

# 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系<sup>\*</sup>

刘 勤<sup>\*\*</sup> 张 新 赵言文 胡正义 王校常 曹志洪

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**【摘要】** 综述了土壤中 Ca、Mg、S、Zn、Fe 等微量营养元素及 Se、I 等有益元素的丰缺情况, 概述了矿质营养元素和有机物质对农产品品质的影响及与人畜健康的关系, 展望了今后应予以加强的研究方向, 为进一步开展土壤植物营养与产品品质的研究提供参考。

**关键词** 土壤 矿质营养元素 农产品品质 人畜健康

**文章编号** 1001 - 9332(2001)04 - 0623 - 04 **中图分类号** Q142.3 **文献标识码** A

**Relationships between soil-plant nutrition, quality of agricultural products and human and livestock health.** LIU Qin, ZHANG Xin, ZHAO Yanwen, HU Zhengyi, WANG Xiaochang and CAO Zhihong (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008). - Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(4): 623 ~ 626.

The abundant and insufficient situation of essential elements such as calcium magnesium, sulphur, zinc and iron and beneficial elements such as selenium and iodine in soils was reviewed, and the influences of these elements and organic matter on the quality of agricultural products and human and livestock health were discussed. The trends of future research in the field of soil element science and plant nutrition, in particular, the quality of agricultural products were prospected.

**Key words** Soil, Mineral nutrient, Quality of agricultural products, Human and livestock health.

## 1 引言

随着人民生活水平的提高及粮食产量的不断增加, 农业生产正从以单一高产为目标向优质高产方向转变. 农产品质量特别是营养质量和健康质量日益受到重视. 农产品尤其是植物性食品是人体必需营养物质和有益物质不可缺少的重要来源. 产品中一旦缺少维生素、Ca、Zn、Fe、Se 等成分, 对人体健康将造成直接影响; 同样, 植物生长在工业或施肥造成的重金属污染环境中, 产品一旦进入食物链, 就会损害人体健康. 因此, 科学的土壤植物营养与施肥策略对提高农产品品质, 保障人体健康, 提高生存质量, 保护环境等都有重要的意义.

农产品品质标准是由诸多方面综合评价决定, 很大程度上取决于农产品被利用的目的. 例如马铃薯用于工业淀粉生产和直接食用显然不一样. 一般来说, 农产品品质所包括的因子应是: 1) 营养品质: 人体所必需的淀粉、糖、蛋白质、脂肪、氨基酸、维生素、矿质营养等成分含量的大小; 2) 健康品质: 与人体疾病(抗病、致病)有关的矿质元素及污染之重金属元素, 与保健有益的有机成分和有害的农药残留量之多寡; 3) 感官品质: 食品的色、香、味、气和外观形状给消费者的愉悦感; 4) 加工品质: 与碾磨、脱粒、烘烤、酿造、整形、包装、分类等产后加工工艺相适应的程度; 5) 市场品质: 耐贮性、软硬鲜嫩度、抗蒸发、抗霉变等市场要求的商品性质的优劣.

从土壤植物营养与施肥的角度来看, 农产品营养、健康、感官方面的品质与之最密切相关. 现代农业中, 化学肥料大量施用条件下, 迫切需要根据作物营养和代谢规律, 科学合理组配和运筹肥料, 调控产品品质, 以实现优质、高效农业的持续发

展, 提高人类健康水平.

## 2 植物营养施肥对农产品的品质效应及与人畜健康

### 2.1 矿质元素对产品品质的作用

#### 2.1.1 Ca、Mg、S 等中量营养元素

1) Ca Ca 是动物和植物必需的矿质营养元素, 也是一种生理调节物质. 它维持细胞壁和细胞膜的结构和功能, 是细胞内外信息传递的第二信使. 缺 Ca 使番茄发生脐腐病, 苹果发生苦痘病, 鸭梨黑心病等<sup>[8, 21]</sup>. 增加果实中 Ca 水平, 可明显抑制果实采后呼吸作用、乙烯释放和生理病害等, 提高果实贮藏品质<sup>[14]</sup>. 在人体内, 约有 99 % 的 Ca 集中于骨骼和牙齿, 其余则以游离型和结合型两种状态存在于软组织、细胞外液及血液中. Ca 对血液凝固、肌肉收缩、正常神经和膜结构完整及多种酶的结合都有重要作用<sup>[5]</sup>. 土壤、肥料中供给 Ca 不足时, 则粮食、果蔬等食品中的 Ca 含量下降, 对人、畜的健康不利. 对人体补 Ca, 动物性 Ca 和植物性 Ca 两者兼宜, 各有所长, 互相补充.

我国的食物、蔬菜及果品中 Ca 一般偏低, 施用 Ca 肥对提高籽粒中 Ca 含量的效果不明显, 而对叶菜类比较有效. 对于 Ca 在植物体中的转移利用、吸收运输的途径等还需深入研究, 急需培育筛选具有高效富 Ca 能力的作物品种.

2) Mg Mg 是叶绿素的组成成分, 参与蛋白质的合成, 且又是一些酶的结合体. 植物对 Mg 的需求得不到满足, 不仅显著减产, 而且影响产品的品质. 农作物对 Mg 的吸收量平均为

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999011802).

<sup>\*\*</sup> 通讯联系人.

2000 - 02 - 21 收稿, 2000 - 08 - 03 接受.

10~25 kg·hm<sup>-2</sup>. 块根类作物的需要量是禾谷类作物的 2 倍, 甜菜、马铃薯、水果和温室大棚作物易缺 Mg<sup>[5]</sup>. 人体所需的 Mg 可从多种食物中获得, 但粮食中 Mg 也是人体 Mg 的重要来源. 如精面粉、粗面粉 Mg 含量分别为 360 和 1400 μg·g<sup>-1</sup>, 而牛奶、鸡蛋含 Mg 为 120 μg·g<sup>-1</sup><sup>[5]</sup>. 饮食中 Mg 不足, 会造成约 13% 的人患缺 Mg 综合症. 当人长期处于紧张状态时, 吸收的 Mg 利用减少, 大部分重新排出体外. Mg 在人畜体内不会累积, 需要不断的补充<sup>[21]</sup>. 在缺 Mg 的土壤可通过施用适量的 Mg 肥, 来提高农产品中 Mg 的含量. 同时, 叶绿素的含量及胡萝卜素的含量也有提高.

3) S S 是植物仅次于 N、P、K 的第四大矿质养分元素, 又是人畜生命的必需元素. S 是蛋氨酸、胱氨酸、半胱氨酸等蛋白质组分. 蛋氨酸是人体 8 种必需氨基酸之一, (半)胱氨酸虽然不是食物中必需的, 但能部分代替人和动物对蛋氨酸的需求<sup>[20]</sup>. 缺 S 不仅使小麦减产, 而且也影响面粉中半胱氨酸的含量. 面粉中的半胱氨酸含量少, 则烘烤性能差, 面包发不起来. 豆类作物种子是人和动物重要的蛋白质来源, 如果蛋氨酸含量较低, 将大大降低其营养价值<sup>[6]</sup>. 豆子中不同贮藏蛋白含 S 氨基酸量差异很大, 缺 S 会降低 S 丰富蛋白质的合成, 显著增加 S 贫乏蛋白质含量<sup>[19, 23]</sup>. 合理施用 S 肥, 开辟我国丰富的 S 资源, 是目前我国土肥界正在进行的国内外合作研究的重要领域.

## 2.1.2 Zn、Fe 等微量元素

1) Zn Zn 是植物、动物及人生命活动不可或缺的微量元素. 土壤中微量元素含量基本决定了生活在该区域内人群的摄入水平、动物和植物体微量元素的基本含量. 土壤中全 Zn 含量一般仅在 3~790 μg·g<sup>-1</sup> 之间, 而对植物有效 Zn 则更少, 平均含量仅有 0.59~3.54 μg·g<sup>-1</sup>, 且受母质、成土过程、土壤质地、pH、Eh 和有机质含量等多种因子的影响<sup>[13]</sup>. 作物缺 Zn 不仅降低产量, 也使稻米、麦粒、玉米、蔬菜等 Zn 含量不足. 人体所需要的 Zn 主要由食物供给. 缺 Zn 与人体生长、免疫、生殖、大脑发育等有密切联系. 现已证明, 食物中 Zn 含量低, 人体吸收不到适量的 Zn, 会导致生长发育期的儿童食欲不振, 发育受阻, 智力不良等. 动脉硬化、肺癌、心肌梗塞等疾病都与体内 Zn 含量有关<sup>[30]</sup>.

食物中的 Zn 含量差别很大, 不仅与食物种类有关, 与加工状况也有较大影响, 因为大部分 Zn 位于小麦的麦麸和胚芽中. 动物产品和海产品 Zn 含量明显高于谷物. 我国的膳食结构与西方有明显的差别, 一般谷物食用较多, 因此, Zn 摄入不足的可能性更大. 通过合理施用 Zn 肥, 既提高产量, 又使食物中 Zn 含量增加, 改善了食品的品质, 有利于矫正人畜的缺 Zn 综合症状. 土壤施 20 kg·hm<sup>-2</sup> 或叶面喷施 0.5~1.0 kg·hm<sup>-2</sup> Zn 都能显著提高大麦、小麦叶片和籽粒的 Zn 含量, 满足植物和动物对 Zn 营养需求<sup>[7]</sup>. 伊朗在 7 个省 15 个农场施用 ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (40 kg·hm<sup>-2</sup>), 产量增加 20%~25%, 籽粒中 Zn 含量从对照的 25 μg·g<sup>-1</sup> 增加到 35 μg·g<sup>-1</sup>, 同时增加了蛋白质含量<sup>[17]</sup>.

不同作物、不同基因型的栽培品种对 Zn 的吸收效率不同. 积极培育高效利用土壤中 Zn 的新品种是今后土壤植物营养科

学工作者与遗传育种学家共同的任务. 除了稻米中 Zn 水平影响人体 Zn 摄入量外, 日常饮食中蛋白质量和蛋白质类型也对人体 Zn 营养有重要影响<sup>[24]</sup>.

2) Fe Fe 是地球最丰富的元素之一, 土壤中平均含 Fe 量为 1%~4%, 但绝大多数在含 Fe 的原生及次生矿物晶格中. 风化过程中释放的 Fe 又很快被氧化物或水化氧化物沉淀, 因此, 土壤中对植物有效的 Fe 含量并不高. 虽然植物所需的 Fe 很有限, 但缺 Fe 在生产上很普遍, 特别是在石灰性土壤.

由于 Fe 在土壤和植株内很难移动, 缺 Fe 失绿症较难以矫正. 施用无机 Fe 盐植株的吸收效果很差, 而应用螯合态 Fe 则土施、叶施效果都较好. 人体需要的 Fe 主要来自食物, 并以叶类蔬菜和粮食中提供的数量为多. 农产品中 Fe 素不足, 极易造成人和动物的缺 Fe. 人缺 Fe 易得贫血症, 而且与心脏病、心血管病、高血压、脑神经系列疾病等密切相关. 缺 Fe 症的矫正和预防最好方法是膳食补充 Fe. 从食物中补 Fe 也是使人健康长寿的重要研究内容.

植物中 Fe 的含量一般在 50~300 μg·g<sup>-1</sup> (干重) 之间, 稻、玉米的含 Fe 量相对较低, 为 60~180 μg·g<sup>-1</sup>, 秸秆中的含 Fe 量大于籽粒和谷物中的含量. 筛选吸 Fe 能力强、籽粒累积量高的谷物品种, 将有助于改善人类的 Fe 营养. 图 1 表明, 不同基因型水稻品系, 稻米中 Fe 含量相差较大, 平均含量为 11.9 mg·kg<sup>-1</sup>, 变幅为痕量至 31.8 mg·kg<sup>-1</sup>, 最高为 31.8 mg·kg<sup>-1</sup>. 这为遗传育种和生产优质保健米提供了参考.

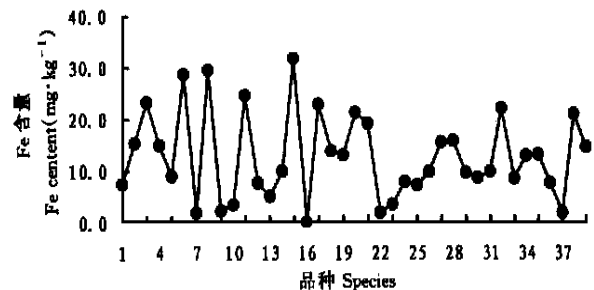


图 1 浙江省 42 个品系稻米中 Fe 含量的变化 (硝酸+双氧水湿消化, ICP 测定)

Fig. 1 Iron content of 42 rice varieties produced in Zhejiang Province.

## 2.1.3 植物有益人畜必需的 Se、I 等营养元素

1) Se 1817 年瑞典化学家 Berzelius 发现了元素 Se. 1957 年, 人们证实 Se 是动物必需的微量元素. 目前人们对 Se 作为植物必需营养元素的兴趣日趋增多, 获得了许多实验证据, 但仍无定论.

低浓度 Se 对农作物生长有刺激作用, 少量的 Se 能促进 Se 积聚植物的生长, 而强烈抑制 Se 非积聚植物的生长, 而 Se 过量则对植物生长产生毒害<sup>[22]</sup>. 贫 Se 或缺 Se 的水稻土壤或叶面喷施微量 Se, 一般水稻单产可提高 5%~8%, 且能保护水稻细胞膜, 降低电解质外渗率, 提高植物体内脯氨酸与束缚水含量, 束缚水与自由水比值升高, 水稻的抗逆能力增强<sup>[25, 26]</sup>. Se 的施用能明显改善产品的营养质量和感官质量. 马铃薯施以 1.5 或 2.5 μg·g<sup>-1</sup> 的 Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 后, 其配糖碱和 NO<sub>3</sub>-N 的含量显著降低, 且蛋白质中的氨基酸含量升高而游离的氨基酸含量降

低<sup>[18]</sup>。小麦施 Se 后,籽粒中多种氨基酸含量增加,其中胱氨酸含量增加最多<sup>[3]</sup>。葡萄糖 Se,糖含量提高 0.4%,可滴定酸度降低 0.26g L<sup>-1</sup><sup>[27]</sup>。

人类有 40 余种疾病与低 Se 有关。我国有 22 个省市的大部分或部分地区缺 Se。土壤-水-植物-动物-人系统中的 Se 密切联系。缺 Se 是克山病(Keshan)发病的一个基本因素。我国大部分病点粮食 Se 含量在 25μg·g<sup>-1</sup>以下,而含量达到 40μg·g<sup>-1</sup>以上,则基本无克山病流行(表 1)<sup>[10]</sup>。

表 1 克山病病带与非病带粮食 Se 含量(<0.001)

Table 1 Concentration of Se in grains from Keshan regions and disease-free regions(μg·g<sup>-1</sup>)

	玉米 Maize	水稻 Rice	小麦 Wheat
西北非病带 <sup>1)</sup>	49.5	87.3	106.2
东南非病带 <sup>2)</sup>	53.4	63.7	51.9
病带 <sup>3)</sup>	15.9	20.8	18.4

1) Northwest disease-free regions, 2) Southeast disease-free regions, 3) Disease regions.

Se 与癌症的关系近年来引起了人们的极大兴趣。人们从多方面广泛探讨了 Se 与癌的关系,结果表明,缺 Se 与致癌有一定的关系,但其确切机理仍不清楚<sup>[28]</sup>。浙江嘉善土壤中有效 Se 含量与该县大肠癌发病率有显著的等级相关( $r_s = -0.535$ , <0.05)。江西省有 30 个县土壤 Se 浓度与结肠癌死亡率呈等级相关( $r_s = -0.451$ , <0.01)。

我国土壤含 Se 量变化很大,一般为 100~2000μg·kg<sup>-1</sup>,平均为 300μg·kg<sup>-1</sup>。但湖北的恩施、陕西的紫阳为高 Se 地区。浙江省嘉善县土壤耕层含 Se 量仅有 10μg·kg<sup>-1</sup>,远低于正常范围,而该县稻米之平均含 Se 量为 17~37μg·kg<sup>-1</sup>,有 9 个乡缺 Se(25~40μg·kg<sup>-1</sup>),7 个乡严重缺 Se(25μg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[12]</sup>。稻米含 Se 量与大肠癌发病率呈等级相关( $r_s = -0.543$ , <0.05)。

Se 具有非常敏感的生物功能,人体及动物对 Se 的需要甚微,但又不能太多。缺少-正常(营养)-毒害的浓度一般只差几个 μg·g<sup>-1</sup>(按进食量计)。Allaway<sup>[11]</sup>认为,人、畜的食物与饲料中,Se 含量要控制在 0.1~1μg·g<sup>-1</sup>之间。Burk<sup>[2]</sup>认为,进食的 Se 量在 50~200μg·kg<sup>-1</sup>为宜。因此,Se 肥的施用必须非常小心!

Se 缺乏症的人为干预中,Se 注射或直接添加到饲料有其缺点,如不易混匀,不易控制安全用量等。因此,提高植物及其产品 Se 含量,通过食物链传递,预防人畜 Se 缺乏症是十分重要和安全的措施。土壤施用 Se 肥,增加作物 Se 含量,并使家畜吸收天然的有机 Se 的方法在新西兰、芬兰等国已广泛应用。芬兰生产干草、谷物饲料时,土壤施用 16mg·kg<sup>-1</sup>的 Se 肥,第二年乳制品、面粉、牛肉等 Se 水平明显提高,人血 Se 水平也提高<sup>[16]</sup>。

粮食作物通过土壤或根外供给 Se 营养,一方面增强了植株抗逆能力,提高产量,同时可提高氨基酸含量,改善营养质量;另一方面,显著增加稻米 Se 含量,提高产品健康品质<sup>[17,18]</sup>,有助于保障人体健康。因为稻米食用人群更广,食用时间持续,符合人体 Se 代谢特点,且补 Se 成本更低。另外,植物 Se 的生物利用率高,其中的有机 Se 比无机 Se 更安全有效。小麦、玉米喷施亚硒酸钠,显著提高籽实中氨基酸态 Se 含量,有利于动物和人体的安全吸收<sup>[41]</sup>。

2) I I 是人畜必需的微量元素。地球上 I 分布具有明显规律。一般深山区少于半山区,半山区少于平原,平原少于沿海。土壤中 I 含量约为 0.1~25μg·g<sup>-1</sup>,平均为 1~5μg·g<sup>-1</sup>。富含有机质和粘土颗粒的土壤含 I 量明显高于有机质较少、质地较轻的土壤。土壤中的 I 存在形态主要有碘化物、碘酸盐、硅酸络合碘、三氧化二碘络合物、粘土矿物固定态碘、有机束缚态碘和元素 I。其中碘化物、碘酸盐和元素 I 对植物、土壤动物和微生物以及人都有效。I 在植物中广泛分布,平均含量为 0.25~1.45μg·g<sup>-1</sup><sup>[27]</sup>。I 是某些酶的组分,影响光合作用、呼吸与碳水化合物代谢,而且促进抗病。施用 I 肥(KI、智利硝石等),一般能提高植物 I 含量,有的 I 含量能提高 100 倍以上。1990 年,在新昌的香料烟上喷施 KI,使植株增高,叶片数增加,产量增加 7%,烟叶总糖比对照高 14%,烟碱亦有显著上升<sup>[9]</sup>。新疆和田在水稻灌水中加 I,使水稻增产 17%。稻米、稻草、糠的含 I 量提高,使当地奶牛的牛奶增产,使人畜的地方性甲状腺肿、地克病大大下降,引起了有关各界的注意<sup>[9]</sup>。

I 有可能是植物生长的必需元素。但由于空气、水和土壤中都含有微量的 I,一般已能满足植物生长的需要。大多数精密实验室都位于沿海,过去一直未能确定 I 对植物的必需性,估计是由于空气、水等介质中含有的微量 I 对实验的干扰。新疆南部位于大陆的中心,四周都远离海洋,是验证 I 对植物必需性的理想地区。和田水稻试验的增产作用也许有一定道理。

WHO 认为,全球有 8~10 亿人生活在缺 I 地区,有 2 亿多地方性甲状腺肿病患者,570 万地克病患者,其中我国有 4 亿人口生活在缺 I 区<sup>[11]</sup>。我国已承诺在 2000 年消除 I 缺乏病(IDD, Iodine deficiency disorders)。IDD 的矫正主要是食盐加 I。另外还有口服碘油、碘化食品、碘化水等<sup>[7]</sup>。不同国家推荐每日 I 摄入量不同,一般是 100~200μg。在稳定的条件下,人体排出的 I 等于摄入的 I,I 在人体内不蓄积。人体内的 I 有 80%~90%来自于食物,饮食是 I 的主要来源。欧美谷物和水果中分别含 I 25~40 和 10~20μg·kg<sup>-1</sup>,而日本较高,谷物含 I 达 167μg·kg<sup>-1</sup>以上<sup>[29]</sup>。研究表明,各种食物中的 I 含量差异很大,一方面为我们合理的饮食提供了参考,另一方面,仅吃普通谷物、豆类、蔬菜、水果、牛奶等食品的进 I 量不能满足人的需求<sup>[15]</sup>。国家控制 I 缺乏病理学会(ICCIDD)在 1994 年的声明中指出:“人摄入 I 的安全范围很大,从医学角度讲,每人每天摄入 1000μg 的 I 都是安全的”<sup>[29]</sup>。因此,在坚持推广 I 盐的同时,通过试验研究,提出以土壤肥料管理等办法,来提高严重缺 I 地区这些主食品及饲料中的 I 含量,是经济、安全、科学的补碘方法。

## 2.2 有机物质的作用

2.2.1 氨基酸 氨基酸作为植物有机营养早已被肯定,但对作物产量和品质的作用尚未深入研究。农业生产上一般把氨基酸添加到复合肥中去。施用氨基酸能明显提高一些农产品特别是经济作物的品质,如锦橙、桑叶、黄瓜等。

2.2.2 有机酸 有机酸(包括腐殖酸、低分子酸)对农产品品质的改善作用主要有 4 个方面:提高瓜果类(哈密瓜、西瓜、柑橘、梨等)果实中糖分、Vc 含量,降低总酸;增加马铃薯、番茄、黄瓜等蔬菜可食部分的糖分、Vc 和蛋白质含量,改善品味,耐贮藏;

提高甘蔗、甜菜含糖量,协调烟叶品质,提高上中等烟比例;提高谷物蛋白质和淀粉含量及花生含油量。近年来有机酸作为叶面肥得到了较广泛的应用,在改善产品品质方面起了很大作用。

2.2.3 生长调节物质 生长调节物质在影响水果、蔬菜、谷物品质方面也得到了应用。它们通过调节植物生长发育和代谢过程,从而影响物质的合成、分配,改善果实的着色、成熟、贮藏性,增加果实可食性及营养价值。

### 3 展 望

植物性产品品质的重要性越来越明显,营养学家正关注着植物性食品在人类健康中的作用。即使是以动物性食品为主的国家或民族,其所必需的营养元素的一半也来自植物。且植物性食品缺乏人体必需的矿质元素(如 Ca、Zn、Fe 等)。但有关土壤植物营养对农产品中矿质营养品质及人类健康影响的研究较少,今后应予以加强。这包括:1) 矿质营养元素(特别是人畜必需的 Ca、Zn、Fe、Se 等)在土壤中的有效性及其影响因子;2) 植物体控制根系吸收矿质营养元素的机理;3) 矿质营养元素在植物体内运输和籽粒累积规律及其调控;4) 植物营养施肥对农产品中矿质营养元素含量、形态及其生物有效性影响;5) 重金属、农药污染对农产品健康品质影响,特别是城市垃圾农用、城市近郊蔬菜地的重金属问题。另外在名特优农产品、绿色水果蔬菜、设施栽培产品等营养施肥与其产品质量方面也有很多工作要做,且有重要的社会和经济意义。

### 参考文献

- Allaway WH and Moore OP. 1988. Movement of physiological level of selenium from soil through plant to animal. *J Nutr*, **66**:411 ~ 488
- Burk RF. 1976. Trace Elements in Human Health and Disease. New York:Academic Press. 105
- Chen D *et al.* 1993. Effect of applying selenium fertilizer to improve soil and increase selenium level in food for prevention and treatment of Kaschin-Beck disease. *J Environ Sci*, **5**(3):299 ~ 309
- Cui J-B(崔剑波), Yin Z-H(尹昭汉). 1993. Influence of supplemented selenium on chemical forms of selenium in crop seeds and their quality. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **4**(3):303 ~ 307(in Chinese)
- Dai Y-S(戴有盛). 1994. Food Biochemistry and Nutrient. Beijing: Science Press. 149 ~ 159 (in Chinese)
- Friedman M. 1996. Nutritional value of proteins from different food sources: a review. *J Agric Chem*, **44**:6 ~ 29
- Gupta UC. 1989. Effect of zinc fertilization on plant zinc concentration of forages and cereals. *Can J Soil Sci*, **69**(3):473 ~ 479
- He N-Z(何念祖). 1987. Principles of Plant Nutrition. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 195 ~ 202 (in Chinese)
- He N-Z(何念祖) *et al.* 1993. Beneficial Elements of Plant Growth. Shanghai:Shanghai Science and Technology Press. 189 ~ 200 (in Chinese)
- Institute of Geography Academia Sinica. 1981. Distribution of Keshan in our country and its to the Se contents of grains. *Acta Geogr*(地理学报), **36**(4):369 ~ 376(in Chinese)
- Li Y(李 晔). 1998. Iodine Life ·Health. Beijing:Science Press. 1 ~ 9 (in Chinese)
- Li Y(李 英) *et al.* 1987. On the relationship between Se and large intestine cancer. *Trace Elem*(微量元素), **4**(4):68 ~ 70(in Chinese)
- Liu Z(刘 译). 1996. Microelements in Soils of China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press. 177 ~ 203 (in Chinese)
- Lu J-L(陆景陵). 1994. Plant Nutrient (A). Beijing: Beijing Agricultural University Press. 45(in Chinese)
- Ma T(马 泰) *et al.* 1984. Iodine deficiency disorders—endemic goiter and Keshan. Beijing: People's Hygiene Press. 47 ~ 55 (in Chinese)
- Makela AL *et al.* 1993. The effect of nationwide selenium enrichment of fertilizers on selenium status of healthy Finnish medical students living in south western Finland. *Biol Trace Elem Res*, **36**(2):151 ~ 157
- Malakouti MJ. 1998. Increasing grain yield and community's health through the use of ZnSO<sub>4</sub> in wheat fields. *J Soil and Water*, **12**(1):34 ~ 43
- Munshi CB *et al.* 1990. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato. *J Agric Food Chem*, **38**(11):2000 ~ 2002
- Naito S *et al.* 1995. Expression of soybean seed storage protein genes in transgenic plants and their response to sulfur nutritional conditions. *J Plant Physiol*, **145**:614 ~ 619
- Rendig VV. 1986. Sulfur and crop quality. *Agron Monog*, **27**:635 ~ 652
- Shi R-H(史瑞和). 1989. Principles of Plant Nutrition. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press. 348 ~ 358 (in Chinese)
- Song Q(宋 琦). 1985. Selenium in Soils and Plants. In: Gong ZT ed. Advance and Application of Soil Geochemistry. Beijing:Science Press. 248 ~ 257(in Chinese)
- Spencer D *et al.* 1990. The regulation of pea seed storage protein genes by sulfur stress. *Aust J Plant Physiol*, **17**:355 ~ 363
- Sunanda L *et al.* 1995. Relationships between soil zinc, dietary zinc and zinc nutritional status of humans. *Plant Foods Human Nutr*, **48**(3):201 ~ 207
- Tan Z-Z(谭周敏). 1995. Study on application of selenium (Se) in rice. The effect of Se on increasing resistance and improving the setting character of rice seedlings. *J Hunan Normal Univ*(湖南师范大学自然科学学报), **18**(4):58 ~ 61(in Chinese)
- Tan Z-Z(谭周敏). 1997. Applied research of Se on rice. III. Research of influence on rice production and qualitative of Se content of rice-field soil and by applying Se. *J Hunan Normal Univ*(湖南师范大学自然科学学报), **20**(3):62 ~ 65(in Chinese)
- Wu J(吴 军). 1999. Functions of selenium in plants. *Plant Physiol Comm*(植物生理学通讯), **35**(5):417 ~ 423(in Chinese)
- Xu B-H(徐碧辉). 1994. Selenium: Its Chemistry, Biochemistry and Application in Life Science. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 209 ~ 226(in Chinese)
- Zhang B-T(张保田). 1996. Eating I<sub>2</sub>-enriched salt to eliminate IDD nationally. *Trace Elem and Human Health*(微量元素与健康研究), **13**(3):62
- Walter M. 1987. Trans. Zhu L-Z(朱莲珍). 1994. Microelement Nutrient in Human Being and Animals. Qingdao: Qingdao Press. 461 ~ 484 (in Chinese)

作者简介 刘 勤,男,1966年生,博士,副研究员,主要从事土壤-植物营养研究,发表论文 10 余篇。Tel:025-3379644, E-mail: qliu @issas. ac. cn