# 不同品种柿果成熟过程中果胶与单宁相互作用对其脱涩的影响

王玥[1]，李凯凯[1]，李春美[1,2]
（1.华中农业大学食品科技学院，湖北武汉 430070）
（2.华中农业大学教育部环境食品学重点实验室，湖北武汉 430070）

**摘要：**本文通过电子舌评价柿果胶与柿单宁体外相互作用的涩味强度，结果显示柿果胶能显著降低柿单宁涩味。为验证柿果成熟过程中果胶与单宁的相互作用是否是导致其脱涩的原因之一，本文研究了不同品种柿果（日本甜柿上西早生、中国甜柿鄂柿一号、涩柿恭城水柿）在成熟过程中的单宁及果胶含量变化及涩味变化，结合切片染色观察单宁果胶的形态分布，讨论了不同品种柿果成熟过程中果胶与单宁互作对其脱涩的影响。切片染色结果表明3品种柿果在成熟过程中单宁和果胶有可能相互接触并结合；2种甜柿的可溶性单宁含量在其成熟过程中均能降至0.1%以下，涩柿的可溶性单宁含量降至0.4%，3种柿果的水溶性果胶含量并未完全呈上升趋势，表明可溶性单宁可能与水溶性果胶结合，二者的结合是引起柿果脱涩的因素之一，且对不同品种柿果的影响程度不一。

**关键词：**甜柿；涩柿；单宁；果胶；相互作用；脱涩
**文章篇号：**1673-9078(2019)05-87-94 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.5.013

# Effects of Interaction between Pectin and Tannin on the Deastringency of Different Varieties of Persimmons during Maturing

**WANG Yue[1], LI Kai-kai[1], LI Chun-mei[1,2]**
(1.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)
(2.Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** To investigate the possible relationship between deastringency of persimmon and the interaction of persimmon tannin and pectin, the effect of pectin on tannin astringency was evaluated by a electronic tongue. The astringency of a solution of tannins from persimmon fruit was significantly reduced by the addition of pectin, suggesting that the interaction between tannin and pectin during the persimmon maturation might play an important role in reducing persimmon astringency. The content of both tannin and pectin and their morphological distribution in two non-astringent cultivars ('Shangxizaosheng' and 'Eshi 1') and one astringent cultivar ('Gongchengshuishi') during maturity were determined. The results of morphological distribution of both tannin and pectin showed that the tannin and pectin of the three varieties of persimmon fruit might contact and combine with each other during the maturing process. The soluble tannin contents of the two non-astringency persimmons were reduced to less than 0.1%, and the tannin content of astringency persimmon decreased to 0.4% during maturity. The increases in water-soluble pectin content of all the three kinds of persimmons were not found, indicating that the soluble tannin might be combined with the water-soluble pectin. Their combination was the cause of deastringency of the persimmon. The effects of interaction between tannin and pectin on deastringency during the different varieties persimmons maturation were different.

**Key words:** sweet persimmon; astringent persimmon; Tannin; pectin; interaction; deastringency

我国柿子产量大，资源十分丰富，通常分为涩柿和甜柿两大类[1]。一般根据柿果实涩味的差别，将柿品种分为完全甜柿（pollination content nonastringent，PCNA），不完全甜柿（pollination variant nonastringent，PVNA），不完全涩柿（pollination variant astringent，PVA），完全涩柿（pollination content astringent，PCA）[2]。柿不但色泽鲜艳、味道鲜美，而且具有药用价值[3]，柿子营养价值很高，含有多种营养成分，享有"果中圣

收稿日期：2019-01-16
基金项目：公益性行业（农业）科研专项(201203047)；国家自然科学青年基金资助项目(31701712)；湖北省自然科学基金项目(2017CFB197)；中央高校基本科研业务费专项资金资助(2662018PY058；2662016QD035)
作者简介：王玥(1994-)，女，硕士研究生，研究方向：天然产物化学
通讯作者：李春美(1973-)，女，教授，研究方向：天然产物化学

品”之誉，其中的果胶和单宁含量很高。

富含单宁是柿果有别于其它水果的典型特征，也是柿果具有很强营养保健功能的物质基础。柿单宁具有显著的抗氧化[4]、降血脂[5]、抗糖尿病[6]、降胆固醇[7]、解蛇毒[8]等生理活性，但其也会使柿子带有强烈的涩味。根据柿单宁的溶解性不同，柿单宁可分为可溶性单宁和不溶性单宁，目前的研究表明涩味主要是由可溶性单宁引起[9]。此外，柿果也富含果胶物质。果胶是细胞壁的重要组成成分，主要位于中胶层。果胶多糖主要化学成分为半乳聚糖、鼠李半乳糖醛酸聚糖（RG-Ⅰ，RG-Ⅱ）、同型半乳糖醛酸聚糖（HG）、阿拉伯聚糖等[10]。柿果中的果胶物质在柿果实成熟软化的过程中会发生一系列变化，这种变化对柿果品质的形成以及口感、涩味均具有重要的影响。

前人研究发现可溶性果胶与可溶性单宁通过体外相互作用可有效降低单宁的涩味[11]，认为柿子在成熟变软的过程中，除了乙醛使单宁凝固的脱涩外，果胶与单宁的互作可能对其脱涩也有贡献[12]。但是目前关于此脱涩理论的机制尚不明确，对于柿果胶与柿单宁在果实成熟过程中是否存在相互作用以及此作用对涩味的影响还有待研究。因此，本论文选用三种不同品种柿果为实验原料，探讨不同品种柿果脱涩机制的差异，并探究柿果胶与柿单宁可能的相互作用及对涩味的影响，进一步完善柿果脱涩理论。本研究旨在为柿果采收贮藏，采后品质调控及增强柿单宁应用的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 实验原料

恭城水柿（涩柿），九成熟未脱涩柿果，购于广西恭城，于-20 ℃冻藏。

上西早生（日本甜柿）、鄂柿一号（中国甜柿）、恭城水柿（涩柿）采自华中农业大学柿园。果实采样时间分别为 2017 年 9 月 11、25 日，10 月 11、26 日，11 月 8 日，即分为五个成熟阶段。

#### 1.1.2 主要试剂

甲醇、乙醇、丙酮、盐酸、乙二胺四乙酸二钠（EDTA）、碳酸钠等均为分析纯，硫酸（优级纯），购于国药集团有限公司；福林酚、咔唑、半乳糖醛酸、钌红等购于上海源叶生物公司。

#### 1.1.3 主要仪器

HH-4 恒温数显水浴锅、RE-52AA 旋转蒸发仪、LGJ-10 真空冷冻干燥机、JY2002 型电子天平、PHS-3C 型 pH 计、5804R 高速冷冻离心机、UV1800 紫外分光光度计、Nikon 倒置荧光显微镜、SB-5200DT 超声波清洗机、磁力搅拌器、TS-5000Z 味觉分析系统（电子舌）。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 柿果可溶性单宁和不溶性单宁提取

参考陈多多[13]的方法，取冻藏的恭城水柿（涩柿）柿果，九成熟，解冻、去蒂，切成小块后于榨汁机中打浆，采用超声波辅助提取法，可溶性柿单宁提取溶剂为 80%丙酮，60 ℃回流提取三次，每次 30 min，收集滤液；将提取完可溶性柿单宁的果渣收集，采用 1%盐酸甲醇提取不溶性柿单宁，60 ℃回流提取三次，每次 30 min，收集滤液。将收集的滤液于旋转蒸发仪浓缩至一定体积，取浓缩后提取液于 AB-8 大孔树脂吸附 40 min，经纯水洗至无糖（苯酚硫酸法检测）；最终用 95%乙醇洗脱，分别收集可溶性单宁和不溶性单宁洗脱液，旋蒸浓缩去掉有机溶剂，冷冻干燥得到两种单宁样品。

#### 1.2.2 柿果不同组分果胶的提取

参照 Moore[14]等和 Taira 等[11]方法，取冻藏的恭城水柿（涩柿）柿果，九成熟，解冻、去蒂，切成小块后于榨汁机中打浆。加入 95%乙醇于 90 ℃水浴中至乙醇煮沸 40 min，取出冷却至室温后，抽滤除去滤液；再加入 95%乙醇于 90 ℃水浴中至乙醇煮沸 40 min，如此重复几次，直至上清液中检测无糖（苯酚硫酸法）。然后再用丙酮冲洗滤渣至白色，抽滤得滤渣，于 40 ℃烘箱烘干，得到柿子的醇不溶固形物（Alcohol insoluble residue，AIR）。取柿子的 AIR，分别加入超纯水，在 90 ℃水浴中水浴 1 h，过滤取上清液，再重复提取一次，合并上清，此即为水溶性果胶（WSP）溶液。将上一步的滤渣收集，加入 50 mmol/L 的 EDTA 溶液，pH 6，在 80 ℃水浴中水浴 40 min，过滤取上清液，再重复提取一次，合并上清，此即为螯合性果胶（CSP）溶液。将上一步的滤渣收集，加入 50 mmol/L $Na_2CO_3$ 和 20 mmol/L $NaBH_4$ 溶液在 4 ℃下静置 18 h，过滤取上清液，然后再于室温下静置提取 3 h，过滤收集上清液，合并上清，此即为碱溶性果胶（NSP）溶液。

将收集到的不同组分果胶提取液进行透析，透析 48 h，期间多次换水；透析完后旋蒸浓缩过 AB-8 大孔树脂以吸附多余的多酚，最后所得水的洗脱液经旋蒸浓缩，冷冻干燥即可得到不同组分果胶。

#### 1.2.3 涩味强度测定

采用 TS-5000Z 味觉分析系统（日本 INSENT 公

司）进行分析，以 1.2.1 和 1.2.2 提取的柿单宁和柿果胶为样品，配制柿单宁（0.5 mg/mL）和柿果胶质量浓度分别为 2:1、1:1、1:5（0.25、0.5、2.5 mg/mL）比例的复合溶液，取 80 mL 于电子舌专用测试烧杯中进行测试。每种样品检测 4 次，6 个味觉传感器测得相应的数据。

### 1.2.4 光学显微镜分析

取三品种柿果赤道部果肉（横切面），切成薄块，于 FAA 固定液中固定，之后取出制成石蜡切片。脱蜡后切片用 0.02%钌红染液进行染色（用于检测未酯化果胶质）[15,16]，单宁细胞不需染色，脱蜡后即可观察到；染色后于 10×显微镜下观察。每种柿果至少制三个包埋蜡块，至少取 6 片切片进行观察。

### 1.2.5 单宁相对含量测定

印迹法(盖章法)测定单宁含量的原理是果实中可溶性单宁与 $FeCl_2$(氯化亚铁)反应，形成蓝黑色的单宁一铁复合物。单宁含量越高，复合物颜色越深，柿果可溶性单宁含量越高，涩味越重；反之，颜色越浅，柿果涩味越轻。具体做法是：将滤纸在 5% $FeCl_2$ 水溶液中浸湿，在 50~60 ℃条件下烘干，把柿果从中央横切，将切面盖在滤纸上[17]。

### 1.2.6 柿果可溶性单宁和不溶性单宁含量测定

参照 Oshida 等方法[18]，于柿果实赤道部取 5.0 g 柿果肉，切成薄片放入研钵中，加入 20.0 mL 80%甲醇溶液磨碎，5000 r/min 离心 10 min，取上清液，用 20.0 mL 80%的甲醇溶液再清洗残渣，重复以上步骤，最后取上清液定容至 50.0 mL，即为可溶性单宁；将提取完可溶性单宁以后的柿果残渣用 1%盐酸-甲醇溶液溶解，室温放置 30 min，5000 r/min 离心 10 min，取上清液，用 1%盐酸-甲醇溶液再清洗残渣，重复以上步骤，最后取上清液定容至 50 mL，即为不溶性单宁；Folin-Cioeaileu 法测定单宁含量。单宁含量以没食子酸计。

### 1.2.7 柿果不同组分果胶含量测定

每个品种取 3 个柿子，分别取部分果肉，适当混合后作为实验原料。原料速冻到-20 ℃放置。按照 1.2.2 的方法分离提取不同组分果胶。提取得到的水溶性果胶（WSP）、螯合性果胶（CSP）、碱溶性果胶（NSP）溶液均定容至 40 mL。采用咔唑比色法[19]测定不同组分果胶含量。

## 1.3 统计分析

用 Spss 20.0 对实验结果进行分析，结果用平均值±标准差的形式表示，用单因素方差分析分析结果的显著性，$p$<0.05 表示显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 柿果胶与柿单宁相互作用对柿单宁苦涩味的影响

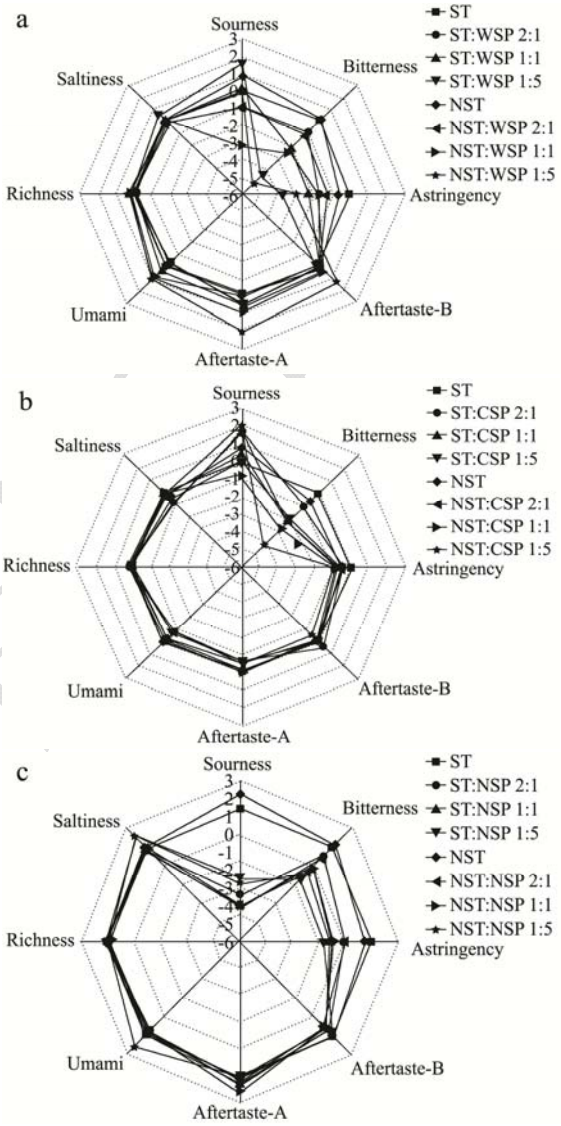



图 1 不同比例单宁果胶复合溶液的味觉雷达图

**Fig.1 Taste radar chart of different proportions of tannin pectin complex solution**

注：a：WSP；b：CSP；c：NSP；ST：可溶性单宁，NST：不溶性单宁；WSP：水溶性果胶，CSP：螯合性果胶，NSP：碱溶性果胶。

图 1 显示了在不同比例下不同组分果胶与单宁作用的味觉雷达图，结果发现未加果胶时单宁溶液的苦味、涩味值很高，添加果胶后其苦、涩味值有明显的变化，因此主要分析单宁与果胶作用前后苦味和涩味的变化。图中的横纵坐标的单位表示味觉的单位，一个单位代表样品之间味觉强度相差 20%[20]。由表 1 可

知，三种果胶均能降低单宁的苦涩味，且随着果胶浓度增大，苦涩味强度降低越明显。当单宁与果胶比例达 1:5 时，可溶性单宁与水溶性果胶（WSP-ST）作用使苦味降低 4 个单位强度，涩味降低 3 个单位强度；可溶性单宁与螯合性果胶（CSP-ST）作用使苦味降低 2 个单位强度，涩味降低 1 个单位强度；可溶性单宁与碱溶性果胶（NSP-ST）作用使苦、涩味分别降低 3 个单位强度；不溶性单宁与不同组分果胶作用结果与可溶性单宁类似。总的来说，果胶降低单宁苦涩味强度由强到弱排序为：WSP>NSP>CSP，WSP 的降涩作用最强。Taira S 等[11]研究发现可溶性柿单宁能与可溶性果胶形成复合物从而减少涩味，认为是除乙醛作用外的引起柿果脱涩的因素之一；Hayshi 等[21]通过电子舌和核磁共振氢谱研究了果胶对儿茶素涩味的影响，结果显示果胶能降低儿茶素涩味。以上结果与本研究结果一致。

表 1 柿果胶对柿单宁苦、涩味强度的影响

**Table 1 Effect of persimmon pectin on the bitterness and astringency of persimmon tannin**

| Sample | WSP | | CSP | | NSP | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bitterness | Astringency | Bitterness | Astringency | Bitterness | Astringency |
| ST | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ST:Pectin 2:1 | -0.83±0.19 | -1.83±0.69 | -1.24±0.17 | -0.39±0.02 | -1.09±0.35 | -1.95±0.60 |
| ST:Pectin 1:1 | -2.29±0.48 | -2.30±0.03 | -2.50±0.07 | -0.75±0.14 | -2.13±0.27 | -2.96±0.34 |
| ST:Pectin 1:5 | -4.46±0.89 | -3.77±0.29 | -2.19±0.04 | -0.99±0.01 | -3.46±0.06 | -3.57±0.37 |
| NST | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NST:Pectin 2:1 | -1.14±0.51 | -1.40±0.67 | -1.74±0.19 | -0.07±0.00 | -1.05±0.12 | -1.43±0.17 |
| NST:Pectin 1:1 | -2.54±0.80 | -1.85±0.25 | -2.34±0.03 | -0.39±0.09 | -2.21±0.39 | -2.23±0.61 |
| NST:Pectin 1:5 | -5.22±1.35 | -3.03±0.77 | -3.73±0.20 | -0.63±0.11 | -2.73±0.02 | -2.47±0.59 |

注：表中结果以差分形式表示，以未加果胶的 ST、NST 样品为基准，“-”表示减弱，“+”表示增强。

## 2.2 光学显微镜观察柿果成熟过程中单宁细胞与果胶分布

图 2a 为三品种柿果实成熟过程中果实外观图，日本甜柿上西早生为日本完全甜柿，属于早熟品种；中国甜柿鄂柿一号为中国完全甜柿；恭城水柿为中国完全涩柿。三种柿果实在成熟过程中均有不同的增大，颜色由青绿色转变为橙红色。

由图 2b 可知，日本甜柿上西早生的单宁细胞较小，多呈椭圆形，细长形，随着果实成熟，单宁细胞并没有明显增大，说明早期单宁细胞已停止发育，占果肉比例下降[22]；中国甜柿鄂柿一号的单宁细胞较上西早生更大、更多，多呈圆形和椭圆形，或成团聚集，单宁细胞早期有增大趋势，之后则没有明显变大，在稀释效应存在的同时可能还涉及可溶性单宁向不溶性单宁转化；涩柿恭城水柿的单宁细胞多且密，多呈圆形和椭圆形，聚集成团多且大，随着果实成熟，单宁细胞有增大的趋势。果胶主要位于细胞壁，可以观察到细胞壁部分被钌红染成紫红色，有文献报道在果实成熟前期单宁从细胞壁周围开始积累[23]。本结果中三种柿果前期单宁细胞周围也都存在果胶质的积累；随着果实成熟，果胶质明显增多，期间可能伴随着细胞壁物质的降解，细胞间空隙变大。从单宁细胞与果胶分布来看，上西早生中的细长形单宁细胞能与细胞壁结合，说明单宁能与果胶发生相互作用，可能是除稀释效应之外引起柿果脱涩的又一原因；鄂柿一号的单宁细胞在前 S1~S4 阶段均与细胞壁有间隙，在 S5 时由于果实硬度降低明显，细胞壁不再完整，单宁从液泡中被释放出来与可溶性果胶相接触[11]，二者可能发生结合，说明单宁与果胶结合可能是其成熟后期脱涩的原因之一，但不是主因；恭城水柿在成熟阶段虽然也存在细胞壁的降解，但是单宁与果胶并没有发生明显的结合，这与其在成熟过程中无法自然脱涩的现象相一致。

## 2.3 不同品种柿果在成熟过程中单宁含量变化

由图 3 可知，印迹法中单宁-铁复合物颜色越深，表示柿果单宁含量越多[17]，感官品尝涩感也越重。日本甜柿印迹法结果显示的单宁-铁复合物颜色均较浅，变化不明显，S5 时已基本无颜色，说明其本身可溶性单宁含量较低，S1 时略有涩味，到后期基本无涩味；同时单宁含量测定的结果表明上西早生的可溶性单宁和不溶性单宁含量变化均不明显，一般认为可溶性单宁含量在 0.1%以下，即感觉不到涩味[24,25]，其可溶性单宁含量从 S1 以后即降至 0.1%以下，说明上西早生

在九月初已完成脱涩。Yonemori 研究认为日本完全甜柿在幼果期单宁细胞停止发育，单宁积累停止，随果实膨大单宁细胞在鞣细胞中稀释使可溶性单宁含量相对减低，在九月前完成自然脱涩，即存在“稀释效应”[26]，且不存在乙醛的作用[27]。而其不溶性单宁含量并没有随着果实膨大而降低，在整个成熟过程中基本保持不变，表明部分可溶性单宁可能与果胶结合，可溶性单宁转化为不溶性单宁。因此，日本甜柿上西早生自然脱涩不仅与“稀释效应”有关，还存在单宁与果胶的“互作”。

中国甜柿鄂柿一号的印迹结果显示在 S1、S2 时印迹颜色较深，说明在此阶段柿果较涩，之后颜色逐渐变浅，说明可溶性单宁含量在此过程中逐渐降低，涩味逐渐降低，这与其可溶性单宁含量变化结果相对应，可溶性单宁含量在 S3 之后才降至 0.1%以下，说明其在果实成熟前才能完全脱涩，单宁细胞停止发育晚于日本甜柿；其不溶性单宁含量在 S3 之前呈下降趋势，在 S3 之后出现增加趋势，前人研究认为中国甜柿自然脱涩过程不仅与“稀释效应”有关，还存在其特有的“凝固效应”，亦即随着果实成熟，部分可溶性单宁向不溶性单宁转化[28]，而乙醛产生和果胶与单宁的作用可能是该转化过程的关键因素[29]。

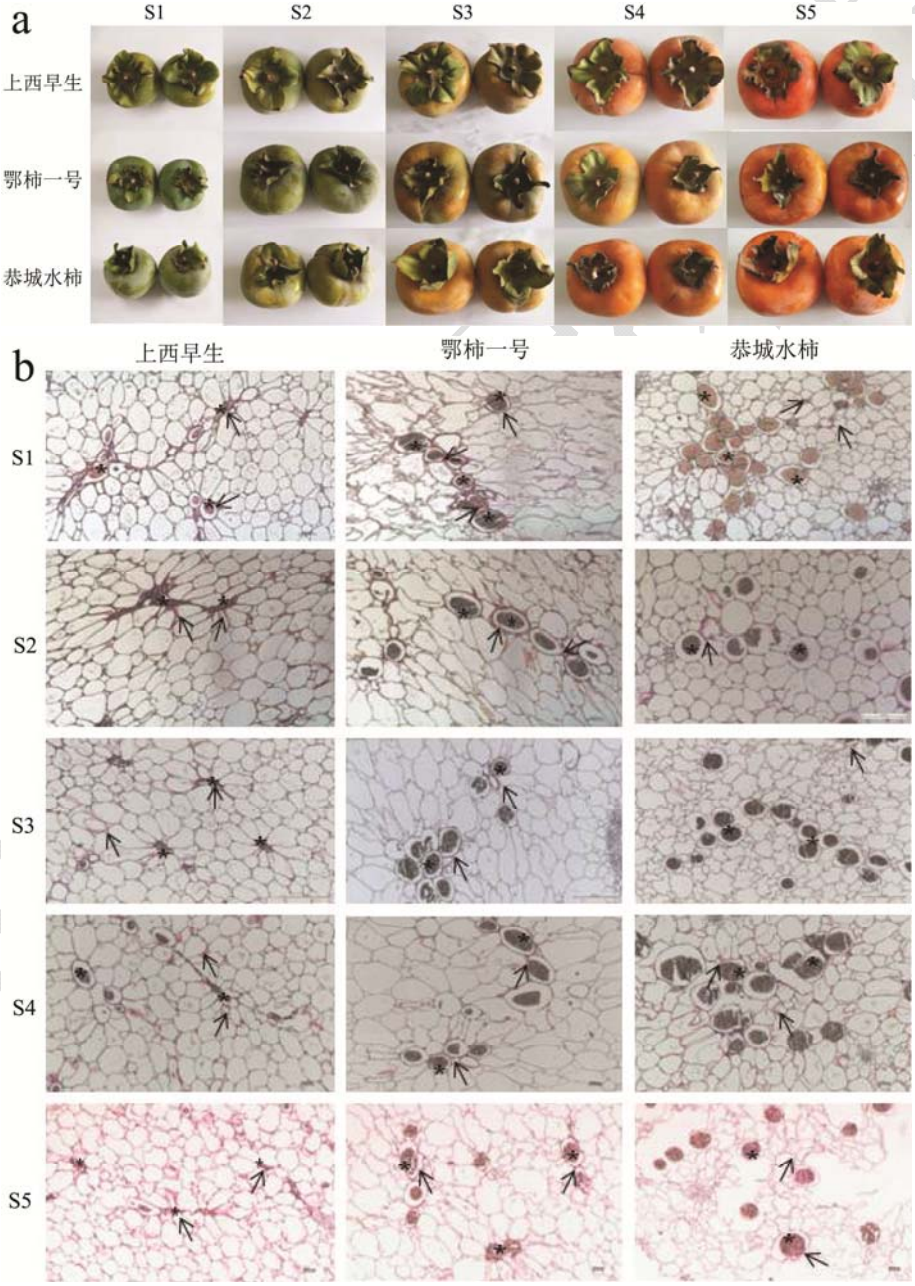



图 2 果实形貌（a）和柿果成熟过程中钌红染色图片 10×（b）

**Fig.2 Fruit morphology (a) and Image of Ruthenium Red staining during maturing of persimmon fruit (b)**

注：图 b 中“*”表示单宁细胞；箭头表示果胶质；S1~S5：柿果不同成熟阶段（五个采样时期：9.11、9.25、10.11、10.26、11.8）。

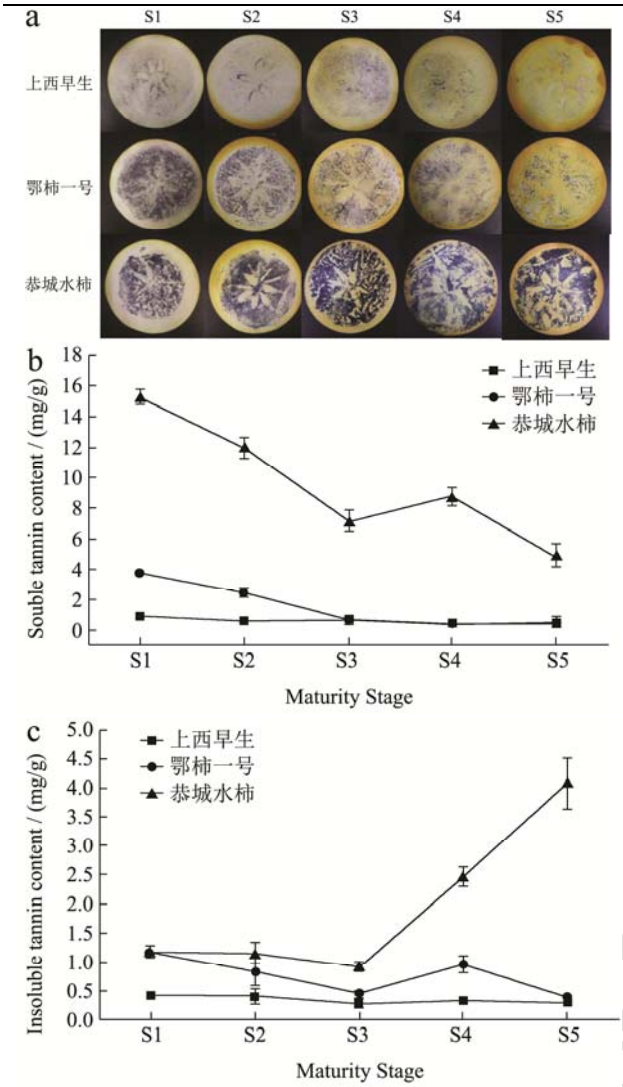



图 3 柿果成熟过程中（a）相对单宁含量变化（印迹）和（b、c）可溶性及不溶性单宁含量变化

**Fig.3 (a) Change in relative tannin content (printing method) and (b, c) change in soluble and insoluble tannin content during maturing of persimmon fruit**

注：S1~S5 表示柿果不同成熟阶段（五个采样时期：9.11、9.25、10.11、10.26、11.8）。

涩柿恭城水柿的印迹结果显示其成熟阶段印迹颜色均很深，说明其可溶性单宁含量高，涩味重；其可溶性单宁含量呈降低趋势，但仍远高于 0.1%，不溶性单宁含量则呈升高趋势，表明其也存在部分可溶性单宁向不溶性单宁转化，果胶与单宁结合转化为不溶性单宁可能存在，但是由于其不能自然脱涩，此种作用的影响很小。结果说明，甜柿和涩柿成熟过程中脱涩机制不同，中国和日本甜柿的脱涩机制也存在差异。

## 2.4 不同品种柿果在成熟过程中不同组分果胶含量变化

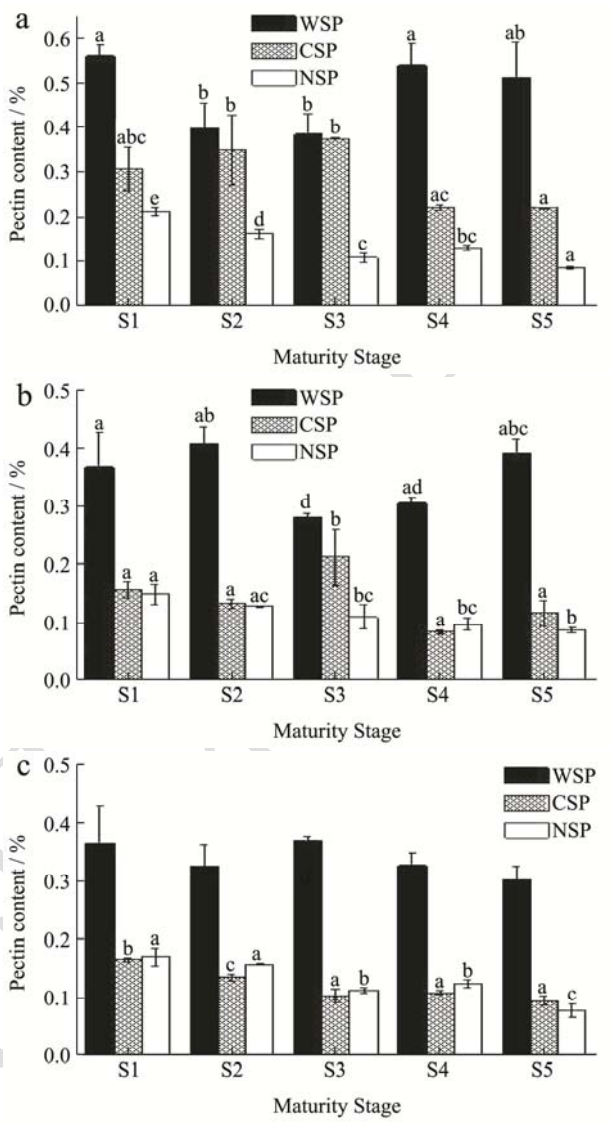



图 4 柿果成熟过程中不同组分果胶含量变化

**Fig.4 Changes in pectin content of different components during maturing of persimmon fruit**

注：a：上西早生；b：鄂柿一号；c：恭城水柿；S1~S5 表示柿果不同成熟阶段（五个采样时期：9.11、9.25、10.11、10.26、11.8）；图中不同成熟阶段同种果胶含量标示的不同小写字母表示差异显著($p$<0.05)。

三种柿果在成熟过程中的不同组分果胶含量变化如图 4 所示。一般认为在果实成熟过程中，原果胶（CSP、NSP）含量降低，水溶性果胶（WSP）含量升高，而本实验结果发现三种柿果在成熟过程中，WSP 含量并不是呈单纯的上升趋势。此结果表明在柿果成熟过程中 WSP 可能与可溶性单宁结合生成单宁-果胶复合物，进而对柿果涩味产生影响。日本甜柿上西早生在 S2 时期 WSP 含量就已降低，说明在此之前单宁与 WSP 已结合，此时其已经基本完成脱涩；中国甜柿鄂柿一号 WSP 含量开始降低晚于上西早生，说明其可溶性单宁与 WSP 结合晚于上西，在 S5 时才

能完全脱涩；涩柿恭城水柿的 WSP 含量虽然呈降低趋势，但无显著性差异，由于其无法自然脱涩，可溶性单宁与 WSP 结合作用可能十分有限，涩味仍然很重。Taira 等[11]在排除乙醛作用后，比较‘平核无’（PVA）果肉软化脱涩前后果胶含量的变化，发现总果胶含量的下降并未导致可溶性果胶含量上升，推测脱涩是因为形成了果胶-单宁复合体。关长飞等[30]采用 qRT-PCR 分析，结合单宁及水溶性果胶含量测定，认为‘鄂柿 1 号’（PCNA）果实经 40 ℃温水处理后脱涩的原因可能包含单宁与果胶形成了复合体和乙醛作用两方面的因素。因此，由三种柿果在成熟过程中的果胶及单宁含量变化规律，及分布规律，推测果胶与单宁结合可能是引起柿果脱涩的因素之一，且不同品种柿果的影响程度不一。

## 3 结论

本文采用电子舌评价柿单宁与柿果胶体外相互作用的涩味强度，结果表明，柿果胶能显著降低柿单宁涩味，且降涩能力：WSP>NSP>CSP，WSP 的降涩作用最强。因此推测在柿果实中果胶与单宁的相互作用是柿果脱涩因素之一。为了验证此假设，以日本甜柿上西早生、中国甜柿鄂柿一号和涩柿恭城水柿为研究对象，研究了不同品种柿果成熟过程中单宁和果胶的含量变化及其形态分布情况，探讨了二者在柿果成熟过程中可能的相互作用及对涩味的影响。初步推测单宁的“稀释效应”及与果胶的相互作用是日本甜柿上西早生脱涩的主要原因；中国甜柿鄂柿一号自然脱涩涉及到单宁的“稀释效应”及“凝固作用”，可能也存在单宁与果胶相互作用，但不是主要原因；涩柿恭城水柿在成熟过程中无法自然脱涩，单宁与果胶作用对其脱涩的影响很小。

## 参考文献


[1] 刘月梅,鲁周民,白小安,等.我国柿子加工研究进展[J].西北林学院学报,2007,22(2):152-155
LIU Yue-mei, LU Zhou-min, BAI Xiao-an, et al. Research progress of persimmon process in China [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(2): 152-155

[2] George A P, Mowat A D, Collins R J, et al. The pattern and control of reproductive development in non-astringent persimmon (*Diospyros kaki*, L.): A review [J]. Scientia Horticulturae, 1997, 70(2-3): 93-122

[3] 蔡健,宋华,徐良,等.柿子资源开发与利用[J].食品研究与开发,2005,26(6):115-117
CAI Jian, SONG Hua, XU Liang, et al. Synthetical development and utilization of the persimmon resource [J]. Food Research and Development, 2005, 26(6): 115-117

[4] 陈美红.柿单宁抗氧化活性及水解工艺研究[D].武汉:华中农业大学,2009
CHEN Mei-hong. The study on antioxidant activities and degration process of persimmon tannin [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2009

[5] Zou B, Li C, Chen J, et al. High molecular weight persimmon tannin is a potent hypolipidemic in high-cholesterol diet fed rats [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 970-977

[6] Nazir A, Wani S M, Gani A, et al. Nutritional, antioxidant and antiproliferative properties of persimmon (*Diospyros kaki*)-a minor fruit of J&K India [J]. International Journal of Advanced Research, 2013, 1: 545-554

[7] Gorinstein S, Leontowicz H, Leontowicz M, et al. Influence of two cultivars of persimmon on atherosclerosis indices in rats fed cholesterol-containing diets: Investigation *in vitro* and *in vivo* [J]. Nutrition, 2011, 27(7): 838-846

[8] Gu H, Li C, Dong X, et al. Inhibition of *Agkistrodon acutus* and *Agkistrodon halys* Pallas venom activities by high molecular weight tannin from persimmon pulp [C] // V International Symposium on Persimmon 996. 2012: 427-436

[9] 宿福园.参与柿单宁代谢的 MYB、bHLH 及 WD40 转录因子基因的克隆及分析[D].武汉:华中农业大学,2012
SU Fu-yuan. Isolation and characterization of MYB, basic helix-loop-helix and WD40 transcription factors genes involved in persimmon proanthocyanidin metabolism [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2012

[10] Mohnen D. Pectin structure and biosynthesis [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2008, 11(3): 266

[11] Taira S, Ono M, Matsumoto N. Reduction of persimmon astringency by complex formation between pectin and tannins [J]. Postharvest Biology & Technology, 1997, 12(3): 265-271

[12] Taira S. Reduction of astringency in persimmon caused by adhesion of tannins to cell wall fragments [J]. Acta Hortic, 1997, 436(436): 235-241

[13] 陈多多.“胃柿石”形成风险初探[D].武汉:华中农业大学,2018
CHEN Duo-do. Preliminary study on the risk of the formation of "persimmon bezoars"[D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2018

[14] Moore J P, Nguema-Ona E, Fangel J U, et al. Profiling the main cell wall polysaccharides of grapevine leaves using high-throughput and fractionation methods [J]. Carbohydrate

Polymers, 2014, 99: 190-198

[15] Strasburger E. Handbook of Practical Botany [M]. NewYork: The MacMillan Company, 1924

[16] 白蕾.水稻脆茎和卷叶突变体的解剖和化学特性及其生理生态学特征[D].兰州:兰州大学,2008
BAI Lei. The anatomical and chemical characteristics of a culm-brittleness and a leaf-rolling mutants of rice and their ecophysiological properties [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008

[17] Eaks I L. Ripening and astringency removal in persimmon fruits [J]. Proc Am Soc Hortic Sci, 1967, 91: 868-875

[18] Oshida M, Yonemori K, Sugiura A. On the nature of coagulated tannins in astringent-type persimmon fruit after an artificial treatment of astringency removal [J]. Postharvest Biol Technol, 1996, 8(4): 317-327

[19] 尚雪波,帅鸣.柑橘皮中果胶含量的测定[J].湖南农业科学,2010,9:88-90
SHANG Xue-bo, SHUAI Ming. Determination of pectin content in citrus peel [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2010, 9: 88-90

[20] Yusuke Tahara, Kiyoshi Toko. Electronic tongues-a review [J]. Ieee Sensors Journal, 2013, 13(8): 3001-3011

[21] Hayashi N, Ujihara T, Kohata K. Reduction of catechin astringency by the complexation of gallate-type catechins with pectin [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2005, 69(7): 1306-1310

[22] 费学谦,周立红,王劲凤.柿自然脱涩能力与单宁细胞发育规律的研究[J].林业科学研究,1996,9(1):27-31
FEI Xue-qian, ZHOU Li-hong, WANG Jin-feng. Relationship between the capcity of deastrigency and development of tannin cell in persimmon fruits [J]. Forest Research, 1996, 9(1): 27-31

[23] Tessmer Magda Andréia, Kluge R A, Appezzato-da-Glória Beatriz. The accumulation of tannins during the development of ‘Giombo’ and ‘Fuyu’ persimmon fruits [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 172: 292-299

[24] Kato K. The condition of tannin and sugar extraction, the relation of tannin concentration to astringency and the behaviour of ethanol during the de-astringency by ethanol in persimmon fruits [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1984, 53: 127-134

[25] Yamada M, Taira S, Ohtsuki M, et al. Varietal differences in the ease of astringency removal by carbon dioxide gas and ethanol vapor treatments among Oriental astringent persimmons of Japanese and Chinese origin [J]. Scientia Horticulturae, 2002, 94: 63-72

[26] Yonemori K, Matsushima J. Property of development of the tannin cells in non-astringent type fruits of Japanese persimmon (*Diospyros kaki*) and its relationship to natural deastringency [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1985, 54(2): 201-208

[27] 王燕.中国原产完全甜柿自然脱涩机理研究[D].武汉:华中农业大学,2010
WANG Yan. The mechanism of natural astrigency-loss in Chinese pollination-cons and non-astrigency persimmons [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2010

[28] 陈道明.中国原产完全甜柿‘鄂柿 1 号’自然脱涩特点研究[D].武汉:华中农业大学,2008
CHEN Dao-ming. Study on natural loss propety of aatringency in ‘Eshi 1’, a PCNA cultivar newly found in central China [D]. Wuhan: Huanzhong Agriculture University, 2010

[29] Guan C F, Chen L, Chen W X, et al. SSAP analysis reveals candidate genes associated with deastringency in persimmon (*Diospyros kaki Thunb.*) treated with 40 ℃ water [J]. Tree Genetics and Genomes, 2015, 11(2): 20-24

[30] 关长飞.中国甜柿 cDNA-SSAP 文库构建及自然脱涩相关基因功能验证[D].武汉:华中农业大学,2016
GUAN Chang-fei. Construction of eDNA-SSAP library and functional confirmation of genes involved in natural deastringency in C-PCNA persimmon [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2016

（上接第 86 页）

[25] Feyzioglu G C, Tornuk F. Development of chitosan nanoparticles loaded with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for antimicrobial and antioxidant delivery applications [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 70(2): 104-110

[26] LI Dahong, LI Lu, XIAO Nan, et al. Physical properties of oil-in-water nanoemulsions stabilized by OSA-modified starch for the encapsulation of lycopene [J]. Colloids and Surfaces A, 2018, 552(9): 59-66