

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.03.006

攀西核桃中 Cd 累积特性及其残留量检测与风险评估

付卓锐, 罗雅川, 黄伊嘉, 莫开林*

(四川省林业科学研究院, 四川 成都 610066)

摘要:采用原子吸收光谱法测定攀西地区核桃产地土壤、树皮、叶、青皮、壳和仁中镉(Cd)的含量,研究攀西地区核桃对镉(Cd)的积累特性及食用风险。结果表明:产地土壤中检测出的Cd含量显著高于核桃树各器官中该元素的浓度,且存在超出国标限量的土壤样本;核桃叶样品Cd含量均显著高于各点核桃仁;随着土壤中Cd含量的增加,核桃树皮、叶、青皮、壳和仁并未有明显的富集规律,与其他核桃主要器官相比,核桃可食用部分富集Cd的能力比较弱;内梅罗指数评价方法结果显示,核桃仁Cd的污染指数P值均 <1 ,表示攀西核桃基地试验点的核桃仁样品关于Cd指标未受污染;参照中国现行标准,结合我国居民树坚果的消费量,将其扩大化至推荐值,推算出,无论是成人还是儿童,关于核桃仁中Cd的目标风险系数THQ都远低于1.0,说明核桃可食用部分中重金属Cd含量对我国消费者的健康影响目前是风险极低的。但从整体情况来看,核桃产地土壤和产品的可食用部分仍需要严格抽样监测,以降低污染产品和损害人体健康的概率。

关键词:核桃;镉(Cd);积累特性;风险评估

中图分类号:S759.33

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2016)03-0031-08

Accumulation Characteristics of Cadmium in the Walnut in Panzhihua-Xichang regions and its Residue Detection and Risk Assessment

FU Zhuo-rui LUO Ya-chuan HUANG Yi-jia MO Kai-lin*

(Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610066, China)

Abstract: By using the atomic absorption spectrometry, determination was conducted on the content of Cadmium (Cd) in the soil and bark, leaf, green husk, shell and kernel of walnuts from Panzhihua-Xichang Regions' walnut producing areas in order to study the accumulation characteristics of cadmium (Cd) and consumption risk of the walnut. The results showed that the content of Cd in the soil was significantly higher than that in the organs of the walnut tree, and there were soil samples which exceeded the national standard; the content of Cd in the leaf samples was significantly higher than that in the walnut; with the increase of Cd content in the soil, the bark, leaf, green husk, shell, and kernel did not show an obvious enrichment regularity, and the accumulation ability of the walnut's edible parts was weaker as compared with the other main organs; The results of the Nemerow Index Method showed that the comprehensive pollution index of Cd in the walnut was $P < 1$, indicating the walnut samples of the experimental point in production bases of Panzhihua-Xichang regions were out of Cd pollution; Referring to China's current standards and the tree nut consumption amount of Chinese residents, it was calculated that the target risk factor about Cd in the walnut was much lower than 1.0 no matter for adults or kids, which meant that the content of heavy metal Cd in the edible parts of walnut was temporarily risk-free for Chinese consumers'.

收稿日期:2015-12-19

基金项目:四川省公益性科研院所基本科研项目 JB201515。

作者简介:付卓锐(1983-),女,硕士研究生,从事森林食品检验及监测工作。E-mail:85908408@qq.com。

通讯作者:莫开林(1970-),男,高级工程师,从事林产品质量安全检验监测工作。Tel:13982271256, E-mail:mokailin@126.com。

health. However, from the overall situation, the locality soil and edible parts of walnut would still need strict a sampling examination to reduce the probability of product pollution and human health damage.

Key words: Walnut, Cadmium (Cd), Accumulation characteristics, Risk Assessment

核桃因为其美味香甜且含有丰富的、对人体有利的不饱和脂肪酸,以及大量维生素、微量元素等而深受人们喜爱^[1]。攀西地区有独特的气候和丰富的光热、土地、水力资源,发展核桃产业是将攀西地区资源优势转化为产业优势的必然选择。核桃作为攀西地区的主要干果,分布范围涵盖了凉山州 17 个县(市)及攀枝花市的两县 1 区,至 2009 年底,全区核桃面积 973 33 hm²,产量约 22 000 t,产值约 3 亿元^[2]。至 2015 年,攀西地区具有一定规模的核桃基地已有 110 个以上。

但随着经济全球化的迅速发展,攀西地区长期的矿产开采、加工以及工业化进程中形成了一定量的重金属积累,在环境中难以降解。核桃中的重金属镉(Cd)来源与产地土壤环境密切相关^[3]。究其原因,一是核桃产地土壤熟化程度不高,重金属含量丰富。二是山区矿藏资源丰富,重金属含量较高,核桃林木往往扎根到母质、基岩,成为浓缩毒物的载体,通过食物链转移至人体,长期摄入即使很低浓度也会危害人类健康^[4~5]。目前国内外对核桃的研究多集中在营养素、生物活性成分、功能性成分及加工等方面,还未见有核桃重金属迁移特性及食用风险方面的研究。

本研究取攀西地区经认证森林食品的核桃基地试验点的在了解攀西地区核桃基地的土壤、树皮、叶、青皮、壳和仁作为研究对象,测定其中 Cd 的含量,分析其在核桃各主要组织的积累分布情况,同时开展风险评估,为今后建立核桃的安全评价体系积累基础数据,对攀西地区核桃产业的发展具有重要的意义。

1 试验与分析评价方法

1.1 试验点布设与采样

查阅文献,采用问卷调查和野外实地调查相结

合的方式,对攀西地区主要核桃生产基地进行调查。截至 2015 年上半年,攀西地区具有一定规模的核桃基地已有 112 个。在攀西所有核桃基地中,均匀选择 9 个试验点,布设应具有管理规范、核桃林木分布均匀、树龄基本一致、且有 1.33 hm² 以上规模的核桃基地。试验点布设基本信息如图 1 所示。

每个试验地按照对角线法定 3 个范围点选择代表性核桃树(可代表该试验地整体核桃的树龄和长势,生长健康的),订上试验标识牌,然后进行土壤、树皮、叶、果实的采取。土壤采样参照《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395 - 2012)规定执行^[6]。土壤采集深度为 0 cm ~ 40 cm,当场剔除表层的石子和树根、草根等杂物,在土壤剖面内自下而上均匀挖取,各分点土壤混合均匀后按四分法取 2 kg 混合土壤作为 1 个检验样品;树皮采样统一用近地面 10 cm 处环周近地茎(3 cm × 5 cm 规格)两处作为 1 个树皮检验样品;叶子采样统一随机取 3 小枝树叶混合作为 1 个叶子检验样品;应收获季节采集标识核桃树带青皮果实混匀后 500 g 分别作为 1 个青皮检验样品,1 个核桃壳检验样品和 1 个核桃仁检验样品。采样完毕,将样品放于干净的聚乙烯塑料袋内,样品袋内外两面显著位置分别贴上标签。

1.2 分析仪器与方法

1.2.1 分析仪器

240ZAA 原子吸收分光光度计、SCP SCIENCE 石墨消解仪、组织捣碎机

1.2.2 分析检验方法

从产区采取植物鲜样和土壤,稍作处理后用保鲜袋带回实验室。植物样用去离子水清洗干净后阴干,以及土样在自然条件下晾干后用打碎机磨碎并过 20 目筛后存放于干净的铝盒中,供各重金属元素的测定。具体检测方法以及土壤和产品的判定标准如表 1 所示^[7~8]。

表 1

检测方法与判定标准

Tab. 1

The detection standards and judgement standards

项目	检测方法	判定标准(mg · kg ⁻¹)
土壤 Cd	GB/T 17141 - 1997	LY/T 1678 - 2014 ; ≤0.30
树皮、树叶、青皮、壳 Cd	GB/T 5009.15 - 2014	—
核桃仁 Cd	GB/T 5009.15 - 2014	LY/T 1777 - 2008 ; ≤0.10

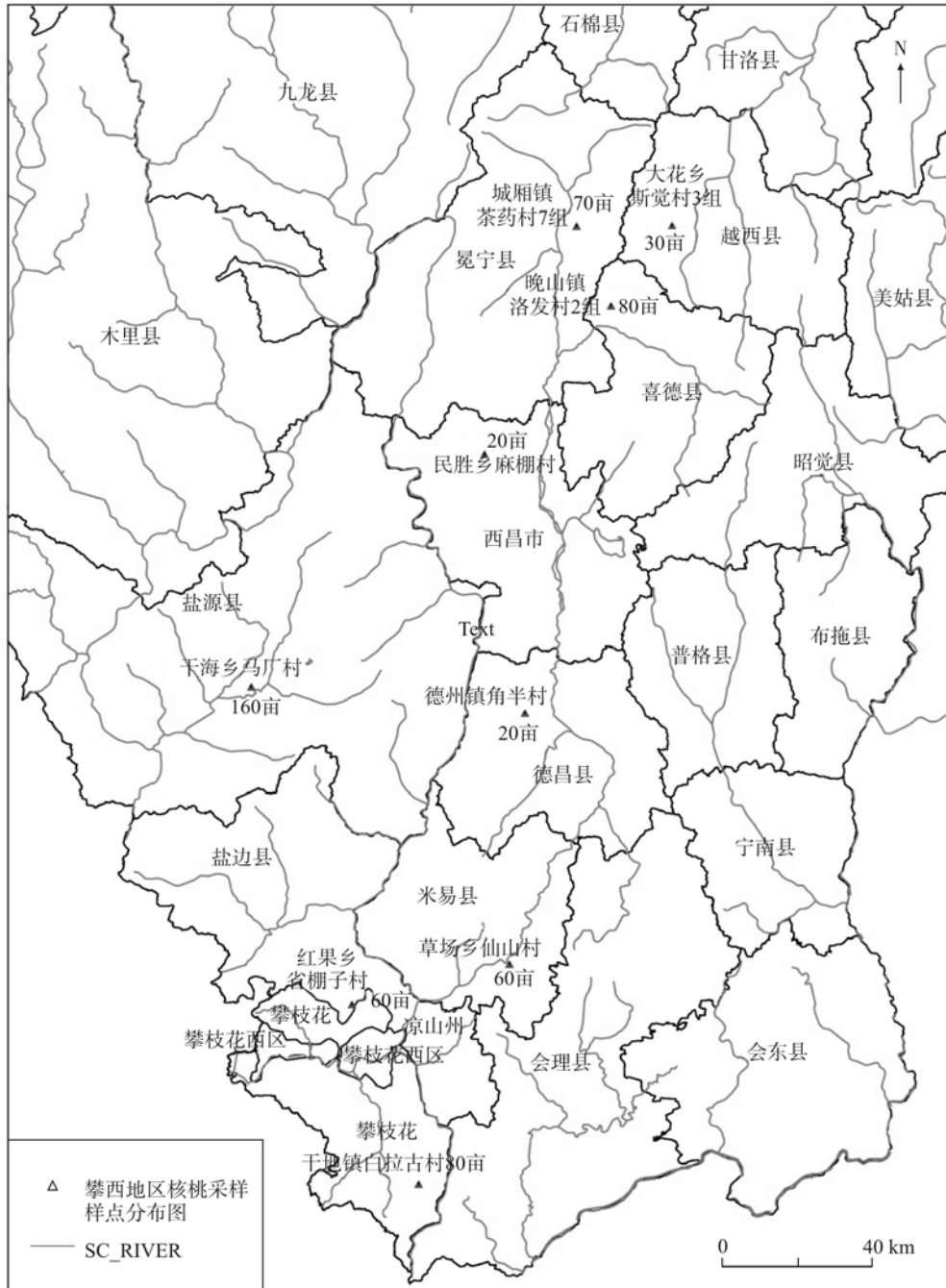


图 1 试验点布设分布图

Fig. 1 Distribution diagram of test points

土壤样品中镉(Cd)含量测定按照《土壤质量铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141—1997)规定执行;植物样品(除核桃仁)中的镉(Cd)含量测定按照《食品中镉的测定》(GB/T 5009.15—2014)湿法消解执行;核桃仁中的镉(Cd)含量测定按照《食品中镉的测定》(GB/T 5009.15—2014)干法灰化执行。具体如下:

(1)土壤检测方法:土壤样品进行自然风干后,研磨,过100目尼龙筛后贮藏于干燥器备用,准确称

取0.1g土样于50ml聚四氟乙烯坩埚中,用水润湿后加入5ml优级纯盐酸,于通风厨电热板上低温加热,使样品初步分解,当蒸发至约2ml~3ml时,取下稍冷,然后加入5ml优级纯硝酸,4ml氢氟酸,2ml高氯酸,加盖后于电热板上中温加热1h左右,然后开盖,继续加热除硅,为了达到良好的飞硅效果,应经常摇动坩埚。当加热至冒浓厚高氯酸白烟时,加盖,使黑色有机碳化物充分分解。待坩埚上的黑色有机物消失后,开盖驱赶白烟并蒸发至内容物呈

粘稠状。视消解情况,可再加入 2 ml 硝酸、2 ml 氢氟酸、1ml 高氯酸,重复上述消解过程。当白烟再次基本冒尽且内容物呈粘稠状时,取下稍冷,用水冲洗坩埚盖和内壁,并加入 1 ml 硝酸(1+5)溶液温热溶解残渣。然后将溶液转移至 25 ml 容量瓶中,加入 3 ml 磷酸氢二铵溶液(质量分数 5%)冷却后定容,摇匀备测^[9]。消解液中重金属镉(Cd)的含量采用石墨炉原子吸收分光光度仪(Agilent AA240Z)进行测定。

(2)树皮、树叶、青皮、核桃壳检测方法:植物样品运回实验室后,用自来水清洗干净,再用去离子水清洗 3 次后阴干,研磨后过 60 目尼龙筛备用,称取试样 1 g 于锥形瓶中,放数粒玻璃珠,加入 10:1 的混酸(硝酸:高氯酸)10 ml,加短颈漏斗浸泡过夜,第二天于电炉上消解,若变棕黑色,再加混合酸,直至冒白烟,消化液呈透明,赶酸挥净,放冷,用滴管将试样消化液滤入 25 ml 容量瓶中,用 1% 的硝酸少量多次洗涤锥形瓶,洗液合并于容量瓶中并定容至刻度,混匀备用^[10]。消解液中重金属镉(Cd)的含量采用石墨炉原子吸收分光光度仪(Agilent AA240Z)进行测定。

(3)核桃仁检测方法:称取已处理核桃仁样品 5g(精确到 0.001 g)于瓷坩埚中,再用小火炭化至无烟,移入马弗炉(500±25)℃灰化 8h,冷却。若个别样灰化不彻底,则加 1 ml 混合酸在可调节电炉上小火加热,反复多次直到消化完全,放冷,用硝酸(0.5 mol·L⁻¹)将灰分溶解,用滴管将消化液洗入或滤入(视消化液有无沉淀而定)25 ml 容量瓶中,去离子水定容,混匀备用^[10]。消解液中重金属镉(Cd)的含量采用石墨炉原子吸收分光光度仪(Agilent AA240Z)进行测定。

1.3 风险评价方法

1.3.1 核桃产地土壤质量风险评价

采用单项污染指数法: $P_i = C_i/S_i$ (式中: P_i —土壤污染物 i 的污染指数; C_i —土壤污染物 i 的实测浓度; S_i —污染物 i 的评价标准)进行评价^[11]。质量分级标准引用 HJ 332-2006“食用农产品产地环境质量评价标准”中的土壤污染分级标准(表 2)^[12]。

表 2 核桃产地土壤质量分级标准

Tab. 2 The soil quality grading standard of walnut production areas

等级	污染指数(P)	污染程度
I	$P \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < P \leq 1.0$	尚清洁(警戒限)
III	$1.0 < P \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < P \leq 3.0$	中度污染
V	$P > 3.0$	重度污染

1.3.2 核桃可食用部分中镉(Cd)污染评估

采用单项污染指数法: $P_i = C_i/S_i$ (式中: P_i —为核桃仁中第 i 种重金属元素的污染指数; C_i —为核桃仁中第 i 种重金属元素的实测浓度; S_i —为核桃仁中第 i 种重金属元素的限量标准值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)进行评价。当 $P \leq 1$ 时,表示核桃仁未受污染;当 $P > 1$ 时,表示核桃仁受到污染,且其值越大则污染越严重^[11]。

1.3.3 关于核桃产品镉(Cd)食用健康风险评价

依据国家对重金属的限量标准,结合我国居民树坚果的消费量,并与世界卫生组织(World Health Organization,WHO)/联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization,FAO)食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives,JECFA)推荐的每日可能摄入量(Estimated daily intake,EDI)比较,分析出攀西地区核桃中可食用部分镉(Cd)的目标风险系数(Target hazard quotient,THQ)。

每日可能摄入量(Estimated daily intake,EDI)($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$)是以核桃可食用部分中重金属镉(Cd)浓度和每日树坚果的摄入量作为参考变量,目标风险系(Target hazard quotient,THQ)是污染物检测量与参考剂量的比值,是表征核桃中重金属含量可能带来健康风险的一个系数,如果这个系数大于 1.0,则表示可能带来明显的不利于健康的效应,它是由 USEPA(2009)提供,其方程式分别为:

$$EDI = C_v \times W_f$$

$$THQ = EDI / (RfD_w \times B_w)$$

其中, C_v ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), W_f 为核桃可食用部分中重金属浓度; W_f 为该地区核桃的每日消费量(kg),根据中国营养学会统计,坚果炒货的消费渗透率较低仅 10%,中国疾病预防控制中心霍军生研究,2002 年平均每人仅 $3.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 坚果炒货消费,在《中国居民膳食指南(2007 版)》中大豆及坚果类每日建议摄入量为 30 g~50 g; RfD (oral reference dose)是参考剂量,镉(Cd)的 RfD 值为 $0.001 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (FAO/WHO 1993); B_w 为体重,在中国,成年人和儿童平均体重分别为 63.9 kg 和 32.7 kg(Ge et al 1996;Wang et al 2005)^[13]。

2 结果与分析

2.1 攀西核桃土壤及主器官镉(Cd)积累特性分析

对测定出的样品镉含量数据进行整理如表 3 所

示,各试验点核桃不同部位含镉量比较如图 2 所示, 采样试验地点用标识号 A、B、C、D、E、F、G、H、K 表

示,分析攀西核桃土壤及主器官中镉(Cd)的积累特 性。

表 3 攀西核桃土壤及主器官镉(Cd)含量(mg·kg⁻¹)分析
Tab. 3 Analysis of heavy cadmium element content in walnut soil and main tissues in Pan-Xi region

样树 样地	树龄 (Y)	土 (mg·kg ⁻¹)	树皮 (mg·kg ⁻¹)	叶 (mg·kg ⁻¹)	青皮 (mg·kg ⁻¹)	壳 (mg·kg ⁻¹)	仁 (mg·kg ⁻¹)
A	50	0.239(19.8%)	0.108 ab(7.1%)	0.113 a(19.1%)	0.045 d(13.5%)	0.008 e(21.7%)	0.082 c(10.3%)
B	100	0.288(7.9%)	0.137 a(18.7%)	0.105 b(7.3%)	0.018 c(19.9%)	0.013 cd(17.5%)	0.011 d(20.5%)
C	18	0.213(14.2%)	0.094 b(14%)	0.126 a(6%)	0.039 d(20.6%)	0.036 de(17.4%)	0.084 c(21.5%)
D	10	0.17(17.5%)	0.082 c(20.1%)	0.133 a(9.7%)	0.088 bc(14.7%)	0.078 cd(17.3%)	0.092 b(5.9%)
E	15	0.248(19.9%)	0.12 a(11.3%)	0.08 b(21.9%)	0.051 d(15.1%)	0.062 c(15.3%)	0.055 cd(10.9%)
F	20	0.189(11.7%)	0.1 a(17%)	0.093 ab(18.7%)	0.03 d(25.5%)	0.039 c(17.9%)	0.032 cd(12.9%)
G	25	0.129(13.9%)	0.062 b(13.7%)	0.111 a(23.9%)	0.024 c(20.8%)	0.022 cd(18.9%)	0.022 cd(13.7%)
H	30	0.236(8%)	0.126 a(10.6%)	0.121 ab(6.2%)	0.079 cd(19%)	0.026 e(19.8%)	0.08 c(17.9%)
K	5	0.148(20.4%)	0.066 b(16.4%)	0.099 a(11.1%)	0.026 d(16.2%)	0.015 de(21.3%)	0.064 bc(11.8%)

注:表中样品镉含量为采样地点的各类别均值,均值后小写英文字母不同者表示经邓肯氏新复极差测验差异显著(P<0.05),均值下方括号内表示 3 个样值的相对标准偏差。

结合表 3 和图 2 的各试验地样品镉含量数据分析发现:A 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为叶、树皮>仁>青皮>壳,B 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为树皮>叶>青皮、壳、仁,C 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为叶>树皮>仁>青皮、壳,D 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为叶>仁>树皮、青皮、壳,E 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为树皮>叶>壳、青皮、仁,F 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为树皮、叶>壳、仁、青皮,G 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为叶>树皮>青皮、壳、仁,H 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为树皮、叶>仁、青皮>壳,K 基地核桃样品各组织含镉量差异性依次为叶>树皮、仁>青皮、壳。

桃仁中的镉含量;(4)各试验点核桃叶与树皮镉含量未有整体规律性的差异;(5)各试验点核桃青皮、壳和仁中的镉含量未有整体规律性的差异。

图 3 为核桃树龄与各器官含镉量的关系图,从图中可以看出:(1)整体来看,核桃树皮、叶、青皮、壳和仁中的镉含量对树龄的变化并未明显规律,这可能与核桃树品种较多以及个体代谢有较大关系;(2)随着核桃树龄的增加,核桃果实部分的含镉量并无显著变化,且与其他核桃主要器官比较,核桃果实部分富集镉(Cd)的能力较弱。因本项目时间和资金的限制,导致针对树龄有目的采样的样本数较少,树龄与各器官含镉量的关系需要下一步专门进行研究。

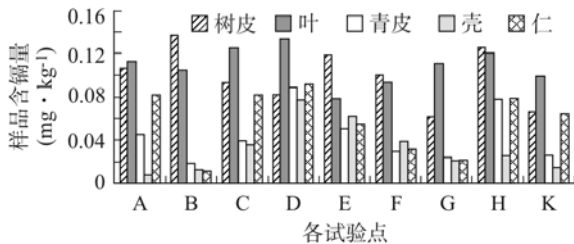


图 2 各试验点核桃不同部位含镉量比较

Fig. 2 Comparison of cadmium content in different parts of walnut at different locations

分析表 3 和图 2 的整体数据,发现:(1)攀西核桃基地试验点采样土、树皮、叶、青皮、壳、仁的镉(Cd)均被检出,证明都有检测的必要性;(2)攀西核桃基地试验点采样土壤中检测出的镉含量均显著高于核桃树各器官的浓度,且均在国标限量以下;(3)各试验点核桃叶样品中的镉含量均显著高于各点核

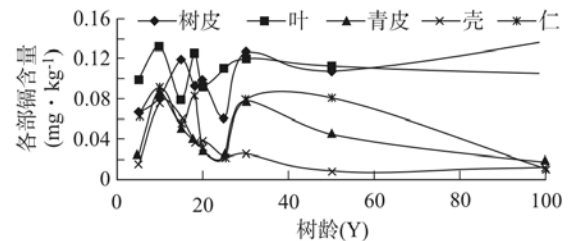


图 3 核桃树龄与各器官含镉量的关系

Fig. 3 The relationship of cadmium content between walnut organs and age

图 4 为产地土壤与核桃各器官含镉量的关系图,从图中可以看出:(1)整体来看,核桃树皮、叶、青皮、壳和仁随着土壤镉含量的增加并未明显的富集规律,这可能与核桃树品种和个体代谢有较大关系;(2)土壤的含镉量多少并不直接导致核桃各器官含镉量的多少,土壤只是提供了镉含量的风险,但核桃各器官的迁移富集风险可能还与核桃树品种和代谢能力有关;(3)与核桃树皮和叶子相比,随着土

壤镉含量的增加,核桃果实部分富集镉的能力相对较弱。因本项目时间和资金的限制,未针对核桃树品种有目的调查和采样,有待下一步针对性进行研究。

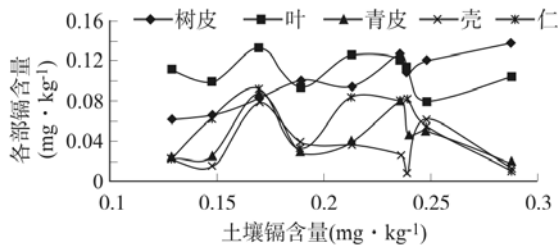


图4 产地土壤与核桃各器官含镉(Cd)量的关系

Fig.4 Relationship of cadmium content between walnut organs and the soil

2.2 攀西核桃产地土壤镉(Cd)污染评估

根据内梅罗指数评价方法中的单因子污染指数,土壤镉的Si限量标准值为 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,计算出攀西核桃试验点土壤样品镉的污染情况,结合土壤质量分级标准,将攀西试验点土壤中镉的内梅罗污染指数评价结果如表4所示。

表4 攀西试验点土壤中镉的内梅罗污染指数评价

Tab.4 The Status Quo of Nemerow Pollution Index of cadmium in soil of Pan-Xi areas

采样点	样品	含量检测 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	单项污染指数 (Pi)	污染等级
A	A1	0.227	0.800	尚清洁(警戒限)
	A2	0.291		
	A3	0.199		
B	B1	0.292	0.960	尚清洁(警戒限)
	B2	0.309		
	B3	0.264		
C	C1	0.200	0.710	尚清洁(警戒限)
	C2	0.247		
	C3	0.191		
D	D1	0.157	0.570	清洁(安全)
	D2	0.204		
	D3	0.149		
E	E1	0.254	0.830	尚清洁(警戒限)
	E2	0.294		
	E3	0.196		
F	F1	0.183	0.630	清洁(安全)
	F2	0.214		
	F3	0.171		
G	G1	0.125	0.430	清洁(安全)
	G2	0.149		
	G3	0.114		
H	H1	0.244	0.790	尚清洁(警戒限)
	H2	0.249		
	H3	0.214		
K	K1	0.145	0.490	清洁(安全)
	K2	0.179		
	K3	0.119		

从表4可以看出,攀西核桃基地的9个试验点中,核桃产地土壤的镉污染情况如下:清洁(安全的)有4个,尚清洁(警戒限)5个。虽然从前面研究得知,核桃产地土壤镉的含量并不直接导致核桃可食用部分镉含量,但从整体情况来看,核桃产地土壤仍然需要严格控制,防止污染加重,并适时监测,以减小污染产品的概率。

2.3 攀西核桃产品镉(Cd)污染评估

内梅罗指数评价方法中的单因子污染指数公式,核桃仁镉的Si限量标准值为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,计算出攀西核桃试验点土壤样品镉的污染情况,当 $P \leq 1$ 时,表示核桃仁未受污染;当 $P > 1$ 时,表示核桃仁受到污染,且其值越大则污染越严重。将攀西试验点核桃可食部分(核桃仁)中镉的内梅罗污染指数评价结果如表5所示。

表5 攀西试验点核桃仁中镉的内梅罗污染指数评价

Tab.5 The status quo of nemerow pollution index of cadmium in walnut kernel of Pan-Xi areas

采样点	样品	含量检测 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	单项污染指数 (Pi)	污染等级
A	A1	0.082	0.82	警戒限
	A2	0.091		
	A3	0.074		
B	B1	0.010	0.11	安全
	B2	0.013		
	B3	0.009		
C	C1	0.090	0.84	警戒限
	C2	0.099		
	C3	0.064		
D	D1	0.098	0.92	警戒限
	D2	0.091		
	D3	0.087		
E	E1	0.056	0.55	安全
	E2	0.061		
	E3	0.049		
F	F1	0.031	0.32	安全
	F2	0.037		
	F3	0.029		
G	G1	0.023	0.22	安全
	G2	0.019		
	G3	0.025		
H	H1	0.086	0.8	警戒限
	H2	0.091		
	H3	0.064		
K	K1	0.067	0.64	安全
	K2	0.069		
	K3	0.055		

从表5可以看出,攀西核桃基地的9个试验点中,核桃可食用部分的镉污染情况如下:①核桃仁镉的污染指数P值均 < 1 ,表示攀西核桃基地试验点的核桃仁样品关于镉指标未受污染;②核桃仁镉的污染指数P值等级显示,安全的有5个基地,警戒限的

有 4 个基地。虽然从前面研究得知,核桃可食用部分(核桃仁)的镉富集迁移能力较其他器官要弱,但从整体情况来看,核桃产品的可食用部分仍然需要严格抽样监测,以降低损害人体健康的概率。

2.4 攀西核桃产品关于镉(Cd)食用健康风险评价

根据每日可能摄入量(Estimated daily intake, $EDI = C_v \times W_f$)和 USEPA(2009)提供的目标风险系数(Target hazard quotient, $THQ = EDI / (RfD_w \times B_w)$)的计算公式,计算出表征核桃可食用部分中重金属镉含量可能带来健康风险的一个系数,如果这个系数大于 1.0,则表示可能带来明显的不利于健康的效应。其中, C_v ($mg \cdot kg^{-1}$, FW)为核桃可食用部分中重金属浓度; W_f 为该地区核桃的每日消费量(kg),根据中国疾病预防控制中心霍军生研究,

2002 年平均每人仅 $3.8 g \cdot d^{-1}$ 坚果炒货消费,即使是现在的消费量,也远远小于在《中国居民膳食指南(2007 版)》中大豆及坚果类每日建议摄入量为 $30 g \sim 50 g$,我们取最大建议值 $50 g \cdot d^{-1}$ 作为成年人的 W_f 值, $30 g \cdot d^{-1}$ 作为儿童的 W_f 值; RfD (oral reference dose) 是参考剂量,镉(Cd)的 RfD 值为 $0.001 mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$ (FAO/WHO 1993); B_w 为体重,在中国,成年人和儿童平均体重分别为 $63.9 kg$ 和 $32.7 kg$ (Ge et al 1996; Wang et al 2005)。计算出表征核桃可食用部分中重金属镉含量可能带来健康风险结果如表 6 所示。图 5 为攀西试验点核桃仁中镉的 THQ 健康风险评价图(红线代表健康风险临界值 1.0)。

表 6

攀西试验点核桃仁中镉的健康风险评价

Tab. 6

Health risk assessment of cadmium in walnut kernel of Pan-Xi areas

试点 THQ	A	B	C	D	E	F	G	H	K
成年人	0.064	0.008	0.066	0.072	0.043	0.025	0.018	0.063	0.05
儿童	0.019	0.002	0.020	0.021	0.013	0.007	0.005	0.019	0.015

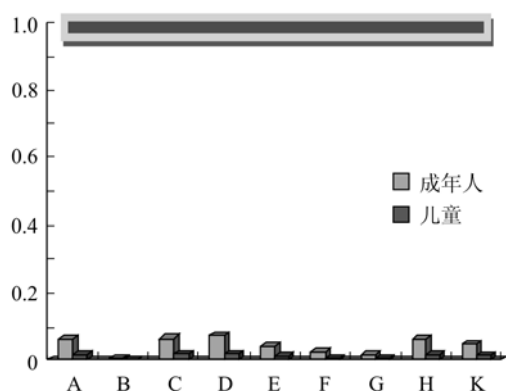


图 5 攀西试验点核桃仁中镉的健康风险评价

Fig. 5 Health risk assessment of cadmium in walnut kernel of Pan-Xi areas

分析攀西试验点核桃仁中镉的健康风险评价表 6 和图 5,结合其内梅罗污染指数评价表 5,参照中国现行标准,尽管 A、C、D、E 基地试验点核桃仁样品中镉的内梅罗污染评价处于警戒限范围内,而且镉有时在很低的浓度就对人体健康产生极大危害 (Mushtakova et al 2005; Ikeda et al 2000),但结合我国居民树坚果的低消费量,扩大化至推荐值,推算出 EDI,并分析出攀西地区核桃中可食用部分镉(Cd)的目标风险系数(Target hazard quotient, THQ),结果显示,无论是成人还是儿童,关于核桃仁中镉(Cd)

的目标风险系数 THQ 都远低于 1.0,说明核桃可食用部分中重金属镉含量对我国消费者的健康是暂时没有风险的。

3 讨论与结论

(1)攀西核桃基地试验点采样土、树皮、叶、青皮、壳、仁的 Cd 均检出,证明都有检测的必要性;采样土壤中检测出的 Cd 含量均显著高于核桃树各器官的浓度,且存在超出国标限量的样本;各试验点核桃叶样品 Cd 含量均显著高于各点核桃仁。

(2)随着核桃树龄增加,核桃叶、青皮、壳和仁的 Cd 含量对树龄的变化并未明显规律,这可能与核桃树品种以及个体代谢有较大关系;与其他核桃主要器官相比,核桃可食用部分富集 Cd 的能力比较弱。因本项目时间和资金的限制,导致针对树龄有目的采样的样本数较少,树龄与各器官 Cd 含量的关系需要下一步进行详细研究。

(3)随着土壤 Cd 含量的增加,核桃树皮、叶、青皮、壳和仁并未有明显的富集规律,说明土壤只是提供了 Cd 污染可能性的环境,但核桃各器官的迁移富集风险可能还与核桃树的品种和代谢能力有关;与其他核桃主要器官相比,核桃可食用部分富集 Cd

的能力比较弱。因本项目时间和资金的限制,未针对核桃树品种及代谢有目的调查和采样,有待下一步针对性进行研究。

(4)根据内梅罗指数评价方法,结合质量分级标准,得出如下结论:①攀西核桃基地的9个试验点中,Cd 清洁(安全的)有4个,尚清洁(警戒限)5个;②核桃仁 Cd 的污染指数 P 值均 < 1,表示攀西核桃基地试验点的核桃仁样品关于 Cd 指标未受污染。虽然研究得知,核桃产地土壤 Cd 的含量并不直接导致核桃可食用部分超标,且核桃可食用部分(核桃仁)的 Cd 富集迁移能力较其他器官要弱,但从整体情况来看,核桃产地土壤和产品的可食用部分仍需要严格抽样监测,以降低污染产品和损害人体健康的概率。

(5)参照中国现行标准,尽管部分基地试验点核桃仁样品中 Cd 的内梅罗污染评价处于警戒限范围内,但结合我国居民树坚果的消费量,将其扩大化至推荐值,推算出,无论是成人还是儿童,关于核桃仁中 Cd 的目标风险系数 THQ 都远低于 1.0,说明核桃可食用部分中重金属镉含量对我国消费者的健康暂时是风险极低的。然而,需要说明的是,本文分析仅仅是从理论上评估 Cd 在核桃可食用部分富集可能带来的健康风险,且是建立在特定假设前提下(若食用核桃仁,没有其他食物 Cd 的积累)。因此,评估仅为核桃产业提供一定的理论参考,如需更加清晰地了解我国核桃的食用安全性,不仅要以我国具体国情为背景,还需在增加样本量,且在评估方

法上进行改进。

参考文献:

- [1] 李敏,刘媛,孙翠,等. 核桃营养价值研究进展[J]. 中国粮油学报,2009,24(6):166~169.
- [2] 杨建平,田丽,胡建华,等. 攀西地区核桃产业现状、优势、问题及对策[J]. 西昌农业科技,2010(2):8~14.
- [3] 柴振林,吕爱华,尚素微,等. 香榧和山核桃中铅含量水平及富集原因分析[J]. 林业科技开发,2010,24(2):70~72.
- [4] TURKMEN M, TURKMEN A, TEPE Y, et al. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas[J]. Food Chemistry,2009,113(1):233~237.
- [5] 顾佳丽. 辽西地区食用鱼中重金属含量的测定及食用安全性评价[J]. 食品科学,2012,Vol. 33, No. 10:237~240.
- [6] NY/T 395-2012 农田土壤环境质量监测技术规范[S]. 北京:中国农业出版社,2012.
- [7] LY/T 1678-2014 食用林产品产地环境通用要求[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [8] LY/T 1777-2008 森林食品 质量安全通则[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [9] GB/T 17141-1997 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [10] GB/T 5009.15-2014 食品中镉的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [11] 丁立忠,尚素微,柴振林. 浙江省山核桃中重金属含量及质量安全评价[J]. 江西农业学报,2011,23(8):151~152.
- [12] HJ 332-2006 食用农产品产地环境质量评价标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2003.
- [13] 熊春晖. 芋和茭白重金属累积特性及主产区残留量检测与风险评估[D]. 华中农业大学,2013.