

龙感湖水体光学特性的观测*

张运林^{1,2}, 秦伯强¹, 陈伟民¹, 高 光¹, 朱广伟¹, 吴生才^{1,2,3}, 罗激蕊^{1,2}, 杨顶田⁴

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3: 盐城师范学院, 盐城 224002)

(4: 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘 要: 基于 2002–2003 年秋、夏季原位水下光场巡测及连续定点观测资料分析了龙感湖不同湖区及不同风浪条件下水体的光学特性, 探讨了光衰减系数、辐照度比的光谱分布、空间差异及不同风浪条件对水下光场的影响。结果表明, 水下光谱在紫光波段衰减最强烈, 其次是蓝光, 红、绿光衰减最弱, 并且向下辐照度衰减系数一般要大于向上辐照度衰减系数。秋季 L1–L3 点向下辐照度 400–700 nm 波段衰减系数的变化范围分别为 0.71–3.60、1.06–3.72、0.78–2.89 m⁻¹; 光衰减系数的空间分布是位于湖中心的 L2 点要略大于两边的 L1、L3 点; 辐照度比的变化趋势极为一致, 最低值出现在短波光波段, 最高值出现在 550–600 nm 之间; 从小风浪到中风浪、大风浪其 PAR 衰减系数分别是 1.74、2.02、2.45 m⁻¹; 透明度、衰减系数与悬浮物浓度相关性最好, 决定系数在 0.7 以上, 但其变化除受悬浮物影响外还要受制于溶解性有机物和浮游植物; 440 nm 波长衰减系数 ($K_{d(440)}$) 与悬浮物 (SS)、溶解性有机碳 (DOC)、叶绿素 a (Chl. a) 的多元线性回归方程为:

$$K_{d(440)} = 0.514 - 0.075SS + 0.125DOC + 0.100Chl. a \quad (R^2 = 0.87, N = 8, P \leq 0.05)$$

关键词: 龙感湖; 光学特性; 衰减系数; 悬浮物; 溶解性有机碳; 叶绿素 a

Study on Optical Properties of Lake Longgan

ZHANG Yunlin^{1,2}, QIN Boqiang¹, CHEN Weimin¹, GAO Guang¹, ZHU Guangwei¹, WU Shengcai^{1,2,3}, LUO Liancong^{1,2} & YANG Dingtian⁴

(1: Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

(2: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

(3: Yancheng Teachers College, Yancheng 224002, P. R. China)

(4: South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, P. R. China)

Abstract: In this study, underwater light field and optical properties in Lake Longgan were studied by applying *in situ* measurement data from 2002 to 2003. Incident downwelling photosynthetically available irradiance (PAR, 400–700 nm) at the water surface and at different depths were measured using a 192SA light sensor connected to a Li–1400 datalogger. Underwater spectral irradiance was measured with a high-resolution spectroradiometer (SR–9910; Macam Photometrics, Livingston, Scotland) equipped with a 4–m light guide with a cosine-corrected light collector. The spatial distribution of light attenuation, the spectral distribution of attenuation coefficients, and the effect of different wind and wave on underwater light field were assessed. The ultraviolet light was most strongly attenuated and its attenuation decreased with the increase of wavelength. The downward attenuation coefficients were larger than upward attenuation coefficients. The ranges of spectral attenuation coefficient from 400 to 700 nm were 0.71–3.60, 1.06–3.72 and 0.78–2.89 m⁻¹ at sampling station L1, L2 and L3, respectively. There were insignificant spatial differences in the optical properties, only attenuation coefficients being larger at sampling station L2 than those at sampling station L1, L3. No significant differences of spectral irradiance ratio at sampling station L2, L3, being minimal values during blue wavelength and maximal values during 550–600 nm. In open, wind-exposed lake region with silty sediment, the increase in total suspended solids

* 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX1–SW–12)、国家自然科学基金项目 (批准号: 40203007, 30200032)、863 项目 (2002AA0601011) 联合资助。2004–03–04 收稿; 2004–05–24 收修改稿。张运林, 男, 1976 年生, 博士研究生, E-mail: ylzhang@niglas.ac.cn.

resulted from the wind and wave would increase the attenuation of light. The attenuation coefficients of PAR increased from 1.74 to 2.02, 2.45 m^{-1} under three different wind and wave processes. The most significantly positive correlation was found between transparency, attenuation coefficient and total suspended solids. Light attenuation was predominantly correlated to the concentration of total suspended solids and dissolved organic carbon, chlorophyll a. Multiple linear regression equation at 440 nm was listed: $K_{d(440)} = 0.514 - 0.075SS + 0.125DOC + 0.100Chl. a$

Key words: Lake Longgan; optical properties; attenuation coefficient; total suspended solids (SS); dissolved organic carbon (DOC); chlorophyll a (Chl. a)

太阳辐射在水下的传输和分布主要受制于纯水、非生物悬浮颗粒物、溶解性有机物及浮游植物的吸收和散射,其中,水分子对红外光谱有强烈吸收,溶解性有机物对紫外光及可见光的蓝光有较强吸收,浮游植物叶绿素在 440 nm 和 665 nm 波段附近具有光特征吸收^[1]. 在清洁的 I 类大洋水体光衰减主要取决于纯水及浮游植物^[2,3],然而在内陆浅水湖泊及沿岸带溶解性有机物和非生物悬浮颗粒物对光的衰减占很大一部分^[4,5].

在太湖的野外原位观测和室内模拟实验结果显示,风浪对浅水湖泊底泥的扰动常常带来底泥的大量再悬浮,改变水下光学条件^[6-8],这成为浅水湖泊水体光学特性研究的独特性. 龙感湖也为典型浅水湖泊,尽管其属于草型湖泊,水生植被对底泥的再悬浮起到一定的抑制作用,但是在开阔地区及大风浪条件下,底泥同样会发生再悬浮,从而改变水下光场分布. 基于 2002-2003 年秋、夏季原位水下光场观测资料,在研究水体光学特性空间分布的同时,探讨不同风浪扰动带来底泥的再悬浮对水体光学特性的影响.

1 实验与方法

1.1 龙感湖概况

龙感湖(29°52′-30°05′N,115°19′-116°17′E)位于长江北岸,安徽和湖北两省交界的宿松与黄梅县境内,湖泊面积为 316.2 km^2 ,现湖泊水位 12.1 m,平均水深 3.78 $\text{m}^{[9]}$. 1993 年水生植被分布面积达 283.5 km^2 ,占全湖总面积 89.7%,是典型的草型湖泊^[10]. 尽管近年来水生植被有逐步退化的趋势,但 2002-2003 年观测期间仍发现有较大面积的水生植被.

1.2 采样时间与站位

2002 年 10 月 13 日在龙感湖 L1、L2、L3 点进行调查(图 1),其中 L1、L2 有大量沉水植物,而 L3 极少,2003 年 7 月在 L3 点进行了为期 5 d 不同风浪过程的连续定点观测,期间也未发现沉水植物.

1.3 采样与测量方法

光合有效辐射(PAR)总量的测定选用美国 LI-COR 公司的水下量子仪(Li-cor 192SA). 水下光谱的测量选用 Macam 公司的水下光谱仪,仪器的相关参数参见文献^[7,11]. 为减小太阳高度角变化对水下光谱测量结果的影响,测量集中在 10:00-14:00 进行,观测期间天空晴朗无云. 叶绿素 a 的测定采用分光光度法测量. DOC 的测定方法是现场用 Whatman GF/F 滤膜(直径为 25 mm)过滤水样,在 1020 型 TOC 仪进行测定. 悬浮物采用称重法测定,透明度用直径为 30 cm 的白色赛克圆盘进行测量. 风速、风向利用全自动风速风向仪测定,风浪过程的划分是:平均风速小于 3 m/s 为小风浪(7 月 30 日)、在 3-5 m/s 的为中风浪(7 月 27 日、7 月 31 日)、大于 5 m/s 的为大风浪(7 月 28 日).

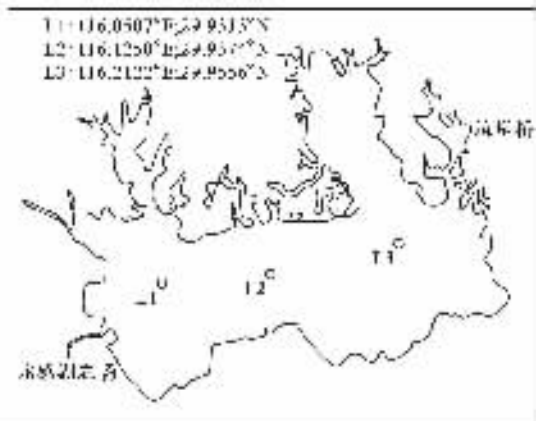


图 1 龙感湖采样点位置图

Fig. 1 Distribution of sampling points in Lake Longgan

1.4 衰减系数的计算及数据处理

水下辐照度在光学性质均一的水体中的衰减遵从下列衰减规律^[1]:

$$K_d = -\frac{1}{z} \ln \frac{E(z)}{E(0)} \quad (1)$$

式中, K_d 为光衰减系数, z 为从湖面到测量处的深度, $E(z)$ 为深度 z 处的辐照度, $E(0)$ 为水表面下 (0^-) 辐照度. K_d 值通过对不同深度水下辐照度进行指数回归得到, 回归效果只有当 $R^2 \geq 0.95$, 深度数 $N \geq 3$ 时其 K_d 值才被接受, 否则视为无效值.

各参数的均值、标准差、线性回归均采用 SPSS11.0 软件进行统计分析, 逐步多元回归法用于分离各光衰减因子的贡献率.

2 结果与讨论

2.1 环境状况

夏季 L3 点的叶绿素 a、SS 浓度均明显高于秋季 (表 1), 其中叶绿素 a 浓度升高主要是由于夏季浮游植物大量生长, SS 浓度上升则是由于夏季观测时风速明显要大于秋季 (基本上为风平浪静), DOC 浓度夏季低于秋季可能是由于秋季浮游藻类和水生植物开始腐烂降解产生大量有色可溶性有机物. 从秋季采样叶绿素 a、SS、DOC 的空间分布来看, SS 差异不大; 叶绿素 a 在 L3 点要明显低于 L1、L2 点可能是由于 L3 缺少水生植物, 加之其处于开阔地带风浪扰动要强烈, 水体相对浑浊, 浮游植物的生长受到一定抑制; DOC 在 L2 点要低于 L1、L3 点是由于 L2 处于湖中央, 受陆源溶解性有机物排放的影响可能要低得多. 透明度是比较直观易得的光学参数, 其变化常常受制于水体中悬浮物、溶解性有机物及浮游植物. 对观测期间的透明度 (SD) 与 SS、DOC 及叶绿素 a 作线性回归, 结果如下:

$$SD = 1.465 (\pm 0.179) - 0.061 (\pm 0.015) SS \quad (R^2 = 0.73, N = 8, P < 0.01) \quad (2)$$

$$SD = -0.315 (\pm 0.445) + 0.200 (\pm 0.074) DOC \quad (R^2 = 0.60, N = 7, P < 0.05) \quad (3)$$

$$SD = 1.333 (\pm 0.255) - 0.057 (\pm 0.026) Chl. a \quad (R^2 = 0.45, N = 8, P = 0.07) \quad (4)$$

透明度与悬浮物、溶解性有机碳及叶绿素 a 的相关性都比较高, 其中与 SS 的相关性最好, 但与高悬浮物浓度的太湖相比, 相关性有所下降, 在太湖透明度的变化基本上受制于悬浮物浓度^[12]. 但在低悬浮物浓度的草型湖泊龙感湖, 透明度除了受悬浮物的影响外, 还要受制于溶解性有机物及浮游植物, 体现了藻型湖泊和草型湖泊光学特性一些差异.

表 1 采样点部分理化参数
Tab. 1 Physical and chemical parameters of sampling points

时间	2002 年 10 月 13 日				2003 年 7 月 26 日 - 7 月 31 日*			
	L1	L2	L3	7.26	7.27	7.28	7.30	7.31
水深 (m)	2.5	2.5	2.8	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
透明度 SD (m)	1.70	1.00	1.00	0.65	0.60	0.45	0.70	0.55
表层水温 (°C)	21.7	22.3	22.9	33.9	34.4	33.3	34.9	34.7
pH	7.36	8.40	8.25	-	8.70	8.72	-	-
表层 SS (mg/L)	3.18	5.66	4.22	14.04	15.24	18.88	10.12	12.36
表层 DOC (mg/L)	8.12	4.90	8.39	-	5.08 ± 0.17	4.72 ± 0.11	5.07 ± 0.13	4.66 ± 0.24
表层 Chl. a (μg/L)	5.0	6.1	1.1	15.17	8.40 ± 1.08	14.46 ± 0.70	9.81 ± 0.83	10.92 ± 0.87
表层 Pa (μg/L)	17.1	22.9	9.3	4.30	1.94 ± 1.32	3.32 ± 1.06	2.15 ± 0.35	2.24 ± 0.93

* 2003 年 7 月 27 - 31 日 DOC、Chl. a、Pa 的值为 3 个平行样的均值; Pa 为脱镁叶绿素值.

2.2 衰减系数、辐照度比的光谱变化及空间分布

图 2 给出了龙感湖秋季 L1 - L3 点衰减系数及水面下表面 (0^-) 辐照度比的光谱分布, L1 - L3 向下辐照度 400 - 700 nm 波段衰减系数的变化范围及均值分别为 0.71 - 3.60、1.06 - 3.72、0.78 - 2.89、1.38、1.75、1.40 m^{-1} , L2、L3 向上辐照度 400 - 700 nm 波段衰减系数的变化范围及均值分别为 0.74 - 2.41、0.83 - 2.48、1.32、1.19 m^{-1} , 其值要远低于太湖的值^[7, 13], 反映了草型湖泊由于水生植被对底泥及藻类暴发的抑制作用, 其水下光学状况一般要好于藻型湖泊. 从空间分布来看, 位于湖中心的 L2 点衰减系数要大于两边的 L1、L3.

向上、向下辐照度衰减系数在 550 – 600 nm 以前均随着波长的增加显著降低,并且向下辐照度衰减系数一般要大于向上辐照度衰减系数.至 580 nm 附近黄绿光波段达最小值后到红光波段又有所增加,在 700 nm 以上的近红外波段增加更为明显,这些结果跟在太湖的研究相似^[8],但在 665 nm 附近由于叶绿素的特征吸收而形成的峰值并不明显,这主要是由于龙感湖本身浮游藻类就不多,加之进入秋、冬季后大量死亡和进入越冬期,叶绿素 a 浓度较低(表 1).而太阳辐射在蓝、紫光的强烈衰减跟太湖一样主要来自于溶解性有机物的吸收所致,红光特别是近红外波段衰减系数的增加则主要来自于纯水的自身吸收.

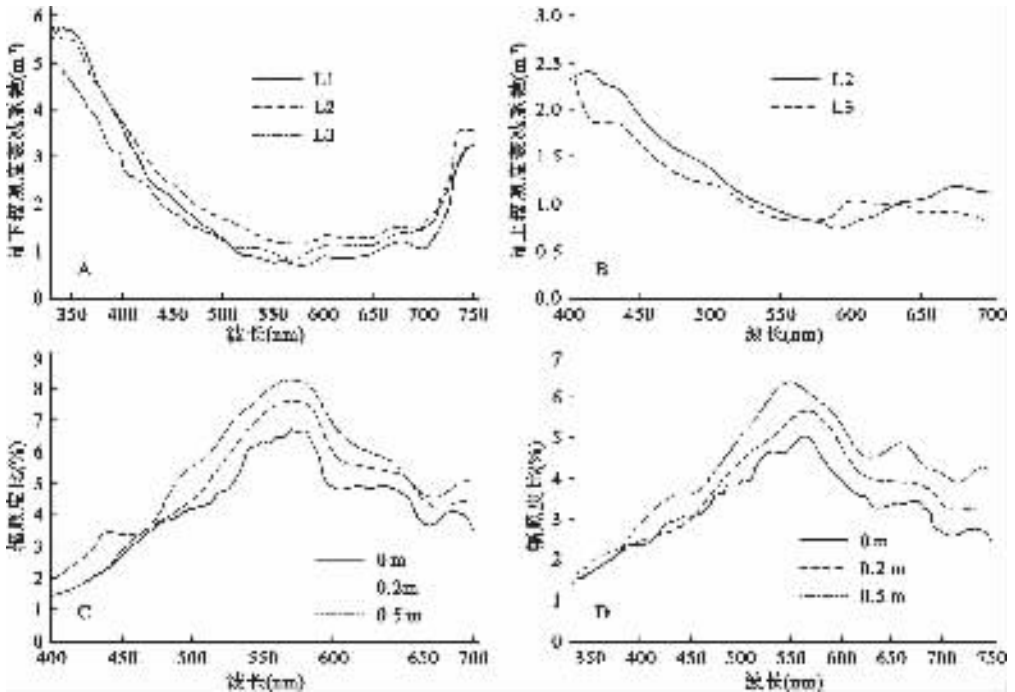


图 2 龙感湖秋季向下、向上辐照度衰减系数及水面下表面(0⁻)辐照度比的光谱分布

A: L1、L2、L3 向下辐照度衰减系数; B: L2、L3 向上辐照度衰减系数

C: L2 点 0⁻、0.2、0.5 m 处辐照度比; D: L3 点 0⁻、0.2、0.5 m 处辐照度比

Fig. 2 Spectral distribution of downward, upward attenuation coefficients, and irradiance ratio

辐照度比表征水层光的反射特性,在海洋等 I 类水体中通过现场观测和研究,建立辐照度比与叶绿素 a 之间的关系模式,可用于遥感反演和估算叶绿素 a 浓度,但在内陆湖泊等 II 类水体中由于溶解性有机物及高浓度悬浮颗粒物的影响,辐照度比用于探测叶绿素 a 有一定难度. L2、L3 辐照度比的变化趋势极为一致(图 2 中的 C、D 图),最低值出现在短波蓝光波段,最高值出现在 550 – 600 nm 之间,在 665 nm 叶绿素 a 特征吸收峰附近有一谷值,到 700 nm 之后又开始出现峰值. 对比国外一些内陆湖泊和太湖的研究结果^[1,14,15],发现其数值大小以及峰值出现的位置都较为一致. Gons^[15]曾报道荷兰的浅水湖泊 Vecht、Overijssel 的 $R(0, \lambda)$ 最低值出现在蓝紫光波段,在 584 nm 和 704 nm 具有两个明显的峰值. 辐照度比随深度的增加呈递增趋势,这同 Kirk^[16]利用蒙特卡罗法理论计算得到 $R(\lambda)$ 值随深度的增加而上升的结果相吻合. 从图 2 的 A、B 图中也很好理解辐照度比随深度增加而增大,由于向下辐照度衰减系数明显大于向上辐照度衰减系数,随深度增加两者之间的比值自然增大.

2.3 风浪扰动对水下光场的影响

从不同风浪条件下的光谱衰减系数及其 PAR 衰减系数来看(图 3),风浪对浅水湖泊光学特性的影响是显著的,在 7 月 30 日小风浪作用下,400 – 700 nm 波段光谱衰减系数及 PAR 衰减系数分别为 0.98 – 2.97、1.74 m^{-1} ,到 7 月 27 日中风浪时,对应的衰减系数增加到 1.34 – 3.95、2.02 m^{-1} ,到 7 月 28 日大风

浪时则已增加到 $1.82 - 5.40, 2.45 \text{ m}^{-1}$. 从小风浪到大风浪, PAR 衰减系数增加了 41%. 从 7 月 27 - 28 日、30 - 31 日 4 天观测到的光谱衰减系数和风速对应关系来看, 各波段线性决定系数均在 0.9 以上, 4 天内连续 16 次 PAR 测定得到的衰减系数与测定期间半小时内的平均风速关系为: $K_d(\text{PAR}) = 0.157(\pm 0.034) V + 1.373(\pm 0.149)$ ($R^2 = 0.60, N = 16, P \leq 0.0001$), 两者之间存在显著的正相关。

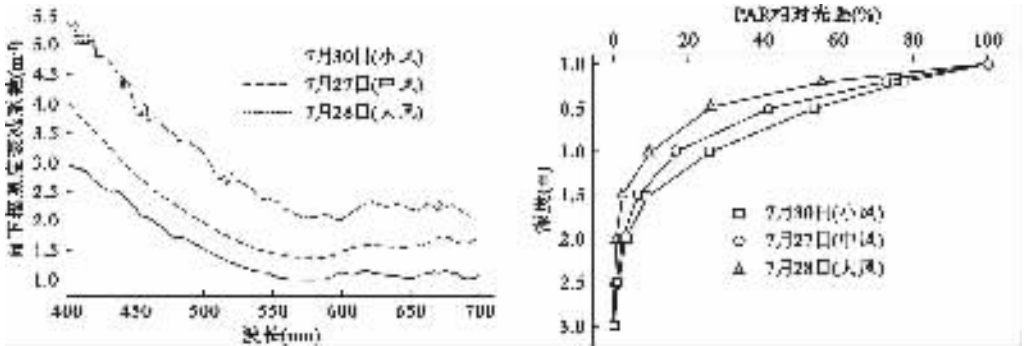


图3 不同风浪条件下光谱衰减系数及 PAR 衰减系数

Fig. 3 Spectral attenuation coefficients and PAR attenuation under different wind and wave

风浪对衰减系数的作用机理是: 在风浪作用下, 当波浪和湖流产生的切应力大于临界切应力时, 湖底沉积物发生再悬浮, 首先悬浮起来的是小颗粒物, 它们增加了对光的吸收, 致使光衰减系数增加; 随着风速的继续增强、切应力的增大, 此时大颗粒物发生大规模悬浮, 悬浮物浓度上升 (表 1), 其不仅继续增加了对光的吸收, 而且增强光的散射, 致使衰减系数继续增加. Blom 和 Van Duin 曾发展了二维模型来模拟荷兰易受风浪驱动的浅水湖泊中风浪引起的悬浮物悬浮、传输及沉降与水下光场的关系^[17,18], 在太湖我们用大型实验槽模拟研究了不同的水动力条件对水下光场的变化及影响机理^[8]. 龙感湖的研究结果进一步验证了由于风浪引起的水动力条件的改变对浅水湖泊的水下光场影响极为显著。

2.4 衰减系数多元回归分析

由于纯水对光的衰减对所有水体而言都是一样的, 因而不同衰减系数的差异主要取决于水体中非生物悬浮物颗粒、溶解性有机物及浮游植物的组成及浓度. 这里分别以总悬浮物 (SS)、溶解性有机碳 (DOC) 及叶绿素 a (Chl. a) 3 个指标来表征 3 种物质的浓度. 国际上相关研究也利用这些参数来建立衰减系数与各因子的多元线性回归方程^[19, 20]. 对 2002 年 10 月及 2003 年 7 月实测得到的衰减系数与 SS、DOC、Chl. a 作单要素线性分析发现衰减系数与 SS 关系最好, 这与前面论述的透明度与衰减因子的关系较为一致. 对 440 nm 的衰减系数与衰减因子进行多元线性回归, 结果如下:

$$K_{d(440)} = 0.514 - 0.075SS + 0.125DOC + 0.100Chl. a \quad (R^2 = 0.87, N = 8, P \leq 0.05) \quad (5)$$

3 结语

龙感湖尽管表现出与一般浅水湖泊相类似的光学特性, 其衰减系数的变化受悬浮物浓度影响较大, 但相比于太湖这种高悬浮物浓度的浅水湖泊, 其光学特性受悬浮物的控制相对要小得多. 由于是草型湖泊, 在水生植被发育的地区和季节, 水生植被对底泥起到抑制作用, 从而使得浮游植物、溶解性有机物对光衰减的贡献率增大, 反映草型湖泊与藻型湖泊光学特性的一些差异. 但在开阔无水生植被的水域, 风浪的作用引起悬浮物的大规模悬浮明显增加了光的衰减, 如 2003 年 7 月份从小风浪到中风浪、大风浪 PAR 衰减系数分别由 1.74 m^{-1} 增加到 2.02 m^{-1} 、 2.45 m^{-1} , 此时悬浮物对光的衰减占主导地位, 在这种情况下其光学特性又表现出与藻型湖泊相类似。

致谢: 参加 2002 年 10 月及 2003 年 7 月野外观测的还有胡维平、范成新、胡春华、张路、张发兵、胡志新、黄清辉、王东红等同志, 在此一并表示诚挚的谢意。

4 参考文献

- [1] Kirk J T O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystem. Cambridge: Cambridge University Press, 1994:47 - 144.
- [2] Kishino M. Interrelationships between light and phytoplankton in the sea. In: Spinrad R W ed, Ocean optics. New York: Oxford University Press, 1994: 73 - 92.
- [3] Stambler N, Lovengreen C, Tilzer M M. The underwater light field in the Bellingshausen and Amundsen Seas (Antarctica). *Hydrobiologia*, 1997, **344**: 41 - 56.
- [4] Philips E J, Aldridge F J, Schelske C L, et al. Relationships between light availability, chlorophyll *a*, and tripton in a large, shallow subtropical lake. *Limnol & Oceanogr*, 1995, **40**: 416 - 421.
- [5] Battin T J. Dissolved organic matter and its optical properties in a blackwater tributary of the upper Orinoco river, Venezuela. *Org Geochem*, 1998, **28**(9): 561 - 569.
- [6] 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. 湖泊科学, 2000, **12**(4): 327 - 334.
- [7] 张运林,秦伯强,陈伟民等. 太湖水体光学衰减系数的分布及变化特征. 水科学进展, 2003, **14**(4): 447 - 453.
- [8] 张运林,秦伯强,陈伟民. 水下光场及其影响机制的水槽模拟实验研究. 自然科学进展, 2004, **14**(7): 89 - 95.
- [9] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志. 北京:科学出版社, 1998: 235 - 236.
- [10] 张圣照,窦鸿身,姜加虎. 龙感湖水生植被. 湖泊科学, 1996, **8**(2): 161 - 168.
- [11] Schubert H, Sagert S, Forster R M. Evaluation of the different levels of variability in the underwater light field of a shallow estuary. *Helgol Mar Res*, 2001, **55**: 12 - 22.
- [12] 张运林,秦伯强,陈伟民等. 太湖水体透明度的分析、变化及相关分析. 海洋湖沼通报, 2003(2): 30 - 36.
- [13] 杨顶田,陈伟民,张运林等. 太湖水体光学特征及其对水中初级生产力的影响. 农村生态环境, 2003, **19**(2): 24 - 28.
- [14] Gons H J, Ebert J, Kromkamp J. Optical teledetection of the vertical attenuation coefficient for downward quantum irradiance of photosynthetically available radiation in turbid inland waters. *Aquatic Ecology*, 1998, **31**: 299 - 311.
- [15] Gons H J, Rijkeboer M, Bagheri S, et al. Optical teledetection of chlorophyll *a* in estuarine and coastal waters. *Environ Sci Technol*, 2000, **34**: 5189 - 5192.
- [16] Kirk J T O. A Monte - Carlo study of the nature of the underwater light field in, and the relationship between optical properties of, turbid yellow waters. *Aust J Mar Freshwater Res*, 1981, **32**: 517 - 532.
- [17] Van Duin E H S, Blom G, Lijklema L, et al. Aspects of modeling sediment transport and light conditions in lake Marken. *Hydrobiologia*, 1992, **235/236**: 167 - 176.
- [18] Blom G, Van Duin E H S, Aalderink R H, et al. Modeling sediment transport in shallow lakes-interactions between sediment transport and sediment composition. *Hydrobiologia*, 1992, **235/236**: 153 - 166.
- [19] Blom G, Van Duin E H S, Lijklema L. Sediment resuspension and light conditions in some shallow Dutch lakes. *Wat Sci Technol*, 1994, **30**: 243 - 252.
- [20] Buiteveld H A. A model for calculation of diffuse light attenuation (PAR) and Secchi depth. *Neth J Aquat Ecol*, 1995, **29**: 55 - 65.

东太湖 CDOM 吸收光谱的影响因素与参数确定*

马荣华, 戴锦芳, 张运林

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: CDOM 吸收特性是湖泊水色遥感的重要研究内容之一, 影响着水体的遥感反射率; 吸收光谱的形状一般符合波长的负指数关系, 但不同水体的形态因子即 S 值是不同的. 实地采集东太湖水样, 实验室测量叶绿素、悬浮物质以及黄色物质的组份含量, 室内测试计算水样的 CDOM 吸收光谱, 根据光谱曲线形状, 把样点分为三组, 分别进行考察, 结果发现对东太湖春季水体而言, 浮游植物的降解对 CDOM 吸收具有重要甚至主导作用; 水体中有机悬浮颗粒占有一定的比例, 在测试或计算东太湖总的吸收或散射系数时, 必须充分考虑有机悬浮颗粒的吸收与散射特性, 否则会带来较大的误差; 以 500 nm 为分界点, 把 300-700 nm 的波段范围分为两个部分即 300-500 nm 和 500-700 nm, 分别定义 CDOM 吸收光谱的曲线斜率即 S 值, 可以提高 CDOM 吸收光谱的估测精度, 把 S 值定义为随波长线性变化的函数, 可以进一步提高 CDOM 吸收光谱的估测精度, 对东太湖春季水体而言, 当 $300 \leq \lambda < 500 \text{ nm}$ 时, $S(\mu\text{m}^{-1}) = -0.0193 \times \lambda + 20.821$, 当 $500 \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ 时, $S(\mu\text{m}^{-1}) = -0.0121 \times \lambda + 16.003$.

关键词: 水色遥感; CDOM; 东太湖

Influence Factors and Slope Coefficients of Spectral Absorption of Coloured Dissolved Organic Matter (CDOM) in East Taihu Lake, China

MA Ronghua, DAI Jinfang & ZHANG Yunlin

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract: Absorption property of CDOM (coloured dissolved organic matter), which influences remote sensing reflectance of water-body, is one of the important contents to remote sensing of water colour. Generally, the absorption spectra curves follow the minus-exponential function with wavelength. But the shapes have some difference in different water-body. Consequently, the spectral slope coefficients, viz. S -values, are different to different water-bodies. So, if we only use the S -value from some different literatures, the error for estimating absorption coefficient of CDOM will be great. Accordingly, we have to determine the S -value of absorption curves of CDOM in Taihu Lake, a large shallow lake with average depth 1.9 meters (max. 2.6 m), 68.5 km length from south to north, average 34 km width from east to west (max. 56 km), covering an area of 2427.8 km² (including 51 islands), one among the five fresh-water lakes of China and positioned in the Yangtze Delta (30°55'40" - 31°32'58"N, 119°52'32" - 120°36'10"E), east of China.

One campaign was taken for 14 water-samples in East Taihu Lake, on April 4, 2004. Surface water-samples were collected in situ in the vertical direction with a standard 2 liter polyethylene water-fetched instrument. Then they were brought to the deep-freeze to the laboratory using 2 liter polyethylene bottles for further analysis according to correlated investigation criterions about lakes of China. The parameters analyzed in the lab included concentrations of chlorophyll-a (CHL), suspended substance (SS) and yellow substance (DOC). Then the absorption spectra of CDOM were also measured with the spectrophotometer in the lab according to some measurement criterion by NASA, and the final results were revised in scattering influences.

According to the shapes of spectra curves measured, all the samples were divided into three groups for analyzing further, denoting the different water-quality environment. And the results show that influence factors of CDOM absorption are different in different water-quality environment. To the water-body of East Taihu Lake in spring, decomposition of phytoplankton plays an important role in absorption of CDOM. When phytoplankton is decomposed into organic suspended matter, its role to absorption of CDOM isn't evi-

* 江苏省自然科学基金青年科技创新人才学术带头人项目 (BK2004422)、中国科学院领域前沿项目 (CXNIGLAS-A02-014)、中国科学院遥感应用研究所、北京师范大学遥感科学国家重点实验开放基金项目 (SK050011) 共同资助. 2004-09-17 收稿; 2004-11-09 收修改稿. 马荣华, 男, 1972 年 12 月生, 博士, E-mail: rhma@niglas.ac.cn.