

# 松嫩平原2000—2012年生长季农作物含水量变化分析

乔赛男 张丽娟 杨平 张晓慧

(黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨师范大学, 哈尔滨 150025)

**摘要:** 利用2000—2012年松嫩平原MODIS影像, 基于GVMI指数反演了松嫩平原生长季(5—10月)农作物含水量, 并进行了时空变化特征及其原因分析。结果表明: 松嫩平原2000—2012年生长季农作物含水量呈显著增长趋势, 且东部农作物含水量普遍高于西部, 大致呈由东南向西北递减的趋势; 农作物含水量与降水量成正相关关系, 但其显著性与地域有关, 降水量较多的区域, 降水量与农作物含水量相关不显著, 降水量较少的区域, 降水量与农作物含水量相关显著; 农作物含水量与气温呈负相关趋势, 但不显著, 气温越高的区域对农作物含水量的影响越大; 农作物含水量与粮食产量呈显著正相关, 粮食产量随农作物含水量的升高而增大。

**关键词:** 农作物含水量, GVMI, 气象因素, 粮食产量, 松嫩平原

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.01.009

## The Analysis of Crop Water Content Change over the Songnen Plain in the Growing Season During the Period 2000-2012

Qiao Sainan, Zhang Lijuan, Yang Ping, Zhang Xiaohui

(Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin 150025)

**Abstract:** In the process of photosynthesis, water is one of the irreplaceable and indispensable raw materials. Crop water content is one of the main factors in plant photosynthesis, and has a great significance for the growth of crops. Remote sensing technology with the characteristics of rapid, economical and macroscopic changes provides an important real-time dynamic data source for crop water content monitoring. In this paper Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 500m reflectance dataset is used for the retrieval of crop water content over Songnen Plain during the period 2000-2012. MODIS data have higher temporal resolution and larger spatial coverage. Global Vegetation Moisture Index (GVMI) has higher correlation and stability with vegetation water content to retrieval of crop water content of Songnen Plain in the growing season during the period 2000-2012, then the temporal and spatial change characteristics and the reasons were analyzed. The results showed that: (1) The crop water content of Songnen Plain during the period 2000-2012 showed a trend of significant growth. The crop water content of 2012 is the highest, while 2001 is the lowest. The crop water content changes with crop growth in the growing season: it's higher in July and August than other months. The crop water content has uneven distribution in Songnen Plain, the southeast is higher than others, and the west variable coefficient of crop water content is higher than the east. The crop water content of Songnen Plain shows that a trend of growth is mainly distributed in central, northwest and southeast areas. (2) Precipitation has a certain influence on crop water content of cities in Songnen Plain, and is quite regional. The crop water content of Qiqihaer, Daqing, Baicheng and Songyuan in the west Songnen Plain has a more significant correlation than the cities in the east, but the influence of precipitation change on crop water content in the same period is smaller. (3) The temperature effect on crop water content of cities in Songnen Plain has the latitude zonality. The temperature has a higher influence on Baicheng, Songyuan, Daqing, Changchun and Siping which have a lower latitude than Heihe, Qiqihaer, Suihua and Harbin with a higher latitude. The influence of temperature on crop water content in the same period is smaller. (4) The crop water content has a significant correlation with the grain yield of the cities in Songnen Plain as the grain yield increases according to crop water content.

**Keywords:** crop water content, GVMI, meteorological factors, grain yield, Songnen Plain

收稿日期: 2014年6月19日; 修回日期: 2014年9月2日  
第一作者: 乔赛男(1990—), Email: qiao-8@163.com  
通信作者: 张丽娟(1965—), Email: zlj19650205@163.com  
资助信息: 国家自然科学基金项目(42171217); 国家重大科学研究计划项目(2010CB95901); 教育部博士点基金(20142329110001)

## 0 引言

植被水是植被体内部含有的游离态或化合态的水, 是植被进行光合作用的主要原料之一<sup>[1]</sup>, 在植被生命活动中起着极大的作用, 也是控制作物光合作用和最终产量与品质的主要因素之一<sup>[2-3]</sup>。及时准确地监测农作物含水量状况对于农业灌溉、旱情评价、产量

估计等都具有重要意义<sup>[4]</sup>。

对于植被含水量的估算,有多种野外实测的手段<sup>[5]</sup>。而利用遥感的手段进行植被水监测,因其具有客观、动态、实时、迅速的技术优势,成为近年来的研究热点之一<sup>[6]</sup>。其中,基于遥感影像反演植被含水量的GVTMI指数,因其在构建时,依据LOPEX'93地面试验波谱数据,选择波长较长、不易受到大气噪声影响的NIR和SWIR波段,因此该指数具有普适性,即与物种无关,可适用于反演不同类型地表植被含水量<sup>[7-8]</sup>。国内学者利用GVTMI指数先后对黄淮海地区、长白山地区、大兴安岭地区、西南地区的植被含水量进行了估算。刘敏等<sup>[9]</sup>进一步结合土地利用,对耕地、林地、草地植被含水量进行了分析比较,均认为GVTMI指数能较好反映我国植被含水量,并能反映出植被含水量的分布趋势。同时,以往研究<sup>[9-15]</sup>也分析了植被含水量与影响因素之间的关系,比如与降水、气温、土壤湿度的关系。

松嫩平原是我国重要的商品粮生产基地,耕地面积广阔,玉米、大豆产量分别占全国总产量的23.26%和20.63%,全国前10名产粮大县均位于松嫩平原<sup>[16]</sup>。然而,目前少有研究关注松嫩平原粮食产量与农作物含水量的关系,以及农作物含水量受降水、气温等因素的影响情况。本文采用GVTMI指数,对以上问题进行了分析,以期为实现松嫩平原粮食产量监测、评估提供依据。

## 1 研究区概况

松嫩平原位于中国东北地区的中西部,由松花江和嫩江冲积而成,是东北三大平原之一。整个平原略呈菱形,地理范围为42°49'—49°12'N, 121°38'—128°33'E,总面积为22.35万km<sup>2</sup>。松嫩平原南以松辽分水岭为界,与辽河平原相隔,北与小兴安岭相连,西以大兴安岭东麓丘陵和台地为界,东至长白山外援山麓台地。松嫩平原是一个四周高、

中部低,由周边向中部缓慢倾斜的半封闭、不对称的沉积盆地,区内大体可分为东部高平原区、中部低平原区、西部山前倾斜平原区及北部岗状平原区。松嫩平原属温带大陆性半湿润、半干旱季风气候,受冬、夏季风交替影响,四季气候变化明显。冬季严寒干燥,1月均温为-26~-16℃,夏季温暖多雨,7月均温为21~23℃;大部分地区的年降水量为400~600mm,6—8月降水量占全年降水量的60%~70%。松嫩平原的土壤类型主要有黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土、沼泽土等,是我国最好的一熟制作物种植区之一。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

使用2000年、2010年覆盖松嫩平原的TM影像,利用ENVI4.7软件对其进行几何校正、图像增强等处理后,通过监督分类和非监督分类结合的方法对影像进行解译,提取耕地、林地、草地、水域、城市用地和未利用地六类。将2000年、2010年影像叠加,提取2000—2010年持续不变为耕地的区域,定义为本文的研究区。

松嫩平原区域内共有164个气象观测台站,本文采用空间插值,获取2000—2012年松嫩平原生长季(5—10月)气温、降水的栅格数据。松嫩平原粮食总产量和单位面积产量数据来源于2001—2013年《黑龙江省统计年鉴》与《吉林省统计年鉴》。

### 2.2 植被含水量计算

GVTMI为全球植被湿度指数,GVTMI的计算公式为:

$$GVTMI = \frac{(NIR+0.1)-(SWIR+0.02)}{(NIR+0.1)+(SWIR+0.02)}, \quad (1)$$

式中,NIR为近红外波段反射率,SWIR为短波红外波段反射率。反射率数据使用了MOD09A1地表反射率产品。

植被(冠层)含水量EWT<sup>[17]</sup>,计算式为:

$$EWT = \frac{-[ad+c-d(GVTMI+0.13)] + \sqrt{(ad+c-d(GVTMI+0.13))^2 - (4cd(a+b-GVTMI-0.13))}}{2cd}, \quad (2)$$

式中,a、b、c、d为常数,分别为a=1.53,b=-1.40,c=-0.000 099,d=0.000 517。

## 3 结果与分析

### 3.1 松嫩平原生长季农作物含水量时空分布及变化

#### 3.1.1 时间分布及变化

2000—2012年松嫩平原生长季内农作物含水量呈显

著增加趋势( $p<0.05$ ),年增加值达1.04g/m<sup>2</sup>(图1)。由生长季内农作物含水量的时间变化趋势(图2),可以发现,含水量最大值出现在8月,生长季初期和结束期的含水量较低。

松嫩平原各行政区内农作物含水量随时间的变化与松嫩平原整体趋势一致,也表现显著增加趋势(图3)。但是,农作物含水量分布及变化表现出明显的地域

性。松嫩平原东部农作物含水量明显大于西部，哈尔滨市、长春市、四平市较大，均在 $40\text{g}/\text{m}^2$ 以上；白城市最小，仅为 $17.37\text{g}/\text{m}^2$ ；大庆市、齐齐哈尔市、松原市相对较小，在 $29\text{g}/\text{m}^2$ 左右。松嫩平原西部农作物含水量变化程度较东部大。白城市变异系数最大，为0.21；大庆市、齐齐哈尔市也在0.17以上；黑河市、哈尔滨市、长春市较小，均小于0.12。

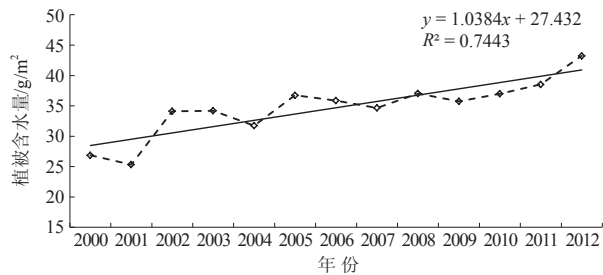


图1 农作物生长季植被含水量均值

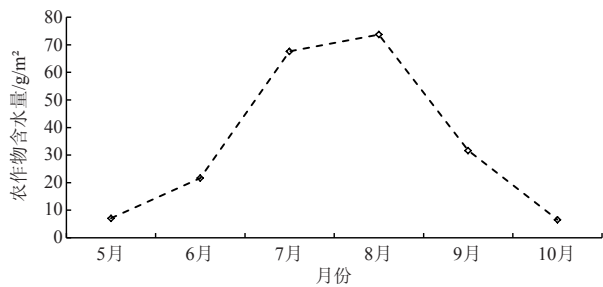


图2 农作物生长季植被含水量各月均值

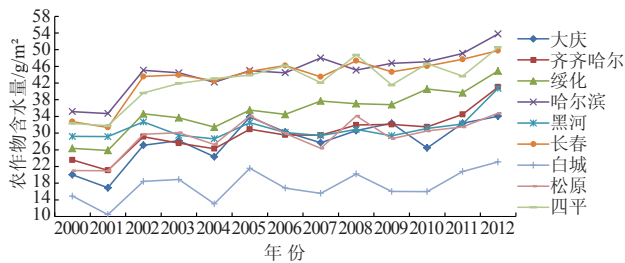


图3 松嫩平原各市农作物含水量

### 3.1.2 空间分布及变化

松嫩平原2000—2012年平均农作物含水量空间分布，表现为东南高、中部及西南部最低的特征（图4）。其中，含水量小于 $40\text{g}/\text{m}^2$ 的耕地面积为 $87897.8\text{km}^2$ ，占耕地总面积的72.9%；大于 $80\text{g}/\text{m}^2$ 的面积分布仅为 $549\text{km}^2$ ，占耕地总面积的0.5%。

图5给出了松嫩平原2000—2012年农作物含水量年变化的线性趋势，可见，松嫩平原农作物含水量主要呈增加趋势，且空间差异性明显。农作物含水量大部分增长趋势值在 $0\sim 2$ 之间，面积为 $105633.8\text{km}^2$ ，占耕地总面积的87.6%。增长趋势值在2以上、以及呈减少趋势的耕地面积均较小，分别为 $7466.5\text{km}^2$ 、 $7551\text{km}^2$ ，合计占耕地面积的6.2%。

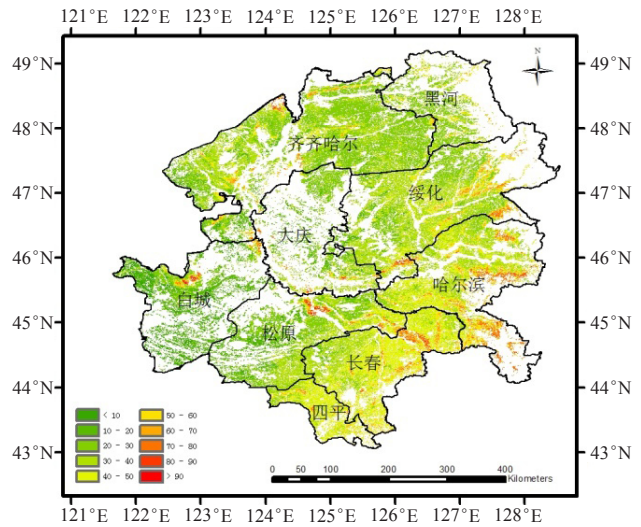


图4 松嫩平原2000—2012年生长季平均农作物含水量

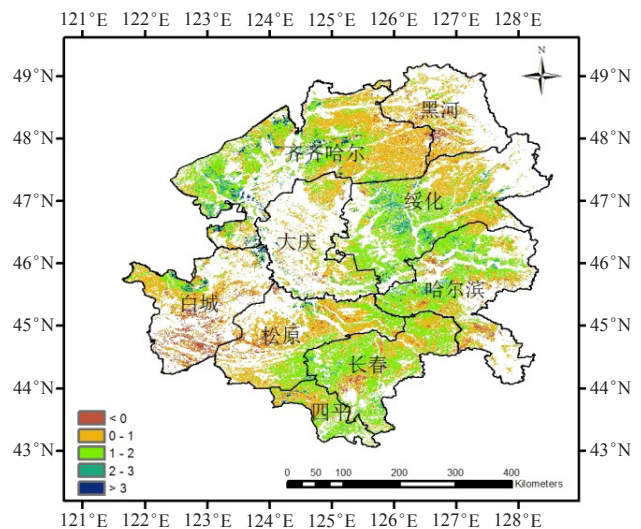


图5 2000—2012年生长季农作物含水量变化趋势

## 3.2 松嫩平原农作物含水量变化原因分析

### 3.2.1 农作物含水量与降水、气温的关系

松嫩平原生长季内农作物含水量与降水呈显著正相关（表1），但这种相关有一定的地域性。松嫩平原西部的大庆市、齐齐哈尔市、白城市、松原市

表1 松嫩平原各市农作物含水量与降水量（PRE）的关系

	线性方程	相关系数
松嫩平原	$EWT = 0.27PRE + 16.14$	0.627**
大庆	$EWT = 0.27PRE + 10.41$	0.640*
齐齐哈尔	$EWT = 0.18PRE + 18.63$	0.557*
绥化	$EWT = 0.17PRE + 23.58$	0.388
哈尔滨	$EWT = -0.02PRE + 46.18$	-0.039
黑河	$EWT = 0.06PRE + 26.57$	0.359
长春	$EWT = 0.14PRE + 31.85$	0.337
白城	$EWT = 0.19PRE + 6.11$	0.676*
松原	$EWT = 0.29PRE + 9.02$	0.785**
四平	$EWT = 0.21PRE + 24.43$	0.579*

注：\*， $p < 0.05$ ；\*\*， $p < 0.01$ 。下同。

及四平市的农作物含水量与降水量具有显著的正相关 ( $p < 0.05$ )；而松嫩平原东部的各市农作物含水量与降水量相关性较差，均未通过0.05显著性水平的检验。这可能暗示，降水量多的区域，农作物含水量并不受制于降水量；降水量少的区域，农作物含水量越受降水量多少的影响。

松嫩平原生长季内农作物含水量与生长季内平均气温具有负相关趋势 (表2)，但相关的显著性具有纬度地带性特征。在松嫩平原南部，大庆市、长春市、白城市、松原市及四平市农作物含水量与气温呈显著负相关 ( $p < 0.05$ )；而松嫩平原北部农作物含水量与气温的相关性较差。

表2 松嫩平原各市农作物含水量与气温 (TMP) 的关系

	线性方程	相关系数
松嫩平原	$EWT = -8.03TMP + 173.19$	-0.640**
大庆	$EWT = -9.42TMP + 195.69$	-0.725**
齐齐哈尔	$EWT = -5.65TMP + 123.58$	-0.475
绥化	$EWT = -5.43TMP + 126.92$	-0.371
哈尔滨	$EWT = -8.31TMP + 185.15$	-0.548
黑河	$EWT = -1.23TMP + 49.97$	-0.152
长春	$EWT = -11.11TMP + 242.63$	-0.723**
白城	$EWT = -5.11TMP + 110.86$	-0.667**
松原	$EWT = -8.91TMP + 192.86$	-0.813**
四平	$EWT = -9.75TMP + 222.09$	-0.687**

### 3.2.2 农作物含水量与粮食产量的关系

松嫩平原各市生长季农作物含水量与单位面积粮食产量均呈显著正相关关系 (表3)。农作物含水量每增长  $1\text{g}/\text{m}^2$ ，单位面积粮食产量增长幅度在  $1.31 \sim 3.76\text{kg}$  之间。其中，松原市最大，为  $3.20\text{kg}$ ；绥化市、四平市次之；长春市最少，为  $1.31\text{kg}$ 。

表3 农作物含水量与粮食产量的关系

	线性方程	相关系数
大庆	$Y = 2.31EWT - 30.62$	0.593*
齐齐哈尔	$Y = 2.16EWT - 33.38$	0.862**
绥化	$Y = 3.20EWT - 61.63$	0.863**
哈尔滨	$Y = 1.72EWT - 15.29$	0.829**
黑河	$Y = 2.07EWT - 43.29$	0.840**
长春	$Y = 1.31EWT + 13.31$	0.725**
白城	$Y = 2.20EWT + 4.41$	0.618**
松原	$Y = 3.76EWT - 44.20$	0.894**
四平	$Y = 2.33EWT - 12.26$	0.802**

注：Y为单位面积粮食产量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )。

## 4 结论

2000—2012年松嫩平原生长季农作物含水量呈显著增长趋势。生长季内，7—8月的农作物含水量较高。松嫩平原农作物含水量空间分布不均匀，东南部农作物含水量较大，西部农作物含水量变异系数大于东部。

降水量对松嫩平原各市农作物含水量均有一定的影响，且具有地域性。西部齐齐哈尔市、大庆市、白城市及松原市生长季农作物含水量与降水量的相关性较东部各市显著。气温对松嫩平原各市农作物含水量的影响具有纬度地带性。气温对纬度较低的白城市、松原市、大庆市、长春市及四平市的增长季农作物含水量影响大于纬度较高的黑河市、齐齐哈尔市、绥化市及哈尔滨市。松嫩平原各市生长季农作物含水量与单位面积粮食产量具有显著的相关性，粮食产量随农作物含水量的升高而增大。农作物含水量是影响粮食产量的重要因素。

松嫩平原农作物种类丰富，包括小麦、水稻、玉米、高粱、谷子为主的粮食作物及大豆、甜菜、亚麻为主的经济作物，各类作物的植被含水量也具有差异。本文总体研究了松嫩平原的农作物含水量，但对不同作物的植被含水量及其空间分布情况，仍然需要做进一步研究。

### 参考文献

- [1] 熊金国, 王立涛, 王世新, 等. 植被水分遥感监测处理系统的建立及应用. 计算机应用研究, 2009(5): 1819-1831.
- [2] 王洁, 徐瑞松, 马跃良, 等. 植被含水量的遥感反演方法及研究进展. 遥感信息, 2008(1): 100-105.
- [3] 韩晓勇. 基于MODIS和地表光谱的植被水分定量遥感研究. 西安: 长安大学硕士论文, 2009.
- [4] 郭文娟. 基于MODIS和地物光谱的华北地区作物水分定量遥感研究. 北京: 中国气象科学研究院硕士论文, 2006.
- [5] Robert A. Schowengerdt Remote Sensing-Models and Methods for Image Processing (second edition). Academic Press. 1997:357-387.
- [6] 张峰. 基于MODIS数据的浙江省旱情监测及其时空分析. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士论文, 2009.
- [7] 阿布都瓦斯提·吾拉木, 李召良, 秦其明, 等. 全覆盖植被冠层水分遥感监测的一种方法: 短波红外垂直失水指数. 地球科学, 2007(3): 957-965.
- [8] Ceccato P, Gobro N, Flasse S, et al. Designing a Spectral Index to Estimate Vegetation Water Content from Remote Sensing Data: Part 1, Theoretical approach. Remote Sensing of Environment, 2002, 82:188-197.
- [9] 刘敏. 基于MODIS数据的长白山地区植被水分动态变化研究. 长春: 东北师范大学硕士论文, 2010.
- [10] 张蓓, 王世新, 周艺, 等. 利用MODIS数据进行植被水监测的应用研究. 遥感信息, 2004:19-23.
- [11] 张蓓. 基于MODIS数据的植被水监测及其应用研究. 北京: 中科院遥感应用研究所硕士论文, 2004.
- [12] 于君明, 王世新, 周艺, 等. 农作物含水量的遥感反演. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2):210-213.
- [13] 王丽涛, 王世新, 周艺, 等. 基于多光谱数据的植被水分反演及其在旱情评估中的应用分析. 光谱学与光谱分析, 2010, 31(10): 2804-2808.
- [14] 王丽涛, 王世新, 周艺, 等. 旱情遥感监测研究进展与应用案例分析. 遥感学报, 2011, 15(6): 1315-1330.
- [15] 丁一. 基于MODIS数据和气象数据的植被水监测研究. 北京: 首都师范大学博士论文, 2011.
- [16] 李晓燕, 王宗明, 张柏, 等. 松嫩平原作物生产力地统计空间格局分析. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(1): 45-51.
- [17] Ceccato P, Flasse S, Gregoire M J, et al. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 2002, 82:198-207.