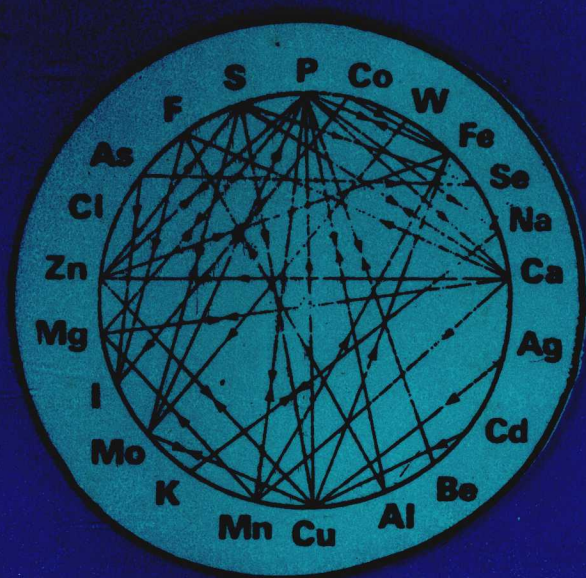


# 矿质微量元素 与食物链

刘更另 主编



中国农业科技出版社

**(京)新登字061号**

## **内 容 提 要**

本书是国家引导性项目——微量元素农业利用的重要组成部分,在大量实验材料的基础上,总结出了许多规律性的认识。此外还汇集了我国在矿质微量元素方面的最新资料。本书从理论与实践的结合上阐明了砷、硫、铜、铁、钼、锌、锰、硒等在牧草饲料、水果蔬菜和农畜产品中的含量和作用。是我国从温饱到小康过程中发展“三高”农业,安排食物模式,调整营养结构,必须重视的一些问题。此书可供从事农、林、牧、渔的专业人员和大学师生参阅、特别是适合营养、保健食品企业中的专业人员,管理人员,工程师必备之书。

## **矿质微量元素与食物链**

**主 编: 刘更另**

**副 主 编: 张绍丽 董慕新**

**责任编辑: 高湘玲 郝心仁**

**中国农业科技出版社出版**

**北京海淀区白石桥路30号 邮政编码: 100081**

**新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售**

**北京市平谷县大北印刷厂印刷**

**开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 11.625 字数: 259 千字**

**1994年 6月 第一版**

**1994年 6月 第一次印刷**

**印数: 1—500册**

**定价: 15.00元**

**书号: ISBN 7—80026—708—8/S·489**

## 前 言

《矿质微量元素与食物链》一书是由中国农业科学院承担的国家科委引导性项目——“主要微量元素在食物链中的功能和调控技术”的一部分研究成果汇集而成的。参加这项研究的有中国农业科学院水稻所、土肥所、茶叶所、棉花所、油料所、蔬菜花卉所、原子能所、甜菜所、果树所、畜牧所、蜜蜂所、山区室、分析测试中心和科研管理部的科研人员。从1988年起至1992年，先后对小麦、玉米、甜菜、棉花、果树、蔬菜、牧草、家禽、蜜蜂等23种动、植物进行了科学实验。研究的微量元素有锌、锰、硼、硫、硒、铁等。与此相应的还探讨了氯根、硫酸根、碳酸根对某些矿质微量元素的影响。因为它与微量元素在食物链中的形态功能和变化机理至为密切。

占世界耕地面积7%的中国，解决了占世界22%的人口温饱，不少地方正在向小康社会迈进，这不能不说是改革开放以来的一大奇迹。然而，我国人口基数大、增长快，可开垦的土地很少，资源有限，在很长一段时期内，农业问题一直是我们国民经济发展的核心问题。目前，我国农业正在从传统农业向现代农业转变，从单纯强调粮食、强调产量向高产、优质、高效、多样化、综合发展的方向转变。在这个转变时期，更新思想观念，非常重要。在旧的经济体制下面所形成的“农业就是粮食，粮食就是农业”等一整套单打一思想和作法，显然不适应社会主义市场经济的要求。我们建设现代化农业的根本目的，是要满足国民经济多方面发展的需要，特别是满足人民对食物、营养、健康的需要。

建设什么样的农业？一直是学术界议论的中心。

以化肥、农药、机械、单一种植“四大支柱”为格局的西方农业，采取大规模经营、大机器作业、大区域专业化、大批量生产、长距离运输，极大地提高了劳动生产率和单位面积产量。一个劳动力一年生产的粮食能满足50多人一年的消费，不能不说这是人类农业发展史上巨大的进步。在这种情况下，许多人陶醉于西方现代农业的胜利，许多人向往着西方现代化农业的美景。甚至有的人认为我们国家只要按西方农业的模式照办就行了。

其实西方农业也有它的缺陷。1991年6月19日，世界上41个发展中国家环境与发展部长级会议通过的《北京宣言》一开头就说：“难以持久的发展模式和生活方式”使“人类赖以生存的基本条件如土地、水和大气受到很大的威胁。”诸如“森林破坏、水土流失、土地退化、沙漠扩大、淡水资源枯竭、酸雨横行、水旱灾害、垃圾成堆、空气和水源被污染和农药残毒等等”。这些都是人们容易觉察到的，已经引起发展中国家部长们的关注了。然而，西方农业所造成的食物单一化，食品营养元素的贫瘠化，膳食中营养物质的不平衡性，其对人类健康所造成的灾难性影响，更应该引起大家的重视。

蛋白质营养理论是很重要的。自从荷兰化学家马尔德（G. J. Mulder）发现蛋白质以来，在营养学上一直认为它是“头等质量”的东西。恩格斯曾经说“蛋白质体是生命存在的形式”。长期以来人们以为只要有了蛋白质就行了，许多国家规定了蛋白质摄入标准，许多食品标明蛋白质含量指标。从1916年到1930年，随着科学的发展和人类认识的深化，从蛋白质中分解出22种氨基酸，并研究出对人体必需的和非必需的氨基酸。1938年，确定人体所必需的氨基酸只有8种。

这种范围越来越窄的蛋白质营养学理论反映到膳食的要求上就非常简单。似乎只要“牛奶加面包”、“土豆烧牛肉”，人们对营养的要求就可以满足了。这种理论非常适合西方现代农业单一的作物、单一的化肥和单一的种植制度的要求。

其实人的营养单靠蛋白质、脂肪、碳水化合物是不够的。医学和生理学证明：缺乏维生素，人体的发育就受到障碍。过去只把维生素当作医药，以为不是所有的人所需要的，后来人类认识了维生素和蛋白质一样是人体不可缺少的营养物质。从1849到1912年，60多年的时间许多科学家做了许许多多的实验，才发现确有维生素存在。1913年发现维生素A2（脂溶性），1926年发现维生素B1（硫胺素），1929年发现维生素K，1931年发现维生素A2（水溶性），1932年发现维生素C、维生素D2，1933年发现维生素B2，1936年发现维生素E，1937年发现烟酸（尼克酸），1938年发现维生素B6（吡多醇），1939年发现维生素B3，1948年发现维生素B12。从1849年到1955年，从发现、分离到人工合成多种维生素，前后花了106年的时间。现在已知的维生素14种，类维生素9种，对人对动物来说都是必需的。它影响到人的生长发育和繁殖。它是一种有机物质，在人的食物中含量很少，但必须有这种特殊物质存在。因为它不能在人体内合成，又不能在人体内大量储存；一种维生素不能代替另一种维生素的作用，每一种维生素都有一种特殊的功能，不可缺少。因此，在人类营养中必须满足人体对维生素的需要。从食物中供给维生素是一条主要途径。

除了蛋白质、维生素、糖类和脂肪是人类生长发育所不能缺少的营养物质以外，科学已经证明，人体需要的化学元素54种，存留在人体内，在科学上尚未阐明其功能的还有20多种，一共70多种。这些元素绝大部分来自土壤，通过膳食获得。这里产生这样一个问题，植物所必需的元素，一般只有16种，加上有益元素存在于植物体内的也只有20多种，如何满足人体对54种，甚至70多种元素的需要？分析中国的传统文化有三条主要历史经验：一是提倡肉食、杂食。中国蔬菜140多种，食用豆类20多种，能食用的动植物200多种，不同植物、不同基因型的植物，能促使土壤中更多的营养元素进入食物链的循环；二是把医药和膳食结合起来，中国自古以来的药膳就是根据人的健康状况，利用中药补充和调节人体营养元素的平衡状况的。我国主要中药有5767种，其中植物药材4773种，动物药材740种，矿物药材82种；三是使用种类繁多、养分齐全的农家肥料。据统计：各种农家肥料一百多种，许多肥料的营养元素还能循环使用，这样生产出来的农产品营养丰富，内涵充足，质量上乘。几千年的历史证明，中华民族是聪明的、健康的、精力充沛的。

国家科委引导性项目：“微量元素在食物链中的功能和调控技术”，引导我们做些什么呢？

我想，首先引导我们的营养学，不要单纯注意蛋白质、氨基酸、脂肪、碳水化合物的功能与作用，还要看到我们的食物中数量虽然很少，而功用却很大的维生素和微量元素。微量元素的特殊功能不是蛋白质所能代替的，它对生命的重要性日益明显。矿物质微量元素—营养—健康已成为当前世界上极为活跃的科学前沿。从营养学的发展历史可以清楚地看到，从蛋白质营养理论，到维生素、到微量元素，大体上有三个阶段：1838年荷兰化学家马尔德（G. J. Mulder）发现了蛋白质，相隔74年以后1912年才确定有维生素的存在。20世纪的前20年，大家主要集中到各种维生素的功能与作用。接着人们又对微量元素产生了极大的兴趣，相继发现人和动物所必需的元素。磷（P）1918年被发现，铜（Cu）1925年被发现，镁（Mg）、锰（Mn）、钼（Mo）钴（Co）1935年被发现；硒1957年、铬1959年被发现；1972年又证明氟和硅也是人类所必需的微量元素。前后经过半个世纪对微量元素的研

究日渐深入，逐步认识到微量元素与生命起源、生物进化和人类的生存有密切关系。环境中元素平衡更是生物生长和人畜健康的重要方面。众所周知，由于元素失调引起的地方病如克山病、大骨节病、地氟病、缺碘呆痴病、白肌病等，长期以来一直困惑着人们。近些年来，世界上发展起来的“地质医学”，“第三代现代医学”都是针对元素失调而产生的。

国家科委引导项目的第二个目的，就是引导我们的农业科学，包括作物学、育种学、肥料学、栽培学、畜牧学等，特别是农业实践要特别注意人民的全面营养和人类健康。我们既要学习西方农业现代化、提高劳动生产率的经验，又要避免西方农业食物单一化、食品营养元素贫瘠化和膳食中营养元素不平衡性的缺点，使我们的农业向高产、优质、高效、多样化和营养元素协调方面发展。

既然是引导性项目，我们被引导的科技人员就跟着国家的步伐走，大家齐心协力，做了许多工作，今天把这些研究结果整理出来汇编成册，请中国农业科技出版社出版。我们的研究工作、我们编写这本书的原则，都是按照国家科委所引导的“矿质微量元素—食物链—人类健康”一步一步地走下去！然而这是一个巨大的系统工程，短短的几年时间我们所能做到，也正像毛主席所说的“我们仅仅走完了万里长征的第一步，今后我们的道路更长，任务更艰巨”！还要许多人不懈地努力！然而，万事开头难，我们走完这一步也很不容易，我们要感谢国家科委、农业部、中国农业科学院以及各有关所室领导的支持。这里还要特别指出的是参加这个项目的刘金旭教授，他以高度的热情、渊博的学识指导我们大家在科学的崎岖道路上奔走，可是他没有等到我们走完这一步，就与世长辞了。另外还有卢凤英、袁光咏两同志也不幸逝世了。我们在清理他们的工作、阅读他们作品的时候，怎么能抑制住内心的悲痛呢？！

这个研究项目已经告一段落，研究结果也已汇编成册，我们不敢说我们有什么大的进展，然而我们坚持的这一方向将会不断发展，永远光彩夺目。本书不妥之处，恳请读者指正。

中国工程院院士 刘更另  
中国农业科学院研究员

1994年于北京



# 目 录

## 前 言

矿质元素是人类营养素的重要组分——砷在农业生态系统和食物链中的地位

.....刘更另(1)

高海拔地区缺氧缺硒对肉鸡生长的影响及补硒效果的研究

.....苏 琪 刘 强 谢生豪 段玉琴 陆肇海(9)

微量元素肥料的特点与人畜健康.....褚天铎 张绍丽(14)

生物生产——元素平衡——人类健康——论加强微量元素系统工程研究提纲

.....裘凌沧(21)

我国饲料、牧草中微量元素硒含量的分布.....陆肇海 苏 琪 段玉琴(24)

我国饲料中的低硒含量对畜禽的影响

.....苏 琪 金月英 段玉琴 黄美玉 陆肇海 刘金旭(30)

大豆主要矿质元素含量及其相关研究.....董慕新 张 辉(38)

家畜家禽的硒缺乏和硒中毒问题.....王在森 陆肇海 刘金旭(44)

油菜硼营养特征与土壤硼素丰缺指标研究.....刘昌智 陈仲西(50)

土壤水溶性硼含量与花生施硼效果.....蔡常波 金华斌 胡友利(60)

硼与甜菜质量及其调节.....刘 晔 周建朝 许凤琪 马青才(67)

土壤有效硼测定方法研究.....董慕新(75)

利用固体核径迹探测器(SSNTD)研究豆科牧草体内的微量硼.....李建民 邓洪民(80)

食物链中蔬菜的富锌研究.....康玉林 黄新江 莫 青(89)

微量元素锌在食物链中的功能.....刘新保 褚天铎 杨 清(96)

有机酸对水稻生长及锌素吸收的影响.....康玉林(102)

缺锌对大麦中硼和其它矿质养分累积的影响.....谢开云(113)

提高棉籽油锌含量研究.....李俊义 刘荣荣 董合林 王润珍 刘爱珍 李如义(121)

茶叶主要矿质元素含量及其相关性研究.....韩文炎 吴 洵 姚国坤(124)

茶叶锌的物质流功能及其调控的研究.....韩文炎 吴 洵 姚国坤(130)

茶树硫营养特性和茶叶品质研究纲要.....吴 洵 叶 勇 林 智 姚国坤(143)

碳酸氢根对水稻生长及锌吸收的影响.....康玉林(145)

牧草缺锌与中毒临界值的研究.....卢凤英 邓洪民 廖庆生 李学增(152)

菜籽饼的养分含量与油菜对硒的富集.....袁光咏 刘昌智 陈仲西(158)

山楂缺铁黄化病防治研究.....杨 琇 张明生 郝保春 高林森 贾云云(161)

北京上海居民食品中铅含量及其评价.....孙来彦 邓洪民 苏荣伟 曹浩熙(169)

畜禽微量元素营养的研究动态.....刘金旭 遵作(173)

# 矿物元素是人类营养素的重要组成部分

## ——砷在农业生态系统和食物链中的地位

刘 更 另

(中 国 农 业 科 学 院)

### 提 要

矿物元素是人类营养素的重要组成部分，是蛋白质、脂肪等有机化合物的组成，并能激发酶系统，调节体液平衡和酸碱平衡。它与激素、维生素一起对人的机体起调节作用。长期以来人们把砷和砷化物看成污染元素，然而砷在农业生态系统中、在一般食物中或多或少都存在。砷的毒性比硒还要低，砷元素很可能是人类生育所必需的生命元素之一。从7227个土壤样品分析数据中统计：99%的样本含砷量不超过38毫克/公斤。砷元素是中国首先发现的。2000多年以前砷化物在中国即已入药。我们的祖先利用砷化物灭菌防腐、除湿却寒、消肿却病。微量砷对许多植物有刺激作用并能改善其品质。砷酸和有机砷化物能促进禽类和生猪生长。砷的形态、砷的毒性在不同基质中有所不同。深入了解砷的性质特点及其运动变化的规律，趋其利而避其害，是急需研究的重要方面。

**关键词：**矿物元素、营养素、砷、砷化物

### 一、矿物元素和人类健康

人类生活需要有糖、脂肪、水、蛋白质、维生素和矿物质等等。在营养学中矿物质主要是指灰分中的化学元素。其中有些元素是维持人类生理功能所必需的，人们必须经常从膳食中获得。另外一些元素在人体内存在，但是它们的功能还不很清楚。矿物元素对人体的功能是多方面的，主要的有以下几个方面：

- (一) 矿物元素是构成蛋白质、脂类等有机化合物的组成部分。
- (二) 使人体的机体、骨骼有一定的强度和硬度。
- (三) 激活酶系统、调节生理机能。
- (四) 控制体液平衡、维持渗透压。
- (五) 同激素、维生素和其它生化物质调节代谢作用。
- (六) 调节人体的酸碱平衡。
- (七) 对肌肉和神经系统的应激性起特殊作用。
- (八) 维持免疫功能等等。

有些元素如钙、磷有多种功能，每一种微量元素至少都有一种特殊功能。

每人每日需要在几克或十分之几克的矿物元素，如钙、钠、钾、镁、硫等等。我们把它叫做常量元素。另外一些每人每日需要量只有几微克或几毫克的元素，称之为“微量矿物元素”，如铬、钼、氟、碘、锰、硒、硅和锌等。美国A·H·恩明格，J、E、康兰德等认为

砷和锡在不久的将来也可能列为人类所必需的微量元素。下表是人体内各种矿质元素的含量：

|         |          |         |
|---------|----------|---------|
| 钙 1500g | 铁 4500mg | 锰 12mg  |
| 磷 860g  | 氟 2600mg | 碘 11mg  |
| 硫 800g  | 锌 2000mg | 钼 9mg   |
| 氯 74g   | 铜 700mg  | 铬 6mg   |
| 钠 64g   | 硅 24mg   | 钴 1.5mg |
| 镁 25g   | 硒 13mg   |         |

此外砷、钒、锡、镍、锆等40多种元素在人体内含量很少，没有列在这里。

有一些元素，由于科学水平的限制，我们目前还没有认识到它的功能，或者确实了解到它不是人体生长发育所必需的，但是它们确实从各种渠道进入机体。这个事实说明，在自然界、在农业生态系统中，元素的循环与转化是非常复杂的。许多自然现象、自然规律我们还没有认识，提示土壤中各种微量元素在农业生态系统中，特别在食物链中的地位和作用，有非常重要的意义。

尽管在科学上还确定砷是人体生长发育所必需的元素，然而，在农业生态系统中，在食物链里，在人体内砷的存在是毫无疑问的。

尽管人类还没有完全认识砷在农业生态系统中对植物生长、动物生长和人的生长发育有些什么功能和作用，然而，在2000多年前，我国人民就利用砷化物治疗多种疾病。现在在世界上，许多国家利用它作杀虫剂、除莠剂、催熟剂、防腐剂。为了了解砷与人类健康直接和间接、正面和反面的关系，我们必须对砷的性质、特点、运动、变化的规律以及人类对砷化物认识的历史过程，作些简要分析。

## 二、砷化物和砷是中国首先发现的

西方国家文献中所记载的“德国人阿尔伯图斯马格拉斯（Albertus Magnus）在第13世纪（1250年）用雄黄、肥皂为原料制得单质砷，就认为这是世界上首次发现砷。”其实不然，在公元284~364年间，葛洪在《抱朴子·仙药》一书中就记载了提取单质砷的方法：

“又雄黄……饵服乃凝之，或以芷煮之。或以酒饵，或先以硝石化为水乃凝之，或以玄胴肠裹蒸之于赤土下；或以松脂和之；或以三物炼之，引之如布，如白冰……”这里葛洪列举了几种天然的砷化物，雄黄（ $As_2S_2$ ）雌黄（ $As_2S_3$ ）等提取单质砷的方法。原理就是用氧化剂将硫化砷氧化成三氧化二砷再用富碳化合物在高温下使其还原成砷（As）；另外医药家、炼丹家孙思邈（581~682）在他的“太清丹经要诀”一书中，对提炼单质砷更有详细的记载。这些事实雄辩地证明，在世界上是中国人首先发现砷（As），比西欧早600年。

关于砷化物的利用那就更早了，我国在公元前133年，汉朝李少君在炼丹的记载中，公元前125年刘安的丹药中都记载有利用雄黄（ $As_2S_2$ ）雌黄（ $As_2S_3$ ）作丹药的事实。公元284~364年葛洪有名的“三十六水”是利用硫化砷作医药的成功药方，人们称为“神水”，一直流传到现在。

由此可见，砷的发现、砷化物的利用，砷的入药，中国对人类作出了重要的贡献。

## 三、农业生态系统中的砷

许多含砷化合物是自然界剧毒物质之一，人们常用它制作杀虫剂、杀菌剂、除莠剂和催



熟剂。土壤中砷的含量很少。一般不超过40mg/kg，世界上土壤平均 5 mg/kg<sup>3</sup>。天然砷矿物的开采、杀虫剂、除莠剂等利用，工业废渣、废气、废水中含砷物质的残存，都可以使砷和砷化物直接进入农业生态系统。在火山喷发物中有时含砷量高达626mg/kg，根据121个样品分析平均7.6mg/kg。

关于地壳、母岩、土壤中的含砷量，不同学者在发表的材料中不同。例如：戈尔德·斯密特 (Goldschmilt) 1937年发表的为 5 mg/kg，维诺格拉多夫1922年发表的为 4 mg/kg，1949年为 5 mg/kg，1962年为1.8mg/kg，其它如土壤、植物、岩石中的含砷量他发表的材料是：

|       |            |
|-------|------------|
| 地壳含砷量 | 4 mg/kg    |
| 土 壤   | 5 mg/kg    |
| 海 水   | 0.015mg/kg |
| 植 物   | 0.3mg/kg   |
| 岩 石   | 5 mg/kg    |

其实岩石种类很多，含砷量不可能相同，分析的样品越多，平均数的代表性越大。我国环保局组织科学家1989年对我国10多种岩石含砷量的分析有较大的代表性：

| 岩石名称  | 样品数(个) | 极小值mg/kg | 极大值mg/kg | 平均数mg/kg |
|-------|--------|----------|----------|----------|
| 酸性火成岩 | 649    | 0.1      | 178.7    | 7.7      |
| 中性火成岩 | 53     | 0.01     | 23.5     | 8.1      |
| 基性火成岩 | 76     | 0.8      | 83.0     | 12.4     |
| 火山喷发物 | 121    | 0.8      | 626.0    | 7.6      |
| 沉积页岩  | 286    | 2.3      | 89.0     | 14.8     |
| 沉积砂岩  | 310    | 1.0      | 118.0    | 12.5     |
| 石灰岩   | 293    | 3.4      | 158.0    | 10.5     |
| 红砂岩   | 14     | —        | 23.0     | 10.6     |
| 紫砂岩   | 96     | —        | 70.0     | 8.0      |
| 紫页岩   | 116    | —        | 309.0    | 10.7     |

根据10种岩石2014个样品分析，我国岩石平均含砷量为 (10.29mg/kg)，比过去国际上发表的数字高一倍。这两千多个样品最小值为0.01mg/kg，最大值为626mg/kg。

表 1 我国土壤含砷量的数值分布

| 土壤砷含量(mg/kg) | 样品数(个) | 占样品总数(%) | 土壤砷含量(mg/kg) | 样品数(个) | 占样品总数(%) |
|--------------|--------|----------|--------------|--------|----------|
| 1~2.9        | 290    | 7.08     | 20.5~23.4    | 106    | 2.59     |
| 2.9~5.9      | 642    | 15.68    | 23.4~26.3    | 72     | 1.76     |
| 5.9~8.8      | 860    | 21.01    | 26.3~29.3    | 52     | 1.27     |
| 8.8~11.4     | 882    | 21.54    | 29.3~32.3    | 29     | 0.71     |
| 11.4~14.6    | 552    | 13.48    | 32.3~35.1    | —      | —        |
| 14.6~17.6    | 297    | 7.25     | 35.1~38.0    | 18     | 0.44     |
| 17.6~20.5    | 171    | 4.18     | 55.6~626     | 41     | 1.00     |

上表表明：在4093个土壤样品中，(A层)土壤含砷量极小值为0.1mg/kg，极大值为626mg/kg，在土壤母质(c层)3134个样本中极小值为0.03mg/kg，极大值为4441mg/kg，A

层土壤平均含砷量为9.13mg/kg, c层为9.44mg/kg, 99%的土壤样品含砷量低于38mg/kg, 90%的土壤样品含砷量低于20mg/kg, 50%的样品含砷量低于9.6mg/kg)。从行政省分的样品来分析, 土壤中含砷量平均值最低的为东北各省, 黑龙江(7.3mg/kg), 吉林(8.0mg/kg), 辽宁(8.8mg/kg)内蒙(7.5mg/kg), 最高的为海南(20.5mg/kg), 贵州(20.0mg/kg), 西藏(19.7mg/kg), 云南(18.4mg/kg)各省、区。

无数的事实证明, 许多砷化物是自然界剧毒物质, 对植物、动物和人类有严重的危害, 科学上一直把砷列为污染元素。然而土壤中微量的砷, 不仅不妨碍植物生长, 有时对植物生长还有刺激作用, 并能降低果品酸度, 提高果品品质。

根据上述分析材料可以明显看出: 土壤中含砷量变化很大, 极大值比极小值要大15万倍。虽然, 99%的土壤样品, 其中含砷量不超过38mg/kg, 对动、植物生长、对人畜健康不会造成危害。然而, 也的确有少数土壤, 其含砷量竟达到626mg/kg和4441mg/kg。作者亲自采到的样品含砷3505mg/kg, 含砷量这么高必然会发生砷中毒现象。在科学上要研究砷的分布、土壤中砷的合理含量, 同时还要深究砷在农业生态系统中移动规律, 砷在食物链中的作用, 砷对动、植物生长发育的生理功能。

#### 四、砷广泛存在于食物链中

许多实验证明: 少量砷化物, 对某些植物生长有刺激作用。早在1939年Hurd-Karrer就观察到1mg/kg的砷酸盐或亚砷酸盐能刺激植物根系生长。1959年美国加利福尼亚大学柑桔实验站也观察到1mg/kg的砷化物对柑桔根系有刺激作用, 洛杉矶大学(1979)研究证明: 砷酸钾、砷酸钠能降低中国柑桔(Mandarin Orange)、葡萄柚(citrus Paradisi M)和柠檬(Citrus limon B)的酸度, 中国农业科学院邵阳红壤试验站1984年用200mg/kg的砷酸盐喷施柑桔叶面(挂果期), 能明显降低果品酸度, 提高糖酸比。

大量调查证明: 柑子、柚子、桔子的品质与土壤中砷含量在一定的联系; 湖南常宁白沙乡, 盛产“白沙柑子”(Citrus nobilis L)色泽鲜艳, 气味芳香, 酸甜可口, 为当地的名产, 行销国外; 广西“沙田柚”原产于湖南江永的“香柚”, 慈利的“金钱柚”, 品质很好, 早为社会所公认, 这些名产, 据分析都与土壤中含砷量较高有关, 不仅如此, 少量的砷对石刁柏(Asparagus officinalis)、马铃薯(Solanum tuberosum)、西红柿(Lycopersicon esculentum mice)、胡萝卜(Daucus carota L)、葡萄(Vitis vinifera L)都有良好的影响。刘更另、高素端, 用较大剂量的砷化物(CK, 100ppm, 500ppm)对水稻(Oryza sativa L)、宽叶雀稗(Paspalum thunbergii, Kunth ex Spreng)、空心菜(Ipomoea aquatica)、烟草(Nicotiana tabacum L.)、辣椒(Capsium frutescens L.)、苋菜(Amaranthus tricolor L.)、甘薯(Ipomoea batatas L.)、水花生(Alternanthera philoxeroides (Mart) Griseb)、花生(Arachis hypogaea L.)、生姜(Zingiber officinale Rose)等作物进行实验, 得到了以下结论: 在较肥沃的水稻土上, 不包括本底每公斤土壤施入砷100mg、500mg(亚砷酸钠配成), 在这种条件下, 各种植物都生长, 在每公斤土壤中加入砷100mg的处理, 10种植物都能生长发育, 有3种略有增产, 2种平产, 5种植物减产, 其中苋菜减产最多(33.1%)。在土中加入500mg砷的处理10种植物中有9种减产。唯有甘薯减产不明显, 但甘薯茎叶中特别是细根中含砷量明显升高, 薯块变形。土壤中究竟多少含砷量合适? 土壤不同、植物种类不同而有区别, 特别是植物的不同部位, 含砷量明显不同, 一般说根系含砷量最高, 茎叶次之, 籽实最少。

表2 所列的分析数据说明：任何一种植物根系中的砷含量都大大高于茎叶中的砷含量。植物不同，植物的含砷量相差很大，茎叶含砷量相差11~200倍，根系含砷量相差200~621倍。供试的9种植物中以水稻的含砷量最高，每公斤茎叶高的达到45.5mg，每公斤根系最高可达3851.9mg。特别值得注意的是：在未加处理的土壤上，水稻的茎叶含量竟达到120mg/kg。宽叶雀稗体内的含砷量相对比较少。无论是在普通土壤中或者含砷量较高的土壤中都是一样。

水稻和宽叶雀稗都属禾本科植物，一个水生，一个旱生，在对砷的反应上，明显不同。在土壤中加入砷100mg/kg的处理中，雀稗的产量还略有增加，在加砷500mg/kg的处理中，只减产9%，可以认为：宽叶雀稗生长在含砷100mg/kg的土壤中是适宜的，植株体内含砷量2.6~2.9mg/kg也是合适的。

表2 土壤中不同浓度的砷对植物产量的影响

| 植物名称 | 计量部位  | CK    | 100mg/kg |       | 500mg/kg |       |
|------|-------|-------|----------|-------|----------|-------|
|      |       | g/盆   | g/盆为对照的% |       | g/盆为对照的% |       |
| 烟 草  | 茎叶鲜重  | 96.3  | 111.5    | 115.2 | 37.5     | 38.7  |
| 空心菜  | 茎叶鲜重  | 142.8 | 157.3    | 110.2 | 77.5     | 54.3  |
| 雀稗草  | 茎叶鲜重  | 123.0 | 134.8    | 109.6 | 11.2     | 9.1   |
| 水花生  | 茎叶鲜重  | 195.3 | 188.2    | 96.4  | 112.7    | 57.7  |
| 辣 椒  | 鲜 果 重 | 158.3 | 150.5    | 95.1  | 42.0     | 26.7  |
| 水 稻  | 籽粒干重  | 42.1  | 38.5     | 91.4  | 0.0      | 0.0   |
| 花 生  | 籽粒干重  | 23.0  | 21.0     | 91.3  | 7.8      | 33.9  |
| 生 姜  | 块根干重  | 39.8  | 30.7     | 77.1  | 9.3      | 23.4  |
| 甘 薯  | 块根干重  | 263.8 | 218.4    | 82.8  | 277.5    | 105.2 |
| 苋 菜  | 茎叶鲜重  | 133.8 | 90.8     | 67.9  | 21.0     | 15.7  |

• 本表数据为1984年实验材料三次重复平均所得

水稻对砷的反应不同，在我们的实验里，水稻植株体内的含砷量与土壤含量成明显的正相关，其产量（干物重）成明显反相关，植株体内砷的累积量越大，水稻减产越严重，直至全部死亡。特别值得注意的是：只有水稻植株体内特别是根系内的含砷量高于土壤中的含砷量，在未施入砷的对照土壤中水稻根系含砷量也达到了120mg/kg。可以认为：水稻根系对土壤中的砷有一种富集作用。其富集的机理，可以用水稻根系含铁离子较多来解释，因为砷元素属于亲铁元素。

根据Rankama 和 Sahama 对元素的地球化学分类，砷不属于亲生物元素，而是亲铁元素，但砷能在生物体内积累，例如海水中砷的含量为0.05~5μg/L，而海洋植物含砷量为1~2mg/kg（干重），海洋动物含砷量为0.1~50mg/kg，相差几百倍。虾和龙虾三甲基砷浓度可高达200mg/kg，这些实际例子说明，砷在食物链中是肯定的。

表3 资料表明：上述9种植物，植株体内各部分都含有砷元素是肯定的。

总之，无论是陆地动植物，还是海洋动植物，普通都含有砷元素，因此，砷存留在生态系统中，通过各种渠道进入食物链是肯定的。

自然界含砷的矿物有38种，含砷的无机化合物有21种。长期以来，人们都把含砷的物质和毒药看成同义词，所以用它来作杀虫剂，灭菌剂、落叶剂，环保上把它列为污染元素。然而砷元素比起目前市场上宣传很多的硒元素来说，其毒性还要低些。近年来用大白鼠进行研究表明：砷还可能是人类必需的元素，一般食物中都含有少量的砷，这种含砷量很可能是有

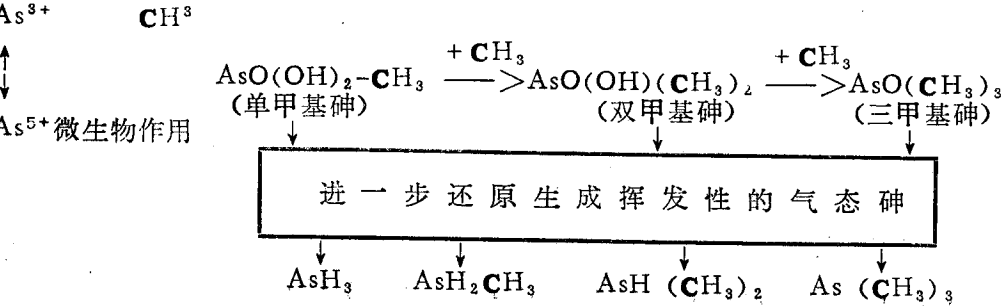
益的而不是有毒的。不仅如此：砷酸等有机砷化合物，现已被用来刺激禽类和生猪的生长。

表 3 不同植物体内砷的分布(mg/gk) 1988

| 处理    | 部位 | 水稻    | 空心菜   | 生姜    | 甘薯   | 烟草   | 苋菜   | 辣椒   | 花生   | 雀稗   | 砷含量幅 (mg/kg) |
|-------|----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| CK    | 茎叶 | 7.2   | 0.49  | 0.59  | 0.44 | 0    | 0    | 0.77 | 1.22 | 0.51 | 0~7.2        |
| 对照    | 根系 | 120.5 | 3.3   | 0.60  | 9.5  | 4.0  | 7.5  | 3.4  | 0.8  | 1.2  | 0.6~120.5    |
| 100   | 茎叶 | 22.4  | 4.6   | 2.5   | 1.04 | 0.97 | 0.11 | 4.2  | 1.26 | 2.61 | 0.11~22.4    |
| ppmAs | 根系 | 1231  | 21.4  | 22.4  | 30.0 | 19.0 | 22.3 | 13.0 | 3.8  | 2.9  | 2.9~1231.4   |
| 500   | 茎叶 | 45.5  | 44.4  | 14.2  | 3.9  | 11.8 | 8.0  | 30.4 | 7.0  | 5.4  | 3.9~45.5     |
| ppmAs | 根系 | 3852  | 442.6 | 331.3 | 141  | 133  | 112  | 107  | 50.2 | 6.2  | 6.2~3852     |

大家都知道，在食物链中、在动植物体内存在的元素，一般有三种类型：第一种类型是：该元素是植物生育所必需的，客观环境中存在很多，对动植物也是没有直接危害的。第二种类型：该元素是植物所必需的，但是最佳供给量的范围很狭窄，超过这个范围都可能引起危害。第三种类型的元素：在动植物体内存在，是不是动植物所必需的尚不清楚，但是少量存在时，对动植物不产生危害，甚至有些刺激作用，浓度过高就会产生毒害。很明显，砷元素属于第三种类型。所谓毒性 (toxicity) 或称为胁迫性 (stress) 都有一个量的概念，超过这个界线，叫做有毒；不超过这个界线，叫做无毒。这个界线叫做临界值。临界值是具体的、有条件的。对某些生物包括动物、植物、微生物它是临界值；而对另一些生物它又不是临界值；任何毒性的临界值受植物的抗性和耐性的影响，同时还受环境条件的制约，土壤的缓冲性就是一个明显的例子。甘薯蔓在含砷浓度0, 0.5, 1, 2, 5, 10ppm水溶液中培养，在0.5mg/kg的亚砷酸盐的处理中，甘薯生长缓慢，茎叶上有少量褐色斑点，亚硝酸盐超过0.5 mg/kg的各处理，甘薯都不能生长。然而在土壤中，同一品种的甘薯，在含砷量500mg/kg的条件下，甘薯生长良好，比对照土壤还略有增产（增产5.3%），甘薯根、茎、叶中含砷量比对照土壤中其茎叶的含砷量还高8~9倍，说明土壤缓冲的明显作用。

土壤对砷毒的缓冲性，原因在于土壤胶体的吸附作用，特别是Fe<sup>3+</sup>，和其他Fe<sup>2+</sup>的存在，对亲Fe<sup>2+</sup>元素砷，有很大的亲和力，另一个很大的原因在于砷在土壤中形态的多样性和形态转化的复杂性。普遍认为砷在土壤中的形态有无机As<sup>3+</sup>和As<sup>5+</sup>，但是还有methanearsonic acid和Cacidylic acid，还有气态砷，在土壤中这几种形态砷混在一起，非常复杂。在不同的基质中砷的形态、功能、作用、转化不同。转化过程非常复杂。土壤微生物中的真菌、细菌（某些种）可以将无机态砷甲基化 (mettlylate)，从而转化成有机态的甲基砷。甲基砷的进一步生物还原和甲基化，可以生成气态砷或气态甲基砷，这样可使砷从土壤水中发挥到大气中，整个过程可简略为：



实际上,土壤中砷的转化过程非常复杂,各种砷的变化机理也不很清楚,多种微生物能将液态的砷转化为气态砷,这种气态砷与其他形态砷相比,毒性更强。有些动物能将甲基砷转化为有机态砷,在动植物体内存留,在尿液中有的检测出有机砷存在。

## 五、结 语

砷的变化非常复杂,但是不外乎氧化与还原,化学变化与生物化学变化,在土壤中与磷一样价态不同,吸附解吸的情况不一样,含砷矿物和无机砷化物性质不同,毒性很不一样,祖国医学在几千年的实践中积累了许多宝贵的经验,对砷元素、含砷矿物、无机砷化物在不同的基质中有许多深刻的、独特的见解与认识。归纳起来有以下三点:

### (一) 砷元素、含砷矿物、砷化物对人畜剧毒

由于砷元素、含砷矿物、砷化物对人畜剧毒,因此用药时非常小心谨慎,禁止直接内服,对老弱体衰孕妇慎用,每次服药的数量加以严格限制。并伴有缓解药品,砷化物拌几十倍明矾、铁粉、淘米水、绿豆汤等调和做成药丸以缓解毒性,服用时,规定要饮用凉水或绿豆汤,以防中毒。

### (二) 砷化合燥热特性

利用砷化物燥热特性,医治寒腿、寒疾、风湿、医腰骨痛、治哮喘、防痰壅。

### (三) 砷化物毒性

利用砷化物的毒性,以毒攻毒,医治皮肤病、皮肤癌,牛皮癣、痔疮等,并能消炎防肿,医治梅毒和恶性肿瘤。

### (四) 砷化物的医药作用

利用有机砷化物能活血化瘀、宁心安神、防治血液病的道理,中医用砷化物防治心血管病。

据分析,我国同仁堂等药店医治心血管病的丹参片、大活络丹,华佗再造丸、速效救心丸、愈风宁心丸等等对心血管病都有奇效,其中都含有砷元素,最高达到90mg/kg和105mg/kg。超过国家食物含砷的允许值450~525倍。但是医疗效果是肯定的,举世公认的。

不仅如此,畜牧饲料部门,利用砷元素能宁心安神的道理,在配合饲料中加入少量的砷酸和有机砷促进禽类生长,增加生猪嗜睡性,减少生猪活动消耗能量的缺点,结果使生猪长膘多、增重快、饲料报酬高,变成了一条成功的经验。

某些砷化物能扩张微血管,有利于血红蛋白生成和血液流通,能保持面色红润,能达到美容和永葆青春的效果。

总之,砷元素、含砷矿物、有机、无机砷化物在某些性质上与磷元素有相似之处。超过一定数量,对人、对牲畜、对动植物有毒害作用。微量存在对动植物有一定程度的刺激作用。特别是它能医治许多疾病,对人类的健康有极其重要的意义。按照过去的标准,砷是不是人和动物所必需的元素尚待深入研究,然而从我国几千年的实践看,从砷对活血、安神、化瘀、扩张微血管的作用看,砷很可能是老年人延年益寿所必需的元素。

## 主 要 参 考 文 献

1. 李勋农 土壤学报, V.19, NO.4: 360~365, 1982
2. 杨学义 土壤, V.15, NO.2: 51~54
3. 刘更另, 高素端 土壤通报, 18(5): 231~233, 1987
4. 刘更另等 土壤中砷对植物生长的影响—南方砷毒田的研究 V(18) 4: 9~16, 1987

5. 刘更另 土壤学报, V(29) 8, 251~256. 1992
6. 陈同斌 土壤中的砷吸附特点及其与水稻生长发育的关系, 博士论文, 中国农业科学院图书馆
7. A. H. 恩斯明格等《营养素》P 1~4, 181~196, 204~205, 农业出版社, 1983
8. Liebig G. F. Bradford G. R, Vantelow A. P. Soil Science. Vol88. NO. 1~6, 342~340
9. Liebig G. F. Jr. 1973. Arsenic in H. D. Chapman (ed). Diagnostic criteria for plants and soils p18~23
10. Jacop L. w. D. R. Keeney. and L. M. Walsh. 197. OJournal Vol. 62. p588~591
11. Hinrich L Bong. 1978, Soil Science Vol. 121. No. 2, 125~127
12. Lie Gengling and Gao Suduan. 1988 Congress Centran Hanburg(IV), 368~369



# 高海拔地区缺氧缺硒对肉鸡生长的影响及补硒效果的研究

苏琪\* 刘强\*\* 谢生豪\*\* 段玉琴\* 陆肇海\*

( \* 中国农业科学院畜牧研究所)

( \*\* 青海省畜牧科学院畜牧研究所)

## 提 要

利用青海高原不同海拔高度(不同氧分压)的自然条件,研究了肉用仔鸡的腹水症与硒的关系。在2300、3000、3600和3900m的海拔高度,用低硒或补硒日粮饲喂AA肉用仔鸡,结果发现随海拔高度增加,仔鸡腹水症死亡率增加,增重降低。经补硒后,显著( $p < 0.01$ )减少增重的降低和腹水症的死亡率。雏鸡的血液、心、肝和胰的硒含量测定结果表明,高海拔缺氧缺硒条件下的血硒水平仅为正常值的1/10,补硒后,血硒含量猛增约13~23倍。进一步分析血液中的有形成分,补硒后能减轻红细胞数和血红蛋白含量的缺氧代偿性的压力,异嗜性白细胞数减少,淋巴细胞增加,表明补硒提高了血液的携氧能力和免疫能力。血清淀粉酶的含量明显( $p < 0.05$ )降低,表明补硒对胰脏也有保护作用。

**关键词:** 缺氧代偿性, 异嗜性白细胞、氧分压

## 前 言

据文献报道,高海拔缺氧环境可发生肉鸡腹水综合症,造成严重死亡,被称作“高海拔病”如墨西哥曾已造成平均每群鸡的死亡损失达15%,有时高达30%。近年来这种病症已蔓延到非高海拔的国家、在集约化饲养的封闭鸡舍中常有发生,我国很多省区已有不少报道,这种以腹水增多为主要特征的综合病症,可能系腹性缺氧引起,当前已成为世界上肉鸡饲养业上的严重问题,是随着肉鸡业快速发展新品种的不断增加,集约化生产水平不断提高从而使营养水平强化,以及药物性添加剂失衡等因素所引起的新问题。

研究证明,缺硒或缺维生素E的动物,由于机体抗氧化功能力的下降,导致过氧化物积累而损坏生物膜结构,使通透性能改变,易发生渗出液,如“渗出性素质病”,往往还伴随一些腹腔积液,水肿等症状〔4〕,与缺氧发生症状非常相似,80年代还发现,约占我国面积 $1/4$ 的西部高原(海拔 $> 1500\text{m}$ )广大地区,均存在着严重缺硒问题。〔5〕因此进一步研究硒和氧两个元素对动物的双重影响,具有重要现实意义。

## 一、试验材料与方法

1992年,本项目由中国农业科学院,和青海省畜牧兽医科学院共同协作,在当地选择了海拔高度分别为2300,3000,3600和3900m的自然区(用海拔仪进行测量),作为不同缺氧程度的天然试验点,并使用当地生产的小麦、蚕豆、植物油,配合一些添加剂,按肉鸡饲养标准配成低硒基础日粮,营养水平为:代谢能为 $2.98\text{兆卡/千克}$ ;粗蛋白为20.6%;蛋氨酸为0.41%;

赖氨酸为1.29%，钙为0.88%，磷为0.72%，硒为0.01PPm。另外在此日粮的基础上仅添加亚硒酸钠，使日粮含硒量达到0.50PPm，配成补硒日粮，这两种日粮作为试验研究使用。

选用对缺氧和缺硒均较敏感的AA肉鸡品种，作为试验动物。通过在不同海拔高度试验点，分别饲喂低硒和补硒日粮进行饲养试验，结合实验室分析测定，以揭示不同程度的自然缺氧与缺硒对动物的危害，以及补硒对动物生长的影响。

## 二、试验结果

### (一) 不同海拔高度与补硒对肉鸡生长影响

#### 1. 海拔升高、缺氧加剧，可严重抑制肉鸡生长。

两周龄肉鸡在不同海拔高度的试验点，进行为期三周的补硒及不补硒的试验，对生长测定结果列于表1。

表1 海拔高度对肉鸡生长的影响及补硒效果

| 海拔(米) | 空气中氧分压 | 试验鸡数(只) | 35 日 龄 体 重 (克)              |                             |
|-------|--------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
|       |        |         | 未 补 硒                       | 补 硒                         |
| 2300  | 121    | 60      | 766 ± 44 <sup>a</sup> (100) | 840 ± 21 <sup>d</sup> (107) |
| 3000  | 111    | 60      | 624 ± 41 <sup>b</sup> (100) | 741 ± 6 <sup>e</sup> (119)  |
| 3900  | 99     | 60      | 544 ± 15 <sup>c</sup> (100) | 662 ± 36 <sup>f</sup> (122) |

注：括弧中数字表示补硒与未补硒的相对重量，右上角字母不同者，表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表1可见，随着海拔高度上升，缺氧加剧，空气中氧分压从121下降到99，未补硒与补硒鸡的体重均显著下降29.8%和21.2%，经统计，回归表明，不同海拔高度对体重影响是极显著的( $p < 0.01$ )，如设 $x$ 为海拔高度， $y$ 为体重，所建立的两个直线回归方程： $y$ 体重(补硒) =  $1085 - 0.11x$  ( $r = 0.99$ )； $y$ 体重(未补硒) =  $1063 - 0.13x$  ( $r = 0.97$ )，表明不仅海拔高度与肉鸡体重之间有显著的线性相关。补硒与不补硒对肉鸡的体重有明显的影响，说明了海拔高度不同，所造成的缺氧条件是抑制生长的重要因素，而补硒可以缓和缺氧所造成的损害。

例如海拔2300米处，补硒提高体重7%，3000米处提高19%，3900米处提高22%。

### (二) 不同海拔高度与补硒对肉鸡腹水症的发病及死亡率的影响规律

#### 1. 随海拔高度的升高，肉鸡腹水症发病率增加，死亡率上升。

不同海拔高度对补硒与未补硒试验鸡群发生腹水症死亡的统计结果见表2

表2 不同海拔高度对补硒和未补硒鸡腹水症死亡率的影响

| 海拔(m) | 试验鸡数(只) | 35日龄腹水症死亡率(%) |            |
|-------|---------|---------------|------------|
|       |         | 未 补 硒         | 补 硒        |
| 2300  | 60      | 6.7(100)      | 6.7(100)   |
| 3000  | 60      | 16.7(100)     | 15.0(89.5) |
| 3600  | 90      | 28.8(100)     | 20.0(69.4) |
| 3900  | 60      | 53.3(100)     | 31.7(59.5) |

注：括号中数字表示相对数

由结果可见，海拔高度从2300米上升到3900米处，未补硒鸡与补硒鸡都发生死亡率增高，前者上升近8倍，后者为4.7倍，表明了缺氧程度差异可造成肉鸡死亡危害的严重性。

从剖检结果来看，死亡鸡都出现轻重程度不一的腹水症症状，如腹腔内充满淡黄色液体，肝脏肿大，心包积液增多，心肌松弛，心壁变薄，胰脏色泽浅白，萎缩及变性等等。经组织切片光镜观察结果，主要是水肿、细胞萎缩，坏死。这些症状的发生程度也是随海拔的升高而加剧的。反映了这些症状的发生和发展，与缺氧程度呈一致性趋势。

2. 相同海拔高度条件下，补硒可减少肉鸡腹水症死亡率。表中结果表明，在同一海拔高度，补硒与未补硒鸡的死亡率发生明显差异，3000米处补硒可减少死亡率10.5%，3600米处减少30.6%，3900米处减少40.5%。说明缺氧越严重，补硒减少死亡危害的作用就越突出。

### (三) 补硒显著提高肉鸡血液及各种组织中硒含量分布

对各海拔高度的鸡群采样，并使用2, 3-二氨基萘荧光法测定硒含量的结果列于表3。

表3 肉鸡各组织器官中含硒量测定 (干样、 $\mu\text{g/g}$ )

| 海拔高度(米) | 组 别   | 肝                 | 心                 | 胰                 | 血                 |
|---------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2300    | 未补硒组  | $0.199 \pm 0.015$ | $0.145 \pm 0.003$ | $0.105 \pm 0.019$ | $0.010 \pm 0.006$ |
|         | 补 硒 组 | $1.715 \pm 0.324$ | $1.340 \pm 0.411$ | $0.695 \pm 0.061$ | $0.170 \pm 0.050$ |
| 3000    | 未补硒组  | $0.109 \pm 0.011$ | $0.082 \pm 0.006$ | $0.079 \pm 0.008$ | $0.011 \pm 0.003$ |
|         | 补 硒 组 | $2.365 \pm 0.309$ | $1.039 \pm 0.157$ | $0.967 \pm 0.153$ | $0.163 \pm 0.026$ |
| 3600    | 未补硒组  | $0.158 \pm 0.017$ | $0.125 \pm 0.006$ | $0.140 \pm 0.017$ | $0.008 \pm 0.017$ |
|         | 补 硒 组 | $1.650 \pm 0.180$ | $0.961 \pm 0.104$ | $0.773 \pm 0.090$ | $0.159 \pm 0.017$ |
| 3900    | 未补硒组  | $0.154 \pm 0.030$ | $0.093 \pm 0.013$ | $0.102 \pm 0.024$ | $0.010 \pm 0.002$ |
|         | 补 硒 组 | $2.357 \pm 0.156$ | $1.115 \pm 0.107$ | $1.929 \pm 0.267$ | $0.249 \pm 0.052$ |

注：样品数 $n=5$ ，结果为 $\bar{x} \pm S$ 、D

由表3看到，补硒鸡的肝、心、胰等脏器及血液中的含硒量，明显高于未补硒鸡，血硒含量平均提高约19倍，心提高约10倍，肝提高约14倍，胰提高约10倍，差异极显著( $p < 0.01$ )。但海拔高度的变化对同样的补硒或不补硒鸡组织中硒含量未明显发生影响( $P < 0.05$ )。

试验证明：由于血液、心、肝和胰脏中的硒水平经补硒后都有大幅度提高，而与谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性成正比，因此各重要脏器中的GSH-Px活性必然也显著提高，从而增强了机体的免疫功能及清除氧自由基的功能，提高体内抗氧化物侵害的能力，起到保持各种膜结构的完整性的功效，保护细胞膜的渗透性能完好，这是降低腹水症发生，减少死亡主要原因之一。

### (四) 不同海拔高度与补硒对血液中红细胞数和血红蛋白含量的影响

1. 随着海拔升高，缺氧加剧，可造成动物体代偿性的红细胞数和血红蛋白含量增加。

对不同海拔高度肉鸡血液中血红蛋白含量和红细胞数的测定结果列表4。

红细胞的主要功能是运输氧和 $\text{CO}_2$ ，这个运输任务的主要承担者就是红细胞中的血红蛋白，在高原缺氧的环境条件下，动物很容易发生高原性红细胞代偿性增多症，来补偿带氧量的下降，因此增加一定血红蛋白的量，可以说是动物机体对缺氧的一种保护性的应激反应。但是增加太多，往往又影响到血液的粘稠度和流动性的改变，可导致心脏功能负荷加大，血压上升，造成血管渗漏，增加发生心肌衰竭及腹水症水肿病症。