

菹草种群内外溶解氧空间分布日变化研究

王锦旗¹, 郑有飞^{1*}, 王国祥²

(1.南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044; 2.南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

摘要:溶解氧(DO)是衡量水体污染程度的重要指标,为研究菹草种群生长对湖泊水体水质的影响,对南京玄武湖菹草种群内外水体 DO 含量进行了连续一昼夜的监测,结果表明菹草种群光合作用对水体 DO 影响显著。时间分布上,种群区水体 DO 日出后增加,日落后下降,水下 20~80 cm 19:30 左右出现 1 次下降现象,稍后略有恢复,其后持续降至日出前后,而较深的 100 cm 处无此现象;开阔水域日出后持续升高至日落,日落后下降直至日出前后,且各深度差异不大;交界处呈现种群内的特点,同时具有开阔水域变化趋势。垂直分布上,种群区白天从表层向底层逐渐递减,夜间 20~40 cm 处较低,100 cm 处也较低,60~80 cm 处较高;而离种群较远的开阔水域昼夜均从表层向底层递减,离种群较近的开阔水域因水深较浅,各深度差异不大;交界处昼夜均从表层向底层递减。水平分布上,种群内侧点各水深处各时刻始终最高,20~40 cm 深离开阔水域较近种群外侧点最低;60 cm 深白天离开阔水域较近种群外侧点最低,夜间交界处最低;80 cm 深交界处最低;100 cm 深夜间从种群内侧向开阔水域依次降低,白天规律性不明显。菹草种群对提高水体 DO 起到积极作用,并对周围水域有一定的影响。

关键词:湖泊;菹草(*Potamogeton crispus* L.);溶解氧;垂直分布;水平分布

中图分类号:X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2013)04-0748-08 doi:10.11654/jaes.2013.04.014

Diurnal Variation of Dissolved Oxygen in the Spatial Distribution Around *Potamogeton crispus* Population

WANG Jin-qi¹, ZHENG You-fei^{1*}, WANG Guo-xiang²

(1.College of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Dissolved oxygen(DO) is an important indicator for water pollution. In order to study the effects of *Potamogeton crispus* population on water quality, the DO content around the *P. crispus* population was monitored in Xuanwu Lake in Nanjing. The result showed that the photosynthesis of *P. crispus* significantly improved DO content in the water. (1) DO content within the *P. crispus* population was generally higher during daytime than that during the night. DO content increased after sunrise and declined after sunset; it dropped at 19:30 at 20~80 cm depth, then recovered slightly from 21:30 and finally dropped until sunrise. DO content at the open waters increased continuously from sunrise to sunset, and dropped from sunset to sunrise. DO content did not show significant difference at each water depth. DO content in the junction water area showed similar phenomenon with that within population and the open waters. (2) DO content within water containing *P. crispus* population decreased from the surface to the bottom during daytime; DO content was higher at 60~80 cm than that at both 20~40 cm and 100 cm during the night. DO content, which was far away from *P. crispus* population in the open waters decreased from the surface to the bottom, while DO content in the open waters close to the population showed no significant differences at each depth because the water area was relatively shallow. DO content in the junction area decreased from the surface to the bottom during both the daytime and night. (3) DO content for the water surrounding the population was the highest at all periods and all depths; DO content which is outside the water containing population and close to the open water was the lowest at 20~40 cm. During the daytime, DO content in the water containing population and close to the open water was lowest at 60 cm, while it was the lowest in the junction water at night. DO content in the water containing population was the highest in 80 cm depth; it was the lowest in the junction water. DO content decreased from the water containing population to the open waters at 100 cm at night. *P. crispus* population played an important role in improving DO content in water.

Keywords: lake; *P. crispus* L.; dissolved oxygen; vertical distribution; horizontal distribution

收稿日期:2012-09-13

基金项目:国家自然科学基金(41105113)

作者简介:王锦旗(1976—),男,博士研究生,讲师,主要从事生态学方面的教学研究工作。E-mail:w_j_q@sina.com

*通信作者:郑有飞 E-mail:zhengyf@nuist.edu.cn

溶解氧(Dissolved Oxygen)是指溶解于水中的分子态氧,用 DO 表示^[1]。DO 是水生生物生存不可缺少的条件,能反映出水体受到污染,特别是有机物污染的程度,是表征水体污染程度的重要指标,也是衡量水质的综合指标^[2]。

菹草是眼子菜科多年生沉水草本植物,是一种典型的秋季萌发、越冬生长的沉水植物,菹草春季生长迅速、夏初死亡^[3]。主要分布在河流、小溪、池塘、淡水湖泊等水域,部分深水水域株高可达 4 m^[4]。在很多浅水型湖泊中,菹草种群的存在对水体水质及水生生态系统均产生重要影响。于 2006 年 4 月 17 日 16:30 至次日 15:30 对南京玄武湖菹草种群区分布区及周围水域的 DO 进行了连续一昼夜监测,以期查明菹草种群对水体 DO 的影响,为进一步研究菹草种群对水体的影响提供一些理论依据。

1 材料与方法

1.1 监测区概况

南京玄武湖属于城市天然小型浅水湖泊,面积约 3.7 km²,平均水深 1.3 m。其水面被湖心州分割成北湖区、东南湖区、西南湖区三部分,北湖区又可根据方位分为西北湖区和东北湖区。监测点位于玄武湖的西北湖区,因管理人员定期刈割和游人干扰,其他湖区及湖心区菹草群落面积较小且不连续,故选择西北湖区一岸边带菹草区为监测点,该水域无外源水源输入,流速较小,且游船较少,菹草生长和水体受扰动均较小。该区平均水深约 92 cm,菹草种群沿湖岸南北向连续均匀分布,菹草群落离岸平均距离约 100 cm,菹草平均高度达 130 cm,分枝数平均约 650 株·m⁻²。

1.2 监测点设置

监测点位置如图 1 所示,在菹草种群中央区域设

2 个监测点,在菹草种群与开阔水域过渡区设 3 个监测点,其中种群内部边缘处设 1 个点,种群与开阔水域交界线设 1 个点,过渡处开阔水域设一个监测点,开阔水域设 3 个监测点,各监测点离岸距离及水深情况如表 1 所示。为确保点位及监测准确,监测线两端用木桩固定,并用尼龙绳连接,在各监测点用竹竿标记,监测时为防止采样船扰动水体,监测过程中只拉动尼龙绳,不使用船桨。据数理分析,分别取有代表性的种群内两个点、交界处 1 个点及开阔水域的两个点做分析,分别记作 A1、A2、B、C1、C2。

表 1 各监测点水深及离岸距离

Table 1 Depth and offshore distance of the monitoring points

项目	A1	A2	B	C1	C2
水深/cm	100	100	90	60	105
离岸距离/m	26	59	93	107.5	217.5

1.3 监测方法及频率

DO 从水面向下每隔 20 cm 监测 1 个点,采用美国 YSI-55 型溶解氧仪于现场测定。监测时间从 2006 年 4 月 17 日 16:30 至 18 日 15:30,监测频率 1 次·2 h⁻¹。因 17 日日没时刻为 18 时 35 分,18 日日出时刻为 05 时 33 分,日中时刻为 12 时 04 分,故 17 日 18:35 到 18 日 05:33 为夜间,17 日 16:30 及 18 日 05:33—15:30 处理为白昼时段。

2 结果与分析

2.1 DO 垂直分布日变化

2.1.1 DO 含量的时间变化

5 个监测点各深度 DO 含量日变化见图 2。

A1 点 20、40、60 cm 3 个深度 DO 含量 16:30—19:30 略有下降,晚间 21:30 稍有回升,后持续降至

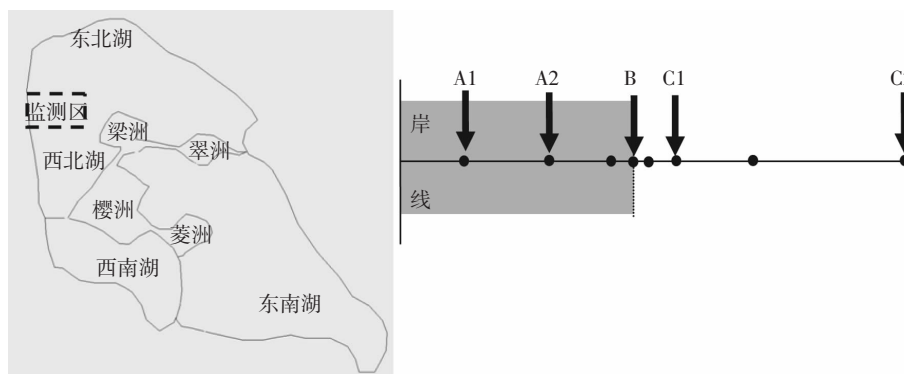


图 1 监测点示意图

Figure 1 Distribution of the monitoring points

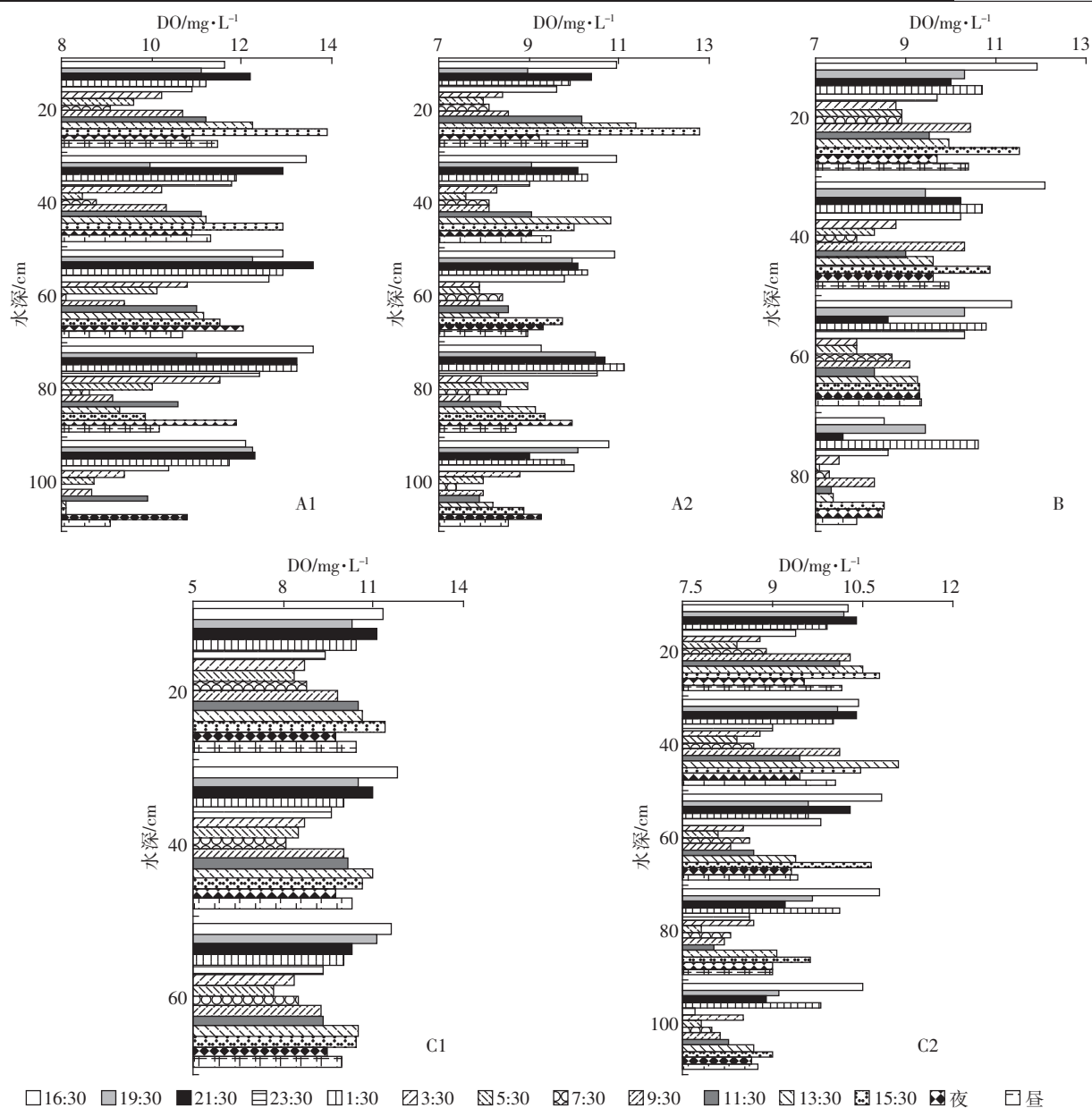


图 2 各监测点水体 DO 垂直分布日变化

Figure 2 DO diurnal variation of vertical distribution

凌晨 7:30,并达最低值,日出后递增,并于午后 15:30 达当日最高;80、100 cm 深自 16:30~21:30 变化幅度不大,21:30 至次日 7:30 持续降低,7:30 达最低,后持续升高,于 11:30 达最高,后有所下降。

A2 点 20、40 cm 深 16:30—19:30 略有下降,21:30 略有恢复,后持续下降至 5:30,7:30 后持续升高,20 cm 深于 15:30 达最高,40 cm 深于 13:30 达最高;60、80 cm 深自 16:30—3:30 持续降低,3:30 均达最低,分别为 7.9、7.95 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,后持续升高,于 15:30 达最高,分别为 9.76、9.36 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;100 cm 深自 16:30—21:30 持续降低,21:30—1:30 逐渐升高,1:30—7:30

持续下降,7:30 后持续升高,15:30 达最高。

B 点 20 cm 深自 16:30 至次日 5:30 持续下降,5:30 达最低,为 8.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;40 cm 深除 19:30 显著降低外,其余时刻变化趋势与 20 cm 基本一致;60、80 cm 自 16:30—21:30 呈持续降低趋势,23:30 略有恢复,后持续降低,于次日 5:30 达最低。

C1 点各深度除 19:30 略有降低外,16:30 至次日 5:30 持续下降,5:30 达最低,后持续升高,均于 15:30 达最高。

C2 点各深度 DO 随时间变化规律基本一致,16:30 至次日 5:30 持续下降,后持续升高,于 15:30 达最

高,其中 20 cm 与 40 cm 各时刻差异均不大。

2.1.2 DO 含量随深度的日变化

5 个监测点 DO 含量随深度垂直日变化见图 2。

A1 各深度 DO 含量自 16:30 至次日 5:30 垂直变化状况基本一致,均从 20 cm 向下递增,在 60 cm 或 80 cm 达到最高,100 cm 下降,除 19:30 外,16:30—23:30 均为 20 cm 最低,1:30—5:30 均为 100 cm 最低,但 16:30—5:30 时段 20 cm 较 100 cm 深 DO 差异率均低于 11.0%;日出后 7:30—15:30,从 20 cm 向下递增,20 cm 较 100 cm 差异均大于 11.0%,中午 11:30 垂直差异最小,为 11.3%,15:30 差异最大,达 41.6%。平均而言,白天自 20 cm 向下递减,于 100 cm 达最低,夜间自 20~60 cm 递增,于 60 cm 达最大,后向 100 cm 递减;20、40 cm 白天大于夜间,而 60~100 cm 夜间则高于白天,20、40 cm 深昼夜差异不足 5.5%,60~100 cm 深昼夜差异均大于 10.0%。

A2 点在垂直分布上,16:30 时,除 80 cm 外,各深度 DO 含量基本一致,各深度从 16:30 至次日 7:30 变化趋势基本一致,大部分时刻均从 20~80 cm 随深度增加 DO 含量有所增加,除夜间 3:30,其余时刻均于 80 cm 深达最大,100 cm 较 80 cm 有所降低,除 21:30 和 7:30,其余时刻 100 cm 均大于 20 cm;7:30 以后,转为自 20 cm 向下递减,于 100 cm 达最低。平均而言,白天 DO 自 20 cm 向下递减,于 100 cm 达最低,夜间 40 cm 略低于 20 cm,40~80 cm 递增,于 80 cm 达最高,100 cm 较 80 cm 略低;20~40 cm 白天大于夜间,60~100 cm 夜间则高于白天,20、80 cm 昼夜差异大于 10.0%,其余深度小于 10.0%。

B 点各深度垂直分布自 16:30 至次日 1:30 规律性不强,16:30 与 21:30 两时刻,20 cm 与 40 cm 两深度差异不大,自 40~80 cm 向下递减,23:30 各深度基本一致,1:30 自 20~60 cm 递增,80 cm 又迅速下降,但 16:30—1:30 时段底层 80 cm 均未超过表层 20 cm,18 日 3:30—15:30 均从 20 cm 至 80 cm 递减。平均而言,白天及夜间 DO 均自 20 cm 向下递减,于 100 cm 达最低,但夜间递减梯度略小,白天较大。20~60 cm 白天大于夜间,而 80 cm 夜间则高于白天,但两者差异不足 6.9%。

C1 点 3 个深度 DO 含量基本一致,未出现较大差异,经方差分析,3 个深度无显著差异($P>0.05$)。总体而言,白天及夜间水体 3 个深度差异较小,20 cm 与 40 cm 基本相同,60 cm 略低。3 个深度均为白天高于夜间,差异不足 7.2%。

C2 点 5:30—15:30 时段 20 cm 与 40 cm 最高,向下持续递减,于 100 cm 达最低,16:30 至次日 3:30 垂直分布规律性不明显,16:30、23:30、3:30 3 个时刻各深度差异较小,19:30—21:30 自 20 cm 向下递减。平均而言,白天及夜间均从 20 cm 向下递减,于 100 cm 达最低,但夜间递减梯度略小,白天较大。20~60 cm 及 100 cm 均为白天大于夜间,而 80 cm 昼夜基本相等,但差异率均不足 6.6%。

2.2 DO 水平分布日变化

DO 水平分布见图 3。

20 cm 深除 16:30,其余时刻均以 A1 最高,16:30—9:30 大部分时刻以 A2 点最低;11:30—13:30 以 B 最低,午后 15:30,自 A1~C2 点依次降低。平均而言,白天 A1 最高,为 $11.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,A2、B、C1 3 点大致相当,为 $10.3 \sim 10.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,C2 略低,为 $10.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;夜间 A1 仍为最高,为 $10.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,A2 最低,为 $9.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,B、C1 相等,为 $9.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,C2 略低,为 $9.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。各点 20 cm 16:30—19:30 较低,21:30 略有恢复,后持续降至凌晨 5:30,7:30—15:30 持续升高,午后 15:30 达最高。

40 cm 深整个监测时段,A1 点除 19:30,其余时刻均为最高,A2 大部分时刻为最低。夜间大部分时段 C1 和 B 仅次于 A1,C2 点略高于 A2,而白天 B、C1、C2 3 点差异较小。A1、A2、B 3 点 16:30—5:30 时段,于 19:30 有一次明显下降过程,21:30 略有恢复,后持续降至 5:30,后持续升高至午后 15:30。C1、C2 点 16:30—5:30 持续降低,7:30—15:30 持续升高。总体而言,昼夜均以 A1 最高,A2 最低,其中白天 B、C1、C2 差异不大,夜间 C1 仅次于 A1,B 与 C2 依次高于 A2。

60 cm 深整个监测时段 A1 远高于其他 4 个点,仅在 7:30 时,5 个点基本一致,其中白天 C1 仅次于 A1,只有 A2 为最低,B 与 C2 基本相当,而夜间 C1 仅次于 A1,A2、B、C2 3 点平均值基本相等,分别为 9.32 、 9.30 、 $9.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。A1 16:30—7:30 时间持续降低,其中 19:30 有 1 次明显下降过程,于 21:30 有所恢复,后持续升高至午后 15:30,其余点变化规律基本为 16:30—5:30 持续下降,于 5:30 达最低,后持续升高至午后 15:30。

80 cm 深整个监测时段分布顺序基本为 A1 最高,A2、C2 其次,B 最低,按昼夜划分也呈现此规律。A1 16:30—7:30 时间持续降低,于 19:30 有 1 次明显下降过程,于 21:30 有所恢复,后持续升高至 15:30,其余点随时间变化平缓。

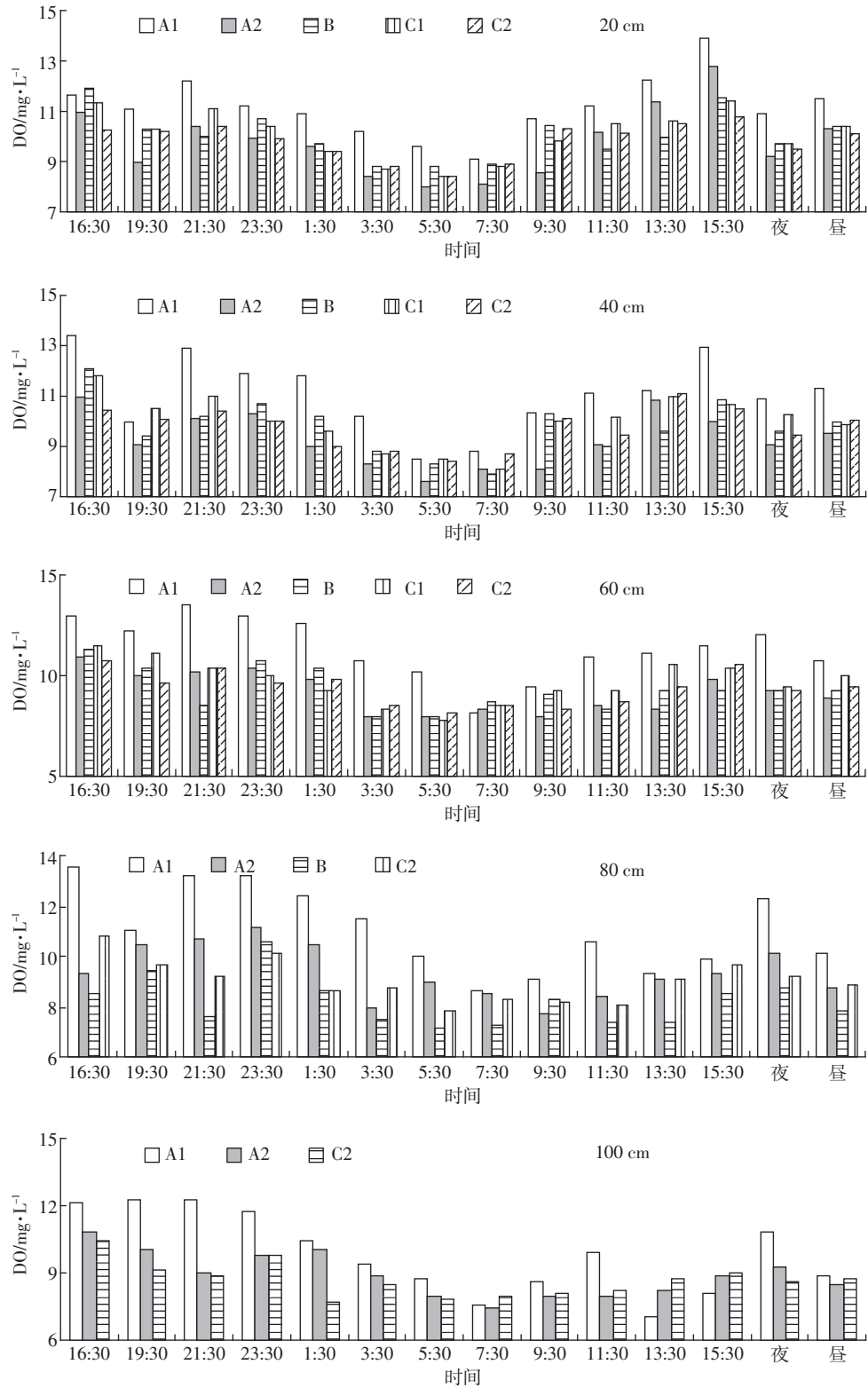


图 3 各监测点水体 DO 水平分布日变化
Figure 3 DO diurnal variation of horizontal distribution

100 cm 深总体分布规律: A1>A2>C2, 此现象在夜间表现明显, 而午后与之相反, 为 C2>A2>A1, 上午 7:30—11:30 表现为 A1 与 C2 较高, A2 较低。

总体而言, 白天 3 点差异较小, 而夜间梯度明显。A1 随时间变化明显, 16:30—7:30 持续降低, 7:30—11:30 持续上升, 午后 13:30—15:30 较低, 而 A2、C2

随时间变化起伏较小,16:30—7:30持续缓慢降低,7:30—15:30持续缓慢升高。

3 讨论

因监测湖区无人扰动,水流缓慢,水体复氧规律可遵从静态水体大气复氧的分子扩散理论模型。对于静态水体,大气向水体复氧的现象,可以看作空气中的氧穿过水面向水体内部的分子扩散过程,用Fick定律表示为:

$$M = -D_m \frac{\partial O}{\partial x}$$

式中: M 为氧分子扩散通量; D_m 为氧分子扩散系数; O 为溶解氧浓度; x 为距离。

由微元水体质量平衡原理,进一步导得氧在水体的迁移扩散方程: $\frac{\partial O}{\partial x} = D_m \frac{\partial^2 O}{\partial x^2}$ 。

在复氧过程中,也即水中溶解氧的补充来源中,主要有大气复氧,水生生物(主要是藻类)光合作用复氧,流入水体携带的溶解氧^[5]。

根据上述理论,由于监测水域水体流动性较弱,无其他水体流入,对于位于菹草种群区的A1、A2来说,因植株高度远超过水深,植株叶片均匀覆盖水面,郁闭程度较高,故影响其大气复氧能力,水体氧主要来自于菹草光合放氧;C1、C2位于开阔水域,其复氧方式以大气复氧和藻类光合放氧为主,C1还有可能接受来自于菹草内部向外传输的氧;而B的复氧方式以大气复氧和藻类光合放氧为主,还可接受菹草光合作用产生的氧。

从垂直分布分析,监测月菹草处于旺盛生长季节,植株叶片主要集中在水深20 cm上下位置,该深度产氧量最为丰富,其中A1处于种群中央,菹草生长密集,阻碍水体流动,产氧量最为丰富,光合作用产生的氧可经植株及根系传输到水体,以满足植株呼吸作用的需求^[6]。从DO含量分析,A1垂直方向上表层水体DO含量均高于临近的A2,其氧传输主要集中在垂直方向,而非来自水平方向,故白天植株光合放氧能力较强,将产生的氧向水下传输,相应出现20~100 cm DO递减的现象;夜间水面因植株叶片郁闭程度较高,大气复氧能力较弱,故植株进行呼吸作用消耗大量DO,植株叶片最为集中的20 cm深呼吸耗氧量最大,随水深增加,生物量减少,植株呼吸作用耗氧量减少,故形成20~80 cm逐渐递增现象,而100 cm深接近底泥,底泥中耗氧有机物的分解将消耗部分

氧,无论白天还是夜间100 cm处均最低。A2位于菹草种群中央,该点DO垂直分布原理与A1相似,但因A2外侧是开阔水域,故光合作用产生的氧除向底层水体传输外,还向临近开阔水域传输,故其DO含量较A1低,且不同深度DO差异较A1略大。位于开阔水域的C1、C2点通过藻类光合作用和大气复氧的能力大致相当,但C1因其离菹草种群距离较近,除上述复氧方式外,还接受来自菹草种群内传输的氧,且水深较低,故水体垂直DO差异较小,昼夜平均而言,20 cm与40 cm深DO大体相当,而60 cm因接近沉积物,故耗氧量较20~40 cm略大。C2离菹草种群较远,水体复氧方式以大气复氧为主,藻类光合作用次之,故无论白天还是夜间水体自20~100 cm递减,且白天因藻类光合作用,DO含量总体要高于夜间,同时DO随水深变化梯度较大,而夜间仅通过大气复氧,DO随深度变化梯度略小。B因位于交界线上,无菹草覆盖,白天水体既有大气复氧和藻类光合放氧,附近的菹草种群也可产生氧向其传输,而夜间仍可进行大气复氧,且无菹草呼吸作用消耗DO,故其白天夜间DO均从20~80 cm递减。

从各深度日变化角度分析,A1点DO含量日变化主要受植株光合放氧速率与植株呼吸耗氧速率的影响,而植株光合速率的高低主要受光照、水温、水体CO₂浓度等因素的影响,18日日出后,虽植株开始光合作用,但光照及水温均较低,植株光合放氧能力仍较弱,且水体中DO经夜间呼吸作用消耗,虽植株能光合放氧,但水体DO未能明显提高,直至9:30水体DO经持续累积,才显著升高,直至午后15:30。而日落前后,随光照减弱,菹草光合作用随之减弱,光合放氧量减少,故17日13:30—19:30随光照停止,水体DO持续降低。19:30因日落后菹草种群停止光合放氧,但水生生物呼吸作用旺盛,且水面因菹草叶片覆盖,大气复氧速度较慢,故各水深19:30附近出现一个明显的低谷,后通过大气复氧水体DO含量略有恢复,但因叶片覆盖缘故,其量较少,之后水体中水生动植物持续不断消耗DO,直至日出后,菹草光合作用开始后,DO才开始回升。因A1各深度DO主要来自于垂直传输,此规律在20~80 cm深度表现显著,而100 cm处因水深较深,且植株生物量较小,故未出现19:30附近DO显著下降的现象。A2点位于种群内部其各深度DO日变化规律与A1基本一致,尤其表层20~60 cm在19:30 DO显著下降特征上表现一致,而A2产生的氧向外侧临近水域传输较多,垂直传输量较A1

少,故水深80~100 cm处未出现此现象。C1、C2日出后,随光照强度增加,水温上升,水体藻类光合放氧增强,DO含量迅速增加,自5:30—9:30迅速增加,后缓慢增加,直至日落时分DO含量变化不大;21:30—5:30水体中生物持续呼吸耗氧,水体DO减少,至5:30降至最低。B点一方面有来自于种群内部氧的传输,另一方面可通过大气复氧获得,故DO平均含量处于两侧监测点之间,DO日变化趋势既有种群内部特点,又有开阔水域的特点,自17日16:30—21:30因种群及生物呼吸作用持续下降,21:30又通过大气复氧略有恢复,之后一直下降,直至凌晨3:30—7:30降至全天最低,日出后因种群光合放氧,才开始恢复。

从水平空间分布看,A1水体复氧主要通过菹草光合放氧,其产氧量远大于开阔水域中大气复氧及藻类光合作用的产氧量,但其大气复氧能力较开阔水域要弱,且A1光合放氧还通过植株向水下传输,故A1总体各深度DO均较高。A2植株光合作用产生的氧不仅垂直向底层传输,还要侧向向开阔水域传输,且沉水植物种群可为浮游生物提供良好的庇护场所^[7-8],据此推断A2作为离交界处最近的种群,其中栖息的浮游生物数量较高,且浮游生物主要集中在产氧量最高的20~60 cm处,该深度所产生的DO一方面向开阔水域传输,另一方面旺盛生长菹草及栖息在此的各种浮游生物及微生物呼吸作用耗氧量也在各点中最高,故形成20~60 cm深度DO较低的现象,其中20 cm深因白天菹草光合作用产氧量较高,虽向周围水域传输,但未降低很多,故与B、C1差异不大。离种群较近的B、C1不仅可通过大气复氧、藻类光合放氧作用,还可菹草种群内产生的氧气,交界处B离菹草最近,获得DO要多,C1点略远,接受的要少。C2因距种群距离较远,仅能通过大气复氧和藻类光合作用复氧,故最低。20 cm深度,A1在所有点中相对封闭,夜间主要以菹草呼吸作用消耗氧气,故其在各点中DO仍为最高,A2不仅菹草呼吸耗氧,在此栖息大量浮游生物呼吸也耗氧,且因植株叶片覆盖,大气复氧能力较低,故夜间此点DO最低;B、C1、C2夜间仍能进行大气复氧,故其DO略高A2。40 cm深白天垂直方向上光合放氧及大气复氧能正常进行,各点DO水平变化大致与20 cm深度变化规律一致,但夜间A2因菹草与浮游生物一起呼吸耗氧,其垂直方向上20 cm深度含量不及临近B高,故氧气浓度差决定周围水域DO会向该点传输,形成从C1到A2DO逐渐降低的现象。60 cm处因光照较弱,水体光合放氧能

力已大大衰弱,其中C1基本接近底泥,因其深度较浅,表层水体与底层水交换较快,底层60 cm与20 cm差异不大,而其他点深度较大,60 cm接受到表层水体DO不及C1多,白天除A1菹草强烈光合放氧向底层传输氧之外,C1较高;A2因菹草与浮游生物呼吸作用,DO仍为最低。B点因生物量较少,且表层DO含量较A2表层要高,故60 cm深DO较A2要高。80 cm深处,B因临近菹草种群,水体稳定性较好,水体垂直交换量少,且因接近底泥,底泥中耗氧有机物分解消耗上覆水DO,故其含量最低;A1因表层含量较高,垂直传输量大,故其DO最高,C2次之。100 cm深因种群光合放氧传输原因,故大部分时间水体DO为A1>A2>C2,至于午后为什么会出现倒置现象,其原因还需要进一步探究。

4 结论

(1)垂直分布上,菹草种群光合作用对水体DO影响显著,种群区DO白天从表层向底层逐渐递减,夜间从20~40 cm处较低,60~80 cm处较高,较深的100 cm处也较低,而离种群较远的开阔水域因无菹草光合作用影响,白天和夜间均出现从表层向底层递减现象;离种群较近的开阔水域因水深较浅的缘故,各深度差异不大,而交界处,白天和夜间均从表层向底层递减。

(2)时间分布上,种群区水体日出后DO开始递增,日落后递减,表层20~80 cm深度19:30左右出现1次明显低谷,后略有恢复,后一直降至日出前后,而水深较深的100 cm处无此现象;开阔水域日出后持续升高,直至日落,日落后持续下降,直至日出前后,且各深度差异不大,菹草种群区光合作用对周围水域有一定的影响,离种群较近的开阔水域昼夜变化幅度较离种群较远的开阔水域要大,且交界处呈现种群内的特点,同时具有开阔水域变化趋势。

(3)水平分布上,种群内侧点各深度任何时刻DO最高,20~40 cm深离开阔水域较近种群外侧点在各监测点中最低;60 cm深白天离开阔水域较近种群外侧点最低,夜间交界处最低;80~100 cm深部分监测点已达底泥,交界处最低;100 cm深夜间从种群内侧向开阔水域依次降低,白天规律性不明显。

参考文献:

- [1] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

- Editorial Committee of Monitoring and Analysis Methods of Water and Sewage, State Environmental Protection Administration of China. Monitoring and analysis methods of water and sewage[M]. 4rd editon. Beijing: The Publishing Company of Chinese Environmental Science, 2002.
- [2] 梁红. 环境监测[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003.
- LIANG Hong. Environmental monitoring[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2003.
- [3] Rogers K H, Breen C M. Growth and reproduction of *potamogeton crispus* in a South African Lake[J]. *Journal of Ecology*, 1980, 68: 561–571.
- [4] Aysel S, Emire E, Fatih G, et al. Removal of cadmium by *myriophyllum heterophyllum* michx and *Potamogeton crispus* L. and its effect on pigments and total phenolic compounds[J]. *Archives of Environment Contamination and Toxicology*, 2008, 54(4): 612–618.
- [5] 雒文生, 李莉红, 贺涛. 水体大气复氧理论和复氧系数研究进展与展望[J]. 水利学报, 2003, 11: 64–70.
- LUO Wen-sheng, LI Li-hong, HE Tao. Advances and prospects in the research of water reaeration theory and reaeration coefficient[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003, 11: 64–70.
- [6] 成水平, 吴振斌, 夏宜琤. 水生植物的气体交换与输导代谢 [J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 413–417.
- CHENG Shui-ping, WU Zhen-bin, XIA Yi-zheng. Review on gas exchange and transportation in macrophytes[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(4): 413–417.
- [7] Davies C M, Evison L M. Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 70(3): 265–274.
- [8] Istvanovics V, Honti M, Kovacs A, et al. Distribution of submerged macrophytes along environmental gradients in large shallow Lake Balaton (Hungary)[J]. *Aquatic Botany*, 2008, 88(4): 317–330.