

刘 力,阮荣平. 气候变暖对粮食安全的影响综述[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):6-10.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.002

气候变暖对粮食安全的影响综述

刘 力¹,阮荣平²

[1. 中国石油大学(北京)工商管理学院,北京 102249; 2. 中国人民大学农业与农村发展学院,北京 100872]

摘要:回顾梳理国内外有关气候变暖对粮食安全影响的文献,发现现有文献研究的角度主要有 2 个:一个是对作物产量的影响,一个是对农户经济收入的影响。这 2 种研究视角又大体对应着 2 类主要的研究方法:一类是生产函数法(production function approach),一类是享乐评价法(hedonic approach)。现有文献关于气候变暖对粮食安全影响的判断往往因研究方法、地区、作物的不同而不同。最后指出现有文献的不足之处和值得进一步研究的地方。

关键词:气候变暖;粮食安全;影响评价;作物产量;农户收入

中图分类号: S162.5⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0006-05

农业生产的影响因素除了土地、资本、劳动力等经济变量以外,还有温度和湿度等自然变量。相对于土地、资本、劳动力等因素而言,近些年变化最大的就是温度和湿度等气候条件。有证据表明自 1750 年以来,特别是 1950 年以来全球温度一直在不断升高。目前这一因素已经成为影响粮食安全新的驱动因素之一^[1-2],在很多地方气候变暖已经成为粮食安全的关键影响因素^[3]。因此,研究和预测粮食安全必须要考虑这一因素。

气候变暖对粮食安全的影响已经得到了越来越多国内外学者的重视,并且已经形成了相对成熟的研究和预测方法。《Science》等杂志上有多位作者关于气候变暖对粮食安全影

响的文章,如 Brown 等^[2]、Wojtkowski^[3]、Lal^[4]等。纵观这些研究可以发现,气候变暖对不同国家和地区有不同的影响,其影响程度及方向会因地区不同而不同^[5]。所以对其他国家或者地区气候变暖的研究不能直接用来估计中国粮食安全的情况。

在中国粮食安全的研究中,气候变暖的影响没有得到足够的重视。在中国粮食生产预测的几个研究中^[6-9],这一重要的影响因素没有被考虑进来^[10]。

气候变暖对中国部分地区的影响已经越来越显著,如广东省受全球气候变暖影响,近 10 年来降雨时空分布极度不均匀,旱涝交替、旱涝急转、旱涝无常的自然灾害频繁发生;气候变暖导致黑龙江省现在春季干旱年份已由过去的“十年九旱”变成了“十年十旱”^[11];气候变暖也对青海省农业生产带来了显著影响^[12]。

在此背景下,研究气候变暖对中国粮食安全的影响已经成为一个亟待解决的问题。解决这一问题的办法之一就是通过对回顾相关文献来总结目前研究的大体情况,以及所使用的

收稿日期:2016-02-16

基金项目:中国石油大学(北京)科学研究基金(编号:2462013YJRC035);

中国人民大学科学研究基金(编号:14XNJ017,14XNQ019)。

作者简介:刘 力(1983—),女,四川绵阳人,博士,讲师,主要从事农业经济与能源研究。Tel:(010) 89731556;E-mail:liulicau@126.com。

野毒感染的血清学调查[J]. 中国畜牧兽医,2005,32(3):55-57.

[33] Zhang K, Huang J, Wang Q, et al. Recombinant pseudorabies virus expressing *PI2A* and *3C* of FMDV can partially protect piglets against FMDV challenge[J]. Research in veterinary science, 2011, 91(1): 90-94.

[34] 朱爱华,彭大新. 鸡痘病毒载体启动子的优化[J]. 病毒学报, 2000, 16(4): 347-351.

[35] Diallo A, Minet C, Berhe G, et al. Goat immune response to capripox vaccine expressing the hemagglutinin protein of peste des petits ruminants[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2002, 969(1): 88-91.

[36] 张 强,鞠厚斌,吴国华,等. 表达 Asia 1 型口蹄疫病毒 *PI-2A* 和 *3C* 基因的重组山羊痘病毒弱毒株的构建[J]. 中国兽医科学, 2009, 39(3): 209-213.

[37] Tim D, David M K. Replication-defective viruses as vaccines and vaccine vectors[J]. Virology, 2006, 5(1): 230-239.

[38] 王文玲,黄保英,邓 瑶,等. 甲 3 型流感病毒 *M2* 基因在痘苗病

毒天坛株中的表达[J]. 病毒学报, 2007, 24(5): 377-383.

[39] 万 婧,周向阳,方维焕. 杆状病毒在载体疫苗中应用的研究进展[J]. 生物技术通报, 2012(3): 35-40.

[40] Lu L Q, Ho Y F, Kwang J, et al. Suppression of porcine arterivirus replication by baculovirus-delivered shRNA targeting nucleoprotein[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2006, 340(4): 1178-1183.

[41] Starkey J L, Chiari E F, Isom H C. Hepatitis B virus (HBV) - specific short hairpin RNA is capable of reducing the formation of HBV covalently closed circular (CCC) DNA but has no effect on established CCC DNA *in vitro*[J]. J Gen Virol, 2009, 90(1): 115-126.

[42] Stone D. Novel viral vector systems for gene therapy[J]. Viruses, 2010, 2(4): 1002-1007.

[43] 培 园,李 结,朱兴全,等. 重组病毒载体研究进展[J]. 中国人兽共患病学报, 2012, 28(3): 284-288.

[44] Scheller E L, Krebsbach P H. Gene therapy: design and prospects for craniofacial regeneration[J]. Journal of Dental Research, 2009, 88(7): 585-596.

主要方法,以此作为研究气候变暖对中国粮食安全影响的基础。

目前有关全球气候变暖对粮食安全影响的文献的研究角度和使用方法主要有 2 种:一种是气候变暖对作物产量的影响,这一类研究所使用的主要方法是生产函数法(production - function approach);一种是气候变暖对农业收益或者农户收入的影响,这一类研究使用的主要方法是享乐评价法(hedonic approach),如 Ricarian 模型等。

1 气候变暖对作物产量的影响

气候变暖对作物产量的影响,既是自然科学的研究热点,也是社会科学的研究热点,但是二者所使用的方法截然不同。自然科学目前所使用的方法主要有观测试验和模型模拟 2 种。在观测试验方面,研究大气成分变化对农作物生理生态、形态结构及化学组成方面的影响;可分为田间试验和温室或人工气候室试验 2 种方法。模型模拟可以分为统计分析(回归模型)和动态数值模拟,有关这部分的研究参见文献[13 - 14]。本文着重回顾的是社会科学中有关气候变暖对作物产量影响的研究。

社会科学中气候变暖对作物产量影响的研究所使用的方法大多是生产函数法,这一方法最主要的特征是根据生产函数来预测气候变化对农业的影响^[15]。该方法利用一种潜在的生产函数,通过改变某一种气候变量,如温度、湿度等,得出气候变暖对作物产量的影响。作物产量模型的设定形式会对估计结果产生较大的影响。

与这一方法相似的还有产量分解法。产量分解法认为影响作物产量的因素主要有经济投入和自然要素,因此可以将产量分为 2 类:经济产量和自然产量。由于气候被认为是自然要素中更起决定性的因素,因此自然产量被近似认为是气候产量。其分解方法主要有 2 种,一种是通过时间序列将真实粮食产量分解为经济产量和气候产量;一种是通过生产函数将真实粮食产量分解为经济产量和气候产量。第 1 种分解方法的主要思路是采用分析时间序列的统计学方法将实际产量分解为趋势产量和波动产量 2 部分,认为时间趋势产量是反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,产量波动的部分主要是反映气象要素影响的气候产量。第 2 种分解方法的主要思路是采用回归分析,采用柯布 - 道格拉斯生产函数(Cobb - Douglas Function)法,通过对粮食生产中主要经济因子的分析,确定经济产量。然后将实际粮食产量中剔除经济产量,即获得由自然因素决定的产量。考虑到自然因素中气候影响最为显著且不可控,这部分产量应主要反映气候波动的影响,故称为气候产量。

利用生产函数法研究气候变暖对农业生产的影响得出的结论也并不完全相同。一些研究证明,对于某些作物,如果同一地点在气候变化的条件下,依然种植同一种作物,那么这些作物的产量会下降^[15]。Fischer 等估计,气候变暖会使 40 多个发展中国家的谷物产量下降,到 2080 年,这些国家的产量将平均减少 15%^[16]。Braun 等根据数据认为,1990—2008 年间,气候变化对谷物产量的总体影响不会太大——减幅在 1% 以内,但是南亚的减产幅度最高可能达 23%^[2]。相反,发达国家和拉丁美洲的谷物产量将有所增长。气候变化对不同

种类农作物的产量影响也各不相同。由于全球变暖,到 2020 年,全球农业 GDP 将下降 16%。而且,与发达国家相比,发展中国家将受到更为严重的影响,预计发展中国家的农业产值将下降 20%,而发达国家为下降 6%^[17]。Mendelschr 等认为气温升高和湿度下降在未来的 20 年中很有可能降低半干旱地区玉米、小麦、大米以及其他主要谷物的产量,这些变化会对全球的食物产生持续的影响^[18]。

政府间气候变化委员会(IPCC)在气候变化对农业和粮食保障的影响研究中指出,农作物的产量对气候变化的反应因作物的品种、土壤的质量、虫害、CO₂ 的直接影响等有很大的不同。中纬度的农业生产在气候变暖几摄氏度下,一般为正面影响,超过这个范围为负面影响。在热带,处于气温容许范围上限附近的部分农作物,因气候变化支配干燥地农业,一般气温稍有上升就会减少产量。

2 气候变暖对农户收入的影响

利用生产函数法进行研究的前提假设是农户不会对气候变化作出反应,不会根据气候变化调整种植结构。长期来看,这种假设是不成立的。所以使用生产函数法所估计出来的结果往往是有偏的,常常是过高地估计了气候变暖对作物产量的影响^[17]。Deschenes 等同时研究了气候变暖对作物产量和农户收入的影响,结果更证明了气候变暖对二者的影响并不是完全相同的^[19]。他们利用美国的县级面板数据得出的结论显示,气候变暖与农户收入增加有显著的正面影响——以 2002 年的美元为基价,气候变暖会使美国农场年利润提高 11 亿美元,即提高 3.4%,而气候变暖对美国几种主要作物产量没有明显的影响。

为了测量气候变暖对农户收入的影响,Mendelsohn 等提出了 Ricarian Model 来测量全球气候变暖对农业生产的影响^[15]。该模型中测量的是农户的净收益,而不是作物产量的变化,所以能够刻画出农户对气候变化作出的反应。其表达式为:

$$\max \pi = \sum_i P_{qi} Q_i(X_i, L_i, K_i, IR_i, C, W, S) - \sum_i P_x X_i - \sum_i P_L L_i - \sum_i P_K K_i - \sum_i P_{IR} IR_i。$$

π 是年净收益, P_{qi} 是作物 i 的市场价格, Q_i 是作物 i 的生产函数, X_i 是一组生产作物 i 的投入变量,包括种子、肥料、杀虫剂等, L_i 是一组生产作物 i 的劳动投入变量,包括雇佣劳动投入和自身劳动投入, K_i 是一组生产作物 i 的资本变量,诸如拖拉机和收割设备等, C 是一组气候变量, IR_i 是一组生产作物 i 的灌溉方式选择变量, W 是可用灌溉水, S 是一组土壤特征变量, P_x 是一组年度生产投入价格变量, P_L 是一组劳动投入价格, P_K 是一组资本价格, P_{IR} 表示每 1 种灌溉体系的年度成本。

求解上式得:

$$\pi^* = f(P_q, C, W, S, P_x, P_L, P_K, P_{IR})。$$

由此式可以得出经济计量模型表达式:

$$V = b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_3 P + b_4 P^2 + \sum_j d_j Z_j + e。$$

V 是单位面积平均作物净收益, T 和 P 是一组温度和湿度变量, Z 是一组表示县、村、农户水平的社会经济和其他控制变量。

利用 Ricarian Model, Mendelsohn 等发现美国在除了秋季以外的所有季节中温度和湿度的升高会提高农场的价值^[15]。同时 Mendelsohn 等对比了 Ricarian Model 和传统方法的差异,发现 Ricarian Model 估计出来的气候变暖对美国农业的影响要明显低于传统方法估计出来的结果^[15]。

在 Mendelsohn 等开发出 Ricarian Model 以后, Ricarian Model 得到了广泛的应用。Kurukulasuriya 等研究了全球气候变暖对非洲农业生产的影响^[20], Seo 等研究了对南美地区农业生产的影响^[21],这些研究的结果表明,全球气候变暖会减少农民的净收益。Mendelsohn 等^[18,22]、Seo 等^[21]对美国、巴西、斯里兰卡和南美地区进行了研究,发现耕地的单位面积平均价值对季节的湿度和温度都是比较敏感的。Mendelsohn 等、Seo 等、Fleischer 等对印度、美洲、南美和以色列的研究结果也都大体相似^[21-24]。

Ricarian Model 在气候变暖对农业影响的研究中从理论上来说相对于生产函数法具有良好的品性,但是在实际操作中对研究者具有较高的挑战性。因为为了剥离出气候变暖对农业的影响,该模型要求控制其他与气候因素正交的所有未观测到的变量(土壤质量等变量),而这一点在实际操作中很难做到,因为许多变量我们确实是无法观测到。因此,在实际操作中该模型面临的最大问题就是遗漏变量的问题,这一问题目前也已被很多研究所证实,如 Black 等^[25]、Chay 等^[26]。而这些问题会导致利用该模型研究气候变暖对农业生产的影响会产生有偏误的估计。

鉴于生产函数模型和享乐模型所存在的这些问题, Deschenes 等使用美国县级面板数据通过控制县级和州级的固定效应,来控制其他未观测的数据,削减享乐模型使用横截面数据所产生的偏误^[19]。

3 气候变暖对中国粮食安全的影响

3.1 气候变暖对粮食产量的影响

中国作为一个人口大国,其粮食安全状况在很大程度上决定了世界总体食物安全状况。因此,全球气候变暖对中国粮食生产的影响也备受关注。不过研究的角度也有作物产量模型和作物经济模型之分,其中使用作物产量模型的居多,但是仅从研究结论来看,存在着较大的分歧。

有的研究得出的结论认为,全球气候变暖会导致中国粮食产量减少^[27-31]。张俊香等根据关中地区宝鸡、西安、渭南与咸阳 4 地(市)在 1949—1999 年的逐年小麦单产记录序列以及 4 地(市)的气象观测站点自建站以来至 2000 年近 50 年的气象记录序列,对关中地区小麦产量与年均温度、年降水量作相关分析。结果发现,关中平原气候具有暖干化趋势;随着气温变暖,小麦产量增加幅度减小,小麦产量对降水量波动的响应比气温波动的响应显著^[32]。吴泽新应用作物生长模型研究 20 世纪后 40 年气候变化对黄淮海平原主要粮食作物冬小麦生长发育的影响发现,气候变化对黄淮海平原冬小麦 2 个发育期(开花期和成熟期)及生育期的影响较小,平均在 1 d 左右。气候变化对黄淮海平原冬小麦产量的形成不利。其中,气候变化对黄河中游平原冬小麦影响最大,冬小麦减产最明显,减产 11%~20%^[33]。

也有研究指出,气候变暖会导致粮食产量增加。蔺涛等

收集到 1986—2000 年黑龙江省 79 个县(市)农业生产资料和 30 个气象台站逐日气温、降水量资料,应用柯布-道格拉斯生产函数法研究了黑龙江省气候变化对粮食生产的影响,结果表明,气候变暖对粮食生产有利,降水量的变化未对粮食产量产生实质影响^[34]。方修琦等研究过去 20 年气候变暖对黑龙江省水稻单产增加的贡献率的估算也得出了相似的结论^[35]。

还有研究结论表明气候变暖对粮食产量的复杂影响。马树庆采用作物生长发育和产量形成对气温、降水量等资源环境条件的反应函数,建立了在气候变化条件下粮食产量变率理论推算模式,分析了在主要农作物生长季气温升、降 1~2℃与降水量增、减 10%~20% 的各种组合条件下,东北各地粮、豆作物产量的变化,结果表明,气候变化对产量影响较大,地域差异明显^[36]。气温升、降 10℃,粮、豆单产将升、降 2%~40%,东北部地区变幅大于西南部地区;降水量增、减 10%,西部、西南部地区粮食产量将增加或减少 10% 左右,东南部地区则相反。姚凤梅利用中国主要稻区 1981—2000 年记录完整的 78 个代表性水稻测站产量、生育期的观测记录和相应气象台站的气候观测数据等,研究了气候变化对水稻产量的影响,结果发现,温度升高对东北单季稻区、长江流域以南双季晚稻和华南双季晚稻产量有正面影响,温度降低对其有负面影响,东北、长江流域以北、长江流域以南和广西双季早稻生长季温度距平大于某一临界值时对产量有负面影响,温度变化小于拐点值范围内,温度升高对产量有正面影响^[13]。福建、广东省早稻产量指数随温度距平增加而减少,长江流域以南、华南双季晚稻区产量指数随温度距平增加而增加。温度距平和东北、长江流域以北单季稻和长江流域以南双季稻相关性大于和华南气候产量指数相关性。张建平等于基于作物模式与气候模式相连接的研究方法,就未来 100 年(2000—2100 年)气候变化对我国南方双季水稻的发育和产量影响进行了网格化定量模拟。结果表明:(1)未来气候情景下,我国南方大部分地区双季稻(早稻、晚稻)的生长期会有所缩短;(2)产量可能会有所下降,但下降的幅度不是很大,其中早稻受气候影响较大;(3)产量变化既受一定地域分布规律的影响,又体现出气候变化影响的复杂性^[37-41]。

3.2 气候变暖对农户收入的影响

从作物经济收入的角度进行研究的文献大多使用的是 Ricarian Model 模型。Liu 等使用县级数据得出的结论是全球气候变暖会提高农户的净收入^[42]。而 Wang 等使用农户数据得出的结论是全球气候变暖对农户粮食净收入的影响会随着地区的不同而不同,中部地区会从全球气候变暖中受益,而南部和北部地区会是全球气候变暖的受害者^[10]。

不幸的是这些研究所使用的数据都是面板数据,并且也都面临着遗漏的变量问题,如 Wang 等的研究就没有包含土壤质量这一重要变量^[10]。因此,这些研究没有完全剥离出气候变暖对农业生产的影响,结果存在估计偏误的可能。

3.3 气候变暖对农业产出的间接影响

还有一些研究不是直接评价气候变暖对粮食产量或者收入的影响,而是针对粮食作物的其他自然生产变量进行研究。

姜群鸥等利用 1991—2000 年黄淮海平原气象台站的历史观测资料,通过分析气温、降水量与耕地生产潜力的关系,

评价气候变化对耕地生产潜力的影响^[43]。研究发现,黄淮海平原耕地生产潜力与降水量、气温呈显著正相关^[43]。对各农业生态区的回归分析表明,如果气温或降水量提高 10%,耕地生产潜力分别提高 3.2% 与 0.3%^[43]。

陈峪等利用作物生长动态统计方法,计算和分析了 1998 年 5—9 月气温和降水量变化对东北地区水稻、玉米、大豆 3 种主要作物生产潜力的影响。结果发现,气候变化可使作物生产潜力产生相应的变化,但对不同地区、不同作物所产生的效应不同;温度升高使作物生产潜力提高,温度下降则作物生产潜力降低;温度变化幅度越大,作物生产潜力变化幅度也越大^[44]。在温度变化率相同的情况下,热量条件越差的地区,作物生产潜力所受的影响越大;反之,影响越小。温度变化对水稻的生产潜力影响最大。降水量变化对作物气候生产潜力的影响比较复杂,一般来说,缺水地区降水量增多使作物生产潜力提高,降水量减少使作物生产潜力降低,以水稻对水分变化最敏感。而水分条件好的地区,则有所不同,降水量增多作物生产潜力下降,降水量减少反而能使作物生产潜力提高,大豆对水分的变化最敏感。气候条件适中的地区,降水量变化对作物生产潜力的影响不明显;若未来气候变暖,东北地区作物生产潜力将有不同程度提高,并对水稻生产最有利;若未来气候趋于湿润,对干旱的西部地区作物生产有利;若未来气候趋于干燥,对西部地区不利,而对多雨的东部地区比较有利。

张谋草等、姚晓红等研究表明,气候变暖使西北地区冬小麦越冬前的发育期推迟、越冬后的发育期提前、冬小麦生育期缩短、越冬死亡率降低^[45]。

唐国平等根据 1958—1997 年中国 310 个气象站的月平均最高、最低气温,月平均降水量,日照时数等气象参数评估了气候变化对不同区域复种指数、可耕种土地面积、潜在粮食产量及其土地生产潜力的影响^[46]。结果表明,由于气温升高加上东北、西北、青藏和华北部分地区降水量增多,中国农业的复种指数将普遍增加;气候变化将增加中国东北、西北和青藏地区可耕种土地的面积、潜在粮食产量,而华东、华中和西南地区可耕种土地的面积、潜在粮食产量会减少。气温升高将明显增加中国东北地区的土地生产潜力,而中国华南、西藏地区的土地生产潜力明显减少,且西藏地区的土地生产潜力减少的幅度最大。就全国平均状况而言,气候变化会对土地生产潜力产生不利影响。

4 应对气候变暖对食物安全影响的策略

Brown 等指出气候变化对谷物产量的影响会因不同地区的技术状况不同而不同,对于技术决定型的地区而言气候变化对其农业生产率的影响要远远小于气候和农业资源禀赋决定型的地区,因此气候变暖不一定必然导致食物不安全,食物安全的状况可以通过经济、政治以及农业政策得到改善,改良种子、肥料、土地利用以及治理能够提高食物安全^[2]。但是 Wojtkowski 对此提出了质疑,他认为绿色革命确实能够在很大程度上提高农业生产率,但是对于确保食物安全却很少能发挥作用。Wojtkowski 认为应对气候变暖对食物安全影响的措施可以是在农户层面,土地整理、建立稳定农业生态系统、改变作物种植品种、构建生物多样性以及提高传统社区的组织化程度^[3]。

5 总结与评述

从以上有关气候变暖对粮食安全影响的文献回顾中,笔者发现研究的角度主要有 2 个:一个是对作物产量的影响,一个是对农户经济收入的影响。这 2 种研究视角又大体对应着 2 种主要的研究方法:一种是生产函数法,一种是享乐评价法(如 Ricarian Model 等)。研究的地理对象和作物对象涵盖了全球大部分地区以及主要粮食作物。在研究结果方面,从以往的研究中我们可以发现气候变暖对粮食安全的影响会随着地区以及作物品种的不同而不同,另外使用不同的研究方法所得的结论往往也有很大的差异。以往研究对于我们认识气候变暖会对粮食安全产生何种影响的问题有很大的帮助,但是这些研究中也存在着一些不足和值得进一步研究的地方,主要有:

(1) 虽然目前有不少关于气候变暖对农业生产方面的研究,但是这些研究的对象大多是国外其他国家,对中国关注的相对较少。在对中国的研究中分地区、分品种研究的较多,综合性研究较少。

(2) 在对中国气候变暖的研究中,所使用的大多是生产函数法以及享乐评价法,但这些方法要么面临着假设谬误的问题,要么面临着遗漏变量的问题,从而无法做到无偏估计。所以气候变暖对粮食生产的无偏估计还须进一步探讨。

(3) 对于该采取怎样的策略来应对气候变暖的影响,现有文献没有给出一个清晰的认识。因此有关气候变暖的政策研究也是值得深入探讨的内容。

参考文献:

- [1] Rosegrant M, Cline S. Global food security: challenges and policies [J]. Science, 2003, 302(12): 1917 - 1919.
- [2] Brown M, Funk C. Food security under climate change [J]. Science, 2008, 319(5863): 580 - 581.
- [3] Wojtkowski P. Ensuring food security [J]. Science, 2008, 320(5876): 611 - 612.
- [4] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, 304(5677): 1623 - 1627.
- [5] Brown L. Who will feed China? Wakeup call for a small planet [M]. New York: WW Norton & Company, 1995: 163 - 166.
- [6] Rosegrant M, Agcaoili - Sombilla M, Perez N. Global food projections to 2020: implications for investments [M]. Intl Food Policy Res Inst, 1995: 53 - 54.
- [7] Huang J, Rozelle S, Rosegrant M. China's food economy to the 21st century: supply demand and trade [C]. 2020 Vision Discussion Paper 19. Washington DC: International Food Policy Research Institute, 1997: 79.
- [8] Tuan F. China runs agricultural trade surplus with the United States. China situation and outlook [R]. International Agricultural and Trade Reports. Washington DC: Economic Research Service, United States Department of Agriculture, 1994: 77 - 78.
- [9] Mitchell D, Ingco M. The world food outlook [R]. International Economics Department. Washington DC: World Bank, 1993: 8 - 11.
- [10] Wang J X, Robert M, Dinar A, et al. Can China continue feeding itself? The impact of climate change on agriculture [R]. World Bank Policy Research Working Paper 4470, 2008: 1 - 5.

- [11] 新华网. 黑龙江省积极“向天要水”应对气候变暖 [N]. (2008 - 08 - 05) [2015 - 12 - 10]. http://news.xinhuanet.com/weather/2008-08/05/content_8957893.htm.
- [12] 新华网. 青海高原气候变暖 采暖期明显减少 [N]. (2009 - 10 - 23) [2015 - 12 - 10]. http://news.xinhuanet.com/weather/2009-10/23/content_12307167.htm.
- [13] 姚凤梅. 气候变化对我国粮食产量的影响评价——以水稻为例 [D]. 北京:中国科学院大气物理研究所,2005.
- [14] 李克让,陈育峰. 中国全球气候变化影响研究方法的进展 [J]. 地理研究,1999,18(2):23-25.
- [15] Mendelsohn R, Nordhaus W, Shaw D, et al. Measuring the impact of global warming on agriculture [J]. American Economic Review, 1994,84:753-771.
- [16] Fischer G, Shah M, Tubiello F. Socio-economic and climate change impacts on agriculture:an integrated assessment,1990—2080 [J]. Philosophical Transactions of Royal Society B,2008,360(1463):2067-2083.
- [17] Lobell D, Burke M, Claudia T, et al. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030 [J]. Science,2008,319(5863):607-610.
- [18] Mendelsohn R, Dinar A. Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? [J]. The World Bank Research Observer,1999,14(2):277-293.
- [19] Deschenes O, Greenstone M. The economic impacts of climate change:evidence from agricultural profits and random fluctuations in weather [C]. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change,2007:1-34.
- [20] Kurukulasuriya P, Mendelsohn R, Hassan J, et al. Will african agriculture survive climate change? [J]. The World Bank Economic Review,2006,20(3):367-388.
- [21] Seo S N N, Mendelsohn R, Munasinghe M. Climate change and agriculture in Sri Lanka:a ricardian valuation [J]. Environment and Development Economics,2005,10(5):581-596.
- [22] Mendelsohn R, Dinar A, Sanghi A. The effect of development on the climate sensitivity of agriculture [J]. Environment and Development Economics,2001,6(1):85-101.
- [23] Fleischer A, Lichtman I, Mendelsohn R. Climate change, irrigation, and israeli agriculture: will warming be harmful? [J]. Ecological Economics,2008,65(3):508-515.
- [24] Black S. Do better schools matter? Parental valuation of elementary education [J]. Quarterly Journal of Economics,1999,114(2):577-599.
- [25] Black D, Thomas K. On the measurement of job risk in hedonic wage models [J]. Journal of Risk and Uncertainty,2003,27(3):205-220.
- [26] Chay K, Michael G. Does air quality matter? Evidence from the housing market [J]. Journal of Political Economy,2005,113(2):376-424.
- [27] Parry M L, Rosenzweig C, Livermore M, et al. Effects of climate change on global food production under SRES Emissions and Socio-economic scenarios [J]. Global Environmental Change, 2004,14(1):53-67.
- [28] Tao F, Yokozawa M, Xu Y, et al. Climate change and trends in phenology and yields of field crops in China,1981—2000 [J]. Agricultural and Forest Meteorology,2006,138(1):82-92.
- [29] Wu D, Yu Q, Lu C, et al. Quantifying production potentials of winter wheat in the north China plain [J]. European Journal of Agronomy, 2006,24(3):226-235.
- [30] Xiong W, Matthews R, Holman I, et al. Modelling China's potential maize production at regional scale under climate change [J]. Climate Change,2007,85(3-4):433-451.
- [31] Yao F, Xu Y, Lin E, et al. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China [J]. Climatic Change,2007,80(3-4):395-409.
- [32] 张俊香,延军平. 关中原小麦产量对气候变化区域响应的评价模型研究 [J]. 干旱区资源与环境,2003,17(1):15-18.
- [33] 吴泽新. 气候变化对黄淮海平原主要粮食作物的影响 [D]. 兰州:兰州大学,2007.
- [34] 蔺涛,谢云,刘刚,等. 黑龙江省气候变化对粮食生产的影响 [J]. 自然资源学报,2008,23(2):307-318.
- [35] 方修琦,王媛,徐钺,等. 近20年气候变暖对黑龙江省水稻增产的贡献 [J]. 地理学报,2004,59(6):11-14.
- [36] 马树庆. 气候变化对东北区粮食产量的影响及其适应性对策 [J]. 气象学报,1996,54(4):484-492.
- [37] 张建平,赵艳霞,王春乙,等. 未来气候变化情景下我国主要粮食作物产量变化模拟 [J]. 2007,25(5):208-213.
- [38] 褚荣浩,申双和,吕厚茎,等. RegCM3 下 1951—2100 年江苏省热量资源及一季稻气候生产潜力 [J]. 江苏农业学报,2015,31(4):779-785.
- [39] 商兆堂,何浪,商舜,等. 江苏省冬小麦生长期间的气候特征 [J]. 江苏农业科学,2015,43(3):56-62.
- [40] 张怡,史本林. 气候变化对豫东冬小麦产区的综合影响 [J]. 江苏农业科学,2015,43(2):336-339.
- [41] 赖荣生,余海龙,黄菊莹. 作物气候生产潜力计算模型研究述评 [J]. 江苏农业科学,2014,42(5):11-14.
- [42] Liu H, Li X, Fischer G, et al. Study on the impacts of climate change on China's agriculture [J]. Climatic Change,2004,65(12):125-148.
- [43] 姜群鸥,邓祥征,战金艳,等. 黄淮海平原气候变化及其对耕地生产潜力的影响 [J]. 地理与地理信息科学,2007,23(5):82-85.
- [44] 陈峪,黄朝迎. 气候变化对东北地区作物生产潜力影响的研究 [J]. 应用气象学报,1998,9(3):314-320.
- [45] 张谋草,赵满来,张红妮,等. 气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):232-235.
- [46] 唐国平,李秀彬,Guenter F,等. 气候变化对中国农业生产的影响 [J]. 地理学报,2000,55(2):129-138.