

地理学综合研究的途径与方法：格局与过程耦合

傅伯杰

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要：地理学是一门以综合性和区域性见长的学科。地理学的综合性通过要素多样化来体现，区域性则表现为区域分异或区域差异。地理学综合研究是对地球表层各要素的相互作用以及人地关系的研究，帮助我们认识地球表层系统的过去、现状和未来的趋势，把握其变化的脉搏。格局是认识世界的表现，过程是理解事物变化的机理，基于长期的野外观测和综合调查以及模型模拟，对不同时空尺度下的地理格局与过程进行耦合研究，是从机理上理解与解决地理学综合研究的有效途径与方法。文章结合在黄土高原地区的相关研究案例，探讨了将格局与过程耦合研究的地理学综合研究的途径与方法。

关键词：地理学；地理学综合研究；格局；过程；尺度；黄土高原

DOI: 10.11821/dlxb201408002

20世纪以来，随着全球的人口、资源、环境等诸多问题的出现，人类的可持续发展面临着极大的挑战。地球系统科学研究通过研究整体性的地球系统来解决全球性的资源环境问题，把地球作为各个圈层有机联系的系统来开展相关的研究。因此，“地球系统”概念的提出标志着这方面的研究向着综合集成的方向转变。只有从整体上来认识地球系统的过去、现状和未来的趋势，才能够把握它变化的脉搏。因此地球系统科学研究的重点是研究各圈层、各要素以及自然和人文现象之间的相互作用关系。其中，地球表层系统在地球系统研究中起着至关重要的作用，它是与人类密切关联的自然系统和社会经济系统的综合系统，包括了水圈、土壤圈、大气圈、生物圈和人类本身。地球表层系统的变化和预测是地理学研究的主要内容^[1]，也是“未来地球”研究计划的核心。

地理学的理论、方法和技术已经成为解决人类社会面临的可持续发展问题的基础。地理学从建立之初就研究自然科学和人文科学交叉界面上的现象，是一门综合性学科。地理学以其综合性和区域性见长，其综合性通过要素多样化来体现，区域性则表现为区域分异或区域差异。但随着分支学科的发展和深化，地理学呈现出空心化现象。英国皇家地理学会前主席 Ronald Cooke 指出：“地理学家要加强基础研究，要形成地理学的核心理论基础。要在交叉学科的研究中守住自己的阵地，并继续通过应用为社会做贡献，加强基础研究是唯一的途径”^[2]。发展地理学综合研究的理论方法，是防止地理学空心化，建立地理学核心理论的重要任务。然而，地理学最大的困难也是综合。20世纪60年代，黄秉维等老一辈地理学家就认为：综合是地理学的生存之本，但肤浅的综合站不住脚，必须有分科的深入研究。黄先生提出了“开展地理环境中的物理、化学和生物过程研究，加以综合”，建立了自然地理学研究的地球水热平衡、化学元素迁移和生物地理群落三个重要的前沿方向，开拓了中国自然地理过程的理论与实验研究^[3]。这些思想对中国自然地理学深

收稿日期：2014-05-22；修订日期：2014-07-28

基金项目：国家自然科学基金项目(41390464) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41390464]

作者简介：傅伯杰 (1958-)，男，中国科学院院士，研究员，博士生导师，中国地理学会副理事长 (S110001618M)，主要从事自然地理与景观生态学研究。E-mail: bfu@rcees.ac.cn

1052-1059 页

化过程研究,加强机理探讨产生了深远的影响。自然环境和人类活动特征均表现为空间异质性,研究这些异质性环境下的区域地理过程和效应是地理学研究的前沿。地理学的区域性通过地理分异以“格局”来表现,“地理过程”则显示出地理现象的时空演变,耦合“格局与过程”是地理学综合研究的重要途径和方法,也是地表过程研究的突破点。

1 格局、过程和尺度

1.1 格局和过程

格局和过程通常指的是不同的地理或景观单元的空间关系和响应的演变过程。就格局而言,可以从大小、形状、数量、类型和空间组合上来进行描述。这些描述格局的表征有着其本身的地理学意义。例如,不同的斑块大小能够提供不同的生态域和资源域,对于生物多样性保护来说具有十分重要的意义。同样,斑块形状可以影响水土和生物的运动过程,斑块的数量则可以用来判定景观破碎化的程度。此外,从空间组合的角度来描述格局可以反映出他们的空间结构特征、地带性和非地带性的规律。就过程而言,可以分为自然过程(例如元素和水分的分布与迁移、物种的分布与迁徙、径流与侵蚀、能量的交换与转化等)和社会文化过程(例如交通、人口、文化的传播等)。因此,格局和过程的相互关系可以表达为“格局影响过程,过程改变格局”,在具体的研究问题上往往需要把二者耦合起来进行研究。

1.2 尺度及时空效应

尺度特征是地理现象和过程在时间和空间上的表征,是其本身固有的属性(即所谓本征尺度)。然而,本征尺度常常是内在的,必须通过一定的观测才能够发现和揭示出来,即所谓观测尺度,也就是在什么样的时间和空间尺度上对地理现象和过程实施观测,以达到把握地理现象和过程本征尺度或者揭示地理现象和过程随观测尺度变化而表现出变异性的规律。随着观测时空分辨率的变化,获取的信息特征也在变化,表现出一定的尺度效应。通俗地讲,不同的地理现象和特征,有其对应的时间、空间尺度,关注和研究尺度问题的根本目的就是发现这些时空尺度特征,使观测尺度与地理现象和过程的本征时空尺度相匹配,以深刻认识地理现象和过程的时空特性。谈到格局和过程时必须联系到具体研究问题的尺度效应,包括时间尺度和空间尺度。

就时间尺度而言,生态系统生态学研究主要集中在年尺度以下,而景观生态学和地理学研究则集中在中尺度的时间尺度上,一般是从年到几十年或者上百年间的变化,再往上的长时间尺度变化往往对应着古生态学、古湖沼学甚至是第四纪地质学等研究领域。在每个时间尺度下,往往对应着相应的自然环境变更现象、生物现象及其相关的驱动因子的变化过程。就空间尺度而言,生态学研究主要在斑块、样地尺度上来研究生态系统的物质和能量变化;对于景观生态学而言,则主要集中在景观和区域尺度上。地理学重点关注区域尺度,可拓展到大陆和全球尺度。结合在研究问题中的时间尺度和空间尺度,需要注意观测尺度是否和研究问题相匹配。对于研究对象而言,观测尺度需要与时间和空间尺度相匹配,否则就不能发现在时空尺度上的变化规律。例如,对于一个空间分辨率为10 m的研究对象,当观测尺度超过10 m的话,就捕捉不到研究对象本身的信息。因此,在研究过程中一定要把时间尺度、空间尺度和观测尺度结合起来进行综合研究。在尺度转换(或推绎)方面,要依据地理现象和过程的尺度效应特征与规律,进行尺度上推和下推,要分析其在环境梯度上的变化规律,了解多种相关环境因子的综合作用,并抓住主控因子的变化对尺度效应和尺度变异规律的贡献。

1.3 格局与过程耦合

格局与过程耦合主要通过两种途径来实现,分别是直接观测和系统分析与模拟。直接观测的耦合通常在较小的空间尺度上开展,但是观测成果可以作为较大尺度系统分析与模拟的基础。此外,无论是地理学研究还是生态学研究,最终的目的都是发展和建立系统模型,开展预测。而小尺度上的观测,往往可以成为发展和建立模型的基础。格局和过程的影响是相互的,其研究方法主要通过格局变化情景的输入和过程模拟来研究格局对过程的影响和作用分析^[4]。景观尺度上,过程对格局的影响需要较长时间尺度的观测或模型系统分析,其研究的时间尺度往往是年或者以上。在短时间尺度上,过程对格局的影响,如森林火烧之后植被斑块的变化及其相应的种子库的变化。此外,次降雨过程在时间尺度上来说比较快,特别是在干旱和半干旱地区,短命植物的响应可以形成不同的群丛和斑块。对于人类活动来说,研究土地利用变化过程及其生态效应,也是一种过程对于格局的影响,但是这种影响往往会涉及到几年或者几十年的时间尺度。

2 基于直接观测的格局—过程耦合

对于不同的研究尺度对应着相应的观测尺度。传统的生态学研究是基于样点的尺度,也就是定位观测和控制实验,注重的是功能和过程的机理分析;而对于景观尺度的研究,通常采用的是样带研究;在区域尺度,则往往采用遥感分析手段。这些研究方法和对象主要是通过分析机理,建立格局与过程的耦合,通过多时间和空间尺度来开展相关的研究。以黄土高原为例,基于小区的观测可以看作是对单一的植被类型水土流失过程的观测,而通过对比观测可以用来识别不同农作物和植被类型之间的水土流失差异;此外,还有流域的观测,包括流域的水文过程及其与土地覆盖的耦合等。流域的采样和野外的样带调查也是十分重要的观测手段。对流域或区域的样带调查,可以将其分别在流域的上中下游建立样带,也可以沿着一个特定的环境梯度或者变化因子来设计样带。基于梯度对比的方法也是一种极为有效的观测和调查方法,例如根据黄土高原南部、中部和北部这种沿降水和温度梯度变化来进行对比研究。

我们对陕西省延安市羊圈小流域(延河流域二级子流域)进行了基于生态水文过程的监测和分析。该地区年平均降雨量为535 mm,主要降雨期是6-9月份,涉及到的主要土地利用类型包括荒草地、灌木地、林地和农田。针对流域的径流和侵蚀监测,我们布设了基于单一植被覆盖类型的微型小区;同时,在自然坡面上布设了不同覆盖类型和退耕年限的径流小区、不同覆被格局的径流小区。这些监测的手段可以根据不同坡长区分出其在微尺度上的变化。同时,为了研究不同植被类型水源涵养的差异,需要对典型植被类型的土壤水分和温度进行实时监测,包括基于点尺度的监测和基于坡面尺度的监测。对于点尺度的土壤水分和温度监测,其深度一般为0~1 m,通常每10分钟采集1次数据^[5]。在坡面尺度上,为了研究不同植被类型组合水源涵养的差异,我们进行了坡面尺度上的观测,根据不同的土地利用结构坡面来设计样带(例如成熟林—幼林—荒草,幼林—灌丛—荒草等)。在降雨事件前后来观测土壤水分入渗的过程,从坡面尺度上来理解这种动态变化。此外,还有基于小流域的土壤水分监测,根据降雨事件的过程来研究不同土层土壤含水量的变化。同时,基于小流域的土地利用变化能够较好地反映景观格局动态变化与空间异质性的关系,从而较好地来理解其中发生的过程。

2.1 不同土地利用类型的水土保持效应

通过上述的观测,可以用来研究不同土地利用类型的水土保持效应。就不同土地利用

类型的径流、侵蚀效应而言,在同等降雨和坡度条件下,产流、产沙的能力及对应危险性次序为:坡耕地、牧草地、乔木林地、天然草地和灌木林地。坡耕地产流产沙多,对应着其水土保持的能力也相应地比较差。因此,从土地利用的类型来说,灌木林地和草地的水土保持效益最好,坡耕地最差。这些研究可以较好地指导“退耕还林”政策的实施和应用。

进一步比较不同土地利用类型的减流、减沙变化情况。从长时间的历史过程来看,农田和牧草地“减流减沙”的能力比较差,但是自然草地和灌木林在这方面的能力就相对突出;此外,灌木林地一直保持在一个较高的减流率水平,而自然草地的减流率在初始阶段与灌木林地相同,后期则略微下降;同时,灌木林地和乔木林地减沙率随时间的增加逐步提高,而牧草地减沙率则随时间的增加而下降^[6]。

2.2 土地利用类型及环境因子耦合下的水土流失过程

除了上述分析之外,还可以从多因子耦合的角度来综合地理解这个过程,例如将土地利用与降雨格局进行耦合。根据降雨的特征,可以把降雨格局分为三种类型来研究它们之间的互馈效应,分别为降雨格局II(高雨强、短历时、高频率),降雨格局III(低雨强、长历时、低频率)和降雨格局I(介于降雨格局II和降雨格局III之间)。因此,对比不同土地利用类型在这三种降雨格局下的径流、侵蚀情况,可以发现,对于农田来说,其径流系数和侵蚀规模相对较大,水土保持能力也相对较低;而对于灌木林丛,其径流系数和侵蚀规模都相对较小,水土保持能力较好。

还可以从更长的时间动态来进行分析,通过对植被生长和演替的过程来看降雨格局与水土流失在年尺度上的变化过程。我们的观测结果表明,不同年份的径流系数存在着波动性差异,其表现为降雨格局II>降雨格局I>降雨格局III;同时,对于农田和牧草地,其径流系数随机变化的特征往往与降雨类型和人为干扰程度有较为密切的关系;此外,对于灌木林、油松林和荒草地,随着植被生长,其对地表径流的遏制作用明显增强。综合来说,地表的产流过程除了受降雨类型及其时空分布的影响之外,还取决于植被类型及生长阶段^[7]。

此外,还可以结合土地利用与坡度来进行耦合分析,进行不同坡度的对比观测。分别选择三种不同的坡度(10°, 20°, 30°)来研究在不同土地利用下,坡度和土壤侵蚀之间的关系。在坡耕地,坡度对于水土流失的影响比较大,而草地,这种变化则不是特别大。因此,在土地利用和坡度的双重作用下,各土地利用类型的径流侵蚀效应对于坡度的反应迥异,使径流和侵蚀的发生和变化过程复杂化。

2.3 不同生态系统组合的水土保持功能

在景观尺度上,不同植被格局的生态系统所对应的水土保持功能本身存在着差异,例如产流产沙的功能,尺度变异的影响等^[8]。此外,我们还对长时间尺度的土壤水分和养分进行了监测,包括其在坡面尺度上的变化情况。通过对比不同的植被类型和土壤水分、养分来理解哪些植被类型及其组合的结果具有较好的水土保持功能。实地监测结果表明,从丘陵顶部到底部林地—草地—耕地的植被格局具有较好的土壤水分和养分保持能力^[9]。此外,还可以通过¹³⁷Cs来研究不同坡面植被结构组合的水土流失效应。相关研究表明,坡中部位的草地和林地结构能够抑制土壤侵蚀,减少侵蚀量;同时,坡面土壤侵蚀量受到土地利用类型分布及坡位的共同影响^[10]。这种同位素示踪的方法也被应用在小流域尺度上,用来研究土地利用变化与水土流失的关系。对比小流域尺度在不同年份间的土壤侵蚀状况可以发现,从1984-2006年间,土壤侵蚀强度逐渐减小,逐渐由强度侵蚀转变为中度侵蚀,而其中土地利用是影响土壤侵蚀的最主要因素^[11]。

土地利用的变化与土壤固碳作用密切相关,对比三个典型坡面(不同土地利用组合)在1998年和2006年间土壤有机碳变化情况。可以发现,从1998-2006年间,随着退耕还林还草,土壤有机碳含量均有所上升;同时,随着坡耕地退耕向荒草地和灌木林地的转变,土壤的有机碳固定能力显著提高^[12]。通过对流域的采样分析,结合土壤有机碳数据和小流域尺度的土地利用数据,可以发现在0~20 cm深度内,土地利用对土壤有机碳有显著性影响;通过小流域综合治理和生态恢复,土壤表层有机碳固定能力得到了提高^[13]。通过以上这些基于观测的实例,可以看出在不同的尺度上,可以从土地利用类型、坡面、流域甚至是更大尺度上来开展相关的研究,揭示格局变化对地理和生态过程的影响。

3 基于模型的格局—过程耦合

3.1 基于土壤侵蚀过程的景观指数研究

基于景观指数的格局—过程耦合模型是一种比较简单的模型。对于一个过程机理模型而言,首先需要从坡面尺度上对其进行研究,之后再将它推广到更大的尺度。这个过程中涉及的参数以及相关的研究会比较多,包括景观生态学、水文学和地貌学等。而我们研究的目的是理解景观格局和土壤侵蚀过程之间关系。主要从三个方面进行阐述,分别是基于土壤侵蚀过程的景观指数研究、基于方向性渗透指数(DLI)的研究、基于径流泥沙汇流路径长度指数(Flowlength)的研究。

就基于土壤侵蚀过程的景观指数而言,传统的景观指数研究(Fragstat软件)主要基于离散斑块的镶嵌景观范式从而来获取具体的景观指数(如边界/斑块密度、形状、连接性、多样性等指数)。这些指数是对景观的空间或非空间特征的描述,大部分是针对生物过程而建立的,其本身在景观尺度上并不适合于土壤侵蚀过程的分析。在景观水平上,景观指数难以明确指示景观格局及其变化的土壤侵蚀效应。就类型而言,这些指数在指示景观格局的土壤侵蚀效应上具备一定的能力。因而,在此基础上通过建立景观连接性与土壤侵蚀之间的关系,通过景观连接性和土壤侵蚀来反映景观格局变化的土壤侵蚀效应,进而来评判景观格局变化对于景观连接性的影响。但是,发展一个普适性的指数来表示整个地理或生态过程是不现实的,因此需要基于具体过程来进行研究。所以发展基于土壤侵蚀过程,充分考虑景观连接性的景观指数有助于研究景观格局和土壤侵蚀过程的关系研究。

方向性渗透指数(DLI)是由Ludwig在研究澳大利亚半干旱区的植被格局和水沙变化过程而建立的一个指数模型,它主要通过计算径流和泥沙的源、汇之间的欧式距离来反映整体的物质滞留能力^[13]。然而,该模型不能直接应用于黄土高原地区,主要基于两点不足:①没有考虑植被类型之间的差异,而不同植被的渗透指数是存在着比较大的差异的;②没有考虑格局到下游出口处的距离差异。同等面积但不同分布位置的植被分布格局,其对水沙流动的阻滞能力有所差别,计算出来的DLI指数也会存在着较为明显的偏差和错误。基于上述两点不足,我们在此模型的基础上做了相关的改进,引入了反映栅格内斑块距出口距离和不同植被类型的土壤水土保持功能的权重系数^[14]。实验结果表明,改进后的DLI指数能够正确识别植被格局滞留泥沙能力的差别。对修正后的模型在研究区域进行了验证,模拟的结果有所提高。对于径流量来说,改进后的模型在相关性上较原始模型有了非常明显的提高;同时,对于产沙量,改进后的模型表现为正相关。

径流、泥沙汇流路径长度指数(Flowlength)由Major在2008年提出,该指数主要考虑了植被的空间分布和地形特征,通过径流、泥沙产生区域(源区)的连接性程度来表征水土流失效应^[15]。虽然Flowlength指数较好地体现了径流、泥沙沿地表的运移过程和植被、

地形洼地的阻滞功能,其本身仍然存在着一定的不足之处。首先,它把植被斑块的拦截效率视为完全拦截,即水流碰到植被斑块就选择完全绕过这个斑块。事实上,植被斑块本身的特征(类型、覆盖度等)决定了植被斑块的拦截效率,更多的时候径流、泥沙以一定的比例穿过植被斑块;其次,Flowlength指数仅仅反映裸露区域之间的连接程度,并没有考虑裸露区域的面积大小。事实上,裸露区域总面积是决定侵蚀产沙的重要方面。因此,在用于指示覆盖分布格局的土壤侵蚀时,Flowlength指数应当是面积加权的指数。基于这两点不足,我们对Flowlength指数进行了修正。主要通过对植被单元赋予与植被类型水土保持能力、坡度和植被覆盖度相关的权重系数^[14]。修正后的指数包含了覆被水土保持能力和面积因素,更真实地反映了不同植被类型对径流、泥沙的阻滞作用。

3.2 土地利用格局与流域生态水文过程模拟

基于土地利用格局和流域生态水文过程的模拟,目前在国际上通常采用的是美国农业部(USDA)农业研究中心Jeff Amonld博士开发的SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型。在将SWAT模型应用到黄土高原时,需要从两方面来对其进行有效地订正,分别包括植被(植被格局和景观格局)和土壤。首先是通过遥感和野外的综合调查,来对遥感解译的信息进行校正。在本身调查的过程中,需要收集一些更为详尽的样点测定指标,包括经纬度、海拔、树高、胸径、冠幅、郁闭度等。此外,与传统水文模拟单元—水文响应单元不同,基于生态水文单元的划分是利用土地类型单元来代替以往的水文响应单元。土地类型往往是综合的,不仅考虑了土壤状况,还考虑了植被状况、土地利用状况和坡度等,是一个相对来说比较综合全面的指标,是能够综合反映环境和生态系统特点的单位。

通过比较土地类型单元和传统水文单元模拟状况的差异,可以发现基于土地类型单元得到的模拟状况更加接近于观测值,相应地,仅仅基于水文响应单元模拟的效果就比较差。土地类型单元更准确地考虑了植被、土壤和地形对水文过程的影响,反映了流域生态水文属性的空间异质性^[16]。因此,利用土地类型单元来替代SWAT模型中的水文响应单元能够提高模拟的精度。这对于人工植被较多、植被状况和地形复杂的黄土丘陵沟壑区水文分析和模拟具有重要的实用价值。

在延河流域,人为影响是一个很重要的影响要素。很多模型模拟不准确往往是因为不能很好的刻画人为活动的影响,例如水库和坝地,已经完全改变了自然过程的水文状况。模型的表现受到人为活动较为明显的影响,在人为工程比较多时,模型模拟的结果就比较差。而且随着时间的推移,模拟效果开始越来越差。背后的原因主要有两个:首先是基流模拟偏差。因为黄土高原的地质和土壤条件,黄土母质疏松,垂直节理发达,基流产生的机理也比较复杂。其次是水土保持工程措施的影响。例如水库、淤地堤坝等工程的持续增加,其阻碍地表径流、增加基流、调节径流季节分配的作用使得径流过程更趋于复杂。进一步比较人工措施在不同的季节对于径流作用的模拟情况可以发现,旱季低估和雨季高估了径流量。坝地和水库等导致雨季河流径流量减少,此外,工程措施的实施,使得下渗和侧流增加,补充了旱季的基流,增加了旱季的径流量。总的来说,工程措施对总径流量的效应为减少,平均年径流量减少^[17]。

3.3 区域土地利用变化的生态效应

将前面所论述到的基于景观格局的研究方法应用到黄土高原区域来研究其生态效应的变化趋势。通过对比“退耕还林”前后两期的遥感影像(2000年和2008年),并在此基础上统计了各种土地利用类型的面积变化图。对比发现耕地在大幅度地减少,草灌显著增加,林地和聚落有一定的增加,荒漠化土地有少许扩展^[18]。此外,从水文调节的角度来研究区域尺度上的产水量,通过估算水量平衡和蒸散发模型来评估区域的水文状况,可以发

现黄土高原区域38%的地区产水量在减少^[19]。这也反映出在半干旱区域, 植被恢复的生态水文效应有很大的不确定性。进一步比较了土壤保持能力, 研究结果表明: 从2000-2008年, 区域生态系统土壤保持量平均为1.53亿t/年, 并且保持率逐年提高, 平均保持率为63.3%^[20]。相应地, 在此基础上还对黄土高原生态恢复的碳固定能力进行了研究, 结果表明: 2000-2008年期间黄土高原地区生态系统固碳量增加了96.1 Tg (相当于2006年全国碳排放的6.4%)。该区域生态系统从碳源转变为碳汇, 生态系统净固碳能力从2000年的-0.011 Pg上升到2008年的0.108 Pg。研究证实了退耕还林还草是该区域生态系统固碳增加的主要原因, 植被固碳以每年9.4 gCm⁻²的速率持续增加, 植被固碳增加的最高值出现在年均降水为500 mm左右的地区。土壤固碳的增加稍显滞后, 将随着退耕还林还草年限的进一步增加发挥出巨大潜力^[21]。通过研究黄土高原植被恢复的生态效应发现: ① 黄土高原地区土地利用变化与生态系统固碳作用存在着正相关关系, 与产水量具有负相关关系。② 生态系统服务之间的增长和权衡具有尺度依赖性。③ 植被恢复的区域性适宜性评价及水分效应研究需要加强, 这方面仍然需要做深入研究。

4 结语

格局与过程的耦合研究要加强野外长期观测和综合调查, 它是理解过程机理和发展模型的必要途径; 其次, 从尺度效应上来考虑, 需要加强将遥感和地面观测调查相结合, 将不同尺度的研究进行同化、综合, 从而得出更加科学的理解; 再者, 要进一步深化生态—地理过程研究, 并在此基础上开发模型进行模拟和预测; 最后, 格局是认识世界的表现, 过程是理解事物变化的机理, 耦合格局与过程是理解和研究地表过程的重要方法, 是地理学综合研究的有效途径。

致谢: 清华大学地球系统科学研究中心博士生李雪草和中科院生态环境研究中心博士生张立伟根据讲座整理了部分内容, 特致谢意。

参考文献 (References)

- [1] National Research Council. Understanding the Changing Planet: Strategic Directions for the Geographical Sciences. National Academies Press, 2010.
- [2] Matthews J A, Herbert D A. Unifying Geography: Common Heritage, Shared Future. Routledge Press, 2002.
- [3] Huang Bingwei. Some major trends in geography. Acta Geographica Sinica, 1960, 26(3): 149-154. [黄秉维. 自然地理学一些最主要的趋势. 地理学报, 1960, 26(3): 149-154.]
- [4] Fu Bojie, Zhao Wenwu, Chen Liding. Progress and perspective of geographical-ecological processes. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(11): 1123-1131. [傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 地理—生态过程研究的进展与展望. 地理学报, 2006, 61(11): 1123-1131.]
- [5] Wang Shuai, Fu Bojie, Gao Guangyao et al. Soil moisture and evapotranspiration of different land cover types in the Loess Plateau, China. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, 16: 2883-2892.
- [6] Huang Z L, Chen L D, Fu B J et al. The relative efficiency of four representatives cropland conversion in reducing water erosion: Evidence from long-term plots in loess hilly area, China. Land Degradation & Development, 2006, 17: 615-627.
- [7] Wei W, Chen L D, Fu B J et al. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. Journal of Hydrology, 2007, 335(3): 247-258.
- [8] Liu Yu, Fu Bojie, Lü Yihe et al. Hydrological responses and soil erosion potential of abandoned cropland in the Loess Plateau, China. Geomorphology, 2012, 138: 404-414.
- [9] Fu Bojie, Chen, Liding. Ma Keming et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. Catena, 2000, 39: 69-78.
- [10] Fu Bojie, Wang Yafeng, Lv Yihe et al. The effects of land use combination on soil erosion: A case study in Loess

- Plateau of China. *Progress in Physical Geography*, 2009, 33(6): 793-804.
- [11] Wang Yafeng, Fu Bojie, Lü Yihe et al. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Quaternary Research*, 2010, 73: 70-76.
- [12] Wang Yafeng, Fu Bojie, Lü Yihe et al. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China. *Catena*, 2011, 85: 58-66.
- [13] Ludwig J A, Eager R W, Bastin G N et al. A leakiness index for assessing landscape function using remote sensing. *Landscape Ecology*, 2002, 17(2): 157-171.
- [14] Liu Y, Fu B J, Lu Y H et al. Linking vegetation cover patterns to hydrological responses using two process-based pattern indices at the plot scale. *Science China-Earth Sciences*, 2013, 56: 1888-1898.
- [15] Mayor Á G, Bautista S, Small E E et al. Measurement of the connectivity of runoff source areas as determined by vegetation pattern and topography: A tool for assessing potential water and soil losses in drylands. *Water Resources Research*, 2008, 44(10).
- [16] Xu Yanda, Fu Bojie, He Chansheng et al. Watershed discretization based on multiple factors and its application in the Chinese Loess Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16: 59-68.
- [17] Xu Y D, Fu B J, He C S et al. Assessing the hydrological effect of the check dams in the Loess Plateau, China, by model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2013, 17: 2185-2193.
- [18] Lu Y, Fu B, Feng X et al. A policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China. *Plos One*, 2012, 7(2): e31782.
- [19] Feng Xiaoming, Sun Ge, Fu Bojie et al. Regional effects of vegetation restoration on water yield across the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16: 2617-2628.
- [20] Fu Bojie, Liu Yu, Lü Yihe et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. *Ecological Complexity*, 2011, 8: 284-293.
- [21] Feng X, Fu B, Lu N et al. How ecological restoration alters ecosystem services: An analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. *Scientific Reports*, 2013, 3, doi: 10.1038/srep02846.

The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes

FU Bojie

*(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS,
Beijing 100085, China)*

Abstract: Geography is a subject which perceptibly reveals integration and regionalism. The integration means that the diversiform subjects in which geography is involved, and that the regionalism of geography is reflected by the regional differentiation. Through the comprehensive study of the interrelationships among the constituent elements of earth system and the relationship between natural and human systems, it helps us understand the variations of the past, present and future of earth system, and grasp the essence of these changes. Pattern helps us to understand the external features of the world and the process is conducive to the understanding of the internal biophysical mechanism of the world. On the basis of field observations and long-term comprehensive surveys, coupling of patterns and processes at different spatiotemporal scales is an effective way to understand and solve the problems in the field of geography. By analysis of the case studies in the Loess Plateau, the methods of coupling the patterns and processes in the integrated research of geography are discussed and explored.

Key words: geography; integrated studies of geography; patterns; processes; scales; Loess Plateau