

王 博, 徐志宇, 王 楷, 等. 1961—2015年各国化肥消费量与人均GDP相关性分析[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 718-727.

WANG Bo, XU Zhi-yu, WANG Kai, et al. Correlation of GDP per capita and chemical fertilizer consumption of different countries from 1961 to 2015[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6): 718-727.

1961—2015年各国化肥消费量 与人均GDP相关性分析

王 博¹, 徐志宇², 王 楷¹, 李 季¹, 许 艇¹, 韩一军³, 习 斌², 郝晓燕³, 高尚宾^{2*}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 3. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要:我国已经连续30年成为世界化肥消费量最大的国家,单位面积化肥施用量也长期居世界高位水平,化肥的过量施用既造成严重的农业面源污染,也制约着我国农业的可持续发展。本研究收集了美国、加拿大等12个典型国家1961—2015年的人均GDP和化肥消费量的时间序列数据,通过回归分析法得出各国人均GDP与化肥消费量显著相关($P<0.05$),发达国家的人均GDP在8000~13 000美元区间时,化肥消费量由增长阶段进入稳定或降低阶段。从我国目前人均GDP(>8000美元)的发展水平与世界发达国家化肥的历史消费轨迹来看,我国的化肥消费量已经具备了从增长阶段转变到稳定阶段的条件。

关键词:人均GDP;化肥消费量;相关性;拐点

中图分类号:S143

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2019)06-0718-10

doi: 10.13254/j.jare.2018.0227

Correlation of GDP per capita and chemical fertilizer consumption of different countries from 1961 to 2015

WANG Bo¹, XU Zhi-yu², WANG Kai¹, LI Ji¹, XU Ting¹, HAN Yi-jun³, XI Bin², HAO Xiao-yan³, GAO Shang-bin^{2*}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China; 3. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: China has had the highest chemical fertilizer consumption worldwide for the last 30 years. Overconsumption of fertilizer is a large problem leading to serious agricultural non-point pollution and unsustainable agricultural development in China. The correlation of GDP per capita and chemical fertilizer consumption (1961—2015) of 12 countries, including the United States and Canada, were evaluated by regression analysis. The results revealed a significant correlation ($P<0.05$) between GDP per capita and chemical fertilizer consumption. The point of change from growth to stabilization for chemical fertilizer consumption occurred when the GDP per capita was \$8000~13 000. In China, conditions facilitating the transformation of chemical fertilizer consumption from growth to stabilization were available based on the present GDP per capita level in China (>\$8000) and the history of chemical fertilizer consumption in developed countries.

Keywords: GDP per capita; chemical fertilizer consumption; correlation; change point

我国20世纪70年代起开始大量推广化肥,其消费量自1984年首次超过美国后,已连续30余年成为世界上化肥消费量最大的国家。化肥消费量的持续

增加一方面导致了单位面积化肥过量施用问题,例如,2015年我国化肥消费量达到5 340.0万t(折纯),单位播种面积平均施肥量达到446.1 kg·hm⁻²,是欧

收稿日期:2018-09-07 录用日期:2018-12-19

作者简介:王 博(1987—),男,内蒙古呼和浩特人,博士研究生,研究方向为农业生态。E-mail:basakawangbo@163.com

*通信作者:高尚宾 E-mail:gaoshb@agri.gov.cn

基金项目:国家重点研发计划两减项目(2016YFD0201306)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2016YFD0201306)

美发达国家公认环境安全上限($225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)的1.98倍^[14];另一方面带来了较为严重的环境污染问题,如化肥过量施用造成的水体富营养化、土壤板结和温室气体排放等现象^[5-9]。为了解决化肥污染问题,世界主要发达国家采取了包括开发新型缓控释肥料、鼓励使用有机肥、推广测土配方施肥等技术措施,并出台一系列政策法规,取得了明显的成效^[10-12]。

导致我国化肥过量施用的主要因素包括4个方面。(1)农业生产的高度集约化:2012年,发达国家农业的平均复种指数为40%~60%,而我国高达134.26%。化肥作为影响复种指数的主要指标之一,其大量投入成为维持我国农业高水平复种指数的主要措施^[13];(2)果蔬等经济作物种植面积大幅度增加:从1980年到2014年,我国水果和蔬菜的种植面积比例分别增长了6.62%和10.55%,化肥施用量分别增加了130.16%和113.62%,种植面积的扩大导致化肥施用量的快速增长,进而刺激了化肥消费量的持续增加^[14-15];(3)农民的科学施肥意识薄弱,施肥技术水平较低:由于我国农业以小规模农户生产为主,农村的生产土地面积较小,农民科技素质偏低,大部分农民习惯于通过大量施肥保证农作物的产量,造成了化肥消费量的增加^[16];(4)环境政策的约束缺少:目前我国对化肥的生产与施用还缺乏在环境保护方面的相关政策限制,这也间接导致了化肥产业出现盲目扩大生产、产能过剩的局面。根据氮肥协会统计的数据,2016年我国总计生产氮肥4 458.8万t、磷肥1 828.6万t、钾肥633.3万t,其中氮肥和磷肥产能过剩率分别高达30%和48%,不利于我国农业的可持续发展^[17-19]。

自20世纪70年代起,世界主要发达国家逐渐开始探索农业与环境协调发展问题,并依据各自国情在农业转型方面开展了大量理论、技术和政策等方面的研究,为各国实现化肥的科学施用奠定了良好基础^[20]。相比之下,我国在化肥科学施用方面从技术角度探讨较多,而从政策与宏观经济角度探讨较少。本研究从宏观经济角度出发,通过探讨不同国家过去50年来化肥消费量与人均GDP之间的相关性,揭示化肥消费的经济因素与化肥消费量之间的关系,总结发达国家在转型过程中的经验及教训,旨在为我国化肥的减施增效行动提供一定的理论借鉴。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

化肥消费量的变化是耕地面积、耕作模式、种植

结构等多种因素共同影响的结果。本研究运用Eviews软件对数据进行分析,对非平稳的时间序列采用一阶差分并通过平稳性检验,再经过协整检验,最后进行多元回归分析。本研究对12个国家的人均GDP与化肥消费量进行分析和描述,确定人均GDP和化肥消费量之间的关系,明确化肥消费量由增长阶段转变为稳定阶段时对应人均GDP的范围,作为分析我国化肥消费量趋势的参考。人均GDP计算时未扣除资产折旧或自然资源损耗和退化,按1美元=6.31元人民币计算。

1.2 样本选择

本研究将世界主要农产品生产国按经济发展水平分为四组:第一组为美国和加拿大,是人均收入较高的农业生产大国,2015年人均GDP均高于5万美元,且人均耕地面积较大;第二组为德国、法国和英国,人均收入水平略低于第一组,2015年人均GDP在3.9万~4.5万美元之间,也属于高收入国家,但人均耕地面积低于第一组;第三组为日本和韩国,该组人均收入水平也较高,2015年人均GDP为2.2万~3.8万美元之间,同时人均耕地面积也较小,与我国的农业资源禀赋相似程度较高;第四组为印度、巴西、南非和墨西哥,该组为经济增长较快的发展中国家,但是该组人均GDP水平差别较大,最高的为巴西,2015年人均GDP为1.2万美元,最低的印度为1600美元,农业发展水平也低于前三组国家。因为各国在其经济水平和农业发展的不同阶段对化肥的需求量和消费量存在一定差异,所以本研究试图通过分析各国化肥的消费量与人均GDP之间的关系,总结这些国家在人均GDP发展的不同阶段对化肥消费量产生的影响,从而为我国的化肥调控工作提供理论参考。

1.3 公式选取

首先采用回归分析法对12个国家的化肥消费量与人均GDP的相关性进行分析。为计算出数据中所呈现的趋势,采用多项式函数进行数据分析,将数据输入统计分析软件SPSS中进行分析,发现四次函数模型的拟合度最高($R^2>0.7$),因此选用四次函数模型来分析。

$$\text{计算公式为: } y = x^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e \quad (1)$$

式中: y 代表化肥消费量; x 表示人均GDP; b 、 c 、 d 为系数, e 为误差。

1.4 资料来源

1.4.1 文献资料

收集国内外相关研究成果和文献资料,包括涉及

我国农业产业安全的学术著作、研究报告、调研报告等,以及美国、加拿大、德国、法国、英国、日本、韩国、印度、巴西、南非、墨西哥化肥使用、化肥面源污染与治理等方面的学术文献。资料来源为国际机构网站、中国知网、各个国家相关网站及国内外相关著作等。

1.4.2 统计资料

主要包括各个国家或地区的农业部门统计数据等资料,《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》等年鉴资料,联合国、世界银行、国际货币基金组织等国际机构的数据以及相关网络资料等。基于数据的可得性,选取的数据年份为1961—2015年。各国化肥生产量和消费量来源于联合国粮农组织(FAO)数据库和国际肥料工业协会(IFA),各国人均GDP数据主要来自世界银行和国际货币基金组织,由于德国1961—1970年人均GDP数据缺失,故德国分析数据为1971—2011年。

2 结果与分析

2.1 回归分析结果

从回归分析结果(表1)可以看出,通过对12个国家的人均GDP与化肥消费量数据进行平稳性检验,对非平稳的时间序列采用一阶差分并通过平稳性检验,将通过平稳性检验的数据进行协整检验,检验结果为轨迹统计量大于对应的5%临界值($P<0.05$),说明各国的(除英国、法国外)人均GDP与化肥消费量存在一个协整关系。数据通过回归分析后,各国(除

英国、法国外)人均GDP与化肥消费量在统计水平上呈极显著相关性($P<0.01$)。

2.2 美国和加拿大

由图1a可以看出,美国的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.7889$, $P<0.01$),随着人均GDP的增长,美国化肥消费量整体呈现增长-稳定的趋势,人均GDP从2 934.5美元增加至12 597.6美元时,化肥消费量由787.5万t增加到2 147.7万t,达到历史高峰;随着人均GDP的升高,化肥消费量趋于稳定,维持在2000万t水平附近,2015年消费量为2 012.1万t,达到历史高峰的97%。所以美国化肥消费量的稳定起点是人均GDP 12 597.6美元。

由图1b可以看出,加拿大的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.9380$, $P<0.01$),随着人均GDP的增长,加拿大化肥消费量呈增长-稳定-增长的趋势,在人均GDP达到13 768.9美元时,化肥消费量增加至246.9万t,化肥消费量由增长阶段进入到稳定阶段。随着人均GDP的进一步增加,化肥消费量稳定于250万t左右,当人均GDP增至46 398.0

表1 各国人均GDP与化肥消费量回归分析结果

Table 1 The results of regression analysis between GDP per capita and chemical fertilizer consumption

国家 Countries	协整检验(P值) Cointegration test (P value)	相关性分析(P值) Correlation analysis (P value)	R^2
美国	0.007 5	0.003 1	0.788 9
加拿大	0.042 6	0.000 7	0.938 0
法国	0.114 1	0.059 0	0.835 4
德国	0.048 1	0.002 7	0.938 3
英国	0.762 2	0.089 0	0.880 3
日本	0.037 1	0.000 1	0.750 9
韩国	0.020 4	0.000 9	0.702 8
印度	0.011 9	0.002 9	0.958 1
巴西	0.000 1	0.000 2	0.862 6
南非	0.015 8	0.005 0	0.803 6
墨西哥	0.008 9	0.000 2	0.900 6
中国	0.001 9	0.000 2	0.939 2

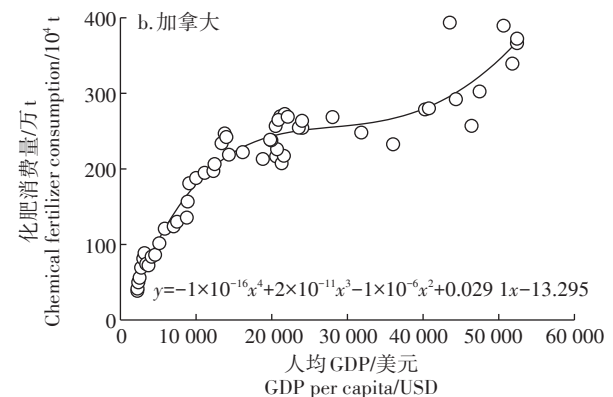
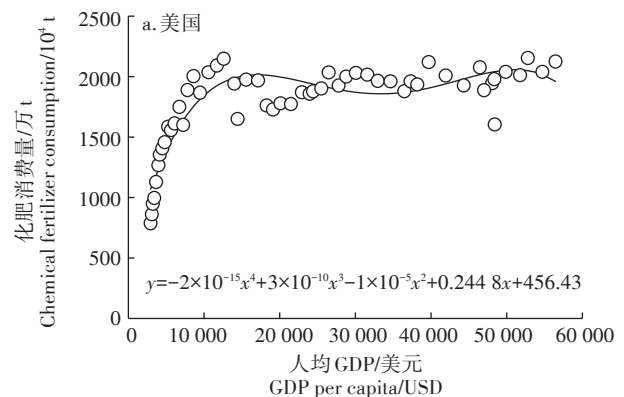


图1 人均GDP与化肥消费量的关系(第一组)

Figure 1 Relationship between GDP per capita and chemical fertilizer consumption (Group 1)

美元时,化肥消费量开始增加,2015年化肥消费量达到最大值367.0万t。所以加拿大化肥消费量的稳定起点为13 768.9美元。

2.3 法国、德国和英国

由图2a可以看出,随着人均GDP的增加,法国化肥消费量呈增长-稳定-降低的趋势。当人均GDP低于9000美元,化肥消费量持续增加至561.2万t,随着人均GDP的增加,化肥消费量趋于稳定,当人均GDP增加至17 328.3美元时,化肥消费量开始下降,2015年的消费量为293.3万t。法国化肥消费量的稳定起点为9 129.3美元,降低起点为17 328.3美元。

由图2b可以看出,德国的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.938\ 3$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,德国的化肥消费量呈增长-稳定-降低的趋势。当人均GDP低于11 746.4美元,化肥消费量持续增加至517.0万t,随着人均GDP的增加,化肥消费量趋于稳定,当人均GDP增加至17 190.8美元时,化肥消费量开始下降,2015年消费量为235.4万t,基本处于历年低谷期,只占高峰期的45.5%。德国化肥消费量的稳定起点为11 746.4美元,降低起点为17 190.8美元。

由图2c可以看出,随着人均GDP的增加,英国的化肥消费量呈现增长-稳定-降低的趋势。当人均GDP低于7 777.6美元,化肥消费量持续增加至259.0万t,随着人均GDP的增加,化肥消费量趋于稳定,当人均GDP增加至15 057.2美元时,化肥消费量开始下降,2015年的消费量趋于一个稳定值146.2万t,且下降速率和初期增长速率基本一致,基本回落到初期消费水平。英国化肥消费量的稳定起点为7 777.6美元,降低起点为15 057.2美元。

2.4 韩国和日本

由图3a可以看出,韩国的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.702\ 8$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,韩国化肥消费量整体呈现增长-稳定-降低的趋势。人均GDP由91.5美元开始增长过程中,化肥消费量开始逐渐增加,且增加速率较大。当人均GDP由2 542.0美元增加到5 860.4美元的过程中,化肥消费量基本趋于稳定值95.0万t左右。当人均GDP增长到12 196.8美元时,化肥消费量达到峰值99.2万t,此处即为下降拐点。此后,随着人均GDP进一步增加,化肥消费量降低,并趋于稳定,当人均GDP达到18 338.7美元时,化肥消费量趋于稳定值48万t左右。韩国化肥消费量的稳定起点为5 860.4

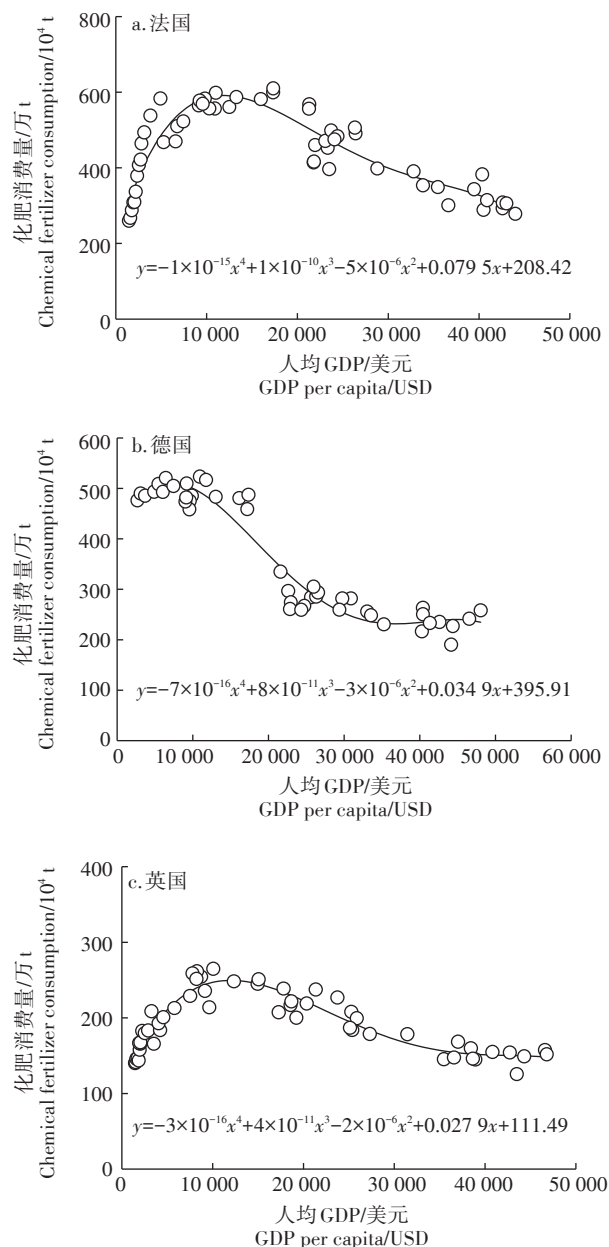


图2 人均GDP与化肥消费量的关系(第二组)

Figure 2 Relationship between GDP per capita and chemical fertilizer consumption(Group 2)

美元,降低起点为12 196.8美元。

由图3b可以看出,日本的化肥消费量与人均GDP的增长具有显著相关性($R^2=0.750\ 9$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,日本化肥消费量整体出现增长-稳定-降低趋势。当人均GDP达到8 953.6美元时化肥消费量徘徊稳定在230万t上下,随着人均GDP的增加,化肥消费量直到人均GDP增加到10 786.8美元时有一个明显的下降拐点,2015年化肥消费量趋于稳定值104.9万t,仅达到高峰期的47.0%。日本

化肥消费量的稳定起点为8 953.6美元,降低起点为10 786.8美元。

2.5 墨西哥、南非、巴西和印度

由图4a可以看出,墨西哥的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.900\ 6$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,墨西哥化肥消费量整体呈增长-稳定的趋势,且化肥消费量的增长速率逐渐降低,后趋于稳定。随着人均GDP由354.4美元增加到

2 369.3美元时,化肥消费量由19.5万t增加至176.8万t。以后随着人均GDP的进一步增加,化肥消费量在此值附近波动。墨西哥化肥消费量的稳定起点为3 052.0美元。

由图4b可以看出,南非的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.803\ 6$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,南非化肥消费量整体呈增长-降低-稳定的趋势。当人均GDP增加到3 073.1美元

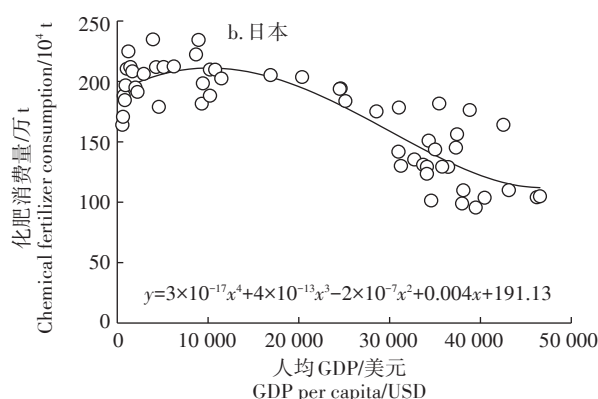
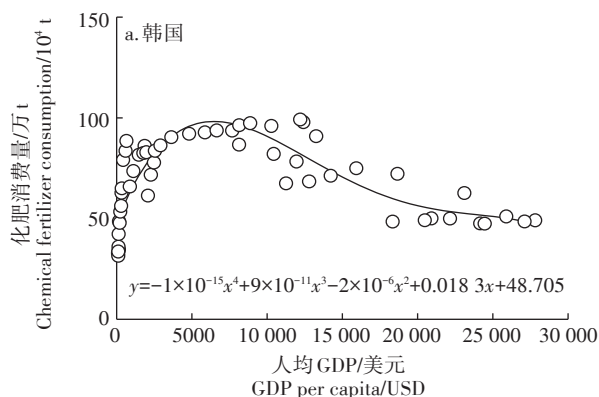


图3 人均GDP和化肥消费量的关系(第三组)

Figure 3 Relationship between GDP per capita and chemical fertilizer consumption (Group 3)

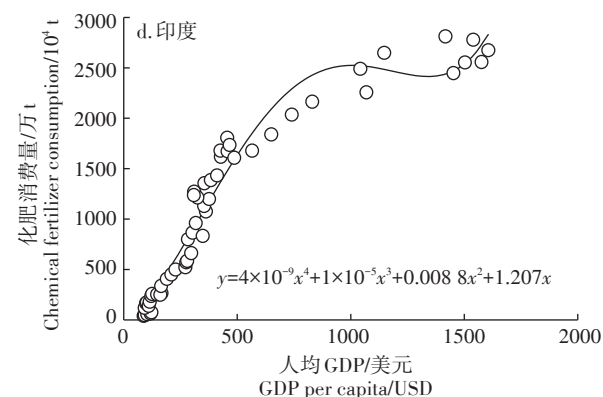
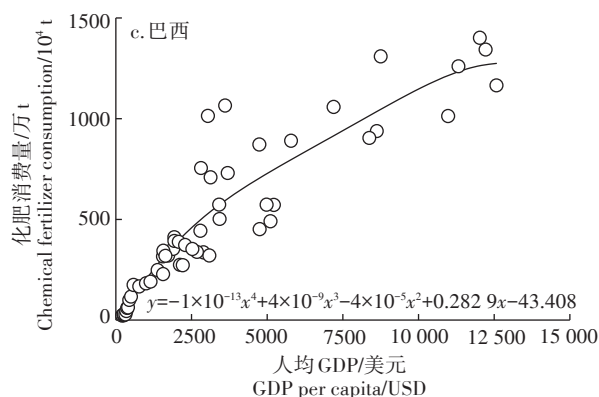
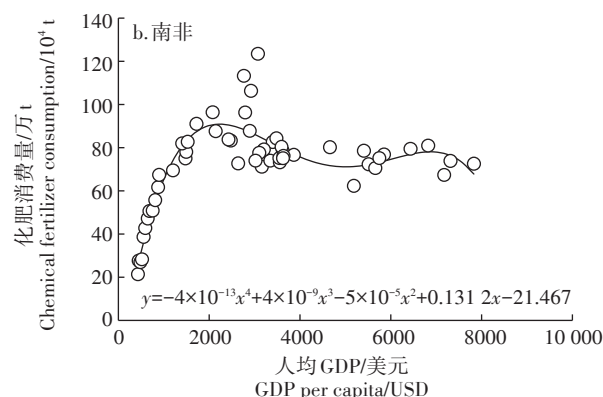
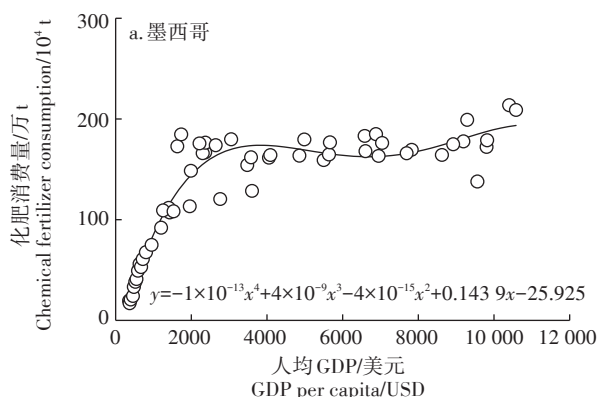


图4 人均GDP和化肥消费量的关系(第四组)

Figure 4 Relationship between GDP per capita and chemical fertilizer consumption (Group 4)

时,化肥消费量达到最高值123.5万t,此处即为降低拐点。随着人均GDP的进一步增加,化肥消费量逐渐降低。当人均GDP达到3 557.0美元时,化肥消费量逐渐趋于稳定,2015年为72.6万t,只达到高峰期的59.8%。南非化肥消费量的降低起点为3 073.1美元,稳定起点为3 557.0美元。

由图4c可以看出,巴西的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.862\ 6$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,巴西化肥消费量整体呈增长的趋势,2015年人均GDP达8 750.0美元,巴西化肥消费量由22.8万t增加至1 309.6万t,虽然化肥消耗量的增长速率有所变化,但整体表现为持续增加。

由图4d可以看出,印度的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.958\ 1$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,印度的化肥消费量整体呈现增长的趋势,但增长速率逐渐下降。在人均GDP由87.0美元增加到1 606.0美元的过程中,印度化肥消费量也由41.8万t增加到2 675.2万t。

2.6 中国

由图5可以看出,我国的化肥消费量与人均GDP的增长具有极显著相关性($R^2=0.939\ 2$, $P<0.01$),随着人均GDP的增加,我国的化肥消费量整体呈升高的趋势。随着人均GDP的增加,我国的化肥消费量逐渐升高,但增长速率逐渐下降,当人均GDP增加到2 069.3美元时,化肥消费量达4 936.8万t。此后,化肥消费量随着人均GDP的增加增速减缓。当人均GDP增长到4 433.3美元时,化肥消费量又开始迅速增长,当人均GDP达到8 069.2美元时,化肥消费量达到峰值5 340.0万t。

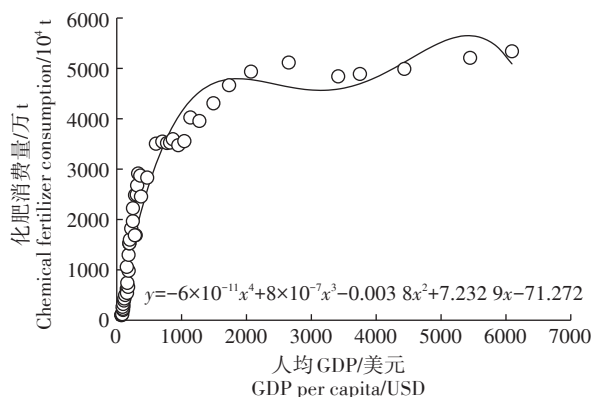


图5 中国人均GDP和化肥消费量的关系

Figure 5 Relationship between GDP per capita and chemical fertilizer consumption in China

3 各国化肥消费规律分析

分析结果表明,发达国家在人均GDP增长到某个阶段时,化肥的消费轨迹从快速增长阶段进入了稳定阶段,表2总结了12个国家在化肥消费趋势发生改变时所对应的人均GDP值。

3.1 美国和加拿大的化肥消费规律

美国、加拿大人均GDP均超过5万美元,两个国家在人均GDP分别达到12 597.6美元(1980年)和13 768.9(1984年)美元时,化肥消费量达到了历史最高峰2 147.7万t和246.9万t。两个国家的共同特征是地广人稀,在经济发展初期,随着国民经济的快速发展,人口数量开始增加,为了满足国内日益增加的粮食需求,大量土地被开垦为农田,化肥被大量应用于农业生产。持续的经济发展的有利地推动了化肥消费量的增长。然而,当经济发展到一定水平时,这两个国家又加大了对农业的物质和经济投入力度,例如,加大了农业机械的研发投入,实现了农业机械化转型;十分重视化肥施用技术的研发与推广,提高化肥使用效率和利用率;由于这些国家的土地面积广阔,可以采用轮作和休耕的方式进行农业生产,使得这些国家的土地肥力得到很好的恢复^[21-22]。以上原因使得这两个国家的化肥消费轨迹从增长阶段转为稳定阶段。在经历了化肥消费稳定阶段后,这两个国家呈现了不同的化肥消费轨迹。美国继续维持在稳定阶段,而加拿大则又进入到增加阶段,主要原因是近些年随着能源用玉米需求量增大,作为北美地区的主要能源用玉米产地,加拿大为了促进国内的经济的发展,扩大了能源用玉米的种植面积,导致化肥消费量重新进入到增加阶段^[23]。

3.2 法国、德国、英国、日本和韩国的化肥消费规律

法国、德国、英国、日本和韩国的人均GDP为2.2万~4.5万美元,化肥消费轨迹呈现为增长-稳定-降低趋势。这些国家的农业生产共同特点是耕地面积和人均耕地面积较少。法国、德国、英国、日本和韩国分别在人均GDP达到9 129.3(1978年)、11 746.4(1980年)、7 777.6(1984年)、8 953.6(1978年)、5 860.4(1989年)美元时,化肥的消费轨迹从增长阶段进入到稳定阶段,而在人均GDP达到17 328.3(1989年)、17 190.8(1989年)、15 057.2(1989年)、10 786.8(1986年)、12 196.8(1997年)美元时,化肥的消费轨迹由稳定阶段进入到降低阶段。主要原因是各国随着经济的发展,在自身粮食需求的驱动下,化肥被大

表2 各国化肥消费量拐点

Table 2 The change point of chemical fertilizer consumption in different countries

国家 Countries	2015年消费量/万t Consumption in 2015/10 ⁴ t	最高消费量/万t Highest consumption/10 ⁴ t	化肥消费模式 Chemical fertilizers consumption mode(1961—2015)	化肥消费量拐点 Change point of chemical fertilizers consumption		
				年份 Year	化肥消费量/万t Chemical fertilizers consumption/10 ⁴ t	人均GDP/美元 GDP per capita/USD
美国	2 012.1	2 147.7	增长-稳定	稳定:1980	2 147.7	12 597.6
加拿大	367.0	367.0	增长-稳定-增长	稳定:1984	246.9	13 768.9
				增长:2008	257.0	46 398.0
法国	293.3	610.3	增长-稳定-降低	稳定:1978	561.2	9 129.3
				降低:1989	610.3	17 328.3
德国	235.4	523.6	增长-稳定-降低	稳定:1980	517.0	11 746.4
				降低:1989	459.1	17 190.8
英国	146.2	265.0	增长-稳定-降低	稳定:1984	259.0	7 777.6
				降低:1989	251.1	15 057.2
韩国	47.5	99.2	增长-稳定-降低	稳定:1989	97.8	5 860.4
				降低:1997	99.2	12 196.8
日本	104.9	222.3	增长-稳定-降低	稳定:1978	234.4	8 953.6
				降低:1986	9.8	10 786.8
墨西哥	178.9	185.0	增长-稳定	稳定:1990	179.8	3 052.0
南非	72.6	123.5	增长-降低-稳定	降低:1981	123.5	3 073.1
				稳定:1992	71.2	3 557.0
巴西	1 309.6	1 401.9	增长	2015	1 309.6	8 750.0
印度	2 675.2	2 812.2	增长	2015	2 675.2	1 606.0
中国	5 340.0	5 340.0	增长	2015	5 340.0	8 069.2

量应用于农业生产来满足国内的粮食需求。然而,化肥的大量使用造成严重的环境污染和生态失衡。例如过量施用磷肥引起河流湖泊富营养化、土壤板结、土壤肥力下降、土壤重金属污染等环境和生态问题。因此上述各国纷纷出台了相关的环境政策来限制化肥的使用,例如欧盟出台的“农业环境一揽子计划”、日本政府提出的“环境保全性农业”,这些政策都鼓励推广施用有机肥,目前这些国家的有机肥施用比例整体维持在45%~60%之间,其中日本已经达到了75%^[11,24-25],这些政策的执行推动了化肥的消费轨迹由增长阶段进入稳定或降低阶段。虽然这些国家通过政策引导实现了有机肥替代化肥的目标,但是这些国家是在国内经济发展达到一个新的阶段后,才改变了政策的导向。

3.3 墨西哥、南非、印度和巴西的化肥消费规律

墨西哥、南非、印度和巴西为经济增长速度较快的发展中国家,人均GDP水平参差不齐。在这4个国家中,墨西哥的化肥消费轨迹呈增加-稳定趋势,主要原因为:自20世纪90年代初政府开始减少对化肥和种子的补贴投资;并且在加入北美贸易自由区后,

本国农产品受到美国农产品的强烈冲击,由农产品净出口国转变为净进口国;土地资源集中在大农场主手中,普通农民的收入偏低,从事农业活动的农民数量快速减少等。这些因素导致了墨西哥农业目前的发展困境,因此,墨西哥的化肥消费轨迹从增长阶段进入了稳定阶段^[26]。南非的化肥消费轨迹呈增长-降低-稳定趋势,南非化肥消费量降低的主要原因是该国的农业产值占国内生产总值的比例逐年下降,2013年仅占4.54%,南非经济主体从农牧业逐渐转型为工矿业,夏季作物种植面积从1985年的600万hm²减少到2005年的390万hm²,降幅达到了35%^[27-28]。巴西和印度的化肥消费轨迹呈现持续增长趋势,因为印度农业GDP占全国GDP的14%(2012年)^[29],巴西农业GDP在2000—2012年共增长了248.8%^[30],高占有比例和快速增长的农业GDP推动了化肥消费轨迹继续上升的趋势。

4 我国化肥消费量的未来趋势分析

从各国的化肥消费轨迹可以看出,发达国家的化肥消费量在人均GDP为8000~13 000美元区间时

出现拐点,当人均GDP在这个区间范围内时,化肥消费量均呈现从增长到稳定甚至是降低的趋势。对于我国来说,目前的化肥消费轨迹与印度和巴西相似,但从另一方面来看,我国无论从人均耕地面积、农业产业结构,还是农作物种植管理模式等方面,均与一些发达国家(法国、德国),特别是日本和韩国相类似,所以我国的化肥消费量在未来的变化很可能从增长阶段进入稳定阶段,甚至进入到降低阶段,具体原因如下:

(1)2015年,我国人均GDP已经达到了8 069.2美元,比2014年增长6.3%,预计2020年人均GDP将超过10 000美元^[31-32]。

(2)我国农田表土有机碳含量呈总体上升趋势,部分土壤养分已经走入盈余的阶段^[33]。我国大部分地区土壤磷素水平从20世纪80年代的 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提高到了2015年的 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,而且仍在进一步提高;全国土壤钾素也从全面匮乏转为部分盈余,土壤肥力的提高为减少化肥投入奠定了基础^[21]。

(3)随着灌溉、机械、良种和栽培技术的不断完善和推广,我国粮食综合生产能力已经得到提高,单纯依靠增加化肥增产的刚性需求降低^[34]。

(4)长期试验结果表明,减少化肥施用量并增加有机肥施用量并不意味着产量降低,相反还会改善土壤结构、增加土壤肥力等^[35-36]。

(5)科学施肥有大幅增效的作用。近年来养分资源综合管理、测土配方施肥等科学施肥技术取得了快速发展。测土配方施肥项目的3000多个田间试验和示范数据分析表明,与常规施肥相比,测土配方施肥氮肥、磷肥和钾肥的利用率分别提高10%、7%~10%和7%以上,大大减少了化肥施用量^[21,37]。

(6)我国已经进行了多年的化肥市场化改革,生产、流通和技术服务体系经过不断完善,化肥产品与农业需求之间逐步吻合,有效解决了化肥产能过剩问题^[37]。

(7)相关的研究表明,我国农作物产量和化肥投入量之间并不一定呈正相关。例如,部分水稻区可减肥增产,并且增加肥料效率;小麦主产区可以在不增加肥料用量的前提下实现增产增效。我国部分作物可以实现减肥保产甚至增产,过量施用化肥所带来的环境污染问题越来越严重^[38]。

(8)根据国家统计局统计资料显示,与2016年相比,我国2017年化肥施用量(折纯)降低2.08%(5859万t),化肥产量(折纯)降低6.71%(6 185.25万t)^[39]。

综上所述,我国的化肥消费量在多方面都具备了转变条件,完全可能实现高产和资源高效利用的同步发展。

5 结论与建议

5.1 结论

(1)在本文所分析的国家中,我国的化肥消费轨迹类似于巴西和印度,呈现整体增长趋势,但我国的化肥消费量远高于巴西和印度,我国是所有国家中化肥消费量最高的国家。

(2)综合本文涉及的发达国家人均GDP与化肥消费量的变化情况,人均GDP在8000~13 000美元时,美国、德国、英国、法国、日本、韩国化肥消费量出现拐点,化肥消费量由增长阶段进入到稳定或降低阶段。除英国和法国外,其他发达国家的人均GDP与化肥消费量均呈现显著相关关系。

(3)本文涉及的发展中国家化肥消费趋势可分为两类,墨西哥和南非为增长-稳定趋势,这两个国家受政策、经济、国情等因素的影响,人均GDP在3000美元时,化肥消费出现拐点。另一类为印度和巴西,化肥消费呈持续增长趋势,与我国目前的化肥消费趋势相同,文中所提到的发展中国家的人均GDP与化肥消费量呈显著相关关系。

(4)我国在人均耕地面积、农业产业结构、农作物种植管理模式等方面,均与日本、韩国相类似,所以我国的化肥消费量在未来的趋势应当更接近于日韩模式,首先由增长阶段即将进入稳定阶段,未来随着人均GDP的进一步提高,化肥消费轨迹会进入到降低阶段。

5.2 对我国未来调控化肥消费量的建议

随着我国“到2020年化肥使用量零增长行动方案”等相关化肥调控政策与行动方案的陆续颁布与实施,我国已经开始对化肥消费量进行调控,下一步工作重点应当包括以下几个方面:

(1)建立环境管理制度,为了将化肥施用与环境效益相结合,政府需要制定和颁布相关补贴与奖惩的法律和标准,从而推动我国化肥在未来能够合理施用,降低化肥过量施用带来的环境风险。

(2)进一步加大对化肥施用技术研发的投入力度,包括在全国范围内开展针对不同类型的土壤、作物的测土配方、有机无机配合施用等化肥施用技术的研究和发展,通过进一步提高化肥利用效率来实现化肥的减量施用。

(3)探索实施综合养分管理,研究明确养分在土壤、植物与周围环境中的循环规律以及肥料施用等农业措施对养分循环过程的影响,采取可持续利用的施肥调控政策,鼓励有机肥替代化肥。

(4)进一步加大有机无机配合施用的推广面积,明确有机无机肥料施用量及肥料利用效率,在设备研发、补贴资金、技术人员培养和培训等方面加大支持力度。

(5)我国化肥产业需要针对化肥产品结构进行创新转型,改变以尿素等低端产品为主流的产品结构现状,随着2017年化肥增值税的恢复,化肥企业应当加大对水溶肥、缓控释肥、有机无机肥、功能肥等新型高端肥料的研发力度,改变我国化肥产业缺乏高端技术产品的现状。

参考文献:

- [1] 张智峰, 张卫峰. 我国化肥施用现状及趋势[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6):9-12.
ZHANG Zhi-feng, ZHANG Wei-feng. The situation and trend of fertilizer application in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2008, 23(6):9-12.
- [2] 杨 慧, 刘立晶, 刘忠军, 等. 我国农田化肥施用现状分析及建议[J]. 农机化研究, 2014(9):260-263.
YANG Hui, LIU Li-jing, LIU Zhong-jun, et al. Analysis and suggestions of agricultural fertilizer application in China[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014(9):260-263.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴2015[M]. 北京:中国统计出版社, 2016.
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.
- [4] 农业部新闻办公室. 科学施肥促进肥料利用率稳步提高 我国肥料利用率达33%[J]. 农业工程技术, 2013(10):89.
Ministry of Agriculture. The chemical fertilizer usage has been achieved 33% by scientific fertilization[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2013(10):89.
- [5] 李明哲. 农田化肥施用污染现状与对策[J]. 河北农业科学, 2009, 113(5):65-67.
LI Ming-zhe. Status and countermeasures of farmland pollution by chemical fertilizer application[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 113(5):65-67.
- [6] 刘 忠, 隋晓晨. 中国区域化肥利用特征[J]. 资源科学, 2008, 30(6):822-828.
LIU Zhong, SUI Xiao-chen. Regional characteristics of fertilizer use in China[J]. *Resources Science*, 2008, 30(6):822-828.
- [7] 胡荣根, 赵燕洲. 安徽省化肥施用现状及提高利用率对策[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(4):54-57.
HU Rong-gen, ZHAO Yan-zhou. Current status of chemical fertilizer application in Anhui Province and measures of improving its utilization rate[J]. *Anhui Agri Sci Bull*, 2007, 13(4):54-57.
- [8] 王玉梅, 何庆光. 我国农业增长方式转变的测定[J]. 广西大学学报: 哲学社会科学版, 2009, 31(6):26-30.
WANG Yu-mei, HE Qing-guang. Measurement of shifts in increasing mode of Chinese agriculture[J]. *Journal of Guangxi University: Philosophy and Social Science*, 2009, 31(6):26-30.
- [9] Chen X P, Cui Z L, Vitousek P M, et al. Integrated soil-crop system management for food security[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(16):6399-6404.
- [10] Azeem B, Kushaari K, Man Z B, et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer[J]. *Journal of Controlled Release*, 2014, 181(1):11-21.
- [11] Liu R, Lal R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 514:131-139.
- [12] Timilsena Y P, Adhikari R, Casey P, et al. Enhanced efficiency fertilisers: A review of formulation and nutrient release patterns[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2015, 95(6):1131-1142.
- [13] 吴文斌, 余强毅, 陆 苗, 等. 耕地复种指数研究的关键科学问题[J]. 中国农业科学, 2018, 51(9):1681-1694.
WU Wen-bin, YU Qiang-yi, LU Miao, et al. Key research priorities for multiple cropping systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(9):1681-1694.
- [14] 侯萌瑶, 张 丽, 王知文, 等. 中国主要农作物化肥用量估算[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4):360-367.
HOU Meng-yao, ZHANG Li, WANG Zhi-wen, et al. Estimation of fertilizer usage from main crops in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(4):360-367.
- [15] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥消费量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5):1136-1143.
LI Hong-li, ZHANG Wei-feng, ZHANG Fu-suo, et al. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5):1136-1143.
- [16] 黄高强, 武 良, 李宇轩, 等. 我国氮肥产业发展形势及建议[J]. 现代化工, 2013, 33(10):1-4.
HUANG Gao-qiang, WU Liang, LI Yu-xuan, et al. Development situation and suggestions on nitrogen fertilizer industry in China[J]. *Modern Chemical Industry*, 2013, 33(10):1-4.
- [17] 黄高强. 我国化肥产业发展特征及可持续性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
HUANG Gao-qiang. Study on the development characteristics and sustainability of chemical fertilizer industry in China[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [18] 赵丽丽. 农户采用可持续农业技术的影响因素分析及政策建议[J]. 经济问题探索, 2006(3):87-90.
ZHAO Li-li. Effect analysis of sustainable technology utilization by farmers and policy advice[J]. *Inquiry Into Economic Issues*, 2006(3):87-90.
- [19] 张卫峰, 季玥秀, 马 骥, 等. 中国化肥消费需求影响因素及走势分析Ⅲ: 人口、经济、技术、政策[J]. 资源科学, 2008, 30(2):213-220.
ZHANG Wei-feng, JI Yue-xiu, MA Ji, et al. Analysis on driving force

- of fertilizer demand of China Ⅲ: Population, economy, technology and policy[J]. *Resources Science*, 2008, 30(2): 213-220.
- [20] 马文奇, 张卫峰, 王 利, 等. 世界化肥发展特点和未来趋势分析[J]. *现代化工*, 2008, 28(4): 1-8.
- MA Wen-qi, ZHANG Wei-feng, WANG Li, et al. Analysis of characteristics and trends of development of chemical fertilizer in the world[J]. *Modern Chemical Industry*, 2008, 28(4): 1-8.
- [21] 张 艳, 于汶加, 陈其慎, 等. 化肥消费规律及中国化肥矿产需求趋势预测[J]. *资源科学*, 2015, 37(5): 977-987.
- ZHANG Yan, YU Wen-jia, CHEN Qi-shen, et al. Fertilizer consumption rule and prediction of China's fertilizer-related resource minerals demand[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 977-987.
- [22] Nkoa R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34(2): 473-492.
- [23] 张 番. 加拿大钾肥公司: 农产品经济形势向好拉动全球化肥需求持续强烈[J]. *中国农资*, 2012(13): 12.
- ZHANG Fan. Canada fertilizer enterprise: The tendency of agricultural products economy could affect chemical demand[J]. *China Agricultural Production News*, 2012(13): 12.
- [24] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5444-5453.
- [25] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central Amazonian upland soil[J]. *Plant & Soil*, 2007, 291(1/2): 275-290.
- [26] 左 妍. 墨西哥农业“痛苦的发展”对我国的启示[J]. *中国商界*, 2012: 149-150.
- ZUO Yan. Study on agricultural development experience in Mexico[J]. *Business China*, 2012: 149-150.
- [27] 王天生. 南非的农业发展和经验借鉴[J]. *贵州农业科学*, 2004, 32(2): 80-83.
- WANG Tian-sheng. Agricultural development and experience reference of South Africa[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2004, 32(2): 80-83.
- [28] 焦高俊. 扫描南非农业和农机市场[J]. *农机市场*, 2009(8): 33-34.
- JIAO Gao-jun. Study on agriculture and agricultural machinery market of South Africa[J]. *Agricultural Machinery Market*, 2009(8): 33-34.
- [29] 中华人民共和国驻印度共和国大使馆经济商务参赞处. 印度农业占GDP比重逐年下降[EB/OL]. [2018-04-20]. <http://in.mofcom.gov.cn/article/c/201209/20120908336472.shtml>.
- Economic and Commercial Counsellor's Office of the Embassy of the People's Republic of China in the Republic of India. The proportion of India's agricultural GDP were decreased year by year[EB/OL]. [2018-04-20]. <http://in.mofcom.gov.cn/article/c/201209/20120908336472.shtml>.
- [30] 陈春生. 农业在巴西经济增长中的作用分析——基于巴西人均GDP突破万美元视角[J]. *农业经济*, 2016(2): 47-49.
- CHEN Chun-sheng. Analysis the growth function of agriculture in Brazil economy[J]. *Agricultural Economy*, 2016(2): 47-49.
- [31] 王红茹. 专家: 2020年全国人均GDP一万美元能实现, 去年全国人均GDP 7575美元[J]. *中国经济周刊*, 2015(30): 44-45.
- WANG Hong-ru. Professor: The GDP per capita could more than 10000 dollars in 2020 and the GDP per capita was 7575 dollars in last year[J]. *China Economic Weekly*, 2015(30): 44-45.
- [32] 李 扬, 张 平, 刘霞辉, 等. 中国经济增长报告(2015—2016)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- LI Yang, ZHANG Ping, LIU Xia-hui, et al. Annual report on China's economic growth(2015—2016)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press(China), 2016.
- [33] 黄 耀, 孙文娟, 张 稳, 等. 中国陆地生态系统土壤有机碳变化研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 577-586.
- HUANG Yao, SUN Wen-juan, ZHANG Wen, et al. Changes in soil organic carbon of terrestrial ecosystems in China: A mini-review[J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2010, 40(7): 577-586.
- [34] 房丽萍, 孟 军. 化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(17): 156-160.
- FANG Li-ping, MENG Jun. Application of chemical fertilizer on grain yield in China analysis of contribution rate: Based on principal component regression C-D production function model and its empirical study[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(17): 156-160.
- [35] 滕艳敏, 韩 卉, 郝梓依, 等. 不同蔬菜种植模式对土壤淋溶水总氮、总磷和COD的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(5): 759-768.
- TENG Yan-min, HAN Hui, HAO Zi-yi, et al. Effect of vegetable cropping system on total nitrogen, phosphorus and COD in farmland leachate[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(5): 759-768.
- [36] 解永利, 李 季, 杨合法. 日光温室不同生产模式下蔬菜品质变化的研究[J]. *土壤通报*, 2007, 38(4): 718-721.
- XIE Yong-li, LI Ji, YANG He-fa. Quality of vegetables in different cultivation patterns in greenhouse[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4): 718-721.
- [37] 中国市场学会, 中国商业联合会课题组. 我国化肥流通体制历史沿革与基本现状[J]. *经济研究参考*, 2006(5): 15-25.
- China Market Academy, China Commerce League. The history and status of fertilizer distribution system of China[J]. *Economic Research and Reference*, 2006(5): 15-25.
- [38] 张卫峰, 季玥秀, 马 骥, 等. 中国化肥消费需求影响因素及走势分析Ⅱ: 种植结构[J]. *资源科学*, 2008, 30(1): 31-36.
- ZHANG Wei-feng, JI Yue-xiu, MA Ji, et al. Driving forces of fertilizer consumption in China Ⅱ: Planting Structure[J]. *Resources Science*, 2008, 30(1): 31-36.
- [39] 国家统计局. 农用化肥施用折纯量[EB/OL]. [2018-12-17]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E5%8C%96%E8%82%A5%E6%96%BD%E7%94%A8%E9%87%8F>. National Bureau of Statistics of China. Net amount of agricultural fertilizer[EB/OL]. [2018-12-17]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E5%8C%96%E8%82%A5%E6%96%BD%E7%94%A8%E9%87%8F>.