

中国养分资源综合管理研究的意义与重点

Significance and Keystone of Research of Integrated Nutrient Resource Management in China

马文奇/MA Wen-qi¹, 张福锁/ZHANG Fu-suo², 陈新平/CHEN Xin-ping²

1. 河北农业大学资源与环境学院, 河北保定 071001

2. 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094

1. College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei Province, China

2. Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE; College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

[摘要] 养分作为动植物的生命元素,既是一种资源,也是环境污染因子,管理不善将带来严重的营养和资源环境问题。并结合近年来研究结果和文献资料,对我国养分资源利用的特点和国内外研究进展进行分析,提出我国养分资源综合管理研究的重点。分析结果表明,目前我国养分资源利用的特点是:大量依靠化肥投入、养分资源利用不合理、其他养分资源潜力巨大但有待挖掘、经济发展和建设小康社会将会加剧养分流动与向环境的释放等;国际方面,在建立养分管理研究网络的基础上,加强了农田养分资源综合管理理论和技术研究,并且在区域和流域层次上已经扩展到整个食物链,同时十分重视相关政策和法规研究。因此,建议我国养分资源综合管理研究要突破传统的农田范畴,以食物生产和消费及其环境系统为对象,以养分资源流动和调控为重点,从农田和区域的不同层次开展研究工作。

[关键词] 养分管理;资源;环境;农田;区域

[中图分类号] S143

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)10-0064-04

Abstract: Nutrients, such as N and P, are not only the essential element of plants and animals, but also the resource and factor of environmental pollution. Irrational nutrient management would lead to the nutrition disorder and environmental problems. Based on the research results of our group and literatures, the properties of nutrient utilization in China and the progress of nutrient management research were analyzed and the keystone of future research in China was suggested. In China, the crop production is mainly depended on the input of fertilizer nutrients and the nutrient use efficiency is very low. The nutrients in organic material, soil and environment are not sufficiently utilized. The flux and emission to environment of nutrients in food chain will increase rapidly in future with the development of economy and society in China. In the international study of nutrient management, the research network was paid more attention to filed level, and the policy and legislation of nutrient management was strengthened at regional and national level. The keystone of nutrient management research in China will be the nutrient flow in field, regional and national scale and its regulation in food chain system.

Key Words: nutrient management; resource; environment; field; region

CLC Number: S143

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)10-0064-04

1 引言

植物生长需要碳、氢、氧、氮、磷、钾、硫、钙、镁、硼、锰、铁、钼、锌、铜、氯、镍 17 种必需营养元素,养分是这些营养元素的简称。养分资源与人类赖以生存的食物、空气和水等资源密切相关。众所周知,粮食是植物利用土壤中的水分和养分,通过光合

作用从大气中吸收 CO₂ 而生产的。养分作为维持植物生长的重要物质基础,不但是生命元素,也是一种资源,同时还是环境污染因子,当它们在环境中浓度过高时就会造成环境污染。养分资源包括土壤、化肥、有机肥和环境所提供的所有养分^[1],它具有极大的迁移性和循环性,沿着食物链进行

纵向流动与循环,也在区域间进行横向流动,养分流动与循环的强度决定着植物、动物和人体营养的水平及质量,同时也决定着人类赖以生存的环境的质量。农业生产的根本目的就是通过优化这些养分的循环及能量转化过程满足人类社会的需求^[2]。因此,通过优化养分管理、保持养分的合理流

收稿日期: 2006-03-16

基金项目: 农业部 948 项目(2003-Z53), 国家自然科学基金项目(30571087)

作者简介: 马文奇,男,河北保定灵雨寺街 289 号河北农业大学资源与环境学院,教授,主要从事区域和国家养分资源综合管理研究;

E-mail: mawq@hebau.edu.cn

动和循环是农业可持续发展的基础^[3]。

近年来,随着社会经济和农业的发展,在农田养分利用上,人们只重视化肥的投入,而忽视其他养分资源的利用;在区域和国家范围内,强调增加养分的迁移而忽视养分的合理循环和综合管理;由此带来了一系列严重的资源、环境和农产品品质问题。为了解决这些问题,我们提出了养分资源综合管理的概念^[4]。养分资源综合管理包括农田和区域(或国家)2个层次,农田层次上强调在定量化农田生态系统养分流动的基础上,综合利用农田生态系统中所有自然和化工合成的植物养分资源,通过合理使用有机肥和化肥等有关技术的综合运用,挖掘土壤和环境养分资源的潜力、协调系统养分投入与产出平衡、调节养分循环与利用强度^[4];区域层次上则强调从一个特定区域食物生产与消费系统出发,以养分资源的流动规律为基础,通过多种措施如政策、经济、技术等综合,优化食物传递链和环境系统养分传递,调控养分输入和输出,协调养分利用与社会、经济、农业、资源和环境的关系,实现生产力逐步提高和环境友好的目标。本文将在分析我国养分资源利用现状和国内外养分资源综合管理研究进展的基础上,提出我国养分资源综合管理的研究重点。

2 我国养分资源利用特点及其养分资源综合管理研究意义

2.1 大量依靠化肥投入是我国养分资源利用的主要方式

近50年来,我国农业生产取得了举世瞩目的成就,以世界7%的耕地养活了占世界22%的人口,粮食单产和总产均大幅度提高,人均粮食和肉蛋生产量均超过了世界平均水平,其中化肥养分投入发挥了巨大的作用。同时,施肥结构也发生了巨大变化,由有机肥为主转向了以化肥为主。目前农田有机肥养分比重平均为39.7%,其中农田有机肥N、P₂O₅和K₂O的比重分别为17.1%~20.9%、27.2%~32.1%和75.1%~

73.5%^[5]。化肥增长速度明显快于粮食和人口增长(图1),大量依靠化肥投入成为我国养分资源利用的主要方式,到2004年,我国化肥生产量和消费量分别达到4 469.5万t与4 636.6万t,均占世界30%以上,是世界第一化肥生产和消费大国。

2.2 养分资源利用不合理导致严重的环境问题

由于对我国养分资源综合管理缺乏深入系统的研究,致使其利用效益不高、环境与农产品质量问题突出。例如,化肥使用上存在着用量大、肥效低、养分配比不合理、地区间分配不均、作物间不平衡、肥料品种结构不适宜等问题^[6],严重制约了养分资源的高效利用。我国某些地区滥用氮肥的现象已相当普遍,粮食作物已有许多报道,如北京^[7]、山东^[8]、江苏^[9]等。过量施氮的问题在迅速发展的蔬菜和果树种植区更为严重,通常施氮量是推荐施氮量的2~6倍。随着种植结构调整,蔬菜、果树等高经济价值作物面积还将进一步扩大,还将增加氮肥的投入^[8-10]。据估计,我国每年损失的氮素相当于4 000多万t硫酸,价值300多亿元^[11]。大量化肥的投入,也对环境产生严重影响,引起了世界的关注^[12-13]。同时,大量有机养分资源再循环利用效率低下,N、P₂O₅和K₂O的养分再循环率分别为29.2%、43.5%和66.1%^[9]。

2.3 其他养分资源潜力巨大,有待挖掘利用

与此同时,我国每年有大量的有机养分资源没有得到充分利用,它们流失在环境中,不但浪费了大量资源,而且还污染了环境。据农业部2000年统计结果,我国每年秸秆资源总量达5.5亿t,其中含有的N、P₂O₅、K₂O分别为493.9万t、156.7万t、982.5万t,总养分为1 633.2万t^[14]。每年有大量养分损失,其中N素养分还田率仅为47.3%。同时,城市废弃物、畜牧生产的废弃物等数量巨大^[15-16],已造成污染^[17]。另外,土壤作为最大的养分资源库,不仅能提供各种营养,而且还可缓冲养分供应的缓急,其养分资源潜力巨大,也有待于挖掘利用^[1]。

2.4 经济发展和建设小康社会将可能加剧养分流动和向环境的释放

养分资源在食物的生产、流通、加工、消费、废弃整个过程中进行迁移、循环并对环境产生影响。在此过程中,当氮、磷及一些重金属元素如锌、铜、锰等超过环境容量时,就可能对环境造成污染。近几年研究发现,人类饮食方式、人类生活和营养对养分循环有重大影响^[18]。环境学家注意到,吃饭应该是世界上最大的环境问题之一。如果说一个人某天晚上吃了一份100g由大米和鸡块做成的份饭,生产这些大米和养鸡需要40g氮肥,其中90%的氮释放到土壤、水和空气中,而人体会把饮食中的4g氮排泄出来。以上氮在环境中的释放和排泄都会对环境产生一定的污染^[19]。一些发达国家如日本,化肥没有增长,但向环境排放的氮仍在增加,其原因与食物消费有关^[20]。近年来,我国经济快速发展,人民生活水平提高,生活方式改变,带来养分循环的变化。据测算,2000年与1952年相比,我国人口增加1倍,而通过食物生产和消费系统向环境释放的氮量却增加了8倍(图2)。我国建设小康社会,城镇化水平提高,城市人口增加,随着收入增加和食物生产与消费结构的改变,必然对养分循环和养分向环境的释放产生更大的影响。

由此可见,养分的研究涉及到农业、人类营养和生态环境多个方面,已经不再局限于农业生产系统,养分资源的综合管理也要扩展到整个食物生产-人类营养-环境体系^[21]。目前我国养分资源数量巨大,但利用不合理,造成浪费和污染环境,因此,养分资源综合管理研究已经成为我国农业可持续发展的重要研究内容。

3 国内外研究进展

3.1 农田养分资源综合管理研究是国际研究热点

植物养分综合管理(IPNM)是由联合国粮农组织(FAO)和一些西方国家于20世纪90年代首先提出的^[22]。他们针对西方高投

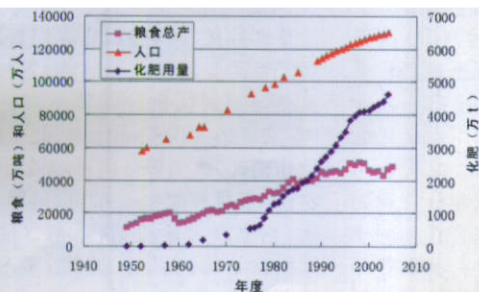


图1 我国解放后历年人口、粮食和化肥消费量的变化

注:根据统计数据绘制

Fig. 1 Change of population, grain production and fertilizer consumption in China after 1949
(According to statistical data of China)

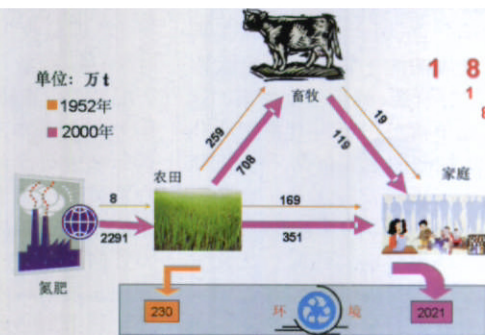


图2 中国1952年和2000年食物生产与消费体系氮素流动的比较
Fig. 2 Comparison of nitrogen flow in food production and consumption system of China in 1952 with that in 2000

入给农业带来的环境污染、农产品质量下降等问题,强调减少化肥投入、保持或提高作物产量、保护生态环境的策略。然而,在养分资源管理技术研究方面我国并不落后。中国农业大学植物营养系于1994年就提出了在综合考虑有机肥和作物秸秆管理的基础上,根据养分的特点,进行化肥养分优化管理的观点。其中,由于氮素最为活跃,因此就需要根据土壤供氮状况和作物需氮量,进行适时的动态监测和精确调控;而磷、钾肥在土壤中相对损失较少,可简单地通过土壤测试和养分平衡监控进行平衡施肥,使其不成为产量限制因子;对中微量元素则采用因缺补缺的施肥策略^[23]。到1999年,国际水稻研究中心(IRRI)的Dobermann和White才提出了同样的策略^[24]。现在这一方法已经被美国、德国和IRRI等广泛采用。目前,国际上对养分资源综合管理又提出了一些新的思想,如IRRI的SSNM(Site-Specific Nutrient Management)、FSNM(Field-Specific Nutrient Management)和能够对水稻生长期氮素营养状况实时监控的SRNM(Season-based Real-time Nutrient Management)法;英国洛桑(Rothamsted)实验站建立了用于氮素推荐施肥的系统——SUNDIAL-FRS,并成功地在东南亚、非洲和欧洲扩大应用;德国开发了作物氮素管理专家系统——N-Expert II,亦被广泛应用于蔬菜等作物上。这些技术为氮素的精确管理提供了有力工具,有很好的应用前景。

在农业部“948”项目资助下,我国在田块尺度的养分管理方面,已构建了以高产优质栽培技术为基础、以氮营养的实时监控为核心并结合磷、钾、中微量元素实地的衡量监控的养分资源综合管理技术体系,并在小麦、玉米、水稻、棉花、水旱轮作、烟草、苹果、蔬菜等作物体系进行试验示范和推广,均取得巨大的社会、经济和环境效益。

3.2 区域和流域养分资源综合管理研究已扩展到整个食物链

荷兰由于畜牧业非常发达,有机废弃物对环境的污染严重,因此,他们非常强调农牧系统养分资源的统一管理,以最大限度地利用有机养分资源,减少环境污染。这些系统的研究成了荷兰国会对于有机肥和化肥用量实行立法控制的主要依据^[25]。近年来,国际上越来越关注营养水平、食物结构、城镇化等对养分流动的影响^[18,26-27]以及如何在尽量减小环境影响的同时,优化食物和能源的生产^[28]。Howarth等^[29]计算了美国采用不同饮食方式对未来无机氮肥施用的影响,结果表明,如果美国人将其肉类消费量大约减少50%,接近于瑞典的消费水平,无机氮肥需求量将减少37%;如果美国采用地中海式饮食方式,肉类消费量将减

少到目前的1/7,无机氮肥需求量将减少56%。人类消费更多动物性食物的愿望又是世界性的,如果大家都去追求北美的饮食模式,50年后全球若有90亿人,就需要30亿多头牛,而现在只有13亿,而且,还要面对它们的废弃物^[26]。日本1992年农业生产使用的化肥氮与1960年相比没有多大差别,但从国外大量输入粮食和饲料,向环境中的排放量,特别是通过畜产的排放量较多,其结果是出现了水域富营养化、地下水硝酸盐污染、温室效应等问题^[26]。德国Is-ermann等首次考虑作物生产与消费整个营养体系,建立了农田-畜牧-加工-家庭-废物处理-环境体系氮素循环与平衡模型,分析了未来不同营养模式下欧洲国家营养体系中氮素平衡的前景。从人类实际营养需要的角度分析,欧洲国家动物生产和消费过高,欧盟的动物蛋白质消费量高出需要量的2倍,德国高出1.7倍。由于营养过剩,德国体重过高的人群比例达到61%、欧盟50%-60%、美国55%,世界平均为10%。而人们消费后的氮素仅有1%能进入农田再循环,99%进入了环境。如果按照人们合理营养需求和可持续发展的要求,德国畜牧业生产应减少43%^[29]。Antikainen等^[30]则分析了芬兰食物生产和消费中氮磷的流动。目前,我国在农业部“948”项目资助下,也初步构建了食物生产和消费中氮磷流动的模型^[31-32],开始从食物链角度探索养分的管理策略^[32]。

3.3 养分资源综合管理的政策和法规研究受到重视

目前国外为了做好养分资源综合管理,采用了政策、法规和经济杠杆等手段,例如,欧盟养分管理政策包含在共同农业政策(Common Agricultural Policy)、水质量综合管理(Integrated Program on Water Quality Management)和空气质量管理法(Air Quality Directive)等法规中,采用的途径包括:养分环境风险分区管理;农场的养分管理计划(荷兰、德国、比利时等);农田养分限量管理(欧洲各国);税收等经济杠杆。运用的指标体系包括:养分平衡;养分投入量(有机肥、化肥);施肥时期;氮素残留量;牲畜密度;生产配额^[33]。其最大特点是,将农业和畜牧业作为一个整体,对各个过程利用定量化的指标来进行养分管理。美国和加拿大也出台了类似的法规,区域和国家养分资源的立法管理已经成为养分资源综合管理的重要方向之一。欧洲国家为了研究制定养分管理法规的科学基础、协调各国在养分管理法规上的一致性,启动了“欧洲国家养分管理法规”(Nutrient Management Legislation In European Countries)项目。该项目1999年立项,2003年初结束,历时近40个月,总投入50万欧元,来自15个国家近20名科

学家参加。

3.4 建立养分资源综合管理研究网是目前国际上重要的研究方式

国际社会十分重视养分资源综合管理的网络化研究。美国、德国、英国等西方发达国家和一些国际组织相继启动了大型养分管理网络化研究的项目,如美国农业部农业技术服务中心2001年4月开始的全局性研究项目202号“土壤资源管理”及206号“有机肥及农业废弃物的利用”。前一个项目有38个单位参加,共分5个专题,养分管理是其中之一;后一个项目有18个研究单位和大学参加,有56个课题,其中与养分管理密切相关的课题就有15个。上述2个项目几乎覆盖美国56个州。国际水稻研究所(IRRI)1999年启动了农田养分管理技术国际研究网络INMnet(Integrated Nutrient Management Network),覆盖东南亚各国。英国洛桑实验站1998年启动了养分循环、平衡与管理研究项目(Optimising nutritional quality of crops and Nutrient dynamics project),覆盖全英国等。中国启动了“948”项目,全国30多个单位参加,覆盖全国20多个省。建立养分资源综合管理研究网是目前发达国家和国际组织的重要研究方式。

4 我国开展养分资源综合管理研究的重点

我国的养分资源综合管理研究应该注重田块和区域不同尺度的结合。在农田层次上,在建立全国研究网络的基础上,应对以下几个方面进行重点研究:我国典型农田生态系统中土壤养分持续供应能力、养分迁移转化规律、养分投入和损失状况;

我国典型农田生产系统中作物-土壤相互作用的机制及提高养分利用率的调控技术;适应我国农业生产要求的、持续提高土壤质量的新技术;提高土壤质量和增强粮食综合生产能力的农田养分资源综合管理技术体系等。

在区域和国家层次上应做到以下几点。应深入研究食物链体系养分流动规律及调控机制,进而建立完善的政策和法规。目的是通过食物结构、农牧业结构、城乡结构等的优化,调整作物生产-动物生产-家庭消费的养分比例,改变养分流动数量和模式,减少养分向环境的排放。针对农田、畜牧和家庭亚系统,阐明养分循环规律,调整农田种植结构、畜禽品种结构、家庭膳食结构,优化各亚系统养分流动,促进养分循环。继续研究和发展农田、畜牧和家庭系统,提高以系统养分资源利用效率为核心的养分资源综合管理技术。开展食物链体系养分流动模型研究,建立养分资源综合管理决策支持系统,为制订管理政策和法规提供支持。

参考文献 (References)

- [1] 张福锁, 王兴仁, 王敬国. 提高作物养分资源利用效率的生物学途径 [J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(增刊): 104-110.
- [2] 刘更另. 营养元素循环和农业的持续发展[J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 251-256.
- [3] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. Science, 1997, 277(25): 504-509.
- [4] 张福锁, 马文奇, 江荣风. 养分资源综合管理 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [5] 包雪梅, 张福锁, 高祥照. 中国有机肥资源利用现状分析[J]. 中国农业科技导报, 2003(增刊): 3-8.
- [6] 高祥照, 马文奇, 杜森. 我国施肥中存在的问题的分析 [J]. 土壤通报, 2001, 32 (6): 258-261.
- [7] 赵久然, 郭强, 郭景伦, 等. 北京郊区粮田化肥投入和产量现状的调查分析 [J]. 北京农业科学, 1997, 15(2): 36-38.
- [8] 马文奇. 山东省作物施肥现状、问题及对策 [D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 1999.
- [9] RICHTER J, ROELCHE M. The N- cycle as determined by intensive agriculture- examples from central Europe and China [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57: 33-46.
- [10] 张福锁, 马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 154-157.
- [11] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.
- [12] NOSENGO N. Fertilized to death[J]. Nature, 2003, 425: 894-895.
- [13] LIU J G, JARED D. China's environment in a globalizing world: How China and the rest of the world affect each other [J]. Nature, 2005, 435: 1179-1186.
- [14] 高祥照, 马文奇, 马常宝. 中国作物秸秆资源利用现状分析 [J]. 华中农业大学学报, 2002(3): 242-247.
- [15] 刘晓利, 许俊香, 王方浩. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28 (5): 27-32.
- [16] 许俊香, 刘晓利, 王方浩. 中国畜禽粪尿磷素养分资源分布以及利用状况 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 5-9.
- [17] 孔源, 韩鲁佳. 我国畜牧业粪便废弃物的污染及其治理对策的探讨 [J]. 中国农业大学学报, 2002, 7 (6): 92-96.
- [18] HOWARTH R W, BOYER E W, PABICH W J. Nitrogen use in the United State from 1961-2000 and potential future trends[J]. AMBIO, 2002, 31(2): 88-96.
- [19] KAISER J. The other global pollutant: nitrogen proves tough to curb [J]. Science, 2001, 294: 1268-1269.
- [20] 田共之, 杨居荣, 王华东. 日本与中国农业系统氮素循环的比较 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(增刊): 79-82.
- [21] ZHANG F S, MA W Q, ZHANG W F, et al. Nutrient management in China: from production systems to food chain[M]//Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection, Tsinghua University Press, Beijing, China, 2005, 13-15.
- [22] DUDAL R, ROY R N. Integrated plant nutrition systems [M]. Rome: FAO Fertilizer and Nutrition Bulletin, 1995.
- [23] 王兴仁, 毛达如, 陈伦寿. 我国北方石灰性潮土养分变化趋势和施肥对策[A]. 自: 北京市土壤学会编. 土壤管理与施肥[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 29-35.
- [24] DOBERMANN A, WHITE P F. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystem, 1999, 53: 1-18.
- [25] OENEMA O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European Agriculture [J]. Journal Animal. Sciences. 2004, 82: 1-11.
- [26] SMIL V. Nitrogen and food production: proteins for human diets[J]. AMBIO, 2002, 31(2): 126-131.
- [27] GALLOWAY J N, JOHN D A, JAN W E, et al. The nitrogen cascade[J]. Bioscience, 2003, 53 (4): 341-356.
- [28] GALLOWAY J N, ELLIS B C. Reactive Nitrogen and the world: 200 years of change[J]. AMBIO, 2002, 31(2): 64-71.
- [29] ISERMANN K, ISERMANN R. Food production and consumption in Germany: N flows and N emissions[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 52: 289-301.
- [30] ANTIKAINENA R, RIITTA L, JOUNI I, et al. Stocks and flows of nitrogen and phosphorus in the Finnish food production and consumption system [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 107: 287-305.
- [31] 刘晓利. 我国“农田-畜牧-营养-环境”体系氮素养分循环与平衡[D]. 河北保定: 河北农业大学硕士论文, 2005.
- [32] 许俊香. 中国“农田-畜牧-营养-环境”体系磷素养分循环与平衡[D]. 河北保定: 河北农业大学硕士论文, 2005.
- [33] DE CLERCQ P, GERTSIS A C, HOFMAN G, et al. Nutrient Management Legislation in European Countries [M]. Wageningen Press, The Netherlands. 2001.

(责任编辑 赵佳)

· 举报信箱 ·



E-mail: hjy@cast.org.cn

学术不端行为举报

扬州大学水利学院仇锦先、龚春涛、程吉林和新沂市水利局高跃、薛良儒发表在《系统工程理论与实践》2005年第6期第125页至132页上的论文“新沂市丘陵山区雨水集蓄利用灌溉调度优化研究”,与仇锦先、程吉林、谢亚军和高跃、薛良儒发表在《农业工程学报》2005年2月增刊第23页至28页上的论文“新沂市丘陵山区雨水集蓄利用灌溉调度优化研究”内容基本完全相同。

(本刊编辑部)

国际空间站建设重新开启

9月9日,在经历了数次推迟之后,美国“阿特兰蒂斯”号航天飞机搭载着6名宇航员和用于国际空间站建设的设备从佛罗里达州肯尼迪航天中心发射升空。在为期12天的任务中,宇航员重新开启了国际空间站的建设。

9月12日,“阿特兰蒂斯”号航天飞机的2名宇航员完成升空后首次太空行走。他们在国际空间站的结构组件之间铺设了动力和数据电缆。在接下来的9月13日,宇航员顺利完成第2次太空行走,他们在国际空间站的新结构组件上安装了一个关键设备“太阳阿尔法旋转接头”。9月15日,宇航员进行了第3次太空行走,在结构组件上展开了2块太阳能电池板。9月21日,阿特兰蒂斯号航天飞机安全着陆。

根据美国宇航局的计划,今后几年中还要进行至少14次飞行——最早的一次在2006年12月,以确保国际空间站的建设能够在2010年9月前完工。国际空间站的建设曾因2003年“哥伦比亚”号航天飞机的失事而陷入停滞。

(本刊记者 黄永明)