

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.07.030

土地利用变化对地下水位空间分布的影响

聂思雨^{1,2}, 孙晓庆^{1,2}, 卞建民^{1,2}

(1. 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学 地下水资源与环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130021)

摘 要: 为研究土地利用变化与地下水位的关系, 基于吉林西部大安市不同时期的遥感影像, 利用转移矩阵计算土地利用变化的转移量. 结合大安市地下水监测井数据及地统计学, 得到地下水位及土地利用类型空间分布图, 并分析了地下水位的时空变异特性及土地利用变化对地下水位影响. 结果表明: 地下水位变化呈明显的空间分布特征, 且人为因素对地下水位空间变化的影响比重增大; 该区土地利用类型存在剧烈的时空转换, 土地利用类型变化剧烈的地区均是地下水位急剧变化的区域, 说明土地利用类型的变化和地下水位空间分布存在正相关性.

关键词: 土地利用变化; 地下水位; 空间分布; 变化特征; 大安市

中图分类号: TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)07-1060-05

Impact of Land Use Changes on Spatial Distribution of Groundwater Level

NIE Si-yu^{1,2}, SUN Xiao-qing^{1,2}, BIAN Jian-min^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, China; 2. Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China. Corresponding author: BIAN Jian-min, professor, E-mail: bianjianmin@126.com)

Abstract: In order to study the relationship between land use changes and groundwater level, based on the TM (thematic mapper) image of Da'an city in the west of Jilin province, the transformation matrix of the land use was calculated. By using the groundwater level data observed from monitoring wells and the knowledge of geostatistics, the relationship between the land use changes and the groundwater levels was analyzed. Results show that the changing of groundwater level takes on an obvious spatial characteristic and the influence of human factors on the changing of groundwater level is gradually increased. The land use of Da'an city is dramatically changed in that if there is a rapid change of groundwater level, there is a rapid change of land use, which indicates there is a positive correlation between the land use and the spatial distribution of groundwater level.

Key words: land use changes; groundwater level; spatial distribution; variation characteristics; Da'an city

吉林省西部地处内陆干旱、湿润的东亚季风区, 是我国主要的农业基地之一. 地下水资源是农业灌溉的主要来源. 已有相关研究证明人类活动对地下水的影响越来越大^[1], 而农业开采是主要影响因子^[2]. 土地利用变化直接反映了引起环境变化的主要因子——人类活动, 在很大程度上改变了天然的水循环过程^[3-4]. 地下水作为水文循

环过程中的重要环节, 研究土地利用变化对地下水的影响, 对该区土地管理、水资源可持续利用均有重要意义. 目前, 相关研究表明不同的土地利用类型对典型区域的径流有显著影响^[5-7], 其通过影响径流而间接影响地下水位的动态变化. 部分学者对土地利用变化与地下水位的关系进行了研究^[8-9], 但大部分成果集中在岩溶区、绿洲区或是

收稿日期: 2016-01-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41072255); 吉林省自然科学基金资助项目(20150101116JC).

作者简介: 聂思雨(1989-), 女, 黑龙江大兴安岭人, 吉林大学博士研究生; 卞建民(1968-), 女, 吉林延边人, 吉林大学教授, 博士生导师.

更大流域尺度范围内,而以农业为主的中小城市和土地利用类型变化较快且生态环境相对脆弱的典型区域,地下水受到土地利用变化影响研究却很少。

本文以生态环境相对脆弱的大安市为研究区域,根据实测遥感数据、地统计学分析方法以及土地转移矩阵,探讨土地利用时空变化以及两者之间的作用过程及其内在联系,以揭示不断加剧的人类活动对脆弱的典型区域地下水产生的影响,研究结果对实现生态环境脆弱典型区域对地下水资源的合理开发利用具有指导意义。

1 研究区概况

大安市(123°08′45″~124°21′56″E, 44°57′00″~45°45′51″N)位于吉林省西北部,属于松嫩平原腹地,总幅员面积约为4 924 km²(见图1)。自新生代以来,大安市形成了分布稳定且具有分层结构的上下迭置的承压水层(组)盆地的特征。气候特征主要表现为春季干旱多风,夏季炎热雨水集中,秋季雨少,冬季严寒雪少,且多年平均降水量呈不显著增加趋势,蒸发量呈不显著减小趋势,年际变化不明显。

主要土地利用类型为农田、草地和盐碱地等。主要土壤类型有黑钙土、盐碱土、风沙土和沼泽土,草地和湿地盐碱化现象明显。该区地下水主要类型为孔隙潜水和孔隙承压水,地下水位埋藏浅,径流缓慢。排泄方式主要为人工开采。

随着农业及城镇化的不断发展,地下水开采量逐渐增加,地下水天然动态平衡遭到破坏,水资源问题突出。

2 研究方法

2.1 数据收集及处理

本文以研究区域的 Landsat TM 遥感影像作为数据源,选择了1989和2009年的影像数据,其空间分辨率为30 m×30 m。依据国家土地类型分类标准划分土地利用图斑,结合研究区土地利用现状,在1:250 000地形图的基础上提取不同时期研究区的土地利用类别,其中包括水田、旱田、林地、高覆盖草地(以下简称高草)、中覆盖草地(以下简称中草)、低覆盖草地(以下简称低草)、水体、滩地、居民用地、沙地、盐碱地和湿地等12类。

研究区浅层地下水位数据来源于1989和

2009年的地下水观测井年平均数据,监测井点分布均匀(图1),在此基础上结合地统计学分析方法获得地下水位的变异特征及其空间分布。

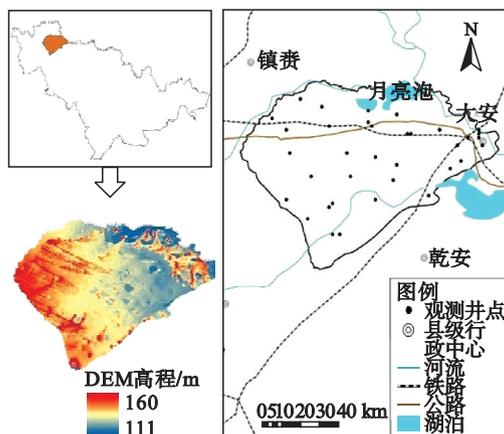


图1 研究区地理位置及观测井位置示意图
Fig. 1 Locations of the area studied and the groundwater observation wells

2.2 分析方法

2.2.1 土地利用转移矩阵

通过不同时期土地利用类型图的叠加,得出不同时期的土地利用类型变化转移量,需要构建土地利用转化动态模型,表达不同土地类型间的转化过程^[10],计算公式为

$$C_{i \times j} = 10A_{i \times j}^k + A_{i \times j}^{k+1}. \quad (1)$$

式中: $C_{i \times j}$ 为 k 时期到 $k+1$ 时期的土地利用类型变化图; $A_{i \times j}^k$ 为 k 时期的土地利用类型图; $A_{i \times j}^{k+1}$ 为 $k+1$ 时期的土地利用类型图; i 和 j 分别表示不同的土地利用类型。利用GIS软件将土地利用转移矩阵可视化,来表征不同土地利用类型转换特征。

2.2.2 空间变异分析

地统计学能够描述自然环境的空间变异规律,揭示自然环境的空间异质性和格局,其中最常用的地统计分析方法是半变异函数模型分析法。在一维条件下,当空间点 x 只在一维 x 轴上变化时,区域变化量 $Z(x)$ 在点 x 和 $x+h$ 的值 $Z(x)$ 与 $Z(x+h)$ 差的方差之半称为区域化变量 $Z(x)$ 的半变异函数,据其定义有

$$r(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x+h)]^2. \quad (2)$$

其中: $r(h)$ 为变异函数; h 为变程; $E[Z(x) - Z(x+h)]$ 表示抽样间隔为 h 时的样本方差的数学期望。基底效应($C_0/(C_0 + C)$)可以说明样本间的变异特征,如果该比值小于25%,代表区域变量的空间相关性较强;当该比值介于25%到75%之间,代表区域变量中等相关;当比值大于75%时,代表区域变量的空间相关性弱^[11]。

3 结果与分析

3.1 大安市土地利用时空变化分析

结合遥感影像数据,绘制了 1989 年及 2009 年的土地利用类型图(图 2)。

由图 2 可知,1989—2009 年,研究区的土地利用类型的空间变化明显.旱田耕地面积所占比例最大,南部地区盐碱地面积呈增加趋势.在西北部,滩地、水域及湿地斑块面积显著减少;而东部地区则表现为水域及中草面积减少,水田及盐碱地面积有少许的增加.由此说明,土地利用类型的空间转化主要表现在耕地、盐碱地面积的显著增加,湿地面积显著减少.然后基于式(1),利用 GIS 软件计算得出 1989 年到 2009 年的土地利用转移矩阵(表 1,表 2)。

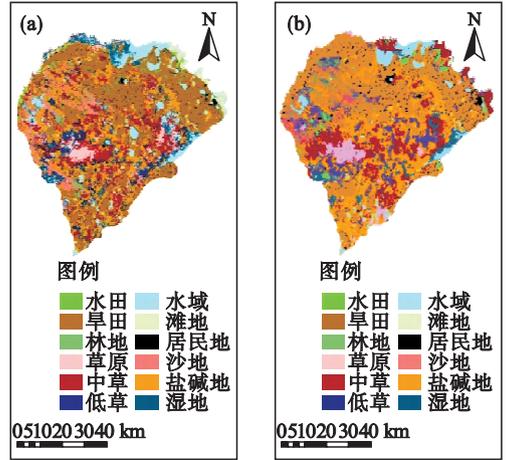


图 2 1989 年及 2009 年土地利用类型图
Fig. 2 Land use types in 1989 and 2009
(a)—1989 年; (b)—2009 年.

表 1 1989—2009 年土地转移矩阵
Table 1 Land transfer matrix in 1989—2009

2009 年土地利用类型	1989 年土地利用类型											
	水田	旱田	林地	草原	中草	低草	水域	滩地	居民点	沙地	盐碱地	湿地
水田	2.8	14.3	4.10	2.1	1.6	0.3	9.75	2.43	1.2	2.30	2.53	10.6
旱田	19.7	1 012	65.5	52.3	91.9	59.7	49.8	13.3	42.5	89.66	185.2	50.6
林地	0.2	32.7	21.8	3.23	6.75	7.90	4.94	0.28	1.3	39.30	22.15	3.57
草原	0.1	1.4	0.7	62.6	39.3	15.8	4.82	0.06	0.2	0.13	17.19	16.6
中草	1.5	23.79	3.4	52.66	95.6	54.0	58.9	41.5	1.2	1.62	87.14	52.0
低草	0.81	109.9	14.0	39.10	87.2	49.8	24.6	7.18	4.0	39.6	118.4	27.9
水域	0.23	10.55	2.3	4.7	8.33	7.29	166	4.09	2.19	3.11	43.43	31.9
滩地	0.28	0.28	0.0	0.0	0.04	0.02	1.23	3.61	0.03	0.00	0.08	0.01
居民点	0.46	62.00	5.1	2.3	2.31	1.49	2.73	2.61	20.4	2.68	13.29	0.88
沙地	0.33	26.22	13.2	3.7	9.89	8.41	5.73	0.98	0.39	44.3	26.09	2.02
盐碱地	0.60	98.77	7.3	33.0	148	181	54.0	0.67	7.62	19.7	565	33.2
湿地	0.11	2.06	0.7	18.2	8.85	8.42	29.1	0.01	0.22	3.26	18.15	51.9

表 2 1989—2009 年土地利用类型面积变化

Table 2 Change of land area of different types in 1989—2009

土地利用类型	水田	旱田	林地	草原	中草	低草	水域	滩地	居民点	沙地	盐碱地	湿地
1989 年	27.28	1 394.57	138.38	274.25	499.73	394.55	411.30	76.80	81.41	245.83	1 099.20	281.42
2009 年	54.3	1 732.9	144.3	159.1	473.8	522.8	283.7	5.7	116.3	141.4	1 149.5	141.0
变化值	26.98	338.3	5.94	-115.2	-25.98	128.21	-127.57	-71.14	34.91	-104.43	50.35	-140.38
变化率/%	0.99	0.24	0.04	-0.42	-0.05	0.32	-0.31	-0.93	0.43	-0.42	0.05	-0.50

由表 1,表 2 得出土地利用类型之间空间转移剧烈.截至 2009 年,面积增加最多的土地类型为旱田,增加了 338.3 km²,增长率为 24%;大部分土地类型如盐碱地、沙地、湿地、草地等同期向旱田净转化的面积都较为显著,盐碱地向旱田净转化面积(去除旱田转向盐碱地面积)最大,达到 86.45 km²,但同时有大量的草地衰退转化为盐碱

地,导致盐碱地面积整体增加;水田面积增加了 26.98 km²,水田面积增长率达到 99%,增长速度较快,其中由水域和湿地转化成水田的面积较大,转化的面积分别为 9.52,10.56 km²;居民地的增加也较为显著,面积增加了 34.91 km²,增长率达到 43%,主要来源于旱田的净转化,面积为 19.49 km²,说明在这期间,城镇扩张也较为明显;

主要的几种土地类型转化强度较高,时空变化显著。

3.2 大安市地下水位时空变异分析

空间异质性主要是由空间结构和随机因素两部分引起的。地下水位的变化量也同时具有空间结构及随机两个显著特征,其中,随机因素如灌排制度及方式、水利工程等易引起下垫面变化,空间结构因素如地形地貌、气象因素等自然因素,这两

种因素共同驱动着地下水位的空间相关性,但尺度不同。

本文以地统计学方法为基础,利用 Arcgis10.0 软件中 Geostatistical analysis 模块对大安市浅层地下水位数据进行了半变异函数建模、预测及验证,确定 1989 和 2009 年地下水位最佳半变异函数拟合模型(图 3),其半变异函数模型相关参数见表 3。

表 3 地下水位半变异函数及参数
Table 3 Half variation function of groundwater level and parameters

年份	理论模型	C_0	$C_0 + C$	$C_0 / (C_0 + C)$	变程 h/km	R^2
1989	高斯模型	0.12	0.149	0.058 4	36.12	0.962
2009	高斯模型	0.104	0.280	0.371 4	30.13	0.972

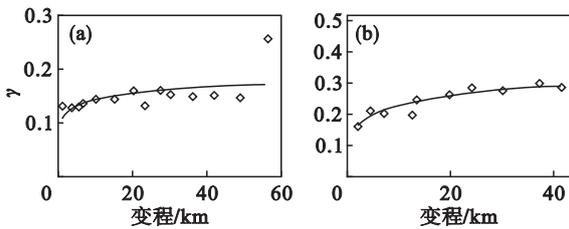


图 3 去除趋势地下水位空间变异函数的拟合函数
Fig. 3 Fitted variogram for the spatial analysis of groundwater level removed the tendency
(a)—1989 年; (b)—2009 年。

由表 3,图 3 可知,1989 年地下水位的块金值 C_0 为 0.12,2009 年块金值为 0.104;1989 年基底效应 $C_0 / (C_0 + C)$ 为 5.84%,2009 年升至 37.14%,经过交叉验证后的误差 R^2 分别为 0.962,0.972,拟合精度高,说明模型及参数的选定较为合理。根据区域变量的空间相关性程度分级标准可知,1989 年基底效应小于 25%,说明该变量空间相关性较强;2009 年基底效应介于 25% ~ 75% 之间,块金值随之增加,说明 2009 年比 1989 年空间相关程度弱,随机影响因素比重增加,即地下水位空间分布主要受人类活动的随机性因子影响较大,1989—2009 年变程减小,空间最大自相关距离减小,即随机变量影响的范围变小。因此,地下水位受人类活动等随机因素的影响在中小尺度范围内发生着剧烈的变化,地下水资源空间连续性变弱。根据半变异函数参数,并结合地统计学中的 Kriging 插值法,得到研究区地下水位的空间分布图(图 4)。

从图 4 中可知研究区地下水位空间分布的整体变化趋势,1989 ~ 2009 年期间,大安市地下水位埋深普遍呈增加趋势,局部地区水位升高,地下水位埋深升高较为明显的区域是南部地区,而研

究区中部地区由西向东的方向地下水位下降较为明显。

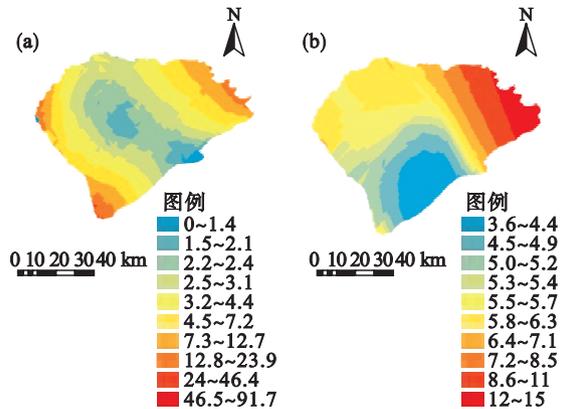


图 4 1989 和 2009 年地下水位空间分布图
Fig. 4 Spatial distribution of groundwater level in 1989 and 2009
(a)—1989 年; (b)—2009 年。

3.3 土地利用变化对地下水位空间变化的影响

为了更明确土地利用变化与地下水位间的关系,将 1989 年和 2009 年利用 GIS 插值的地下水位相减,得到了地下水位变化的分布图(图 5)。

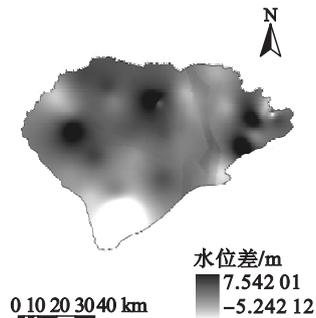


图 5 大安市 1989—2009 年地下水位空间分布变化
Fig. 5 Spatial distribution variation of groundwater level in Da'an during 1989—2009

由图 5 可知,研究区西部、北部及东部的地下水位呈下降趋势,下降最大幅度约 7.5 m;研究区南部的地下水位呈上升趋势,上升最大幅度约 5.2 m.

由图 6 可知,地下水灌溉面积以及开采量呈增加的趋势,到 2009 年地下水灌溉面积增加近 4.5 倍,研究区开采量增加了近 1 亿立方米,说明研究区灌溉面积的增加可能导致了开采量的增大.在此基础上,结合图 2 可知,研究区西部、北部及东部地区主要是草地、湿地,水域面积显著减少,旱田耕地面积在原来的基础上向四周增大,证实了耕地面积的增加,使得开采量的增大,导致地下水位显著下降;而在研究区的南部,盐碱地面积增加,草地面积减少,地下水水位呈显著上升趋势,这主要是地下水矿化度相近时,地下水水位越浅,其蒸发量越大,使得盐碱地面积增加.说明由人类活动引起的土地利用变化在影响地下水位变化的同时,地下水位也是土地利用类型变化的驱动因素.

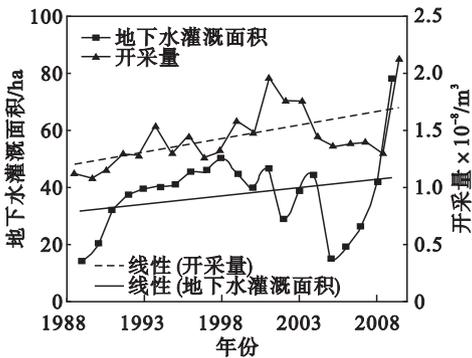


图 6 1989—2009 年大安市地下水利用情况
Fig. 6 Utilization of groundwater in Da'an city (1989—2009)

4 结 论

1) 大安市 1989—2009 年土地利用类型变化的主要特征表现在湿地退化明显,农业耕地、盐碱地面积增加显著.

2) 研究区随机(人为)因素对地下水位变化起着决定性的作用,空间相关最大,相关距离减小,即地下水位变量在中小尺度内发生变化,使得地下水空间连续性变弱.

3) 土地利用类型变化越剧烈的地区,其地下水位变化越明显,说明地下水位变化和土地利用

类型变化呈正相关性,且地下水位的变化反过来还会成为土地利用类型变化的驱动因素.

参考文献:

- [1] Zhang F, Jin Z D, Yu J M, et al. Hydrogeochemical processes between surface and groundwaters on the northeastern Chinese Loess Plateau; implications for water chemistry and environmental evolutions in semi-arid regions[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, 159: 115–128.
- [2] 张真真, 卞建民, 李天宇, 等. 大安市地下水动态变化趋势及驱动因素研究[J]. 水文, 2015(4): 91–96. (Zhang Zhen-zhen, Bian Jian-min, Li Tian-yu, et al. Analysis of variation trend and driving factors of groundwater dynamic in Da'an city[J]. *Journal of China Hydrology*, 2015(4): 91–96.)
- [3] Goderniaux P, Brouyère S, Wildemeersch S, et al. Uncertainty of climate change impact on groundwater reserves-application to a chalk aquifer[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 528: 108–121.
- [4] Sajikumar N, Remya R S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics [J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, 161: 460–468.
- [5] Li Q F, Cai T, Yu M X, et al. Investigation into the impacts of land-use change on runoff generation characteristics in the upper Huaihe river basin, China[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2013, 18(11): 1464–1470.
- [6] Jolly I D, McEwan K L, Holland K L. A review of groundwater-surface water interactions in arid/semi-arid wetlands and the consequences of salinity for wetland ecology [J]. *Ecohydrology*, 2008, 1(1): 43–58.
- [7] Ghaffari G, Keesstra S, Ghodousi J, et al. SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Zanjanrood Basin, Northwest Iran[J]. *Hydrological Processes*, 2010, 24(7): 892–903.
- [8] Xu Y Q, Mo X G, Cai Y L, et al. Analysis on groundwater level drawdown by land use and the quest for sustainable water use in the Hebei Plain in China[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 38–53.
- [9] Zheng X, Zhu J J, Yan Q L, et al. Effects of land use changes on the groundwater level and the decline of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations in southern Horqin Sandy Land, Northeast China[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 109: 94–106.
- [10] Monnikhof R A H, Edelenbos J, van der Hoeven F. The new underground planning map of the netherlands: a feasibility study of the possibilities of the use of underground space [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1999, 14(3): 341–347.
- [11] 王云强, 邵明安, 刘志鹏. 黄土高原区域尺度土壤水分空间变异性[J]. 水科学进展, 2012(3): 310–316. (Wang Yun-qiang, Shao Ming-an, Liu Zhi-peng. Spatial variability of soil moisture at a regional scale in the Loess Plateau[J]. *Advances in Water Science*, 2012(3): 310–316.)