

太原市市售蔬菜营养成分分析与品质评价

时佳琦, 赵瑞芬, 程 滨, 滑小赞, 王 森

(山西农业大学资源环境学院·省部共建有机旱作农业国家重点实验室(筹) 太原 030031)

摘要:根据蔬菜的农业生物学分类方法,选取太原市冬季居民常食的3个类别23种蔬菜共115个样品,对其品质、矿质元素含量及重金属含量进行分析、评价。结果表明,根菜类蔬菜维生素C平均含量最低,有机酸平均含量最高;叶菜类蔬菜的平均总糖和还原糖含量显著低于根菜类和果菜类蔬菜。在叶菜类蔬菜中结球甘蓝的还原糖和总糖含量最高,香菜中维生素C含量最高;不同类别蔬菜间铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)3种营养元素均存在显著差异,总体表现为叶菜类>根菜类>果菜类。3类蔬菜中硝酸盐平均含量表现为叶菜类>根菜类、果菜类,硝酸盐易在叶菜类蔬菜中富集,其中大白菜、油麦菜、油菜、茼蒿和香菜达到严重污染水平。此外,根菜类蔬菜中重金属铬(Cr)、铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)和镉(Cd)均未超标;除叶菜类蔬菜中的菠菜和果菜类长辣椒分别存在Cr和Cd含量超标现象外,其余蔬菜中重金属元素含量均在限量值范围内。研究结果可为后续蔬菜中营养品质的研究提供数据支撑,也为居民合理搭配营养提供科学依据。

关键词:蔬菜;品质;硝酸盐;矿质元素;重金属

中图分类号:S63

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2022)11-073-07

Nutrient composition analysis and quality evaluation of commercial vegetables in Taiyuan

SHI Jiaqi, ZHAO Ruifen, CHENG Bin, HUA Xiaozan, WANG Sen

(College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University/Provincial State Key Laboratory of Organic Dry Farming (Preparatory), Taiyuan 030031, Shanxi, China)

Abstract: According to the classification method of agricultural biology of vegetables, 115 samples of 23 kinds of vegetables were randomly selected from three categories of residents in Taiyuan in winter. The quality, mineral elements and heavy metal contents were analyzed and evaluated. The results showed that the average content of vitamin C in root vegetables was the lowest and the average content of organic acid was the highest. The average total sugar and reducing sugar contents of leafy vegetables were significantly lower than those of root vegetables and fruit vegetables. The content of reducing sugar and total sugar in cabbage was the highest in leafy vegetables, and the content of vitamin C in coriander was the highest. There were extremely significant differences among the three nutrient elements of Fe, Mn and Zn in various vegetables. The overall performance was as follows: leafy vegetables>root vegetables>fruits vegetables. The nitrate content in the three kinds of vegetables showed as follows: leafy vegetables>root vegetables、fruit vegetables. Nitrate was easily enriched in leafy vegetables. The Chinese cabbages, lettuces, rapes, garden chrysanthemum and coriander were seriously polluted with nitrate. In addition, The contents of Cr, Pb, As, Hg and Cd in root vegetables did not exceed the standard, Except for the contents of Cr and Cd in spinach and long pepper, the contents of heavy metal elements in other vegetables were within the limit value. The results of the study can provide data support for the follow-up research on the nutritional quality of vegetables, and also provide a scientific basis for residents to rationally match nutrition.

Key words: Vegetable; Quality; Nitrate; Mineral elements; Heavy metal

蔬菜中含有大量蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质、抗氧化物和膳食纤维等人体所必需的多种维生素和矿物质,是人们日常饮食中必不可少的食物之一^[1]。蔬菜产业在我国农业产业结构中有着重

收稿日期:2022-03-07;修回日期:2022-07-27

基金项目:山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室自主研发项目(202105D121008);污灌农田土壤重金属Cd迁移转化规律及其机理研究(201803D31209-1);山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2020305)

作者简介:时佳琦,女,在读硕士研究生,主要从事重金属污染修复研究。E-mail:s15048121055@163.com

通信作者:赵瑞芬,女,副研究员,主要从事植物营养与重金属污染修复研究。E-mail:tfszrf@163.com

要作用,受市场经济利益的驱动,蔬菜的种植面积呈现逐年增加趋势,2018年全国蔬菜产量达70 347万t,但蔬菜生产规模化、标准化和组织化程度低,大量不合理施用化肥、农药对蔬菜卫生品质造成极大的危害^[1]。人体摄入硝酸盐的70%~80%来自于蔬菜,氮肥大量施用造成蔬菜内硝酸盐累积,在一定条件下,进入人体中硝酸盐会转化成对人体有害的亚硝酸盐或其他亚硝酸胺化合物,硝酸盐随蔬菜通过食物链进入人体从而影响人体健康^[2-6]。重金属是一类污染物,在植物体中含量少,但随着工业化和城市化推进,工业三废、生活垃圾等通过降尘、施肥和灌溉等途径使各种重金属元素进入农田土壤并不断累积,通过食物链对生态环境、食品安全以及人体健康构成严重威胁。

关于市售蔬菜品质的调查研究国内已有报道。盖屏卓等^[7]对哈尔滨市售蔬菜品质分析结果表明,根菜类蔬菜维生素C含量显著高于叶菜类,而其硝酸盐含量显著低于叶菜类。李英丽等^[8]对河北省市售蔬菜研究显示,果菜类蔬菜中有机酸含量高于叶菜类和根茎类。叶菜类蔬菜中还原糖含量高于果菜类和根茎类。杨文等^[9]研究发现,成都平原地区蔬菜中的叶菜类和茄果类铅(Pb)、镉(Cd)含量相对较高。周梅素等^[10]和许富荣等^[11]的研究结果表明,太原市各类蔬菜中硝酸盐含量表现为叶菜类>根菜类>果菜类。张珍珍等^[12]研究表明太原市市售的15种蔬菜130个样品中生菜和白菜存在Pb和Cd超标,蔬菜重金属污染总体含量表现为Pb>Cd>铬(Cr)>锌(Zn)>铜(Cu)。综上所述,市售蔬菜可能存在健康风险隐患。为了减少化肥和农药的过量施用对农作物和环境产生危害,2015年中央“1号文件”提出农业发展“转方式、调结构”的战略部署,开展“双减”专项,发展高质量农业^[13]。经过几年的“减肥减药”生产措施,市售蔬菜的品质有待被进一步调查和了解,笔者以太原市冬季市售蔬菜为研究对象,对不同类别蔬菜的维生素C含量等营养成分、硝酸盐及重金属含量进行分析和评价,以期为人们日常生活中更科学地选购蔬菜、科学种植蔬菜提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2021年11—12月进行,在太原市南郊随机选取3~5个大型蔬菜市场,根据蔬菜的农业生物学分类方法在各个市场摊位上选取居民常食的叶

菜类(大白菜、生菜、油菜、油麦菜、娃娃菜、茼蒿、芹菜、菠菜、结球甘蓝和香菜)、根菜类(山药、胡萝卜、莲菜、土豆和白萝卜)及果菜类(冬瓜、黄瓜、长辣椒、番茄、簇生椒、西葫芦、甜椒、茄子)3类共计23种蔬菜,每种蔬菜随机从5个摊位购买,共115个样本,每一种蔬菜由3~5株混合组成。

1.2 测定方法

在实验室中切取样品可食部分,先用自来水清洗,再用纯净水洗净,然后用滤纸吸干水分,粉碎后立即测定维生素C含量,剩余鲜样用保鲜样品袋密封,放入-40℃冰箱冷藏保存,用于其他成分分析。

1.2.1 硝酸盐测定 采用RQflex 10硝酸盐快速测定仪测定硝酸盐含量,其测定范围为5~225 mg·L⁻¹(以NO₃⁻计)^[14]。

1.2.2 品质指标测定 采用2,6-二氯酚溶液滴定法测定维生素C含量,采用直接滴定法测定还原糖含量、总糖含量,采用指示剂滴定法测定有机酸含量^[15-16]。

1.2.3 中、微量元素测定 采用HNO₃-HClO₄消解,火焰原子吸收分光光度法测定钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、Cu和Zn^[12,17-18]含量。

1.2.4 重金属含量的测定 采用原子荧光光谱法测定Hg、As含量;采用HNO₃-HClO₄消解-石墨炉原子吸收分光光度法测定Cr、Pb、Cd含量^[19]。

1.3 评价标准

1.3.1 蔬菜硝酸盐含量分级评价标准 硝酸盐含量限量采用沈明珠等^[20]提出的中国居民食用蔬菜分级评价标准(表1)。

表1 蔬菜硝酸盐含量分级评价标准

级别	w(硝酸盐)/(mg·kg ⁻¹)	污染程度	参考卫生标准
1	≤432	轻度	生食允许
2	>432~785	中度	生食不宜,盐渍、熟食允许
3	>785~1440	重度	生食、盐渍不宜,熟食允许
4	>1440~3100	严重	不允许食用

1.3.2 蔬菜中重金属限量值 蔬菜中重金属Cd、Pb、Cr、Hg、As的限量参照食品中重金属限量标准^[21]规定(表2)。

表2 蔬菜中重金属限量值

蔬菜类别	w(Cd)/(mg·kg ⁻¹)	w(Pb)/(mg·kg ⁻¹)	w(Cr)/(mg·kg ⁻¹)	w(Hg)/(mg·kg ⁻¹)	w(As)/(mg·kg ⁻¹)
叶菜类	≤0.2	≤0.3	≤0.5	≤0.01	≤0.5
根菜类	≤0.1	≤0.1	≤0.5	≤0.01	≤0.5
果菜类	≤0.05	≤0.1	≤0.5	≤0.01	≤0.5

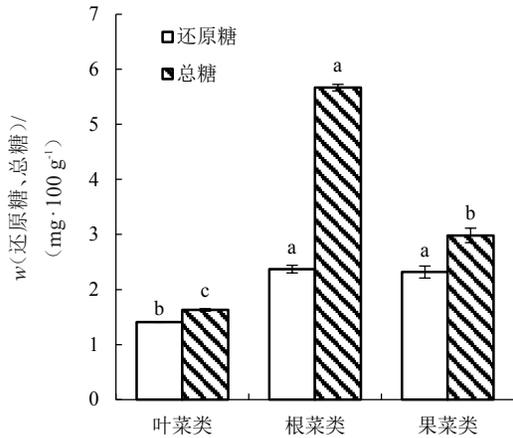
1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理、相关计算和作图;采用 IBM SPSS Statistics 20 统计软件进行方差分析,使用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同种类蔬菜品质指标分析

由图 1 和表 3 可以看出,蔬菜还原糖含量(w ,后



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同类别蔬菜平均还原糖和总糖含量

表 3 不同种类蔬菜品质指标分析

类别	种类	w(还原糖)/ (g·100 g ⁻¹)	w(总糖)/ (g·100 g ⁻¹)	w(维生素 C)/ (mg·100 g ⁻¹)	w(有机 酸)/%
叶菜类	生菜	1.53 e	1.55 f	18.44±0.22 h	0.28 a
	大白菜	1.45 f	1.61 e	23.39±0.05 g	0.25 b
	油菜	1.59 d	0.91 h	30.46±0.00 d	0.11 d
	油麦菜	1.63 c	2.48 b	17.51±0.04 i	0.13 d
	娃娃菜	2.33 b	2.29 c	25.00±0.09 f	0.08 e
	菠菜	1.11 g	1.23 g	81.20±0.04 c	0.08 e
	结球甘蓝	3.52 a	3.62 a	83.33±0.59 b	0.16 c
	香菜	1.62 c	1.91 d	129.24±0.22 a	0.28 a
	芹菜	ND	ND	28.40±0.06 e	0.04 f
	茼蒿	ND	ND	16.04±0.02 j	0.07 e
根菜类	胡萝卜	3.22 a	8.55 a	2.43±0.07d	0.16 e
	山药	1.52 e	1.91 d	14.67±0.03 a	0.27 d
	马铃薯	2.33 c	6.34 b	3.63±0.05 b	0.90 a
	莲菜	1.89 d	5.34 c	2.53±0.08 d	0.33 c
	白萝卜	2.69 b	6.21 b	3.35±0.09 c	0.44 b
果菜类	黄瓜	2.05 f	1.95 f	17.79±0.08 f	0.08 g
	番茄	2.51 d	2.29 e	28.76±0.24 d	0.27 e
	长辣椒	2.91 a	4.34 a	127.19±0.20 a	0.32 c
	簇生椒	2.71 c	2.87 d	59.31±0.23 c	0.30 d
	甜椒	2.43 e	2.99 c	67.90±0.24 b	0.34 b
	西葫芦	2.50 d	2.97 c	24.44±0.20 e	0.20 f
	茄子	2.85 b	3.46 b	2.47±0.56 h	0.92 a
	冬瓜	1.59 g	1.63 g	11.73±0.95 g	0.04 h

注:ND 表示未检测出;同类别下同一列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

同)范围为 1.11~3.52 g·100 g⁻¹;叶菜类蔬菜平均还原糖含量显著低于根菜类和果菜类蔬菜,叶菜类中结球甘蓝还原糖含量最高,为 3.52 g·100 g⁻¹,而茼蒿和芹菜还原糖含量低于检出限。23 种蔬菜中总糖含量为 0.91~8.55 g·100 g⁻¹,三类蔬菜中总糖平均含量存在显著性差异,根菜类总糖含量最高。果菜类长辣椒总糖含量最高,达到 4.34 g·100 g⁻¹,甜椒和西葫芦的总糖含量无显著差异,但与其他果菜类蔬菜差异显著。根菜类中胡萝卜总糖含量高达 8.55 g·100 g⁻¹,显著高于其他根菜类蔬菜;叶菜类蔬菜中结球甘蓝总糖含量最高,为 3.62 g·100 g⁻¹,芹菜和茼蒿中总糖含量低于检出限,其余叶菜类蔬菜间差异显著。

由图 2 可知,不同类别蔬菜的维生素 C 含量不同,根菜类蔬菜平均维生素 C 含量显著低于叶菜类和果菜类蔬菜。由表 3 可知,叶菜类蔬菜维生素 C 含量在 16.04~129.24 mg·100 g⁻¹,其中香菜维生素 C 含量最高,其次是结球甘蓝和菠菜,叶菜类不同种蔬菜间维生素 C 含量差异显著;果菜类蔬菜维生素 C 含量为 2.47~127.19 mg·100 g⁻¹,长辣椒维生素 C 含量最高,茄子维生素 C 含量最低;根菜类蔬菜维生素 C 含量为 2.43~14.67 mg·100 g⁻¹,平均值为 5.32 mg·100 g⁻¹。

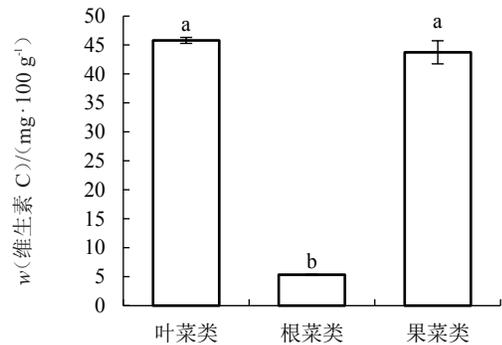


图 2 不同类别蔬菜平均维生素 C 含量

由图 3 可知:不同类别蔬菜平均有机酸含量差异显著,根菜类蔬菜平均有机酸含量高于叶菜类和果菜类蔬菜。由表 3 可知,23 种蔬菜的有机酸含量

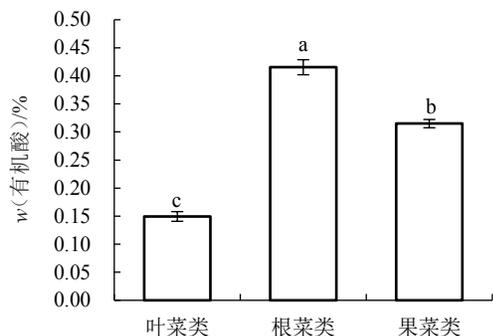


图 3 不同类别蔬菜平均有机酸含量

都小于 1.00%，叶菜类的有机酸含量均在 0.30%以下；果菜类蔬菜中茄子有机酸含量最高，为 0.92%；叶菜类的芹菜和果菜类的冬瓜有机酸含量最低，为 0.04%。

2.2 矿质元素分析

由图 4、5、6 和表 4 可知，不同类别蔬菜中 Fe 和 Mn 的平均含量均存在显著差异，表现为叶菜类 > 根菜类 > 果菜类。不同类别蔬菜中除叶菜类菠菜和根菜类马铃薯的 Cu 含量分别为 1.54 mg·kg⁻¹ 和 1.44 mg·kg⁻¹，其余种类蔬菜 Cu 含量和三类蔬菜平均 Cu 含量均小于 1.00 mg·kg⁻¹；叶菜类和果菜类蔬菜 Cu 平均含量差异不显著；在不同类别蔬菜中 Zn 平均含量差异显著，叶菜类蔬菜 Zn 平均含量显著

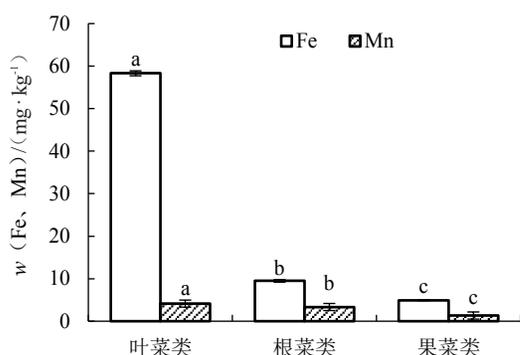


图 4 不同类别蔬菜平均矿质元素(Fe、Mn)含量

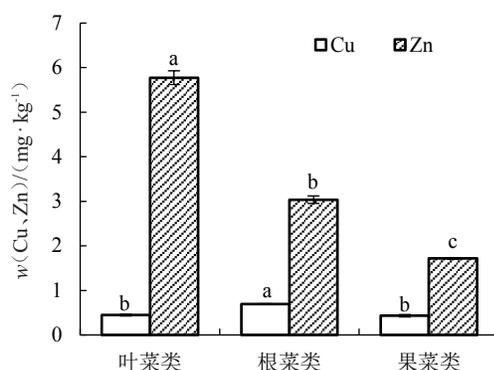


图 5 不同类别蔬菜平均矿质元素(Cu、Zn)含量

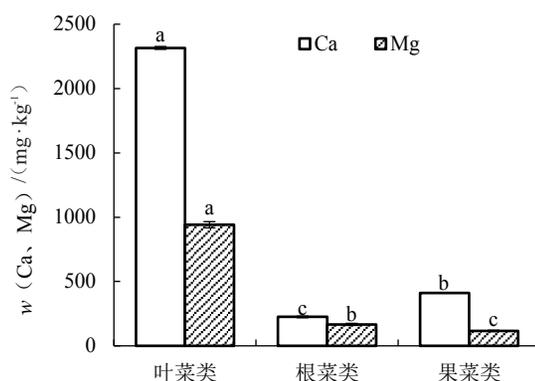


图 6 不同类别蔬菜平均矿质元素(Ca、Mg)含量

表 4 蔬菜矿质元素含量分析

类别	种类	w(Fe)/(mg·kg ⁻¹)	w(Mn)/(mg·kg ⁻¹)	w(Cu)/(mg·kg ⁻¹)	w(Zn)/(mg·kg ⁻¹)	w(Ca)/(mg·kg ⁻¹)	w(Mg)/(mg·kg ⁻¹)
叶菜类	生菜	10.30 ef	5.30 c	0.38 cd	2.82 e	436±9 h	761±1 c
	大白菜	14.16 ef	2.07 f	0.15 de	2.14 g	7820±2 b	178±9 e
	油菜	20.10 de	3.40 d	0.11 e	3.15 d	8704±4 a	277±3 e
	油麦菜	66.70 c	1.10 h	0.34 c	16.61 a	1122±3 d	174±7 e
	娃娃菜	6.00 f	2.10 ef	0.23 cd	2.49 f	380±12 i	140±2 e
	菠菜	248.60 a	9.70 b	1.54 a	11.24 b	1010±25 e	1403±10 b
	结球甘蓝	5.10 f	2.20 ef	0.27 cd	2.59 f	440±25 h	159±5 e
	香菜	177.77 b	11.20 a	0.72 b	11.11 b	1780±15 c	5600±252 a
	茼蒿	27.90 d	1.70 g	0.32 c	4.46 c	660±15 g	170±15 e
	芹菜	7.80 ef	2.40 e	0.27 cd	1.28 h	780±21 f	516±2 d
根菜类	胡萝卜	22.01 a	1.66 c	0.31 d	1.61 d	320±15 a	120±21 c
	山药	6.14 d	0.26 e	0.94 b	3.78 b	253±9 b	260±12 a
	马铃薯	8.48 b	2.33 b	1.44 a	4.13 a	60±3 d	200±1 b
	莲菜	7.13 c	11.27 a	0.63 c	3.71 b	270±2 b	180±2 b
	白萝卜	4.12 e	0.75 d	0.15 e	2.17 c	219±1 c	70±2 d
	果菜类	黄瓜	2.64 e	0.95 c	0.40 c	2.06 c	2130±3 a
番茄		3.45 d	0.65 d	0.35 d	1.03 f	141±2 e	119±2 bc
长辣椒		10.51 a	4.84 a	0.60 a	2.55 a	90±1 h	110±2 cd
簇生椒		7.34 b	1.12 c	0.51 b	1.81 d	160±2 d	90±1 ef
甜椒		6.91 b	1.11 c	0.51 b	2.03 c	120±2 f	100±3 de
西葫芦		4.98 c	1.08 c	0.61 a	2.21 b	289±2 b	150±4 a
茄子		2.83 e	1.34 b	0.41 c	1.70 e	100±2 g	131±2 b
冬瓜		3.70 d	0.18 e	0.11 e	0.53 g	272±3 c	81±1 f

高于根菜和果菜类蔬菜。叶菜类蔬菜中 Ca 和 Mg 两种矿质元素平均含量高于根菜类和果菜类蔬菜。

由图 4、5、6 和表 4 可以看出,叶菜类蔬菜中平均 Fe 含量约为根菜类蔬菜的 6 倍、果菜类蔬菜的 11 倍。叶菜类蔬菜中菠菜 Fe 含量最高,达 $248.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别是结球甘蓝和茄子 Fe 含量的 48.75 倍和 85.72 倍,根菜类蔬菜中除了莲菜中的 Mn 含量高于 Fe 含量外,其他种类蔬菜 Fe 含量普遍高于除 Ca、Mg 以外其他元素含量。23 种蔬菜中,根菜类蔬菜中莲菜 Mn 含量最高,是含量最低的山药的 43.35 倍;果菜类的冬瓜 Mn 含量最低。根菜类蔬菜 Cu 平均含量最高,为 $0.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而叶菜类和果菜类蔬菜 Cu 平均含量在 $0.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;23 种蔬菜中,Cu 和 Zn 含量最高的蔬菜分别为菠菜和油麦菜。叶菜类、根菜类和果菜类蔬菜中 Ca 含量范围分别在 $380 \sim 8704$ 、 $60 \sim 320$ 、 $90 \sim 2130 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,叶菜类蔬菜 Mg、Ca 平均含量显著高于根菜类和果菜类蔬菜;叶菜类蔬菜中油菜和香菜的 Ca、Mg 含量最高分别达到 8704 、 $5600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而娃娃菜 Ca、Mg 含量最低,仅为 380 、 $140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.3 硝酸盐含量及污染评价

由图 7 和表 1.5 可知,叶菜类蔬菜硝酸盐含量显著高于根菜类和果菜类蔬菜,根菜类和果菜类蔬菜硝酸盐含量较低;不同种类的叶菜类蔬菜中,菠菜和芹菜间无显著性差异,其余叶菜类蔬菜间存在显著性差异,其中大白菜的硝酸盐含量最高,为 $3460 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次是油菜、茼蒿、油麦菜和香菜,这 5 种蔬菜的硝酸盐含量均达到严重污染程度;生菜、娃娃菜、菠菜和芹菜为中度污染,结球甘蓝硝酸盐含量最低,为 $42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,为轻度污染。根菜类不同种类蔬菜硝酸盐含量差异显著,其中白萝卜硝酸盐含量最高,为 $164 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,根菜类蔬菜均为轻度污染,允许生食。果菜类蔬菜中硝酸盐为轻度污染,其中西葫芦硝酸盐含量显著大于其他蔬菜,其次是冬瓜,

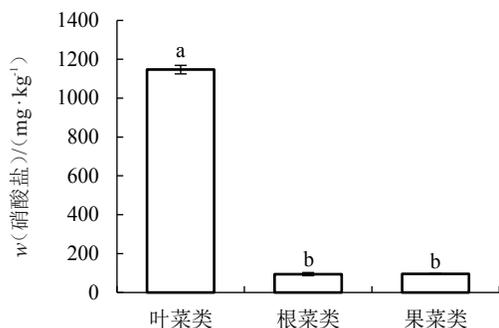


图 7 不同类别蔬菜平均硝酸盐含量

表 5 蔬菜硝酸盐含量分析

类别	种类	平均值/(mg·kg ⁻¹)	污染程度
叶菜类	生菜	442 h	中度
	大白菜	3460 a	严重
	油麦菜	1680 d	严重
	油菜	2838 b	严重
	茼蒿	2180 c	严重
	娃娃菜	640 g	中度
	菠菜	760 f	中度
	芹菜	760 f	中度
	结球甘蓝	42 i	轻度
	香菜	1296 e	重度
根菜类	胡萝卜	60 d	轻度
	山药	104 c	轻度
	马铃薯	145 b	轻度
	莲菜	ND	
	白萝卜	164 a	轻度
	冬瓜	238 b	轻度
	黄瓜	140 c	轻度
果菜类	番茄	28 e	轻度
	长辣椒	20 f	轻度
	簇生椒	6 g	轻度
	甜椒	24 ef	轻度
	西葫芦	267 a	轻度
	茄子	42 d	轻度

含量分别为 267 、 $238 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.4 重金属含量与污染评价

所选取的 3 个类别 23 种蔬菜中,Hg 全部未检出,不同类别蔬菜中 Pb、Cr、Cd 和 As 含量间存在差异。结合表 2 和表 6 可知,叶菜类蔬菜中生菜、大白菜、娃娃菜、芹菜和结球甘蓝中的 Pb 含量低于检出限,其他品种 Pb 含量在 $0.024 \sim 0.138 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,未超过限量值($0.300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。各类蔬菜的 As 含量均较低,除了未检出的蔬菜外,其他种类 As 含量均在 $0.0045 \sim 0.1298 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,未超出限量值($0.5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。果菜类蔬菜中的长辣椒 Cd 含量为 $0.061 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 已超出限量值($0.050 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),其余蔬菜的 Cd 含量均较低。叶菜类蔬菜中菠菜的 Cr 含量达到 $0.787 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,远超出 Cr 的限量值($0.500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),表明太原市市售的菠菜存在重金属 Cr 超标现象。

由图 8、表 6 可知,三类蔬菜的重金属 As、Cr、Pb 和 Cd 的平均含量差异显著,其中叶菜类蔬菜的 Cr、根菜类的 As 和 Pb、果菜类的 Cd 平均含量最高。在所有重金属的检测中,根菜类蔬菜中重金属均未超标,叶菜类蔬菜中的菠菜、果菜类蔬菜中的尖椒存在超标现象;在所有蔬菜中 Cd 和 Cr 出现超标现象。

表6 蔬菜重金属含量

品类	种类	w(As)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cr)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Pb)/ (mg·kg ⁻¹)	w(Cd)/ (mg·kg ⁻¹)
叶菜类	生菜	0.014 4 f	0.031 h	ND	0.004 b
	大白菜	0.017 0 e	0.039 g	ND	0.004 b
	油麦菜	0.049 4 c	0.218 c	0.041 2 c	0.004 b
	油菜	ND	0.048 e	0.025 0 d	0.005 b
	茼蒿	0.049 4 c	0.067 d	0.024 0 d	0.004 b
	娃娃菜	0.015 7 ef	0.023 i	ND	0.004 b
	菠菜	0.101 2 b	0.787 a	0.072 0 b	0.024 ab
	芹菜	0.022 4 d	0.032 h	ND	0.015 b
	结球甘蓝	0.007 9 g	0.045 f	ND	0.002 b
	香菜	0.129 8 a	0.372 b	0.138 0 a	0.059 a
根菜类	胡萝卜	0.027 5 b	0.128 a	ND	0.017 a
	山药	0.031 2 a	0.033 d	0.033 0	0.002 e
	马铃薯	ND	0.060 b	ND	0.013 b
	莲菜	0.030 8 ab	0.042 c	ND	0.005 d
	白萝卜	0.015 3 c	0.045 c	ND	0.006 c
果菜类	冬瓜	0.007 1 f	0.018 h	ND	0.002 e
	黄瓜	0.014 9 b	0.030 f	ND	ND
	番茄	0.028 7 a	0.022 g	ND	0.001 f
	长辣椒	0.011 5 d	0.088 a	0.011 0	0.061 a
	簇生椒	0.010 9 e	0.070 c	ND	0.041 b
	甜椒	ND	0.073 b	ND	0.032 c
	西葫芦	0.004 5 g	0.057 e	ND	0.035 c
	茄子	0.013 7 c	0.058 d	ND	0.016 d

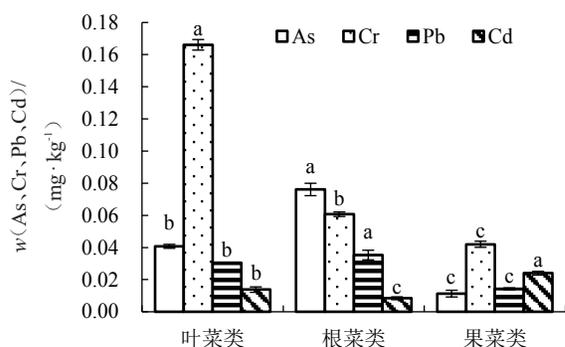


图8 不同类别蔬菜平均重金属含量

3 讨论与结论

笔者所选取的23种蔬菜的品质指标分析结果表明:太原市市售不同类别蔬菜平均维生素C含量存在差异,表现为叶菜类>果菜类>根菜类,这一结果与池秀蓉^[22]的研究结果一致,与盖屏卓等^[7]和贺苗苗等^[23]研究结果不同。平均还原糖含量为果菜类、根菜类>叶菜类,而李英丽等^[8]研究表明,还原糖含量表现为叶菜类>果菜类>根茎菜类,与笔者研究结论不一致,可能与选取的蔬菜品种、蔬菜产地以及

蔬菜成熟期有关。蔬菜是人们摄入必需矿质元素的重要来源,不同类别蔬菜间铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)3种营养元素均存在显著差异,总体表现为叶菜类>根菜类>果菜类,这与孙帅等^[24]的研究结果有差异,由于太原地处中国中部,与孙帅等人所选取的沿海城市蔬菜的生长环境、土壤类型等不同,可能是差异产生的主要原因。

人体外源性硝酸盐的摄入主要来源于蔬菜。蔬菜是一种易于富集硝酸盐的植物性食品,过量施用氮肥、长期贮藏、腌渍及不适宜的烹饪方式均会导致蔬菜内硝酸盐的积累,对人体健康有着重大的影响^[25-26]。笔者的研究表明,根菜类和果菜类蔬菜硝酸盐含量为轻度污染;叶菜类蔬菜中结球甘蓝硝酸盐为轻度污染,其余种类蔬菜均为中度、重度和严重污染,与盖屏卓等^[7]的调查结果相一致;周梅素等^[10]和许富荣等^[11]的研究表明太原市秋季市售蔬菜中的硝酸盐含量叶菜类>根菜类、果菜类,笔者研究结果与之相近。笔者的研究表明叶菜类蔬菜的硝酸盐含量最高,但是根菜类和果菜类间差异不显著,这可能与选取的蔬菜种类、蔬菜产地及管理措施有关。根菜类蔬菜中的白萝卜和胡萝卜以及果菜类蔬菜的簇生椒硝酸盐含量为164.60、6 mg·kg⁻¹,与2014年许富荣等^[11]研究结果相比,白萝卜(385 mg·kg⁻¹)、胡萝卜(98 mg·kg⁻¹)和簇生椒(78 mg·kg⁻¹)的硝酸盐含量明显降低。这可能与近些年产业结构调整“减肥减药”措施实施有关。根据联合国粮食及农业组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)的一级蔬菜可生食标准,食品中硝酸盐含量应等于或低于432 mg·kg⁻¹。笔者的研究表明,根菜类、果菜类蔬菜以及叶菜类蔬菜中结球甘蓝的硝酸盐含量达到了生食标准,其他种类蔬菜远远超过生食标准(432 mg·kg⁻¹),人们在食用蔬菜时要引起足够的重视,针对不同品种蔬菜对硝酸盐富集的特征,选择合适的食用方法,尽量避免生食或者腌制食用。

蔬菜除积累对人体有益的元素外,还积累一定的对人体有害的重金属元素。笔者选取的3类23种蔬菜中根菜类蔬菜中重金属Cr、Pb、As、Hg和Cd含量均未超标;除叶菜类蔬菜中的菠菜和果菜类长辣椒分别存在Cr和Cd含量超标现象外,其余蔬菜中重金属元素含量均在限量值范围内。叶菜类蔬菜As平均含量最高、Pb平均含量表现为根菜类大于果菜类蔬菜,与陈亮等^[27]研究结果,叶菜类Pb含量最高、根菜类Cd和As含量较高不同,可能与所

选蔬菜种类和产地有关。通过对比张珍珍等^[12]的研究可以看出,太原市市售叶菜类蔬菜中生菜和根菜类蔬菜中马铃薯的重金属 Pb 含量均有所下降,但不同蔬菜的 Cd 含量均有所增加。高鹏等^[36]研究也表明太原市土壤重金属风险由强到弱依次为 Hg>Cd>As>Pb>Cr,表明太原市重金属 Cd 对土壤蔬菜的累积风险大于 Pb。因此,居民应注意选择非工业活动区种植蔬菜,以免带来 Cd 污染蔬菜食入风险。

参考文献

- [1] SLAVIN J L, LLOYD B. Health benefits of fruits and vegetables[J]. *Advances in Nutrition*, 2012, 3(4): 506-516.
- [2] 陈振德.不同收获时期对蔬菜硝酸盐含量的影响[J]. *中国蔬菜*, 1989(3): 8-10.
- [3] 刘穗.蔬菜施肥与硝酸盐的含量[J]. *长江蔬菜*, 1992(6): 45.
- [4] 吴永宁.现代食品安全科学[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [5] SARIA L, SHIMAO T, MIYAWAKI K. Leaching of heavy metals in acid mine drainage[J]. *Waste Management and Research*, 2006, 24(2): 134-140.
- [6] RAMOS ARROYO A, Y R, SIEBE C. Weathering of sulphide minerals and trace element speciation in tailings of various ages in the guanajuato mining district, mexico[J]. *Catena*, 2007, 71(3): 497-506.
- [7] 盖屏卓,白杨,陈庭园,等.5类市售生食蔬菜食用品质分析[J]. *现代食品*, 2020(8): 165-173.
- [8] 李英丽,宋朝辉,王立娅,等.不同类型蔬菜营养成分的比较[J]. *北方园艺*, 2008(10): 64-65.
- [9] 杨文,高琴,王恋琪,等.成都平原地区蔬菜重金属污染风险评估[J]. *四川农业科技*, 2020(10): 40-42.
- [10] 周梅素,郭东龙,林培华.太原市市售蔬菜硝酸盐含量及其对健康影响评价[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2001, 24(4): 362-364.
- [11] 许富荣,杜慧平.太原市市售蔬菜硝酸盐含量及污染状况评价[J]. *山西农业科学*, 2014, 42(12): 1298-1300.
- [12] 张珍珍,程滨,李茹,等.太原市市售蔬菜重金属污染状况及健康风险评估[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(1): 169-175.
- [13] 张慧,许宁,曹丽茹,等.“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项生物源农药的标志性成果[J]. *中国生物防治学报*, 2022, 38(1): 1-8.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定:GB 5009.33-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [15] 李方曼,刘根忠,周国林,等.鲜切及冷藏对4种蔬菜品质的影响[J]. *中国蔬菜*, 2020(7): 63-69.
- [16] 欧阳赞.温室蔬菜土壤水肥气热耦合机理及模型研究[D].银川:宁夏大学,2021.
- [17] 李英丽,赵斌,方正,等.不同类型蔬菜中矿质元素含量的比较研究[J]. *北方园艺*, 2009(12): 67-68.
- [18] 桂安辉,叶飞,王胜鹏,等.扁形绿茶矿质元素含量与品质成分相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(16): 315-321.
- [19] 张国红,许雅鑫,李云云,等.2014—2018年太原市部分市售食品及其包装材料重金属含量监测[J]. *预防医学论坛*, 2019, 25(6): 478-481.
- [20] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等.蔬菜硝酸盐累积的研究 1. 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.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [22] 池秀蓉.北京本土心里美萝卜品种品质分析与评价[J]. *种子世界*, 2017(5): 26-29.
- [23] 贺苗苗,樊娅萍,陈芳玲,等.市售几种蔬菜食用品质分析[J]. *现代食品*, 2020(21): 201-204.
- [24] 孙帅,耿柠波,郭崔崔,等.我国东部沿海地区蔬菜中重金属累积分布特征及居民膳食暴露评估[J]. *环境科学*, 2021, 42(11): 5519-5525.
- [25] 程晓彬,王金苗,于江莲.氮肥减量施用对小白菜生长的影响[J]. *现代园艺*, 2019, (21): 5-6.
- [26] HAMZWH S, AFSHIN M, REZA R, et al. The nitrate content of fresh and cooked vegetables and their health-related risks[J]. *PLoS One*, 2020, 15(1): e0227551.
- [27] 陈亮,姜莘红,陈灿.不同类型蔬菜中7种重金属含量差异及人体健康风险[J]. *环境科学与技术*, 2021, 44(S2): 366-375.
- [28] 高鹏,刘勇,苏超.太原城区周边土壤重金属分布特征及生态风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2015, 4(5): 866-873.