

文章编号:1000 - 0615(2001)06 - 0512 - 06

杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨

章守宇¹, 邵君波², 戴小杰¹

(1. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090; 2. 舟山市海洋生态环境监测站, 浙江 舟山 316004)

摘要:根据杭州湾水质监测及浮游植物的调查资料,应用营养状态指数、生物多样性和相似性指数等概念,分析了杭州湾的富营养化及浮游植物多样性等问题。研究表明,杭州湾营养状态指数由近岸向外海递减,COD、DIN 和 DIP 在杭州湾营养状态指数的构成比例中分别占 64.3%、34.6% 和 1.1%;浮游植物种类多样性指数自西北向东南呈递减—递增—递减的态势,其低谷区中心轴位于 121°30' E、30°00' N - 122°30' E、31°00' N 连线(图 1 的 A - A' 线)附近;营养状态指数和浮游植物种类多样性指数的相关性好,外海侧海域因为二者呈负相关而更有可能成为赤潮发生的“危险区”;杭州湾浮游植物生长环境大致可以 A - A' 线为界划分为近岸侧和外海侧两个区,前者生长环境比后者更为恶劣;浮游植物按其物种相似性指数可分为外海群落与近岸群落,它们的地理分布同样可以上述连线为界。

关键词:杭州湾;富营养化;浮游植物;多样性;相似性

中图分类号:S931.3 **文献标识码:**A

Studies on eutrophication and phytoplankton diversity in Hangzhou Bay

ZHANG Shou-yu¹, SHAO Jun-bo², DAI Xiao-jie¹

(1. Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Zhoushan Marine Ecological Environmental Monitoring Station, Zhoushan 316004, China)

Abstract: Based on the surveyed data of water quality and phytoplankton in Hangzhou Bay, the eutrophication situation and the phytoplankton diversity etc. in the bay were analyzed by nutrient status index, diversity index and similitude index in this paper. The results show as follows. 1) The level of eutrophication decreased from the inshore to the offshore in the bay and the percentage of COD, DIN and DIP in the nutrient status index accounted for 64.3%, 34.6% and 1.1% respectively. 2) The distribution of diversity index of phytoplankton showed the characteristic of decreasing, increasing and then re-decreasing from the northwest to the southeast, and the axis of the lowest index was located near the A - A' line between 121°30' E, 30°00' N and 122°30' E, 31°00' N in the bay. 3) The diversity index of phytoplankton was closely related to the nutrient status index, and the offshore area was more likely to become the "danger area", which may result in red tide bloom because of their negative correlation in that area. 4) According to the growth environment for phytoplankton, Hangzhou Bay can be divided into inshore area and offshore area based on the A - A' line, and the inshore area was worse than the offshore area for phytoplankton growth. 5) According to the similitude index, phytoplankton community in

收稿日期:2001-01-23

基金项目:国家教委资助项目(1999 - 363)

第一作者:章守宇(1961 -),男,浙江长兴人,博士,主要从事海洋生态环境等研究。E-mail: syzhang@shfu.edu.cn

Hangzhou Bay can be divided into inshore phytoplankton community and offshore phytoplankton community, and the boundary of their geographic distribution was the same as above.

Key words: Hangzhou Bay; eutrophication; phytoplankton; diversity; similitude

沿岸海域日趋发达的海水富营养化,不仅使渔业生物原有的栖息环境受到影响,而且在一定条件下通过某些生物的大量异常繁殖如赤潮而直接使其他生物受害,导致某个食物链级上生态系统的失衡,给渔业生产尤其是沿岸养殖业带来重大损失。调查发现,赤潮发生与海水富营养化程度密切相关,但却并非成恒定的正相关;另外,关于海水富营养化目前尚无评价标准,因此单纯探讨海域的富营养化评价问题事实上并不能及时有效地监测赤潮的发生。

生物多样性指数作为描述生物群落结构特征的一个重要参数,常常应用于分析各调查海域生物群落的安定程度及其随时间的变动大小等。毫无疑问,生物群落的这种在种类与数量上的安定或变动是与其栖息环境相对应的。由于赤潮发生起始于某一类浮游植物的大量异常繁殖,其时生物多样性指数急剧下降,因而探讨生物多样性与海水富营养化的相关性,对于弄清生物群落变动与环境影响的关系及其变化过程,进而揭示赤潮的发生规律等都是十分有益的。本文以杭州湾为例,试对该海域浮游植物多样性与海水富营养化的相关性等问题作一探讨。

1 材料与方 法

分析数据来源于 1998 年 4 月对杭州湾 15 个站点的水质监测和浮游植物调查结果,调查海域的采样站点分布如图 1 所示。水质监测项目中包括化学耗氧量(COD)、溶解无机氮(DIN)和溶解无机磷(DIP)等;浮游植物的调查采用浅水型网采样、以浓缩计数法和重量法计量,15 个站点共计得到中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus granii*)、中华盒形藻(*Biddulphia sinensis Greville*)等 81 个种,各站平均生物量为每 mL 约 125 个。

海水的富营养化程度以营养状态指数(E)来表示^[1],计算式如下,

$$E = \frac{COD \times DIN \times DIP}{4500} \quad (1)$$

上式中, COD、DIN 和 DIP 的单位均为 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $E \geq 1$ 即认为属富营养化。种类多样性指数(H')和均匀度指数(J)分别依以下公式计算^[2],

$$H' = \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{N}{n_i} \quad (2)$$

$$J = H' / \log_2 S \quad (3)$$

式中 s 为生物种类数, n_i 为 i 种的个体数, N 为总个体数。与多样性指数相对应,各调查站点之间生物组成的相似性指数(C),按木元新作的定义^[3]计算,即

$$C = \frac{2 \sum_{i=1}^s n_{1i} \cdot n_{2i}}{(1 + 2) N_1 \cdot N_2} \quad 0 < C < 1 \quad (4)$$

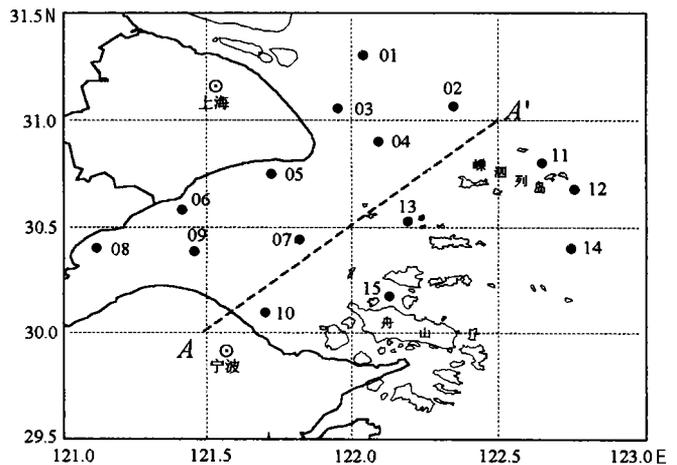


图 1 调查海域及采样站点的分布

Fig. 1 Map showing the region of Hangzhou Bay, sampling positions of the present study

$$1 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{1i}(n_{1i} - 1)}{N_1(N_1 - 1)}, \quad 2 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{2i}(n_{2i} - 1)}{N_2(N_2 - 1)} \tag{5}$$

这里 N_1 、 N_2 分别为采样站点 1、2 的个体总数, n_{1i} 、 n_{2i} 则为各自站点第 i 个种类的个体数, s 为种类数。

2 结果与分析

2.1 营养状态指数

由式(1)计算得到杭州湾营养状态指数 E 的等值线分布如图 2, 整个杭州湾乃至嵊泗列岛西侧海域的营养状态指数都大于 5, 按通常观点^[1]已处于过富营养化; 即使在嵊泗列岛及其以东的外海海域, 营养状态指数也都在 1 以上, 处于富营养化。由图可知, 杭州湾的营养状态指数由近岸向外海呈递减变化, 其趋势特征十分明显, 属于典型的富营养河口。

分析杭州湾各站点营养状态指数的构成物质 COD 、 DIN 和 DIP , 得到它们各自平均所占的比例分别为 64.3%、34.6% 和 1.1%, COD 显然起到了决定性作用。从图 3 显示的杭州湾 COD 分布情况看, 它与图 2 的营养状态指数分布形成良好对应, 即近岸高、外海低。另一方面, 由于杭州湾的生物活性较低^[4], 由低次生态系统所提供的 DIN 和 DIP 等无机营养盐十分有限。因此, 造成杭州湾近岸海域营养状态指数高的原因主要是由湾西侧的钱塘江径流和沿岸排污所造成。

2.2 多样性指数

杭州湾浮游植物种类多样性指数的分布如图 4 所示, 其基本变化是自西北向东南呈递减—递增—递减的态势, 并于嵊泗列岛—舟山西北的狭长海域形成一低谷区, 多样性指数等值线的中心轴在 121°30' E、30°00' N - 122°30' E、31°00' N 连线(图 1 的 A - A 线)上。这种分布特点与 Patten B C 对 Raritan Bay 浮游生物种群多样性的研究结果^[5], 即距离河口越远生物多样性指数就越高这一经典结论不尽相同, 其原因与杭州湾因潮强流急、悬浮物量大(图 5)、透明度小而造成的光合作用效率低下、生物活性较弱有关。

应用最小二乘法对杭州湾营养状态指数和浮游植物种类多样性指数 H' 进行二次曲线回归, 结果如图 6 所示, 相关系数 $r = 0.666$ 、置信度 $> 99\%$, 表明二者相关性好。需要注意的是, 二次回归方程式显示在杭州湾存在一营养状态指数临界值 $E_0 = 17.3$, 其物理意义可理解为: 在营养状态指数小于临界值即 $E < E_0$ 的外海侧海域, 浮游植物种类多样性指数与营养状态指数呈负相关, 即富营养化加剧导致浮

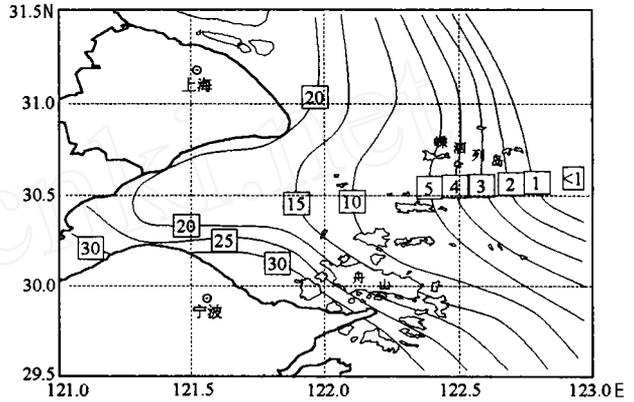


图 2 杭州湾营养状态指数的分布

Fig. 2 Distribution of the nutrient status index in Hangzhou Bay

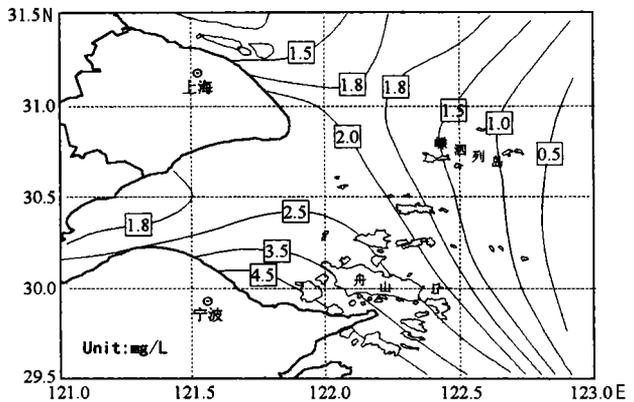


图 3 杭州湾化学耗氧量的水平分布

Fig. 3 Distribution of COD in Hangzhou Bay

游植物多样性降低;而在 $E > E_0$ 海域,二者却呈正相关,即在杭州湾近岸侧海域,随着富营养化进程的加剧,生物多样性指数不降反升,浮游植物的种类数增多,群落结构愈加安定,从而可避免赤潮的发生。因此,随着沿岸海域富营养化进程的进一步加剧, $E < E_0$ 的杭州湾外海侧海域更有可能成为赤潮发生的“危险区”,在进行海洋环境监测与分析时应加以特别注意。

影响浮游植物多样性指数 H' 的环境因子显然还包括盐度、温度、海水透明度等等,需要累计大量调查资料才能掌握其准确的变动规律,这里旨在说明生物多样性与富营养化之间并非呈简单的负相关,这对于正确认识赤潮的形成及发展是有积极意义的。

2.3 均匀度

均匀度 J 是衡量群落中各种类个体数量差异程度的一个指标,在数值上等于实际多样性与理论上最大多样性之比,当各种类的个体数量完全相同时其值为 1。由表 1 可知,15 个站点的均匀度平均值为 0.33,即杭州湾的浮游植物种类多样性水平总体上距理想状态较远。另外,均匀度数值的分布也不平衡,除 01 号站外,其余 14 个站点可以图 1 中的线为界划分成二类,即均匀度低于平均值的 02 ~ 09 号站位于近岸侧,而均匀度高于平均值的 10 ~ 15 号站则都位于外海侧。划分结果说明杭州湾近岸侧的实际多样性指数要比理论最大值相差得更多些,即近岸侧的浮游植物生长环境要比外海侧更为恶劣,其原因与北岸 06 号站附近的排污有关。

2.4 相似性指数

杭州湾浮游植物种类相似性指数 C 的计算值见表 2。由表 2 可知,08 号站及 15 号站与其它各站位之间的相似性指数均呈较小值,显示这 2 个站位的浮游植物种类组成比例呈相对的独立性。08 号站位于钱塘江入海口,本次调查该处总生物量为 3444×10^3 个 $\cdot m^{-3}$,其中中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 生物量为 3182×10^3 个 $\cdot m^{-3}$,约占 92.4%,而浮游植物种类数却为最多,达 24 种,种类个体数量的分布极不平衡,导致与其它站位间的相似性指数

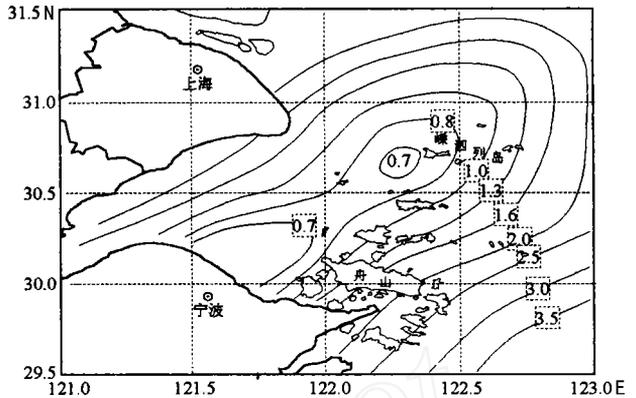


图 4 杭州湾浮游植物种类多样性指数的分布
Fig. 4 Distribution of the diversity index of phytoplankton in Hangzhou Bay

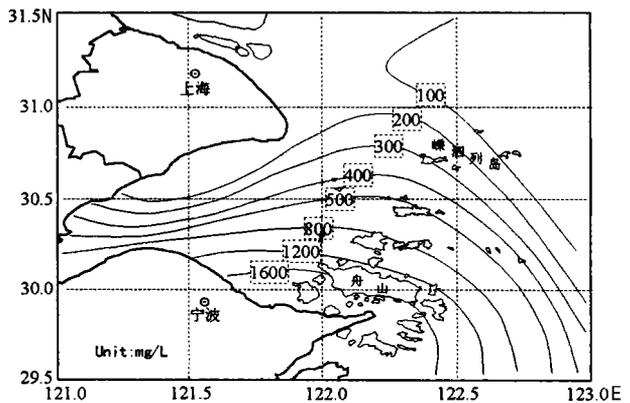


图 5 杭州湾悬浮物质数量的分布
Fig. 5 Distribution of suspended particle in Hangzhou Bay

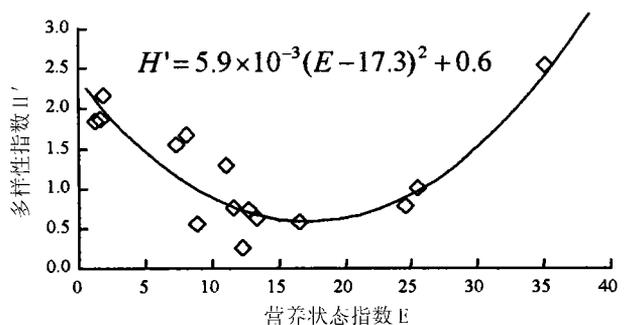


图 6 杭州湾营养状态指数与浮游植物种类多样性指数的相关性
Fig. 6 Relativity between the nutrient index status and the diversity index of phytoplankton in Hangzhou Bay

小。15号站位于舟山本岛北侧的岛礁海域,浮游植物种类数虽属最少(11种)者,但总生物量却达 500000×10^3 个 $\cdot m^{-3}$ 至多。由图4可知,15号站西北侧为杭州湾浮游植物多样性指数低谷区,种类数相对较少,但由于本站处于岛礁之间的海峡通道,东海潮流在此的往复运动,使得该海域水深流急,具有较强的物理聚集作用,因此生物量增大,本站位的这种环境特点可能是造成15号站与其它站位之间浮游植物种类相似性指数变小的主要原因。

表1 杭州湾各采样站位的均匀度J计算值

Tab.1 The calculated results of the uniformity(J) index of sampling positions in Hangzhou Bay

St	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	平均
J	0.34	0.17	0.18	0.15	0.24	0.16	0.19	0.12	0.08	0.56	0.48	0.49	0.38	0.60	0.81	0.33

表2 杭州湾各采样站位之间的浮游植物种类相似性指数

Tab.2 The calculated results of the similitude index among sampling positions in Hangzhou Bay

St	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
01	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.97	0.03	0.97	0.93	0.98	0.89	0.05
02	0.01	1	1.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.37	0.11	0.02	0.05	0.02	0.01
03	0.01	1.00	1	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.39	0.11	0.01	0.05	0.03	0.01
04	0.01	0.00	0.00	1	0.99	1.00	1.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.06	0.02	0.28	0.06
05	0.01	0.02	0.02	0.99	1	1.00	0.99	0.00	0.00	0.02	0.04	0.06	0.02	0.29	0.05
06	0.01	0.02	0.02	1.00	1.00	1	1.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.02	0.28	0.04
07	0.01	0.01	0.01	1.00	0.99	1.00	1	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.03	0.28	0.04
08	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	1	0.01	0.09	0.01	0.03	0.01	0.13	0.01
09	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1	0.02	0.93	0.87	0.95	0.82	0.01
10	0.03	0.37	0.39	0.01	0.02	0.01	0.01	0.09	0.02	1	0.10	0.08	0.05	0.08	0.26
11	0.97	0.11	0.11	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0.93	0.10	1	0.95	0.99	0.94	0.11
12	0.93	0.02	0.01	0.06	0.06	0.05	0.06	0.03	0.87	0.08	0.95	1	0.96	0.91	0.12
13	0.98	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.95	0.05	0.99	0.96	1	0.91	0.02
14	0.89	0.02	0.03	0.28	0.29	0.28	0.28	0.13	0.82	0.08	0.94	0.91	0.91	1	0.13
15	0.05	0.01	0.01	0.06	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01	0.26	0.11	0.12	0.02	0.13	1

图7则为将表2中相似性指数以0.0~0.5和0.5~1.0两级区分的图示化结果。由图7可知,相互间相似性指数均较高的几个站位主要分布在a、b、c三个区域,a区由11、12、13和14号站组成,b区由4、5、6和7号站组成,c区为2、3号站。a区种类较多,主要有骨条藻、直链藻、圆筛藻、盒形藻、菱形藻、角毛藻和双尾藻等,反映了杭州湾东北海域浮游植物生长环境的兼广性,形成外海群落。b区和c区的种类构成相近,主要为骨条藻、圆筛藻和盒形藻等,但由于各自所占的比例相异而形成不同的近岸群落,反映了杭州湾近岸浮游植物生长环境的相对偏狭性。对照图1可知,杭州湾浮游植物外海群落与近岸群落的地理分布同样是可以A-A线为大致界线的。

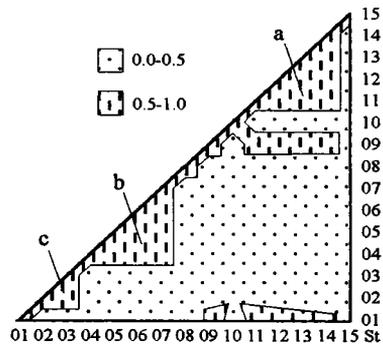


图7 各采样站点之间浮游植物种类相似性指数的图示结果

Fig.7 The plot of the similarity indices among sampling positions of Hangzhou Bay

3 结论

应用营养状态指数、生物多样性和相似性指数等概念,通过对杭州湾 15 个采样站点的水质监测与生物调查结果的分析,得到以下主要结论。

(1) 杭州湾营养状态指数由近岸向外海递减,属典型富营养河口,COD、DIN 和 DIP 在杭州湾营养状态指数的构成比例中分别占 64.3%、34.6%和 1.1%,COD 起决定性作用,其来源主要是钱塘江径流和沿岸排污。

(2) 浮游植物种类多样性指数自西北向东南呈递减—递增—递减的态势,并于嵎泗列岛—舟山西北的狭长海域形成一低谷区,多样性指数等值线的中心轴在 121°30' E、30°00' N - 122°30' E、31°00' N 连线(图 1 中 A-A 线)上。

(3) 营养状态指数和浮游植物种类多样性指数的相关性好,在营养状态指数小于其临界值的外海侧海域二者负相关,而大于临界值的近岸侧海域二者正相关,外海侧海域更有可能成为赤潮发生的“危险区”,在进行海洋环境监测与分析时应加以特别注意。

(4) 杭州湾大致可以 121°30' E、30°00' N - 122°30' E、31°00' N 连线为界划分为近岸侧和外海侧两个区域,近岸侧海域的浮游植物生长环境要比外海侧更为恶劣,其原因与北岸的排污有关。

(5) 杭州湾浮游植物按其物种相似性指数可分为外海群落与近岸群落,它们的地理分布同样可以上述 A-A 线为大致界限。

参考文献:

- [1] 国家海洋局科技司、辽宁省海洋局《海洋大辞典》编辑委员会. 海洋大辞典[M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1998. 179.
- [2] 蔡立哲, 洪华生, 黄玉山. 香港维多利亚港大型底栖生物群落的时空变化[J]. 海洋学报, 1997, 19(2): 65 - 70.
- [3] 木元新作. 动物群集研究法——多样性と种类组成, 生态学研究讲座 14[M]. 日本东京: 共立出版, 1976. 192.
- [4] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第 14 分册:重要河口) [M]. 北京: 海洋出版社, 1998, 574 - 576.
- [5] Patten B C. Species diversity in net plankton of Raritan Bay[J]. J Marine Res, 1962, 20: 57 - 75.

欢迎订阅 2002 年《海洋水产研究》杂志

《海洋水产研究》学报,是经国家科委批准,由中国水产学会和中国水产科学研究院黄海水产研究所共同主办的水产学术性期刊。

季刊,主要刊载与海水养殖生态、病害、育种、营养、海洋生物资源、环境保护、增养殖工程、食品工程、水产品质量检测和渔业捕捞技术等有关的水产基础应用研究方面的论文和研究简报等。

本刊为季刊,大 16 开本,每册定价 15 元,全年 60 元(含邮资),国内外公开发行,欢迎投稿和订阅。

投稿及订阅地址:青岛市南京路 106 号《海洋水产研究》学报编辑部,邮编:266071

联系电话:5833580。