

食品安全与元素周期表

张琦玥^{1*}, 聂洪港²

(1. 北京理工大学附属中学, 北京 100089; 2. 北京大学分析测试中心, 北京 100871)

摘 要: 食品安全是直接关系到人民健康的重大民生问题, 也是当前民众最关心的问题。近年来, 我国食品安全事件层出不穷, 其中, 重金属及其他元素污染食物造成的食品安全事件也在不断增加。饮食中包含很多化学元素周期表中的元素, 这些元素与食品安全息息相关, 尤其是有毒有害的重金属元素对食品安全的影响最为严重。事实上, 元素的形态及其在食品中的存在形式对于其毒性有很大的影响。因此, 研究食品安全中的元素周期表十分重要。本文按照化学元素周期表的分类, 全面分析了这些元素在食品中的来源及对人体的影响与危害, 并总结了元素周期表中的规律对食品安全的影响, 旨在为食品安全分析和监测提供参考。

关键词: 食品安全; 元素周期表; 风险因子; 监测

Food safety and periodic table of elements

ZHANG Qi-Yue^{1*}, NIE Hong-Gang²

(1. The Affiliated High School of Beijing Institute of Technology, Beijing 100089, China; 2. Analytical Instrumentation Center, Peking University, Beijing 100871, China)

ABSTRACT: Food safety is a major livelihood issue directly related to people's health, and it is also the most concerned issue of the current public. In recent years, food safety incidents have emerged in endlessly in China. Among them, food safety incidents caused by contamination of heavy metals and other elements in food are also increasing. Diet contains many elements in the periodic table of chemical elements and these elements are closely related to food safety, especially toxic and harmful heavy metals, which have the most serious impact on food safety. Actually, the speciation and forms of elements in food have a great impact on their toxicity. Therefore, it is very important to study the periodic table of elements in food safety. According to the classification of periodic table of chemical elements, this paper comprehensively analyzed the sources of these elements in food and their effects and hazards on human body, and summarized the effects of regularities in periodic table of elements on food safety, in order to provide reference for food safety analysis and monitoring.

KEY WORDS: food safety; periodic table of elements; risk factors; monitoring

1 引 言

食品安全一直是社会关注的焦点, 它关系到广大人民群众的身心健康和生命安全^[1]。食品是人们可以食用的经过工业加工的制成品, 通常包含农产品、海产品、畜禽

产品、奶产品、蜂蜜、调料等^[2]。食品安全是指食品无毒、无害, 符合应当有的营养要求, 对人体健康不造成任何危害。近年来, 我国食品安全事件层出不穷, 如三聚氰胺奶粉、瘦肉精、地沟油、全国多地出现“臭脚盐”、咸鸭蛋里含有苏丹红、蜜枣里含有硫磺及近 2 年发生的江苏九

*通讯作者: 张琦玥, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 18201660958@163.com

*Corresponding author: ZHANG Qi-Yue, The Affiliated High School of Beijing Institute of Technology, No.1, Lane East Road, Haidian District, Beijing 100089, China. E-mail: 18201660958@163.com

江大米遭镉污染、三只松鼠开心果霉菌超标、海底捞火锅餐厅后厨老鼠乱窜等^[3]。这些食品安全事件深刻反映了我国食品安全的现状:一方面我国食品安全监管体系仍存在诸多问题,如食品非法添加、掺假和造假等^[4];另一方面,随着科技经济水平的逐渐提高,工业污染、环境恶化、水污染、土壤污染等都在不同程度上给食品安全带来了潜在的威胁^[5]。这些食品安全事件的发生及生活中随处可见的食品安全隐患的存在,使得人民群众对食品安全的意识逐渐提高,现在消费者更愿意为食品的安全买单,而不愿为了食品的便宜、美味、色泽等承担身体健康的风险。

食品中所含的无机元素共有 50 多种,根据它们对人体的作用可分为必需元素、非必需元素和有毒元素 3 大类^[6]。其中,极小剂量的有毒元素即能抑制人体中酶的活动,使人体产生一系列的中毒症状^[7]。因此,在食品安全中,我们更加关注这些有毒有害元素的分析和监测,并对食品中的相关风险因子进行评估,旨在更好地保障食品安全和人民身体健康^[8]。在食品安全测试分析中,人们通常采用的一种手段就是元素分析技术。目前,我国涉及食品(含食品添加剂)元素分析方法的国家和行业标准共有 94 项,覆盖的元素种类超过 53 个,主要包括:P、S、I 等非金属元素,K、Ca、Mg、Fe、Zn、Se 等营养元素,Pb、Hg、Cd、Cr 等重金属元素以及 La、Ce、Pr 等稀土元素^[9]。这些无机元素由于其分子量和性质的差异,在化学元素周期表中排列的顺序也不相同,了解这些元素在化学元素周期表中的位置分布,及它们的价态和形态对食品安全研究也十分必要和重要。本文按照化学元素周期表的分类,列举了与食品安全息息相关的一些重要元素,全面分析了这些元素在食品中的来源及污染情况,总结了元素周期表中的几条规律与食品安全的关系,并就这些风险因子对人体的影响与危害进行了综述,旨在为食品安全中有害有毒元素的分析与监测提供科学的指导。

2 化学元素周期表的分类

化学元素周期表是由俄国著名化学家门捷列夫于 1869 年提出,并由后续其他科学家共同完善的一张元素列表^[10,11],列表大体呈长方形,它根据原子序数从小至大的顺序进行排列,并使特性相近的元素归在同一族中,如碱金属元素、碱土金属元素、卤族元素、稀有气体等。目前,元素周期表中共有 118 种元素^[12],这些元素在表中形成 7 个周期,18 个族(7 个主族、7 个副族、VIII 族、0 族),每一个横行叫做一个周期,每一个纵行叫做一个族(VIII 族包含 3 个纵列)。其中,7 个副族和 VIII 族的元素共同构成了过渡元素;IA 族(除第 1 号元素 H 外)被称为碱金属元素;IIA 族被称为碱土金属元素;VIIA 族又被称为卤族元素。

3 各类元素对食品安全的影响

3.1 过渡元素

铬(Cr):为化学元素周期表中的第 24 号元素,位于 VIB 族,它广泛存在于自然环境中,是人体必需的微量元素,同时也是一种毒性很大的重金属。铬在大气、水中含量低,由于性质稳定、溶解度低而难以进入植物体内,所以正常情况下食品中铬的含量较低。食品中铬污染主要集中于含明胶类食品,以及部分水产品、蔬菜、粮食等,其中污染最为严重的是肉皮冻、奶糖等^[13]。铬污染主要来源于环境(如生产、加工、贮存、运输过程等环节)以及生产过程中的非法添加^[14]。我国食品卫生标准 GB 2762-2012《食品中污染物限量标准》中规定,食品中铬限量指标:谷物及其制品 1.0 mg/kg、新鲜蔬菜 0.5 mg/kg、豆类 1.0 mg/kg、肉及肉制品 1.0 mg/kg、水产动物及其制品 2.0 mg/kg、乳粉 2.0 mg/kg、乳及其制品 0.3 mg/kg^[15]。过量含铬化合物进入人体可能引起肾脏损伤,严重的可能导致肾脏坏死^[16]。

镍(Ni):为化学元素周期表中的第 28 号元素,位于 VIII 族。镍是人体必需的微量元素,膳食镍摄入量一般在 70~260 $\mu\text{g/d}$ 范围。适量的镍在人体内主要参与一些酶的组成和代谢,具有增强胰岛素分泌、降低血糖等功能^[17]。在生活和生产过程中,接触过量镍及其化合物,会对人体健康造成很大的影响,过量摄入可溶性镍会引起中毒,引起中枢性循环和呼吸紊乱,使心肌、脑、肺和肾出现水肿、出血和变性。其中,羰基镍属高毒性、强致癌物质,微量即能引起动物死亡^[18]。因此,控制食品中的镍含量对人体健康十分必要。

镉(Cd):为化学元素周期表中的第 48 号元素,位于 IIB 族,它是人体非必需微量元素,同时又是一种剧毒的重金属污染物。镉可通过食物链在人体内蓄积,进而引起人体各种急性、慢性毒性作用。镉在体内的生物半减期是 7~30 年,是已知最易在体内蓄积的有毒物质。日常膳食和吸烟是摄入镉的主要方式^[19],食品中镉的含量一般在 0.004~5 mg/kg。由于生物体内的蓄积作用和食物链的生物富集作用,使得镉在海产品、动物肾脏等动物性食品中浓度可高达几十至数百 mg/kg^[20]。食物中的镉对人体所造成的危害包括结缔组织损伤、生殖系统功能障碍、肾损伤、致畸和致癌,甚至严重影响儿童生长和智力发育^[21]。历史上发生过许多由镉污染引起的中毒事件,影响最大的是 20 世纪 60 年代发生在日本熊本县的“痛痛病”事件^[22,23]。经调查分析,河岸的锌、铅冶炼厂等排放的含镉废水污染了水体使稻米含镉,当地居民长期饮用受镉污染的河水,以及食用含镉稻米,致使镉在体内蓄积而中毒致病。镉常作为原料或催化剂用于工业生产中,含镉的废水、废气和废渣的任意排放是重金属镉对食品造成污染的主要渠道。因此,

要减少重金属镉对人体的危害,还要严格控制工业“三废”对环境的污染,从而避免或减少重金属镉对食品的污染。

汞(Hg):为化学元素周期表中的第 80 号元素,位于 IIB 族,是一种剧毒的重金属元素。汞是常温下唯一呈液态的金属元素,长期接触汞会对肝脏、中枢神经、心血管、肾脏及生殖系统造成累积危害性毒性^[24,25]。食物是人体汞暴露的主要途径,汞在食物中主要以有机汞和无机汞的形态存在,其中有机汞的毒性大于无机汞,尤其以甲基汞的毒性最大^[26,27]。水产品中的汞主要以甲基汞形式存在,而植物性食品中的汞则以无机汞为主。GB 2762-2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量标准》中规定了薯类、蔬菜、水果、鲜乳、肉、蛋、鱼(食肉鱼类和非食肉鱼类)及其他水产品中总汞和总甲基汞的限量^[15]。控制食品中的汞污染,需加强对食品安全的监管力度,建立严密的食物监管网络,对农产品的种植养殖、生产包装、贮运、销售等各个环节实行全过程监管,确保食品安全。

3.2 IIIA 族

铝(Al):为化学元素周期表中的第 13 号元素,位于 IIIA 族。铝在食品中的应用主要是作为食品添加剂,早在宋、元朝时期已被应用于面制食品、水产品加工以及蔬菜、水果贮藏等方面,尤以具有膨松、稳定作用的硫酸铝钾和硫酸铝铵(统称明矾)应用最为广泛^[28]。膳食是普通人群的铝暴露最主要的来源,而含铝食品添加剂已成为铝膳食暴露最主要的来源。铝是一种对人体健康有害的元素,可在人体内蓄积并产生慢性毒性,在脑组织中蓄积引起中枢神经紊乱,并可能增加老年性痴呆的风险;摄入过高的铝还可能导致骨质中的钙流失,抑制骨生成,发生骨软化症;铝还有胚胎毒性和胚胎致畸作用,影响儿童智力发育等^[29]。因此,世界卫生组织建议将铝定为食品污染物并要求严加控制,我国食品添加剂标准 GB 2760-2011《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定铝残留限量 ≤ 100 mg/kg^[30]。禁止和控制含铝食品及添加剂的使用、降低人体对铝的摄入,从而降低铝对人们的危害。

3.3 IVA 族

锡(Sn):为化学元素周期表中的第 50 号元素,位于 IVA 族。锡是人体必须的微量元素,摄入量不足或过量均会使人体机能受到损害^[31]。人体摄入锡的主要来源是食品,一般食物中的锡含量很低,食品中的锡主要来源于接触锡容器和器皿,尤其是马口铁封装的罐头食品^[32],国家食品卫生标准中规定罐头食品中锡含量不得超过 200 mg/kg。食品中的锡包括无机和有机锡,一般来说,无机锡化合物毒性较低,摄入无机锡对人体的毒性症状主要表现为呕吐、腹泻、厌食等^[33]。多数有机锡化合物毒性很大,人类若长期摄取有机锡,有毒物质将在人体内积累,达到一定浓度就会表现出慢性毒性效应。因此,严格控制食品中锡

的摄入量对于身体健康十分重要。

铅(Pb):为化学元素周期表中的第 82 号元素,位于 IVA 族。铅是一种对人体危害极大的有毒重金属元素,铅及其化合物进入人体后主要对神经、造血、消化、肾脏、心血管和内分泌等多个系统造成损害^[34]。幼儿大脑对铅污染更为敏感,严重影响儿童的智力发育和行为。儿童血液中铅的含量超过 0.6 $\mu\text{g/mL}$ 时,就会出现智能发育障碍和行为异常^[35]。由于人类对重金属的开采、冶炼、加工及商业制造活动日益增加,铅被广泛应用到各个行业,废水、废气、废渣、汽车尾气、化肥、农药等中的铅对土壤、空气等自然环境的污染越来越严重^[36]。目前,铅主要通过食物、饮用水、空气等方式进入人体,进入人体后,除少部分会随着身体的代谢排出体外,其余会在体内大量蓄积,溶入血液中,破坏人的神经系统、消化系统,甚至骨骼的造血功能,造成不适症状^[37]。因此需要对食品中的铅进行限量,我国食品重金属残留限量国家标准规定铅含量最高(豆类)为 0.8 $\mu\text{g/mL}$,鲜乳为 0.05 $\mu\text{g/mL}$ ^[15]。

3.4 VA 族

磷(P):为化学元素周期表中的第 15 号元素,位于 VA 族。磷是构成人体成分的重要元素之一,约占体重的 1%,是参与代谢、维持骨骼和牙齿的必要微量元素,几乎参与所有生理反应,适宜的钙磷比还可以帮助钙更好的吸收。人体对磷的摄取只能通过食物,摄入不足和过量均会对人体健康造成危害。人体缺乏磷元素,会引起骨骼和牙齿发育不良、骨质疏松、软骨病、佝偻病等症状。而过多的摄入磷将导致高磷血症,使血液中血钙降低导致骨质疏松^[38,39]。因此,严格控制食品中磷的含量十分重要。此外,磷酸盐是目前世界各国应用最广泛的食物添加剂,对食品品质的改良起着重要的作用。目前我国已批准使用的磷酸盐共 8 种,包括三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、焦磷酸钠、磷酸三钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、酸式焦磷酸钠、焦磷酸二氢二钠等,在食品中加入这些物质可以有助于食品品种的多样化,改善其色、香、味、形,保持食品的新鲜度和质量,并满足加工工艺过程的需求,在食品中是很重要的品质改良剂^[40]。这些食品添加剂的含量应该严格控制,以保证食品中磷元素保持在合理的范围,从而保障食品安全和身体健康。

砷(As):为化学元素周期表中的第 33 号元素,位于 VA 族,为一类金属元素,广泛存在于土壤、空气和水中。环境中以无机和有机 2 种状态存在,无机砷的毒性远高于有机砷,常见的砷化合物有三价砷、五价砷和砷化氢。其中,三价砷化合物的毒性大于五价砷化合物,砷化氢和三氧化二砷(俗称砒霜)毒性最大。无机砷及其化合物已被国际癌症研究机构确认为人类 I 类致癌物^[41,42]。食物是人体摄入砷的主要来源,鱼、海产品、谷类、酒和粮谷制品中

都含有砷,可在体内蓄积并产生危害,摄入过量的砷能造成癌症、皮肤病、心血管系统疾病和糖尿病等疾病^[43]。我国食品重金属残留限量国家标准规定,砷含量最高(粮食)为 0.7 mg/kg,鲜乳为 0.2 μg/mL^[15]。

锑(Sb):为化学元素周期表中的第 51 号元素,位于 VA 族,广泛存在于自然界,是一种对人体健康有毒有害的痕量元素^[44]。我国是产锑大国,主要用于合金、半导体以及搪瓷、医药、印染等工业中,由于锑的广泛使用致使锑的污染程度越来越严重,环境中的高含量锑可被农作物进一步富集,继而通过食物链在人体内积累危害健康^[45]。试验证实,锑可以破坏细胞内离子平衡,使细胞内缺钾,引起体内代谢紊乱,导致肺、肝、心、肾等组织损伤,此外,锑对人体免疫、神经系统、发育等具有潜在毒性^[46]。

3.5 VIA 族

硒(Se):为化学元素周期表中的第 34 号元素,位于 VIA 族,它是人体生理必需的微量元素之一。但是,摄入过量的硒会造成硒中毒。硒的有益剂量和毒性剂量范围极其狭窄,稍微超过营养必需的水平就表现出毒性,中毒症状根据剂量大小分为急性硒中毒和慢性硒中毒^[47]。硒在食品中存在的化学形式主要包括硒代胱氨酸、硒蛋氨酸、亚硒酸盐和甲基硒半胱氨酸等。而硒的毒性依赖于其化学形式,动物实验表明,无机硒化合物的毒性强于有机硒化合物,硒代半胱氨酸的毒性与亚硒酸钠相似,亚硒酸钠的毒性强于纳米硒。硒蛋氨酸具有极好的生物利用和较低的毒性,被认为最佳的用于营养硒补充的硒形式^[48]。

3.6 卤族元素(VIIA 族)

氟(F):为化学元素周期表中的第 9 号元素,位于 VIIA 族。氟是人体内重要的微量元素之一,氟化物以氟离子的形式广泛分布于自然界。一般食品中都会含有微量的氟,人体中适量的氟可以促进人体骨骼和牙齿的钙化,增强骨骼的强度^[49,50];但是摄入过量的氟,会对骨骼、肾脏、甲状腺及神经系统造成损害,严重时会造成氟骨症,使人丧失劳动能力^[51]。水处理厂一般都会在自来水、饮用水中添加少量的氟。为了保持适量的氟,我国对水质和食品规定了氟的最高限量,人体允许摄入的最大安全限量为(100 mg/kg)。由于氟的摄入量对于人体的影响非常大,加强氟检测,严格控制食品中的氟含量显得尤为迫切和必要。

4 化学元素周期表的规律与食品安全

4.1 元素剂量对食品安全的影响

食品中元素的剂量是影响食品安全和人体健康的一个重要因素,需要对这些元素的摄入量进行严格的监测和控制。食品中的一些微量元素是人体必需元素,其摄入不足和过量均会对人体造成相应的危害^[17,31,38,47,49]。这些元

素通常在低剂量时对人体有益,超过一定剂量才会对人体造成危害,例如人体摄入适量的氟元素可以促进人体骨骼和牙齿的钙化,但是摄入过多则会造成氟骨症^[49]。对于有益剂量和毒性剂量范围比较窄的元素,如硒元素^[47],稍微超过营养必需的水平就表现出毒性,我们应该更加关注它们在食品中的含量以确保食品安全。此外,食品中也有些元素并不具有剂量依赖性,它们对人体是有害的,食品中应严格控制其含量,如常见的有毒重金属铅、汞、砷等^[26,34,41],即使是极低的剂量就能对人体造成危害。

4.2 元素形态对食品安全的影响

在食品元素分析中,人们逐渐认识到元素的生物有效性或毒性并不是简单的与元素总量有关,更取决于元素存在的化学形态^[52]。元素的形态是指某一元素以不同的同位素组成、不同的价态以及不同的分子结构等存在的特定形式。例如,食品中的三价铬是人体必需的微量元素,而六价铬则表现出明显的毒性作用。从电子层角度来说,六价铬具有的 d0 结构是动力学活性,更容易进入细胞内,造成肝脏和肾脏毒性。而三价铬是 d3 结构,它形成配合物后无空的价轨道,具有动力学惰性^[14]。此外,食品中元素的存在形式也是影响其毒性大小的一个重要因素。例如,砷在自然界有 2 种存在形式:无机砷和有机砷,而它们的毒性却相差很大,无机砷的毒性远高于有机砷,砷的致毒性和致癌作用主要取决于无机砷的含量。其中,三价砷化合物的毒性大于五价砷化合物,砷与有机基团结合越多,其毒性越小^[42,43]。所以,研究元素的形态和它们在食品中的存在形式对于食品安全分析十分重要,而化学元素周期表中各元素的电子层排列方式可为它们的毒性大小提供合理的解释。

4.3 主族递变规律对食品安全的影响

我们从化学元素周期表的排列顺序和分类来看,大多数碱金属元素和碱土金属元素属于人体必需元素,食物中摄入适量的这些元素对人体有益,而与食品安全相关的危害元素主要集中在过渡元素如重金属元素铬、镉、汞等,及化学元素周期表的右边几个主族(III~VIIA 族)。因此,在研究食品中危害元素时,我们会更加关注元素周期表中这几个位置的元素,对于探索食品中新的危害元素也提供一定的指导。同一族中,随着原子层数的递增,其毒性一般会越来越大,如 IIB 族的镉和汞元素,汞的毒性远大于镉;IVA 族的锡和铅元素,也表现出同样的规律,铅的毒性和危害明显高于锡元素。因此,研究化学元素周期表中的主族递变规律对于元素的毒性分析十分必要。

5 结 论

综上所述,元素周期表中与食品安全相关的风险因子不仅包括常见的重金属元素,还涉及一些非金属元素如

氟、磷、硒和其他金属元素如铝等。严格控制和监测这些有害元素在食品中的含量,对于食品安全尤为重要。本文按照化学元素周期表的分类,对食品中息息相关的元素进行了综述,着重阐述了它们对人体的影响和危害及在食品中的来源,并探讨了食品安全与元素周期表规律间的关系,旨在为人们了解化学元素周期表中各个元素在食品安全中的影响与作用提供有力的参考。

参考文献

- [1] 熊培芳. 中国食品安全问题现状成因及对策研究[J]. 农业与技术, 2016, 36(7): 175–176.
Xiong PF. Research on the current situation, causes and countermeasures of food safety in China [J]. Agric Technol, 2016, 36(7): 175–176.
- [2] 蒋承武. 食品中重金属元素检测方法研究进展[J]. 食品安全导刊, 2017, 12(36): 96–96.
Jiang CW. Research progress in the detection of heavy metals in food [J]. Chin Food Saf Magaz, 2017, 12(36): 96–96.
- [3] 李清光, 吴林海, 王晓莉. 中国食品安全事件研究进展[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 219–224.
Li QG, Wu LH, Wang XL. Review of Chinese food safety incidents research progress [J]. Food Ind, 2016, 37(11): 219–224.
- [4] 谭兴和. 国内外食品安全监管体系建设比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 9–12.
Tan XH. Comparative studies of food safety supervision administration system at home and abroad [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(8): 9–12.
- [5] 章连香. 食品中重金属元素检测方法研究进展[J]. 中国无机分析化学, 2017, 7(1): 13–18.
Zhang LX. Research progress on determination of heavy metal elements in food [J]. Chin J Inorg Anal Chem, 2017, 7(1): 13–18.
- [6] 杨红本, 杨凡, 胡赠彬, 等. 食品中无机元素分析方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(10): 243–251.
Yang HB, Yang F, Hu ZB, et al. Advances in the analysis methods of inorganic elements in foods [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(10): 243–251.
- [7] 游勇, 鞠荣. 重金属对食品的污染及其危害[J]. 环境, 2007, (2): 102–103.
You Y, Ju R. Contamination of heavy metals to food and its harm [J]. Environment, 2007, (2): 102–103.
- [8] 李宁. 我国食品安全风险评估制度实施及应用[J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(1): 1–5.
Li N. Implementation and application of food safety risk assessment system in China [J]. J Food Sci Technol, 2017, 35(1): 1–5.
- [9] 张志杨, 张志薇, 王仲, 等. 我国食品元素分析方法标准体系现状分析与探讨[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 406–413.
Zhang ZY, Zhang ZW, Wang Z, et al. Current status and discussion of standard system for elemental analysis in food of China [J]. Curr Biotech, 2016, 6(6): 406–413.
- [10] 杨奇, 陈三平, 邸友莹, 等. 再论化学元素周期表的形成和发展[J]. 大学化学, 2017, 32(6): 46–67.
Yang Q, Chen SP, Di YY, et al. A look back on the formation and development of periodic table of chemical elements [J]. Univ Chem, 2017, 32(6): 46–67.
- [11] 周佳伟, 占小红. 寻求元素位、构、性的统一——元素周期表的形成与发展[J]. 科学, 2017, 69(1): 45–49.
Zhou JW, Zhan XH. Seeking the unity of element position, structure and nature: Formation and development of element periodic table [J]. Science, 2017, 69(1): 45–49.
- [12] 王颖霞. 元素周期表——填满 118 个元素之后[J]. 中国科技术语, 2017, 19(2): 46–48.
Wang YX. Periodic table of elements: with 118 Elements and beyond the 118th [J]. Chin Term, 2017, 19(2): 46–48.
- [13] 骆和东, 吴雨然, 姜艳芳. 我国食品中铬污染现状及健康风险[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(6): 717–721.
Luo HD, Wu YR, Jiang YF. The contamination situation of chromium in food and risk assessment in China [J]. Chin J Food Hyg, 2015, 27(6): 717–721.
- [14] 王晓波, 李建国, 赵春香, 等. 广州市售食品总铬和六价铬的含量分析[J]. 食品研究与开发, 2014, (22): 86–89.
Wang XB, Li JG, Zhao CX, et al. Determination of total chromium and chromium (VI) content of foods in Guangzhou [J]. Food Res Dev, 2014, (22): 86–89.
- [15] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2012 National food safety standard-Maximum residue limits for contaminants in food [S].
- [16] 张广生, 金银龙. 铬化合物肾脏毒性研究进展[J]. 卫生研究, 2006, 35(5): 659–662.
Zhang GS, Jin YL. Studies on the nephrotoxicity of chromium compounds [J]. J Hyg Res, 2006, 35(5): 659–662.
- [17] 吴茂江. 镍与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2014, 31(1): 74–75.
Wu MJ. Nickel and human health [J]. Stud Trac Elem Health, 2014, 31(1): 74–75.
- [18] 杨磊, 崔建超. 保定地区食品中有害元素污染状况调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(22): 3307–3309.
Yang L, Cui JC. Investigation on harmful elements contamination in food in Baoding [J]. Chin J Health Lab Technol, 2017, 27(22): 3307–3309.
- [19] 胡玮, 杨刚. 襄阳市部分食品镉污染状况及膳食暴露评估[J]. 公共卫生与预防医学, 2015, 26(3): 95–97.
Hu W, Yang G. Cadmium contamination and dietary exposure assessment of some foods in Xiangyang [J]. J Pub Health Prev Med, 2015, 26(3): 95–97.
- [20] 王玲莉, 刘辉, 王妹婷. 杭州市居民主要膳食镉暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(5): 585–589.
Wang LL, Liu H, Wang ST. Assessment on the dietary exposure of cadmium in Hangzhou residents [J]. Chin J Food Hyg, 2015, 27(5): 585–589.
- [21] 蒋立新, 杨梅, 李玥, 等. 深圳市市售食品中镉污染状况分析[J]. 中国热带医学, 2015, 15(10): 1194–1197.
Jiang LX, Yang M, Li Y, et al. Analysis on cadmium contamination of market-food in Shenzhen [J]. Chin Trop Med, 2015, 15(10): 1194–1197.
- [22] 赵静, 孙海娟, 冯叙桥. 食品中重金属镉污染状况及其检测技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 357–363.
Zhao J, Sun HJ, Feng SQ. Research progress in pollution of heavy metals cadmium and its detection technology in food [J]. Food Ind Sci Technol, 2014, 35(16): 357–363.

- [23] 林昕,黎其万,杜丽娟,等. 云南省大米中重金属镉含量及其健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2016,7(9): 3841–3847.
- Lin X, Li QW, Du LJ, *et al.* Content determination and health risk assessment of Cadmium in rice in Yunnan province [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(9): 3841–3847.
- [24] 钱坤, 齐月, 何阳, 等. 食品中重金属汞污染状况与治理对策研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016, (5): 107–109.
- Qian K, Qi Y, He Y, *et al.* Study on the contamination of heavy metal mercury in food and its control measures [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2016, (5): 107–109.
- [25] 秦保亮, 姜金庆, 孙勇, 等. 汞的毒性作用及在动物性食品中的检测现状[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017, 5(9): 280–282.
- Qin BL, Jiang JQ, Sun Y, *et al.* Toxic effect of mercury and its update of detection in animal food [J]. *Heilongjiang Anim Sci Veter Med*, 2017, 5(9): 280–282.
- [26] 邵雷. 汞污染对食品质量的危害及对人体的伤害[J]. 现代食品, 2016, 1(2): 36–37.
- Shao L. Harm of mercury pollution on food quality and human body [J]. *Mod Food*, 2016, 1(2): 36–37.
- [27] 王博, 王慧, 刘思洁. 吉林省居民膳食汞暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(12): 410–415.
- Wang B, Wang H, Liu SJ. Assessment on dietary mercury exposure risk among residents in Jilin province [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(12): 410–415.
- [28] 孙延斌, 孙婷, 李士凯, 等. 济南市高含铝食品铝残留量监测及人群暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(6): 564–567.
- Sun YB, Sun T, Li SK, *et al.* Surveillance on aluminum residuals in high aluminum food and dietary exposure assessment in Jinan [J]. *Chin J Food Hyg*, 2013, 25(6): 564–567.
- [29] 王金英, 李青, 徐丽萍, 等. 2010 年吉林省部分风险食品化学污染状况分析[J]. 中国卫生工程学, 2012, 11(1): 46–47.
- Wnag JY, Li Q, Xu LP, *et al.* Chemical pollution status of part of risk foods in Jilin province 2010 [J]. *Chin J Public Health Eng*, 2012, 11(1): 46–47.
- [30] GB 2760-2011 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
- GB 2760-2011 National food safety standard-Standards for the use of food additives [S].
- [31] 管克, 詹珍洁. 锡测定方法研究进展[J]. 上海预防医学, 2011, 23(6): 301–305.
- Guan K, Zhan ZJ. Progress in determination of tin [J]. *Shanghai Prev Med*, 2011, 23(6): 301–305.
- [32] 鲁丹. 石墨炉原子吸收光谱法测定罐头食品中痕量锡[J]. 中国卫生检验杂志, 2004, 14(6): 734–735.
- Lu D. Determination of trace tin in canned food by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2004, 14(6): 734–735.
- [33] 李桃, 詹珍黎. 微量元素锡与健康[J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(11): 7–12.
- Li T, Zhan XL. Trace element tin and health [J]. *Guangdong Trac Elem Sci*, 2003, 10(11): 7–12.
- [34] 黄杰周. 食品中重金属铅污染状况及检测技术分析[J]. 微量元素与健康研究, 2017, 34(4): 54–55.
- Huang JZ. Analysis of heavy metal lead pollution in food and its detection technology [J]. *Stud Trac Elem Health*, 2017, 34(4): 54–55.
- [35] 武建民, 惠秋芳, 刘孟文, 等. 2013 年-2015 年渭南市食品中铅污染的监测结果分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, (17): 128–131.
- Wu JM, Hui QF, Liu MW, *et al.* Monitoring results analysis of lead pollution in food in Weinan from 2013 to 2015 [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2017, (17): 128–131.
- [36] 程国霞. 陕西省食品和饮用水中铅污染状况及风险评估[J]. 卫生研究, 2016, 45(6): 988–992.
- Cheng GX. Contamination status and risk assessment of lead in the foods and drinking water in Shaanxi province [J]. *J Hyg Res*, 2016, 45(6): 988–992.
- [37] 刘艳菊, 赵慧君, 罗双丽, 等. 铅的危害及排除初探[J]. 中国西部科技, 2011, 10(18): 16–17.
- Liu YJ, Zhao HJ, Luo SL, *et al.* The harm of lead and the eliminate method [J]. *Chin West Sci Technol*, 2011, 10(18): 16–17.
- [38] 王丙涛, 赵旭, 涂小珂, 等. ICP-MS/MS 检测食品中磷、硒、砷的含量[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 301–306.
- Wang BT, Zhao X, Tu XK, *et al.* Determination of phosphorus, Arsenic, and Selenium contents in food by triple quadrupole inductively coupled plasma tandem mass spectrometry [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2017, 33(7): 301–306.
- [39] 李蓉, 曹向卉, 杨伟, 等. 分光光度法测定不同食品中磷含量及结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(7): 1706–1710.
- Li R, Cao XH, Yang W *et al.* Determination of phosphorus in different kinds of food by spectrophotometry and analysis of experiment results [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(7): 1706–1710.
- [40] 王鹏, 严玉玲. 复合磷酸盐在食品中的应用分析[J]. 食品界, 2017, (4): 103–103.
- Wang P, Yan YL. Application of compound phosphates in food [J]. *Food More*, 2017, (4): 103–103.
- [41] 侯双迪, 王鑫, 邵娟娟, 等. 食品中重金属砷的危害及其检测方法[J]. 农产品加工, 2017, (7): 39–40.
- Hou SD, Wang X, Shao JJ, *et al.* Heavy metal Arsenic harmfulness in food and detection methods [J]. *Farm Prod Process*, 2017, (7): 39–40.
- [42] 李莉. 食品中总砷和无机砷的检测方法及砷在食品中的分布情况[J]. 食品安全导刊, 2017, 5(15): 81–82.
- Li L. Method for determination of total Arsenic and inorganic Arsenic in food and distribution of Arsenic in food [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2017, 5(15): 81–82.
- [43] 尚德荣, 赵艳芳, 郭莹莹, 等. 食品中砷及砷化合物的食用安全性评价[J]. 中国渔业质量与标准, 2012, 2(4): 21–32.
- Shang DR, Zhao YF, Guo YY, *et al.* Food safety evaluation of Arsenic and Arsenic compounds in food [J]. *Chin Fish Qual Stand*, 2012, 2(4): 21–32.
- [44] 谭湘武, 马金辉, 萧福元, 等. 食品中总锑含量及形态分析技术研究进展[J]. 实用预防医学, 2016, 23(1): 126–129.
- Tan XW, Ma JH, Xiao FY, *et al.* Research progress of total antimony content and morphological analysis in food [J]. *Pract Prev Med*, 2016, 23(1): 126–129.
- [45] 陆素芬, 王佛鹏, 钟雪梅, 等. 2013-2014 年南丹县矿区周边主要食品中锑的含量及暴露评估[J]. 卫生研究, 2017, 46(5): 813–823.
- Lu SF, Wang FP, Zhong XM, *et al.* Dietary exposure assessment of

- antimony to inhabitants around mine contaminated areas in Nandan County in 2013-2014 [J]. *J Hyg Res*, 2017, 46(5): 813-823.
- [46] 谭湘武, 马金辉, 萧福元, 等. 湖南居民主要食品中锑的污染及暴露评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(4): 528-532.
- Tan XW, Ma JH, Xiao FY, *et al*. Dietary exposure assessment of antimony in Hunan [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 28(4): 528-532.
- [47] 王广珠, 牛作霞. 微量元素硒的毒性研究进展[J]. *西北药学杂志*, 2010, 25(3): 237-238.
- Wang GZ, Niu ZX. Research progress on toxicity of trace element Selenium [J]. *J Northwest Pharm*, 2010, 25(3): 237-238.
- [48] 王俊, 黄明, 徐幸莲, 等. 硒及富硒功能食品研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2003, (2): 53-56.
- Wang J, Huang M, Xu XL, *et al*. Research progress of Selenium and Selenium-enriched functional food [J]. *J Jiangsu Agric Sci*, 2003, (2): 53-56.
- [49] 耿娟, 丁仕兵, 郭兵, 等. 食品中氟化物的前处理及测定方法[J]. *食品安全导刊*, 2010, (2): 40-41.
- Geng J, Ding SB, Guo B, *et al*. Pretreatment and determination of fluoride in food [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2010, (2): 40-41.
- [50] 陈南. 淡水鱼中氟的测定[J]. *江西食品工业*, 2010, (3): 26-27.
- Chen N. Determination of fluoride in fresh water fish [J]. *Jiangxi Food Ind*, 2010, (3): 26-27.
- [51] 王璐, 朱兰兰, 赵彦玲, 等. 青岛市虾类食品中氟的膳食暴露评估[J]. *中国渔业质量与标准*, 2013, 3(3): 14-20.
- Wang L, Zhu LL, Zhao YL, *et al*. Dietary exposure assessment of fluoride in shrimp food in Qingdao [J]. *Chin Fish Qual Stand*, 2013, 3(3): 14-20.
- [52] 黄先亮, 屠大伟, 朱永红, 等. 食品安全元素形态分析联用技术的应用[J]. *中国调味品*, 2014, 39(5): 134-140.
- Huang XL, Tu DW, Zhu YH, *et al*. Applications of hyphenated techniques for element speciation analysis on food safety [J]. *Chin Cond*, 2014, 39(5): 134-140.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



张琦玥, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 18201660958@163.com