

厦门湾浮游植物分布现状和水质状况评价

杨毕铖^{1,2}, 陈章飞², 戴红^{1,2}, 韩朝国², 颜露露²

(1. 中国海洋大学海洋与大气学院 青岛 266110; 2. 国家海洋局厦门海洋环境监测中心站 厦门 361008)

摘要: 文章通过2015年8月航次对厦门湾周边海域浮游植物群落结构特征以及相关环境因子进行调查。结果表明: 调查共鉴定浮游植物2门25属41种, 其中硅藻24属39种, 甲藻1属2种, 浮游植物细胞密度介于 $4.32 \times 10^5 \sim 7.79 \times 10^6$ 个/ m^3 。浮游植物的主要趋势是从九龙江口—厦门鼓浪屿海域向同安湾以及湾外递减, 鼓浪屿海域属于高密度区域, 这和营养盐的变化趋势基本相同。富营养化指数(E)平均为7.12, N/P值平均为17.36, 说明水体呈富营养化, 且营养盐结构表现为磷限制。根据研究结果显示, 厦门湾近岸水体营养盐含量较高, 浮游植物含量也较高, 极易引起赤潮, 因此控制含氮磷污水的流入是改善水质状况的关键。

关键词: 厦门湾; 浮游植物; 营养盐; 富营养化; N/P值

中图分类号: P76

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2018)09-0088-06

Distribution Status and Water Quality of Phytoplankton in Xiamen Bay

YANG Bicheng^{1,2}, CHEN Zhangfei², DAI Hong^{1,2}, HAN Chaoguo², YAN Lulu²

(1. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266110, China;

2. Xiamen Marine Environmental Monitoring Central Station, SOA, Xiamen 361008, China)

Abstract: The characteristics of phytoplankton community structure and related environmental factors in the surrounding waters of Xiamen Bay were investigated in the August 2015. The result showed that there were 41 species of phytoplankton belonging to 2 phyla and 25 genera, among which Bacillariophyta included 24 genera and 39 species, Pyrrophyta included 1 genera and 2 species. The density of phytoplankton ranged from 4.32×10^5 to 7.79×10^6 cells/ m^3 . From Jiulong River estuary and Gulang Island waters to Tong'an Bay waters, the density of phytoplankton showed a decreasing trend, Gulang Island waters had a high level, which is basically the same as the change trend of the nutrient. The eutrophication index (E) averaged 7.12, and the N/P value averaged 17.36, indicating that the water body was eutrophic and the nutrient salt structure was phosphorus-limited. According to the research results, the water content in the coastal waters of Xiamen Bay was relatively high, and the phytoplankton content was also high, which was very

收稿日期: 2018-03-12; 修订日期: 2018-07-25

作者简介: 杨毕铖, 助理工程师, 研究方向为海洋环境监测与评价

likely to cause red tide. Therefore, controlling the inflow of nitrogen and phosphorus wastewater was the key to improving water quality.

Key words: Xiamen Bay, Phytoplankton, Nutrient, Eutrophication, N/P

0 引言

浮游植物是海洋生态系统中一类重要生物类群,海洋生态系统中各种因素的变化对浮游植物种群结构、数量组成及分布特征产生影响^[1]。同时海洋浮游植物也是海洋传统食物链的基础环节,其组成和多样性的变化将直接影响生态系统的结构与功能,对维持海洋生态系统平衡起至关重要的作用^[2-6]。

富营养化是由于海洋中限制性营养盐的增加而使原有的生态系统发生结构的改变和功能的退化^[7]。随着沿海城市的经济快速发展,以及人口的不断增加,随之而来的是不断增加的工业废水和生活污水排入近岸海域,从而导致近岸水体中营养盐含量的不断增加,水体富营养化程度不断加重,在一定条件下更容易引起赤潮等生态灾害,破坏海洋生态系统。

厦门市位于福建省南部,与漳州、泉州相连,地处闽南金三角中部,港阔水深,终年不冻,是条件优越的海峡性天然良港,有史以来就是中国东南沿海对外贸易的重要口岸。同时,厦门也是重要的旅游城市,拥有丰富的沙滩资源以及海滨浴场。随着港口经济的不断发展,旅游人数的不断增加,厦门周边海域的环境污染压力逐渐增大,近几年不断出现了赤潮的现象。这也反映了厦门周边海域的海水富营养化程度较高,根据资料显示:厦门湾除大嶼海域和东部大部海域水体外,其他海域均处于富营养化状态($E \geq 1$);其中同安湾大部、西海域南部和河口区的富营养化指数 E 在 1~10,西海域的宝珠域附近海域的富营养化指数 E 在 10~30,马銮湾海域的富营养化指数 $E > 30$;2006 年除马銮湾外,厦门湾各海区水体中的 N/P 比值均大于 Redfield 比值^[8]。九龙江口、东南部海域和大嶼海域的大部分地区的 N/P 均大于 16,从 N/P 值来看,营养盐结构为磷限制;而西海域北部、同安湾和马銮湾则属于氮限制海域;厦门湾海域富营养化指数(E)范围为

0.013~118.168,马銮湾、西海域北部和高集海堤附近海域的富营养化指数较高^[9]。

从查阅资料来看,厦门周边海域的环境状况也在不断变化,为了更好地了解厦门湾周边海域浮游植物的群落状况以及水质状况,2015 年 8 月对厦门湾海域浮游植物和水质状况进行了调查,结合有关评价指标进行分析,为保护海域的生态环境提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间及分析方法

本次调查于 2015 年 8 月在厦门岛附近设置 10 个站位(图 1),对浮游植物和水质进行调查和分析。浮游植物样品采用浅水Ⅲ浮游生物网垂直拖网采集,装于聚乙烯瓶中,按样品体积的 5%,加入甲醛溶液固定。同时用采水器采集水质样品。

浮游植物和水质样品按照《海洋监测规范》第 7 部分^[10]、《海洋监测规范》第 4 部分^[11]和《海洋监测技术规程》第 1 部分^[12]进行分析。水质调查要素为化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮和活性硅酸盐,其中无机氮为亚硝酸盐、硝酸盐和铵盐的总和。

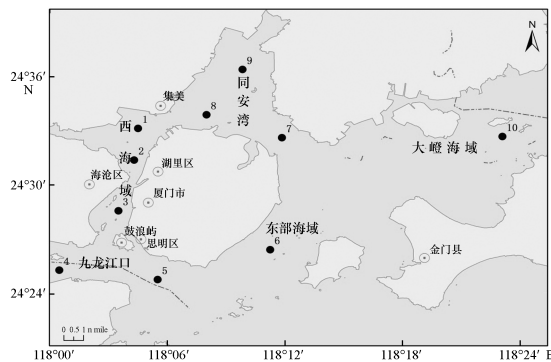


图 1 调查站位

1.2 水质评价方法

水质富营养水平以营养指数(E)采用下式评价^[13]: $E = \text{COD} \times \text{无机氮} \times \text{活性磷酸盐} \times 10^6 / 4\ 500$,式中单位以 mg/dm^3 表示,若 $E > 1$,则水体呈富营

养化状态; E 值越大, 水体富营养化程度越严重。

N/P 值是评价营养盐结构的重要指标, 海水的 N/P 值(原子比)接近 $16:1$, 从理论上讲, 如果 N/P 值小于该比值, N 将限制藻类增长, 如果大于该比值, 则认为磷是藻类增长的限制因子^[14]。

1.3 浮游植物多样性特征指数评价方法

海洋生态环境评价采用生物学指数: 物种多样性指数(H')^[15]、均匀度(J')^[16]、丰富度(d)^[17]和优势度(Y)^[18], 计算公式分别如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

$$J' = H' / \log_2 S \quad (2)$$

$$d = (S - 1) / \log(N) \quad (3)$$

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i \quad (4)$$

式中: S 为样品中的种类数; P_i 为第 i 种的个体数与样品总个体数的比值; n_i 为第 i 种的个体数; N 为每个种出现的个体数的总和; f_i 为第 i 种的测站出现率。当 $Y \geq 0.02$ 时, 确定该物种为优势种。

本研究的平面分布图采用 Surfer 10 和 Arcgis 10 软件绘制。

2 浮游植物结果分析

2.1 浮游植物的物种组成和优势种

2015 年 8 月调查共鉴定浮游植物 2 门 25 属 41 种, 其中硅藻 24 属 39 种, 甲藻 1 属 2 种。各站浮游植物细胞密度介于 $4.32 \times 10^5 \sim 7.79 \times 10^6$ 个/ m^3 , 平均为 2.34×10^6 个/ m^3 , 各站种类数介于 11~19, 平均为 14.7 种。主要优势种为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)和奇异菱形藻(*Nitzschia paradoxa*)(表 1)。

表 1 8 月厦门湾网采浮游植物优势种组成

种名	频率/%	优势度
中肋骨条藻	100	0.47
菱形海线藻	70	0.22
琼氏圆筛藻	100	0.04
尖刺菱形藻	90	0.03
奇异菱形藻	70	0.03

根据浮游植物密度分布图来看(图 2), 8 月主要趋势是从厦门鼓浪屿海域向同安湾以及湾外递减, 鼓浪屿海域属于高密度区域。

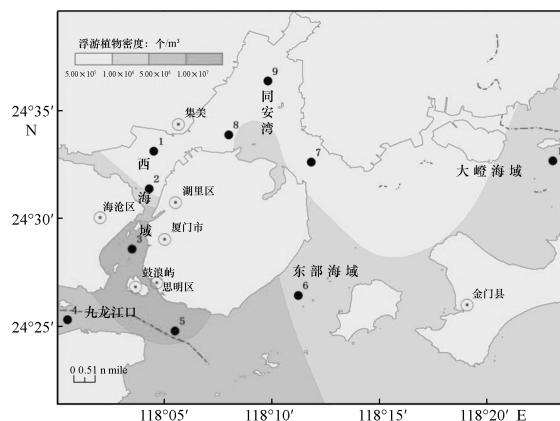


图 2 浮游植物密度平面分布

2.2 物种多样性特征

本次调查浮游植物物种多样性指数 H' 变化范围为 $1.38 \sim 3.34$, 平均为 2.23 ; 均匀度 J' 变化范围为 $0.37 \sim 0.85$, 平均为 0.58 ; 丰富度 d 变化范围为 $0.41 \sim 0.94$, 平均为 0.71 。多样性指数平面分布图见图 3, 根据分布图来看, 厦门湾海域的物种多样性指数 H' 和均匀度 J' 变化趋势刚好和浮游植物密度分布趋势相反, 高值区主要分布在大嶼海域和同安湾北部。这可能由于浮游植物浓度较高站位相对物种较单一, 优势种优势较明显。丰富度 d 则在同安湾和东南海域出现高值, 九龙江口和西海域出现低值。

3 水质结果分析

3.1 化学需氧量平面分布

本航次化学需氧量变化范围为 $0.38 \sim 0.83$ mg/L, 平均为 0.64 mg/L。化学需氧量平面分布见图 4。从化学需氧量的分布图来看, 总体从西海域向湾外递减, 但在 6 号站附近有明显的变高, 可以看出近岸陆源污染物排海可能对其有较大的影响。

3.2 营养盐的平面分布

本航次无机氮变化范围为 $0.140 \sim 0.956$ mg/L, 平均为 0.581 mg/L; 活性磷酸盐变化范围为 $0.0201 \sim 0.1087$ mg/L, 平均为 0.0707 mg/L; 活性硅酸盐变化范围为 $0.556 \sim 2.079$ mg/L, 平

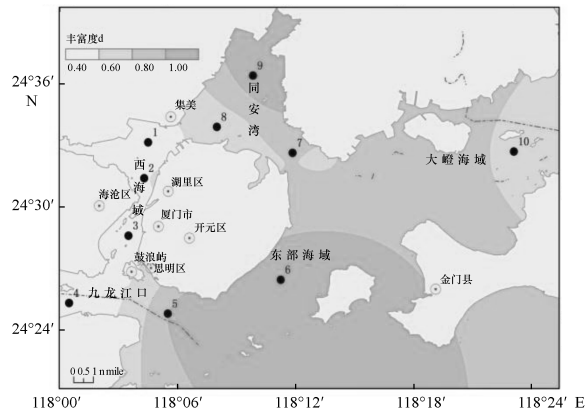
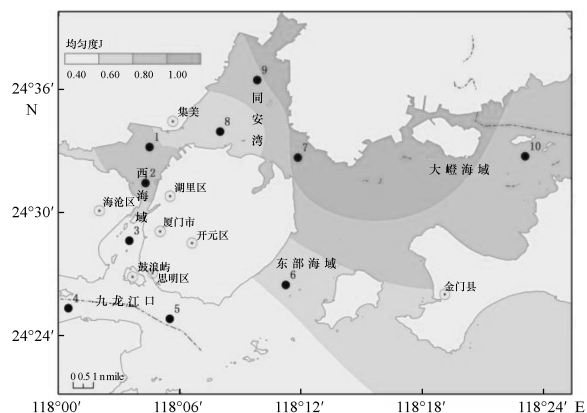
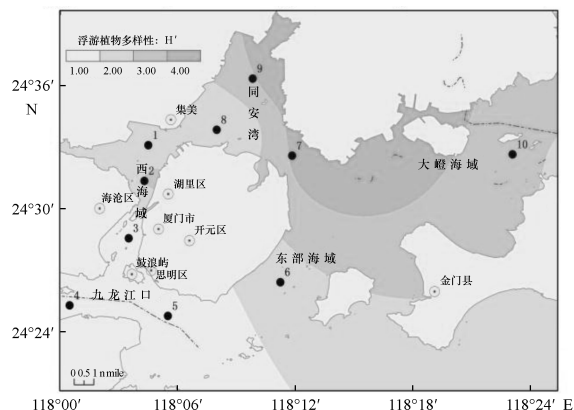


图3 浮游植物多样性指数平面分布

均为 1.242 mg/L。营养盐平面分布图见图 5。从分布图来看,无机氮和活性磷酸盐的变化趋势基本一致,从九龙江口流域以及同安湾向金门一大嶝海域递减,无机氮最高出现在九龙江口流域,活性磷酸盐则出现在同安湾。而活性硅酸盐则是从九龙江口流域向湾外递减,最高出现在九龙江口流域。

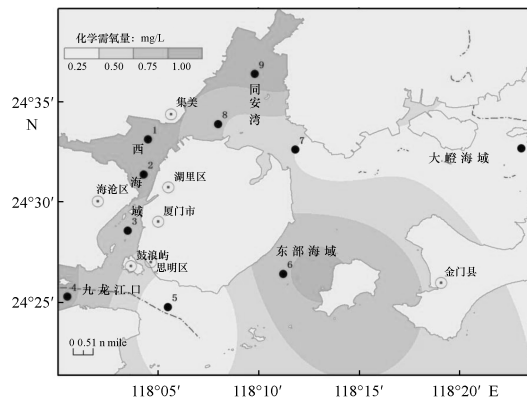


图4 化学需氧量平面分布

3.3 水质评价

N/P 值是反映调查海区营养盐结构的主要指标,Redfield 的研究结果表明,一般大洋深层水的 N/P 值为 16 左右,与浮游植物体内元素组成的 N/P 值大致相同,这一比值被称为 Redfield 比值,并作为水生态环境中缺乏 N 或 P 的判别依据^[19]。本航次厦门湾海域各站 N/P 值变化范围为 13.43~26.05,平均为 17.36,其中 1 号站、3 号站、5 号站和 10 号站 N/P 值小于 16,其余各站均大于 16,说明厦门湾海域营养盐结构整体表现为磷限制。

调查海域 8 月水体富营养化指数(E)变化范围为 0.24~17.49,平均为 7.12,其中除了 10 号站 E 值低于 1 以外,其余站位 E 值均高于 1,同安湾海域富营养化指数最高,九龙江口海域富营养化指数也较高。各站 E 值和 N/P 值结果见表 2。

表2 E 值和 N/P 值统计结果

站位	E 值	N/P
1	6.69	13.43
2	5.66	18.99
3	9.40	14.66
4	13.13	26.05
5	1.30	13.00
6	6.19	18.82
7	4.71	17.34
8	6.40	18.12
9	17.49	17.77
10	0.24	15.42

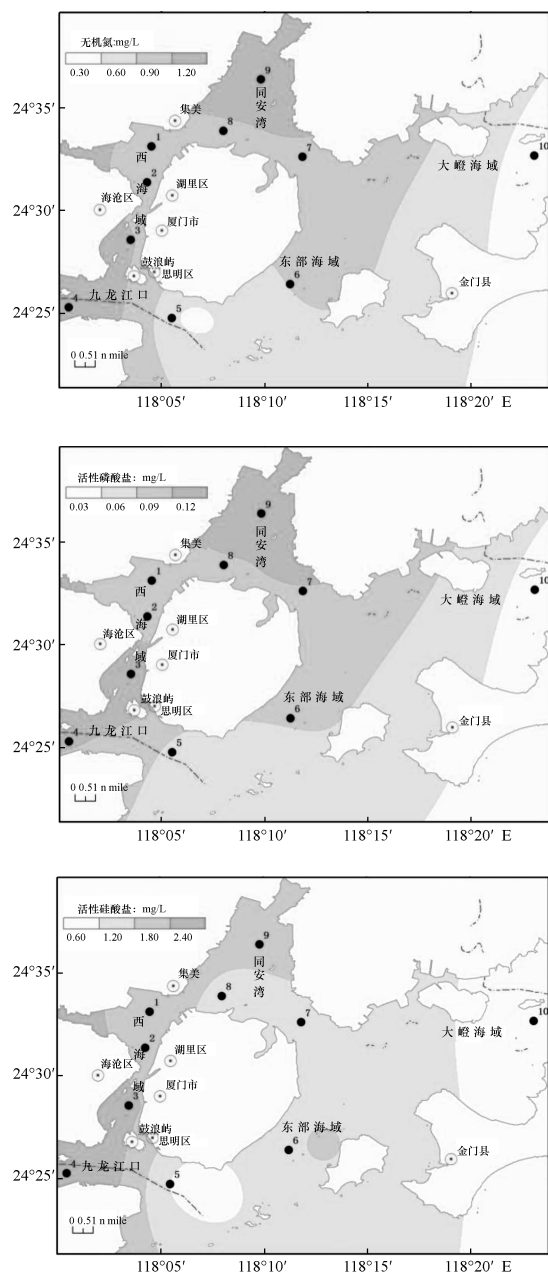


图5 营养盐平面分布

4 结论

(1)通过8月的调查,共鉴定浮游植物2门25属41种,其中硅藻24属39种,甲藻1属2种。各站浮游植物细胞密度介于 $4.32 \times 10^5 \sim 7.79 \times 10^6$ 个/ m^3 。主要优势种为中肋骨条藻、菱形海线藻、琼氏圆筛藻、尖刺菱形藻和奇异菱形藻。根据林更铭等1990年对厦门岛周边海域浮游植物的调查显示,浮游植物四季的密度范围为 $3.61 \times 10^5 \sim 1.11 \times 10^7$ 个/ m^3 [20];杨清

良等1990年对厦门东侧海域浮游植物调查结果显示,年平均为 $6.45 \times 10^6 \sim 3.08 \times 10^8$ 个/ m^3 [21];陈宝红等2010对厦门海域调查显示,8月浮游植物水样密度变化范围为 $2.6 \times 10^6 \sim 2.8 \times 10^8$ 个/L[22]。从资料显示,本次调查浮游植物细胞密度与往年相比,密度在合理范围之内。

(2)无机氮和活性磷酸盐的变化趋势基本一致,从九龙江口流域以及同安湾向金门一大嶝海域递减,无机氮最高出现在九龙江口流域,活性磷酸盐则出现在同安湾。而活性硅酸盐则是从九龙江口流域向湾外递减,最高出现在九龙江口流域。营养盐主要来源是九龙江江水、近岸工业废水和生活污水入海。

(3)浮游植物的主要趋势是从九龙江口—厦门鼓浪屿海域向同安湾以及湾外递减,鼓浪屿海域属于高密度区域。这和营养盐的变化趋势基本相同,可以看出,丰富的营养盐含量为浮游植物的生长提供了良好的条件,九龙江口又是入海口,淡水和海水交换频繁,入海的营养物质充足,最容易引起赤潮等现象的发生。

(4)厦门湾近岸海域属于富营养化状态,水体富营养化指数(E)变化范围为0.24~17.49,平均为7.12,同安湾海域富营养化指数最高,九龙江口海域富营养化指数也较高。厦门湾海域N/P值平均为17.36,说明厦门周边海域营养盐结构整体表现为磷限制。这与林辉、欧阳玉蓉等[8-9]的研究成果基本一致。

参考文献

- [1] 李士虎,王洪斌,阎斌伦,等.江苏省灌河口海域浮游植物种群组成及季节变化[J].湖北农业科学,2014,53(21):5094—5098.
- [2] THOMAS J R, NORMAN C. An interactive preference ordering model and its monte carlo evaluation[J]. Psychometrika, 1984, 49(2): 247—255.
- [3] IRIGOIEN X, HARRIS R P, VERHEYE H M, et al. Copepod hatching success in marine ecosystems with high diatom concentrations[J]. Nature, 2002, 419: 387—389.
- [4] CARDINALE B J, PALMER M A, COLLINS S L. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation[J]. Nature, 2002, 415: 426—429.

- [5] LEONARD V. Polishchuk. CONTRIBUTION ANALYSIS OF DISTURBANCE-CAUSED CHANGES IN PHYTOPLANKTON DIVERSITY[J]. Ecology, 1999, 80(2): 721—725.
- [6] LI W K W. Macroecological patterns of phytoplankton in the northwestern North Atlantic Ocean [J]. Nature, 2002, 419 (6903): 154—157.
- [7] CAPRIULO G M, SMITH G, TROY R, et al. The planktonic food web structure of a temperate zone estuary, and its alteration due to eutrophication[J]. Hydrobiologia, 2002(1).
- [8] 林辉, 张元标. 厦门湾富营养化程度趋势变化研究[J]. 台湾海峡, 2008, 27(3): 347—355.
- [9] 欧阳玉蓉, 王翠, 李青生, 等. 厦门湾海域营养盐时空分布与富营养化状况分析[J]. 福建省农科院学报, 2014, 29(1): 88—93.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 《海洋监测规范》第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 《海洋监测规范》第4部分: 海水分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 国家海洋局. 《海洋监测技术规程》第1部分: 海水[M]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [13] 国家海洋环境监测中心. 海水增殖区监测技术规程[M]. 北京: 国家海洋局, 2002.
- [14] 刘爱英, 马元庆, 李斌, 等. 山东三个贝类增殖区营养盐季节分布及营养盐限制性分析[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(1): 54—57.
- [15] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949.
- [16] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[J]. Bioscience, 1969, 24(2): 7—12.
- [17] E. C. 皮洛. 数学生态学[M]. (第二版). 北京: 科学出版社, 1988.
- [18] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 等. 大亚湾浮游植物群落特征[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3948—3958.
- [19] SMITH S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. Limnology & Oceanography, 1984, 29 (6): 1149—1160.
- [20] 林更铭, 杨清良, 林金美. 厦门岛周围海域浮游植物的种类组成及丰度[J]. 台湾海峡, 1994, 13(4): 353—358.
- [21] 杨清良, 林更铭, 蔡秉及. 厦门东侧海域浮游植物的种类组成与分布[J]. 台湾海峡, 2000, 19(3): 337—343.
- [22] 陈宝红, 陈长平, 陈金民, 等. 厦门海域营养盐含量和比率变化及其对浮游植物群落的影响[J]. 台湾海峡, 2012, 31(2): 246—253.