DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251028002
引用格式: 赵连伟, 徐林, 戴乾, 等. 安顺市校园周边不同品类饮料中 4 种甜味剂添加量差异及潜在风险分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 212–219.
ZHAO LW, XU L, DAI Q, *et al*. Analysis of usage variation and potential risks of 4 kinds of sweeteners in different beverage categories around school campuses in Anshun City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 212–219. (in Chinese with English abstract).

安顺市校园周边不同品类饮料中 4 种甜味剂添加量差异及潜在风险分析

赵连伟[1], 徐 林[1*], 戴 乾[1], 韦 刚[1], 刘钰洁[1], 龚 玲[2]

[1. 安顺市疾病预防控制中心(安顺市食品安全风险监测重点实验室), 安顺 561000;
2. 安顺市食品药品检验所, 安顺 561000]

摘 要: 目的 从饮料品类细分视角, 分析校园周边市售饮料中甜味剂的分布特征、使用现状及通过饮料途径的暴露贡献。**方法** 随机采集风味饮料等 7 类饮料样本共计 834 份, 采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)检测糖精钠、安赛蜜、阿斯巴甜和纽甜 4 种甜味剂含量。依据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》评价甜味剂使用合规性, 采用卡方检验分析不同品类间的差异。**结果** 特殊用途饮料的超标率最高(14.7%, 14/95), 风味饮料次之(14.6%, 36/247), 二者均高于咖啡饮料(0%, 0/15)。风味饮料中糖精钠超标率为(9.3%, 23/247)(标准规定不得用于饮料); 特殊用途饮料中纽甜的超标率为 10.5% (10/95)。**结论** 校园周边饮料的甜味剂不合规问题存在明显的品类差异: 风味饮料是糖精钠超范围使用的重点品类, 特殊用途饮料是纽甜超限量使用的高发品类。建议对上述两类饮料实施季度靶向抽检, 并加强对甜味剂使用合规性的监管, 以期为校园周边饮料的靶向监管与青少年健康风险预警提供直接的科学依据。

关键词: 甜味剂; 校园环境; 饮料品类; 合规性; 暴露贡献; 潜在风险

Analysis of usage variation and potential risks of 4 kinds of sweeteners in different beverage categories around school campuses in Anshun City

ZHAO Lian-Wei[1], XU Lin[1*], DAI Qian[1], WEI Gang[1], LIU Yu-Jie[1], GONG Ling[2]

[1. *Anshun Center for Disease Control and Prevention* (*Anshun Key Laboratory of Food Safety Risk Monitoring*), *Anshun* 561000, *China*; 2. *Anshun Institute for Food and Drug Control*, *Anshun* 561000, *China*]

ABSTRACT: Objective To analyze the distribution characteristics, usage patterns and exposure contribution via beverage consumption of sweeteners in beverages sold around school campuses from the perspective of beverage category segmentation. **Methods** A total of 834 samples from 7 beverage categories, including flavored beverages,

收稿日期: 2025-10-28
基金项目: 贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwkj2022-457); 安顺市科技创新平台建设计划项目(安市科平[2022]1 号)
第一作者: 赵连伟(1994—), 男, 技师, 主要研究方向为食品安全及理化检验技术研究。E-mail: 1589980610@qq.com
***通信作者:** 徐林(1978—), 男, 主任技师, 主要研究方向为食品安全及理化检验技术研究。E-mail: 1264370866@qq.com

were randomly collected. The content of 4 kinds of sweeteners (sodium saccharin, acesulfame potassium, aspartame and neotame) were determined using high performance liquid chromatography (HPLC). Compliance with sweetener usage was evaluated according to the GB 2760—2014 *National food safety standard-Standard for the Use of Food Additives* and differences among categories were analyzed using the chi-square test. **Results** Special purpose beverages had the highest non-compliance rate (14.7%, 14/95), followed by flavored beverages (14.6%, 36/247), both being higher than that of coffee beverages (0%, 0/15). The rate of unauthorized use of sodium saccharin in flavored beverages was (9.3%, 23/247) (its use was prohibited in beverages according to the standard). The exceedance rate of neotame in special purpose beverages was (10.5%, 10/95). **Conclusion** There are significant category-specific variations in sweeteners non-compliance in beverages around school campuses: Flavored beverages are the key category for the unauthorized use of sodium saccharin, while special purpose beverages are the high-risk category for neotame exceedance. It is recommended that quarterly targeted sampling and inspection be implemented for these 2 kinds of beverage categories, along with enhanced supervision of sweetener usage compliance, so as to provide direct scientific support for targeted regulation of beverages around school campuses and health risk warning for adolescents.

KEY WORDS: sweeteners; school environment; beverage categories; compliance; exposure contribution; potential risk

0　引　言

近年来, 含甜味剂饮料在青少年群体中的消费量显著增加。甜味剂因其低热量特性被广泛应用于饮料生产中[1–3], 但过量使用可能引发健康风险[4–9]。研究表明, 长期摄入糖精钠等人工甜味剂可能与代谢异常及潜在致癌性相关[10–15]; 而青少年由于代谢系统尚未发育完全, 更易受到相关危害[16–17]。尽管我国 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》对甜味剂用量有严格规定, 但市售饮料中甜味剂超范围、超限量使用现象仍时有发生, 尤其在校园周边等青少年高消费区域, 监管力度亟待加强。

目前, 虽已有研究关注市售饮料中甜味剂的使用状况, 但针对校园周边这一特定敏感区域的研究仍然有限, 且多停留在总体使用状况的描述层面[18–19]。更重要的是, 从饮料品类细分视角开展的深入探索尤为缺乏: 大多数研究主要集中于现制饮品或某一单一饮料品类, 未能系统揭示预包装饮料(如风味饮料、特殊用途饮料等)中不同品类间甜味剂的分布规律及混合使用现状。这使得现有认知难以精准识别真正的高风险饮料类别, 从而无法为校园周边食品安全监管提供分类别、有针对性的科学依据。

全面的食品安全风险评估需涵盖所有膳食来源的暴露量。然而, 作为一种重要的风险筛查手段, 针对特定高危食品类别(如青少年高消费的饮料)和特定环境(如校园周边)开展终端产品监测与暴露贡献分析, 对于识别关键暴露来源、发现潜在问题品类、并实施及时精准的干预措施具有不可替代的公共卫生意义。本研究并非旨在进行覆盖所有来源的总膳食风险评估, 而是通过对校园周边饮料这一重要暴露途径的深入分析, 评估其甜味剂残留现状, 并测算其对于青少年每日暴露的贡献水平, 从而筛查出需优先关注的风险点和监管靶点。

基于上述研究空白与现实需求, 本研究在前期工作基础上[20], 通过品类细分与对比研究, 深入分析安顺市校园周边市售饮料的甜味剂分布特征及品类差异, 并量化评估通过饮料途径摄入的甜味剂暴露水平, 旨在识别高风险品类, 揭示潜在的局部暴露风险, 为实施针对校园周边环境的靶向监管策略与健康风险预警提供科学依据, 助力中小城市校园食品安全监管能力的提升。

1　材料与方法

1.1　样品来源

依据 GB/T 10789—2015《饮料通则》建立饮料分类体系, 于 2023 年 12 月至 2024 年 7 月期间, 在安顺市西秀区主城区及周边 4 个乡镇的中小学校周边超市、便利店、小卖部及流动摊贩等不同规模的销售终端, 随机采集预包装饮料样本 834 份。样本覆盖以下 7 个类别: 风味饮料(247 份)、特殊用途饮料(95 份)、茶饮料(128 份)、蛋白饮料(110 份)、果汁饮料(86 份)、咖啡饮料(15 份)、碳酸饮料(153 份)。样本包括可口可乐、农夫山泉、娃哈哈、红牛等在内的国内外知名品牌产品, 同时也包括了部分区域性品牌及本地小型企业产品。所有样本均记录其品牌与生产企业信息, 且在采集后 24 h 内送至实验室待测。

1.2　仪器与试剂

ME204/02 分析天平(精度 0.1 mg, 瑞士梅特勒托利多

公司); LC-20AT 高效液相色谱仪(日本岛津公司); Diamonsil Plus C_{18} 柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(广州迪码科技有限公司); CLXXUVFM2 超纯水机(英国埃尔格公司)。

磷酸二氢钾(分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司); 乙腈(色谱纯, 美国天地公司); 乙酸铵(分析纯, 西陇化工股份有限公司); 糖精钠标准溶液(质量浓度 1000 μg/mL, 中国计量科学研究院); 安赛蜜标准溶液(质量浓度 1000 μg/mL, 北京海岸鸿蒙标准物质技术有限公司); 阿斯巴甜标准溶液(质量浓度 1000 μg/mL)、纽甜标准溶液(质量浓度 10 mg/mL)(马来西亚 RM standards Sdn Bhd 公司); 饮料中安赛蜜质控样[(0.345±0.011) g/kg, 大连中食国实检测技术有限公司]; 饮料中阿斯巴甜质控样[(25.6±3.7) mg/kg]、饮料中纽甜质控样[(8.44±1.22) mg/kg](北京微标标物科技有限公司)。

1.3 检测方法

样品前处理过程包括超声提取、离心净化及滤膜过滤步骤。糖精钠的检测参照 GB 5009.28—2016《食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》进行, 方法检出限为 5 mg/kg; 安赛蜜的检测参照 GB 5009.140—2023《食品安全国家准 食品中乙酰磺胺酸钾的测定》进行, 方法检出限为 0.3 mg/kg; 阿斯巴甜的检测参照 GB 5009.263—2016《食品安全国家标准 食品中阿斯巴甜和阿力甜的测定》进行, 方法检出限为 5 mg/kg; 纽甜的检测参照 GB 5009.247—2016《食品安全国家标准 食品中纽甜的测定》进行, 方法检出限为 0.3 mg/kg。具体的液相色谱条件参数见表 1。

1.4 质量控制

采用平行双样检测、加标回收实验及质控样检测对方法的准确性进行验证。所有目标物的加标回收率均控制在 85%~110%之间, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均不超过 5%。

1.5 评价依据

虽然 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》已于 2024 年 2 月 8 日发布, 但其正式实施日期为 2025 年 2 月 8 日。因此, 本研究仍依据 GB 2760—2014 标准进行判定。为便于表述与分析, 本研究将“超范围使用”(如标准规定不得使用)和“超限量使用”统称为“超标”, 其样本统称为“超标样本”。具体规则如下: (1)对于禁止添加的成分(如糖精钠): 检出量超过方法检出限即判定为超标; (2)对于限值型甜味剂(安赛蜜、阿斯巴甜、纽甜): 含量超过 GB 2760—2014 规定的最大使用量即判定为超标。各甜味剂在相关饮料中的使用标准见表 2。

1.6 数据处理

每份样品提取液重复进样测定 3 次, 取平均值结果用于后续统计分析。数据整理与图表绘制使用 Excel 2003 软件完成。使用 SPSS 27.0 软件进行统计分析, 不同品类饮料间甜味剂的检出率与超标率差异比较采用卡方检验, 显著性水平设定为 $P<0.05$。

表 1 液相色谱条件参数

Table 1 Conditions and parameters of liquid chromatogram

检测指标	糖精钠、安赛蜜	阿斯巴甜	纽甜
色谱柱	Diamonsil Plus C_{18} (250 mm×4.6 mm, 5 μm)	Diamonsil Plus C_{18} (250 mm×4.6 mm, 5 μm)	Diamonsil Plus C_{18} (250 mm× 4.6 mm, 5 μm)
流动相	乙腈(A)-乙酸铵(B)	乙腈-水	乙腈-水
流速/(mL/min)	1.00	0.80	0.80
洗脱程序	0 (10% A), 0~8 min (45% A), 8~9 min (70% A), 9~11 min (70% A), 11~12 min (10% A), 12~16 min (10% A)	等度洗脱(20:80, *V*:*V*) 10 min	等度洗脱(40:60, *V*:*V*) 10 min
检测波长/nm	225	200	210

表 2 4 种甜味剂在饮料中的使用标准(GB 2760—2014)

Table 2 Usage standards for 4 kinds of sweeteners in beverages (GB 2760—2014)

甜味剂	适用饮料类别	最大使用量/(g/kg)
糖精钠	饮料	不得使用
安赛蜜	蛋白饮料, 碳酸饮料, 咖啡(类)饮料, 特殊用途饮料, 风味饮料	0.3
	茶(类)饮料	0.58
	果蔬汁(浆)类饮料	0.3
阿斯巴甜	果蔬汁(浆)类饮料, 蛋白饮料, 碳酸饮料, 茶、咖啡(类)饮料, 特殊用途饮料, 风味饮料	0.6
纽甜	果蔬汁(浆)类饮料, 蛋白饮料, 碳酸饮料, 特殊用途饮料, 风味饮料	0.033
	茶、咖啡(类)饮料	0.05

2　结果与分析

2.1　不同品类饮料中甜味剂总体监测情况

本研究共检测 834 份饮料样本, 甜味剂总体超标率为 10.4% (87/834)。不同品类饮料间的检出率差异具有统计学意义 (P=0<0.05), 其中碳酸饮料的检出率最高 (71.9%, 110/153), 风味饮料次之(66.0%, 163/247), 咖啡饮料最低 (26.7%, 4/15)。不同品类饮料间的超标率差异无统计学意义(P=0.064>0.05), 其中特殊用途饮料(14.7%, 14/95)和风味饮料(14.6%, 36/247)的超标率相对较高, 咖啡饮料(0%, 0/15)最低。各类饮料的甜味剂总体检测结果情况详见表 3。

2.2　不同品类饮料中各类甜味剂监测情况

依据标准规定, 糖精钠不得用于饮料, 因此其检出即判定为超标(超范围使用)。需注意的是, 根据 GB 2760—2014 的“带入原则”, 若糖精钠来源于食品原料或配料的合法使用带入, 且含量在合理工艺下无法避免, 则可不视为主动违规添加。本次研究中, 糖精钠在风味饮料中的超标率最高为 9.3% (23/247), 占超标样品的 44.2% (23/52); 而在 52 份糖精钠检出阳性样品中, 有 26 份样品的残留量超过方法检出限 (5 mg/kg)的 10 倍(即≥0.05 g/kg), 占阳性样品的 50.0% (26/52)。这些高残留样品高度集中于风味饮料, 共检出 18 份, 占高残留样品总数的 69.2% (18/26), 风味饮料中糖精钠的最高检出值达 0.259 g/kg。特殊用途饮料中纽甜的超标率最高为 10.5% (10/95), 占超标样品的 45.5% (10/22), 最高检出值为 0.225 g/kg, 超过标准限值(0.033 g/kg) 5.8 倍; 安赛蜜和阿斯巴甜在所有品类中均未出现超标。各类甜味剂详细分布见表 4。

2.3　不同品类饮料中甜味剂混合使用监测情况

混合使用甜味剂在饮料产品中较为普遍。由表 5 可知, 在 834 份样本中, 共有 167 份样本检出不低于 2 种甜味剂, 混合使用检出率为 20.0% (167/834)。各品类中, 碳酸饮料的混合使用检出率最高(34.6%, 53/153), 其次为风味饮料 (27.5%, 68/247)和特殊用途饮料(15.8%, 15/95); 咖啡饮料未检出混合甜味剂。混合甜味剂超标样本共 53 份, 总体超标率为 6.4% (53/834), 占全部超标样本的 60.9% (53/87)。风味饮料的混合甜味剂超标数最多(24 份), 但其超标率(9.7%, 24/247)与特殊用途饮料(6.3%, 6/95)、果汁饮料(5.8%, 5/86)等品类的差异无统计学意义(χ^2=11.22, P=0.082>0.05)。

2.4　不同品类饮料甜味剂超标样本与企业规模的关系

超标的 87 份样本中, 微型企业和小型企业是主要来源, 分别占总超标样本的 50.6%和 31.0%。风味饮料的超标样本中 86.1%来自微型企业; 特殊用途饮料的超标样本中50.0%来自小型企业。大型企业在所有品类中的超标占比仅为 4.6%, 见表 6。

表 3　不同品类饮料中甜味剂总体检测结果

Table 3　Overall detection results of sweeteners in different beverage categories

饮料类别	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	统计值
茶饮料	128	54	42.2	10	7.8	$\chi^2_{检}$=48.748, $P_{检}$=0<0.05; $\chi^2_{超}$=11.910, $P_{超}$=0.064>0.05
蛋白饮料	110	57	51.8	9	8.2	
风味饮料	247	163	66.0	36	14.6	
果汁饮料	86	36	41.9	7	8.1	
咖啡饮料	15	4	26.7	0	0.0	
碳酸饮料	153	110	71.9	11	7.2	
特殊用途饮料	95	51	53.7	14	14.7	
合计	834	475	57.0	87	10.4	

表 4　不同品类饮料中各甜味剂的检出与超标情况

Table 4　Detection and exceedance situations of various sweeteners in different beverage categories

饮料类别	糖精钠				安赛蜜				阿斯巴甜				纽甜			
	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%
茶饮料(128)	8	6.2	8	6.2	37	28.9	0	0	18	14.1	0	0	5	3.9	2	1.6
蛋白饮料(110)	7	6.4	7	6.4	49	44.5	0	0	7	6.4	0	0	1	0.9	1	0.9
风味饮料(247)	23	9.3	23	9.3	135	54.7	0	0	66	26.7	0	0	13	5.3	3	1.2
果汁饮料(86)	4	4.7	4	4.7	28	32.6	0	0	15	17.4	0	0	3	3.5	3	3.5
咖啡饮料(15)	0	0.0	0	0.0	3	20.0	0	0	1	6.7	0	0	0	0.0	0	0.0
碳酸饮料(153)	6	3.9	6	3.9	99	64.7	0	0	57	37.3	0	0	3	2.0	3	2.0
特殊用途饮料(95)	4	4.2	4	4.2	37	38.9	0	0	15	15.8	0	0	10	10.5	10	10.5
合计(834)	52	6.2	52	6.2	388	46.5	0	0	179	21.5	0	0	35	4.2	22	2.6

表 5 不同品类饮料中混合甜味剂检测结果

Table 5 Detection results of mixed sweeteners in different beverage categories

饮料类别	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	统计值
茶饮料	128	14	10.9	6	4.7	$\chi^2_{超}$=11.22, $P_{超}$=0.082>0.05
蛋白饮料	110	7	6.4	5	4.5	
风味饮料	247	68	27.5	24	9.7	
果汁饮料	86	10	11.6	5	5.8	
咖啡饮料	15	0	0	0	0	
碳酸饮料	153	53	34.6	7	4.6	
特殊用途饮料	95	15	15.8	6	6.3	
合计	834	167	20.0	53	6.4	

表 6 不同品类饮料甜味剂超标样本所属生产企业规模情况

Table 6 Scale information of the production enterprises for samples with excessive sweeteners in different types of beverages

饮料类别	总超标数/份	大型企业		中型企业		小型企业		微型企业	
		超标数/份	百分占比/%	超标数/份	百分占比/%	超标数/份	百分占比/%	超标数/份	百分占比/%
茶饮料	10	0	0	0	0	6	60.0	4	40.0
蛋白饮料	9	0	0	2	22.2	7	77.8	0	0
风味饮料	36	1	2.8	0	0	4	11.1	31	86.1
果汁饮料	7	1	14.3	2	28.6	1	14.3	3	42.9
咖啡饮料	0	0	0	0	0	0	0	0	0
碳酸饮料	11	0	0	4	36.4	2	18.2	5	45.5
特殊用途饮料	14	2	14.3	4	28.6	7	50.0	1	7.1
合计	87	4	4.6	12	13.8	27	31.0	44	50.6

2.5 青少年甜味剂暴露量水平

为量化校园周边饮料对青少年甜味剂暴露的贡献程度, 本研究开展了初步的暴露评估。评估参考了中国东北地区儿童青少年饮料消费量中位数数据(小学生 150 mL/d、初中生 166.7 mL/d、高中生 251.7 mL/d)[21], 并基于《安顺市学生常见病监测系统》中该年龄段体重范围, 设定了小学生、初中生、高中生的体重参数分别为 30、45 和 55 kg。结合本研究检出的各类甜味剂残留量最高值, 测算了不同学段青少年通过饮料途径的每日暴露量, 并与其每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)进行比较。

由表 7 可知, 通过饮料途径摄入的甜味剂中, 纽甜和糖精钠对青少年的暴露贡献最为突出。其中, 纽甜对小学生的暴露量(1.12 mg/kg •d)已达 ADI 的 56.0%, 糖精钠的暴露量(1.30 mg/kg • d)也达到 ADI 的 26.0%; 初中生和高中生的相应暴露占比均超过 ADI 的 18.0%。相比之下, 安赛蜜和阿斯巴甜的暴露量均远低于其 ADI(最高占比不足 5%)。

表 7 青少年通过饮料途径摄入的甜味剂每日暴露量

Table 7 Daily exposure dose of sweeteners through beverage consumption among adolescents

甜味剂	ADI/(mg/kg • d)	残留高值/(g/kg)	小学生暴露量/(mg/kg • d)	初中生暴露量/(mg/kg • d)	高中生暴露量/(mg/kg • d)
糖精钠	5	0.259	1.30	0.90	1.14
安赛蜜	15	0.287	0.48	0.33	0.42
阿斯巴甜	40	0.558	0.93	0.65	0.82
纽甜	2	0.225	1.12	0.78	0.99

注: 计算以小学生为例(体重按 30 kg 计), 纽甜暴露量=(0.225 g/kg×0.150 L/d×1000 mg/g)/30 kg=1.12 mg/kg • d。

3　讨　论

本研究系统分析了安顺市校园周边 7 类共 834 份饮料样本, 揭示出甜味剂的合规性与健康风险存在显著的品类差异与集中趋势。特殊用途饮料与风味饮料的不合规率最高, 共同构成了关键风险管控焦点, 且二者呈现出截然不同的违规特征: 前者是纽甜超限量使用的重灾区, 而后者则成为糖精钠超范围添加的核心区域。这一“品类极化”现象, 连同其对特定甜味剂暴露的放大效应, 对青少年这一敏感群体的潜在健康影响不容忽视, 亟待从合规性成因、暴露水平及混合使用风险等多个维度进行深入剖析。

3.1　甜味剂使用的品类差异与违规特征

本研究发现, 校园周边饮料的甜味剂不合规率在不同品类间差异无统计学意义, 但特殊用途饮料(14.7%)和风味饮料(14.6%)相对较高, 构成了风险管控的关键焦点。更为重要的是, 这两类饮料呈现出截然不同的违规特征: 风味饮料是糖精钠超范围使用的核心品类(不合规率 9.3%), 而特殊用途饮料则是纽甜超限量使用的高发品类(不合规率 10.5%)。

对于风味饮料中检出的糖精钠, 其分布特征强烈提示存在主动添加的嫌疑。尽管需考虑 GB 2760——2014 中的“带入原则”, 但本研究数据显示, 糖精钠阳性样本中 50.0% (26/52)的残留量超过方法检出限 10 倍(≥0.05 g/kg), 且高度集中于风味饮料(69.2%, 18/26), 最高检出值达 0.259 g/kg。这种非随机、高浓度的分布模式, 与“在合理工艺下无法避免”的微量带入特征不符, 更符合为调节产品口味而进行的违规添加, 反映了生产环节, 特别是中小微企业监管的潜在漏洞。

3.2　基于暴露贡献的健康风险特征分析

暴露评估结果显示, 校园周边饮料是青少年摄入特定甜味剂的一个极其重要且风险集中的暴露来源。仅通过饮用饮料这一途径, 纽甜对小学生的暴露量已高达 1.12 mg/kg • d, 占其 ADI 的 56.0%; 糖精钠的暴露量也达到了 1.30 mg/kg • d(占 ADI 的 26.0%)。鉴于甜味剂还广泛存在于冰淇淋、糕点、蜜饯等多种日常消费的加工食品中, 本评估结果揭示, 仅通过饮料这一单一途径, 对纽甜和糖精钠的暴露贡献已相当可观。这明确提示, 对于消费量大的青少年群体, 饮料是其甜味剂总膳食暴露中一个亟需优先关注的关键来源。

风险分析进一步揭示了暴露的“集中性”与“人群易感性”。本研究检出的糖精钠超标样本有 44.2% (23/52)源自风味饮料; 而纽甜的超标样本 45.5% (10/22)集中于特殊用途饮料, 且其残留量最高超过标准限值 5.8 倍。这表明, 消费偏好高度集中于上述特定品类饮料的青少年, 其相应甜味剂的暴露水平会显著高于基于总体消费量计算的平均值。结合毒理学文献, 这种高度的暴露水平值得高度警惕: 糖精钠作为国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)认定的第 3 类潜在致癌物[22], 其长期摄入可能与代谢异常和肝肾损伤相关[23–25]; 此外, 新近的整合分析进一步揭示了人工甜味剂(包括糖精钠)与癌症风险之间的关联[26]。而本研究中检出高值纽甜的特殊用途饮料, 动物研究表明该剂量下纽甜可诱发神经行为异常并破坏肠道屏障功能[27–28]; 值得关注的是, 一项前瞻性队列研究提示, 人工甜味剂的摄入与未来痴呆症风险的升高存在关联[29], 这从人群层面强化了对纽甜加强监管的紧迫性。青少年群体由于其代谢系统发育不成熟、单位体重暴露负荷更高(尤其是小学生), 且其正处于神经和代谢系统发育的关键窗口期, 长期摄入人工甜味剂可能对认知功能产生不利影响, 并提升未来神经退行性疾病的发生风险[29], 青少年群体成为面临相关潜在健康风险的敏感人群。

3.3　混合使用的普遍性与风险评估挑战

混合使用甜味剂在饮料中极为普遍, 本研究总体混合使用检出率达 20.0%, 其中碳酸饮料(34.6%)和风味饮料(27.5%)较高。尤为重要的是, 混合甜味剂超标样本占全部超标样本的 60.9% (53/87), 表明混合使用是当前违规的主要形式。现有研究提示, 不同人工甜味剂(如糖精钠与安赛蜜)混合可能产生协同效应, 抑制肝脏代谢酶活性, 加剧潜在毒性[30]。然而, 现行监管标准仅针对单一物质设定限量, 缺乏对混合使用的系统性风险评估, 这可能导致其潜在的联合健康风险被严重低估, 构成监管盲区。

3.4　企业规模对合规性的影响

本研究发现甜味剂超标问题与企业生产规模密切相关。微型企业和小型企业超标样本分别占总超标样本的 50.6%和 31.0%, 风味饮料的超标样本更有 86.1%来自微型企业。这反映出小微企业在生产工艺、质量控制和合规意识方面存在薄弱环节, 提示其应成为未来监管与技术帮扶的重点对象。

3.5　研究局限性与未来方向

本研究存在几点局限: 首先, 仅检测 4 种甜味剂, 未能涵盖三氯蔗糖、甜菊糖苷等常用品种, 难以全面掌握复配使用模式。其次, 暴露评估借鉴了外地消费量数据, 若本地消费习惯更高, 则可能存在低估。最后, 虽指出混合甜味剂的潜在风险, 但未通过实验量化验证其联合毒性。未来研究应扩大检测范围, 开展本地化膳食消费调查, 并利用体内外模型定量评估常见甜味剂组合的联合毒性作用, 为科学监管提供直接依据。

4　结　论

本研究表明风味饮料与特殊用途饮料是校园周边甜

味剂违规使用与健康风险管控的焦点。前者主要违规使用糖精钠，后者则普遍存在纽甜超标问题。通过饮料途径摄入的纽甜与糖精钠对小学生群体的暴露贡献已接近或超过其 ADI 的一半，加之混合使用现象普遍及青少年群体的生理易感性，构成了不容忽视的食品安全监管与健康风险预警重点。

基于上述结论，为保障青少年健康，特提出以下针对性监管建议：(1)实施高风险品类与企业的靶向监管：建议市场监管部门以季度为频次，对校园周边销售的风味饮料(重点筛查糖精钠)和特殊用途饮料(重点筛查纽甜)实施定向抽检，并特别关注小微企业的产品。(2)扩大甜味剂常规检测范围：建议将三氯蔗糖、甜菊糖苷等使用频繁的品种新增为常规检测项目，以全面监控复配情况，准确评估联合暴露水平。(3)强化对企业生产规范的监管与溯源：应重点加强对小微企业原料采购、投料记录及生产过程合规性的监督检查与溯源管理，从源头遏制违规行为，并可为其提供技术指导以提升质控能力。

参考文献

[1] 王丽英, 任贝贝, 路杨, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定白酒中 9 种甜味剂[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(2): 154–159.
WANG LY, REN BB, LU Y, *et al*. Determination of 9 kinds of sweeteners in baijiu by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(2): 154–159.

[2] 张东方, 班楠, 高尚, 等. 甜味剂在饮料中的应用研究[J]. 食品安全导刊, 2025(8): 156–158.
ZHANG DF, BAN N, GAO S, *et al*. Research on the application of sweeteners in beverages [J]. Journal of Food Safety Guide, 2025(8): 156–158.

[3] 陈晨, 刘亚璇, 徐小培, 等. 串联固相萃取柱-高效液相色谱法同时测定饮料中 5 种甜味剂[J]. 现代食品, 2025(17): 216–218, 224.
CHEN C, LIU YX, XU XP, *et al*. Simultaneous determination of five sweeteners in beverages by tandem solid-phase extraction columns and high performance liquid chromatography [J]. Modern Food, 2025(17): 216–218, 224.

[4] 冯俊富, 朱飞如, 梁国华, 等. 高效液相色谱法同时测定饮料中 19 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(15): 315–322.
FENG JF, ZHU FR, LIANG GH, *et al*. Simultaneous determination of 19 kinds of food additives in beverages by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(15): 315–322.

[5] 李高天, 阮家钊, 俞慧丽, 等. 2019 年杭州市散装豆腐中防腐剂添加状况及暴露评估[J]. 现代预防医学, 2021, 48(23): 4256–4260.
LI GT, RUAN JZ, YU HL, *et al*. The status of preservative addition and exposure assessment of bulk tofu in Hangzhou City in 2019 [J]. Modern Preventive Medicine, 2021, 48(23): 4256–4260.

[6] 赵云霞, 刘冰, 王怡, 等. 湖北省食品中甜蜜素和安赛蜜的风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 110–115.
ZHAO YX, LIU B, WANG Y, *et al*. Risk assessment of saccharin and acesulfame in food in Hubei Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 110–115.

[7] 吴鹏, 张成云, 朱旭丽, 等. 人工甜味剂对人体的影响及国内外标准现状探讨[J]. 食品科学, 2024, 45(15): 383–391.
WU P, ZHANG CY, ZHU XL, *et al*. Impact of artificial sweeteners on human health and current standards in China and abroad [J]. Food Science, 2024, 45(15): 383–391.

[8] 陈淼淼, 赵昕, 李东辉, 等. 高效液相色谱法测定饮料和冰淇淋中 18 种添加剂[J]. 食品科技, 2024, 49(5): 307–313.
CHEN MM, ZHAO X, LI DH, *et al*. Determination of 18 kinds of additives in beverages and ice cream by high performance liquid chromatography [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(5): 307–313.

[9] 黄燕, 徐文泱, 虞岚, 等. 湖南省现制饮料中甜味剂膳食暴露及对青少年风险评估[J]. 食品与机械, 2024, 40(8): 58–63.
HUANG Y, XU WY, YU L, *et al*. Dietary exposure and risk assessment of sweeteners in ready-to-drink beverages for adolescents in Hunan Province [J]. Food & Machinery, 2024, 40(8): 58–63.

[10] 王艳莉, 李成国, 郭宝福, 等. 南京市居民膳食中糖精钠暴露的理论风险评估[J]. 卫生研究, 2020, 49(6): 1008–1013.
WANG YL, LI CG, GUO BF, *et al*. Theoretical risk assessment of saccharin sodium exposure in the diet of Nanjing residents [J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(6): 1008–1013.

[11] 刘星, 杨黎, 冯婷, 等. 高效液相色谱法检测 4 种食品中 11 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 4188–4194.
LIU X, YANG L, FENG T, *et al*. Detection of 11 kinds of food additives in 4 kinds of types of food by high-performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(10): 4188–4194.

[12] 钟菲菲, 雷德卿, 周金沙, 等. 高效液相色谱法检测药品糖浆剂中 4 种人工合成甜味剂[J]. 食品与机械, 2022, 38(7): 75–79.
ZHONG FF, LEI DQ, ZHOU JS, *et al*. Detection of four artificial sweeteners in pharmaceutical syrups by high performance liquid chromatography [J]. Food & Machinery, 2022, 38(7): 75–79.

[13] 赵昕, 张静, 李东辉, 等. 高效液相色谱法同时检测水果加工品中 18 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(20): 297–306.
ZHAO X, ZHANG J, LI DH, *et al*. Simultaneous detection of 18 food additives in fruit processed products by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(20): 297–306.

[14] 杨志敏, 陈源, 刘淑坡, 等. UPLC-QTOF-MS 法直接检测碳酸饮料和茶饮料中 8 种甜味剂[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(5): 8–11, 17.
YANG ZM, CHEN Y, LIU SP, *et al*. Direct detection of eight sweeteners in carbonated beverages and tea beverages by UPLC-QTOF-MS [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2022, 41(5): 8–11, 17.

[15] 欧阳丽, 杨韵, 周探春, 等. 超高效液相色谱法同时测定茶饮料中单宁酸、4 种甜味剂和 2 种防腐剂[J]. 现代食品, 2025(15): 188–193.
OUYANG L, YANG Y, ZHOU TC, *et al*. Simultaneous determination of tannic acid, four sweeteners, and two preservatives in tea beverages by ultra performance liquid chromatography [J]. Modern Food, 2025(15): 188–193.

[16] 司晓喜, 董岳峰, 杨怡, 等. 高效液相色谱法分离饮料中的糖精钠[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2022, 40(5): 71–74.
SI XX, DONG YF, YANG Y, *et al*. Separation of saccharin sodium in beverages by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Science Edition), 2022, 40(5):

71–74.

[17] 李颖. 含糖饮料摄入与青少年肥胖的关系及其防控措施研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(16):114–117.
LI Y. Research progress on the relationship between sugar-sweetened beverage intake and adolescent obesity and its prevention and control measures [J]. Journal of Food Safety Guide, 2022(16): 114–117.

[18] 李小慧, 黄志英. 2015 年—2016 年江西省抚州市市区学校周边饮料中食品添加剂含量调查分析[J]. 实验与检验医学, 2020, 38(6): 1195–1197
LI XH, HUANG ZY. Investigation and analysis of food additive content in beverages around schools in Fuzhou City, Jiangxi Province, 2015—2016 [J]. Experimental and Laboratory Medicine, 2020, 38(6): 1195–1197.

[19] 黄燕, 李政, 徐文泱, 等. 2021—2022 年长沙市市售饮料中防腐剂和甜味剂的含量监测分析[J]. 现代食品, 2023(21): 148–150.
HUANG Y, LI Z, XU WY, *et al*. Monitoring and analysis of preservatives and sweeteners in commercially available beverages in Changsha City, 2021—2022 [J]. Modern Food, 2023(21): 148–150.

[20] 刘钰洁, 徐林, 龚玲, 等. 安顺市校园周边市售饮料中防腐剂与甜味剂使用现状[J]. 中国学校卫生, 2025, 46(7): 1051–1054.
LIU YJ, XU L, GONG L, *et al*. Current situation of preservatives and sweeteners usage in beverages sold around schools in Anshun City [J]. Chinese Journal of School Health, 2025, 46(7): 1051–1054.

[21] 崔玉丰, 许丽丽, 张柔, 等. 中国东北两省 6~17 岁儿童青少年含糖饮料消费状况及影响因素分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2025, 37(1): 100–106.
CUI YF, XU LL, ZHANG R, *et al*. Consumption status and influencing factors of sugar-sweetened beverages among children and adolescents aged 6–17 in two provinces of Northeast China [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2025, 37(1): 100–106.

[22] International Agency for Research on Cancer. Saccharin and its salts [EB/OL]. (2024-07-25) [2025-10-18]. https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono73.pdf

[23] LI X, ZHANG Y, WANG H, *et al*. Gut microbiota mediates the metabolic effects of saccharin in mice [J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 5126.

[24] ALKAFAFY ME, IBRAHIM ZS, AHMED MM. Impact of aspartame and saccharin on the rat liver: Biochemical, molecular, and histological approach [J]. International Journal of Immunopathology and Pharmacology, 2015, 28(2): 247–255.

[25] NABI RK, AZEZ OH, ABDULLAH MA, *et al*. Histopathological effects of sodium saccharin toxicity on liver and kidney of rats in Duhok City-Iraq [J]. Egyptian Journal of Veterinary Sciences, 2024, 55(7): 1801–1810.

[26] XIE JM, ZHU Y, YANG ZX, *et al*. An integrative analysis reveals cancer risk associated with artificial sweeteners [J]. Journal of Translational Medicine, 2024, 22(1): 32.

[27] MOHAMMED AJ, Al-AWADI HK, Al-SHUKRI HHK. Comparative study between artificial sweeteners such as aspartame and neotame on neurobehavioral and some haematological parameters in male rats [J]. Iraqi Journal of Industrial Research, 2025, 12(1): 109–117.

[28] DEL PS, GÓMEZ-MARTÍNEZ S, DÍAZ LE, *et al*. Potential effects of sucralose and saccharin on gut microbiota: A review [J]. Nutrients, 2022, 14(8): 1682.

[29] DEBRAS C, CHAZELAS E, SELLEM L, *et al*. Artificial sweeteners and risk of dementia: A prospective cohort study [J]. Neurology, 2025, 104(6): e240–e251.

[30] ZHANG Y, LIU R, CHEN S, *et al*. Synergistic inhibition of CYP3A4 by saccharin and acesulfame potassium exacerbates hepatotoxicity in co-exposure models [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2023, 478: 116712.

(责任编辑: 安香玉　韩晓红)