

特约稿件

我们的未来农业—功能农业^①

赵其国¹, 尹雪斌^{2,3*}

(1. 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 山西农业大学 山西功能农业研究院, 山西 太谷 030801;
3. 中国科学技术大学 苏州研究院, 江苏 苏州 215123)

摘要: [目的] 功能农业作为农业未来发展的新阶段, 对我国农业发展具有重要意义。为构建生态高值农业产业体系提供参考。 [方法] 对我国当前土壤与农业现状, 生态高值农业的提出背景与建设内涵, 功能农业的创建与意义进行了综述。 [结果] 土壤安全等生态安全与农业发展关系密切, “生态高值农业”即构建集约化经营与生态化生产有机结合的现代农业, 功能农业作为生态高值农业的延伸, 解决了生态高值农业中农产品附加值提升、矿物质补充形态革新和功能性食品生产的技术瓶颈。 [结论] 功能农业研发的发展方向与生态高值农业的理念、内涵相一致, 功能农业不仅是生态高值农业的支撑性技术, 它的发展还为我国生态高值农业产业体系构建积累了经验、奠定了基础。

关键词: 生态安全; 生态高值农业; 功能农业; 硒

中图分类号: S-01 文献标识码: A 文章编号: 1671-8151(2017)07-0457-12

DOI: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.2017.07.001

Our future agriculture-functional agriculture

Zhao Qiguo¹, Yin Xuebin^{2,3*}

(1. Institute of soil science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Institute of Functional Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 3. Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China)

Abstract: [Objective] Construction of ecological high value agricultural system is the main agricultural objective in China, functional agriculture is an important component of it. [Methods] This paper reviewed the current situation of soil and agriculture in our country, the background and importance of ecological high-value agriculture, the establishment and significance of functional agriculture. [Results] Ecological security are closely related to agricultural development. Ecological high-value agriculture is the combination of intensive management and ecological production. Functional agriculture could promote the added value of agricultural products, innovate the supplement way of mineral substance, and make the functional foods. [Conclusion] Functional agriculture is not only the supporting technology of ecological high value agriculture, and its development has also accumulated the experience for the construction of ecological high value agricultural system in our country.

Keywords: Ecological safety, Ecological high-value agriculture, Functional agriculture, Selenium

“民以食为天”, 农业的发展史, 也是人类的进步史。功能农业作为农业未来发展的新阶段, 支撑着农业的生态高值目标, 也开启了“吃”的新时代, 即从吃得“饱”、吃得“安全”, 向吃得“健康”迈进。根据多年功能农业研发实际, 我国未来功能农业的发展宗旨是“科技领先、智慧创新、开拓发展、团结

协同、公正诚信”, 12字方针是“准确、质量、稳妥、安全、民生、持续”。希望以此指导功能农业有序发展, 造福 13 亿中国人, 并期望服务全人类。山西、广西、河北、山东、江苏和安徽等六省, 率先在省域规模化发展功能农业, 是我国功能农业从科技创新走向产业实践的省级样板。

收稿日期: 2017-05-04

作者简介: 赵其国(1930-), 男(汉), 湖北武汉人, 中国科学院院士, 研究方向: 土壤地理与资源

* 通信作者: 尹雪斌, 博士, 教授, Tel: 13656225443; E-mail: xybin@ustc.edu.cn

①原文刊发于科学出版社《功能农业》, 部分有增删

1 土壤与农业

土壤是“万物之本、生命之源”，是农业生产的基地，是陆地生态系统的基础，是最珍贵的自然资源和环境资源，它关系到粮食安全、农产品质量安全、农业的可持续发展以及经济社会的和谐稳定。

当前，土壤及土壤环境问题已成为世界共识。2014年国际土壤联合会的主题是“土壤拥抱生命与万物”，2013年第68届联合国大会决议通过了12月5日为世界土壤日，并宣布2015年为国际土壤年，主题为“健康土壤服务于健康生命”，并广泛开展国际宣传庆祝活动。

我国对土壤及土壤环境污染的问题一直极其重视，早就将土壤保护战略作为重要环境要素战略之一。因此，过去工作比较多侧重在让人们吃得“饱”、吃得“安全”。近10年来，在国家有关部委主持下，相继实施了“全国土壤污染调查”“中低产田改造工程”“千亿斤粮食增产工程”“污染土壤修复技术及示范”等重大项目，积累了大量的土壤环境治理经验，为保障国家粮食安全和生态环境安全打下了坚实基础。因此，珍惜和保护并永续利用土壤是我们义不容辞的责任，也是我们未来生存所必须要承担的义务。

土壤与农业的关系至为密切，从基础学科研究看，土壤是地球农业生长的基础。它所提供给农产品生长所必需的水、肥、气、能均来自“土壤圈”在陆地表面生存要素水、土、气、生的物质循环，从而使土壤与农业发展具有不可分割的重要关系(图1、图2)。

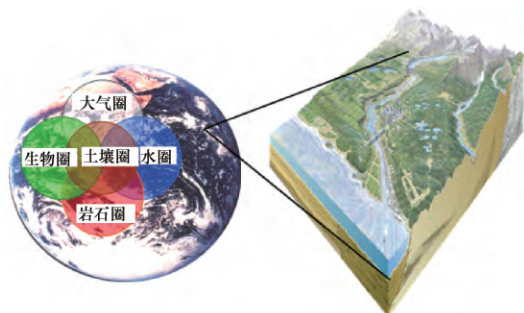


图1 土壤——地球的皮肤
Fig 1 Soil-the skin of the earth

2 构建我国生态高值农业产业体系

2.1 生态安全是农业安全的基本保障

“生态”是指生物资源(动、植、微、农、林、牧)与

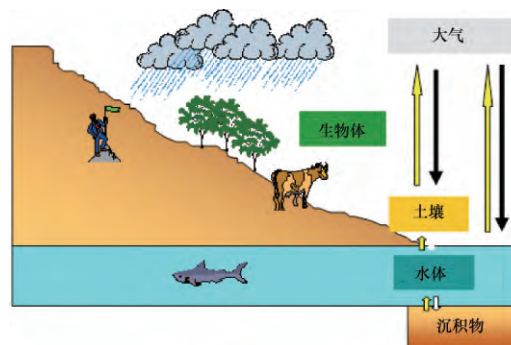


图2 陆地表面水土气生循环图

Fig 2 The cycle about water, soil, air, and biology on the earth

环境(水、土、气、生、废、污)的相互依存关系，简单地说，就是生物对环境的生存状态。“生态安全”是指包括生物资源与环境之间的安全，即它们之间存在的“建设与破坏”相对立的矛盾与统一，它关系到国家农业安全与“三农”建设，也关系到国家社会经济建设的持续发展。因此，必须有针对性地采取各种科学和实践的综合措施妥善解决此类矛盾(图3)。

2.2 生态高值农业的技术体系和模式构建

2.2.1 生态高值农业的提出背景

在中科院的部署与领导下，针对近年国内外农业发展面临的机遇与挑战，“中国科学院农业领域战略研究组”于2007年10月至2009年3月集体完成并制定了《中国至2050年农业科技领域发展路线图》^[1]，提出了发展我国“生态高值农业”的理念及技术体系模式构建。2010年6月，国家领导人在两院院士大会上，针对农业科技，首次提出要“构建我国生态高值农业产业体系”。

2.2.2 生态高值农业的概念与内涵

所谓“生态”，就是要体现农业既能为社会提供安全、优质的农产品，又能实现农业资源的永续利用，将农业纳入可持续发展的道路；所谓“高值”，就是要体现农业有很高的土地产出率、投入产出率、劳动生产率。因此，“生态高值农业”目标是构建集约化经营与生态化生产有机结合的现代农业。它以健康消费需求为导向，以提高农业市场竞争力和可持续发展能力为核心，兼有高产出、高效益与可持续发展的双重特性，是转变农业增长方式、提高农业综合生产能力的集中体现。

(1) 生态高值农业的建设目标

“生态高值农业”的目标体系可表述为：

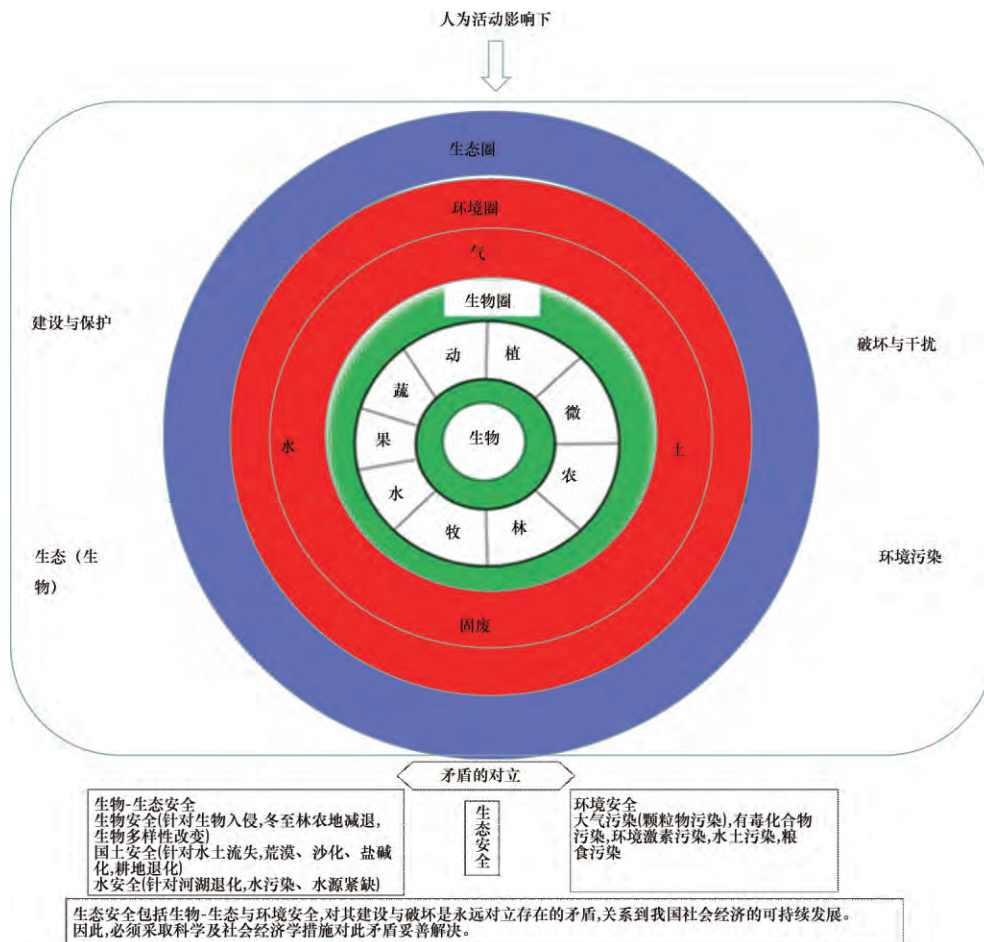


图 3 生态安全示意图

Fig 3 Ecological safety

$$D = aE + bV + cS\{E, V\}$$

其中, D 为生态高值农业发展水平; E 为农业的生态环境效益; V 为农业的经济效益; S 为农业的社会效益,体现生态环境效益与经济效益相互协调的程度; a, b, c 是由社会生产力的发展水平、社会制度、人类的审美观与价值观等因素决定的。

可见,“生态高值农业”是包括生态农业及环境,农产品的高产、高质、高效,以及科技、市场、产业经济价值(包括农业的一、二、三产业的产值)“三者”相结合的总概念,是现代农业可持续发展的总体方向^[2]。

到 2020 年,通过重点农业科技领域的重大创新突破,构建生态高值农业技术体系,为不断满足我国日益增长的对农产品总量、质量、安全和多功能的需求以及改善农业生产结构、生态环境和农业资源永

续利用等生态高值农业体系提供科技支撑^[3]。

到 2050 年,中国农业具备实现农业资源可持续利用,充分保障国家食物总量和质量安全,以及进入传统功能和现代多功能并存的未来农业所需要的科技支撑条件,使我国在发展中国家中率先进入生态高值可持续发展的新时代,全面实现农产品优质化、营养化、功能化,实现农业生产管理的信息化、数字化、精准化,建成农业高值转换的产业体系,形成生态系统持续良性循环、景观优美、功能多样、城乡一体的新型农业。

(2)生态高值农业的内涵实质

生态即指生态农业,包括水、土、气、生、岩、污等部分。高值包括农产值、农技值、农市值、农经值。其中,农产值是指农产品高产、高质、高效,简称“农一产”。农技值是指功能农业、智能农业、高科值农业,简称“农技一产”。农市值是指市场经济

价值(农二产)、农加工、转工,简称“附加值”。农经济是指产业化经济价值(农三产),包括农、经、贸、科、教、游、文等内容,如功能农业养生园、牛博园、盐博园、体验农业、农业公园等。

可见,生态高值农业是包括生态农业,环境与农业品高产、高质、高效,科技,市场,产业经济价值(包括农业的一、二、三产产值)相结合的总概念。比如,高产值:水稻—袁隆平 $15\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;小麦—河南 $10\ 350\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;玉米—新疆 $19\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;富硒、富锌功能农产品价格通常高出普通农产品 $30\%\sim 50\%$ 。高科值:通过信息、分子和功能

化等技术提高产值。市场值:通过农产品加工,走向国际与国内市场,加工后的农产品价值可提高几十到上百倍,如安徽 $70\ \text{g}$ 的番茄酱可卖 50 元;美国玉米加工有 $3\ 500$ 多种,产值提高达上千倍。我国农产品加工的工业值与农业产值比,每增加 0.1% ,可带动 230 万人就业。综合经济值:可通过“农经贸科教游文”增加大量产值。

简言之,生态高值农业未来多体现在向一产、二产和三产联合的“大农业”方向发展。

(3)生态高值农业土壤肥力与生态系统图解(见图 4)

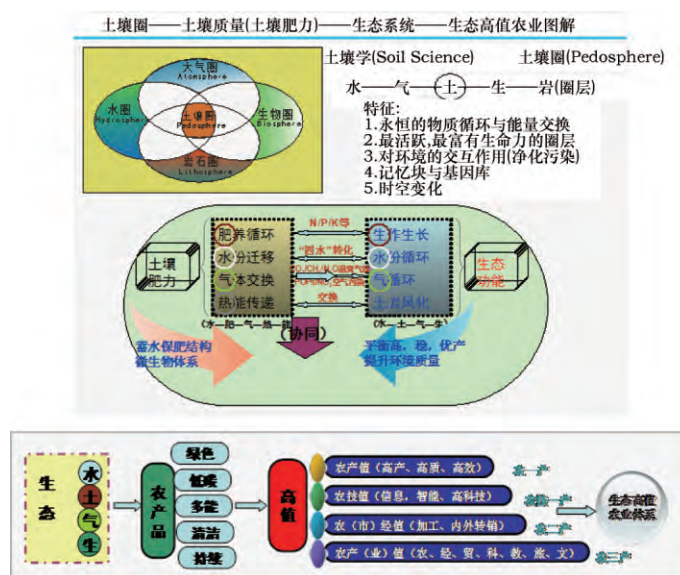


图 4 土壤肥力与生态(生物)系统功能的内涵关联图

Fig 4 The relevance of soil fertility and Ecological (biological) system functions

(4)生态高值农业的研发任务

生态高值农业的研发任务是“立足我国国情,遵循农业科技规律,确保农业安全”。其研发内容与目标(即理论与实践)包含四个层次:

第一,提升“中国至 2050 年农业科技发展路线图”理念与七大科技领域的研究水平。主要包括:农业发展展望与科技需求,植物种质资源与现代育种技术,动物种质资源与现代育种技术,资源节约型农业科技,农业生产与食品安全营养技术,农业现代化与智能化农业科技、未来农业科技发展体制与政策保障等 7 个方面。其中,功能农业就是“农业生产与食品安全营养技术”的主要方向之一。

第二,共性关键技术建立。主要包括:生态高值创新体制,资源节约发展战略,产品质量安全保

障及智能农业预警系统等四项。农产品的营养化、功能化属于产品质量安全保障共性关键技术,在内涵层级是高于食品安全的最高一级追求,即追求食品的健康功能。

第三,十个地区典型模式及其技术体系开发。主要包括:我国特大城市生态圈——长三角城郊循环农业圈层模式,江南农田湿地种养加农业圈层模式,西南山地立体农业生态高值农业模式,南方亚热带特种农林果综合开发模式,滨海滩涂农业综合开发利用模式,黄土高原水土保持及农林果流域开发模式,黄淮海平原粮养加农业综合模式,东北平原粮食基地综合开发利用模式,西北寒旱区农牧综合开发模式,北部漠境盐湖综合整理开发模式。其中,功能农业作为新型增值技术,是贯穿我国十大

典型模式的支撑性技术。

第四,三类产业化体系建设。主要包括:不同农产品(稻、麦、玉米、大豆等)产业化,不同农产品加工(如大豆加工成多种产品)产业化,农业综合经营(如农、养、贸、商、游)产业化。

(5)生态高值农业的最终效益

通过十大典型区域生态高值农业发展模式的初步建立(包括对全国近150个模式的收集、挑选、组合、推广与提炼)后的总效益估算将在我国共建立核心示范区面积5万公顷。2020年,“生态高值农业”将初具规模,综合效益提高20%~30%;技术示范与辐射面积50万公顷,年经济效益可达300亿元。在未来的建设实践中,还将系统融合功能农业技术,进一步提升农产品的科技含量和价值。

3 功能农业的创建

3.1 功能农业提出的背景

“功能农业”实际上是生态高值农业发展的进一步延伸。正如上述“生态高值农业2020—2050年的建设目标”中指出,要“不断满足我国日益增长的对农产品总量、质量、安全和多功能的需求”,“全面实现农产品优质化、营养化、功能化,实现农业生产管理的信息化、数字化、精准化,建成农业高值转换的产业体系”。同时,在“中国至2050年农业科技发展规划”理念与七大科技领域的研究——“农业生产与食品安全营养技术”规划中也提出,今后中国营养和保健功能食品的科技将得到更大关注,其科技发展的主要特征是:增加必需微量元素(铁、钙、锌、硒等)、氨基酸(赖氨酸、色氨酸)、维生素(V_A 、 V_E)、抗氧化物质(多酚、黄酮、胡萝卜素、花色素)、不饱和脂肪酸($\omega-3$)等含量的科技;并通过生物技术(如动植物“生物强化”和育种技术)和非生物技术(农艺措施,如施肥灌溉技术和饲养管理技术等)生产富含某些营养素的特色食品;随着基因组学和蛋白质组学的发展,具有保健功能的食品科技将成为农业科技新的发展方向,在消除矿物质“隐性饥饿”、预防贫血、降血压、降血脂、预防糖尿病和冠心病等方面产生重要作用。

应该说所有这些关于“功能农业”的理念与设想均是在“中国科学院农业领域战略研究组”于2007年10月至2009年3月集体完成的《中国至2050年农业科技领域发展路线图》中首先出现。

其后在中科院2013年出版的《科技发展新态势与面向2020年的战略选择》一书中,进一步提出并论证了功能农业的发展问题,认为中科院未来重心工作将围绕构建中国生态高值农业体系,而功能农业是十二五、十三五最有可能取得突破的方向。与此同时,2013年出版的《生态高值农业:理论与实践》一书中也提出:“功能农业”是生态高值农业科技支撑体系的重要组成部分。但需要指出的是,自2008年以来,在国内实际领先开展“功能农业”研发的单位是“中国科技大学苏州研究院功能农业重点实验室”,开展产学研结合产业化的是苏州硒谷科技有限公司(以下简称为“硒谷科技”),他们长期专注功能农业,做出了很好的样板。

3.2 功能农产品的定义

作为高产农业、绿色农业之后的又一次农业革命,功能农业是第三个农业阶段(图5),它是面向未来的。什么是功能农业?功能农业是通过生物营养强化技术或其他生物工程生产出具有健康改善功能的农产品。简单地说,功能农业就是要种植出具有保健功能的农产品。

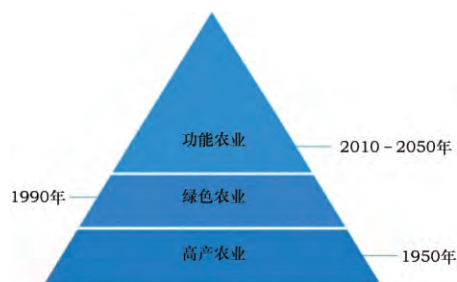


图5 农业发展三阶段

Fig 5 Three stages of agricultural development

功能农产品是功能农业所生产的产品,它通常应具有补充特定功能性营养,达到健康改善的目的。比如:富硒食品能够补充硒元素(图6)。通过特定营养素的补充,消费者能够感受到健康改善,比如,富硒食品的持续食用,会带来消费者免疫力的提高,不容易感冒,长期食用还可以预防癌症。其他营养素还包括锌、钙、铁、碘和维生素等营养物质及不饱和脂肪酸、花青素、胡萝卜素等已明确为人体健康所需的植物化合物。

功能农产品除了需要具有改善健康的价值外,还有两个重要标准:一个是使消费者能在宏观感觉,或者微观指标上有促进改善的价值,比如,血硒



图6 功能农产品

Fig 6 Functional agricultural products

水平提高,免疫活性增强;另一个是能够标准化生产。因为只有具备了这两个条件,消费者才能够从持续消费合格功能农产品中获得确实的好处。

3.3 功能农产品的功能

功能农产品是指经由功能农业产出的带有健康改善价值的农产品。其中,一个重要作用是消除“隐性饥饿”。大家早上没有吃饭,会觉得饥饿,这种饥饿称之为“显性饥饿”,这是直接能够感受到的。还有一种饥饿,是感觉不到的,比如:矿物质缺乏。由于矿物质等微量营养缺乏相比蛋白质、脂肪、糖类等主营养的缺乏更具隐蔽性,因此,世界微量营养组织将目前矿物质的缺乏称之为“隐性饥饿”。

那么如何来评估人们是否处于“隐性饥饿”之中呢?目前,主要是通过研究当增加某种矿物质时,是否能够带来身体状况的更优表现来进行评估。依据这些研究,世界卫生组织和营养学会制定出不同矿物质的适宜摄入量范围。通过对比居民的实际摄入量和适宜摄入量,就可以判断出是否存在“隐性饥饿”问题。现在全球处于“隐性饥饿”的人群高达1/3,其中,在中国硒、锌、铁、钙、碘的缺乏更为普遍。功能农业的发展使命就是:以日常食物来解决“隐性饥饿”^[4]。

根据《中国至2050年农业科技发展路线图》描述,远景上来看,经过三个阶段的逐步发展,未来功能农产品有望具有特定功效,如在特定疾病的预防、辅助治疗方面,比如通过吃饭就能够防治癌症,

控制高血压和血糖水平等。

目前处于第一阶段,主要实现对农产品中某一种或几种人体必需营养素的定量提高,特别是硒、锌等矿物质。现在已实现市场规模化推广的是富硒农产品,硒谷科技就是专注硒强化技术的专业服务商,在大米、面粉、玉米粉等主粮,蔬菜、水果、茶等各种特产,都推出了标准化的富硒农产品。

在硒缺乏的地区,居民通过食用标准化的富硒农产品,会提高血硒水平,从而改善居民健康。狭义的功能农业,首先重点关注的是那些能够实现农产品含量标准化的营养素,比如矿物质等。

3.3.1 矿物质

人体是由60多种元素所组成。根据元素在人体内的含量不同,可分为宏量元素和微量元素两大类。凡是占人体总重量的0.01%以上的元素,如碳、氢、氧、氮、钙、磷、镁、钠等,称为宏量元素;凡是占人体总重量的0.01%以下的元素,如铁、锌、铜、锰、铬、硒、钼、钴、氟等,称为微量元素。到目前为止,已被确认与人体健康和生命有关的必需微量元素有18种,即铁、铜、锌、钴、锰、铬、硒、碘、镍、氟、钼、钒、锡、硅、锶、硼、铷、砷等;必需宏量元素有钙,这样人体必需的矿物质元素总计有19种。加上锗等对人体有益的3种元素,共计22种对人体有益的元素。其中,日常生活中的营养食品、保健食品中最常见和较多人群存在缺乏的矿物质有五种,包括硒、锌、钙、铁和碘。

其中,每种矿物质都有着独特的作用(见表

1),也有着有趣的科学发现小故事。人类对硒元素的认识就是一个充满神奇和曲折的过程。硒元素在1817年首先被瑞典科学家贝采里乌斯发现于制备生产硫酸用的硫磺时得到的红色粉末物质,这一元素的性质与碲极为接近,而碲元素的希腊名称叫 Tellurium——即大地女神,所以他将硒作为碲的姊妹元素,给它取名为 Selenium,希腊语的意思是月亮女神的意思。由于硒是一种微量元素,极少量摄入就会产生毒性,所以,开始

科学家认为硒是有毒物质,不能被利用。直到二战期间,施瓦茨发现适量的硒具有保护肝脏的作用。近些年,微量元素硒受到越来越多的人重视,主要有两个原因:(1)硒是人体必需矿物质中对多数人健康效应最明显的两种元素之一;(2)硒元素相比其他矿物质存在普遍缺乏问题。也正为此,中国科技大学功能农业团队才将硒列为第一个富集到农产品中的功能性物质,研发出系列富硒功能农产品。

表1 常见矿物质元素及其功能
Table 1 Functions of common mineral elements

营养素 Nutrient	生理功能 Physiological function	每日需要量 Daily requirement	来源 Source
钙	凝血因子,能降低神经、肌肉的兴奋性,是构成骨骼、牙齿的主要成分。	0.6~1.2 g	绿色蔬菜、乳类、蛋类含量高
铁	血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素和其他酶系统的主要成分,协助血液氧气运输	15~18 mg	肝、蛋黄、血、瘦肉、绿色蔬菜、桃、杏、李
锌	数百种酶的构成成分,促进细胞分裂、生长和再生;调节DNA复制和RNA转录,参与免疫有关酶的作用;促进身体和智力发育。缺乏锌,智力会下降,发育受阻,免疫力下降、食欲差	10~15 mg	初乳、鱼、蛋、肉、禽、全谷、麦胚、豆、酵母等,动物性食物利用率高
硒	谷胱甘肽过氧化物酶的组分,抗不育,防止营养不良,提高身体免疫力,多种金属的解毒剂	60~250 μ g	芝麻、麦芽、中草药黄芪、酵母、蛋类、海产类、肝脏、肾脏、大蒜、蘑菇
碘	为甲状腺素 T ₃ 、T ₄ 的主要成分,缺乏时引起单纯性甲状腺肿及地方克汀病	90~120 μ g	海产如海带、紫菜、海鱼等
磷	参与核酸代谢和能量代谢,维持细胞膜的完整性,参与糖与蛋白质代谢,维持体内酸碱平衡	0.4~1.2 g	乳、肉、豆、五谷
铜	对制造红细胞、合成血红蛋白和铁的吸收有很大作用,与许多酶的形成关系密切,例如细胞色素酶、氧化酶等,存在于人体红细胞、脑、肝等组织内,缺乏易时引起贫血。	0.5~0.8 mg	肝、肉、鱼、海蛎、全谷、硬果、豆类
镁	激活糖代谢酶,与肌肉神经兴奋性有关,对所有细胞代谢过程都很重要,常与钙缺乏同时出现,导致手足抽筋	160~320 mg	谷类、豆类、干果、肉、乳类

硒的作用到底有哪些?既是消费者非常希望知道的,也是科学家们不断去发现和验证的。经过国内外几十年的研究,硒与健康的学术报道超过2万篇,现在有两点是明确的:(1)硒的长期防癌效果明显,特别是对于中国等缺硒国家;(2)硒在流感、哮喘等预防作用是明确的,这些与硒能提高免疫力有关^[5]。

当然,硒还有其他一些功能,比如对肝脏、心血管、眼睛的保护。但需要指出的是,并非所有功能在每个人身上都会同时体现。在实践中也发现,对于那些能够持续食用定量富硒的功能农产品的消费者来说,通常会有某方面的健康改善,具体情况

因人而异。

中国人群普遍存在硒缺乏问题。根据此前报道,中国人每天硒的摄入量为40 μ g左右,而中国营养学会推荐的适宜日摄入量为60~250 μ g^[6]。这也是为什么中国消费者补硒后,感受更明显的原因。为了方便消费者更多了解硒与人体健康的背景知识,进行广泛的科普活动是很有必要的,譬如,硒有什么功能,为什么有这些功能,每天补充多少硒最适宜等。

3.3.2 维生素

维生素A(vitamin A)又称视黄醇或抗干眼病

因子,是一个具有脂环的不饱和一元醇,包括动物性食物来源的维生素 A1、A2 两种,是一类具有视黄醇生物活性的物质。维生素 A1 多存于哺乳动物及咸水鱼的肝脏中,而维生素 A2 常存于淡水鱼的肝脏中。由于维生素 A2 的活性比较低,所以通常所说的维生素 A 是指维生素 A1。

维生素 A 在分类中属于脂溶性维生素,同属

于脂溶性维生素的还有维生素 D(又称钙化醇)、维生素 E(又称生育酚)和维生素 K(又称凝血维生素);另一类是水溶性维生素,主要是 B 族维生素(主要包括 B1、B2、B3、B6、B12)、维生素 C(又称抗坏血酸)、维生素 PP(又称尼克酸)、维生素 H(又称生物素)和维生素 M(又称叶酸)等(见表 2)。

表 2 常见维生素及其功能

Table 2 Functions of vitamins

种类 Category	作用 Function	食物来源 Source
维生素 A	可以维持正常的视觉反应、骨骼发育和上皮组织的正常形态与功能	牛奶、鸡蛋、鱼肝油、动物肝脏、深绿色、深黄色蔬菜及水果等
维生素 B1	缺乏维生素 B1 会患感冒、胃炎、肌肉疲倦且容易焦虑或记忆力减退、脚气、神经失调	未经精制的谷物如糙米、胚芽米、瘦肉、牛奶、动物肝脏、酵母、豆类、牛肉等
维生素 B2	缺乏维生素 B2 会引发口腔炎、口角炎、眼睛充血、精神恍惚、皮肤干、头发大量脱落等	牛奶、动物肝脏、蛋类、瘦肉、麦胚、黄豆、花生等
维生素 B6	与新陈代谢有关,需要量由蛋白质摄入量决定	麦胚、牛奶、酵母、豆类、动物肝脏等
维生素 C	促进“胶原”的形成,让细胞排列更为紧密	绿色蔬菜、水果等
维生素 D	促进钙质的吸收进而使骨质钙化,维持正常的骨骼形态	鱼肝油、动物肝脏、蛋黄、牛奶等
维生素 E	缺乏维生素 E 容易不育,有良好的抗氧化性,降低细胞老化	植物油、绿色蔬菜、动物肝脏、豆类、蛋黄、瓜果、瘦肉、花生等
维生素 K	与血液凝固有密切关系,缺乏维生素 K 易患血友病	绿色蔬菜

植物来源的 β -胡萝卜素及其他类胡萝卜素可在人体内合成维生素 A, β -胡萝卜素的转换效率最高。在体内,在 β -胡萝卜素-15,15'-双氧酶(双加氧酶)催化下,可将 β -胡萝卜素转变为两分子的视黄醛,视黄醛在视黄醛还原酶的作用下还原为视黄醇,但 β -胡萝卜素也可以合成虾青素(astaxanthin, 强抗氧化剂)。

4 为什么要发展功能农业

任何一个新领域的提出发展都是以市场需求为原始推动力的。功能农业的产业化也不例外,它的发展主要来自于两个方面的迫切需求。

4.1 生态高值农业急需农产品附加值提升技术

农业虽然作为传统行业,但因其在日常生活中的刚性需求特征,越来越受到投资者的重视。当然,资本、人才的真正集聚需要以农业的高产值为基础,随着绿色食品飞入寻常百姓家,此前作为农业高产值支撑的绿色技术正在演变为大众产品广

泛采用的常规技术。这就要求以品质提升为新内涵的新兴技术的出现,来支撑高值农业的进一步发展。而功能农业恰恰能满足这一诉求。

4.1.1 农业发展三阶段

(1) 高产农业

农业发展基于社会需求和经济基础,有着阶段性特征。中国在建国之初,粮食供不应求,高产农业被作为首要任务。中国农业科技工作者,通过土壤改良、化肥、农药施用和良种的研发,提高农作物产量。由于我国人口不断增长,以及肉、蛋、奶等结构性需求增加,高产农业在今后一段时间仍将持续。未来高产农业科技的微妙变化,也反映了在确保中国人温饱基础上,将进一步满足中国人更高品质、安全健康的生活追求。

(2) 绿色农业

1989 年,“绿色农业”概念被引入中国。绿色农业是以农产品的生态安全为诉求,强调对农产品生产过程的投入严加管理,控制有害物质的引入,

从而保护人体健康。广义上讲,可以包含无公害、绿色和有机农业,有机农业是保障“安全”的最高级。狭义上来说,仅指按照绿色标准生产的绿色农业。截止 2013 年,我国很多地区“三品一标”(无公害、绿色、有机和地理标志产品)的认证面积已经超过 50%,我国重点国家级龙头企业的农产品基本实现了绿色认证的全覆盖(图 7)。



图 7 绿色产品认证标识(三品一标)

Fig 7 Certification label of green products

(3) 功能农业

功能农业作为农业发展的第三个阶段,侧重于增加农产品的健康内涵。其重要意义就在于,它可以带领农业走出“完全竞争”。

“完全竞争”就是指,别人种什么,你也种什么。东西完全一样,靠拼价格生存。在所有行业中,处于第一产业的农业“完全竞争”最为明显。因为制造业通常是建立在有一定差异的产品间“竞争”,产品与产品之间可以做得不太一样。

功能农业就是通过引入对功能农产品的个性化设计,让最具优势的农产品主产地再次脱颖而出,放大、固化优势,并且借机打造品牌。因为功能农业技术使农产品的差异化,从食品制造过程,前移至农业种植中。所以,农产品的个性化设计成为可能,也就能使所生产的功能农产品不太一样。

4.1.2 绿色农业将进入红海

绿色农业在中国的发展至今已有 25 年。绿色农业最早在西方兴起,主要是因为科学家发现农药、化肥等农业投入品,会将有害成分带进农产品,如:一些高毒、高残留的农药,一些含氮化肥的过量使用,使得土壤、农产品中硝酸盐含量大幅提高。绿色农业是指对农药、化肥等投入品进行严格管控,使用的农药在毒性、残留方面有新的要求。

绿色农业已开始进入红海阶段。绿色农产品从最早的稀缺,到 2013 年全国认证面积已经远远超过 10%。绿色农业广义上看,在中国包含了无公害、绿色和有机,均是从环境安全角度考虑,农业部称之为“三品”。有机农业是环境安全农业的最高级别,但由于有机农业人工需求大,产量通常仅为绿色农业产量的 1/3,在中国粮食安全形势严峻的大背景下,有机农业的比例不能占有显著份额。除了从全国趋势看,绿色农业规范逐步进入同质化,大型农业企业也基本上完成了绿色农产品的认证,相互之间已无差异,竞争力下降。

在一些发达地区,如北京、上海、苏州,这种趋势更加明显。例如:北京市政府在《北京市农业十二五发展规划》中提出,在 2015 年以前,“三品一标”,即无公害、绿色、有机和地理标志产品的认证面积占耕地面积的 60%。苏州更提出“十三五”,“三品一标”比例达到 90%。很明显,在这些发达地区,绿色农业已率先进入普及化时代,成为区域居民的基本消费标准,不再是农业企业所能依靠的差异化技术。

在中国,由于绿色农产品安全控制上的造假和混乱以及部分认证机构和人员的趋利行为,使得绿色农产品的标识被滥用,一些达不到标准的农产品被作为绿色农产品引入市场,再加上近年来中国农产品的质量安全事故频频发生,这些都引发了消费者的不满和绿色农产品在消费者心中的信誉度下降。正是在这种背景下,褚橙柳桃出现了,一些此前从事其他行业的大佬,如联想控股的柳传志、红塔山前董事长褚时健等开始从事高端农业生产,全过程严格管控,确保品质。

柳传志先生领导的联想控股旗下佳沃集团选择了猕猴桃和蓝莓作为他们首先打入市场的两种产品,据集团的负责人介绍挑选猕猴桃和蓝莓,主要看中了这两款产品的健康功能,猕猴桃是维生素 C 最丰富水果,有“维生素之王”的美誉;蓝莓因为含有丰富抗氧化物质,在西方发达国家很流行。佳沃集团等以电商新思维开展绿色安全农产品的生产销售显然为中国绿色农产品的发展带来了新一波的生机。

4.1.3 功能农业开创农业蓝海

功能农业相比绿色农业的突出特点是,消费者在持续消费功能农产品之后身体健康能够得到改善。这种特殊的差异性和不一样的感觉,可以给农业企业带来更加忠实的消费者。有研究发现,以前

体质差容易感冒的消费者持续食用标准化的富硒农产品以后,身体抵抗力明显增强。这其中有很多例子就来自周围同事以及他们的家人。可以看出,功能农业因为能显著提高消费者的健康水平,相比绿色农产品,消费者愿意为此支付更高的价格。由于功能农业刚刚兴起,在中国,目前采用标准化技术的农产品占比约在 1/1 000,因而功能农业所开辟的蓝海才刚刚展现。

目前,中粮集团的我买网已与功能农业技术领军企业硒谷科技签署战略合作协议,在其电商网站设置功能农产品专栏,专门销售经过标准化技术生产的功能农产品。此外,中国的主要知名电商,如京东、阿里巴巴、1 号店等都表达了合作开设功能农产品专栏的意愿。

4.2 矿物质补充形态的革新需求

一直以来,人们习惯于以无机矿物盐的形式来补充矿物质。随着生物营养强化技术的出现,更自然、更安全的生物合成矿物质(光合源有机矿物质)能够通过生产而得到,而且此前同时补充多种矿物质之间的拮抗效应也有望大幅降低。功能农业在生物矿物质生产中扮演着越来越重要的角色。如:高硒、高锌等生物功能农产品可以满足中国居民对硒、锌元素的需求(图 8)。

食物——人体补充矿物质的主要方法



图 8 矿物质营养补充

Fig 8 Supplement of mineral nutrition

4.3 功能性食品是人类健康长寿的重要保障

生活中,一些善于思考的人可能会问,过去我们的祖先只是一日三餐,没有食用保健品,不也很健康吗?为什么现代人反而需要额外补充一些营养功能食品呢?理解这个问题可以从三个层面来看。

4.3.1 平均寿命的延长,需要营养补充作为基础

古代中国人的平均寿命一般在 40 岁左右,与目前一些非洲国家相当,在身体各方面机能尚未衰退时,却由于疾病离世。而现在中国人平均寿命在

74 岁左右,我国一些发达地区以及一些发达国家的人平均寿命达到 80 岁以上,如苏州人平均寿命在 83 岁左右,日本人平均寿命也达到 83 岁。矿物质和维生素一样,是人体必须的元素,在人体组织的生理作用中发挥重要的功能。但是矿物质是无法自身产生、合成的,人体每天摄取的矿物质也是基本恒定的。但在这寿命延长的 40 年中,体内有些矿物质的流失增大,如:35 岁以后钙的流失大于吸收。因此,针对性补充一些矿物质是维持身体健康的重要物质基础。

4.3.2 大家期望进一步优化身体营养供给

根据世界微量营养组织的统计,通过日常饮食补充必需矿物质和维生素等营养素,能达到世界卫生组织推荐值以上的仅有 1/200 000。这表明,绝大部分居民的营养有进一步优化的空间。营养不良是导致大约 45% 的 5 岁以下儿童死亡的主要原因。从 1990 年至 2013 年,发展中国家营养不良的儿童比例从 28% 下降到 17%,到 2015 年,这种趋势已经达到 16%。如图 9 所示,全球营养不良的儿童比例已经从 1990 年的 25% 下降到 2013 年的 15%。在区域水平上,目前只有美洲、欧洲、西太平洋地区营养不良的儿童比例达到了 WHO 规定的千年计划(MDG),其他地区还有待调整。

此外,我国营养学会的研究发现,中国居民的营养特征是:宏量营养过剩,微量营养缺乏。我国“三高人群”大部分是因为脂肪、糖类和蛋白质 3 种宏量营养过剩造成的,而像碘、硒、钙、铁、锌等微量营养在不同地区和不同人群却存在缺乏现象。值得关注的是,近年来,硒和碘的缺乏最为普遍。

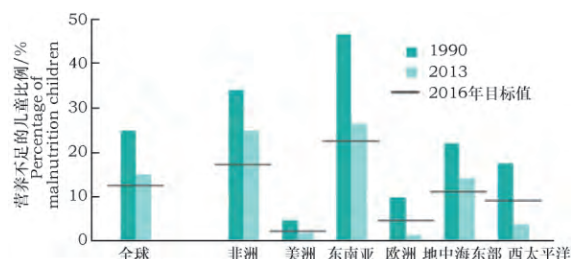


图 9 1990—2013 年全球营养不良的儿童比例

Fig 9 Percentage of global malnutrition children in 1990-2013

4.3.3 环境风险危害加大,人们工作压力增大,运动减少

现代社会中危害人体健康的因素比过去增加

了很多。譬如空气、水质和食品污染带来癌症高发,研究显示目前的PM_{2.5}对肺癌,淮河水质污染对于胃癌、结肠癌等都有诱发作用。人们工作压力增大,运动减少,又使人体处于免疫力较低的亚健康状态。因此,适当补充一些有益的营养功能食品对公众健康是有好处的。

5 功能农业发展的社会意义及市场预测

5.1 功能农业的社会意义和价值

据硒谷科技估算,目前农业企业在功能农业产业化中投入产出比一般在1:10~1:20,因此,当硒谷科技产值达到2.5亿,直接带动产值将达到50亿,间接带动大农业产值在100亿元以上。这不但给农业企业带来效益,也会增加农民收入,实现富农强农的目的,一定程度上有助于解决当前的“三农”问题。此外,硒、锌、钙、铁、碘等矿物质均是人体必需的,目前,存在这些矿物质缺乏的人群达到数亿。矿物质的适量补充能够提高免疫力,预防包括癌症在内的多种慢性疾病,对于公众的健康改善,降低医药费用意义重大。这也为《中国居民营养改善管理办法》的实施,提供了产品保障。由此可见,功能农业发展具有巨大的社会效益和经济效益,完全符合我国政府支持的关注民生和可持续发展的要求,也将会得到更多关注和支持。

由于功能农业具有“农业增效、农民增收、人民增寿”的三增效应,2017年中央“一号文件”中在第三部分“壮大新产业新业态”提出“加强现代生物和营养强化技术研究,挖掘开发具有保健功能的食品”。农业部“主食提升行动”也将功能化作为主食质量突破的首要方向。2017年,在中央和部委意见的影响下,山西、广西、河北、江苏、安徽、山东六省,先后推动功能农业在省域的布局发展,部分省份还将功能农业列入了“十三五”发展规划。

为了支撑、服务功能农业的快速、高质量发展,在各方的积极推动下,中国科学院的中国科技大学、南京土壤研究所、苏州纳米研究所、烟台海岸带研究所四家生物、农业研究单元共同成立了功能农业联合实验室,重点协作开展功能性农产品开发中关键应用基础研究、安全性、有效性评估和标准制定。在此基础上,建立了中国科技大学苏州研究院功能农业重点实验室、江苏省硒生物技术工程中心、苏州功能农业院士工作站等科研载体。

依据《山西省“十三五”规划纲要》、山西省农业

工作会议提出的“以功能农业为引领,加强科技创新驱动”,立足山西特色农业优势,抢抓功能农业新兴机遇,山西在全国率先组建了山西功能农业研究院,在功能农业新学科的人才培养、科技创新、社会服务三个方面,加快构建功能农业政、产、学、研、用相结合的创新服务体系,并占据制高点,从而在功能农业新学科建设方面实现领跑,对山西省农业供给侧改革起到引领支撑作用,成为山西农业农村发展的新动能,并服务到我国消费升级战略。特别是希望通过山西功能农业研究院的建设,培育带动山西农业大学功能农业学科成为全国著名和世界有影响的“一流学科”。这让“杂粮王国”山西再次成为全国瞩目的焦点。2017年初建立的山西功能农业研究院,也逐步扮演起山西省功能农业“智慧中心”角色。

在2011年10月召开的第二届国际硒与环境 and 人体健康国际会议上,功能农业的概念、发展趋势获得了全面阐释,并指出功能农业是农业科技领域的一个有前景的新兴分支。2013年的第三届国际硒与环境 and 人体健康国际会议上,全面回顾功能农业的概念提出与产业发展历程。2015年第四届国际硒与环境 and 人体健康国际会议上,系统介绍了功能农业产业化应用的情况和经验,引起与会各国专家的关注、肯定^[7,8]。2017年,经中国科学院曼谷创新中心推荐,尹雪斌博士还受邀参加泰国科学院主办的“食品业4.0”论坛,发表“从功能农业到功能食品:中国的实践”主旨报告,使“中国创造”的功能农业理念走出国门,顺着“一带一路”,开始逐步影响世界。

5.2 功能农业市场容量估算

矿物质缺乏的现状首先催生了矿物质补充产业在食品工业的蓬勃发展。在中国,20世纪90年代,“黄金搭档”和“北大富硒康”的问世,是中国矿物质元素产业化的第一步。据《中国健康产品网》产品数据库显示,截至目前,已批准的国产保健食品中,功效成分含有矿物质元素的产品共200多个,市场超过500亿元。其中,仅黄金搭档一个产品每年销售额就达到20亿,其他如补钙、补铁、补锌等产品占据了保健食品的半壁江山。在国外,20世纪70年代后,世界食品业巨头均大举研究和推出含有矿物质的各类营养补充食品,如:惠氏食品推出善存片、安利推出膳食营养补充剂产品。目前,欧、美等国居民消费保健品的比例达到1/3以上。

由于功能农业这一领域为新兴领域,市场容量的直接估算存在困难,据推测,2020年功能农业的占比会达到我国可食用农作物耕作面积的1%,2030年左右,比例会上升至10%,2050年将上升为50%。按静态价值计算,2020年市场容量将达到1000亿,2030年为1万亿,2050年为5万亿。可见,随着农业产业化和信息技术的发展,以及消费者对于健康产品需求更加迫切,功能农业的发展速度可能超过绿色农业。

6 功能农业与生态高值农业的关系

从2008—2017年建立“中国科技大学苏州研究院功能农业重点实验室”到建立“苏州晒谷科技有限公司”这9年期间(实际上还要加上从1999—2007年8年来对硒元素的观察与前期研究阶段),该室尹雪斌和刘颖等同志,从无到有,从小到大,正在走向不断开发创新的发展阶段。这主要表现在以下4方面:

(1)精心研发,技术创新。广泛开展国际合作,开展生物营养强化技术产业化应用。过去9年,通过上千个试验,10万个土壤、水及农产品不同部位的标本分析,已积累了30个大宗品种的定量强化技术规范,目标元素涵盖硒、锌、钙、铁等22种矿物质。

(2)制定标准,保证质量。根据不同土壤、品种、气候差异,制订了20多项产品的技术标准和5

个地方种植标准,并牵头起草了首个《富硒农产品》系统的行业标准。

(3)万亩示范,规模经营。近年来,在地方政府的支持下,通过“政产学研用”的方式,已与地方政府、龙头企业联合,建立了不少“万亩功能农业示范区”,推动了整套技术体系和产业体系构建。

(4)三产联动,综合示范。在山西、山东、江苏等省份,正在筹划一二三产联动的功能农业示范综合体——“功能农业城”,或者“功能农业特色小镇”。其中,江苏宿迁市泗洪县的“功能水稻特色小镇”将是我国建设的首个功能农业特色小镇,也是江苏省粮食局提出把“功能粮油”作为江苏粮食产业集群新抓手和科技创新亮点后,第一个集成示范点,被作为“江苏好粮油”行动的发展典型。此外,在山东东营的黄三角农高区、山西太谷县的“山西农谷”,都在筹划“功能农业城”的规划和建设。

从“功能农业”产地条件,产品功能,产业开发等可见,生态高值农业的理念与内涵是与功能农业研发的发展方向相一致。功能农业不但是生态高值农业的支撑性技术,它的发展还为我国生态高值农业产业体系构建积累了经验、奠定了基础。

因此,以富硒、富锌等为主体的“功能农业”的研发,只有按生态高值农业的理念与内涵方向发展,才能不断走向创新开拓与可持续发展。今后其研发也必将走“生态高值型功能农业”的方向(图10)。



图10 功能农业与生态高值农业关联图

Fig. 10 The relevance about functional agriculture and ecological high-value agriculture

7 功能农业发展宗旨与方针

结合中国功能农业产业发展实际,对于未来功

能农业发展总结了20字宗旨与12字方针,希望以指导功能农业有序发展,造福13亿中国人。

(下转第486页)

- [2]刘武仁,郑金玉,罗洋,等.培土厚度对玉米根系特性的影响[J].吉林农业科学,2011,36(4):1-3.
- [3]郑旭颖.丘陵山区陆稻全程机械化构想及其经济效益分析—以澜沧县为例[D].云南:昆明理工大学,2014.
- [4]张洪程,龚金龙.中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J].中国农业科学,2014,47(7):1273-1289.
- [5]于海杰,黄严,陈超君,等.机械种植对甘蔗产量、蔗糖分及抗旱性的影响[J].广西职业技术学院学报,2016,9(2):6-11.
- [6]王在满,罗锡文,陈雄飞,等.水稻机械化穴播技术对稻米品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(16):16-21.
- [7]玉香桑,玉旺香,彭江洪,等.水稻机械栽插经济效益分析[J].中国农业信息,2016(1):53-54.
- [8]尚泓泉,王振云,张武刚.精密播种在玉米生产中的应用及发展前景[J].中国种业,2009(1):19-20.
- [9]姚杰.浅谈玉米精密播种技术的推广与发展前景[J].玉米科学,2004,12(2):89-91.
- [10]刘成宝,薛锡柱,李坤,等.玉米密植精播机械化高产技术的推广和应用[J].农业科技与装备,2008(2):81-82.
- [11]张秀丽,王栋,仝振伟,等.高秆作物中耕培土机械化技术分析[J].河南农业科学,2016,45(5):157-160.
- [12]郭涛,李海江,腊贵晓,等.起垄方式和种植密度对浓香型有机烟叶产量和品质的影响[J].河南农业科学,2014,43(9):41-45.
- [13]徐天养,赵正熊,李忠环,等.中耕培土后覆盖秸秆对烤烟生长及养分吸收和产质量的影响[J].中国烟草学报,2008,14(4):18-22.

(编辑:梁文俊)

(上接第 468 页)

关于功能农业发展的 20 字“宗旨”:科技领先、智慧创新、开拓发展、团结协作、公正诚信。

关于功能农业发展的 12 字“方针”:准确、高质量、稳妥、安全、民生、持续。

8 结语

“生态高值型功能农业”作为我国农业新兴战略领域,是继高产农业、绿色农业之后的第三个阶段,也是推动保障国民健康的新阶段。同时,还是能将大农业一产、二产、三产相连接,实现农产品生态高值的新产业。但此新兴产业毕竟尚处于初始研发阶段,无论在理念创新,产业开发和产业生态构建等方面,仍待深入研究与改

进。特别值得重视的是,所生产的产品,必须是“科学、稳妥、安全”保障民生持续健康的功能农产品。2017 年即将在北京召开的“科技促进农业供给侧改革”战略与决策高层论坛,由中国科学院联合多部委和山西省、广西壮族自治区共同举办,功能农业作为农业供给侧改革的新路径、新动能,将被重点研讨,相信集思广益之后,功能农业会迎来更大、更快的发展。

最后,希望功能农业相关力量团结一致,齐心协力,共同把中国功能农业发展得享誉全球,使之成为“中国机遇”、“人类福祉”,在 2020 年,庆祝全国全面建成小康社会的同时,为“生态高值型功能农业”的高速发展共同庆贺!

参 考 文 献

- [1]中国科学院农业领域战略研究组.中国至 2050 年农业科技发展路线图[M].北京:科学出版社,2009.
- [2]赵其国,段增强.生态高值农业:理论与实践[M].北京:科学出版社,2013:119-126,294.
- [3]中国科学院.科技发展新态势与面向 2020 年的战略选择[M].北京:科学出版社,2013.
- [4]Yin X, Yuan L, Liu Y, et al. Phytoremediation and Biofortification: Two Sides of One Coin[M]// Phytoremediation and Biofortification. Springer Netherlands, 2012:1-6.
- [5]G S 巴纽埃洛斯,林治庆,著,尹雪斌,译.硒生物营养强化农产品开发和应用[M].北京:科学出版社,2010:55-66.
- [6]程义勇.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013 修订版)[J].营养学,2014(4):313-317.
- [7]尹雪斌,赵其国.中国功能农业产业发展 2015 年报[R].2015:1-13.
- [8]尹雪斌,赵其国.中国功能农业产业发展 2016 年报[R].2016:1-20.

(编辑:马荣博)



特约作者 赵其国

赵其国：土壤学家，中国科学院院士，
中国科学院南京土壤所研究员

赵其国院士长期从事中国及世界土壤地理与土壤资源研究。2008—2011年参与“中国至2050年农业科技发展路线图”研究并担任组长，并在此书中率先提出了功能农业的概念。2016年与尹雪斌博士合著功能农业领域首部专著——《功能农业》，标志着功能农业作为一个新兴学科，实现了从初步概念到系统科学理论阐述的升级。一直致力于推动功能农业学科的创建与发展，是功能农业的奠基人。曾获中科院竺可桢奖、国际道库恰耶夫奖、第四届日经亚洲大奖等国际、国家及中科院奖20次。

近年来发表的论著

1. 赵其国, 尹雪斌. 功能农业. 科学出版社, 2016
2. 赵其国, 段增强. 生态高值农业: 理论与实践. 科学出版社, 2013
3. 赵其国等著. 中国至2050年农业科技发展路线图. 科学出版社, 2009
4. Qiguo Zhao, Xuebin Yin. The Functional Agriculture in China: 5-year practice. *Selenium in the Environment and Human Health*. CRC Press, 2013.10, 162-163
5. Zhao Q G, Yin X B. The Functional Agriculture in China: Present and Future. *Selenium: Global Perspectives of Impacts on Humans, Animals and the Environment*. USTC Press, 2011.10, 115-116
6. 赵其国, 我国红壤现代成土过程和发育年龄的初步研究. 第四纪研究, 1992(4):341-351
7. 赵其国等著. 红壤物质循环及其调控. 科学出版社, 2002
8. 赵其国等著. 我国红壤退化时空变化、形成机理及调控. 科学出版社, 2002

近年来主持或参与的科研项目

1. 科技领域发展路线图战略研究, 中科院重点项目, 2008—2009
2. 中国土壤环境战略研究, 国家环保总局任务, 2007—2008
3. 江苏省农业现代化战略研究, 江苏省政府重大科技项目, 2007—2008
4. 长江、珠江三角洲地区土壤和大气环境质量变化规律与调控原理, 科技部973项目, 2003—2007
5. 中国水土流失与生态安全综合科学调查研究, 水利部项目, 2005—2007

特约作者 尹雪斌

尹雪斌：中科大苏州研究院功能农业重点实验室主任，兼任山西功能农业研究院院长，国际硒研究学会秘书长



尹雪斌博士长期专注功能农业新方向的研究，发表论文30多篇，专著5部，与赵其国院士合著领域的首部专著——《功能农业》，并牵头了首个行业标准起草，推动了功能农业新学科的创立与发展。2008年联合创立硒谷科技，指导团队提交功能农业国际、国家发明专利近300项，现已成长为具有国际影响的功能农业技术第一品牌，服务了中粮、中盐和江苏农垦等一批业界龙头企业，在山西、广西、江苏、安徽、河北和山东等省份建立了示范区。

近年来发表的代表性著作

论文：

- (1) Zhangmin Wang, Qi Liu, Fei Pan, Linxi Yuan, **Xuebin Yin***. Effects of increasing rates of zinc fertilization on phytic acid and phytic acid/zinc molar ratio in zinc bio-fortified wheat. *Field Crops Research* 2015, 184: 58-64
- (2) Linxi Yuan*, Yuanyuan Zhu, Zhiqing Lin, Gary Bañuelos, Wei Li, **Xuebin Yin***. A novel selenocystine-accumulating plant in selenium-mine drainage area in Enshi, China. *PLoS One*, 2013,8(6):DOI: 10.1371/journal.pone.0065615
- (3) Jing Gao, Ying Liu, Yang Huang, Zhi-Qing Lin, Gary Bañuelos, Michael H. W. Lam, **Xuebin Yin***. Daily selenium intake in a moderate selenium deficiency area of Suzhou, China. *Food Chemistry* 2011, 126(3): 1088–1093

专著：

- (1) 赵其国,尹雪斌. 功能农业. 科学出版社, 2016.03
- (2) Gary Bañuelos, Zhi-Qing Lin, **Xuebin Yin**. Selenium in the Environment and Human Health. CRC Press, 2013.10
- (3) **Xuebin Yin**, Linxi Yuan. Phytoremediation and Biofortification: Two Sides of One Coin. Springer, 2012.09
- (4) Gary Bañuelos, Zhi-Qing Lin, **Xuebin Yin**. Selenium: Global Perspectives of Impacts on Humans, Animals and the Environment. 中国科学技术大学出版社, 2011.10
- (5) 尹雪斌,李飞,刘颖,周守标. 硒生物营养强化农产品开发和应用. 科学出版社, 2010.12
- (6) Gary Bañuelos, Zhi-Qing Lin, **Xuebin Yin**. Selenium Deficiency, Toxicity, Biofortification and Human Health. 中国科学技术大学出版社, 2009.10