Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2012, 1, 51-58
doi:10.4236/ccrl.2012.12006 Published Online July 2012 (http://www.hanspub.org/journal/ccrl)

The Impact of Global Warming on Wheat Yields in Northwest China

Xiaobo Shen[1], Fangping Cao[2]

[1]China Center for Energy Economics Research, Xiamen University, Xiamen
[2]School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing
Email: xbshen@xmu.edu.cn, cfp_888@126.com

Received: May 30th, 2012; revised: Jun. 10th, 2012; accepted: Jun. 20th, 2012

Abstract: Using the input-output data of wheat production and climate data in five provinces of northwest China during 1978-2007, this paper studies the impact of global warming on the wheat yields in northwest China. It concludes that the annual average temperature rises one percent, the wheat yields will reduce by 0.023%, while there is no significant impact of annual precipitation amount and annual sun-shining hours on wheat yields. In order to counter the impact of global warming on wheat production in northwest China, it is necessary to explore the adaptive measures in farming practice, seed cultivation, use of arable land, and the prevention and mitigation of agricultural disaster.

Keywords: Global Warming; Wheat Yields; Northwest China; Adaptation

全球变暖对我国西北地区小麦生产的影响

沈小波[1]，曹芳萍[2]

[1]厦门大学中国能源经济研究中心，厦门
[2]北京林业大学经济管理学院，北京
Email: xbshen@xmu.edu.cn, cfp_888@126.com

收稿日期：2012 年 5 月 30 日；修回日期：2012 年 6 月 10 日；录用日期：2012 年 6 月 20 日

摘　要：本文利用西北五省(区)1978~2007 年小麦生产的投入产出数据和气候数据，研究了全球变暖对该地区小麦生产的影响。结果表明，年平均气温上升 1%，小麦产量下降 0.023%，而年降水量和年日照时数的变化对小麦生产没有显著影响。为了应对全球变暖对西北干旱地区粮食生产的负面影响，有必要从耕作实践、良种培育、土地利用、防灾减灾等方面探索有效的适应性措施。

关键词：全球变暖；小麦产量；中国西北；适应

1. 引言

农业生产对气候变率和极端天气事件，如干旱、洪水及风暴异常敏感。影响气候的力量对农业生产率也非常重要。工业革命以来，人类的经济活动已经改变了大气的特征，如气温、降水、CO_2 浓度以及地面臭氧水平。人为的温室气体排放及其引起的全球暖化，已经成为影响全世界特别是发展中国家粮食安全的重大问题。对农业生产者、政策制定者及农业研究和推广机构来说，重要的是要弄清楚，气候变化在何种程度上影响农业生态系统的生产力。我国西北地区地处干旱半干旱气候区，农业生产的自然条件差，基础设施落后，技术水平低，农业生产很大程度上还靠天吃饭。无论就种植面积还是就产量来看，小麦都是我国西北地区最主要的粮食作物。因此，研究气候变化对我国西北地区小麦生产的影响，对于我们理解气候变化如何影响农业生产，并采取相应的减缓和适应

Copyright © 2012 Hanspub

措施，意义重大。

2. 气候变化对农业生产的影响及其评估方法

2.1. 气候变化对农业生产的影响

农业生产是自然再生产与经济再生产过程的统一。农业系统的生产力不仅受要素投入和生产技术的制约，还要受自然条件特别是气候因素的影响。影响农业生产的主要气候因素有平均气温升高、降水量及降水模式变化、大气 CO_2 浓度增加，以及气候变率及极端天气事件的变化。

平均气温升高会延长春秋两季相对阴凉地区农作物的生长期，特别是在中高纬地区。全球变暖允许春季提前播种，更早成熟和收获，冬季气温上升能使一年生及多年生农作物更好地生长。当然，在低纬度地区，气温升高对农作物生长有不利影响。气温升高还会提高土壤蒸发率，降低土壤水分，增大极端干旱的概率。气候变化还会改变降水、蒸腾、径流和土壤蓄水。在半干旱地区，农业是最大的水资源使用者。在全球变暖条件下，农业灌溉水的需求预计会增长。这将加剧农业用水与城市及工业用水之间的竞争。在更干旱条件下，单位面积土地会需要更多灌溉水；由于有更多的严重热浪，预计灌溉需求高峰也将增加。

大气 CO_2 浓度增加也会影响农业生产。首先，植物的光合作用会大气 CO_2 浓度的变化做出反应。当然，这种影响取决于植物光合作用的途径，与 C_3 植物如小麦、水稻、大麦、大豆等相比，C_4 植物如玉米、甘蔗、高粱等的反应较小。其次，大气 CO_2 浓度升高会减小气孔孔径和气孔密度，导致气孔通导性和蒸腾作用下降。研究发现，大气 CO_2 浓度升高 1 倍，能使气孔通导性下降 20%(Drake, et al. 1997)[1]。最后，CO_2 浓度升高会降低植物的暗呼吸。研究发现，CO_2 浓度在目前水平提高 1 倍，也会使暗呼吸作用下降 20%(Drake, et al. 1997)[1]。农作物对大气 CO_2 浓度升高的这些主要反应，其结果是逐渐提高了辐射、水及氮素资源的利用率，特别是水利用效率。

除了上述影响外，气温和降水变化还会影响土壤肥力。气温升高会提高土壤有机质的周转率，从而导致土壤中无机氮的积聚，增加了硝态氨淋失的风险。气温升高和降水减少还会提高土壤风蚀的脆弱性，在干旱半干旱地区，更大的蒸发量加大了土壤盐碱化的风险。气候变化还会对病虫害的发生和传播产生影响。更温暖的气候条件有利于害虫的生长和传播，因为这增加了害虫繁殖周期的次数。较温暖的冬季允许害虫在原本受寒冷限制的地域越冬，导致病虫害在下一个作物季节发生得更早更严重(Kimball, B.A., et al. 2002[2]; Cline, W., 2007[3]; Fischer, et al. 2002)[4]。

2.2. 气候变化对农业生产影响的评估方法

从理论上说，可以按照下述步骤评估气候变化对农业产出的影响。首先，我们估计在目前气候条件下某种作物产量价值的现在值与未来值，并对这些值构建一个概括性的统计量，比如说 $Y(e_0)$。这里，e_0 代表了定义当前气候状况的参数。函数 $Y(e)$ 通常是与气候变化相关的农作物产出价值的现在及未来变化的贴现值。其次，我们考虑在变化了的气候条件下某农作物产出价值的度量，比如说 $Y(e_1)$。气候变化的影响可以用 $\Delta Y = Y(e_1) - Y(e_0)$ 来衡量。

但是可以合理设想，如果气候变化的这种影响是消极的，人们就有激励对气候变化做出反应。当气候变化造成明显经济损失时，人们会在生产技术、生产活动的区位，以及制度安排和政策上做出适当变化，以抵御气候变化的不利影响。因此，我们在评估气候变化的影响时，必须考虑人们在技术、生产区位、制度等方面潜在的适应性反应。让标量函数 $\alpha(e)$ 代表这种因素，从而农业生产函数可定义为 $Y(e,\alpha(e))$，则气候变化对农业生产的全部影响就是 $\Delta Y = (\partial Y/\partial e)\Delta e + (\partial Y/\partial \alpha)(\mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}e)\Delta e$。这个方程右边第一项表示，在保持农业生产系统的基础结构不变时气候变化的影响；第二项代表与气候变化诱致的适应性措施相关的气候变化的影响(Antle, 1996)[5]。

上述评估程序只是一个概念性的框架，要把它用于实际的影响评估，还有许多路要走。为此人们尝试了多种具体的评估方法。估计谷物产出的一种方法，是利用作物模拟模型。这样的模型嵌入了从作物田间试验中获得的参数。由于影响田间生产的自然因素和条件有多种，而且这些因素和条件会随着时间发生变动。作物模拟模型仅考虑了少数几种影响因素类型及其变化，因此这种方法也有其很大的局限性。作物模拟模型是农学家、生物学家常用的研究方法。

Copyright © 2012 Hanspub

经济学在研究气候变化对粮食生产的影响时，通常使用两种方法：结构主义方法和“空间类比”方法(Adams, et al. 1998)[6]。结构主义的方法是跨学科的，使用了来自多个学科的模型来测量气候变化的经济后果。该方法从使用作物模拟模型开始，并按作物对产出变化建模，然后按地区对产出变化建模。这些作物模拟模型可以进行调整，以纳入 CO_2 浓度升高和具体的微观层次的适应性活动——如改变种植日期、改变作物品种、增加灌溉——的直接影响。在不同气候条件下测量了产出的变化后，把获得的产出估计纳入农业部门的经济模型，最终按作物和地区估计种植面积与产出的变化，以及市场结清价格的变化。

“空间类比”方法根据地区之间可观察的气候及农业产量的变化，来估计气候变化对农业生产的影响。空间类比模型假设当气候变暖时，更冷地区会采用更温暖地区的作法。具体实施“空间类比”方法时，通常使用统计回归技术，来分析生产的空间模式的变化。最常见的把农作物产量看作投入、技术、管理、土壤质量及各种气候因素的函数。还有一种做法是，不直接估计气候因素对农作物产量的影响，而是估计气候变化对农地价值的影响。这种方法被称为“李嘉图主义的方法”。

空间类比方法的优点是，在这种分析中，结构变化和农民的适应是暗含的，把研究者从估计气候变化对特定地区作物和农民的反应有何影响的负担中解脱出来。其弱点是该方法假设了一种长期均衡，忽视了中短期的调整成本(Adams, et al. 1998)[6]。例如，空间类比方法抽象了结构特征如灌溉系统变化的问题与成本。该方法也忽略了生产的全球性变化导致的产出价格与投入价格的变化，而产出和投入价格的变化会影响农场层次的适应性决策。该方法也假定农民会自动知道如何以及何时对气候变化做出应对。事实上，农民只有在付出一定的代价后，才会知道怎样以及何时对气候变化做出应对。

由此可见，不论是哪种方法，都既有优点，又有缺点，还不存在一个完美的方法，以估计气候变化对农业生产的影响。考虑到气候变化固有的复杂性和不确定性，不存在完善的评估方法也是正常的。具体采用何种方法，取决于研究者的知识背景、基础数据的可得性、研究的具体目标，以及研究者所能负担的人力、财力和物力。比较而言，传统的生产函数方法数据容易获得，也不需要花费太大代价，为许多研究者所采用。本文也将采用生产函数方法，来研究气候变暖对我国西北地区小麦生产的影响。

3. 我国西北地区的小麦生产与气候状况：1978~2007

3.1. 西北地区的小麦生产

小麦是我国西北地区主要的粮食作物。西北五省(区)小麦播种面积占粮食播种面积的比例，长期以来一直保持在 40%~65%的水平。近年来，随着农业种植结构的调整，小麦面积在粮食播种面积中的比例趋于下降。1982 年，陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆小麦播种面积的比例分别为 40.15%、51.46%、54.87%、43.27%和 65.33%。2007 年，这一比例分别下降为 36.92%、36.55%、51.03%、27.29%和 43.93%。西北地区既种植冬小麦，也种植春小麦。从种植比例来看，陕西几乎全部种植冬小麦，而青海差不多全部种植春小麦；在甘肃和新疆，冬小表种植比例较大，春小麦比重较小；宁夏春小麦种植比例较大，冬小麦比例较小。

随着农村经济体制改革的实行，农业生产技术的进步，农业基础设施的完善，以及农业投入的增加，西北五省(区)小麦单产在稳步提高。改革开放初期，西北地区小麦单产还比较低。1978 年，西北五省(区)中，青海省小麦单产最高，为 2.58 吨/公顷，新疆最低，仅有 1.33 吨/公顷，甘肃、青海、宁夏都在 1.6 吨/公顷左右。经过 30 年的发展，西北五省小麦单产已经大幅度提高。2007 年，五省(区)中，小麦单产最高的是新疆，达 5.63 吨/公顷，其次是青海，达 3.99 吨/公顷，陕西为 3.14 吨/公顷，甘肃最低，也达到 2.42 吨/公顷。

从总产来看，1978 年，陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆小麦总产量分别为 251 万吨、236.5 万吨、53.5 万吨、48.5 万吨、180 万吨。此后，五省区小麦总产逐步提高。1997 年，陕西小麦总产达到历史最高水平，为 562.7 万吨。1998 年，甘肃、青海、宁夏、新疆小麦产量也达到历史最高水平，分别为 412.6 万吨、79.9 万吨、93.8 万吨、456.6 万吨。1997 年以后，虽然小麦单产水平在逐渐提高，但由于播种面积下降，五省(区)小麦总产趋于下降。2007 年，陕西、甘肃、青海、

Copyright © 2012 Hanspub

宁夏、新疆小麦总产分别为 359.1 万吨、237.4 万吨、61.4 万吨、61.6 万吨、341.3 万吨；与 1997 年相比，分别下降了 36.2%、42.5%、23.2%、34.3%、25.3%。

3.2. 西北地区的气候状况

西北五省(区)地处我国内陆，是典型的温带大陆性气候。冬季(从上年 11 月~2 月)和夏季(5 月~8 月)是一年中的主要季节，而春季(3 月~4 月)和秋季(9 月~10 月)仅仅是过渡性季节。表 1 给出了 1978~2009 年西北五省(区)的月平均气温及降水情况。可以看出，五省(区)月平均气温的变化模式非常相似，气温都是从 2 月开始上升，7 月达到最高值，然后开始下降直到 1 月的最低值，3 月~6 月的气温与 8 月~11 月的气温存在着一种对称关系。

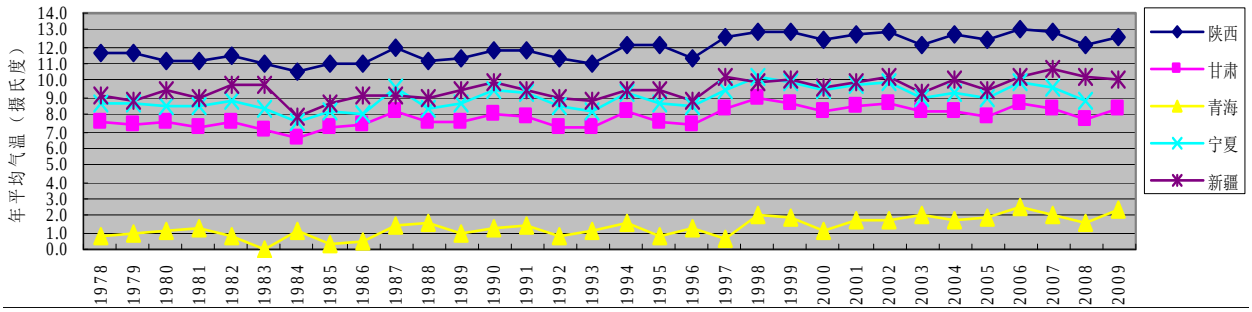
从年平均气温来看，1978~2009 年期间，陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆的年平均气温分别为 11.92℃、7.85℃、1.31℃、8.96℃和 9.47℃。图 1 是 1978~2009 年西北五省(区)年平均气温的变化趋势。可以看出，在此期间，西北五省(区)年平均气温变化模式有明显变动，后半期与前半期相比，年平均气温明显升高，升高幅度大概在 1℃左右。以陕西为例，1978~1993 年，年平均气温基本上在 11℃~12℃之间，但 1994 年以后，年平均气温大体上在 12℃~13℃之间，个别年份超过了 13℃。年平均气温的这种变化趋势，即使在地处青藏高原的青海省也有明显表现。

就降水而言，表 1 数据表明，西北五省降水都主要集中在每年 6 月~9 月，而其他月份降水较少，降水的季节分布极不均匀。就年降水量而言，1978~2009 年，陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆五省(区)年平均降水量分别为 572.5 mm、277.8 mm、291.6 mm、232.2 mm、116.8 mm。除陕西省年降水量超过 500 mm 外，其他四省(区)年降水量都不足 300 mm，干旱半干旱现象严重。图 2 给出了 1978~2009 年西北五省(区)年降水量的变化趋势。可以看出，在此期间，除陕西省外，

Table 1. The mean temperature and the precipitation in the five Northwest provinces: 1978-2009
表 1. 西北五省月平均气温与降水情况：1978~2009

省区	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
陕西气温	–2.73	1.00	6.67	13.64	18.96	23.09	24.81	23.31	18.23	12.17	4.96	–1.09
陕西降水	5.01	7.80	21.56	31.32	56.46	69.24	113.99	109.09	88.34	46.62	18.15	4.93
甘肃气温	–6.92	–3.11	2.73	9.69	14.95	18.83	20.70	19.40	14.38	7.85	0.78	–5.12
甘肃降水	2.04	2.92	9.10	14.89	31.36	41.97	58.50	54.95	38.84	18.41	3.53	1.32
青海气温	–11.74	–8.21	–3.13	2.31	7.10	10.71	12.96	12.23	8.06	1.47	–5.67	–10.33
青海降水	2.52	3.03	6.30	10.82	29.91	57.19	65.64	56.03	42.06	14.04	2.34	1.72
宁夏气温	–7.61	–3.59	3.22	11.11	17.21	21.55	23.31	21.35	16.12	9.13	1.23	–5.47
宁夏降水	1.73	2.44	8.11	10.37	25.85	31.25	51.68	53.21	30.86	12.82	2.76	1.10
新疆气温	–10.39	–5.46	3.62	13.24	19.27	23.61	25.28	23.74	18.14	9.82	0.48	–7.60
新疆降水	5.24	4.44	6.25	9.73	13.50	15.02	18.55	12.50	8.82	7.83	8.27	6.67

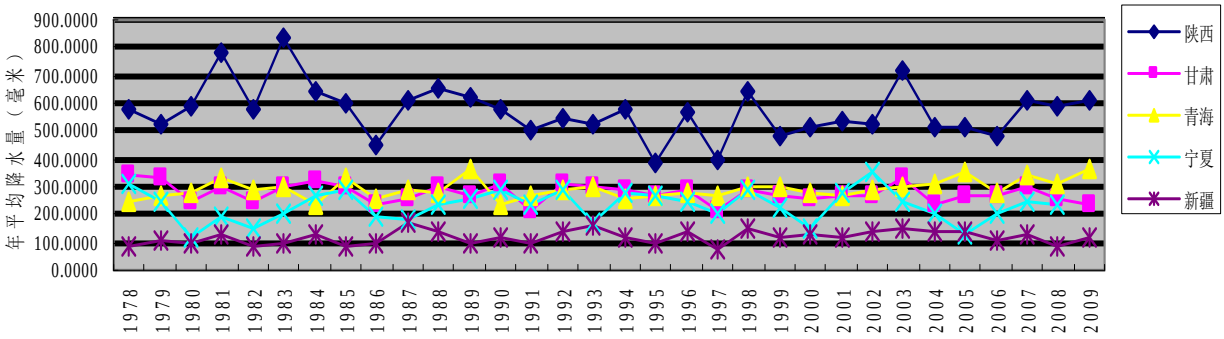
注：气温的单位是摄氏度，降水的单位是毫米。数据来源：根据中国气象局“中国地面国际交换站气候资料月值数据集”相关数据计算而得。



数据来源：根据中国气象局“中国地面国际交换站气候资料月值数据集”相关数据计算而得

Figure 1. Trend of the average temperature in the five northwest provinces in China: 1978-2009
图 1. 西北五省(区)年平均气温变化趋势：1978~2009

Copyright © 2012 Hanspub



数据来源：根据中国气象局“中国地面国际交换站气候资料月值数据集”相关数据计算而得

Figure 2. Trend of the average pricipitation in the five northwest provinces in China: 1978-2009
图 2. 西北五省年均降水量变化趋势：1978~2009

其他四省(区)的年度降水变化模式基本上稳定。与前半期年降水量波动较大相比，陕西省后半期年降水量比较平衡，且后半期降水量较前半期偏少。

综合上述分析，西北五省(区)年降水量少，除陕西南部、陇南等部分地区外，干旱半干旱是西北地区主要的气候特点，且降水的季节分布不均匀，主要集中在夏秋两季，6~9 月降水量占全年降水量的 65%以上。1978~2009 年，西北五省年平均降水量的变化模式基本上保持稳定，但近年来降水量偏少。从月平均气温来看，西北五省(区)1 月平均气温最低，从 2 月开始气温升高，到 7 月达到最高气温，然后又逐月下降。从年平均气温的变化趋势看，1994~2009 年，西北地区年平均气温明显升高，与 1978~1993 年比较，年平均气温大约升高 1℃。我们关心的是降水和气温的这种变化对当地小麦生产的影响。

4. 全球变暖对西北地区小麦生产的影响：实证分析

4.1. 文献回顾

正如 Liangzhi You et al. (2009)[7]指出的，虽然许多研究者利用作物模拟模型，间接地评估了全球变暖对农作物产量可能产生的影响，但是对于已经观察到的气候变化对过去的作物产量所产生的影响，仅有少数几项研究做了直接评估。Peng et al. (2004)[8]分析了国际水稻研究所农场 1992~2003 年的天气数据，研究了水稻产量与气温的关系。他们发现，在干旱的种植季节，生长期最低气温每升高 1℃，水稻产量会下降 10%，而最高气温对产量没有显著影响。Lobell 和 Asner (2003)[9]利用 1982~1990 年美国县级的玉米、大豆生产数据，以及气温、降水和辐射数据，研究了气候变化与农作物生产之间的关系。他们发现，生长季气温每升高 1℃，玉米和大豆的产量大约分别下降 17%。Carter and Zhang(1998)[10]利用中国县级的数据，研究了天气因素与中国谷物供给的关系。他们发现，1980 年代中期中国谷物生产增长率的下降，其原因在于该时期不利的天气状况及生产效率的损失。Liangzhi You et al. (2009)[7]研究全球变暖对中国小麦产量的影响。他们的结论是生长季气温每提高 1%，会使小麦产量下降 0.3%。

上述研究结果有助于人们理解农作物生长季气温升高对粮食生产的影响，但其结论并不能完全等同于全球变暖的影响。生长期气温升高并不等于全球变暖，作物生长期气温升高的同时年平均气温有可能不变，而全球变暖通常意味着年平均气温有升高趋势。基于这种考虑，下面研究了年平均气温变化对粮食生产的影响。

4.2. 数据与方法

我们利用 1978~2007 年中国西北五个省(区)小麦生产的面板数据，以及当地同期的气候数据(如气温、降水量、日照时数等)，就气候对该地区小麦总产量的影响作了分析。小麦的投入产出数据来自《改革开放三十年农业统计资料汇编》(以下简称《资料汇编》)。《资料汇编》提供了每个省 1978~2007 年小麦年产量、小麦播种面积，以及农业劳动力、化肥施用量、农机总动力等方面的数据。气候数据来自“中国气象科学数据共享服务网”提供的“中国地面国际交换站气候资料月值数据集”。该数据为中国 206 个国际交换站

Copyright © 2012 Hanspub

1951 年以来的气候资料月值数据集，包括气温、气压、降水、日照等要素的历年月值数据。我们通过对西北五个省(区)各自国际交换站的数据求平均值，得到每个省区的气候参数。

将影响农作物产量的气候变化效应从非气候变化效应中分离出来，是分析过程中的一大难题。我们假定农作物产量是投入、管理、土地质量及各种气候因素的函数。在我们的研究中，产量方程的解释变量包括投入(土地、劳动、化肥、农机和灌溉设施)、气候变量(温度、降水量、日照时数)，以及两个制度变迁方面的虚拟变量。土地投入用小麦播种面积来度量。劳动投入用农业劳动力的数量来近似度量。化肥投入用小麦播种面积占农作物播种面积的比重乘以农用化肥施用量来度量。农机投入通常用农机总动力来计量。但农机总动力中，有相当大的比例并没有投入农业生产，而是用于商业运输等活动，所以农机总动力并不能很好地度量农业生产中农机投入情况。我们选取大中小型拖拉机配套农具的数量，作为农业生产中农机投入的度量。我们也选取农用排灌柴油机和电动机动力之和作为灌溉投入的度量。

由于制度变革会改变农民从事农业生产的激励机制，因而在估计农作物产量方程时，有必要纳入制度变量。在我们所研究的时期内(1978~2007 年)，中国农业发生了两次重大的体制改革。第一次是 20 世纪 80 年代初期开始实行的家庭承包责任制。家庭承包责任制改变了原有的农业经营制度，在国家、集体和个人之间重新界定了土地产权关系，从而为农民提供了充分的经济激励，促进了农业生产的快速增长。第二次是农产品流通体制的市场化改革。新中国成立后，我国长期实行农产品统购统销制度。从 1985 年开始，统购统销体制被打破，农产品流通体制进入“双轨制”阶段。1993 年，我国基本上放开了粮食价格和经营，城镇居民粮食供给制度被取消。1993 年以后，虽然个别年份仍然实行“双轨制”，但农产品流通体制基本上进入市场化阶段。市场化改革后，由于种粮的比较利益很差，农民生产粮食的积极性受到挫折，对粮食生产稳步增长有较大的负面影响。我们以特定时期的虚拟变量来反映这两大体制变革。最后，与 Liangzhi You et al. (2009)[7]一样，我们考虑了区域生产专业化这一变量的影响，该变量由粮食种植面积中小麦所占比重来度量。

至此，柯布－道格拉斯形式的小麦产量函数可表示如下：

$$\begin{aligned}\ln Y_{it} &= \alpha_1 \ln \mathrm{Labor}_{it} + \alpha_2 \ln \mathrm{Area}_{it} + \sum_{j=3} \alpha_j \ln X_{jit} \\ &+ \beta \ln \mathrm{Climate}_{it} + \gamma \ln S_{it} + \sum_{T=1}^{2} \omega_T D_T + \varepsilon_{it}\end{aligned} \tag{1}$$

其中，ln 表示自然对数；$t = 1,2,\cdots,30$，代表 1978~2007 年的各年观测数据；Y_{it} 表示第 i 个省(区)在 t 时的小麦产量；Labor_{it} 表示劳动力投入，Area_{it} 表示小麦播种面积，X 代表常规投入，包括化肥施用量、大中小型拖拉机配套农具、农用排灌柴油机和电动机动力之和；S_{it} 是小麦播种面积占粮食播种面积的比例，反映了小麦生产的区域专业化；$\mathrm{Climate}_{it}$ 是气候变量，包括年平均气温、年降水量、年日照时数；特定时期的虚拟变量 D_T ($T = 1,2$)表示 1980 年代初和 1993 年后发生的两次农村体制改革的效应。由于西北五省(区)基本上在 1981 年就实行了家庭承包责任制，所以在 1978~1981 年期间 D_1 取值为 0，在其他时期取值为 1。D_2 在 1978~1992 年取值为 0，在 1993~2007 年取值为 1。α、β、γ、ω 是待估参数，ε 是误差项。

4.3. 估计结果

首先，我们对模型(1)进行 OLS(最小二乘)估计，估计结果见表 2 第二列。所有解释变量参数的 OLS 估计值都具有 10%或低于 10%的统计显著性。年平均气温的系数为–0.057，且在 5%水平上显著，说明在其他条件不时，年平均气温升高 1%会使小麦产量减少 0.057%。年降水量的系数为 0.117，且在 5%水平上显著，表明年降水量增加 1%，小麦产量能增长 0.117%。年日照时数的系数为–0.285，在 10%水平上显著，意味着其他条件不时，如果年日照时数增加 1%，将使小麦产量下降 0.285%。与大多数文献一样，我们估计的劳动力投入的系数为负值。这说明西北地区存在大量的农业剩余劳动力，劳动投入对小麦产量增长的贡献可以忽略不计。播种面积、配套农具、排灌动力、化肥四个变量的系数都为正，且统计上显著，说明这四个变量对小麦产量有正面影响。两个制度性虚拟变量的符号与我们的预期一致，且在统计上显著。这意味着 1980 年代初实行的家庭承包责任制对小麦生产有积极影响，而 1993 年后实行的农产品流通体制市

Copyright © 2012 Hanspub

Table 2. Estimation of China's wheat production function in Northwest: 1978-2007
表 2. 中国西北地区小麦产量函数估计：1978~2007

解释变量	OLS 估计	横截面固定效应估计
常数	–0.921(–0.57)	–5.692(–2.94)***
Ln 劳动力	–0.244(–3.70)***	–0.495(–2.65)***
Ln 小麦播种面积	0.408(4.13)***	0.718(4.48)***
Ln 配套农具	0.054(1.85)*	0.065(1.99)**
Ln 排灌动力	0.307(7.28)***	0.275(3.91)***
Ln 化肥	0.310(8.35)***	0.288(6.94)***
Ln 年平均气温	–0.057(–2.28)**	–0.023(–1.70)*
Ln 年降水量	0.117(2.22)**	0.069(1.30)
Ln 年日照时数	–0.285(–1.70)*	0.316(1.51)
Ln 小麦播种面积份额	1.128(10.46)***	0.983(5.26)***
家庭承包责任制虚拟变量	0.094(2.08)**	0.184(3.76)***
农产品流通体制市场化虚拟变量	–0.115(–3.04)***	–0.095(–2.62)***
调整后的 R^2	0.9829	0.9849
似然比检验		22.75

注：因变量为 Ln 小麦产量，括号内数值是 t 值；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平

场化改革对小麦产出有负面影响。

上述 OLS 估计结果虽然令人满意，但是考虑到可能存在未观察到的与截面单元相关的个体效应，OLS 估计结果可能并不太可靠。为了考虑未观察到的横截面个体效应，我们做了横截面固定效应估计，估计结果见表 2 第三列。在横截面固定效应估计中，年平均气温的系数与 OLS 估计一样，依然为负值，但是系数从 OLS 估计中的–0.057 变为–0.023，且显著性水平有所下降，不过在统计上仍然是显著的。这说明年平均气温升高 1%，会使小麦产量减产 0.023%。年降水量的系数仍然为正，但统计上并不显著，表明西北地区虽然气候干旱，但年降水量增加对小麦生产没有显著影响。这可能是由于西北地区降水多集中在每年 6 月~9 月，而本地区冬小麦生长期大体在上年 10 月~当年 7 月之间，降水量集中期与冬小麦生长期明显分离，且西北地区小麦种植以冬小麦为主，从而使年降水量对小麦产量没有显著的正面影响。年日照时数的系数为正，但统计上也不显著，也说明该变量对小麦产量没有明显影响。其他变量的估计系数与 OLS 估计差不多，且符号一致，在统计上也是显著的。最后，为了检验截面个体效应是否存在，我们对固定效应是冗余的原假设进行似然比检验，检验结果拒绝了原假设。因此，表 2 中的固定效应估计，就是本文对气候变化如何影响西北地区小麦生产的最终估计。

5. 结论

本文利用西北五个省(区)1978~2007 年小麦生产的投入产出数据，以及年平均气温、年降水量及年日照时数的数据，考察了全球变暖对该地区小麦生产的影响。模型估测发现，年平均气温上升 1%，将使本地区小麦产量下降 0.023%，而年降水量和年日照时数对小麦生产没有显著影响。全球变暖的不利影响是普遍的，但受影响最严重的，是经济落后的国家和地区，以及这些国家和地区中最贫困的群体，因为他们缺乏必要的手段来抵御气候变化的消极影响。西北五省(区)是我国社会经济发展落后地区，农业生产在经济中还占有重要地位。为了有效应对全球变暖对西北干旱地区粮食生产的负面影响，有关部门应该及时对干旱地区农业如何适应全球气候变化进行研究，从耕作实践、种子培育、土地利用、防灾减灾等方面探索有效的适应性措施。研究表明，当适应性措施得到有效实施时，气候变化对农业的负面影响会大为减少。农业适应措施包括利用现代技术开发和引进抗旱抗热作物品种，使用新的土地管理技术(如少耕、残茬覆盖)或管理策略(如灌溉调度)来提高水利用效率，合理使用化肥和有机肥，提高动物粪便和其他有机肥的利用效率，建

Copyright © 2012 Hanspub

立农业防灾减灾的有效机制等。有关部门在制定农业政策时，应鼓励和支持当地农民、农业科研与推广机构，以及农业管理部门探索行之有效的适应措施，以有效减少潜在的气候变化对当地农业造成的损失。

参考文献 (References)

[1] B. G. Drake, M. A. Gonzalez-Meler and S. P. Long. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO_2. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1997, 48: 609-639.

[2] Kimball, B. A., K. Kobayashi, and M. Bindi. Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. Advances in Agronomy, 2002, 77: 293-368.

[3] W. Cline. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Center for Global Development, Washington DC, 2007, 250 pages.

[4] G. Fischer, H. van Velthuizen, M. Shah and F. O. Nachtergaele. Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: Methodology and results. Research Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2002.

[5] J. M. Antle. Methodological issue in assessing potential impacts of climate change on agriculture. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 80(1): 67-85.

[6] R. M. Adams, B. H. Hurd, S. Lenhart and N. Leary. Effects of global climate chang on agriculture: An interpretive review. Climate Research, 1998, 11: 19-30

[7] L. Z. You, M. W. Rosegrant, S. Wood and D. S. Sun. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(6-7): 1009-1014.

[8] S. B. Peng, J. L. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. H. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush and K. G. Cassman. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proceedings of National Academies of Science of the USA, 2004, 101(27): 9971-9975.

[9] D. Lobell, G. Asner. Climate and management contribution to recent trends in US agricultural yields. Science, 2003, 299(5609): 1032.

[10] C. A. Carter and B. Zhang. The weather factor and variability in China’s grain supply. Journal of Comparative Economics, 1998, 26(3): 529-543

Copyright © 2012 Hanspub