DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2015.06.08

围隔导流对太湖蓬坑湾藻类富集效能的影响

王瑶瑶",逄勇",b,黄亚文",王健健"

(河海大学 a. 环境学院; b. 浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘 要:针对围隔可改变水体流场、影响藻类漂移聚集,通过改变围隔布设角度和长度,探究不同围隔导流方案下 藻类的富集效果。选取梅梁湾内的打捞点蓬坑湾作为研究对象,在建立太湖水量水质模型基础上,进一步建立太 湖蓬坑湾套网模型,根据角度、长度两个因素,模拟6种布设方案下藻类富集效果,分析得到最佳角度、长度组合布 设方案,并进一步考虑蓬坑湾地形和经济效益,提出适宜于蓬坑湾地形的优化方案。结果表明:围隔布设角度与水 流方向呈120°时,湾内富集效果最佳;围隔布设长度越长,蓝藻收集区域越大,湾内富集效果越好;综合考虑地形特 点和经济效益,最终确定围隔布设最佳方案为在上下湾口处分别布设一段围隔,布设角度与水流方向呈120°,上下 湾口处围隔布设长度分别为100、30 m。研究成果对于改善湖泊水环境具有较好的应用前景。

关键词: 套网模型; 围隔导流; 叶绿素 a; 藻类; 水环境; 太湖

中图分类号:X524 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)06-0042-06

Impact on enrichment efficiency of enclosure diversion on algae in Pengkeng bay of Taihu lake

WANG Yaoyao^a, PANG Yong^{a,b}, HUANG Yawen^a, WANG Jianjian^a

(a. College of Environment; b. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Aimed at the situation that enclosure diversion can change the water flow field affect the drifting and aggregation of algae, this paper explored the enrichment efficiency of algae under different enclosure diversion plans through changing the angle and length of enclosure layout. Taking Pengkeng bay within Meiliang bay fishing area as the research object, the paper built the network model based on the coupled water quantity – quality model of Taihu lake. It simulated the enrichment efficiency under six different layouts according to the two factors of angle and length , and got the best combined scheme. Furthermore, considering the terrain and economic benefits of Pengkeng Bay, it put forward optimum proposal that suits for the local terrain features. Results show that the enrichment efficiency is the best when the angle between enclosure layout and water flow is 120 degrees; the longer the enclosure is, the larger the collecting zone of blue – green algae gets, the better the enrichment efficiency becomes; the best plan is to set up a section of enclosure respectively in the upside and downside bay in comprehensively considering the terrain features and economic benefits, the angle between enclosure and water direation should be 120 degrees, and the length of upside and downside bay is 100 and 30 meters respectively. The result has a good application prospect for the improvement of water environment in Taihu lake.

Key words: network model; enclosure diversion; Chlorophyll - a; alge; water environment; Taihu lake

随着长江三角洲地区工业发展和城市化进程的 加速,大量污染物被排放进太湖,造成湖体富营养化 严重,蓝藻大量繁殖,水体生态环境不断恶化^[1]。适 宜的水温、营养盐浓度、pH 值和光照是导致湖泊藻类 快速增长的主要原因,且藻类在特定的水文气象条件 下易发生聚集,从而在半封闭式湖湾中形成水华^[2]。

太湖是一个典型的浅水湖泊,其环境和生态过 程受风浪作用影响显著^[3],在风浪作用下形成的水

基金项目:国家科技重大专项(2012ZX07101-010)

作者简介:王瑶瑶(1991-),女,山西晋城人,硕士研究生,主要研究方向为环境规划与综合评价。

通讯作者: 逢勇(1958-), 男, 山东胶南人, 教授, 主要研究方向为环境规划与综合评价。

43

体风生流,驱动藻类迁移聚集到迎风岸带,形成藻类 易聚集区,进一步加剧部分湖区水质恶化^[4]。通过 围隔生态导流措施能够实现蓝藻富集,减轻风浪对 水体的影响,显著改善湖泊水质。目前,乐成峰 等^[5]、秦伯强等^[6]、逄勇等^[7]的研究多停留在风浪 对太湖蓝藻的空间分布及迁移变化的影响,李健 等^[8]、张宁红等^[9]研究了封闭围隔对指定区域内湖 体蓝藻水华的快速打捞和消解作用,而研究将风浪 影响和围隔导流结合起来,实现特定区域内蓝藻的 迁移富集却鲜有报道。

梅梁湾是太湖污染较为严重的区域,其蓬坑湾位 于太湖梅梁湾的西南部,西临无锡马山,东濒太湖,是 梅梁湾湖区重要的蓝藻打捞点,研究区域位置见图 1。蓬坑湾具有天然的凹度,湾口长约210 m,凹深约 80 m,其上设有两个收集口,且已在湾口处设置拦截 措施,可起到收集蓝藻并阻挡蓝藻外溢的作用,但由 于蓬坑湾附近多为沿岸流,促使蓝藻随水流方向向上 漂移,湾内富集效果不好。为了提高湾内蓝藻的富集 效果,本文通过建立太湖蓬坑湾套网模型,模拟在夏 季盛行风下蓬坑湾的湖流流场情况及藻类分布情况, 探究不同围隔导流布设方式对湾内藻类富集效果的 影响,并用模型定量分析藻类的变化情况,以期为蓝 藻的富集及快速高效打捞提供指导意义。



图1 研究区域蓬坑湾位置图

1 模型建立

为了更好地反映太湖局部地区(蓬坑湾)详细 的湖流场和浓度场,采用套网格的数值模拟方法。 所谓套网模型,是指在大太湖模拟率定的基础上,选 取局部区域蓬坑湾进行计算,将其网格进行加密,实 现对模拟区域的细化^[10-11],计算边界值取自大太湖 模型中蓬坑湾与太湖交界处的流场和水质数据。

1.1 基本方程

1.1.1 水动力模型 水动力模型是采用笛卡尔左手 直角坐标系下的二维质量和动量守恒控制方程 组^[12-13]。x轴和y轴均位于湖水的水平面上,x轴向东 为正,y轴向北为正,其流体动力学方程可表示如下: $\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial \zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t}$ (1) $\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\frac{p^2}{H}) + \frac{\partial}{\partial y} (\frac{pq}{H}) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp}{C^2 H^2} - \frac{1}{\rho} \Big[\frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \Big] - fq - f_w + W + W_x = 0$ (2) $\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} (\frac{q^2}{H}) + \frac{\partial}{\partial x} (\frac{pq}{H}) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp}{C^2 H^2} - \frac{1}{\rho} \Big[\frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xy}) \Big] - fq - f_w + W + W_y = 0$

(3) 式中: H为水深, $m, H = h + \zeta$, 其中 ζ , h 分别为水位 和水深; $p \langle q \rangle x \langle y \rangle$ 方向上的流通通量, m^3 / s ; g 为重 力加速度, m / s^2 ; C 为谢才系数, \sqrt{m} / s ; ρ 为水的密 度, kg/m^3 ; f 为科氏力系数, 无量纲; $\tau_{xx} \langle \tau_{xy} \langle \tau_{yy} \rangle$ 有效剪切力分量, N/m^2 ; $W \langle W_x \rangle W_y$ 为风速及在 $x \langle y$ 方向上的分量, m / s; f_w 为风阻力系数, 无量纲。 1.1.2 藻类生长模型 湖泊中叶绿素 a(在下文中 用 Chl – a 代替)的含量是水体营养状态评价的重要 参数, Chl – a 含量的影响因子很多, 一般认为, 光 照 \ 温度、降水量、营养盐和酸碱度对其都有影

根据质量守恒原理可得富营养化变量的基本方 程为^[15]:

响[14],本文主要考察营养盐浓度对藻类生长的影

响,以Chl-a浓度作为评价指标。

$$\frac{\partial C_{chl-a}}{\partial t} + U \frac{\partial C_{chl-a}}{\partial x} + V \frac{\partial C_{chl-a}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C_{chl-a}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial C_{chl-a}}{\partial y} \right) + S_{shl-a}$$
(4)

其中:

$$S_{chl-a} = G_{p1}(t) - D_{p1}(t) - \frac{V_s}{D}$$
(5)

$$G_{PI} = K_1 \cdot Phtsyn \cdot F(N, P) \tag{6}$$

$$D_{PI} = \mu \cdot F(N, P) \tag{7}$$

式中: C_{Chl-a} 表示 Chl – a 的浓度; $U \setminus V$ 分别代表 $x \setminus y$ 轴方向的流速分量, 通过水量模型计算可知; $E_x \setminus E_y$ 分别代表藻类的横向扩散系数和纵向扩散系数; S_{Chl-a} 代表 Chl – a 的转化项; G_{Pl} 指藻类生长项; D_{Pl} 指藻类死亡项; V_s 指藻类的沉降项;D 代表水深; K_1 指叶绿素的含量与浮游植物光合作用的相关系数; Phtsyn 指单位体积水中植物的光合作用值; μ 指在 最适营养条件下的死亡率,F(N,P) 表示营养盐限 制函数。

1.2 地形概化

1.2.1 太湖湖体大网模型地形概化 太湖湖体模型概化采用非结构三角形网格,共概化了4720个网格,网格间距为1000~1200m,并对梅梁湾和竺山湾以及周边区域进行局部细化,网格间距为400~500m。模型计算时间步长取Δt = 180 s。太湖湖体地形高程图见图2。







1.3.2 藻类生长模型的率定与验证 采用 2009 年7 月全太湖 12 个采样点每月一次的实测水文水质资料 对藻类生长模型进行率定验证。这 12 个采样点分别 位于竺山湖、梅梁湾、太湖西岸、湖心区以及东太湖 等,具有一定的代表性。模型模拟时,选取 2009 年 7 月实测的水质资料作为判别基准,TP、TN、COD_{Mn}和 Chl-a 作为判别要素^[17],模拟结果见表 1。

由表1可知,各水质指标的模拟计算值与实测 值较吻合,COD_{Mn}、TN、TP及Chl-a浓度的平均误 差分别为7.7%、11.7%、20.7%、和9.4%,均未超 过30%,表明水动力与水质耦合模型能较准确的模 1.2.2 蓬坑湾套网模型地形概化 蓬坑湾套网模型概化采用非结构三角形网格,共概化了4450个网格,网格间距为10m。模型计算时间步长取Δt = 180 s。蓬坑湾湖底地形高程见图3。

1.3 模型率定

1.3.1 水动力模型参数率定 太湖实测流场通过 1990-2008年太湖各测点不同风向风速下实测流 向流速资料,按权重统计计算得出^[16],见图4。通 过模型模拟得到流场图(图5),对比可得:模型模拟 所得太湖流场在流向及流速量级上均与实测流场基 本吻合,可用来进一步模拟计算太湖水质。模型率 定基本参数结果为:曼宁系数(湖底糙率)介于50~ 70之间;风应力系数在0.0012~0.0015之间。





图 5 模型模拟太湖流场图

拟太湖湖体水质分布。模型率定的水质模型主要参数见表2。

2 围隔布设方案分析

2.1 布设方案

为了确定围隔布设的最佳长度和角度,在同时 考虑水质改善效果和经济效益的基础上,确定围隔 的布设方案见表3,其中:方案1~3是在围隔导流 带长度为100 m的条件下,考察围隔布设角度对湾 内藻类聚集效果的影响;方案4~6是在确定最佳围 隔角度为120°的条件下,考虑不同围隔长度对湾内 表1 水质模型率定结果表

藻类聚集效果的影响;方案7~8是考虑到蓬坑湾地 形的特殊性,因其有上下两个收集口且彼此距离较 远,故考虑在上下两开口处各布设围隔,进而分析湾 内藻类的聚集效果。

序号	采样点名称	$COD_{Mn}/(mg \cdot L^{-1})$			$TN/(mg \cdot L^{-1})$			$TP/(mg \cdot L^{-1})$			$Chl - a/(ug \cdot L^{-1})$		
		实测值	计算值	误差/%	实测值	计算值	误差/%	实测值	计算值	误差/%	实测值	计算值	误差/%
1	3 号标	7.92	6.86	13.38	4.18	3.67	12.20	0.43	0.38	11.63	106.47	97.34	8.58
2	竹山	5.76	5.02	12.85	1.91	2.06	7.85	0.14	0.18	28.57	34.28	39.67	15.72
3	乌龟山	6.08	6.12	0.66	1.92	1.89	1.56	0.11	0.09	18.18	37.31	34.02	8.82
4	大浦	7.76	7.24	6.70	4.28	3.92	8.41	0.30	0.25	16.67	46.11	44.31	3.90
5	小梅口	3.84	3.64	5.21	1.73	1.56	9.83	0.05	0.064	28.00			
6	大贡山	4.48	4.02	10.27	1.47	1.68	14.29	0.07	0.08	14.29	8.19	7.23	11.72
7	沙墩港	4.96	4.67	5.85	1.74	1.82	4.60	0.13	0.16	23.08	18.2	19.3	6.04
8	竺山湖心	7.52	6.84	9.04	3.21	3.73	16.20	0.32	0.25	21.88	32.15	29.45	8.40
9	14 号灯标	5.28	5.21	1.33	1.95	1.86	4.62	0.07	0.083	18.57	5.46	5.78	5.86
10	东太湖	10.8	9.93	8.06	1.15	0.95	17.39	0.06	0.074	23.33	23.36	20.69	11.43
11	石公	16.16	14.56	9.90	1.16	1.36	17.24	0.04	0.05	25.00	7.58	7.01	7.52
12	胥口	4.80	4.36	9.17	1.12	1.41	25.89	0.02	0.024	20.00	0.91	1.05	15.38
	平均值			7.70			11.67			20.76			9.39

表 2 模型的主要参数的率定结果表

状态变量	相关参数	模型取值	
Chl – a	氮的半饱和系数/(mg·L ⁻¹)	0.32	
	磷的半饱和系数∕(mg・L ⁻¹)	0.15	
	Chl-a的死亡率/d	0.01	
	Chl-a的沉降速度	0.20	
DO	呼吸作用温度系数/(mg・L ⁻¹)	1.07	
	呼吸作用半饱和系数/(mg・L ⁻¹)	2.00	
	沉积态有机物降解需氧量/(g・d ⁻¹ ・m ⁻²)) 0.10	
NH_4^+	有机物降解氨产生量/(g・g ⁻¹)	0.50	
	细菌摄取氨氮量/(g・g ⁻¹)	0.11	
	氦吸收半饱和系数/(mg・L⁻¹)	0.05	
BOD	降解温度系数	1.07	
	降解半饱和数/(mg・L ⁻¹)	2.00	
PO_4^{3}	有机物降解磷产生量/(g·g ⁻¹)	0.06	
	磷半饱和系数/(mg・L ⁻¹)	0.004	
NO_3^-	硝酸盐的悬浮量/(g・m ⁻² ・d ⁻¹)	0.50	
	反硝化温度系数	1.16	

根据实测资料,东南风、西南风为太湖夏季主导风向^[18],而蓬坑湾的地理位置决定了东南风更利于藻类随水流方向向蓬坑湾内漂移,故选取东南风(SE)作为定常风对模型进行数值模拟,风速取3m/s。

计位于安	上部尹	千口出	下部开口出					
月异刀杀	长度/m	角度/(°)	长度/m 1	角度/(°)				
方案1~3	100	90/120/135						
方案4~6	50/150/200	120						
方案7~8	100	120	30/50	120				

表 3 模型计算方案

2.2 结果分析

2.2.1 国隔布设角度对湾内藻类富集效果的影响 对比方案1~方案3的模拟结果可知(见表4和 图6),在围隔布设长度为100m,布设角度分别为 90°、120°和135°时,蓬坑湾内Chl-a的平均浓度分 别为85.7、95.3和90.1ug/L,由此可看出在围隔长 度一定的情况下,当围隔布设方向与水流方向呈 120°夹角时,湾内Chl-a的浓度最高,即围隔导流 带对蓝藻的富集量最大,这主要是由于当布设角度 为90°时,水流流向与围隔垂直,Chl-a一部分随水 流扩散进入湾内,一部分则沿着围隔继续向北漂移; 当布设角度为135°时,导致围隔与水流的横向作用 范围变小,收集效果变弱;而当布设角度为120°时, 进入收集区域内的Chl-a不易扩散至湾外,且藻类 收集范围较大。

此外,对比上下部收集区的 Chl - a 平均浓度可 得出,未建围隔前,上部 Chl - a 的平均浓度略高于 下部 Chl - a 的平均浓度,这是由于盛行风引起的水 体风生流促使藻类向北漂移,导致湾外 Chl - a 浓度 形成从南向北逐渐升高的趋势,从而导致扩散进入 上部的 Chl - a 浓度大于下部,而建立围隔后,上部 收集区 Chl - a 浓度增加明显,而下部收集区浓度基 本没有变化,这说明围隔的布设并未对下部收集区 藻类聚集产生明显的改善作用。

2.2.2 围隔布设长度对湾内藻类富集效果的影响

由方案 2、4、5 和 6 的模拟结果可知(见表 4 和图 6),当围隔布设角度为 120°,围隔布设长度分别为

50、100、150和200m时,湾内Chl-a的平均浓度各 是84.3、95.3、100.4和106.7ug/L,表明随着围隔 长度增加,湾内藻类富集量逐渐增大,然而进一步比 较分析得知,上部收集区藻类浓度的增量却并未持 续增大,只在100m时增量最大,随着围隔长度的进 一步增加,湾内Chl-a浓度虽有所增加,但效果并 不明显;下部收集区内藻类浓度在围隔长度为200 m时,才出现比较明显的富集效果,这主要是由于上 下部收集区之间距离引起的,围隔导流带长度为 200m时刚好可以对下部收集区藻类富集产生影响, 因此,针对蓬坑湾的地形特点,需进一步分析围隔布 设对上下部收集区之间的协同影响。 2.2.3 方案优化 由方案1~6的模拟结果可以看出, 布设围隔导流带的上湾口处藻类富集效果较好,而对 于下湾口,当围隔长度达到200m时,藻类富集发生较 明显的改变,但由于围隔长度大于200m后造成经济 投入较大,进一步增加围隔长度不符合经济效应。因此,考虑到经济效应和蓬坑湾的特殊地形,需对围隔方 案进行优化,拟采取在上下湾口均布设一段围隔导流 带。由方案7和方案8计算结果可知(见表4和图6), 在上下部收集区均布设围隔后,下部收集区内Chl-a 浓度分别是97.5和102.1 ug/L。

表 4 不同围隔构建方案 Chl – a 浓度模拟结果对照表

ug/L



图 6 不同围隔构建方案下蓬坑湾 Chl - a 浓度场模拟图(单位:ug/L)

对比可知,下湾收集效果得到明显提升,但随着 下部收集区围隔长度的增加,其对上湾口的水流流 动产生明显的阻挡作用,使随水流飘入上湾口的藻 类明显减少。当下湾口围隔长度为50m时,上部收 集区的 Chl - a 浓度也由原先的 120.7 ug/L 降至 107.3 ug/L。比较湾内的平均浓度可看出,当下湾 口围隔长度为30m时,湾内平均浓度可适 106.8 ug/L,富集效果最好。因此,蓬坑湾湖区围隔布设的 最佳方案为上部收集区布设一段 100m长的围隔, 下部收集区布设一段30m的围隔,两段围隔布设角 度相同,都与岸线方向呈 120°夹角,其收集效果最 佳,较未设围隔前,富集效果提升了 30.2 ug/L。

3 结 语

本文在太湖水动力和水质耦合模型的基础上, 研究了蓬坑湾地区围隔布设的角度、长度以及最佳 方案。考虑在盛行风场下打捞点处的水流流场,当 围隔布设角度与水流方向呈 120°时,最有利于藻类 向打捞点处聚集,且围隔布设的最佳长度为 100m。 协同考虑上下两个收集口处蓝藻的富集效果和经济 效益,确定最佳围隔布设方案为在上下湾口处均布 设围隔,布设角度与水流方向呈 120°,从北向南围 隔布设长度分别为 100、30 m,此时湾内平均浓度为 107.1 ug/L,较未设围隔前,富集效果提升了 30.2 ug/L。

围隔导流措施系统结构简单,工程实用价值强, 能有效改善打捞点处蓝藻堆积效果,提高蓝藻打捞 效率。这种主动、高效率的蓝藻打捞手段可以促进 目标点水质净化改善,维持周边居民生活健康,具有 广阔的应用前景。但由于太湖湖岸地形形式多样, 蓬坑湾地区的围隔布设方式并不一定适用于其他地 形,且湖区多变的气象条件要求围隔布设具有相对 的可调整性,同时围隔布设还存在参数定量化不够 等问题,都需要在今后的研究中进一步解决,以便为 实现围隔导流在蓝藻打捞工程上的实际应用提供技 术支撑。

参考文献:

- [1] 钱昊钟,赵巧华,钱培东,等.太湖叶绿素 a 浓度分布的时空 特征及其影响因素[J].环境化学,2013.32(5):789-796.
- [2] 李敦海,汪志聪,秦红杰,等. 蓝藻水华的拦截和陷阱捕获
 综合控藻技术研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21
 (Z2):45-50.
- [3] 秦伯强,胡维平,陈伟民,等. 太湖梅梁湾水动力及相关 过程的研究[J]. 湖泊科学,2000,12(4):327-334.
- [4] 许遐祯, 钱昊钟, 赵巧华. 风场对太湖叶绿素 a 空间分布 的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1282-1287.
- [5]乐成峰,李云梅,孙德勇,等.太湖叶绿素 a 浓度时空分异及 其定量反演[J].环境科学,2008,29(3):619-626.
- [6]秦伯强,胡维平,陈伟民,等.太湖水环境演化过程与机 理[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 逢 勇,庄 巍,韩 涛,等.风浪扰动下的太湖悬浮物实验与 模拟[J].环境科学,2008,29(10):2743-2748.
- [8]李 健,金中武,杨文俊.野外现场生态围隔实验研究进展 [J].长江科学院院报,2013,30(10):27-31.
- [9]张宁红,黎刚,郁建桥等.太湖蓝藻水华暴发主要特征初 析[J].中国环境监测,2009,25(1):71-74.
- [10]李一平,遙勇,张志毅,等.太湖梅梁湾、贡湖套网格风 生流数值模拟[J].水资源保护,2004,20(2):19-21.
- [11] Imteaz MA, Asaeda T. Artification mixing of lake water by bubble plum and effcets of bubbing operations on algal bloom[J]. water research, 2000, 34(6):1919 - 1929.
- [12] 王 芳, 逢 勇, 薛 滨. 太湖主体湖区对梅梁湾藻类影响定量 化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 275 – 279.
- [13] 颜润润, 逢勇. 基于 EOS/MODIS 资料的太湖藻类动态 模拟[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(7): 29-31.
- [14]王明翠,刘雪芹,张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测,2002,18(5):47-49.
- [15]颜润润, 逢勇, 赵伟, 等. 环流型水域水动力对藻类生长的影响[J]. 中国环境科学. 2008, 28(9): 813-817.
- [16] 胡开明. 基于太湖水质达标及溯源方法的入湖污染物 减排分配技术研究[D],南京:河海大学,2012.
- [17]李一平,逢勇,刘兴平,等.太湖波浪数值模拟[J].湖泊 科学,2008,20(1):117-122.
- [18] 王健健, 遙勇, 潘红澈. 桥梁壅水对太湖竺山湾水环境影响 模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(4): 56-59.