DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260113006
引用格式: 杜歆旖, 尹琳琳, 张翔, 等. 2025 年嘉兴市市售水果及其加工产品中氰化物含量测定及其膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(13): 141–147.
Du Xinyi, Yin Linlin, Zhang Xiang, et al. Content determination and dietary exposure risk assessment of cyanide in fruits and processed fruit products sold in Jiaxing City in 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(13): 141–147. (in Chinese with English abstract).

2025 年嘉兴市市售水果及其加工产品中氰化物含量测定及其膳食暴露风险评估

杜歆旖, 尹琳琳, 张　翔, 董　锋, 葛淼华, 吴小琼*
(嘉兴市疾病预防控制中心, 嘉兴　314050)

摘　要: 目的　评估 2025 年嘉兴市市售水果及其加工产品中氰化物的膳食暴露风险。**方法**　参考 GB 5009.36—2023《食品安全国家标准 食品中氰化物的测定》, 利用气相色谱仪对水果及其加工产品中氰化物含量(以氢氰酸计)进行检测, 利用点评估模型及危害商法, 结合各年龄段居民各类食物平均摄入量, 评估膳食暴露风险。**结果**　水果样品 90 份, 总检出率 16.7%, 总检出值为未检出至 0.6900 mg/kg, 总平均值 0.0465 mg/kg; 水果加工产品 50 份(21 份果酒、19 份果汁、10 份果酱), 总检出率 56.0%, 总检出值为未检出至 6.980 mg/kg, 总平均值 0.681 mg/kg。不同性别年龄组人群水果、果汁、果酒、果酱中氰化物慢性膳食暴露量总平均值分别为 0.0514、1.0200、1.2300、0.0218 μg/kg bw・d, 均低于氢氰酸每日最大允许摄入量指导值 20 μg/kg bw・d。**结论**　水果加工产品中氰化物摄入风险高于水果, 但均处于安全范围。儿童组因体重因素导致氰化物的急性与慢性暴露量相对高于其他年龄组, 应作为敏感人群加以关注。

关键词: 水果; 水果加工产品; 氰化物; 膳食暴露风险
中图分类号: TS207.5　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)13–0141–07

Content determination and dietary exposure risk assessment of cyanide in fruits and processed fruit products sold in Jiaxing City in 2025

DU Xin-Yi, YIN Lin-Lin, ZHANG Xiang, DONG Feng, GE Miao-Hua, WU Xiao-Qiong*
(*Jiaxing Center for Disease Control and Prevention*, *Jiaxing* 314050, *China*)

ABSTRACT: Objective　To assess the dietary exposure risk of cyanide in fruits and processed fruit products sold in Jiaxing City in 2025. **Methods**　The content of cyanide in fruits (expressed as hydrocyanic acid) and processed fruit products was detected by gas chromatography referring to GB 5009.36—2023 *National food safety*

收稿日期: 2026-01-13
基金项目: 嘉兴市科技工作专项计划项目(2024AD30122); 浙江省医药卫生科技计划项目(2025KY1629); 浙江省疾病预防控制科技计划项目(2026JKZ075)
第一作者: 杜歆旖(1998—), 女, 硕士, 检验技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 3160102079@zju.edu.cn
***通信作者:** 吴小琼(1981—), 女, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 285016065@qq.com

standard-Determination of cyanide in food. The dietary exposure risk was evaluated by using the point assessment model and the hazard quotient method, combined with the average consumption of various foods for residents of different age groups. **Results** A total of 90 fresh fruit samples were analyzed and the overall positive rate was 16.7%, with concentrations ranging from not detected to 0.690 mg/kg and an average of 0.0465 mg/kg. Among the 50 fruit processed products (21 fruit wines, 19 fruit juices and 10 fruit jams), the overall positive rate was 56.0%, with total detected values ranging from ND to 6.98 mg/kg, and an average value of 0.681 mg/kg. The average chronic dietary exposure amounts of cyanide in fruits, fruit juices, fruit wines and fruit jams for different gender and age groups were 0.0514, 1.0200, 1.2300 and 0.0218 μg/kg bw • d, respectively, all of which were lower than the maximum allowable daily intake value of 20 μg/kg bw • d for hydrogen cyanide. **Conclusion** Risk assessment indicates that while the intake risk from processed fruit products is higher than that of fresh fruits, both remain within safe limits. However, due to their lower body weight, children were identified as a sensitive group with relatively higher acute and chronic exposure estimates, warranting specific attention.

KEY WORDS: fruit; processed fruit products; cyanide; dietary exposure risk

0 引 言

生氰糖苷, 亦称氰苷, 是由氰醇衍生物的羟基与*D*-葡萄糖缩合而成的植物次生代谢产物[1–3], 广泛分布于木薯(亚麻苦苷)、高粱属(蜀黍苷)、蔷薇科(苦杏仁苷)等食用农产品中[4–8]。生氰糖苷自身无毒, 但可在*β*-葡萄糖苷酶作用下水解生成糖及对应氰醇, 氰醇可自发或经 *α*-羟基腈裂解酶作用生成高毒性的氢氰酸[9–10]。蔷薇科的许多植物, 如苹果、杏、桃等水果, 其果核中含有苦杏仁苷, 苦杏仁苷由龙胆二糖和扁桃腈组成, 属于二糖氰苷[11–13]。当果核被碾碎, 果核中的苦杏仁苷与内源性酶接触, 在酶的作用下裂解掉末端的糖基, 生成单糖氰苷野樱苷, 进而酶解生成扁桃腈, 而扁桃腈会自发或经羟基腈裂解酶产生氢氰酸[14–15], 从而造成潜在的食品安全隐患。

人体摄入的氰化物达到一定剂量时会造成引起以中枢神经系统和心血管系统为主的多系统中毒症状[16–21]。目前针对日常消费量较大的水果及水果加工产品中氰化物的研究, 大多集中于氰化物测定方法学研究及单一类别产品的氰化物含量调查[22–25]。例如有研究对果酒中氰化物含量进行了测定[24–25], 但并未结合人体摄入量进行膳食风险评估, 系统性的氰化物风险评估调查仍较为缺乏。目前缺乏结合我国居民实际膳食结构、年龄差异等因素的氰化物定量暴露评估数据, 尤其未能反映长期低剂量摄入背景下对人体的蓄积风险, 也缺乏对不同年龄段人群, 特别是儿童等敏感群体的针对性评估, 导致风险研判不够精准。

在现行国家标准中, 食品中氰化物的测定结果均以氢氰酸含量表示, 因而本研究将参考 GB 5009.36—2023《食品安全国家标准 食品中氰化物的测定》, 通过测定嘉兴市市售新鲜水果及包括果汁、果酒、果酱在内的水果加工产品中的氢氰酸含量, 利用点评估模型及危害商法, 结合我国从儿童到老年各年龄段不同性别居民各类食物平均摄入量, 评估其膳食风险, 为制定更精准的食品风险管控策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜水果样品 90 份(梨 23 份、葡萄 18 份、柚 15 份、橙 10 份、蓝莓 8 份、桃 6 份、苹果 6 份、李子 4 份)、果汁样品 19 份(葡萄汁 5 份、橙汁 4 份、苹果汁 3 份、桃汁 2 份、樱桃汁 1 份、杨梅汁 1 份、双柚汁 1 份、杨梅汁 1 份、梨汁 1 份)、果酒样品 21 份(杨梅酒 6 份、青梅酒 5 份、葡萄酒 3 份、苹果酒 2 份、桑葚酒 2 份、樱桃酒 1 份、荔枝酒 1 份、百香果酒 1 份)、果酱样品 10 份(草莓果酱 4 份、蓝莓果酱 3 份、柚子果酱 1 份、苹果果酱 1 份、混合什锦果酱 1 份), 均采购自浙江省嘉兴市线下。

水中氰标准物质(质量浓度 50 mg/L, 江苏坛墨质检科技股份有限公司); 氯胺 T(纯度大于 98%, 上海麦克林生化科技股份有限公司); 磷酸、氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

GC-2010Plus 气相色谱仪(日本岛津公司); HP-5 石英毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国 Agilent 公司); Milli-Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司); AL204 分析天平(精度 0.0001 g, 瑞士 Mettler Toledo 公司); Multi Reax 涡旋混匀器(上海海道尔夫仪器设备有限公司); 5804R 冷冻高速离心机(德国 Eppendorf 公司); SN-QX-300D 超声波清洗机(上海尚仪仪器设备有限公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　标准溶液配制

准确移取 2.00 mL 水中氰标准物质(50 mg/L)于 10.0 mL 容量瓶中, 以 0.1%氢氧化钠溶液定容配制得质量浓度为 10 mg/L 的标准中间溶液, 临用现配。

移取适量水中氰标准中间溶液, 以 0.01 mol/L 氢氧化钠溶液稀释配制得质量浓度 0.002、0.005、0.020、0.050、0.100、0.200、0.500 mg/L 的标准系列溶液, 临用现配。准确移取 10 mL 各浓度标准溶液于顶空瓶中, 加入 0.2 mL 磷酸溶液(1:5, *V*:*V*)及 0.2 mL 氯胺 T 溶液(10 g/L), 加盖密封, 待测。

1.3.2　样品前处理

样品前处理过程参考 GB 5009.36—2023 第二法 气相色谱法。对 90 份水果(去核去籽, 取可食部分)、19 份果汁、21 份果酒、10 份果酱样品进行均质混匀。准确称取各样品 1 g(精确至 0.0001 g), 以去离子水定容至 50 mL, 超声提取 30 min, 8000 r/min 离心 5 min 后准确移取 10 mL 上清液于顶空瓶中, 加入 0.2 mL 磷酸溶液(1:5, *V*:*V*)及 0.2 mL 氯胺 T 溶液(10 g/L), 加盖密封, 待测。

1.3.3　仪器条件

(1)气相色谱条件

HP-5 石英毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度: 200 ℃; 升温程序: 初温 40 ℃, 保持 5 min, 以 40 ℃/min 升至 230 ℃, 保持 2 min; 载气: 高纯氮气, 纯度≥99.999%, 流速 0.5 mL/min; 进样方式: 分流进样, 分流比 5:1。

(2)顶空分析条件

恒温炉温度 50 ℃, 样品流路温度 80 ℃, 传输线温度 95 ℃, 顶空加热时间 30 min, 导入时间 0.5 min, 加压时间 1.0 min, 载气压力 42 kPa, 辅助气压力 70 kPa。

1.4　膳食风险评估

食品中氰化物的膳食风险与人群摄入消费量及人体体重有关; 膳食风险又分为慢性风险和急性风险两种, 慢性风险评估对摄入人群的长期影响, 急性膳食风险则关于日内暴露程度。使用世界卫生组织(World Health Organization, WHO)、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)推荐的“点估法”计算食品安全指数, 使用危害商(chronic hazard quotient, cHQ)来描述单一污染物暴露风险, cHQ 计算如公式(1)~(2):

$$EDI=(C\times D)/bw \quad (1)$$

$$cHQ=EDI/ADI \quad (2)$$

式中: EDI 指人均每千克体重日摄入量(estimated daily intake), μg/kg bw • d; *C* 指被测物残留质量浓度, μg/kg; *D* 指平均日消费量, kg • d; bw 指消费者平均体重(body weight), kg; ADI 指每日容许摄入量(acceptable daily intake), μg/kg bw • d。

cHQ 越小, 则风险越小, cHQ<1 表示食品安全健康风险在可接受范围内, cHQ≥1 时则表示食品存在不可接受的安全健康风险。

1.5　数据处理

采用 WPS Office 2022 Excel 软件对数据进行计算整理。使用 SPSS 25.0 软件分析数据, 若 $P<0.05$, 则差异具有统计学意义。评估过程参照世界卫生组织全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划第 2 次会议“食品中低水平污染物可信评鉴”[26–27]中的方法: 当未检出的数据比例小于 60%时, 所有小于检出限(limit of detection, LOD)的结果以 1/2LOD 代替; 当 60%小于等于未检出的数据比例小于等于 80%, 且至少有 25 个结果以数量表示时, 所有小于 LOD 的结果得出 0 和 LOD 两个估计值; 当未检出的数据比例大于 80%时, 所有小于 LOD 的结果得出 0 和 LOD 两个估计值。

2　结果与分析

2.1　含量测定

利用气相色谱仪对 90 份水果(去核去籽, 取可食部分)及 50 份水果加工产品(21 份果酒、19 份果汁、10 份果酱)中氰化物含量(以氢氰酸计)进行测定。经卡方检验, 水果、果酒、果汁、果酱中氰化物的检出率具有统计学意义($P<0.05$)。根据各类样品中未检出数据比例, 对所有小于 LOD 的检测结果, 水果及果酱中氰化物按“0”统计, 果汁及果酒中氰化物按“1/2LOD (0.0150 mg/kg)”统计。汇总整理数据如表 1, 将水果及其制品中氰化物的检出率和检出值数据可视化如图 1, 其中以柱状图统计新鲜水果、果酒、果汁、果酱中氰化物的总检出率, 以散点图表示样品中氰化物检出值的具体分布情况。

90 份水果(包括梨 23 份、葡萄 18 份、柚 15 份、橙 10 份、蓝莓 8 份、桃 6 份、苹果 6 份、李子 4 份)中的氰化物总检出率为 16.7%, 检出值在未检出(not detected, ND)~0.690 mg/kg 间, 总平均值为 0.0465 mg/kg; 其中柚子、葡萄的检出率较高, 分别为 53.3%、27.8%, 检出值分别为 ND~0.288 mg/kg、ND~0.690 mg/kg。在多种水果加工产品中氰化物的总检出率为 56.0%, 检出值为 ND~6.980 mg/kg, 总平均值为 0.681 mg/kg, 相比水果而言显著增加; 其中果酒中氰化物总检出率最高, 为 81.0%, 检出值在 ND~6.980 mg/kg 间, 平均值为 1.3400 mg/kg; 果汁中氰化物检出率为 42.1%, 检出值为 ND~1.450 mg/kg, 平均值为 0.3000 mg/kg; 果酱中氰化物检出率为 10.0%, 检出值为 0.389 mg/kg, 平均值为 0.0389 mg/kg。

表 1 90 份市售水果及 50 份水果加工产品中氰化物含量总体统计结果

Table 1 Overall detection results of cyanide content in 90 commercial fruits and 50 processed fruit products

样品种类	样品份数	检出份数	检出率/%	残留量/(mg/kg)			
				平均值	最大值	P_{50}	P_{95}
水果	90	15	16.7	0.0465	0.690	0	0.377
果汁	19	10	42.1	0.3000	1.450	0.015	-
果酒	21	17	81.0	1.3400	6.980	0.503	6.880
果酱	10	1	10.0	0.0389	0.389	0	-

注: -的含义为检测份数不足 20 份，无法计算 P_{95}。

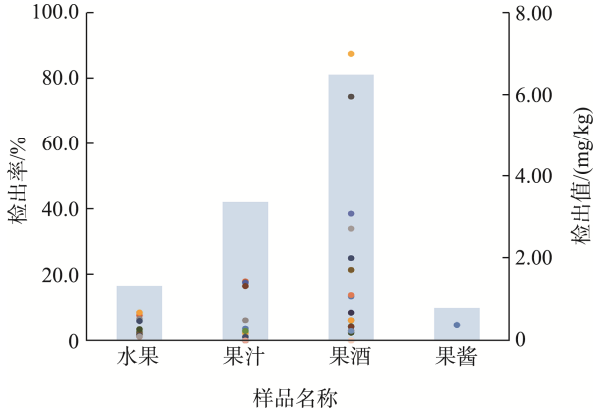


图 1 水果及水果加工产品中氰化物检出率及检出值汇总图

Fig.1 Summary chart of detection rate and value of cyanide in fruits and processed fruit products

2.2 膳食风险评估

2.2.1 慢性膳食暴露风险

关于氢氰酸摄入的慢性健康指导值，目前被广泛采纳的是 2011 年 FAO 和 WHO 下的食品添加剂联合专家委员会发布的氢氰酸每日最大允许摄入量(provisional maximum tolerable daily intake, PMTDI)指导值 20 μg/kg bw[28]，取该指导值为 ADI；取实验测定的氰化物(以氢氰酸计)算术平均值作为平均残留量值；根据《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》[29]查询得到我国不同年龄段居民平均体重、我国不同年龄段居民人均每日水果摄入量及我国 18 岁以上居民人均每日饮酒量；根据文献[30]查询我国不同年龄段居民人均每日果汁摄入量；由于目前暂无关于我国居民人均果酱摄入量的统计数据，因而参考了美国国家健康和营养调查(National Health and Nutrition Survey of the United States, NHANES)数据统计的美国不同群体在“含添加糖水果制品”这一大类下的平均每日摄入量数值[31]，该类别高度反映了果酱及相关甜食的消费水平，数据显示 12~18 岁青少年每日平均摄入量 24.8 g，大于等于 19 岁成年男性每日平均摄入量 26.3 g，大于等于 19 岁成年男性每日平均摄入量 24.7 g，以这些数据作为参考，将我国居民人均每日果酱的摄入量的估算为 20 g。代入 1.4 中公式(1)、(2)计算 cHQ 并汇总见表 2。

由表 2 可知，在评估水果及其制品的慢性氢氰酸摄入风险时，各年龄段人群的氢氰酸 cHQ 均低于 1，说明水果及其制品中的慢性氢氰酸摄入属于低风险。由于体重因素会放大氰化物的摄入风险，因而在摄入量差距不大的情况下体重低的儿童组的氢氰酸 cHQ 相比而言更大，摄入风险更高；不同性别及不同年龄段的人均每日饮酒量差异极大，人均每日饮酒量大的中老年男性群体通过果酒摄入氢氰酸的风险明显大于其他人群。

2.2.2 急性膳食暴露风险

急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)定义为 24 h 摄入无害剂量，指人体在 24 h 或更短时间内通过膳食或饮水摄入某物质时不产生可检测到的健康损害的估计量，以每千克体重可摄入的量(μg/kg bw)表示。2015 年德国联邦风险评估研究所(Federal Institute for Risk Assessment, BfR)发布的氢氰酸 ARfD 为 75 μg/kg bw[32]，澳大利亚新西兰食品标准局(Food Standards Australia New Zealand, FSANZ)发布的氢氰酸 ARfD 与之较为接近，为 80 μg/kg bw[33]。

急性膳食风险暴露评估估算 24 h 内可能的暴露程度。考虑到放大效应，取最大检出值为被测物残留质量浓度 C。根据表 3 可知，不同年龄性别人群急性暴露量均小于 75 μg/kg bw，无可检测到的健康损害。但体重因素导致儿童的急性暴露量大于成人组，在摄入时仍需要加以关注。

2.2.3 总膳食暴露风险

氰化物的膳食暴露风险与样本中氰化物的含量、摄入者的长期消费量、摄入者的个体体重等因素有关。不同性别年龄组人群水果中氰化物慢性膳食暴露量总平均值为 0.0514 μg/kg bw·d，果汁、果酒、果酱中氰化物慢性膳食暴露量相比水果而言有明显提升，总平均值分别为 1.0200、1.2300、0.0218 μg/kg bw·d，但均低于氢氰酸每日最大允许摄入量指导值 20 μg/kg bw·d。根据实验测定数据辅以查询到的相关消费摄入数据，评估认为水果及其制品中氰化物的膳食暴露风险较小，处于可接受范围。但由于数据更多体现的是各年龄段人群的平均摄入情况，差异个体远高于平均摄入量的极端情况并未纳入分析范围，因而对于果酒等氰化物膳食风险相对较高的食物仍应避免过量摄入。

表 2　不同年龄组间人群水果及其水果加工产品中氰化物暴露慢性膳食风险结果

Table 2　Chronic dietary risk results of cyanide exposure in fruits and their processed fruits products among different age groups

种类	年龄段	bw/kg	*D*/(kg • d)	*C*/(μg/kg)	EDI/(μg/kg bw • d)	ADI/(μg/kg bw • d)	cHQ
水果	男 3~5 岁	18.2	0.03530	46.5	0.0902	20	0.004510
	女 3~5 岁	17.4	0.03420		0.0914		0.004570
	男 6~11 岁	30.8	0.04660		0.0704		0.003520
	女 6~11 岁	29.6	0.05220		0.0820		0.004100
	男 12~17 岁	55.9	0.04140		0.0344		0.001720
	女 12~17 岁	49.8	0.05050		0.0472		0.002360
	男 18~59 岁	70.4	0.02880		0.0190		0.000951
	女 18~59 岁	59.8	0.03990		0.0310		0.001550
	男>60 岁	64.0	0.02930		0.0213		0.001060
	女>60 岁	56.7	0.03260		0.0267		0.001340
	平均	-	-		0.0514		-
果汁	男 3~5 岁	18.2	0.15300	300.0	2.5200	20	0.126000
	女 3~5 岁	17.4	0.09850		1.7000		0.084900
	男 6~11 岁	30.8	0.12700		1.2400		0.062100
	女 6~11 岁	29.6	0.12500		1.2700		0.063000
	男 12~17 岁	55.9	0.13900		0.7470		0.037400
	女 12~17 岁	49.8	0.11700		0.7050		0.035200
	男 18~59 岁	70.4	0.15100		0.6440		0.032200
	女 18~59 岁	59.8	0.10900		0.5470		0.027300
	男>60 岁	64.0	0.08820		0.4130		0.020700
	女>60 岁	56.7	0.07250		0.3840		0.019200
	平均	-	-		1.0200		-
果酒	男 18~44 岁	71.3	0.07890	1341.0	1.4800	20	0.074200
	女 18~44 岁	58.8	0.00493		0.1120		0.005620
	男 44~59 岁	69.5	0.15000		2.8900		0.144000
	女 44~59 岁	60.8	0.00658		0.1450		0.007250
	男>60 岁	64.0	0.12100		2.5500		0.127000
	女>60 岁	56.7	0.00822		0.1940		0.009720
	平均	-	-		1.2300		-
果酱	男 3~5 岁	18.2	0.02000	38.9	0.0427	20	0.002140
	女 3~5 岁	17.4	0.02000		0.0447		0.002240
	男 6~11 岁	30.8	0.02000		0.0253		0.001260
	女 6~11 岁	29.6	0.02000		0.0263		0.001310
	男 12~17 岁	55.9	0.02000		0.0139		0.000696
	女 12~17 岁	49.8	0.02000		0.0156		0.000781
	男 18~59 岁	70.4	0.02000		0.0111		0.000553
	女 18~59 岁	59.8	0.02000		0.0130		0.000651
	男>60 岁	64.0	0.02000		0.0122		0.000608
	女>60 岁	56.7	0.02000		0.0137		0.000686
	平均	-	-		0.0218		-

注：-为无计算意义项。

表 3 不同年龄组间人群水果及水果加工产品中氰化物暴露急性膳食风险结果

Table 3 Acute dietary risk results of cyanide exposure in fruits and their processed fruits products among different age groups

种类	年龄段	bw/kg	D/(kg·d)	C/(μg/kg)	急性暴露量/(μg/kg bw·d)
水果	男 3~5 岁	18.2	0.03530	690	1.340
	女 3~5 岁	17.4	0.03420		1.360
	男 6~11 岁	30.8	0.04660		1.040
	女 6~11 岁	29.6	0.05220		1.220
	男 12~17 岁	55.9	0.04140		0.511
	女 12~17 岁	49.8	0.05050		0.700
	男 18~59 岁	70.4	0.02880		0.282
	女 18~59 岁	59.8	0.03990		0.460
	男>60 岁	64.0	0.02930		0.316
	女>60 岁	56.7	0.03260		0.397
果汁	男 3~5 岁	18.2	0.15300	1447	12.200
	女 3~5 岁	17.4	0.09850		8.190
	男 6~11 岁	30.8	0.12700		5.990
	女 6~11 岁	29.6	0.12500		6.110
	男 12~17 岁	55.9	0.13900		3.600
	女 12~17 岁	49.8	0.1170		3.400
	男 18~59 岁	70.4	0.15100		3.100
	女 18~59 岁	59.8	0.10900		2.640
	男>60 岁	64.0	0.08820		1.990
	女>60 岁	56.7	0.07250		1.850
果酒	男 18~44 岁	71.3	0.07890	6980	7.720
	女 18~44 岁	58.8	0.00493		0.585
	男 44~59 岁	69.5	0.15000		15.000
	女 44~59 岁	60.8	0.00658		0.755
	男>60 岁	64.0	0.12100		13.300
	女>60 岁	56.7	0.00822		1.010
果酱	男 3~5 岁	18.2	0.02000	389	0.427
	女 3~5 岁	17.4	0.02000		0.447
	男 6~11 岁	30.8	0.02000		0.253
	女 6~11 岁	29.6	0.02000		0.263
	男 12~17 岁	55.9	0.02000		0.139
	女 12~17 岁	49.8	0.02000		0.156
	男 18~59 岁	70.4	0.02000		0.111
	女 18~59 岁	59.8	0.02000		0.130
	男>60 岁	64.0	0.02000		0.122
	女>60 岁	56.7	0.02000		0.137

3 讨论与结论

本次共检测嘉兴市市售水果样本 90 份及水果加工产品样本 50 份(21 份果酒、19 份果汁、10 份果酱), 水果加工产品中氰化物的总检出率与平均含量明显高于新鲜水果, 可能是由于在生产过程中没有除去氰化物相对富集的果核, 在榨取、发酵等步骤中果核破碎导致氰化物释放, 使得氰化物含量相比新鲜水果(去核去籽, 取可食部分)发生了显著增加。结合居民膳食消费量数据进行的风险评估表明, 所有产品类别的慢性膳食暴露量均低于氢氰酸的每日允许最大摄入量, 表明总体健康风险较低。然而, 水果加工制品带来的膳食暴露风险仍高于新鲜水果, 且需要特别关注的是, 儿童群体由于体重较轻, 其单位体重的急、慢性暴露量估算值均相对高于其他年龄组, 成为风险易感的敏感人群。因此, 尽管当前评估显示摄入风险处于安全范围内, 建议在食品安全监管与公众饮食指导中, 将儿童作为重点关注对象, 并持续监测高消费量加工水果产品中的氰化物水平, 以保障该群体的长期健康。

参考文献

[1] Dewick P M. The biosynthesis of cyanogenic glycosides and glucosinolates [J]. Natural Product Reports, 1984, 1(6): 545–549.

[2] 梁其冰, 赵晓野, 王婷, 等. 2 种生氰糖苷致毒机制及其检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(10): 8–14.
Liang Qibing, Zhao Xiaoye, Wang Ting, et al. Research progress on the toxicity mechanism and detection methods of 2 kinds of cyanogenic glycosides [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(10): 8–14.

[3] Díaz-Rueda P, Morales De Los Ríos L, Romero L C, et al. Old poisons, new signaling molecules: the case of hydrogen cyanide [J]. Journal of Experimental Botany, 2023, 74(19): 6040–6051.

[4] 周韩玲, 安明哲, 赵东, 等. 不同产地及品种高粱中蜀黍氰苷含量的差异化分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(7): 209–213.
Zhou Hanling, An Mingzhe, Zhao Dong, et al. Differential analysis of dhurrin content in sorghum from different producing areas and varieties [J]. China Brewing, 2023, 42(7): 209–213.

[5] 王琴飞, 林立铭, 张振文, 等. 食用木薯块根及其制品中生氰糖苷检测方法的建立与应用[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 271–278.
Wang Qinfei, Lin Liming, Zhang Zhenwen, et al. Establishment and application of a method for detecting the cyanogenic glycoside in sweet cassava root and its products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 271–278.

[6] Chassagne D, Crouzet J C, Bayonove C L, et al. Identification and quantification of passion fruit cyanogenic glycosides [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(12): 3817–3820.

[7] Nyirenda K K. “Toxicity potential of cyanogenic glycosides in edible plants” in Medical Toxicology [M]. London, UK: IntechOpen, 2021: 1-18.

[8] Tahir F, Ali E, Hassan S A, et al. Cyanogenic glycosides in plant-based foods: occurrence, detection methods, and detoxification strategies: a comprehensive review [J]. Microchemical Journal, 2024, 199: 110065.

[9] 刘宁, 沈明浩. 食品毒理学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 231–234.
Liu Ning, Shen Minghao. Food toxicology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 231–234.

[10] 丁晓雯, 柳春红. 食品安全学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 257–259.
Ding Xiaowen, Liu Chunhong. Food safety [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 257–259.

[11] Omelka R, Kovacova V, Mondockova V, et al. Cyanogenic glycoside amygdalin influences functions of human osteoblasts *in vitro* [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2021, 56(2): 109-116.

[12] Erikel E, Yuzbasioglu D, Unal F. A study on Amygdalin’s genotoxicological safety and modulatory activity in human peripheral lymphocytes *in vitro* [J]. Environmental and Molecular Mutagenesis, 2023, 64(5): 291–308.

[13] Yulvianti M, Zidorn C. Chemical diversity of plant cyanogenic glycosides: an overview of reported natural products [J]. Molecules, 2021, 26(3): 719.

[14] Cressey P, Reeve J. Metabolism of cyanogenic glycosides: a review [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 125: 225–232.

[15] Liczbiński P, Bukowska B. Molecular mechanism of amygdalin action *in vitro*: review of the latest research [J]. Immunopharmacology and Immunotoxicology, 2018, 40(3): 212–218.

[16] 左晨艳, 杨波波, 吴婷, 等. 氰化物中毒及解毒的研究进展 [J]. 毒理学杂志, 2016, 30(4): 319–324.
Zuo Chenyan, Yang Bobo, Wu Ting, et al. Research progress on cyanide poisoning and detoxification [J]. Journal of Toxicology, 2016, 30(4): 319–324.

[17] Akintonwa A, Tunwashe O L. Fatal cyanide poisoning from cassava-based meal [J]. Human & Experimental Toxicology, 1992, 11: 47–49.

[18] Lachowicz J I, Alexander J, Aaseth J O. Cyanide and cyanogenic compounds—toxicity, molecular targets, and therapeutic agents [J]. Biomolecules, 2024, 14(11): 1420.

[19] Egekeze J O, Oehmef W. Cyanides and their toxicity: a literature review [J]. Veterinary Quarterly, 1980, 105(8): 104–114.

[20] Ma K H, Lippner D S, Basi K A, et al. Cyanide poisoning compromises gene pathways modulating cardiac injury *in vivo* [J]. Chemical Research in Toxicology, 2021, 34(8): 1938–1948.

[21] He Xiaoyan, Wu Lijuan, Wang Wenxiang, et al. Amygdalin—a pharmacological and toxicological review [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 254: 112717.

[22] Lewis H J, Newton Fay G, Lawrence H R, et al. Amygdalin toxicity studies in rats predict chronic cyanide poisoning in humans [J]. Western Journal of Medicine, 1981, 134(2): 97–103.

[23] 陈琨, 夏春, 王之明, 等. 流动注射法测定红酒中总氰化物的不确定度评定[J]. 广州化工, 2013, 41(21): 119–121, 124.
Chen Kun, Xia Chun, Wang Zhiming. Determination of trace cyanide in wine with AA3 flow injection method [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41(21): 119–121, 124.

[24] Baek C W, Chang H J, Lee J H. Method validation and assessment of hazardous substances and quality control characteristics in traditional fruit wines [J]. Foods, 2022, 11(19): 3047.

[25] Senica M, Stampar F, Veberic R, et al. Transition of phenolics and cyanogenic glycosides from apricot and cherry fruit kernels into liqueur [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 483–490.

[26] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [M]. Rome: WHO, 1995: 26–27.

[27] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002(4): 63–64.
Wang Xuqin, Wu Yongning, Chen Junshi. The problem of low-level data processing in food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002(4): 63–64.

[28] Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-fourth meeting of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives: WHO technical report series No.966 [R/OL]. 2011: 65. https://iris.who.int/items/02eadbd7- 2a30-40ed-aea1-23fddcfa0f8f.

[29] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)[J]. 营养学报, 2020, 42(6): 521.
National Health Commission of the People’s Republic of China. Report on the nutrition and chronic diseases status of Chinese residents (2020) [J]. ACTA Nutrimenta SINICA, 2020, 42(6): 521.

[30] World Health Organization. The Food safety collaborative platform (Foscollab): WHO raw data & summary statistics [DB/OL]. (2018) [2026-01-09]. https://apps.who.int/foscollab.

[31] Kimmons J, Gillespie C, Seymour J, et al. Fruit and vegetable intake among adolescents and adults in the United States: percentage meeting individualized recommendations [J]. Medscape General Medicine, 2009, 11(1): 26.

[32] BfR. Updated Opinion No 009/2015 of the Federal Institute for Risk Assessment (BfR) of 7 April 2015: two bitter apricot kernels per day are the limit for adults-children should avoid them altogether [R]. Berlin: Federal Institute for Risk Assessment, 2015.

[33] FSANZ. Survey of cyanogenic glycosides in plant-based foods in Australia and New Zealand 2010-13 [R/OL]. 2014-04-18. https://www.foodstandards.gov.au/science-data/monitoring-safety/combined-survey-and-risk-assessment-for-cyanogenic-glycosides.

(责任编辑: 曹岱琳 安香玉)