

鲁西北地区鱼塘水体反射率*

孙志方

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 太阳短波辐射反射率与水体理化特性关系密切, 鱼塘水体除具有一般水体反射率特性外, 还与鱼塘中浮游植物生产量存在良好的负相关。在一定温度条件下, 浮游植物的生长速度与光合有效辐射呈正相关, 而随着浮游植物的增加, 又降低了太阳辐射的反射效应, 从而水体对光合有效辐射的吸收, 随着浮游植物的增加而增加。增加的光合有效辐射, 除一部分引起蒸发量及水温、长波有效辐射的变化外, 另一部分进一步促进了水体浮游植物的生长, 经与对照塘比较, 可以认为肥水鱼塘比瘦水鱼塘的光能利用率要大。

关键词 太阳总辐射 反射率 鱼塘水体

地球表面的能量除极少量来源于地球内部外, 其余均来源于太阳辐射。太阳辐射的一部分被地球直接反射回太空去, 地球又把从太阳得到的一部分能量再辐射出去, 保留在地表上的辐射能量称为净辐射, 其表达式为:

$$R = (1 - A)Q - F \quad (1)$$

式中, R 为净辐射, A 为下垫面反射率, Q 为到达地表的太阳总辐射, F 为地表长波有效辐射。

下垫面能流运动中, 反射率是其中一重要参数。因此, 在对鲁西北禹城市辛店洼鱼塘-台田能流系流进行研究的同时, 对不同水体反射率也作了较为详细的研究, 对小麦、裸地等也作了同步观测。

为使鱼塘水体光能利用各要素采集方便, 在辛店洼 66m×49m 的三个鱼塘水面上架设了脚手架搭置仪器平台, 仪器探头中心距最近一岸 10m, 距水面 1.5m, 鱼塘平均水深 2m。反射率观测选择在 1993 年 3 月 23 日~4 月 3 日及 5 月 23 日~29 日两时段, 观测时间每天为 8:00~18:00, 每 2h 一次。3 月 23 日至 4 月 3 日, 水温以每天大于 1℃ 的速度上升, 浮游植物增长迅速。5 月 23 日~29 日, 水温在 25℃ 左右, 为浮游植物及鱼类最适生长期。反射率采用同一台日本 CN-9 反射辐射表对三塘进行移动对比观测。浮游植物(叶绿素 a 含量)亦进行同步观测, 测定方法是:乙醇提取-分光光度计法。

1 鱼塘水体概况

为使叙述方便, 本文将三个鱼塘定名为 3-1 塘, 4-1 塘和对照塘。

* 国家“八五”攻关课题(项目号 85-006-01-01)。

收稿日期:1994-08-22;接收日期:1995-11-28。

作者简介:孙志方,男,1962年生,助理研究员。1984年南京大学地理系毕业,主要从事湖泊水文气象等研究工作,已发表论文近10篇。

3-1 塘为以养殖鲢、鳙鱼为主的肥水鱼塘,3月23日~4月3日为鱼种放养前的观测时段,在此前10天曾投放鸡粪2500kg,化肥10kg。鱼塘平均水深2.0m,观测期间,3月23日~26日天空晴朗无云,8:00~20:00(北京时,下同)表层平均水温:24日为12.9℃、25日为14.3℃、26日为16.1℃,气温稳定上升。5月23日~29日为鱼种放养后的观测时段(4月4日投放一龄鱼种1500尾)鱼塘平均水深2.1m,5月26日~28日天空晴朗无云,气温稳定升高,其中8:00~20:00表层平均水温26日为24.8℃,27日为26℃、28日为26.8℃,浮游植物含量三日变化不明显。

4-1 塘为以养殖草鱼为主的鱼塘,3月25日水深2.0m,8:00~20:00表层平均水温为14.2℃,5月27日水深2.3m,8:00~20:00表层平均水温26℃。

对照塘为新开挖的未放养鱼的塘体,塘水清澈见底平均水深2.5m,3月25日8:00~20:00表层平均水温为14℃,5月27日8:00~20:00表层平均水温26.1℃。

2 结果及讨论

2.1 对照塘水面反射率与太阳高度角关系

对照塘为较纯净的天然水体,浮游植物量近乎为零。从3月25日(晴空)的观测资料可看出,反射率从太阳高度角62°时的6.48%变化到18:00太阳高度角10°时的38.43%,见图1。

由图1可以看出,反射率随太阳高度角的增加而减小。太阳高度角大于70°时,反射率相对稳定;而太阳高度角小于20°时反射率增大相当显著,这主要是由于太阳高度不同时,到达地面的太阳短波辐射光谱成份的改变所造成的。水体对短波有良好的吸收性能,一般来说,可见光波带(0.4~0.7 μm)的反射率大约是5%~10%,在靠近红外线到1.5 μm 的光谱范围内,反射率大约是30%~50%^[1]。太阳高度在逐渐降低时,太阳光线透过的大气层厚度显著加大,波长较短的光线大部分或完全被大气中的水汽、尘埃所吸收,到达地面的太阳光光谱成份中,长波所占的比例越来越大,水体的相对吸收量也随之降低。

2.2 对照塘水面反射率的日变化及年变化

众所周知,水体的太阳总辐射反射率除具有日变化规律外,还具有一定的年变化规律,这种规律性通常可以依据 $\Phi_{\text{PeHe-JL}}$ 公式进行计算。

依据本区1~12月份典型日(晴天)对照塘水面反射率的观测资料,利用算术平均法计算了本区各月不同太阳高度角的水面太阳总辐射反射率,其结果与文献资料一致性相当好^[2],见表1。

虽然表1是依据本区实测资料计算而出,但晴天条件下对照塘水面太阳总辐射反射率主要是受太阳高度角的影响,所以该表在不同纬度带仍具有一定的参考价值。

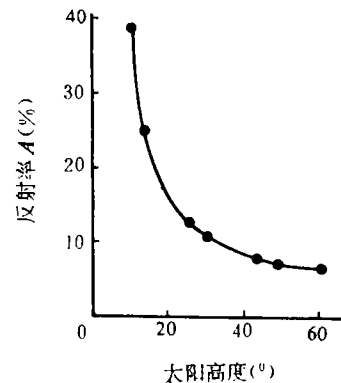


图1 3月25日太阳高度角与对照塘水面反射率关系

Fig. 1 Relation between water surface reflection rates of contrast pond and sun altitude angles on March, 25

表 1 对照塘水面太阳总辐射月均反射率(%)

Tab. 1 Monthly average reflection rates of total sunrays on water surface of contrast pond

| 太阳高度角(°) | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | -- | -- | 0.38 | 0.26 | 0.22 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.31 | 0.36 | 0.48 | -- |
| 20 | 0.25 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.20 | 0.24 |
| 30 | 0.20 | 0.16 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.14 | 0.16 | 0.18 |
| 40 | 0.16 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.12 | 0.15 |
| 50 | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.10 |
| 60 | -- | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.08 |
| 70 | -- | -- | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | -- |
| 80 | -- | -- | -- | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | -- | -- | -- |

2.3 水体反射率与其它自然表面比较

在大多数的下垫面中,水体的表面粗糙度比其它自然表面要小得多,然而由于透明的水体在很大程度上对太阳短波辐射具有强吸收低反射的特性,所以水体反射率比大多数的自然表面要小得多。表 2 为本区不同下垫面反射率的实测值。图 2 为 3 月 26 日(晴空)不同下垫面反射率日变化曲线。

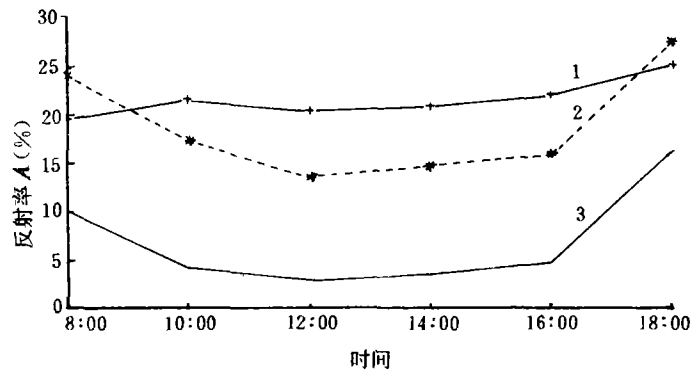


图 2 3 月 26 日不同下垫面反射率日变化曲线

1. 裸地; 2. 小麦; 3. 3-1 塘

Fig. 2 Curves of reflection rates of sun rays on different surfaces on 26, March

表 2 不同下垫面短波反射率

Tab. 2 Reflection rates of sun shortwaves on different surfaces

| 下垫面性质 | 反射率 |
|------------|-----------|
| 对照塘水面 | 0.06~0.15 |
| 鱼塘水面 | 0.02~0.10 |
| 裸地(干燥砂质粘土) | 0.20~0.25 |
| 小麦 | 0.13~0.25 |
| 玉米 | 0.12~0.20 |
| 大豆 | 0.20~0.35 |
| 青草、马齿苋 | 0.15~0.25 |

2.4 水体反射率与 Chl-a 关系

太阳光线在很大程度上能透入透明的上部水层,并在那里散射和几乎完全被吸收,因此清洁水体反射率小,而污秽和混浊的水域反射率显著增大^[2]。然而,从本区鱼塘与对照塘的实测资料发现(表 3、4),水色号高、透明度低的两个鱼塘,反射率比水色号低、透明度高的对照塘明显偏小。虽然对照塘清澈见底,反射率由于受塘底反射影响而偏大,但鱼塘与对照塘的对比,很显然鱼塘中存在引起反射率降低的因素。这从表 3~表 5 比较分析可知,反射率与水体之间存在负指数相关,说明浮游植物对太阳辐射有良好的吸收性能和低反射性。3 月 25 日为 3-1 塘在鱼种放养前的一次观测,随鸡粪、无机肥肥效的增加及晴朗天气水温的稳定抬升,3 月 24~26 日浮游植物生物量目测也可看出呈显著的递增趋势,这与 24~26 日 3-1 塘的反射率负指数相关一致性较好(图 3)。

表 3 1993 年 3 月 25 日各鱼塘反射率、透明度、水色、太阳高度角统计¹⁾

Tab. 3 Statistics of reflection rates, transparency, ratio, water color and sun altitude angle of different ponds on March 25

| 时间 | 3-1 塘 | | | 4-1 塘 | | | 对照塘 | | | 太阳高度角 |
|-------|-------|--------------------|---------------------|-------|------|-----|-------|-----|-----|-------|
| | 反射率 | 透明度 | 水色号 | 反射率 | 透明度 | 水色号 | 反射率 | 透明度 | 水色号 | |
| 6:00 | — | 0.25 | 18 | — | — | — | — | — | — | — |
| 6:00 | — | 0.50 ²⁾ | 14 ²⁾ | — | 0.30 | 14 | — | 见底 | 5 | — |
| 8:00 | 9.28 | — | — | 13.82 | — | — | 12.04 | — | — | 25 |
| 10:00 | 4.27 | 0.25 | 18 | — | — | — | — | — | — | — |
| 10:00 | 4.27 | 0.50 ²⁾ | 14~15 ²⁾ | 4.40 | 0.30 | 14 | 7.98 | 见底 | 5 | 45 |
| 12:00 | 3.76 | — | — | 4.12 | — | — | 6.48 | — | — | 62 |
| 14:00 | 3.89 | 0.18 | 18 | — | — | — | — | — | — | — |
| 14:00 | 3.89 | 0.43 ²⁾ | 14~15 ²⁾ | 4.92 | 0.30 | 14 | 7.57 | 见底 | 5 | 50 |
| 16:00 | 10.02 | — | — | 10.86 | — | — | 10.66 | — | — | 30 |
| 18:00 | 17.34 | 0.15 | 17 | — | — | — | — | — | — | — |
| 18:00 | 17.34 | 0.44 ²⁾ | 15 ²⁾ | 19.02 | 0.25 | 14 | 38.43 | 见底 | 5 | 10 |

1) 反射率(%),透明度(m);2) 5 月 26 日实测资料。

表 4 3-1 塘反射率(%)统计*

Tab. 4 Statistics of reflection rates of Pond 3-1

| 时间 | 3 月 23 日 | 3 月 24 日 | 3 月 25 日 | 3 月 26 日 | 5 月 26 日 | 5 月 27 日 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 8:00 | 10.03 | 9.48 | 9.28 | 11.01 | 6.50 | 6.47 |
| 10:00 | 5.59 | 5.71 | 4.27 | 4.21 | 3.25 | 3.61 |
| 12:00 | 4.46 | 4.19 | 3.76 | 2.89 | 2.59 | 2.61 |
| 14:00 | 4.31 | 4.28 | 3.89 | 3.56 | 3.21 | 3.22 |
| 16:00 | 5.40 | 5.53 | 10.02* | 4.68 | 5.60 | 5.07 |
| 18:00 | 6.59 | 17.33 | 17.34 | 16.30 | 15.78 | 12.32 |

* 采集该数据时天气状况不良。

前已述及,从实测资料看出,Chl-a 与水体太阳短波反射率呈明显的负指数相关。根据这一特性,进行了两者的相关分析。在鱼种未放养鱼前的几天(3 月 24~26 日),对三个塘的 Chl-a 含量与太阳短波反射率进行相关分析,相关方程为:

$$A = 6.26e^{-0.002a} \quad (2)$$

式中, a 为 Chl-a 的含量 (mg/m^3), 经计算, 相关系数达 -0.87 。上述三个塘除水体养份不同外, 其它环境条件一致, 它们的相关性是令人满意的。

表 5 不同水体 Chl-a 含量

单位: mg/m^3

Tab. 5 Chl-a contents of different waters

| 时间 | 3-1 塘 | | 4-1 塘 | | 对照塘 | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 3月25~26日 | 5月27~28日 | 3月25~26日 | 5月27~28日 | 3月25~26日 | 5月27~28日 |
| 10:00 | 185.11 | 64.76 | 14.81 | 56.10 | 0 | 0 |
| 14:00 | 244.17 | 77.32 | 17.68 | 47.29 | 0 | 0 |
| 18:00 | 238.96 | 43.57 | 15.26 | 41.90 | 0 | 0 |
| 22:00 | 157.41 | 36.70 | 12.57 | 39.93 | 0 | 0 |
| 2:00 | 129.76 | 33.50 | 12.87 | 38.70 | 0 | 0 |
| 6:00 | 133.18 | 33.56 | 15.56 | 35.67 | 0 | 0 |

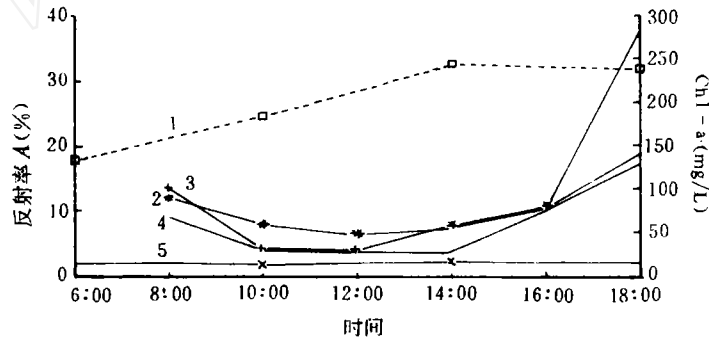


图 3 3月25日不同水体反射率与 Chl-a 含量日变化曲线

1:3-1 塘 Chl-a; 2:对照塘反射率; 3:4-1 塘反射率; 4:3-1 塘反射率; 5:4-1 塘 Chl-a

Fig. 3 Curves of reflection rates and Chl-a of various waters on 25, March

为此, 对 5 月下旬及 7 月下旬的观测资料也进行了相关分析。其中 5 月下旬的相关方程为:

$$A = 118e^{-0.047a} \quad (3)$$

其相关系数达 -0.96 。7 月下旬的相关方程为:

$$A = 20.91e^{-0.0095a} \quad (4)$$

其相关系数达 -0.87 。3-1 塘为放养鲢、鳙鱼为主的肥水鱼塘, 水体中各类生物的动态平衡, 在不同季节有着相应的变化, 虽然 Chl-a 与水体反射率有着很好的相关性, 但不同季节相关方程差别很大, 这一相关性的存在及不同季节相关方程的建立, 使人们能够通过反射率的观测估算鱼塘中 Chl-a 的含量。经 5 月、7 月的反射率资料回归验证, Chl-a 的含量与实测资料相比的最大相对误差为 15%。

Chl-a 的增加导致反射率的减小, 而反射率的减小又使水面净辐射相对增加, 增加的净辐射反过来又促使 Chl-a 的生长, 在一定范围内 (Chl-a 不可能无限制增长, 反射率也不会无限制减小), 它们之间存在着良好的相关性。下垫面反射率在辐射平衡中起着很关键的作用, 因

此,在水温、矿物养份、透明度及太阳总辐射、太阳高度角变化不大的情况下,反射率将是水面净辐射的直接影响因素。以3月25日的资料为例:3-1塘获得的太阳净辐射与对照塘相比,将增加47%~113%(表6)。午后14:00,鱼塘叶绿素含量达到最高,3-1塘所增加的净辐射百分数也最高,显而易见,同期Chl-a含量与净辐射存在正相关。

表6 3月25日3-1塘与对照塘水面净辐射比较

单位:W/(h·m²)

Tab. 6 Net ray comparison between Pond 3-1 and contrast pond on 25, March

| 时间 | 3-1塘 | 对照塘 |
|-------|--------|--------|
| 8:00 | 83.07 | 56.31 |
| 10:00 | 340.19 | 188.90 |
| 12:00 | 470.75 | 229.04 |
| 14:00 | 490.70 | 230.57 |
| 16:00 | 230.08 | 147.48 |
| 18:00 | 3.96 | 2.47 |

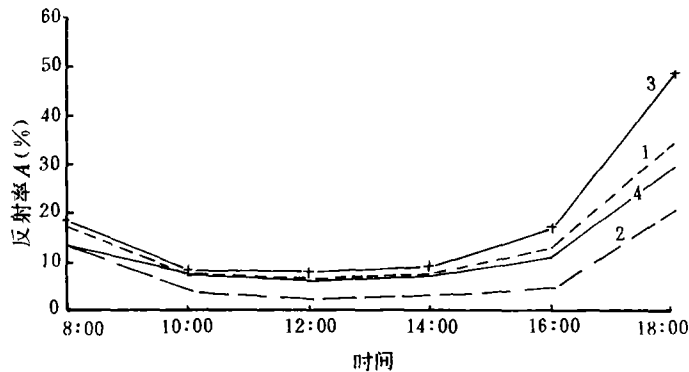


图4 3-1塘与对照塘阴、晴天气水体反射率比较

1:3-1塘,4月3日,阴;2:3-1塘,3月31日,晴;
3:对照塘,4月3日,阴;4:对照塘,3月31日,晴

Fig. 4 Comparisons between reflection rates of contrast pond and Pond 3-1 waters on sunny day(March 31) and overcast day(April 3)

(1:Pand 3-1, April 3, cloudy; 2:Pond 3-1, Marth 31, clear;
3:Contrast Pond, April 3, cloudy; 4:contrast pond, March 31, clear)

2.5 阴晴天气水体反射率比较

阴天对肥水鱼塘(3-1塘)反射率的影响要比对照塘复杂得多,但总体来说,阴晴天气反射率的差异3-1塘比对照塘更加显著(图4)。3月31日为晴朗天气,中午12:00对照塘水面反射率为6.40%,3-1塘水面反射率为2.78%,4月3日为阴天(全日薄云遮日,明亮但不见日轮),对照塘中午12:00反射率为9.13%,3-1塘水面反射率为7.48%。很显然3-1塘由阴晴天气引起的水面反射率绝对变幅和相对变幅都比对照塘大。这是因为,阴天引起的太阳总辐射减小,使鱼塘中浮游植物光合作用减弱,其生产量比晴天要小得多。因此,对鱼塘水体来说,阴晴天气,浮游植物含量与反射率关系恰好向两个相反方向变化,这也正好验证了上节的分析结果。

3 结语

从以上的资料分析,不难得出这样的结论:

(1) 随着水体的肥水效应,浮游植物增长迅速,而浮游植物的生长又受制于太阳辐射的光合有效辐射,在一定的温度条件下,浮游植物的生产速度与光合有效辐射呈正相关,而随着浮游植物的增加,又降低了太阳辐射的反射效应,从而水体对光合有效辐射的吸收随着浮游植物的增加而增加,所以认为肥水鱼塘比瘦水鱼塘的光能利用率大。

(2) 通过对照塘、肥水未养鱼塘及肥水养鱼塘的光能、浮游植物等项目的观测,依据能量守恒定律,剔除其它环境因素对浮游植物的影响,可初步揭示单位浮游植物量所消耗的光能,从而可利用鱼塘净消耗的光能,反推放养鱼塘中的浮游植物总生产量。总量扣除浮游植物残余量及有机碎屑等,即可得出浮游动物及鱼类对浮游植物的摄食量,从而可为鱼塘能流系统提供一个有实用价值的参数。

参 考 文 献

- 1 Norman J Rosenberg. Microclimate; The biological environment. Nebraska, John Wiley & Sons, 1974
- 2 M N 布德科著,李怀瑾等译. 地表面热量平衡,北京:科学出版社,1960
- 3 左大康等著. 地球表面辐射研究. 北京:科学出版社,1991

WATER ALBEDO OF FISH POND IN NORTHWEST SHANDONG PROVINCE

Sun Zhifang

(*Nanjing Institute of Geography and Linnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract

Water albedo of fish pond has close relation with its physico-chemical features. As compared with most other free actual surfaces, water surface in this region is characterized by lower reflection ratio and higher absorption. Except the features of reflection ratio on general water surfaces, the reflection ratio on fish ponds has good negative relation with productivity of phytoplankton in the fish ponds for this reason, utilization ratio of light energy has positive relation with primary productivity in fish ponds.

Key Words Solar radiation, reflection ratio, fish pond