

# 乌梁素海水质变化特征

李红悦<sup>1,2</sup>, 李兴<sup>2\*</sup>, 管超<sup>1</sup>, 周炎广<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 2. 内蒙古师范大学内蒙古节水农业工程研究中心, 内蒙古呼和浩特 010022)

**摘要** [目的]研究乌梁素海水质变化特征和污染物浓度的时空分布。[方法]利用2014—2016年乌梁素海12个采样点的实测数据,选取TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD这4项污染指标,分析其水质变化特征和污染物浓度的时空分布。[结果]近3年来乌梁素海的水质逐年改善,由于芦苇等植物吸收过滤及沿途污染物的物理沉降等,由西北部入湖地区各点向湖心和西南部出湖地区的污染物浓度降低;污染物浓度随时间变化明显,TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD浓度整体体现出1月(枯水期)浓度较高,5月(平水期)最低,9月(丰水期)污染物浓度普遍重新回升。污染物浓度与气温和蒸发量无显著相关,与降水量相关,且湖泊水质主要与农田退水有关。[结论]该研究为乌梁素海水污染治理和环境管理提供科学依据。

**关键词** 污染物浓度;水质;时空变化;乌梁素海

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)14-0082-04

## Variation Characteristics of Water Quality in Wuliangsu Lake

LI Hong-yue<sup>1,2</sup>, LI Xing<sup>2</sup>, GUAN Chao<sup>1</sup> et al (1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2. Inner Mongolia Engineering Research Center for Water-saving Agriculture, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the change characteristics of water quality and the spatiotemporal distribution of pollutant concentrations in the Wuliangsu Lake. [Method] Based on the measured data from 12 sampling sites of Wuliangsu Lake from 2014 to 2016, four pollution indicators were selected including TN, NH<sub>3</sub>-N, TP and COD to analyze the water quality characteristics of Wuliangsu Lake and the spatiotemporal distribution of pollutant concentration. [Result] In the past three years, the water quality of Wuliangsu Lake had been improving year by year. Due to the absorption and filtration of plants such as reeds and the physical settlement of pollutants along the way, the concentrations of pollutants from the northwestern lake into the lake and the southwestern part of the lake had decreased; The concentrations changed significantly with time. The concentrations of TN, NH<sub>3</sub>-N, TP and COD showed a higher concentration in January (dry season) and the lowest in May (flat water period). The concentration of pollutants in September (flooded season) generally recovered. There was no significant correlation between pollutant concentration and temperature and evaporation, and it was related to precipitation. The quality of lake water was mainly related to farmland water withdrawal. [Conclusion] The study provided scientific basis for Wuliangsu seawater pollution control and environmental management.

**Key words** Pollutant concentration; Water quality; Spatiotemporal change; Wuliangsu Lake

湖泊水质变化问题是湖泊学研究的重要内容<sup>[1]</sup>。黄河流域最大的淡水湖泊——乌梁素海,蒙古语意为“杨树之海”,具有调节和改善周围环境的功能,也兼具防止沙漠东进的屏障功能。该区域在维护湖泊流域地区生态系统平衡方面起着重大作用<sup>[2]</sup>。目前,由于人类对水资源的滥采滥用和过度开发给环境和生态带来严重危害,每年排入乌梁素海的水质污染物数量极大,使得水体出现水位下降、湖泊面积萎缩<sup>[3]</sup>、水体富营养化<sup>[4-5]</sup>、湖泊盐化沼泽化等复合污染<sup>[6-7]</sup>。雷宏军等<sup>[8]</sup>应用综合营养指数法对乌梁素海的营养化程度进行评价,发现当前水质情况不容乐观,处于中度富营养水平。因此,十分有必要对这类特殊湖泊生态系统开展环境指标及更新水质评价的研究,同时对湖泊的生态保护也具有重要意义。目前,针对乌梁素海地区已积累了诸多研究成果,分别有乌梁素海污染源<sup>[9-10]</sup>、污染物类型<sup>[11-12]</sup>、水生植物对水质的影响<sup>[13-14]</sup>以及用多种分析方法对乌梁素海的水质进行评价<sup>[15-17]</sup>。

乌梁素海是一个极具代表性的湿地生态系统,它是河套排灌系统承接水体与排水的唯一通道<sup>[18]</sup>。它不同于我国一

般的湖泊,湖水变化主要受河套灌区水流的进退制约。昆兹威克斯等<sup>[19]</sup>分析指出气候因素对河流水质的影响不可忽视。在前期对乌梁素海的相关研究中主要考虑了非气象要素的原因<sup>[20]</sup>,而关于气象要素是否影响水质污染的研究微乎其微。笔者利用2014—2016年乌梁素海12个采样点的实测数据,选取TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD这4项污染指标,就实测数据的浓度变化进行时空角度的说明,分析其水质变化特征和污染物浓度的时空分布,并研究气温、降水和蒸发等气象要素对乌梁素海污染物浓度的影响,以为乌梁素海水污染治理和环境管理提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 乌梁素海流域系黄河改道而形成的河迹湖<sup>[21]</sup>,地处荒漠草原地带,位于内蒙古巴彦淖尔市乌拉特前旗中部,地理坐标为108°43'~108°57'E、40°36'~41°03'N。乌梁素海属温带大陆性干旱气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热少雨。根据临河气象观测站多年(2007—2016年)观测数据,年均气温为7.3℃,年降水量为224mm,年蒸发量1502mm,年均风速为3.5m/s(图1)。该湖冰封期约5个月,每年10月末至11月初为结冰期,冰厚在0.6~1.0m,次年3月末至4月初为解冰期<sup>[22]</sup>。

**1.2 样品采集与分析方法** 按照我国水环境及湿地生态系统调查规范,并根据乌梁素海水动力和环境特征、污染源的分布及该地区芦苇生长分布状况,应用2km×2km的网格

**基金项目** 内蒙古自然科学基金项目(2016MS0553);内蒙古青年科技英才计划项目(NJYT-15-B09)。

**作者简介** 李红悦(1995—),女,蒙古族,内蒙古东乌旗人,硕士研究生,研究方向:干旱区研究。\*通讯作者,副研究员,博士,硕士生导师,从事水环境研究。

**收稿日期** 2018-03-04;修回日期 2018-03-21

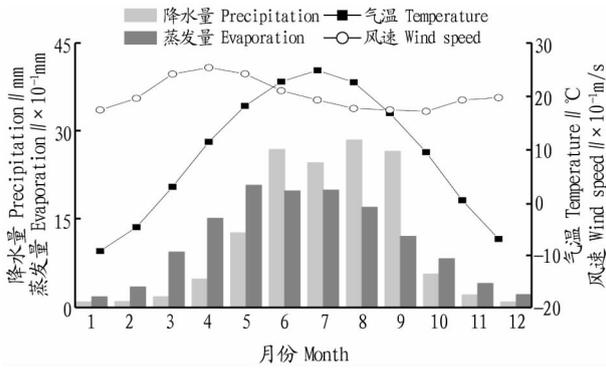


图1 研究区气象数据月变化

Fig. 1 Monthly change of meteorological data in the study area

在空间上对乌梁素海进行剖分,获得交点后以梅花形布置取样监测点 12 处(图 2)。监测点主要包括进水区(J11)、出水区(K2)、北部明水区(L15)、南部明水区(B1)、芦苇区(N13)和旅游区(Q10)等典型区域,可反映出研究区整体水质情况。

取样时间为每月中旬,频率为每月 1 次,每次取样点位置利用全球 GPS 定位,利用水质专门取样装置,采集水深 0.5 m 处的水质样品,水样经采集后用聚乙烯取样瓶密封,在 2~5 °C 条件下保存,并在 48 h 内进行水质化验,水质监测项目包括总氮(TN)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、生化需氧量(COD),采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN,采用纳氏试剂比色法测定 NH<sub>3</sub>-N,采用钼酸铵分光光度法测定 TP,采用重铬酸钾法测定 COD。为保证水质数据的准确性,每个样品做 2 个平行样,取均值作为该采样地点某监测指标浓度。根据该区气候特征,以 1 月代表枯水期,5 月代表平水期和 9 月代表丰水期,选取这 12 个采样点 2014—2016 年中 1、5、9 月的水质指标为基础数据,对乌梁素海的污染指标浓度进行时空分析。

## 2 结果与分析

**2.1 污染物浓度描述统计** 由表 1 可知,2014—2016 年 TN 平均质量浓度最大值、最小值分别为 12.31、0.37 mg/L,均出现在 2014 年,3 年内浓度呈缓慢下降的趋势;NH<sub>3</sub>-N 平均质量浓度最大值与最小值均出现在 2014 年,分别为 8.60、0.01 mg/L,3 年平均质量浓度分别为 0.91、0.74、0.72 mg/L,2014—2016 年呈现出递减趋势,3 年浓度均为Ⅲ类标准;TP 作为评价水体富营养化程度的另外一个重要指标,2014—2016 年平均质量浓度最大值为 3.26 mg/L(2014 年),最小值为 0.01 mg/L(2016 年),2014 年平均浓度达到 V 类标准,之后浓度呈下降趋势,2015—2016 年水质状况转为Ⅳ类标准,水质得到明显的改善;COD 作为反映水体中需氧有机污染物含量的环境指标,2014—2016 年 COD 平均质量浓度最大值、最小值均出现在 2015 年,分别为 352.27、5.19 mg/L,指标标准差 3 年均较大,表明具有明显的时间变化和空间差异。COD 3 年的平均浓度均高于 V 类标准限值,在 2016 年 COD 含量已达到 V 类标准的 2~3 倍,为劣 V 类。由此可知,近年来乌梁素海的水环境污染形势仍十分严峻,但总体上呈现不

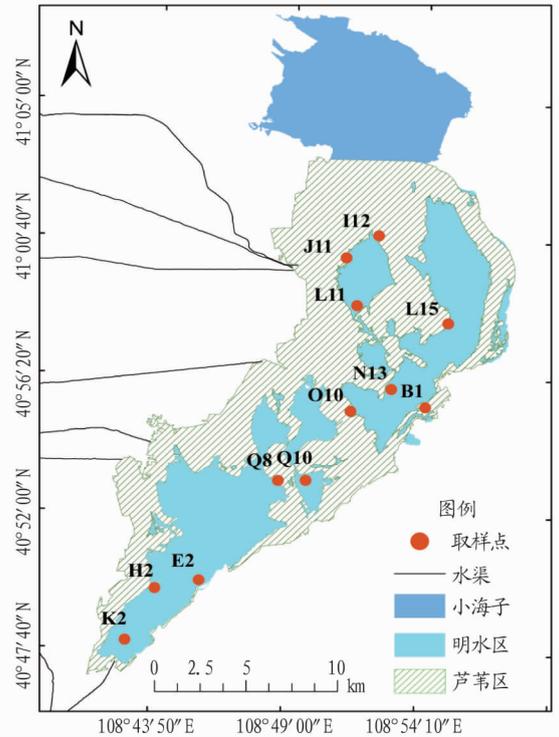


图2 乌梁素海取样点分布

Fig. 2 Sampling point distribution in Wuliangsu Lake

同程度的改善。

表 1 乌梁素海污染物浓度描述统计

Table 1 Pollutant concentration statistics in Wuliangsu Lake

项目 Item	年份 Year	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	国家标准值 Standard values
TN	2014	3.78	3.00	2.00(V)
	2015	2.49	2.12	
	2016	2.15	1.51	
NH <sub>3</sub> -N	2014	0.91	0.85	1.00(Ⅲ)
	2015	0.74	0.59	
	2016	0.72	0.45	
TP	2014	0.35	0.47	0.20(V)
	2015	0.08	0.06	0.10(Ⅳ)
	2016	0.08	0.06	0.10(Ⅳ)
COD	2014	102.13	41.50	40.00(V)
	2015	86.05	61.75	
	2016	94.14	69.12	

**2.2 污染物浓度空间变化特征** 由图 3 可知,TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 在排水入口处(J11)明显达到峰值,3 种污染物浓度空间分布特征基本一致,COD 浓度在全湖分布都较高,表现为不同程度的波动变化。入水口处(J11)位于水渠总排干尾端,是河套灌区的农田退水以及工业废水和生活污水排入乌梁素海的入口,农田退水卷积大量的未经充分利用的 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 等营养元素通过总排干排入乌梁素海,大量的营养盐排入使入水口处浓度最高。乌梁素海的南北狭长分布使得湖水由北向南流动途中,途经芦苇覆盖密集的水域(N13、O10、Q8),对污染物浓度的吸收过滤及沿途污染物的物理沉降共同作用使得污染物浓度呈不同程度降低,可见湖

中心处芦苇区生长的芦苇等大型挺水植物对其周围的水质有明显的改善作用,这与白妙馨等<sup>[23]</sup>对于水生植物净化水体潜力研究结果是一致的。在旅游区(Q10)各项指标浓度均有不同幅度回升,也可看出人类活动对污染物浓度的影响是不可忽视的,河口处污染物浓度显著降低,表现出湖河口处(K2)浓度均呈偏小状态,可知西北入湖处水质劣于湖心及西南出湖口处。

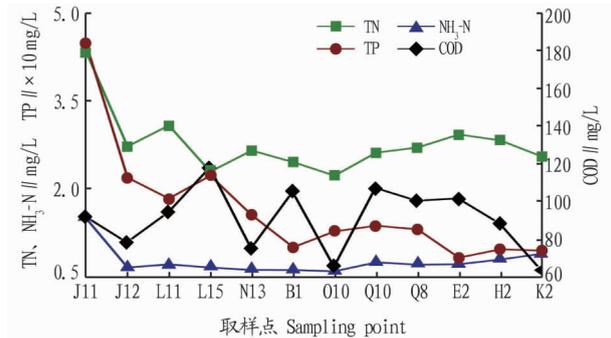


图3 乌梁素海水体污染物浓度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of pollutant concentrations in Wuliangshuai Lake water

2.2 污染物浓度时间变化特征 从图4可看出,除2014年的TP浓度,TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD这4种污染物浓度整体体

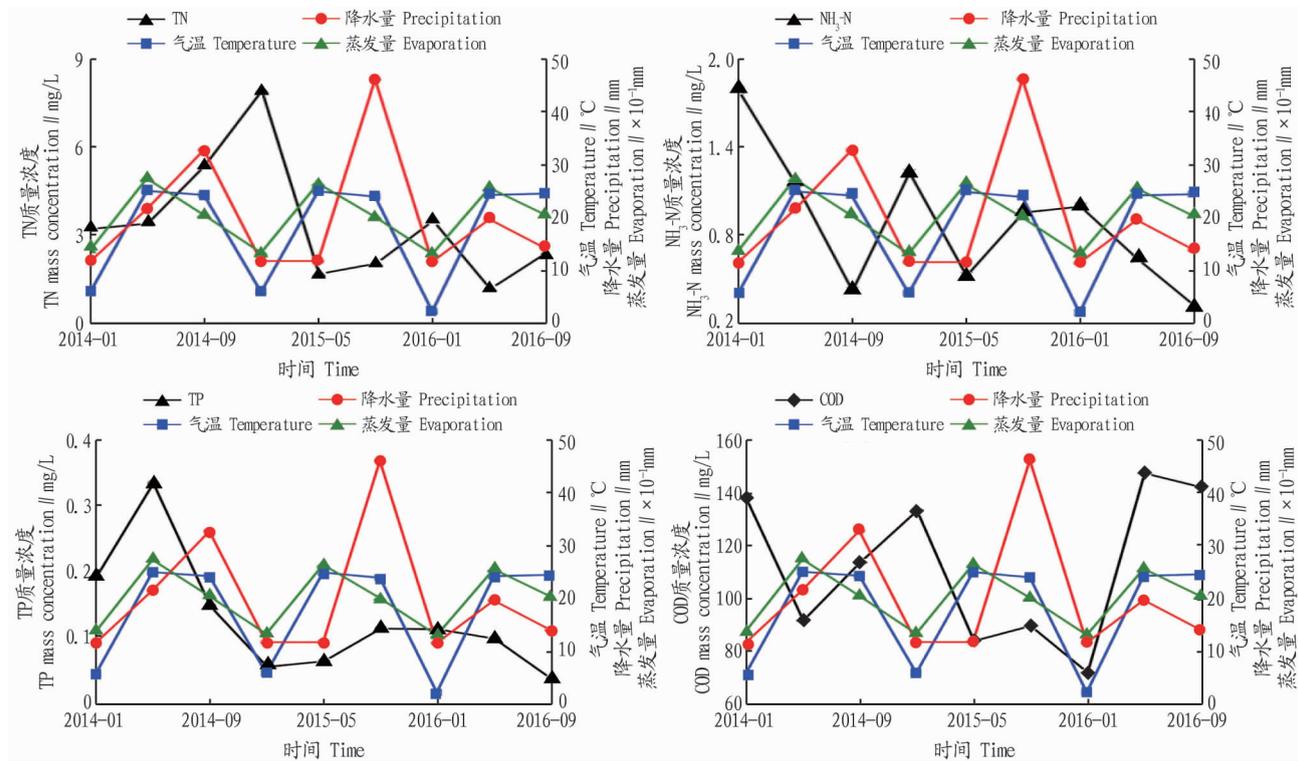


图4 乌梁素海水体污染物浓度时间分布

Fig.4 Temporal distribution of pollutant concentration in Wuliangshuai Lake water

### 3 结论

(1) 通过与国家现行地表水环境现行标准比较,可知2014—2016年乌梁素海的水质逐年改善。

(2) 乌梁素海污染物浓度随时空变化明显,在空间分布上,污染物浓度与入水口、出水口的相对位置具有很大的相

现出枯水期浓度最高、平水期最低,而丰水期污染物浓度普遍重新回升,可知平水期水质优于丰水期和枯水期。另外,乌梁素海的水质对于气温、蒸发量这2种响应机制无显著相关规律性。乌梁素海污染物浓度是由降水量和农业面源污染共同作用决定。

究其原因1月为冬季,湖泊水体已至结冰期,降水量达全年最低,湖泊水位下降,水环境容量相比其他时期极大缩减,污染物易于累积,并且水体中的微生物和水生生物在冬季的低气温条件下不适宜进行大量生长繁殖活动,使得水体自净能力大幅下降,故各指标浓度都呈现较高水平;而5月天气转暖,适宜的生物环境为乌梁素海水域中水生植物生长、发育、繁殖提供有利条件,有机营养元素被各种水生植物充分利用,加之外来的排污量较少,使营养盐浓度逐渐减小,水质较之前有了明显的改观,经过与1月份相比的冰雪消融,降水逐渐增加,对污染物浓度稀释作用增强,使得5月份浓度明显降低;在9月份河套灌区农耕作业时进行秋灌,将大量未被利用充分的营养盐和污染物冲刷进入乌梁素海,同时秋季多风、风速大,沉积在浅水湖泊底泥中的营养物质得以搅动并释放,使污染物浓度重新呈回升趋势。与此同时污染物浓度随着降水量的增加而呈降低趋势,这也充分说明降水量影响污染物浓度的迁移和稀释。

关性,乌梁素海西北部入湖地区各点的水质劣于湖心和西南部出湖地区。时间上,TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD浓度整体体现出1月(枯水期)浓度最高,5月(平水期)最低,而9月(丰水期)污染物浓度普遍重新回升,可知水质平水期 > 丰水期 > 枯水期。

(3) 在选取的 3 项气象要素中, 乌梁素海污染物浓度与气温和蒸发量无显著相关, 与降水量相关。

### 参考文献

- [1] 李小平. 湖泊学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [2] 刘俊廷, 随春明, 潘洪捷, 等. 乌梁素海的水体功能浅议[J]. 内蒙古水利, 2011(2): 86-87.
- [3] 马燕, 王俊峰. 乌梁素海环境现状、存在问题及治理措施[J]. 科技与企业, 2015(14): 116.
- [4] 吕超, 李卫平, 于玲红. 乌梁素海冰封期水体富营养化特征分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14456-14458, 14575.
- [5] 尚士友, 杜健民, 李旭英, 等. 乌梁素海富营养化及其防治研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2003, 24(4): 7-12.
- [6] 张雯颖. 乌梁素海营养盐在水体中的分布规律及污染预测研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [7] 莫日根, 童伟, 段瑞琴, 等. 乌梁素海生态环境存在的问题和治理措施[J]. 环境与发展, 2012(4): 18-22.
- [8] 雷宏军, 王刚, 温随群, 等. 乌梁素海湖泊水质演变特征及富营养化评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2012, 33(2): 130-133.
- [9] 冯素珍, 李畅游. 内蒙古乌梁素海污染源调查研究[J]. 中国农村水利水电, 2010(4): 125-128.
- [10] 李殿龙. 乌梁素海水文——植被特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2011.
- [11] 罗强, 李畅游, 黄健, 等. 基于 ArcGIS 的乌梁素海水质及富营养化评价[J]. 人民黄河, 2012, 34(7): 53-55.

(上接第 50 页)

认为在农业生产科技化的今天, 针对番木瓜组培苗的快速繁殖, 应加强对多种生长调节剂或生根剂的正确使用, 大力提高移栽成活率, 建立高效稳定的移栽工序和方法十分重要。

### 参考文献

- [1] 张海东, 胡小婵. 世界番木瓜科研发现状研究[J]. 世界农业, 2013(11): 24-27.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [3] 中国医学科学院药物研究所. 中药志: 第 2 册[M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 1993.
- [4] 季申, 丁声颂. 10 种药用天南星的化学成分分析[J]. 上海医科大学学报, 1989, 16(3): 203-208.
- [5] 关虎吕. 中药现代化研究与应用: 第 2 卷[M]. 北京: 学苑出版社, 1997.
- [6] 周鹏, 沈文涛, 言普, 等. 我国番木瓜产业发展的关键问题及对策[J]. 热带生物学报, 2010, 1(3): 257-260, 264.
- [7] 周鹏, 沈文涛, 黎小瑛, 等. 番木瓜组培种苗推广应用的几个关键技术问题[J]. 热带生物学报, 2011, 32(2): 354-358.
- [8] 黄东梅, 李艳霞, 林妃, 等. 番木瓜实生苗茎段组培快繁条件的优化[J]. 南方农业学报, 2014, 45(12): 2215-2219.
- [9] NONG Y F, LIN Y, YANG M C, et al. Preliminary study on callus differentiation of hermaphrodite papaya[J]. Agricultural science & technology, 2016, 17(6): 1315-1317.
- [10] 梁一池, 杨华. 植物组织培养技术的研究进展[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(1): 93-96.
- [11] 唐文忠, 王小媚, 黄伟雄, 等. 应用正交试验设计优选番木瓜组培苗生根培养基研究[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1672-1675.
- [12] 陈仲华, 杨湛端, 刘睿, 等. 应用正交试验筛选新台糖 22 号组培配方[J]. 广东农业科学, 2012, 39(8): 38-40.
- [13] 杨春梅, 屈云慧, 汪国鲜, 等. 辣木组织培养和快繁技术研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2218-2222.
- [14] 刘太林, 刘瑞凤, 桂毓, 等. 正交实验法优化铁皮石斛生根培养基[J]. 北方园艺, 2017(2): 102-104.

- [12] 赵胜男. 乌梁素海重金属环境地球化学特征及其存在形态数值模拟分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [13] 杨志岩. 大型挺水植物对乌梁素海营养元素去除能力研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [14] 李兴, 李畅游, 勾芒芒, 等. 挺水植物对湖泊水质数值模拟过程的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(12): 2890-2895.
- [15] 李畅游, 高瑞忠, 刘廷玺, 等. 乌梁素海水质富营养化评价及其年季动态变化特征[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(2): 11-15.
- [16] 徐晓民, 李畅游, 刘廷玺, 等. 灰色关联分析在湖泊水环境评价中的应用研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2006, 27(4): 118-121.
- [17] 彭芳, 任春涛, 王丽, 等. 基于模糊模式识别理论的乌梁素海水质评价[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(2): 69-72.
- [18] 李刚. 内蒙古河套灌区节水对乌梁素海的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [19] Z · W · 昆兹威克斯, 梁静静, 柯学莎. 多因素影响下的气候变化与河流水质[J]. 水利水电快报, 2011, 32(11): 1-5.
- [20] 李兴, 杨乔娟, 勾芒芒. 内蒙古乌梁素海水质时空分布特征[J]. 生态环境学报, 2011, 20(22): 1301-1306.
- [21] 关玉璋. 乌梁素海的形成与演变[J]. 人民黄河, 1989(6): 61-63.
- [22] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [23] 白妙馨, 张敏, 李青丰, 等. 乌梁素海水污染特征及水生植物净化水体潜力研究[C]//2013 中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷). 北京: 中国环境科学学会, 2013.

- [15] 饶雪琴, 张曙光, 范怀忠. 番木瓜快繁研究进展[J]. 热带作物学报, 1999, 20(1): 73-77.
- [16] 叶维雁, 王连春, 刘惠民, 等. 番木瓜组培快繁效率的影响因子研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(11): 59-64.
- [17] 王芳, 蔡时可, 汤亚飞, 等. 番木瓜组培苗生根培养基及移栽基质的筛选[J]. 中国南方果树, 2009, 38(1): 41-44.
- [18] DREW R A, SMITH N G. Growth of apical and lateral buds of papaw (*Carica papaya* L.) as affected by nutritional and hormonal factors[J]. Journal of horticultural science, 1986, 61(4): 535-543.
- [19] 周鹏, 黎小瑛, 沈文涛, 等. 番木瓜优质组培苗生产体系的建立[J]. 热带作物学报, 2005, 26(1): 43-46.
- [20] NISSEN S J, SUTTER E G. Stability of IAA and IBA in nutrient medium to several tissue culture procedures[J]. HortScience, 1990, 25(7): 800-802.
- [21] DREW R A, SIMPSON B W, OSBORNE W J. Degradation of exogenous indole-3-butyric acid and riboflavin and their influence on rooting response of papaya *in vitro*[J]. Plant cell tissue & organ culture, 1991, 26(1): 29-34.
- [22] 何舒, 范鸿雁, 何凡, 等. 不同处理对番木瓜种子发芽率及发芽势的影响[J]. 中国热带农业, 2007(2): 42-44.
- [23] 赵春香, 黄秀清, 陈颖仪, 等. 3 种植物生长调节剂对番木瓜种子活力及幼苗生长的影响[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2003, 16(3): 16-19.
- [24] SWAMY S L, PURI S, SINGH A K. Effect of auxins (IBA and NAA) and season on rooting of juvenile and mature hardwood cuttings of *Robinia pseudoacacia* and *Grewia optiva* [J]. New forests, 2002, 23(2): 143-157.
- [25] 袁小环, 彭向永, 李青, 等. 甜樱桃组培苗的生根研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(4): 71-73, 78.
- [26] CHEN M H, WANG P J, MAEDA E. Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Carica papaya* L. tissue culture derived from root explants[J]. Plant cell reports, 1987, 6(5): 348-351.
- [27] 李劲松, 杨小锋, 杨沐, 等. 番木瓜设施栽培与露地栽培比较研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(12): 2098-2102.
- [28] 夏文孝, 郭达初, 金敏信. 环境条件及基质对试管苗移栽成活率的影响[J]. 浙江农业学报, 1994, 6(3): 171-175.

**本刊提示** 来稿请用国家统一的法定计量单位的名称和符号, 不要使用国家已废除了的单位。如面积用  $\text{hm}^2$  (公顷)、 $\text{m}^2$  (平方米), 不用亩、 $\text{尺}^2$  等; 质量用 t (吨)、kg (千克)、mg (毫克), 不再用担等; 表示浓度的 ppm 一律改用 mg/kg、mg/L 或  $\mu\text{L/L}$ 。