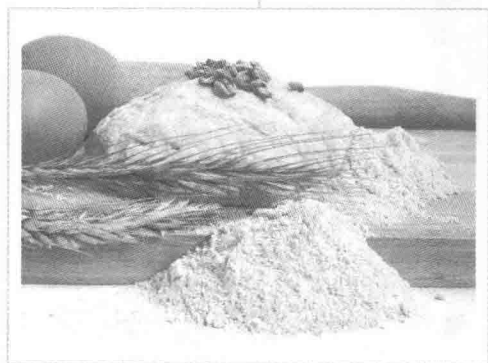




第一章 富硒农业概述

第一节 富硒农业的含义

一、硒的概述

硒 (Selenium, Se), 是一种类金属元素, 原子序数为 34, 位于元素周期表中于第四周期, 第 VI 主族, 与硫同族, 二者具有相似的物理化学性质。硒也是一种稀有分散元素, 在地壳中含量极少但分布广泛, 能直接与各种金属和非金属反应, 可与氧、硫、碲等构成多种有机或无机的硒化合物。

1817 年瑞典科学家贝采利乌斯 (Berzelius) 发现了硒 (图 1-1), 在硒发现后很长一段时期内, 硒一直作为一种对人和动物健康有毒的元素来研究。直到 1957 年 Schwarz 和 Foltz 发现硒是阻止大鼠食饵性肝坏死的一种保护因子, 自此硒的生物学功能才初步被认识。1973 年 Rotruck 等发现硒是谷胱甘肽过氧化物酶活性中心的必需组成部分, 同年, 世界卫生组织 (WHO) 和国际营养组织规定硒是人和动物必需的微量营养元素, 1988 年中国营养学会也将硒列为人体必需的微量营养元素。目前研究已证实, 硒是构成哺乳动物体内 30 多种含硒蛋白质与含硒酶如谷胱甘肽过氧化物酶、硫氧还原蛋白酶以及碘化甲腺原氨酸脱碘酶等的重要组成成分, 具有抗氧化、抗衰老、抗癌、提高机体免疫力等多种生物学功能。

硒与人体健康息息相关, 人体缺硒容易导致未老先衰、精神不振、精子活力下降, 严重缺乏硒时会引发心肌病、心肌衰竭、克山病和大骨节病等。全世界范围内有 5 亿~10 亿人缺硒, 而我国也是世界上缺硒严重的国家之一。在我



图 1-1 1817 年硒的发现地

国版图上，存在一条从东北到西南走向的低硒带，约有 7 亿多人口因膳食结构中硒含量不足，造成人体低硒状态。硒不能由机体自身产生，必须通过外界摄取。

硒在地壳中分布广泛但相当稀少，硒在地壳中的丰度在 $0.05 \sim 0.09 \mu\text{g/g}$ ，排在化学元素丰度的第 70 位。另外，硒在土壤中分布极不均匀，在土壤中硒的分布具有明显的地带性差异。自然土壤中的硒主要来自风化的岩石或流经风化岩石的水层，也可以降雨的形式来自大气。一般而言，硒主要通过火山活动进入地面，在火山活动的过程中，硒以两种形态存在，在 694.9°C （硒的沸点）时，硒是火山气体的组分之一；低于此温度的硒以粒子组成随火山活动喷发出来，形成含硒的火山尘埃，最后通过降雨在环境中迁移累积。此外，工业废气和酸雨也可带入硒，大气中的硒多数集中沉降在工业城市附近的土壤中。另外，施用磷酸钙、硫铵肥料和杀虫剂也能使硒在土壤中得到累积。

硒在土壤中主要以 Se^0 、 Se^{2-} 、 Se^{4+} 和 Se^{6+} 四种价态存在，按形态主要分为元素态硒、硒化物、有机硒、亚硒酸盐和硒酸盐等。元素态硒是土壤微生物还原亚硒酸盐或硒酸盐的产物，元素态硒在土壤中含量极小，在一定条件下可在水解、氧化剂及微生物作用下重新转换为有效性强的硒酸盐和亚硒酸盐。硒化物主要存在于透气性差的强酸性土壤中，大多难溶于水。土壤中有有机态硒主要由含硒生物体腐烂分解形成，有机硒是土壤有效硒的重要组成部分，且有机态硒平均可占土壤总硒的 30% 左右。亚硒酸盐和硒酸盐是土壤中硒的主要存在形态。亚硒酸盐是水溶性的，在酸性土壤中及还原条件下 ($7.5 < \text{pe} + \text{pH} < 15$)，亚硒酸盐是主要存在形态。在碱性和氧化环境中 ($\text{pe} + \text{pH} > 15$)，硒酸盐是土壤中的主要存在形态。硒酸盐也是水溶性的，且在土壤中迁移转化能力

强，很容易发生淋滤和迁移。土壤中硒的存在形态主要取决于土壤的氧化还原电位 Eh、pH 以及土壤类型等因素，不同形态硒之间可以在微生物作用、土壤腐殖化作用、氧化作用以及还原作用下进行转化，最终各形态在土壤中维持一个相对平衡的状态。

二、富硒农业的含义

人们通常认为，天然富硒区利用本地地区的硒资源优势进行富含硒农产品生产的农业生产方式，即可称为富硒农业。但这只是一种狭义而片面的观点。首先，富硒农业不仅仅存在于天然富硒区，随着农业科技的进步，缺硒地区也可以通过外源硒营养强化进行富硒农业生产；其次，富硒农业生产需要利用生物或非生物手段使农产品含硒，且生产出来的农产品中硒含量需满足相关富硒标准的要求。

富硒农业是指在土壤天然富硒区从事天然富硒农产品生产经营或在土壤缺硒区通过生物技术手段进行外源硒添加转化而使农产品硒含量达到富硒标准要求的一种农业生产方式。在天然富硒区，植物可以利用土壤中的硒资源，通过生物转化方式使植物农产品中的硒含量得到积累；在缺硒区，通过对农作物采取施硒肥的方式而使植物农产品中的硒含量得到积累；通过饲喂富硒饲料，家禽等动物中的硒含量得到积累，从而发展富硒养殖业；在食品生产中通过富硒营养强化剂生产富硒食品（饮品）。

富硒农业是现代农业的一种类型，属于功能农业的范畴。农业发展可分为三个阶段：高产农业、绿色农业和功能农业（赵其国，2016）（图 1-2）。在新中国成立之初，粮食供不应求，通过改良土壤、化肥农药施用及良种研发的高

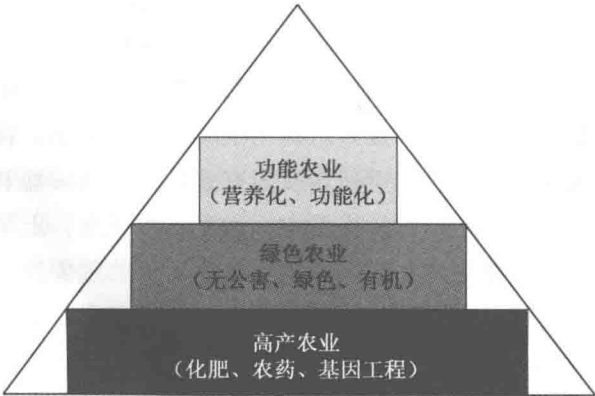


图 1-2 农业发展三阶段

产农业被作为我国农业发展的首要任务；1989年，注重农产品生态安全的“绿色农业”被引进中国，其广义上包括无公害农业、绿色农业和有机农业；功能农业作为农业发展的第三个阶段，侧重于农产品的健康内涵。随着人们生活水平的不断提高，人们营养保健意识的日益增强，不仅要吃得安全，还要吃得健康，我国农产品最终要走向营养化、功能化，富硒功能性农产品正好迎合了人们的这种消费需求。我国农业目前迎来了农业发展第三个阶段（功能农业），富硒农业是功能农业最早发展的方向之一，具有广阔的发展前景。

第二节 富硒农业发展的背景

一、硒的研究历史

（一）硒的毒性研究

动物硒中毒主要体现在碱毒症和蹒跚症。家畜碱毒症是1860年最早由Madison提出，属于一种慢性硒中毒，在家畜中的中毒症状主要表现在食欲降低、脱毛、蹄损伤及内脏受损等，主要是由于家畜持续服食高于 $5\text{ }\mu\text{g/g}$ 但低于 $40\text{ }\mu\text{g/g}$ 的饲料所引起；蹒跚症由家畜长时间长期少量食用一级指示植物（含硒 $100\sim 10\,000\text{ }\mu\text{g/g}$ ）所引起，前期症状为食欲减退，继而四肢及全身肌肉麻痹、呼吸困难，最终会因呼吸衰竭而死。而急性中毒主要由于家畜大量食用天然高硒植物所致（黄开勋，2009）。

人体硒中毒会引起毛发脱落、指甲褪色及神经系统衰落等（谭见安，1990）。20世纪60年代在湖北恩施地区鱼塘坝地区暴发脱发脱甲症等，最严重村庄的发病率可达到82.6%，后来在陕西紫阳等地也出现过类似症状，由此发现了湖北恩施和陕西紫阳地区是世界上的高硒地区（黄开勋，2009；谭见安，1990；程静毅，1980）。

（二）硒的生物必要性与营养性研究

自19世纪30年代开始，在我国克山县发现了克山病（后来命名），随后在其他地区如西南地区也发现了这种病，但很长一段时间内，克山病病因一直不清楚，直到20世纪60~70年代才证实缺硒是导致克山病发生的最主要因素。由缺硒引起的地方病在我国主要体现在克山病和大骨节病上。自1957年发现硒可以阻止大鼠食饵性肝坏死，1966年第一届生物和医学中硒的国际讨论

会提出了硒是动物必需的营养元素,直至1980年中国人向全世界宣布硒可以有效控制克山病,硒的研究进入到生物必要性及营养性研究阶段。

1982年,杨光圻教授等开始在四川省克山病区开展研究工作,得到成人膳食的硒最低需要量为 $17\text{ }\mu\text{g/d}$,膳食硒最低供给量为 $22\text{ }\mu\text{g/d}$;1983年,得到成人膳食硒平均需要量为 $41\text{ }\mu\text{g/d}$ 。1992年得到成人膳食硒推荐摄入量(RDA或RNI)为 $50\text{ }\mu\text{g/d}$ 、可耐受最高硒摄入水平(UL)为 $400\text{ }\mu\text{g/d}$,硒的中毒剂量为 $800\text{ }\mu\text{g/d}$ (夏弈明,2011,秦俊法,2014)。1988年,中国营养学会推荐膳食硒的日摄入量为 $50\text{ }\mu\text{g/d}$,正常成人日摄入硒的安全和合适范围为 $50\sim 250\text{ }\mu\text{g/d}$,2011年中国营养学会最新推荐为 $60\sim 250\text{ }\mu\text{g/d}$,且膳食硒最高安全摄入量为 $400\text{ }\mu\text{g/d}$;1989年,美国食品与营养学会推荐成年男女硒的日摄入量分别为 $70\text{ }\mu\text{g/d}$ 和 $55\text{ }\mu\text{g/d}$;1996年,世界卫生组织(WHO)和联合国粮食和农业组织(FAO)推荐成年男女硒的日摄入量(RNI)分别为 $40\text{ }\mu\text{g/d}$ 和 $30\text{ }\mu\text{g/d}$ 。

(三) 硒的生物学功能研究

硒是一种人和动物必需的微量营养元素,遍布人体各组织器官和体液,其中肾中浓度最高。人体内不存在长期贮藏硒的器官,机体所需的硒主要是不断地从饮食中摄入。硒浓度的平衡对许多器官、组织的生理功能有着重要的保护和促进作用,当人体硒缺乏时,就很容易导致免疫能力下降,威胁人类健康和生命。医学研究发现,人体40多种疾病都与缺硒有关,如癌症、心血管病、肝病、白内障、胰脏疾病、糖尿病、生殖系统疾病等。硒具有许多非常重要的生物学功能(图1-3),具有抗癌、保护心脏、保护肝脏、防治近视和白内障、解毒、提高免疫力、延缓衰老和增强生殖功能等多种药理作用,被誉为“生命之火”、“心脏的守护神”和“抗癌之王”。

1. 抗氧化作用

硒是谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的组成成分,GSH-Px酶的作用是催化还原性谷胱甘肽(GSH)与过氧化物的氧化还原反应,可以发挥抗氧化作用,是重要的自由基清除剂。当机体内存在大量的不饱和脂肪酸时,当它们受到具有强氧化力的化合物攻击时,会发生过氧化反应生成过氧化物。而硒的抗氧化作用主要通过酶促反应清除脂质过氧化物和自由基。因此,通常将活性作为衡量硒在生物体内功能的指标。另外,正是由于“硒”的高抗氧化作用,适量补硒就能起到防止器官老化与病变,延缓衰老,增强免疫,抵御疾病,抵抗有害重金属,减轻放化疗副作用,防癌抗癌等作用。



图 1-3 硒的生物学功能

2. 增强机体免疫力

动态有机硒能清除体内自由基，排除体内毒素、抗氧化、能有效地抑制过氧化脂质的产生，防止血凝块，清除胆固醇，增强人体免疫功能。一般来说，硒几乎存在所有免疫细胞中，补硒可明显提高机体免疫力，包括有效提高机体的体液免疫和细胞免疫功能，增强细胞介导的肿瘤特异性免疫，有利于细胞毒性淋巴细胞的诱导，并明显加强的细胞毒活性，能刺激蛋白质及抗体的产生，显著提高吞噬过程中吞噬细胞的存活率和吞噬率。

3. 防癌作用

近年来，美国的多项防癌试验充分证明，硒对多种人类癌症具有防治保护作用。而早在 20 世纪 70 年代，研究就发现癌症可能与机体缺硒有关，且在以后多种动物模型试验中也证实，硒能抑制肿瘤的生长，显著降低乳腺癌、皮肤癌、结肠癌、肝癌等多种癌的发生率。研究发现，硒是癌细胞基因表达的调节因子，能够诱导癌细胞程序性死亡，对机体细胞起到免疫作用。另外，硒可抑制癌细胞合成，改变癌细胞的恶性表型特征，具有诱导癌细胞分化的显著作用。

4. 防止心脑血管疾病

硒是维持心脏正常功能的重要元素,对心脏肌体有保护和修复的作用。人体血硒水平的降低,会导致体内清除自由基的功能减退,造成有害物质沉积增多,血压升高、血管壁变厚、血管弹性降低、血流速度变慢,进而送氧功能下降,从而诱发心脑血管等疾病。科学补硒对预防心脑血管疾病、高血压、动脉硬化等都有较好的作用。

5. 防止糖尿病

硒是构成谷胱甘肽过氧化物酶的活性成分,它能防止胰岛 β 细胞氧化破坏,使其功能正常,促进糖分代谢、降低血糖和尿糖,改善糖尿病患者的症状。

6. 防止地方性疾病

缺硒是克山病、大骨节病两种地方性疾病的主要病因。补硒能防止骨髓端病变,促进修复,且在蛋白质合成中促进二硫键对抗金属元素解毒,从而对这两种地方性疾病和关节炎都有很好的预防和治疗作用。

7. 硒与其他疾病

另外,硒在保护视力、调节甲状腺激素分泌及提升精子活力等方面都能起到一定的作用。

保护视力:硒能催化并消除对眼睛有害的自由基物质,从而保护眼睛的细胞膜。如果人眼长期处于缺硒状态,就会影响细胞膜的完整,从而导致视力下降和许多眼疾如白内障、视网膜病、夜盲病等疾病的发生。

强健脑功能:硒缺乏时能够使一些“神经递质”的代谢速率改变,同时人体内产生大量的有害物质如自由基也无法得到及时清除,从而影响人体的脑部功能。此外,增加硒摄入不但会减少儿童难以治愈的癫痫的发生,也可以有效地减轻焦虑、抑郁和疲倦。

调节甲状腺激素:硒与人体内分泌激素关系密切,其中人体甲状腺中硒的含量高于除肝和肾以外的其他组织,硒在甲状腺组织中具有非常重要的功能,可以调节甲状腺激素的代谢平衡,缺硒会造成甲状腺功能紊乱。

提升精力活力:研究发现性不育症患者精液中硒水平普遍偏低,而如果精液中硒水平越高,则精子数量越多,活力也就越强。人类精子细胞含有大量的不饱和脂肪酸,易受精液中存在的氧自由基攻击,诱发脂质过氧化,从而损伤精子膜,使精子活力下降,甚至功能丧失,造成不育。而硒具有强大的抗氧化作用,可清除过剩的自由基,抑制脂质过氧化作用。男性不育症患者由于精液

硒水平低，自然会削弱机体自身对精液中存在的氧自由基的清除和脂质过氧化的抑制，从而导致患者精子活力低下，死亡率高，引发不育症。

此外，硒对重金属具有一定排毒解毒的作用，硒能与体内的汞、铅、锡、铊等重金属结合，形成金属硒蛋白复合物而解毒、排毒，被誉为“重金属的天然解毒剂”。

二、富硒农业发展的背景

（一）我国是个缺硒大国

如前所述，硒是人体必需的微量元素，被誉为“生命的火种”、“抗癌之王”和“心脏的守护神”，而我国大部分地区处于缺硒及低硒状态。国家卫计委发布的《中国居民营养与慢病状况报告（2015）》显示，2012年我国居民硒的日摄入量为 $44.6 \mu\text{g}/\text{d}$ ，低于世界卫生组织（WHO）推荐的 $50 \mu\text{g}/\text{d}$ 及中国营养学会推荐的 $60\sim 250 \mu\text{g}/\text{d}$ 。

我国成年人硒摄入量的严重不足，主要原因是我国大部分地区土壤中缺硒。我国表层土壤硒含量范围为 $0.006\sim 9.13 \mu\text{g}/\text{g}$ ，在我国土壤环境中，硒的分布呈东北至西南低，东南和西北地区高的马鞍型趋势。在地理分布上看，从东北地区暗棕壤、黑土向西南方向，经黄土高原上的褐土、黑沪土至川滇地区的棕壤性紫色土、红褐土、红棕壤、褐红壤地区，再至青藏高原东部和南部的高山草甸土、黑毡土，形成一条低硒带，涉及省份包括黑龙江、吉林、辽宁、北京、山东、内蒙古、甘肃、四川、云南、西藏等，共计大约 72% 的国土面积存在不同程度的缺硒（ $<0.05 \mu\text{g}/\text{g}$ ），其中缺硒区（ $0.02\sim 0.05 \mu\text{g}/\text{g}$ ）占 43%，严重缺硒地区（ $<0.02 \mu\text{g}/\text{g}$ ）占 29%。在高硒带西北方向为干旱地区富硒环境如陕西紫阳地区，东南方向为湿润地区的富硒环境如湖北恩施地区。

（二）富硒区富硒农产品难以满足市场需求

自 20 世纪 60 年代在湖北省恩施土家族苗族自治州的鱼塘坝地区发现独立硒矿床以来，随后我国的富硒区被逐渐发现，目前 31 个省（自治区、直辖市）均已发现富硒土壤，比较典型的富硒地区有：湖北恩施，陕西安康（紫阳），江西丰城，广西贵港，贵州开阳，青海平安，江苏如皋，浙江瑞安、上虞，湖南新田、桃源，四川万源，甘肃兰州，青海乐都，宁夏银川，安徽石台，福建寿宁、诏安、大田、明溪，海南澄迈、屯昌，山东枣庄、淄川，河北藁城，黑龙江海伦以及新疆等。在我国居民对食品营养及健康需求日益关注的背景下，开发利用硒资源、发展富硒农业产业的热潮正在国内兴起。

湖北省恩施州拥有 2 450 km² 的全国第一的富硒土壤面积,是我国进行硒资源开发利用最早的地区之一。将硒与农业、旅游业等多产结合,或将硒赋予到不同产品,而形成硒产品,以“硒+X”作物恩施硒产业发展理念。发展富硒全产业链条,富硒初级农产品(富硒茶、富硒高山蔬菜、富硒杂粮、富硒食用菌等)、富硒加工品(富硒食品饮料等)、硒多元矿物肥料、富硒中药材、富硒饲料与畜禽产品到硒生物制剂等,从 2014 年开始,恩施州每年通过举办富硒产品博览交易会,带动恩施富硒产品的销售,扩大富硒农业产业的影响力。陕西省安康市拥有富硒土壤面积 2 026 km²,富硒土壤面积居全国第二,仅次于恩施,基本建立了富硒农产品的产业链及销售平台,尤其是紫其富硒茶的发展一枝独秀,同时安康市的富硒矿泉水、富硒粮油也有较高知名度。其他富硒区如江西丰城、青海平安、重庆江津等近年来富硒农业产业也呈现出良好的发展势头。尽管我国富硒农产品市场发展迅速,正在以每年 9.3%~13.1% 的速度递增(图 1-4),但是仅靠富硒地区富硒农业的发展难以满足我国居民对富硒农产品及高端产品的消费增长需求。

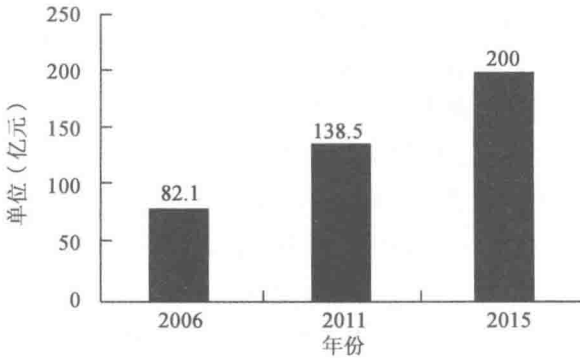


图 1-4 我国富硒农产品市场情况 (高显钧, 2013)

(三) 迫切需要在缺硒区开发富硒农产品

我国土壤天然富硒区呈现点状分布,富硒区富硒农产品的生产往往只能满足当地及周边市场的需求,远远无法覆盖到占我国国土面积 2/3 的广大缺硒区。同时富硒区富硒农业的发展需要在技术层面上克服两个问题:一是硒的地质分布呈现斑点状不连续分布,使得农产品中的硒含量不稳定,难以进行大规模的标准化产业开发;其二是重金属伴生问题,一些富硒地区农产品对硒元素富集的同时也富集重金属。

2013 年,农业部启动了公益性行业科研专项《优质高效富硒农产品关键技

术研究与示范》，旨在通过富硒农产品关键技术与示范，全面提升我国富硒产业水平、规范富硒产业发展、改善农产品质量安全、提高农产品附加值，满足我国居民对富硒农产品日益增长的需求。中国农业大学为项目主持单位，选取江西省丰城市（富硒区）和山东省淄博市博山区（缺硒区）作为典型研究与示范区，主要目的就是要同时进行富硒区和缺硒区富硒农产品的研究与开发。这充分说明我国开始高度重视对缺硒区富硒农产品的研究与开发，也标志着我国缺硒区富硒农业发展将进入一个全新时代。

山东省淄博市博山区作为缺硒区富硒农业发展的重要试点地区，自 2013 年以来在课题研究的基础上大力发展富硒农业，截至目前，已推广种植的富硒农产品主要有富硒猕猴桃、富硒谷子、富硒蓝莓、富硒草莓和富硒蔬菜等 30 多种。在国家富硒项目的技术支持下，黑龙江方正县、克山县及河北临城县等地区也根据当地实际情况大力发展富硒农产品，也取得了很好的成效，表明我国缺硒区富硒农业已进入了快速发展阶段。

第三节 富硒农业的分类及特征

一、富硒农业的分类

一般来说，按照富硒农产品中的硒的来源区分，富硒农业可分为天然富硒农业（地源硒农产品）与外源生物强化富硒农业（外源有机硒农产品）；如果按照富硒农业所属的农业范畴是种植业、养殖业还是加工业区分，富硒农业可分为富硒种植业、富硒养殖业和富硒加工业等。

天然富硒农业是利用富硒地区丰富的硒资源自然生长所生产的富硒农产品。我国拥有湖北恩施、陕西安康（紫阳）等少数几个高硒区，研究发现土壤中硒含量与生长的植物硒含量有良好的相关性，因此可以充分利用高硒地区天然的土壤优势生产多种富硒农产品，如陕西紫阳的富硒茶叶、富硒柑橘、富硒菇、富硒果醋、富硒药材等；湖北恩施的玉米、小麦、黄豆、高粱、甘薯、烟叶、茶叶等；贵州开阳的富硒茶、富硒大米、富硒辣椒、富硒玉米等。

所谓外源硒生物强化富硒农业，就是在土壤中硒相对缺乏的地区，可以通过外源生物营养强化，增施硒源来生产富硒产品。外源生物营养强化富硒农业主要是通过人工制造富硒环境（植物叶面喷施、动物饲料添加）和生物转化的

方法来生产富硒农产品。外源生物营养强化富硒农业的方法包括微生物富集法、动物转化法以及植物转化法。同时,在富硒食品生产过程中,也可以按照相关规定和要求人为添加富硒营养强化剂,如富硒菌粉等。

种植业是以土地为重要生产资料,利用绿色植物,通过光合作用把自然界中的二氧化碳、水和矿物质合成有机物质,同时,把太阳能转化为化学能贮藏在有机物质中。富硒种植业就是自然环境中的硒在农作物(绿色植物)的生长过程中通过植物的生物转化作用将土壤中的硒转化为以有机硒为主的硒形态,富硒种植业生产的主要产品包括富硒粮食、富硒蔬菜及富硒水果等。

富硒养殖业主要包括富硒猪、牛、羊、鸡、鸭、鹅、兔等家禽家畜及水产等的饲养,富硒养殖就是通过饲喂富硒饲料而使各种畜禽产品等达到富硒畜禽标准的要求,富硒饲料可以是天然富硒区生产的富含硒的植物性饲料,也可以是通过外源生物营养强化技术生产的富硒饲料。通过富硒养殖生产出来的富硒产品主要包括富硒肉类、富硒蛋类及富硒奶类以及水产品等。

随着富硒农产品生产总量的增长、产品种类日益丰富和居民消费的升级,富硒粮食、富硒蔬菜、富硒水果及富硒畜禽产品等逐渐向加工方向发展。富硒农产品加工具有较高的技术要求,主要包括富硒作物及动物原料标准控制、加工处理技术、添加剂和助剂、储藏、终产品质量控制规范等。

二、富硒农业的特征

硒资源是富硒农业发展的核心因素。富硒农业的发展对硒元素具有极强的依赖性,不论是在国外还是在国内,富硒农业均是先在土壤富硒区发展,其次才能慢慢延伸到缺硒地区。我国虽然大部分地区缺硒,但也存在部分硒含量很高的地区,有效开发高硒地区的硒资源应用到全国范围,以平衡我国富硒区居民硒摄入过量而缺硒区居民硒摄入不足的问题至关重要。

富硒农业的发展对生物技术具有较强的依赖性。富硒农业其实就是将环境中的硒通过一定的生物转化作用转化为对人体吸收有益的有机硒形态。在富硒区与缺硒区对富硒技术的要求存在着一定的差异。富硒区主要是控制富硒农产品硒含量的稳定及重金属含量;缺硒区也需要控制农产品中硒含量的稳定性,但更重要的是硒营养强化剂的开发,包括植物所需的富硒肥及动物所需的富硒饲料。不同形态的硒对作物或动物的效果不同,每一种作物或动物对硒的吸收及转化效率都存在着较大差异,因此在一种硒营养强化剂投入市场之前,需要进行大量的科学试验。

富硒农业定位于功能农业,与人体健康息息相关。进入 21 世纪,随着我国各种疾病的发病率逐渐增加以及我国呈现人口老龄化趋势,人们不再只满足于基本的温饱问题,越来越开始关注健康营养农产品的开发。

第四节 富硒农产品

一、富硒农产品的概念及功能

硒是人体必需的微量元素,是延长寿命最重要的矿质元素之一。但人体不能合成每天必需的硒元素,需要从每天的饮食中进行补充。因此,开发富硒农产品是解决人体缺硒问题的重要途径。富硒农产品就是通过生物转化的方法,在动植物的自然生长过程中,把土壤或含硒肥和富硒饲料中的硒吸收利用到动、植物体内,生产出有利于人体吸收转化的有机硒较高的产品。合格的富硒农产品具有“安全、优质、健康”食品的特征,适合人们不断增长的饮食消费需求。富硒农产品的功能和作用除硒的普遍功能外,还包括以下几个特征:

(1) 富硒农产品的开发为缺硒人群科学补硒提供了便利。富硒农产品的生产是运用了作物的生物转化功能转变了硒的存在形式,即将无机硒转化为有效性更高的有机硒。

(2) 促进农产品的质量安全。由于硒能增加作物对病虫害的抗逆性,对有害重金属的拮抗作用以及对硝酸盐的降解作用,使农产品的质量更安全可靠。另外,富硒农产品生产是以绿色技术为基础,以品牌农业为方向,进一步保障农产品质量安全。

(3) 改善农产品的品质:硒具有抗氧化等特性,使植物细胞同样也具有抗氧化、抗衰老的功能,增强细胞活性,且营养更多更充分。富硒粮食籽粒饱满,棉花纤维粗长,蔬菜原汁原味,瓜果大正甜美,且水果切开不易变色,肉类放置不易腐败。研究证明,当水果中的含硒量达到 $10\sim 20\text{ }\mu\text{g/kg}$ 时,水果中糖分增加超过了 1 度,糖酸比明显增大,且人体必需的矿物元素锌、铁和维生素都相应提高。另外,加上硒元素抗氧化、抑病菌的特性,使富硒农产品耐储耐运,提高了鲜活农产品的商品性能。

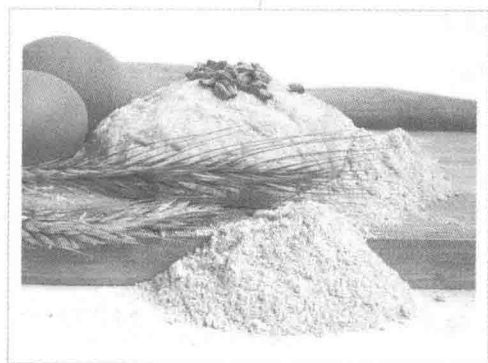
二、我国富硒农产品开发研究现状

自 20 世纪 90 年代以来,我国相继开始开发富硒农产品,富硒农产品的开

发也初步走向了标准化的道路。1989年,中国农业科学院制定了我国缺硒区土壤含量分级标准,1991年,我国制定了《食品中硒限量卫生标准》(GB 13105—1991),对农产品中的含硒量作了限量要求。进入21世纪,富硒区地方富硒农产品标准的相继出台,使得富硒区人们对富硒农产品有了一定的了解,但在全国范围内富硒农产品在公众面前还是一个很陌生的概念。直到2002年农业行业标准《富硒茶》(NY/T 600—2002)及2008年国家标准《富硒稻谷》(GB/T 22499—2008)的发布,富硒茶和富硒大米产业开始在我国快速发展。

从2006年开始,中国老年学学会进行了“中国长寿之乡”的评审活动,评审出的我国十大长寿之乡,无一例外都处于我国的富硒带上,包括广西巴马、湖北钟祥及江苏如皋等地。2008年,中国科学院地理科学与资源研究所,对我国长寿之乡土壤和食物调查发现,我国长寿区土壤和食物中都富含微量元素硒,其中居于长寿乡之首的广西巴马县土壤硒含量,达到了非常适宜生产富硒农产品的水平。自此全国人民开始真正认识富硒食品及富硒农产品,也更加愿意去了解及购买富硒农产品。以富硒大米的开发为代表,制定了富硒稻谷国家标准,形成了较规范的全国富硒大米产业发展格局。

2013年,农业部公益性行业专项《优质高效富硒农产品关键技术与示范》项目的启动,是我国第一个国家级富硒农产品研究的项目,对规范我国富硒农业行业,提升富硒农业技术水平具有重要意义。



第二章 国外富硒农业发展概述

第一节 国外富硒区的分布及特征

一、硒元素的总体分布特征

硒元素广泛分布于包括岩石、土壤、水体、空气、植物体以及动物体的各种环境中,但丰度较低。硒元素在地球内部的丰度为 $13\text{ }\mu\text{g/g}$,但在地壳中仅为 $0.09\text{ }\mu\text{g/g}$,在所有 88 种元素中排第 66 位;水体中的硒含量一般不超过 $10\text{ }\mu\text{g/L}$,大部分低于 $3\text{ }\mu\text{g/L}$,总体上,地下水硒含量略高于地表水;一般来说,沉积岩,尤其是页岩中的硒含量高于岩浆岩及砂岩,但尽管如此,岩石中的硒含量也很少有超过 $0.1\text{ }\mu\text{g/g}$ 的 (Fordyce, 2007)。

硒在自然界中一般以分散状态存在,难以形成独立的经济矿床,常与金属硫化物矿床及石煤伴生,主要有硒铜矿、硒铜银矿、硒银铅矿、辉汞矿等。20 世纪 80 年代,玻利维亚帕卡哈卡发现小型硒矿床,90 年代,中国鄂西发现了全球罕见的高硒区,找到鱼塘坝独立硒矿床,但成矿规模均较小。除少数地区以硒化矿作为硒资源外,多数硒化矿都因矿石产量少而无工业价值,因此硒的主要来源是金属硫化矿冶炼铜、锌、镍、银等金属时的副产品。据美国矿物局估算,全世界硒的基础储量为 13.4 万 t,已探明储量仅为 7.1 万 t。在已探明储量中,美洲最多,占总储量的 52.7%,亚洲、非洲各占 15.4%,欧洲占 12.2%,大洋洲占 4.4%。智利、美国、加拿大、中国、赞比亚、扎伊尔、秘鲁、菲律宾、澳大利亚和巴布亚新几内亚等国家的硒资源占世界总储量的 80% 左右 (Liu, 2010)。

另外, 硒资源的分布十分不均匀, 呈明显的地带性, 高硒地区与缺硒地区往往相间分布。全球有 42 个国家和地区缺硒, 瑞典、芬兰、荷兰、挪威、丹麦、英联邦等欧洲大陆国家, 美国、加拿大、墨西哥等美洲国家, 以及新西兰、澳大利亚、俄罗斯、中国、日本等国均发生过硒缺乏病。而有些地区又会发生硒中毒, 如: 美国的南达科他州、内布拉斯加州、怀俄明州、亚利桑那州、堪萨斯州、北达科他州、新墨西哥州、蒙塔纳州、犹他州等地区, 中国的湖北省恩施市、陕西省紫阳县, 爱尔兰的利默里克 (Limerick)、蒂珀雷里 (Tipperary), 以色列的 Huleh 盆地, 澳大利亚的昆士兰州, 墨西哥的加纳华托、奇瓦瓦、托雷翁、萨尔提略、墨西哥城等, 哥伦比亚, 南非, 委内瑞拉, 俄罗斯, 加拿大等。硒中毒区呈分散的灶状分布, 范围较小。

二、国外典型地区富硒土壤的分布

土壤是影响食物链中硒含量的最基本因素, 土壤硒含量过低会引发人和动物的多种疾病, 而土壤硒含量过高又会引起硒中毒。适宜的土壤富硒条件是动物及人体健康的基础。一般认为, 高硒土壤与富硒岩石和煤层有关, 页岩的含硒量通常较高, 是高硒土壤形成的重要条件。目前全球发现的富硒土壤 ($>0.4 \mu\text{g/g}$), 均是由页岩成土母质发育而来的, 全球的高硒地区也都分布在不同地质时期的黑色页岩上, 如美国西部平原高硒土壤发育于富硒的黑色页岩分布区。石煤中有硒的最大富集, 是某些高硒地区土壤硒的主要来源, 石煤硒的成因可能是硒在迁移过程中被黏土矿物或有机碳吸附, 以胶体形式迁移, 最终沉积在含碳质的地层中 (梁有彬, 1994)。中国第一高硒区湖北省恩施州有三个主要的富硒时期, 即早寒武纪、晚奥陶纪和二叠纪, 前两个时期形成的石煤含硒量较低, 均值 $30 \mu\text{g/g}$, 与陕西南部早古生代石煤含硒量相似, 但二叠纪黑色岩系则高出 3 倍以上。除成土母质外, 土壤硒含量还受到地形地貌、气候、生物和人类活动的影响。

(一) 美国

图 2-1 显示了美国土壤硒的分布情况。总体上, 美国土壤的硒含量相对较高, 图中有数据的区域最低值也高于全球地壳平均值, 说明北美是富硒区之一。具体来说, 美国土壤的硒分布也十分不均匀, 存在自北部北达科他州向东南的位于中部大平原的富硒带, 硒主要分布在中部和中北部的蒙大拿州、北达科他州 (美国硒中毒最早报道的州)、南达科他州、爱荷华州、科罗拉多州和堪萨斯州。其中爱荷华州高硒点分布最多, 最高可达 $0.8 \mu\text{g/g}$ 。另外, 硒零星