

黄土高原农业生产气候脆弱性的初步研究*

王馥棠 刘文泉

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 介绍了农业生产的气候脆弱性概念和评估方案, 并据此估算和分析了1990年和1997年黄土高原地区130个县市农业生产的气候脆弱性分布现状; 然后利用IPCC推荐的最新GCM模拟结果确定了我国西北地区未来2010~2050年气候变化情景, 在现有和设定的社会经济发展情景下分析了黄土高原农业生产的气候脆弱性可能变化, 并讨论了有关农业可持续发展对策。

S16 A

关键词: 黄土高原; 农业生产; 气候脆弱性; 气候变化

1 引言

黄土高原曾是我国文化的发源地之一, 秦、汉、唐等兴盛的朝代都建都在黄土高原, 但是由于气候干旱, 降水变率大, 植被破坏, 水土流失严重, 土地贫瘠化和土壤荒漠化问题日趋突出, 气象灾害尤其是旱灾频繁, 加之长期不合理开发, 区内各地农业生产差别很大, 对气候变化反应敏感。在西部大开发过程中, 政府和农业部门在进行农业发展规划时需要了解当地农业生产对气候变化可能带来的有利和不利影响及其可能的响应程度, 以便有的放矢, 合理安排开发资金, 防患于未然; 同时也可当地农业种植结构调整、中低产田改造、推广生态农业和精准农业以及实施退耕还林还草等生态再建设工程提供科学的参考。

根据IPCC和FAO有关脆弱性的定义^[1,2]及已有研究成果^[3~7], 本文认为农业生产的气候脆弱性问题, 即农业生产对气候变化可能响应问题, 主要关心的是农业生产过程对各种气候因素变化反应的敏感性以及当地社会经济、环境和农业生产条件对气候变化的适应程度。也就是说, 农业生产的气候脆弱性是指某地区农业生产过程对各敏感气候因素变化的可能反应, 以及当地社会经济、生产、生态环境要素对气候变化可能适应的综合响应程度。

2 农业生产的气候脆弱性评估方案

本评估方案首先确定了敏感性和适应性评估指标, 采用AHP层次分析法分配指标权重, 其次根据有关研究成果确定单指标评估标准和敏感性、适应性计算方案, 最后

2002-09-15收到, 2002-10-20收到修改稿

* 国家科技部社会公益研究专项资金项目“我国西北地区生态气候环境监测预测方法研究”第三课题资助

给出了脆弱性计算方案和等级划分标准。

2.1 脆弱性评估指标体系及其权重

本文农业生产气候脆弱性研究指标体系的确定,是在参考已有生态脆弱性研究和有关气候变化对农业影响研究成果及考察调研的基础上,充分考虑研究区域内的实际生产状况,选取和农业生产条件密切相关的气候、生态和持续发展能力的因子,采用数学分析和专家推荐相结合的办法,分别选取敏感性指标和适应性指标组合,根据专家打分结果,利用 AHP 层次分析法确定指标权重^[8],结果如表 1。

表 1 气候脆弱性指标体系及其权重

敏感性因子	气候敏感因素	权重	其他敏感因素	权重
	关键月份降水变率	0.2687	水土流失率	0.1027
	气象灾害成灾率	0.1563	森林覆盖率	0.0486
	干燥度	0.0301	陡坡地比例	0.2238
	暴雨日数	0.0540	侵蚀模数	0.0249
	关键生育期积温变化	0.0909		
适应性因子	社会经济环境因素	权重	农业生产条件因素	权重
	人均农民纯收入	0.1228	灌溉地比例	0.2619
	非农业社会总产值比重	0.3613	优等地比例	0.0999
	农业人口比例	0.0353	人均耕地	0.0382
	水土流失治理率	0.0806		

2.2 敏感性指标分级及计算方案

敏感性各指标的评判标准主要参考了有关文献和前期科研成果^[9~11],各指标值具体分级及相应敏感性程度等级划分结果见表 2。

表 2 敏感性指标的分级方案

敏感性程度 (%)	关键月份降水变率 (%)	气象灾害成灾率 (%)	干燥度	暴雨日数 (d)	积温变化 (℃)	水土流失比例 (%)	森林覆盖率 (%)	≥15°坡地比例 (%)	侵蚀模数 (t a ⁻¹ km ⁻²)
20	<10	<15	<1	<1	<50	<10	>70	<15	<500
40	10~20	15~30	1.0~1.5	1.0~3.0	50~100	10~35	70~30	15~30	500~2500
60	20~40	30~50	1.5~2.0	3.0~5.0	100~200	35~60	30~10	30~45	2500~8000
80	40~60	50~75	2.0~4.0	5.0~7.0	200~300	60~80	10~5	45~60	8000~15000
100	>60	>75	>4.0	>7.0	>300	>80	<5	>60	>15000

注:敏感性程度 100%表示农业生产对该气候-生态环境因子变化的反应最为敏感

敏感性 V_{p1} 可由下式计算求得:

$$V_{p1} = \sum X_i \times W_i, \tag{1}$$

其中, W_i 表示第 i 种指标所占权重(表 1), X_i 表示第 i 种指标具体取值所属等级的敏感性程度值(表 2)。

2.3 适应性指标分级方案及计算方法

根据各地农业经济发展状况、各种可持续发展指标体系和有关科研成果^[12~14],可确定适应性各指标判别标准及适应性程度等级划分方案(表 3)。

适应性 V_{p2} 可由下式计算求得:

$$V_{p2} = \sum Y_i \times W_i, \tag{2}$$

表 3 适应性指标的分级方案

适应性程度 (%)	灌溉地比例 (%)	优等地比例 (%)	人均耕地 (hm ²)	人均农民纯收入 (元)	非农业社会总产值比重 (%)	农业人口比例 (%)	水土流失治理率 (%)
20	<5	<10	<0.033	<150	<5	>95	<5
40	5~15	10~20	0.033~0.067	150~300	5~20	70~95	5~10
60	15~30	20~40	0.067~0.100	300~700	20~40	50~70	10~15
80	30~50	40~60	0.100~0.167	700~1000	40~70	30~50	15~30
100	>50	>60	>0.167	>1000	>70	<30	>30

注：适应性程度 100% 表示社会经济、生态环境条件最有利于提高农业生产对气候变化的适应性

其中 W_i 表示第 i 种指标所占权重 (表 1), Y_i 表示第 i 种指标具体取值所属的适应性程度值 (表 3)。

2.4 农业生产气候脆弱性分级及计算方案

综合考虑上述两方面的影响, 农业生产的气候脆弱性 V_p 可由式 (3) 计算得出, 并由式 (4) 作归一化处理, 具体等级划分方案见表 4。

$$V_p^* = V_{p1} / V_{p2}, \quad (3)$$

$$V_p = (V_p^* - \min V_p^*) / (\max V_p^* - \min V_p^*) \times 100, \quad (4)$$

表 4 农业生产的气候脆弱性等级划分标准

V_p	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
等级	1 最不脆弱	2 较不脆弱	3 中等脆弱	4 较为脆弱	5 最为脆弱

3 农业生产的气候脆弱性现状评估

本文选取的研究区域为黄土高原地区陕西、甘肃、宁夏 3 省区内 130 个县市。鉴于收集到的 1990 年和 1997 年资料最全, 故本文以这两年作为现状研究个例年。根据前文介绍的评估方案和收集到的初始资料, 可以估算出每一个县市相应的敏感性 V_{p1} 、适应性 V_{p2} 和脆弱性 V_p , 从而确定研究区内农业生产的气候脆弱性分布现状。

3.1 1990 年农业生产的气候脆弱性分析

1990 年各县市农业生产对气候变化的敏感性、适应性和农业生产的气候脆弱性估算结果如图 1。

从图 1 可以看出, 研究区内 1990 年农业生产对气候变化反应最为敏感的区域主要分布在陕北东部、关中东南部、陇东北部和宁南地区。适应性较好的地区主要是在陕西关中地区渭河流域, 兰州市附近和宁夏引黄灌区等工农业比较发达的地区, 较差的地区主要集中陕北大部、陇东北部和宁夏南部。综合两个方面的结果可知气候脆弱性程度最高的地区主要分布于黄土高原中部黄土丘陵区 and 东部水土流失严重区。

3.2 1997 年农业生产的气候脆弱性分析

同上可以得到 1997 年研究区内 130 个县市敏感性、适应性和脆弱性等级分布情况 (图 2)。

从图 2 来看, 研究区内 1997 年农业生产对气候变化响应最为敏感的区域主要分布

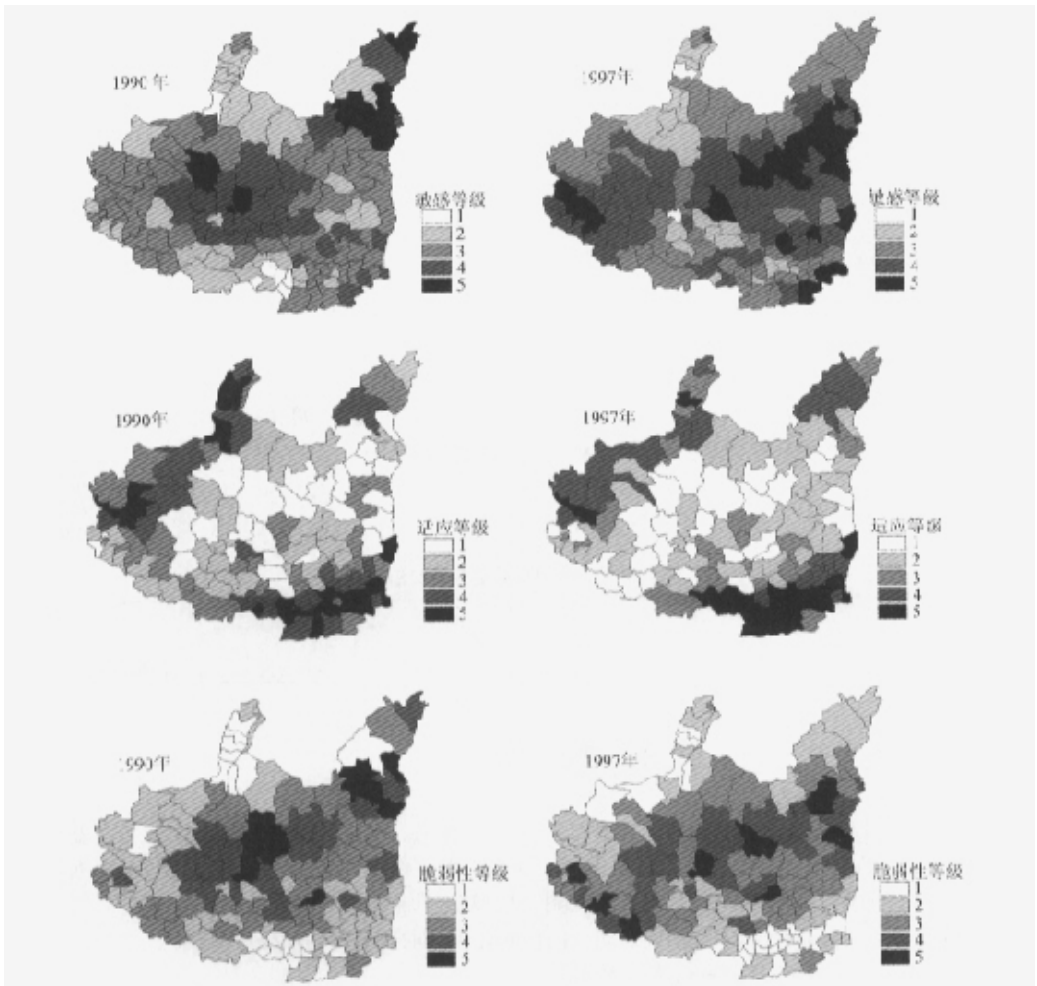


图1 1990年农业生产的气候
脆弱性 (V_p) 等级分布

图2 1997年农业生产的气候
脆弱性 (V_p) 等级分布

在陕西关中东部、陕北大部、陇东和陇中西部、宁南地区等。农业生产对气候变化影响响应的敏感性较高的县市增加,说明1997年的气候条件更不利于农业生产。适应性较好的地区仍主要分布在陕西关中地区渭河流域和兰州附近一带,宁夏引黄灌区适应性有所下降,榆林市及附近有所增加;适应能力较差的地区主要集中陕北部分、陇东、陇中大部分和宁夏南部。综合两个方面的结果可以发现气候脆弱性较高的地区主要分布在陕北中部、陇东、宁夏南部和陇中南部一带。

3.3 农业生产的气候脆弱性变化分析

比较图1、2,研究区内1997年农业生产对气候变化最为脆弱的县市有9个,与1990年持平;最不脆弱的县市有22个,比1990年增加4个,说明有所减轻。综合两

年的估算结果可以发现, 农业生产气候脆弱性较高的地区主要分布在陕北中部、陇东、宁夏南部和陇中南部一带, 主要是由于当地农业生产对气候变化影响的反应比较敏感, 而当地社会经济和生态环境状况也不利于减轻气候变化的不利影响, 这与当地农业生产现状基本一致。应该指出的是, 影响农业生产气候敏感性和适应性因素很多, 相互关系也十分复杂, 限于资料和种种原因, 本评估方案仅选取了若干主要的因素, 设计了一个比较简单的评估方法, 与实际相比是不够完整的, 还存在着许多科学上的不确定性。但上述分析可以反映出黄土高原农业生产气候脆弱性现状的一个大致轮廓, 以供进一步研究借鉴和参考。

4 未来农业生产气候脆弱性的可能演变

4.1 我国西北地区未来气候变化情景

为了了解未来气候变化情景下, 农业生产的气候脆弱性可能变化, 本文采用国家气候中心提供 IPCC 推荐的 5 个最新 GCM 模式 (CGCM、CSRIO、DKRZ、GFDL 和 HADLEY) 模拟结果^[15]来确定未来气候变化情景。根据 5 个模式平均的模拟结果, 我国西北地区在未来 50 年内温度和降水均有增加的趋势, 其中温度增加的幅度比全国平均大, 降水增加的幅度与全国平均持平。表 5 给出了西北地区未来 50 年温度和降水的季节变化。可以看出, 温度和降水在春、冬季增加的幅度比夏、秋季大, 可以认为我国未来气候变化对西北地区作物越冬和春季生长有利。

表 5 2010~2050 年我国西北地区温度和降水的季节变化

	温度变化 (°C)					降水变化 (mm d ⁻¹)				
	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
春	1.56	2.07	2.1	3.23	3.65	0.17	0.21	0.21	0.29	0.30
夏	1.24	1.64	1.97	2.67	3.03	0.00	-0.08	0.03	0.06	0.13
秋	1.37	1.81	2.18	2.88	3.19	-0.02	0.04	0.04	0.05	0.06
冬	1.5	1.75	2.27	3.06	3.26	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12
年	1.42	1.82	2.13	2.96	3.28	0.04	0.05	0.09	0.12	0.15

4.2 基于 1997 年适应性情景的未来气候脆弱性可能变化

采用上述气候脆弱性现状评估方法, 在上列未来气候变化情景基础上, 估算了有关敏感性指标的未来可能变化 (图略), 结果表明未来敏感性将呈波动型变化: 2010~2020 年增加, 随后减小, 2040~2050 年又稍微增加。为了解未来气候变化对农业生产的气候脆弱性影响, 首先假定以 1997 年社会经济发展和环境治理的适应性情景为基础, 分析脆弱性的可能变化, 结果如图 3。

从图 3 可以看出, 在只考虑气候变化因素影响下, 研究区内农业生产的气候脆弱性一直较高的地区集中在研究区中部, 呈东北—西南向一线, 其中 2010~2020 年脆弱性程度有微弱的增加趋势, 其他年份变化不是很明显。显然, 这与未来气候变化引起的敏感性波动趋势有关。

4.3 基于未来社会经济发展情景的气候脆弱性可能变化

为了检测环境治理和未来社会经济发展对脆弱性的影响, 本文首先根据现行国家有关可持续发展战略规划^[16]、五年计划发展纲要等^[17,18]、西部大开发政策^[19]和近期生

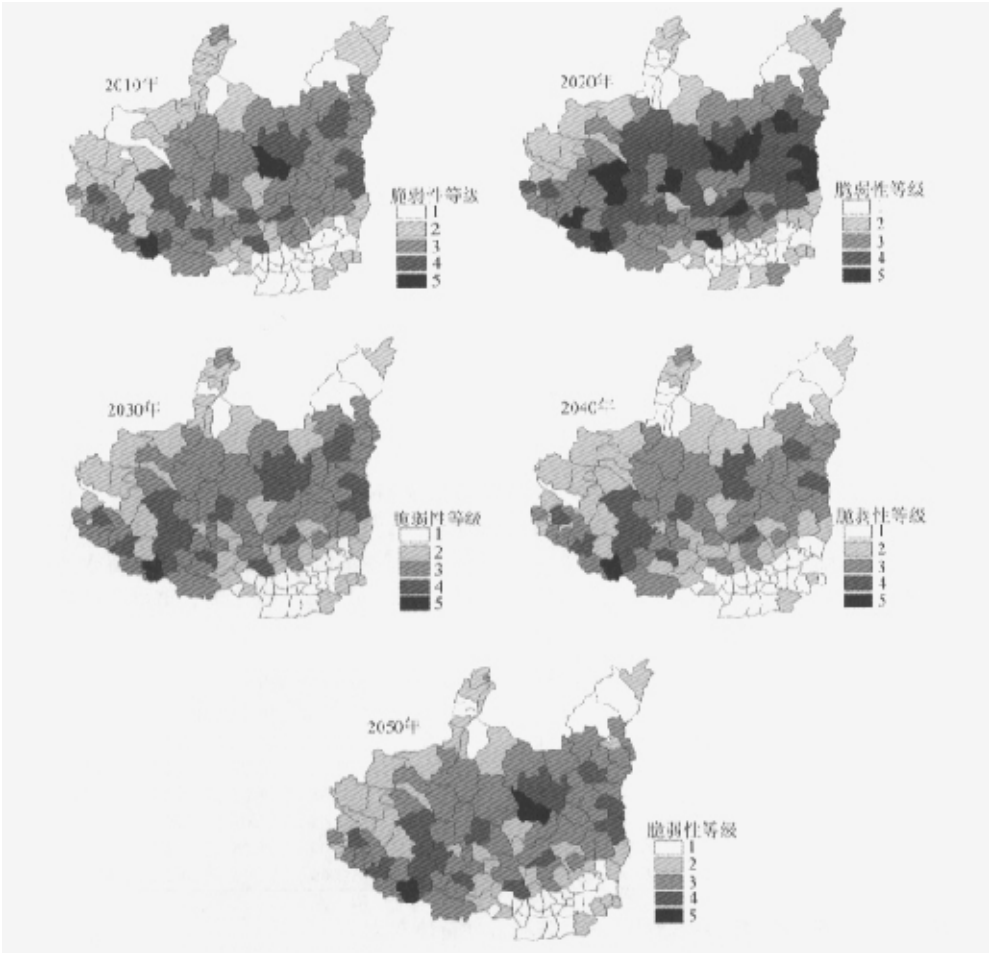


图3 基于1997年适应性情景的气候脆弱性的未来可能变化

态环境治理、退耕还林还草的实施情况，初步设定有关环境治理指标变化如下：水土流失面积以 $1\% a^{-1}$ 递减，森林覆盖率以 $0.2\% a^{-1}$ 增加，需退耕还林还草的 $\geq 25^\circ$ 陡坡耕地比例按 $5\% a^{-1}$ 递减，土壤侵蚀模数按 $1\% a^{-1}$ 递减；进而设定了一个简单的社会经济发展情景（表6），用上述同样评估方法模拟研究区内农业生产对气候变化的敏感性、适应性及其脆弱性的未来可能变化。具体结果如图4。

表6 未来社会经济发展和生产—生态环境改善的设计情景

灌溉地比例	优等地比例	人均耕地	人均农民纯收入	非农业社会总产值比重	水土流失治理率	农业人口比例
逐年递增 0.50%	逐年递增 0.50%	与2000年人 均耕地相同	逐年递增3%	2050年，一般县市达 60%，较发达县市达 80%，重点城市达95%	2030年100%完 成治理	2040年下降 到1997年的 50%

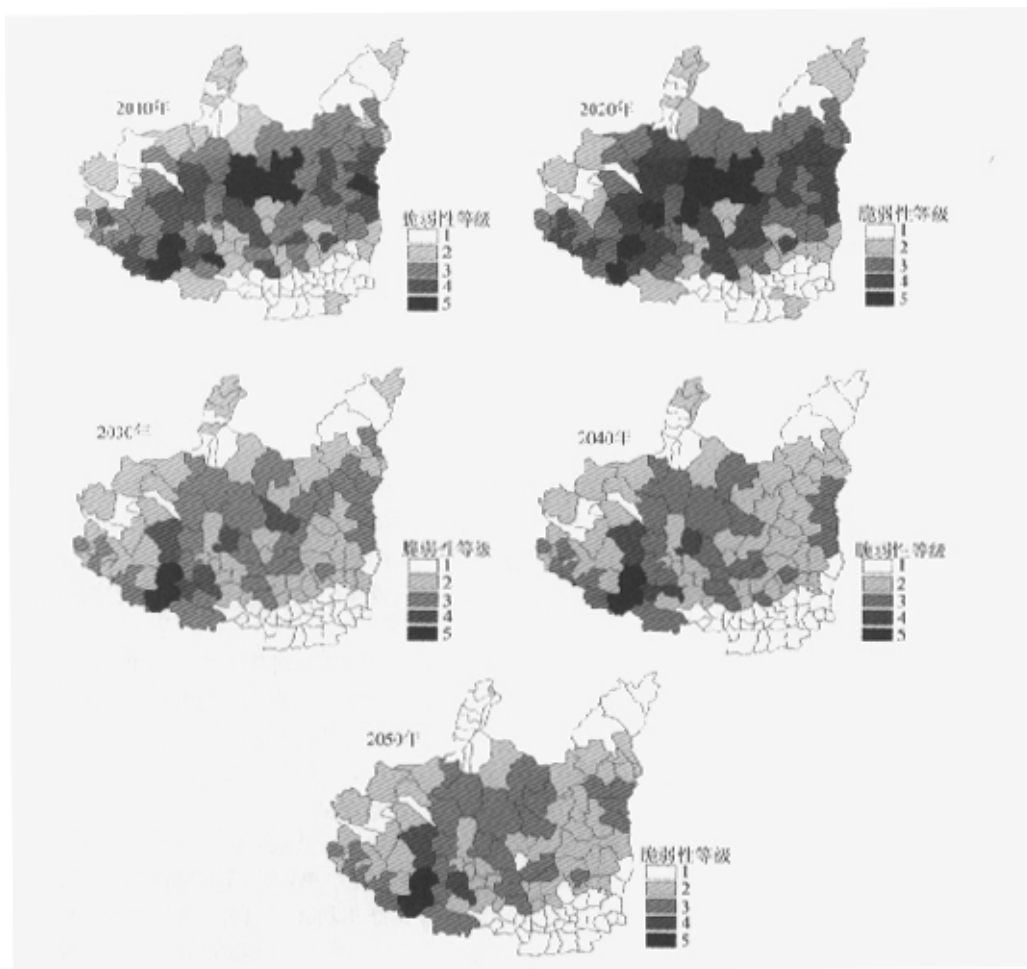


图4 2010~2050年气候脆弱性(V_p)的可能变化

由图4可知,脆弱性变化总的分布趋势为:2010~2020年有增加趋势,随后逐渐下降,高脆弱性的区域逐渐从研究区中部向中西部转移并呈减少趋势,脆弱性较高的区域逐渐缩小。2010~2020年有增加趋势,与同期农业生产对气候变化的敏感性较高相一致,同时相应的环境治理、社会经济发展还不足以抵御较高敏感性的影响。综合以上结果可以发现,最为脆弱的县市主要集中在六盘山西部会宁—武山一带以及陕北中部、宁南和陇东部分县市。

4.4 未来气候脆弱性的可能变化分析

综合以上两种方案,我们可以得出以下结果:在不考虑社会经济发展和环境治理情景下,农业生产的气候脆弱性主要受气候要素变化影响,2010~2020年有增强趋势;在一定的社会经济发展和环境治理措施下,未来脆弱性的变化在2010~2020年虽有增

强趋势,但总体上脆弱性的变化逐渐减弱,高脆弱区向研究区西部转移。这说明东部水土流失区和中部黄土丘陵区农业生产的气候脆弱性在社会经济发展和实施一定的环境治理情景下比西部地区更快地减轻,因而在这些区域增加投资,加大水土流失和环境治理力度,推广农业综合开发的潜力比西部大。研究区内西部地区由于自然环境恶劣,经济发展缓慢,加之受到西北部沙漠化和荒漠化的影响,近期内农业生产的气候脆弱性还会维持较高水平,很难降低,在以后的规划中应综合考虑有关对策,增强适应能力,抵御气候变化的可能不利影响。但是由于本评估方案与 GCM 模式本身存在科学不确定性,上述模拟结果也只是一种初步的探讨,仅给出了黄土高原农业生产气候脆弱性未来变化的可能趋向和概貌,供讨论。

5 农业可持续发展的对策措施讨论

黄土高原有着特殊的地理地貌,水土流失严重,气象灾害频繁,同时长期以来农业的过度开发给当地生态环境造成很大破坏,不利于农业的可持续发展。如何面对现实,采取积极的适应措施,防御气候变化可能带来的不利影响,防止环境进一步恶化,促进地方经济持续、稳定发展,是决策者需要认真考虑的重大问题。本文仅在此提出能提高当地农业生产对气候变化的适应性,走可持续发展之路的若干对策措施建议,以供各级决策者讨论参考。

(1) 防御与治理并重。调整现有农业结构、改变种植制度和耕作方式,采用农业高新科技,主动防御气候变化可能带来的不利影响,趋利避害,以降低当地农业生产系统对气候变化影响的敏感性;同时加强对水土流失、土地退化等生态环境恶化的治理,促进自然生态系统的自我恢复,提高当地农业生产系统和自然生态系统对气候变化影响的适应能力,实现发展农业与保护环境相协调的可持续发展。

(2) 合理有效地利用农业自然资源,保障农业生产稳定、持续发展。研究区内人均耕地较我国东部地区多,但区内东部坡耕地多,水土流失严重,西部土壤贫瘠,自然条件差,造成农业生产的后劲不足。在适宜的地方实施退耕还林还草,减少坡耕地,改造中低产田,发展旱作节水农业和生态农业,提高光、热、水资源的综合利用效率和现有耕地的生产力,以降低遭受不利气候变化影响危害的风险,减弱农业生产对气候变化反应的敏感性,促进农业自然资源合理高效的可持续利用。

(3) 因地制宜,走综合开发道路。研究区内各地区的自然条件和经济条件差别很大,农业比重也很大,不可能采取统一的农业经济开发模式。节水农业、生态农业、设施农业和小流域综合治理等方式或模式,都可以因地制宜地借鉴采用。尤其是针对研究区内矿产资源和旅游资源比较丰富的特点,应特别注意加强这些资源的有序开发;将矿产、旅游资源开发和环境保护、扶持农业、增加农业投入和转移农业劳动力协调统一起来,推进农业结构调整和农村产业开发;适应市场经济发展需求,走工、农业和农、林、牧、副业综合开发道路,提高各地农业和地方经济适应气候变化的经济实力,为降低其气候脆弱性提供有力的经济基础。

(4) 提高农民科技素质,推广农业高新科技。研究区内农业人口比重大,文化水平普遍偏低,对农业高新科技和新品种的推广很不利。应大力推广文化扫盲和科技扫盲,

提高农民科学文化水平; 同时建立健全农村高科技推广服务体系, 鼓励发展资源节约型和高附加值农产品深加工的乡镇企业, 增强农民集体或个体经营农业生产对气候变化的适应能力。

6 小结与讨论

本文首先介绍了黄土高原农业生产的气候脆弱性评估方案, 并利用 1990 年和 1997 年资料完成了农业生产的气候脆弱性的现状分析, 脆弱区域和研究区现实状况比较一致; 其次利用 IPCC 推荐的 5 个最新 GCM 模式模拟结果, 设定了我国西北地区未来气候变化情景, 并在不考虑社会经济发展情景 (基于 1997 年适应性现状) 和设定一定的社会经济发展和环境治理情景下, 估算了脆弱性的未来可能变化。结果表明, 如果进行积极的生态环境治理, 考虑一定的社会经济发展, 研究区内农业生产的气候脆弱性将逐渐减弱, 说明环境治理和发展经济有利于减缓气候变化不利影响, 为寻求积极主动的适应措施防御气候变化的潜在不利影响提供了一定的参考。

由于本研究中农业生产气候脆弱性评估指标的选择和权重分配方案存在着许多不确定性; 尤其是在模拟未来气候脆弱性的可能变化时, 气候模式本身及其模拟结果的降尺度转换等, 还存在着许多局限性和不确定性, 加之脆弱性评估模拟方法本身的局限性, 包括对未来社会经济发展、环境治理等情景的粗略设计, 所有这些均将对气候脆弱性未来可能变化的模拟可信度产生影响。虽然如此, 本研究旨在现有资料和模式模拟结果基础上, 寻求评估农业生产的气候脆弱性评估方法, 并初步取得了一些比较有意义的结果。如果进一步优化评估指标体系, 采用更科学的考虑局地影响的降尺度方法以及更为合理地细化和设定未来社会经济发展情景, 将有助于农业生产气候脆弱性的进一步研究, 以期为各级规划、决策、管理部门提供科学借鉴, 促进农业生产和地方经济的可持续发展。

参 考 文 献

- 1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working Group II, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers, IPCC WG2 Third Assessment Report (TAR), 2001, 89~91.
- 2 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2000), The State of Food Insecurity in the World 2000 (SOFI 2000), FAO Press, Rome, Italy.
- 3 赵名茶, 脆弱生境与贫困——桂西北喀斯特山区研究. 生态环境综合整治和恢复技术研究 (二), 北京: 北京科学技术出版社, 1995, 118~134.
- 4 赵跃龙、张玲娟, 脆弱生态环境定量评价方法的研究, 地理科学, 1998, 18 (1), 73~79.
- 5 蔡运龙、Barry Smit, 全球气候变化下中国农业的脆弱性与适应对策, 地理学报, 1996, 51 (3), 202~210.
- 6 刘文泉, 农业生产的气候脆弱性研究方法初探, 南京气象学院学报, 2002, 25 (2), 214~220.
- 7 刘春蓁, 气候变化影响与适应研究中的若干问题, 气候与环境研究, 1999, 4 (2), 129~134.
- 8 刘文泉、雷向杰, 农业生产的气候脆弱性指标及权重的确定, 陕西气象, 2001, (3), 32~35.
- 9 邓振镛, 干旱地区农业气象研究, 北京: 气象出版社, 1999.
- 10 刘安鹏, 农业遥感与农业气象研究, 北京: 气象出版社, 2000.

- 11 宁夏气象科学研究所, 宁夏气象科技文选, 银川: 宁夏人民出版社, 1998.
- 12 徐勇, 黄土高原中部丘陵区(中尺度)农村经济特征制约因素与发展对策, 水土保持研究, 2000, 7 (2), 14~21.
- 13 吴钦孝、赵鸿雁, 黄土高原水土保持目标及对策, 水土保持研究, 1999, 6 (2), 76~80.
- 14 方创琳、毛汉英, 区域发展规划指标体系建立方法探讨, 地理学报, 1999, 54 (5), 411~419.
- 15 丁一汇, 王守荣, 中国西北地区气候与生态环境概论, 北京: 气象出版社, 2001.
- 16 邓楠, 中国的可持续发展战略——《中国 21 世纪议程》, 气候与环境研究, 1996, 1 (1), 3~10.
- 17 中华人民共和国国家计划委员会编, 国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要, 北京: 中国经济出版社, 1996.
- 18 朱镕基, 关于国民经济和社会发展第十个五年计划纲要的报告, 2001 年 3 月 5 日在第九届全国人民代表大会第四次会议上的报告, 北京: 人民出版社, 2001.
- 19 陈栋生, 西部大开发与可持续发展, 北京: 经济管理出版社, 2001.

A Preliminary Study of Climate Vulnerability of Agro-Production in the Loess Plateau

Wang Futang and Liu Wenquan

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract Based on the introduction of the definition and assessment scheme for climate vulnerability of agro-production in the Loess Plateau, the present vulnerability analysis both in 1990 and 1997 are carried out for 130 counties in this region. In addition, under the projected climate change scenario and social economy development scenario for 2010~2050, the possible change of climate vulnerability of agro-production in future and some strategic measures-advice for the Loess Plateau have also been discussed.

Key Words: Loess Plateau; agro-production; climate vulnerability; climate change