

辽宁地区酸菜中亚硝酸盐的风险评估

韩晓鸥, 平小红, 伊萍, 张媛媛*

(辽宁省疾病预防控制中心, 沈阳 110005)

摘要: 目的 评估辽宁地区酸菜中亚硝酸盐对我国居民健康状况的潜在危险。**方法** 通过小鼠毒理实验分析, 确定亚硝酸盐危害以及致病机制, 在辽宁地区选择大型商场和小型农贸市场共采集样品 120 份, 对样品亚硝酸盐含量进行检测, 运用风险评估软件 RISK@7.5 建立风险评估模型, 结合急性膳食摄入风险、慢性膳食摄入风险等指标对辽宁地区酸菜中的亚硝酸盐膳食摄入风险进行评估。**结果** 样品中检出亚硝酸盐 96 份, 检出率为 80%, 通过模型可以推断出酸菜中亚硝酸盐检出 1 份的平均概率小于 76%。计算得出亚硝酸盐的急性膳食摄入风险为 0.23%, 慢性膳食摄入风险为 0.094%。**结论** 辽宁地区酸菜中亚硝酸盐均处于安全水平, 风险均为可接受。

关键词: 酸菜; 亚硝酸盐; 风险评估; RISK@7.5

Risk assessment of nitrite in sauerkraut in Liaoning province

HAN Xiao-Ou, PING Xiao-Hong, YI Ping, ZHANG Yuan-Yuan*

(Liaoning Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shenyang 110005, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the potential risk of nitrite in sauerkraut to the health status of residents in Liaoning province. **Methods** Through the analysis of mouse toxicology experiments, the hazards of nitrite and the pathogenic mechanism were determined. A total of 120 samples were collected in large shopping malls and small farmers' markets in Liaoning to test the nitrite content. A risk assessment model was established by the risk assessment software RISK@7.5, combining with the indexes of acute dietary intake risk and chronic dietary intake risk, the nitrite dietary intake risk in sauerkraut in Liaoning region was evaluated. **Results** Totally 96 nitrites were detected in the samples, and the detection rate was 80%. It could be inferred from the model that the average probability of detecting one of nitrite in pickles was less than 76%. It was calculated that the acute dietary intake risk of nitrite was 0.23%, and the chronic dietary intake risk was 0.094%. **Conclusion** The nitrite in sauerkraut in Liaoning is at a safe level, and the risks are acceptable.

KEY WORDS: sauerkraut; nitrite; risk assessment; RISK@7.5

1 引言

蔬菜作为人体重要的维生素和纤维素的摄入来源, 在人们的日常膳食中占有重要的地位, 其质量安全问题更涉及每个人的健康, 它是一种易于富集硝酸盐的食物, 人

体摄入的 80%以上的硝酸盐来自蔬菜, 辽宁地区冬季比较寒冷, 蔬菜稀少, 人们习惯用腌制白菜的方式来储存蔬菜, 将白菜腌制成酸菜的过程能有效降低白菜中硝酸盐的含量, 但亚硝酸盐含量却相对升高, 现代研究表明, 酸菜在腌制过程中硝酸盐可被还原菌还原成亚硝酸盐, 过多的亚硝酸

*通讯作者: 张媛媛, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 147000840@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Yuan-Yuan, Deputy Chief Technician, Liaoning Provincial Center for Disease Control and Prevention, 242 Shayang Road, Heping District, Shenyang 110005, China. E-mail: 147000840@qq.com

盐摄入会引发中毒,对人体具有直接或间接的危害^[1]。亚硝酸盐能够把血液中携带氧气的低铁血红蛋白氧化成高铁血红蛋白,使血液失去携带氧气的功能,因而使人出现缺氧中毒症状,严重时还会因呼吸衰竭危及生命^[2,3]。所以对于酸菜的安全性越来越受到人们的重视,根据 2017 年 9 月 17 日我国颁布的 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[4]中规定腌制蔬菜中亚硝酸盐的最大限量为 20 mg/kg,但酸菜中亚硝酸盐的作用机制尚不完全清楚。国外没有相关研究资料,为了解辽宁地区酸菜的风险状况,本研究建立了辽宁地区酸菜流通领域的暴露评估模型,对酸菜中亚硝酸盐膳食摄入风险进行评估^[5],为企业生产风险管理提供参考,并为促进当地食品安全,保护人民健康提供依据。

2 材料与方 法

2.1 材料与试剂

亚硝酸钠(1000 mg/L,中国计量科学研究院);亚铁氰化钾、乙酸锌、硼砂、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);实验动物:小鼠 36 只、大鼠 27 只,标准鼠粮饲料(中国医科大学)。

辽宁地区分别以人流密集的大型超市、农贸市场、早市以及百姓家作为调查地点,共采集样品 120 份,样品均为 2019 年销售,酸菜样品一般分为密封和散装 2 种,取出样品固体液体混合均匀,搅拌机粉碎,装入洁净聚乙烯瓶中,密封,于 4 °C 冰箱冷藏备用。

2.2 仪器与设备:

KQ5200DB 超声仪(昆山市超声仪器有限公司); Synergy UV Mili-Q 超声纯水系统(美国 Milipore 公司); XSP-2C 电子显微镜(上海精密科学仪器有限公司); ST 16R 台式冷冻离心机、U-2009 紫外/可见分光光度计(美国热电公司); S 25 涡旋混匀器(德国 IKA 公司); BS 110S 电子天平(德国 Sartorius 公司); AU 400 血液生化检测仪(日本 Olympus 公司); KS-21 血球分析仪(日本 Sysmex 公司); 202-1A 数显电热恒温干燥箱(上海阳光实验仪器有限公司)。

2.3 方 法

选择一部分大鼠和小鼠按性别分笼饲养一周,选其中健康的 30 只小鼠以及 24 只大鼠分用以做 7 d 小鼠急性毒理实验和 30 d 的大鼠慢性毒理实验实验。准确称取给药量:每只鼠的给药量(mg)=每只鼠体重(mg)×该组剂量(mg/kg)。

2.3.1 小鼠急性毒理动物试验

根据资料查得亚硝酸盐的半数致死量约为 200 mg/kg,用其作为中间浓度,以等比级数 1.3 为梯度设计,依次增加和降低,分为 6 个组,每组 3 只,不分雌雄。小鼠喂养

7 d 后,对小鼠死亡情况进行记录,计算半数致死量(median lethal dose, LD₅₀):采用改进寇氏(Karber)法计算^[6],半数致死量(LD₅₀)。通常计算要求最大剂量组的死亡率应为 95%~100%。最小致死率应为 0%~5%。按式(1)计算:

$$\text{LogLD}_{50} = X_K - i(\Sigma p_p - 0.5) \quad (1)$$

式中: X_K 为最大剂量的对数; i 为相邻剂量比值的对数; p 为各组死亡率; Σp_p 为各组死亡率的总和。根据实验结果绘制剂量-反应曲线。

2.3.2 大鼠慢性毒理动物试验

将 24 只大鼠按照性别分成 8 组,4 个雌性剂量组,4 个雄性剂量组,每个剂量组养殖 3 只大鼠,4 个剂量组分别根据急性毒理实验结果,选择阴性酸菜样品,将亚硝酸盐配制成规定浓度后均匀混合在阴性酸菜样品中并混合鼠粮,进行 30 d 喂养实验,同时做空白实验(保证其亚硝酸盐含量 < 1 mg/kg,可忽略不计)。实验结束后,对大鼠进行生化指标测定、通过全自动血液分析仪进行血液成分分析,将病理组分送去辽宁省肿瘤医院进行病理组织学检验。

2.3.3 样品前处理

称取 5.0 g 经绞碎混匀的酸菜样品,置于 50 mL 烧杯中,加 12.5 mL 硼砂饱和液,搅拌均匀,以 70 °C 左右的水约 300 mL 将试样洗入 500 mL 容量瓶中,于沸水浴中加热 15 min,取出后冷却至室温,然后一面转动,一面加入 5 mL 亚铁氰化钾溶液,摇匀,再加入 5 mL 乙酸锌溶液,以沉淀蛋白质,加水至刻度,摇匀,放置 0.5 h,除去上层脂肪,清夜用滤纸过滤,弃去初滤液 30 mL,滤液备用^[7,8]。

2.3.4 标准配制

亚硝酸盐: 1000 mg/L,吸取 20 mL 标准溶液配制成 100 mL 容量瓶中,配制成 200 μg/mL 标准使用液,吸取 40.0 mL 上述滤液于 50 mL 带塞比色管中,另吸取 0.00、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00、1.50、2.00、2.50 mL 亚硝酸钠标准使用液(相当于 0、1、2、3、4、5、7.5、10、12.5 μg 亚硝酸钠)分别置于 50 mL 带塞比色管中。于标准管与试样管中分别加入 2 mL 对氨基苯磺酸溶液(4 g/L),混匀静置 3~5 min 后各加入 1 mL 盐酸萘乙二胺溶液(2 g/L),加水至刻度,混匀静置 15 min,用 2 cm 比色杯,以零管调节零点,于波长 538 nm 处测吸光度,绘制标准曲线比较,同时做试剂空白。

2.3.5 计算公式

$$X = \frac{A \times 1000}{m \times \frac{V_2}{V_1} \times 1000} \quad (2)$$

式中: X : 酸菜样品中亚硝酸盐的含量, mg/kg; m : 试样质量, g; A : 测定用样液中亚硝酸盐的质量, g; V_1 : 试样处理总体积, mL; V_2 : 测定用样液体积, mL。

2.3.6 样品测定

酸菜样品制备 24 h 内,根据 GB 5009.33-2016《食品

安全国家标准《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》^[9]对样品中亚硝酸盐进行分光光度计比色检测。每个样品平行测定 3 次, 取平均值。

2.3.7 风险评估模型建立

建模方法采用概率评估法, 即用概率分布来描述模型中的参数或结果, 以表示该参数的不确定性和变异性。模型采用 Monte Carlo 模拟技术, 运用风险分析软件 @RISK7.5 运行与分析。函数选择三角形分布有 3 个参数—最小值、最大值、最可能值, 其表达方式为“RiskTriang(最小值, 最可能值, 最大值)”。根据以上数据提供的全部信息, 计算各种可能的结果, 亚硝酸盐在辽宁地区酸菜中检出的流行率, 由此呈现风险的整个状况。模型的 1 次模拟进行 10000 次运算, 每一次运算时采用 Monte Carlo 抽样方法, 从模型各变量的概率分布中抽取 1 个值, 对这些随机抽取的数字进行计算。评估的结果以概率分布的形式描述。

2.3.8 慢性膳食摄入风险评估

联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives JECFA)根据毒理实验结果, 于 2018 年推荐酸菜中亚硝酸盐暂定每日允许摄入量为 5.253 g/(kg bw d), 以及毒理学计量-反应分析曲线得出, 允许最大摄入量(acceptable daily intake, ADI)为 25.3 mg/kg(人体质量以 65.80 kg 计)^[10]。用公式计算出酸菜中亚硝酸盐的慢性膳食摄入风险(%ADI)。%ADI 越小风险越小, 当%ADI≤100%时表示风险可以接受, 当%ADI>100%时表示风险不可接受。

$$\%ADI = \frac{STMR \times 1}{bw \times ADI} \times 100\% \quad (3)$$

STMR: 为规范实验残留中值, 取平均残留值, mg/kg; ADI: 每日允许摄入量, 25.3 mg /kg; bw 为体重, kg, 按 65.80 kg 计。

2.3.9 急性膳食摄入风险评估

根据世界卫生组织数据, 居民酸菜消费大餐值(large portion consumed, LP)^[10]为 345.6 g, 用公式(4)计算辽宁地区酸菜中亚硝酸盐的短期摄入量, 用公式(5)计算酸菜中亚硝酸盐的急性膳食摄入风险(acute reference dose, %ARfD)。%ARfD 越小风险越小, 当%ARfD≤100%时表示风险可以接受, 当%ARfD>100%时表示有不可接受风险。

$$IESTI = \frac{(LP \times STMR - p)}{bw} \quad (4)$$

$$\%ARfD = \frac{IESTI}{ARfD} \times 100 \quad (5)$$

$$SM = \frac{ARfD \times bw \sqrt{a^2 + b^2}}{LP} \quad (6)$$

其中: IESTI 为估计短期摄入量, mg/kg; STMR-P 为实验中检测中位残留量, 1.571 mg/kg; bw 为体重, kg, 按

65.80 kg 计; ARfD 为急性参考计量选为亚硝酸盐的限量值根据计量 20.0 mg/kg^[4]; SM: 安全界限 mg/kg。

3 结果与分析

3.1 危害识别

3.1.1 小鼠 7 d 急性毒理实验结果分析

小鼠经 7 d 喂养后, 按一定比例给小鼠食用亚硝酸盐, 采用直接灌注到胃部的方式进行灌药, 观察小鼠的死亡情况, 见表 1。由公式(1)得出亚硝酸盐的半数致死量(LD₅₀)为 253.279 mg/kg。

表 1 小鼠喂养 7 d 试验结果
Table 1 Results of feeding mice for 7 days

组别	亚硝酸盐剂量/(mg/kg)	小鼠数/只	死亡数/只	死亡率/%	存活率/%
1	118.30	5	0	0	1
2	153.81	5	1	0.2	1
3	200.00	5	2	0.4	0.6
4	260.00	5	3	0.6	0.4
5	338.00	5	3	0.6	0.4
6	439.40	5	5	1	0

3.1.2 剂量-反应曲线

通过急性毒理实验, 推出亚硝酸盐的剂量-反应曲线, 结果见图 1, 从图中可知最小致死剂量(LD₀₁)=257.00 mg/kg; 最大致死剂量(LD₀)=110.00 mg/kg; 绝对剂量组(LD₁₀₀)=439.00 mg/kg,

$$ADI = \frac{253.279}{10} = 25.3 \quad (7)$$

式中: ADI: 允许最大摄入量 mg/kg; 253.279: 为估计无作用剂量水平、低于这个剂量、无毒性反应由曲线得出, mg/kg; 安全系数 10 是调整人和动物间的差异由剂量-反应曲线外推得。

由公式(4)得, 当亚硝酸盐低于 25.3 mg/kg 不会产生不良反应; 当高于 25.3 mg/kg 时, 则会产生亚硝酸盐中毒现象。根据半数致死量浓度 253.279 mg/kg, 制定亚硝酸盐含量 0、126.639、253.279、506.585 mg/kg, 进行慢性毒理实验。

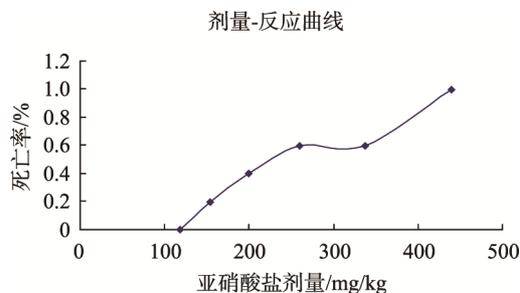


图 1 剂量-反应曲线

Fig.1 The standard curve of dose-reaction

3.1.3 大鼠 30 d 喂养试验结果分析

(1) 生化测定指标

由表 2 得, 总蛋白(total protein, TP)和球蛋白(globulin, GLOB)有下降的趋势; 白蛋白(albumin, ALB)变化不明显; 谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)1、2、3 组均小于 0 组; 谷草转氨酶(glutamic oxaloacetic transaminase, AST)变化不明显; 碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)有明显变化, 且变化不

规律, 2 组雄性远大于对照组, 1、3 组总体呈升高趋势; 总胆红素(total bilirubin, TBIL)、直接胆红素(direct bilirubin, DBIL)、间接胆红素(indirect bilirubin, IBIL)肌酐(Cr)无明显变化; 尿酸(uric acid, UA)1、2、3 组明显小于 0 组。以上结果表明, 高剂量组的血清生化参数变化较为明显, 特别是 3 组与 0 组对比变化最大, 这说明肝、心、肾、等实质性器官可能不同程度都受到损伤。

表 2 血液生化指标测定结果
Table 2 Results of blood biochemistry analysis

组别	0 雄性	0 雌性	1 雄性	1 雌性	2 雄性	2 雌性	3 雄性	3 雌性
总蛋白/(g/L)	78.6	81	71.3	77.8	75.9	73.1	68.2	68.2
白蛋白/(g/L)	33.4	33.4	33.2	31.2	30.6	35	32.4	32.6
球蛋白/(g/L)	42.6	48.2	38.1	43.8	41.6	45.6	38	37.6
谷丙转氨酶/(U/L)	69	71	50	40	59	37	56	50
谷草转氨酶/(U/L)	185	159	174	157	157	151	153	163
碱性磷酸酶/(U/L)	183	179	203	205	406	243	257	314
总胆红素/($\mu\text{mol/L}$)	2.4	2.5	2.5	1.8	3.5	2.6	2.3	2.3
直接胆红素/($\mu\text{mol/L}$)	0.4	0.5	0.4	0.2	0.7	0.3	0.3	0.3
间接胆红素/($\mu\text{mol/L}$)	2	2	2.1	1.6	2.1	2.2	2	2
肌酐/($\mu\text{mol/L}$)	44	45.2	42.8	47.5	44	45.2	44	42.4
尿酸/($\mu\text{mol/L}$)	100	84	73	77	70	60	56	55

(2) 血液分析指标

喂养 30 d 后, 采血液 5 mL 装入采血管, 密封后冰存于保温杯并立即进行血红蛋白(hemoglobin, Hb)和高铁血红蛋白(hemoglobin, MHb)含量的测定。8 只鼠取平均值, 结果见图 2~图 6。随着鼠粮中亚硝酸盐剂量的增加, 血液中 Hb 含量有下降, MHb 含量有上升的趋势, 动物表现有红细胞减少性贫血现象。

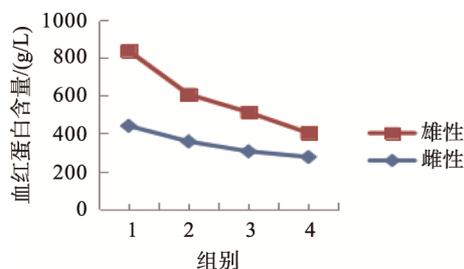


图 2 血红蛋白含量
Fig.2 Hemoglobin content

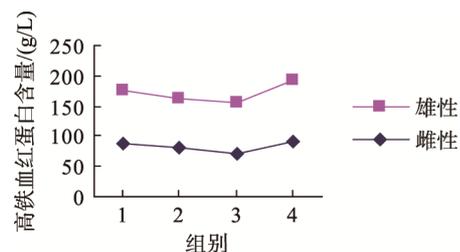


图 3 高铁血红蛋白含量
Fig.3 Methemoglobin content

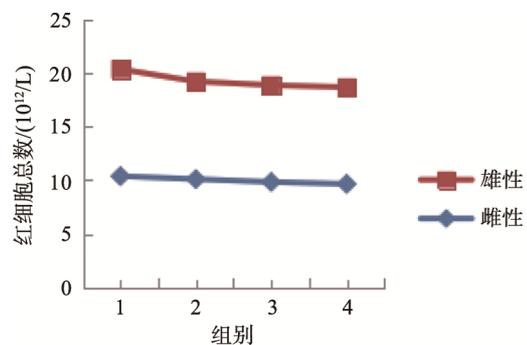


图 4 红细胞总数
Fig.4 Total number of red blood cells

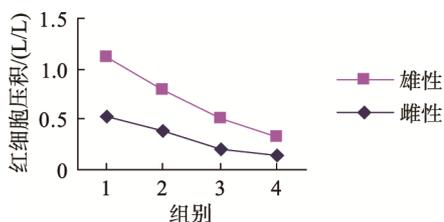


图 5 红细胞压积
Fig.5 Packed cell volume

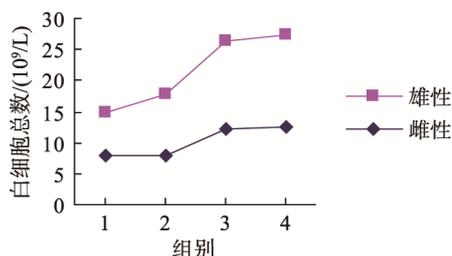


图 6 白细胞总数
Fig.6 Total white blood cells

(3)解剖结果

眼观其变化结果, 确认在 7 d 急性毒理实验结果为, 低剂量组的小鼠在停药 1 周左右时间后, 解剖, 与正常小鼠对比, 内脏基本恢复, 无变化。在 30 d 喂养实验实验结果为, 低剂量组的大鼠内脏物明显变化, 高剂量组的大鼠出现明显营养不良和生长受阻, 被毛松乱, 无光泽, 还有的个别大鼠出现脱毛现象, 剖检见肌肉色淡, 湿润, 皮下及体腔内几乎无脂肪沉积, 心肌质地柔软, 心腔扩张, 肝、肾、肺, 等颜色变深, 个别有尿酸盐沉积现象, 甲状腺色淡呈半透明状, 少数的小肠和盲肠有轻度出血。

(4)病理结果

将切片送至辽宁省肿瘤医院, 进行切片处理, 结果表明, 组织切片镜检发现, 内脏器官损伤主要发生在甲状腺、心、肝、脾、肺、肾。而且病变多, 心脏轻度淤血, 心肌变性。肌纤维肿胀, 分界不清, 肌浆呈细粒状态, 肌纤维间小血管扩张, 内冲红细胞。肝细胞颗粒变性, 间质轻度增生。肺淤血, 气肿。毛细血管扩张, 充血呼吸性毛细血管壁明显变薄, 三级之器官及肺房扩张。肾小球充血, 系膜水肿, 近曲小管上皮变性, 坏死。甲状腺滤泡增生, 大小不一, 形状不规则: 滤泡上皮细胞呈乳头状增生(指 2 组雌性、雄性和 3 组雌性、雄性), 1 组雄性、雌性的表现与 0 组雄性与雌性的表现未见差异。

(5)动物实验结果

动物正常时体内含有 0.5%~10%的 MHb, 当 MHb 浓度升高至 30%以上时出现紫色, 心动过速, 超过 70%导致呼吸或循环障碍。本实验对大鼠 30 d 饲喂亚硝酸盐后血液中 Hb 和 MHb 的含量进行了监测, 发现亚硝酸盐较高剂量组 Hb 有降低, 而 MHb 有升高的趋势。说明动物处于缓慢的贫血状态。由此推导出亚硝酸盐的致病机制为, 亚硝酸盐是较强的氧化剂, 中毒时由于过多的亚硝酸盐经肠道吸收收入血液后, 将正常的血红蛋白氧化成高价血红蛋白, 使体内的高铁血红蛋白显著增加, 形成高铁血红蛋白血症, 丧失携氧能力, 导致组织细胞缺氧, 发生病变, 甚至死亡。

3.2 建立危害暴露评估模型

根据 2.3.6, 对 120 份样品进行检测, 由公式 7 得出酸菜中亚硝酸盐每日最大允许量为 25.3 mg/kg, 规定 25.3 mg/kg 为限量值, 检出结果均小于限量值, 亚硝酸盐检出样品定义为阳性样品, 计算出样品检出率, 结果见表 3~4, 根据辽宁地区酸菜的检出情况, 消费者习惯调查, 建立危害暴露评估模型, 评估消费者接触酸菜中亚硝酸盐的概率^[6-9]。

表 3 亚硝酸盐检测结果
Table 3 Nitrite test results

地区	亚硝酸盐检出数量	亚硝酸盐检出率/%	超出限量值
大型超市	9	45	0
小型农贸市场	40	80	0
居民家里	47	94	0
检出数量	96	80	0

3.2.1 辽宁省酸菜中亚硝酸盐流行率模型

由表 3 得检出阳性样品 96 份, 检出率 80%。建立在辽宁地区酸菜中亚硝酸盐检出的流行率模型, 模拟为 RiskTriang(0.45,0.80,0.94)^[10,11]。该地区检出的流行率模型见图 7, 辽宁省酸菜中亚硝酸盐阳性样品检测出流行率在 54.26%~88.14%之间, 由数据模型得出酸菜中亚硝酸盐阳性样品检出的流行率最大为 76%, 因此定义辽宁地区酸菜中亚硝酸盐阳性样品检出流行率为 76%。通过调查得出辽宁省一般大型商场中超市中酸菜的种类为 20 种左右, 根据酸菜中亚硝酸盐阳性样品的检出的检出率为 76%。

表 4 2017~2018 年酸菜中亚硝酸盐残留检测结果
Table 4 Results of nitrite residue detection in sauerkraut in 2017-2018

样品名称	检出批次数	检出值范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	检出率/%
亚硝酸盐	96	0.35~8.80	1.548	1.571	80

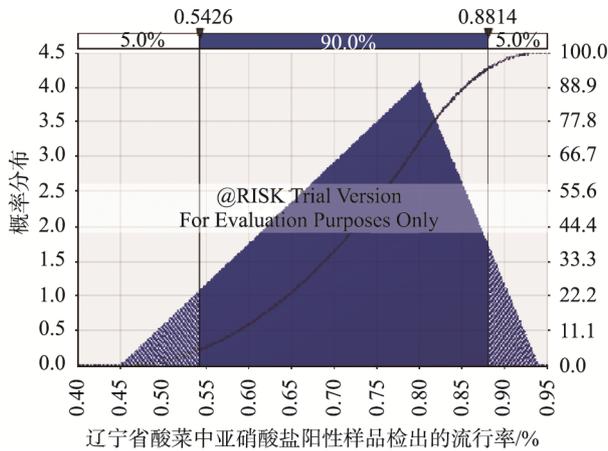


图 7 辽宁省亚硝酸盐检出流行率的模型

Fig.7 Model of prevalence of nitrite detection in Liaoning province

3.2.2 辽宁地区大型超市中亚硝酸盐阳性样品预测模型

通过调查得出，辽宁省一般大型超市中酸菜的种类为 20 种左右，选择几个人群密集的大型超市进行抽样检测，共抽取样品 20 份，根据酸菜中亚硝酸盐阳性样品检出的检出率为 76%，在这 20 种样品中有 1 种酸菜检出亚硝酸盐的概率可以模拟为 RiskBinomial(20, 0.76)，结果见图 8。辽宁地区大型商场超市的酸菜样品中亚硝酸盐阳性样品检出大于等于 1 种的概率小于 75%。

3.2.3 小型果蔬超市，农贸市场，早市，以及百姓家中亚硝酸盐阳性样品预测模型

选择小型果蔬超市，农贸市场以及早市中抽取样品

50 份，由于腌制酸菜是辽宁地区的传统手艺，所以几乎家家户户冬天都会自行腌制，抽取居民自制酸菜 50 份，建立亚硝酸盐阳性样品预测模型模型 RiskBinomial(50,0.76)，结果见图 9^[12,13]，辽宁地区小型果蔬超市，小型农贸市场，早市及百姓家自制酸菜中的酸菜样品中亚硝酸盐阳性样品检出大于等于 1 种的概率小于 76%。

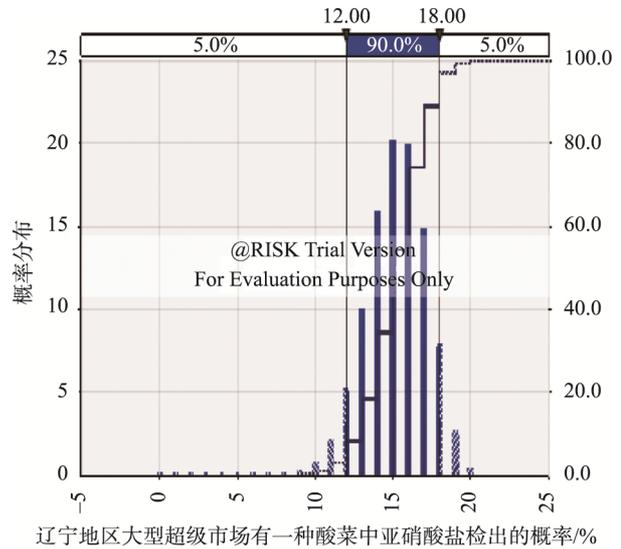


图 8 辽宁地区大型超级市场酸菜中有一种亚硝酸盐检出的概率模型

Fig.8 Probabilistic model for the detection of nitrite in sauerkraut from large supermarkets in Liaoning province

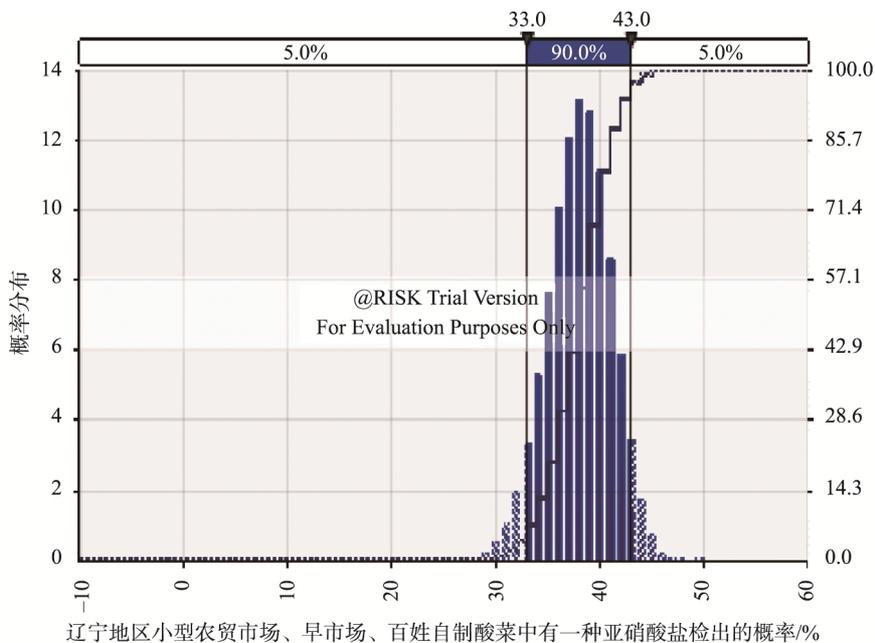


图 9 辽宁地区小型农贸市场及百姓自制酸菜中有一种亚硝酸盐检出的概率模型

Fig.9 Probability model for the detection of nitrite in small-scale farmers' markets and the homemade sauerkraut in Liaoning

3.3 膳食摄入风险评估

评估酸菜中亚硝酸盐急性膳食风险评估及慢性风险评估, 结果见表 5, 运用公式(3)算得, 酸菜中亚硝酸盐慢性膳食摄入风险远低于 100%, 为 0.094%。这表明, 辽宁地区酸菜中亚硝酸盐的慢性膳食摄入风险是可以接受的。根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)数据库, 以及公式(5)计算得出急性膳食摄入风险为 0.23%, 远低于 100%, 因此辽宁地区酸菜中亚硝酸盐的急性膳食摄入风险也是可接受的, 而且很低。

表 5 酸菜中亚硝酸盐慢性风险评估和急性风险评估
Table 5 Chronic risk assessment and acute risk assessment of nitrite in sauerkraut

评价指标	评价参数	亚硝酸盐
慢性风险评估	每日允许摄入量/(mg/kg)	25.3
	平均残留量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	1.548
	估计短期摄入量/(mg/kg)	0.04623
	慢性膳食摄入风险/%	0.0944
急性风险评估	最高残留量/(mg/kg)	8.802
	急性膳食摄入风险/%	0.2312
	安全界限/(mg/g)	4.817

4 结 论

根据动物实验得出酸菜中亚硝酸盐含量低于 25.3 mg/kg 不会产生明显不良反应; 当高于 25.3 mg/kg 时, 形成高铁血红蛋白血症, 丧失携氧能力, 导致组织细胞缺氧, 发生病变, 甚至死亡, 则会产生亚硝酸盐中毒现象。通过对辽宁地区 120 份样品的检测, 检出亚硝酸盐 96 份, 检出率为 80%, 其中大型超市 9 份, 检出率为 45%, 小型农贸市场 40 份, 检出率 80%, 在百姓家检出阳性样品 47 份, 检出率 94%, 检出值范围为 0.35~8.80 mg/kg。运用风险评估软件对检测数据进行函数模拟, 建立评估模型, 结果表明, 辽宁地区大型商场超市的酸菜样品中亚硝酸盐阳性样品检出大于等于 1 种的概率小于 75%。小型果蔬超市, 小型农贸市场, 早市及百姓家自制酸菜中的酸菜样品中亚硝酸盐阳性样品检出大于等于 1 种的概率小于 76%。因此辽宁地区酸菜中亚硝酸盐阳性样品检出大于等于 1 种的平均概率小于 76%。

辽宁地区沈阳市酸菜中亚硝酸盐残留慢性膳食摄入风险和急性膳食摄入风险运用公式算得。酸菜中亚硝酸盐的慢性膳食摄入风险(%ADI)为 0.094%, 远低于 100%, 这表明, 辽宁地区酸菜中亚硝酸盐的慢性膳食摄入风险是可以接受的, 而且很低^[14,15]。根据危害识别和计量-反应曲线计算得出亚硝酸盐急性膳食摄入风险%ARfD 为 0.23%, 远

低于 100%, 因此辽宁地区大米中甲基汞急性膳食摄入风险%ARfD 是可以接受的。按照计算公式亚硝酸盐的安全界限为 4.817 mg/g, 因此 GB 2762-2017 食品安全国家标准规定的亚硝酸盐限量值远小于最大残留限量估计值, 根据评估结果推断辽宁地区酸菜中的亚硝酸盐的风险很低。

参考文献

- 鲁奇林, 王娜, 冯叙桥, 等. 大白菜贮藏过程中硝酸盐和亚硝酸盐含量变化分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 3980-4035.
Lu QL, Wang N, Feng XQ, et al. Analysis of nitrate and nitrite content changes in Chinese cabbage during storage [J]. Food Sci, 2014, 35(18): 3980-4035.
- 常秀莲. 硝酸盐和亚硝酸盐的含量及其对人体的影响[J]. 食品研究与开发, 1999, 20(2): 11-13
Chang XL. Contents of nitrate and nitrite and their effects on human body [J]. Food Res Dev, 1999, 20(2): 11-13.
- 闫秋成, 郭敏杰. 蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量分析与评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 151-155.
Yan QC, Guo MJ. Analysis and evaluation of nitrate and nitrite content in vegetables [J]. Anhui Agric Sci, 2012, 40(7): 151-155.
- 黄少芬, 陈树干, 郑泽旋. 市售腌制菜中亚硝酸盐含量分析[J]. 中国公共卫生, 2004, 12(30): 1486-1487.
Huang SF, Chen SG, Zheng ZX. Analysis of nitrite content in pickled vegetables [J]. China Publ Health, 2004, 12(30): 1486-1487.
- GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2017 National food safety standard-Limit of pollutants in food [S].
- 刘岩, 孙建华. 酸菜中亚硝酸盐的快速减少法研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(10): 57-59.
Liu Y, Sun JH. Study on rapid reduction of nitrite in sauerkraut [J]. Food Ind Sci Technol, 2005, 26(10): 57-59.
- 王春林. 日粮亚硝酸盐对肉仔鸭毒性试验研究[J]. 武汉: 华中农业大学, 2001.
Wang CL. Experimental study on the toxicity of dietary nitrite to meat ducks [J]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- 鲁敏, 吕淑清. 酸菜腌制过程中亚硝酸盐含量的影响因素探讨[J]. 中国酿造, 2009, 5(206): 139-140.
Lu M, Lv SQ. Study on Influencing Factors of nitrite content in pickled pickles [J]. Chin Brew, 2009, 5(206): 139-140.
- GB 5009.33-2016 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
GB 5009.33-2016 National food safety standard-Determination of nitrite and nitrate in food [S].
- WHO(World Health Organization). A template for the automatic calculation of the IESTI [EB/OL]. [2020-6-18]. www.who.int/entity/foodsafety/chem/IESTI_calculation_13e.xlt.
- 周艳明, 韩晓鸥. 亚硝酸盐在熟肉制品中的安全性评价[J]. 食品科学, 2008, 7(5): 101-105.
Zhou YM, Han XO. Safety evaluation of nitrite in cooked meat products [J]. Food Sci, 2008, 7(5): 101-105.
- 刘守钦, 杨柳, 张军, 等. 济南市居民膳食中汞暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 5(29): 676-679.

Liu SQ, Yang L, Zhang J, *et al.* Assessment of dietary mercury exposure in Jinan city [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 5(29): 676–679 .

- [13] 梅光明, 严国, 常家琪. 浙江沿海海产品无机砷污染调查及食用风险分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 218–229.

Mei GM, Yan G, Chang JQ. Investigation of inorganic arsenic pollution and edible risk analysis of marine products in Zhejiang province [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2019, 40(12): 218–229.

- [14] 王冬群, 胡寅侠, 华晓霞. 慈溪市梨农药残留膳食摄入风险评估[J]. *江苏农业学报* 2016. 32(3): 689–704.

Wang DQ, Hu YX, Hua XX. Risk assessment of dietary intake of pesticide residues in pears in Cixi city [J]. *Jiangsu Agric J*, 2016. 32(3): 689–704 .

- [15] 王冬群, 华晓霞. 慈溪市葡萄农药残留膳食摄入风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(3): 1018–1024.

Wang DQ, Hua XX. Dietary intake risk assessment of grape pesticide residues in Cixi city [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(3): 1018–1024.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



韩晓红, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 147000840@qq.com

“茶学研究”专题征稿函

茶叶源于中国, 与咖啡、可可并称为世界三大饮料。茶叶可鲜食, 也可以加工精制备用, 具有降压、提神等多种保健功能, 且含有多种有机化学成分和无机矿物元素。国内外对茶叶市场需求稳定增长, 我国的茶产业增长潜力巨大, 茶已成为社会生活中不可缺少的健康饮品和精神饮品。

鉴于此, 本刊特别策划了“茶学研究”专题, 主要围绕茶叶的贮藏保鲜、精深加工、品质评价、生物化学和功能性成分、香气成分分析、污染物分析检测、茶树生长代谢、茶叶资源的质量标准化等方面展开论述和研究, 综述及研究论文均可。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 本刊主编吴永宁研究员特别邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。

本专题计划在 2021 年 3 月出版, 请在 2021 年 1 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

希望您能够通过各种途径宣传此专题, 并积极为本专题推荐稿件和约稿对象。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(注明茶学研究专题)

E-mail: jfoodsq@126.com(注明茶学研究专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部