



地理学报 2003年第58卷第4期

区域土地生产潜力对全球气候变化的响应评价——以中国北方农牧交错带中段为例

作者: 赵昕奕 蔡运龙

由于气候变化的不确定性, 尤其由于区域对气候变化响应评价工作直接关系到区域气候变化对策的制定和区域发展, 进行针对气候变化的响应研究比气候变化的影响评价研究更具现实意义。气候变化对区域土地利用会产生一系列的影响, 这种影响作用下的区域的反应-相应的变化、必要的适应性调整和适应能力-即是对气候变化的响应。以敏感度和适应力度量的脆弱性作为衡量区域对气候变化响应的指标, 增强了不同研究工作的比较性, 正在日益为有关学者接受, 并在全球开始研究工作。本文对应用脆弱性理论进行区域气候变化响应研究做了有益的探索。选择气候变化的时间、空间变化明显的中国北方农牧业交错带的中段作为研究案例, 分别对农牧业土地生产潜力相对气候变化的敏感度和区域对气候变化的适应能力进行了定量和半定量的计算与评价, 从这两个方面给出脆弱性的表述作为对研究区域土地生产潜力对全球气候变化的响应评价。

区域土地生产潜力对全球气候变化的响应评价——以中国北方农牧交错带中段为例 赵昕奕, 蔡运龙 (北京大学城市与环境学系, 北京 100871) 1 研究背景 1.1 区域对全球气候变化的响应——脆弱性评价由于气候变化的不确定性, 对气候变化响应评价比气候变化的影响研究, 更具现实意义[1]。国际社会日益认识到这一点 (<http://www.ipcc.gov.ch>)。尽管研究的手段和方法仍基于气候影响评价, 但响应研究是从一个新的视角认识和研究影响问题, 与人类的气候变化对策联系更加紧密。这尤其表现在区域的全球气候变化响应研究中。受到广泛关注的气候变化对农业的影响表现为两个方面[1]: 一是农作物产量的变化; 二是相对农业潜力生产力和生产的移动。气候要素 (主要是光、温、水条件) 决定了农业的生产潜力和生产方式, 例如北半球高纬地区, 气候变暖将减少目前由于温度不够而带来的限制, 使生产潜力将有相当明显的升高; 而中纬度地区潜在产量可能降低10%-30%[2, 3]。目前随着研究的深入, 认为区域不仅是一种尺度, 也是一种评价对象, 对区域响应的研究, 在组成区域的各方面评价基础上更需要一种区域的综合响应, 应归纳出一项表示区域响应的指标, 各部分的评价围绕它来进行。IPCC在第三次评估 (TAR) 中更多地注意到了区域响应的问题[4], 在它的第二工作组1997年的专题报告中[5], 提出评估区域脆弱性的问题。区域脆弱性是指自然或社会系统对来自气候变化的持续损害的易损程度。脆弱性是系统对气候变化的敏感度和适应气候变化的能力的函数。敏感度又是指系统对来自气候变化的有利和有害作用的反应程度; 适应能力是指系统在功能、过程或结构上进行调整以减弱或抵消有害影响或利用有利机会的能力[5]。一个地区对未来气候变化的适应能力与当地的科学技术水平, 管理者的素质和有关政策、资金情况、该地区与其它地区的信息交流、当地的文化教育水平等有关[5, 6]。区域对来自气候变化的外力产生敏感性响应后, 其最终受到的影响程度还取决于它对这种因敏感性响应而需要的变动的进行适应性调整的能力, 即适应能力。在敏感性响应一致的情况下, 适应能力愈强, 脆弱性将愈小。所以, 了解区域对气候变化的敏感性, 对其适应能力做出判断, 才能较好地评价区域对气候变化的脆弱性, 正确认识气候变化的影响。 1.2 气候变化对土地生产潜力的影响土地自然生产潜力指在一定的气候、土壤条件下, 单位土地的产出量。它表示的是气候资源、土壤资源转化的生物量, 即假设在其它条件充分满足的情况下, 光、温、水等气候资源及土壤的自然肥力能完全转化为物质时土地的产量。光、温、水等气候要素的空间分布, 决定了土地的自然生产潜力中的气候影响部分, 即一定区域的热量和水分转化为物质生产的能力, 它是当地的光、温、水条件得以充分利用后土地的产出量。在气候变化的区域响应研究中, 土地生产潜力是直接受到气候要素变化作用的, 可以认为这一级响应是农业、牧业、林业生产及人类生活对气候变化响应研究的基础, 也是区域响应的代表性研究对象之一。而且其变化的时间尺度较长, 与气候平均状态的变化相一致, 更适合气候变化影响问题的研究。 1.3 中国北方农牧交错带更新世中期现代季风格局形成以后, 我国北方出现了农牧交错带[7]。它是半干旱区向干旱区的过渡地带, 是我国生产最不稳定的地带, 丰、歉更替, 也是旱、风、冻、雪灾害频繁的地带。植被受到破坏, 生态环境退化, 给农牧业生产造成严重影响, 这种变化有人为因素的作用, 但是气候变化是主导因素。由于处于季风尾闾区, 历史上东亚季风在这一地区的影响随时间变化大, 其区域气候对全球变化极为敏感, 而且脆弱的农牧、生态、经济、土地利用对气候变化的响应比较强烈。位于其中段的河北省西北部的张家口地区, 跨坝上高原与坝下山地和盆地, 自然景观具有过渡的性质, 气候上由半湿润地区向半干旱地区过渡, 气温、降水梯度亦很大。这里是东亚季风影响的边缘地带, 水热条件处于临界状态, 环境因素的时间变率大, 空间梯度剧烈, 历史上已经历了重大的环境变迁[8]。目前, 这里的生态环境仍脆弱, 对全球变化敏感。其土地利用和土地覆盖对自然环境变化和人类活动的影响极为敏感, 是对气候变化响应研究的理想地区。 2 研究方案由于气候变化以及自然、社会系统的敏感度和适应性研究还存在许多不确定性, 目前, 区域脆弱性评价一般是定性的或半定量的, 只在某些

评价模型中使用定量方法。本文将定量地探讨农牧交错带中段土地生产潜力对气候变化的脆弱性,以丰富此项研究。区域对气候变化的脆弱性是对气候变化的敏感度和适应气候变化的能力的函数。可表示如下: $VUL = ?\text{鄣}Y/?\text{鄣}X + g(A)$ (1) 式中, X为气候要素, $?\text{鄣}Y/?\text{鄣}X$ 为敏感度, $?\text{鄣}Y/?\text{鄣}T$ 为相对气温T的敏感度, $?\text{鄣}Y/?\text{鄣}P$ 为相对降水量P的敏感度; g(A)表示适应能力,与当地的科学技术水平、管理者的素质和有关政策、资金情况、该地区与其它地区的信息交流、当地的文化教育水平等有关。敏感度的计算可以通过定量方式,但是适应能力由于涉及社会、经济因素,半量化的表述更为合适,例如级别的划分。鉴于此,脆弱性VUL也只能是半量化的,本文后续的工作会给出综合脆弱性指数的计算方案。本文则是通过计算区域土地生产潜力的敏感度和适应能力级别,从脆弱性的两个要素分别进行评价。

2.1 土地生产潜力对气候变化的敏感度

据公式1中敏感度的定义,研究对象对气候变化的敏感度Se可以表述为: $Se = ?\text{鄣}Y/?\text{鄣}X$ (2) 或 $Se = \Delta Y/\Delta X$ (3) 式中: ΔY 为气候要素X变化 ΔX 量时相应的评价对象的变化量,则敏感度为相对某一气候要素的单位变化量,研究对象所发生的改变。若研究对象与气候要素的联系可以定量的表达,只需计算偏导数即可,否则可以分别考察二者的时间序列,计算相对变化量。本文情况多数属于前者,部分参量的计算需要用第二种方法。土地生产潜力有多种计算方法,各个方法考虑辐射,温度和水分、土壤限制作用,但具体计算时各量的形式不同,即以不同的方式将光、热、水、土资源折算为产出量,一般选取那些模式参数有实验数据支持,且所需气候要素易于得到的。因此,土地生产潜力可以用下式表示: $Yp = Ym \times B0 \times C0 \times D0$ (4) 式中: Yp 为土地生产潜力, Ym 为土地的光合潜力, $B0$ 为温度系数,即热量条件限制对光合潜力的衰减系数, $C0$ 为水分条件限制的衰减系数, $D0$ 表示土壤条件的衰减系数,假定它由土壤的理化状况确定,不受气候变化的影响,这在一定时期内是可以。可见,若考虑到辐射条件的相对稳定性,讨论土地生产潜力与气候变化的关系只需研究温度系数 $C0$ 及水分系数 $B0$ 对 Yp 的影响,即气候要素通过温度、水分系数影响土地的生产潜力,因此只需讨论如下关系: $Yp \propto (B0, C0)$ (5) 温度系数 $B0$ 与作物(牧草)对热量资源的利用及生长期温度有关。由于本研究将从事农作物(牧草)生产的土地作为研究对象,而非特定的作物(牧草),所以采用适合农牧业生产的界限温度持续的日数作为热量资源标志更合适。这里采用根据联合国粮农组织田间实验有关数据得到的公式[9]: $B0_{农} =$ (6) $B0_{牧} = N0/365$ (7) 式中: $B0_{农}$ 、 $B0_{牧}$ 分别表示农作物和牧草的温度系数, $N0$ 为一年中气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的持续天数, $N10$ 为气温超过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的持续天数。研究表明, $N0$ 、 $N10$ 与年平均气温有较好的线性关系[10, 11]。温度系数的意义是,对农作物而言, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 期间的热量是其生长的有效资源, $0\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 期间的热量对产量的贡献相当于 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 期间的 $1/2$;对牧草而言, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 期间的热量是产量形成的有效资源。水分系数表示了作物(牧草)水分供需矛盾对生产潜力的影响。土地的水分供给主要来自降水,因而可用降水量表示可供农田(牧草地)的水分。土地的水分需要量,因种植的作物(牧草)品种而异,可用潜在蒸散量来估算。据FAO实验研究[12],有如下关系式: $1 - = Ky \times (1 -)$ (8) 式中: $Y1$, $Y2$ 分别为光温水生产潜力和光温生产潜力, P 为作物(牧草)生长期的降水量, Ep 为潜在蒸散量, $?\text{鄣}$ 为作物系数,对于牧草来讲,可认为 $?\text{鄣} = 1.0$ [12], Ky 为作物(牧草)的产出系数,实验确定其在 1.0 左右[12],为研究方便,这里取其 1.0 。因此,农田、牧草地生产潜力由于水分条件限制而产生的衰减系数即水分系数可分别表示为: $C0_{农} =$ (9) $C0_{牧} =$ (10) 式中: $C0_{农}$ 、 $C0_{牧}$ 分别为农作物和牧草的水分系数, P 为年降水量, Ep 为潜在蒸散量,是气温、日照、水汽压、风速等的函数, $?\text{鄣}$ 为作物系数。由以上各式的温度系数和水分系数,土地生产潜力对气温、降水变化的敏感度,可表示为:对气温变化的敏感度: (11) 其中:对于农作物而言 (12) 对于牧草而言 (13) 对降水变化的敏感度:农作物: (14) 牧草: (15)

2.2 区域对气候变化的适应能力

影响某一区域对气候变化的适应能力的因素主要涉及区域的技术、管理、经济和文化水平。IPCC[6]指出技术进步可以提高诸如农业和水供应等领域的适应能力。而适应对策的有效实施又取决于国内外的资金、技术转让,文化、教育、管理、组织和法律法规等。联合国关于气候变化的框架公约中特别指出加强发达与发展中国家(地区)之间的技术交流是提高适应能力的重要方面[3]。可选取以上表示各方面水平的社会经济指标,采用模糊分级方法对各个因素的综合影响加以评价。以上各方面因素的指标可以由社会经济统计资料提炼。国家定期公布的社会经济统计资料作为区域社会经济状况的定量指标已被越来越多的研究所采用[13, 14]。用模糊识别法[10]分别计算以上指标属于各级别的隶属函数,求得综合隶属函数,然后依据隶属度最大原则,判断研究地区对气候变化适应能力级别。例如某区域对气候变化的适应能力属于k级的综合隶属函数由下式计算: $Sk = Uki$ (16) 式中: Uki 为第i项指标属于k级的隶属函数。则适应能力级别为使 Sk 最大的k值。

3 案例区气候变化脆弱性评价依据以上方案,用研究地区的气候资料和社会经济统计资料代入,可以得到案例区的气候变化敏感度和适应能力。以上各式中使用资料年限、来源下文详细交代。

3.1 研究地区土地生产潜力对气候变化的敏感度

利用前述敏感度计算公式,其中的气温、降水等气象要素取研究地区13个气象站1960-1997年记录的平均值,潜在蒸散量由PENMAN[10]公式计算而来,得到研究地区土地生产潜力对气温、降水变化的敏感度如下(表1)。依据式(4)计算了近40年研究地区逐年土地生产潜力,将敏感度与多年平均气候要素计算得到的土地生产潜力进行比较(表2),可以说明气候变化对土地生产潜力的影响程度。为与此方案计算结果进行对比,将40年来土地生产潜力变化情况与同期的气候变化进行了比较(表3)。表3中土地自然生产潜力变化量由40年生产潜力值变化趋势的拟合直线的斜率的10倍表示,其百分率为变化量与40年平均值的比率。从60年代至今的40多年里,研究地区的气候变化的总趋势是年平均气温升高,降水量减少,同时伴随较大的年际变率,土地生产潜力相应地产生阶段性和年际的变化。气温、降水的综合作用,使研究地区,除南部山区以外地区的农牧业土地自然生产潜力呈减少的趋势(表3),南部山区变化不明显。这是因为,近40年来虽然气温升高使作物(牧草)生长期间的热量资源有所增加,但是同时也增加了潜在蒸散量,从而使土地的需水量加大,加上来自降水量的供水量的减少,又使生产潜力的水分限制系数减小。坝下丘陵盆地的生产潜力减少最快,平均每10年的减少量占多年平均值的6.6%。坝上地区牧业用地的生产潜力减少速率稍大于农业用地,这个可能与坝上地区多年平均的气温偏低,使得降水减少同时增加的热量资源有限有关。研究表明,80年代与60年代相比,研究地区气温升高 $0.5\text{--}2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,降水减少 $50\text{--}100\text{ mm}$ [15],则生产潜力变化量大约在 $80\text{--}200\text{ kg/mu}$,与近40年生产潜力逐年值得到的60年代和80年代土地生产潜力的实际差距是一致的。可见,这里定义的敏感度可以描述土地生产潜力对气候变化的响应程度。

3.2 研究地区农业生产对气候变化的适应能力

对气候变化的调整措施的实施需要技术、资金和人们的知识水平的保证,下面就从这几方面分析研究地区的发展

水平, 评价其适应气候变化的能力。用于评价的指标来自于河北省发布的经济统计年鉴 (河北经济统计年鉴, 中国统计出版社, 1986-1997)。研究地区各县的人均国内生产总值和农民人均收入都列在全省的平均水平之下, 尤其是坝上各县排在后几名。由于适应能力是半定量的指标, 是用相对大小、级别表示的, 因此选定河北省经济条件比较好的正定县作为参考, 将各个评价指标表示成与它的比值, 进行无量纲化处理, 作为评价参数, 评定研究地区对气候变化的适应能力。这种适应能力是指在研究地区的目前的社会经济条件下, 其对气候变化的适应程度的内部差异, 是个相对量。将研究地区以上各指标表示成与正定县相应指标的比值, 并将其分别分成3个级别。各级别划分的标准如下: 1级为最大值-均值+0.33*方差; 2级为均值+0.33*方差-均值-0.33*方差; 3级为均值-0.33*方差-最小值。2级的意义是指围绕平均值出现几率为25%的情况, 相应地这些指标体现的对气候变化的适应能力也分为3级: 强、中等、弱。研究地区的各县的适应能力级别(图1), 坝上地区属于3级, 即其对未来气候变化的适应能力弱, 坝缘地区和南部山区为2级, 它们对气候变化的适应能力为中等, 而坝下地区的适应能力为1级, 即坝下具有较强的适应气候变化的能力。

4 结论

本研究以脆弱性作为区域对气候变化响应指标, 在对区域土地生产潜力相对气候变化的敏感度和适应能力进行了定量与半定量的研究基础上, 进行了区域对气候变化响应评价, 探讨具有为区域气候变化对策的制定提供参考, 为区域脆弱性研究积累了实践经验, 对全球气候变化与人类的关系研究的新视角进行了探索。证明通过敏感度的计算和适应能力评价, 可以评价区域对气候变化的脆弱性, 给出区域对未来气候变化的响应, 并使不同研究地区的工作具有一定的可比性。

The Vulnerability of Regional Land Productivity to Global Climatic Change: The Case of the Middle Part of Agricultural-Pastoral Zigzag Zone in Northern China ZHAO Xinyi, CAI Yunlong (Department of Geography, Peking University, Beijing 100871, China) Abstract: The impact of global change, especially the global climatic change on human beings has become one of the most serious problems throughout the world. Because of the uncertainty of climatic change, the assessment of the response to climatic change is more necessary and available than the study on the impact of climatic change, especially on the regional scale, which is concerned with the regional strategies to climatic change and the regional sustainable development. Now the vulnerability is taken as the index to express the response of one region to climatic change, which is the function of both the sensitivity to climate and the adaptability to new conditions. The index will make the research work from different scientists comparable and push ahead the study on the impact of climatic change in the world. The middle part of the agricultural-pastoral zigzag zone in northern China is taken as the case area in the paper, which has changeable climate on the temporal and spatial scales. Both the sensitivity of and the adaptability to climate change of the land production in this area are calculated. The character of this paper lies in: the creation of climate scenario in the future based on the information from different sources, the calculation of sensitivity index by the experiential or statistical relationship of land productivity and climate change, and the assessment of the adaptability using the data from the social and economic yearbooks. Key words: climate change; regional response; land productivity; vulnerability; the agricultural-pastoral zigzag zone in China

关键词: 气候变化; 区域响应; 土地生产潜力; 脆弱性; 农牧交错带