

北京地区高商品性小果型西瓜品种中 抗氧化与风味物质的综合评价

王浩然¹, 李 婷², 江 姣³, 王 璐¹, 靳凯业³, 潘 林³, 张海英⁴

(1. 北京农业职业学院 北京 102442; 2. 北京市农业技术推广站 北京 100029; 3. 北京市大兴区
种植业技术推广站 北京 102600; 4. 北京市农林科学院蔬菜研究所 北京 100097)

摘 要:以北京地区 10 个高商品性的小果型西瓜品种为试验材料,系统测定并分析其抗氧化功能物质(β -胡萝卜素、番茄红素、抗坏血酸、叶酸、丙醇二酸)与风味物质(可溶性糖、有机酸)的组成及含量差异,并运用主成分分析结合隶属函数法构建多指标品质综合评价体系,旨在筛选出综合营养品质优良的西瓜品种,为西瓜品质育种、品种布局优化、产品开发和市场消费引导提供科学依据与数据支持。结果表明,10 个小西瓜品种抗氧化功能物质与风味物质含量存在广泛的遗传多样性。红色果肉品种在类胡萝卜素、抗坏血酸、叶酸等核心抗氧化功能成分上优势明显,而部分彩色果肉品种在糖酸组成上更具特色;其中京美 3K、光辉 1000 和京美 2K 的 β -胡萝卜素、番茄红素、抗坏血酸含量较高,京彩 3 号的蔗糖含量最高,炫彩 2 号的柠檬酸含量最高。主成分分析提取出 4 个特征值大于 1 的主成分,累计方差贡献率达 85.73%,其中以类胡萝卜素、叶酸含量为代表的抗氧化因子贡献率较高,是决定西瓜综合营养品质的核心指标。综合评价结果显示,京美 3K、光辉 1000 和京美 2K 综合表现较优,适宜在北京地区推广种植。

关键词:西瓜;抗氧化物质;风味物质;综合评价

中图分类号:S651

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)09-082-06

Comprehensive evaluation of antioxidant and flavor compounds in high-commercial-value mini-watermelon varieties from Beijing region

Wang Haoran¹, Li Ting², Jiang Jiao³, Wang Lu¹, Jin Kaiye³, Pan Lin³, Zhang Haiying⁴

(1. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China; 2. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China; 3. Beijing Daxing Crop Production Technology Extension Station, Beijing 102600, China; 4. Vegetable Research Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Ten commercially valuable mini-watermelon varieties from the Beijing region were used as experimental materials, the composition and content differences of antioxidant functional substances (β -carotene, lycopene, ascorbic acid, folate, tartronic acid) and flavor substances (soluble sugar, organic acid) were systematically determined and analyzed. A multi-index comprehensive quality evaluation system was established using principal component analysis (PCA) combined with the membership function method, aiming to screen watermelon varieties with superior comprehensive nutritional quality and provide a scientific basis and data support for quality breeding, variety layout optimization, product development, and consumer guidance. The results showed extensive genetic diversity in the content of antioxidant functional substances and flavor substances among the ten mini-watermelon varieties. Red-fleshed varieties exhibited significant advantages in core antioxidant components such as carotenoids, ascorbic acid, and folate, whereas certain multicolour-fleshed varieties displayed distinctive sugar and acid profiles. Specifically, Jingmei 3K, Guanghui 1000, and Jingmei 2K contained high content of β -carotene, lycopene and ascorbic acid; Jingcai 3 showed the highest sucrose content, and Xuancai 2 had the highest citric acid content. PCA extracted four principal components with eigenvalue greater than 1, cumulatively accounting for 85.73% of the total variance. Antioxidant factors represented by carotenoids and folate contributed the most, serving as core indicators determining the comprehensive nutritional quality of watermelon. The comprehensive evaluation results indicated that Jingmei 3K, Guanghui 1000, and Jingmei 2K demonstrated the best overall per-

收稿日期:2026-05-01;修回日期:2026-05-29

基金项目:北京市乡村振兴农业科技项目(NY2401130425)

作者简介:王浩然,男,讲师,研究方向为蔬菜设施栽培、种质资源创新及分子设计育种。E-mail:18813013760@163.com

通信作者:张海英,女,研究员,研究方向为蔬菜种质资源创新与育种。E-mail:zhanghaiying@nercv.org

formance and are recommended for cultivation in the Beijing region.

Key words: Watermelon; Antioxidant; Flavor compound; Comprehensive evaluation

西瓜是一种经济效益较高的作物,伴随着消费升级与市场需求多样化,西瓜品种的营养品质日益成为影响其市场竞争力的重要因素。明确不同西瓜品种的营养品质差异,对促进生产者优化种植结构、经营者拓展市场规模、消费者提升消费体验具有重要意义。

西瓜果肉甘甜多汁,不仅含有可溶性糖、有机酸等影响风味的营养物质,更富含类胡萝卜素、抗坏血酸、叶酸等多种抗氧化物质,这些对人体健康有益的生物活性物质,具有抗氧化、改善血管功能、清除人体内积累的自由基、保护皮肤等功效^[1]。随着消费者对果皮轻薄、肉质酥脆的小果型品种的喜爱,小果型西瓜营养品质的评价研究也日趋增多。徐寸发等^[2]运用感官评价、相关性分析及主成分分析等评价方法对豫艺黑小宝、台湾小兰、SP600和苏梦6号等4个小果型西瓜品种进行了综合评价,结果表明,SP600和豫艺黑小宝综合品质更优,适宜在泗洪魏营地区推广。薛琴等^[3]对嘉兴地区早春设施栽培的11个小西瓜品种开展比较试验,综合比较了生育期、果实性状及品质等指标,筛选出华之秀冰糖和天露小彩虹2个高产优质品种。刘秀云等^[4]鉴定评价了21份西瓜种质资源的农艺性状,并针对番茄红素含量进行专项分析,筛选出3份极高和7份高番茄红素含量的优异种质,明确红色果肉与番茄红素含量呈极显著正相关。胡紫蔚等^[5]以4种不同瓢色西瓜为研究对象,探明了不同瓢色西瓜果实发育过程中类胡萝卜素的积累规律,同样明确了颜色特征值与类胡萝卜素组分含量的显著相关性。前人对西瓜品种营养品质的评价大多集中在可溶性糖、有机酸、糖酸比等决定西瓜风味物质方面的差异,或单独比较不同西瓜品种的番茄红素、类胡萝卜素、代谢物含量差异,而同时涵盖风味物质和抗氧化物质的差异比较与综合评价的多维度研究较少。

鉴于此,笔者以北京地区10个高商品性的小果型西瓜品种为试验材料,系统测定并分析其抗氧化功能成分(β -胡萝卜素、番茄红素、抗坏血酸、叶酸等)与风味物质(可溶性糖、有机酸)的组成与含量差异,并运用主成分分析结合隶属函数法构建多指标综合评价体系,旨在筛选出综合营养品质优良的西瓜品种,为北京地区乃至京津冀地区西瓜产业的品种布局优化、品质导向育种及市场消费引导提供

科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为10个北京地区高商品性小果型西瓜品种,名称、特性和来源见表1。

供试品种种植于北京市大兴区种植业生产基地塑料大棚,2025年1月5日播种,3月20日定植。试验设置3次重复,随机区组排列,每个小区50 m²,吊蔓栽培,双行定植,大行距90 cm,小行距25 cm,株距40 cm,每品种每小区定植100株。单蔓整枝,主蔓12~16节位坐瓜,每株留1瓜,人工授粉。全生育期施肥、浇水、病虫害防治等管理按照常规进行。

1.2 方法

1.2.1 样品采集 授粉后30 d,每小区每个供试品种取5个表观、大小一致且无机械损伤的果实。果实横切,取中心果肉(不含籽粒),混匀后液氮速冻,保存于-80℃冰箱用于后续试验。

1.2.2 指标测定 参考白玉冰等^[6]的方法测定番茄红素和 β -胡萝卜素含量;参考李婷等^[7]的方法测定抗坏血酸和可溶性糖(蔗糖、果糖、葡萄糖)含量;参考李同政等^[8]的方法测定苹果酸、柠檬酸含量;参照周恒勇等^[9]的方法测定叶酸含量;参考徐立俐等^[10]的方法测定丙醇二酸含量。总糖含量=蔗糖含量+果糖含量+葡萄糖含量;总酸含量=苹果酸含量+柠檬酸含量;糖酸比=总糖含量/总酸含量。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2003整理试验数据,采用Jamovi 2.3进行差异显著性分析、主成分分析和隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 不同西瓜品种的抗氧化物质成分分析

西瓜果实的抗氧化物质成分主要包括类胡萝卜素(以 β -胡萝卜素、番茄红素为主)、抗坏血酸、叶酸等。由表2可知,10个西瓜品种的各种抗氧化物质成分含量差异显著。

β -胡萝卜素含量(w ,后同)范围在49.22~290.84 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。其中,京美3K最高,比含量最低的炫彩6号高出5.28倍。京美2K、京美3K、光辉1000和京彩1号的 β -胡萝卜素含量均高于

表 1 供试小果型西瓜品种特性及来源

Table 1 Characteristics and source of the tested mini-watermelon varieties

品种 Variety	果皮颜色 Peel color	果肉颜色 Flesh color	熟性 Maturity	来源 Source
京美 2K Jingmei 2K	绿色 Green	鲜红色 Cherry red	早熟 Early maturing	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Sci-Technology Co., Ltd.
京美 3K Jingmei 3K	绿色 Green	大红色 Bright red	早熟 Early maturing	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Sci-Technology Co., Ltd.
光辉 1000 Guanghui 1000	绿色 Green	大红色 Bright red	早熟 Early maturing	北京市大兴区种植业技术推广站 Beijing Daxing District Planting Industry Technology Extension Station
京彩 1 号 Jingcai 1	绿色 Green	橙色 Orange	早熟 Early maturing	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Sci-Technology Co., Ltd.
京彩 3 号 Jingcai 3	绿色 Green	彩虹色 Multicolour	极早熟 Extremely early maturing	京研益农(北京)种业科技有限公司 Jingyan Yinong (Beijing) Seed Sci-Technology Co., Ltd.
炫彩 2 号 Xuancai 2	绿色 Green	橙色 Orange	早熟 Early maturing	北京市农业技术推广站 Beijing Agricultural Technology Extension Station
炫彩 6 号 Xuancai 6	黑色 Black	黄色 Yellow	早熟 Early maturing	北京市农业技术推广站 Beijing Agricultural Technology Extension Station
中美彩虹 Zhongmei Caihong	绿色 Green	彩虹色 Multicolour	早熟 Early maturing	日本萩原农园 Japan Ogisono Agricultural Park
彩虹 8 号 Caihong 8	绿色 Green	彩虹色 Multicolour	中早熟 Mid-early maturing	河南豫农种业科技发展有限公司 Henan Yuyi Seed Technology Development Co., Ltd.
牛小彩 Niuxiaocai	绿色 Green	彩虹色 Multicolour	早熟 Early maturing	北京乐天百特农业科技有限公司 Beijing Lotte Baite Agricultural Technology Co., Ltd.

表 2 不同西瓜品种的抗氧化物质含量

Table 2 Antioxidant content of different watermelon varieties

品种 Variety	w(β-胡萝卜素) β-Carotene content/(μg·g ⁻¹)	w(番茄红素) Lycopene content/(μg·g ⁻¹)	w(抗坏血酸) Ascorbic acid content/(μg·g ⁻¹)	w(叶酸) Folic acid content/(ng·g ⁻¹)	w(丙醇二酸) Propanoldiacid content/(ng·g ⁻¹)
京美 2K Jingmei 2K	289.02±10.96 a	31.51±2.19 b	61.65±4.87 a	136.55±9.01 b	327.97±18.85 a
京美 3K Jingmei 3K	290.84±22.06 a	95.25±1.87 a	50.36±4.26 b	188.68±4.24 a	148.90±8.56 c
光辉 1000 Guanghui 1000	286.97±13.50 a	98.31±6.38 a	40.04±4.16 bcd	107.75±11.90 c	203.33±19.60 abc
京彩 1 号 Jingcai 1	272.31±11.48 ab	2.83±0.20 de	44.83±4.61 bc	124.01±9.97 bc	191.83±3.65 abc
京彩 3 号 Jingcai 3	118.49±1.39 c	2.93±0.45 d	40.38±1.45 bcd	16.44±0.85 e	199.83±6.41 abc
炫彩 2 号 Xuancai 2	54.98±9.98 d	2.38±0.46 ef	28.58±8.56 e	13.13±2.54 ef	219.63±20.01 ab
炫彩 6 号 Xuancai 6	49.22±4.29 d	2.35±0.16 ef	30.93±2.15 de	23.72±2.11 d	215.47±17.06 abc
中美彩虹 Zhongmei Caihong	59.99±7.11 d	2.64±0.35 de	40.27±4.03 bcd	9.61±0.46 g	194.00±22.31 abc
彩虹 8 号 Caihong 8	58.88±3.97 d	2.87±0.30 d	33.22±2.23 cde	10.57±0.91 fg	169.47±3.02 bc
牛小彩 Niuxiaocai	124.13±8.66 c	7.14±1.02 c	22.11±2.14 e	5.91±0.39 h	166.33±10.71 bc

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

270.00 μg·g⁻¹,属高 β-胡萝卜素含量西瓜品种。
番茄红素含量范围在 2.35~98.31 μg·g⁻¹,极差
达 95.96 μg·g⁻¹,含量最高的光辉 1000 比最低的炫
彩 6 号高出 41.83 倍。按果肉颜色进行分类,大红
色的光辉 1000 和京美 3K 番茄红素含量均高于
95.00 μg·g⁻¹,属极高番茄红素含量西瓜品种;果肉
鲜红色的京美 2K 含量为 31.51 μg·g⁻¹,属中等番茄

红素含量品种;果肉为黄色、橙色和彩虹色的非红
色果肉品种番茄红素含量普遍较低,绝大多数低于
3.00 μg·g⁻¹,如炫彩 6 号、京彩 1 号等,仅牛小彩例
外,其番茄红素含量达 7.14 μg·g⁻¹,显著高于其他非
红色果肉品种。
抗坏血酸含量范围在 22.11~61.65 μg·g⁻¹,京美
2K 含量最高,是牛小彩的 2.78 倍。京美 3K 的抗坏

血酸含量为 $50.36\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 高于大部分供试品种。叶酸含量范围在 $5.91\sim 188.68\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 极差达 $182.77\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 京美 3K 含量最高, 是含量最低牛小彩的 31.92 倍。丙醇二酸含量范围在 $148.90\sim 327.97\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 极差达 $179.07\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中京美 2K 含量最高, 是含量最低京美 3K 的 2.2 倍。

2.2 不同西瓜品种的风味物质含量分析

西瓜果实风味主要由可溶性糖与有机酸的物质组成、含量及比例共同决定。由表 3 可知, 可溶性糖主要由蔗糖、果糖和葡萄糖组成。供试品种的

可溶性糖含量均处于较高水平, 三种单糖含量差异显著(葡萄糖差异最大)。不同品种的主导糖分不同, 京彩 3 号的蔗糖含量最高, 牛小彩的果糖含量最高, 炫彩 6 号的葡萄糖含量最高, 说明西瓜果实的糖分积累模式具有品种特异性。有机酸主要由苹果酸和柠檬酸组成。10 个西瓜品种中, 苹果酸含量整体水平较高, 京彩 3 号、彩虹 8 号和中美彩虹均高于等于 $18.00\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 京美 3K 最低($14.55\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。柠檬酸含量整体水平较低, 但炫彩 2 号却异常偏高($1.12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 约为其他品种的 2~5

表 3 不同西瓜品种的风味物质含量
Table 3 Flavor compound content of different watermelon varieties

品种 Variety	w(蔗糖) Sucrose content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(果糖) Fructose content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(葡萄糖) Glucose content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(苹果酸) Malic acid content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(柠檬酸) Citric acid content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	糖酸比 Sugar-acid ratio
京美 2K Jingmei 2K	$67.97\pm 1.18\text{ abc}$	$58.76\pm 1.50\text{ d}$	$37.41\pm 0.72\text{ g}$	$15.36\pm 0.24\text{ cde}$	$0.40\pm 0.04\text{ de}$	$10.41\pm 0.20\text{ abcd}$
京美 3K Jingmei 3K	$58.93\pm 2.50\text{ cde}$	$66.94\pm 4.01\text{ abc}$	$48.57\pm 3.66\text{ de}$	$14.55\pm 0.67\text{ e}$	$0.24\pm 0.05\text{ e}$	$11.80\pm 0.85\text{ a}$
光辉 1000 Guanghui 1000	$69.93\pm 5.68\text{ ab}$	$61.74\pm 7.59\text{ cd}$	$48.60\pm 4.95\text{ de}$	$15.22\pm 0.48\text{ cde}$	$0.53\pm 0.08\text{ bcd}$	$11.45\pm 1.20\text{ abc}$
京彩 1 号 Jingcai 1	$63.39\pm 1.70\text{ bcd}$	$62.47\pm 1.12\text{ cd}$	$41.86\pm 2.04\text{ f}$	$16.92\pm 0.58\text{ ab}$	$0.65\pm 0.02\text{ bc}$	$9.55\pm 0.38\text{ de}$
京彩 3 号 Jingcai 3	$74.44\pm 13.13\text{ a}$	$63.53\pm 1.91\text{ bcd}$	$45.26\pm 2.32\text{ ef}$	$18.37\pm 0.42\text{ a}$	$0.49\pm 0.16\text{ bcde}$	$9.72\pm 0.81\text{ cde}$
炫彩 2 号 Xuancai 2	$50.28\pm 3.77\text{ e}$	$68.04\pm 0.62\text{ abc}$	$56.55\pm 1.88\text{ bc}$	$16.54\pm 0.78\text{ bc}$	$1.12\pm 0.17\text{ a}$	$9.90\pm 0.42\text{ bcde}$
炫彩 6 号 Xuancai 6	$54.70\pm 6.16\text{ de}$	$67.12\pm 5.70\text{ abc}$	$64.77\pm 3.97\text{ a}$	$16.13\pm 0.66\text{ bcd}$	$0.64\pm 0.10\text{ bc}$	$11.13\pm 1.02\text{ abc}$
中美彩虹 Zhongmei Caihong	$61.03\pm 4.18\text{ bcde}$	$67.92\pm 5.56\text{ abc}$	$58.30\pm 6.49\text{ b}$	$18.00\pm 0.86\text{ a}$	$0.73\pm 0.15\text{ b}$	$10.00\pm 0.87\text{ bcde}$
彩虹 8 号 Caihong 8	$61.25\pm 1.41\text{ bcde}$	$69.00\pm 5.03\text{ ab}$	$52.59\pm 2.86\text{ cd}$	$18.15\pm 0.64\text{ a}$	$0.51\pm 0.15\text{ bcde}$	$9.80\pm 0.54\text{ cd}$
牛小彩 Niuxiaocai	$55.81\pm 2.71\text{ de}$	$69.58\pm 1.32\text{ a}$	$52.90\pm 2.89\text{ cd}$	$15.86\pm 0.65\text{ bcd}$	$0.69\pm 0.08\text{ bc}$	$10.77\pm 0.53\text{ abcd}$

倍, 与其鲜明的酸味特征一致。

在西瓜风味品质评价中, 糖酸比是综合反映果实甜酸协调性与风味导向的关键量化指标。由表 3 可知, 不同品种的糖酸比存在显著差异, 但整体呈现以甜为主的风味。其中炫彩 6 号、京美 3K 与光辉 1000 均大于 11, 显示其甜味主导且风味协调的共同特征。炫彩 2 号、京彩 1 号、彩虹 8 号和京彩 3 号的糖酸比均小于 10, 与其风味中酸感稍显突出一致。京美 2K 的糖酸比为 10.41, 糖酸构成较为均衡。

2.3 基于主成分分析-隶属函数法的西瓜品种营养品质综合评价

主成分分析结果(表 4、表 5)显示, 按特征值大于 1 的原则提取前 4 个主成分, 累计方差贡献率达 85.73%, 可代表原始指标的大部分信息。其中, 第 1 主成分(方差贡献率 39.41%)在分析评价中起主导作用, 载荷较大的指标为 β -胡萝卜素含量(0.941)、番茄红素含量(0.932)和叶酸含量(0.872), 定义为抗氧化因子; 第 2 主成分(21.43%)中葡萄糖含量(0.859)、果糖含量(0.812)和蔗糖含量(0.728)载荷较大, 定义为可溶性糖因子; 第 3 主成分(13.82%)

表 4 主成分特征值、贡献率及累计贡献率
Table 4 Eigenvalue, variance contribution rate, and cumulative contribution rate of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
PC1	3.941	39.41	39.41
PC2	2.143	21.43	60.84
PC3	1.382	13.82	74.66
PC4	1.107	11.07	85.73
PC5	0.672	6.72	92.45
PC6	0.408	4.08	96.53
PC7	0.193	1.93	98.46
PC8	0.103	1.03	99.49
PC9	0.038	0.38	99.87
PC10	0.013	0.13	100.00

载荷较大的指标为苹果酸含量(0.868)和柠檬酸含量(0.756), 定义为有机酸因子; 第 4 主成分(11.07%)抗坏血酸含量的贡献较大, 定义为维生素因子。

综合载荷计算所得的指标权重显示, β -胡萝

表 5 主成分载荷矩阵与权重分配
Table 5 Principal component loading matrix and weight allocation

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	综合载荷 Comprehensive loading	权重 Weight
β-胡萝卜素含量 β-Carotene content	0.941	-0.171	0.102	-0.073	2.314	0.122
番茄红素含量 Lycopene content	0.932	-0.190	0.172	-0.078	2.286	0.121
叶酸含量 Folic acid content	0.872	0.038	0.002	-0.345	2.105	0.111
抗坏血酸含量 Ascorbic acid content	0.673	-0.208	-0.267	0.513	1.875	0.099
葡萄糖含量 Glucose content	0.108	0.859	0.137	0.050	1.876	0.099
蔗糖含量 Sucrose content	0.170	0.728	-0.401	-0.260	1.792	0.095
果糖含量 Fructose content	-0.038	0.812	0.098	0.175	1.745	0.092
丙醇二酸含量 Propanoldiacid content	-0.736	0.144	0.131	0.441	1.643	0.087
苹果酸含量 Malic acid content	-0.203	0.104	0.868	0.165	1.654	0.087
柠檬酸含量 Citric acid content	0.156	0.340	0.756	-0.251	1.648	0.087

胡萝卜素含量(0.122)与番茄红素含量(0.121)的权重较高,其次是叶酸含量(0.111),说明类胡萝卜素与叶酸含量是评价西瓜综合营养品质的核心指标。

通过隶属函数法将各品种原始数据进行无量纲

化处理,并结合上述客观权重计算综合评分(综合评价价值),综合评价价值越高,表明品种的综合营养品质越优。由表 6 可知,京美 3K、光辉 1000 和京美 2K 的综合评分位列前 3,是本试验中综合营养品质较为优异的品种。

表 6 不同西瓜品种隶属函数值分析
Table 6 Analysis of membership function value of different watermelon varieties

品种 Variety	β-胡萝卜素含量 β-Carotene content	番茄红素含量 Lycopene content	抗坏血酸含量 Ascorbic acid content	叶酸含量 Folic acid content	丙醇二酸含量 Propanol-diacid content	葡萄糖含量 Glucose content	果糖含量 Fructose content	蔗糖含量 Sucrose content	苹果酸含量 Malic acid content	柠檬酸含量 Citric acid content	综合评价价值 D-value	排序 Rank
京美 2K Jingmei 2K	0.992 2	0.303 9	1.000 0	0.714 7	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.732 2	0.2120	0.1818	0.5281	3
京美 3K Jingmei 3K	1.000 0	0.968 1	0.714 5	1.000 0	0.000 0	0.407 9	0.756 0	0.358 0	0.0000	0.0000	0.5652	1
光辉 1000 Guanghui 1000	0.984 3	1.000 0	0.453 3	0.557 3	0.304 1	0.409 3	0.276 5	0.815 0	0.1757	0.3295	0.5365	2
京彩 1 号 Jingcai 1	0.923 3	0.005 0	0.574 8	0.646 2	0.239 9	0.162 8	0.343 6	0.543 2	0.6204	0.4659	0.4306	5
京彩 3 号 Jingcai 3	0.286 6	0.006 0	0.462 0	0.057 5	0.284 6	0.286 7	0.441 1	1.000 0	1.0000	0.2841	0.4294	6
炫彩 2 号 Xuancai 2	0.023 8	0.000 3	0.163 6	0.039 5	0.395 0	0.699 4	0.857 7	0.000 0	0.5209	1.0000	0.3805	10
炫彩 6 号 Xuancai 6	0.000 0	0.000 0	0.223 0	0.097 4	0.371 7	1.000 0	0.772 3	0.183 0	0.4131	0.4545	0.3906	9
中美彩虹 Zhongmei Caihong	0.044 5	0.003 0	0.459 3	0.020 2	0.252 1	0.762 6	0.846 5	0.445 1	0.9021	0.5568	0.4498	4
彩虹 8 号 Caihong 8	0.039 9	0.005 4	0.280 9	0.025 5	0.114 8	0.555 0	0.945 5	0.453 5	0.9429	0.3068	0.4175	7
牛小彩 Niuxiaocai	0.309 9	0.303 9	0.000 0	0.000 0	0.097 5	0.566 4	1.000 0	0.228 6	0.3428	0.5114	0.4086	8

3 讨论与结论

随着西瓜产业向高品质、多样化方向发展,消费者对品质和营养的需求也不断提高。本研究系统

测定了北京地区 10 个高商品性小果型西瓜的抗氧化与风味物质含量,明确各品种的品质优势,并基于多指标综合评价,筛选出综合品质优异的商业品种,为品种区域布局与品质育种提供了科学依据。

类胡萝卜素代谢是决定西瓜瓤色的核心机制^[11]。番茄红素是类胡萝卜素合成路径中的关键中间产物,在红瓤中大量积累;从代谢途径来看,部分非红瓤品种可能因下游酶活性差异,促使番茄红素进一步转化,形成以 β -胡萝卜素为主的类胡萝卜素组成特征^[12]。因此,红瓤西瓜品种的番茄红素积累最多,而橙瓤西瓜品种中番茄红素的积累与其种类有关^[4],与本研究结果一致。红瓤的光辉1000和京美3K番茄红素含量是黄瓤西瓜炫彩6号的41倍,且二者同时保持高水平的 β -胡萝卜素,显示出优异的类胡萝卜素合成能力。相比之下,非红瓤品种除牛小彩外,番茄红素含量普遍 $<3\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, β -胡萝卜素含量也普遍低于红色果肉,这提示非红色品种在外观多样化的同时,需加强核心营养成分的协同改良提升。

糖酸组分及比例是决定西瓜风味品质的关键因素^[13]。本研究发现,传统红瓤品种如京美2K、光辉1000的糖分构成中非还原糖(如蔗糖)占比较高,这通常是西瓜果实成熟期糖分转运与积累完全的表现,符合优良鲜食品种的特征^[14]。而部分品种则表现出高还原糖(葡萄糖、果糖)或高柠檬酸的特征,如炫彩2号柠檬酸含量显著偏高,可能与品种特有的柠檬酸合成酶活性较强或降解代谢较慢有关,从而赋予其独特的风味^[15],也为不同风味导向的专用品种选育提供了材料。

笔者构建的主成分分析-隶属函数法综合评价体系,客观量化了品种间的营养品质差异,避免了单一指标的局限性。结果显示,以类胡萝卜素和叶酸含量为代表的抗氧化因子贡献率最高(39.41%),且相关指标权重占比最大,说明西瓜中的番茄红素和 β -胡萝卜素不仅是关键呈色物质,更是其健康价值的重要体现^[16]。这与但方等^[17]、柳帆红等^[18]的研究观点相符,表明在现代西瓜品质构成中以番茄红素和 β -胡萝卜素为代表的抗氧化营养成分已成为评价其内在价值的关键核心,其重要性已超越传统单一的糖度指标^[19]。

综合评价结果显示,京美3K、光辉1000和京美2K综合营养品质较优,适宜在北京地区推广应用。部分品种虽然在某一风味指标上表现突出,但因核心营养成分不足导致综合评分偏低,说明优质西瓜品种需兼顾营养与风味的均衡性。未来的研究可结合基因组学与代谢组学解析西瓜品质调控的分子机制,并将本评价体系应用于不同栽培条件,为品质调控提供支撑。

综上所述,笔者系统测定了北京地区10个高

商品性小果型西瓜的5种抗氧化物质和5种风味物质成分及含量,发现供试品种间营养品质存在广泛的遗传多样性。红瓤品种在类胡萝卜素、抗坏血酸含量等核心抗氧化成分上优势明显,非红色品种则表现出独特的糖酸组成特征。主成分分析提取出4个主成分,累计方差贡献率达85.73%,其中抗氧化因子是决定综合营养品质的核心。基于主成分分析-隶属函数法的综合评价显示,京美3K、光辉1000和京美2K综合营养品质较优,可作为北京地区优质小果型西瓜的主推品种。

参考文献

- [1] 张俊杰,程志强.西瓜的营养成分及保健功能[J].南方园艺,2013,24(2):49-50.
- [2] 徐寸发,孙以文,王宁,等.不同品种小果型西瓜品质分析与综合评价[J].中国农学通报,2026,42(1):70-76.
- [3] 薛琴,顾掌根,叶立华,等.嘉兴地区早春设施小西瓜品种比较试验[J].长江蔬菜,2025(18):53-55.
- [4] 刘秀云,曹碧婷,岳钉伊,等.西瓜种质资源番茄红素含量鉴定与评价[J].中国瓜菜,2025,38(2):25-31.
- [5] 胡紫蔚,张蕾琛,陈英子,等.西瓜果实类胡萝卜素组分含量与瓤色相关性分析[J].中国瓜菜,2025,38(1):31-38.
- [6] 白玉冰,陈秀金,王蔚然,等.番茄红素的生物活性、提取方式及其在食品领域中的应用[J].食品与发酵工业,2025,51(12):395-403.
- [7] 李婷,宋曙辉,王正荣,等.北京地区不同品种西瓜果实的品质分析[J].食品工业科技,2024,45(9):265-271.
- [8] 李同政,党峰峰,王芳,等.番茄果实风味物质检测与品质综合评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(10):71-84.
- [9] 周恒勇,刘凯政,刘建文,等.HPLC-UV法直接测定蔬菜提取物的叶酸含量[J].食品科技,2017,42(8):284-288.
- [10] 徐立俐,李延辉,戴增,等.乙醇提取黄瓜丙醇二酸工艺研究[J].食品研究与开发,2016,37(11):93-96.
- [11] 刁卫楠,朱红菊,刘文革.蔬菜作物中类胡萝卜素研究进展[J].中国瓜菜,2021,34(1):1-8.
- [12] 付小辉,施露,孙清珍,等.基于顶空-气相色谱-离子迁移谱探究不同成熟期番茄果实风味的差异[J].食品科学,2025,46(2):138-147.
- [13] 李晶,郁继华,武玥,等.不同小果型西瓜品种品质评价[J].中国瓜菜,2020,33(11):61-67.
- [14] 张博.西瓜糖代谢相关基因表达分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [15] 赵永,朱红菊,杨东东,等.果实柠檬酸代谢研究进展[J].园艺学报,2022,49(12):2579-2596.
- [16] 高歌,王依莹,李勇,等.东台西瓜主要品种特征营养成分及代谢物差异分析[J].江苏农业科学,2025,53(6):208-215.
- [17] 但方,邱诗春,刘忠贤,等.基于主成分分析法筛选适宜重庆的小型西瓜品种[J].西华师范大学学报(自然科学版),2026,47(1):34-40.
- [18] 柳帆红,张洋,唐中祺,等.贮藏时间对不同西瓜种类胡萝卜素组分及含量的影响[J].中国瓜菜,2022,35(7):39-45.
- [19] 刘养冉.小果型西瓜品质综合评价及其色素的稳定性研究[D].山东泰安:山东农业大学,2025.