甘肃省榆中县菜地土壤与蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量及食用安全性评价

王彦斌^{1,2}, 杨一鸣^{1,2}, 曾亮^{1,2}, 苏琼^{1,2}, 赵利斌³

(1. 西北民族大学化工学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 甘肃省高校环境友好复合材料及生物质利用省级重点实验室, 甘肃 兰州 730030; 3. 四川北方硝化棉股份有限公司, 四川 成都 610063)

摘要: 在甘肃省榆中县蔬菜基地, 选择 20 个点位采集 5 种蔬菜(100 株) 及相应的土样, 在分别对硝酸盐与亚硝酸盐含量分析测试的基础上, 开展蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐污染评价、富集能力分析 & 食用安全性评估。结果表明: 研究区土壤表层(0~20 cm)硝酸盐与亚硝酸盐平均含量分别为 $30.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $52.35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤深层(20~50 cm)硝酸盐与亚硝酸盐含量分别为 $9.14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 硝酸盐与亚硝酸盐主要聚集在土壤表层。蔬菜中(鲜重)硝酸盐与亚硝酸盐平均含量分别为 $1649.18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $0.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 硝酸盐与亚硝酸盐平均富集系数分别为 53.94 与 0.01。硝酸盐与亚硝酸盐在 5 种蔬菜中的累积含量不同, 且蔬菜中硝酸盐含量远大于亚硝酸盐含量。硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为大白菜 $\approx$ 菜花 $>$ 韭菜 $\approx$ 芹菜 $\approx$ 甘蓝, 亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为韭菜 $>$ 菜花 $\approx$ 甘蓝 $\approx$ 芹菜 $\gg$ 大白菜, 大白菜对硝酸盐有更强的富集能力, 而韭菜对亚硝酸盐有更强的富集作用。在所有样品中, 有 2% 的蔬菜样品受到硝酸盐轻度污染, 有 7% 的蔬菜样品受到硝酸盐中度污染, 有 33% 的蔬菜样品受到硝酸盐重度污染, 有 56% 的蔬菜样品受到硝酸盐严重污染。蔬菜亚硝酸盐含量较低, 均未超过国家食品污染物限量值。

关键词: 蔬菜; 土壤; 硝酸盐与亚硝酸盐; 食用安全评价; 甘肃省榆中县

中图分类号: X53; X503.231 **文献标志码:** A

Nitrate and nitrite concentrations in vegetables and soils in Yuzhong County of Gansu Province and their safety evaluation

WANG Yan-bin^{1,2}, YANG Yi-ming^{1,2}, ZENG Liang^{1,2}, SU Qiong^{1,2}, ZHAO Li-bin³

(1. Northwest University of Nationalities, School of Chemical Engineering, Lanzhou, Gansu 730030, China; 2. Key Laboratory for Utility of Environment-friendly Composite Materials and Biomass in Universities of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730030, China; 3. Sichuan Nitrocell Company, Ltd., Chengdu, Sichuan 610063, China)

Abstract: A systematic survey of nitrate and nitrite concentrations in five kinds of vegetables (involving 100 samples) and their corresponding soils at 20 sampling sites in vegetable plots of Yuzhong County, Gansu Province, was conducted for assessing their pollution, bioavailability, and safety to local residents. The results showed that the average concentrations of nitrate and nitrite in surface soils in the studied plots were $30.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $52.35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, and that in deep soils were $9.14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $0.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, indicating that the deposition of nitrate and nitrite was mainly in surface soils. The average concentrations of nitrate and nitrite in vegetables were $1649.18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $0.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh weight (FW), respectively. The average bio-concentration factors (BCFs) of nitrate and nitrite in vegetables were 53.94 and 0.01, respectively. The average concentrations of nitrate and nitrite in five vegetables were significantly different, with nitrate being higher than nitrite in vegetables. The order of nitrate in vegetables was Chinese cabbage $\approx$ cauliflower $>$ leek $\approx$ celery $\approx$ cabbage, and that of nitrite in vegetables was leek $>$ cauliflower $\approx$ cabbage $\approx$ celery $\gg$ Chinese cabbage. Chinese cabbage had stronger enrichment ability of nitrate. Of all the samples, 2% was slightly, 7% moderately, 33% severely, and 56% seriously polluted by nitrate.

Keywords: vegetable; soil; nitrate and nitrite; safety evaluation; Yuzhong County of Gansu Province

收稿日期: 2015-05-11

基金项目: 西北民族大学中央高校基本科研业务费专项资金项目 (zyj2011007, zyj2011006, No. 31920130023)

作者简介: 王彦斌(1967—), 男, 教授, 甘肃会宁人, 主要从事分析化学方面的教学与研究。E-mail: ybwang@126.com。

通信作者: 杨一鸣(1972—), 男, 副教授, 甘肃天水人, 主要从事污染过程与生态修复方面的教学与研究。E-mail: yyiming2004@126.com。

当前,蔬菜食用的安全性受到了公众的普遍关注,蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐积累一直是人们关注的热点问题之一。硝酸盐、亚硝酸盐广泛存在于人类环境中,是自然界最普遍的含氮化合物。硝酸盐、亚硝酸盐主要通过氮肥的过量使用进入农田土壤,并在土壤中积累,不仅污染土壤和水体环境,造成土壤养分失衡,致使植物生长生理失调,且易被蔬菜吸收,并通过食物链进入人体,对人的身体健康构成潜在的威胁。硝酸盐对人体的毒性相对较低,但人体摄入的硝酸盐在一定条件下可转化成亚硝酸盐,同时,蔬菜中的硝酸盐在合适的条件下也可转化为亚硝酸盐,而亚硝酸盐毒性较强,是强致癌物亚硝胺的前体,亚硝酸盐可与食物中或体内的仲胺类物质作用生成亚硝胺,从而诱发消化系统癌变。研究表明,人体摄入的硝酸盐 81.2% 来自蔬菜^[1]。

全国已有多个城市和地区如北京^[1-3]、上海^[3-5]、南京^[6]、重庆^[7-8]、武汉^[9]等对蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐的含量进行调查及评估^[10-16],调查资料显示,我国生产的蔬菜硝酸盐含量普遍超标,且大棚蔬菜硝酸盐含量普遍高于露地蔬菜,但蔬菜亚硝酸盐含量普遍较低,未超过国家食品卫生标准,即使如此,食用这些地区生产的蔬菜仍然会对人体产生一定程度的安全风险。前人的研究^[5,16]也表明由于大量使用氮肥,菜地土壤中积累了大量的硝酸盐,是造成蔬菜硝酸盐超标的主要原因。由于对甘肃省榆中县蔬菜基地土壤与蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量状况了解甚少,本文以此地蔬菜基地土壤-蔬菜系统为研究对象,广泛采集了榆中县蔬菜基地的 20 个样点的土壤与种植面积最大的 5 种蔬菜(大白菜、甘蓝、菜花、芹菜、韭菜)进行硝酸盐、亚硝酸盐含量调查,并在此基础上进行食用安全性评价,以期为本地蔬菜的食用安全及种植结构的调整提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

榆中县位于甘肃省中部,地处兰州市东郊,总人口 42.4×10^4 人,海拔 1 500 ~ 2 600 m,年均降雨量 350 mm,蒸发量 1 450 mm,年平均气温 6.7°C ,无霜期 115 ~ 140 d。榆中县以生产高原夏菜闻名,境内气候条件复杂,日照充足,蔬菜生产区 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温 $1\ 900^\circ\text{C} \sim 2\ 500^\circ\text{C}$,生长季为 228 ~ 243 d。蔬菜种植区土壤为黄绵土、黑麻土、碳酸盐灰褐土,适合蔬菜生产,因此成为甘肃省着力打造的全国无公害蔬菜生产基地之一。2013 年榆中县高原夏菜种植

面积达 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,产量约 $7.0 \times 10^5 \text{ t}$ 。

1.2 样品采集与处理

2013 年 5—6 月在榆中县蔬菜基地选择大面积种植大白菜(*Chinese Cabbage*)、甘蓝(*Brassica oleracea* L.)、菜花(*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.)、芹菜(*Apium graveolens*)和韭菜(*Allium tuberosum* rotl)的菜地为采样点,共设置 20 个。每个采样点采用 5 点采样法采集土壤样品,采样深度为 0 ~ 50 cm,沿剖面分为表层(0 ~ 20 cm)与深层(20 ~ 50 cm),表层与深层 5 点各取 1 kg 土壤,分别混匀后再用四分法分取 1 kg 土壤装于塑料袋中,共采集土壤样品 40 份(表层与深层各 20 份),运送至实验室。土壤样品在室内风干,去除杂物、石块与植物根系,过 20 目尼龙筛保存备用。再用四分法取部分样品用玛瑙研钵研磨,过 100 目尼龙筛,装入玻璃瓶待用。在样品采集和处理过程没有与金属工具接触。

在采集土壤样品的同时采集其上生长的蔬菜,蔬菜种类为大白菜、甘蓝、菜花、芹菜和韭菜,每种蔬菜各采集多株蔬菜新鲜成熟期的可食部分,蔬菜鲜样采集后马上装入塑料袋中,共采集蔬菜样品 100 株,运送至实验室。蔬菜样品先以自来水冲洗干净,再用去离子水洗 3 次,然后用滤纸吸干表面水珠,切碎后用高速组织粉碎机打碎成浆状,备用。

1.3 样品测试分析

土壤硝酸盐、亚硝酸盐测定采用氯化钾提取分光光度法^[17](分光光度计型号 UV759,中国上海仪表公司)。蔬菜样品亚硝酸盐与硝酸盐测定分别采用盐酸萘乙二胺分光光度法与镉柱法^[18]。测定时分光光度计波长设定为 543 nm,制作亚硝酸盐标准曲线。先测定土壤与蔬菜中的亚硝酸盐含量,再测定亚硝酸盐与硝酸盐总量,硝酸盐与亚硝酸盐总量与亚硝酸盐含量之差即为硝酸盐含量,蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量均为鲜重含量。

分析过程中用加标回收法进行质量控制,同时进行空白和试剂的校正试验。以上分析实验所用试剂均为优级纯,所用的水均为超纯水。

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS1 7.0 软件对实验数据进行处理。

1.5 蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐富集系数

蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐的富集系数(bioaccumulation factor, BCF)是指植物中硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤中硝酸盐、亚硝酸盐含量的比值,它可以大致反映蔬菜在相同土壤硝酸盐、亚硝酸盐含量条件下

对硝酸盐、亚硝酸盐的吸收能力。富集系数值越小,表明蔬菜吸收硝酸盐、亚硝酸盐的能力越差,抗土壤硝酸盐、亚硝酸盐污染的能力则越强。相应的计算公式为:

$$BCF = C_{\text{蔬菜}} / C_{\text{土壤}} \quad (1)$$

式中, $C_{\text{蔬菜}}$ 和 $C_{\text{土壤}}$ 分别为蔬菜和对应表层(0~20 cm)土壤中硝酸盐、亚硝酸盐含量。

1.6 食用安全评价方法

1973 年联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)制定了食品中硝酸盐和亚硝酸盐的日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI),规定人体中硝酸盐、亚硝酸盐的 ADI 值分别为 3.6 和 0.13 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 2002 年 FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)第 59 次会议建议人体中硝酸盐和亚硝酸盐的每日允许摄入量(ADI 值)分别为 0~5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 0~0.07 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

我国农产品安全质量无公害蔬菜安全要求规定叶菜类蔬菜中硝酸盐含量不得高于 3 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [19]。我国的食品安全国家标准食品中污染物限量[20]中规定了亚硝酸盐的限量值,但并没有规定硝酸盐的限量值。为此沈明珠等[1]以 WHO、FAO 规定的 ADI 值为基准[21],提出了蔬菜硝酸盐含量分级评价标准,目前已得到国内外的公认。该标准按每人每天平均食用 0.5 kg 蔬菜,平均体重 60 kg 计,参照 WHO 和 FAO 规定的 ADI 值,推算出我国蔬菜硝酸盐允许量可为 432 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。如果再将盐渍和烹煮时的损失(分别为 45% 和 70%)加入计算,此限量可扩大为 785 和 1440 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由此将蔬菜可食部分中硝酸盐含量的卫生标准定为 432 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,蔬菜中硝酸盐含量小于 432 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 定为 1 级,属轻度污染,生食、熟食都可以;蔬菜中硝酸盐含量大于 432 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 小于 785 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 定为 2 级,属中度污染,不宜生食,经盐渍、烹饪后可食用;蔬菜中硝酸盐含量大于 785 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 小于 1440 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 定为 3 级,属高度污染,烹饪后可食用;蔬菜中硝酸盐含量大于 1 440 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 小于 3 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 定为 4 级,属严重污染,生食、熟食都不宜。

本研究采用沈明珠等[1]的方法对甘肃省榆中县蔬菜基地蔬菜中硝酸盐含量的食用安全性进行评价。蔬菜亚硝酸盐食用安全性评价以 GB2762-2012《食品中污染物限量》[20]蔬菜中亚硝酸盐限量标准为依据,标准中规定蔬菜亚硝酸盐(以硝酸钠计)含量应 $\leq 20.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 菜地土壤硝酸盐、亚硝酸盐含量特征

菜地土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量统计值见表 1,可以看出土壤中硝酸盐与亚硝酸盐含量数据均属于正偏态(偏度 > 0 , 深层亚硝酸盐含量除外),低峰态(峰度 < 0),近似符合正态分布($P_s - k > 0.05$)。土壤表层硝酸盐与亚硝酸盐平均含量分别为 30.58 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 52.35 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤深层硝酸盐与亚硝酸盐平均含量分别为 9.14 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 0.11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,可见,土壤表层硝酸盐与亚硝酸盐含量均明显高于深层硝酸盐与亚硝酸盐含量($P < 0.05$),表明硝酸盐与亚硝酸盐主要聚集在土壤表层,且土壤表层亚硝酸盐含量大于硝酸盐含量,而土壤深层亚硝酸盐含量远小于硝酸盐含量。这是由于西北半干旱地区降水量小于蒸发量且大多缺少灌溉条件,在一年中土壤水分基本上处于亏缺状态,因此,这一地区硝酸盐与亚硝酸盐在土壤中淋失的深度有限,而呈现出表聚性。

土壤略呈碱性(表层与深层土壤平均 pH 值分别为 7.21 与 7.31)。土壤中硝酸盐与亚硝酸盐含量的变异系数均较小,属于弱变异,表明不同采样点位之间土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量的变化性相对较弱,也即均匀性相对较好。

本研究中菜地土壤硝酸盐含量与苏州市[22]露天菜地土壤相近,但远小于上海市[5]与佛山市[16]露天菜地土壤。根据秦遂初等[23]提出的菜地土壤障碍的诊断指标,菜地土壤硝酸盐累积量 0~150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为安全范围,200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为污染临界点,超过 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为严重污染水平。若以此为评价标准,目前榆中县蔬菜基地土壤硝酸盐累积量整体上尚处于安全水平。

2.2 蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量特征

蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量统计值见表 2,可以看出:蔬菜中硝酸盐含量数据均属于正偏态,而亚硝酸盐含量数据均属于负偏态,但两者均属于低峰态,符合近似正态分布。蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量的变异系数均较小,属于弱变异,表明不同采样点位之间蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量的变化性相对较弱,也即均匀性相对较好。蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐平均含量分别为 1 649.18 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 与 0.64 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 1 土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量(mg·kg⁻¹)及 pH 值统计(n = 20)

Table 1 Nitrate and nitrite concentrations and pH in soils

统计参数 Statistical parameters	硝酸盐 Nitrate		亚硝酸盐 Nitrite		pH 值 pH value	
	表层(0~20 cm)	深层(20~50 cm)	表层(0~20 cm)	深层(20~50 cm)	表层(0~20 cm)	深层(20~50 cm)
	Surface layer	Deep layer	Surface layer	Deep layer	Surface layer	Deep layer
最小值 Minimum value	15.86	6.58	18.86	0.09	6.70	6.90
最大值 Maximum value	43.24	12.66	76.85	0.13	7.50	7.70
平均值 Mean	30.58a	9.14b	52.35c	0.11d	7.21	7.31
标准偏差 Standard deviation	9.10	1.61	20.08	0.01	0.25	0.31
变异系数/% Variation coefficient	29.77	17.56	38.36	10.85	3.37	4.05
偏度 Skewness	0.03	0.24	-0.42	0.10	-0.96	0.00
峰度 Kurtosis	-1.31	-0.31	-1.18	-1.36	-0.26	-1.67
<i>P_S - k</i>	0.62	0.40	0.65	0.66	1.10	0.79

注:表中同行数据不同字母表示经 LSD 检验差异显著(P < 0.05)。下同。

Note: Data in the same line followed by different letters are significantly different(P < 0.05) according to the LSD test. The same as below.

表 2 蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量统计值(n = 100)

Table 2 Nitrate and nitrite concentrations in vegetables

统计参数 Statistical parameters	最小值 Minimum value /(mg·kg ⁻¹)	最大值 Maximum value /(mg·kg ⁻¹)	平均值 Mean /(mg·kg ⁻¹)	标准偏差 Standard deviation	变异系数/% Variation coefficient	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	<i>P_S - k</i>
硝酸盐 Nitrate	338.93	3224.09	1649.18	699.13	39.26	0.33	-0.57	0.91
亚硝酸盐 Nitrite	0.01	1.44	0.64	0.38	27.97	-0.18	-0.61	1.35

硝酸盐与亚硝酸盐在 5 种蔬菜中的累积情况见表 3,可以看出硝酸盐与亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积含量差异显著(P < 0.05),且蔬菜中硝酸盐含量远大于亚硝酸盐含量。不同蔬菜中硝酸盐累积含量不同的主要原因是遗传因素^[5],包括两个方面,其一是不同蔬菜根系吸收硝酸盐的能力不同,吸收能力强的可能硝酸盐含量最高,二是不同蔬菜的硝酸还原酶活力不同,硝酸还原酶活力弱的可能造成过多的硝酸盐累积。姚春霞等^[5]的研究表明植物中亚硝酸还原酶的活力远高于硝酸酶的活力,当植物根系吸收的硝酸盐被硝酸还原酶还原成亚硝酸盐后,就会连续被活力较高的亚硝酸还原酶还原成胺,因此植物体一般不会积累过多的亚硝酸盐。硝酸盐在 5 种蔬菜中的累积含量均大于 1000 mg·kg⁻¹,而亚硝酸盐含量除韭菜外均小于 1.00 mg·kg⁻¹。沈明珠等^[1]的研究结果表明北京菜地中韭菜亚硝酸盐的平均含量为 1.53 mg·kg⁻¹,本研究得到了类似的结果。硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为大白菜 ≈ 菜花 > 韭菜 ≈ 芹菜 ≈ 甘蓝,亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为韭菜 > 菜花 ≈ 甘蓝 ≈ 芹菜 ≫ 大白菜。

将本研究中蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量与其它地区研究结果比较(表 3),发现不同蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量,同种蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量在不同地区均存在较大差异,前人的研究表明蔬

菜中的硝酸盐与亚硝酸盐含量不仅与蔬菜种类、品种、部位和年龄有关,而且还与外界的温度、光照和肥料等环境条件有密切的关系^[1,8]。

2.3 蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐富集系数

富集系数为蔬菜中污染物含量与表层土壤中污染物含量之比,表征污染物从土壤向蔬菜中的迁移能力。经公式(1)计算所得硝酸盐与亚硝酸盐在 5 种蔬菜中的富集系数如表 4 所示。蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐平均富集系数分别为 53.94 与 0.01,硝酸盐富集系数远大于亚硝酸盐。同时可见,硝酸盐与亚硝酸盐在不同蔬菜中的富集系数差异较大(P < 0.05),硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为大白菜 ≈ 菜花 > 韭菜 ≈ 芹菜 ≈ 甘蓝,亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为韭菜 > 菜花 ≈ 甘蓝 ≈ 芹菜 ≫ 大白菜。这表明榆中县蔬菜基地大白菜对硝酸盐有更强的富集能力,而韭菜对亚硝酸盐有更强的富集作用。

2.4 蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量与土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量相关关系

表 5 为蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量与土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量之间的相关系数,可以看出榆中县菜地蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐含量与土壤中硝酸盐与亚硝酸盐含量之间均没有明显相关关系。这与王翠红等^[24-25]的研究结果不同,他们的研究表明蔬菜硝酸盐含量与土壤硝酸盐含量之间呈显著正相

关,其相关系数为 $r = 0.4201$ ($n = 23$),而叶菜类蔬菜硝酸盐含量与土壤硝酸盐含量之间呈极显著正相关($r = 0.7050$)。

表 3 不同地区蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量比较/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Comparison of nitrate and nitrite concentration in vegetables from different areas

地点 Sites	大白菜 Chinese cabbage		甘蓝 Cabbage		菜花 Cauliflower		芹菜 Celery		韭菜 Leek		参考 文献 Reference
	NO_3^-	NO_2^-	NO_3^-	NO_2^-	NO_3^-	NO_2^-	NO_3^-	NO_2^-	NO_3^-	NO_2^-	
榆中 Yuzhong	1951.49 ± 812.91a	0.03 ± 0.01a	1415.99 ± 383.35b	0.68 ± 0.13b	1933.92 ± 748.56a	0.70 ± 0.18b	1460.76 ± 565.13bc	0.66 ± 0.20b	1483.75 ± 744.55bc	1.12 ± 0.21c	本研究 This study
北京 Beijing	2022.50 ± 1070.93	0.22 ± 0.22	1365.18 ± 570.58	0.35 ± 0.51	339.72 ± 129.83	0.26 ± 0.36	2792.54 ± 758.19	0.25 ± 0.25	1209.34 ± 436.75	0.00 ± 0.01	[3]
南京 Nanjing	1189.50 ± 1206.80	0.53 ± 0.95	866.3 ± 709.20	0.45 ± 1.08	182.70 ± 129.10	0.44 ± 0.68	3131.60 ± 3132.00	0.48 ± 0.73	1392.40 ± 957.30	3.60 ± 7.43	[6]
重庆 Chongqing	1308.00 ± 1130.24	0.02 ± 0.01	1621.00 ± 832.22	0.45 ± 0.16	1524.00 ± 1373.89	0.26 ± 0.07	1021.00 ± 615.25	0.36 ± 0.12	1231.00 ± 531.67	0.62 ± 0.17	[8]
涪陵 Fuling	435.00 ± 163.20	0.00 ± 0.00	1001.00 ± 190.90	1.30 ± 0.20	888.00 ± 57.60	0.00 ± 0.00	3246.00 ± 249.50	2.50 ± 1.20	3897.00 ± 531.90	2.40 ± 0.60	[7]
绵阳 Mianyang	1268.00	0.18	1178.00	0.54	523.00	0.07	1394.00	0.19	607.00	0.09	[13]
北京 Beijing	1300.00	0.05	845.00	0.03	497.00	0.06	908.00	0.21	279.00	1.53	[1]

表 4 不同蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐富集系数

Table 4 Bioconcentration factor of nitrate and nitrite in different vegetables

蔬菜种类 Vegetable type	大白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	菜花 Culiflower	芹菜 Celery	韭菜 Leek
硝酸盐 Nitrate	63.820a	46.310b	63.240a	47.770b	48.520b
亚硝酸盐 Nitrite	0.001a	0.013b	0.013b	0.013b	0.021c

表 5 蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量与土壤硝酸盐与亚硝酸盐含量之间的相关系数($n = 20$)

Table 5 Correlation coefficients between nitrate and nitrite concentrations in soils and vegetables($n = 20$)

蔬菜种类 Vegetable type	大白菜 Chinese cabbage	甘蓝 Cabbage	菜花 Culiflower	芹菜 Celery	韭菜 Leek
硝酸盐 Nitrate	-0.127	0.218	-0.089	0.119	0.248
亚硝酸盐 Nitrite	-0.203	-0.157	-0.308	0.259	-0.069

2.5 蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐食用安全评价

从表 6 可以看出,蔬菜中硝酸盐污染严重,应引起足够重视。在所有样品中,有 2% 的蔬菜样品受到硝酸盐轻度污染,有 7% 的蔬菜样品受到硝酸盐中度污染,有 33% 的蔬菜样品受到硝酸盐重度污染,有 56% 的蔬菜样品受到硝酸盐严重污染。蔬菜亚硝酸盐含量较低,均未超过国家食品污染物限量值。

3 结 论

1) 榆中县菜地土壤表层硝酸盐与亚硝酸盐含量均明显高于深层硝酸盐与亚硝酸盐含量,硝酸盐与亚硝酸盐主要聚集在土壤表层。

2) 榆中县菜地蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积含量差异显著,硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为大白菜 ≈ 菜花 > 韭菜 ≈ 芹菜 ≈ 甘蓝,亚硝酸盐在不同蔬菜中的累积顺序为韭菜 > 菜花 ≈ 甘蓝 ≈ 芹菜 ≫ 大白菜。

3) 榆中县菜地蔬菜硝酸盐富集系数远大于亚硝酸盐。硝酸盐与亚硝酸盐在不同蔬菜中的富集系数差异显著,大白菜对硝酸盐有更强的富集能力,而非菜对亚硝酸盐有更强的富集作用。

4) 榆中县菜地蔬菜中硝酸盐污染严重,应引起足够重视。但蔬菜亚硝酸盐含量较低,均未超过国家食品污染物限量值。

表 6 蔬菜硝酸盐污染程度及食用安全性评价
Table 6 Nitrate contamination of vegetables and food safety assessment

分级 Level	一级 First level	二级 Second level	三级 Third level	四级 Fourth level	四级以上 Above fourth level
硝酸盐含量 Nitrate content /(mg·kg ⁻¹)	≤432	432 ~ 785	785 ~ 1440	1440 ~ 3100	> 3100
样品数 Samples numbers	2	7	33	56	2
百分比 Percentage/%	2	7	33	56	2
污染程度 Pollution level	轻度 Mild	中度 Medium	重度 Heavy	严重 Severe	
食用安全性评价 Food safety assessment	可以生食 May eat directly	生食不宜,盐 渍熟食允许 Not suitable to eat directly, may eat by pickled or cooked.	盐渍和生食不 宜,熟食允许 Not suitable to eat directly or by pickled, may eat by cooked.	生食、盐渍、熟 食均不允许 Not suitable to eat any way	可引起中毒 May cause poisoning

参 考 文 献:

[1] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等.蔬菜硝酸盐累积的研究 I:不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J].园艺学报,1982,9(4):41-48.

[2] 杨惠芬,王淮洲.蔬菜中硝酸盐、亚硝酸盐含量及卫生学评价[J].卫生研究,1989,18(3):45-47.

[3] 封锦芳,李敬光,吴永宁,等.北京市蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染状况评价[J].中国食品卫生杂志,2004,16(5):400-403.

[4] 张耀良,尹君,郭开秀,等.浦东新区主要蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染状况及风险评估[J].上海农业科学,2010,26(2):123-127.

[5] 姚春霞,陈振楼,陆利民,等.上海市郊菜地土壤和蔬菜硝酸盐含量状况[J].水土保持学报,2005,19(1):84-88.

[6] 郭宝福,谢国祥,赵士权,等.南京市市售蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染状况分析[J].旅行医学科学,2011,(12):19-22.

[7] 李敏,张清燕.重庆涪陵区市售蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量及食用安全性评价[J].安徽农业科学,2010,38(34):19477-19479.

[8] 黄建国,袁玲.重庆市蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量及其与环境的关系[J].生态学报,1996,16(4):383-388.

[9] 黄敏,余萃,杨海舟,等.武汉市售典型蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染现状分析[J].安徽农业科学,2010,38(13):6871-6873.

[10] 张永兰,王友保.芜湖市主要叶菜类蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量分析[J].阜阳师范学院学报(自然科学版),2008,25(2):1707-1715.

[11] 沈体忠.天门市蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐含量状况及食用卫生评价[J].湖北植保,2006,(6):28-29.

[12] 田丽萍,魏琳,刘伯衡.石河子市售蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量状况及食用卫生评价[J].华南农业大学学报,1994,15(3):166-169.

[13] 王双明,侯大斌.绵阳市售蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量状况及食用卫生评价[J].绵阳经济技术高等专科学校学报,1997,14(1):12-17.

[14] 魏珂萍,王芳,刘汉超.临沂市市售蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量测定[J].上海蔬菜,2009,(3):11-12.

[15] 赵桂平,张明,董蕾,等.聊城市蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐污染评价[J].安徽农业通报,2010,16(13):123-125.

[16] 李梅,胡文娥,李锐,等.佛山市郊菜地土壤和蔬菜硝酸盐污染状况分析[J].安徽农业科学,36(18):7845-7846,7858.

[17] 中华人民共和国环境保护部.HJ 634-2012.土壤 氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐的测定 氯化钾溶液提取-分光光度法[S].北京:中国标准出版社,2012.

[18] 中华人民共和国卫生部.GB T5009.33-2003.食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.

[19] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局.GB 1840.6-2001.农产品安全质量无公害蔬菜安全要求[S].北京:中国标准出版社,2001.

[20] 中华人民共和国卫生部.GB2762-2012.食品中污染物限量[S].北京:中国标准出版社,2012.

[21] IPCS INCHEM. Nitrates and nitrites(PIM G016)[EB/OL].1996. <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pimg016.htm>.

[22] 王海候,沈明星,陆长婴,等.苏州市菜地土壤硝酸盐累积现状与特征分析[J].江苏农业科学,2009,(2):355-356.

[23] 秦遂初.作物营养障碍的诊断及其防治[M].杭州:浙江科学技术出版社,1988.

[24] 王翠红,黄启为,张杨珠,等.露天蔬菜基地蔬菜-土壤-地下水硝酸盐污染状况评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(4):374-377.

[25] 王翠红,黄启为,周卫军,等.叶菜类蔬菜硝酸盐含量及其与土壤肥力因素的关系[J].生态环境,2005,14(2):218-219.