J. Lake Sci.(湖泊科学), 2021, **33**(3): 727-736
DOI 10.18307/2021.0309
© 2021 by *Journal of Lake Sciences*

北方半干旱区土地利用/覆被变化对湖泊水质的影响:以岱海流域为例(2000－2018 年)*

梁　旭[1],刘华民[1,2,3],纪美辰[4],常　明[4],温　璐[1,2,3],于瑞宏[1,2,3],卓　义[1,2,3],王立新[1,2,3]**
(1:内蒙古大学生态与环境学院,呼和浩特 010021)
(2:草原生态安全省部共建协同创新中心,呼和浩特 010021)
(3:蒙古高原生态学与资源利用教育部重点实验室,呼和浩特 010021)
(4:中国环境科学研究院,流域水污染综合治理研究中心,北京 100012)

摘　要: 土地利用/覆被变化对明晰气候变化和人类活动对湖泊水环境的影响有重要作用. 以北方典型农牧交错的岱海流域为研究对象,基于遥感解译技术、马尔可夫转移矩阵、综合污染指数法等方法,对 2000－2018 年岱海流域土地利用/覆被和湖泊水质的变化进行分析,并结合冗余分析法和计量分析模型探究长时间序列尺度下土地利用/覆被变化对湖泊水质的影响. 结果表明:近 20 年来,岱海流域的土地利用/覆被类型以耕地和草地为主,其变化特征主要是草地和林地转化为耕地,水域转化为季节性河流,岱海转化为内陆滩涂、沼泽草地和灌丛沼泽;岱海湖泊水质因子高锰酸盐指数、五日生化需氧量、总磷和总氮浓度存在不同程度的超标现象;岱海、湿地、林地对水质具有积极的改善作用,耕地、草地、建设用地是加剧水质污染的主要原因. 该研究为岱海湖泊流域土地资源合理利用、湖泊水质改善和生态保护提供了一定的科学理论依据.
关键词: 岱海流域;土地利用/覆被变化;水质;马尔可夫转移矩阵;计量分析模型

Effects of land use/cover change on lake water quality in the semi-arid region of northern China: A case study in Lake Daihai Basin (2000–2018)*

Liang Xu[1], Liu Huamin[1,2,3], Ji Meichen[4], Chang Ming[4], Wen Lu[1,2,3], Yu Ruihong[1,2,3], Zhuo Yi[1,2,3] & Wang Lixin[1,2,3]**
(1: *College of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot* 010021, *P.R.China*)
(2: *Collaborative Innovation Center for Grassland Ecological Security* (*Jointly Supported by the Ministry of Education of China and Inner Mongolia Autonomous Region*), *Hohhot* 010021, *P.R.China*)
(3: *Ministry of Education Key Laboratory of Ecology and Resource Use of the Mongolian Plateau, Hohhot* 010021, *P.R.China*)
(4: *Basin Research Center for Water Pollution Control, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing* 100012, *P.R.China*)

Abstract: Land use/cover change plays an important role in clarifying the impacts of climate change and human activities on lake water environment. This paper takes Lake Daihai Basin, a typical agro-pastoral region in north China, as the research object and analyzes the changes of land use/cover and lake water quality in the Lake Daihai Basin from 2000 to 2008, which is based on remote sensing interpretation technology, Markov transfer matrix, and comprehensive pollution index method. At the same time, the method of redundant analysis and econometric analysis model are used to further reveal the impact of land use/cover area change on lake water quality under long-term time scales. The results show that the land use/cover type in the Lake Daihai Basin is dominated

* 2020-06-30 收稿;2020-09-15 收修改稿.
内蒙古科技重大专项(ZDZX2018054)、国家自然科学基金项目(31560146、31960249)和内蒙古科技计划项目(201802100)联合资助.
** 通信作者;E-mail:Lxwimu@foxmail.com.

by cultivated land and grassland in the past 20 years. The characteristics of their changes are mainly the conversion of grassland and woodland to cultivated land, the waters to seasonal rivers, and Lake Daihai to inland beaches, marshy grasslands, and thickets of swamps, respectively. The water quality factors including COD_{Mn}, BOD_5, total phosphorus and total nitrogen have different degrees of exceeding the standard in Lake Daihai. Moreover, Lake Daihai, wetland, and forestland play a positive role in improving water quality and cultivated land, grassland, and construction land are the main reasons for aggravating water pollution. This research provides some scientific theoretical basis for rational utilization of land resources of Lake Daihai Basin, improvement of lake water quality, and ecological protection.

Keywords: Lake Daihai Basin; land use/cover change; water quality; Markov transfer matrix; econometric analysis model

土地利用/覆被变化(LUCC)是人类活动和自然要素共同作用的直接结果,被国内外众多学者认为是引起全球环境变化的主要原因之一[1-2]. 以往的研究主要集中在 LUCC 的时空格局变化与过程[3]、驱动力与驱动机制[4]以及模拟与预测的研究[5],对其引发的水环境效应研究相对较少[6]. 水是人类生活与生产赖以生存的关键要素,近年来,发展中国家的水资源愈发匮乏[7],与此同时这些地区因发展需要,土地利用类型变化显著,在中国北方干旱半干旱地区尤为明显,土地利用/覆被变化与水体水质的关系受到越来越多学者的关注. 前期研究发现[8-9]人为因素驱动的土地利用方式能够通过复杂的途径对地表水质造成影响,流域尺度下 LUCC 对湖泊水质质量有重要作用[10-13]. Tong 等[14]对俄亥俄州的所有流域研究证明,土地利用类型与不同水质指标之间存在显著相关性. 杨琴等[15]对淮河流域的土地利用类型和水质的关系研究表明,林地、草地和水域能够缓解水污染,旱地与城镇用地是造成水污染的主要原因. 郭青海等[16]对武汉 4 个湖泊进行分析认为,城市用地、农村用地和滩地对湖泊水质影响最大. 可见流域土地利用/覆被变化会相应地影响湖泊以及河流水质的变化.

农牧交错带是中国北方农业和牧业不同生产方式分布的过渡地带,因其具有很强的过渡性和波动性,生态环境容易受到气候变化和人类活动破坏. 高廷等和周德成等[17-18]通过对北方农牧交错带的土地利用/覆被变化的研究,发现影响其变化的主要因素是气候变暖和国家实施的生态环境建设工程等. 岱海流域属于典型的农牧交错流域,既是中国北方生态安全屏障的重要组成部分,也是国家重要的湖泊湿地之一. 岱海四周环山,地势低洼,是周边山地和地下水的汇合场所,不仅具有接纳地表径流和洪水的功能,同时对附近居民生活和牲畜饮水安全有重要意义. 近 20 年来,随着全球气候变暖和人类活动影响,导致湖泊面积不断萎缩,湿地面积逐渐减少,盐碱化程度加剧,湖泊水质持续恶化[19]. 目前,针对岱海水污染的研究主要集中在主湖区小尺度上[20-21],基于流域尺度的土地利用/覆被变化对水质的影响较少提及. 本文以岱海流域为研究对象,分析 2000－2018 年土地利用/覆被和水质变化特征,并探究长时间序列尺度下土地利用/覆被变化对湖泊水质的影响,为岱海流域大空间水污染综合治理提供参考依据,为以改善水质为目标的流域土地资源管理及优化配置提供理论支撑.

1 材料和方法

1.1 研究区概况

岱海流域(40°11′~40°48′N,112°16′~112°59′E)总面积 2341.67 km^2,是内蒙古东部边缘的一个典型内陆封闭式湖泊流域(图 1),位于典型农牧交错带. 该流域四处环山,东邻丰镇丘陵,南部为马头山,北部为蛮汗山,共有 22 条季节性河流汇入岱海进行补给,较大的有弓坝河、天成河、苜花河,但在旱季也会出现断流. 岱海湿地被列入《中国湿地保护行动计划》的 179 块国家重要湿地之一,同时也是自治区级湖泊湿地自然保护区[22-24].

1.2 数据来源

1.2.1 遥感数据　遥感数据来源于美国地质勘探局 USGS(https://earthexplorer.usgs.gov/),采用岱海流域 2000、2005、2009、2014 和 2018 年共 5 期 Landsat TM/DEM 遥感影像,成像时间分别为 2000 年 7 月 1 日、2005 年 9 月 25 日、2009 年 8 月 10 日、2014 年 8 月 24 日和 2018 年 9 月 20 日,云量小于 10%,分辨率为 30 m×30 m. 覆盖岱海流域范围是 WRS_PATH 为 126,WRS_ROW 为 32 的影像. 以 2000 年作为本研究的背景值.

1.2.2 水质数据　水质数据来源于 2000－2018 年与遥感影像相对应的 7－9 月 5 个主要入湖口附近的水质

监测点(图 1),每个样点每月采取一次水样. 本文主要选取溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD_5)、总氮(TN)和总磷(TP)共 5 个代表性水质指标进行分析. 采集的水样分别按照《溶解氧的测定—碘量法》(GB 7489－1987)、《高锰酸钾氧化法》(GB 11892－1989)、《五日生化需氧量(BOD_5)的测定》(GB 7488－1987)、《总氮的测定—碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(GB 11894－1989)和《总磷的测定—钼酸铵分光光度法》(GB 11893－1989)的标准进行测定.

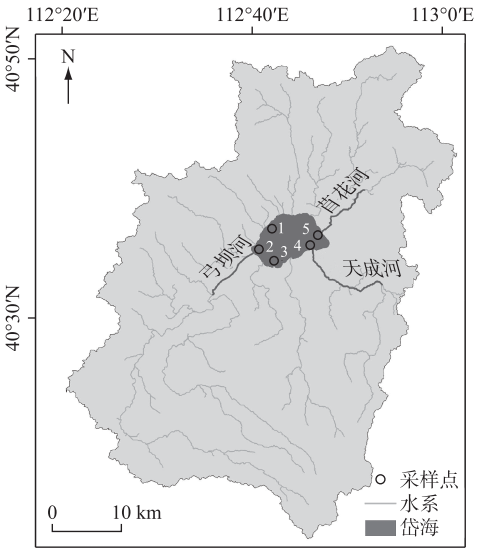


图 1 研究区地理位置及采样点分布

Fig.1 Geographical location and sampling sites distribution of the study area

1.3 研究方法

1.3.1 遥感影像解译　将研究区每期遥感影像从 ASTER GDEM 高程数据中提取流域边界[25],利用 ENVI 软件进行大气校正和辐射定标预处理[13],然后通过易康(eCognition)软件中的 MRS 分类方式对其进行分类,并根据目视解译方式对分类结果进行分类和修正[26],最后依据《土地利用现状分类》(GB 21010－2017)中的分类标准和岱海流域的实际情况进行分类,主要分为耕地、天然林地、人工林地、天然草地、人工草地、建设用地、水域、未利用地,以及 5 种湿地土地类型(岱海、灌丛沼泽、沼泽草地、季节性河流和内陆滩涂). 本文所指水域主要包括河道明水区、水库、坑塘水面、水工建筑用地等.

1.3.2 马尔可夫转移矩阵　马尔可夫(Markov)模型被用来描述各种土地类型面积之间的转化情况,并且指出不同土地类型的转移方向[27]. 本研究使用马尔可夫模型定量分析岱海流域土地类型面积的变化情况以及各土地利用类型的转移方向. 式(1)为马尔可夫转移矩阵.

$$P_{ij}=\begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中,P_{ij}表示在某时间段内初期某种土地类型转变为末期某种土地类型的面积,N 为土地利用类型总数.

1.3.3 水质综合污染指数法　采用综合污染指数法评价岱海湖泊不同水质污染指标的总体污染状况[28-29]. 计算公式为:

$$P=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_i}{n} \tag{2}$$

$$P_i=\frac{C_i}{S_i} \tag{3}$$

式中,P 为综合污染指数;n 为参加评价的污染物指标项数;P_i为 i 污染物的综合污染指数;C_i为第 i 项污染物实测年均值,mg/L;S_i为第 i 项污染物的水质标准值,mg/L. 具体参见《地表水环境质量标准》(GB 3838－2002)中的Ⅲ类水质标准限值. 综合污染指数对应的水质分级如下:$P\leqslant0.25$,清洁;$0.25<P\leqslant0.40$,较清洁;$0.40<P\leqslant0.50$,轻度污染;$0.50<P\leqslant1.00$,中度污染;$P\geqslant1.00$,重度污染.

1.3.4 冗余分析　本研究以 2000、2005、2009、2014、2018 年岱海的水质指标为物种,以其对应的土地利用面积占比为环境因子,使用 Canoco 5.0 软件分析土地利用变化和水质指标的关系[30-31]. 对土地类型数据进行一级分类,将天然草地和人工草地、天然林地和人工林地分别进行合并,为突出岱海和湿地(灌丛沼泽、沼泽草地、季节性河流和内陆滩涂)的影响进行单独分析.

1.3.5 计量分析模型　本文采用指数模型进一步揭示长序列时间尺度下湖泊流域土地利用/覆被面积变化对不同水质因子的影响,并建立计量分析模型[32]:

$$NPS = \alpha \cdot \exp(\beta_1 \cdot gd + \cdots + \beta_6 \cdot sd) \quad (4)$$

式中,*NPS* 表示水质指标;α 为常数;β_1~β_6表示各土地类型面积比例与水质指标的相关性系数,其中 β_i值为正数时,表明此土地利用类型对水质产生正面影响;β_i值为负数时,则表明此土地利用类型对水质产生负面影响. *gd* 代表耕地,*ld* 代表林地,*cd* 代表草地,*jsyd* 代表建设用地,*dhh* 代表岱海,*sd* 代表湿地. 运用 python 编程软件对数据进行回归分析.

2 结果与分析

2.1 土地利用/覆被变化特征

2.1.1 土地面积变化特征　通过遥感解译的研究方法获得 2000、2005、2009、2014 和 2018 年岱海流域土地利用分类结果(图 2). 2000－2018 年岱海流域土地利用类型以耕地和天然草地为主,两者面积之和占流域总面积的 61.28%~67.91%,其中耕地面积占比最大(30.87%~45.88%),未利用地面积(0.30%~0.46%)和水域面积(0.17%~0.94%)占比较小. 耕地主要分布在流域中部的河滩区域;草地和林地(含天然和人工)主要分布在流域的上游;建设用地主要散布在岱海的四周. 2000－2018 年,流域内面积增加的土地类型主要是耕地、建设用地和人工林地,分别增加了 15.01%、2.29% 和 2.25%;面积减少的主要是天然草地、人工草地和天然林地,分别减少了 10.82%、0.29% 和 4.95%;岱海面积萎缩严重,面积减少了 1.49%,仅为 2000 年面积的一半. 可见,近 20 年岱海流域土地利用变化特征,主要是耕地、建设用地和人工林地面积的增加以及天然草地、人工草地、天然林地和岱海面积的减少.

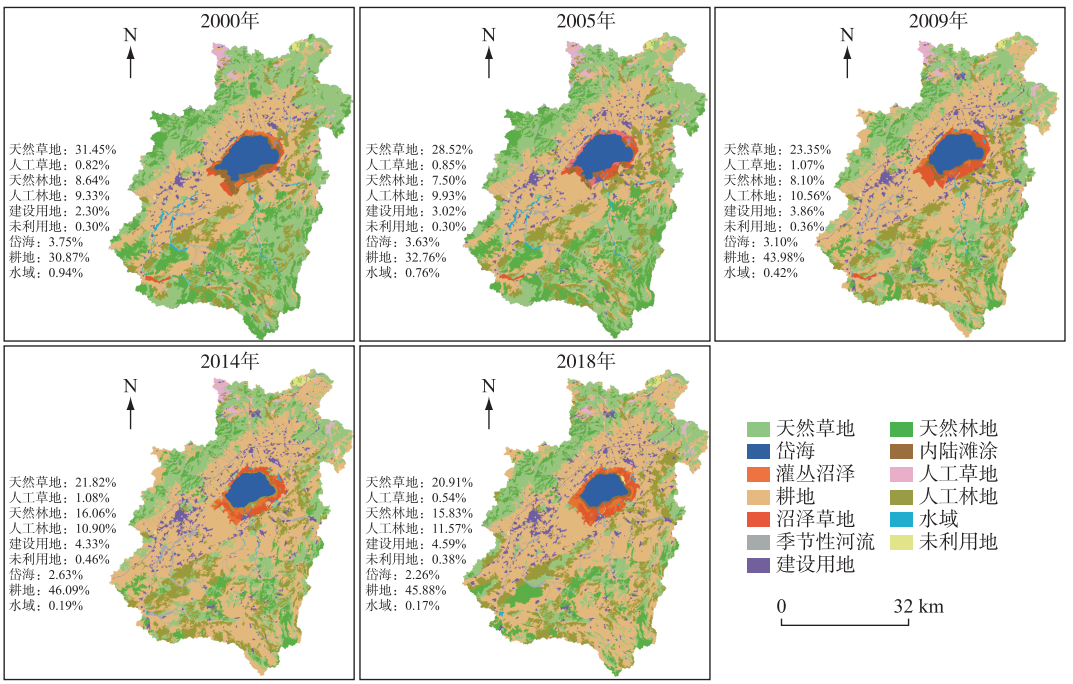


图 2 岱海流域 2000－2018 年土地利用分类

Fig.2 Land use classification of Lake Daihai Basin from 2000 to 2018

2.1.2 土地转移变化特征　对岱海流域不同时期的土地利用/覆被变化进行动态监测得到马尔可夫转移矩阵表(附表Ⅰ~Ⅳ)可知,2000－2018 年岱海流域土地利用/覆被变化明显,耕地一直呈逐渐增加趋势,而在 2014—2018 年转变为减少趋势,减少的耕地主要转化为天然草地(4.16%)和人工林地(3.23%),这是因为 2014 年岱海被国家列入规划保护的 365 个好湖泊之一,有关部门在岱海周边造林绿化,并实施“退耕还湿”和“退耕还林还草”政策;天然林地的变化受人为因素影响最大,主要在耕地、天然草地和人工林地之间相互

转移;人工林地在 2005 年之前主要由耕地转化,2005 年以后由天然林地转化,转移速率分别为 5.53%、7.16% 和 8.65%;人工草地在 2014－2018 年变化最明显,主要转化为耕地(23.68%)和天然草地(23.26%);天然草地呈逐年减少趋势,主要转化为耕地,4 个时期的转移速率分别为 8.24%、18.77%、7.03% 和 9.76%,这主要是因为流域内人口的增加和城镇化发展的推动,大量的天然草地被开垦为耕地;建设用地一直呈高开发状态,其增加量为 2000 年的一倍,原因是自 2000 年以来,岱海大力发展工农业、养殖业和旅游业,岱海周围新建了岱海电厂、养殖场等[20];水域一直呈减少趋势,主要转化为季节性河流,可能是由于全球变暖气温升高导致蒸发量升高、流域降水量下降以及人口增加导致人类活动对岱海水资源利用强度变大[33-34]. 未利用地呈增加趋势,主要由岱海(1.16%)和内陆滩涂(0.77%)转化而来;5 种湿地类型整体呈减少趋势,主要表现为岱海向内陆滩涂、灌丛沼泽和沼泽草地转化,这是因为政府近些年加大岱海湿地保护推行"两节两补两恢复"等措施,湖水萎缩露出的一部分裸地和内陆滩涂逐渐转变为沼泽草地和灌丛沼泽[35].

2.2 湖泊水质变化特征

2.2.1 水质因子变化特征　本文用岱海 5 个水质监测站点 7－9 月的平均值反映水质因子年际变化特征(图 3). 2000－2018 年 DO 浓度总体呈下降趋势,在 3.77~9.13 mg/L 之间波动,2000－2009 年整体呈减少趋势,而在 2014－2018 年转变为增加趋势,水环境质量逐渐转好,可达到地表水水环境Ⅱ类标准. COD_{Mn} 在 2000－2018 年呈整体增加趋势,变化范围为 7.50~15.84 mg/L,在第 1 阶段 2000－2005 年呈减少趋势,在 2005－2014 年呈增加趋势,进入第 4 阶段 2014－2018 年转变为减少趋势,地表水环境质量由劣Ⅴ类水向Ⅴ类水转变(超标 0.95~1.64 倍). BOD_5 与 COD_{Mn} 的变化趋势基本一致,其值在 1.05~11.82 mg/L 之间,变化幅度最大,在 2000－2005 年地表水水环境质量属于Ⅰ类水,近 20 年来水污染不断加剧,虽然在 2014 年以后有所改善,但目前仍为Ⅴ类水(超标 0.74~1.27 倍). TN 浓度在 2000－2018 年整体呈减少趋势,在 0.51~1.95 mg/L 之间变化,说明岱海虽有所治理,但目前的污染状况依旧不乐观,仍处于地表水环境质量的Ⅴ类水标准(超标 0.03~0.56 倍). TP 浓度在 2000－2018 年整体呈增加趋势,变化范围为 0.03~1.05 mg/L,在 2000－2009 年呈减少趋势,之后转变为增加趋势,水环境质量处于劣Ⅴ类标准(超标 1.9~3.1 倍). 综上所述,近 20 年来,岱海水体污染严重,水质因子 COD_{Mn}、BOD_5、TN 和 TP 存在不同程度的超标,湖泊水环境质量问题亟待解决.

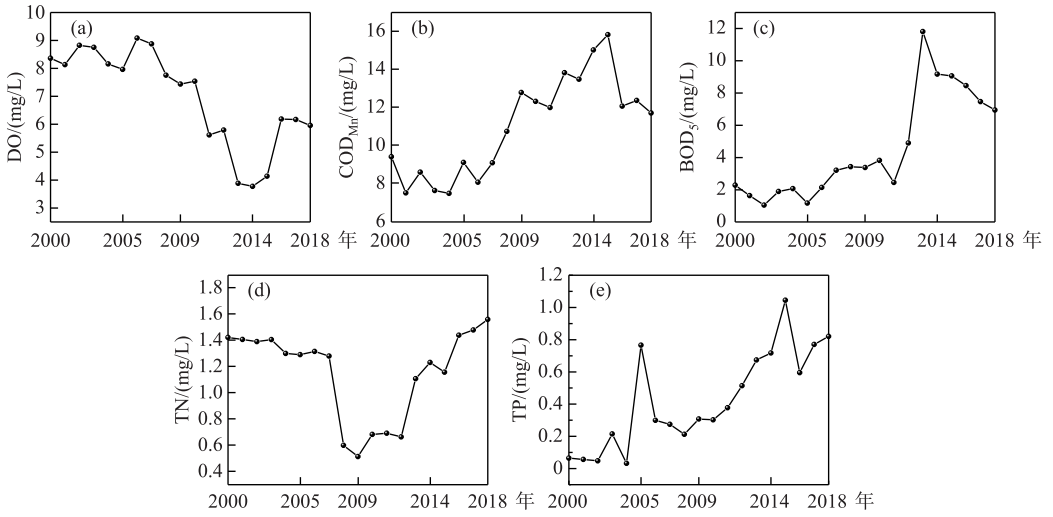


图 3 岱海 2000－2018 年水质因子年际变化特征

Fig.3 Interannual variation characteristics of water quality parameters in Lake Daihai from 2000 to 2018

2.2.2 水质综合污染变化特征　为综合评价岱海近 20 年的水质污染变化情况,本文采用水质综合污染指数法计算岱海湖泊各年综合污染指数(P 值),并绘制水质随时间的变化曲线(图 4). 近 20 年岱海湖泊水质变化经历了缓慢污染,污染相持,快速污染和污染改善 4 个阶段. 在第 1 阶段(2000－2005 年),污染指数 P 值

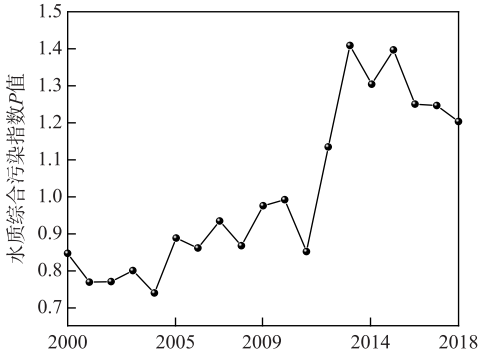


图 4 岱海 2000－2018 年 P 值变化趋势

Fig.4 The P value trend of the water quality of Lake Daihai from 2000 to 2018

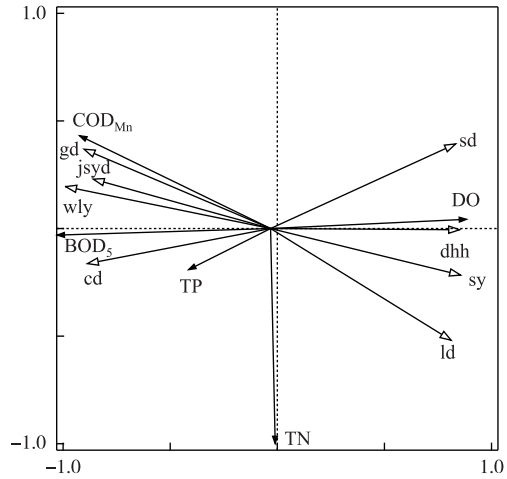


图 5 岱海不同水质因子冗余分析

(gd:耕地,ld:林地,cd:草地,jsyd:建设用地,sy:水域,wly 未利用地,dhh:岱海;sd:湿地)

Fig.5 Redundant analysis of different water quality factors in Lake Daihai

范围在 0.74 ~ 0.89 之间,变化幅度较小,变化率为 0.8%,水质处于缓慢污染阶段. 在 2005 年由中度污染转变为重度污染,之后污染一直持续到 2009 年,P 值呈锯齿状稳定变化(污染相持阶段). 而在 2009－2014 年,P 值在 0.85 ~ 1.41 之间剧烈变化,变化率为 5.5%,水质处于快速增加阶段. 相反,在第 4 阶段(2014－2018 年)岱海水环境状况开始转变,逐渐进入污染改善阶段.

2.3 土地利用/覆被变化与湖泊水质的关系

2.3.1 冗余分析　为研究湖泊水质因子受土地利用因素的影响程度,进行冗余分析(图 5). 水质和土地利用类型前两个排序轴相关系数均良好,特征根分别为 0.8638 和 0.1032,模型满足显著性条件,效果理想. 结果显示:DO 浓度与岱海、水域、林地、湿地呈正相关,与耕地、建设用地、未利用地呈负相关;COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度与耕地、建设用地、未利用地呈正相关,与岱海、湿地、水域、草地、林地呈负相关;TN 浓度与林地、草地、水域、岱海呈正相关,与未利用地、建设用地、耕地、湿地呈负相关. 因此,可以通过减少对岱海、水域、草地和林地的过度开采和使用,严格限制岱海流域内耕地和建设用地的新开发,继续通过恢复岱海周边湿地保护区等措施改善岱海水环境质量.

2.3.2 计量分析模型　通过对岱海湖泊水质指标进行多元回归分析,建立地类—湖泊水质模型. 模型呈现的相关性与冗余分析基本一致,表明 LUCC 对湖泊水环境有一定影响,且整体影响较强,结果如表 1 所示.

从岱海流域 2000－2018 年地类—湖泊分析模型的结果可以得出:

1)草地与水质污染指标 COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度呈正相关,与水质净化指标 DO 浓度呈正相关. 说明草地作为一种植被具有水源涵养和水质净化的效果,但是一定区域草地面积的占比对水质恶化具有一定的关系,这与 Ahearn 等[36] 和 Xiao 等的[37] 研究结果相似. 一方面岱海流域内粗放的放牧方式导致草地被大面积围垦对湖泊水质产生影响;另一方面流域内的草地一直呈逐渐减少状态,造成水土流失,对水质影响较大. 耕地和建设用地与污染指标 COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度呈正相关,说明两种土地利用类型均对湖泊水质质量产生负面影响. 其中耕地是岱海流域面积分布最广的地类,占流域总面积的 30.87% ~45.88%,且呈逐年增加趋势,有研究表明[38] 耕地面积越大,对湖泊水质产生负面影响越明显. 流域内耕地多采用单一作物模式,以种植高耗水高耗肥的玉米和马铃薯为主,种植施用的有机化肥和化学农药易在土壤中富集,耕地几乎平均散落在河道周围(图 2),造成降雨时污染物易随地表径流直接进入湖泊,对湖泊水质产生负面影响[39]. 同时,城镇化推动下建设用地的增加也是水质恶化的主要原因. 流域内不透水地面的比例增大,使暴雨时期的城镇地区丧失了植被对污染物的截留、吸收作用[40],导致居民生活、畜牧业养殖、旅游业发展等产生的污水通过不透水地面短时间内汇入河道或直排岱海[41],造成水中有机物和营养盐含量增加,湖泊水质持续下降,这与已有研究结果[31-32] 完全吻合.

表 1 岱海流域 2000－2018 年地类—湖泊水质模型

Tab.1 Terrain-lake water quality model of Lake Daihai Basin from 2000 to 2018

回归分析	R^2	P	n
ln(DO) = 18.50−2.11gd+0.15ld+1.44cd−1.32jsyd+1.03dhh+4.74sd	0.69	0.006	5
$\ln(COD_{Mn})$ = 7.89+1.16gd−1.67ld+0.45cd+0.04jsyd−0.08dhh−2.39sd	0.89	<0.001	5
$\ln(BOD_5)$ = −22.01+2.53gd−0.29ld+1.74cd+0.66jsyd−0.80dhh−4.93sd	0.86	<0.001	5
ln(TP) = 0.20+0.06gd−4.71ld+4.39cd+2.24jsyd−0.48dhh−2.25sd	0.87	<0.001	5

2)林地与污染指标 COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度呈负相关,说明岱海林地面积的增加一定程度上抑制了水体污染,对水质产生了积极的影响,林地冠层下土壤层具有涵养水源、保持水土流失、截留降解水质污染物的作用[42-44]. 湿地与污染指标 COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度呈负相关. 多数研究表明[45-46],流域内一定面积和数量的湿地,能够通过截留水分、沉积物质和营养物质而减少入湖污染物量,李兆富等[47]通过对天目湖湿地进行研究发现湿地具有很高的降解污染的功能. 近年来岱海管理部门加大对岱海湿地的保护,开展了岱海水生态综合治理工程,通过湖滨带湿地恢复等措施恢复已破坏的湿地,对湖泊水质改善产生了一定的积极效应. 岱海与污染指标 COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度呈负相关,与水质净化指标 DO 浓度呈正相关. 说明岱海对水体中的污染物具有稀释净化的作用,且净化过程中 DO 浓度不断增大. 岱海面积的不断萎缩,是造成湖泊水质恶化的主要原因[48]. 岱海是农牧交错带尾闾湖,湖泊没有出流且入流方式主要为流域内降水以及地下水补给[49]. 近 20 年来,随着周边工业和农业的兴起,用水量不断增加导致岱海水位持续下降,流域内最大的工业用水户岱海电厂自 2005 年投入运营以来,原有的湿冷燃煤机使用岱海湖水作为冷却水,导致湖面水温升高,全年蒸发量加大;另外,岱海周边耕地多通过机电井抽取地下水的灌溉方式,造成地下水的过量开采,减少了入湖水量[33]. 随着全球气候变暖,流域内降水量小于消耗量,且周边补给河流逐渐变成季节性河流,岱海补给量严重不足,使湖泊面积不断萎缩,水环境恶化加剧.

3 结论

1)岱海流域土地利用类型以耕地和草地为主,两者面积之和占流域面积的 60% 以上. 2000－2018 年间土地利用/覆被变化明显,主要表现为耕地、建设用地和人工林地面积的增加,天然林地、天然草地、人工草地和岱海面积的减少. 结合马尔可夫矩阵发现,草地和林地(含天然和人工)主要转化为耕地,耕地主要转化为建设用地,水域转化成季节性河流,岱海向内陆滩涂、灌丛沼泽和沼泽草地不断转化.

2)近 20 年来,岱海水质污染严重,COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度存在不同程度的超标. 结合综合水质评价指数 P 值可知岱海 2000－2018 年间水质变化主要经历了缓慢污染、污染相持、快速污染和污染改善 4 个阶段,水质污染在 2005 年由中度污染转向重度污染,而在 2014－2018 年逐渐进入水质改善阶段.

3)通过冗余分析和地类—湖泊水质模型进一步证实,在长时间序列尺度下岱海流域的岱海、湿地、林地与 DO 浓度呈正相关,与水质污染指标(COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度)呈负相关,对水质改善有积极作用;耕地、草地和建设用地与水质污染指标(COD_{Mn}、BOD_5、TP 浓度)呈正相关,对水质产生负面影响.

4 附录

附表Ⅰ~Ⅳ见电子版(DOI: 10.18307/2021.0309).

5 参考文献

[1] Turner BL. Local faces, global flows: The role of land use and land cover in global environmental change. *Land Degradation and Development*, 1994, **5**(2): 71-78. DOI: 10.1002/ldr.3400050204.

[2] Li XB. A review of the international researches on land use/land cover change. *Acta Geographica Sinica*, 1996, **51**(6): 553-558. DOI: 10.11821/xb199606009. [李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, **51**(6): 553-558.]

[3] Dewan AM, Yamaguchi Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to pro-

mote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 2009, **29**(3): 390-401. DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.12.005.

[4] Lambin EF, Turner BL, Geist HJ *et al*. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 2001, **11**(4): 261-269. DOI: 10.1016/s0959-3780(01)00007-3.

[5] Tan RH, Liu YL, Zhou KH *et al*. A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, **49**: 15-29. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.09.001.

[6] Yan WJ, Chen FX. Pollution characteristics of surface water runoff from various types of land use in the Lake Chaohu Basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1998, **7**(3): 274-277. [阎伍玖, 陈飞星. 巢湖流域不同土地利用类型地表径流污染特征研究. 长江流域资源与环境, 1998, **7**(3): 274-277.]

[7] Li RR, Zou ZH, An Y. Water quality assessment in Qu River based on fuzzy water pollution index method. *Journal of Environmental Sciences*, 2016, **50**: 87-92. DOI: 10.1016/j.jes.2016.03.030.

[8] Xiang S, Wan L, Pang Y. Spatial-temporal variation of inflow river water quality under land use effect. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, **39**(1): 160-170. [项颂, 万玲, 庞燕. 土地利用驱动下洱海流域入湖河流水质时空分布规律. 农业环境科学学报, 2020, **39**(1): 160-170.]

[9] Xiang S, Pang Y, Chu ZS *et al*. Response of inflow water quality to land use pattern in northern watershed of Lake Erhai. *Environmental Science*, 2016, **37**(8): 2947-2956. DOI: 10.13227/j.hjkx.2016.08.016. [项颂, 庞燕, 储昭升等. 入湖河流水质对土地利用时空格局的响应研究:以洱海北部流域为例. 环境科学, 2016, **37**(8): 2947-2956.]

[10] Nielsen A, Trolle D, Søndergaard M *et al*. Watershed land use effects on lake water quality in Denmark. *Ecological Applications*, 2012, **22**(4): 1187-1200. DOI: 10.1890/11-1831.1.

[11] Bu HM, Meng W, Zhang Y *et al*. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecological Indicators*, 2014, **41**: 187-197. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.02.003.

[12] Ding J, Jiang Y, Liu Q *et al*. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the Total Environment*, 2016, **551/552**: 205-216. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.162.

[13] Chen X, Zhou WQ, Pickett S *et al*. Spatial-temporal variations of water quality and its relationship to land use and land cover in Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, **13**(5): 449. DOI: 10.3390/ijerph13050449.

[14] Tong STY, Chen WL. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, 2002, **66**(4): 377-393. DOI: 10.1006/jema.2002.0593.

[15] Yang Q, Tang QH, Zhang YY. Spatiotemporal changes of water quality inHuai River Basin (Henan Section) and its correlation with land use patterns. *Research of Environmental Sciences*, 2019, **32**(9): 1519-1530. [杨琴, 汤秋鸿, 张永勇. 淮河流域(河南段)水质时空变化特征及其与土地利用类型的关系. 环境科学研究, 2019, **32**(9): 1519-1530.]

[16] Guo QH, Ma KM, Zhang Y. Impact of land use pattern on lake water quality in urban region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(2): 228-239. [郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响. 生态学报, 2009, **29**(2): 228-239.]

[17] Gao T, Wang JG, Li R *et al*. Land use change and prediction for ecotone between agriculture and animal raising in Northern China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, **25**(10): 52-57. [高廷, 王静爱, 李睿等. 中国北方农牧交错带土地利用变化及预测分析. 干旱区资源与环境, 2011, **25**(10): 52-57.]

[18] Zhou DC, Zhao SQ, Zhu C. The impact of the grain for green project on the land use/cover change in the northern farming-pastoralecotone, China—A case study of Kezuohouqi County. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, **32**(4): 442-449. [周德成, 赵淑清, 朱超. 退耕还林还草工程对中国北方农牧交错区土地利用/覆被变化的影响——以科尔沁左翼后旗为例. 地理科学, 2012, **32**(4): 442-449.]

[19] Zhou YK, Jiang JH, Huang Q *et al*. Water quality analysis and assessment of Daihai Lake in Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, **20**(6): 74-77. [周云凯, 姜加虎, 黄群. 内蒙古岱海水质现状分析与评价. 干旱区资源与环境, 2006, **20**(6): 74-77.]

[20] Chen HY, An LJ, Zhang JL. Characteristics of water surface area evolution and correlation analysis with meteorological factors inBohai Lake. *Environmental Science and Management*, 2018, **43**(12): 62-65. [陈海英, 安莉娟, 张锦龙. 岱海湖水面面积演变特征及与气象因子关联度分析研究. 环境科学与管理, 2018, **43**(12): 62-65.]

[21] Zhou YK, Iang JH, Huang Q *et al*. Analysis on the trophic status of the Daihai Lake in Inner Mongolia. *Arid Land Geography*, 2006, **29**(1): 42-46. [周云凯, 姜加虎, 黄群等. 内蒙古岱海水体营养状况分析. 干旱区地理, 2006, **29**(1): 42-46.]

[22] Chen JS, Ji BC, Liu Z *et al*. Isotopic and hydro-chemical evidence on the origin of groundwater through deep-circulation ways in Lake Daihai region, Inner Mongolia plateau. *J Lake Sci*, 2013, **25**(4): 521-530. DOI: 10.18307/2013.0409. [陈建生, 季弼宸, 刘震等. 内蒙古高原岱海接受远程深循环地下水补给的环境同位素及水化学证据. 湖泊科学, 2013, **25**(4): 521-530.]

[23] Zhou YK, Jiang JH. Changes in the ecological environment in the Daihai Lake Basin over the last 50 years. *Arid Zone Research*, 2009, **26**(2): 162-168. [周云凯, 姜加虎. 近 50 年岱海生态与环境变化分析. 干旱区研究, 2009, **26**(2): 162-168.]

[24] Zhang W, Zhuang DF, Hu WY. Area summarization in establishing the national resources and environmental database. *Journal of Remote Sensing*, 2000, **4**(4): 304-310. [张稳, 庄大方, 胡文岩. 国家基本资源与环境遥感数据库集成中的面积汇总技术. 遥感学报, 2000, **4**(4): 304-310.]

[25] O'Callaghan JF, Mark DM. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1984, **28**(3): 323-344. DOI: 10.1016/S0734-189X(84)80011-0.

[26] Baatz M ed. Multi resolution segmentation: an optimum approach for high quality multi scale image segmentation. Heidelberg: Beutrage zum AGIT-Symposium Salzburg, 2000: 12-23.

[27] Ren HR, Ye ZX, Li ZW. Anomaly detection based on a dynamic Markov model. *Information Sciences*, 2017, **411**: 52-65. DOI: 10.1016/j.ins.2017.05.021.

[28] Li YJ, Cheng SY, Wang L *et al*. The spatio-temporal change of the water quality of Feng River in Xi'an during 1986-2009. *China Rural Water and Hydropower*, 2011, (8): 1-5. [李英杰, 程三友, 王莉等. 西安沣河 1986－2009 年水质时空变化研究. 中国农村水利水电, 2011, (8): 1-5.]

[29] Guo J, Wang CM, Huang DZ *et al*. Pollution characterization and water quality assessment of Dongting Lake. *Environmental Chemistry*, 2019, **38**(1): 156-164. [郭晶, 王丑明, 黄代中等. 洞庭湖水污染特征及水质评价. 环境化学, 2019, **38**(1): 156-164.]

[30] McArdle BH, Anderson MJ. Fitting multivariate models to community data: A comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 2001, **82**(1): 290-297. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[0290:FMMTCD]2.0.CO;2.

[31] Zhang B, Wang SH, Jiang X *et al*. Response relationship research between land use patterns and water quality in Danjiangkou Reservoir. *Research of Environmental Sciences*, 2016, **29**(9): 1303-1310. [张博, 王书航, 姜霞等. 丹江口库区土地利用格局与水质响应关系. 环境科学研究, 2016, **29**(9): 1303-1310.]

[32] Guo QH, Ma KM, Yang L *et al*. Main sources of urban non-point source pollution and control measures for classified catchments. *Environmental Science*, 2006, **27**(11): 28-33. [郭青海, 马克明, 杨柳. 城市非点源污染的主要来源及分类控制对策. 环境科学, 2006, **27**(11): 28-33.]

[33] Cheng YQ, Zheng LJ, Fu ZQ. Analysis of cause of Daihai Lake shrinkage and water conservation recommendations. *Meteorology Journal of Inner Mongolia*, 2017, (5): 24-26. [程玉琴, 郑丽娟, 付志强. 岱海湖泊萎缩原因分析及流域水生态保护建议. 内蒙古气象, 2017, (5): 24-26.]

[34] Zhang YJ, Chen S, Xiang JC. Correlation between the water quality and land use composition in the river side area—a case of Chaohu Lake Basin in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, **20**(9): 1054-1061. [张殷俊, 陈爽, 相景昌. 河流近域土地利用格局与水质相关性分析——以巢湖流域为例. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(9): 1054-1061.]

[35] Liu XL. Dynamic change of area and water level of DaiIHai Lake and its driving force analysis. Academic dissertation [Dissertation]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2018.[刘旭隆. 岱海湖泊面积与水位动态变化及其驱动力分析[学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.]

[36] Ahearn DS, Sheibley RW, Dahlgren RA *et al*. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology*, 2005, **313**(3/4): 234-247. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.038.

[37] Xiao HG, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *Journal of Environmental Management*, 2007, **82**(1): 111-119. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.

12.009.

[38] Li BY, Zhang YJ, Peng QZ *et al*. Impacts of land use/cover on the water quality of Gonghu Bay in Taihu Lake. *Journal of Shanghai University*, 2017, **26**(2): 243-250. DOI: 10.12024/jsou.20160501775. [李博炎, 张饮江, 彭群洲等. 土地利用/覆被变化对太湖贡湖湾水质影响的研究. 上海海洋大学学报, 2017, **26**(2): 243-250.]

[39] Jiang YJ, Yuan DX, Xie SY *et al*. The groundwater quality and land use change in a typical karst agricultural region: A case study of Xiaojiang watershed, Yunnan. *Acta Geographica Sinica*, 2006, **61**(5): 471-481. [蒋勇军, 袁道先, 谢世友等. 典型岩溶农业区地下水质与土地利用变化分析——以云南小江流域为例. 地理学报, 2006, **61**(5): 471-481.]

[40] LI ZQ. Problems and strategy study in exploitation of Daihai Lake. *Underground Water*, 2006, **61**(5): 471-481. [李志强. 岱海湖开发利用中存在问题及对策研究. 地下水, 2006, **61**(5): 471-481.]

[41] Wilson C, Weng QH. Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the lake calumet area, Greater Chicago. *Environmental Management*, 2010, **45**(5): 1096-1111. DOI: 10.1007/s00267-010-9482-6.

[42] Sliva L, Williams DD. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Research*, 2001, **35**(14): 3462-3472. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00062-8.

[43] Zhang YJ, Chen S, Peng LH. Relationships between land use pattern and surface water quality in the plain river network area: A case study of Wujiang in Jiangsu Province. *Resources Science*, 2009, **31**(12): 2150-2156. [张殷俊, 陈爽, 彭立华. 平原河网地区水质与土地利用格局关系——以江苏吴江为例. 资源科学, 2009, **31**(12): 2150-2156.]

[44] Sun JH, Cao XF, Huang Y. Effect of land use on inflow rivers water quality in Lake Dianchi watershed. *China Environmental Science*, 2011, **31**(12): 2052-2057. [孙金华, 曹晓峰, 黄艺. 滇池流域土地利用对入湖河流水质的影响. 中国环境科学, 2011, **31**(12): 2052-2057.]

[45] Wang JP, Li ZF, Liu HY *et al*. Influence of landscape heterogeneity on total nitrogen concentration in Zhongtian River Watershed. *Environmental Science*, 2016, **37**(2): 127-133. [王晶萍, 李兆富, 刘红玉等. 中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究. 环境科学, 2016, **37**(2): 127-133.]

[46] Richardson CJ, Flanagan NE, Ho M *et al*. Integrated stream and wetland restoration: A watershed approach to improved water quality on the landscape. *Ecological Engineering*, 2011, **37**(1): 25-39. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.09.005.

[47] Li ZF, Liu HY, Li HP. Impact on nitrogen and phosphorous export of wetlands in Tianmu Lake Watershed. *Environmental Science*, 2012, **33**(11): 71-77. [李兆富, 刘红玉, 李恒鹏. 天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究. 环境科学, 2012, **33**(11): 71-77.]

[48] Liu Q, Liu YJ, Yu H *et al*. The Correlation study of land use and water quality pollution condition in Taihu Lake watershed. *Environmental Engineering*, 2016, **34**(8): 11-17. DOI: 10.13205/j.hjgc.201608003. [刘倩, 刘永杰, 余辉等. 太湖流域土地利用与河流水质污染状况的相关性研究. 环境工程, 2016, **34**(8): 11-17.]

[49] Zhao L, Chen JY, Jiang X *et al*. Temporal and spatial distribution characteristics and difference analysis of nitrogen and phosphorus in Daihai Lake. *Environmental Science*, 2020, **41**(4): 1676-1683. DOI: 10.13227/j.hjkx.201909090. [赵丽, 陈俊伊, 姜霞等. 岱海水体氮、磷时空分布特征及其差异性分析. 环境科学, 2020, **41**(4): 1676-1683.]

附表Ⅰ 岱海流域2000－2005年土地利用/覆被转移矩阵(%)

Attached Tab. Ⅰ The transfer matrix of land use/cover in Lake Daihai Basin from 2000 to 2005 (%)

2005年土地类型	2000年土地类型												
	耕地	天然林地	天然草地	建设用地	未利用地	岱海	水域	人工林地	人工草地	季节性河流	内陆滩涂	灌丛沼泽	沼泽草地
耕地	94.61	1.63	8.24	2.84	—	—	—	0.28	0.19	0.02	16.02	7.44	35.18
天然林地	0.48	92.35	3.97	—	—	—	0.87	0.26	—	—	—	—	—
天然草地	1.01	4.36	87.00	0.05	—	—	0.48	0.63	—	0.50	0.22	0.25	0.14
建设用地	1.86	0.02	0.25	96.55	—	—	0.96	0.31	1.67	—	4.01	4.36	—
未利用地	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—
岱海	—	—	—	—	—	96.14	—	—	—	—	—	—	0.05
水域	0.01	0.08	—	—	—	0.01	72.79	—	—	0.94	0.82	4.93	0.15
人工林地	1.82	1.35	0.26	0.19	—	—	0.27	98.50	—	0.43	—	—	—
人工草地	—	—	0.10	0.37	—	—	—	0.02	98.13	—	—	—	—
季节性河流	0.17	0.20	0.18	—	—	0.07	23.63	—	—	98.11	1.35	0.08	1.27
内陆滩涂	—	—	—	—	—	0.42	0.47	—	—	—	35.79	2.66	7.12
灌丛沼泽	—	—	—	—	—	1.27	—	—	—	—	12.68	61.08	—
沼泽草地	0.04	—	—	—	—	2.08	0.54	—	—	—	29.11	19.20	56.10

附表Ⅱ 岱海流域2005－2009年土地利用/覆被转移矩阵(%)

Attached Tab. Ⅱ The transfer matrix of land use/cover in Lake Daihai Basin from 2005 to 2009 (%)

2009年土地类型	2005年土地类型												
	耕地	天然林地	天然草地	建设用地	未利用地	岱海	水域	人工林地	人工草地	季节性河流	内陆滩涂	灌丛沼泽	沼泽草地
耕地	95.95	42.09	18.77	2.63	—	—	—	1.94	—	9.05	—	1.03	—
天然林地	0.20	48.62	0.01	—	—	—	—	2.27	—	0.31	—	—	—
天然草地	0.54	3.58	78.69	0.72	—	—	—	0.88	0.05	2.50	—	—	—
建设用地	2.01	0.15	0.65	95.38	—	—	—	0.75	0.52	1.21	—	1.76	0.40
未利用地	—	0.01	0.19	—	100	—	—	—	—	0.61	—	—	—
岱海	—	—	—	—	—	85.38	—	—	—	—	—	—	—
水域	—	—	0.02	0.01	—	0.08	45.85	—	—	2.16	—	0.11	1.77
人工林地	0.05	5.53	0.93	0.15	—	—	—	94.16	2.96	0.29	—	—	—
人工草地	0.09	0.02	0.73	0.04	—	—	—	—	96.47	0.13	—	—	—
季节性河流	0.03	—	0.01	—	—	—	52.43	—	—	82.47	—	—	—
内陆滩涂	—	—	—	0.06	—	11.94	0.16	—	—	0.34	17.22	2.69	4.93
灌丛沼泽	0.01	—	—	0.06	—	0.87	—	—	—	0.12	2.50	60.00	0.09
沼泽草地	1.11	—	—	0.95	—	1.73	1.55	—	—	0.82	80.28	34.41	92.82

附表Ⅲ 岱海流域2009－2014年土地/覆被类型转移矩阵(%)

Attached Tab. Ⅲ The transfer matrix of land use/cover in Lake Daihai Basin from 2009 to 2014 (%)

2014年土地类型	2009年土地类型												
	耕地	天然林地	天然草地	建设用地	未利用地	岱海	水域	人工林地	人工草地	季节性河流	内陆滩涂	灌丛沼泽	沼泽草地
耕地	96.03	0.95	7.03	6.88	—	—	6.25	8.44	—	19.30	1.22	9.27	24.08
天然林地	0.06	90.71	0.44	—	—	—	1.57	0.05	—	0.43	—	—	—
天然草地	1.24	1.15	88.10	1.26	—	0.08	4.90	1.52	—	10.55	3.11	2.89	6.54
建设用地	1.33	0.01	0.63	89.37	—	—	3.62	0.25	—	3.51	—	2.12	1.06
未利用地	—	—	0.36	0.05	100	—	—	—	—	0.57	—	—	—
岱海	—	—	—	—	—	84.73	1.02	—	—	—	—	—	—
水域	0.02	—	0.03	0.20	—	0.07	31.08	—	—	0.72	—	—	0.78
人工林地	0.26	7.16	2.78	0.64	—	—	0.48	89.64	—	3.25	—	—	—
人工草地	—	—	—	0.34	—	—	—	—	99.64	—	—	—	—
季节性河流	0.90	0.02	0.61	0.82	—	0.02	50.70	0.06	0.36	60.38	0.90	0.02	5.86
内陆滩涂	—	—	—	—	—	7.67	—	—	—	—	15.89	0.12	1.00
灌丛沼泽	—	—	—	0.03	—	5.18	—	—	—	0.24	29.25	30.54	18.77
沼泽草地	0.15	—	0.02	0.41	—	2.25	0.38	0.03	—	1.06	49.63	55.03	41.90

附表Ⅳ 岱海流域2014－2018年土地利用/覆被转移矩阵(%)

Attached Tab. Ⅳ The transfer matrix of land use/cover in Lake Daihai Basin from 2014 to 2018 (%)

2018年土地类型	2014年土地类型												
	耕地	天然林地	天然草地	建设用地	未利用地	岱海	水域	人工林地	人工草地	季节性河流	内陆滩涂	灌丛沼泽	沼泽草地
耕地	88.69	6.93	9.76	5.46	0.46	—	2.06	11.09	23.48	25.71	—	—	6.49
天然林地	2.36	83.66	1.53	0.16	—	—	—	8.40	0.38	0.96	—	—	—
天然草地	4.16	0.69	83.22	0.63	21.31	—	—	1.88	23.26	5.02	—	5.56	2.74
建设用地	0.76	0.09	0.36	93.21	—	—	—	0.21	—	4.42	—	—	0.09
未利用地	0.01	—	0.03	—	68.80	—	3.92	—	—	—	13.20	—	—
岱海	—	—	—	—	—	86.04	—	—	—	—	—	—	—
水域	0.01	0.01	0.04	—	1.09	0.31	61.52	—	—	0.80	3.76	—	—
人工林地	3.23	8.56	3.99	0.28	—	—	—	78.23	2.59	0.18	—	—	—
人工草地	—	—	—	—	—	—	—	—	49.78	0.05	—	—	—
季节性河流	0.33	0.06	0.51	0.25	8.34	—	31.57	0.20	0.51	62.68	—	0.30	1.18
内陆滩涂	—	—	—	—	—	13.65	—	—	—	—	44.83	—	—
灌丛沼泽	0.37	—	0.10	—	—	—	—	—	—	0.06	10.44	59.15	26.53
沼泽草地	0.07	—	0.46	—	—	—	—	—	—	0.13	27.77	34.99	62.97