191 2	-1.175 7	-0.661 0	-0.655 6	-0.537 2
耐寒优秀 Naihanyouxu	-0.899 8	0.439 5	0.615 6	0.409	0.771 5	0.349 9	-0.980 1	1.073 2	0.453 4	0.039 5	1.078 9	1.065 6

表4 差值序列 $\Delta Z_i(K)$ 值
Table 4 Difference sequence $\Delta Z_i(K)$ values

品种 Variety	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁
中青 520 Zhongqing 520	3.198 3	0.942 6	1.294 8	2.008 8	0.807 1	0.283 3	2.682 0	2.678 8	1.133 5	1.079 4	1.436 4
中青 512 Zhongqing 512	0.438 5	1.149 8	0.266 2	1.611 0	1.053 9	1.391 7	0.672 1	0.405 4	0.080 6	1.194 0	0.131 2
中青 16 Zhongqing 16	1.041 0	0.427 9	0.073 3	0.847 2	0.106 7	0.068 3	0.295 5	1.257 6	0.380 5	0.326 4	0.458 5
中青 18 Zhongqing 18	1.152 5	0.593 8	0.379 0	1.674 0	0.995 6	1.198 2	2.379 7	1.398 9	1.154 5	0.713 1	0.471 2
中青 118 Zhongqing 118	0.166 1	0.065 2	0.260 2	0.386 0	0.252 3	0.033 1	1.523 4	0.536 1	0.468 5	0.387 9	1.650 1
中青 518 Zhongqing 518	0.462 2	0.835 5	0.322 9	0.036 1	0.511 1	0.299 3	0.616 4	0.476 7	0.108 8	0.327 3	0.174 9
中青 51H Zhongqing 51H	1.126 0	0.354 8	0.090 8	1.201 1	0.500 2	0.768 5	1.346 9	0.998 4	1.458 7	0.421 0	0.315 2
中青 16H Zhongqing 16H	0.474 0	1.727 3	0.627 0	0.453 1	1.375 5	0.638 8	0.737 2	0.597 0	0.759 6	0.117 2	0.472 5
中青 1035 Zhongqing 1035	0.362 6	1.281 6	2.176 2	0.604 7	1.487 7	0.415 8	0.816 6	0.508 8	0.507 4	0.269 5	0.748 9
中青 192 Zhongqing 192	1.387 2	0.490 2	1.894 1	2.290 5	1.553 6	0.511 8	1.206 3	0.815 2	0.888 0	0.760 2	0.145 2
中青 329 Zhongqing 329	1.581 6	0.456 2	0.778 5	1.268 2	0.625 4	0.561 1	0.104 7	0.080 6	0.774 4	0.803 3	0.505 3
中青 193 Zhongqing 193	0.770 7	0.420 8	1.175 5	0.123 1	0.388 8	0.594 5	0.059 5	0.067 7	1.079 6	0.410 0	0.399 0
中青 N2 Zhongqing N2	1.927 8	1.271 3	1.152 8	1.542 7	1.597 9	1.523 8	0.509 2	0.654 0	0.638 5	0.123 8	0.118 4
耐寒优秀 Naihanyouxu	1.965 4	0.626 1	0.450 0	0.656 6	0.294 1	0.715 7	2.045 7	0.007 6	0.612 2	1.026 1	0.013 3

系数最大为 1.000 0,表明该品种对花球纵径性状进行选择就易获得高产的青花菜新品种;中青 520 的生育期与单株产量关联系数最小,为 0.334 9,表明该品种的生育期对单株产量选择影响较小。由此可见,关联系数越大,说明该性状对目标性状贡献越大;关联系数越小,说明该性状对目标性状贡献越小。

2.4 单株产量与表型数量性状的关联度分析

单株产量与各表型数量性状间的关联度为该性状所有品种关联系数的算术平均值,计算公式如下。

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n \xi_i(K) \quad (4)$$

式中, R_i 为单株产量与各表型数量性状间的关联度, $\xi_i(K)$ 为表型数量性状与单株产量性状间的关联系数。计算出单株产量与表型数量性状的关联度及关联度排序,结果见表 6。

灰色权重系数(W_i),计算公式:

$$W_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \quad (5)$$

比较青花菜单株产量与各表型数量性状的关联度并排序(表 6),关联度从大到小依次为:花球主

表 5 各参试青花菜单株产量与表型数量性状的关联系数

Table 5 Correlation coefficient between single plant yield and phenotypic quantitative traits of broccoli

品种 Variety	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁
中青 520 Zhongqing 520	0.334 9	0.632 2	0.555 2	0.445 3	0.667 7	0.853 6	0.375 3	0.375 6	0.588 0	0.599 9	0.529 3
中青 512 Zhongqing 512	0.788 5	0.584 5	0.861 4	0.500 5	0.605 6	0.537 2	0.707 4	0.801 6	0.956 6	0.575 3	0.928 6
中青 16 Zhongqing 16	0.608 6	0.792 7	0.960 7	0.656 8	0.941 9	0.963 6	0.848 1	0.562 4	0.811 6	0.834 4	0.780 9
中青 18 Zhongqing 18	0.583 9	0.732 7	0.812 3	0.490 9	0.619 2	0.574 4	0.403 8	0.535 9	0.583 5	0.694 9	0.776 1
中青 118 Zhongqing 118	0.910 2	0.965 4	0.864 2	0.809 4	0.867 8	0.984 4	0.514 6	0.752 5	0.777 1	0.808 6	0.494 5
中青 518 Zhongqing 518	0.779 5	0.660 0	0.836 0	0.982 6	0.761 4	0.846 4	0.725 2	0.774 0	0.940 8	0.834 1	0.905 7
中青 51H Zhongqing 51H	0.589 6	0.822 3	0.950 8	0.573 8	0.765 4	0.678 6	0.545 4	0.618 6	0.525 5	0.795 4	0.839 3
中青 16H Zhongqing 16H	0.775 0	0.483 0	0.721 8	0.782 9	0.540 2	0.718 0	0.687 7	0.731 6	0.681 2	0.936 2	0.775 6
中青 1035 Zhongqing 1035	0.819 0	0.557 8	0.425 6	0.729 1	0.520 5	0.797 4	0.665 1	0.762 2	0.762 7	0.859 9	0.684 3
中青 192 Zhongqing 192	0.538 0	0.769 0	0.460 0	0.413 1	0.509 6	0.761 2	0.572 7	0.665 5	0.646 0	0.681 0	0.921 1
中青 329 Zhongqing 329	0.505 2	0.781 8	0.675 8	0.560 4	0.722 3	0.743 8	0.943 0	0.956 6	0.676 9	0.668 8	0.763 5
中青 193 Zhongqing 193	0.678 0	0.795 5	0.579 1	0.932 9	0.808 3	0.732 5	0.968 7	0.964 0	0.599 8	0.799 7	0.804 1
中青 N2 Zhongqing N2	0.455 6	0.559 8	0.583 9	0.511 4	0.502 6	0.514 5	0.762 1	0.713 1	0.718 1	0.932 6	0.935 5
耐寒优秀 Naihanyouxu	0.450 8	0.722 1	0.784 1	0.712 3	0.848 7	0.694 1	0.440 8	1.000 0	0.726 6	0.612 0	0.996 5

表 6 青花菜单株产量与表型数量性状的关联度及排序

Table 6 Correlation degree and rank of single plant yield and phenotypic quantitative traits of broccoli

参数 Parameter	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁
R_i	0.629 8	0.704 2	0.719 3	0.650 1	0.691 5	0.742 8	0.654 3	0.729 5	0.713 9	0.759 5	0.795 4
W_i	0.080 8	0.090 4	0.092 3	0.083 5	0.088 8	0.095 4	0.084 0	0.093 6	0.091 6	0.097 5	0.102 1
排序 Rank	11	7	5	10	8	3	9	4	6	2	1

茎横径、花球主茎高、叶片宽度、花球纵径、开展度、花球横径、株高、叶片长度、分枝数量、外叶数量、生育期。单株产量与花球主茎横径、花球主茎高的关联度较高,分别为 0.795 4 和 0.759 5,这说明二者是影响青花菜单株产量形成的重要因素。其余表型性状对单株产量形成影响较小,其中,生育期与单株产量关联度最小,为 0.629 8,对单株产量形成的贡献小,可不作为主要选择性状,但在该地域生态环境条件下则需作为一个考虑因素。

2.5 青花菜新品种加权关联度及其排序

加权关联度计算公式:

$$G_i = \sum W_i(K) \xi_i(K) \quad (6)$$

将表 5 中的表型数量性状与单株产量性状间的关联系数 $\xi_i(K)$ 和表 6 中的各性状的权重系数代入公式(6)中,计算出青花菜新品种加权关联度及其排序,结果见表 7。加权关联度是对各参试新品种综合性能的具体反映,表明参试品种间各指标的差异及综合性能高低。综合评价 13 个青花菜新品种,排名前 4 的品种为中青 518、中青 16、中青 118、中青 193,可作为下一年当地试验示范推广品种。

表 7 青花菜加权关联度及排序

Table 7 Weighted correlation degree and rank of broccoli

品种 Variety	加权关联度 Weighted correlation degree	排序 Rank
中青 520 Zhongqing 520	0.546 4	14
中青 512 Zhongqing 512	0.715 9	7
中青 16 Zhongqing 16	0.799 2	2
中青 18 Zhongqing 18	0.623 7	13
中青 118 Zhongqing 118	0.793 3	3
中青 518 Zhongqing 518	0.823 5	1
中青 51H Zhongqing 51H	0.705 4	9
中青 16H Zhongqing 16H	0.713 8	8
中青 1035 Zhongqing 1035	0.689 8	10
中青 192 Zhongqing 192	0.637 8	12
中青 329 Zhongqing 329	0.729 7	6
中青 193 Zhongqing 193	0.786 3	4
中青 N2 Zhongqing N2	0.660 7	11
耐寒优秀 Naihanyouxu	0.733 7	5

3 讨论与结论

灰色关联度分析法可用于分析品种性状与目标性状间的主次关系,计算品种性状对目标性状的影响程度,有助于筛选优良种质资源及品种,提高育种效率,易学易用,操作简单,已广泛应用于多种作物,如玉米^[13-17]、葵花^[18]、大豆^[19]、芝麻^[20-21]、甘蓝^[22]等。

笔者利用灰色关联度分析法分析 14 个青花菜品种单株产量与各表型数量性状的关联度,从大到小依次为花球主茎横径、花球主茎高、叶片宽度、花球纵径、开展度、花球横径、株高、叶片长度、分枝数量、外叶数量、生育期。若某一性状对单株产量形成的因素越密切,该性状与单株产量关联度数值就越大;反之,则该性状与单株产量关联度数值就越小。在本研究中,花球主茎横径对单株产量形成最密切,朱长志等^[23]利用相关性分析及主成分和聚类的方法对 76 个青花菜品种的 16 个主要农艺性状进行分析研究,结果表明,青花菜的茎径(花球主茎横径)与单株产量形成最密切,这与本研究结果一致。同时笔者发现,生育期对单株产量形成的关联度最小,这与申领艳等^[8]利用相关性分析、通径分析和回归分析的方法对青花菜品种 11 个主要农艺性状进行研究发现用生育期来提高单株产量效果不理想的结果一致。与申领艳等^[24]利用聚类分析、相关性和主成分分析的方法,对 86 个青花菜品种进行表型性状综合评价,研究表明生育期对单株产量形成的结果一致。但高旭等^[9]利用相关性分析及主成分分析以及系统聚类的方法,对 26 个青花菜品种的 13 个重要农艺性状进行分析与评价,发现青花菜的花球横径与单株产量形成最密切,其次是茎径(花球主茎横径),与本研究结果略有差异,这可能是参试材料、土壤条件、栽培技术以及试验区生态环境不同等原因造成的。虽然,青花菜单株产量随花球主茎横径和花球主茎高增加而提高,但花球主茎高仅能增大到市场收购标准,反之直接影响其经济效益,因此,根据市场收购标准,尽可能增大中心柱宽度和中心柱高度,确保青花菜单株产量最大化,创造更高的经济价值。在高山高原地区青花菜良种选育种过程中,以产量为育种目标,注重中心柱宽度和中心柱高度的选择,同时综合兼顾其他性状的选择,才能选育出适合特定区域综合性状较好的青花菜新品种。

根据关联度计算各性状的权重系数,使各性状权重系数从主观赋值变为客观求值^[25],以提高青花菜选育的准确性和效率。根据各性状权重数据可得青花菜综合评价模型^[26]: $H=0.080 8Z_1+0.090 4Z_2+0.0923 Z_3+0.083 5Z_4+0.088 8Z_5+0.095 4Z_6+0.084 0Z_7+0.093 6Z_8+0.091 6Z_9+0.097 5Z_{10}+0.102 1Z_{11}$,进一步对参试青花菜新品种进行综合评价及排序,与对照品种相比,综合评价前 4 的品种分别为为中青 518、中青 16、中青 118 和中青 193,但本研究试验

品种来源于同一个科研单位,造成了青花菜品种的遗传背景比较窄的局面,品种之间同质化程度高,因此,下一步研究应补充更丰富多样的品种进行比较分析。

笔者利用灰色关联度分析 14 个青花菜品种的 11 个表型数量性状对单株产量形成的影响程度,结果表明,花球主茎横径对单株产量影响最大,生育期对单株产量影响最小。根据各性状权重数据得出青花菜综合评价模型,筛选出 4 个品种,分别为中青 518、中青 16、中青 118 和中青 193,可作为下一年当地试验示范推广品种。在青花菜杂交育种过程中,以产量为育种目标,可注重花球主茎横径的选择,同时综合兼顾其他性状,这样才能获得单株产量及综合性状较好的青花菜新品种。

参考文献

- [1] 张小丽,刘玉梅,方智远,等.青花菜及近缘种属种质资源抗根肿病鉴定[J].植物遗传资源学报,2016,17(6):1106-1115.
- [2] 姚雪琴,谢祝捷,李光庆,等.青花菜不同器官中 4-甲基亚磺酰丁基硫苷及萝卜硫素含量分析[J].中国农业科学,2011,44(4):851-858.
- [3] 林俊城,吴秋云,高灿红,等.青花菜硫、硒代谢竞争及其对保健功能的影响研究进展[J].中国细胞生物学学报,2011,33(4):422-432.
- [4] FARAG M A, MOTAAL A A. Sulforaphane composition, cytotoxic and antioxidant activity of crucifer vegetables[J]. Journal of Advanced Research, 2010(1):65-70.
- [5] 方智远,孙培田,刘玉梅,等.青花菜自交不亲和系选育初报[J].中国蔬菜,1987(1):27-29.
- [6] 方智远,孙培田.青花菜杂种优势利用研究初报[J].中国蔬菜,1990(6):2-5.
- [7] 李占省,戚如诗,刘玉梅,等.我国青花菜生产布局、价格变化及趋势[J].长江蔬菜,2021(4):1-5.
- [8] 申领艳,闫凤岐,栗淑芳,等.青花菜单株产量与主要农艺性状的相关性分析[J].山西农业科学,2021,49(7):860-864.
- [9] 高旭,檀国印,朱长志,等.青花菜品种资源重要农艺性状的鉴定与评价[J].浙江农业科学,2022,63(5):1098-1105.
- [10] 崔丽红.青花菜花球质量与植株主要农艺性状的相关性研究[J].湖南农业科学,2011(21):19-20.
- [11] 李锡香,方智远.花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [12] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [13] 王美霞,陈保国,张之奇,等.早熟玉米杂交组合主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J].种子,2021,40(1):108-111.
- [14] 李清超,马浪浪,文琼,等.玉米杂交组合主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J].中国农学通报,2015,31(30):74-78.
- [15] 李光发,李忠南,王越人,等.玉米 PH6WC 组合与产量相关性状的灰色关联分析[J].玉米科学,2013,21(6):45-48.
- [16] 王平喜,进茜宁,吴向远,等.14 个玉米品系主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J].河南科技学院学报(自然科学版),2021,49(5):12-18.
- [17] 陈春艳,杨珊,李清超,等.5 个玉米新组合产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J].中国农学通报,2022,38(15):11-16.
- [18] 董红业,刘胜利,柳延涛,等.26 份油葵品种(系)产量与农艺性状分析及综合评价[J].种子,2023,42(8):63-69.
- [19] 张永芳,钱肖娜,王润梅,等.不同大豆材料的抗旱性鉴定及耐旱品种筛选[J].作物杂志,2019(5):41-45.
- [20] 徐东阳,孙妍,李伟峰,等.13 个河南白芝麻品种单株产量与相关农艺性状的灰色关联分析及综合评价[J].种子,2022,41(10):73-77.
- [21] 吕伟,文飞,韩俊梅,等.芝麻产量与相关农艺性状的灰色关联分析[J].种子,2021,40(7):110-114.
- [22] 陈宝刚,闫凤岐,康少辉,等.结球甘蓝单株产量与表型数量性状的灰色关联度分析[J].中国瓜菜,2024,37(1):39-44.
- [23] 朱长志,张志仙,刘君,等.青花菜主要农艺性状相关性、主成分与聚类分析[J].中国农学通报,2015,31(4):73-79.
- [24] 申领艳,康少辉,闫凤岐,等.冀西北环境下青花菜品种表型性状综合评价[J].种子,2021,40(10):90-96.
- [25] 任喜波,魏毓棠.萝卜主要性状与产量性状间的灰色关联度分析[J].沈阳农业大学学报,2007(4):598-601.
- [26] 梁万鹏,何振富,李晓莉,等.玉米新品种主要农艺性状与产量灰色关联度分析[J].饲料研究,2022,45(11):80-84.