

模拟太湖底泥疏浚对氮磷营养物释放过程的影响研究

刘德启^{1,2}, 李 敏¹, 朱成文¹, 顾 钧³, 江 飞¹, 由文辉²

(1.苏州大学化学化工学院, 江苏 苏州 215006;2.华东师范大学资源环境学院, 上海 200064;3.苏州环境监测中心站, 江苏 苏州 215004)

摘 要:通过模拟太湖底泥疏浚,研究了不同水土比与不同环境因素条件下,底泥中氮、磷等营养物的释放规律与较长时期的模拟疏浚环境效果。结果表明,底泥中细小颗粒物、较高的水温、置水和厌氧条件等是促进底泥中磷释放的主要环境因素。从模拟太湖底泥的淤积现状上看,以平均模拟疏浚深度为 25 cm 环境效果最佳,在沉积物粒度较细的湖区,可以适当加深;底泥疏浚应在冬季等水温低的季节进行,这样可以有效地防止其中营养物向上覆水体的释放。

关键词:太湖; 底泥疏浚; 氮、磷营养物释放; 评价

中图分类号:X524 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)03-0521-05

Effects of Simulating Sediment-dredging on the Release of N and P Nutrients in Taihu Lake's Sediment

LIU De-qi^{1,2}, LI Min¹, ZHU Cheng-wen¹, GU Jun³, JIANG Fei¹, YOU Wen-hui²

(1. Chemical Department of Soo Chow University, Suzhou 215006, China; 2. Resources and Environmental College, East China Normal University, Shanghai 200064, China; 3. Monitoring Center of Environment in Suzhou, Suzhou 215004, China)

Abstract: Eutrophication of water-body now is one of the main environmental phenomena all over the world, which results from the out input of pollutants and the release of nitrogen and phosphorus nutrients in sediment, especially, the release from inner resource when the out input of pollutants controlled effectively, so sediment dredging is a broadly adoptive engineering measure. The past researches on the release of nitrogen and phosphorus nutrients in sediment were focused on the same proportion of water to sediment, but no dynamic affects of environmental factors on the release of nutrients after sediment dredging. The release of nitrogen and phosphorus nutrients in sediment from Taihu Lake and long-time effects of simulation dredging under different proportion of water to sediment were studied. The results indicated that the smaller size particles in sediment, higher water temperature, water exchanging and anaerobic condition were all the key factors to increase the release of nitrogen and phosphorus nutrients in sediments, but their effects varied greatly with the proportions of water to sediment. All the conditions considered, 25 cm simulation depth of sediment dredging was best, but it could be more in the area covered by the sediment of smaller size particles. The lower the water temperature, the less the release of nitrogen and phosphorus nutrients in sediment, and winter was the best season for sediment dredging with lower release nitrogen and phosphorus nutrients from sediment to water.

Keywords: Taihu Lake; simulating sediment dredging; release of nitrogen and phosphorus; assessment

富营养化是目前世界范围内面临的主要水环境问题,这是由外界污染物输入与底泥内源释放共同引起的。在污染源控制达到相当的程度后,水体底泥的内源释放所表现出的二次污染现象已日趋明显^[1-3]。因此在水体污染防治与生态修复过程中,底泥疏浚是一项普遍采用的工程技术措施^[4-8]。在湖泊底泥内源释放的研究方面,已进行了大量的工作^[9-14],但都是在同一水土比条件下模拟环境因素的变化对沉积物中营养盐释放过程的影响,这对研究底泥的二次释放规律具有重要的意义,但没能揭示底泥疏浚后环境因素的变化对营养盐释放的动态影响。

本文主要通过模拟太湖底泥疏浚,探讨其对氮、磷营养盐释放过程的影响,这对于科学的指导对受损水体进行生态修复与底泥疏浚或评价疏浚的工程效果具有重要的理论与实际意义。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

泥样采集与保存:底泥采样点位于五里湖与梅梁湖交界处(NH06)。用蚌式泥样采集器采集底泥;泥样装入洁净的聚碳酸酯食品袋,带回实验室在 4.0 ℃ 的冷藏柜中储藏待用。

底泥粒级分析:采用包氏比重计法^[15]。

氮、磷在各粒级中含量测定:用过硫酸盐氧化法测定各粒级中的总磷、总氮^[16]。

有机碳的测定:采用紫外/过硫酸钾法^[17];有机质分析通过总有机碳折算法。

藻类生长情况测定:采用分光光度法^[18]。

DO 测定:采用溶解氧电极法。

1.2 人为因素及环境因素的模拟

底泥疏浚是通过人工挖泥的方式来减少水体营养物现存量的重要途径,希望以此来达到有效控制底泥二次释放与改善水环境的目的。实验中称取多份等量的底泥样,分别放入 20 L 透明模拟实验筒中(尽可能不使底泥粘在筒壁上),分别沿筒壁缓缓加入去离子水,使水土比分别为 2.0:1、3.0:1、4.0:1。若以太湖的平均水深为 1.89 m^[19],底泥平均厚度为 0.96 m^[20]计算,则 2.0:1 代表太湖目前底泥的淤积状况,3.0:1 及 4.0:1 分别代表底泥平均疏浚深度为 0.25 m 和 0.39 m 时的相应水体状态。

太湖在不同季节的水温变化较大。太湖历年最高水温 38.1℃,最低水温 0℃,平均为 17.1℃,平均变幅为 34℃^[21]。因此,实验选取 5℃、20℃ 与 30℃ 3 个温

度,模拟太湖水温的季节波动对底泥营养物释放的影响。通过温度变化对三种水土比状态下营养释放强度的对比,为底泥的疏浚提供技术指导。

水力扰动及溶解氧影响的模拟,采用分别在水体表层持续鼓入空气,以模拟风动力扰动及好氧状态;在水体表层持续鼓入氮气,以模拟风动力扰动及厌氧状态。

置水作为生态修复过程中一种重要的人工辅助手段,通过从清洁水源地调水来置换与稀释被修复水体水质较差的水,为水生生态系统的重建或组建生物提供良好的生存环境。但置水过程所造成的上覆水体与底泥中营养物浓度差的改变,又将会影响其中营养物释放强度的改变。实验的模拟置水强度采用每次取样时加入相同的去离子水的量来计算。

1.3 实验仪器

723-分光光度计、DO 溶解氧仪(上海第三分析仪器厂);u-2800-紫外-可见光分光光度计,HITACHI (Japan)。

2 结果与讨论

2.1 粒级的差异对营养物释放的影响

不同粒级实验泥样的制备:称取足够量的 NH06 泥样,理化性质参见表 1。以颗粒粒径介于 0.01~0.05 mm 为主粒度组成,以水力分选法将泥样分成两份重量相等的泥样 A 与 B。泥样 A 中剔除粒径>0.05 mm 的成分,由主粒径成分和小颗粒物共同组成;泥样 B 中剔除粒径<0.01 mm 的粒度成分,由主粒径成分和大颗粒物共同组成。一般情况下,氮、磷释放首先进入底泥的间隙水中^[22-23],再进一步从间隙扩散到水土界面与上覆水体中,扩散动力来自于扩散面上的浓度梯度^[24]。而影响浅水湖泊水/土界面间浓度梯度的外界环境因素很多,主要有温度、酸碱度、氧化还原电位及水动力条件等,这些方面人们已经做了大量的实验研究^[9-11]。除此之外,粒级的差异对营养物释放的影响也比较深刻。

从图 1 可以看出,在好氧条件下,相同水土比,泥样 A 的磷平均面释放明显高于泥样 B 的磷平均面释放。从泥样 A 可以看出,水土比为 2.0:1、3.0:1、4.0:1 时,前 6 d 中的平均面释放强度分别为 13.81、11.18 和 10.52 mg·m⁻²·d⁻¹;泥样 B 相应的平均面释放强度分别为 9.96、7.54 和 3.07 mg·m⁻²·d⁻¹。在底泥主粒径成分相同的情况下,这种释放强度上的差异说明磷释放在短时段内主要来自粒径<0.01 mm 的颗粒物。造

表 1 NH06 样点泥样的理化性质

Table 1 Basic properties of the sediment in NH06 from Taihu

编号 NH06	各粒级范围主要理化特性				
粒径范围/mm	d>0.05	0.05>d>0.01	0.01>d>0.005	0.005>d>0.001	d<0.001
各粒级百分比/%	10.2	46.40	11.40	12.80	19.20
TN 含量/mg · kg ⁻¹	320.72	428.31	446.44	446.25	281.20
有机质/%	2.027	4.475	4.465	4.024	3.073
C/N 比	3.67	6.06	5.80	5.23	6.34
TP 含量/mg · kg ⁻¹	189.22	281.13	933.57	1 224.94	795.85

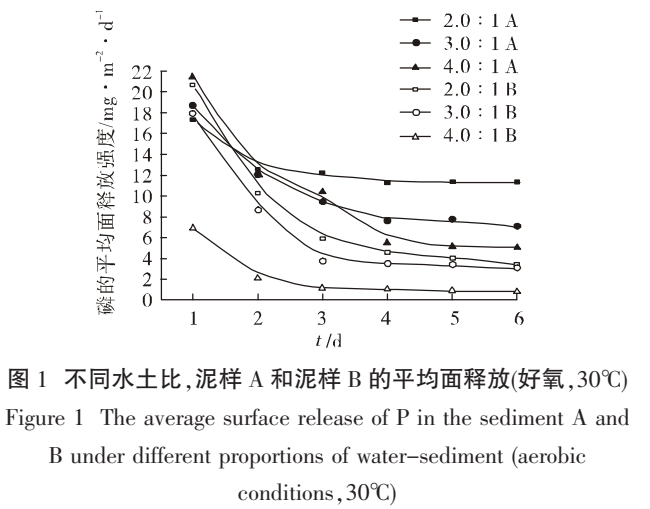


图 1 不同水土比,泥样 A 和泥样 B 的平均面释放(好氧,30℃)

Figure 1 The average surface release of P in the sediment A and B under different proportions of water–sediment (aerobic conditions,30℃)

成这种现象的主要原因可能是粒径的差异不仅仅体现在其中的氮、磷等营养物质含量的差异上,而且其可能影响营养物质释放的各过程。因此这种现象在底泥疏浚过程中应引起高度重视。应根据不同沉积区的粒径特征,制定相应的疏浚量。

2.2 厌氧、好氧状态对底泥营养物释放的影响

水体中的溶解氧积极参与氮、磷、有机质等营养物的生物化学循环过程。不同的溶解氧水平对于营养物释放过程常常产生不同的效果,而底泥疏浚会使这一过程变得表面化。从实验结果可以看出,相同水土比,在好氧、厌氧条件下,底泥中氮、磷等营养释放情况存在较为明显的差异,随着底泥疏浚量的增加,二者的差别在减少,参见图 2、3。

好氧 (30 ℃) 条件,3 个水土比时底泥磷在前 6 d 平均面释放分别为 10.13,8.12 和 3.18 mg·m⁻²·d⁻¹;厌氧(30 ℃)时,3 个水土比底泥磷在前 6 d 平均面释放分别为 12.83,9.77 和 4.13 mg·m⁻²·d⁻¹。可见在同一水土比、厌氧时底泥磷的平均面释放明显高于好氧条件相应的平均面释放,这与很多文献^[12,27,28]报道是一致的。随着水土比的增加,好氧或厌氧时磷的面释放强度都在迅速降低。但到第 6 d 后,不管是在好氧还是厌氧条件下,不同水土比时磷的面释放强度都趋向于

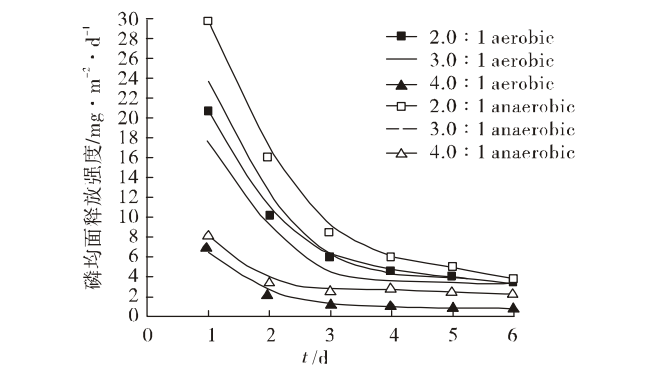


图 2 好氧、厌氧条件下底泥 P 的平均面释放的差异

Figure 2 The average surface release of P in the sediment under aerobic and anaerobic conditions

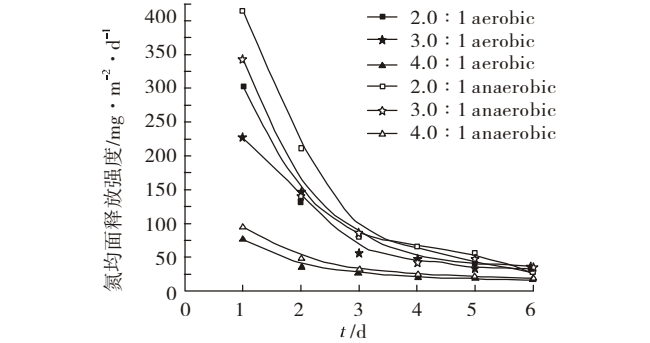


图 3 好氧、厌氧条件下底泥 N 的平均面释放的差异

Figure 3 The average surface release of N in the sediment under aerobic and anaerobic conditions

一致,差异越来越小,使得模拟疏浚的效果很难直接体现出来。

从氮素在不同的水土比释放的实验上看,水土比小的(即代表疏浚程度低或不疏浚时),前 6 d 的氮素释放强度比较大;水土比大的(即代表疏浚程度深时),氮素释放强度较小,且不管是在好氧还是厌氧条件下,释放强度接近于一致。N 元素在泥/水/气三相界面之间的转换是以不同氮化合物的形式进行的^[13],即在好氧状态下,微生物主要进行硝化过程,以 NO₃-N 为主;在厌氧状态,主要进行反硝化过程,NO₃-N 会转化为 N₂O 与 N₂ 的形式挥发到大气环境中,造成水体中氮素的损失。而深度疏浚可能大大削弱了这种生物

化学的转化过程,使得氮素有保留在水体中的倾向,这也可能是造成很多水体在底泥疏浚后出现氮磷比例失调的重要原因^[25]。

因此,不管是好氧还是厌氧条件,从营养物的释放过程来看,疏浚所造成的长期面释放强度的差异并不十分明显,即疏浚并不能够有效地阻止氮、磷营养物向上覆水体的释放过程,而这些营养物又是富营养化的主要诱导因素,因此这可能是底泥疏浚效果在中等以上大型湖泊效果不佳^[28]的重要原因。相反,深度的疏浚有使氮素保留在水体中的倾向。

2.3 温度和不同水土比对底泥营养物释放的影响

大量的实验证明,温度是影响氮转化及磷释放速率的重要环境因素^[14]。水体温度变化是有季节性的。

表 2 温度为 5 ℃、20 ℃与 30 ℃时,不同水土比底泥中 P 的释放规律(好氧)

Table 2 The release of phosphorus from sediments with different proportions of water and sediment at 5 ℃, 20 ℃, 30 ℃ temperature under aerobic conditions

温度/℃	水土比 (2.0 : 1) 时底泥的平均面释放/mg · m ⁻² · d ⁻¹	水土比(3.0 : 1)时底泥的平均面释放/mg · m ⁻² · d ⁻¹	水土比(4.0 : 1)时底泥的平均面释放/mg · m ⁻² · d ⁻¹
5	1.24	1.06	1.09
20	6.31	4.79	2.12
30	10.13	8.12	3.18

由于在置水条件下,水体一般呈现好氧状态,仅就好氧状态进行实验。从实验结果看,在置水强度为 14.29%、9.94%与 8.93%时(在相同的取水量条件下),随着水土比增加,在这三个置水强度下磷的面释放强度分别为 0.162 6、0.074 2 和 0.1412 mg · m⁻² · d⁻¹。这说明相同的置水量在不同水土比上的效果是不同的,随着水土比的增加,面释放强度呈抛物线型(参见图 4)。

2.5 不同水土比条件底泥氮磷释放的长期效果比较

底泥疏浚的短期效应一般情况下较为明显,但从月、季以上的长时间段上评价不同底泥疏浚程度的效

对于浅水湖泊来说,由于水动力的扰动,使得湖体水温趋向于一致并随季节明显变化。实验选取了 5 ℃、20 ℃与 30 ℃ 3 个温度并在此条件下测定了不同水土比底泥中磷的释放规律(好氧),参见表 2。从表中可以看出,在同一水土比,温度的升高都有利于底泥中磷的释放。而在同一水温下,随着水土比的增加,释放强度在降低,但水温较高时,释放强度降低的速率较大;水温较低时,释放强度降低的速率较小,尤其是在水温低于 5 ℃时,3 种水土比磷的释放强度差异很小,这一结果说明在冬季进行底泥疏浚可以大大减少磷释放对上覆水体的影响。

2.4 置水强度 and 水土比差异对底泥营养物释放的影响

果更具有实际意义^[28]。从图 5、6 可以看出,在 3 个不同水土比的模拟水体中,也以底泥疏浚 25cm 左右的模拟水体(即水土比为 3.0:1)中的氮、磷为最低。说明此时的疏浚效果最好,这与平行的生物量监测结果也是一致的。这一结果可能与水体中新生态有机物的生物化学循环有关,因为在这 3 个水土比条件下,近 1 a 后底泥中的有机物测定值也有类似的规律(即其中的有机质含量在这 3 个水土比条件下,多次测定值都是最低的)。因此,从对模拟水体中底泥疏浚的长期实验结果上看,笔者也赞同疏浚不是控制富营养化的充要条件,而在控制外源污染物的前提下,改善水体的生

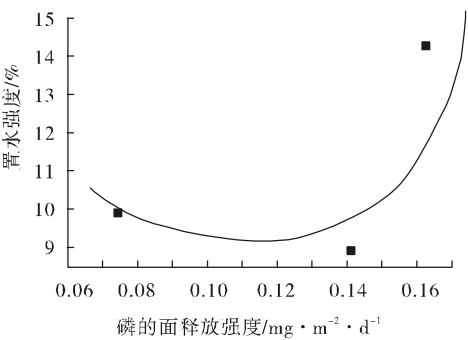


图 4 不同置水强度下 P 的面释放强度
Figure 4 The average surface release of P under different intensities of exchanging water

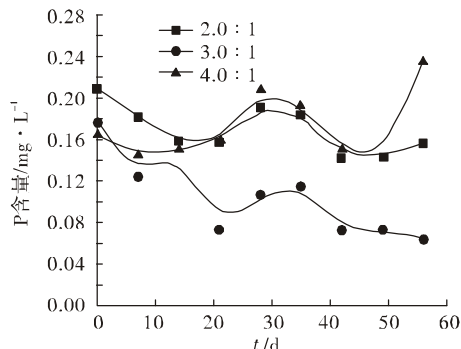


图 5 不同水土比条件下,模拟水体 P 含量
Figure 5 The concentration of P in the water of Taihu under different proportions of water and sediment

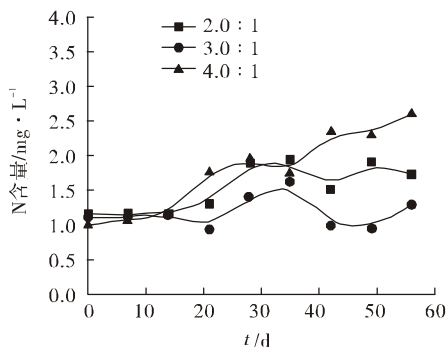


图 6 不同水土比条件下, 模拟水体 N 含量

Figure 6 The concentration of N in the water of Taihu under different proportions of water and sediment

态结构才是关键的结论^[28]。

3 结论

(1) 粒级的差异对营养物释放有一定程度的影响。底泥中小颗粒群含量越高,越有利于其中的营养物向水体中的释放。在制定底泥疏浚规划时一定要注意这一点。

(2)从短期效果上看,底泥的疏浚可以有效地改善水质;从营养物的释放的长期过程来看,不管是好氧还是厌氧条件,疏浚所造成的长期面释放强度的差异并不十分明显,相反,深度的疏浚有使氮素保留在水体中的倾向。

(3)从水温对底泥释放过程的影响来看,高温容易引起底泥中营养物的释放;水温较低时,疏浚所造成的底泥释放差异很小,因此,在冬季进行底泥疏浚效果最佳。

(4) 置水作为水体生态环境改善的一种辅助手段,应该注意把握最佳的置水量。

参考文献:

- [1] 曲久辉.我国水体复合污染与控制[J].科学对社会的影响,2000(1): 36-40.
- [2] Frik C R. Nutrient Budget: Rational analysis of Eutrophication in a Connecticut Lake[J].*Environmental Sci Technology*, 1967(1):425-428.
- [3] 金相灿,徐南妮,张雨田,等.沉积物污染化学[M].北京:中国环境科学出版社,1992.
- [4] 朱广伟,陈英旭.水体沉积物的污染控制技术研究进展[J].农业环境保护,2002,21(4): 378-380.
- [5] 陈华林,陈英旭.污染底泥修复技术进展[J].农业环境保护,2002,21(2): 179-182.
- [6] Finn Pedersen, Estelle Bj mestad, Helle Vang Andersen, et al. Characterization of sediments from Copenhagen harbor by use of biotests[J].

- Wat Sci Tech*,1998, 37(6-7):233-240.
- [7] 郭慧光,马丕京.滇池环境综合治理框架及其投资估算[J].云南环境科学,2000,19(A08): 109-112.
- [8] Shepsis Vladimir, Case Nancy L,Hartman Gregory L.LADS System, Inc. thermal remediation treatment for contaminated sediment[A].In: International Conference on Dredging and Material Placement ASCE New York USA. 1994:66-75.
- [9] 范成新.高湖沉积物理化性质及磷释放模拟[J].湖泊科学,1995,7(4):341-350.
- [10] 尹大强,覃秋荣.环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响[J].湖泊科学,1994,6(3):240-245.
- [11] 汪家权,孙亚敏,钱家忠,等.巢湖底泥磷的释放模拟实验研究[J].环境科学学报,2002,22(6):738-742.
- [12] 李文红,陈英旭,孙建平.不同溶解氧水平对控制底泥向上覆水体释放污染物的影响研究[J].农业环境科学学报,2003,22(2):170-173.
- [13] 范成新,相崎守弘.好氧和厌氧条件对霞浦湖沉积物—水界面氮磷交换的影响[J].湖泊科学,1997,9(4):337-342.
- [14] 王晓蓉,华兆哲,徐菱,等.环境条件变化对太湖沉积物磷释放的影响[J].环境化学,1996,15(1):15-19.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1977.
- [16] 钱君龙,府灵敏.用过硫酸盐氧化法测定水中的总氮与总磷[J].环境科学,1991(1):61-64.
- [17] Benner R, Hedges J I. A test of the accuracy of freshwater DOC measurements by high temperature catalytic oxidation and UV promoted persulphate oxidation[J]. *Mar Chem*, 1993, 41:161-165.
- [18] 沈萍萍,王朝晖,齐雨藻.光密度法测定微藻生物量[J].暨南大学学报(自然科学版),2000,22(3):115-119.
- [19] 邹少民.太湖出入湖水水质评价[J].水利水电技术,1997,(2):2-5.
- [20] 李文朝.东太湖水生植物的促淤效应与磷沉积[J].环境科学,1997,18(3):10-16.
- [21] 袁静秀,黄漪平.环太湖河道污染物负荷量的初步研究[J].海洋与湖沼,1993,24(5):485-493.
- [22] Span D. Variation of nutrient stocks in the superficial sediments of the Lake Geneva from 1978 to 1988[J]. *Hydrobiologia*,1990,207:161-166.
- [23] 范新成,杨龙元,张路.太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及相互关系分析[J].湖泊科学,2000,12(4):359-366.
- [24] Lerman A. Migrational processes and chemical reactions in interstitial water[A]. In: Goldberg. et al (ed) . The Sea[C]. New York: Wileg-Interscience, 1997,695-738.
- [25] 陆子川.湖泊底泥挖掘可能导致水氮磷平衡破坏的研究[J].中国环境监测,2001,17(2):40-42.
- [26] 隋少峰,罗启芳.武汉东湖底泥释磷特点[J].环境科学,2001,22(1):102-105.
- [27] Dorich R A, Nelson D W, Sommers L E. Estimating Algal Available Phosphorus in Suspended Sediments by Chemical Extraction[J]. *J Environ Qual*,1985,14(3):400-405.
- [28] 濮培民,王国祥,胡春华,等.底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗?[J].湖泊科学,2000,12(3):269-279.