

2 种厚皮甜瓜果实不同部位氨基酸组成分析

李莹杰, 张贞伟, 脱佳琪, 王艳壮, 杜红斌, 梁郸娜

(塔里木大学园艺与林学院·新疆设施农业兵团重点实验室 新疆阿拉尔 843300)

摘要: 为探究新疆厚皮甜瓜中氨基酸的组分及含量, 深度挖掘新疆厚皮甜瓜的营养价值和利用潜力, 以厚皮甜瓜 YG 和 QLG 的成熟果实为试材, 采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS), 对果肉与果皮中氨基酸的组成及含量进行分析。结果表明, 2 个甜瓜品种中共检测出 37 种氨基酸, 其中 18 种为蛋白氨基酸; 2 个甜瓜品种的果皮中蛋白氨基酸总量显著高于果肉, 果肉中的鲜味、甜味、酸味氨基酸含量显著高于果皮; 谷氨酰胺为果皮中含量最高的蛋白氨基酸, 丙氨酸为果肉中含量最高的蛋白氨基酸, γ -氨基丁酸(GABA)为 2 个甜瓜品种各部位中含量最高的非蛋白氨基酸; 2 个甜瓜品种果实不同部位两两比较结果显示, 各对比组间存在 9 种共有的差异氨基酸。研究结果为甜瓜果实中氨基酸及酯类芳香物质的研究提供参考, 也为新疆厚皮甜瓜果实的综合开发提供材料和依据。

关键词: 厚皮甜瓜; 氨基酸; 果实; 气相色谱-质谱联用技术

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)11-048-09

Analysis of amino acids composition in different fruit parts of two muskmelon varieties

LI Yingjie, ZHANG Zhenwei, TUO Jiaqi, WANG Yanzhuang, DU Hongbin, LIANG Danna

(College of Horticulture and Forestry, Tarim University/Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Facility Agriculture, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: In order to explore the composition and content of amino acids in muskmelon in Xinjiang, and deeply explore the nutritional value and utilization potential of muskmelon in Xinjiang, the mature fruits of YG and QLG were used as materials, and gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS) was employed to analyze the composition and content of amino acids in flesh and peel. The results showed that a total of 37 amino acids were detected in two melon varieties, of which 18 were protein amino acids. The total amino acids content of protein in the peel of two melon varieties were significantly higher than those in the flesh, while the content of flavor, sweet and sour amino acids in the flesh were significantly higher than those in the peel. Glutamine is the protein amino acid with the highest content in peel, alanine is the protein amino acid with the highest content in flesh, and γ -aminobutyric acid(GABA) is the non-protein amino acid with the highest content in all parts of the two varieties. The results of pairwise comparison of different parts of the two melon varieties showed that there were 9 common different amino acids among the comparison groups. The research results provide reference for the study of amino acids and ester aromatic substances in muskmelon fruits, and also provide materials and basis for the comprehensive development of muskmelon fruits in Xinjiang.

Key words: Muskmelon; Amino acids; Fruit; Gas chromatography-mass spectrometry

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是一年生双子叶植物, 其果色、香、味俱佳, 营养丰富, 含有大量的氨基酸、维生素等人体必需的营养成分, 具有较高的经济价值, 是世界重要的水果之一^[1-2]。根据 2020 年联合国粮农组织统计(FAOSTAT), 中国是世界上最大的

甜瓜生产国, 种植面积达 385 756 hm²。新疆拥有丰富的甜瓜资源, 区位优势明显, 早在两千多年前就有种植甜瓜的历史, 随着社会经济的发展和市场的繁荣, 甜瓜已成为新疆人民提高生活水平的重要经济作物之一^[3-5]。

收稿日期: 2024-05-21; 修回日期: 2024-09-13

基金项目: 塔里木大学校长基金(博士)人才项目(TDZKBS202106); 2023 人才发展基金“天池英才”引进计划青年博士项目(兵财行(2023)80号-梁郸娜)

作者简介: 李莹杰, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜资源与设施园艺技术。E-mail: 909235752@qq.com

通信作者: 梁郸娜, 女, 副教授, 研究方向为蔬菜种质资源创新与新品种选育。E-mail: liangdanna121423@163.com

氨基酸是生命代谢的物质基础,对生物大分子的活性以及生理功能有极为重要的作用,且氨基酸分解代谢是甜瓜香气化合物产生的重要途径,是支链酯类物质的主要合成前体,甜瓜果实中酯类物质的种类和含量与氨基酸密切相关^[6-8]。研究表明,在甜瓜成熟期间香气物质大量积累的过程中,氨基酸的含量随之增加,且甜瓜中鲜味和芳香味氨基酸含量随之变化,影响甜瓜的香气和滋味成分合成^[9]。非蛋白氨基酸是一类重要的天然活性物质,种类繁多,作用机制复杂,且有些存在潜在的营养功能^[10-11]。对甜瓜果实中的氨基酸进行研究,可以进一步发掘不同甜瓜种质资源的潜在利用价值。

目前对果蔬中氨基酸含量的研究较多,段静怡等^[12]通过氨基酸分析仪对4种食用菌与4种果蔬的游离氨基酸进行检测,比较分析其营养成分与风味特征,结果表明,谷氨酸、苯丙氨酸、甘氨酸、苏氨酸、组氨酸、赖氨酸、缬氨酸、精氨酸和丙氨酸的味道强度值(TAV)最显著;罗睿雄等^[13]通过高效液相色谱法对黄皮果肉中的游离氨基酸的组分及其作用进行评价,结果显示各种质中非必需氨基酸含量最高;尹蓉等^[14-15]通过种仁氨基酸的组成及含量来分析评价不同杏品种的种质资源;屈雪华等^[16]通过气相色谱质谱法测定243份长豇豆种质中的氨基酸含量,进而结合营养成分进行品质综合评价。王树声等^[17]在运用高效液相色谱法(HPLC)对烤烟烟叶的研究中发现,精氨酸、苯丙氨酸和游离氨基酸对香气的贡献较大。

我国的厚皮甜瓜主要原产于内陆干旱荒漠地带的西北地区^[18],以芳香浓郁、风味宜人、营养丰富的品质深受广大消费者喜爱^[19]。随着社会发展与消费市场的变化,人们对甜瓜风味、品质、安全等方面的要求在逐步提升^[20-22]。作为“瓜果之乡”的新疆,为适应市场需求的变化,选育具有优良性状的甜瓜品种任重道远。对新疆厚皮甜瓜中的氨基酸组分进行研究,挖掘优良品质性状,探寻影响甜瓜风味的相关因子,对研发甜瓜新品种具有重要意义。

笔者采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)^[23],对甜瓜果肉和果皮中的氨基酸种类与含量进行测定及分析,初步探究新疆厚皮甜瓜成熟果实中不同部位的氨基酸组成及含量,为深度挖掘新疆厚皮甜瓜的营养价值和利用潜力提供参考,也为新疆厚皮甜瓜果实的综合开发提供材料和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料选用经前期课题组成员从收集到的甜瓜种质中筛选出的果实香气差异显著、品质较好的厚皮型甜瓜 YG 与 QLG(图1),种子均采购自昌吉市金丰种业有限责任公司,于2023年3-4月在新疆塔里木大学园艺试验站育苗,3叶1心时定植于新疆阿拉尔十团日光温室中,每品种定植100株,高畦双行种植,株距40 cm,行距50 cm,双蔓整枝,常规水肥管理。2023年8月商品瓜成熟时,各品种分别采集大小相似、成熟度基本一致、外表完好无损的甜瓜果实10个,并在采摘当天进行四分法取甜瓜果实赤道周围3 cm左右的果肉与果皮,果肉样品计为 YGR、QLGR,果皮样品计为 YGB、QLGB,冷藏于-80 °C超低温冰箱中,2023年11月进行检测。

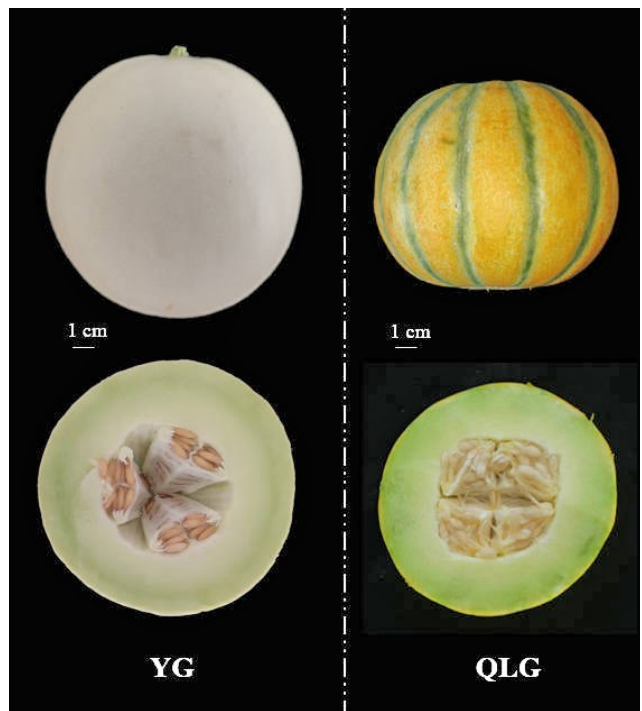


图1 甜瓜果实样品特性

Fig. 1 Characteristics of melon fruit samples

1.2 方法

采用 GC-MS 技术进行检测,通过自建标品库及 LECO-Fiehn 数据库进行谱库检索并定性氨基酸成分,峰面积归一化法分析其相对含量,试验设置6次重复。

1.2.1 样品提取方法 样品在冰浴中解冻后,称取10 mg,加入50 μL 预冷50%甲醇及10 μL 4-氯-DL-苯丙氨酸内标溶液,匀浆3 min,14 000g 4 °C离心20 min后,转移上清液于离心管中,在剩

余沉淀中再次加入 175 μL 甲醇/氯仿(体积比 3:1), 匀浆后离心转移上清液, 和第一步的上清液合并, 离心后取 100 μL 上清液真空干燥。向干燥后的样本中加入 50 μL 甲氧胺盐试剂(溶于 20 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 吡啶), 混匀后在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下衍生 2 h, 然后向每个样品中加入 50 μL MSTFA(含有 1% TMCS), 在 37.5 $^{\circ}\text{C}$ 下衍生 1 h, 将衍生后的样品随机打乱顺序上机检测。

1.2.2 样品检测条件 样品采用配有 Agilent DB-5MS 毛细管柱(30 $\text{m}\times 250\ \mu\text{m}\times 0.25\ \mu\text{m}$)的 Agilent 7890B 气相色谱-飞行时间质谱联用仪进行分析, 载气为氦气, 流速为 1.0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 进样量为 1 μL 。进样口温度和传输线温度均设置为 270 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度为 220 $^{\circ}\text{C}$ 。柱箱升温程序: 80 $^{\circ}\text{C}$ (2 min), 80~300 $^{\circ}\text{C}$ (12 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$), 300 $^{\circ}\text{C}$ (8 min)。在 m/z 范围为 50~500 全扫描模式、电离电压 70 eV 下进行检测, 扫描速率为 25 $\text{spectra}\cdot\text{s}^{-1}$, 采用随机顺序进行样品的连续分析。

1.3 数据统计与分析

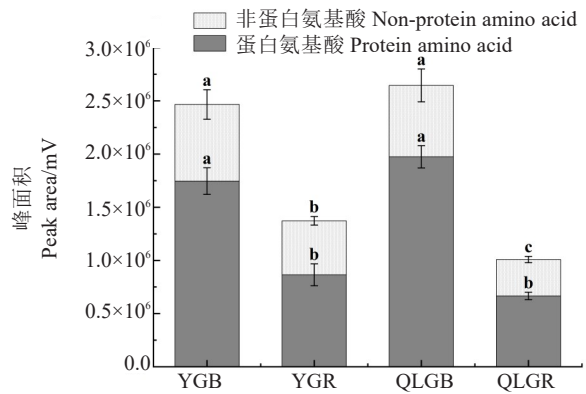
使用 ChromaTOF 软件(V4.71, LECO)进行基线去噪和平滑、峰提取、解卷积、峰对齐等处理。通过与上海中科新生命本地数据库(包括自建 1000+ 标品库和 LECO-Fiehn 数据库)中代谢物的 FAMES 保留指数和碎片离子谱图匹配进行化合物鉴定。统计结果数据通过 SPSS 26 进行方差分析, 采用最小显著性差异法(LSD)进行多重比较, 根据正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)与显著性分析 T 检验筛选差异物质。通过 Origin 2018、Excel 2016 与 Venny 2.1.0 在线网址(<https://bioinfo.gp.cnb.csic.es/tools/venny/>)进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 氨基酸组成与含量分析

2 个品种甜瓜果皮与果肉的氨基酸含量丰度如图 2 所示, 2 个品种甜瓜果皮间的氨基酸丰度差异不显著, 果肉间的蛋白氨基酸丰度差异不显著, 2 个品种甜瓜果皮中的氨基酸丰度显著高于果肉, YGB 的氨基酸总丰度比 YGR 高 80%, QLGB 的总丰度比 QLGR 高 160%, YGR 中的非蛋白氨基酸丰度显著高于 QLGR。

供试甜瓜果实样品的氨基酸组成及相对含量的分析结果见表 1。2 个甜瓜品种的果肉与果皮中共检测出 37 种氨基酸, 种类丰富, 其中 18 种为蛋白氨基酸(编号 1~18), 包含 7 种必需氨基酸和幼儿必需氨基酸组氨酸, 亮氨酸未在供试甜瓜样品中检



注: 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level.

图 2 GC-MS 分析甜瓜果实不同部位氨基酸的丰度
Fig. 2 Amino acid abundance analysis in different parts of melon fruit by GC-MS

测出, 还有 19 种为非蛋白氨基酸(编号 19~37)。YGB 中含量前 5 的氨基酸依次为谷氨酰胺(30.38%)、 γ -氨基丁酸(25.80%)、丙氨酸(13.17%)、甘氨酸(6.06%)、天冬氨酸(5.57%), YGR 中含量前 5 的氨基酸依次为 γ -氨基丁酸(26.12%)、丙氨酸(24.40%)、天冬氨酸(12.31%)、谷氨酰胺(12.24%)、磷酸丝氨酸(8.51%), QLGB 中含量前 5 的氨基酸依次为谷氨酰胺(28.49%)、丙氨酸(23.09%)、 γ -氨基丁酸(15.28%)、磷酸丝氨酸(6.16%)、甘氨酸(5.57%), QLGR 中含量前 5 的氨基酸依次为丙氨酸(25.71%)、谷氨酰胺(20.32%)、 γ -氨基丁酸(18.30%)、磷酸丝氨酸(12.39%)、甘氨酸(6.08%)。

2 个甜瓜品种氨基酸总量及各种类组分含量存在一定差异。在蛋白氨基酸类别中, 果皮中蛋白氨基酸含量显著高于果肉, QLG 果皮中的蛋白氨基酸含量显著高于 YG 果皮; 果皮中谷氨酰胺的含量最高, YG 中为 30.38%, QLG 中为 28.49%; 果肉中丙氨酸含量最高, YG 中为 24.40%, QLG 中为 25.71%; 精氨酸在 2 个甜瓜品种的果肉及果皮中的含量最低, YG 果皮中为 0.02%, 果肉中为 0.01%, QLG 果皮中为 0.04%, 果肉中为 0.01%。

在非蛋白氨基酸类别中, 果肉中非蛋白氨基酸含量显著高于果皮, YGB 中的非蛋白氨基酸含量显著高于 QLGB, 但在 YG 甜瓜中检测出的非蛋白氨基酸种类少于 QLG, N -乙酰丝氨酸未在 YG 甜瓜中检测出, 异苏氨酸未在 YGR 中检测出, N -乙酰色氨酸未在 QLGR 中检测出; 在 2 个甜瓜品种中, γ -氨基丁酸(GABA)在非蛋白氨基酸类别中的含量最高,

表1 甜瓜果实不同部位氨基酸组成及相对含量
Table 1 Amino acid composition and relative content in different parts of melon fruit

%

序号 Serial number	氨基酸名称 Name of amino acid	YGB	YGR	QLGB	QLGR
1	丙氨酸 Alanine	13.17±3.42 c	24.40±2.30 b	23.09±3.70 b	25.71±3.02 a
2	缬氨酸 Valine	1.50±0.40 ef	1.40±0.30 g	1.27±0.37 g	1.49±0.44 h
3	异亮氨酸 Isoleucine	0.36±0.12 ef	0.47±0.10 ijk	0.51±0.13 g	0.39±0.09 jkl
4	脯氨酸 Proline	0.18±0.13 f	0.08±0.05 k	0.66±0.31 g	0.13±0.13 kl
5	甘氨酸 Glycine	6.06±1.25 d	3.18±0.68 f	5.57±1.03 de	6.08±0.88 e
6	丝氨酸 Serine	4.89±0.77 d	4.04±0.57 e	4.04±0.51 ef	3.41±0.53 g
7	苏氨酸 Threonine	1.79±0.44 ef	0.66±0.15 hij	1.20±0.21 g	0.80±0.08 ijk
8	天冬氨酸 Aspartic acid	5.57±0.85 d	12.31±0.52 c	3.54±0.41 f	4.47±0.37 f
9	蛋氨酸 Methionine	0.58±0.12 ef	1.08±0.08gh	0.38±0.06 g	0.30±0.04 kl
10	精氨酸 Arginine	0.02±0.00 f	0.01±0.00 k	0.04±0.00 g	0.01±0.01 l
11	谷氨酸 Glutamic acid	0.29±0.07 ef	0.53±0.08 hijk	1.09±0.15 g	1.05±0.12 hij
12	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.33±0.02 ef	0.51±0.06 ijk	0.33±0.06 g	0.20±0.02 kl
13	天冬酰胺 Asparagine	2.27±0.68 e	0.44±0.03 ijk	1.23±0.39 g	0.38±0.07 jkl
14	谷氨酰胺 Glutamine	30.38±9.55 a	12.24±1.01 c	28.49±8.79 a	20.32±0.79 b
15	组氨酸 Histidine	0.50±0.07 ef	0.41±0.04 ijk	1.06±0.17 g	0.32±0.06 kl
16	赖氨酸 Lysine	0.26±0.05 ef	0.26±0.03 jk	0.38±0.05 g	0.26±0.05 kl
17	酪氨酸 Tyrosine	0.46±0.11 ef	0.43±0.10 ijk	0.31±0.04 g	0.26±0.04 kl
18	色氨酸 Tryptophan	1.37±0.24 ef	0.45±0.05 ijk	1.57±0.23 g	0.42±0.06 jkl
19	α -氨基丁酸 α -Aminobutyric acid	0.02±0.01 f	0.08±0.02 k	0.21±0.05 g	0.20±0.05 kl
20	1-氨基环丙烷羧酸 1-Aminocyclopropanecarboxylic acid	0.02±0.00 f	0.30±0.09 jk	0.02±0.01 g	0.03±0.01 l
21	磷酸丝氨酸 Phosphoserine	1.66±0.37 ef	8.51±0.94 d	6.16±1.37 d	12.39±1.25 d
22	<i>N</i> -甲基- <i>L</i> -谷氨酸 <i>N</i> -methyl- <i>L</i> -glutamic acid	0.03±0.01 f	0.04±0.02 k	0.03±0.01 g	0.06±0.02 l
23	六氢吡啶羧酸 Pипecolic acid	0.15±0.08 f	0.10±0.05 jk	0.44±0.14 g	0.27±0.08 kl
24	3-氰基丙氨酸 3-Cyanoalanine	0.15±0.04 f	0.05±0.01 k	0.05±0.01 g	0.05±0.02 l
25	异苏氨酸 Allothreonine	0.02±0.01 f	0	0.03±0.01 g	0.03±0.01 l
26	甲基半胱氨酸 Methylcysteine	0.01±0.00 f	0.01±0.00 k	0.05±0.01 g	0.04±0.01 l
27	β -丙氨酸 β -Alanine	0.21±0.06 f	0.25±0.03 jk	0.27±0.09 g	0.22±0.04 kl
28	高丝氨酸 Homoserine	0.03±0.01 f	0.01±0.00 k	0.19±0.04 g	0.23±0.03 kl
29	氨基丙二酸 Aminomalonic acid	0.11±0.04 f	0.11±0.05 jk	0.09±0.03g	0.12±0.02 l
30	<i>N</i> -乙酰丝氨酸 <i>N</i> -Acetylserine	0	0	0.05±0.02 g	0.02±0.01 l
31	γ -氨基丁酸 GABA	25.80±3.62 b	26.12±0.75 a	15.28±1.31 c	18.30±0.43 c
32	2-氨基-5-羟基戊酸 2-Amino-5-hydroxyvaleric acid	0.04±0.01 f	0.03±0.00 k	0.03±0.00 g	0.04±0.01 l
33	吡唑-1-丙氨酸 Pyrazole-1-alanine	0.08±0.03 f	0.12±0.02 jk	0.07±0.04 g	0.12±0.04 l
34	高半胱氨酸 Homocysteine	0.03±0.01 f	0.01±0.00 k	0.07±0.02 g	0.02±0.01 l
35	鸟氨酸 Ornithine	0.50±0.09 ef	0.42±0.07 ijk	0.54±0.05 g	0.54±0.06 jkl
36	瓜氨酸 Citrulline	1.17±0.17 ef	0.96±0.09 ghi	1.66±0.18 g	1.35±0.23 hi
37	<i>N</i> -乙酰色氨酸 <i>N</i> -Acetyltryptophan	0.01±0.00 f	0.01±0.01 k	0.02±0.01 g	0
蛋白氨基酸总量 Total amino acids content of protein		69.97±1.18 b	62.88±1.53 c	74.75±1.62 a	66.00±1.35 c
非蛋白氨基酸总量 Total amino acids content of non-protein		30.03±1.17 b	37.11±1.54 a	25.24±1.63 c	34.01±1.35 ab

注:各种氨基酸中不同的字母(a-l)表示同一样本内的氨基酸含量在0.05水平差异显著,总量中不同的字母(a-c)表示4种样本间的显著差异。

Note: Different letters (a-l) in various amino acids indicate significant differences in amino acid content at 0.05 level, and different letters (a-c) in the total amount indicate significant differences among the four samples.

YG 甜瓜果皮中为 25.80%，果肉中为 26.12%，QLG 甜瓜果皮中为 15.28%，果肉中为 18.30%。

2.2 必需氨基酸组成与含量分析

4 种甜瓜样本的 7 种必需氨基酸和组氨酸的含量如表 2 所示。在 2 个甜瓜品种中，检测出了除亮氨酸外的所有必需氨基酸，YG 甜瓜果皮中必需氨基酸总量占蛋白氨基酸总量的 9.61%，果肉中占 8.32%；QLG 果皮中占 8.98%，果肉中占 6.32%。YG 果肉和果皮中的必需氨基酸总量差异不显著，QLG 果皮中的必需氨基酸总量显著高于果肉。

在果皮中，YG 甜瓜的苏氨酸(Thr)、蛋氨酸(Met)含量显著高于 QLG，QLG 甜瓜的赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)含量显著高于 YG，其他氨基酸含量差异不显著；在果肉中，YG 甜瓜的蛋氨酸(Met)、苯丙氨酸(Phe)含量显著高于 QLG。在 YG 甜瓜中，果皮的苏氨酸(Thr)、色氨酸(Trp)含量显著高于果肉，果肉的异亮氨酸(Ile)、蛋氨酸(Met)、苯丙氨酸(Phe)含量显著高于果皮；在 QLG 甜瓜中，果皮的苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、色氨酸(Trp)、组氨酸(His)含量显著高于果肉。

表 2 甜瓜果实不同部位必需氨基酸组成及相对含量分析

Table 2 Composition and relative content analysis of essential amino acids in different parts of melon fruit %

必需氨基酸 Essential amino acid	YGB	YGR	QLGB	QLGR
缬氨酸 Valine	2.15±0.61 a	2.23±0.44 a	1.71±0.56 a	2.26±0.65 a
异亮氨酸 Isoleucine	0.52±0.18 b	0.74±0.15 a	0.68±0.20 ab	0.59±0.14 ab
苏氨酸 Threonine	2.59±0.73 a	1.04±0.24 b	1.61±0.31 b	1.22±0.12 b
蛋氨酸 Methionine	0.83±0.18 b	1.72±0.11 a	0.51±0.10 c	0.45±0.07 c
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.47±0.05 b	0.82±0.10 a	0.44±0.08 b	0.30±0.03 c
赖氨酸 Lysine	0.37±0.09 b	0.41±0.05 ab	0.51±0.07 a	0.39±0.08 b
色氨酸 Tryptophan	1.96±0.36 a	0.71±0.09 b	2.11±0.32 a	0.64±0.09 b
组氨酸 Histidine	0.72±0.13 b	0.65±0.06 b	1.42±0.25 a	0.48±0.10 b
总量 Total	9.61±0.80 a	8.32±0.69 ab	8.98±0.45 a	6.32±0.61 b

注：各必需氨基酸相对含量值为其在所测得的 18 种蛋白氨基酸中的相对含量。每行中不同的小写字母(a-d)表示每种氨基酸中 4 种甜瓜样本在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: The relative content of each essential amino acid is its relative content among the 18 protein amino acids measured. Different small letters(a-d) in each row indicate significant difference among the four samples of each amino acid at 0.05 level. The same below.

2.3 呈味氨基酸组成与含量分析

在食品中，氨基酸是重要的呈味物质，分为鲜味氨基酸、苦味氨基酸、酸味氨基酸、甜味氨基酸。由表 3 可知，2 个甜瓜品种各部位的鲜味氨基酸与甜味氨基酸含量均高于 35%，且 2 个甜瓜品种果肉中的鲜味氨基酸与甜味氨基酸含量显著高于果皮。YG 甜瓜果肉的鲜味氨基酸含量显著高于 QLG，而果皮中的鲜味氨基酸含量显著低于 QLG；QLG 果皮中的甜味氨基酸含量显著高于 YG；2 个甜瓜品种各部位的苦味氨基酸含量均低于 7%，YG 甜瓜中果皮与果肉的苦味氨基酸含量差异不显著，YGR 中的苦味氨基酸含量显著高于 QLGR；2 个甜瓜品种果肉中的酸味氨基酸含量显著高于果皮，YG 甜瓜各部位的酸味氨基酸含量显著高于 QLG。

表 3 甜瓜不同部位呈味氨基酸组成及相对含量分析

Table 3 Composition and relative content analysis of tasting amino acids in different parts of melon %

呈味氨基酸 Delicious amino acids	YGB	YGR	QLGB	QLGR
鲜味氨基酸 FLA	37.16±1.63 d	65.75±1.61 a	45.59±1.43 c	57.19±1.13 b
苦味氨基酸 BIA	6.65±0.23 a	6.86±0.53 a	6.86±0.90 a	4.72±0.62 b
酸味氨基酸 SOA	8.46±0.63 b	20.42±0.71 a	6.21±0.77 c	8.38±0.79 b
甜味氨基酸 SWA	37.45±1.14 c	51.44±1.45 ab	46.45±1.94 b	54.70±1.37 a

注：鲜味氨基酸(FLA)含量为谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸、酪氨酸的含量之和；苦味氨基酸(BIA)含量为异亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、缬氨酸、组氨酸、精氨酸的含量之和；酸味氨基酸(SOA)含量为天冬氨酸、谷氨酸的含量之和；甜味氨基酸(SWA)含量为苏氨酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸含量之和。

Note: Flavor amino acid (FLA) content is the sum of glutamate, aspartic acid, phenylalanine, alanine, glycine and tyrosine; Bitter amino acid (BIA) content is the sum of isoleucine, methionine, phenylalanine, tryptophan, valine, histidine and arginine; Sour amino acid (SOA) content is the sum of aspartic acid and glutamic acid; Sweet amino acid (SWA) content is the sum of threonine, alanine, glycine, proline and serine.

2.4 差异氨基酸分析

根据正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)与显著性分析 T 检验，以 OPLS-DA VIP>1 和 p value < 0.05 为标准，结合甜瓜样本组间差异倍数分析，筛选不同甜瓜样本间的差异氨基酸，结果如图 3 与图 4 所示。由图 3-a 可知，2 个甜瓜品种果肉间有 24 种差异氨基酸，QLGR 中有 8 种氨基酸含量

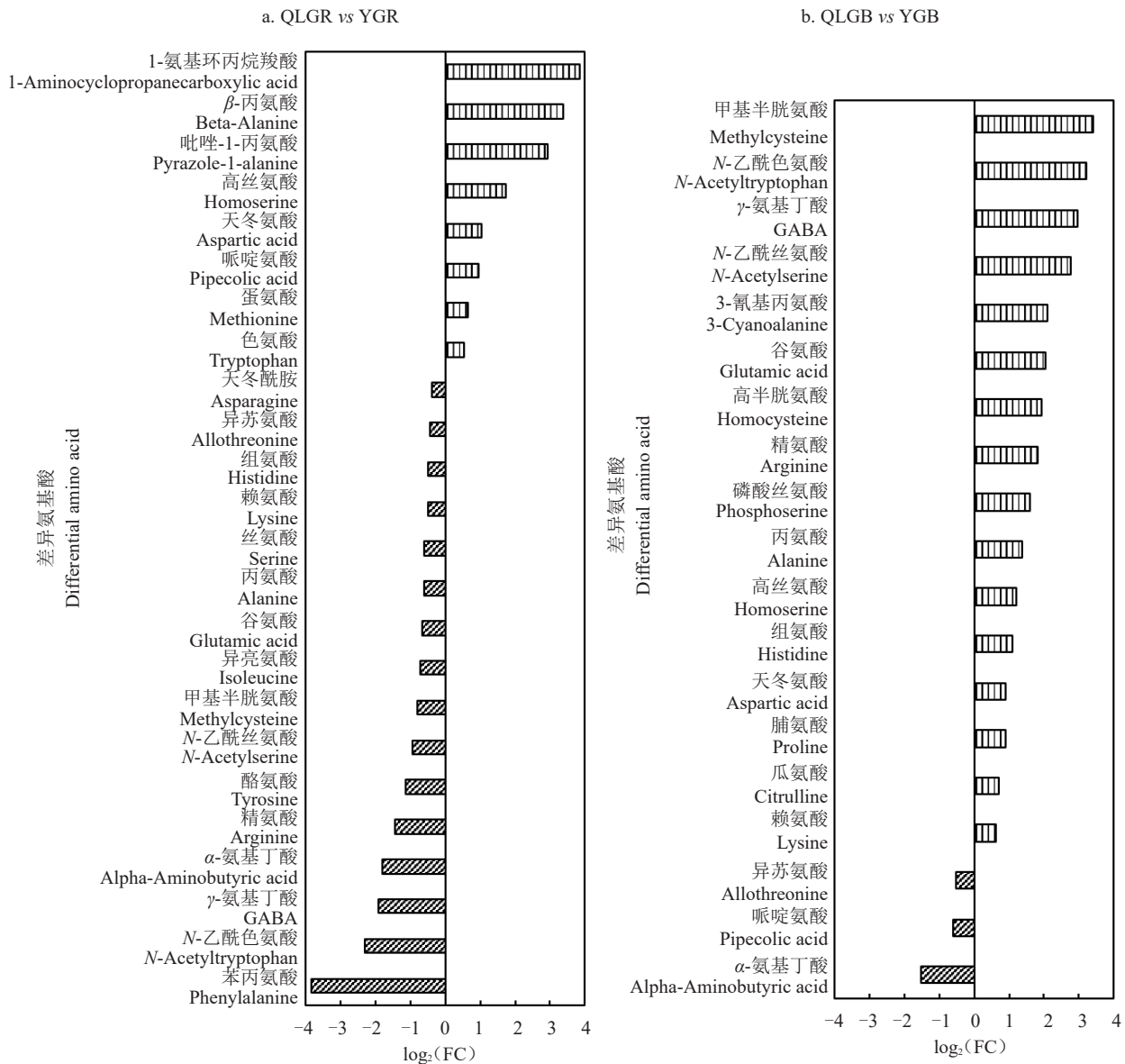


图3 不同甜瓜品种相同果实部位差异氨基酸分析

Fig. 3 Analysis of different amino acids in the same fruit part of different melon varieties

显著高于 YGR, 16 种显著低于 YGR, 其中 1-氨基环丙烷羧酸和苯丙氨酸含量的差异倍数较大, $\log_2(FC)$ 分别为 3.85 与 -3.84。由图 3-b 可知, 2 个甜瓜品种果皮间有 19 种差异氨基酸, QLGB 中有 16 种氨基酸含量显著高于 YGB, 3 种显著低于 YGB, 其中 QLGB 中的甲基半胱氨酸含量高于 YGB 的差异倍数最大, $\log_2(FC)$ 为 3.41, QLGB 中的 α -氨基丁酸含量低于 YGB 的差异倍数最大, $\log_2(FC)$ 为 -1.52。

由图 4-a 可知, 在 YG 甜瓜中, 果肉与果皮间有 21 种差异氨基酸, 果肉中有 2 种氨基酸的含量高于果皮, 19 种低于果皮, 其中 YG 甜瓜果肉与果皮间 γ -氨基丁酸和 1-氨基环丙烷羧酸含量的差异倍数较大, $\log_2(FC)$ 分别为 3.10 与 -3.53。由图 4-b 可知,

在 QLGB 甜瓜中, 果肉与果皮间有 31 种差异氨基酸, 果肉中 31 种差异氨基酸的含量均低于果皮, 其中异亮氨酸含量的差异程度最大, $\log_2(FC)$ 为 -4.14, 鸟氨酸含量的差异程度最小, $\log_2(FC)$ 为 -1.03。

以 Venn 图的形式对各对比组筛选到的差异氨基酸进行展示说明(图 5), 在 2 个甜瓜品种果实不同部位两两比较中, 各对比组间存在 9 种共有的差异氨基酸, 分别为 γ -氨基丁酸、*N*-乙酰色氨酸、*N*-乙酰丝氨酸、高丝氨酸、精氨酸、赖氨酸、六氢吡啶羧酸、异苏氨酸、组氨酸; QLGR vs QLGB 有 1 种特有差异氨基酸, 为谷氨酰胺; QLGR vs YGR 有 1 种特有差异氨基酸, 为吡唑-1-丙氨酸。

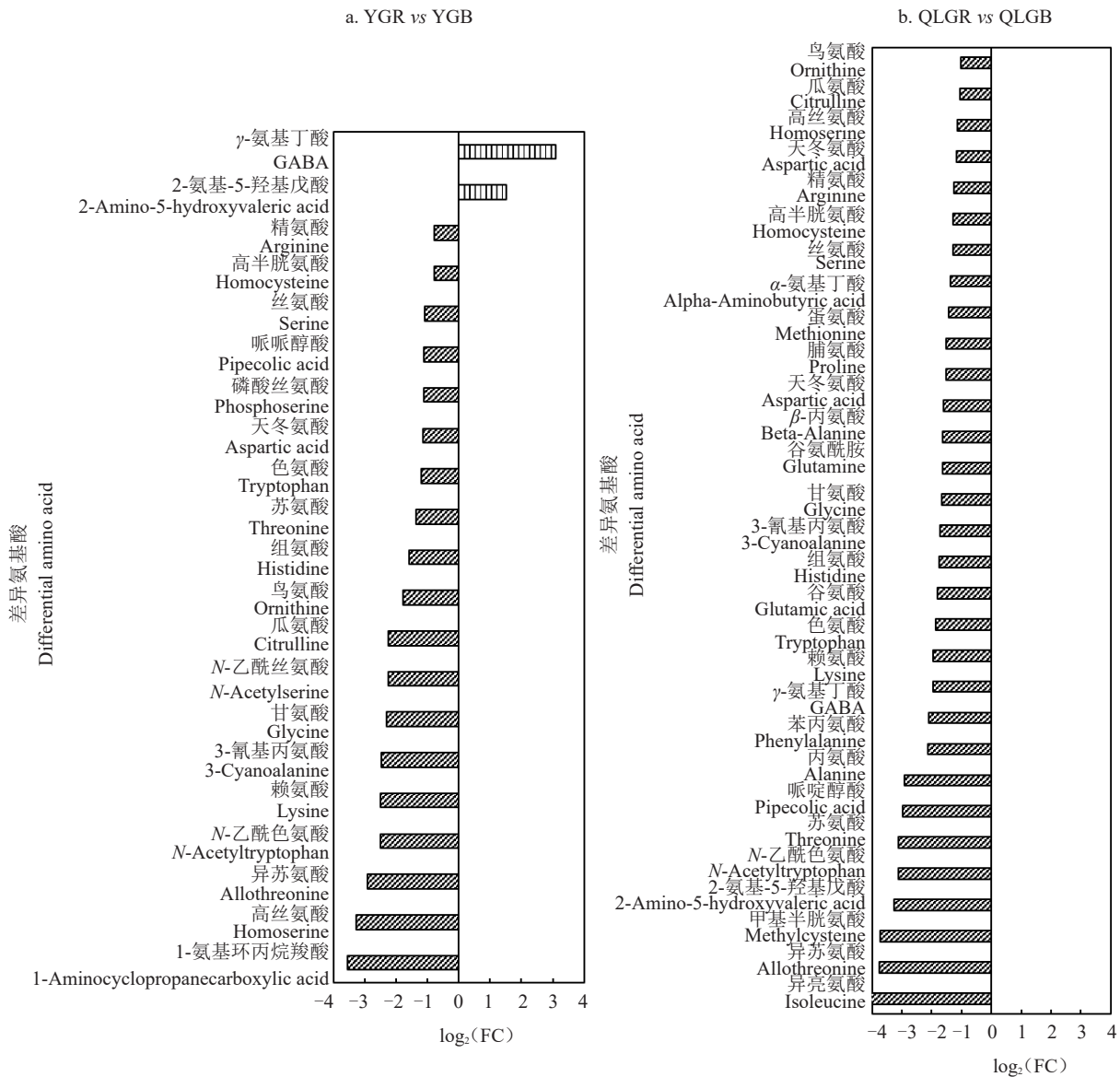


图4 同一甜瓜品种果实不同部位差异氨基酸分析

Fig. 4 Analysis of different amino acids in different parts of the same melon variety

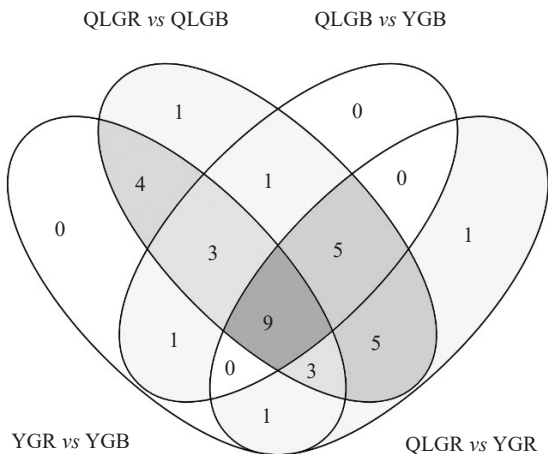


图5 2个甜瓜品种果实不同部位差异氨基酸维恩图

Fig. 5 Venn diagram of amino acids in different parts of two melon varieties

3 讨论与结论

甜瓜富含氨基酸和多种营养物质,氨基酸作为植物体内重要的组分之一,广泛参与植物发育及各种代谢途径。本研究在2个甜瓜品种的果肉与果皮中通过GC-MS技术共检测出了37种氨基酸,包含除亮氨酸外的所有必需氨基酸,但古娜斯·叶尔肯等^[24]在对新疆栽培甜瓜果实的运用氨基酸分析仪检测出了亮氨酸,含量在0.01~0.03 g·100 g⁻¹,韦盈等^[25]在海南地区栽培的9个甜瓜品种中除甜脆未检测出亮氨酸外,其余品种的亮氨酸含量在0.02%~1.30%,因此本研究中没有检测出亮氨酸可能与选用的甜瓜品种中亮氨酸含量过低有关。研究表明氨基酸组分在甜瓜的不同部位存在一定差

异,果皮中的蛋白氨基酸总含量显著高于果肉,此结果与 Du 等^[26]在西瓜果肉及果皮中氨基酸总量的研究结果相似。

在本研究供试甜瓜样品中,非蛋白氨基酸类别中的 γ -氨基丁酸(GABA)在果肉及果皮中的含量最高,YGB 中为 25.80%,YGR 中为 26.12%;QLGB 中为 15.28%,QLGR 中为 18.30%。但韦盈等^[25]在海南地区栽培的 9 个甜瓜品种中有 3 个品种未检出 γ -氨基丁酸,且其余品种的含量较低($<2.00\%$)。GABA 作为一种自由态四碳非蛋白氨基酸,是一种对植物的生长和发育有重要影响的信号物质,逆境胁迫下植物体内 GABA 含量可增加几至几十倍,在调节植物细胞对逆境胁迫的反应和增强植物对逆境的适应性方面发挥重要的作用^[27-29]。在 Toyoizumi 等^[30]的研究中,甜瓜果实中的 GABA 含量与种植季节有关,夏季采收的甜瓜果实中,GABA 含量高于其他季节采收的甜瓜果实。因此初步推断,本研究供试甜瓜样品中检测出高含量的 GABA 可能与栽培管理过程中高温、干旱和病虫害等逆境条件有关。GABA 对人体具有一定的保健功能,中国卫生部 2009 年将其列为用于食品生产和加工的一种新能源,有研究人员通过胁迫处理来进行食品原料富集以增强食用植物原料中 GABA 的合成^[31]。笔者选用的甜瓜品种 GABA 含量较高,且在不同品种的果实部位中存在差异,或可针对果实不同部位来进一步加工,适用于研制新型食品。

氨基酸不仅在植物生长发育中发挥重要作用,同时也可以作为重要的营养和风味物质,氨基酸能通过多种代谢途径形成有机酸、糖类、香气物质等风味营养物质^[32]。谷氨酰胺作为植物体中的重要氮源,可以分解为谷氨酸、天冬氨酸、丙酮酸和柠檬酸等,参与多种生化反应^[33]。在本研究中,与其他氨基酸相比,2 个品种甜瓜果实中谷氨酰胺的含量较高,与 Singh 等^[34]在哈密瓜中氨基酸含量的研究结果一致。

果实香气成分中支链氨基酸主要来自氨基酸代谢,甜瓜果实中异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸和丙氨酸等与果实中重要风味物质酯类物质的形成密切相关^[35-36];Pang 等^[37]对伽师瓜甜瓜汁的研究结果表明,酯类物质中带支链的丁酸酯类、乙酸酯类和丙酸酯类一般是由 γ -氨基丁酸、丙氨酸和缬氨酸为前体物质合成的,比在这 2 个甜瓜品种中检测出了丰富的氨基酸组分,丙氨酸、异亮氨酸、缬氨酸均在果肉和果皮中检测出来,且丙氨酸为 YG 和 QLG

甜瓜果肉中含量最高的蛋白氨基酸, γ -氨基丁酸(GABA)为 2 个甜瓜品种各部位中含量最高的非蛋白氨基酸,此现象可为后续对该 2 个品种的酯类物质研究提供一定参考。

综上所述,笔者在本研究中通过 GC-MS 技术对 YG 与 QLG 甜瓜果肉及果皮的氨基酸进行检测,发现甜瓜果皮中的蛋白氨基酸总量显著高于果肉,果肉中的鲜味、甜味、酸味氨基酸含量显著高于果皮;谷氨酰胺为果皮中含量最高的蛋白氨基酸,丙氨酸为果肉中含量最高的蛋白氨基酸, γ -氨基丁酸(GABA)为各部位中含量最高的非蛋白氨基酸;2 个甜瓜品种不同部位中存在 9 种共有的差异氨基酸,QLGR vs QLGB 有 1 种特有差异氨基酸,为谷氨酰胺;QLGR vs YGR 有 1 种特有差异氨基酸,为吡唑-1-丙氨酸。研究结果为新疆厚皮甜瓜果实的氨基酸组成研究、营养与风味研究、加工食品等综合开发提供了材料和依据。

参考文献

- [1] 朱彩华,高婷,李梅,等.厚皮甜瓜种质资源果实性状的综合分析及评价[J].中国瓜菜,2023,36(10):32-41.
- [2] 韦盈,刘冬妮,康蕊,等.甜瓜果实不同部位矿物元素含量分析[J].中国瓜菜,2024,37(7):74-83.
- [3] 潘小芳.新疆甜瓜的起源及栽培历史[J].新疆农业科学,1981,(5):25-26.
- [4] 杨念,王蔚宇,曹春意,等.我国甜瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国瓜菜,2019,32(8):50-54.
- [5] 王小平,陈远良,何梅,等.厚皮甜瓜新品种农甜 10 号的选育[J].中国瓜菜,2020,33(6):50-52.
- [6] LI Y, QI H Y, JIN Y Z, et al. Role of ethylene in biosynthetic pathway of related-aroma volatiles derived from amino acids in oriental sweet melons (*Cucumis melo* var. *makua* Makino)[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 201: 24-35.
- [7] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, et al. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds[J]. New Phytologist, 2013, 198(1): 16-32.
- [8] 齐润楠,张泽伟,李婧姝,等.甜瓜果实香气形成机理及影响因素研究进展[J].蔬菜,2022(12):31-35.
- [9] 苏杭.噻苯隆对薄皮甜瓜风味品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [10] 许凯,毕晶晶,张继昊.天然非蛋白氨基酸的生物活性机制研究进展[J].食品科学,2019,40(21):251-259.
- [11] 范镇基.非蛋白氨基酸的应用和功能研究进展[J].广东科技,2009(7):118-120.
- [12] 段静怡,李自燕,李建,等.基于游离氨基酸的组分及特征比较四种食用菌与四种果蔬的营养与风味特征[J].菌物学报,2020,39(6):1077-1089.
- [13] 罗睿雄,魏玲,王光瑛,等.20 份黄皮种质资源果肉游离氨基酸对风味品质和药用价值的影响及其评价[J].热带作物学报,2024,45(3):485-494.

- [14] 尹蓉,张倩茹,韩文清,等.3个杏品种种仁氨基酸组成分析[J].农产品加工,2017(6):39-42.
- [15] 尹蓉,张倩茹,王贤萍,等.不同杏品种种仁氨基酸组成分析[J].山西农业科学,2017,45(7):1087-1090.
- [16] 屈雪华,邵景杰,严牧,等.长豇豆营养成分及其遗传和相关性分析[J].植物遗传资源学报,2023,24(4):1034-1045.
- [17] 王树声,王宝华,李雪震,等.烤烟烟叶中游离氨基酸与内在质量关系的研究[J].中国烟草科学,2002(4):5-8.
- [18] 李晓慧,赵卫星,常高正,等.厚皮甜瓜主要农艺性状的变异性及其与产量和品质构成关系分析[J].河南农业科学,2016,45(12):116-119.
- [19] 郭岩,范君龙,赵卫星,等.甜瓜新品种彩虹六号的选育[J].中国瓜菜,2022,35(12):89-91.
- [20] 李晓慧,康利允,高宁宁,等.薄皮甜瓜新品种翠玉6号的选育[J].中国瓜菜,2022,35(7):92-94.
- [21] 王娟娟,李莉,尚怀国.我国西瓜甜瓜产业现状与对策建议[J].中国瓜菜,2020,33(5):69-73.
- [22] 苏鹤.河南省西甜瓜生产发展趋势及建议[J].河南农业,2016(31):16.
- [23] 袁慧娟,宋国新,胡耀铭.GC/MS技术在蔬菜农残快速检测中的应用[J].现代科学仪器,2006(3):68-69.
- [24] 古娜斯·叶尔肯,魏征,王豪杰,等.新疆地区栽培5种甜瓜营养成分比较分析[J].食品研究与开发,2019,40(6):115-119.
- [25] 韦盈,康蕊,叶乃豪,等.海南地区不同品种甜瓜营养成分比较分析[J].中国食物与营养,2023,29(7):36-42.
- [26] DU X F, DAVILA M, RAMIREZ J, et al. Free amino acids and volatile aroma compounds in watermelon rind, flesh, and three rind-flesh juices[J]. Molecules, 2022, 27(8):2536.
- [27] BOUCHÉ N, FROMM H. GABA in plants: Just a metabolite?[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(3):110-115.
- [28] 贾世杰,刘江花,李国梁. γ -氨基丁酸生物合成研究进展[J].食品研究与开发,2023,44(23):174-181.
- [29] 翟彩娇,程玉静,仇亮,等.瓜类作物对盐胁迫的响应及其耐盐性增强措施研究进展[J].江苏农业学报,2024,40(5):952-960.
- [30] TOYOIZUMI T, OHBA S, FUJII K, et al. Differential GABA concentration gradients are present in the edible parts of greenhouse melon (*Cucumis melo* L.) during all four seasonal croppings[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2019, 83(2):330-338.
- [31] 王兆凌.乳酸菌发酵羊角脆甜瓜汁制备及其风味与功能研究[D].河北保定:河北农业大学,2021.
- [32] 王宝驹,齐红岩,刘圆,等.薄皮甜瓜果实不同部位中的挥发性酯类物质与氨基酸的关系[J].植物生理学通讯,2008(2):215-220.
- [33] 杨东东,袁明,路绪强,等.3个不同类型西瓜品种果实发育过程中游离氨基酸的积累分析[J].果树学报,2023,40(8):1651-1665.
- [34] SINGH J, METRANI R, JAYAPRAKASHA G K, et al. Multivariate analysis of amino acids and health beneficial properties of cantaloupe varieties grown in six locations in the United States[J]. Plants, 2020, 9(9):1058.
- [35] 齐红岩,关小川,李岩,等.嫁接对薄皮甜瓜果皮和果肉中主要酯类、游离氨基酸及酯类合成相关酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(9):1895-1903.
- [36] GONDA I, BAR E, PORTNOY V, et al. Branched-chain and aromatic amino acid catabolism into aroma volatiles in *Cucumis melo* L. fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(4):1111-1123.
- [37] PANG X L, GUO X F, QIN Z H, et al. Identification of aroma-active compounds in Jiashi muskmelon juice by GC-O-MS and OAV calculation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(17):4179-4185.