

基于多元统计的不同黄瓜品种 叶片矿质元素含量分析

王红香, 张帆, 刘海学, 吴惠惠

(天津农学院园艺园林学院 天津 300392)

摘要: 为探明不同黄瓜品种(含品系)叶片矿质元素含量的差异,以不同黄瓜品种叶片作为试验材料,利用原子吸收分光光度计测定 8 种矿质元素含量,并对结果进行多元统计分析比较。结果表明,不同黄瓜品种叶片中均具有较丰富的矿质元素,其含量分布为 $K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn > Mn > Cu$; K 和 Na 元素含量最高的品种为 18-津绿 60, Ca 和 Mg 元素含量最高的品种为津早圆润, Fe 和 Mn 元素含量最高的品种为 S312, Zn 元素含量最高的品种为 20-津绿 80, Cu 元素含量最高的品种为 WGP91。不同黄瓜品种叶片的矿质元素比例也存在差异,其中 K:Na 和 Fe:Mn 差异较大,而 Ca:Mg 和 Zn:Cu 差异较小。20 个黄瓜品种可聚类成四类:第一类 K、Na、Mn、Cu、Zn、Fe 含量较高,但 Ca、Mg 含量较低;第二类 Ca、Mg 含量较高,但 K 含量较低;第三类 K 含量较高,但 Ca 含量较低;第四类 K、Ca、Mg 含量较高,但品种 S29 的 Mg 含量偏低。相关分析表明, Mg 和 Ca、Na 和 K、Mn 与 Fe 之间存在显著的正相关。主成分分析表明,品种 S312、津早圆润和 20-津绿 60 矿质元素含量综合得分排前 3 位,而 S26、18-津绿 60 和 19-津绿 80 排后 3 位。研究结果可为黄瓜品种选育及科学合理施肥提供理论依据和技术支撑。

关键词: 黄瓜叶片; 矿质元素; 聚类热图; 主成分分析; 相关分析

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)02-038-08

Analysis of mineral elements content in different cucumber varieties based on multivariate statistics

WANG Hongxiang, ZHANG Fan, LIU Haixue, WU Huihui

(College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China)

Abstract: In order to investigate the differences in the mineral element content of different cucumber varieties (including strains), a multivariate statistical approach was used to examine and compare the eight mineral element content of the leaves of various cucumber varieties, as assessed by an atomic absorption spectrophotometer. The results shown that many cucumber varieties have high mineral element content, with a pattern of $K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn > Mn > Cu$. The variety with the highest content of K and Na, Ca and Mg, Fe and Mn, Zn, and Cu is 18-Tsumegreen-60, Tsubasa Morning Round, S312, 20-Tsumegreen 80, and WGP91, respectively. There are also differences in the proportion of mineral elements in the leaves of different cucumber varieties, with significant differences in K: Na and Fe: Mn, while small differences in Ca: Mg and Zn: Cu. Four groups of 20 cucumber types may be identified: the first group has lower Ca and Mg concentration but greater K, Na, Mn, Cu, Zn, and Fe content. The K content is lower in the second category, while the Ca and Mg content is higher. The third group has higher K content and lower Mg content. The fourth group has higher K, Ca, and Mg content but lower Mg content of S29. According to correlation analysis, a significant positive correlation existed between Mg and Ca, Na and K, and Mn and Fe. Principal component analysis revealed that the top three combinations of mineral element content scores were S312, Jin Early Round, and 20-Zin Green 60, while the bottom three combinations were S26, 18-Zin Green 60, and 19-Zin Green 80. The research results may provide a theoretical foundation and practical support for scientific and acceptable fertilization as well as cucumber variety breeding.

Key words: Cucumber leaves; Mineral elements; Cluster heat map; Principal component analysis; Correlation analysis

收稿日期: 2023-05-29; 修回日期: 2023-12-12

基金项目: 天津市教委社科重大项目(2019JWZD03)

作者简介: 王红香, 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为植物资源利用与保护。E-mail: 1847948341@qq.com

通信作者: 吴惠惠, 女, 副研究员, 主要研究方向为植物抗逆生理。E-mail: wuhuihui@tjau.edu.cn

刘海学, 男, 研究员, 主要研究方向为植物生理生化。E-mail: hxliu1965@sina.com

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)也称胡瓜、青瓜,是葫芦科一年生蔓生或攀援草本植物,在国民经济中占据重要地位^[1]。黄瓜含水量高,亦菜亦果,是重要的菜肴和补水食物,还含有丰富的维生素和矿质元素^[2]。矿质元素是植物生长的必需元素,在植物生长过程中扮演着重要的角色,对维持机体正常的能量转换和新陈代谢等发挥着极其重要的作用^[3],缺少矿质元素会影响植物正常的生长发育,例如缺Ca元素会出现植株矮化、节间短的现象;缺Mg元素会影响叶绿素的形成;缺Fe元素会引起植株叶片黄化等^[4]。近年来,随着科学研究的深入,关于黄瓜矿质元素种类及含量的研究越来越受到人们重视^[5]。郭刚军^[6]研究了黄瓜幼果从开花前2 d到开花后5 d的矿质营养元素含量变化,其中B、K、Fe元素在开花授粉后幼果发育期间含量变化相对稳定,Ca、Cu、Mg、Mn、Zn元素含量则随着果实的发育呈下降趋势。刁春霞等^[7]通过对大黄瓜和荷兰小黄瓜矿质元素含量的测定,表明人体所必需的常量元素K、Ca、Mg在两种黄瓜中均大量存在,荷兰小黄瓜中K、Ca、Cu、Mn元素的含量高于大黄瓜,而Fe、Mg、Se元素的含量低于大黄瓜,Zn元素在两种黄瓜样品中含量相当。孙涌栋等^[8]通过对黄瓜果实膨大生长过程中的矿质元素含量的测定,表明在整个果实膨大过程中,Ca、K、Mg元素含量最高,Cu、Mn元素含量最低。综上可知,尽管国内已有关于黄瓜矿质元素的研究,但主要关注点在于果实,而未见基于多元统计以多品种黄瓜为材料对叶片矿质元素含量进行分析的报道。叶片作为黄瓜生长的基础,光合作用产生的能量和有机物是果实生长所需的基本物质。另外,叶片中含有的矿质元素也会随着光合作用产生的有机物向果实转运,为果实的生长和发育提供营养。因此,在黄瓜果实形成过程中,叶片供应的矿质元素对果实的发育和产量具有至关重要的作用。笔者利用原子吸收分光光度计测定不同黄瓜品种初花期叶片中K、Ca、Mg、Na、Fe、Zn、Mn、Cu等8种矿质元素含量,并经多元统计分析建立20个黄瓜品种叶片矿质元素综合评价模型,旨在明确其矿质元素含量差异,以期为黄瓜初花期培肥管理和矿质营养诊断提供科学可行的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2022年3—6月在天津市绿丰园艺新技术开发有限公司和天津农学院实验室进行。试

验材料为天津市绿丰园艺新技术开发有限公司种植的20个不同黄瓜品种(品系),分别为S26、S27、S28、S29、S30、S34、S109、S111、S213、S279、S312、WGP91、WGP53、津早圆润、津绿25、津绿30、18-津绿60、19-津绿80、20-津绿60、20-津绿80。播种前将整齐度一致的种子消毒后在28~30℃培养箱内催芽处理6~8 h,淘洗干净后播种在育苗盘上,棚室温度控制在25~30℃,每天喷水1次,当黄瓜苗长到3叶1心时即可定植。在定植前2周左右,应对大棚内的土壤进行深耕施底肥,以充分保证黄瓜生长发育所需要的营养物质。定植后管理措施参照史晓燕等^[9]的方法进行。当黄瓜植株长至初花期时(定植60 d左右),选取从黄瓜植株根部数第5片叶作为试验材料,每个品种随机选取6株,3次重复。样品采集后立即放入冷藏保温箱,并及时带回实验室备用。

1.2 主要仪器和设备

石墨炉原子吸收分光光度计(TAS-990 super,北京普析通用仪器有限责任公司),火焰光度计(上海仪电分析仪器有限公司),高通量微波消解仪(MARS 6,美国CEM公司),消煮炉(EHD-24,北京东航科仪仪器有限公司),电热鼓风干燥箱(XCA-80001,天津市华北实验仪器有限公司)。

1.3 样品前处理及矿质元素测定

将采摘好的初花期黄瓜叶片放入电热鼓风干燥箱中110℃下杀青后,在70℃下烘干至恒质量。将干燥后的样品磨碎,称取0.5 g样品加入75% HNO₃ 10 mL,用高通量微波消解仪进行消解,消解后在电热炉上进行赶酸,赶酸至剩余1 mL后用超纯水定容至50 mL^[10]。利用原子吸收火焰分光光度计测定Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu元素含量,用火焰光度计测定K和Na元素含量^[11],3次重复。

1.4 数据处理

采用Excel 2016对数据进行统计,用Omic-Share tool制作聚类热图^[12],用IBM SPSS Statistics 26进行相关性分析及主成分分析^[13],采用李跃红等^[14]、李燕等^[15]的方法构建矿质元素综合评价得分模型。

2 结果与分析

2.1 不同黄瓜品种矿质元素含量分析

通过对20个黄瓜品种叶片样品矿质元素含量测定分析,结果表明不同黄瓜品种叶片K、Ca、Mg、Na、Fe、Zn、Mn、Cu等8种矿质元素含量均不相同(表1)。20个黄瓜品种叶片中K元素含量较高的有18-津绿60、

20-津绿 80 和 19-津绿 80, 含量(w, 后同)分别为 81 708.33、68 537.00、59 041.33 mg·kg⁻¹; S213 中 K 元素含量最低, 为 23 209.33 mg·kg⁻¹。Na 元素含量较高的品种有 18-津绿 60、19-津绿 80 和 20-津绿 60, 含量分别为 2 850.00、2 670.33、2 626.33 mg·kg⁻¹; S109 中 Na 元素含量最低, 为 1 220.00 mg·kg⁻¹。Ca 元素含量较高的有津早圆润、S34 和 S29, 含量分别为 45 321.53、44 114.47、40 240.40 mg·kg⁻¹; S26 中 Ca 元素含量最低, 为 21 637.80 mg·kg⁻¹。Mg 元素含量较高的品种有津早圆润、20-津绿 60 和 S34, 含量分别为 40 943.33、38 433.33、37 875.00 mg·kg⁻¹; S29 中 Mg 元素含量最低, 为 22 233.33 mg·kg⁻¹。Fe 元素含量较高的有 S312、20-津绿 60 和津绿 25, 含量分别为 243.53、169.33、148.43 mg·kg⁻¹; 津绿 30 中 Fe 元素含量最低, 为 15.43 mg·kg⁻¹。Mn 元素含量较高的有 S312、S28 和 S26, 含量分别为 39.20、34.45、28.71 mg·kg⁻¹; WGP53 中 Mn 元素含量最低, 为 11.85 mg·kg⁻¹。Zn 元素含量较高的有 20-津绿 80、津早圆润和 S30, 含量分别为 42.77、42.47、39.34 mg·kg⁻¹; S26 中 Zn 含量最低, 为 26.80 mg·kg⁻¹。Cu 元素含量较高的有 WGP91、S30、S312 和 S27, 含量分别为 18.03、15.73、15.28、15.28 mg·kg⁻¹; 18-津绿 60 中 Cu 元素含量最低, 为 10.43 mg·kg⁻¹。

由表 1 还可以看出, 20 个黄瓜品种叶片中矿质元素的平均含量依次为: K>Ca>Mg>Na>Fe>Zn>Mn>Cu, 其中 K、Ca、Mg 含量较高, Fe、Zn、Mn、Cu 含量较少。从变异系数来看, Fe、Mn 变异系数较大, 分别为 58.00%和 40.00%; Mg、Zn 和 Cu 变异系数较小, 分别为 15.00%、14.00%和 12.00%。由此可以看出, 虽然本试验材料生长的立地条件、水肥管理等情况均相同, 但不同黄瓜品种叶片体内矿质元素含量却不相同, 这就说明不同黄瓜品种叶片在矿质元素吸收和利用方面存在一定差距。

2.2 不同黄瓜品种叶片矿质元素比例分析

由表 2 可知, 不同黄瓜品种叶片的矿质元素比例 K:Na 和 Fe:Mn 差异较大, 其中, K:Na 以 S109 最大, 为 29.61:1, 20-津绿 60 的 K:Na 最小, 为 10.35:1。Fe:Mn 以 20-津绿 80 最大, 为 8.74:1, 津绿 30 最小, 为 1.25:1。但不同黄瓜品种的 Ca:Mg 和 Zn:Cu 差异较小, 分别在 0.82:1~1.81:1 和 1.79:1~3.03:1。

2.3 不同黄瓜品种叶片矿质元素热图与聚类分析

将不同黄瓜品种叶片的 8 种矿质元素含量进行分析后, 按照各元素含量高低, 20 个黄瓜品种划

分为四类(图 1): 20-津绿 80、19-津绿 80、18-津绿 60 为第一类, 这 3 个黄瓜品种 K、Na、Mn、Cu、Zn、Fe 含量都比较高, 且矿质元素种类比较丰富, 但 Ca、Mg 含量偏低; S34、S213、20-津绿 60 为第二类, 这类黄瓜品种 Ca、Mg 含量比较高, 但 K 含量偏低; WGP53、S111、S26、S109、S279、WGP91、S27、S312 为第三类, 这 8 个黄瓜品种 K 含量较高, Ca 含量偏低; S29、津绿 25、S28、津绿 30、S30、津早圆润为第四类, 这 6 个黄瓜品种 K、Ca、Mg 含量较高, 但品种 S29 Mg 含量偏低。由此看出, 不同矿质元素在不同黄瓜品种叶片中含量均存在差异。

2.4 不同黄瓜品种叶片矿质元素相关性分析

20 个黄瓜品种不同矿质元素之间相关性比较见表 3。由表 3 可知, Mg 元素与 Ca 元素、Na 元素与 K 元素之间存在极显著正相关, 相关系数 r^2 分别为 0.650 和 0.678; Mn 元素与 Fe 元素存在显著正相关, 相关系数 r^2 为 0.487。说明在 Mg 元素含量高的黄瓜品种中, Ca 元素含量也高; 在 Na 元素含量高的黄瓜品种中, K 元素含量也高; 在 Mn 元素含量较高的黄瓜中, Fe 元素含量亦较高。

2.5 不同黄瓜品种叶片矿质元素主成分分析

2.5.1 主成分因子的选择 由表 4 可知, 前 3 个主成分的初始特征值都大于 1, 且累积贡献率达到 87.729%, 说明前 3 项主成分信息可以反映原始数据包含的信息。因此, 选取前 3 个主成分作为 20 个黄瓜品种叶片综合评价指标。由表 5 可知, 在主成分 1 中, Cu、Fe、Mn、Zn 都有较大的正系数值, 即主成分 1 变大时, Cu、Fe、Mn、Zn 含量也变大; 在主成分 2 中, Ca、Mg 有较大的正系数值, 即主成分 2 变大时, Ca、Mg 含量升高; 在主成分 3 中, K、Na、Zn 有较大的正系数值, 即主成分 3 变大时, K、Na、Zn 含量升高。

2.5.2 20 个黄瓜品种综合评价 由主成分因子得分系数矩阵(表 6)得到成分因子得分模型为:

$$F1 = -0.417 K - 0.259 Na + 0.335 Zn + 0.479 Fe + 0.497 Mn + 0.411 Ca - 0.022 Mg - 0.038 Cu;$$

$$F2 = -0.237 K - 0.261 Na + 0.068 Zn - 0.182 Fe - 0.077 Mn - 0.061 Ca - 0.641 Mg - 0.646 Cu;$$

$$F3 = 0.487 K + 0.599 Na + 0.457 Zn + 0.036 Fe + 0.210 Mn + 0.234 Ca + 0.242 Mg + 0.189 Cu。$$

以各成分对应方差贡献率为权重, 根据主成分得分和对应的权重线性加权求和得到主成分的综合得分模型为:

$$Dn = 0.419 F1 + 0.314 F2 + 0.269 F3。$$

表 1 不同黄瓜品种叶片矿质元素含量
Table 1 Mineral element content of different cucumber varieties

品种 Cultivars	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	(mg·kg ⁻¹)
S26	29 174.00±256.28 d	1 524.33±15.65 c	21 637.80±124.21 c	26 480.33±145.21 c	60.38±2.45 c	28.71±0.94 ab	26.80±0.47 b	11.58±0.21 b	
S27	36 354.00±154.49 cd	2 433.33±254.22 ab	23 451.00±59.84 bc	25 100.00±325.61 c	64.98±1.25 c	26.25±0.95 b	32.70±1.25 b	15.28±0.51 a	
S28	3 370 733±234.79 d	1 939.00±180.21 b	28 772.33±359.21 bc	28 790.33±251.38 bc	78.58±1.59 c	34.45±0.62 a	39.13±3.25 a	15.13±0.10 a	
S29	43 234.33±658.22 c	1 770.00±190.21 bc	40 240.40±215.69 a	22 233.33±298.56 c	117.53±10.25 b	23.70±0.23 b	30.87±3.15 bc	13.08±0.05 ab	
S30	34 094.33±154.85 d	1 443.33±110.23 c	32 526.23±66.54 c	32 533.33±341.59 b	88.58±8.59 c	22.00±0.12 b	39.34±2.58 a	15.73±0.22 a	
S34	26 763.67±564.22 d	1 285.67±114.15 c	44 114.47±296.54 a	37 875.00±302.15 a	108.78±11.25 b	20.50±0.09 b	32.63±1.25 bc	13.53±0.09 ab	
S109	36 129.64±365.11 cd	1 220.00±100.59 c	25 228.90±315.49 bc	30 733.33±284.56 b	111.43±9.36 b	16.50±0.14 bc	32.07±3.25 bc	14.83±0.11 a	
S111	37 534.33±213.21 cd	1 644.00±123.02 c	28 102.93±69.58 bc	29 200.00±139.84 bc	109.98±8.15 bc	15.10±0.11 c	36.50±4.25 b	12.63±0.10 ab	
S213	23 209.33±145.20 d	1 383.33±117.21 c	25 835.70±302.22 bc	29 166.67±205.64 bc	103.76±9.15 bc	13.82±0.12 c	31.63±2.15 b	13.67±0.12 ab	
S279	52 032.67±325.14 b	2 115.00±192.34 b	36 268.50±315.25 b	30 400.00±289.56 b	63.53±2.31 c	22.50±2.15 b	29.37±3.15 bc	13.58±0.14 ab	
S312	42 381.67±245.68 c	2 344.67±25.46 ab	25 849.50±325.88 bc	28 533.33±254.33 bc	243.53±28.52 a	39.20±1.92 a	36.40±1.20 b	15.28±0.11 a	
WGP91	42 758.33±321.54 c	1 906.00±153.67 b	25 105.87±155.97 bc	26 866.67±200.47 c	111.28±0.24 b	17.60±0.85 bc	32.20±0.60 b	18.03±0.55 a	
WGP53	42 149.67±214.98 c	1 850.00±85.67 b	31 830.17±358.99 b	31 840.00±395.11 b	21.63±0.58 d	11.85±0.25 c	28.00±0.21 c	13.48±0.13 ab	
津早圆润 Jinzao Yuanrun	47 704.00±478.54 c	2 010.00±98.87 b	45 321.53±555.87 a	40 943.33±599.84 a	66.43±0.89 c	26.40±0.32 b	42.47±0.34 a	14.03±0.17 ab	
津绿 25 Jinlü25	29 670.83±133.25 d	1 410.00±111.22 c	34 424.87±395.48 b	29 233.33±198.56 bc	148.43±1.85 b	23.40±0.18 b	35.40±0.29 b	15.18±0.08 a	
津绿 30 Jinlü30	38 267.00±355.87 c	1 914.67±109.64 b	33 509.03±298.77 b	33 774.00±283.61 b	15.43±0.95 d	12.30±0.08 c	29.03±0.31 bc	12.08±0.11 ab	
18-津绿 60 18-jinlü60	81 708.33±854.23 a	2 850.00±68.44 a	34 462.47±298.65 b	33 840.00±333.95 b	45.43±3.65 cd	12.85±0.12 c	30.70±0.33 bc	10.43±0.05 b	
19-津绿 80 19-jinlü80	59 041.33±379.54 b	2 670.33±200.59 a	23 835.40±199.64 bc	28 633.33±296.54 bc	36.43±2.50 cd	20.80±0.23 b	26.97±0.24 b	13.28±0.15 ab	
20-津绿 60 20-jinlü60	27 191.00±157.96 d	2 626.33±197.58 a	36 901.00±400.98 b	38 433.33±655.58 a	169.33±13.64 b	24.57±0.22 b	34.40±0.26 b	14.08±0.08 a	
20-津绿 80 20-jinlü80	68 537.00±654.37 b	2 434.33±254.58 ab	24 287.70±295.65 bc	22 266.67±199.58 c	104.03±12.58 bc	11.90±0.07 c	42.77±0.58 a	14.28±0.10 a	
平均值 Mean value	41 082.14	1 938.72	31 085.29	30 343.82	93.48	21.22	33.47	13.96	
最大值 Max value	81 708.33	2 850.00	45 321.53	40 943.33	243.53	39.20	42.77	18.03	
最小值 Min value	23 209.33	1 220.00	21 637.80	22 233.33	15.43	11.85	26.80	10.43	
变异系数 CV/%	33.00	25.00	21.00	15.00	58.00	40.00	14.00	12.00	

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著差异。

Note : Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 level.

表2 不同黄瓜品种叶片矿质元素比例分析
Table 2 Ratio analysis of mineral elements in different cucumber varieties

品种 Cultivars	K:Na	Ca:Mg	Fe:Mn	Zn:Cu	品种 Cultivars	K:Na	Ca:Mg	Fe:Mn	Zn:Cu
S26	19.14:1	0.82:1	2.10:1	2.31:1	WGP53	22.78:1	1.00:1	1.83:1	2.08:1
S27	14.94:1	0.93:1	2.48:1	2.14:1	津早圆润 Jinzao Yuanrun	23.73:1	1.11:1	2.52:1	3.03:1
S28	17.38:1	1.00:1	2.28:1	2.59:1	津绿 25 Jinlü25	21.04:1	1.18:1	6.34:1	2.33:1
S29	24.43:1	1.81:1	4.96:1	2.36:1	津绿 30 Jinlü30	19.99:1	0.99:1	1.25:1	2.40:1
S30	26.62:1	1.00:1	4.03:1	2.50:1	18-津绿 60 18-jinlü60	28.67:1	1.02:1	3.54:1	2.94:1
S34	20.82:1	1.16:1	5.31:1	2.41:1	19-津绿 80 19-jinlü80	22.11:1	0.83:1	1.75:1	2.03:1
S109	29.61:1	0.82:1	6.75:1	2.16:1	20-津绿 60 20-jinlü60	10.35:1	0.96:1	6.89:1	2.44:1
S111	22.83:1	0.96:1	7.28:1	2.89:1	20-津绿 80 20-jinlü80	28.15:1	1.09:1	8.74:1	3.00:1
S213	16.78:1	0.89:1	7.51:1	2.31:1	平均比例 Average ratio	21.73:1	1.03:1	4.55:1	2.41:1
S279	24.60:1	1.19:1	2.82:1	2.16:1	最大比例 Max ratio	29.61:1	1.81:1	8.74:1	3.03:1
S312	18.08:1	0.91:1	6.21:1	2.38:1	最小比例 Min ratio	10.35:1	0.82:1	1.25:1	1.79:1
WGP91	22.43:1	0.93:1	6.32:1	1.79:1					

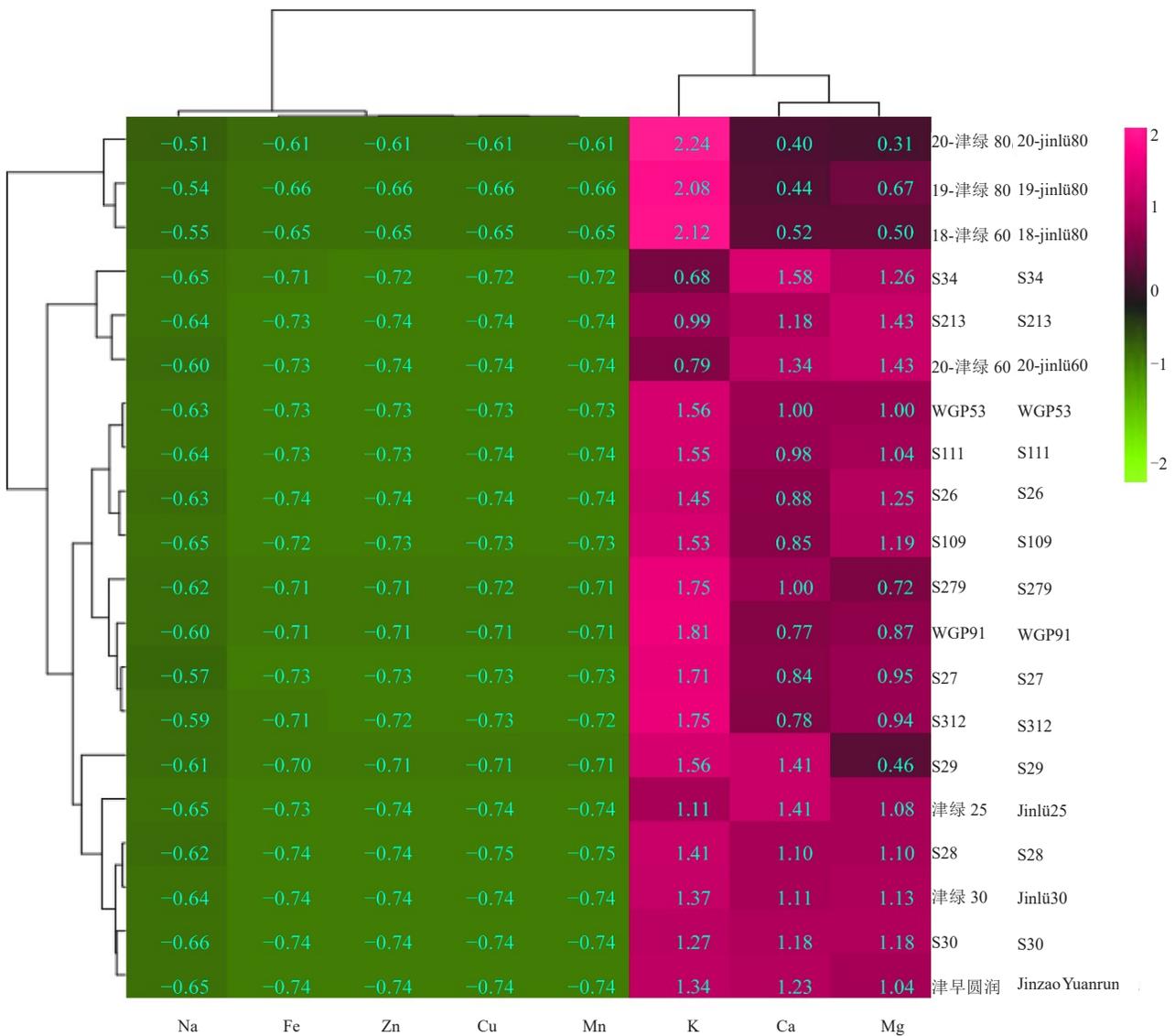


图1 矿质元素含量的聚类热图分析
Fig. 1 Clustering heat map analysis of mineral element content

表3 黄瓜叶片中矿质元素含量的相关性

Table 3 Correlation of mineral element content in cucumber leaves

元素 Element	Ca	Mg	K	Na	Zn	Cu	Fe	Mn
Ca	1							
Mg	0.650**	1						
K	-0.025	-0.139	1					
Na	-0.093	-0.020	0.678**	1				
Zn	0.172	0.110	0.037	0.006	1			
Cu	-0.192	-0.172	-0.380	-0.166	0.408	1		
Fe	-0.014	-0.083	-0.209	-0.063	0.389	0.434	1	
Mn	0.004	-0.034	-0.294	0.085	0.230	0.295	0.487*	1

注:**表示在 0.01 水平差异显著;*表示在 0.05 水平差异显著。

Note: ** Indicate at 0.01 level, the correlation is significant, * Indicate at 0.05 level, the correlation is significant.

表4 黄瓜叶片矿质元素主成分的初始特性值、贡献率及累积贡献率

Table 4 Principal component analysis of mineral elements in cucumber leaves

主成分 Main components	初始特征值 Initial eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	2.668	39.604	39.604
2	1.977	26.210	65.814
3	1.713	21.915	87.729

表5 不同黄瓜品种叶片矿质元素主成分的载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of principal components of mineral elements in different cucumber varieties

元素 Element	主成分 Principal component		
	1	2	3
K	-0.642	-0.316	0.599
Na	-0.398	-0.348	0.737
Zn	0.515	0.090	0.562
Cu	0.737	-0.243	0.044
Fe	0.765	-0.102	0.258
Mn	0.632	-0.081	0.288
Ca	-0.034	0.854	0.298
Mg	-0.058	0.861	0.233

通过主成分分析模型对 20 个黄瓜品种进行评价和排序,结果见表 7。根据综合得分可将黄瓜品种分为四大类,综合得分 $Dn > 1$ 的主要有津早圆润、20-津绿 60、S312; $0 < Dn < 1$ 的品种主要有 S34、S30、津绿 25、S28; $-1 < Dn < 0$ 主要有 S29、WGP91、S111、S109、S279、S213、S27、20-津绿 80、津绿 30、WGP53; $Dn < -1$ 的品种主要有 S26、18-津绿 60、19-津绿 80。其中,津早圆润排名最高,19-津绿 80 排名最低。

3 讨论与结论

矿质元素在植物的生长发育过程中扮演着极

表6 主成分因子得分系数矩阵

Table 6 Principal component factor score coefficient matrix

元素 Element	系数 1 Factor 1	系数 2 Factor 2	系数 3 Factor 3
K	-0.417	-0.237	0.487
Na	-0.259	-0.261	0.599
Zn	0.335	0.068	0.457
Fe	0.479	-0.182	0.036
Mn	0.497	-0.077	0.210
Ca	0.411	-0.061	0.234
Mg	-0.022	0.641	0.242
Cu	-0.038	-0.646	0.189

其重要的角色,不同的矿质元素对植物生长发育及新陈代谢有着不同的影响。笔者试验中所检测的 8 种元素均为黄瓜生长发育必需元素,其中 K 元素在黄瓜生长发育过程中不仅参与多种酶的活化,而且还能促进糖的合成以及同化产物的运输和碳水化合物的代谢过程。Ca 元素参与黄瓜的细胞伸长^[6],是细胞壁的重要组成部分,Ca 元素还能提高植物的抗旱性。Mg 元素是构成叶绿素的核心元素,它通过提高植物对 N、P、K 元素的吸收来提高黄瓜的抗寒性^[7]。近年来,聚类热图作为一种对复杂样本进行分类的多元统计分析方法,越来越受到人们的重视,它通常能以不同颜色的色块,简单、直观地展现数据疏密和频率高低程度^[8]。在本研究中通过对 20 个黄瓜品种叶片矿质元素的聚类热图分析,可知第一类 20-津绿 80、19-津绿 80、18-津绿 60 和第三类 S279、WGP91、S27、S312 的 K 元素含量都比较高,因此,这两类品种能够较好地维持黄瓜的新陈代谢和生理机能,但由于第一类品种 Mg、Ca 元素含量较低,因此,该类品种在抗寒、抗旱性方面表现

表7 不同黄瓜品种叶片中矿质元素主成分得分和排列顺序

Table 7 Principal component scores of mineral elements in different cucumber variety leaves

品种 Cultivars	主成分得分 $F1$ Principal component score $F1$	主成分得分 $F2$ Principal component score $F2$	主成分得分 $F3$ Principal component score $F3$	综合得分 Dn Comprehensive score Dn	排序 Rank
S27	0.289	-1.920	-0.039	-0.492	14
S28	1.560	-0.624	0.518	0.596	7
S26	-0.426	-0.996	-1.981	-1.021	18
S312	2.761	-1.611	1.729	1.112	3
19-津绿 80 19-jinlü80	-2.055	-1.693	0.281	-1.317	20
津绿 30 Jinlü30	-1.995	0.861	-0.974	-0.825	16
S109	0.613	-0.321	-1.435	-0.228	11
S213	0.321	-0.193	-1.886	-0.431	13
WGP53	-1.686	0.252	-1.114	-0.924	17
S111	-0.061	-0.189	-0.504	-0.220	10
WGP91	1.086	-1.668	-0.416	-0.181	9
S30	1.373	0.488	-0.113	0.698	5
津早圆润 Jinzao Yuanrun	0.343	2.463	2.107	1.481	1
20-津绿 80 20-jinlü80	-0.610	-2.424	1.607	-0.587	15
S29	-0.003	-0.359	-0.241	-0.178	8
S279	-1.015	0.031	0.265	-0.344	12
S34	0.589	2.578	-0.601	0.895	4
18-津绿 60 18-jinlü60	-3.780	-0.087	1.907	-1.099	19
津绿 25 Jinlü25	1.736	0.227	-0.472	0.672	6
20-津绿 60 20-jinlü60	0.960	1.119	1.363	1.118	2

可能较差。第二类 S34、S213、20-津绿 60 黄瓜品种中 Mg、Ca 元素含量较高,所以在细胞生长、抗旱方面具有一定优势,此外该类黄瓜品种在叶绿素合成、抗寒性方面能力表现可能也较强。第四类 S29 黄瓜品种 Mg 元素含量低,所以该品种在叶绿素的合成及抗旱性方面可能表现较差。

王颖等^[19]通过对 26 份马铃薯资源的 7 种矿质元素进行相关性分析,发现将 Zn 元素含量作为育种的目标性状是提升马铃薯营养品质的有效途径。颜鸿远等^[20]通过对天麻中不同矿质元素相关性分析,发现天麻中不同矿质元素存在协同吸收或拮抗抑制作用。笔者在试验中通过分析不同品种黄瓜叶片矿质元素的相关性,发现元素 Mg 和 Ca、元素 Na 和 K、元素 Mn 和 Fe 之间存在显著的正相关关系,说明以上元素之间存在协同吸收作用。根据以上分析可知,当黄瓜缺 Ca 时,可以同时施加 Mg 和 Ca 肥,既可预防 Mg 元素缺失,也可促进 Ca 的吸收。这可以为研究黄瓜缺素症状和科学施肥提供参考。

主成分分析是一种多元统计分析方法,通过降维可将多指标转化为少数几个综合指标,其中每个主成分均能反映原始变量的大部分信息,它常被用

于综合性状评价和优良品种选择^[21]。笔者利用生物统计学通过对不同品种黄瓜叶片矿质元素主成分分析,建立了综合得分模型,结果显示,品种津早圆润、20-津绿 60、S312 得分排名较高。基于矿质元素角度分析,黄瓜品种综合评价得分越高,黄瓜的生长发育可能就越好,所以在黄瓜品种选育方面可优先考虑津早圆润、20-津绿 60、S312 等综合评价得分较高的品种。

笔者在本研究中采用原子吸收分光光度计测定分析了不同黄瓜品种叶片的 8 种矿质元素的含量、矿质元素的比例等指标,结果表明,20 个黄瓜品种叶片中的矿质元素平均含量大小排序依次为 $K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn > Mn > Cu$; 且元素 Mg 和 Ca、元素 Na 和 K、元素 Mn 和 Fe 两两之间存在显著的正相关关系。除此之外,不同黄瓜品种叶片的矿质元素比例也存在差异,其中 $K:Na$ 和 $Fe:Mn$ 差异较大,而 $Ca:Mg$ 和 $Zn:Cu$ 差异较小。依据不同黄瓜品种叶片矿质元素含量的差异,通过聚类分析将 20 个黄瓜品种分为四大类:20-津绿 80、19-津绿 80、18-津绿 60 为第一类,S34、S213、20-津绿 60 为第二类,WGP53、S111、S26、S109、S279、WGP91、S27、S312 为第三类,S29、津绿 25、S28、津绿 30、

S30、津早圆润为第四类。建立了综合评价模型, $D_n=0.419 F_1+0.314 F_2+0.269 F_3$,经综合评价,品种 S312、津早圆润、20-津绿 60 得分较高,其叶片矿质元素含量也较高;而 S26、18-津绿 60、19-津绿 80 得分较低,其叶片矿质元素含量也较低。此研究结果不仅为黄瓜优良品种的选育提供了理论基础和数据支撑,而且也为黄瓜营养施肥等方面的研究提供了科学依据。

参考文献

- [1] 马燕,李彦军,滕巍,等.我国黄瓜抗病品种选育技术研究进展[J].中国果菜,2021,41(3):68-71.
- [2] 张洋婷,郝艳丽,葛红娟,等.老黄瓜的营养成分分析[J].吉林医药学院学报,2016,37(2):84-85.
- [3] 邓娟,王延花,孙菁,等.ICP-OES法测定两种喉毛花植物中21种矿质元素[J].天然产物研究与开发,2015,27(5):837-841.
- [4] 卢明艳,闫兴凯,王强,等.梨缺铁性黄化病研究进展[J].农业与技术,2021,41(18):35-38.
- [5] 汪洁,李兆壮,金宁,等.不同大白菜品种矿质元素含量评价[J].中国瓜菜,2022,35(12):47-52.
- [6] 郭刚军.黄瓜幼果发育过程中矿质元素及生理指标的动态变化[J].河南农业,2020(21):48-51.
- [7] 刁春霞,乔秋菊,黄为红.ICP-AES法测定黄瓜中的8种元素[J].化学分析计量,2015,24(5):78-80.
- [8] 孙涌栋,李新崢,郝峰鸽.微波消解 ICP-AES 测定黄瓜果实膨大生长过程中的矿质元素[J].光谱实验室,2010,27(2):669-672.
- [9] 史晓燕,杨静静,安林林.温室大棚黄瓜栽培技术及管理措施[J].世界热带农业信息,2022,542(8):26-27.
- [10] 张亚东,杨仁杰,刘海学,等.镉对不同水稻品种叶片矿质元素含量的影响[J].乡村科技,2021,12(4):91-94.
- [11] 杨卫民,杜京旗,赵君.火焰原子吸收光谱法测定不同产地枣果中的矿质元素[J].江苏农业科学,2015,43(9):331-334.
- [12] 刘媛,李敏,陈骁鹏,等.基于热图和聚类分析的毛冬青 18 种无机元素间的相关性研究[J].天然产物研究与开发,2020,32(7):1111-1117.
- [13] 梁水连,吕岱竹,周若浩,等.香蕉中 5 种矿物质元素含量测定及营养评价[J].食品科学,2019,40(24):241-245.
- [14] 李跃红,冉茂乾,徐孟怀,等.不同产地红心猕猴桃品质的主成分及聚类分析[J].食品工业科技,2021,42(10):222-228.
- [15] 李燕,王丹丹,齐连芬,等.基于主成分分析和聚类分析不同施氮量对黄瓜产量、品质影响的综合评价[J].东北农业科学,2022,47(2):110-114.
- [16] 李兴华,方子森,牛俊义.大量及微量元素对胡麻幼苗生长发育的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,48(1):42-48.
- [17] 张亚晨.简述镁元素对植物的作用[J].农业开发与装备,2018(11):166.
- [18] 匡立学,聂继云,李志霞,等.不同苹果品种果实矿质元素含量的因子分析和聚类分析[J].中国农业科学,2017,50(14):2807-2815.
- [19] 王颖,田应金,蒋伟,等.基于热图和聚类分析的马铃薯矿质元素含量评价[J].分子植物育种,2019,17(19):6483-6488.
- [20] 颜鸿远,龚文玲,刘引,等.不同产地和规格等级天麻矿质元素分析与评价[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(12):147-156.
- [21] 瞿玲玲,严旖旎,李广浩,等.105个鲜食糯玉米品种籽粒糊化特性的评价[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2022,43(1):82-87.