



廖光联,贺艳群,刘青,等.不同基因型猕猴桃不同组织部位间AsA含量差异分析[J].江西农业大学学报,2022,44(2):351-357.

LIAO G L,HE Y Q,LIU Q,et al.Difference analysis of AsA content in different tissues of different genotypes kiwifruit (*Actinidia* spp.)[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2022,44(2):351-357.

不同基因型猕猴桃不同组织部位间 AsA 含量差异分析

廖光联,贺艳群,刘青,黄春辉,贾东峰,曲雪艳,徐小彪*

(江西农业大学 猕猴桃研究所,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】猕猴桃果实营养丰富,以富含抗坏血酸(AsA)而著称,AsA是一种多功能的代谢物,与植物的生长发育密切相关,并且在植物组织内广泛存在。猕猴桃种类繁多,不同基因型猕猴桃间AsA含量存在较大差异,但不同基因型猕猴桃相同组织部位间及相同基因型猕猴桃不同组织部位间AsA含量差异分析少有报道,探明不同基因型猕猴桃不同组织部位间AsA含量富集差异,可为猕猴桃AsA代谢机制研究奠定理论基础。【方法】以中华猕猴桃红肉型‘红阳’、黄肉型‘金艳’,美味猕猴桃‘金魁’,毛花猕猴桃‘赣猕6号’,软枣猕猴桃‘魁绿’为试验材料,采用钼蓝比色法对幼叶、成叶、未木质化枝、木质化枝及果实的AsA含量进行测定。【结果】在中华猕猴桃、美味猕猴桃及软枣猕猴桃上均表现为幼嫩组织AsA含量低于成熟组织,而在毛花猕猴桃上表现为相反的趋势,且在幼嫩组织中均表现为毛花猕猴桃AsA含量显著性高于其它基因型猕猴桃,其中毛花猕猴桃‘赣猕6号’未木质化枝中AsA含量约是美味猕猴桃‘金魁’的10倍。此外,果实上任何组织部位都表现为毛花猕猴桃AsA含量显著性高于其它基因型,分别是中华猕猴桃红肉型‘红阳’的6.84~15.16倍,中华猕猴桃黄肉型‘金艳’的7.55~42.26倍,美味猕猴桃‘金魁’的11.49~21.12倍,软枣猕猴桃‘魁绿’的18.86~49.77倍。中华猕猴桃‘金艳’、美味猕猴桃‘金魁’及毛花猕猴桃‘赣猕6号’AsA含量由高到低均表现为果肉、果皮、果心。【结论】AsA在不同基因型猕猴桃不同组织器官中均有富集,其中中华猕猴桃、美味猕猴桃及软枣猕猴桃主要在成熟组织,尤其在成叶中富集,而毛花猕猴桃主要在果实中富集且显著性高于其它基因型猕猴桃。

关键词:猕猴桃;抗坏血酸;组织部位;差异性分析

中图分类号:S663.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2022)02-0351-07

Difference Analysis of AsA Content in Different Tissues of Different Genotypes Kiwifruit (*Actinidia* spp.)

LIAO Guanglian, HE Yanqun, LIU Qing, HUANG Chunhui,
JIA Dongfeng, QU Xueyan, XU Xiaobiao*

(Kiwifruit Institute of Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] Kiwifruit is rich in nutrients, especially ascorbic acid (AsA). AsA is a multifunc-

收稿日期:2021-07-23 修回日期:2021-09-22

基金项目:江西省重点研发计划项目(20192ACB60002)

Project supported by the Jiangxi Provincial Department of Science & Technology (20192ACB60002)

作者简介:廖光联, orcid.org/0000-0002-8949-630X, liaoguanglian@163.com; *通信作者:徐小彪,教授,博士,主要从事果树种质资源与生物技术研究, orcid.org/0000-0001-7357-6295, xbxu@jxau.edu.cn。

tional metabolite, which is closely related to the growth and development of plants and widely exists in plant tissues. AsA content varies in different genotypes of kiwifruit. However, there are few reports on the difference in AsA content in the same tissue part between different genotypes of kiwifruit and that in different tissue parts of the same genotype. Determining the difference of AsA content in various tissues of different genotypes kiwifruit would lay a theoretical foundation for future research on the metabolism mechanism of AsA. [Methods] The *Actinidia chinensis* red-flesh type 'Hongyang' and *A. chinensis* yellow-flesh type 'Jinyan', *A. deliciosa* 'Jinkui', *A. eriantha* 'Ganmi 6', *A. arguta* 'Kuiv' were selected as test materials. The AsA content in young leaves, mature leaves, non-lignified branch, lignified branch and fruits was determined by the molybdenum blue colorimetric method. [Results] The results showed that the AsA content of young tissues was lower than that of mature tissues in *A. chinensis*, *A. deliciosa* and *A. arguta*. However, the opposite trend was found in *A. eriantha*, and the AsA content of *A. eriantha* in young tissues was significantly higher than that of other genotypes of kiwifruit. The content of AsA in the non-lignified branches of *A. eriantha* 'Ganmi 6' was approximately 10 times higher than that of *A. arguta* 'Kuiv'. In addition, the AsA content in any tissue of *A. eriantha* was significantly higher than that of other genotypes, which was 6.84–15.16 times higher than that of the *A. chinensis* red-flesh type 'Hongyang', 7.55 to 42.26 times that of the *A. chinensis* yellow-flesh type 'Jinyan', 11.49–21.12 times that of the *A. deliciosa* 'Jinkui', and 18.86–49.77 times that of the *A. arguta* 'Kuiv'. Moreover, the hierarchy of AsA content in *A. chinensis* 'Jinyan', *A. deliciosa* 'Jinkui' and *A. eriantha* 'Ganmi 6' was flesh > skin > core. [Conclusion] AsA was rich in all tissues and organs of different genotypes kiwifruit. Among them, AsA was mainly rich in mature tissues, especially mature leaves on *A. chinensis* red-flesh type 'Hongyang' and *A. chinensis* yellow-flesh type 'Jinyan', *A. deliciosa* 'Jinkui' and *A. arguta* 'Kuiv'; while in *A. eriantha* 'Ganmi 6', AsA was mainly rich in fruit and significance higher than other genotypes of kiwifruit.

Keywords: *Actinidia*; ascorbic acid; tissues; difference analysis

【研究意义】抗坏血酸(ascorbic acid, AsA), 又称维生素C, 是一种水溶性维生素, 在动植物体内有许多重要的功能。在生物体内, AsA 是一种抗氧化剂, 保护机体免受自由基的威胁, 同时 AsA 也是一种辅酶, 参与生物体内多种代谢过程^[1]。在人类和其他高等动物中, 其主要功能是作为抗氧化剂清除体内的活性氧对组织细胞的损伤, 具有较强的抗癌能力, 同时也具有延缓白内障发展及改善心血管等功能; 然而人体并不能合成自身所必需的 AsA, 只能从日常饮食特别是富含 AsA 的蔬菜或水果中获取 AsA。在植物组织内, AsA 广泛存在, 是一种多功能的代谢物, 对植物生理的多个方面都有影响, 如参与调节植物的光合作用和生长发育, 调控种子萌发、开花时间、成熟与衰老, 以及增强植物对逆境的抵抗能力等, 其在植物中广泛参与光合作用调控、环境诱导的氧化胁迫、机械损伤响应和病原体诱导的氧化胁迫等生理生化过程^[2]。【前人研究进展】猕猴桃果实营养丰富, 以富含 AsA 而著称, 被誉为“水果之王”。一个中等大小的猕猴桃即可满足人体每天对 AsA 的需要。猕猴桃种类繁多, 不同基因型猕猴桃间 AsA 含量存在较大差异, 如有研究报道毛花猕猴桃(*A. eriantha*)果实中 AsA 的含量是中华猕猴桃(*A. chinensis*)的 3~4 倍^[3]。在对中华猕猴桃‘红阳’、‘金果’及‘金艳’果实不同组织部位 AsA 含量测定的研究上也表明, 不同猕猴桃品种间果实相同部位, 或相同部位的不同猕猴桃品种间 AsA 含量也存在显著性的差异^[4]。在对 22 份不同基因型猕猴桃果实 AsA 含量测定上的研究进一步证实, 阔叶猕猴桃和毛花猕猴桃 AsA 含量最高, 软枣猕猴桃、美味猕猴桃和黑蕊猕猴桃次之, 且在整个果实发育过程阔叶猕猴桃和毛花猕猴桃果实中 AsA 含量显著高于中华猕猴桃‘Hort16A’和‘红阳’^[5]。【本研究切入点】尽管已有较多关于不同基因型猕猴桃间果实 AsA 含量存在较大差异的研究报道, 但不同基因型猕猴桃相同组织部位间及相同基因型猕猴桃不同组织部位间 AsA 含量差异分析少有报道。【拟解决的关键问题】本研究以中华猕猴桃(*A. chinensis*)红肉型‘红阳’、黄肉型‘金艳’, 美味猕猴桃(*A. deliciosa*)‘金魁’, 毛花猕猴桃(*A. eriantha*)‘赣猕6号’, 软枣猕猴桃(*A. arguta*)‘魁绿’为材料,

探明 AsA 含量在不同基因型猕猴桃不同组织部位的富集差异,为进一步开展 AsA 代谢机制研究奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为江西省赣州市江西茺楚果业有限公司猕猴桃资源圃内生长健壮,无病虫害感染的中华猕猴桃(*A. chinensis*)红肉型‘红阳’、黄肉型‘金艳’,美味猕猴桃(*A. deliciosa*)‘金魁’,毛花猕猴桃(*A. eriantha*)‘赣猕6号’,软枣猕猴桃(*A. arguta*)‘魁绿’(图 1)。栽培架式均为大棚架,单主干多主蔓形整枝。采样时间为7月上旬,此时 AsA 富集较为显著^[6]。参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南·猕猴桃属》采集幼叶、成叶、未木质化枝及木质化枝^[7]。同时采集猕猴桃果实,将猕猴桃果实分为果皮、果肉及果心,其中果肉参照廖光联等^[4]方法以果实纵径平均分成3等份作为其上部(果基)、中部、下部(果顶)的划分标准,进行果实不同部位 AsA 含量的测定。

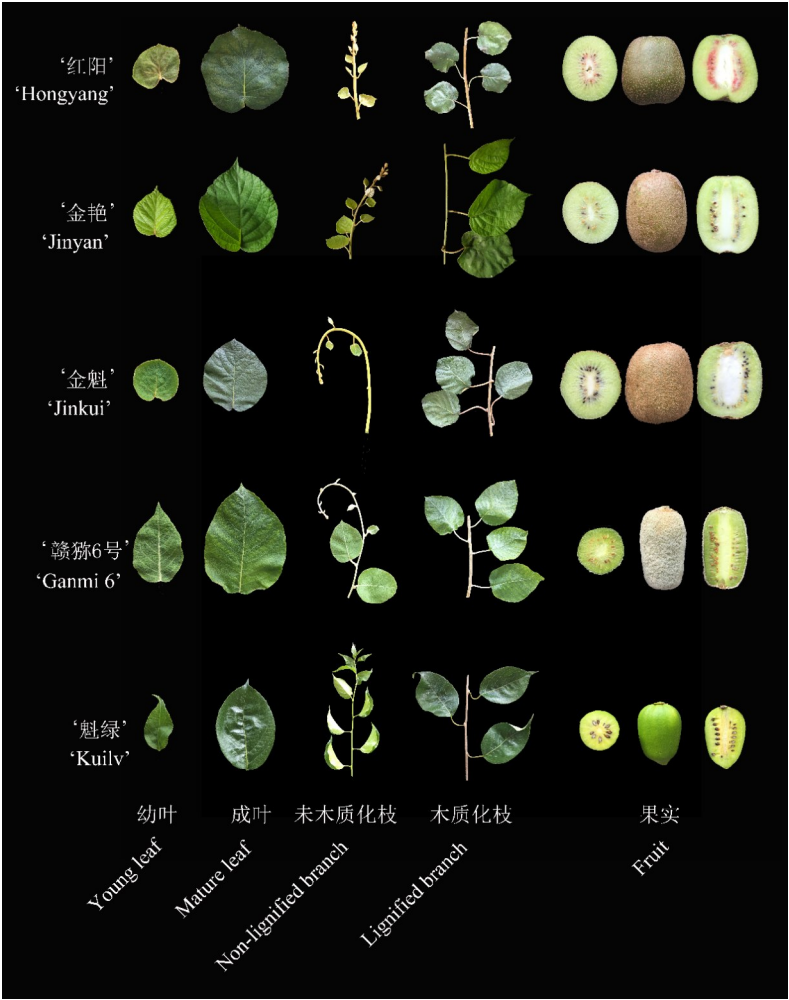


图 1 试验材料
Fig.1 The tested materials

1.2 AsA 含量测定

AsA 含量的测定有多种方法,比较经典的有碘量滴定法、2,6-二溴酚酚滴定法,此外还有流动注射法、原子吸收法等。而本研究采用适合进行大量样品测定的钼蓝比色法^[8-9],测定波长为 700 nm。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2016 软件进行初步的数据分析并制作相应柱形图,分析其规律;利用 SPSS 17.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 叶片 AsA 含量差异分析

从图2可以看出,除毛花猕猴桃‘赣猕6号’外,其它基因型猕猴桃上均表现为成叶中 AsA 含量高于幼叶;在成叶中,除中华猕猴桃黄肉型‘金艳’与毛花猕猴桃‘赣猕6号’无显著性差异外,其它基因型猕猴桃成叶中 AsA 含量显著性高于毛花猕猴桃‘赣猕6号’;相反在幼叶中,毛花猕猴桃‘赣猕6号’幼叶中 AsA 含量显著性高于它基因型猕猴桃。

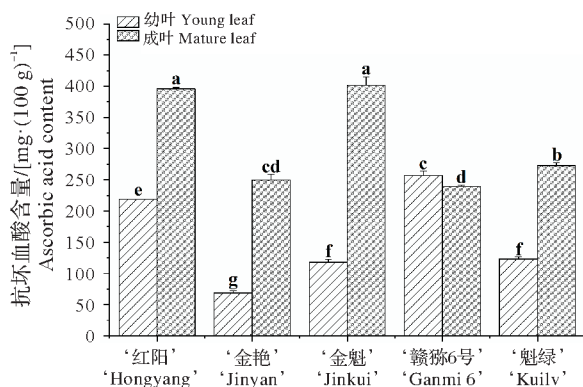


图2 不同基因型猕猴桃叶片中 AsA 含量差异性分析

Fig.2 Difference analysis of AsA content in leaves of different genotypes kiwifruit

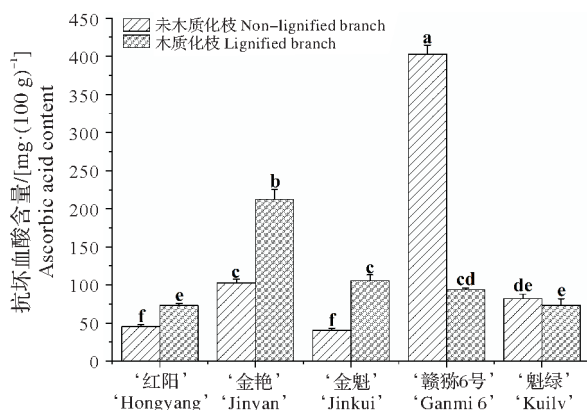


图3 不同基因型猕猴桃枝条中 AsA 含量差异性分析

Fig.3 Difference analysis of AsA content in branches of different genotypes kiwifruit

2.2 枝条 AsA 含量差异分析

从图3可以看出,在中华猕猴桃红肉型‘红阳’、黄肉型‘金艳’及美味猕猴桃‘金魁’上均表现为木质化枝中 AsA 含量显著性高于未木质化枝,毛花猕猴桃‘赣猕6号’上则表现为相反,而软枣猕猴桃‘魁绿’上则表现为无显著性差异;在木质化枝上,中华猕猴桃黄肉型‘金艳’AsA 含量显著性高于其它基因型猕猴桃;在未木质化枝上,毛花猕猴桃‘赣猕6号’AsA 含量显著性高于其它基因型猕猴桃,其未木质化枝中 AsA 含量约是美味猕猴桃‘金魁’的10倍。

2.3 果实 AsA 含量差异分析

从图4可以看出,果实任何组织部位都表现为毛花猕猴桃‘赣猕6号’中的 AsA 含量显著性高于其它基因型猕猴桃,其中毛花猕猴桃‘赣猕6号’在果心、果皮、果实上部、果实中部、果实下部的 AsA 含量分别是中华猕猴桃红肉型‘红阳’的6.84、15.16、11.47、13.41、9.00倍,是中华猕猴桃黄肉型‘金艳’的18.51、7.55、29.96、42.26、26.36倍,是美味猕猴桃‘金魁’的21.12、11.86、17.26、20.64、11.49倍,是软枣猕猴桃‘魁绿’的20.04、18.86、49.77、47.95、33.42倍。

2.4 不同器官间差异性分析

从图5可以看出,在中华猕猴桃、美味猕猴桃及软枣猕猴桃均表现为叶片中 AsA 含量远高于其它器官;而在毛花猕猴桃上则表现为果实中 AsA 含量远高于其它器官;在果实上,中华猕猴桃黄肉型‘金艳’、美味猕猴桃‘金魁’以及毛花猕猴桃‘赣猕6号’AsA 含量由高到低均表现为果肉、果皮、果心,中华猕猴桃红肉型‘红阳’AsA 含量由高到低则表现为果肉、果心、果皮,而软枣猕猴桃上则表现为无显著性差异。

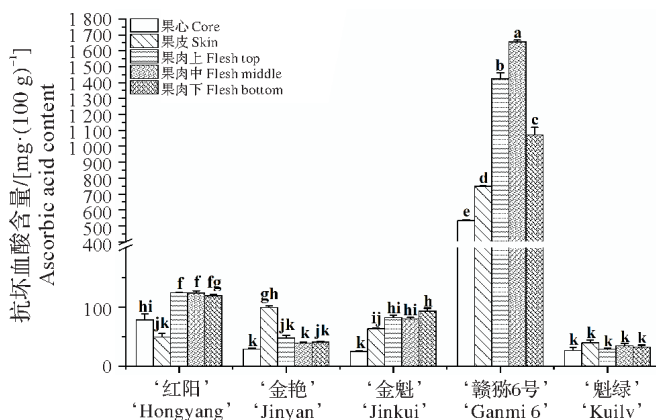


图4 不同基因型猕猴桃果实中 AsA 含量差异性分析

Fig.4 Difference analysis of AsA content in fruit of different genotypes kiwifruit

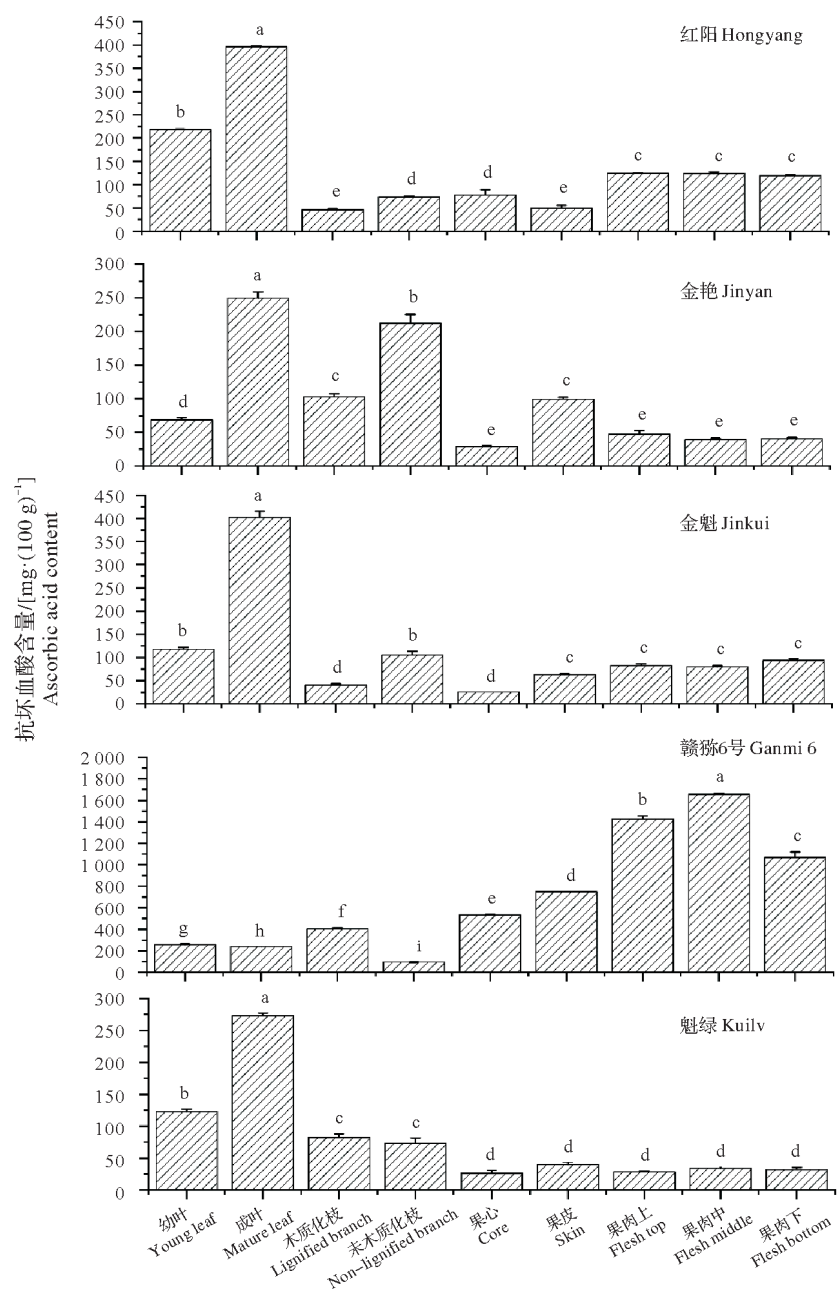


图5 同一基因型猕猴桃不同器官间差异性分析

Fig.5 Differences analysis among different organs on the same genotype kiwifruit

3 结论与讨论

AsA 一直是猕猴桃研究的热点问题^[10],前期已有研究表明在众多不同基因型猕猴桃间,阔叶猕猴桃和毛花猕猴桃果实 AsA 含量最高^[5],这已逐步成为共识,但其它组织部位间 AsA 含量差异研究少有报道。本研究结果表明,在果实上,毛花猕猴桃果实显著性高于其它基因型猕猴桃果实,这与前人研究结果一致^[5,11]。值得一提的是,AsA 具有较强的清除活性氧的作用,保护植物组织避免遭受活性氧的伤害^[12],在本研究中,中华猕猴桃、美味猕猴桃及软枣猕猴桃上均表现为幼嫩组织 AsA 含量低于成熟组织,极有可能是成熟组织 AsA 的合成相比于幼嫩组织、衰老组织更加旺盛,而毛花猕猴桃极有可能通过其它物质来清除叶片或枝条上的活性氧,如酚类物质。前期已有研究表明,毛花猕猴桃具有显著性高于其它基因型猕猴桃的酚类物质^[13],且在清除活性氧上发挥着重要的作用^[14]。

此外,本研究可为今后猕猴桃 AsA 在不同组织部位间富集差异机制研究提供理论基础。目前有较多关于不同基因型猕猴桃间 AsA 富集机制差异的研究报道^[15],但不同组织部位间的富集差异机制研究尚

鲜有报道。AsA 富集不仅与生物合成、氧化、降解及循环再生相关,与 AsA 转运也密切相关^[6,16-19]。目前在猕猴桃上是否存在 AsA 转运机制上一直存在较大的争议,主要在于猕猴桃各组织器官均能检测到 AsA 含量,不需要进行转运,但目前已在植物上发现了具有转运 AsA 作用的碱基-抗坏血酸转运蛋白(NAT),且在植物体内具有较高的活性,极有可能存在转运过程^[20-21]。本研究中,幼嫩组织和成熟组织间存在显著性差异的 AsA 含量,可能是由于上述各种代谢途径的代谢差异导致。有趣的是,毛花猕猴桃果心、果皮及果肉间 AsA 含量存在显著性富集差异,这表明其果实组织间可能存在转运机制,有待于进一步通过相关代谢酶活性及相关基因表达量研究进行确定,这也是今后研究的重要方向。

致谢:井冈山农高区科技发展专项(井农科学[2021]51号)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] LIAO G L, XU X B, HUANG C H, et al. Resource evaluation and novel germplasm mining of *Actinidia eriantha* [J]. *Scientia horticulturae*, 2021, 282: 110037.
- [2] 徐小彪, 廖光联, 黄春辉, 等. 毛花猕猴桃种质资源 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
XU X B, LIAO G L, HUANG C H, et al. Germplasm resources of *Actinidia eriantha* [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [3] 钟彩虹, 张鹏, 姜正旺, 等. 中华猕猴桃和毛花猕猴桃果实碳水化合物及维生素 C 的动态变化研究 [J]. *植物科学学报*, 2011, 29(3): 370-376.
ZHONG C H, ZHANG P, JIANG Z W, et al. Dynamic changes of carbohydrate and vitamin c in fruits of *Actinidia chinensis* and *A. eriantha* during growing season [J]. *Journal of wuhan botanical research*, 2011, 29(3): 370-376.
- [4] 廖光联, 李西时, 陈璐, 等. 猕猴桃果实不同部位间果实品质的差异性分析 [J]. *北方园艺*, 2019(6): 34-42.
LIAO G L, LI X S, CHEN L, et al. Analysis on the difference of fruit quality between different parts of kiwifruit [J]. *Northern horticulture*, 2019(6): 34-42.
- [5] 高丽杨. 不同基因型猕猴桃果实抗坏血酸水平差异比较与分析 [D]. 成都: 四川农业大学, 2019.
GAO L Y. Difference of ascorbic acid synthesis and metabolism in different genotypes of kiwifruit [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2019.
- [6] LIAO G L, CHEN L, HE Y Q, et al. Three metabolic pathways are responsible for the accumulation and maintenance of high AsA content in kiwifruit (*Actinidia eriantha*) [J]. *BMC genomics*, 2021, 22(1): 13.
- [7] NY/T 2351—2013. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南猕猴桃属 [S]. 中华人民共和国行业标准.
NY/T 2351—2013. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. *Actinidia* (*Actinidia* L.) [S]. Agricultural industry standard of the people's republic of China.
- [8] 关学良, 邱书伟. 钼蓝比色法测定新疆果品中抗坏血酸的含量 [J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 1995, 12(3): 56-59.
GUAN X L, QIU S W. Molybdenum blue spectrophotometry determination of ascorbic acid in xinjiang fruit [J]. *Journal of Xingjiang university (natural science edition)*, 1995, 12(3): 56-59.
- [9] 谭智文, 宋春艳, 郑美香, 等. 钼蓝比色法测定笃斯越橘成熟果实中还原型抗坏血酸含量及体系优化 [J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(7): 1713-1716.
TAN Z W, SONG C Y, ZHEN M X, et al. Optimization and determination of the content of reduction-type vc in ripe fruit of *Vaccinium vitis-idaea* L. with phosphomolybdate-blue spectrophotometry [J]. *Hubei agricultural sciences*, 2015, 54(7): 1713-1716.
- [10] 廖光联, 刘青, 贾东峰, 等. 基于 CiteSpace 的猕猴桃研究热点与趋势分析 [J]. *中国果树*, 2020(3): 116-120.
LIAO G L, LIU Q, JIA D F, et al. Research focus and development process of kiwifruit based on CiteSpace [J]. *China fruits*, 2020(3): 116-120.
- [11] 汤佳乐, 黄春辉, 刘科鹏, 等. 野生毛花猕猴桃叶片与果实 AsA 含量变异分析 [J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(5): 982-987.
TANG J L, HUANG C H, LIU K P, et al. A mutation analysis of ascorbic acid content in the leaves and fruit of wild *Actinidia eriantha* Benth [J]. *Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis*, 2013, 35(5): 982-987.
- [12] DELLAPENNA D, POGSON B J. Vitamin synthesis in plants: Tocopherols and Carotenoids [J]. *Annual review of plant biology*, 2006, 57(1): 711-738.

- [13] 黄春辉,廖光联,谢敏,等.不同猕猴桃品种果实发育过程中总酚和类黄酮含量及抗氧化活性的动态变化[J].果树学报,2019,36(2):174-184.
HUANG C H, LIAO G L, XIE M, et al. Dynamic changes in total phenols, flavonoids and antioxidant capacity during fruit development of different kiwifruit cultivars[J]. Journal of fruit science, 2019, 36(2): 174-184.
- [14] HUANG C H, TAO J J, LIAO G L, et al. Dynamic changes of phenol and antioxidant capacity during fruit development of three *Actinidia* species (kiwifruit) [J]. Scientia horticulturae, 2020, 273: 109571.
- [15] 原玉林,同晓蕾,侯长明,等.不同基因型猕猴桃果实中抗坏血酸合成与代谢的差异[J].植物生理学报,2016,52(12):1877-1883.
YUAN Y L, TONG X L, HOU C M, et al. Difference of ascorbic acid synthesis and metabolism in different genotypes of kiwifruit[J]. Plant physiology journal, 2016, 52(12): 1877-1883.
- [16] 侯长明.猕猴桃果实抗坏血酸形成的生理机理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
HOU C M. Study on the Physiological mechanism of ascorbic acid formation in kiwifruit [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009.
- [17] 崔萌.猕猴桃肌醇代谢对抗逆性和抗坏血酸形成的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
CUI M. Effect of inositol metabolism on kiwi fruit against adversity and ascorbic acid formation [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2015.
- [18] 李明军.苹果和猕猴桃抗坏血酸形成与积累的生理和分子机理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
LI M J. Studies on the physiological and molecular mechanisms of ascorbic acid formation and accumulation in apples and kiwifruits [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009.
- [19] 俞乐,刘拥海,袁伟超,等.植物抗坏血酸积累及其分子机制的研究进展[J].植物学报,2016,51(3):396-410.
YU L, LIU Y H, YUAN W C, et al. Recent advances in the study of accumulation of ascorbic acid and its molecular mechanism in plants [J]. Bulletin of botany, 2016, 51(3): 396-410.
- [20] 黄志楠,段伟科,白雪滢,等.辣椒碱基-抗坏血酸转运蛋白(NAT)家族基因的鉴定和表达分析[J].园艺学报,2020,47(11):2132-2144.
HUANG Z N, DUAN W K, BAI X Y, et al. Identification and expression analysis of capsaisin ascorbic acid transporter (NAT) family genes [J]. Acta horticulturae Sinica, 2020, 47(11): 2132-2144.
- [21] SCHULTES N P, BRUTNELL T P, ALLEN A, et al. Leaf permease1 gene of maize is required for chloroplast development [J]. The plant cell, 1996, 8(3): 463-475.