

# 黄三角经济区旱季土壤含水量时空特征研究

张志敏, 李春芳, 巩骏骥, 吴泉源\* (山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东济南 250014)

**摘要** 表观热惯量与土壤含水量存在明显的线性关系。利用 MODIS 数据反演得到土壤表观热惯量的值与黄三角经济区 6 个气象站的土壤水分实测资料建立线性模型, 定量反演计算土壤含水量, 研究了该地区土壤含水量 2003~2012 年春季空间分布特征及其年际变化特征, 并分析影响土壤含水量变化的因素。结果表明: 通过表观热惯量方法对黄三角经济区的土壤含水量反演计算, 土壤水分含量从空间分布来看, 北多南少, 东多西少, 沿海多于内陆; 从时间变化来看, 土壤水分含量相对稳定, 维持在 0.12, 9~11 月略高于 3~5 月。土壤含水量的变化受海陆距离、地形、气候和土地利用等因素影响较大。基于表观热惯量的土壤湿度的研究, 可以反映该地区土壤水分含量的时空变化特征。

**关键词** 遥感反演; MODIS; 土壤含水量; 表观热惯量

**中图分类号** S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)32-11571-04

**The Characteristics of Spatio-temporal Variation of Soil Moisture Content in Dry Season in Yellow River Delta Economic Zone**  
ZHANG Zhi-min, LI Chun-fang, GONG Jun-ji, WU Quan-yuan\* (College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014)

**Abstract** There is obvious linear relationship between soil water content and apparent thermal inertia. It based on the apparent thermal inertia method using the Yellow River delta economic zone 6 stations of the observed data of soil moisture quantitative inversion calculation of soil water content, soil moisture content in the region was studied in 2003-2012 age season spatial distribution characteristics and the characteristics of the interannual variability and analyzes the influence factors of soil moisture content change. Result shows that by means of apparent thermal inertia of the Yellow River delta economic zone soil moisture inversion computation, from the spatial distribution of soil moisture content, the north south more little, east west, less more than inland coastal; From the point of time, soil moisture content is relatively stable, at 0.12, in November 9 - slightly higher than 3-5 months. Show that based on the research of soil moisture of apparent thermal inertia, algorithm has certain feasibility, simple, easy to operate and can well reflect the spatial and temporal variations of soil moisture content in the region.

**Key words** Remote sensing inversion; MODIS; Soil moisture; Apparent thermal inertia

土壤含水量又叫土壤含水率, 通常指的是土壤的绝对含水量, 是水文学、气象学以及农业科学研究领域的一个重要参数<sup>[1]</sup>。在水循环中土壤含水量是基本组成部分, 在气候系统中它决定着植被的蒸散发及光合作用, 在农业系统中, 它是农作物生长发育的环境条件和物质基础, 决定着农作物的长势和产量。然而由于土壤含水量的观测站点和资料相对较少, 特别是时效性和大尺度性远远不能满足实际需要, 这是一项急需解决的技术问题。遥感技术的发展和和应用使区域土壤水分含量的估算成为可能。从波段范围来看, 可见光、热红外、被动微波和主动微波等已用于土壤水分的测量<sup>[3-4]</sup>。基于热红外遥感估算土壤水分含量目前已经取得了一些成功, 热惯量法作为一种行之有效的热红外反演方法, 广泛应用于土壤水分的遥感反演研究中<sup>[5]</sup>。为此, 笔者利用 MODIS 遥感影像求得土壤表观热惯量的值, 结合实际土壤水分数据, 建立土壤含水量和表观热惯量值的一元线性回归方程, 反演计算黄河三角洲高效生态经济区(简称“黄三角经济区”)2003~2012 年土壤含水量, 探索区域旱季土壤水分的时空分布特征变化。

## 1 研究区概况

黄三角经济区位于渤海湾南岸和莱州湾西岸, 地理位置

116°54'24"~120°18'24"E、36°26'32"~38°16'09"N, 包括东营、滨州市, 潍坊市的寒亭区、寿光市、昌邑市, 德州市的乐陵和庆云县, 淄博市的高清县和烟台市的莱州市等 19 个县(市、区), 总面积 2.65 万 km<sup>2</sup>。区域气候具有春旱、夏涝、秋旱的特点。年内降水量多集中在 6~9 月, 季节和年际变化较大, 总趋势由东向西逐渐减小, 多年平均蒸发量 1 300~1 500 mm, 3~6 月份最大。春季气温回升快, 降水少, 风速大, 气候干燥, 秋季气温骤降, 雨量锐减。

## 2 热惯量法

**2.1 基本原理** 热惯量是土壤的热学特性, 是阻止土壤温度变化的物理量。热惯量最早由 Price 提出, 并经过不断改进<sup>[6-8]</sup>, 关系表达式为:

$$P = \sqrt{k\rho C} \quad (1)$$

式中,  $P$  为热惯量 [ $J/(m^2 \cdot K \cdot s^{1/2})$ ];  $k$  为土壤的导热率 [ $J/(m \cdot s \cdot K)$ ];  $\rho$  为土壤密度 ( $kg/m^3$ );  $C$  为土壤的比热容 [ $J/(kg \cdot K)$ ]。这 3 个物理量的特性的变化在一定条件下主要取决于土壤含水量, 一般来说土壤含水量大, 热惯量越大。

在实际的应用和研究中, 因为卫星很难实时监测气象和地面资料这些地表的综合参数, 因此很多模型不考虑当地的纬度、太阳高度角、日地距离等因素, 常用表观热惯量 ( $ATI$ ) 代替真实热惯量<sup>[9]</sup>。表观热惯量的计算公式为:

$$ATI = (1 - A) / (T_d - T_n) \quad (2)$$

式中,  $A$  为地表反照率;  $T_d$ 、 $T_n$  分别是土壤的昼温和夜温 ( $K$ )。

研究表明, 土壤湿度的细微变化, 热惯量均有响应<sup>[10]</sup>。

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41371395); 山东省水利厅资助项目(鲁水财字【2012】49号-2); 国家科技支撑计划项目(2012BAB11B01)。

**作者简介** 张志敏(1988-), 女, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统遥感应用。\* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事遥感地学应用研究。

**收稿日期** 2014-09-28

在植被覆盖较低区域的土壤旱情监测中热惯量法和土壤水分含量存在较高线性相关,可以通过遥感数据所获得的热惯量和土壤含水量建立关系模型估算区域的土壤水分状况<sup>[11]</sup>。土壤含水量与其热惯量之间应用最广泛的经验公式通常有线性模型,即:

$$W = a \times ATI + b \quad (3)$$

式中, $W$ 为土壤含水量; $ATI$ 为土壤的热惯量; $a$ 、 $b$ 为常数项。

## 2.2 地表参量确定

**2.2.1 地表反照率。**反照率是表面能量平衡的一个非常关键的影响因子,指地物反射的太阳辐射和接受的太阳辐射的比值,可以定义为地物全波段(主要为 $0.15 \sim 4.00 \mu\text{m}$ )的反射比。地表反照率的计算可以采用梁顺林<sup>[12]</sup>提出的用宽波段的反照率代替全波段的反照率的计算公式为:

$$A = 0.160a_1 + 0.291a_2 + 0.243a_3 + 0.116a_4 + 0.112a_5 + 0.081a_7 - 0.0015 \quad (4)$$

式中, $A$ 为地表反照率; $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 、 $a_7$ 为MODIS数据第1、2、3、4、5、7波段的反射率。

**2.2.2 地表温差。**分裂窗算法是热红外反演地表温度算法中较为成熟的方法之一。地物的辐射亮温差与实际温差差距很小,不超过 $1 \text{ K}$ ,因此可以用亮温差代替实际地表温差<sup>[13]</sup>。地表温度在 $273 \sim 330 \text{ K}$ ,其辐射峰值在 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ ,对应于MODIS的31波段,可以用31波段的亮温差代替昼夜温差,常用普朗克函数进行亮温反演,公式为:

$$T_b = \frac{C_2}{\lambda \ln\left(1 + \frac{C_1}{\lambda^5}\right)} \quad (5)$$

式中, $I$ 为辐射率; $\lambda$ 为中心波长( $\mu\text{m}$ ),MODIS的31波段的波长为 $11.03 \mu\text{m}$ ; $C_1$ 、 $C_2$ 为辐射常数,分别为 $1.19104356 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$ 、 $1.4387685 \times 10^4 \mu\text{mK}$ 。得到简化公式为:

$$T_{31} = \frac{1304.413971}{\ln\left(1 + \frac{729.541636}{B_{31}}\right)} \quad (6)$$

式中, $T_{31}$ 为地表亮度温度; $B_{31}$ 为MODIS1B数据第31波段的辐射率。

则地表温差计算公式为:

$$\Delta T = T_d - T_n \quad (7)$$

式中, $\Delta T$ 为一天地表温差; $T_d$ 为白天的地表亮温; $T_n$ 为夜晚的地表亮温。

## 3 数据获取和处理

**3.1 数据源** 遥感资料选用的是美国NASA提供的2003~2012年3~5月和9~11月与实测土壤水分资料对应的MODIS二级产品MODIS1B数据。该数据共有36个波段,一天当中至少可以覆盖4次,满足了对数据多光谱和多时相的要求,利用反射率波段得到地表反照率,辐射率的第31波段得到地表温差结果。实测土壤水分资料为黄三角经济区6个气象站点的土壤水分含量数据。

**3.2 数据处理** 采用ENVI/IDL遥感图像处理软件实现影像的批处理。MODIS1B虽然可以在ENVI中实现自动定标,但是在使用之前还要对其进行消除条带噪声和蝴蝶结现象、

大气校正、几何校正和影像裁剪等预处理,并根据上文提到的公式计算反照率、地表温差,得到土壤的表现热惯量值。

## 4 结果与分析

选取黄三角经济区6个气象站的2003~2012年春季和秋季6个月份共计60组土壤含水量,利用公式(3)进行筛选和相关分析,通过绘制散点图选取精度较高线性模型用于反演计算土壤含水量,其中常数项 $\alpha = 3.275$ ,常数项 $b = 0.014$ ,相关系数 $R = 0.81$ 。

通过计算,线性模型可以用于黄三角经济区土壤含水量反演计算。利用线性模型得到日尺度下黄三角经济区土壤含水量,对60组数据计算平均值得到多年平均土壤含水量如图1所示。

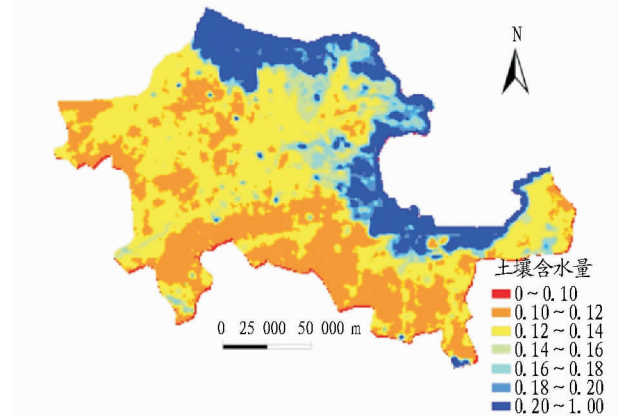


图1 黄三角经济区多年土壤含水量分布

**4.1 空间特征** 由图1可知,黄三角经济区多年平均土壤含水量分布总趋势是从南向北逐渐递增。内陆地区分布在 $0.10 \sim 0.14$ ,海岸带附近土壤含水量较大,在 $0.20$ 以上。多年平均高值区在无棣和沾化县北部,低值区出现在淄博高青、滨州博兴及潍坊北部等地。河流的入海口及水库附近土壤含水量较大,贯穿滨州东营两市的黄河流域、以北的海河水系、以南的小清河流域土壤含水量明显较大,在 $0.14$ 左右。

统计图1中像元数量,得到土壤含水量的比重分布如图2。从像元分布来看,土壤含水量 $0.10 \sim 0.20$ 的像元数量最大,大于 $0.20$ 的像元所占比重较小。

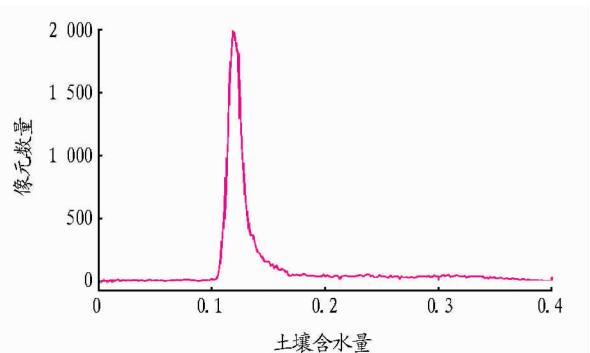


图2 黄三角经济区土壤含水量比重分布

**4.2 春秋对比分析** 选取2003~2012年春季多年平均土壤含水量(图3)进行对比分析。从春秋两季空间分布可以

看出,总体上,秋季土壤水分含量略高于春季。土壤含水量分布局部地区存在差异,德州、滨州等地秋季土壤含水量高

于春季,东营北部及潍坊等地土壤含水量春季略高于秋季。

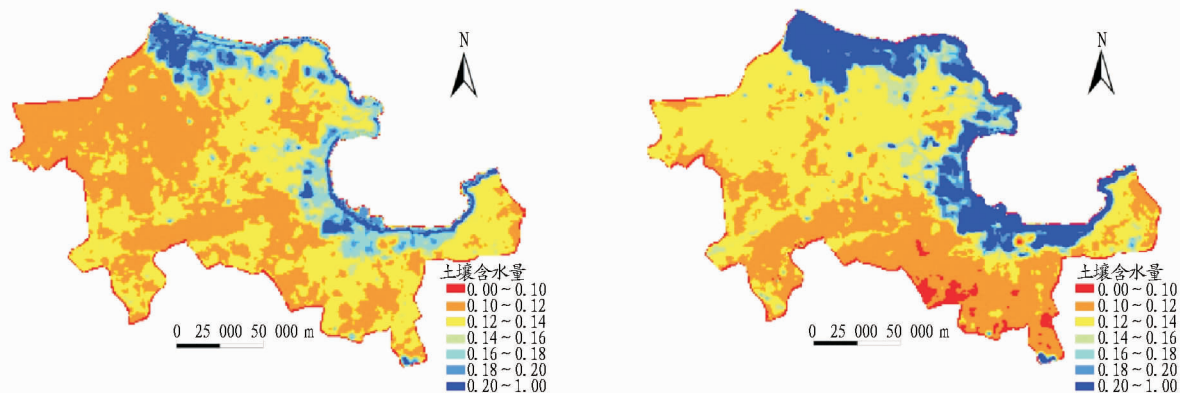


图3 春秋季节多年土壤含水量分布

**4.3 年际变化** 根据黄三角经济区 2003~2012 年旱季土壤含水量值,对整个区域的像元求均值得到每年春秋季节土壤含水量。由图 4 可知,总体来看,土壤含水量 2003~2005 年波动较大,2006~2010 年土壤含水量不断增加,2011 年略有下降。春季最大值和最小值分别出现在 2004 和 2005 年;秋季最大和最小值分别出现在 2004 和 2006 年。2006 年春季土壤含水量高于秋季,其他年份秋季值略高。

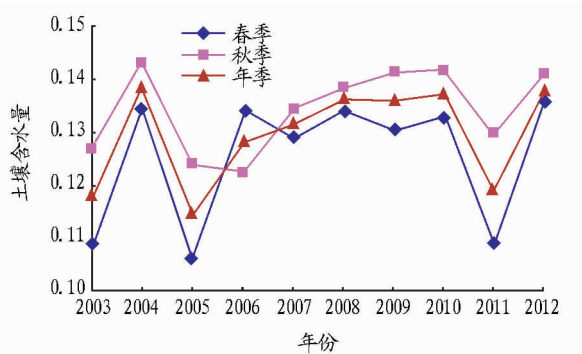


图4 黄三角经济区春秋季节土壤含水量年均变化

**4.4 影响因素分析** 综上所述,决定土壤水分高低的因素并不是单一的。究其原因主要受海陆距离、地形、气候、土地利用类型等因素的共同作用。

**4.4.1 海陆距离对土壤含水量的空间分布影响较大。**随着海陆距离的增加,土壤含水量逐渐减小。靠近海岸带地区空气湿润,蒸散发较小,土壤含水量大,远离海岸带地区空气干燥,蒸散发较大,土壤含水量较小。

**4.4.2 土壤水分含量受地形影响较大。**从多年平均降水量来看,黄三角经济区降水量相差较小,降水降落到地表一部分下渗,一部分沿地表形成地表径流。研究区地势总的变化趋势是南高北低,因此南部的径流系数较小,导致入渗土壤的水分相对较小。如表 1 中的邹平潍坊等地虽然降水较多,但由于地形起伏较大,土壤含水量较小。河流下游及汇聚地流速变化大,径流量大,下渗及侧渗比较明显,同时由于内陆水分循环影响,水系两侧土壤含水量高于均值(表 2)。

**4.4.3 气候因素对土壤含水量的影响。**土壤含水量主要受

降水量和蒸散发等因素的影响。据多年降水资料统计,降水量总体变化趋势由东部向西部逐渐减小,受海陆间水分循环影响海岸带附近空气湿润蒸散发小,昼夜温差小,远离海岸带区域温度高,昼夜温差大。春季植物生长旺盛,气温开始回升,土壤蒸散发和植物的蒸腾作用开始增强,而秋季因夏季降水量的积累和水分下渗的时间滞后,土壤含水量依旧比春季略高。

表1 黄三角经济区部分县(市、区)多年平均土壤含水量、降水量、海拔

县(市、区)	多年土壤含水量	多年平均降水量//mm	海拔/m
乐陵	0.125 6	570.5	11.5
沾化	0.124 0	538.7	6.4
阳信	0.124 1	609.0	10.0
邹平	0.129 0	743.6	24.1
高青	0.114 5	571.5	11.0
河口	0.139 3	553.5	13.0
东营	0.130 4	556.9	8.8
广饶	0.118 9	611.4	14.9
寒亭	0.120 2	595.5	18.6
莱州	0.139 6	658.5	48.9

表2 主要水系入海口多年平均土壤含水量

水系	主要分布位置	平均土壤含水量
马颊河、德惠新河	无棣	0.322 4
黄河	垦利	0.213 7
小清河	广饶	0.305 2
孤北水库	河口区北部	0.313 4
广南水库	广饶以北	0.321 5
峡山水库	昌邑以南	0.327 4

**4.4.4 土地利用状况影响。**从土地利用来看,远离海岸带地区城镇聚集,以建筑用地居多,受人为影响较大,土壤入渗率低;沿海地区滩涂湿地多,盐场、海港分布广,浅层地下水多,土壤的水分含量大。

## 5 结论

通过表观热惯量方法对黄三角经济区的土壤含水量反演计算可知,从空间分布来看,水分含量北多南少,东多西

少;从时间变化来看,土壤水分含量相对稳定,维持在0.12,但9~11月略高于3~5月。土壤含水量的变化受海陆距离、地形、气候和土地利用等因素影响较大。

随着各种遥感反演计算模型的提出,运用遥感反演方法估算地表参量已经越来越多的运用到实际的水文、大气和农业系统,表观热惯量方法对于土壤水分的时空变化特征分析有重要的研究意义。但是由于气候、地形等自然因素和人为因素等方面的不确定性和复杂性,以及遥感影像空间分辨率的限制,在进行定量反演模型的选择和确定时与实际土壤水分含量有一定的差距。利用遥感影像的多时相进行区域地表参量的时空分布特征估算不仅是定量遥感的重要发展方向,也是定量遥感地学研究的难点之一。

#### 参考文献

- [1] 郭广猛,赵冰茹. 使用MODIS数据监测土壤湿度[J]. 土壤, 2004, 36(2): 219-221.
- [2] 陈书林,刘元波,温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1192-1203.
- [3] 张红梅,沙晋明. 遥感监测土壤湿度的方法综述[J]. 中国农学通报, 2005(2): 307-311.

- [4] 岳彩娟,王彩艳,余峰,等. 遥感技术监测土壤水分的研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2010(2): 47-49, 9.
- [5] 刘振华,赵英时. 遥感热惯量反演表层土壤水的方法研究[J]. 中国科学D辑, 2006, 36(6): 552-558.
- [6] PRICE J C. The potential of remotely sensed thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation [J]. Water Resources Research, 1980, 16(4): 787-795.
- [7] PRICE J C. On the analysis of thermal infrared imagery: The limited utility of apparent thermal inertia [J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 18(1): 59-73.
- [8] PRICE J C. Thermal inertia mapping: A new view of the earth [J]. Journal of Geophysical Research, 1977, 82(18): 2582-2590.
- [9] 全兆远,张万昌. 土壤水分遥感监测的研究进展[J]. 水土保持通报, 2007, 27(4): 107-113.
- [10] 徐效军,张鹰. 土壤含水率与光谱反射率的灰色关联分析[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(7): 1403-1404.
- [11] 李星敏,刘安麟,张树誉,等. 热惯量法在干旱遥感监测中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005(1): 54-59.
- [12] LIANG S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms [J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76(2): 213-238.
- [13] LIANG S. A direct algorithm for estimating land surface broadband albedos from MODIS imagery [J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2003, 41(1): 136-145.

(上接第11562页)

采取自愿的原则,允许他们参加城镇居民的养老保险。另外,我国《农民工参加基本养老保险办法》规定的15年的缴费年限也过长,对于一些想要参加养老保险,但是苦于缴费年限限制的人说,这个缴费年限不符合实际,从养老保险金保值、增值的长远角度来看,制定缴费年限对于养老保险是重要的,但15年的缴费年限实在太长,这对于具有流动性的农民工而言,无疑产生了一定的剥夺性,所以可以将缴费年限适当缩短,比如改为十年比较适宜。

**3.3 简化繁琐的转移手续** 《城镇企业职工基本养老保险关系转移接续暂行办法》中规定,农民工在工作转移的时候可以将自己的养老保险一同转移到新的工作地区。尽管这一办法的出台是试图解决地区转移接续的困难,但是转移接续本身就是个复杂的问题。假如参加了企业养老保险的农民工到农村时又决定回农村,他是继续缴纳城镇养老保险费用还是参加农村新型养老保险?城镇养老保险和农村养老保险如何接续?这些问题都还没有做出明确规定。解决问题时要注意考虑当地的生活水平。同时对于一直在城镇务工的农民工来说,可以采取养老保险卡的形式,最好与各地社会保险的开户行建立网络关系,给农民工建立养老保险保障卡,这就好比银行卡,可以随身携带,方便快捷,减少了人工的繁琐程序,节约资金、时间和人力成本,农民工工作流动,养老保险金就流动,只要农民工到所工作地的银行,随时都可以缴纳养老保险费。

**3.4 严格监督用人单位和企业** 国务院早就已经出台了《关于解决农民工问题的若干意见》,规定政府部门要严格查处各类侵犯农民工权益的问题,严格监督企业,坚决杜绝企业不给农民工办理养老保险的现象。奖励揭发企业侵权事件,奖励完全为农民工办理养老保险的企业,警告惩处顽固

不执行的企业,必要的时候可以采取法律手段对其进行整治。此外,也可以给予企业一定的益处。例如对于为农民工办理养老保险的企业,可以允许其减免一部分税款,使企业自愿的为农民工办理养老保险,实现征服欲社会、农民工与企业的双赢。

**3.5 完善农民工社会养老保险制度** 政府要建立一个和谐稳定的社会,切实落实社会主义核心价值观,就要从建立健全社会保障体系入手,完善我国的法律法规和各项制度。养老保险是社会保障体系的重要组成部分,是解决民生问题的大事,特别是农民工的养老保险问题。建立健全农民工养老保险制度,要体现社会的公平公正,明确政府、企业、个人在养老保险问题中的责任。坚持进行改革创新,合理完善为农民工解决养老问题。要尽量针对上述问题开展调查研究,尽早出台新的政策,切实解决农民工面临的养老保险问题,同时要严格执法,严肃执法,绝不姑息任何侵犯人民利益的事情。

#### 4 小结

农民工养老保险问题不可操之过急,也不能置之不理,政府应在实行政策的过程中不断发现问题,解决问题。我们的和谐社会离不开农民工们的辛勤劳动,我们的城市文明也离不开他们,所以我们应该对他们的未来负责。从我们国家整体出发,也应该努力缩短城乡差距,缩短农民工和城镇居民的差距,尽早实现马克思主义的最高目标——建立共产主义社会。

#### 参考文献

- [1] 陈曼. 浅论农民工养老保险存在的问题及对策[J]. 商情, 2010(9): 39.
- [2] 任小明. 现行农民工养老保险政策存在的问题与完善措施[J]. 新西部(下半月), 2010(8): 3, 19.
- [3] 张小玲. 城乡一体化背景下农民工养老保险制度的完善[J]. 农业经济, 2013(8): 94-96.