

李晶. 降雨对污水处理厂进水污染物浓度的影响[J]. 净水技术, 2021, 40(4):68-72.

LI J. Effect of rainfall on influent pollutants concentration of wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):68-72.



扫我试试?

降雨对污水处理厂进水污染物浓度的影响

李 晶

(上海城投污水处理有限公司, 上海 201203)

摘 要 以上海市某污水处理厂为例,系统研究了降雨对污水厂进水 pH 值、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 和 TN 等污染物浓度的影响。结果表明,在污水处理厂接收到雨水的 24 h 内,进水中 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 和 TN 的浓度均升高,并在不同时段出现峰值,说明进水污染物的浓度在短时间内受降雨的影响较大。对比全年雨天和旱天的差异情况,COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 质量负荷差异不明显,TP 在雨天的质量负荷普遍高于旱天,但雨天和旱天 TN/TP 差异不大,说明雨天高质量负荷的 TP 对污水处理厂处理工艺未造成显著影响。

关键词 降雨 污水处理厂 进水污染物 质量负荷

中图分类号: X502;TU992.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2021)04-0068-05

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.013

Effect of Rainfall on Influent Pollutants Concentration of Wastewater Treatment Plant

LI Jing

(Shanghai Chengtou Wastewater Treatment Corporation Limited, Shanghai 201203, China)

Abstract Taking a certain wastewater treatment plant in Shanghai as an example, the effects of rainfall on wastewater treatment plant's influent pollutants such as pH, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP and TN were studied. The results indicated that, during the 24 h after the rain water was received by the wastewater treatment plant, the influent pollutants' concentration all increased and show peaks at different time periods, which proved that the concentrations of influent pollutants were largely affected by rainfall in a short period of time. By comparing the annual pollutants' loads between rainy days and dry days, little difference was shown for the mass loads of COD, ammonia nitrogen and total nitrogen. While the total phosphorus showed higher mass loads in rainy days compared to dry days, the TN/TP, however, showed little difference. This indicated that the high mass load of total phosphorus has no serious effects on the wastewater treatment process during rainy days.

Keywords rainfall wastewater treatment plant(WWTP) influent pollutants mass load

城镇污水处理厂进水水量和进水污染物浓度对污水处理有着至关重要的影响。目前,上海市排水体制格局为合流制与分流制并存,经过近几年的排水改造,已基本形成排水体制以分流制为主、合流制为辅的排水格局。然而,仍有一定存量的合流制排水管道系统,这些系统晴天主要输送城市污水,雨天

时则输送雨污混合水^[1]。雨污混合水携带了很多管道沉积物和汽油、降尘等地面垃圾,使城镇污水处理厂进水污染物浓度发生相应变化,从而对后期污水处理厂的处理造成很大影响。因此,有必要研究降雨对城镇污水处理厂进水污染物浓度的影响。

目前,已经有学者针对降雨对城镇污水处理厂水质的影响开展了研究。孙建富等^[2]分析了降雨与污水处理厂进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度的关系。孙迎雪等^[3]分析了昆明市雨季和旱季污水处理厂进水有机物、N、P 等的差异。吉芳英等^[4]研究了降雨对污

[收稿日期] 2020-03-21

[作者简介] 李晶(1985—),女,工程师,研究方向为水处理方向。电话:13585624132;E-mail:lijing4162003@163.com。

水处理厂无机颗粒物特性的影响。然而,这些研究大多只关注雨季和旱季城镇污水处理厂进水污染物浓度的差异,针对降雨若干小时内城镇污水处理厂进水污染物浓度的变化规律未做深入探讨。

本文以上海市某污水处理厂为例,研究了降雨时污水处理厂进厂 COD、NH₄⁺-N、TP、TN 和 pH 的变化规律,并对这些污染物在雨天和旱天的质量负荷差异进行比较。本文对指导污水处理厂应对降雨天气时进水污染物浓度发生变化所带来的影响,优化和提升污水处理厂抗击进水污染物负荷变化的能力有着重要意义。

1 概述

1.1 气候特征

上海市属亚热带季风性气候,温和湿润,春季秋季较短,夏季冬季较长。上海市日照充分,2019 年日照总长为 1 833.8 h,图 1 为上海市逐月降水量变化。由图 1 可知,上海市雨量充沛,降水主要集中在 6 月—10 月,2019 年最大日降水量为 95.6 mm,总降水天数为 135 d。

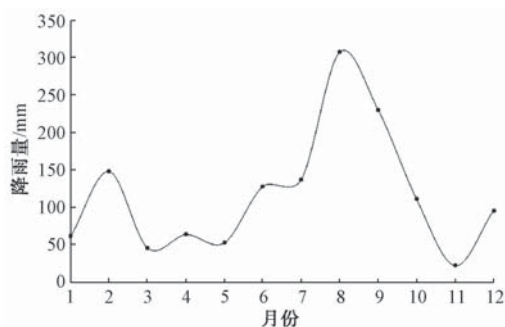


图 1 2019 年上海市降雨量变化

Fig. 1 Variation of Rainfall in 2019 in Shanghai

1.2 污水处理厂概况

该污水处理厂位于浦东新区合庆镇,主要接纳来自上海市污水治理二期、南干线、南线东段及沿线接入的污水,其中包含合流制排水管道接入的雨污混合水。采用多模式 AAO 生物处理工艺,目前处理规模为 280 万 m³/d。

2 降雨对进水污染物浓度的影响

2.1 降雨对进水量和 pH 的影响

从最近 4 年每月的降雨频次(图 2)可知,上海市降雨在全年 1 月—12 月均有分布。从最近 4 年不同降雨量降雨的频次分布(图 3)分析,上海市降雨以累计降水量在 1~10 mm 的小到中雨为主,占总

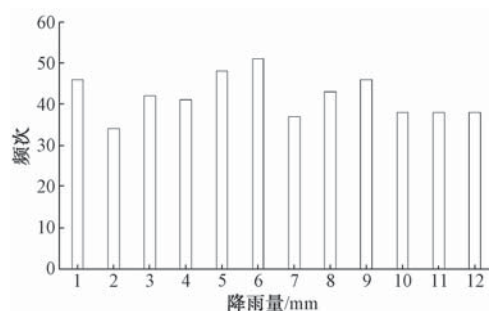


图 2 上海市近 4 年每月降雨频次分布

Fig. 2 Monthly Rainfall Frequency in Recent Four Years in Shanghai

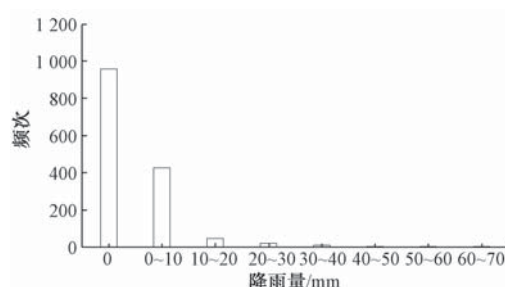


图 3 上海市近 4 年降雨量大小的频次分布

Fig. 3 Frequency of Rainfall Amount in Recent Four Years in Shanghai

降雨频次的 85%。图 4 为上海市 7 月一场累计降水量为 6 mm 的典型中雨降水过程中,污水处理厂接收雨水后中线进水流量的变化曲线。由于降雨影响,中线进厂水流量迅速上升,在 5 h 后达到峰值,峰值流量为 25.2 m³/s,随后逐渐降低,并在 22 h 后逐渐恢复正常流量。由进水 pH 随时间的变化曲线(图 5)可知,雨水径流中含有的碳酸盐、硫酸盐、氮氧化物等酸性物质进入污水处理厂后,进厂污水的 pH 迅速下降,并在 10 h 后达到最低值(6.15)^[5]。因此,降雨对污水处理厂进厂水量和进水 pH 都会

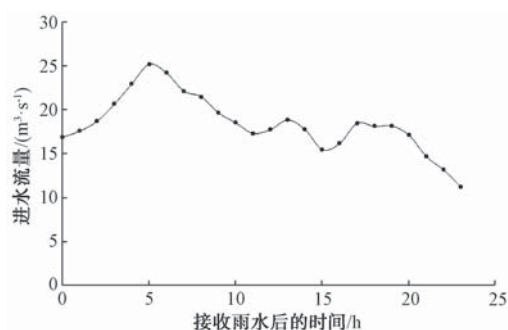


图 4 污水处理厂进水流量随时间的变化

Fig. 4 Variation of Influent Flow of WWTP with Time

造成较大影响。

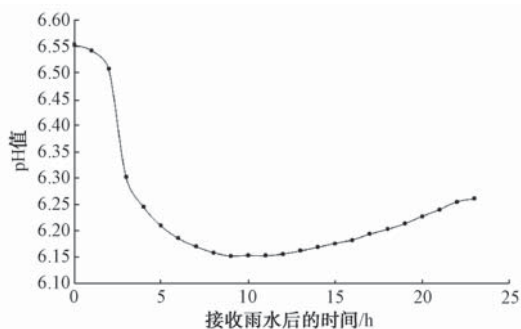


图5 污水处理厂进水 pH 值随时间的变化

Fig. 5 Variation of pH Value in the Influent of WWTP with Time

虽然污水处理厂昼夜不间断的均有生活污水及生产污水流入,雨水混合在其中会受到一定的稀释,但雨水本身污染物浓度较高的特性不会改变。因此,降雨时进入污水处理厂的各项污染物浓度通常会比没有降雨时污水处理厂上游来水的污染物浓度高。

2.2 降雨对进水 COD 浓度的影响

图6为该降雨天污水处理厂中线进水 COD 浓度的变化情况。进水 COD_{Cr} 浓度接收雨水后的 0~3 h 和 7~10 h 出现两个峰值,峰值 COD_{Cr} 浓度分别为 280 mg/L 和 277 mg/L。表明在降雨过程中,一些小分子的有机污染物如乙醇等,由于在雨水中的溶解度高,溶解于雨水后随雨水径流进入城镇污水处理系统,从而体现为污水处理厂进水 COD 浓度曲线上的第一个峰值。随着降雨的持续,一些溶解度较低的高分子有机物如多环芳烃、多氯联苯、三丁基锡等以颗粒态的形式被雨水冲刷带入城镇污水处理系统,从而在进水 COD 浓度曲线形成第二个高峰^[6]。

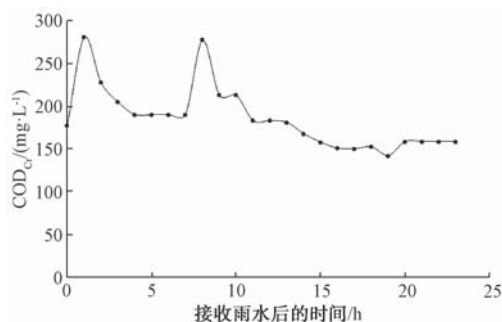


图6 污水处理厂进水 COD_{Cr} 随时间的变化

Fig. 6 Variation of COD_{Cr} in the Influent of WWTP with Time

2.3 降雨对进水 NH_4^+ -N 浓度的影响

图7为污水处理厂进水 NH_4^+ -N 浓度随降雨时间的变化曲线。由图7可知, NH_4^+ -N 在污水厂接收到雨水后的 0~4 h 和 11~16 h 出现两个较宽的峰值,峰值 NH_4^+ -N 浓度分别为 15.79 mg/L 和 16.77 mg/L。在降雨初期,土壤中以铵离子(NH_4^+)形式存在的硝酸盐氮溶解进入雨水,连同雨水中本身所含有的 NH_4^+ -N,首先进入城镇污水处理系统,在污水处理厂进水 NH_4^+ -N 浓度曲线上体现为第一个峰值^[7]。在这部分 NH_4^+ -N 完全进入污水处理系统后,污水处理厂的进水 NH_4^+ -N 逐渐恢复正常。随着降雨的持续,雨水中含有的有机氮在氨化菌的作用下转换为 NH_4^+ -N,使进水 NH_4^+ -N 浓度升高,形成第二个浓度峰值。

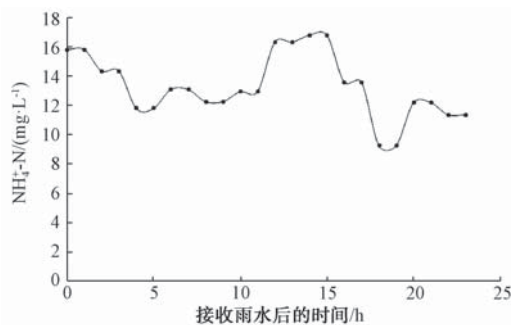


图7 污水处理厂进水 NH_4^+ -N 浓度随时间的变化

Fig. 7 Variation of NH_4^+ -N Concentration in the Influent of WWTP with Time

2.4 降雨对进水 TP 浓度的影响

图8为污水处理厂进水 TP 浓度随降雨时间的变化曲线。由图8可知,污水处理厂接收到雨水的 6 h 后,TP 浓度开始上升并达到峰值(2.72 mg/L),在 11 h 后,TP 浓度逐渐降低并恢复正常。TP 的峰

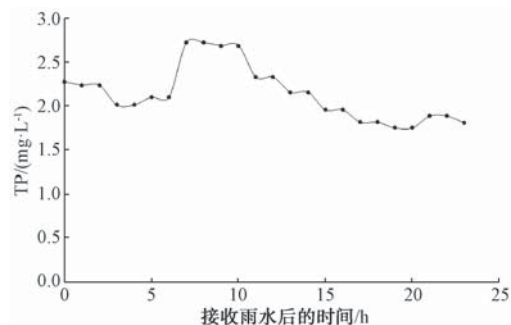


图8 污水处理厂进水 TP 随时间的变化

Fig. 8 Variation of TP Concentration in the Influent of WWTP with Time

值出现时间要明显滞后于 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的第一个峰值。这说明,雨水径流中所含有的 P 在水中的溶解度要低于小分子有机物和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。同时,TP 变化的波峰较宽。可以推断,雨水径流中 P 的存在形态较多,且溶解度较低,主要以磷酸钙盐、磷酸铁盐和有机磷为主^[8]。

2.5 降雨对进水 TN 浓度的影响

图 9 为污水处理厂进水 TN 浓度随降雨时间的变化曲线。进水 TN 浓度在污水处理厂接收雨水 0 h 后已经上升,并在 3 h 后迅速上升并达到峰值 (26.47 mg/L),在 16 h 后逐渐恢复正常。结合图 7 可知,在接收雨水后 0~3 h 内,进水 TN 主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主。在 3~6 h,雨水携带可溶性有机氮、硝态氮、亚硝态氮等污染物进入污水处理厂,使得进厂 TN 浓度达到峰值。在接收雨水后的 6~16 h,进水 TN 主要是经氨化作用转换而产生的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。

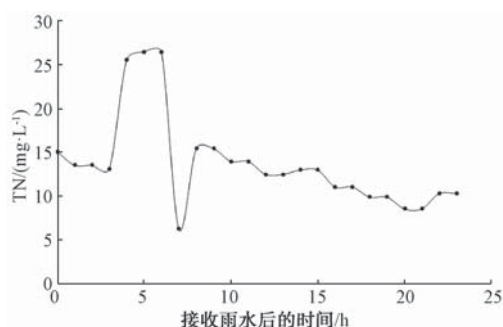


图 9 污水处理厂进水 TN 随时间的变化

Fig. 9 Variation of TN Concentration in the Influent of WWTP with Time

由上述分析可知,降雨时污水处理厂进水污染物的峰值为 $\text{COD}_{\text{Cr}} = 280 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N} = 16.77 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} = 2.72 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} = 26.47 \text{ mg/L}$ 。该污水处理厂设计进水污染物为 $\text{COD}_{\text{Cr}} = 360 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N} = 40 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} = 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} = 45 \text{ mg/L}$ 。尽管降水时污水处理厂的进水污染物瞬时浓度出现瞬时大幅升高,但仍低于设计进水污染物浓度。因此,只要保证污水处理厂不处在长期“超负荷”运行的状态,可确保雨天安全稳定运行。

3 雨天和旱天污染物质量负荷的比较

由某年污水处理厂不同污染物平均质量负荷在雨天和旱天的差异(表 1)可知,雨天 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、TN 的平均质量负荷分别高于旱天质量负荷的 5.84%、1.79%、2.45%、0.60%。这进一步证实了降

雨对污水处理厂污染物质量负荷的影响。

表 1 雨天和旱天不同污染物的平均质量负荷
Tab. 1 Average Mass Load of Different Pollutants in Rainy and Dry Seasons

指标	COD_{Cr} /(t·d ⁻¹)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ /(t·d ⁻¹)	TP /(t·d ⁻¹)	TN /(t·d ⁻¹)
旱天	274.89	27.99	3.27	33.17
雨天	290.93	28.49	3.35	33.37
雨天高于旱天的百分比	5.84%	1.79%	2.45%	0.60%

为进一步探究雨天和旱天污染物质量负荷的差异,研究了污水处理厂在雨天和旱天进水中 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、TN 几种污染物质量负荷的概率分布特征(图 10)。由图 10 可知,这几种污染物在雨天和旱天的质量负荷差异由大到小排列分别为 TP、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN。其中 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 的雨天和旱天质量负荷差异并不明显。

TP 的雨天和旱天质量负荷概率分布差异较大,在旱天,TP 质量负荷低于 3.5 t/d 的累积概率为 96.8%,而雨天 TP 质量负荷低于 3.5 t/d 的累积概率仅 65.5%。这意味着雨天污水处理厂 TP 的质量负荷普遍高于旱天,TP 的处理与污水处理厂的脱氮除磷相关。要考察降雨对脱氮除磷工艺的影响,可以研究雨天和旱天的 TN/TP(图 11)。雨天 TN/TP 在 10 以下的累积概率为 49.7%,旱天 TN/TP 在 10 以下的累积概率为 45%。尽管雨天污水处理厂的进水 TN/TP 略低于旱天,但均能满足脱氮除磷工艺中微生物生长对营养物质的理论需求量。

4 结论与建议

(1)降雨后污水处理厂进厂水流量迅速上升,在 5 h 后达到峰值 (25.2 m³/s),而污水的 pH 值迅速下降,并在 10 h 后达到最低值(6.15)。

(2)在污水处理厂接收到雨水的 0~24 h 内,进水 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、TN 的污染物浓度均相应升高,并在不同时间段出现峰值。

(3)尽管降雨短期(若干小时内)对污水处理厂的进水污染物浓度影响较大,但在全年尺度范围,污水处理厂雨天和旱天 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 的质量负荷差异并不明显。

(4)污水处理厂进水 TP 的雨天质量负荷普遍高于旱天,但雨天和旱天的 TN/TP 差异不大,因此,

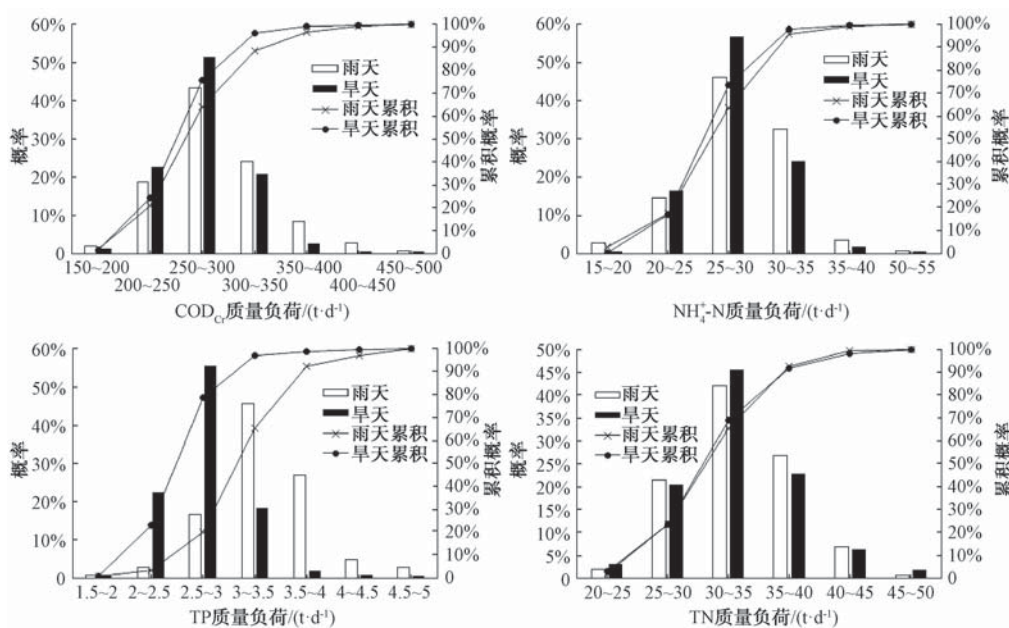


图 10 雨天和旱天进水污染物质量负荷的概率分布和累积概率曲线

Fig. 10 Probability Distribution and Cumulative Probability Curve of Pollutant Mass Load in Rainy and Dry Seasons

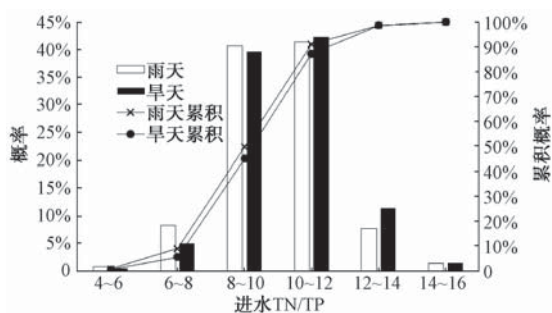


图 11 雨天和旱天进水 TN/TP 的概率分布和累积概率曲线

Fig. 11 Probability Distribution and Cumulative Probability Curve of TN/TP in Rainy and Dry Seasons

雨天较高质量负荷的 TP 对污水处理厂脱氮除磷工艺未造成显著影响。

(5)降雨对污水处理厂运行的影响主要是进水流量、污染物瞬时浓度和 TP 负荷的升高。因此,污水处理厂应注意避免长期“超负荷”影响,规避降雨期间进水流量、污染物瞬时流量急剧升高所导致的风险。同时,针对 P 的处理可设置应急处理工艺,以规避降雨期间 TP 负荷升高对污水处理厂运行稳定性的影响。

参考文献

- [1] 徐祖信,屈计宁,罗海林.上海市合流制管道雨污混合水和典型生活污水水质调查与分析[J].上海环境科学,2003,22(s1):102-105.
- [2] 孙建富,张佩琴,张蓓李,等.城市污水处理厂进水水质与降雨量的关系研究[J].能源环境保护,2016,30(6):34-36,52.
- [3] 孙迎雪,马磊,吴光学,等.昆明市合流制排水区域污水处理厂进水水质特征分析[J].给水排水,2013,49(3):135-139.
- [4] 吉芳英,周峰,范剑平,等.降雨过程对污水处理厂无机颗粒物特性及活性污泥的影响[J].环境工程学报,2016,10(9):4643-4648.
- [5] 郑晓红.上海市环境空气中酸性物质与降水酸性的相关性分析[J].仪器仪表与分析监测,2009(2):40-43.
- [6] 解建光,张雪,李贺.高速公路路面雨水径流有机污染物赋存状态研究[J].中国环境科学,2009,29(10):1047-1051.
- [7] 刘书宇,马放,吴明红,等.初期雨水对景观水体氮、磷释放及转化的影响[J].北京理工大学学报,2010,30(8):992-994,999.
- [8] 李海燕,梅惠瑞,王崇臣.超声波辅助提取雨水管道沉积物中磷的存在形态[J].环境科学与技术,2011,34(12):18-21.