

我国饮食结构变化对农业温室气体排放的影响

王 晓^{1*}, 齐 晔² (1.中节能咨询有限公司,北京 100082; 2.清华大学公共管理学院,气候政策研究中心,北京 100084)

摘要: 从食物消费端入手,研究饮食结构变化对农业温室气体排放的影响.研究显示我国食物消费呈现出动物性食物替代粮食消费的趋势,动物性食物的温室气体排放系数是植物性食物的 7 倍以上.1990~2010 年人均食物消费相关的温室气体排放增长了 39%,肉类消费已成为食物消费中最大的温室气体排放来源,且还将持续增长.当我国人均收入达到 2010 年美国水平时,世界平均肉类消费水平、高肉类消费水平、低肉类消费水平和营养均衡消费水平四种情景下,人均肉类消费的温室气体排放将比 2010 年分别增长 47.8%、119.9%、4.8%、-29.6%.我国食物消费应当提倡在保障均衡营养摄入的前提下,适当减少肉类消费,达到温室气体减排、资源节约、污染减排的协同效应.

关键词: 饮食结构; 农业温室气体; 动物性食物; 植物性食物

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)10-1876-08

Impact of diet structure change on agricultural greenhouse gas emissions in China. WANG Xiao^{1*}, Qi Ye² (1. China Energy Conservation and Environmental Protection Group Consulting Co., Ltd., Beijing 100082, China; 2. School of Public Policy and Management, Climate Policy Initiative, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2013,33(10): 1876~1883

Abstract: Agricultural greenhouse gas emission caused by diet structure change was researched based on food consumption in this paper. Research stated that grain consumption was gradually replaced by animal-based food consumption in China, which was 7 times greenhouse gas emission than plant-based food. The greenhouse gas emission related to average food consumption in 2010 increased 39% compared with that in 1990. Meat consumption has become the major source of greenhouse gas emission, and will increase constantly in future. Scenarios were set as world average, high, low meat consumption and balanced diet when income per person in China increased to that of USA in 2010. Greenhouse gas emission caused by meat consumption per person will increase by 47.8%, 119.9%, 4.8% and -29.6%, respectively. Research suggested that meat consumption should be decreased under the circumstance that balanced nutrients were guaranteed. At that time, co-benefit of greenhouse gas emission, resource saving and pollution reduction will be achieved.

Key words: diet structure; agricultural greenhouse gas; animal-based food; plant-based food

全球农业温室气体排放占总排放的 17%~32%,农业生产过程能源消费碳排放、甲烷和氮氧化物排放、化肥生产排放占总排放的 11%~15%,农业已成为全球温室气体主要排放源^[1].农业生产目的是提供人类生存必须的食物,即食物消费行为很大程度决定了农业温室气体的排放.发达国家已经关注食物相关的温室气体排放,全球肉类和奶制品等动物性食物消费带来的温室气体排放占食物生产全部温室气体排放的 50%,约占全球温室气体排放的 18%^[2-3].欧盟食物消费温室气体排放占总排放的 31%,美国、英国、瑞典、澳大利亚等发达国家食物消费排放占本国

排放的 15%~28%^[3-7].部分学者及机构已着手研究饮食结构对温室气体排放的影响.瑞典每 kg 蔬菜、禽肉、蛋类的温室气体排放比牛肉、奶酪、猪肉低 30 倍^[8];美国环境工作小组发布的《肉食者指南》显示:农场产出的羊肉、牛肉温室气体排放系数分别是 20.44kgCO_{2-eq}/kg、15.23kgCO_{2-eq}/kg,是蛋、奶的 10~20 倍,谷物的 20~30

收稿日期: 2013-01-30

基金项目: 美国能源基金会项目“中国低碳经济研究”(G0911011-739);清华大学自主科研计划学科交叉专项“我国低碳发展若干问题研究”(20101082050)

* 责任作者, 博士, kitty821026@126.com

倍,蔬菜的 50 倍以上^[9].不同类型食物替代对温室气体排放影响的研究显示:英国、美国食物消费以奶制品替代肉类,分别可减少 22%、18%的农业温室气体排放,以植物性食物替代动物性食物,分别可减少 26%、23%的农业温室气体排放^[10].

国内农业温室气体研究方面集中在农业生产侧,探讨温室气体排放量核算、减排途径、潜力及农业增汇措施^[11-14],对食物消费与农业温室气体排放之间关系的研究尚未开展.本文从食物消费端入手,研究饮食结构变化对农业温室气体排放的影响,从根本上探究我国农业温室气体排放增长的潜在根源.

1 研究方法

1.1 农业温室气体排放途径

本文的农业温室气体排放包括农业投入品生产及农业生产过程排放,考虑 CO₂、N₂O、CH₄ 三种温室气体(图 1).CO₂ 来自农业生产过程直接能源消费及农业投入品生产过程能源消费排放,如化肥、农药、农膜、饲料生产、农业机械折旧;N₂O 来自化肥(氮肥)施用过程、畜禽粪便管理过程排放;CH₄ 来自牲畜肠胃发酵、畜禽粪便管理过程、水稻种植排放.

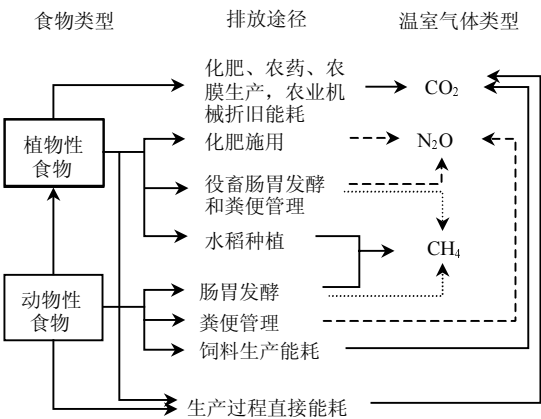


图 1 农业温室气体排放途径

Fig.1 Agricultural greenhouse gas emission sources

农业生产供人们消费的食物可划分为动物性食物(猪、牛、羊、肉、禽肉、禽蛋、奶类、水产品)和植物性食物(粮食、蔬菜、水果、油料、

糖料等经济作物).两类食物之间存在消费关系,畜牧业发展需要消耗大量粮食,同时部分役畜用于植物性食物生产.

1.2 农业温室气体排放核算方法

1.2.1 能源相关 CO₂ 排放 CO₂ 排放根据能源消耗量、能源结构及各类能源的 CO₂ 排放系数计算.

$$CO_{2i} = E_i \cdot \sum_{j=1}^n p_j \cdot f_j$$

式中: i 表示农业投入品生产、农业生产过程两环节; E_i 表示 i 环节化石能源消费量,tce; j 表示各环节所消耗的能源类型; p_j 表示 j 能源消费量占比; f_j 表示 j 能源的 CO₂ 排放系数,tCO₂/tce.各类能源 CO₂ 排放系数见《2010 中国低碳发展报告》^[15].

农业投入品生产能耗量及能源结构:假设技术锁定,以“十一五”期间平均能耗水平推算 1990~2005 年各产品生产化石能源消费量.①农药:生产 1t 农药能耗约 3tce^[16];②农膜:生产 1t 聚乙烯消耗 1.009t 乙烯,521kW·h 电力,“十一五”吨聚乙烯生产平均综合能耗为 1007kgce,即生产 1t 农膜能耗 1.12tce;③农业机械折旧:农业机械用材 90%为钢铁,以钢铁能耗核算.农业机械钢铁用量由各类农机使用年限、数量及重量计算.“十一五”吨钢综合能耗 707kgce/t;④化肥:按氮、磷、钾肥分别计算.磷、钾肥生产以电力消耗为主,每生产 1t P₂O₅、1tK₂O 分别消耗 2512kW·h、2225kW·h.氮肥生产根据氮肥种类、大中小型企业比例及产品单耗、能源结构综合估算 1t 氮肥(折纯)生产排放 6.49tCO₂^[15].根据各年氮、磷、钾肥消费结构推算化肥生产温室气体排放^[17];⑤饲料:根据 1997 年、2002 年、2007 年投入产出表可计算饲料生产能耗,其他年份根据饲料产量与能耗关系推算.

农药、农膜生产能源结构对应能源统计的行业是化学原料及化学制品制造业,农业机械折旧能源结构对应黑色金属冶炼及压延加工业,饲料能源结构对应农副食品加工业.

农业生产过程能耗量及能源结构:能源统计综合能源平衡表的农、林、牧、渔业终端消费量.

1.2.2 CH₄ 和 N₂O 排放 化肥施用 N₂O 排放、

畜禽养殖肠胃发酵 CH_4 排放、粪便管理过程 CH_4 、 N_2O 排放均采用 IPCC 温室气体排放清单推荐方法 1 核算^[18].我国水稻 CH_4 排放,2000 年以前为 5.79tCH_4 ,2000 年以后约为 6.25tCH_4 ^[19]. 1tCH_4 温室效应相当于 $25\text{tCO}_2\text{-eq}$, $1\text{tN}_2\text{O}$ 相当于 $298\text{tCO}_2\text{-eq}$ 排放.

1.2.3 排放量的不确定性分析 以国家统计数据作为主要依据,因此认为数据能够准确刻画实际情况,不确定性主要集中在排放因子.根据 IPCC 温室气体排放清单不确定性确定方法,农业生产过程、农业投入品生产过程能源燃烧排放不确定性为 $\pm 7\%$,水稻种植排放为 $\pm 40\%$,化肥施用排放为 $\pm 50\%$,肠道发酵、粪便 CH_4 排放为 $\pm 30\%$,粪便 N_2O 排放高达 $\pm 70\%$.

1.2.4 数据来源 能源数据来自 1991~1996 年,2009~2011 年的《中国能源统计年鉴》^[20];农业生产数据来自 1991~2011 年《中国农业年鉴》^[21];食物消费数据分别来自 1991~2011 年《中国统计年鉴》^[22]、联合国粮农组织(FAO)数据库^[23].

2 结果与讨论

2.1 农业温室气体排放特征

与能源燃烧温室气体排放相比,农业温室气体排放量存在较大的不确定性.根据 IPCC 方法测算,2010 年我国农业温室气体排放量在 $634.1\text{MtCO}_2\text{-eq}$ ~ $2089.9\text{MtCO}_2\text{-eq}$,整体不确定性为 $\pm 53\%$,为方便分析,采用平均排放量进行分析.

我国农业温室气体排放总量从 1990 年 $864.4\text{MtCO}_2\text{-eq}$ 增至 2010 年 $1362.0\text{MtCO}_2\text{-eq}$,增长了 57.6%.1990~1995 年快速增长了 23.2%,1995~2010 年增速放缓.本文核算的 2005 年水稻种植、化肥施用和畜禽养殖合计温室气体排放 $837.6\text{MtCO}_2\text{-eq}$,与我国第 2 次气候变化国家信息通报核算的 $820\text{MtCO}_2\text{-eq}$ 较为接近^[24].我国农业温室气体排放呈现以下特征(表 1):

(1) 农业生产过程能源相关 CO_2 排放较低.农业部门能源消费量较低,2010 年农业部门终端能耗(电热当量)为 4555.9 万 tce,占全国终端能耗的 2.00%,农业增加值占国内生产总值的 10.1%.2010 年能源相关 CO_2 排放量为 $146.2\text{MtCO}_2\text{-eq}$,

占农业温室气体排放总量的 10.7%.2010 年能源相关 CO_2 排放比 1990 年增长了 90.5%,2000~2005 年增长最为快速,2005~2010 年在节能约束性目标下增长幅度较小.

(2) 农业投入品生产过程能源相关 CO_2 排放量较大且增速最快.与农业生产过程相比,农业投入品生产过程能源相关 CO_2 排放量较大,2010 年达 $339.2\text{MtCO}_2\text{-eq}$,比 1990 年翻了一番,占农业排放比例也从 19.5%增加到 24.9%.投入品中化肥生产排放占比在 85%~90%之间,2010 年排放量为 $287.0\text{MtCO}_2\text{-eq}$.

(3) 畜禽养殖相关 CH_4 和 N_2O 排放占农业温室气体排放比重高.2010 年,畜禽养殖相关温室气体排放量为 $499.1\text{MtCO}_2\text{-eq}$,占农业排放的 36.6%,比 1990 年增长 39.1%.1990~1995 年激增了 30.9%,1995~2010 年仅略有增长.其中肠胃发酵 CH_4 排放呈现先增后降的趋势,是由于随着养殖水平的提高,牲畜饲养周期逐渐缩短,在饲养量增加的情况下实现温室气体排放量的下降.粪便管理的温室气体排放仍呈增长趋势.

(4) 化肥相关温室气体排放成为农业最大排放源.化肥除了生产过程带来大量的能源相关 CO_2 排放,其田间施用过程也带来大量的 N_2O 排放.2010 年,化肥相关温室气体排放量为 $508.3\text{MtCO}_2\text{-eq}$,其中化肥施用 N_2O 排放为 $221.3\text{MtCO}_2\text{-eq}$.1990~2010 年,化肥相关温室气体排放占农业排放比例从 30.7%提高到 37.3%,2010 年超过畜禽养殖排放成为最大的排放源.

2.2 我国居民饮食结构变化趋势

近年来,我国居民饮食结构逐渐发生变化.表 2 统计年鉴数据显示,1990~2010 年我国居民家庭人均食物购买量呈下降趋势,其中粮食购买量呈显著下降趋势,在各类食物中的占比从 52.6%下降到 37.0%;蔬菜略有降低,水果、肉类、蛋购买量增长了 1 倍左右,奶类、水产品增长幅度较大.总体上,植物性食物人均购买量呈下降趋势,动物性食物人均购买量则增长了 126.2%,占比从 6.8%增长到 18.1%,动物性食物消费替代粮食消费的趋势显著.事实上,1990~2010 年人均食物消费量呈增长趋势,居民家庭购买量未统计居民在

外就餐的食物消费.随着生活水平的提高,居民在 年我国居民在外就餐比例达 14.6%.而在外就餐外就餐次数和比例均有所提高,有报告显示 2006 消费中,肉、蛋、奶消费比重高于家庭消费.

表 1 1990~2010 年农业温室气体排放现状
Table 1 Agricultural greenhouse gas emissions from 1990to 2010

温室气体排放途径	温室气体排放量(MtCO ₂ -eq)				
	1990	1995	2000	2005	2010
农业生产过程能源相关 CO ₂	76.7±5.4	80.6±5.6	87.5±6.1	137.9±9.7	146.2±10.2
农业投入品生产能源相关 CO ₂	169.0±11.8	221.9±15.5	258.8±+18.1	294.0±20.1	339.2±23.7
其中:化肥生产	150.5±10.5	197.1±13.8	225.0±15.8	251.4±17.6	287.0±20.1
饲料生产	5.51±0.4	6.15±0.4	7.44±0.5	9.00±0.6	12.20±0.9
其他	13.0±0.9	18.6±1.3	26.4±1.8	33.6±2.4	40.0±2.8
水稻种植 CH ₄	144.8±57.9	144.8±57.9	156.3±62.5	156.3±62.5	156.3±62.5
化肥施用 N ₂ O	115.2±57.6	147.6±73.8	168.7±84.4	189.6±94.8	221.3±110.7
畜禽养殖 CH ₄ 和 N ₂ O	358.8±171.5	469.6±227.8	480.6±235.0	491.8±243.6	499.1±248.5
其中:肠胃发酵 CH ₄	165.1±49.5	205.1±61.5	204.3±61.3	193.3±58.0	188.1±56.4
粪便管理 CH ₄	33.8±10.2	47.2±14.2	49.3±14.8	58.4±17.5	64.0±19.2
粪便管理 N ₂ O	159.8±111.8	217.3±152.1	227.0±158.9	240.1±168.1	247.0±172.9
农业温室气体排放合计	864.4±487.6	1064.6±624.0	1151.8±659.2	1269.5±695.3	1362.0±727.9

注:粪便管理N₂O排放中包含用于有机肥施用过程的土壤N₂O排放

表 2 1990~2010 年我国居民饮食结构变化情况
Table 2 Diet structure change in China from 1990to 2010

数据 来源	指标	年份	粮食	蔬菜	水果	肉类	蛋类	奶类	水产品	植物性 食物	动物性 食物	合计
统计 年鉴 ^[22]	居民家庭人均食 物购买量(kg/人)	1990	195.2	135.2	15.2	15.9	3.7	2.0	3.6	345.6	25.2	370.8
		1995	179.6	108.1	22.3	16.5	5.1	1.9	5.1	310.0	28.6	338.6
		2000	162.8	109.6	32.5	20.9	7.1	4.9	6.8	304.9	39.7	344.6
		2005	132.3	109.3	34.2	26.9	7.2	11.0	8.2	275.8	53.3	329.1
		2010	116.4	104.7	36.9	28.4	7.6	10.8	10.2	258.0	57.0	315.0
	各类食物占比 (%)	1990	52.6	36.5	4.1	4.3	1.0	0.5	1.0	93.2	6.8	100.0
		1995	53.0	31.9	6.6	4.9	1.5	0.6	1.5	91.6	8.4	100.0
		2000	47.2	31.8	9.4	6.1	2.1	1.4	2.0	88.5	11.5	100.0
		2005	40.2	33.2	10.4	8.2	2.2	3.3	2.5	83.8	16.2	100.0
		2010	37.0	33.2	11.7	9.0	2.4	3.4	3.2	81.9	18.1	100.0
FAO ^[23]	人均食物消费量 (kg/人)	1990	174.1	101.0	16.7	25.7	6.4	5.9	11.3	291.8	49.3	341.1
		1995	169.9	151.2	32.2	38.7	12.5	7.6	20.8	353.3	79.6	432.9
		2000	162.1	239.6	43.4	48.7	15.5	9.5	24.3	445.1	98.0	543.1
		2005	153.7	281.1	57.9	53.4	16.8	23.3	26.9	492.7	120.4	613.1
		2010	151.4	321.5	72.3	58.2	18.5	29.8	31.0	545.2	137.5	682.7
	各类食物占比 (%)	1990	51.0	29.6	4.9	7.5	1.9	1.7	3.3	85.5	14.5	100.0
		1995	39.2	34.9	7.4	8.9	2.9	1.8	4.8	81.6	18.4	100.0
		2000	29.8	44.1	8.0	9.0	2.9	1.7	4.5	82.0	18.0	100.0
		2005	25.1	45.9	9.4	8.7	2.7	3.8	4.4	80.4	19.6	100.0
		2010	22.2	47.1	10.6	8.5	2.7	4.4	4.5	79.9	20.1	100.0

我国城市、农村饮食结构变化总体趋势较为一致,但二元结构特征明显.2010 年,城市居民家 庭人均食物购买量略高于农村,分别为 346.2kg/人和 330.3kg/人,但食物结构差异较大,农村谷类

消费量占比高达 54.9%,是城市的 2 倍以上.农村蔬菜人均消费量是城市的 80.3%,肉类、蛋类分别是城市的 63.8%、51.2%,奶类、水产、水果相对远低于城市.总体上,农村植物性食物占比 89.1%,动物性食物占比为 10.9%;城市植物性食物、动物性食物占比分别是 76.4%、23.6%(图 2).

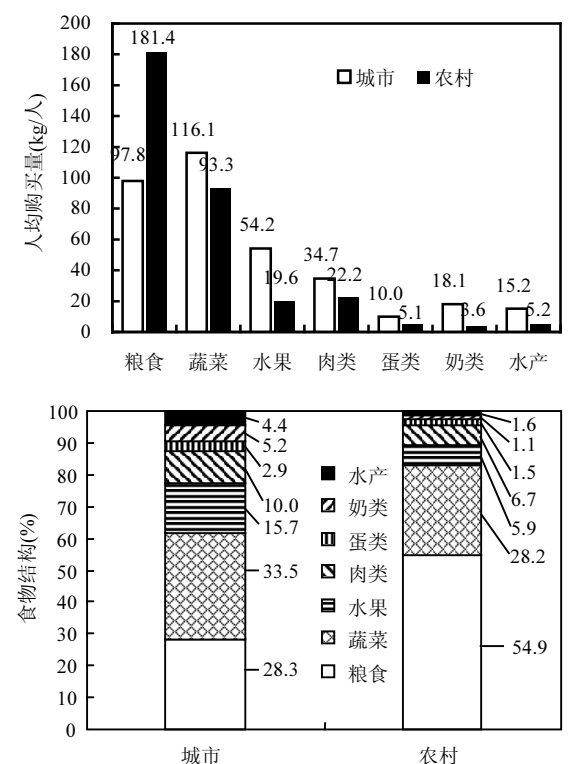


图 2 2010 年城市/农村人均食物购买量及结构
Fig.2 Urban/rural per capita food purchases and its structure in 2010

FAO 数据综合反映家庭和在外就餐食物消费变化.1990~2010 年我国人均食物消费量翻了一番,植物性食物消费量增长了 86.8%,主要源于蔬菜消费的增长,而粮食消费则降低了 13.0%;同期动物性食物增长了 178.9%,其中消费量最大的肉类增长了 126.5%,蛋、奶、水产等也有大幅度增长.食物消费结构呈现出动物性食品替代粮食消费的趋势,动物性食物占比从 14.5%增长到 20.1%,粮食占比从 51.0%下降到 22.2%(表 2).

2.3 不同食物生产的农业温室气体排放分析
动物性食物消费量的增长不仅带来大量的

畜禽养殖过程温室气体排放,动物性食物的生产需要消耗大量的饲料粮,即间接带来饲料粮生产过程的能源相关 CO₂ 排放、温室气体排放及投入品生产能源相关 CO₂ 排放.

我国每生产 1kg 动物性食物饲料粮消耗系数:牛肉 0.85kg、羊肉 1.03kg、禽肉 1.7kg、蛋 1.64kg、奶 0.37kg、水产品 0.95kg,其中猪肉生产饲料消耗量显著下降,猪肉从 1990 年 3.5kg 左右下降到 2010 年 1.81kg^[25-27].估算我国饲料粮消耗 1990 年为 0.76 亿 t,占粮食产量的 20.0%,2010 年为 2.26 亿 t,占粮食总产量的 41.3%.相当于饲料粮消费带来的温室气体排放从 1990 年 72.2MtCO_{2-eq} 增加到 2010 年的 182.1MtCO_{2-eq}.

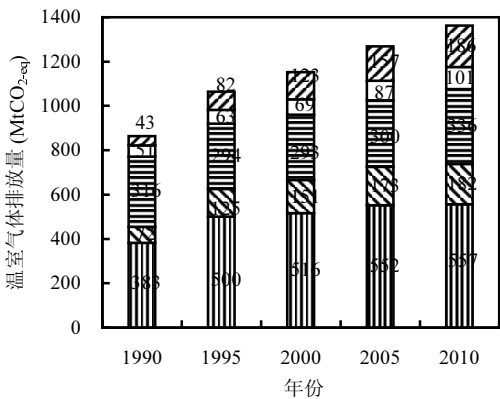


图 3 1990~2010 年不同类型食物生产温室气体排放
Fig.3 Each kind of food associated greenhouse gas emissions from 1990to 2010

■ 蔬菜水果生产排放 □ 经济作物生产排放
■ 粮食(除饲料粮外)生产排放 ■ 饲料粮生产排放
■ 动物性食物生产直接排放

图 3 显示,1990~2010 年动物性食物生产带来温室气体排放从 454.8MtCO_{2-eq} 增长到 738.6MtCO_{2-eq},2010 年占农业温室气体排放的 54.2%,呈快速增长趋势.这还未考虑饲料粮消费给粮食生产带来巨大压力导致的化肥高投入,从而增加的化肥相关温室气体排放.植物性食物生产温室气体排放从 409.6MtCO_{2-eq} 增长到 623.4MtCO_{2-eq},其中粮食(除饲料粮外)生产排放从 315.9MtCO_{2-eq} 增至 336.4MtCO_{2-eq},排放增长相对缓慢.经济作物生产排放从 50.9MtCO_{2-eq} 增

至 100.6MtCO_{2-eq}, 蔬菜、水果生产排放从 42.8MtCO_{2-eq} 增至 186.4MtCO_{2-eq}. 植物性食物排放增长主要来自油料、糖料等经济作物和蔬菜、水果的生产.

2.4 饮食结构变化的温室气体排放效应

1990~2010 年,随着生产水平的提高,我国每

生产 1kg 各类食物温室气体排放系数均呈下降趋势,动物性食物的温室气体排放系数是植物性食物的 7 倍以上(表 3).2010 年,动物性食物中肉类温室气体排放系数较高,为 6.41kgCO_{2-eq}/kg,植物性食物中粮食作物最高 1.11kgCO_{2-eq}/kg,蔬菜最低 0.17kgCO_{2-eq}/kg.

表 3 1990~2010 年我国食物消费农业温室气体排放

Table 3 Agricultural greenhouse gas emissions of food consumption in China from 1990 to 2010

指标	年份	粮食	蔬菜	水果	肉类	蛋类	奶类	水产品	植物性食物	动物性食物	合计
单位食物温室气体排放系数 (kgCO _{2-eq} /kg)	1990	1.19	0.25	0.81	10.03	2.96	2.58	0.63	0.84	6.06	1.59
	1995	1.25	0.26	0.73	8.42	2.98	2.63	0.62	0.78	4.97	1.55
	2000	1.27	0.23	0.65	7.98	2.91	2.19	0.75	0.65	4.82	1.40
	2005	1.22	0.20	0.65	7.29	3.05	1.66	0.88	0.57	4.18	1.28
	2010	1.11	0.17	0.49	6.47	2.80	1.75	0.74	0.47	3.66	1.12
人均食物消费温室气体排放 (kgCO _{2-eq} /人)	1990	206.4	25.1	13.5	257.7	18.9	15.2	7.1	245.0	298.9	544.0
	1995	211.6	39.5	23.4	325.7	37.2	20.0	12.9	274.6	395.8	670.4
	2000	205.3	54.3	28.1	388.5	45.1	20.8	18.1	287.7	472.5	760.2
	2005	187.6	54.9	37.4	389.2	51.2	38.7	23.7	279.9	502.8	782.7
	2010	167.5	56.0	35.1	376.5	51.7	52.2	22.8	258.6	503.2	761.8

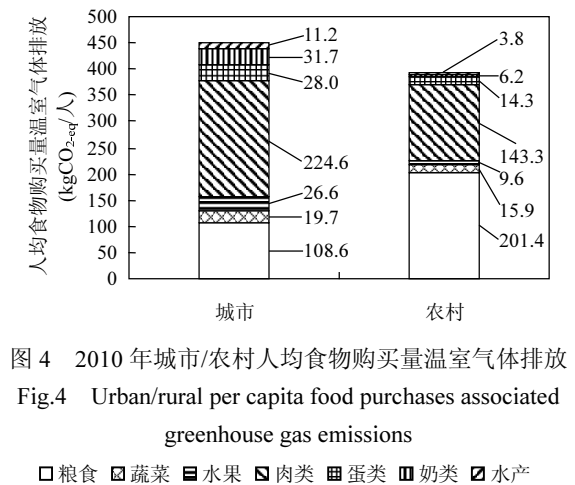


图 4 2010 年城市/农村人均食物购买量温室气体排放

Fig.4 Urban/rural per capita food purchases associated greenhouse gas emissions

1990~2010 年,在各类食物温室气体排放系数降低的情况下,我国人均食物消费带来的温室气体排放从 1990 年的 544.0kgCO_{2-eq}/人增长到 2010 年的 761.8kgCO_{2-eq}/人,增长了 39%.植物性食物在人均消费水平增长了 87%的情况下,人均排放水平仅略有增长,2010 年为 258.6kgCO_{2-eq}/人.动物性食物人均消费量大幅度增长,人均温室

气体排放从 298.9kgCO_{2-eq}/人增长到 2010 年 503.2kgCO_{2-eq}/人,增长了 68.4%.人均食物消费温室气体排放中动物性食物占比从 54.9%增长到 66.1%,其中肉类消费占比从 47.4%增至 49.4%.

7 种主要食物类型中,肉类和粮食的温室气体排放量最大,两者合计占人均食物消费温室气体排放的 70%以上.肉类、粮食主要提供日常生活所需的能量和蛋白质,1kg 肉类提供能量 3914kcal,蛋白质 99.5g,1kg 粮食提供能量 3552kcal,蛋白质 93g,相互之间的替代作用明显.1990~2010 年,人均粮食消费量减少了 22.7kg/人,人均肉类消费量增长了 32.5kg/人,而粮食和肉类合计的温室气体排放从 464.1kgCO_{2-eq}/人增至 544.0kgCO_{2-eq}/人,即在人均粮食和肉类消费量增长 4.9%的情况下,温室气体排放增长了 17.2%.

城市与农村食物结构不同,其温室气体排放贡献差异显著.城市人均温室气体排放量为 411.4kgCO_{2-eq}/人,远高于农村人均排放 270.0kgCO_{2-eq}/人(图 4).城市人均动物性食物温室气体排放量为 285.4kgCO_{2-eq}/人,占比达 69.4%;

农村动物性食物排放为 131.7kgCO₂-eq/人,占比为 48.8%.其中城市肉类消费排放为第一排放源,占比达 54.6%,农村肉类排放仅次于粮食,占比达到 53.1%.

2.5 不同肉类消费情景的温室气体排放

根据国际经验,人均肉类消费量随收入水平的提高而增长(图 5).当我国人均收入达到 2010 年美国 47120 国际元水平(2010 年中国 7570 国际元),估算不同情景下人均肉类消费水平及肉类相关温室气体排放情况,各情景下肉类结构维持 2010 年现状.

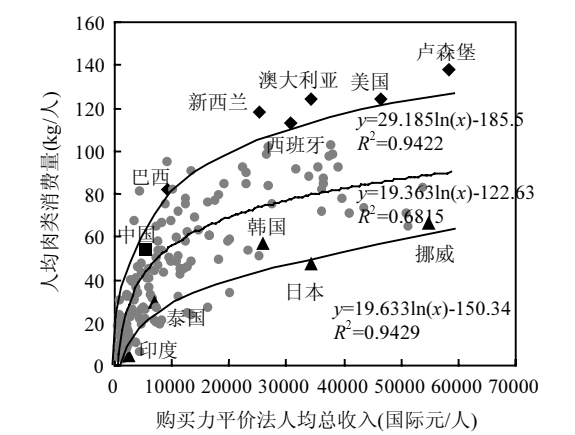


图 5 2007 年各国人均肉类消费量与人均总收入关系
Fig.5 Relationship between meat consumption and gross national income per capita in 2007

● 一般国家 ◆ 高消费代表国家
■ 中国 ▲ 低消费代表国家

世界平均情景:参照世界 166 个国家人均收入和人均肉类消费量之间的关系,我国人均肉类消费量将达 86kg/人,即人均肉类消费温室气体排放达到 556.2kgCO₂-eq/人.

高消费情景:人均肉类消费遵循巴西、新西兰、西班牙、澳大利亚、美国、卢森堡等肉类高消费国家轨迹发展,我国人均肉类消费将达 128kg/人,即人均肉类消费温室气体排放为 827.9kgCO₂-eq/人.

低消费情景:人均肉类消费遵循印度、泰国、韩国、日本、挪威等肉类低消费国家轨迹发展,约为 61kg/人,即人均肉类消费温室气体排放达

到 394.5kgCO₂-eq/人.

营养均衡情景:根据《中国居民膳食指南(2007)》^[28]中给出的平衡营养膳食宝塔,人均肉类消费上限是 27kg/人.考虑不同收入人群消费保障,我国城镇居民人均肉类消费量约比最困难户高 50%,确定该情景下人均肉类消费量为 41kg/人,即人均肉类消费温室气体排放达到 265.2kgCO₂-eq/人.

情景分析结果显示,按照世界 166 个国家肉类消费与人均收入趋势,我国人均肉类消费及相关温室气体排放将增长 47.8%.而 2010 年我国人均肉类消费量已经超过了世界平均情景水平下的 50.3kg/人,沿肉类高消费国家路径增长,按肉类高消费情景我国人均肉类消费的温室气体排放将比 2010 年增长 119.9%.若我国人均肉类消费沿低消费国家路径保持平稳略有增长,肉类相关温室气体排放比 2010 年仅增长 4.8%.若按照营养均衡情景,人均肉类消费 41kg/人,足以满足日常营养需求,肉类相关温室气体排放比 2010 年减少 29.6%.由此可见,人们对肉类消费需求的变化对温室气体排放的影响显著.

3 建议

在保障均衡营养摄入的前提下,适当减少肉类消费,不仅可以减少相应的温室气体排放,还可以达到减少畜牧业发展对自然资源的消耗,减少环境污染的协同效益,同时可减缓由于肉类高消费导致的心脑血管等现代文明病的发生.提倡减少肉类消费,除了加强公众宣传正确引导人们消费外,还应畜牧生产方面采用政策调控,将追求高产的首要目标调整为促进绿色、低碳、环境友好型畜牧业的发展.

4 结论

4.1 我国农业温室气体排放总量从 1990 年 864.4MtCO₂-eq 增至 2010 年 1362.0MtCO₂-eq,呈现以下特征:农业生产过程能源相关 CO₂ 排放较低;农业投入品生产过程能源相关 CO₂ 排放量较大且增速最快;畜禽养殖相关 CH₄ 和 N₂O 排放占农业温室气体排放比重高;化肥相关温室气体排放

成为农业最大排放源。

4.2 1990~2010年,人均食物消费量翻了一番,动物性食物替代粮食消费趋势明显,导致畜禽养殖及饲料粮种植过程的温室气体排放的快速增长。动物性食物生产带来温室气体排放占农业温室气体排放的一半以上。植物性食物排放增长主要来自油料、糖料等经济作物和蔬菜、水果生产,粮食生产排放增长相对缓慢。

4.3 我国每生产 1kg 各类食物温室气体排放系数均呈下降趋势,动物性食物的温室气体排放系数是植物性食物的 7 倍以上。各类食物中,肉类消费排放占比近 50%。当我国人均收入达到 2010 年美国水平时,世界平均、高消费、低消费 3 种情景下,我国人均肉类消费的温室气体排放分别将比 2010 年增长 47.8%、119.9%、4.8%,而营养均衡情景可实现排放比 2010 年减少 29.6%。

参考文献:

- [1] Bellarby J, Foerid B, Hastings A, et al. Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential [R]. Greenpeace, Amsterdam, Netherland, 2008.
- [2] FAO. Livestock's long shadow—environmental issues and options [R]. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, 2006.
- [3] Tukker A, Huppes G, Guinée J, et al. Environmental impact of products (EIPRO): analysis of the life cycle environmental impacts related to the total final consumption of the EU 25 [R]. European Commission, Spain, 2006.
- [4] Audsley E, Brander M, Chatterton J, et al. How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope for reducing them by 2050[R]. FCN and WWFUK, Godalming, UK, 2009.
- [5] SEPA. The climate impact of Swedish consumption [R]. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden, 2010.
- [6] Kim B, Neff R. Measurement and communication of greenhouse gas emissions from U.S. food consumption via carbon calculators [J]. Ecological Economics, 2009,69(1):186–196.
- [7] ACF. Consuming Australia: main findings [R]. Australian Conservation Foundation, www.acfonline.org.au, 2007.
- [8] Carlsson-Kanyama A, Gonzalez A D. Potential contributions of food consumption patterns to climate change [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2009,89(5):1704–1709.
- [9] Hamerschlag K, Venkat K. Meat eater's guide: methodology 2011 [R]. Environmental Working Group, 2011.
- [10] Berners-Lee M, Hoolohan C, Cammack H, et al. The relative greenhouse gas impacts of realistic dietary choices [J]. Energy Policy, 2012,43:184–190.
- [11] 王效科,李长生,欧阳志云.温室气体排放与中国粮食生产 [J]. 生态环境, 2003,12(3):379–383.
- [12] 谭秋成.中国农业温室气体排放:现状及挑战 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011,21(10):69–75.
- [13] 黄德林,蔡松峰.中国农业温室气体减排潜力及其政策意涵 [J]. 农业环境与发展, 2011,(4):25–41.
- [14] 石岳峰,吴文良,孟凡乔,等.农田固碳措施对温室气体减排影响的研究进展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(1):43–48.
- [15] 齐 晔.2010 中国低碳发展报告 [M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [16] 张令玉.生物低碳农业:高价值创新的低碳农业革命 [M]. 北京:中国经济出版社, 2010.
- [17] 张卫峰,季玥秀,马文奇,等.中国化肥资源供需矛盾及调控策略 [J]. 自然资源学报, 2008,23(5):754–763.
- [18] IPCC. 2006IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: volume 4agriculture, forestry and other land use [R]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- [19] 王 平,黄 耀,张 稳.1955–2005 年中国稻田甲烷排放估算 [J]. 气候变化研究进展, 2009,5(5):291–297.
- [20] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴 [R]. 北京:中国统计出版社, 2009–2011.
- [21] 中华人民共和国农业部,中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴 [R]. 北京:中国农业出版社, 1991–2011.
- [22] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 [R]. 北京:中国统计出版社, 1991–2011.
- [23] FAO. FAOSTAT[OL]. [http://faostat3.fao.org/ faostat-gateway/go/to/home/E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E), 2012–02–01.
- [24] NDRC P. R. China. The second national communication on climate change of the people's republic of China [R]. National Development and Reform Commission P. R. China, 2012.
- [25] 廖永松.中国到底消费多少粮 [EB/OL]. http://rdi.cass.cn/show_News.asp?id=32747. 2012–02–27.
- [26] 吴青劫.我国粮食消费结构一般研究 [D]. 北京:北京工商大学, 2010.
- [27] 陆伟国.对我国饲料用粮数量的测算 [J]. 中国粮食经济, 1997(03):38–40.
- [28] 中国营养学会.中国居民膳食指南 [M]. 西藏:西藏人民出版社, 2008.

作者简介: 王 晓(1982–),女,辽宁沈阳人,助理研究员,博士,主要从事低碳发展、气候变化及水资源管理方面的研究.发表论文 20 余篇,专著 4 部。