

基于干血斑检测的成人维生素 矿物质营养状况报告

2020年汤臣倍健国民健康报告

发布单位：汤臣倍健营养健康研究院



汤臣倍健



目录

调查背景.....	3
调查人群.....	4
调查方法.....	5
调查结果.....	7
第一部分 维生素.....	7
维生素的分布情况.....	7
影响维生素水平的因素.....	11
超重、肥胖者维生素 A、E 水平较高.....	11
畜肉及动物内脏摄入频率较低者维生素 A 水平较低.....	12
食用菜籽油者维生素 E 水平较高.....	12
奶类摄入频率较低者维生素 B ₁ 、B ₂ 水平较低.....	13
豆类摄入频率较低者维生素 B ₂ 水平较低.....	13
蛋类摄入频率较低者维生素 B ₆ 水平较低.....	13
油炸食品摄入频率较高者维生素 B ₅ 水平较低.....	14
运动人群维生素 B ₃ 水平较低.....	14
吸烟、饮酒者维生素 B ₁ 、B ₂ 水平较低.....	14
常用防晒霜、遮阳伞者维生素 D 水平较低.....	15
第二部分 矿物质（必需元素和重金属）.....	16
必需元素、重金属的分布情况.....	16
影响必需元素水平的因素.....	20
畜肉、动物内脏、水产品摄入频率较低者硒水平较低.....	20
奶类摄入频率较低者硒水平较低.....	21
饮茶者镁、铁、硒水平较高.....	21
常用防晒霜、遮阳伞者镁、铁、锌水平较低.....	22
影响重金属水平的因素.....	23
超重、肥胖者汞水平较高.....	23
水产品摄入频率较高者汞、砷水平较高.....	24
食用鸡鸭肉者砷水平较高.....	25
奶类摄入频率较高者铅、汞水平较低.....	26
饮茶者铅、汞、砷水平较高.....	26
吸烟、饮酒者铅、汞水平较高.....	27
展望.....	28
参考文献.....	29

调查背景

《2020 年中国居民营养与慢性病状况报告》显示，目前我国成年居民超重肥胖率超过 50%，相比 2015 年报告的数据（42.0%）明显上升；高血压、糖尿病、慢性阻塞性疾病及癌症患病率与 2015 年相比也有所上升¹。

慢性病患率的不增长与居民的生活方式特别是膳食模式的改变密切相关。基于中国九省（区）居民的调查结果显示，20 多年来，居民膳食脂肪摄入量明显增长^{2,3}。相反，部分微量营养素则存在摄入不足的问题。2015 年的调查数据显示，我国 18~59 岁成年人视黄醇、硫胺素和维生素 C 摄入量小于平均需要量的比例超过 50%，核黄素、钙摄入不足的比例分别超过 85%、95%⁴；视黄醇、硫胺素、核黄素、维生素 C 及钙摄入量小于平均需要量的老年人比例分别为 66.88%、83.09%、90.35%、73.08%、97.22%⁵。

膳食调查只能反映人群营养素摄入情况，血液检测则可以相对更直接地评价体内维生素、矿物质等营养素的水平。然而，由于传统静脉采血受场地、专业人员等因素的限制，在居民中开展大样本的维生素和矿物质检测具有一定的难度，目前的研究多集中在特定人群中进行部分维生素及矿物质水平的检测。2010-2012 年中国居民营养与健康状况监测数据显示，中国成年女性维生素 D 缺乏率为 63.98%，不足率为 16.17%，维生素 A 缺乏率为 3.92%，边缘缺乏率为 8.84%⁶。城市、农村老年人维生素 A 缺乏率分别为 4.22%、2.28%，边缘缺乏率分别为 8.19%、6.30%^{7,8}。特殊人群如孕妇^{9,10}、儿童^{11,12}维生素 A 缺乏则更加明显。2009-2010 年全国八省 6-60 岁人群中开展的横断面研究探索了部分矿物质（锌、铜、锰、钴、钼、铅、砷、镉）的全血参考范围，但仍缺少基于血液检测的矿物质营养状况判断标准^{13,14,15}。

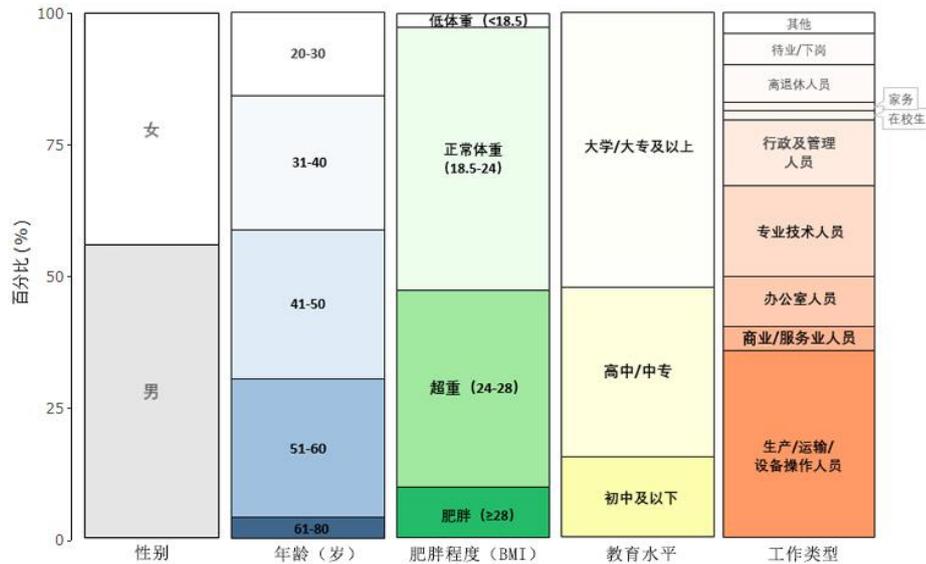
因此，迫切需要寻找更加便捷、快速的新方法和新技术来满足多种维生素和矿物质的高通量和快速检测需求。近年来，干血斑（Dried Blood Spot）技术的发展及其在营养领域的应用，为营养素的准确、快捷检测提供了可能。干血斑是将全血滴加在滤纸片上，经自然干燥后得到。通过对干血斑中相关组分的检测，可获得受检者相关标志物含量。由于干血斑采样不受地点和时间限制、样本储存简便、可常温运输，因而有助于实现对个体营养状况的实时监测。

汤臣倍健经过潜心研发，基于先进的干血斑全自动分析平台（on-line DBS automated system）建立了干血斑样本中 9 种维生素和 8 种矿物质的检测技术。2019-2020 年，汤臣倍健联合华中科技大学同济医学院公共卫生学院，调查和检测了湖北省十堰和武汉两地部分居民的维生素及矿物质水平，描述了该地区居民维生素和矿物质分布情况并探讨了可能的影响因素，为该地区居民微量营养素现状评估提供了基础数据，同时也为建立基于干血斑检测的维生素及矿物质的人群参考范围提供了依据。

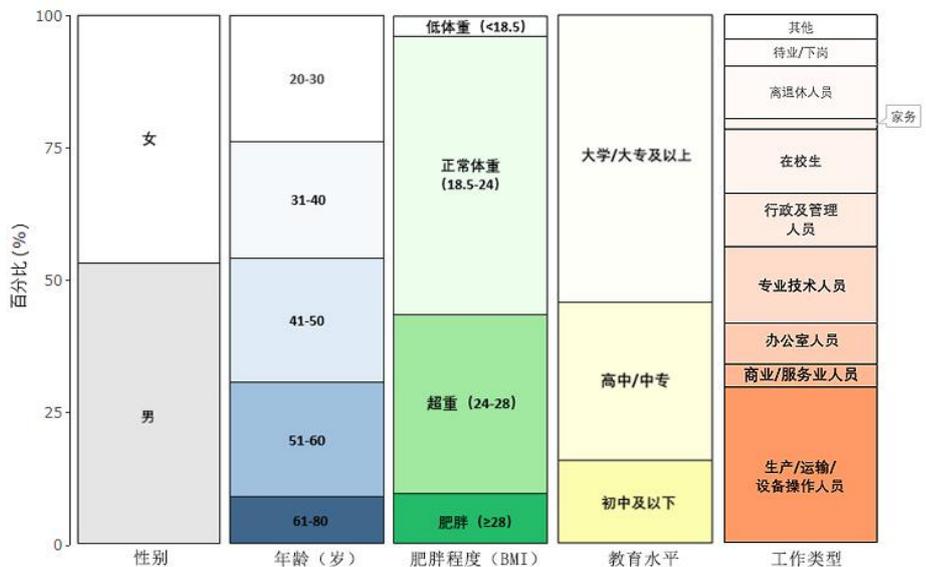
调查人群

汤臣倍健联合华中科技大学同济医学院公共卫生学院于 2019 年在湖北武汉和十堰地区通过招募广告在医院体检中心和社区招募了 1017 名健康成人，排除无问卷信息、服用维生素/矿物质补充剂者以及检测样本不合格者，最终共有 **784 名** 调查对象纳入维生素部分的分析、**953 名** 调查对象纳入矿物质部分的分析。

维生素部分的样本人群年龄范围为 20-80 岁，平均年龄为 42.8 岁；其中男性 438 名（55.9%），女性 346 名（44.1%）；职业构成中生产/运输/设备操作人员占比最大，其次是专业技术人员；受教育水平构成中，有大学/大专及以上学历者占比最大。



矿物质部分的样本人群年龄范围为 20-80 岁，平均年龄为 41.8 岁；其中男性 506 名（53.1%），女性 447 名（46.9%）；职业构成中生产/运输/设备操作人员占比最大，其次是专业技术人员；受教育水平构成中，有大学/大专及以上学历者占比最大。



调查方法

问卷调查

通过调查问卷，采集调查对象的社会人口学信息（职业、受教育程度），疾病史、营养素缺乏症状和生活方式信息（包括：膳食、体力活动、吸烟、饮酒、睡眠、屏幕时间、防晒措施等）。

体格测量

通过体格测量，采集调查对象身高、体重、腰围、臀围数据。

体质指数（BMI）=体重（kg）÷身高（m）²，其中，BMI<18.5 kg/m²为低体重、18.5≤BMI<24 kg/m²为正常、24≤BMI<28 kg/m²为超重、BMI≥28 kg/m²为肥胖。中心性肥胖的定义为：男性腰臀比≥0.9，女性腰臀比≥0.85¹⁶。

干血斑检测

利用干血斑卡片，采集调查对象的少量全血（20μL~40μL），获得干血斑检测样本。

采用全自动干血斑萃取-液相色谱质谱联用平台（DBS-LC-MS/MS），检测调查对象干血斑中9种维生素的水平，包括3种脂溶性维生素（维生素A、维生素D、维生素E）和6种水溶性维生素（维生素B₁、B₂、B₃、B₅、B₆、B₉）。

采用元素检测金标准——电感耦合等离子体-质谱法（ICP-MS），检测调查对象干血斑中8种矿物质的水平，包括5种必需元素[镁（Mg）、铁（Fe）、锌（Zn）、硒（Se）、铜（Cu）]和3种重金属[铅（Pb）、汞（Hg）、砷（As）]。

样本收集及检测流程



血样收集

仪器夹取干血斑卡片

干血斑卡片萃取

LC-MS/MS 或 ICP-MS 定量

统计分析

实验室检测数据呈偏态分布，采用中位数和四分位间距 P50（P25，P75）进行一般统计学描述。采用 P2.5-P97.5 作为维生素及必需元素（镁、铁、锌、硒、铜）的参考范围，采用 P95 作为重金属（铅、汞、砷）的参考上限。

采用 Spearman 相关系数分析变量间的相关性。采用 Wilcoxon 秩和检验和 Kruskal-Wallis H 检验分别对两组和多组间的差异进行分析。统计软件采用 R 4.0.3，检验水准为 $p<0.05$ 。

干血斑技术

干血斑 (Dried Blood Spot, DBS) 是将全血滴加在滤纸片上, 经自然干燥后得到。通过检测干血斑中相关组分含量, 获得受检者相关标志物的检测结果。目前, DBS 已广泛应用于新生儿代谢病筛查、药物临床研究等方面, 在营养领域的应用也在逐渐扩大。这项技术最大的优势是可以随时随地进行样品采集, 且样品保存非常简便, 常温运输即可, 无需冷链。

目前比较先进的是干血斑全自动分析平台 (on-line DBS automated system), 使用机械手无错操作, 高通量、快速、廉价、精准可靠, 可关联 MS、LC-MS、ICP-MS 等设备, 实现维生素、矿物质、小分子代谢物及大分子蛋白等全自动连线检测, 精准评估个体营养状况。

本次调查前, 我们对静脉全血和干血斑样本维生素和矿物质检测结果进行了相关性分析。采用 DBS-LC-MS/MS 方法, 检测干血斑与静脉全血样本中的维生素水平, 并进行相关性分析。分析结果显示, 2 种脂溶性维生素 (维生素 A、维生素 D) 的干血斑和静脉全血样本检测值的相关系数分别为 0.62 和 0.80, 3 种水溶性维生素 (维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₅) 的相关系数分别为 0.80、0.92 和 0.85。说明干血斑和静脉全血样本中的维生素检测结果具有较强的相关性, **初步显示干血斑样本可用于反映个体的血液循环维生素水平。**

采用 ICP-MS 方法, 检测干血斑与静脉全血样本中的矿物质水平, 并进行相关性分析。分析结果显示, 5 种必需元素镁、铁、硒、锌、铜的干血斑和静脉全血样本检测值的相关系数分别为 0.84、0.89、0.94、0.89、0.88, 3 种重金属铅、汞、砷的相关系数分别为 0.92、0.93 和 0.87。说明干血斑和静脉全血样本中的矿物质检测结果具有很强的相关性, **初步显示干血斑样本可用于反映个体的血液循环矿物质水平。**



调查结果

第一部分 维生素

维生素是维持机体生命活动过程所必需的一类微量的低分子量有机化合物，在机体物质和能量代谢过程中发挥重要作用。

根据维生素的溶解性可将其分为脂溶性维生素和水溶性维生素。脂溶性维生素包括维生素 A、维生素 D、维生素 E 和维生素 K，在食物中它们常与脂类共存，其吸收与肠道中的脂类密切相关，摄入过多易在体内蓄积而导致毒性作用，摄入过少缺乏症状出现较为缓慢。水溶性维生素包括 B 族维生素[维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₃ (烟酸)、维生素 B₅ (泛酸)、维生素 B₆、维生素 B₇ (生物素)、维生素 B₉ (叶酸)、维生素 B₁₂ 等]和维生素 C，许多水溶性维生素以辅酶的形式参与机体的物质和能量代谢，较易自尿中排出，一般无毒性，摄入过少缺乏症状出现较快。

维生素一般以其本体形式或以能被机体利用的前体形式存在于天然食物中。大多数维生素在体内不能合成，少部分维生素虽可由机体或肠道细菌合成，但合成量并不能满足机体需要，故必须从食物摄入。此外，维生素的亚临床缺乏引起的临床症状易被忽视，应高度警惕。

维生素的分布情况

一、整体情况

基于干血斑检测的健康成人 9 种维生素的平均水平及参考范围如下表所示。

本次测量居民的维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₃、维生素 B₅、维生素 B₆、维生素 B₉ 的平均水平分别为 316.3 ng/mL、18.1 ng/mL、4.4 μg/mL、2.4 ng/mL、3.2 ng/mL、3.7 μg/mL、96.8 ng/mL、4.5 ng/mL、2.7 ng/mL。

表 1 维生素分布基本特征 (n=784)

维生素	中位数 (四分位数)	参考范围 (P2.5-P97.5)
维生素 A (ng/mL)	316.3 (252.3, 396.8)	159.1-594.5
维生素 D (ng/mL)	18.1 (13.3, 24.2)	5.6-43.4
维生素 E (μg/mL)	4.4 (3.5, 6.1)	2.2-13.7
维生素 B ₁ (ng/mL)	2.4 (1.9, 3.3)	1.0-8.0
维生素 B ₂ (ng/mL)	3.2 (2.3, 3.2)	1.3-14.3
维生素 B ₃ (μg/mL)	3.7 (2.7, 4.8)	1.2-7.8
维生素 B ₅ (ng/mL)	96.8 (72.5, 125.4)	34.0-229.1
维生素 B ₆ (ng/mL)	4.5 (3.3, 6.1)	1.5-13.2
维生素 B ₉ (ng/mL)	2.7 (1.8, 3.7)	0.6-7.1

不同年龄、性别人群维生素水平

不同性别、年龄段人群血液维生素检测值的中位数和四分位数见下表。

男性血液维生素 A、维生素 D、维生素 B₆、维生素 B₉ 水平高于女性 ($p < 0.05$)，血液维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₅ 水平低于女性 ($p < 0.05$)，维生素 E、维生素 B₃ 水平与女性相比无显著差异 ($p > 0.05$)。不同年龄段调查对象血液维生素 A、维生素 E、维生素 B₁、维生素 B₅、维生素 B₉ 水平差异有统计学意义 ($p < 0.05$)，但无明显随年龄升高或降低的趋势，不同年龄段人群血液维生素 D、维生素 B₂、维生素 B₃、维生素 B₆ 水平无显著差异 ($p > 0.05$)。

表 2 不同性别、年龄段人群血液维生素水平[中位数 (四分位数)]

N		维生素 A (ng/mL)	维生素 D (ng/mL)	维生素 E (μg/mL)	维生素 B ₁ (ng/mL)	维生素 B ₂ (ng/mL)	维生素 B ₃ (μg/mL)	维生素 B ₅ (ng/mL)	维生素 B ₆ (ng/mL)	维生素 B ₉ (ng/mL)
性别										
男	438	345.27 (273.21, 422.74)	18.93 (13.53, 26.22)	4.39 (3.43, 5.96)	2.21 (1.82, 3.00)	2.99 (2.22, 4.29)	3.79 (2.91, 4.76)	93.20 (69.80, 122.01)	4.64 (3.45, 6.42)	2.82 (1.77, 4.01)
女	346	287.32 (238.37, 347.76)	17.09 (12.90, 22.15)	4.39 (3.50, 6.47)	2.57 (2.11, 3.53)	3.39 (2.48, 5.07)	3.62 (2.55, 4.90)	102.35 (79.08, 130.75)	4.17 (3.08, 5.54)	2.44 (1.80, 3.36)
年龄 (岁)										
20-30	123	301.13 (234.35, 373.95)	18.42 (13.68, 24.60)	4.17 (3.29, 5.52)	2.44 (1.99, 3.31)	3.38 (2.47, 5.03)	3.97 (2.75, 5.33)	90.25 (68.86, 117.25)	4.55 (3.46, 6.43)	2.78 (1.90, 4.10)
31-40	200	339.44 (270.06, 416.24)	19.02 (13.39, 24.92)	4.73 (3.63, 6.41)	2.37 (1.83, 3.09)	3.05 (2.29, 4.26)	3.60 (2.56, 4.59)	88.66 (68.74, 118.08)	4.17 (3.08, 5.47)	2.89 (1.77, 4.02)
41-50	222	311.67 (250.82, 395.39)	17.11 (12.72, 22.71)	4.24 (3.27, 5.52)	2.43 (2.00, 3.33)	3.08 (2.26, 4.55)	3.53 (2.48, 4.44)	101.20 (78.12, 134.94)	4.49 (3.20, 6.24)	2.86 (1.90, 4.00)
51-60	206	312.95 (253.07, 394.41)	18.51 (13.70, 25.31)	4.76 (3.66, 6.58)	2.37 (1.87, 3.26)	3.16 (2.26, 4.58)	3.81 (3.05, 4.92)	98.19 (79.55, 130.19)	4.42 (3.41, 6.09)	2.32 (1.63, 3.17)
61-80	33	296.82 (258.15, 378.80)	15.61 (12.39, 21.29)	4.97 (3.64, 6.75)	2.59 (2.01, 3.30)	3.29 (2.41, 5.06)	4.23 (3.67, 4.87)	114.40 (94.94, 140.15)	4.51 (3.46, 5.31)	2.04 (1.41, 3.03)

不同性别、年龄段人群基于干血斑检测的血液维生素的参考范围（P2.5-97.5）见下表。

表 3 不同性别、年龄段人群血液维生素参考范围（P2.5-97.5）

	N	维生素 A (ng/mL)	维生素 D (ng/mL)	维生素 E (μg/mL)	维生素 B ₁ (ng/mL)	维生素 B ₂ (ng/mL)	维生素 B ₃ (μg/mL)	维生素 B ₅ (ng/mL)	维生素 B ₆ (ng/mL)	维生素 B ₉ (ng/mL)
性别										
男	438	166.1-657.9	4.8-47.8	2.0-13.5	1.0-7.0	1.3-12.6	1.2-7.9	30.7-210.0	1.6-11.9	0.5-7.7
女	346	157.2-497.2	6.0-38.2	2.7-14.2	1.0-12.0	1.5-19.6	1.3-7.6	35.5-249.7	1.5-13.2	0.6-6.8
年龄(岁)										
20-30	123	145.4-540.7	5.5-54.9	2.2-12.2	1.0-14.0	1.6-25.1	1.3-7.3	37.1-188.0	1.7-12.3	0.5-6.9
31-40	200	158.0-584.2	7.3-41.9	2.3-12.7	1.0-8.0	1.3-13.4	1.4-7.7	31.5-197.1	1.5-10.5	0.8-7.7
41-50	222	174.5-581.6	4.5-40.7	1.9-16.3	1.0-7.0	1.3-12.7	1.3-8.2	37.1-229.8	1.4-12.5	0.5-7.8
51-60	206	161.2-650.4	7.0-42.9	2.6-13.5	1.0-8.0	1.5-14.6	1.1-7.5	25.7-239.2	1.5-17.2	0.8-6.1
61-80	33	186.0-502.8	7.7-32.7	2.7-14.3	2.0-6.0	1.8-9.5	1.9-6.0	53.7-323.7	1.5-10.1	0.9-6.2

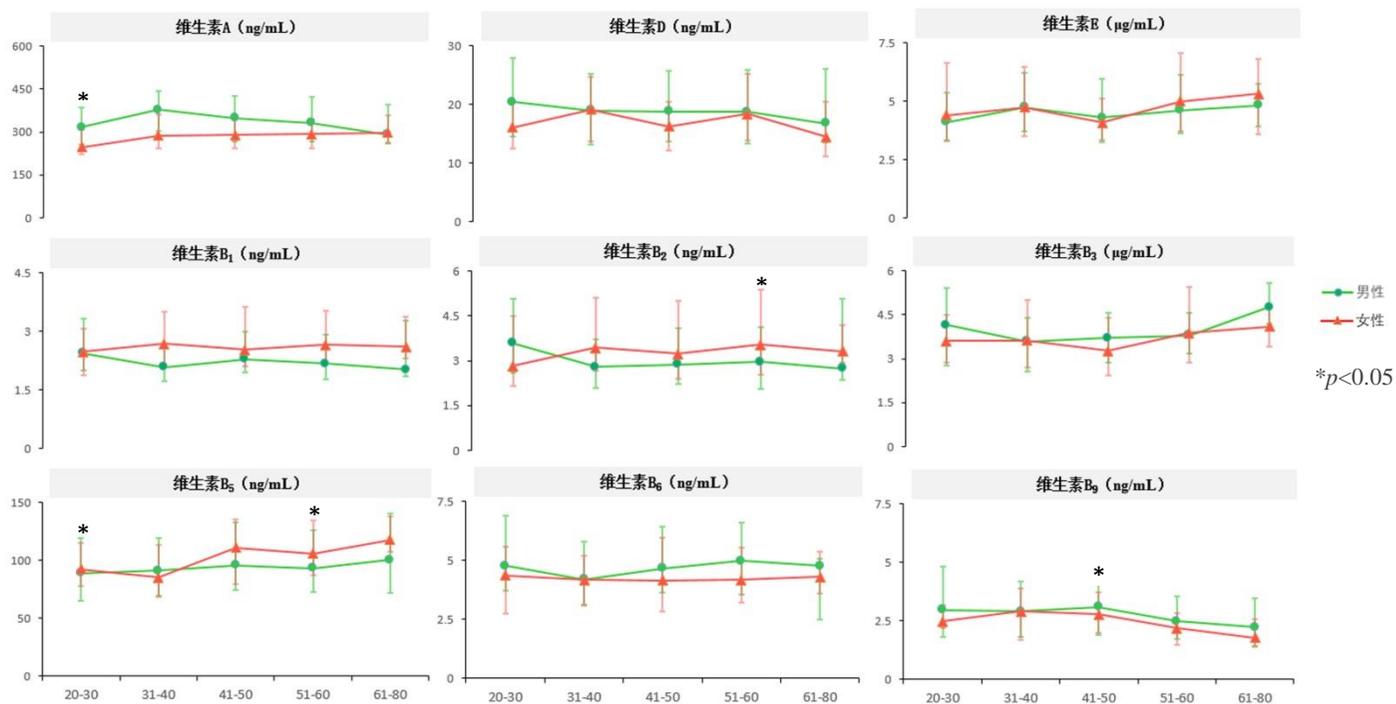
不同年龄段男女血液维生素水平的差异

进一步划分年龄段比较男女差异，结果显示：

血液维生素 A 水平仅在 20-30 岁的调查对象中表现为男性高于女性；血液维生素 B₉ 水平仅在 41-50 岁中表现为男性高于女性 ($p < 0.05$)。

血液维生素 B₂ 水平仅在 51-60 岁中表现为男性低于女性；血液维生素 B₅ 水平仅在 20-30、51-60 岁中表现为男性低于女性 ($p < 0.05$)。

血液维生素 D、维生素 E、维生素 B₁、维生素 B₃、维生素 B₆ 水平在各年龄段人群中均无明显性别差异 ($p > 0.05$)。



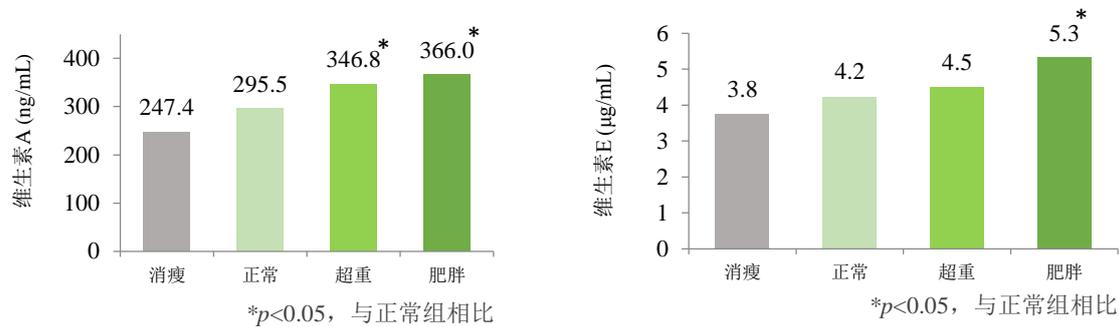
与我们在调查对象整体中发现的男性血液维生素 D 水平高于女性的结果类似，广州地区体检人群中开展的研究也发现女性血清维生素 D(25-羟基维生素 D) 水平较男性更低，且该研究还发现同年龄段女性维生素 D 水平均低于男性¹⁷；我们的调查在不同年龄段未发现显著的性别差异，可能与年龄段亚组的样本量较小有关。

影响维生素水平的因素

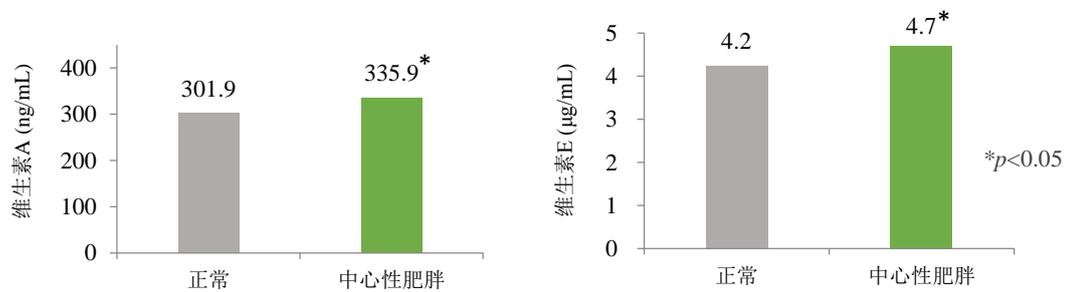
超重、肥胖者维生素 A、维生素 E 水平较高

调查结果发现，BMI 与血液脂溶性维生素——维生素 A、维生素 E 的水平呈正相关关系，相关系数分别为 0.28、0.15。腰围与维生素 A、维生素 E 的水平也呈正相关关系，相关系数分别为 0.34、0.16。

按照超重肥胖情况进行分组比较发现，与正常体重者相比，超重、肥胖者维生素 A 水平更高，肥胖者维生素 E 水平更高。



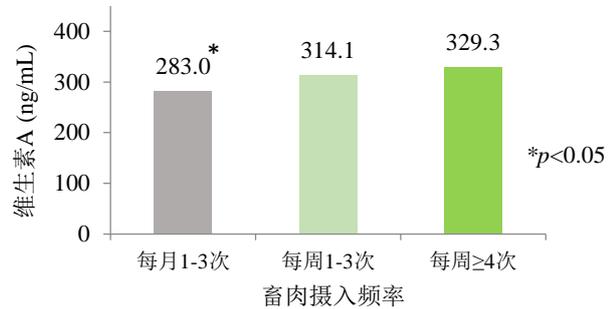
按照腰臀比对超重肥胖情况进行分组比较发现，与正常体重者相比，中心性肥胖者维生素 A、维生素 E 水平更高。



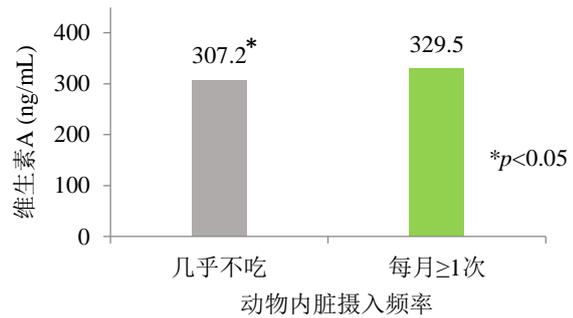
超重、肥胖者维生素 A、维生素 E 水平较高可能与高体脂对脂溶性维生素的蓄积有关。上海的一项研究发现了类似的结果，超重组血清维生素 A 显著高于非超重组，维生素 E 水平也有高于非超重组的趋势¹⁸。对于超重、肥胖者血液脂溶性维生素水平的判断，需同时考虑其高体脂的影响，或探索更适合超重肥胖者的血液脂溶性维生素的参考范围和判断标准。

畜肉及动物内脏摄入频率较低者维生素 A 水平较低

调查结果发现，膳食畜肉（猪、牛、羊肉）摄入频率与血液维生素 A 的水平呈正相关关系。按照畜肉摄入频率分组，相比每周摄入频率 ≥ 4 次者，每月摄入1-3次者血液维生素 A 的水平更低。



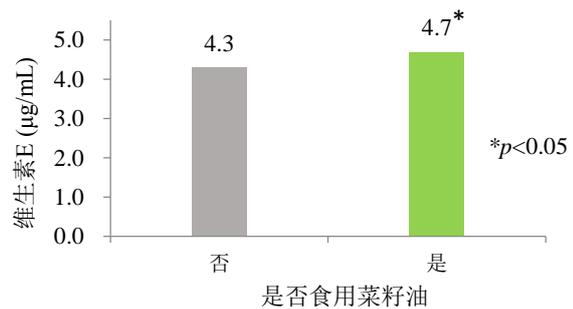
调查结果发现，膳食动物内脏摄入频率与血液维生素 A 的水平呈正相关关系。按照动物内脏摄入频率分组，相比每月摄入频率 ≥ 1 次者，几乎不吃者血液维生素 A 的水平更低。



2011 年中国健康与营养调查结果显示，湖北居民维生素 A 摄入状况堪忧，膳食维生素 A 小于人群平均需要量（EAR）的比例高达 53.62%，达到推荐摄入量的比例仅 26.95%¹⁹。动物内脏、红肉（猪、牛、羊肉）是膳食维生素 A 的良好来源²⁰。中国膳食指南指出 16g 猪肝可满足成人 1 日维生素 A 摄入量，建议每月食用动物内脏 2~3 次，每次 25g 左右；建议 18-64 岁成人每日畜禽肉的摄入量为 40-75g，65 岁及以上老年人每日畜禽肉的摄入量为 40-50g²¹。

食用菜籽油者维生素 E 水平较高

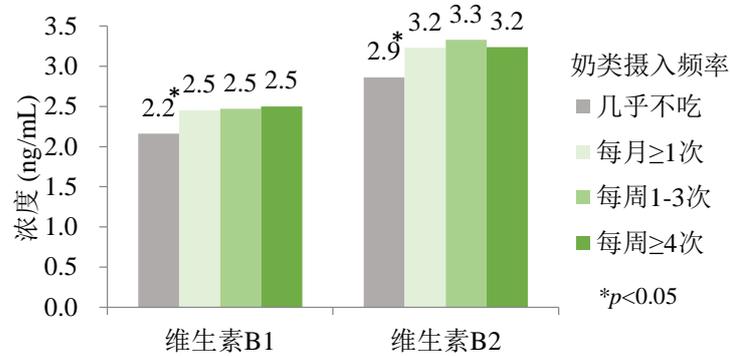
按照是否食用菜籽油分组，相比几乎不吃者，吃菜籽油者血液维生素 E 的水平更高。



植物油是维生素 E 的良好食物来源。维生素 E 有多种活性形式，包括 α 、 β 、 γ 、 δ -生育酚，其中 α -生育酚生物活性最高。《中国食物成分表》显示，每 100g 菜籽油中总生育酚含量达 60.89mg，其中 α -生育酚 10.81mg， β + γ -生育酚 38.21mg， δ -生育酚 11.87mg²²。若烹调用油为菜籽油（按 30g/d 计），基本可以满足成人每日维生素 E 需要量（14mg α -生育酚当量）。

奶类摄入频率较低者维生素 B₁、B₂ 水平较低

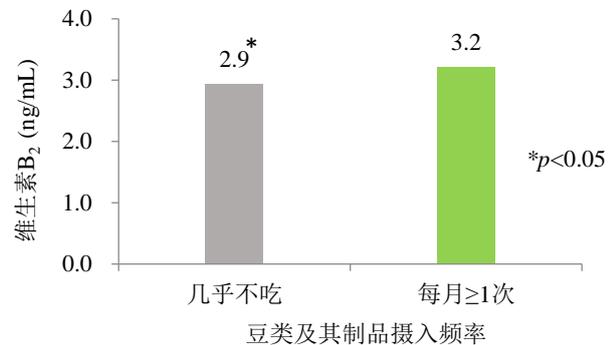
调查结果显示，膳食奶类及其制品摄入频率与血液维生素 B₁、维生素 B₂ 的水平呈正相关关系。按照奶类及其制品摄入频率分组，相比每周摄入频率 ≥4 次者，几乎不摄入者血液维生素 B₁、维生素 B₂ 的水平更低。



奶类中维生素 B₂ 丰富，相比加工和烹调过程中损失较大的食物来源（米面经过精制、加碱、高温烹调损失较多）²⁰，奶类中的 B 族维生素在很大程度上得以保留。常见纯牛奶 1 盒（250ml）即可提供约 0.3mg 维生素 B₂，可满足成年女性每日维生素 B₂ 推荐摄入量（1.2mg²³）的 25%。

豆类摄入频率较低者维生素 B₂ 水平较低

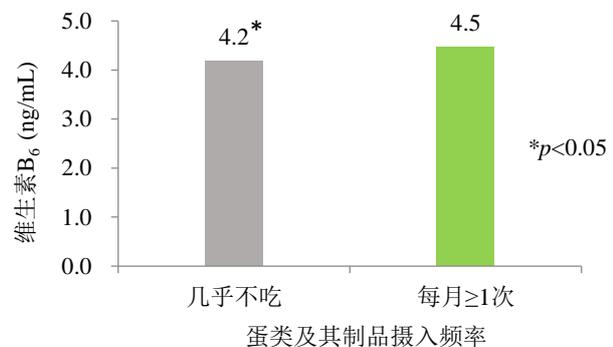
按照豆类及其制品摄入频率分组，相比每月摄入频率 ≥1 次者，几乎不吃者血液维生素 B₂ 的水平更低。



豆类是维生素 B₂ 良好的植物性食物来源，每 100g 大豆含维生素 B₂ 约 200μg²²。

蛋类摄入频率较低者维生素 B₆ 水平较低

按照蛋类及其制品摄入频率分组，相比每月摄入频率 ≥1 次者，几乎不吃者血液维生素 B₆ 的水平更低。

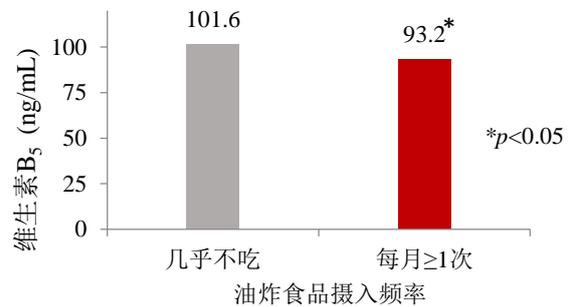


蛋类是 B 族维生素的良好来源，蛋黄中维生素 B₆ 较丰富²⁰。

油炸食品摄入频率较高者维生素 B₅ 水平较低

调查结果显示，油炸食品摄入频率与血液维生素 B₅ 的水平呈负相关关系。

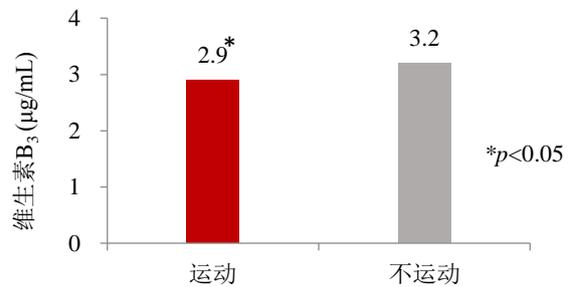
按照油炸食品摄入频率分组，相比几乎不吃者，每月摄入频率≥1 次者血液维生素 B₅ 的水平更低。



❖ 维生素 B₅ 在一般温度下蒸煮损失较少，但高温会使其受到破坏²⁰。选择蒸煮的烹调方式或者上浆挂糊后再油炸可减少其损失²⁴。

运动人群维生素 B₃ 水平较低

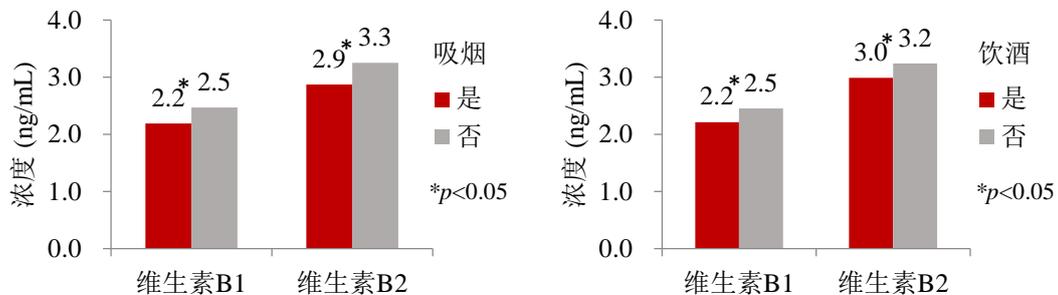
调查结果显示，相比无运动习惯者，运动者血液维生素 B₃ 的水平更低。



❖ 维生素 B₃ (烟酸) 主要参与能量和氨基酸代谢。中国居民膳食营养素参考摄入量指出，烟酸需要量应随能量需要量的增加而增加 (4.8mg 烟酸当量/1000kcal 能量)²³。随着体力活动水平的增加，个体能量需要量也随之增加，运动人群可根据运动强度和时间粗略估计能量消耗从而评估是否需要增加维生素 B₃ 的摄入。

吸烟、饮酒者维生素 B₁、B₂ 水平较低

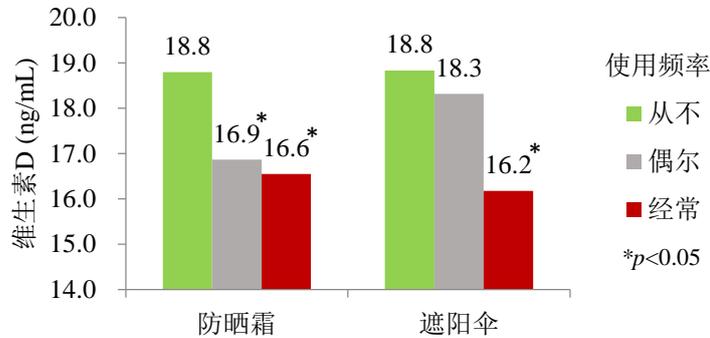
调查结果显示，相比不吸烟者，吸烟者血液维生素 B₁、维生素 B₂ 的水平更低。相比不饮酒者，饮酒者血液维生素 B₁、维生素 B₂ 的水平更低。



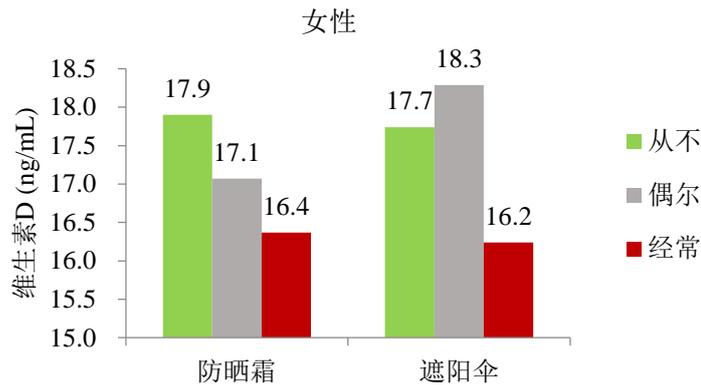
❖ 有研究表明，血液中核黄素含量随着酒精摄入量的增加而减少²⁵。

常用防晒霜、遮阳伞者维生素 D 水平较低

调查结果显示，随着防晒霜使用频率的增加，维生素 D 水平有下降的趋势；相比从不使用遮阳伞和偶尔使用遮阳伞者，经常使用遮阳伞者血液维生素 D 的水平更低。



进一步划分男女进行分析，结果发现，经常使用防晒霜和遮阳伞的女性血液维生素 D 水平较低，但差异无统计学意义（可能受样本量影响）。男性中未发现该趋势。



经常晒太阳是获得维生素 D 的良好来源，在紫外线的照射下，皮肤可以合成维生素 D，且不会导致过量。然而，防晒措施（如防晒霜、遮阳伞）使得这一途径合成的维生素 D 大大减少。合适的日光曝露可以产生足够的维生素 D，它可以储存在体内脂肪组织中，并在冬天维生素 D 不能产生时释放到血液中。

建议在上午 10 点到下午 3 点之间（避免剧烈日光），每周两次曝露双上肢和双下肢于日光下 5~30 分钟，通常可以获得足够维生素 D。而且，个体在树荫下也可以得到紫外线散射，起到合成维生素 D 的效果；但是，普通窗玻璃能阻挡 90% 以上波长 300 nm 以下的光线，隔着玻璃晒太阳显著影响皮肤合成维生素 D²⁶。

第二部分 矿物质（必需元素和重金属）

人体组织中含有自然界多种元素，其种类和含量与其生存的地理环境表层元素的组成及膳食摄入量有关。除了组成有机化合物的碳、氢、氧、氮外，其余的元素均称为矿物质。

按照化学元素在机体内的含量多少，通常将矿物质元素分为常量元素和微量元素两类。体内含量大于体重 0.01% 的矿物质称为常量元素或宏量元素，它包括钙、磷、钠、钾、硫、氯、镁，体内含量小于体重 0.01% 的称为微量元素。其中，21 种元素被认为是构成人体组织、参与机体代谢、维持生理功能所必需的矿物质元素，分为三类：铁、铜、锌、硒、铬、碘、钴、钼被认为是必需微量元素，锰、硅、镍、硼、钒为可能必需微量元素，氟、铅、镉、汞、砷、铝、锡和锂为具有潜在毒性微量元素。

矿物质在体内不能合成，必须从外界摄取。与维生素不同，矿物质不仅可以通过食物摄入，还可以通过饮水途径获取。

本次调查检测包括了种 5 种必需元素，分别是镁、铁、锌、硒、铜，3 种重金属，分别为铅、汞、砷。

必需元素、重金属的分布情况

基于干血斑检测的健康成人 5 种必需元素和 3 种重金属的平均水平及参考范围如下表所示。

检测结果如下表所示，本次测量湖北两地居民的镁、铁、锌、硒、铜的平均水平分别为 33.12 mg/L、279.18 mg/L、6.23 mg/L、9.40 mg/L 和 0.73 mg/L；铅、汞、砷的平均水平分别为 19.19 μg/L、1.5 μg/L、0.88 μg/L。

表 4 必需元素及重金属分布基本特征

必需元素	N	中位数（四分位数）	参考范围（P2.5-P97.5）
镁（mg/L）	953	33.12 (30.11, 37.29)	24.2-47.3
铁（mg/L）	953	279.18 (243.78, 317.36)	174.0-396.0
锌（mg/L）	800	6.23 (5.32, 7.28)	4.0-9.4
硒（mg/L）	953	9.40 (8.07, 10.97)	6.0-14.8
铜（mg/L）	953	0.73 (0.65, 0.82)	0.5-1.0
重金属	N	中位数（四分位数）	参考范围（<P95）
铅（μg/L）	953	19.19 (13.84, 26.85)	<44.3
汞（μg/L）	953	1.5 (1.0, 2.38)	<4.38
砷（μg/L）	953	0.88 (0.63, 1.38)	<2.38

不同年龄性别人群必需元素和重金属水平

不同性别、年龄段人群血液必需元素和重金属检测值的中位数和四分位数见下表。

男性血液镁、铁、锌、铅、汞、砷水平高于女性，血液铜水平低于女性 ($p < 0.05$)；血液硒水平无明显性别差异 ($p > 0.05$)。不同年龄段调查对象血液镁、锌、铜、铅、汞、砷水平差异有统计学意义 ($p < 0.05$)，但无明显随年龄升高或降低的趋势；不同年龄段人群血液铁、硒水平差异无统计学意义 ($p > 0.05$)。

表 5 不同性别、年龄段人群必需元素及重金属水平[中位数 (四分位数)]

	镁 (mg/L)	铁 (mg/L)	锌 (mg/L)	硒 (mg/L)	铜 (mg/L)	铅 (μg/L)	汞 (μg/L)	砷 (μg/L)
性别								
男	34.97 (31.04, 39.44)	306.27 (273.40, 339.02)	6.56 (5.63, 7.60)	9.52 (8.08, 11.01)	0.71 (0.64, 0.79)	22.38 (16.38, 30.25)	1.83 (1.25, 2.62)	1.00 (0.62, 1.38)
女	31.38 (28.74, 34.99)	251.28 (224.42, 278.53)	5.83 (4.97, 6.62)	9.27 (8.02, 10.84)	0.76 (0.68, 0.85)	16.00 (11.38, 22.33)	1.25 (0.83, 1.91)	0.88 (0.50, 1.33)
年龄 (岁)								
20-30	33.95 (30.13, 39.07)	266.78 (231.57, 316.65)	6.68 (5.50, 7.62)	9.17 (8.05, 10.76)	0.69 (0.63, 0.76)	16.00 (11.28, 22.22)	1.00 (0.62, 1.67)	1.00 (0.62, 1.47)
31-40	32.79 (30.78, 37.74)	286.60 (253.73, 325.33)	6.35 (5.36, 7.37)	9.72 (8.56, 10.98)	0.75 (0.67, 0.84)	18.79 (13.38, 24.50)	1.50 (1.12, 2.28)	1.00 (0.62, 1.38)
41-50	32.34 (29.31, 36.26)	280.08 (244.50, 311.13)	6.07 (5.02, 7.09)	9.27 (8.08, 10.88)	0.74 (0.65, 0.83)	19.67 (14.19, 27.73)	1.85 (1.17, 2.62)	0.88 (0.62, 1.25)
51-60	32.79 (29.79, 35.64)	278.35 (247.28, 315.00)	6.16 (5.28, 6.97)	9.31 (8.00, 10.89)	0.75 (0.66, 0.83)	23.12 (17.00, 30.50)	1.67 (1.00, 2.88)	0.88 (0.62, 1.25)
61-80	35.87 (32.52, 40.56)	288.94 (249.30, 316.09)	6.16 (5.43, 7.20)	9.46 (7.42, 11.64)	0.77 (0.67, 0.85)	22.88 (15.53, 29.56)	1.75 (1.25, 2.50)	1.06 (0.62, 1.47)

不同性别、年龄段人群基于干血斑检测的血液必需元素和重金属的参考范围见下表。

表 6 不同性别、年龄段人群血液必需元素及重金属参考范围

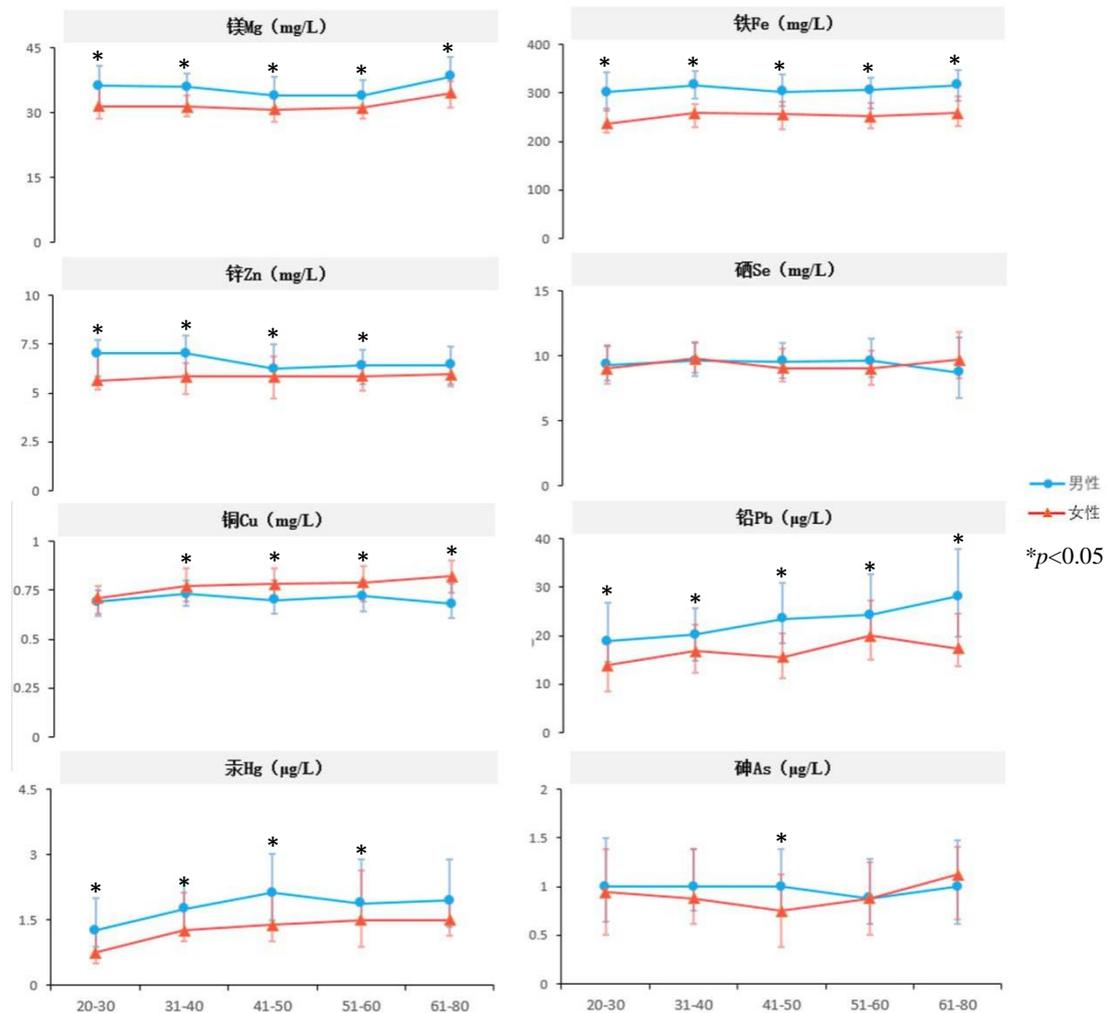
	P2.5-P97.5					<P95		
	镁(mg/L)	铁(mg/L)	锌(mg/L)	硒(mg/L)	铜(mg/L)	铅(μg/L)	汞(μg/L)	砷(μg/L)
性别								
男	25.6-48.3	224-414	4.3-9.8	6.1-14.7	0.5-1.0	<48.2	<4.5	<2.5
女	22.9-42.1	163-330	3.7-8.2	6.0-14.9	0.5-1.1	<34.3	<4.3	<2.3
年龄(岁)								
20-30	25.0-49.6	170-399	4.5-9.4	5.4-14.6	0.5-1.0	<34.4	<3.9	<2.5
31-40	23.7-47.4	171-401	3.6-9.6	6.4-14.3	0.5-1.1	<37.9	<3.8	<2.4
41-50	22.8-46.3	176-385	3.9-9.9	6.5-14.5	0.5-1.1	<47.9	<4.9	<2.3
51-60	25.8-43.6	181-389	4.1-8.8	6.1-14.5	0.5-1.0	<51.2	<5.7	<2.3
61-80	27.3-46.0	188-367	4.3-8.7	5.5-15.4	0.6-1.0	<44.9	<3.5	<2.1

不同年龄段男女血液必需元素及重金属水平的差异

进一步划分年龄段比较男女差异，结果显示：

各年龄段调查对象男性血液镁、铁、铅均高于女性 ($p<0.05$)；除 61-80 岁组，其余各年龄段男性血液锌和汞水平均高于女性 ($p<0.05$)；41-50 岁调查对象男性血液砷水平高于女性 ($p<0.05$)，其他年龄段均无显著差异 ($p>0.05$)。

除 20-30 岁组，各年龄段组男性血液铜水平均低于女性 ($p<0.05$)。各年龄段男女血液硒水平均无显著差异。

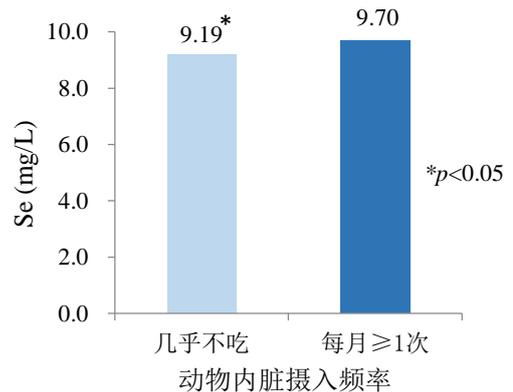
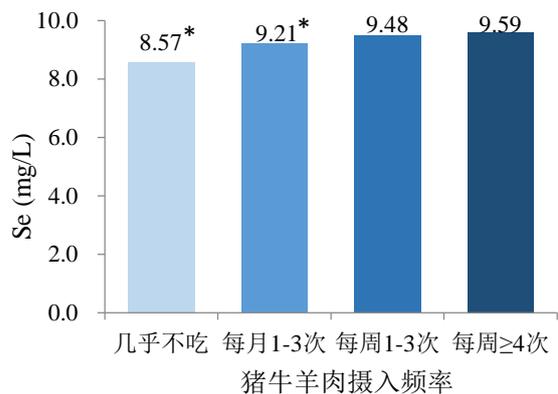


2009-2010 年中国八省 24 市中开展的大样本人群调查结果显示，男性全血锌、铜含量高于女性²⁷，男性全血砷含量高于女性²⁸，全血铅水平无明显性别差异²⁹。不同人群中结果的差异可能与不同地区地理环境表层元素的组成及人群膳食习惯有关。

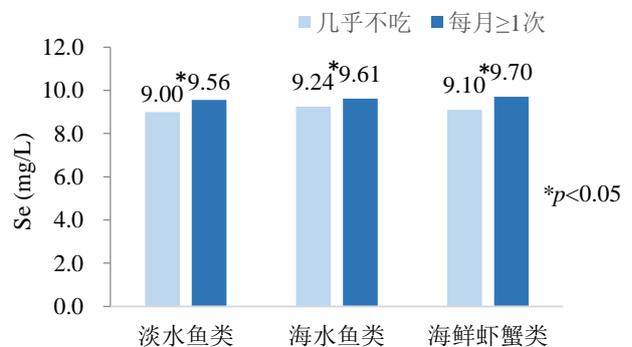
影响必需元素水平的因素

畜肉、动物内脏、水产品摄入频率较低者硒水平较低

调查结果显示，膳食摄入畜肉（猪、牛、羊肉）的频率与血液硒水平呈正相关关系，与摄入畜肉频率每周 ≥ 4 次的调查对象相比，摄入频率每月 ≤ 3 次者血液硒水平较低。几乎不吃动物内脏的调查对象血液硒水平低于摄入频率每月 ≥ 1 次者。



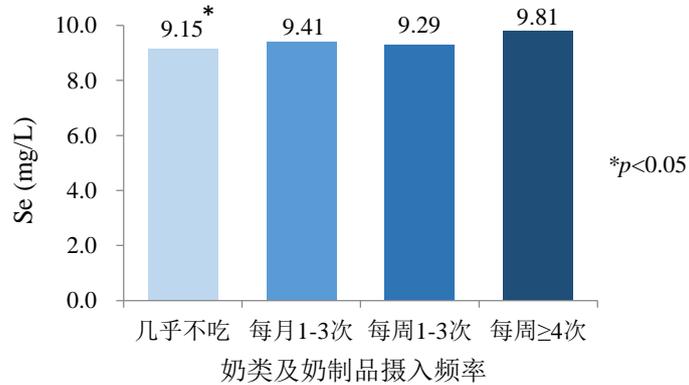
调查结果显示，几乎不吃淡水鱼类、海水鱼类、海鲜虾蟹类的调查对象血液硒水平分别低于摄入上述食物每月 ≥ 1 次者。



海产品和动物内脏是硒的良好食物来源，如鱼子酱、海参、牡蛎、猪肾等²⁰。中国居民膳食指南指出 45g 猪肾便可满足成人 1 日硒的推荐摄入量，建议每月食用动物内脏 2~3 次，每次 25g 左右²¹。

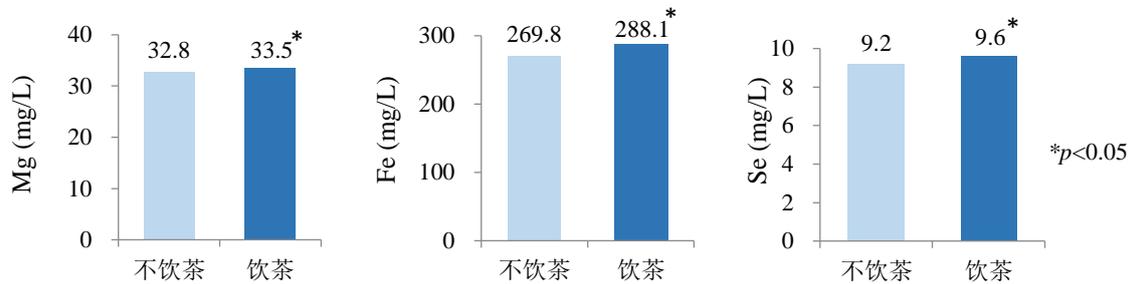
奶类摄入频率较低者硒水平较低

调查结果显示，膳食摄入奶类及奶制品频率与血液硒水平呈正相关关系。与摄入奶类及奶制品频率每周 ≥ 4 次的调查对象相比，几乎不吃者血液硒水平较低。



饮茶者镁、铁、硒水平较高

调查结果显示，饮茶的调查对象血液镁、铁、硒水平均高于不饮茶者。

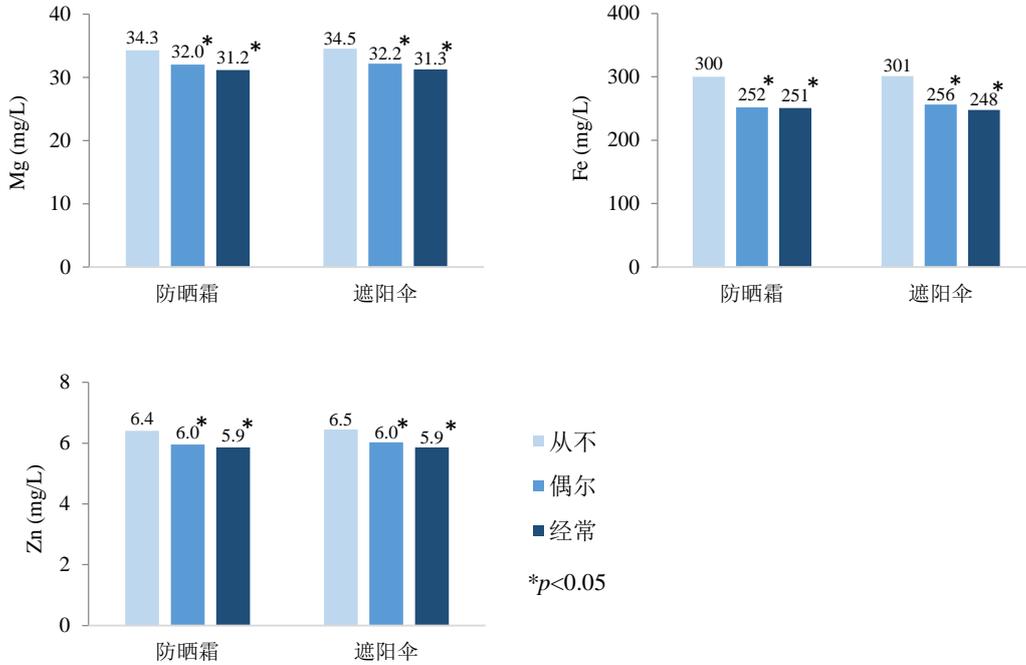


 矿物质广泛存在于土壤中，故茶叶可能通过土壤吸收矿物质，并进而通过饮茶进入人体。

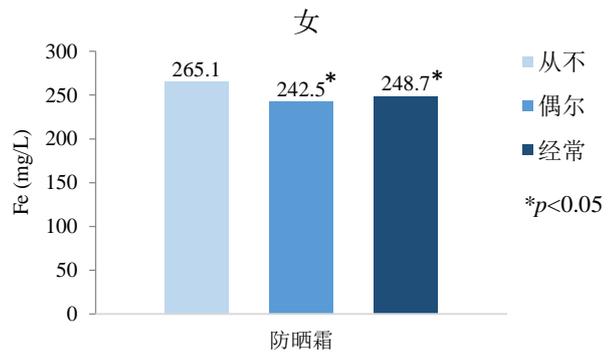
茶叶中矿物质具有地域差异，是评价茶叶品质的指标之一。研究显示，黑茶矿物质总量高于绿茶³⁰。

常用防晒霜、遮阳伞者镁、铁、锌水平较低

调查结果显示，使用防晒霜、遮阳伞的频率与血液镁、铁、锌的水平呈负相关关系。与从不使用防晒霜、遮阳伞的调查对象相比，偶尔和经常使用防晒霜、遮阳伞者血液镁、铁、锌水平较低。



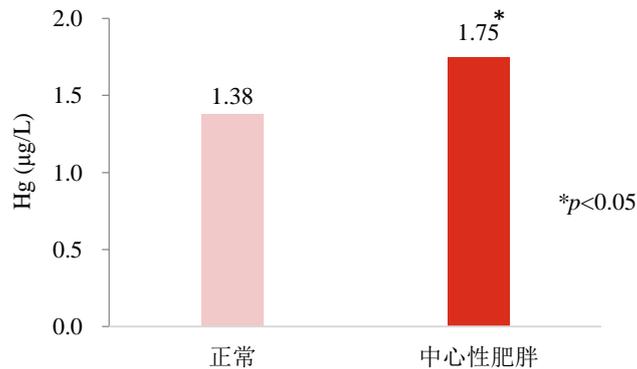
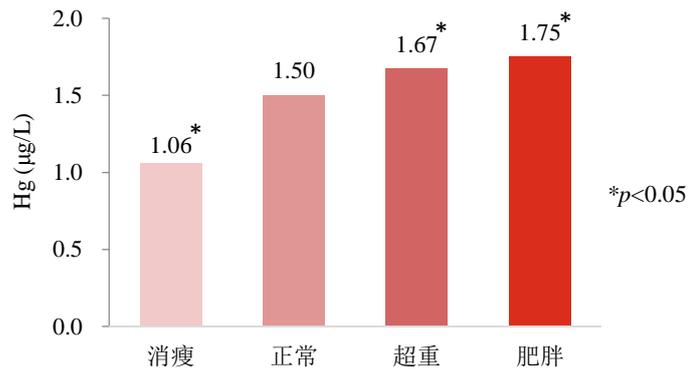
进一步划分性别进行分析，仅在女性中发现相比从不使用防晒霜的女性，偶尔和经常使用防晒霜的女性血液铁水平较低。



影响重金属水平的因素

超重、肥胖者汞水平较高

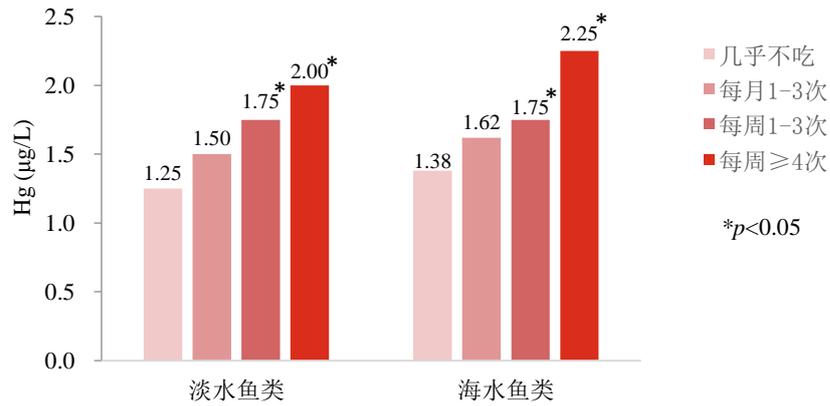
调查结果显示，BMI 与血液汞水平呈正相关关系。与正常体重的调查对象相比，低体重者的汞水平较低，超重和肥胖者的汞水平较高。与正常的调查对象相比，中心性肥胖者血液汞水平较高。



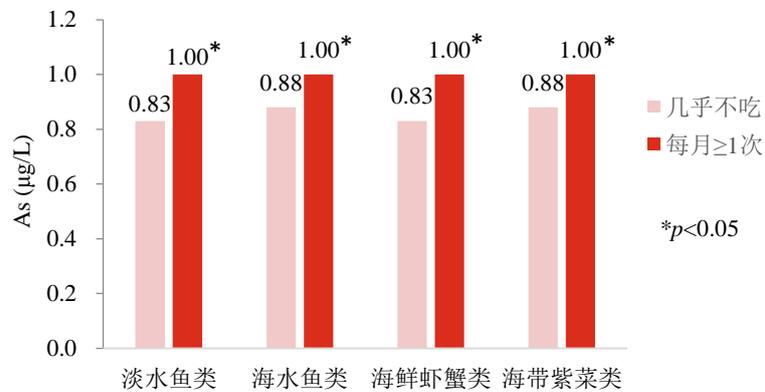
 美国全国健康和营养调查 (NHANES, 2003-2014) 的研究发现，重金属混合物暴露与肥胖相关³¹。韩国国家健康与营养检查调查 (KNHANES, 2007-2013) 的结果显示，受试者的血液汞水平越高，超重及中心性肥胖的风险越高³²。

水产品摄入频率较高者汞、砷水平较高

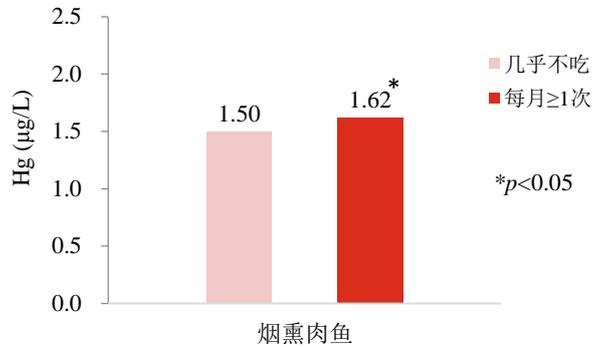
调查结果显示，淡水鱼类、海水鱼类的摄入频率与血液汞水平呈正相关关系。与几乎不吃淡水鱼类的调查对象相比，摄入频率每周 ≥ 1 次者，血液汞水平较高。与几乎不吃海水鱼类的调查对象相比，摄入频率每周 ≥ 1 次者，血液汞水平较高。



淡水鱼类、海水鱼类、海鲜虾蟹类、海带紫菜类摄入频率每月 ≥ 1 次的调查对象，血液砷水平分别高于几乎不吃上述食物者。



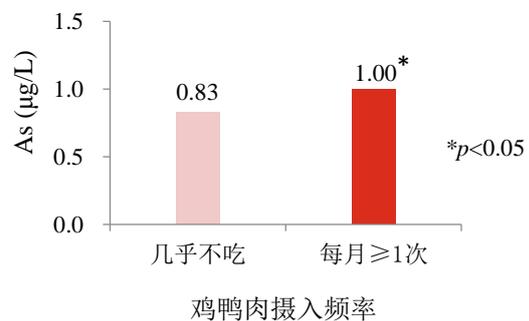
另外，食用烟熏肉鱼类每月 ≥ 1 次的调查对象血液汞水平也高于几乎不吃者。



重金属污染物随着工业废水排入江河湖海，成为严重的水体污染之一。已有大量研究表明，水生物对重金属有较强的富集作用，进而可将环境中较低浓度的重金属通过食物链放大，从而带来健康风险³³。水产品虽被认为是蛋白的优质来源，其富含的 DHA 和 EPA 具有诸多健康益处，但也应警惕其存在重金属摄入的潜在风险。有研究表明，鱼类（鲫鱼、鲢鱼）内膜可能是富集重金属最严重的可食部位，且其矿物质含量相对其他可食部位（如鱼肉）不是很高，因此在选择食用时，可以舍弃³⁴。

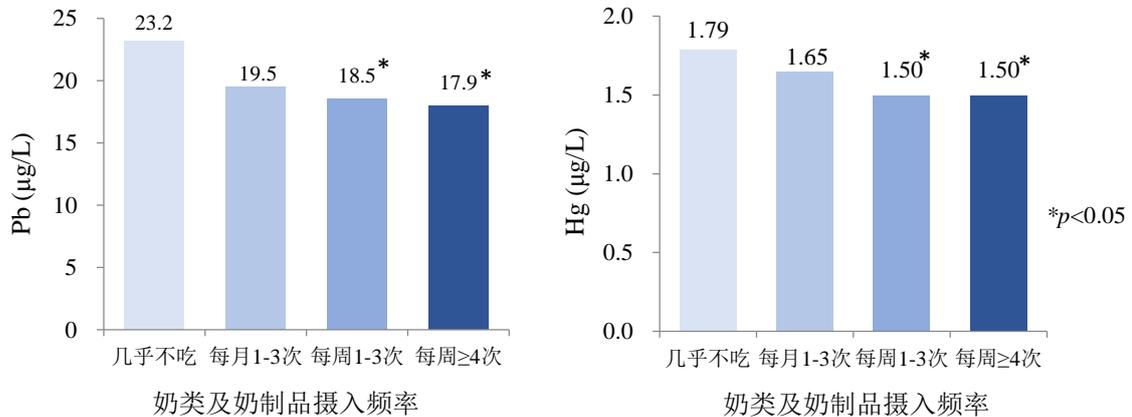
食用鸡鸭肉者砷水平较高

调查结果显示，食用鸡鸭肉每月 ≥ 1 次的调查对象，血液砷水平高于几乎不吃者，提示鸡鸭肉中可能同样存在重金属富集的情况。



奶类摄入频率较高者铅、汞水平较低

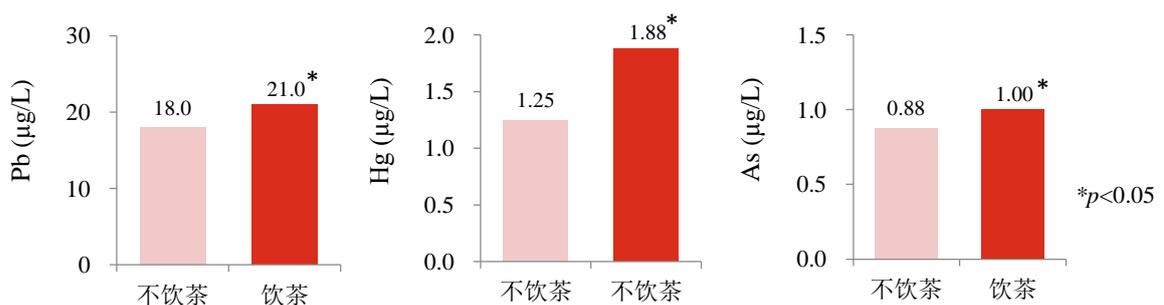
调查结果显示，奶类及奶制品的摄入频率与血液铅、汞水平呈负相关关系。与几乎不吃奶类及奶制品的调查对象相比，摄入频率每周 ≥ 1 次者，血液铅、汞水平较低。



奶类摄入频率较高者血液重金属水平较低可能与蛋白质延缓重金属吸收有关。膳食蛋白质可与有毒金属结合，延缓其在肠道的吸收，其中，含硫氨基酸可提供巯基而具有拮抗有毒金属的作用²⁰。

饮茶者铅、汞、砷水平较高

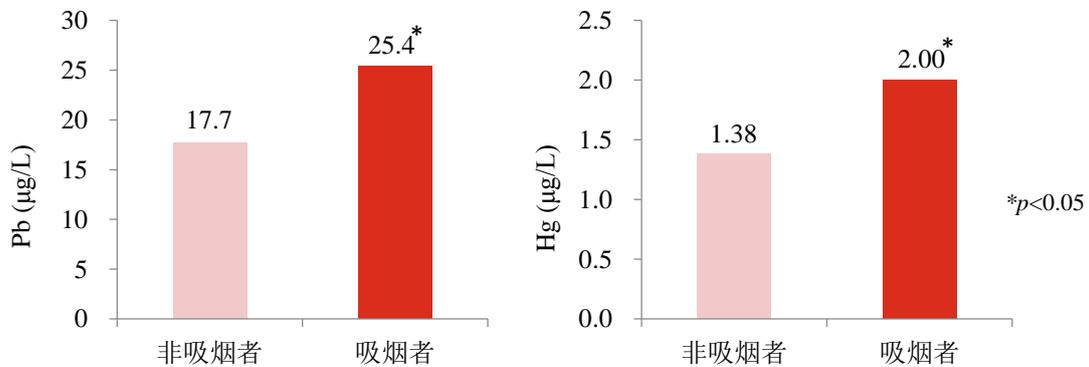
调查结果显示，饮茶的调查对象血液铅、汞、砷水平平均高于不饮茶者。



由于矿物质广泛存在于土壤中，故茶叶可能通过土壤吸收矿物质并进而进入人体。茶叶中矿物质具有地域差异，是评价茶叶品质的指标之一³⁵。同时，茶叶中可能富集了较多重金属，重金属通过饮茶进入人体。

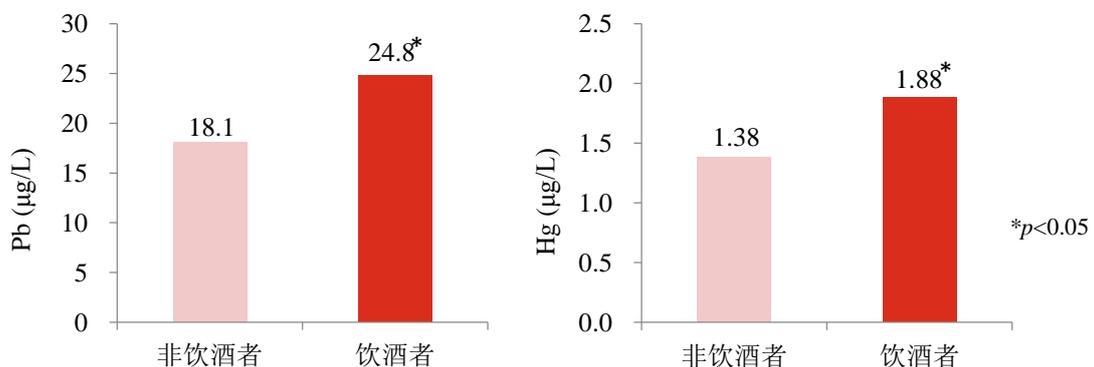
吸烟、饮酒者铅、汞水平较高

调查结果显示，吸烟者的铅、汞水平高于非吸烟者。按性别分组，发现男女中仍然存在吸烟者铅水平高于非吸烟者的差异，仅在男性中发现吸烟者汞水平高于非吸烟者。



烟草可能从土壤、化肥、杀虫剂中吸收有毒重金属，对主动和被动吸烟者的健康产生不良影响，国际癌症研究机构（IARC）将 Cd、As、Cr、Ni 列为香烟中的致癌物，Pb 和 Co 列为可能的致癌物³⁶。沙特阿拉伯的 60 名男性的研究中显示，与不吸烟者相比，吸烟者的重金属（As、Sb、Cd、Cr、Ni、Pb）含量均升高³⁷。目前关于吸烟与汞暴露的研究较少，但吴江地区一项纳入 2496 例新生儿的研究同样显示，丈夫吸烟与新生儿脐带血汞水平呈正相关关系³⁸。

调查结果显示，饮酒者血液铅、汞水平高于非饮酒者。按性别分组，发现男女中仍然存在饮酒者铅水平高于非饮酒者，仅在男性中发现饮酒者汞水平高于非饮酒者。



酒类重金属元素主要来自稀释用水、生产设备、贮酒容器和原料本身，重金属元素可直接影响酒的感官并增加口感，但可对人体产生多种损害，其中铅含量（ $\leq 0.5 \text{ mg/kg}$ ）被列入蒸馏酒国标卫生指标³⁹。

展望

《2020 年中国居民营养与慢性病状况报告》显示，目前我国成年居民超重肥胖率超过 50%，高血压、糖尿病、慢性阻塞性肺疾病及癌症患病率与 2015 年相比也有所上升。慢性病的高患病率与居民的生活方式特别是膳食模式的改变密切相关。脂肪摄入过量、部分微量营养素摄入不足的问题突出。

血液检测是评价维生素和矿物质水平最直接的方法。然而，由于传统静脉采血受场地、专业人员等因素的限制，在居民中开展大样本的维生素和矿物质检测具有一定的难度，寻找更加便捷、快速的新方法和新技术是满足高通量和快速检测的迫切需要。干血斑技术的发展及其在营养领域的应用，特别是其采集、保存和运输样本的便捷性优势，为开展大样本人群微量营养素评估及实现个体营养状况的实时监测提供了可能。

本项目是利用干血斑技术对湖北省十堰和武汉两地部分居民的维生素、矿物质水平进行检测，并对相关因素进行初步分析，描述该地区居民维生素和矿物质分布，为评估该地区居民微量营养素现状提供基础数据；初步提出了基于干血斑检测的成人血液维生素和矿物质参考范围；并初步分析了不同生理状况（超重肥胖）及生活方式（膳食、运动、吸烟饮酒、防晒措施等）与维生素和矿物质水平的关系，为健康合理的膳食及生活方式提供初步的提示。这些结果作为对我国居民维生素和矿物质水平的初步探索，具有一定的意义。

未来，我们将进一步综合多种因素进行多元回归分析，评价多种因素对维生素和矿物质水平的影响；进一步扩大样本量、调查点和人群范围，建立更具代表性的大样本人群数据库，完善参考范围，建立基于干血斑检测的维生素和矿物质营养状况判断标准。

参考文献

- ¹ 《2020 年中国居民营养与慢性病状况报告》
- ² 赵健, 张继国, 王志宏, 等. 1991~2011 年中国九省区 18~65 岁居民能量及宏量营养素摄入状况及变化趋势[C]// 中国营养学会第十三届全国营养科学大会暨全球华人营养科学家大会.
- ³ 王柳森. 1991—2015 年中国九省(自治区)老年居民膳食能量及宏量营养素摄入状况[J]. 卫生研究(05):700-710.
- ⁴ 黄秋敏,王柳森,张兵, 等.1991-2015 年我国九省(自治区)成年人膳食微量营养素摄入的变化趋势及其人口学特征[J].环境与职业医学,2019,36(5):410-417.
- ⁵ 王柳森,张兵,王惠君, 等.1991-2015 年我国九省(自治区)老年人膳食微量营养素摄入的变化趋势[J].环境与职业医学,2019,36(5):418-424.
- ⁶ 卢佳希, 陈竞, 李敏,等. 2010~2012 年中国成年女性贫血,维生素 A 和维生素 D 营养状况[J]. 营养学报, 2020, v.42(04):19-24.
- ⁷ 陈竞, 胡貽椿, 杨春,等. 2010—2012 年中国城市老年人维生素 A 营养状况[J]. 中华预防医学杂志, 2017(2).
- ⁸ 陈竞, 胡貽椿, 杨春,等. 2010—2012 年中国农村老年人群维生素 A 营养状况[J]. 卫生研究, 2017(3).
- ⁹ 胡貽椿, 陈竞, 李敏,等. 2010—2012 年中国城市孕妇贫血及维生素 A、维生素 D 营养状况[J]. 中华预防医学杂志, 2017(2).
- ¹⁰ 胡貽椿,李敏,陈竞,等.2010—2012 年中国农村孕妇贫血及维生素 A、维生素 D 营养状况[J]. 卫生研究,2017,46(03):361-366+372.
- ¹¹ 张宇, 刘小兵, 杨丽琛,等. 2010—2012 年中国 6~17 岁城市儿童维生素 A 营养状况[J]. 中华预防医学杂志, 2017, 51(002):117-120.
- ¹² 张宇,刘小兵,陈竞,等.2010—2012 年中国农村 6~17 岁儿童青少年维生素 A 营养状况[J]. 卫生研究,2017,46(03):345-349.
- ¹³ 潘兴富,丁春光,潘亚娟,等.中国八省市一般人群全血中铜、锌水平分布研究[J].中华预防医学杂志,2014,48(02):109-113.
- ¹⁴ 丁春光,潘亚娟,张爱华,等.中国八省份一般人群血和尿液中砷水平及影响因素调查[J].中华预防医学杂志,2014,48(02):97-101.
- ¹⁵ 丁春光,潘亚娟,张爱华,等.中国八省份一般人群血和尿液中铅、镉水平及影响因素调查[J]. 中华预防医学杂志,2014,48(02):91-96.
- ¹⁶ 中国超重肥胖医学营养治疗专家共识编写委员会. 中国超重/肥胖医学营养治疗专家共识

- (2016年版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2016(10):525-540.
- ¹⁷ 谢洁雯, 魏秋静, 吴中鸣,等. 广州地区体检人群维生素 D 水平分析[J]. 中华临床实验室管理电子杂志, 2020, 08(04):224-227.
- ¹⁸ 汤庆娅, 陶晔璇, 冯一,等. 成人不同体重指数对血清抗氧化维生素水平的影响研究[J]. 上海医学, 2007(02):7-10.
- ¹⁹ 宋毅,刘爽,李骏,龚晨睿,程茅伟.湖北省居民膳食维生素 A 摄入状况及变化趋势[J].华中科技大学学报(医学版),2016,45(06):682-686.
- ²⁰ 孙长颢 主编, 营养与食品卫生学(第八版),人民卫生出版社, 2017.
- ²¹ 中国营养学会 编著, 中国居民膳食指南 2016, 人民卫生出版社, 2016.
- ²² 杨月欣 主编, 中国食物成分表, 第 6 版/第一册, 北京大学医学出版社, 2018.
- ²³ 中国营养学会 编著, 中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 版), 科学出版社, 2014.
- ²⁴ 杨月欣, 葛可佑 主编, 中国营养科学全书, 人民卫生出版社, 2019.
- ²⁵ Jacques PF, Sulsky S, Hartz SC, Russell RM. Moderate alcohol intake and nutritional status in nonalcoholic elderly subjects. *Am J Clin Nutr.* 1989 Oct;50(4):875-83. doi: 10.1093/ajcn/50.4.875. PMID: 2801594.
- ²⁶ 廖祥鹏, 张增利, 张红红,等. 维生素 D 与成年人骨骼健康应用指南(2014 年标准版)[J]. 中国骨质疏松杂志, 2014, 000(009):1011-1030.
- ²⁷ 潘兴富,丁春光,潘亚娟,张爱华,吴邦华,黄汉林,朱醇,刘德晔,朱宝立,许光,邵华,彭珊苗,姜先龙,赵春香,韩长城,姬红蓉,余善法,张晓曦,张龙连,郑玉新,闫慧芳.中国八省市一般人群全血中铜、锌水平分布研究[J].中华预防医学杂志,2014,48(02):109-113.
- ²⁸ 丁春光,潘亚娟,张爱华,吴邦华,黄汉林,朱醇,刘德晔,朱宝立,许光,邵华,彭珊苗,姜先龙,赵春香,韩长城,姬红蓉,余善法,张晓曦,张龙连,郑玉新,闫慧芳.中国八省份一般人群血和尿液中砷水平及影响因素调查[J].中华预防医学杂志,2014,48(02):97-101.
- ²⁹ 丁春光,潘亚娟,张爱华,吴邦华,黄汉林,朱醇,刘德晔,朱宝立,许光,邵华,彭珊苗,姜先龙,赵春香,韩长城,姬红蓉,余善法,张晓曦,张龙连,郑玉新,闫慧芳.中国八省份一般人群血和尿液中铅、镉水平及影响因素调查[J].中华预防医学杂志,2014,48(02):91-96.
- ³⁰ 刘元林,张棚,张宇霞,田晓静,曹竝,马忠仁,宋礼,罗丽.南方与北方茶叶中矿质元素研究[J].茶叶通讯,2020,47(03):456-461.
- ³¹ Wang X, Mukherjee B, Park SK: Associations of cumulative exposure to heavy metal mixtures with obesity and its comorbidities among U.S. adults in NHANES 2003-2014. *Environ Int* 2018, 121(Pt 1):683-694.
- ³² Lee S, Yoon JH, Won JU, Lee W, Lee JH, Seok H, Kim YK, Kim CN, Roh J: The Association

Between Blood Mercury Levels and Risk for Overweight in a General Adult Population: Results from the Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *Biol Trace Elem Res* 2016, 171(2):251-261.

³³ 赵苒,郭东北,闫双双,蔡庆涛,王娟,范春. 重金属经海产品摄入的人体健康风险评价[A]. 中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences) .2015 年中国环境科学学会学术年会论文集[C].中国环境科学学会 (Chinese Society for Environmental Sciences) :中国环境科学学会,2015:8.

³⁴ 王小平, 王鑫, 黄泽伟, 等. 鲫鱼、鲢鱼和乌鱼的元素分布分析[J]. 中国酿造, 2019(8):163-167.

³⁵ 刘元林,张棚,张宇霞,田晓静,曹竝,马忠仁,宋礼,罗丽.南方与北方茶叶中矿质元素研究[J].茶叶通讯,2020,47(03):456-461.

³⁶ 杨敏男,姜红,钟宇.原子吸收光谱法测定香烟中重金属元素的含量[J].微量元素与健康研究,2017,34(06):56-57.

³⁷ Ahmed AS, Aldubayan MA, Ahmed HA, Refaat AM, Alsalloumi AS, Almasuood RA, Elgharabawy RM: Impact of smoking on heavy metal contamination and DNA fragmentation. *Environ Sci Pollut Res Int* 2020.

³⁸ 李军,吕弘道,苏海兰,郭俊良.吴江地区女性孕期被动吸烟与胎儿宫内汞暴露的关系调查[J].中国妇幼保健,2017,32(12):2722-2723.

³⁹ 刘开庆,张晓南,曹红云,杜春华,徐怡,游燕.采用 ICP-MS 同时测定十七种酒中 8 种重金属元素的含量[J].广州化工,2016,44(20):93-95.