

·学科进展·

我国北方地区农业生态系统水分运行及区域分异规律研究的内涵和研究战略

谢贤群 唐登银

(中国科学院地理研究所,北京 100101)

[摘要] 本文概述了我国北方地区农业生态系统水分运行及区域分异规律研究的研究内涵及研究战略;提出要通过对我国北方地区农业生态中水分运行和转换规律的综合田间试验及联网研究,确立北方地区农业生态系统水平衡、水循环过程的机制;建立北方地区有限水环境下作物生产力模型;并对北方地区农业生态系统中水分运行与生产可持续发展及其区域分异规律作出评估。

[关键词] 农业生态系统,水分运行,区域分异规律

引言

水在生态系统的结构和功能中是最活跃的因素,它参与各种功能的活动,并促进系统内各种功能的相互联系和相互作用,诸多生态系统类型的形成与自然地理过程的发生和演变都与水有密切的联系。在我国北方(东北、华北、西北)地区自东向西的湿润、半湿润、半干旱和干旱类型区的划分,以及与此相适应的森林、草甸草原、干草原与荒漠草原生态系统的形成中,水分条件均起着决定性的作用。各种生态环境中固体物质与化学物质的迁移,水是最重要的载体之一。植物的光合作用和生长发育过程,水是不可缺少的因素。水在生态环境中不断运动,土壤-植物-大气系统(SPAC)内大气水、地表水、土壤水、地下水 and 植物水等各种水体不断进行水分循环和转换,若能探清它们之间的相互关系和动态变化过程,就能对与水有关的生态过程和自然环境演化现象作出科学的解释,并作出未来生态环境变化的预测,就有可能为正确计算水资源与合理调控和合理利用水资源提供科学依据。

我国的北方地区(东北、西北、华北地区)是我国的主要农业区,而水分资源却是制约该地区农业持续发展的主要限制因素。西北干旱地区,黄土高原半干旱地区和东北平原、华北平原半湿润地区的农

业生产实践中都不同程度上存在着水分亏缺,养分不足和水资源不能合理利用等问题。为了实现中央制定的到2000年粮食产量达到 5.0×10^{11} kg,到2010年达 5.6×10^{11} kg的农业持续发展战略目标,就有必要对我国东北、华北、西北这三大主要粮食作物生产区制约农业持续发展的主要限制因素——水分供需矛盾问题进行深入研究。这就需要详尽了解北方地区农业生态系统中土壤-植物-大气连续体内(SPAC)水分运行、转化规律,各种人为活动如各种不同耕作管理和调控措施对这些规律的影响和作用。本项研究是一项研究范围广阔的,把地理科学和生物科学融为一体的基础及应用基础研究课题,它已广泛渗透到农学、自然地理学、水文学、气候学、植物生理学、生态学等多种学科领域中。在作物生长发育中各种生态和环境因子,SPAC系统中的水分循环、能量转换和养分迁移规律,以及反映这些规律和变化的作物水分关系都是需要充分研究的对象和内容。所以对在我国北方地区农业生态系统中水分运移和转化及区域分异规律的研究就具有明确的应用前景和明显的理论及实践意义。

1 水分运行规律研究进展概述

作物与水分关系,区域水量平衡和水量转换研究一直是国际上农业生态学研究的热点,如美国农

国家自然科学基金重大项目,批准号 49890330.

本文于1998年12月24日收到.

业部水分保持研究所和北美大平原研究中心曾发表了许多有关对作物缺水生理指标进行监测和预报的研究报告。提出了作物水分胁迫指数 CWSI 和估算区域水量转换的模型^[1-3]，荷兰瓦格宁根大学的 De. Wit 等先后出版了数十本有关作物生长模拟模型的系列丛书^[4,5]。美国的 Ritchie 等人^[6]在研究作物生产模拟模型和应用方面取得了很大的成就。此类模型在处理作物对水分吸收方面一般应用水平平衡方法模拟根层水分动态及平衡，其中土壤水分平衡或运动模型，是其模型中的一个主要部分。

农业生态系统水分循环与水分运行研究还受到国际上其他研究领域的极大关注，如国际水文计划 (IHP)，国际地圈-生物圈计划 (IGBP)，世界气候研究计划 (WCRP)，全球水量与能量平衡研究计划 (GEWEX) 等均对此问题给予了足够的重视，把各种尺度下通过大气-植被-土壤系统的水分输送过程以及能量交换问题作为陆地-大气相互作用，地球气候和水圈相互作用模拟等研究的重要内容。

自从 IGBP 提出其生物圈水循环态势的核心研究项目后，自 90 年代起欧美各国即把生态系统中水分传输的研究作为国家关注的研究热点，英国在制定全球生态环境研究的陆地计划 (TIGER) 中，在该计划中把生态系统中水分和能量收支的影响作为主要的研究项目，其中包括水和能量的相互作用，水分在土壤-植被-大气中的传输模型的建立 (SVAT)，大陆尺度的水文模型建立等。德国陆地生态系统研究网络 (TERN) 制定了“植被表面能量与水分交换的调控”研究项目，将土壤水模式，SVAT 模式和区域模式用于评价全球变化对水分与能量收支的影响中。

在我国自 60 年代初黄秉维院士率先提出了地表面热水平衡及其在自然地理中的作用理论以来，就开始了农田水分、热量平衡的实验研究工作，在华北平原水资源评价、农田节水应用基础、农田蒸散等领域取得了卓有成效的成果。但是总的来说还缺乏全面、系统和综合的研究，测试手段和研究方法还较落后和单一，在理论上包括诸如研究农业生态系统内水分运行、转化规律、能量、物质传输、迁移规律，特别是由点到面推算模式等许多难点尚未最终突破。在“七五”和“八五”期间，由中国生态系统研究网络组织的研究项目中都已把作物与水分关系和农业生态系统水分转化规律研究列为研究专题，完成了“作物与水分关系研究”系列论文，首次提出了测定计算农田蒸发耗水量和作物水分亏缺断及水分传输的试验模型^[7]，并首次提出了我国主要类型区，主

要作物的耗水、需水量和水分利用效率^[8]。

2 农业生态系统水分运行与区域分异规律研究的内涵及研究战略

农业生态系统中水平衡、水循环研究方向，概括地讲是研究农田内土壤-植物-大气系统内的水分交换及其在生产实践中的作用和理论上的意义，具体地说，它包括以下内容：(1) 确定生态系统内水分平衡各分量；(2) 阐明水循环各个过程的机制；(3) 确定水在作物生长、发育和产量形成中的作用；(4) 探求水分迁移、转化与能量、化学物质 (盐分与养分) 迁移、转化的关系；(5) 探索水分在农业生态系统结构、功能中的作用。

2.1 农田生态系统水循环研究

农田生态系统水循环研究的主要内容及目的如图 1 所示。可见，现代农田生态系统水循环的研究是以连续的、系统的、动态的观点和定量的方法为基础的，即把土壤-植物-大气作为一个物理上的连续体 (SPAC)，把大气水、地表水、植物水、土壤水、地下水当作一个相互关联的整体，研究农田“五水”转化的过程和规律，揭示农田水分循环的各个方面，即各种过程如蒸发、蒸腾、入渗、渗透、径流等，最终建立水循环过程模型。在研究初期重点应是单个过程，随着研究工作的深入，应把多个过程联系起来，再探求以土壤水和作物关系为中心的农田水分调控机理以及与作物产量形成的内在联系，为农业水管理提供理论和实践应用的依据。

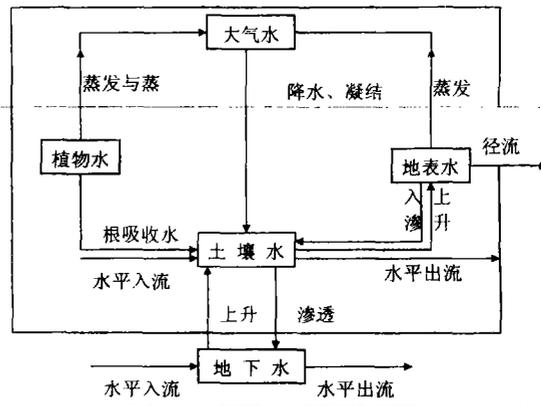


图 1 农田生态系统水循环研究过程

2.2 SPAC 中水分循环过程与水量平衡研究

根据上述农田生态统水分循环过程的思想，康绍忠^[9]提出了 SPAC 系统水分循环过程与水量平衡研究框架。

图 2 清楚的显示出，降水、冠层叶片截留、入渗、

土壤水分再分布、排水以及作物根系吸水、水在植物体内传输、通过气孔扩散到叶片周围宁静空气层,最后参与大气的湍流交换等一系列的农田水量转化过程在连续不断的进行着,形成了农田水分循环过程。

根据图 2,在某一时段内农田水量收支差值等于农田内部贮水量的变化,由此,可以写出农田水量平衡方程。对于作物根系活动层以上的土壤和冠层有:

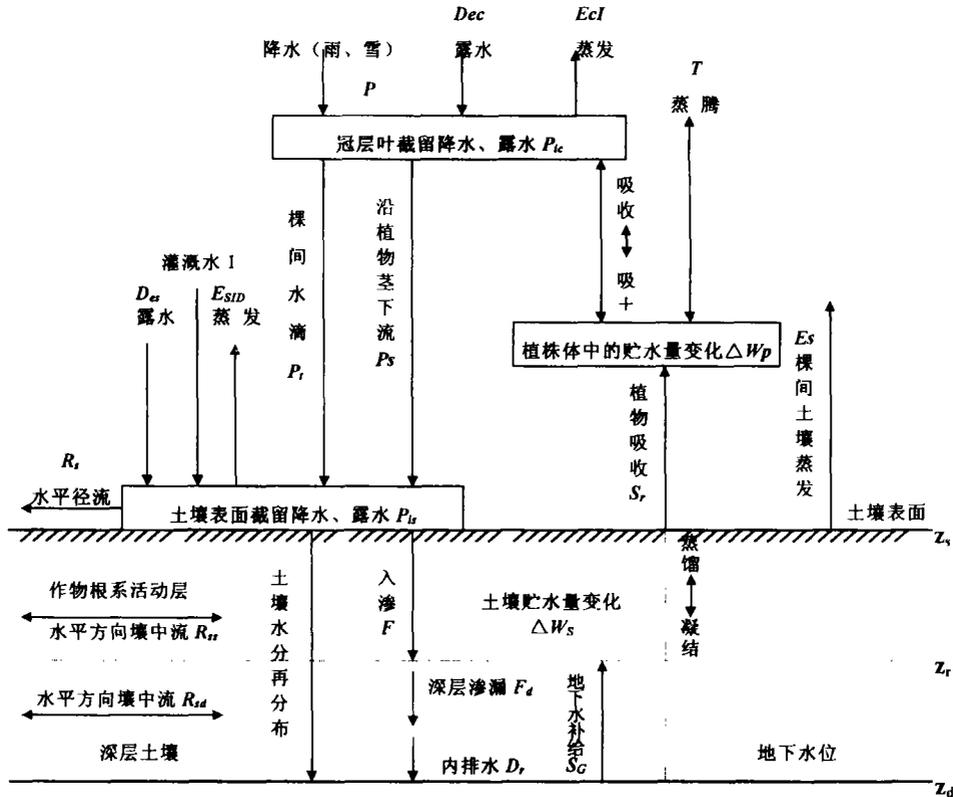


图 2 农田水量收支与转化过程示意图^[9]

$$(I + P + D_{ec} + D_{es} + S_C) - (E_s + T + F_d + R_s + R_{ss} + E_{SID} + E_{Cl}) = \Delta W_s + \Delta W_p \quad (1)$$

式中符号意义,如图 2 所示。

同时农田内部的水量转换遵循如下关系式,

$$P = P_{IC} + P_t + P_s \quad (2)$$

$$S_r - T = \Delta W_p \quad (3)$$

$$F + S_G - R_{ss} - F_d - S - E_s = \Delta W_s \quad (4)$$

$$P_t + P_s + D_{es} + I - E_{SID} - R_s - F = 0 \quad (5)$$

在图 2 中的所有水分循环和水量平衡各分量,如降水、灌溉水、入渗、土壤水分运动、土壤水分入渗补给地下水、潜水蒸发、植物根系吸水和蒸腾、蒸发等都是要专门进行监测和研究分析的。同时在研究农田水势状况及其转换关系的数学模拟时,可将土壤-植物-大气系统分为地上植物部分和地下土壤部分,对于各部分不考虑各状态变量的空间变化而取平均值,然后根据农田水量平衡方程和农田能量平衡方程及水流运动的连续方程,建立这两层的水热交换模式,即求解地上植物部分的叶温、蒸腾速率与

地下部分的土壤表面温度、棵间土壤蒸发速率及农田中潜热、大气感热等状态变量的动态变化过程。

2.3 农田生态系统中能量平衡与传输

在农田生态系统水平衡、水循环研究中,SPAC 系统能量平衡研究将占重要的位置,这是因为能量平衡的某些要素(如蒸发)本身就是水平衡中的重要要素和水循环中的重要过程,并且能量平衡与水分循环和作物生长发育又紧密联系在一起。

SPAC 中的能量平衡和传输是一个非常复杂的系统,包括了地面-大气之间的太阳辐射传输和下垫面的辐射平衡过程以及地面获得的净辐射能量再分配的能量平衡过程(包括冠丛的蒸腾潜热、大气感热、作物光合作用耗热和冠丛内的热贮量,土壤表面的蒸发耗热、大气感热和土壤热通量等),这些又都是农田水分-能量平衡及循环的必须研究的过程,是农田水分循环与作物生产力关系研究模型中最重要的子模型之一。

SPAC 中的能量平衡和传输如图 3 所示。

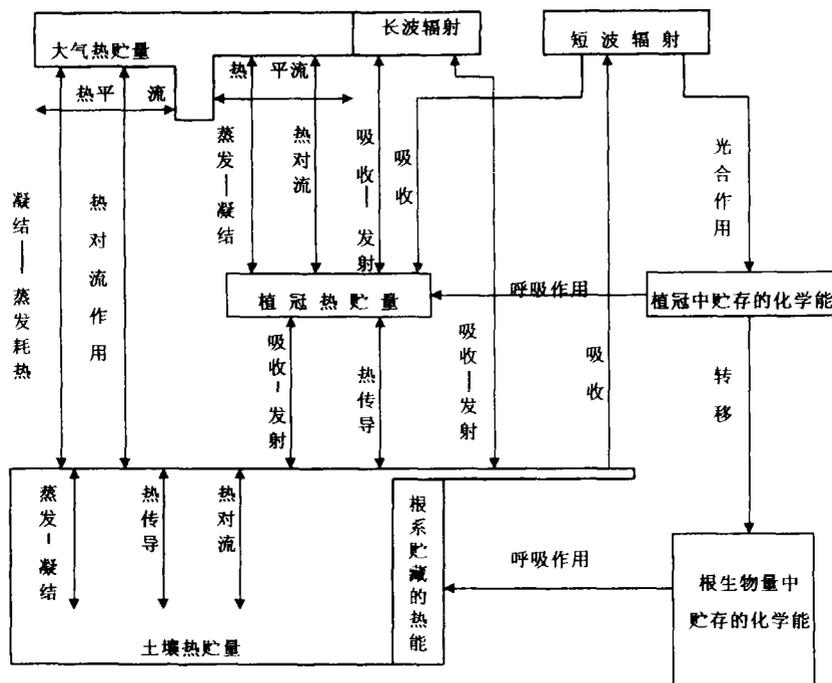


图3 SPAC中的能量平衡和传输示意图¹⁹

2.4 作物-水分、养分关系模型

作物-水分、养分关系模型是作物生长过程中的水分变化和不同的养分水平对产量影响的数学描述。所描述的作物生长过程可以是全生育期或由分阶段组成的全生育期,主要预测在有限水环境下水分亏缺(水分胁迫)及不同的养分配比对作物产量影响的数学模型。事实上,作物与水分、养分关系的描述只是作物生长模型中的一个子模型,还有作物生长发育与其他环境因素关系的描述,而一个完整的作物生长的综合模型是一个复杂的 SPAC 水流、能流模型,它的输入量有:(1)物理参数(导水率、水分含量、土壤水分特征曲线);(2)作物参数(根系分布、叶面积指数、作物生长状况、作物水势);(3)气象参数(空气温、湿度、风速、太阳辐射能);(4)光合作用参数(CO₂ 通量,光合有效辐射);(5)养分水平参数,包括不同的水分、养分组合类型。主要的输出量将是蒸散(作物蒸腾、土壤蒸发)、土壤和作物的水分状况、肥力状况和作物生长发育状况,作物的生物学产量和经济产量(茎、根、叶的干物重、籽粒重、产量等)。农田生态系统水分循环与作物生产力关系的概念模型如图 4 所示。

2.5 水分运行的区域分异规律研究

农业生态系统水分运行规律研究的目的是探索

区域内及区域间的空间变异规律,这就要充分利用中国生态系统研究网络在我国北方地区的农业生态试验站内已取得的有关水环境的多年观测资料,并继续对水环境各要素进行系统定点监测,建立要素动态子模型,进而建立中小尺度水分转化、运移的综合模型,在此基础上通过尺度转换建立区域尺度的典型农业生态系统的水分转换模型,寻求区域分异规律,同时要根据水环境要素演变规律、水资源赋存、配置可行性和国民经济对农业的需求,建立水环境要素演变的预测模型,从而对我国北方主要粮食产区不同干湿区域水环境的变化趋势和农田水分供需态势作出评价,并提出水分管理对策,这是整个项目研究的最终目标。其研究框架可归结为图 5 所示。

由图 5 可见,在农业生态系统水分运行及区域分异规律研究中,以大气水、地表水、植物水、土壤水和地下水相互转换为主要形式的农田生态系统水分运行和转换联合观测研究是水量转换和水分运行与作物生产力关系研究的核心,它首先是以单站的田间综合试验为基础,并把综合观测试验置于土壤-植物-大气连续体中进行,以获取单站的水量转换各要素数据,建立单站的农田水量转换和水分运行的试验模式;其次是把田间综合试验与建立数学模型紧

密联系起来,把站(点)的试验与区域的历史和现状的水文、气象、土壤、植被等生态环境要素和作物产量数据联系起来,并进行不同区域的水分信息联网和进行空间变异比较;第三是把田间综合试验与遥感信息紧密联系起来,建立相关的实验遥感模式和建立 GIS 系统;从而实现区域尺度转换。

需要指出,上述的研究战略,不可能在较短的时间内完成,而是一个较长时期内的任务,在近期内,应

着重试验监测方法的探讨研究以获取准确的试验数据,建立典型农田尺度的试验模式,以及水分-生产力关系各子模型的建设及验证上,长期的目标则是通过点(微小尺度)、片(中小尺度)、面(大中尺度)的尺度转换研究,建立数学模型,或通过遥感技术以及建立地理信息系统完成区域水量转换规律及其与农业生产力关系的评估。

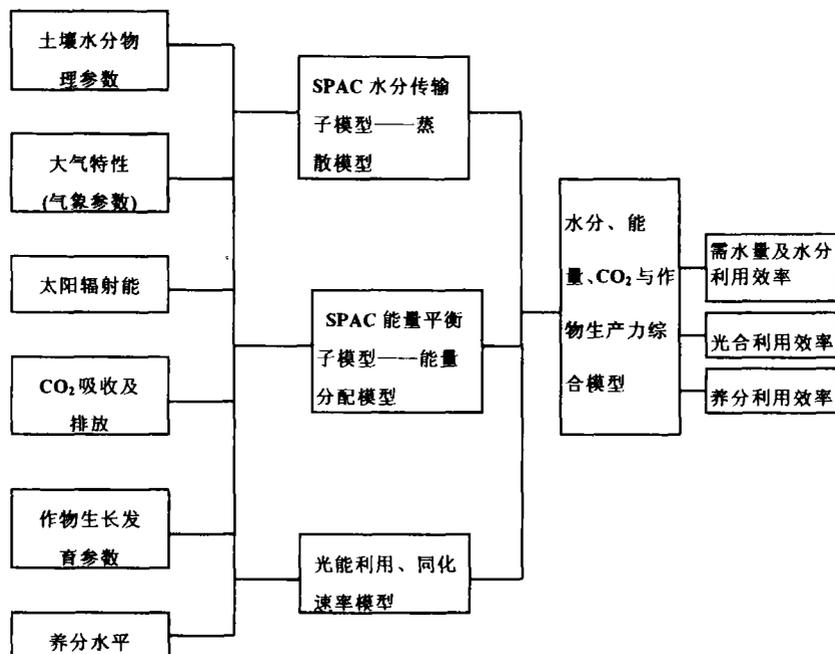


图 4 农田生态系统水分循环与生产力关系概念模型示意图

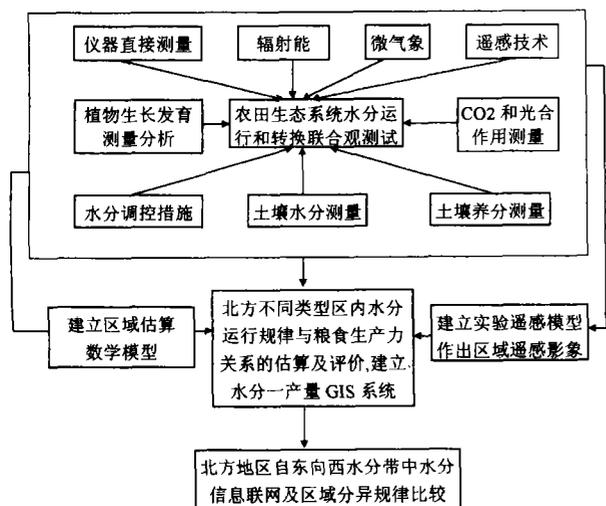


图 5 农业生态系统水分运行及区域分异规律研究框图

参 考 文 献

[1] Reginato R J. Irrigation Scheduling and Plant water USA. Presentation at the International Congress of Agrometeorology, Cesera, Italy, 1987, 10: 121-125.

[2] Major D J. Winter wheat grain yield response to water and nitrogen on the North American Plains. Agri. and Fore. Meteorology 1988, (4): 78-83.

[3] Reginatio R J. Winter wheat response to water introgen in the North American Great Plains. Agri. and Fore. Meteorology, 1988, (4):90-94.

[4] de wit C T. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops, Center for Agricultural Publisng and Documentation, The Netherlands. 1978.

[5] Penning F W T, De Vries. Simulation of Plant Growth and Crop Production. PVD0C, Wagtningen, The Netherlands 1982, 420.

[6] Ritchie J T, Hands J. Modelling plants and soil systems. ASA-CSSA-SSSA, 1991, 537.

(下转 89 页)

研究

华南理工大学马紫峰副教授在该项目中,研究了固体电解质电化学反应器(SSER)中产生 NEMCA 效应的基本条件,分析了 NEMCA 效应对 SSER 电化学性能的影响,研制出 SSER 电极催化剂材料。以 SSER 结构为基础,研制出圆管状固体氧化物燃料电池(SOFC)。分别以 H₂ 和 CH₄ 为燃料, O₂ 或空气为氧化剂气体,研究了 SOFC 电性能。将 NEMCA 效应引入系统电性能实验,发现该效应能促进甲烷氧化反应。本项目丰富了对 SOFC 的认识,对我国的燃料电池技术发展有指导意义。

该成果(固体氧化物燃料电池系统技术的应用基础研究)1996 年度获得广东省高教厅科技进步奖

三等奖。

马紫峰是首次获得国家自然科学基金(青年基金)的资助。

(5) 红外激光染料的合成及单天线双母体激光染料的研究

华东理工大学张金龙副教授承担的研究项目中,设计了以若单明等为母体,以萘酰亚胺等为天线基元的新型激光染料。成功合成了 15 种红外激光染料。研究了这些染料的激光转换效率、调谐范围、浓度效应及光稳定性。发现 4 种染料具有高效、高稳定性、调谐范围宽等优良的性能。该成果已取得国家发明专利(CN1101929A)。

(化学科学部 唐晋 供稿)

SUMMARY OF THE ACHIEVEMENTS OF THE FUNDED PROJECTS OF THE DEPARTMENT OF CHEMICAL SCIENCES

Tang Jin

(Department of Chemical Sciences, NSFC, Beijing 100083)

(上接 85 页)

[7] 谢贤群,于沪宁.作物与水分关系研究,北京:中国科学技术出版社,1992, 203.

[8] 谢贤群.我国主要类型地区农业生态系统作物需水、耗水,水分利用效率研究.见:李宝庆主编.农田生态试验研究.北京:气象

出版社,1996, 64—81.

[9] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用,北京:水利电力出版社,1994, 90.

CONNOTATION AND STRATEGY OF THE RESEARCH ON WATER MOVEMENT AND ITS REGIONAL CHANGE REGULAR IN AGRO-ECOSYSTEM OF NORTH CHINA

Xie Xianqun Tang Dengyin

(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

Abstract The connotation and strategy of the research on the water movement and its regular regional change in agro-ecosystem of North China are discussed in this paper. The mechanism of water balance and water cycle process in agro-ecosystem are established. The model of crop productivity in limited water environment condition of North China by means of the combined field experiment and network study of water movement and regular exchange in agro-ecosystem are proposed. The evaluation for water movement and productivity sustainable development and its regular regional change in agro-ecosystem of North China are given.

Key words agro-ecosystem, water movement, regular regional change