

# 不同成熟度灵武长枣食用及营养品质研究

苟茜<sup>1</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 冀晓龙<sup>1,2</sup>, 沈静<sup>1</sup>, 汪有科<sup>3</sup>, 段旭昌<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2. 青岛中一监测有限责任公司, 山东青岛 266000)

(3. 西北农林科技大学国家节水灌溉工程中心, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 本文研究了不同成熟度(白绿、微红、大半红、全红)灵武长枣成熟过程中果实的食用及营养品质的变化规律, 以明确其营养特点, 并为其适时采收提供科学依据。结果表明: (1) 在成熟过程中, 灵武长枣中环磷酸腺苷含量与蔗糖含量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 葡萄糖含量与柠檬酸含量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 奎宁酸含量与草酸含量呈显著负相关( $p < 0.05$ ); (2) 成熟(全红)的灵武长枣的糖酸比达到 104.59, 且其奎宁酸含量较高, 达 0.26%, 是鲜枣风味形成的重要物质; (3) 成熟(全红)灵武长枣中除还含有大量粗纤维(8.26%)和环核苷酸等营养物质外, K 元素含量高达 9.90 mg/g, 表明灵武长枣是一种富钾鲜枣果; (4) 全红灵武长枣达到最佳口感, 其食用品质和营养品质俱佳, 而大半红时期的灵武长枣食用及营养品质接近全红期, 故该时期可作为鲜果保存的最适采收时期。

**关键词:** 灵武长枣; 成熟度; 理化性质; 营养成分

文章编号: 1673-9078(2014)11-98-104

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.11.019

## Dietary and Nutritional Properties of Lingwu Long Jujube at Various Stages of Maturation

GOU Qian<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, JI Xiao-long<sup>1,2</sup>, SHEN Jing<sup>1</sup>, WANG You-ke<sup>3</sup>, DUAN Xu-chang<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

(2. Qingdao Zhongyi Monitoring Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

(3. National Engineering Center for Irrigation Water Savings, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Variation in the dietary and nutrient qualities of Lingwu Long Jujube during four ripening stages (white-green, reddish, over half red, and fully red) was investigated to clarify the nutrient characteristics of the fruit, and to provide a scientific basis for its timely harvest. The results showed that during the ripening of Lingwu Long Jujube, the cyclic adenosine monophosphate content was significantly positively correlated with sucrose content ( $p < 0.01$ ), glucose content and citric acid were significantly positively correlated ( $p < 0.01$ ), and quinic acid content was significantly negatively correlated with oxalic acid content ( $p < 0.05$ ). The sugar to acid ratio in mature (fully red), Lingwu Long Jujube fruits was 104.59, with a relatively high quinic acid content (up to 0.26%), which is an important substance for the flavor of fresh jujube. In addition to large amounts of crude fiber (8.26%) and cyclic nucleotides, mature (fully red) Lingwu Long Jujube fruits also contained potassium at a level as high as 9.90 mg/g, indicating it is a potassium-rich fruit. Lingwu Long Jujube fruits had the best taste at the fully red stage. They had good dietary and nutritional qualities. At the over half red stage, these qualities were similar to those at the fully red stage. Thus, the over half red stage is the optimal harvesting time for the storage of fresh fruits.

**Key words:** Lingwu Long Jujube; maturity; physicochemical properties; nutrient composition

枣 (*Zizyphus jujube* Mill.) 是鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Zizyphus* Mill) 植物; 原产于我国, 至今已有四

收稿日期: 2014-05-14

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2013KTZB02-03-04); 西北农林科技大学推广项目(NYY2013-52)

作者简介: 苟茜(1991-), 女, 硕士, 研究方向为食品营养与化学

通讯作者: 王敏(1967-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为食品化学与分析及西部特色药食兼用资源加工利用

千多年的栽培历史, 主要分布在黄河中下游地区。鲜枣果实肉脆、味美, 酸甜可口, 营养丰富; 富含Vc、多种氨基酸、酚类物质及微量元素; 枣中含有丰富的环磷酸腺苷(cAMP)和环磷酸鸟苷(cGMP), 是迄今人们发现环磷酸腺苷(cAMP)含量最高的高等植物<sup>[1]</sup>。

长期以来, 传统枣以干枣消费为主, 随着鲜食枣品种的不断挖掘和消费者对新鲜水果的需求提高, 食

用鲜枣逐渐由一种时尚消费变成日常消费,因此鲜食枣国内市场份额极大。灵武长枣(*Ziziphus jujuba* Mill cv. Lingwu Long jujube), 别名马牙枣,是指原产于宁夏回族自治区灵武市的一种优良干鲜兼用枣树品种,近些年来随着密植方式在宁夏灵武地区进行推广与应用,灵武长枣的标准化产业基地已达8.60万亩,产量近200万公斤。灵武长枣以个大、色红、风味酸甜适口、营养丰富而驰名<sup>[2]</sup>,是冬枣、梨枣之后为数不多的一种达到规模化经营的鲜食枣品种,目前在当地已取得良好生态效益、社会效益和经济效益。

目前,虽然魏天军等<sup>[3]</sup>对灵武长枣在采前发育成熟期,其果肉硬度、水溶性糖、酸和维生素C、淀粉含量等变化规律以及采后呼吸强度进行了研究,但其成熟过程中主要营养成分、风味物质和环核苷酸的变化规律还未见报道。本试验以不同成熟度灵武长枣(白绿、微红、大半红、全红)为试验材料,对不同成熟度灵武长枣果实理化品质和营养成分变化进行系统研究,以期明确灵武长枣食用及营养特性、确定适宜采收成熟度提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

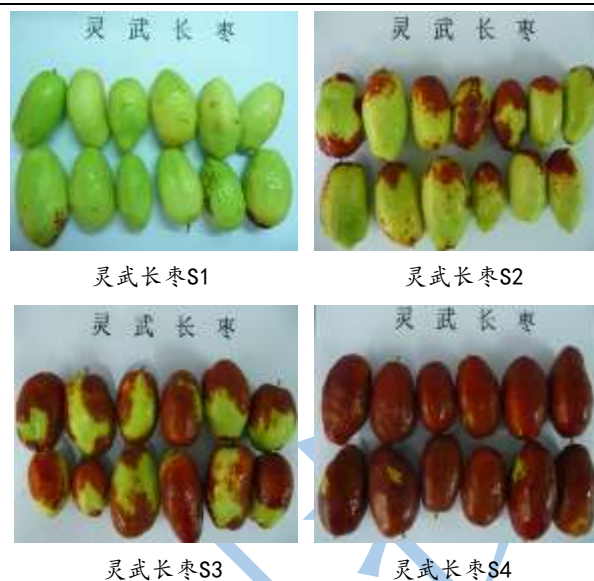
灵武长枣系2013年采摘于宁夏灵武市盛康源红枣酒业生物科技有限公司灵武长枣试验基地。从不同树体上人工随机采摘大小一致、且带果柄、无病虫害、无机械伤成熟度不同的果实,并对灵武长枣进行分级处理(见表1)。分级灵武长枣及时放入冷库12 h预冷处理后装入专用微孔保鲜膜袋内。所有过程轻拿轻放,避免枣果磕伤。隔天冷藏条件下运往目的地后置于0~3 °C冷库中保鲜。

表1 灵武长枣按不同成熟度进行分级标准

Table 1 Grading standards for Lingwu Long Jujube at various maturation stages

| 序号 | 成熟度 | 标准                    |
|----|-----|-----------------------|
| S1 | 未成熟 | 枣果表面全绿, 硬度大           |
| S2 | 四成熟 | 枣果表面约 1/4~1/2 红       |
| S3 | 八成熟 | 枣果表面约 1/2~3/4 红, 呈亮红色 |
| S4 | 成熟  | 枣果表面全红, 呈褐红色, 为完熟期枣   |

氢氧化钠、酚酞试剂、乙醇、磷酸钠、硫酸、盐酸、甲醇等试剂均为分析纯; 甲醇、磷酸二氢钾均为色谱纯, 环磷酸腺苷、环磷酸鸟苷标准品, 上海源叶生物科技有限公司; 果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸标准品, 上海博蕴生物科技有限公司。



### 1.2 仪器与设备

DHG-9203A型电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏试验设备有限公司; KQ-700DE型数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; WYT型手持糖度计, 成都星辰光光学仪器有限公司; UV-1600型紫外-可见分光光度计, 上海美普达仪器有限公司; Z-2000型火焰石墨炉原子吸收光谱仪, 日立高新技术公司; PHS-3C型pH计, 上海精密科学仪器有限公司; JD400-3型电子分析天平、ESJ120-4型电子天平、HH-4型数显恒温水浴锅, 国华电器有限公司; RE-52AA型旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; LC-2010AHT型液相色谱仪(配有可变波长紫外检测器), 日本岛津公司。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 水分含量和可溶性固形物测定

称取5 g灵武长枣切碎, 放入铝盒在105 °C烘至恒重(两次相差不超过2 mg); 将灵武长枣去核、榨汁, 20 °C用WYT手持糖度计测定灵武长枣可溶性固形物。

#### 1.3.2 pH值测定

取一定量的灵武长枣研磨, 加两倍量水。3000 r/min离心10 min。用校准pH计测pH值, 连续测两次, 两次相差不超过0.1单位。

#### 1.3.3 可滴定酸测定

取灵武长枣研磨, 用煮沸过的蒸馏水定容至100 mL过滤后取50 mL, 用0.05 mol/L NaOH滴定至pH=8.1; 可滴定酸含量以柠檬酸当量表示。

#### 1.3.4 还原糖和总糖测定

灵武长枣中总糖和还原糖测定采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定。

### 1.3.5 粗蛋白和粗纤维素测定

按GB 5009.5-2010食品安全国家标准 食品中蛋白质测定方法测定灵武长枣中粗白含量；按GB/T 5009.10-2003植物类食品中粗纤维测定方法测定灵武长枣中粗纤维含量。

### 1.3.6 矿物质元素测定

样品经浓硝酸-高氯酸消化法处理，采用火焰原子吸收分光光度法测定钾、钙、镁、铁、锌、铜、锰矿物元素。

### 1.3.7 环核苷酸测定

准确称取10 g灵武长枣样品，用15%乙醇溶解，超声提取20 min后4000 r/min离心20 min，重复3次，合并上清液。在50 °C旋转蒸发，最后用超纯水定容于25 mL容量瓶中，过0.45 μm微孔滤膜，用高效液相色谱法进行测定。

色谱柱：Venusil MP C18 (4.6×250×5 μm) 流动相：甲醇与20 mmol/L磷酸二氢钾（体积比20:80），流速：0.8 mL/min，温度：室温，检测波长：254 nm，进样量：10 μL。

### 1.3.8 可溶性糖和有机酸组成及含量分析

样品提取物制备：称取灵武长枣10 g，加入60 mL 100%乙醇（*m/V*），均质，超声提取30 min，4000 r/min离心15 min，收集上清液，重复提取两次。合并上清液，55 °C旋转蒸干，超纯水溶解并定容至25 mL，-20 °C冰箱中保存备用。测试前用0.45 μm针式过滤器过滤。

测定可溶性糖HPLC条件：Waters色谱系统配备示差折光检测器，Inertsil NH<sub>2</sub>色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm），柱温35 °C，流速1.4 mL/min，流动相为80%乙腈和20%去离子水，进样量10 μL。

测定有机酸的HPLC条件：Waters色谱系统配备2487 UV-Vis检测器，Atlantis T3 型色谱柱（4.6×150 mm，3 μm），检测波长为210 nm，柱温为室温，进样量20 μL，流速 0.8 mL/min，流动相是磷酸二氢铵溶液（pH=2.6）。

## 1.4 数据处理

数据统计分析采用Excel和DPS 7.05分析软件进行处理，所有样品进行重复试验，结果以平均值±标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验结果

#### 2.1.1 不同成熟度灵武长枣水分含量和可溶性固形物含量变化

不同成熟度的灵武长枣水分含量和可溶性固形物的变化如图1所示，不同成熟度灵武长枣水分含量不存在显著性差异（ $P > 0.05$ ），介于20.85%~26.60%之间。不同成熟度灵武长枣对其可溶性固形物含量存在显著性差异（ $P < 0.05$ ），所测可溶性固形物含15.00%~25.10%之间，随着果实成熟，灵武长枣中可溶性固形物含量不断上升，其中S1~S3上升迅速，S3~S4基本稳定，到全红时达到最高值为25.10%，是S1灵武长枣的1.67倍。

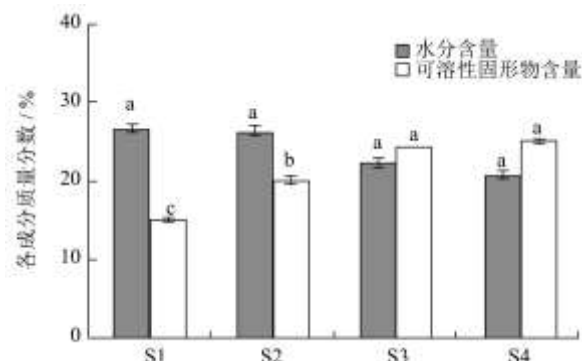


图1 不同成熟度灵武长枣水分含量和可溶性固形物含量变化

Fig.1 Moisture content and soluble solids in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

#### 2.1.2 不同成熟度灵武长枣还原糖和总糖含量变化

不同成熟度灵武长枣还原糖和总糖含量的变化如图2所示，不同成熟度灵武长枣对其总糖含量存在显著性差异（ $P < 0.05$ ），不同成熟度的枣果总糖含量均逐渐增加，灵武长枣的总糖含量介于6.50%~17.00%之间，其中S4中总糖含量比S1高2.52倍。不同成熟度灵武长枣对其还原糖含量存在差异，不同成熟度的枣果还原糖含量均逐渐增加，灵武长枣中还原糖含量介于5.80%~14.50%之间，其中S4中总糖含量比S1高2.47倍。

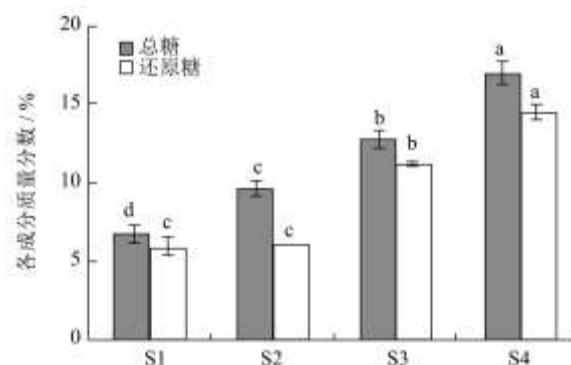


图2 不同成熟度灵武长枣总糖和还原糖含量变化

Fig.2 Total sugar and reducing sugar in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

#### 2.1.3 不同成熟度灵武长枣 pH 值和可滴定酸含量变化

不同成熟度灵武长枣pH值和可可滴定酸含量的变



化如图3所示, 不同成熟度灵武长枣pH值存在差异 ( $P<0.05$ ), 灵武长枣的pH值介于4.50~5.40之间; S1~S2灵武长枣pH值明显下降, S2~S4逐步趋向于稳定。

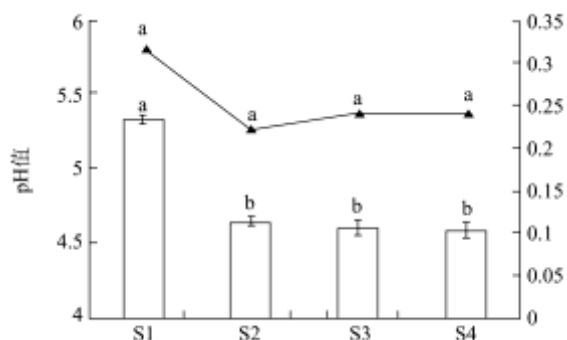


图3 不同成熟度灵武长枣 pH 值和可滴定酸含量变化

Fig.3 pH value and titratable acidity in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

不同成熟度灵武长枣的可滴定酸含量没有显著性差异 ( $P>0.05$ ), 所测可滴定酸含量在0.24%~0.32%之

表2 不同成熟度灵武长枣有机酸组分变化 (%)

Table 2 Organic acid content of Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages (%)

| 成熟阶段 | 草酸  | 苹果酸  | 柠檬酸                                       | 琥珀酸  | 奎宁酸  |
|------|---|--|---|--|--|
| S1   | 0.04±(0.80×10 <sup>-2</sup> ) <sup>ab</sup> | 0.27±(0.75×10 <sup>-2</sup> ) <sup>c</sup> | 0.17±(2.7×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.02±(0.91×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.29±(0.71×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> |
| S2   | 0.03±(0.13×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup>  | 0.23±(0.46×10 <sup>-2</sup> ) <sup>c</sup> | 0.18±(3.2×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.02±(0.05×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.36±(0.76×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> |
| S3   | 0.06±(0.43×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup>  | 0.39±(1.40×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.17±(1.3×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.06±(0.53×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> | 0.14±(1.10×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> |
| S4   | 0.05±(0.38×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup>  | 0.48±(0.75×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> | 0.33±(5.8×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> | 0.06±(0.63×10 <sup>-2</sup> ) <sup>a</sup> | 0.26±(6.9×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup>  |

### 2.1.5 不同成熟度灵武长枣可溶性糖含量变化

表3 不同成熟度灵武长枣可溶性糖组分变化 (%)

Table 3 Soluble sugar content in Lingwu Long Jujube at different maturation stages (%)

| 成熟阶段 | 果糖                     | 葡萄糖  | 蔗糖  |
|------|------------------------|--|---|
| S1   | 6.37±0.71 <sup>b</sup> | 1.02±0.12 <sup>c</sup>                     | 未检测出  |
| S2   | 6.15±0.26 <sup>b</sup> | 2.23±0.08 <sup>b</sup>                     | 0.18±(0.07×10 <sup>-2</sup> ) <sup>bc</sup> |
| S3   | 5.61±0.05 <sup>b</sup> | 1.93±(0.01×10 <sup>-2</sup> ) <sup>b</sup> | 0.64±0.22 <sup>b</sup>                      |
| S4   | 8.68±0.08 <sup>a</sup> | 7.72±0.13 <sup>a</sup>                     | 1.68±0.18 <sup>a</sup>                      |

蔗糖、葡萄糖和果糖是灵武长枣果实中3种主要的可溶性糖。不同成熟度灵武长枣中可溶性糖组分含量变化如表3所示, 不同成熟度灵武长枣中果糖、葡萄糖、蔗糖含量存在显著性影响 ( $P < 0.05$ )。果糖为灵武长枣中含量最高的单糖, 其范围为5.60%~8.70%, 其次为葡萄糖、蔗糖。灵武长枣成熟过程中, 果糖、葡萄糖和蔗糖不断积累, 其中果糖和葡萄糖含量在S2-S3阶段都有小幅下降, 到S4又快速积累, 分别达到8.68%、7.72%; 而蔗糖在S1期并未检出, S2-S4基本呈线性增长, 含量达到1.68%。

### 2.1.6 不同成熟度灵武长枣粗蛋白和粗纤维素变化

间, 随着果实的成熟, 灵武长枣中可滴定酸含量呈不断降低后微微上升的趋势, 到全红期达到稳定。

糖酸比是可溶性固形物与可滴定酸的比值。不同成熟度灵武长枣糖酸比有显著性差异 ( $P<0.05$ ); S1、S2、S3、S4四种成熟度灵武长枣中糖酸比分别为47.03、91.14、101.33、104.59, S1~S2迅速上升后, S2~S4趋于稳定, 其中S4灵武长枣糖酸比是S1的2.22倍。

### 2.1.4 不同成熟度灵武长枣有机酸组分含量变化

不同成熟度对灵武长枣中有机酸组分含量影响如表2所示, 苹果酸、柠檬酸、奎宁酸是灵武长枣中含量较高的有机酸物质, 灵武长枣 S1 阶段各种有机酸含量最低, 其后随着灵武长枣的成熟, 除草酸在S3~S4略有下降外, 苹果酸、柠檬酸和琥珀酸含量不断升高, 而奎宁酸则在 S2~S3 期间明显下降, 到 S4 有上升, 最终达到 0.26%。

不同成熟度灵武长枣粗蛋白和粗纤维含量的变化如图4所示, 不同成熟度灵武长枣对其粗蛋白含量存在显著性差异 ( $P<0.05$ ), 不同成熟度的枣果粗蛋白含量呈降→升→降的趋势, 灵武长枣的粗蛋白含量介于4.10%~7.30%, 其中S3中粗蛋白含量比S4高1.37倍。不同成熟度灵武长枣对其粗纤维含量不存在显著性差异 ( $P>0.05$ ), 灵武长枣的粗纤维含量介于8.30%~10.10之间。

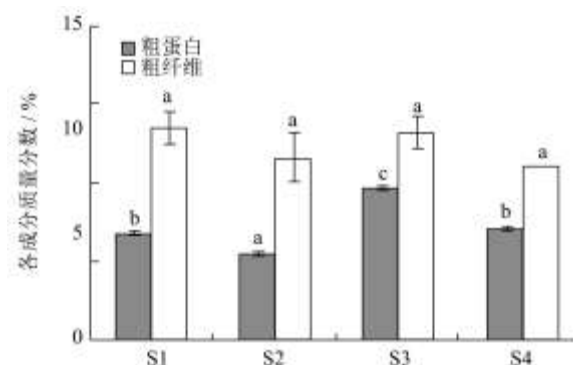


图4 不同成熟度灵武长枣粗蛋白和粗纤维含量变化 (由于 s4 粗纤维的标准差太小在图中无法显示)

Fig.4 Protein and crude fiber contents in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

### 2.1.7 不同成熟度灵武长枣矿物质元素变化

不同成熟度灵武长枣矿物质元素变化见表4所示, 灵武长枣中含有丰富的无机矿物质元素, 不同成熟度对灵武长枣中所测矿物质元素之间没有显著性差异 ( $P>0.05$ ), 其中K是含量最丰富的矿物元素, 含量为  $9.90\text{ mg/g}\sim 10.15\text{ mg/g}$ , 不同成熟度灵武长枣中Ca元素含量总体呈现先上升后下降的趋势。

表4 不同成熟度灵武长枣矿物质元素变化

Table 4 Mineral elements in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

| 矿物质元素       | S1                  | S2                  | S3                | S4               |
|-------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| K(mg/g)     | $10.15\pm 0.27^a$   | $8.99\pm 0.01^a$    | $10.66\pm 0.79^a$ | $9.90\pm 0.88^a$ |
| Ca(mg/g)    | $0.37\pm 0.02^{ab}$ | $0.41\pm 0.01^{ab}$ | $0.49\pm 0.02^a$  | $0.33\pm 0.07^b$ |
| Mg(mg/g)    | $0.37\pm 0.01^a$    | $0.35\pm 0.01^a$    | $0.35\pm 0.01^a$  | $0.31\pm 0.07^a$ |
| Fe(mg/100g) | $3.70\pm 0.65^a$    | $3.81\pm 0.90^a$    | $3.22\pm 0.84^a$  | $3.21\pm 0.42^a$ |
| Zn(mg/100g) | $0.77\pm 0.16^a$    | $0.94\pm 0.44^a$    | $0.96\pm 0.03^a$  | $1.00\pm 0.29^a$ |
| Cu(mg/100g) | $0.21\pm 0.01^a$    | $0.23\pm 0.04^a$    | $0.24\pm 0.01^a$  | $0.21\pm 0.01^a$ |
| Mn(mg/100g) | $0.61\pm 0.05^a$    | $0.54\pm 0.01^a$    | $0.50\pm 0.01^a$  | $0.58\pm 0.14^a$ |

### 2.1.8 不同成熟度灵武长枣环磷酸腺苷和环磷酸鸟苷含量变化

不同成熟度灵武长枣中环磷酸腺苷和环磷酸鸟苷含量变化如图5所示, 其中环核苷酸总量由环磷酸腺苷和环磷酸鸟苷的和表示。不同成熟度灵武长枣环磷酸腺苷含量存在显著性差异 ( $P<0.05$ ), 不同成熟度的灵武长枣中环磷酸腺苷含量介于  $2.30\text{ }\mu\text{g/g}\sim 22.20\text{ }\mu\text{g/g}$  之间, 从S2开始快速增加, S4中环磷酸腺苷含量比S2高9.53倍。不同成熟度灵武长枣环磷酸鸟苷含量不存在显著性差异, 灵武长枣的环磷酸鸟苷含量介于

$21.90\text{ }\mu\text{g/g}\sim 31.30\text{ }\mu\text{g/g}$  之间。以环磷酸腺苷和环磷酸鸟苷的和表征环核苷酸含量, 由图5知, 不同成熟度灵武长枣中环核苷酸含量没有显著性差异, 介于  $30.28\text{ }\mu\text{g/g}\sim 46.95\text{ }\mu\text{g/g}$  之间, 其中成熟 (S4) 灵武长枣环核苷酸含量最高, 达  $46.95\text{ }\mu\text{g/g}$ 。

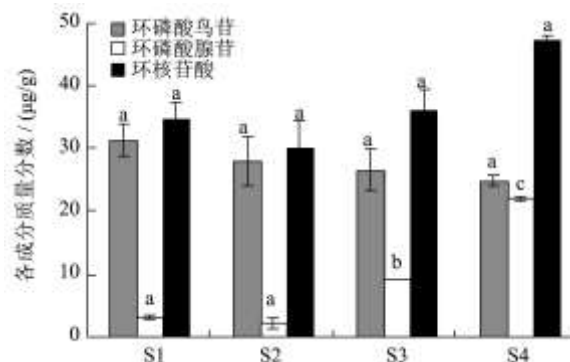


图5 不同成熟度灵武长枣环核苷酸含量变化(S3 环磷酸腺苷标准偏差太小在图中无法显示)

Fig.5 Cyclic nucleotide content in Lingwu Long Jujube fruits at different maturation stages

### 2.1.9 相关性分析

灵武长枣成熟过程中主要营养成分之间相关性分析见表5, 其中, 环磷酸腺苷与葡萄糖含量显著相关, 与蔗糖含量相关性极显著, R值达到0.99。果糖与柠檬酸含量显著相关。葡萄糖与蔗糖含量显著相关, 与柠檬酸含量相关性极显著, R值达到0.99。草酸与奎宁酸含量显著相关。苹果酸与琥珀酸含量显著相关。说明灵武长枣在成熟过程中各营养成分之间存在一定的相关性。

表5 灵武长枣成熟过程中主要营养成分的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the main nutrient components of Lingwu Long Jujube fruits during maturation

|       | 环磷酸鸟苷 | 环磷酸腺苷  | 果糖    | 葡萄糖    | 蔗糖    | 草酸     | 苹果酸   | 柠檬酸   | 琥珀酸   | 奎宁酸  |
|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| 环磷酸鸟苷 | 1.00  |        |       |        |       |        |       |       |       |      |
| 环磷酸腺苷 | -0.41 | 1.00   |       |        |       |        |       |       |       |      |
| 果糖    | 0.09  | 0.84   | 1.00  |        |       |        |       |       |       |      |
| 葡萄糖   | -0.26 | 0.93   | 0.94  | 1.00   |       |        |       |       |       |      |
| 蔗糖    | -0.48 | 0.99** | 0.82  | 0.95*  | 1.00  |        |       |       |       |      |
| 草酸    | -0.66 | 0.65   | 0.18  | 0.35   | 0.61  | 1.00   |       |       |       |      |
| 苹果酸   | -0.57 | 0.96*  | 0.65  | 0.79   | 0.94  | 0.85   | 1.00  |       |       |      |
| 柠檬酸   | -0.14 | 0.94   | 0.97* | 0.99** | 0.93  | 0.36   | 0.79  | 1.00  |       |      |
| 琥珀酸   | -0.73 | 0.84   | 0.41  | 0.62   | 0.83  | 0.94   | 0.96* | 0.60  | 1.00  |      |
| 奎宁酸   | 0.67  | -0.38  | 0.15  | -0.03  | -0.33 | -0.95* | -0.63 | -0.03 | -0.80 | 1.00 |

注: \*\*在0.01水平上(双侧)显著相关; \*在0.05水平上(双侧)显著相关。

## 2.2 讨论

### 2.2.1 灵武长枣的食用品质

水分含量的多少对水果感官性状和结构有重要影响, pH值也是评价果蔬的重要指标。灵武长枣的水分含量和pH值在枣果成熟期间都有所降低。成熟的灵武

长枣含水量为20.85%，远低于成熟的梨枣(74.59%)<sup>[5]</sup>。灵武长枣发育成熟阶段(白绿~全红)可滴定酸含量逐渐积累，在S2后基本稳定，最后达到0.24%，其含量在各成熟阶段不存在显著性差异，且其全红时的含量与袁志诚等<sup>[6]</sup>报道的0.25%一致。

有机酸是鲜枣的重要风味营养物质，可以促进消化腺的活动，改善食欲，影响水果的口感以及生物稳定性。苹果酸、柠檬酸、奎宁酸是灵武长枣中主要的有机酸，与冬枣、梨枣不同<sup>[5]</sup>，宁武长枣中含有较多的奎宁酸，全红时含量达到0.26%，在成熟过程中与草酸含量显著相关，奎宁酸在植物体内与莽草酸同样是一种芳香族氨基酸生物合成的前体物质<sup>[10]</sup>，这可能是形成宁武长枣独特风味的原因之一，其形成机理还有待进一步研究。

灵武长枣果实中主要的可溶性糖是葡萄糖、果糖和蔗糖。它们在成熟过程中积累的规律与魏天军<sup>[3]</sup>对灵武长枣的研究结果一致，灵武长枣中蔗糖呈线性增长，是一个“蔗糖积累型”的品种<sup>[5]</sup>，与冬枣糖份积累规律相似，与梨枣不同<sup>[7]</sup>，这可能因品种而异。灵武长枣可溶性固形物含量与成熟度显著相关，随成熟不断增加，到S3基本稳定，最终达到25.10%，这与魏天军<sup>[3,8]</sup>对灵武长枣和中宁圆枣的研究一致，跟赵智慧等<sup>[7]</sup>对冬枣和临猗梨枣的研究中可溶性固形物的变化趋势也相似，但临猗梨枣(24.00%)可溶性固形物的含量略低于灵武长枣。

糖酸比是影响果实风味口感的重要因素，灵武长枣的糖酸比与成熟度显著相关，其值不断上升，到S3后基本稳定，最终达到104.59，大于梨枣(70.90)<sup>[9]</sup>和冬枣(80.10)<sup>[7]</sup>，也说明了灵武长枣的风味独特且适于鲜食的原因之一。

较之其他鲜枣果，灵武长枣含有丰富的奎宁酸，他们的含水量和糖酸含量也有较大差异，这可能使灵武长枣形成异于其他鲜食枣的独特风味，使其成为一种适宜鲜食的枣果。鲜食枣果的适宜采收期应是糖积累到较高水平，糖酸比适中，由此可知，S3(大半红)应为灵武长枣的适宜采收期，而S4(全红)为最佳鲜食期。

### 2.2.2 灵武长枣的营养品质

粗纤维能改善肠道功能，改善血糖生成反应，降低血脂，控制体重，是一种有益的营养物质。鲜枣是一种粗纤维食物，灵武长枣在成熟过程中，粗纤维含量没有显著性变化，成熟时达到8.26%，高于冬枣(6.81%)。因此，灵武长枣也是一种较好的粗纤维膳食来源。

矿物质是人的重要组成成分，也是维持正常生

理机能不可缺少的物质。灵武长枣富含多种矿质元素，且含量在成熟过程中基本没有显著性变化，其中Fe元素高达3.20 mg/100g，是USDA记载0.48 mg/100g的6.7倍；Zn元素达1.00 mg/100g，是USDA记载0.05 mg/100g的20倍；K元素高达9.90 mg/g，是USDA记载2.50mg/g的4倍；同时灵武长枣中的Ca含0.33 mg/g，比USDA记载的0.21 mg/g高<sup>[11]</sup>。成熟灵武长枣的常量元素中，K元素含量最高，微量元素中，Fe元素含量最高，这与张艳红等<sup>[13]</sup>对红枣中矿质元素的研究一致，且成熟灵武长枣中K元素含量高于哈密红枣和河南郑新红枣(7.00 mg/g)<sup>[12]</sup>，同时也远高于富钾水果香蕉的含量<sup>[13]</sup>，说明成熟灵武长枣也是一种富钾水果，其有助于调节血压，防止高钠低钾的不良影响。说明新鲜灵武长枣是一种良好的矿质元素的膳食来源。

枣果中环核苷酸含量丰富而且十分稳定并作为第二信使物质参与机体代谢活动。在成熟过程中，灵武长枣中的环磷酸腺苷含量显著上升，最终达到22.20 μg/g，而环磷酸鸟苷含量没有显著性变化，最终为31.30 μg/g，环核苷酸总量在成熟时积累到最高，达46.95 μg/g。这与Guo<sup>[4]</sup>对枣中核苷和核酸碱基的研究结果不一致，可能是采样地点和品种差异造成的。

## 3 结论

综上所述，灵武长枣的理化性质及营养成分随其成熟不断变化，最终形成一种风味独特，营养丰富的鲜食枣果，其完全成熟灵武长枣(全红)食用和营养品质具佳；而大半红时期的灵武长枣食用及营养品质接近全红期品质，故该时期可作为鲜果保存的最适采收时期。

## 参考文献

- [1] Gao Q H, Wu C S, Wang M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits [J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 2013, 61(14): 3351-3363
- [2] 郭红莲,宋巍,孙媛媛,等.真菌寡糖素对灵武长枣的防腐保鲜效果研究[J].现代食品科技,2011,27(5):515-516  
GUO Hong-lian, SONG Wei, SUN Yuan-yuan, et al. Effect of oligosaccharin on quality of lingwu jujube [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(5): 515-516
- [3] 魏天军,窦云萍.灵武长枣果实发育成熟期生理生化变化[J].中国农学通报,2008,24(4):235-239  
WEI Tian-jun, DOU Yun-ping. Physiological-biochemical changes in developing jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Lingwuchangzao) [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,

- 2008, 24(4): 235-239
- [4] Tang Q Y, Zhang C X. Data processing system (dps) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research [J]. *Insect Science*, 2013, 20(2): 254-260
- [5] Wu C S, Gao Q H, Guo X D, et al. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of a promising table fruit 'pear-jujube' (*Zizyphus jujuba* Mill.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 148: 177-184
- [6] 袁志诚,孙青松,喻菊芳.宁夏枣树品种介绍[J].宁夏农业科技, 1985,5:31-33  
YUAN Zhi-cheng, SUN Qing-song, YU Ju-fang. Introduction of Ningxia Jujube cultivars [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 1985, 5: 31-33
- [7] 赵智慧,周俊义,刘孟军,等.冬枣和临猗梨枣果实发育期主要营养成分变化[J].中国农学通报,2006,22(6):261-264  
ZHAO Zhi-hui, ZHOU Jun-yi, LIU Meng-jun, et al. Variations of main nutrition components during fruit developing process of *Zizyphus jujuba* cv. Dongzao and *Zizyphus jujuba* cv. Linyilizao [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(6): 261-264
- [8] 魏天军,窦云萍,张勤.中宁圆枣果实发育成熟期生理生化变化[J].中国农学通报,2007,23(3):324-327  
WEI Tian-jun, DOU Yun-ping, ZHANG Qin. Physiological biochemical changes in jujube fruits (*Zizyphus jujuba* Mill. Cv. Zhongningyuanzao) during developing [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(3): 324-327
- [9] Gao Q H, Wu P T, Liu J R, et al. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China [J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130: 67-72
- [10] 秦改花,黄文江,赵建荣,等.石榴果实的糖酸组成及风味特点[J].热带作物学报,2011,32(11):2148-2151  
QIN Gai-hua, HUANG Wen-jiang, ZHAO Jian-rong, et al. Constituent of sugars and acids and the flavor trait of megranate fruits [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(11): 2148-2151
- [11] Gao Q H, Wu C S, Wang M. The jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61: 3351-3363
- [12] 张艳红,陈兆慧,王德萍,等.红枣中氨基酸和矿物质含量的测定[J].食品科学,2008,29(1):263-266  
ZHANG Yan-hong, CHEN Zhao-hui, WANG De-ping, et al. Determination of amino acids and mineral elements content in *Zizyphus jujuba* [J]. *Food Science*, 2008, 29(1): 263-266
- [13] 郑文法.香蕉N、P、K养分需求规律初探[J].安徽农学通报,2012,18(11):82-84  
ZHENG Wen-fa. Study on the regular of n, p, k nutrient on banana [J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 2012, 18(11): 82-84
- [14] Guo S, Duan JA, Tang Y P, et al. Characterization of nucleosides and nucleobases in fruits of *Zizyphus Jujuba* by UPLC-DAD-MS [J]. *Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58: 10774-10780