

水库水质之时间数列分析研究

陈鸿烈 颜正平

(中兴大学水土保持学系 台湾台中)

摘要 本研究将以德基水库中总磷资料计算 TSI (Trophic Status Index) 优养指数, 并利用相乘性分解方法 (multiplicative decomposition method) 进行德基水库水质优养化时间数列分析研究, 用以了解德基水库水质之优养化变化情形。研究显示, 德基水库季节变化 (S) 之水质优养化变动情形每年有一高峰期, 从 4~10 月, 总长度达 7 个月之久。此外, 德基水库优养指数长期趋势 (T) 乃显示随时间 (t) 呈缓慢成长状态, 其间的关系可表示为 $T = 51.4231 + 0.0605t$, 其中 $t = 1, 2, 3, \dots, 161$ 。至于在循环变动 (C) 的研究中则发现, 循环变动周期自早期的 2~3 年, 逐渐缩减至 1 年左右。由此可知, 德基水库水质优养化的情形有日益严重的趋势。

关键词 优养指数 相乘性分解方法 时间数列分析

Time Series Analysis Method on Water Quality of Reservoir

Paris Honglay Chen Cheng-Ping Yen

(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University Taichung Taiwan)

Abstract The objective of this study reported herein is to mature a practical procedure for the time series analysis of an eutrophication condition in reservoir. Application is made to the most important reservoir in the central part of Taiwan, Te-Chi. A multiplicative decomposition method as well as TSI (Trophic Status Index) has been adapted to determine the trophic variations including seasonal (S), circular (C), longterm (T) and irregular (I) changes. The results obtained indicate that (1) there is a long high peak for seven months from April to October yearly; (2) the long-term trend (T) increases with time (t) as following relationship: $T = 51.4231 + 0.0605t$, and (3) circular change period decreases from two or three years to about one year. The methodology is feasible to present the eutrophication changes numerically.

Key words trophic status index multiplicative decomposition method time series analysis

1 前言

台湾主要水库之一的德基水库, 于 70 年代因受水库周边土地过分开, 山林滥垦及农药、肥

料的影响,水质已明显恶化;其中,总磷含量已超过美国环保署水库湖泊优化限值(0.020mg/L) (陈, 1997; 水, 1993)。因此,自 1983 年起开始做德基水库之水质调查,然而经过 10 多年之努力,德基水库水质优化情形究竟是已经改善了呢,还是愈来愈严重,或是与从前相若?所以本研究即在利用过去 10 多年之水质资料——“大甲溪流域河川水质长期追踪计划工作报告”中的水质资料(台, 1988 ~ 1992; 德, 1993 ~ 1996)来进行时间数列分析研究。

2 研究方法

在水质优化的量化指标模式之研究方面, 1977 年 Carlson 发展了 TSI (Trophic Status Index) 优养指数, 分别以总磷、叶绿素 a 与透明度三种指数之 TSI 值评判水体之营养状态。因“大甲溪流域河川水质长期追踪计划工作报告(1983 年 1 月至 1996 年 5 月)”中的总磷资料较为完整, 故我们以德基水库总磷之 TSI 值, 并利用相乘性分解方法 (multiplicative decomposition method) 进行德基水库水质优化时间数列分析研究。其中, 总磷之 TSI 值计算公式如下(骆, 1991)

$$\text{TSI}(p_t) = 10 \left[6 - \frac{3.70 - 0.98 \ln(p_t)}{\ln 2} \right]$$

式中: p_t ——总磷浓度 (mg/m^3)。

一般而言, 时间数列系指以时间先后顺序出现之一连串观测值的数列, 典型的时间数列是由下列 4 种变动成分所构成(陈, 1997 年):

(1) 长期趋势。来叙述长期间之成长或衰退。此乃一段较长时期变动之基本倾向, 包括变动的方向与强度。

(2) 季节变动。来说明在特定期间内发生有规则的变动, 通常指一年以内周期性之变动。

(3) 循环变动。是指一年以上之周期变动, 周期长短不一致, 每呈不规则状态。

(4) 不规则变动。是指一种属于随机或不可预测之变动, 亦为一种偶然性之意外变动。

理论上的时间数列模式假设只含上述 4 种组合因素, 且假定这 4 种因素对观察事物的影响作用之净效果为它们的乘积。因此, 若以 T 、 S 、 C 及 I 四个字母分别代表长期趋势、季节变动值、循环变动值及不规则变动值, 则时间数列 Y 可用下面的模式表示为

$$Y = T \times S \times C \times I$$

通常称为乘法模式, 是分解时间数列最常用的模式。上式中的 T 及 Y 之单位与观测值的单位相同, 其余 S 、 C 、 I 之单位通常为无单位的小数。

3 结果与讨论

3.1 12 个月移动平均之计算

德基水库的总磷优养指数 (TSI) 值形成之时间数列, 其季节变动之周期为 12 个月, 为消除此季节变动, 宜求 12 个月移动平均数。然为使移动平均数与 TSI 值比较时所代表的时间能一致, 故应用中心化技术求每相邻两个移动平均数的二个月移动平均数, 如此, 所形成之时间数列已不含季节变动因素与不规则变动因素, 因此, 这种被中心化的移动平均数就代表一种长期趋势与循环变动因素之组合 ($T \times C$)。此外, 因 $Y = T \times C \times S \times I$, 故季节变动与不规则变动因素之组合 ($S \times I$) 亦可藉由 $Y / (T \times C)$ 来求得, 而在本研究中, Y 即等于德基水库优养指数 TSI 值。而德基水库历年来的优养指数 TSI 值变化情形则如图 1 所示。

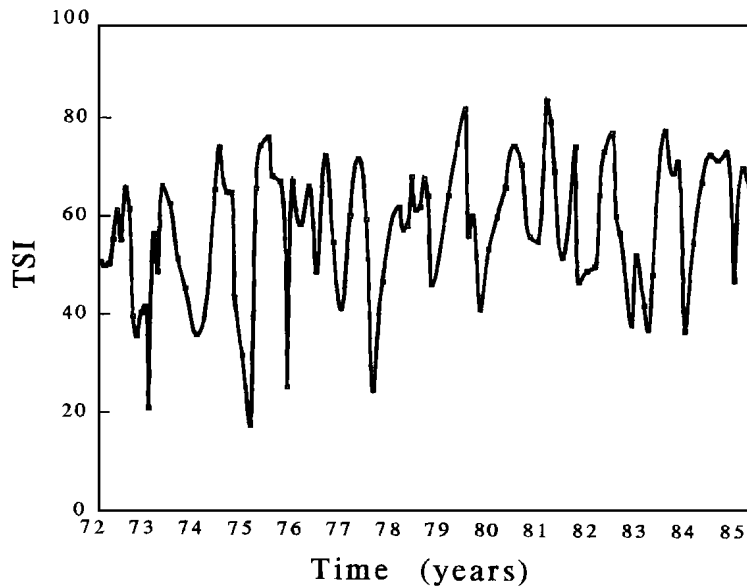


图 1 德基水库 优养指数 TSI 历年变化情形

3.2 季节指标之推求

季节变动与不规则变动因素之组合($S \times I$) 值可供分析时间数列之季节变动。将 $S \times I$ 值按月分别同排于一列, 列于表 1, 可发现它们的变动趋势较具规则性。计算同一列(同一月份) 的 $S \times I$ 平均值, 在平均过程中, 那些不规则变动将大部分相互抵消, 因而能把这 12 个算术平均数作为测度每一年 12 个月的季节变动影响之指标(S_m)。此一指标通常尚需经过调整修正, 使其和为 12, 因此, 调整修正后的季节指标(S_c) 为

$$S_c = S_m [12 / \sum_{t=1}^{12} S_m]$$

$$t = 1, 2, \dots, 12$$

表 1 德基水库 优养指数(TSI) 资料: 季节指数 (S)

月份	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	平均 S_m	修正 S_c
1		0.855	-	0.577	1.134	0.699	-	-	0.902	0.807	0.813	1.052	0.583	0.825	0.854
2		0.433	0.657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.545	0.564
3		1.203	-	0.316	1.029	1.075	1.073	0.998	0.998	1.262	0.810	0.845	0.875	0.953	0.986
4		1.045	-	1.186	-	-	0.946	-	-	1.194	1.066	0.734	-	1.029	1.065
5		1.389	-	1.319	1.176	1.397	0.954	1.177	1.061	1.044	1.208	0.845	1.072	1.149	1.189
6		-	1.128	-	-	-	1.121	-	-	-	-	-	-	1.125	1.164
7	1.083	1.260	1.316	1.372	0.825	1.150	1.009	1.311	1.171	0.794	1.310	-	1.142	1.145	1.185
8	1.333	-	-	1.183	-	-	1.019	0.910	-	-	1.019	1.419	-	1.147	1.187
9	1.271	0.989	1.190	-	1.267	0.469	1.113	0.980	1.076	-	0.971	-	1.090	1.042	1.079
10	0.816	-	1.235	1.073	-	-	1.048	-	-	1.258	-	1.190	-	1.103	1.142
11	0.725	0.898	0.795	-	0.949	0.891	0.740	0.683	0.806	0.804	-	1.165	1.099	0.869	0.900
12	0.826	-	-	0.414	-	-	-	-	-	-	0.742	-	-	0.661	0.684

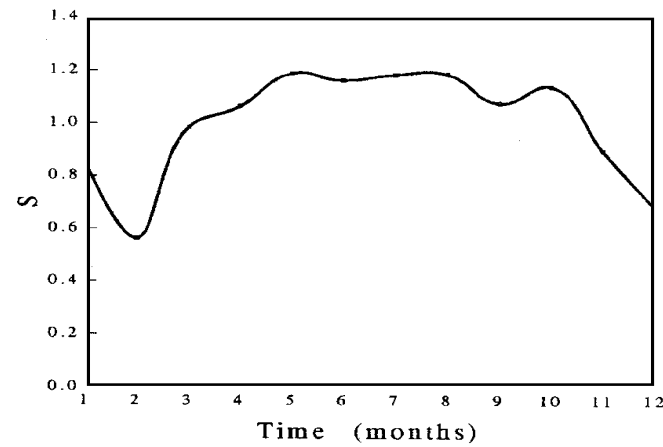


图 2 德基水库水质 优养化之季节变动 (S)

将调整修正后的季节指标(S_c) 对时间绘图(图 2), 可看出德基水库季节变化之水质优养化变动情形每年有一高峰期, 从 4 月一直延续至 10 月, 总长度达 7 个月之久。

3.3 调整季节指数与长期趋势之求算

将德基水库 优养指数 TSI 值(Y) 分别除以对应月份的季节指标(S_c) 则可求得调整季节变动之 优养指数资料 (d), 即

$$d = Y / S_c$$

此外, 可利用季节调整之 优养指数

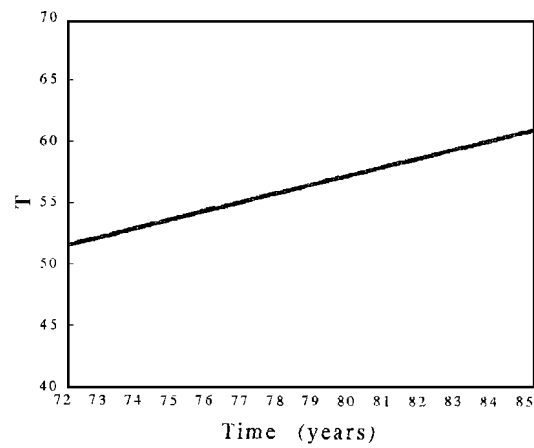


图 3 德基水库水质优化之长期趋势(T)

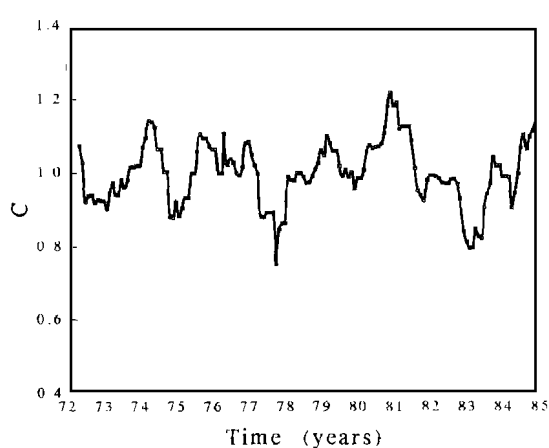


图 4 德基水库水质优化之循环变动(C)

资料推求长期趋势(T), 因该资料系随时间改变而呈直线形态, 故可假设

$$T = b_0 + b_1t$$

其中, 利用最小平方得

$$b_0 = \left[\sum_{t=1}^{161} d / 161 \right] - b_1 \left[\sum_{t=1}^{161} t / 161 \right]$$
$$b_0 = \left[\sum_{t=1}^{161} td \right] - \left(\sum_{t=1}^{161} t \right) \left(\sum_{t=1}^{161} d \right) / \left[\sum_{t=1}^{161} t^2 - \left(\sum_{t=1}^{161} t \right)^2 \right]$$

因此, 在本研究中求得的营养指数长期趋势(T) 之回归直线为

$$T = 51.4231 + 0.0605t \quad t = 1, 2, 3, \dots, 161$$

由图 3 更可明显看出, 德基水库营养指数长期趋势乃随时间呈缓慢成长状态。

3. 4 循环变动与不规则变动之分析

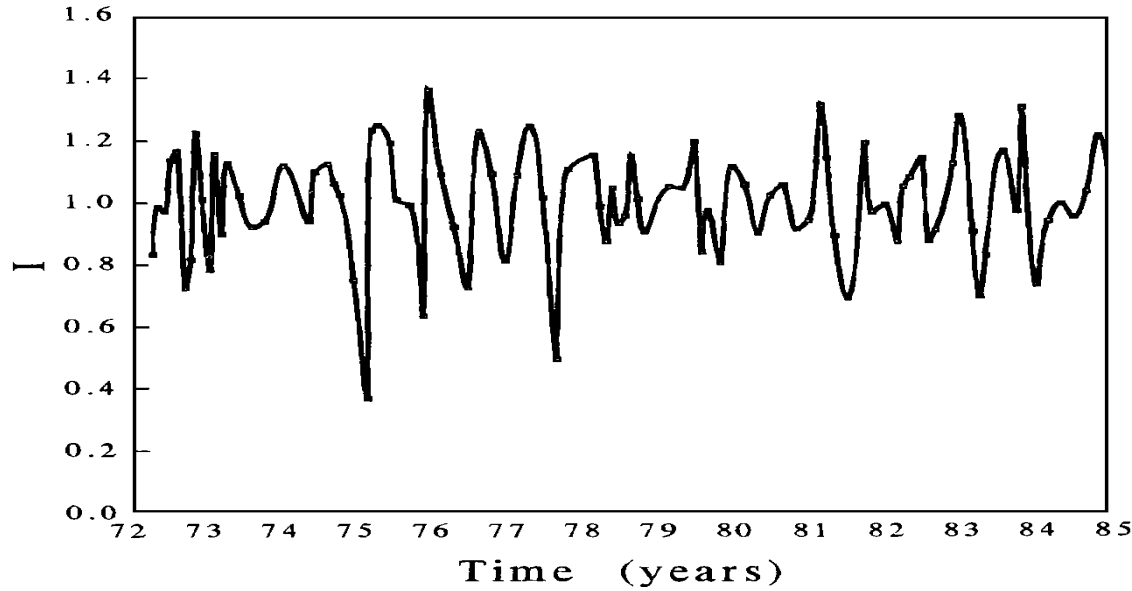


图 5 德基水库水质优化之不规则变动(I)

调整季节变动与长期趋势后的资料, 系指自原给时间数列, 移除季节变动与长期趋势两个因素所得之资料。在这种资料中, 一般尚含循环变动与不规则变动因素。因 $Y = TSI = T \times C \times S \times I$, 由德基水库优养指数(TSI)与 S 、 T 值即可求得循环变动与不规则变动因素组合($C \times I$ 值)。

接着, 我们将计算循环变动因素 C 之推估值, 一般系采用移动平均来获得, 因不规则变动很少延伸 2 或 3 个月, 故采取 9 个月移动平均将可除去它们的影响。兹将 $C \times I$ 值取 9 个月移动平均而得循环变动之效果 C 值, 再利用 $C \times I / C$ 求算不规则变动 I 值。循环变动(C) 与不规则变动(I) 随时间变化情形则分别如图 4 与图 5 所示。

4 结论与建议

由时间数列分析显示, 德基水库水质优养化的情形日益严重, 建议农业污水应加以收集处理后再排放, 应订定排放标准, 且不得排于水库集水区内, 并严格执行。此外, 应在水库上游河川设置保护带, 尤其重要的是减少集水区内土地开发, 做好水土资源保护工作, 以延长水库使用寿命, 改善其水质, 并确保下游用水民众之健康与安全。

致谢: 本文乃承蒙台中县环境保护局之赞助, 方得以完成研究, 作者谨此致谢。

参考文献

- 1 陈登源, 杨锦洲, 林茂文等. 管理数学. 空中大学, 1997

作者简介

陈鸿烈: 中兴大学水土保持学系副教授。

颜正平: 中兴大学水土保持学系教授。