

山东花生主产区花生镉含量与土壤交换性钙含量的关系及其健康风险评价

陈 虎^{1,2}, 郭 峰¹, 郭笃发², 李晓晴¹, 孟静静¹, 范仲学^{1*}, 万书波^{1*}

(1.山东省农业科学院高新技术研究中心 山东省作物遗传改良与生态生理重点实验室, 济南 250100; 2.山东师范大学人口、资源与环境学院, 济南 250014)

摘 要:选择山东花生主产区 58 个田块进行土壤样品和花生样品的随机采集,测定并分析了土壤镉含量、土壤交换性钙含量、花生镉含量及其相互关系,在此基础上进行了健康风险评价。结果表明:土壤样品中镉的含量为 0.03~0.18 mg·kg⁻¹,平均为 0.069 mg·kg⁻¹;所有样品均未超过农业部绿色食品产地土壤环境的质量标准;交换性钙的含量平均为 4368 mg·kg⁻¹;花生样品中镉的含量为 0.019~0.46 mg·kg⁻¹,平均为 0.14 mg·kg⁻¹,按照 FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准 0.1 mg·kg⁻¹,有 60.3%的花生样品镉超标;全钙的含量平均为 0.528 mg·g⁻¹,并且随着土壤中交换性钙含量的升高,花生镉含量有降低的趋势,但相关性较低。花生样品中有 12 个超出%ADI(100),占取样总数的 20.7%,即食用镉含量超过 0.2 mg·kg⁻¹的花生会对人体膳食健康有一定的风险,并且镉含量越高风险性越大。

关键词:山东花生主产区;土壤交换性钙;花生镉;风险评价

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)10-1884-07

The Relationship Between Cadmium Contents of Peanut and Contents of Exchangeable Calcium in Soil in Main Production Area in Shandong Province and the Health Risk Assessment to Human Health

CHEN Hu^{1,2}, GUO Feng¹, GUO Du-fa², LI Xiao-qing¹, MENG Jing-jing¹, FAN Zhong-xue^{1*}, WAN Shu-bo^{1*}

(1.High-Tech Research Center of Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Provincial Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Ecology and Physiology, Jinan 250100, China; 2.College of Population Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Soil and peanut samples were randomly collected from 58 fields within the major peanut production area in Shandong Province, China. The relationship between levels of total cadmium(Cd) and exchangeable calcium(Ca) in soil with accumulation of cadmium in peanut was determined and the health risk of Cd in peanut to human health was also evaluated. The experimental results showed that the Cd concentrations in the soils collected for this study ranged from 0.03 mg·kg⁻¹ to 0.18 mg·kg⁻¹, with an average of 0.069 mg·kg⁻¹ which is lower than the soil quality standard for green food production by Ministry of Agriculture. The concentrations of Cd in peanut samples ranged from 0.019 mg·kg⁻¹ to 0.46 mg·kg⁻¹, with an average of 0.14 mg·kg⁻¹. There were 60.3% of peanut samples tested with Cd higher than FAO/WHO quality standard for green food(0.1 mg·kg⁻¹). The average concentrations of exchangeable Ca in soils and total Ca in the peanut samples were 4368 mg·kg⁻¹ and 0.528 mg·g⁻¹, respectively. The concentrations of Cd in peanut were decreased as increasing of soil exchangeable Ca even though the correlation of two parameters were relatively low. Twelve peanut samples(20.7% of total tested samples) exceeded %ADI(100), which was 0.2 mg·kg⁻¹ according to FAO/WHO ML.

Keywords: main production area of peanut in Shandong Province; exchangeable calcium in soil; cadmium of peanuts; risk assessment

收稿日期:2012-03-12

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-14);国家科技支撑计划《花生抗灾与节本增效关键技术研究与示范》(2009BAD8B03);山东省自主创新成果转化重大专项“花生产业标准化技术体系规模化应用及其精深加工产品开发”(2012ZHZXIA0418)

作者简介:陈 虎(1987—),男,山东济南人,硕士,主要研究方向为环境生态。E-mail:chenhu19871119@163.com

* **通信作者:**万书波 E-mail:wansb@saas.ac.cn;范仲学 E-mail:fzhongxue@163.com

样风干后过 1 mm 筛,花生自然风干后用刀片把带皮花生仁切成薄片,再用粉碎机把薄片打磨成细小颗粒状。分别测土样中交换性钙和全镉的含量以及花生籽粒全镉和全钙的含量。

1.2 样品测定

本研究中样品镉含量由山东省农业科学院中心实验室测定。其中土壤镉的测定参照国家标准 GB/T 17141—1997,用硝酸、高氯酸、氢氟酸消解土壤试样,用石墨炉原子吸收光谱仪测定,分析结果的标准性采用土壤国家标准物质(ESS-2)进行质量控制,交换性钙的测定参照行业标准 NY/T 1121.13—2006,将试样经 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乙酸铵浸提后,用等离子光谱仪测定;花生镉含量的测定参照 GB/5009.15—2003,将试样经硝酸、高氯酸消解后用石墨炉原子吸收光谱仪测定,分析结果的准确性采用国家标准物质—小麦(GBW 08503b)进行质量控制,钙的测定参照 GB/T 5009.92—2003,将试样经硝酸、高氯酸消化后,用等离子光谱仪测定。

1.3 %ADI 值计算

花生健康风险评价采用 ADI%法(王姗姗等^[10]),ADI 的计算方法如下:

$$\% \text{ADI} = \frac{\text{总摄入量(TDI)}}{\text{最大允许摄入量(ADI)}} \times 100 \quad (1)$$

式中:最大允许摄入量 ADI (Allowable daily intake) ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) 值是用来表征人体所能接受的某有害物质的最大限度的指标,以总摄入量 TDI(Total daily intake) ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) 占 ADI 的百分数来表示花生子实对人类膳食造成的风险大小。

研究表明,世界上大多数人的估计日均镉吸收量为 $25 \sim 75 \mu\text{g}$ ^[11],如果长期摄入被镉严重污染的稻米、蔬菜、水果,饮用含镉量超标的水,都会出现高血压、骨质疏松等疾病,并能引发多种恶性肿瘤^[12]。

经计算,我国成年人的平均体重是 61.2 kg ^[13],中国营养学会《每日膳食中营养素供给量》^[14]建议,成人合理膳食构成中,每人每日所需蛋白质 75 g ,植物油 10 g 才能满足人体的营养需求。花生因受品种、产地、栽培方式等因素的影响,营养成分含量不完全相同,一般含蛋白质 25%左右、脂肪 50%左右、碳水化合物 21%左右^[15],所以花生可以作为维持人体合理膳食的食物来源。本研究中假设人体摄入蛋白质和植物油的唯一来源是花生,忽略其他营养元素的干扰,那么所取花生样品进入人体后的镉总摄入量为: $\text{TDI} = \text{DI 蛋白质} + \text{DI 植物油}$ ^[16],而按照蛋白质计算每人每天需要

进食 300 g 花生,按照植物油计算则每天进食 20 g 花生,即每人每天进食 300 g 花生即可满足人体蛋白质和植物油的需求。

2 结果与分析

2.1 土壤镉含量与花生镉的关系

表 1 为山东花生主产区土壤与花生样品镉含量,土壤样品镉含量为 $0.03 \sim 0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,所有被测样品均未超出农业部绿色食品产地土壤环境的质量标准 $\text{Cd} \leq 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{pH} \leq 7.5$ 时)或 $\text{Cd} \leq 0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{pH} > 7.5$ 时),可作为安全食品花生生产基地。其中烟台地区土壤样品平均镉含量最高,为 $0.091 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,济宁地区土壤样品平均镉含量最低,为 $0.043 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。山东省花生主产区花生样品镉含量为 $0.019 \sim 0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $0.140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。58 个花生样品中,有 35 个样品镉含量超过了 FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准($0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),占样品总数的 60.3%,可见山东省花生籽粒超标严重。

有两个取样点土壤样品镉含量偏高,分别是海阳 $0.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和莱阳 $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (均在烟台)。各地区花生样品镉含量差异较大,为 $0.019 \sim 0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,镉含量最高的也是海阳 $0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和莱阳 $0.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。山东省花生镉含量与土壤镉含量的关系如图 2 所示,可以看出,花生镉含量随土壤镉含量的增加而增加,且达到极显著相关 ($P=0.009 < 0.01$),说明花生中的镉主要从土壤中获得,这与 Dudka 等^[16]的结论一致。

表 1 花生主产区土壤样品与花生样品中镉含量
Table 1 Cadmium content in soil samples and peanut samples

地区	样品数	土壤镉/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		花生镉/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	
		范围	平均	范围	平均
威海	3	0.046~0.077	0.057	0.027~0.11	0.068
烟台	9	0.038~0.18	0.091	0.052~0.46	0.180
青岛	11	0.041~0.11	0.074	0.034~0.22	0.13
临沂	10	0.032~0.08	0.066	0.074~0.21	0.127
日照	4	0.057~0.1	0.079	0.062~0.28	0.134
聊城	1	0.097	—	0.11	—
菏泽	3	0.074~0.092	0.081	0.029~0.035	0.032
潍坊	6	0.034~0.1	0.067	0.019~0.33	0.172
泰安	3	0.03~0.059	0.049	0.081~0.34	0.197
济宁	4	0.034~0.055	0.043	0.082~0.25	0.171
枣庄	4	0.037~0.063	0.047	0.039~0.23	0.117
全省	58	0.03~0.18	0.069	0.019~0.46	0.140

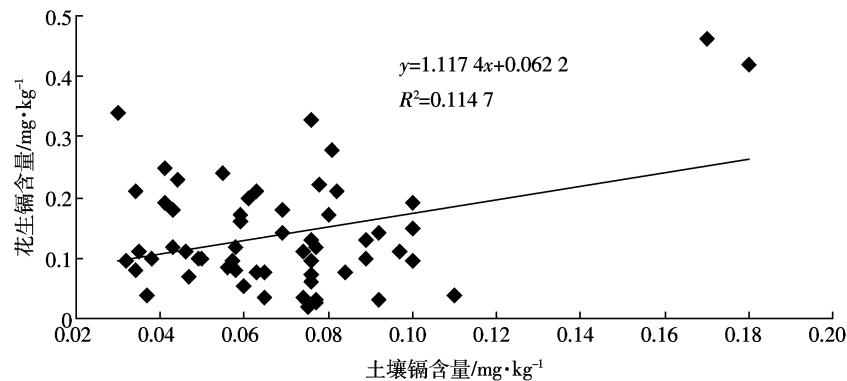


图 2 土壤镉含量与花生镉含量关系

Figure 2 Relationship between cadmium contents of soil and peanuts

2.2 土壤交换性钙与花生镉含量的关系

山东省花生主产区土壤交换性钙含量如表 2 所示,各地区土壤样品交换性钙含量差异较大,为 685~22 337 mg·kg⁻¹,平均为 4368 mg·kg⁻¹。山东省花生镉含量与交换性钙含量的关系如图 3 所示,山东省

土壤样品交换性钙含量也比较集中,约 80%分布于 5000 mg·kg⁻¹ 以下,有少数地区土壤样品交换性钙偏高,这可能与样品所取地区的地形地貌和土壤类型有关。另外从趋势线上看,随着土壤交换性钙的增加,花生镉的含量有降低的趋势,这种趋势在土壤交换性钙达到 5000 mg·kg⁻¹ 以上时比较突出,在一定程度上说明增加一定量的钙元素可以起到降低花生积累镉的作用,但二者之间无相关性($P=0.075>0.05$),也说明影响花生镉吸收的因素还有很多。

表 2 土壤样品中交换性钙含量

Table 2 Contents of exchangeable calcium in soil samples

地区	样品数	土壤交换性钙含量/mg·kg ⁻¹	
		范围	平均
威海	3	948~1245	1111
烟台	9	775~2267	1656
青岛	11	795~11 413	3965
临沂	10	685~11 818	2906
日照	4	1125~2588	1947
聊城	1	17 214	—
菏泽	3	17 105~23 451	20 176
潍坊	6	701~7941	3003
泰安	3	1371~4277	2608
济宁	4	1385~22 337	7069
枣庄	4	1506~10 464	5685
全省	58	685~22 337	4368

2.3 花生的膳食健康风险

依照每人每天进食 300 g 花生即可满足人体蛋白质和植物油的需求所测样品的 TDI 值为 0.093~2.255 μg·kg⁻¹·d⁻¹,WHO 规定成年人镉的 ADI 值为 7 μg·kg⁻¹·d⁻¹,若按此计算,供试花生样本相应的%ADI 值为 1.331~32.213,即对人体健康不存在风险。但是国际上镉的环境标准日益严格,USEPA 推荐的成年人镉的最大允许摄入量 ADI 为 1 μg·kg⁻¹·d⁻¹[17],若按此计算,供试花生样本相应的%ADI 值为 9.314~225.492。

花生样品的%ADI 情况如图 4 所示,若按 USEPA

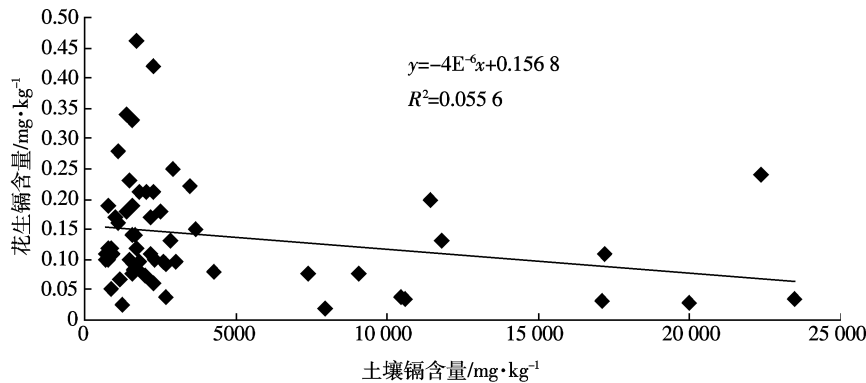


图 3 土壤交换性钙含量与花生镉含量关系

Figure 3 Relationship between contents of exchangeable calcium in soil and cadmium contents of peanuts

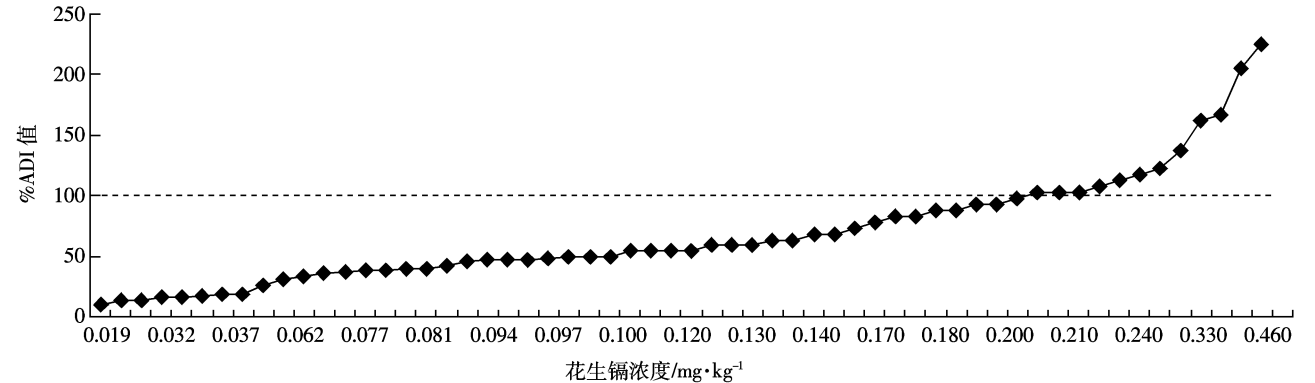


图 4 各花生样品%ADI 情况

Figure 4 Condition of every peanut sample's %ADI

推荐的成年人镉的最大允许摄入量 ADI 值($1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)计算,58 个花生样品中有 12 个超出%ADI(100),占取样总数的 20.7%,如长期食用这些花生来提供人体日常所需的蛋白质和脂肪的话,日总摄入量就会超过 USEPA 推荐的成年人镉的最大允许摄入量,就会对人体膳食健康造成一定风险。上文提到,所取花生样超过 FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准($0.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的有 35 个样品,占取样总数的60.3%。即食用低于 2005 年我国农业部规定的绿色食品花生籽仁中镉含量标准($0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)并不一定对人体健康造成风险,人体可能会通过某些途径将其排出体外以降低对人体的危害;而如果花生中镉含量超过一定限度,即表 3 所示的 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,过量的镉会在人体内积累,最终引起一系列病症。因此,食用镉浓度超过 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的花生对人体膳食健康有一定的风险,并且镉浓度越高风险性越大。

3 讨论

土壤中镉的来源主要有两个方面:一是来源于土壤的母质,二是来源于人为因素^[18],后者贡献较大,例如电镀、塑料制造、采矿、冶炼、油漆、合成和生产含镉的电池等过程所排放的工业废物^[19]进入土壤造成镉污染,另外,农业生产中污水灌溉、农田施肥、农药施用等均可造成土壤重金属镉的污染。

绝大多数植物对 Cd^{2+} 的吸收都随土壤中 Cd^{2+} 浓度的升高而迅速增加,植物体内的 Cd^{2+} 含量与土壤中总镉含量都呈显著相关性^[20]。本文作者也认为,土壤中镉含量越高花生籽粒镉含量也越高,因为土壤是一个比较复杂的大环境,影响花生籽粒镉含量的因素还有很多,如土壤环境条件(土壤表层有效水含量、土壤类型、有机质含量、酸碱度、氧化还原电位、阳离子交换量等)^[21]、花生品种以及人为因素(肥料品种和用量

表 3 风险性花生样镉含量、TDI 及%ADI 值情况

Table 3 Cadmium contents, TDI and its %ADI of risky peanut samples

编号	所属地市	花生镉含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	TDI 值/ μg	%ADI 值	
				世界卫生组织标准	USEPA 推荐
1	临沂	0.21 ± 0.012	1.029	14.706	102.942
2	潍坊	0.21 ± 0.004	1.029	14.706	102.942
3	潍坊	0.21 ± 0.020	1.029	14.706	102.942
4	青岛	0.22 ± 0.008	1.078	15.406	107.844
5	枣庄	0.23 ± 0.017	1.127	16.107	112.746
6	济宁	0.24 ± 0.021	1.176	16.807	117.648
7	济宁	0.25 ± 0.003	1.226	17.507	122.550
8	日照	0.28 ± 0.005	1.373	19.608	137.256
9	潍坊	0.33 ± 0.028	1.618	23.109	161.766
10	泰安	0.34 ± 0.050	1.667	23.810	166.668
11	烟台	0.42 ± 0.021	2.059	29.412	205.884
12	烟台	0.46 ± 0.009	2.255	32.213	225.492

等),但本文没有考虑这些影响因素,只是对各地区大田土壤和花生进行了随机采样与检测。

植物体内积累的 Cd^{2+} 有 50% 以上是通过根系吸收的^[22]。花生主要通过主根系来吸收土壤中的镉,荚果吸收的只占 1%~11%^[23-24],土壤是花生吸收镉的主要来源,而中量元素钙也主要是由花生通过根系从土壤中获得,由于 Ca^{2+} 半径与 Cd^{2+} 半径接近,其对 Cd^{2+} 的化学行为影响很大。 Ca^{2+} 和 Cd^{2+} 因为能够同时被植物的根系吸收而存在着竞争关系,特别在 Ca^{2+} 浓度较高的情况下, Cd^{2+} 的吸收就会明显地受到抑制^[25]。本文认为土壤交换性钙在 $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上时效果尤为明显,即施加一定量的外源钙可以降低植物对镉的吸收,并已有学者分别在小白菜^[26]、芥菜^[27]、水稻^[28]、玉米^[29]、龙葵^[30]等作物得到论证。鉴于有关钙对降低花生镉污染的研究报道较少,下一步的工作应致力于花生吸收镉的机理探讨以及钙对不同栽培方式下花生吸收积累镉的影响研究,为大田花生钙肥的使用提供较好的理论基础和实践基础。

为了保护国民生命健康安全,世界上有许多发达国家都制定过严格的食物中镉的限量标准,如澳大利亚和新西兰,在 1995 年提出的《澳新食品标准法典》对花生中镉的限量为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,但随后又改为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,如今放宽为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,此举大大减轻了我我国出口澳大利亚花生的限制。如今我国实行的绿色食品花生镉含量标准为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,以本文计算结果认为,食用超过 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的花生对人体膳食健康风险性比较大,而我国和澳新等国的标准较为宽松,所以并不利于人体膳食健康。FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准($0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)则较为严格,致使许多国家出口花生面临巨大压力;而《国际卫生法典》规定的花生镉含量标准为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[3],若依据此标准,对于人体膳食健康和国际贸易出口均是有利的,因此建议我国可以适当调整花生镉含量标准以达到国内居民膳食健康和国际贸易出口相协调的目的。

4 结论

(1)山东省花生主产区土壤样品镉含量为 $0.03 \sim 0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均未超出农业部绿色食品产地土壤环境的质量标准;而花生样品镉含量为 $0.019 \sim 0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $0.140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,按照 FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准($0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)超标严重,超标率达 60.3%,其中烟台、青岛地区样品超标尤为严重;各地区花生样品中钙的含量差异不明

显,为 $0.361 \sim 0.841 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均为 $0.528 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)花生样品镉含量随土壤镉含量的增加而增加,说明花生中的镉主要是从土壤中获得;随着土壤样品交换性钙的增加,花生样品镉的含量有降低的趋势,而且这种降低的趋势在土壤交换性钙达到 $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上时较突出,说明增加一定量的钙元素可以起到一定的降低花生积累镉的作用。

(3)58 个花生样品中有 12 个超出 %ADI(100),占取样总数的 20.7%。超过 FAO/WHO 规定的无公害食品镉含量标准($0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)并不一定对人体健康造成风险,但食用镉含量超过 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的花生会对人体膳食健康有一定的风险,并且镉含量越高风险性越大。

参考文献:

- [1] Guo B, Liang Y C, Zhu Y G. et al. Role of salicylic acid in alleviating oxidative damage in rice roots coryza sativa subjected to cadmium stress[J]. *Environmental Pollution*, 2007(147): 743-749.
- [2] McLaughlin M J, Parker D R, Clarke J M. Metals and micronutrients food safety issues[J]. *Field Crops Research*, 1999, 60: 143-163.
- [3] 王凯荣, 张 磊. 花生镉污染研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2757-2762.
WANG Kai-rong, ZHANG Lei. Research advances in cadmium pollution of peanut[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2757-2762.
- [4] 郑 海, 潘冬丽, 黎华寿, 等. 不同浓度镉污染土壤对 22 个花生品种籽粒镉含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(6): 1255-1256.
ZHENG Hai, PAN Dong-li, LI Hua-shou, et al. The effect of soil cadmium content on seeds cadmium content of 22 different peanut[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2011, 30(6): 1255-1256.
- [5] Chaudhuri D, Tripathy S, Veeresh H, et al. Mobility and bioavailability of selected heavy metals in coal ash and sewage sludge-amended acid soil[J]. *Environmental Geology*, 2003, 44: 419-432.
- [6] 万书波, 单世华, 李春娟, 等. 我国花生安全生产现状与策略[J]. 花生学报, 2005, 34(1): 1-4.
WAN Shu-bo, SHAN Shi-hua, LI Chun-juan, et al. Safety status and development strategy of peanut in China[J]. *Journal of Peanut Science*, 2005, 34(1): 1-4.
- [7] 王才斌, 成 波, 郑亚萍, 等. 山东省花生田和花生籽仁镉含量及其与施肥关系研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(6): 1140-1143.
WANG Cai-bin, CHENG Bo, ZHENG Ya-ping, et al. Studies on Cd content in peanut field and corresponding product (Kernel) in Shandong Province and their relationship with fertilizer application[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(6): 1140-1143.
- [8] 杨 力, 刘光栋, 宋国菡, 等. 山东省土壤交换性钙含量及分布[J]. 山东农业科学, 1998(4): 17-21.
YANG Li, LIU Guang-dong, SONG Guo-han, et al. Exchangeable calcium content in soil and distribution in Shandong Province[J]. *Shandong*

- Agricultural Sciences*, 1998(4):17-21.
- [9] 庞绪贵, 姜相洪, 李建华, 等. 济南-济阳地区土壤地球化学特征[J]. 物探与化探, 2004, 28(3):253-256.
- PANG Xu-gui, JIANG Xiang-hong, LI Jian-hua, et al. Soil geochemical characteristics of Jinan-Jiyang Area[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2004, 28(3):253-256.
- [10] 王姗姗, 王颜红, 张 红. 污染花生籽实中镉的分布特征及其对膳食健康的风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊):12-16.
- WANG Shan-shan, WANG Yan-hong, ZHANG Hong. Cd-contaminating peanut seeds: Distribution characteristics of cadmium and risk assessment on dietary health[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2007, 26(Suppl):12-16.
- [11] 李玉浸. 集约化农业的环境问题与对策[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001:1-30.
- LI Yu-jin. Environmental problems and countermeasures of intensive agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2001:1-30.
- [12] 郑袁明, 罗金发, 陈同斌, 等. 北京市不同土地利用类型的土壤镉含量特征[J]. 地理研究, 2005, 24(4):542-547.
- ZHENG Yuan-ming, LUO Jin-fa, CHEN Tong-bin, et al. Cadmium accumulation in soils for different land uses in Beijing[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(4):542-547.
- [13] 国家体育总局. 第二次国民体质监测报告[M]. 北京: 人民体育出版社, 2007.
- [14] 徐顺清. 环境健康科学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005:326.
- XU Shun-qing. Environmental health sciences[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 326.
- [15] 万书波, 封海胜, 王秀贞. 花生营养成分综合评价与产业化发展战略研究[J]. 花生学报, 2004, 33(2):1-6.
- WAN Shu-bo, FENG Hai-sheng, WANG Xiu-zhen. Synthetically evaluation on peanut nutrients and study on its industrialization development strategy[J]. *Journal of Peanut Science*, 2004, 33(2):1-6.
- [16] Dudka S. Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain[J]. *Journal of Environment Science and Health*, 1999, B34(4):681-708.
- [17] Chang A C, Pan Genxing, Page A L, et al. Developing human health-related chemical guidelines for reclaim edwaster and sewage sludge applications in agriculture: Report for World Health Organization [R]. Geneva:2002.
- [18] 江水英, 肖化云, 吴声东. 影响土壤中镉的植物有效性的因素及镉污染土壤的植物修复[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2):6-10.
- JIANG Shui-ying, XIAO Hua-yun, WU Sheng-dong. Effects of factors on Cd bioavailability in soil and the phytoremediation of the Cd-contaminated soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(2):6-10.
- [19] Adriano D C. Trace elements in terrestrial environments[M]. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, 2001.
- [20] Baker A M, Reeves R D, Hajar A M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens*[J]. *New Phytologist*, 1994, 127:61-67.
- [21] Bell M J, McLaughlin M J, Wright G C, et al. Inter-and intra-specific variation in accumulation of cadmium by peanut, soybean, and navy-bean[J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1997, 48:1151-1160.
- [22] Salah S A, Barringt on S F. Effects of soil fertility and transpiration rate on young wheat plant (*Triticum aestivum*) Cd/Zn uptake and yield[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 82:177-192.
- [23] McLaughlin M J, Bell M J, Wright G C, et al. Uptake and partitioning of cadmium by cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.)[J]. *Plant and Soil*, 2000, 222:51-58.
- [24] Pope Ika J C, Schubert S, Schulz R, et al. Cadmium uptake and translocation during reproductive development of peanut (*Arachis hypogaea* L.)[J]. *Angewandte Botanik*, 1996, 70:140-143.
- [25] 贺 迪, 刘云国, 黄玉娥, 等. 钙对不同浓度镉胁迫下芦苇幼苗叶绿素及抗氧化酶系统的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1):197-201.
- HE Di, LIU Yun-guo, HUANG Yu-e, et al. Effects of calcium on chlorophyll and antioxidant enzymes in phragmites australis under cadmium stress[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2007, 26(1):197-201.
- [26] 关昕昕, 严重玲, 刘景春, 等. 钙对镉胁迫下小白菜生理特性的影响[J]. 厦门大学学报, 2011, 50(1):132-137.
- GUAN Xin-xin, YAN Chong-ling, LIU Jing-chun, et al. Effect of calcium on physiological property of *brassica chinensis* L. under cadmium stress[J]. *Journal of Xiamen University*, 2011, 50(1):132-137.
- [27] 张晓熹, 罗泉达, 郑瑞生, 等. 石灰对重金属污染土壤上镉形态及芥菜镉吸收的影响[J]. 福建农业学报, 2003, 18(3):151-154.
- ZHANG Xiao-xi, LUO Quan-da, ZHENG Rui-sheng, et al. Effects of liming on soil Cd fractionation and Cd uptake by vegetable in heavy metal contaminated soil[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2003, 18(3):151-154.
- [28] 刘昭兵, 纪雄辉, 彭 华, 等. 不同类型钙化合物对污染土壤水稻吸收累积 Cd Pb 的影响及机理[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1):78-84.
- LIU Zhao-bing, JI Xiong-hui, PENG Hua, et al. Effects of calcium compounds on uptake and accumulation of Cd and Pb by rice and its mechanism in polluted soils[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2010, 29(1):78-84.
- [29] 汪 洪, 周 卫, 林 葆. 钙对镉胁迫下玉米生长及生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1):78-87.
- WANG Hong, ZHOU Wei, LIN Bao. Effects of Ca on growth and some physiological characteristics of maize under Cd stress[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1):78-87.
- [30] 施和平, 曾宝强, 王云灵, 等. 镉及其与钙组合对褐脉少花龙葵毛状根生长、抗氧化酶活性和吸收镉的影响[J]. 生物工程学报, 2010, 26(2):147-158.
- SHI He-ping, ZENG Bao-qiang, WANG Yun-ling, et al. Effect of cadmium, alone or in combination with CaCl_2 , on the growth, antioxidative enzyme activity and cadmium absorption of *Solanum nigrum* L. var *pauciflorum* hairy roots[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2010, 26(2):147-158.