

草鱼引入对滇池湖体海菜花消亡的影响

杨君兴, 舒树森, 陈小勇*

中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室, 云南 昆明 650223

摘要: 1976年, 曾经繁盛在滇池的海菜花群落消亡并引起了广泛讨论。该文通过对相关文献的整理和分析, 重建了1950—2000年滇池水环境、水生植物与鱼产量变化趋势图, 发现滇池外海海菜花消失的时间早于污染爆发, 而与滇池鱼产量增加的时间基本一致, 并由此提出: 滇池外海海菜花群落消失主要归因于20世纪60年代草鱼的过量放养, 而围湖造田和后期污染则使海菜花种群难以恢复。

关键词: 草鱼; 海菜花; 消亡; 滇池

中图分类号: Q949.71⁺2.7 文献标志码: A 文章编号: 0254-5853-(2013)06-0631-05

Effect of grass carp introduction of the extinction of *Ottelia acuminata* in Dianchi Lake

Jun-Xing YANG, Shu-Sen SHU, Xiao-Yong CHEN*

State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China

Abstract: *Ottelia acuminata* was a dominant macrophyte in Dianchi Lake prior up through the 1970s, when it was thought to have gone extinct in 1976. Various theories have been proposed as to its extinction, with a particular focus on pollution-driven factors. By comparing the historical records on pollution and fish yields of Dianchi Lake from the 1950s to early 2000, we found that the extinction of *O. acuminata* from Dianchi Lake occurred earlier than the documented spread of pollution. The surveyed data also demonstrate that the extinction of *O. acuminata* was likely caused primarily by the massive introduction of grass carp, from 1958 to 1973. Future reclamation of lake bays and pollution may yield some impact on the restoration of the *O. acuminata* population even after the decline of grass carp population.

Keywords: *Ottelia acuminata*; Extinction; Grass carp introduction; Dianchi Lake

海菜花 [*Ottelia acuminata* (Gagnep.) Dandy] 为水鳖科 (Hydrocharitaceae) 沉水植物, 生长于海拔低于2 700 m的湖泊、池塘、沟渠和深水田等, 属中国特有种, 分布于云南、四川、贵州、广西和海南等地 (Li, 1981)。

“高原明珠”滇池是云贵高原湖群中面积最大的湖泊, 位于云南省中部, 湖泊面积~300 km², 最深处~5.7 m, 平均水深~4.1 m, 容积~12.10×10⁹ m³。滇池北端湖堤——“海埂”, 系由湖泊泥沙在以西南风为主所形成的湖流作用下自然堆积而成, 将滇池分为草海 (~10 km²) 和外海 (~290 km²) 两部分 (Zhang et al, 1987)。

20世纪60年代以前, 海菜花群落在滇池占有显

著地位, 其黄蕊白瓣的花全年盛开并浮于水面, 将滇池妆点得繁花似锦, 人们誉之为“花湖”、“花海”, 沿湖渔民也采集海菜花花萼和佛焰苞煮汤, 其味细腻鲜美, 胜过海味 (Li, 1985)。70年代, 海菜花在滇池的种群数量开始迅速下降, 至1976年, Li (1985) 对滇池进行全湖水生植物调查时, 仅三次见到海菜花。此后在延续7年的逐年调查中, 均未在滇池发现过海菜花。1976年为海菜花从滇池消失的时间确切时间记录。海菜花从滇池消失的原因引起了广泛讨论, 基本结论有两种: Qu & Li (1983) 认为水体污染导致了海菜花等水生植物失去光合作用能力, 并最终消亡; Li (1985) 则认为滇池的海菜花在污染下走向了衰败, 而在草鱼 (*Ctenopharyngodon*

收稿日期: 2013-03-04; 接受日期: 2013-05-17

基金项目: 云南省社会发展科技计划 (2012CA014); 云南省环保厅九湖水污染防治专项; 水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07102004)

*通信作者 (Corresponding author), E-mail: chenxy@mail.kiz.ac.cn

idella (Valenciennes)) 过量放养后走向了灭绝。上述两种结论均把海菜花从滇池消亡的首要原因归咎为水体污染。

近年来,随着湿地恢复研究的深入,中国科学院昆明动物研究所率先在滇池湖体回植海菜花,并取得了成功(Shu et al., 2007)。目前,海菜花已在上海等地进行移种实验(Wang, 2011)。这些成功经验显示,曾经被视为对污染敏感的海菜花已逐渐作为治理富营养化水体的理想物种。这种转变提醒我们应该重新审视海菜花在滇池消亡的真正原因。

1 材料及方法

本研究数据主要来源于昆明市滇池管理局历史记录及相关文献,重点为 20 世纪 50 年代—90 年代后期滇池水环境和鱼产量的变化趋势,同时,结合本实验室的历史野外调查以及沿湖渔民访问资料。草鱼取食海菜花实验于滇池东岸湿地进行。

2 结果与分析

2.1 20 世纪中后期滇池水质变化趋势

1960 年之前,滇池草海和外海水质基本相同,主要污染为老年性湖泊的内源污染,总磷(TP)及总氮(TN)分别为 0.13 及 0.5 mg/L,综合评定为 III 类水。20 世纪 60 年代未见相关水质报告。70 年代以后,草海水质开始恶化,总氮、总磷等营养盐增加,浓度最高达 0.78 和 0.3 mg/L,综合评定为劣 V 类水,外海水质整体良好,总氮和总磷最高浓度分别为 0.34 和 0.23 mg/L,为 III 类水。80 年代以后,草海水质急剧恶化,尤其是总氮迅速升高,到 90 年代最高值达到 7.14 mg/L,污染严重。外海总氮和总磷也呈逐年呈增高态势,到 90 年代末期最高值分别达到 1.2 和 0.18 mg/L,基本维持在 V 类水水平(图 1)。

此外,滇池草海和外海透明度均呈下降趋势(图 2)。1960 年之前,湖泊透明度为 2~4 m,多处可见湖底。1978 年之前,外海透明度为 0.35~2 m,不同地点透明度变化较大,而草海则迅速下降至 0.23~0.6 m,水体混浊。80 年代后,外海透明度继续下降,基本维持在 0.21~1.6 m,局部依然维持较好透明度,草海透明度下降至 <0.4 m。90 年代以后,外海透明度维持在 0.68~1.4 m,草海则下降至 <0.2 m。

2.2 滇池鱼产量变化

1941 年,滇池鱼产量仅为 60 t,至 1956 年,缓慢上升至 385 t。1958 年以后,“四大家鱼”鱼苗

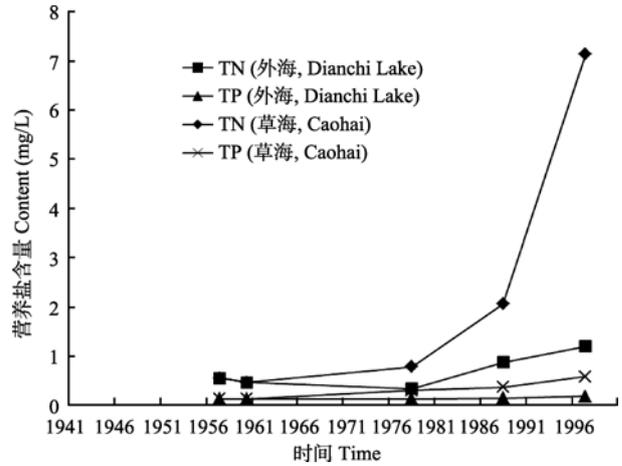


图 1 滇池水体营养盐变化趋势图(数据来源: Ley et al., 1963; Yu et al., 2000)

Figure 1 Trends in nutrient changes in Dianchi Lake (data from Ley et al., 1963; Yu et al., 2000)

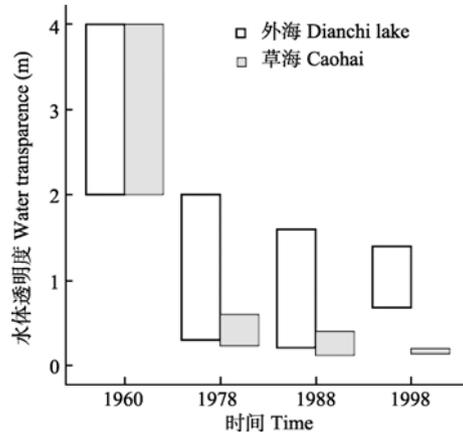


图 2 滇池水体透明度变化趋势图(数据来源: Ley et al., 1963; Yu et al., 2000)

Figure 2 Trend in water transparency changes in Dianchi Lake (data from Ley et al., 1963; Yu et al., 2000)

被人工放流到滇池,滇池鱼产量迅速上升,1969 年达到顶峰,为 6 160 t(图 2),此后逐年下降,1976 年后才稳步回升。

2.3 滇池湖体海菜花及水生植物变化趋势

滇池水生植物调查始于 1958 年,以水生植物群落结构研究较多,而生物量变化研究则相对较少。20 世纪 50 年代,滇池草海水生植物丰富,外海沿岸带也有大量水生植物生长(Ley et al., 1963),水生植物盖度达 90%,生物量为 $\sim 81.6 \times 10^4$ t。1983 年,湖泊水生植物盖度仅为 12.6%,生物量下降至 13.6×10^4 t,分布面积和生物量均大幅度下降。1996 年,湖泊水生植物进一步萎缩,盖度仅为湖泊的 1.8%,生物量下降至 1.36×10^4 t(图 4)。

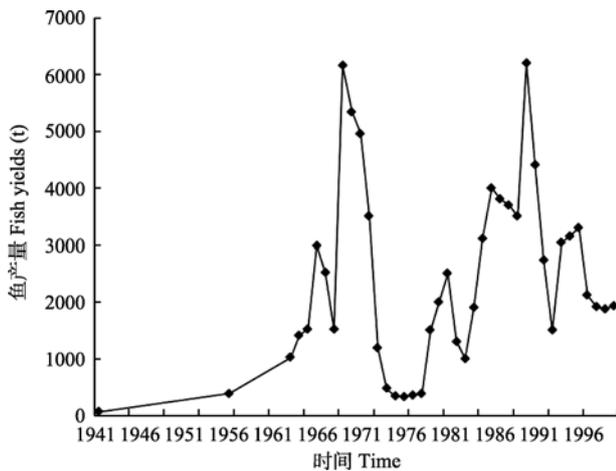


图3 滇池鱼产量变化趋势图(数据来源: Gao et al, 1990; Peng, 2002; Zhang et al, 1987)

Figure 3 Trend in fish yields in Dianchi Lake (data from: Gao et al, 1990; Peng, 2002; Zhang et al, 1987)

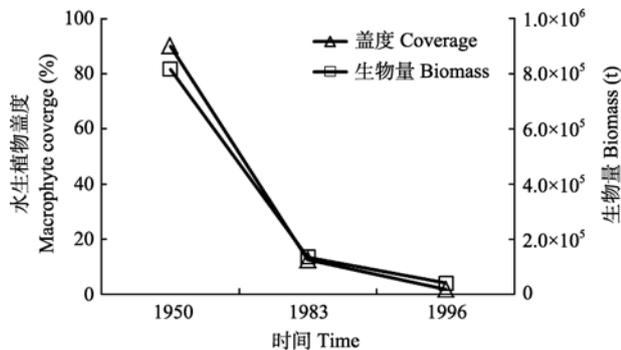


图4 滇池水生植物盖度和生物量变化趋势图(数据来源: Dai, 1985; Xu et al, 2006; Yu et al, 2000)

Figure 4 Trends in macrophyte coverage and biomass in Dianchi Lake (data from Dai, 1985; Xu et al, 2006; Yu et al, 2000)

海菜花消失于1976年,此前10余年基本未见任何可供参考的滇池生态学资料。从调查报告上看,70年代,湖体中的海菜花已寥寥无几(Li, 1985),可见,滇池湖体中的海菜花在70年代初期就已大量消亡。

2.4 水质污染

由滇池水质变化趋势图可见,草海和外海污染经历的时间并不一致。20世纪70年代,草海每天接纳生活污水 $3.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,工业废水 $3.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ (Duan et al, 1983),在1978年之前就已成为了V类水,污染可能是导致草海中海菜花消失的重要原因。外海每天接纳生活污水 $1.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,工业废水 $6.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ (Duan et al, 1983),在1978年之前仍保持III类水,总氮和总磷监测数据与1957年的监测结果相当。外海已通过湖泊自净作用将污染物转化,其水质并未发

生较大变化,而海菜花在此期间即已消亡。由此可见,外海海菜花消亡早于污染的发生,并不能简单的用水体营养水平增高来解释。

水下光照条件是影响沉水植物生长的重要因子,国内、外对水生植物与透明度的关系进行了很多研究,Chambers & Kaiff(1985)根据加拿大和世界资料,提出大型沉水植物分布深度和透明度之间的回归方程式1,我国学者根据长江中、下游湖泊资料,也提出了类似的回归方程式2(Qiu & Wu, 1998)。

回归方程式1: $(Z_c)^{0.5} = 1.33 \log D + 1.40$ ($r=0.76$, $P < 0.0001$)

回归方程式2: $(Z_c)^{0.5} = 0.818 \log D + 1.716$ ($r=0.958$, $P < 0.05$)

其中, Z_c 为被子植物最大分布深度, D 为透明度。

19世纪70年代,滇池外海水体透明度最高为2 m,由回归方程式1和2,分别计算得到当时滇池水生植物理论最大分布深度为3.24和3.85 m,而当时的调查结果显示,水深>2米的深水区基本无高等植物生长(Qu & Li, 1983)。理论值与实际调查间的差异,也证明透明度并非导致滇池外海海菜花和其他水生植物迅速消亡的原因。

对于滇池外海的海菜花消亡,也有人认为与1970—1971年,以氟为主的工业废水排入滇池有关,甚至导致外海水生植物几乎全部灭绝,仅幸存于周围鱼塘和水沟等处(Qu & Li, 1983)。但是,1979年的滇池底泥沉积氟含量检测结果显示(Rao et al, 1983),白鱼口、海口及西华街等湖湾中底泥氟含量较高(653~77 mg/kg),而呈贡、昆阳等湖湾中底泥氟含量低(22.8~1.0 mg/kg),底泥氟含量异质性也证明氟并未造成全湖性污染,因此,亦非造成滇池外海海菜花和其他水生植物消亡的首要原因。

我们对湖周渔民的访问显示,20世纪70年代出生(现在~40岁)的渔民已经没有在滇池见过海菜花经历,但都清楚记得滇池当时水质清澈的情景。在滇池进行的海菜花种植实验,也都是在IV~V类水环境中进行,但仍获得了成功,且长势优良(Shu et al, 2007)。作者2007年对滇池水生生物多样性的调查发现,在湖周晋宁县兴旺村紧邻滇池的一个废弃鱼塘中,仍存活有~50株海菜花,也证明在滇池外海目前为V类水的情况下,海菜花的自然种群依然能够存活。这些证据均显示,滇池湖体富营养化并非是导致海菜花从湖体消失的主要原因。

2.5 草鱼的放养

1969 年, 滇池鱼产量一度达到了 6 160 t, 比 1941 年增加百倍之多。究其原因, 除新式渔具推广及渔民数量上升外, 主要在于自 1958 年起, 每年向滇池投放大量鱼苗。在所投放的鱼苗中, 草鱼占主导地位。例如: 1958 年, 滇池放流鱼苗 886 万尾, 其中, 绝大多数为草鱼 (Gao et al, 1990)。而滇池管理局的相关记录也显示, 草鱼为 1969 年鱼产量增加的主要部分。根据当时放流鱼类数量推测, 草鱼产量~5 000 t, 按照草鱼饵料系数为 120 计算 (鲜重) (Chen, 1989), 需消耗 6×10^5 t 水生植物。而滇池水生植物即使在 50 年代最繁盛的时期, 也仅有 8.16×10^5 t (Xu et al, 2006)。可见, 滇池水生植物不足以长期支撑大规模草鱼放流后的生长。1969—1973 年, 又向滇池放流草鱼鱼苗 1 137 万尾, 但 1973 年的鱼产量中, 草鱼仅为 2 843 kg (Gao et al, 1990), 证明当时滇池湖内的水生植物已大规模减少, 无法满足草鱼的营养和生长需求。

草鱼对水生植物具有摄食选择性, 偏好蛋白质含量高的水生植物, 且消化率最高 (Chen, 1989)。营养成分分析表明, 海菜花的蛋白质含量 (314 g/kg) 高于苦草、轮叶黑藻等水生植物 (Li, 2009), 仅次于水芹, 是草鱼喜爱的食物。2006 年, 我们曾对草鱼摄食海菜花的能力进行了实验: 在种植有 10 株 (240 g/株) 海菜花的围网中, 放入 4 尾草鱼 (300 g), 第 2 天草鱼开始摄食海菜花, 并有大量叶片漂浮于水面; 至第 4 天, 海菜花植株和叶片被全部吃光。Li (1985) 在对滇池的调查中也提到一个现象, 即在放养草鱼后, 常见海菜花残叶浮于水面, 与我们的实验观察的现象一致。上述结果显示: 草鱼嗜好海菜花, 自 1958 年起大量引进的草鱼是导致海菜花从滇池湖体消失的直接原因。

过量放养草鱼导致水生植物消亡, 已有许多相

关案例。例如, 内蒙古岱海, 1954 年开始人工放流, 由于过量放流草鱼, 湖内丰富的水草资源在数年内被破坏殆尽, 草鱼饥不择食, 甚至追食其他小鱼 (Zhang et al, 1997)。1972—1978 年, 由于草鱼放养量的不合理, 食草量大大超过了水生植物再生产量, 致使武汉东湖汤林湖区水生植物减少, 一些种类甚至濒于绝迹, 对湖泊生态平衡造成了不良后果 (Chen, 1989)。我们在云南异龙湖的记录也显示, 自 2009 年向湖中投放大量草鱼后, 异龙湖中的水生植物完全消失, 湖泊透明度下降, 总磷、总氮迅速上升。这些案例均间接印证了滇池中海菜花消亡主要由过量引进草鱼所致。

2.6 围湖造田

1970 年前后, 昆明市开展了大规模围湖造田活动, 其中草海围垦 16.63 km², 外海围垦 7.62 km²。外海围湖造田主要发生于沿岸湖湾, 而湖湾是海菜花和水生植物生长的最优场所, 被围垦后, 湖湾内的水生植物也即随之消失 (Zhang et al, 1985)。值得注意的是, 外海被围垦湖湾仅占海菜花和水生植物分布区域的小部分, 虽不至于导致其从湖体彻底消失, 但对海菜花和其他水生植物在沿岸带的恢复能力仍造成了一定损害 (Li et al, 2004)。

3 结 论

草鱼的引进是导致海菜花自 20 世纪 60—70 年代逐渐从滇池湖体消亡的直接和主要原因。在大量放养草鱼后, 海菜花被优先且过度牧食而从湖体中消失, 后期围湖造田和污染的加重, 使得海菜花种群在草鱼数量减少后难以恢复。

致谢: 前期实验和调查得到中国科学院昆明动物研究所崔桂华、李原的帮助; 审稿人对文章提出了宝贵的意见, 一并表示衷心感谢。

参考文献:

- Chambers PA, Kaiff J. 1985. Depth distribution and biomass of submersed aquatic macrophyte communities in relation to Secchi depth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42 (4): 701-709.
- Chen HD. 1989. Impact of aquaculture on the ecosystem the Donghu lake, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 13 (4): 359-368. [陈洪达. 1989. 养鱼对武汉东湖生态系的影响. 水生生物学报, 13 (4): 359-368.]
- Dai Q Y. 1985. The ecology characteristics of the aquatic vegetation in the lakes Fuxianhu, Erhai and Dianchi in Yunnan plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 5 (4): 324-335. [戴全裕. 1985. 云南抚仙湖、洱海、滇池水生植被

特征. 生态学报, 5 (4): 324-335.]

- Duan JS, He JC, Liu ZH. 1983. Natural conditions of Dianchi Lake. In: Research group of Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1-6. [段金书, 何纪昌, 刘振华. 1983. 滇池的自然概况. 见: 《滇池污染与水生生物》研究课题协作组. 滇池污染与水生生物. 昆明: 云南人民出版社, 1-6.]

- Gao LC, Zhuang DD, Guo QZ, Wang YH. 1990. Fishery Resources of

- Lakes in Yunnan Plateau. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press. [高礼存, 庄大栋, 郭起治, 王幼槐. 1990. 云南湖泊鱼类资源. 南京:江苏科学技术出版社.]
- Ley SH, Yu Mk, Li KC, Tseng CM, Chen CY, Kao PY, Huang FC. 1963. Limnological survey of the lakes of Yunnan plateau. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, **5** (2): 87-114. [黎尚豪, 俞敏娟, 李光正, 曾继绵, 陈嘉佑, 高宝云, 黄宏金. 1963. 云南高原湖泊调查. 海洋与湖沼, **5** (2): 87-114.]
- Li H. 1981. Classification, distribution and phylogeny of the genus *Ottelia*. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, **19** (1): 29-42. [李恒. 1981. 海菜花属的分类、地理分布和系统发育. 植物分类学报, **19** (1): 29-42.]
- Li H. 1985. The flourishing and declining of *Ottelia acuminata* in the lake Dian Chi. *Journal of Yunnan University: Natural Sciences*, **7** (Supplement): 138-142. [李恒. 1985. 滇池海菜花的盛衰. 云南大学学报: 自然科学版, **7** (增刊): 138-142.]
- Li WC, Liu ZW, Hu YH, Chen KN, Wu QL, Pan JZ. 2004. Studies and demonstration engineering on ecological restoration technique in the littoral zone of Dianchi Lake: The State and cause of environmental depravation and ecological degradation. *Journal of Lake Sciences*, **16** (4): 305-311. [李文朝, 刘正文, 胡耀辉, 吴庆龙, 陈开宁, 盘继征. 2004. 滇池东北部沿岸带生态修复技术研究及工程示范-环境恶化、生态退化现状及其成因. 湖泊科学, **16** (4): 305-311.]
- Li Y, Yang JX, Cui GH, Shu SS. 2009. Analysis of the nutritional composition of *Ottelia acuminata* (Gagnep.) Dandy (Hydrocharitaceae). *Acta Nutrimenta Sinica*, **31** (1): 96-97. [李原, 杨君兴, 崔桂华, 舒树森. 2009. 海菜花营养成分初步分析. 营养学报, **31** (1): 96-97.]
- Peng QY. 2002. Shrimps in Dianchi lake. *Reservoir Fisheries*, **22** (2): 33-34. [彭琼英. 2002. 滇池虾类. 水利渔业, **22** (2): 33-34.]
- Qiu DR, Wu ZB. 1998. Ecological studies on aquatic macrophytes in lake Donghu of Wuhan — III Feasibility for rehabilitation of submerged macrophytes in the lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, **7** (1): 42-48. [邱东茹, 吴振斌. 1998. 武汉东湖水生植物生态学研究——III沉水植被重建的可行性研究. 长江流域资源与环境, **7** (1): 42-48.]
- Qu ZX, Li H. 1983. Macrophyte population and pollution in Dianchi Lake. In: Research Group of Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 7-16. [曲仲湘, 李恒. 1983. 滇池植物群落和污染. 见:《滇池污染与水生生物》研究课题协作组. 滇池污染与水生生物. 昆明: 云南人民出版社, 7-16.]
- Rao XW, Li YC, Yang YM, Guan XH. 1983. Preliminary Report on F pollution in Dianchi Basin. In: Research Group of Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Pollution and Hydrobiology in Dianchi Lake. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 88-95. [饶晓文, 李怡春, 杨毓明, 官翕华. 1983. 滇池水系氟污染的初步研究. 见:《滇池污染与水生生物》研究课题协作组. 滇池污染与水生生物. 昆明:云南人民出版社, 88-95.]
- Shu SS, Yang JX, Cui GH, Li Y. 2007. Preliminary report on replanting techniques of *Ottelia acuminata* in the eastern swamps of Dianchi Lake. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, **35** (29): 9240-9241. [舒树森, 杨君兴, 崔桂华, 李原. 2007. 滇池东岸湿地回植海菜花技术初探. 安徽农业科学, **35** (29): 9240-9241.]
- Wang B. 2011. Preferred species of water purification-*Ottelia acuminata*. *Garden*, (8): 60-61. [王斌. 2011. 净化水质的优选物种——海菜花. 园林, (8): 60-61.]
- Xu QJ, Jin XC, Yan CZ. 2006. Macrophyte degradation status and countermeasures in China. *Ecology and Environment*, **15** (5): 1126-1130. [许秋瑾, 金相灿, 颜昌宙. 2006. 中国湖泊水生植被退化现状与对策. 生态环境, **15** (5): 1126-1130.]
- Yu GY, Liu YD, Qiu CQ, Xu XQ. 2000. Macrophyte succession in Dianchi lake and Relations with the environment. *Journal of Lake Sciences*, **12** (1): 73-80. [余国营, 刘永定, 丘昌强, 徐小清. 2000. 滇池水生植被演替及其与水环境变化关系. 湖泊科学, **12** (1): 73-80.]
- Zhang JF, Yang Q, Gao QY, Li HW, Li H, Wang XY, Duan JS, Zhang XC, Lu YB, Zhang XM, Li YQ. 1987. The comprehensive ecological consequences by irrational exploitation and use in Dianchi lake. In: The Ecological Consequences of Lakes by Irrational Exploitation and Use in Yunnan Plateau Research Group. The Ecological Problems and Consequences of Four Lakes in Yunnan Plateau. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 21-71. [张静芳, 杨琰, 高青云, 李宏文, 李恒, 王修勇, 段金书, 张喜春, 吕云波, 张秀敏, 李跃青. 1987. 滇池资源不合理开发利用的综合生态后果. 见:《云南高原湖泊资源不合理开发利用的生态后果调研》课题组. 云南高原“四湖”的生态问题与生态后果. 昆明: 云南科技出版社, 21-71.]
- Zhang GH, Cao WX, Chen YY. 1997. Effects of fish stocking on lake ecosystems in China. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **21** (3): 271-280. [张国华, 曹文宣, 陈宜瑜. 1997. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响. 水生生物学报, **21** (3): 271-280.]