

套袋对‘鸭梨’果实中游离氨基酸 和水解氨基酸含量的影响

樊进补, 张苏玲, 马敏, 刘志强, 任雅倩, 吴昌琦, 王利斌*, 张绍铃*

(南京农业大学园艺学院·梨工程技术研究中心, 南京 210095)

摘要:【目的】探究套袋对‘鸭梨’果实发育过程中氨基酸组成及含量的影响。【方法】用外黄内黑双层纸袋对‘鸭梨’幼果进行套袋处理, 以不套袋果实为对照, 采用全自动氨基酸分析仪 L-8900 对‘鸭梨’果皮和果肉中游离氨基酸和水解氨基酸的组成及含量进行定性和定量分析。【结果】从‘鸭梨’果实中检测到 17 种氨基酸, 包括缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸和赖氨酸 7 种必需氨基酸, 天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸 10 种非必需氨基酸。果实发育过程中, 果皮和果肉中游离氨基酸总含量增加, 水解氨基酸总含量降低。套袋改变了‘鸭梨’果皮和果肉中游离氨基酸和水解氨基酸的含量, 果实成熟时(花后 160 d), 套袋后果皮中游离氨基酸总含量显著高于对照($p < 0.01$), 果肉中游离氨基酸总含量显著低于对照($p < 0.05$); 而果皮中水解氨基酸总含量显著低于对照($p < 0.05$), 果肉中水解氨基酸总含量高于对照, 影响未达到显著水平。【结论】‘鸭梨’果实发育过程中, 果皮和果肉中游离氨基酸总含量增加, 水解氨基酸总含量降低。套袋改变了果实中游离氨基酸和水解氨基酸的含量。果皮中, 水解氨基酸总含量降低, 游离氨基酸总含量增加; 而果肉中, 游离氨基酸总含量降低, 水解氨基酸总含量增加。

关键词: ‘鸭梨’; 套袋; 水解氨基酸; 游离氨基酸

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2020)02-0204-11

Effects of bagging on free amino acid and hydrolyzed amino acid contents in fruit of *Pyrus bretschneideri* ‘Yali’

FAN Jinbu, ZHANG Suling, MA Min, LIU Zhiqiang, REN Yaqian, WU Changqi, WANG Libin*, ZHANG Shaoling*

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University/Pear Engineering and Technology Research Center, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: 【Objective】As an important practice in pear production, fruit bagging effectively reduces pesticide residues, prevents the invasion of diseases and pests, improves the appearance and thus commercial value of fruits. ‘Yali’ (*Pyrus bretschneideri*) pear, an ancient variety native to Hebei province, China, is rich in nutrients and popular among consumers. Amino acids are important components of fruit quality, playing a vital role in fruit development. The dynamic changes in free amino acids and hydrolyzed amino acids during the development of fruit with or without bagging treatment have not been reported. The purpose of this study is to investigate the impact of fruit bagging treatment on free amino acids and hydrolyzed amino acids in ‘Yali’. 【Methods】The experiment was carried out in 2018 in the Jiangpu experimental orchard, belonging to the College of Horticulture, Nanjing Agricultural University. The ‘Yali’ trees were 10-year-old planted at a space of 5 m × 5.5 m. At 36 days after full bloom

收稿日期: 2019-07-02 接受日期: 2019-11-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(31830081); 国家自然科学基金青年项目(31701868); 南京农业大学校级大学生创新创业项目(1914A04)

作者简介: 樊进补, 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 梨栽培生理技术。Tel: 18751957700, E-mail: 1640770421@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 15150557442, E-mail: wanglibin@njau.edu.cn; E-mail: slzhang@njau.edu.cn

(DAFB), 30 young fruit in each tree were bagged with double-layer paper bags, which were yellow outside and black inside, and a total of 600 fruit were bagged in 20 trees. The un-bagged fruit were used as the control (CK). Only one fruit per inflorescence was bagged, and the rest fruit in the same inflorescence were removed to reduced nutrient waste. The paper bags were removed until commercial harvest (September 5th). 100-120 fruit (including treatment and control) were collected at the early stage of fruit expansion (36 DAFB), the rapid expansion stage (81 DAFB), the late stage of fruit expansion (110 DAFB), the nutrient accumulation stage (145 DAFB) and the mature stage (160 DAFB). At each sampling time, the sampled fruit were randomly divided into three replications. The pit and seeds were removed immediately after harvesting, and the peel and pulp tissues were separately crushed in liquid nitrogen, and then stored in a freezer at -80°C before determination of amino acids. The composition and contents of free amino acids and hydrolyzed amino acids in ‘Yali’ fruit were analyzed with an L-8900 automatic amino acid analyzer (Hitachi, Japan). Excel 2013 and IBM SPSS Statistics 25.0 were applied for data analysis.【Results】17 amino acids were determined during fruit development of ‘Yali’ pear, including aspartic acid (Asp), threonine (Thr), serine (Ser), glutamate (Glu), glycine (Gly), alanine (Ala), cysteine (Cys), valine (Val), methionine (Met), isoleucine (Ile), leucine (Leu), tyrosine (Tyr), phenylalanine (Phe), lysine (Lys), histidine (His), arginine (Arg) and proline (Pro). The compositions of free amino acids and hydrolyzed amino acids were distinct between the peel and the pulp during fruit development. Total content of free amino acids in the peel and the pulp increased during fruit development, while hydrolyzed amino acids decreased. Bagging treatment altered the content of free amino acids and hydrolyzed amino acids. At mature stage (160 DAFB), total content of free amino acids in the peel of bagged fruit were significantly higher than in that of the control ($p < 0.01$). However, the total content of free amino acids in the pulp was significantly lower than that of the control ($p < 0.05$). On the other hand, total content of hydrolyzed amino acids in the peel of the bagged fruit were significantly lower than that of the control ($p < 0.05$), while there was no significantly difference in total content of hydrolyzed amino acids in the pulp between bagged fruit and the control.【Conclusion】During ‘Yali’ fruit development, the content of total hydrolyzed amino acids decreased, while free amino acids increased. Bagging treatment, although did not change their expression patterns, altered the contents of free amino acids and hydrolyzed amino acids during fruit development. When fruit came into mature stage, a lower abundance of hydrolyzed amino acids and a higher content of free amino acids were detected in the peel of the bagged fruit, while a reverse phenomenon was observed in the pulp of fruit.

Key words: ‘Yali’ pear; Bagging; Hydrolyzed amino acid; Free amino acid

‘鸭梨’(*Pyrus bretschneideri* ‘Yali’)是原产于河北省的古老地方品种,具有适应性强、产量高、细腻酥脆、香甜多汁、营养价值高等优点,深受广大果农和消费者喜欢。

氨基酸是果实内在品质的重要组成部分,作为营养物质被人体吸收利用,同时参与果实其他组分的形成及风味物质的合成^[1-4]。研究发现,氨基酸作为一种生物活性化合物,除了参与人体蛋白质和多肽的合成外,一些氨基酸还被证明具有维持生长、繁殖和免疫等功能,它们被称为功能性氨基酸,包括精氨酸,半胱氨酸,谷氨酰胺,亮氨酸,脯氨酸和色氨酸^[5]。人体通过自身合成及食物摄入来维持身

体内氨基酸的平衡,从而保证机体正常运行,优化代谢转化效率,增强肌肉生长,减少疾病发生。氨基酸对植物生长发育具有重要作用,氨基酸含有C、N等元素,除了作为蛋白质生物合成的底物外,还参与植物体内氮代谢和能量代谢,调节碳氮平衡^[6]。此外,它们还是植物合成多种化合物的前体或供氮体,包括核苷酸、叶绿素、激素和部分次生代谢产物^[7-8]。邢芳芳等^[9]在氨基酸与植物抗逆性关系的研究中表明,氨基酸通过参与植物生理生化代谢,调控关键酶的活性和相关基因表达等途径提高植物对不良环境的适应性。在营养方面,果实中含有丰富的人体必需氨基酸,可以提供人体自身不能合成的氨基

酸,满足人体对氨基酸的需求。由此可见,果实中氨基酸的含量和种类对果实品质有重要影响,可作为评价果实好坏的一项重要指标。

果实套袋可以有效减少农药污染和病虫害危害,同时提高果实外观品质,增加商品价值,是生产优质、高档果品的一项重要栽培措施。近年来,随着对果实中氨基酸研究的不断深入,关于套袋对果实氨基酸的影响也有了进一步的了解。何子顺等^[10]研究了套袋对‘库尔勒香梨’果实中游离氨基酸的影响,认为套袋可以改变果实中游离氨基酸的含量,且使用不同套袋材料影响不同;吴有根^[11]、张传来等^[12]、姚太梅等^[13]先后研究了套袋对梨果实内在品质的影响,认为套袋在不同程度上改变了果实中氨基酸含量,但果实中的氨基酸含量变化也受果袋类型及品种影响。总体而言,迄今对果实内氨基酸含量的研究主要集中在比较不同品种及栽培措施对果肉中游离氨基酸含量变化的影响等方面^[10-17],而有关套袋对果实生长发育过程中水解氨基酸和游离氨基酸在果皮和果肉中含量的动态变化鲜有报道,套袋会对‘鸭梨’果皮和果肉中游离氨基酸和水解氨基酸含量产生怎样的影响尚不明确。

笔者采用氨基酸自动分析仪测定套袋与不套袋‘鸭梨’生长发育关键时期果皮和果肉中水解氨基酸和游离氨基酸的含量变化,探究套袋对‘鸭梨’果实氨基酸含量的影响。研究结果旨在为‘鸭梨’种质资源评价和提高果实营养品质的技术措施提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 实验材料

材料采自南京农业大学江浦试验基地,试验果树为10 a(年)生‘鸭梨’树,株行距 $5\text{ m} \times 5.5\text{ m}$,树形为自由纺锤形,自然授粉,常规管理。2018年于盛花后36 d(5月4日),选择生长正常、树势和负载量相对一致的20株树为试验树,在树冠四周中上部随机选择梨果进行套袋处理(T),每株树套袋30个果实,共套袋600个果实,以不套袋果实为对照(CK),并做特殊标记。套袋时每个花序只套1个果实,摘掉同一花序上多余的幼果,以减少养分竞争。试验选用外黄内黑双层纸袋,规格 $17\text{ cm} \times 14\text{ cm}$ 。在果实膨大前期(花后36 d),快速膨大期(花后81 d),果实膨大后期(花后110 d),营养物质积累期(花后145 d),果实成熟期(花后160 d)等几个果实生长发育的关键时期取样。每次取样时尽量从

一株树的不同方位随机采果,且每株树尽量采相同数量的果实,以减少实验误差,每次采果100~120个(包括处理和CK)。果实采回后立即将果心和种子去掉,并将果皮和果肉组织分别在液氮条件下冷冻并粉碎,存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中,以备后续试验测定。

1.2 果实中游离氨基酸的测定

将前期存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中的果皮、果肉样品分别在液氮中充分研磨,准确称取0.5 g,加入1 mL $0.02\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的HCl, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 浸提过夜,浸提充分后的样品 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ $12\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心15 min,取500 μL 上清液加入500 μL 4%的磺基水杨酸,充分混匀后用0.22 μm 的微孔滤膜过滤到小棕瓶中上机检测。

仪器设备:试验中游离氨基酸的测定采用日立(Hitachi)全自动氨基酸分析仪L-8900。试验方法参照何子顺等^[10]的方法。

1.3 果实中水解氨基酸的测定

果实中水解氨基酸的提取参照杨亮等^[18]并进行部分改进。将前期存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中的果皮、果肉样品用冻干机(Scanvac)冻干,冻干后的样品磨成粉末状并准确称取0.1 g备用,将上述操作得到的样品置于水解管中,加入5 mL $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的HCl,充氮,封管,置于烘箱中 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理22 h,取出水解管冷却至室温,用超纯水定容至100 mL,取1 mL真空干燥,再加入1 mL超纯水复溶,用0.22 μm 的微孔滤膜过滤到小棕瓶中上机检测。

仪器设备:试验中游离氨基酸的测定采用日立(Hitachi)全自动氨基酸分析仪L-8900。试验方法参照何子顺等^[10]的方法。

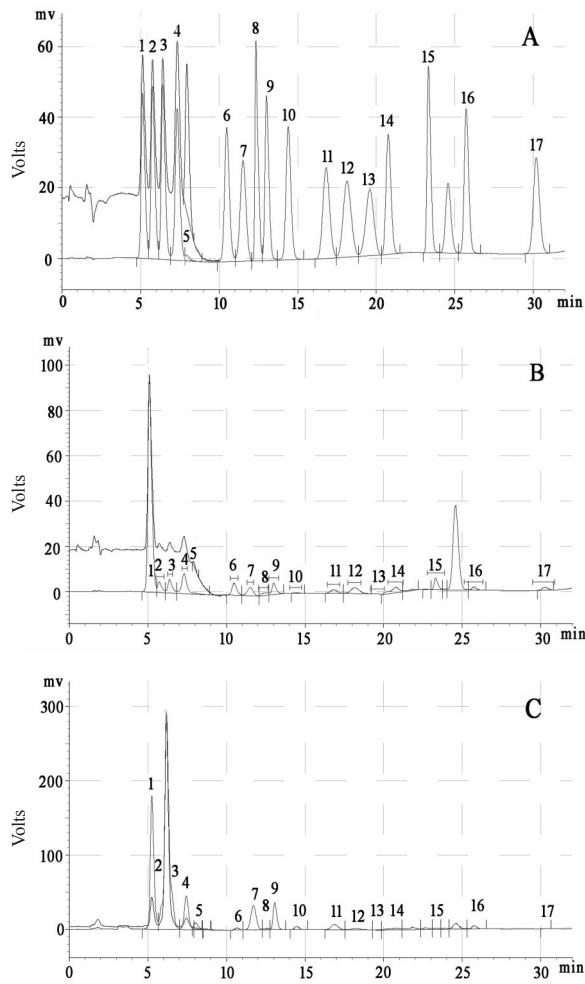
1.4 数据处理

试验结果均为3次重复试验的平均值 \pm 标准差(s),采用Excel 2013处理,IBM SPSS Statistics 25.0软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 果实中游离氨基酸和水解氨基酸的组成

从图1可以看出,利用氨基酸分析仪可以很好的检测出‘鸭梨’果实中的各种氨基酸,根据试验结果可知,在‘鸭梨’果实生长发育过程中共检测出17种氨基酸,分别是:天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、半胱氨酸(Cys)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、组氨酸



A. 氨基酸混合标准样品; B. 鸭梨样品水解氨基酸峰图; C. 鸭梨样品游离氨基酸峰图。1. 天冬氨酸(Asp); 2. 苏氨酸(Thr); 3. 丝氨酸(Ser); 4. 谷氨酸(Glu); 5. 脯氨酸(Pro); 6. 甘氨酸(Gly); 7. 丙氨酸(Ala); 8. 半胱氨酸(Cys); 9. 缬氨酸(Val); 10. 蛋氨酸(Met); 11. 异亮氨酸(Ile); 12. 亮氨酸(Leu); 13. 酪氨酸(Tyr); 14. 苯丙氨酸(Phe); 15. 赖氨酸(Lys); 16. 组氨酸(His); 17. 精氨酸(Arg)。

A. Mixture standard of amino acid; B. Hydrolyzed amino acids in pear. C. Free amino acids in pear. 1. Aspartic acid; 2. Threonine; 3. Serine; 4. Glutamate; 5. Proline; 6. Glycine; 7. Alanine; 8. Cysteine; 9. Valine; 10. Methionine; 11. Isoleucine; 12. Leucine; 13. Tyrosine; 14. Phenylalanine; 15. Lysine; 16. Histidine; 17. Arginine.

图1 氨基酸自动分析仪对游离氨基酸和水解氨基酸组分分析

Fig. 1 Free amino acid and hydrolyzed amino acids composition detected by Hitachi amino acid analyzer

(His)、精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro), 游离氨基酸中的丝氨酸未检测出。

2.2 果实发育过程中游离氨基酸和水解氨基酸含量的变化

2.2.1 游离氨基酸含量的变化

由图2可知,在‘鸭梨’果皮中共检测到16种游离氨基酸,其中天冬氨酸和谷氨酸含量较多,是果皮中的主要游离氨基酸。

天冬氨酸含量最多,占果皮中游离氨基酸总量的36.38%~49.64%,其次是谷氨酸,占果皮中游离氨基酸总量的20.90%~31.06%。苏氨酸在花后36 d时有较少含量,随后减为0;蛋氨酸含量前期为0,到花后110 d时被检出,随后缓慢上升;酪氨酸前期有较少含量,花后145 d时减为零。随着果实的发育,果皮中的不同游离氨基酸含量有增加也有降低。在果实发育前期,天冬氨酸的含量升高,花后145 d时达到最大值,随后含量开始下降,但在整个果实发育过程中呈上升趋势。谷氨酸含量上升到花后110 d时达到最大值,随后开始下降,整体呈下降趋势。果皮中游离氨基酸的总含量随着果实的发育逐渐上升,在145 d时达到最大值,随后开始下降,但游离氨基酸的总量在整个果实发育过程中呈上升趋势。

由图3可知,在‘鸭梨’果肉中共检测到15种游离氨基酸,苏氨酸和丝氨酸未检测出。天冬氨酸和谷氨酸是‘鸭梨’果肉中含量较多的2种游离氨基酸,其中天冬氨酸含量最多,占果肉中游离氨基酸总含量的43.53%~55.86%,其次是谷氨酸,占果肉中游离氨基酸总含量的12.97%~27.07%。随着果实的发育,果肉中游离氨基酸总量在花后110 d时达到最大值,随后逐渐下降,但在整个发育过程中呈上升趋势。天冬氨酸的含量随着果实的发育逐渐升高,谷氨酸的含量则随着果实的发育从花后36 d时一直下降。其余的13种氨基酸则随着果实的发育含量有增有减,无明显规律。

2.2.2 水解氨基酸含量的变化

由图4可知,在‘鸭梨’果皮中共检测出17种水解氨基酸,其中天冬氨酸的含量较多,占果皮水解氨基酸总量的25.8%~38.75%。‘鸭梨’果皮中水解氨基酸的总量在花后36 d时就有很高的含量,随着果实的发育水解氨基酸总量逐渐下降,在花后145 d时略有上升,随后继续下降。果皮中天冬氨酸的变化趋势与水解氨基酸变化趋势相似,从花后36 d时一直下降。随着果实的发育,果皮中半胱氨酸的含量略有上升,其余16种水解氨基酸的含量均降低。

从图5可以看出,在‘鸭梨’整个果肉发育过程中以天冬氨酸含量最高,占果肉中水解氨基酸总含量的48.27%~60.47%,是果肉中主要的水解氨基酸。在‘鸭梨’果实发育过程中,果肉中水解氨基酸的总量变化较大,从花后36 d的23 328.75 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 一直下降到花后160 d的4 870.916 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。天冬氨酸的含量与水解氨基酸总量的变化趋势相似,均持续

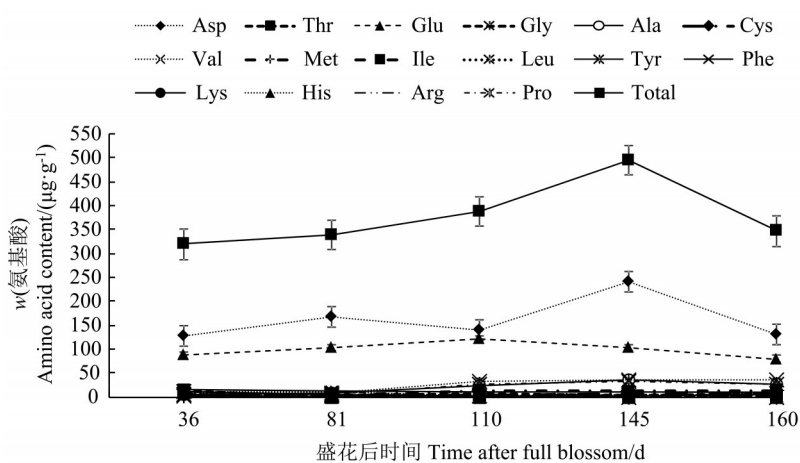


图2 ‘鸭梨’果皮发育过程中游离氨基酸含量的动态变化

Fig. 2 Changes in free amino acid contents in the peel during fruit development of ‘Yali’ pear

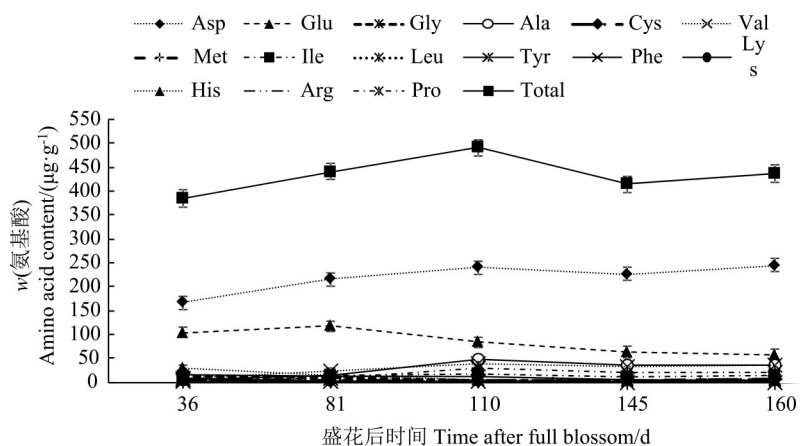


图3 ‘鸭梨’果肉发育过程中游离氨基酸含量的动态变化

Fig. 3 Changes in free amino acid contents in the pulp during fruit development of ‘Yali’ pear

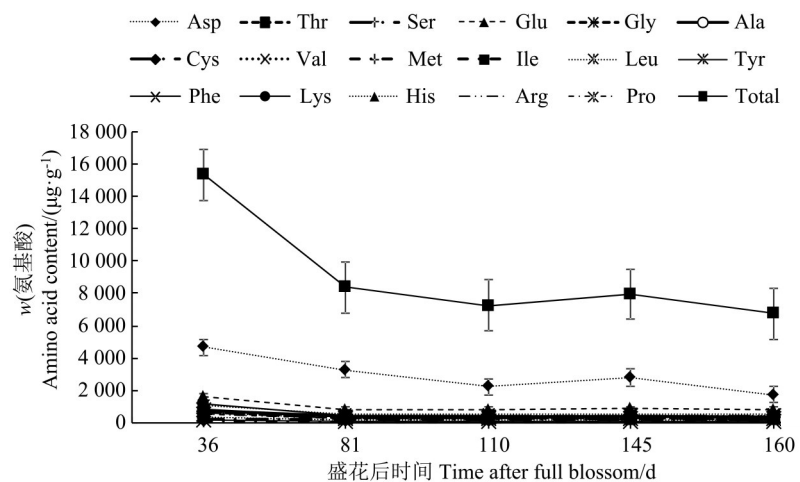


图4 ‘鸭梨’果皮发育过程中水解氨基酸含量的动态变化

Fig. 4 Changes in hydrolyzed amino acid contents in the peel during fruit development of ‘Yali’ pear

下降。随着果实的成熟,‘鸭梨’果肉中的17种水解氨基酸含量均有所降低。

2.3 套袋对‘鸭梨’果实中氨基酸含量的影响

2.3.1 套袋对‘鸭梨’果实中游离氨基酸含量的影响

由表1可知,从花后81 d到160 d这段发育时期里,在‘鸭梨’果实中共检测到15种游离氨基酸,较花后36 d时缺少了苏氨酸。套袋改变了果实中游离氨基酸的含量,但不同时期、不同氨基酸种类

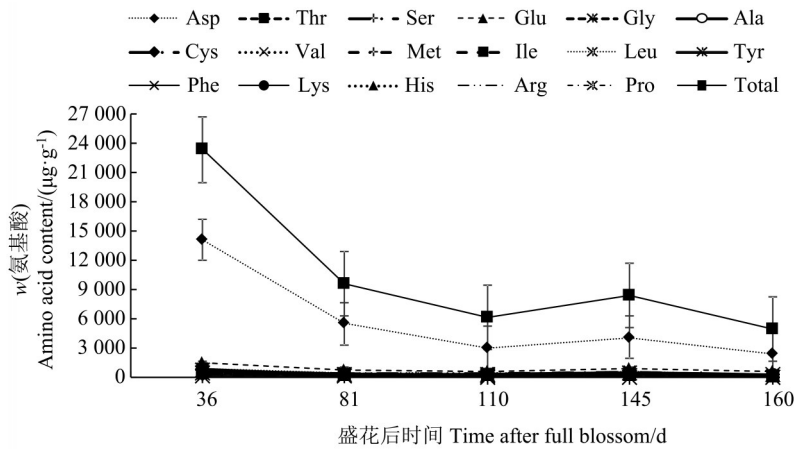


图5 ‘鸭梨’果肉发育过程中水解氨基酸含量的动态变化

Fig. 5 Changes in hydrolyzed amino acid contents in the pulp during fruit development of ‘Yali’ pear

影响不同。

在果皮中,除半胱氨酸外,套袋对其余 14 种游离氨基酸含量均产生显著影响,但不同氨基酸间影响规律不明显。套袋对花后 110 d、145 d 和 160 d 的游离氨基酸总量产生显著影响,其中花后 110 d 和 160 d 时表现为显著增加($p < 0.01$),花后 145 d 时表现为显著减少($p < 0.01$),整个发育过程呈上升趋势,见图 6。在果实成熟时(花后 160 d),套袋对果皮中游离氨基酸影响不显著的有 4 种:半胱氨酸、蛋氨酸、亮氨酸和精氨酸,含量显著降低的游离氨基酸种类有 5 种:甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸,含量显著增加的游离氨基酸种类有 5 种:天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、组氨酸、脯氨酸,未检测出酪氨酸。

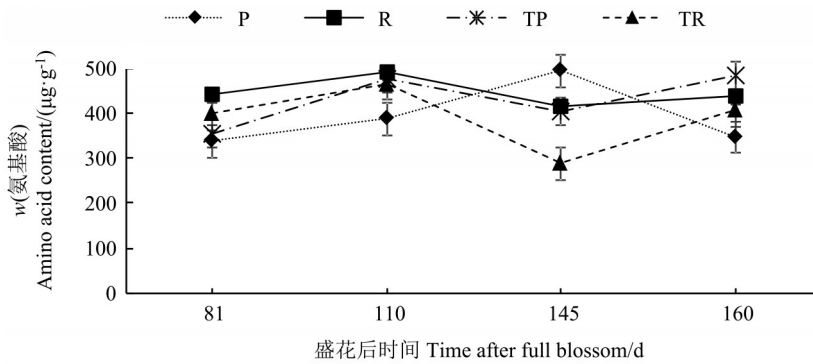
在果肉中,套袋降低了花后 81 d 和 110 d 的游离氨基酸总量,但影响未达到显著水平,到 145 d ($p < 0.01$)和 160 d ($p < 0.05$)时套袋果肉中游离氨基酸总量均显著低于对照,整个发育过程先增加

随后降低之后再增加,见图 6。套袋影响了果肉中各种游离氨基酸的含量,但不同氨基酸间影响没有一定规律,不同发育时期影响也不相同。果实成熟时(花后 160 d),套袋对果肉中游离氨基酸影响不显著的有 5 种:谷氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸,含量显著降低的游离氨基酸种类有 3 种:天冬氨酸、半胱氨酸、缬氨酸,含量显著增加的游离氨基酸种类有 7 种:甘氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸。

2.3.2 套袋对‘鸭梨’果实中水解氨基酸含量的影响

由表 2 可知,从花后 81 d 到 160 d 这段发育时期里,在‘鸭梨’果实中共检测到 17 种水解氨基酸,比同时期的游离氨基酸中多了苏氨酸和丝氨酸 2 种氨基酸,套袋改变了果实中水解氨基酸的含量,这种影响在果皮和果肉中表现不同。

由图 7 可知,在果皮中,套袋对整个果实发育时期中苏氨酸、丙氨酸和精氨酸 3 种水解氨基酸的含量均起到显著降低作用($p < 0.01$),对其余 14 种



P. 果皮;TP. 套袋果皮;R. 果肉;TR. 套袋果肉。下同。

P. Peel; TP. Bagged peel; R. Pulp; TR. Bagged pulp. The same below.

图6 套袋对果实内游离氨基酸总量的影响

Fig. 6 Effect of bagging on total free amino acids in fruit

表 1 套袋对果实内游离氨基酸含量的影响
Table 1 Effects of bagging on free amino acid content in fruit

氨基酸 Amino acid	处理 Treatment	果肉 Peel						果肉 Pulp					
		81 d	145 d	110 d	160 d	81 d	110 d	145 d	160 d				
天冬氨酸	CK	168.16±7.96 bB	242.24±3.53 aA	141.11±0.97 bB	129.18±5.5 bB	215.44±14.73 a	239.91±8.36 aA	226.98±7.91 aA	243.95±8.01 aA				
Asp	T	195.67±0.85 aA	189.01±7.14 bB	220.96±2.23 aA	245.90±2.84 aA	199.93±5.42 a	215.61±4.41 bA	139.47±0.64 bB	195.38±0.5 bB				
谷氨酸	CK	102.91±0.27 a	103.45±1.59 a	120.46±1.07 aA	79.27±3.75 bB	116.90±8.03 a	83.21±3.37 aA	63.49±2.58 aA	56.66±1.96 a				
Glu	T	100.50±6.39 a	109.53±4.69 a	107.00±1.49 bB	104.30±1.25 aA	118.94±4.05 a	73.50±2 bA	57.35±0.12 bA	59.82±0.18 a				
甘氨酸	CK	4.81±0.1 bB	4.59±0.02 aA	5.39±0.01 bB	5.15±0.22 aA	8.09±0.41 aA	4.33±0.12 aA	2.34±0.03 aA	1.65±0.01 bB				
Gly	T	6.88±0.24 aA	3.32±0.1 bB	7.04±0.02 aA	3.03±0.07 bB	7.16±0.11 bA	3.91±0.05 bB	1.35±0.02 bB	2.03±0.01 aA				
丙氨酸	CK	6.87±0.25 aA	34.13±0.25 aA	23.16±0.07 bB	27.76±0.37 bB	14.51±0.95 aA	47.03±1.82 bB	35.21±1.99 aA	35.77±0.77 bB				
Ala	T	5.13±0.13 bB	23.04±0.73 bB	29.21±0.15 aA	31.13±0.55 aA	12.17±0.33 bA	55.21±0.98 aA	21.57±0.2 bB	38.24±0.12 aA				
半胱氨酸	CK	3.79±2.16 a	5.19±0.03 a	4.78±0.33 a	5.21±0.27 a	2.28±0.25 a	2.58±0.82 a	3.72±0.36 bB	6.04±0.43 aA				
Cys	T	6.08±0.06 a	4.94±0.2 a	5.27±0.01 a	5.17±0.05 a	2.42±0.04 a	3.59±0.24 a	4.77±0.02 aA	4.53±0.37 bA				
缬氨酸	CK	8.94±0.29 aA	36.04±0.55 aA	31.30±0.60 a	34.11±0.95 aA	23.64±2.07 aA	39.82±1.53 a	33.14±1.35 bB	36.14±0.4 aA				
Val	T	6.96±0.3 bB	23.26±0.85 bB	32.13±0.22 a	26.01±0.24 bB	15.92±0.64 bB	37.96±1.33 a	24.45±0.11 aA	34.49±0.2 bB				
蛋氨酸	CK	-	3.64±0.07 aA	0.71±0.32 bB	4.13±0.59 a	2.00±0.39 a	4.93±0.15 bA	4.16±0.45 aA	6.59±0.35 a				
Met	T	0.18±0.01	3.27±0.15 bA	2.41±0.01 aA	4.35±0.05 a	2.07±0.14 a	5.88±0.39 aA	3.27±0.01 bA	6.18±0.05 a				
异亮氨酸	CK	4.90±0.37 aA	11.76±0.19 aA	12.79±0.09 bB	12.74±0.57 aA	14.47±1.21 aA	17.23±0.83 a	10.81±0.4 aA	14.50±0.56 a				
Ile	T	3.07±0.24 bB	8.03±0.28 bB	13.78±0.13 aA	9.83±0.12 bB	8.87±0.97 bB	17.03±0.39 a	8.66±0.33 bB	14.61±0.14 a				
亮氨酸	CK	4.04±0.82 a	3.96±0.03 a	4.14±0 bB	2.99±1.34 a	2.67±0.91 a	2.97±0.16 bB	3.52±0.1 a	4.42±0.65 a				
Leu	T	3.35±0.80 a	4.05±0.08 a	5.03±0.04 aA	4.67±0.13 a	3.03±1.48 a	5.78±0.02 aA	2.31±1.43 a	5.37±0 a				
酪氨酸	CK	1.05±0.30 aA	-	1.05±0.03 aA	-	0.82±0.3 aA	0.57±0 bB	-	0.38±0.38 a				
Tyr	T	0.35±0.23 bA	-	0.79±0.14 bA	-	0.09±0.09 bA	0.88±0.01 aA	-	0.70±0.06 a				
苯丙氨酸	CK	12.56±0.66 aA	10.46±1.06 a	10.42±1.99 a	9.95±1.00 aA	12.66±0.64 aA	11.74±0.34 aA	5.33±0.73 bB	3.96±0.12 bB				
Phe	T	10.00±0.57 bB	7.40±2.13 a	11.00±0.73 a	7.06±0.03 bB	9.81±0.16 bB	8.29±0.99 bB	8.16±0.12 aA	10.91±0.15 aA				
赖氨酸	CK	4.18±1.01 aA	1.94±1.12 a	2.68±0.54 a	4.28±0.56 aA	3.38±0.57 aA	1.47±0.59 a	1.62±1.17 a	0.62±0.04 bB				
Lys	T	1.62±0.13 bA	0.97±0.09 a	2.40±1.13 a	2.86±0.06 bA	1.29±0.07 bB	0.78±0.02 a	0.76±0.01 a	2.93±0.08 aA				
组氨酸	CK	10.17±0.96 a	3.99±0.46 aA	3.03±0.31 bB	5.19±0.45 bB	14.64±2.36 aA	4.01±0.35 bA	2.57±0.23 aA	4.93±0.2 bB				
His	T	9.32±0.03 a	1.63±0.08 bB	5.18±0.56 aA	7.50±0.09 aA	9.46±0.56 bA	4.79±0.14 aA	1.42±0 bB	7.41±0.01 aA				
精氨酸	CK	2.15±0.08 aA	0.82±0.07 a	1.72±0.01 aA	0.74±0.12 a	1.46±0.16 a	0.84±0.05 a	0.40±0.01 bA	0.33±0.03 bA				
Arg	T	1.37±0.1 bB	0.84±0.06 a	1.34±0.03 bB	0.72±0.04 a	1.33±0.08 a	0.77±0.03 a	0.46±0.03 aA	0.38±0.01 aA				
脯氨酸	CK	4.22±0.17 aA	32.70±0.32 aA	25.09±0.10 bB	26.36±1.46 bB	7.58±0.35 aA	29.94±0.92 bA	21.19±0.49 aA	20.78±0.88 bB				
Pro	T	2.99±0.44 bA	24.32±0.73 bB	33.80±0.20 aA	30.55±0.48 aA	6.02±0.21 bB	32.36±0.56 aA	14.26±0.37 bB	24.61±0.27 aA				
合计	CK	338.75±5.24 a	494.90±4.02 aA	387.84±1.3 bB	347.04±3.57 bB	440.55±33.34 a	490.58±17.55 a	414.48±12.61 aA	436.7±13.17 aA				
Total	T	353.48±10.52 a	403.61±17.32 bB	477.32±2.19 aA	483.09±5.67 aA	398.49±14.17 a	466.34±9.54 a	288.27±0.17 bB	407.57±1.59 bA				

注:表中相同化合物同一列数据中不同大、小写字母分别表示处理间差异达1%和5%显著水平。“-”表示未测出结果。下同。

Note: Values with different capital letters and lowercase letters within the same column of the same compound indicate significant difference at the 1% and the 5% levels, respectively. “-” indicates undetectable amino acid. The same below.

表2 套袋对果实内水解氨基酸含量的影响
Table 2 Effects of bagging on hydrolyzed amino acid content in fruit

氨基酸 Amino acid	处理 Treatment	果皮 Peel						果肉 Pulp						w/(μg·g ⁻¹)
		81 d	110 d	145 d	160 d	81 d	110 d	145 d	160 d					
天冬氨酸	CK	3 246.87±35.68 bA	2 211.44±51.36 bB	2 786.06±99.19 aA	1 736.71±75.85 a	5 456.55±372.82 a	3 002.78±99.5 aA	4 071.83±10.52 aA	2 351.31±49.46 a					
Asp	T	3 858.86±296.07 aA	3 354.31±60.75 aA	1 942.69±28.9 bB	1 855.56±106.02 a	4 002.85±1 856.56 a	2 484.13±2.15 bB	692.62±552.66 bB	3 910.14±1757.5 a					
苏氨酸	CK	338.48±0.96 aA	326.24±8.06 aA	338.34±5.92 aA	309.79±10.98 aA	264.55±16.23 a	209.44±5.06 aA	287.17±1.88 aA	162.52±5.11 a					
Thr	T	314.53±9.41 bA	305.06±9.61 bA	245.72±1.4 bB	239.53±9.33 bB	214.86±46.52 a	198.96±1.61 bA	74.67±59.29 bB	213.40±45.1 a					
丝氨酸	CK	366.44±0.4 aA	360.36±14.51 a	401.11±2.58 aA	381.53±20.4 aA	316.57±18.2 a	267.60±8.47 aA	407.30±7.3 aA	241.94±10.46 a					
Ser	T	351.17±6.98 bA	339.54±15.67 a	287.63±1.64 bB	305.68±11.08 bB	260.69±44.26 a	241.59±0.6 bB	98.10±77.37 bB	261.21±38.11 a					
谷氨酸	CK	814.85±0.96 a	795.98±27.21 a	855.59±7.11 aA	779.72±29.95 aA	762.28±51.98 a	600.16±1.62 aA	846.79±26.2 aA	478.37±28.37 a					
Glu	T	786.13±30.78 a	750.74±27.25 a	660.96±1.87 bB	643.33±26.39 bB	623.67±138.7 a	571.27±13.4 bA	245.97±195.54 bB	623.62±136.34 a					
甘氨酸	CK	325.94±3.86 aA	320.38±8.12 a	303.90±13.72 aA	310.61±6.3 aA	218.42±10.52 a	144.06±10.85 a	178.85±27.03 aA	118.69±14.64 a					
Gly	T	303.92±9.96 bA	302.35±25.84 a	233.34±0.38 bB	223.95±2.95 bB	164.98±60.77 a	136.43±3.98 a	54.61±43.5 bA	163.64±54.05 a					
丙氨酸	CK	343.30±3.86 aA	337.99±5.97 aA	348.37±12.28 aA	332.24±5.93 aA	245.09±14.09 a	224.84±9.52 a	259.36±5.35 aA	174.71±0.63 a					
Ala	T	313.68±12.28 bA	311.80±14.45 bA	254.29±0.5 bB	250.56±3.78 bB	216.96±28.58 a	215.07±1.25 a	78.66±62.85 bB	216.39±26.57 a					
半胱氨酸	CK	174.54±4.82 bA	193.32±11.51 a	247.05±33.94 aA	235.22±37.24 a	218.16±23.74 a	256.11±15.79 a	407.18±39.53 aA	225.35±30.91 a					
Cys	T	187.67±3.48 aA	187.43±5.62 a	184.77±1.06 bA	209.28±4.34 a	192.28±8.12 a	237.78±15.77 a	111.34±86.77 bB	199.92±5.56 a					
缬氨酸	CK	373.19±2.89 aA	373.14±7.53 a	395.28±2.26 aA	404.97±53 aA	293.26±19.92 a	267.68±10.38 aA	367.75±3.05 aA	206.94±6.94 a					
Val	T	349.38±10.78 bA	350.03±12.91 a	292.37±1.19 bB	270.73±11.06 bA	253.81±29.36 a	247.28±3.19 bA	101.77±81.25 bB	253.40±38.14 a					
蛋氨酸	CK	30.86±1.93 a	31.27±0.35 a	34.87±0.03 aA	86.11±54.95 a	19.23±1.95 a	10.60±3.3 a	2.94±2.94	15.08±1.59 a					
Met	T	32.06±4.16 a	32.60±9.87 a	21.91±1.08 bB	18.35±3.61 a	23.85±9.82 a	15.16±0.02 a	-	20.45±8.71 a					
异亮氨酸	CK	258.44±7.71 a	253.93±8.87 aA	246.53±9.62 aA	246.74±10.26 aA	198.11±1.39 a	130.56±6.48 a	178.71±11.07 aA	107.84±9.69 a					
Ile	T	242.89±6.61 a	227.57±4.09 bB	184.76±0.85 bB	164.24±16.91 bB	150.12±45.92 a	125.06±3.97 a	48.84±37.95 bB	139.32±35.6 a					
亮氨酸	CK	532.30±34.72 a	538.14±18.38 aA	541.17±4.28 aA	512.66±34.2 aA	459.89±32.55 a	254.02±2.19 aA	487.41±137.41 aA	272.90±95.12 a					
Leu	T	528.37±14.89 a	472.36±8.34 bB	405.69±3.4 bB	347.67±62.21 bA	305.95±137.61 a	238.75±1.56 bB	104.42±69.16 bA	270.82±79.04 a					
酪氨酸	CK	54.97±22.18 a	79.03±9.86 a	84.46±3.65 aA	82.99±7.83 a	62.23±2.56 a	3.81±0.16	-	-					
Tyr	T	70.64±1.8 a	67.89±1.61 a	65.70±2.48 bB	34.77±34.77 a	30.69±30.69 a	-	-	-					
苯丙氨酸	CK	408.87±1.93 aA	403.36±14.03 a	431.03±17.09 a	394.91±28.28 aA	366.29±33.28 a	343.76±12.08 a	495.11±36.28 aA	274.44±29.99 a					
Phe	T	386.02±8.35 bB	511.37±89.02 a	465.27±78.29 a	324.00±1.71 bA	326.26±71.76 a	314.52±16.61 a	137.81±107.47 bB	342.95±86.59 a					
赖氨酸	CK	466.73±1.93 aA	419.10±4.08 a	378.96±22.67 a	366.08±4.94 aA	296.87±1.98 a	174.47±10.24 a	212.47±5.17 aA	118.03±0.49 a					
Lys	T	422.11±16.53 bB	458.81±91.38 a	370.03±78.84 a	255.12±13.87 bB	216.56±96.32 a	172.43±2.14 a	66.06±52.81 bB	212.27±90.94 a					
组氨酸	CK	148.51±0.4 aA	129.93±1.47 a	127.91±1.19 a	121.51±6.02 aA	111.25±5.38 a	69.67±5.8 a	90.84±0.33 aA	60.46±1.2 a					
His	T	133.60±5.23 bB	143.67±28.14 a	115.12±21.25 a	87.19±0.64 bB	88.46±30.35 a	71.06±1.05 a	26.99±22.07 bB	88.65±26.03 a					
精氨酸	CK	248.79±3.86 aA	228.57±5.25 aA	205.24±16.07 aA	196.73±4.24 aA	166.40±8.55 a	88.56±2.8 a	99.64±0.36 aA	62.35±1.24 a					
Arg	T	222.44±2.91 bB	195.08±5.69 bB	147.63±1.8 bB	133.06±7.83 bB	117.20±55.08 a	85.27±3.91 a	35.39±28.76 bA	110.99±52.28 a					
脯氨酸	CK	245.90±0.96 aA	245.17±6.04 a	234.59±21.55 aA	231.73±11.75 aA	136.35±17 a	46.05±9.56	-	-					
Pro	T	193.85±13.39 bB	217.17±16.42 a	172.42±7.65 bB	161.56±6.03 bB	93.39±39.28 a	-	-	39.84±39.84					
合计	CK	8 378.98±41.47 a	7 247.36±201.91 bA	7 960.47±162.49 aA	6 730.25±402.11 aA	9 591.48±648.26 a	6 094.18±158.05 aA	8 393.37±211.01 aA	4 870.92±252.4 a					
Total	T	8 697.31±453.59 a	8 227.79±426.65 aA	6 050.30±197.81 bB	5 524.57±279.64 bA	7 282.59±2713.45 a	5 354.76±32.18 bB	1 877.25±1477.47 bB	7 067.01±2509.28 a					

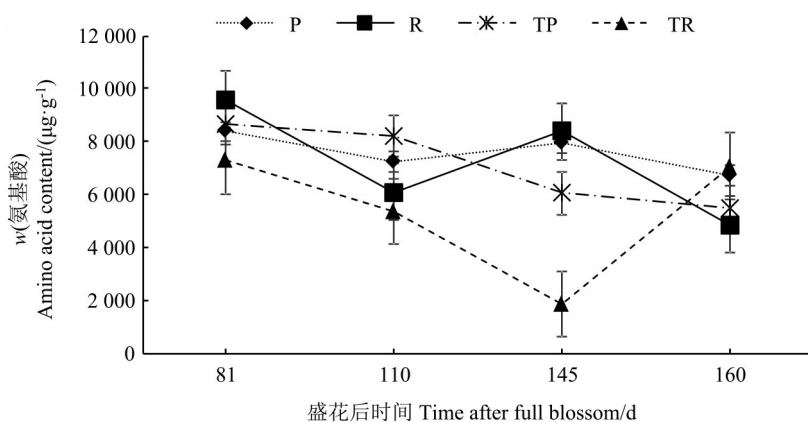


图7 套袋对果实内水解氨基酸总量的影响

Fig. 7 Effect of bagging on total hydrolyzed amino acids in fruit

水解氨基酸含量的影响则因发育时期不同而有增有减。花后 110 d 时套袋果皮中水解氨基酸总量则显著高于对照 ($p < 0.05$), 随着果实的发育, 套袋降低了果皮中水解氨基酸的总量, 花后 145 d ($p < 0.01$) 和 160 d ($p < 0.05$) 的水解氨基酸总量均显著低于对照。果实成熟时 (花后 160 d), 套袋对果皮中水解氨基酸含量影响不显著的有 4 种: 天冬氨酸、半胱氨酸、蛋氨酸、酪氨酸, 其余的 13 种水解氨基酸含量均显著降低。

在果肉中, 套袋对花后 81 d 和 160 d 的水解氨基酸含量有较小影响, 未达到显著水平。整个果实发育时期, 套袋虽然增加了果肉中部分水解氨基酸的含量, 但均未达到显著水平。由图 7 可知, 果肉中水解氨基酸总量在 145 d 时有最低值, 随后开始上升, 整体呈下降趋势, 套袋对花后 81 d 和 160 d 的水解氨基酸总量没有显著影响, 但在花后 110 d 和 145 d 时显著降低了水解氨基酸的总量 ($p < 0.01$)。

3 讨 论

本试验在‘鸭梨’果实中检测到 17 种氨基酸, 包括缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸和赖氨酸 7 种必需氨基酸, 天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸 10 种非必需氨基酸, 与前人在其他梨品种中测得的氨基酸种类略有不同。何子顺等^[10]在‘库尔勒香梨’中测得 15 种氨基酸, 比本试验在‘鸭梨’中检测得到的氨基酸种类少了丝氨酸和苏氨酸 2 种。孙锐等^[19]在 9 个无花果品种中检测到 16 种氨基酸, 比‘鸭梨’中少了半胱氨酸。苏俊等^[20]测得 3 个砂梨品种中含有 17 种氨基酸, 何莎莎等^[17]在 4 种柑橘果实中也检测到 17 种氨基酸, 可见, 植物中氨基酸的含量因不同种类、品种而异。

笔者发现, ‘鸭梨’果实发育过程中不同部位游离氨基酸含量不同, 果皮比果肉中多了苏氨酸, 果实中水解氨基酸种类也比游离氨基酸多 1~2 种, 但不排除部分游离氨基酸含量太低无法检测出。从试验结果可以看出, ‘鸭梨’果实内游离氨基酸中以天冬氨酸和谷氨酸等鲜味氨基酸含量最多, 水解氨基酸中则以天冬氨酸含量最多, 其次是谷氨酸。这 2 种氨基酸应该是影响‘鸭梨’果实品质的重要氨基酸, 使其具有独特的风味。随着‘鸭梨’果实的发育, 果皮和果肉中游离氨基酸总含量增加, 水解氨基酸总量降低, 且水解氨基酸变化程度大于游离氨基酸, 猜测可能是由于在果实发育过程中, 部分蛋白质及多肽水解产生游离氨基酸, 从而使游离氨基酸含量增加。研究表明, 果实发育过程中氨基酸还参与芳香物质的合成, 是某些脂类、醛类等香气物质的重要前体物质^[21-24], 因此我们推测, ‘鸭梨’果实中水解氨基酸含量随果实发育而下降, 可能是由于在果实发育过程中部分氨基酸作为前体物质参与果实内其他化合物的合成, 导致其含量降低。

氨基酸作为果实内在品质的重要组成部分, 除了受果实内部生理生化代谢影响外, 还受栽培措施的影响。在本试验中, 套袋改变了‘鸭梨’果皮和果肉中游离氨基酸和水解氨基酸的含量, 果实成熟时 (花后 160 d), 套袋后果皮中游离氨基酸总含量显著高于对照 ($p < 0.01$), 果肉中游离氨基酸总含量显著低于对照 ($p < 0.05$); 套袋后果皮中水解氨基酸总含量显著低于对照 ($p < 0.05$), 果肉中水解氨基酸总含量高于对照, 影响未达到显著水平。姚太梅等^[13]在‘八月红’‘雪花梨’‘黄金梨’等 6 个梨品种的实验中表明, 不同梨品种套袋后游离氨基酸含量的变化不同, 结果有增有减; 吴友根等^[25]在‘翠冠梨’的研究中发现, 套袋使果肉中游离氨基酸总含量高

于对照,且双层袋效果大于单层袋,可见,套袋对梨果肉中游离氨基酸含量的影响因果袋种类和梨品种而异。关于套袋对果肉中水解氨基酸及果皮中水解氨基酸和游离氨基酸的影响未见报道,本研究发现,套袋对果实中不同部位水解氨基酸和游离氨基酸含量影响不同。

4 结 论

‘鸭梨’果实发育过程中,果皮和果肉中游离氨基酸总含量增加,水解氨基酸总量降低。套袋改变了果实中游离氨基酸和水解氨基酸的含量。果皮中,水解氨基酸总含量降低,游离氨基酸总含量增加;而果肉中,游离氨基酸总含量降低,水解氨基酸总含量增加。

参考文献 References:

- [1] FELLMAN J K, MILLER T W, MATTINSON D S, MATTHEIS J P. Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits[J]. HortScience, 2000, 35(6): 1026-1033.
- [2] PEYROT DES GACHONS C, LEEUWEN C V, TOMINAGA T, SOYER J P, GAUDILLÈRE J P, DUBOURDIEU D. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc in field conditions[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2005, 85(1): 73-85.
- [3] KEUTGEN A J, PAWELZIK E. Contribution of amino acids to strawberry fruit quality and their relevance as stress indicators under NaCl salinity[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 642-647.
- [4] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, KAPLAN I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds[J]. New Phytologist, 2013, 198(1): 16-32.
- [5] GUO Y W. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition [J]. Amino Acids, 2009, 37(1): 1-17.
- [6] 宋奇超,曹凤秋,巩元勇,程晓园,毕昕媛,刘来华. 高等植物氨基酸吸收与转运及生物学功能的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(6): 1507-1517.
SONG Qichao, CAO Fengqiu, GONG Yuanyong, CHENG Xiaoyuan, BI Xinyuan, LIU Laihua. Research progress on amino acid absorption, transport and biological functions of higher plants[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(6): 1507-1517.
- [7] SINGH B. Plant amino acids[J]. Amino Acids, 2006, 30(2): 111.
- [8] TEGEDER M. Transporters for amino acids in plant cells: some functions and many unknowns[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2012, 15(3): 315-321.
- [9] 邢芳芳,高明夫,周传志,徐春英,范玲超. 氨基酸与植物抗性关系的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2018(3): 150-155.
XING Fangfang, GAO Mingfu, ZHOU Chuanzhi, XU Chunying, FAN Lingchao. Research progress on the relationship between amino acids and plant stress resistance[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2018(3): 150-155.
- [10] 何子顺,李芳芳,张绍铃,白茹,张虎平. 套袋对‘库尔勒香梨’果实中游离脂肪酸和游离氨基酸含量的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(7): 804-813.
HE Zishun, LI Fangfang, ZHANG Shaoling, BAI Ru, ZHANG Huping. Effect of bagging on free fatty acid and free amino acid content in ‘Kuerle Xiangli’ [J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(7): 804-813.
- [11] 吴友根. 不同果袋套袋对翠冠梨果实品质及其氨基酸含量的影响[J]. 中国南方果树, 2004(4): 52-53.
WU Yougen. Effects of different fruit bagging on fruit quality and amino acid content of ‘Cuiguan’ pear[J]. South China Fruits, 2004(4): 52-53.
- [12] 张传来,荆瑞俊,张焱,贾文庆. 套袋对红酥脆和红香蜜梨果实主要营养成分的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2008(3): 31-32+43.
ZHANG Chuanlai, JING Ruijun, ZHANG Yan, JIA Wenqing. Effects of bagging on main nutritional components of ‘Hongsucui’ and ‘Hongxiangmi’ pear fruit[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2008(3): 31-32+43.
- [13] 姚太梅,孟莉丽,刘畅,郭会婧. 套袋对六类品种梨果实主要营养成分的影响[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2010, 26(4): 35-37+45.
YAO Taimei, MENG Lili, LIU Chang, GUO Huijing. Effects of bagging on the main nutritional components of six varieties of pears[J]. Journal of Hebei North University (Natural Science Edition), 2010, 26(4): 35-37+45.
- [14] 姚丽贤,杨苞梅,周昌敏,王祥和,何兆桓,李国良. ‘无核荔’养分累积特点及果实风味品质[J]. 中国南方果树, 2019, 48(1): 25-31.
YAO Lixian, YANG Baomei, ZHOU Changmin, WANG Xianghe, HE Zhaocheng, LI Guoliang. Nutrient accumulation characteristics and fruit flavor quality of ‘Seedless Litchi’ [J]. South China Fruits, 2019, 48(1): 25-31.
- [15] 张迪,谢鸿根,潘鹤立,孙建华,陈源,潘东明. 不同品种柑橘果肉中氨基酸的测定与分析[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47(4): 322-326.
ZHANG Di, XIE Honggen, PAN Heli, SUN Jianhua, CHEN Yuan, PAN Dongming. Determination and analysis of amino acids in citrus pulp of different varieties[J]. Subtropical Plant Science, 2018, 47(4): 322-326.
- [16] 程远,万红建,刘超超,姚祝平,叶青静,李志邈,王荣青,周国治,杨悦俭,陈德梁,阮美颖. 十六个樱桃番茄品种果实风味品质相关指标比较分析[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(11): 1859-1869.

- CHENG Yuan, WAN Hongjian, LIU Chaochao, YAO Zhuping, YE Qingjing, LI Zhimiao, WANG Rongqing, ZHOU Guozhi, YANG Yuejian, CHEN Deliang, RUAN Meiyong. Comparative analysis of related indexes of fruit flavor and quality of 16 cherry tomato varieties[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(11):1859-1869.
- [17] 何莎莎,周志钦. 不同种类柑桔果实氨基酸组成及营养品质评价[J]. *中国南方果树*, 2018, 47(3):18-22+29.
- HE Shasha, ZHOU Zhiqin. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of different citrus fruits[J]. *South China Fruits*, 2018, 47(3):18-22+29.
- [18] 杨亮,杨小莉,朱丽,李贝贝,杨光勇,关明. 柱后衍生阳离子交换色谱法同时测定大蒜中18种水解氨基酸[J]. *生命科学仪器*, 2019, 17(1):47-51.
- YANG Liang, YANG Xiaoli, ZHU Li, LI Beibei, YANG Guangyong, GUAN Ming. Simultaneous determination of 18 hydrolyzed amino acids in garlic by post column derived cation exchange chromatography[J]. *Life Science Instruments*, 2019, 17(1):47-51.
- [19] 孙锐,贾明,杨莉,孙蕾. 山东引种无花果氨基酸及矿物元素成分分析与评价[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(19):352-356+360.
- SUN Rui, JIA Ming, YANG Li, SUN Lei. Analysis and evaluation of amino acids and mineral elements of fig introduced in Shandong province[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(19):352-356+360.
- [20] 苏俊,黄兴龙,陈霞,何英云,李自生,舒群. 3个红色砂梨新品种的果实氨基酸组分与含量分析[J]. *果树学报*, 2018, 35(增刊):114-117.
- SU Jun, HUANG Xinglong, CHEN Xia, HE Yingyun, LI Zisheng, SHU Qun. Amino acid composition and content analysis of three new varieties of red pear[J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(Suppl.):114-117.
- [21] SCHWAB W, DAVIDOVICHRIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds[J]. *Plant Journal for Cell & Molecular Biology*, 2010, 54(4):712-732.
- [22] QIN G H, TAO S T, ZHANG H P, HUANG W J, WU J Y, XU Y L, ZHANG S L. Evolution of the aroma volatiles of pear fruits supplemented with fatty acid metabolic precursors[J]. *Molecules*, 2014, 19(12):20183-20196.
- [23] 李杰,韩继成. 果实香气物质分析研究进展[J]. *北方果树*, 2018(6):1-3.
- LI Jie, HAN Jicheng. Research progress on aroma substance analysis of fruits[J]. *Northern Fruits*, 2018(6):1-3.
- [24] 王博,李霁昕,李经纬,王雨,胡妍芸,蒋玉梅. 采后苯并噻重氮处理对‘玉金香’甜瓜氨基酸代谢酯类香气物质及其代谢机理的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(17):212-220.
- WANG Bo, LI Jixin, LI Jingwei, WANG Yu, HU Yanyun, JIANG Yumei. Effects of post-harvest benzothiazide treatment on amino acid metabolism and ester aroma compounds and their metabolic mechanism of ‘yujinxiang’ melon[J]. *Food Science*, 2018, 39(17):212-220.
- [25] 吴友根,陈金印. 套袋对翠冠梨果实氨基酸含量及品质的影响[J]. *中国果树*, 2004(2):17-20.
- WU Yougen, CHEN Jinyin. Effect of bagging on amino acid content and quality of ‘Cuiguan’ pear fruit[J]. *China Fruits*, 2004(2):17-20.