

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.11.017

滇池东岸环湖截污系统农村面源径流量截留率验证

杨占强¹, 刘杰¹, 丁文川¹, 张玉², 曾晓岚¹, 刘长兴²

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 农村面源污染是滇池污染负荷的主要来源之一,环湖截污系统对农村面源径流截留具有重要作用。目前,整个截污系统尤其是东岸部分已基本完善,基于实际运行状态,验证东岸环湖截污系统对农村面源径流的截留功能是否达到设计目标,从而更好地为滇池流域水环境治理提供科学依据。在前期理论论证的基础上,根据现场监测获得的东岸环湖截污系统中沉砂截流井处的实际水量数据,分别就单场降雨以及典型降雨年情况下系统对农村面源径流量截留率进行深入讨论。结果表明,在降雨量分别为43.2和25.9 mm的两场降雨事件中,其对应的农村面源径流量截留率分别为36.98%和70.62%。1995年—2009年期间,农村面源径流量年均截留率最小为42.33%(1998年),最大为69.42%(2000年)。枯水年、平水年和偏丰水年的农村面源径流量平均年截留率分别为61.56%、51.55%和52.31%。因此,滇池环湖截污系统中沉砂截流井的设计能有效实现农村面源径流量截留30%的目标,对评估环湖截污系统效能的发挥具有重要意义。

关键词: 农村面源径流量; 截留率; 滇池东岸; 沉砂截流井; 设计目标

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)11-0104-08

Verification of Rural Non-point Source Runoff Interception Rate in East Bank of Dianchi Lake Basin Interception System

YANG Zhan-qiang¹, LIU Jie¹, DING Wen-chuan¹, ZHANG Yu², ZENG Xiao-lan¹, LIU Chang-xing²

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: Rural non-point source pollution is one of the main contamination sources in Dianchi Lake, and wastewater interception systems around the lake play an important role in intercepting rural non-point source runoff. At present, the whole wastewater interception system, especially the east bank part, has been basically completed. Based on actual operation performance, this paper verified whether the interception function of the east bank rural non-point source runoff interception system being reached the design goal, so as to provide a scientific basis for water environment management of Dianchi Lake Basin. On the basis of previous theoretical demonstration, actual water quantity data at settling and intercepting wells in the east bank system were obtained through on-site monitoring, and the interception

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07102-001-004); 重庆大学大型仪器设备开放基金资助项目(202003150139)

通信作者: 曾晓岚 E-mail: wendyzeng@cqu.edu.cn

rates of rural non-point source runoff under the condition of single rainfall and typical rainfall year were discussed deeply. The rural non-point source runoff interception rates were 36.98% and 70.62% in two rainfall events with rainfall of 43.2 mm and 25.9 mm, respectively. During 1995 to 2009, the minimum and maximum annual interception rates of rural non-point source runoff were 42.33% (1998) and 69.42% (2000). The average annual interception rates of rural non-point source runoff in dry years, normal years and partial wet years were 61.56%, 51.55% and 52.31%, respectively. In conclusion, the design of settling and intercepting wells in Dianchi Lake wastewater interception system could effectively achieve the goal of intercepting 30% of rural non-point source runoff, which was of great significance to evaluate the performance of the interception systems around the lake.

Key words: rural non-point source runoff; interception rate; east bank of Dianchi Lake Basin; settling and intercepting well; design goal

“十一五”末流域水污染现状研究对滇池流域入湖污染物来源、组成及相应比例进行的分析表明,面源污染控制是“十二五”滇池污染控制的重点之一,而滇池每年入湖 COD、TN 及 TP 负荷中农村面源污染排放比例分别占 37%、27%、45%,故控制农村面源污染是控制滇池污染的重点^[1-3]。由于具有随机性、广泛性、不确定性、滞后性、潜在性和复杂性等特点,农村面源污染的控制比较困难,我国主要基于“减源-拦截-修复”三级控制理论^[4],采用源头削减、流动途径截留和末端治理的方式进行。实践证明,控源截污是湖泊污染治理的有效手段,是湖泊富营养化控制与治理的必要条件之一^[5]。

目前,滇池流域已基本建成了由农灌沟渠、截污干渠和末端混合水质净化厂构成的环湖截污治污系统。其中,环湖东岸的截污系统基本完善,对削减入湖污染负荷、改善滇池水体环境发挥了显著作用^[6-8]。整个系统的设计目标之一是“农村面源径流量(主要是指降雨过程中产生的携带大量污染物的农村降雨径流)截留率达 30%”。这一目标的设定基于以下几点:①农村面源径流存在初期效应,前期径流的主要污染物平均浓度高于后期径流^[9];②在前 30% 的农村面源径流中,携带的 TP、NH₃-N 和 SS 负荷依次为 31.76%~40.21%、37.32%~44.56%、33.02%~45.45%;③截污干渠的容纳能力及末端混合水质净化厂的处理能力有限,且农村面源径流量大、污染物浓度低,不可能也没有必要对所有农村面源径流进行截留收集处理。故综合考虑农村面源径流的初期效应、截污系统的投资成本及水质净化厂的处理能力,农村面源径流量 30% 的截留率能够起到高效的污染物截留作用^[9]。

为实现农村面源径流量截留 30% 的目标,结合运行维护及管理的可行性,考虑农村面源径流中颗粒物含量大的特点,在截污系统中采用了手动控制的沉砂截流井进行农村面源径流量截留,该沉砂截流井的设计能否有效实现农村面源径流量的截留率目标,对评估环湖截污系统效能的发挥具有重要意义。课题组前期在滇池东岸示范区内,以由农灌沟渠、截污干渠和末端混合水质净化厂构成的截污系统为对象,采用 SWMM 模型针对现状条件下采用手动控制模式的沉砂截流井,对农村面源径流量截留率能否达到 30% 的目标进行理论分析验证^[9-10],结果表明,截留率随重现期的增大而降低,当重现期为 4 年一遇(降雨量为 49 mm)时,可截留 45.6% 的径流量,满足设计要求。为了从实测数据的角度进一步论证环湖东岸截污系统截留农村面源径流量设计目标的可达性,为整个滇池流域环湖截污治污系统的功能评估提供依据,笔者通过监测研究区域内典型农灌沟渠沉砂截流井处的水量数据,验证单场降雨情形下,滇池环湖截污系统能否达到农村面源径流量截留 30% 的目标,并以 1995 年—2009 年的降雨数据为基础,验证在典型降雨年下,年均截留率设计目标的可达性,以期为滇池流域环湖截污系统农村面源径流量截留 30% 的目标提供实测数据验证,同时可为同类型的工程提供参考。

1 研究区域概况

1.1 地理位置

研究区域与课题组前期进行理论验证时一致,位于滇池东岸呈贡县境内,紧邻滇池,年均气温为 14.7℃,降雨多集中于 5 月—10 月,年均降雨量为 789.6 mm。该区域卫星影像图如图 1 所示,整个区

理后排入人工湿地,经人工湿地进一步处理后最终排入滇池。

2 材料与方法

2.1 水量监测点布置

依据研究区域内的水文和土地利用类型等,本研究选择在图3中7[#]、9[#]、18[#]和36[#]农灌沟渠沉砂截流井处设置水量监测点,主要监测指标为各农灌沟渠汇集到截流井的流量。开展监测的农灌沟渠总服务面积为1.27 km²,各农灌沟渠服务面积见表1。

表1 开展监测的农灌沟渠服务面积

Tab.1 Service area of monitored agricultural irrigation ditches

农灌沟渠 编号	种植类型	沟渠长度/ m	沟渠宽度/ m	服务面积/ hm ²
7 [#]	蔬菜大棚	2 563	1.6	68.6
9 [#]	蔬菜大棚	791	2.1	26.6
18 [#]	蔬菜大棚	683	1.5	29.3
36 [#]	花卉大棚	195	2.0	2.2

2.2 水量监测方法

监测时间分别为2018年8月3日和21日,监测时段的降雨量分别为43.2和25.9 mm。根据《降水量等级》(GB/T 28592—2012),所监测的两场降雨均为大雨。

事先测量所监测沟渠点位的沟渠宽度 b ,每次采集水样前用刻度杆测量沟渠的水位 h 。从降雨开始后进行流量监测,降雨径流前期(产生径流到峰值前)每10 min测定一次流速 v ,径流峰值过后(流速降低后),每30 min测定一次流速 v 。

本研究将流速仪置于水位的一半处进行流速 v 的测定。

2.3 径流量的计算方法

根据《建筑与小区雨水利用工程技术规范》(GB 50400—2006),雨水径流量的计算见式(1)。

$$Q_s = 1\,000q\Psi F \quad (1)$$

式中: Q_s 为雨水径流量,m³; q 为日降雨量,mm; Ψ 为径流系数; F 为汇水面积,km²。其中日降雨量 q 由雨量计测得;根据课题组前期的研究成果,研究区域的径流系数 Ψ 取0.59^[11]。

2.4 开展监测的农灌沟渠旱季实测流量

研究区域内开展监测的农灌沟渠旱季流量由2018年7月10日实测所得,结果表明,7[#]、9[#]、18[#]、36[#]的旱季实测流量为14 657.7、4 209.0、8 022.6、6 552.4 m³/d,总计(Q_H)33 441.7 m³/d。

2.5 农村面源径流量实测截留率计算方法

本研究农村面源径流量实测截留率根据以下步骤计算获得。

开展监测的农灌沟渠实测截留总流量 Q_Z 的计算:基于农灌沟渠的实测流量数据,结合式(2)~(4),农灌沟渠实测截留总流量按式(5)计算。

$$Q_{ni} = v_{ni} b_n h_{ni} \quad (2)$$

$$Q_{nji} = \begin{cases} Q_{ni}, & \text{当 } Q_{ni} \leq 1 \\ 1, & \text{当 } Q_{ni} > 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_{ni} = \sum 60 Q_{nji} \Delta t_i \quad (4)$$

$$Q_Z = \sum Q_{nj} \quad (5)$$

式中: v_{ni} 为 n 号农灌沟渠第 i 时段的平均流速,由于时间间隔内流速变化较小,故本研究以第 i 时段测得的瞬时流速作为该段的平均流速,m/s; b_n 为 n 号农灌沟渠监测点的沟渠宽度,m; h_{ni} 为 n 号农灌沟渠的第 i 时段监测点的水位,m; Q_{ni} 为 n 号农灌沟渠第 i 时段的流量,m³/s; Q_{nji} 为 n 号农灌沟渠第 i 时段所截留的流量,当农灌沟渠流量 Q_{ni} 超过允许最大流量1 m³/s时,该值取1 m³/s,反之取原值,m³/s; Q_{nj} 为监测时段内 n 号农灌沟渠所截留的流量,m³; Δt_i 为第 i 时段的时间间隔,min; Q_Z 为监测时段内开展监测的农灌沟渠实测截留总流量,m³/d。

研究区域农灌沟渠截留总径流量 Q_{JYZ} 的计算:由于农灌沟渠旱季也有流量,因此需要从开展监测的农灌沟渠实测截留总流量 Q_Z 中扣除相应的旱季流量 Q_H 后,得出开展监测的农灌沟渠截留总径流量的净值 Q_{JY} 。考虑到研究区域内的种植类型、耕种方式和土地利用类型相似^[9],农灌沟渠在同一场次降雨中多表现出相似的水量变化规律,因此,可认为研究区域内农灌沟渠单位服务面积对应的截留径流量相同。根据本研究开展监测的农灌沟渠总服务面积1.27 km²和所截留的总径流量净值 Q_{JY} ,可计算出研究区域农灌沟渠单位服务面积上农村面源径流的截留量,见式(6)。

$$Q_D = Q_{JY}/1.27 \quad (6)$$

由于研究区域内现存28条农灌沟渠的总服务面积为9.45 km²,因此本场降雨研究区域内农灌沟渠的截留总径流量按式(7)计算。

$$Q_{JYZ} = 9.45 Q_D \quad (7)$$

农村面源径流量实测截留率 n 的计算:根据研究区域的总面积为12 km²和区域平均径流系数为

0.59,由式(1)可计算出本场降雨的雨水径流量 Q_s ,结合式(8),可获得本场降雨研究区域的农村面源径流量实测截留率 n 。

$$n = Q_{JYZ}/Q_s \quad (8)$$

3 结果与讨论

3.1 农村面源径流量实测截留率

2018年8月3日和21日两场降雨条件下,研究区域内开展监测的农灌沟渠流量与产流时间的关系如图5所示,实测截留流量见表2。

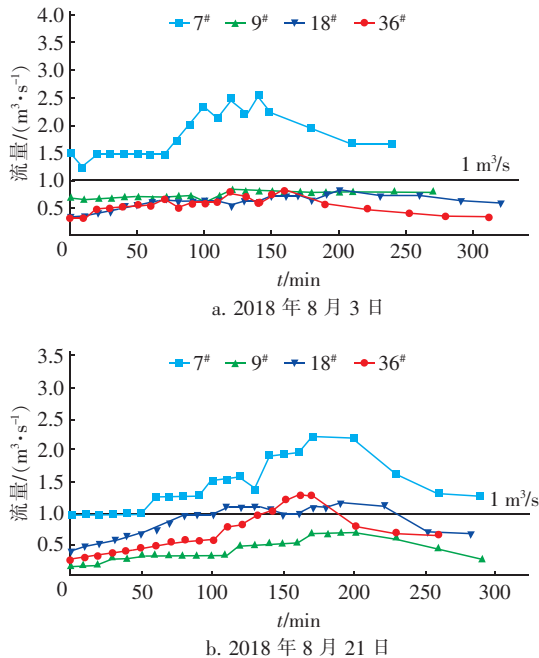


图5 农灌沟渠流量与产流时间的关系

Fig. 5 Relationship between flow and yield time of agricultural irrigation ditches

表2 两场降雨下开展监测的农灌沟渠的实测截留流量

Tab. 2 Measured intercepted flow of agriculture irrigation ditches under two rainfalls

监测日期	截留流量 $Q_{nj}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$				截留总流量 $Q_z/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
	7#	9#	18#	36#	
2018年8月3日	14 400.0	11 960.8	12 035.2	10 248.1	48 644.1
2018年8月21日	17 328.7	8 468.1	14 417.8	10 629.3	50 843.9

将2018年8月3日和21日两场降雨下开展监测的农灌沟渠实测截留总流量 Q_z ,分别扣除相应的旱季流量($Q_H = 33\,441.7 \text{ m}^3/\text{d}$)以后,获得截留总径流量的净值 Q_{JY} 分别为15 202.4、17 402.2 m^3/d ;将 Q_{JY} 均分到本研究开展监测的农灌沟渠总服务面积

1.27 km^2 上,得到单位服务面积农村面源径流截留量 Q_D 分别为11 970.4、13 702.5 m^3/d ;研究区域现状农灌沟渠的总服务面积为9.45 km^2 ,从而计算出两场降雨条件下研究区域农灌沟渠截留总径流量 Q_{JYZ} 分别为113 120.3、129 488.5 m^3/d ;按照式(1)计算得到两场降雨雨水径流量 Q_s 分别为305 856、183 372 m^3/d ; Q_{JYZ} 与 Q_s 的比值即为两场降雨条件下农村面源径流量实测截留率 n ,分别为36.98%、70.62%。可知,在实际监测的两场降雨中,农村面源径流量截留率均大于30%,且随着降雨量的增大,截留率在降低,与刘定^[9]采用SWMM模型模拟得出的结论一致,这主要是因为随着降雨量的增大,研究区域所产生的农村面源径流量增大,但由于截流井处截流管的限流作用,使得由农灌沟渠收集的径流不能全部通过截流管进入截污干渠,从而导致截留率的下降。因此,在实际降雨过程中,当降雨量持续增大,单场降雨的农村面源径流量截留率可能会小于30%。故本研究需计算典型降雨年条件下,研究区域的年均农村面源径流量的截留率是否满足30%的目标要求。

3.2 农村面源径流量年均截留率

在研究区域1995年—2009年实测降雨资料的基础上,根据统计每一年小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨的年总降雨量,采用式(9)计算农村面源径流量的年均截留率。

$$\varphi = 1\,000A(R_1\omega\varphi_1 + R_2\omega\varphi_2 + R_3\omega\varphi_3 + R_4\omega\varphi_4 + R_5\omega\varphi_5 + R_6\omega\varphi_6)/1\,000AR\omega \quad (9)$$

式中: φ 为农村面源径流量年均截留率,%; A 为研究区域面积,本研究为12 km^2 ; R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 分别为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨的年降雨总量,mm; ω 为示范区的年均径流系数; R 为年总降雨量,mm; φ_1 、 φ_2 、 φ_3 、 φ_4 、 φ_5 、 φ_6 分别为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨条件下农村面源径流截留率,%。

根据《降水量等级》(GB/T 28592—2012)可知,小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨的降雨量分别为0~9.9、10~24.9、25~49.9、50~99.9、100.0~249.9、 ≥ 250.0 mm。本研究中因暴雨等级在多数年份中发生的场次少,甚至不发生,年均发生场次不足2场,其总量占比较低;而大暴雨和特大暴雨降雨等级在1995年—2009年期间基本未发生(仅2008年出现1场降雨量为122.1 mm的大暴

雨),故本研究只考察小雨、中雨、大雨而忽略每年暴雨、大暴雨和特大暴雨 3 种等级降雨条件下的年降雨总量及农村面源径流量年均截留率,结果见表 3。可知,1995 年—2009 年期间,小雨年均降雨场次

最多,平均达 73 场,其年均总量占比为 24.11%;中雨年均降雨场次虽仅为 19 场,但其年均总量占比最大,为 33.77%;大雨年均降雨场次为 7 场,年均总量占比为 27.78%。

表 3 1995 年—2009 年各降雨等级的年降雨总量及农村面源径流量年均截留率

Tab. 3 Annual total rainfall for each rainfall intensity level and average retention rate of rural non-point source runoff during 1995 - 2009

年份	总降雨量/mm	小雨			中雨			大雨			年均截留率/%
		降雨量/mm	占总降雨量比例/%	降雨场次/场	降雨量/mm	占总降雨量比例/%	降雨场次/场	降雨量/mm	占总降雨量比例/%	降雨场次/场	
1995 年	827.5	192.8	23.30	85	311.2	37.61	20	272.9	32.98	8	58.39
1996 年	890.1	244.1	27.42	70	238.9	26.84	16	289.9	32.57	9	54.11
1997 年	1 093.5	202.4	18.51	62	358.7	32.80	23	296.0	27.07	9	48.77
1998 年	849.4	121.4	14.29	35	252.6	29.74	18	213.4	25.12	6	42.33
1999 年	976.6	168.5	17.25	48	257.0	26.32	16	426.7	43.69	12	49.28
2000 年	799.1	263.7	33.00	84	400.0	50.06	25	135.4	16.94	5	69.42
2001 年	1 098.1	210.6	19.18	74	414.3	37.73	26	341.4	31.09	10	54.30
2002 年	1 002.8	206.3	20.57	78	287.7	28.69	17	206.2	20.56	6	45.20
2003 年	643.4	169.4	26.33	73	275.2	42.77	17	126.1	19.60	4	59.64
2004 年	837.7	234.8	28.03	88	284.1	33.91	19	146.0	17.43	5	54.01
2005 年	919.2	204.4	22.24	95	358.2	38.97	23	304.8	33.16	9	58.52
2006 年	686.4	218.7	31.86	62	256.7	37.40	16	211.0	30.74	6	64.62
2007 年	776.9	245.4	31.59	68	165.9	21.35	11	180.8	23.27	5	50.30
2008 年	1 080.8	246.5	22.81	96	386.1	35.72	25	275.2	25.46	9	53.86
2009 年	627.5	232	36.97	83	179.5	28.61	12	216.0	34.42	6	64.08

考虑到研究区域内,采用手动控制模式的沉砂截流并对农村面源径流进行截留,其截留率随着降雨量的增大而降低。因此,由于降雨量为 10 mm 时接近小雨等级的最大降雨量,可认为课题组前期通过 SWMM 模拟获得降雨量为 10 mm 对应的径流量截留率 84.26%^[9] 是小雨等级所对应的最小截留率;相应地,由于 2018 年 8 月 21 日的降雨量(25.9 mm)接近中雨等级的最大降雨量,其实测径流量截留率 70.62% 亦可认为是中雨等级对应的最小截留率;2018 年 8 月 3 日的降雨量(43.2 mm)接近大雨等级的最大降雨量,其实测径流量截留率 36.98% 可认为是大雨等级对应的最小截留率。在此基础上,结合式(9),本研究采用最难保证的截留率替代相应雨型截留率的极限思想方法来推算 1995 年—2009 年的农业面源径流量年均截留率。

由表 3 可以看出,农村面源径流量年均截留率最小的是 1998 年的 42.33%,最大的是 2000 年的 69.42%。由此可见,在采用小雨、中雨、大雨等级对应的最小截留率进行计算的条件下,农村面源径流

的年均截留率均满足 30% 的设计目标要求。此外,观察到农村面源径流量年均截留率与当年各类降雨等级降雨量的总量占比有关,当等级越高的降雨其降雨总量占比越高时,相应的年均截留率就越低。

3.3 枯、平和偏丰水年划分及相应年均截留率

昆明市公共气象服务中心提供的雨量监测数据(2016 年—2017 年)显示,多年来昆明市平均降雨量为 1 011.2 mm,枯水年降雨量为 800 mm,偏丰水年降雨量为 1 200 mm,以研究区域 15 年的降雨量资料为基础,将各年总降雨量按照枯水年[0,800 mm)、平水年[800 mm,1 011.2 mm)和偏丰水年[1 011.2 mm,1 200 mm)进行分类计算,结果表明,1995 年—2009 年期间,枯水年的年份有 2000 年、2003 年、2006 年、2007 年和 2009 年,其对应的农村面源径流量年均截留率分别为 69.42%、59.64%、64.62%、50.30% 和 64.08%,这 5 年的平均年截留率为 61.56%;平水年的年份有 1995 年、1996 年、1998 年、1999 年、2002 年、2004 年和 2005 年,其对应的农村面源径流量年均截留率分别为 58.39%、

54.11%、42.33%、49.28%、45.20%、54.01%以及58.52%,这7年的平均年截留率为51.55%;偏丰水年的年份有1997年、2001年、2008年,其对应的农村面源径流量年均截留率分别为48.77%、54.30%和53.86%,这3年的平均年截留率为52.31%。可见,1995年—2009年,枯水年、平水年和偏丰水年的平均年截留率达到了大于30%的设计目标。

4 结论

① 实测降雨量分别为43.2和25.9 mm的两场降雨事件中,其对应的农村面源径流量截留率分别为36.98%和70.62%,满足30%的设计目标要求,且径流量截留率随降雨量的增大而减小。

② 1995年—2009年,农村面源径流量年均截留率最小为42.33%(1998年),最大为69.42%(2000年);枯水年、平水年和偏丰水年的平均年截留率分别为61.56%、51.55%和52.31%,均满足农村面源径流量截留率30%的目标要求。

③ 采用手动控制沉砂截流井的截污系统,能够有效实现综合考虑农村面源径流初期效应、截污系统的投资成本及水质净化厂的处理能力等因素确定的农村面源径流量截留30%的目标,对评估环湖截污系统效能的发挥具有重要意义。

参考文献:

- [1] 程文娟,史静,夏运生,等. 滇池流域农田土壤氮磷流失分析研究[J]. 水土保持学报,2008,22(5):52-55.
CHENG Wenjuan, SHI Jing, XIA Yunsheng, *et al.* Farm and runoff of nitrogen and phosphorus in Dianchi watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5): 52-55 (in Chinese).
- [2] 桂萌,祝万鹏,余刚,等. 滇池流域大棚种植区面源污染释放规律[J]. 农业环境科学学报,2003,22(1):1-5.
GUI Meng, ZHU Wanpeng, YU Gang, *et al.* Release regularity of agricultural non-point pollution in drainage area in Dianchi region [J]. Journal of Agro - Environment Science, 2003, 22(1): 1-5 (in Chinese).
- [3] 李翠萍,续勇波,李永梅,等. 滇池湖滨带设施蔬菜、花卉的农田养分平衡[J]. 云南农业大学学报,2005,20(6):804-809.
LI Cuiping, XU Yongbo, LI Yongmei, *et al.* The nutrient balance in the protected fields of vegetable and flower cultivation in Dian lakefront [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(6): 804-809 (in Chinese).
- [4] 吴永红,胡正义,杨林章. 农业面源污染控制工程的“减源-拦截-修复”(3R)理论与实践[J]. 农业工程学报,2011,27(5):1-6.
WU Yonghong, HU Zhengyi, YANG Linzhang. Strategies for controlling agricultural non-point source pollution: reduce-retain-restoration (3R) theory and its practice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 1-6 (in Chinese).
- [5] 陈水平. 基于电导率控制的城市雨水高效截留效率研究[D]. 重庆:重庆大学,2015.
CHEN Shuiping. Study on High Efficient Interception Efficiency of Urban Runoff Based on Conductivity [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015 (in Chinese).
- [6] 金竹静,李金花,张春敏,等. 滇池流域城区河道污染治理技术体系建立及工程应用[J]. 中国给水排水,2018,34(6):100-105.
JIN Zhujing, LI Jinhua, ZHANG Chunmin, *et al.* Construction and engineering application of pollution control technology system for urban river in Dianchi watershed [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 100-105 (in Chinese).
- [7] 何佳,徐晓梅,杨艳,等. 滇池水环境综合治理成效与存在问题[J]. 湖泊科学,2015,27(2):195-199.
HE Jia, XU Xiaomei, YANG Yan, *et al.* Problems and effects of comprehensive management of water environment in Lake Dianchi [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(2): 195-199 (in Chinese).
- [8] 张志斌. 滇池水污染治理的分析及思考[J]. 环境工程,2014,32(12):26-29,35.
ZHANG Zhibin. Analysis and thinking of consideration of control of the Dianchi Lake water pollution [J]. Environmental Engineering, 2014, 32(12): 26-29, 35 (in Chinese).
- [9] 刘定. 滇池东岸农业污水高效收集技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2016.
LIU Ding. Research on Efficient Collection Technology of Agricultural Sewage on the East Basin of Dianchi [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016 (in Chinese).
- [10] 周晓航. 滇池东岸大棚种植区农业污水污染特征及处理工艺外加碳源生物脱氮比较研究[D]. 重庆:重庆大学,2015.

(下转第116页)