

网络规模迭加法开展人群规模估计的研究进展

王一丹 张晓婷 马凯芳 李东民

中国疾病预防控制中心性病艾滋病预防控制中心流行病学室, 北京 102206

通信作者: 李东民, Email: lidongmin@chinaaids.cn

【摘要】 网络规模迭加法是一种在社会网络理论上建立的间接估计人群规模的方法, 由于不需要接触目标人群, 在估计隐藏人群规模时得到了广泛应用。该方法也在不断发展进步中, 本文从传统的网络规模迭加法及其进展及与新的调查技术结合三个方面进行综述, 旨在为该方法的进一步应用提供参考。

【关键词】 网络规模迭加法; 人群规模; 估计

基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX10201101-002-005)

Progress in research of population size estimation by network scale-up method

Wang Yidan, Zhang Xiaoting, Ma Kaifang, Li Dongmin

Division of Epidemiology, National Center for AIDS/STD Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

Corresponding author: Li Dongmin, Email: lidongmin@chinaaids.cn

【Abstract】 Network scale-up method is an indirect population size estimation method based on social network theory. It is widely used in estimating the hidden population size because it does not need to contact the target population. In order to provide reference for the further application of this method, this paper summarizes the traditional network scale-up method, the progress of this method and its combination with new survey techniques.

【Key words】 Network scale-up method; Population size; Estimation

Fund program: National Science and Technology Major Project of China (2017ZX10201101-002-005)

人群规模是针对不同人群进行研究的基础, 在估计一些社会边缘人群的规模时, 尤其具有挑战性^[1]。网络规模迭加(network scale-up, NSU)法基于社会网络理论, 通过调查普通人群来估计目标人群数量, 由于普通人群抽样框架通常易于获得, 调查实施难度较低, 自 20 世纪 90 年代起, NSU 法便被用于估计地震死亡人数^[2]、被强暴女性^[3]、癌症患者^[4-5]、自杀死亡与自杀未遂等人群^[6]的规模, 并于 2010 年被 WHO 和联合国艾滋病规划署引入“艾滋病高危人群基数估计方法指南”^[7]。我国学者曾称其为网络扩大法、网络规模叠加法^[8], 并于 2012 年应用该方法估计重庆市 MSM 规模^[9]。由于 NSU 法应用于人群规模估计时存在的偏倚未得到很好的解决, 该方法目前还处于不断试验完善阶

段^[10]。本文对该方法基本原理、应用条件及其改进、与其他技术的结合等方面进行综述, 旨在为该方法的进一步应用提供参考。

一、传统的 NSU 法

1. 基本原理: NSU 法将普通人群个体的人际网络构成视为整个社会网络构成的一个缩影, 即普通人群个体受访者人际网络中目标人群占比可以反映该受访者所在的社会网络中目标人群占比。公式为: $m/c=e/t$, 其中 m 为受访者认识的目标人群的人数, c 为受访者社交网络规模, e 为目标人群规模, t 为总人口数。

2. 方法: 抽取一个代表性好, 能推论到总体的受访者样本, 获得受访者社会网络中属于某些特定已知规模的人群

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20211130-00925

收稿日期 2021-11-30 本文编辑 斗智

引用格式: 王一丹, 张晓婷, 马凯芳, 等. 网络规模迭加法开展人群规模估计的研究进展[J]. 中华流行病学杂志, 2022, 43(9): 1503-1507. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20211130-00925.

Wang YD, Zhang XT, Ma KF, et al. Progress in research of population size estimation by network scale-up method[J]. Chin J Epidemiol, 2022, 43(9): 1503-1507. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20211130-00925.



(已知人群)的数量。利用已知人群数量估计受访者的社会网络规模,其中已知人群数据一般来源于官方统计结果。再由受访者社会网络中目标人群数量来估计目标人群总体

规模。公式: $c_i = \frac{\sum_{j=1}^l m_{ij}}{\sum_{j=1}^l e_j} \times t$, $e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n c_i} \right) \times t$, 其中,

c_i 为第*i*个受访者的社交网络规模, m_{ij} 为第*i*个受访者报告的其社交网络中第*j*个已知人群的数量, e_j 为第*j*个已知人群的数量, n 为受访者数量, t 为总人口数, m_i 为第*i*个受访者报告的其社交网络中属于目标人群的数量^[11]。

3. 应用条件:①人群中的所有成员都有相同的机会认识未知规模群体中的成员^[10];②总体中所有人对其网络中成员的信息都有很好的了解^[12];③受访者能够快速准确地回忆并回答自己的熟人数量^[10,12]。

4. 优点:①不涉及个人隐私,更易获得可靠的数据;②使用随机样本,可以跨时间和地点进行标准化,结果可比^[13];③可以同时对不同的群体进行估计;④可以通过已知人群进行自我验证;⑤适用于国家、地区或城市层面进行估计等^[14]。

5. 偏倚:①选择偏倚:由于抽样产生的研究对象和总体之间在某些特征上存在差异造成的系统误差,在NSU法中常见的选择偏倚为障碍偏倚,即由于社会、地理等因素,导致目标人群与受访者的社交联系不均衡^[15];②信息偏倚:在收集整理信息过程中出现的系统误差,在NSU法中常见的信息偏倚包括传播偏倚和回忆偏倚。传播偏倚指由于受访者不能充分了解其社交网络成员的所有信息造成的系统误差;回忆偏倚指受访者不能准确回忆其社交网络成员中目标人群的数量造成的系统误差^[16]。

二、NSU法的改进

1. 建立有代表性的已知人群集:社交网络规模值(c 值)是NSU法应用的关键^[17],在估计人群规模时,常使用已知人群法进行计算^[18-19],在纳入已知人群时既要考虑数量也要考虑质量,有研究者推荐至少纳入20个已知人群^[3]。用有代表性的已知人群数据集去估计未知人群的规模才能提高结果的准确性,常用的筛选方法包括反向预测法和回归模型法^[20-21]。如在伊朗进行的一项估计人口统计变量与社会网络规模关系的研究中^[19],先从已知人群中暂剔除1个人群,然后利用剩余的已知人群反向估计被剔除的人群规模,保留反向估计数值和原始数值的比值在0.5~2.0的人群,剔除其他人群,剔除后的 c 值从355减少到308,并通过线性回归分析已知规模的群体和人口学信息之间的关系,发现反向预测法得到了更准确的 c 值。王俊等^[22]在以我国上海市某区为例探索 c 值的校正方法时,使用了回归模型法,建立受访者报告的已知人群人数均值和已知人群占总人群比例之间的回归模型,20个已知人群中保留回归模型中残差值在-2~2的14个人群, c 值由196校正为249,回归模型 R^2 显示校正后模型拟合程度更好,将两种方法结合对已知人群

进行筛选也更好地校正了 c 值。

2. 使用关联强度不同的社交联系定义:社交联系的定义决定了受访者社交网络规模的范围,目前常用的“社交联系”定义指彼此通过眼睛或名字认出对方,可以联系,并且在过去两年内通过面对面、电话或邮件有过联系。如果用弱关联定义社交联系,会有更多人成为受访者社交网络成员, c 值变大,结果受非抽样误差影响较大;用强关联定义社交联系,虽然受访者社交网络成员变少,但是信息更加准确,结果受抽样误差影响大。Feehan等^[23]在原有的社交联系定义外,又加入了“饭友定义”(受访者与目标人群中的个体近两年内一起吃过饭被认定为有社交联系),两种定义得到的 c 值分别为108和251,反向计算已知人群规模后,对结果的内部一致性进行检验,发现在大多数情况下两种定义的估计值都接近真实值,但饭友定义估计值的均方误差低于传统定义的均方误差,有理由认为饭友定义优于传统定义,最后研究者利用线性混合模型合并两种定义结果,使目标人群规模估计值更加稳健。其他社交联系的定义有待研究人员的探索。

3. 收集目标人群样本信息获得校正系数:传统NSU法仅通过普通人群信息获得结果,对其参数的校正只能在一定程度上减小偏倚,近年来,广义化的NSU法得到了广泛的应用,该方法通过收集目标人群样本获得校正系数,进而对结果进行校正^[24]。

广义化的NSU法指研究者同时收集普通人群、目标人群样本信息,以此获得校正系数对结果进行校正的方法^[25-26]。该方法由Salganik等^[27]在2011年首次提出,并应用于巴西库里蒂巴吸毒人群规模的估计。目前常用的校正系数有规模比、信息传递率和认可度^[12,28-34]。规模比是目标人群和普通人群社交网络规模成员中已知人群数量的比值,反映了已知人群在普通人群和目标人群的人际网络中是否均匀分布,可以估计障碍偏倚的大小。信息传递率通过目标人群人际网络中属于已知人群且知晓其相关信息的成员所占比例,反映了目标人群和已知人群之间信息传递效率,可以估计传播偏倚的大小。认可度校正常用于社会边缘化人群的规模估计,通过已知人群对目标人群的认可程度对结果进行加权校正。如马传智等^[28]使用传统NSU法估计我国潍坊市某区MSM规模为287人,经认可度校正后为1036人,经规模比和传递率校正后最终确定估计值为4054人,占该地区18~60周岁男性居民的2.18%,处于国家平均水平2%~4%的范围内,校正后估计结果与实际更加接近。

有研究显示在估计有年龄或性别特征人群的规模时,对校正系数进行分层是很有必要的^[12,33,35]。Zamanian等^[31]通过收集流产者相关信息获得信息传递率以估计流产率时,考虑流产只发生于育龄期妇女,故分性别计算,结果发现总体流产的信息传递率为0.08,而女性亲属的信息传递率为0.11,是男性亲属(0.05)的2倍以上。Maghsoudi等^[30]也指出同伴间的信息传递率明显高于非同伴间的信息传递

率。有学者在估计饮酒者和吸毒人群规模时,将校正系数按年龄和性别分层^[18,32]。

近年来,有学者在校正系数上做了不同尝试,2016年 Feehan 和 Salganik^[36]将传统 NSU 法结果与一个无偏的估计结果进行数学换算,得到校正系数的表达式进行拆分后,分别概括了被估计人群、被调查者和整个人群之间的差异以及被调查者报告的准确性,有效地校正了 3 种偏倚。广义化的 NSU 法获取校正因子时并非一定要接触目标人群,例如 Teo 等^[37]借助贝叶斯层次模型模拟了目标人群的社交网络,利用模型获得广义化 NSU 法的校正系数。目前尚缺乏这些方法的应用,结果的准确性有待进一步研究。

广义化的 NSU 法引入校正系数后,社会边缘人群的规模估计值变化较大,且多个研究显示,使用该方法获得的估计值大于其他方法^[24,27],在更多比较性研究的前提下,这种方法才能不断完善,进行推广^[38]。

三、新的调查技术为 NSU 法的应用带来了新思路

1. NSU 法和随机应答技术 (randomized response technique, RRT) 的结合,提高对敏感信息的应答:RRT 被广泛用于敏感问题的研究中^[39],由于研究人员不知道被调查者回答的问题条目,受访者隐私得以保护,敏感问题回答的真实性得以提高,问题平均应答率可以通过公式计算^[40]。在使用 NSU 法时,来自普通人群的受访者被要求报告其个人社交网络中目标人群的数量,考虑到受访者隐瞒某些敏感信息,此时将 NSU 法和 RRT 相结合是校正信息偏倚的有效手段。Jing 等^[41]在应用 NSU 法估计太原市城区暗娼规模时,发现应答率由未使用 RRT 时的 11%,提高到使用后的 96.4%,研究者获取了更多更可靠的信息。

2. NSU 法和同伴推动抽样 (respondent-driven sampling method, RDS) 的结合,提高目标人群样本代表性:RDS 法通常用于研究由于污名化等原因难以接触到的人群,其调查对象来源于样本成员的社会网络,即样本推论社会网络然后估计总体^[42]。研究者招募一定数量“种子”,通过“种子”招募同伴参与调查,并提供双重激励,招募过程中不断评价招募对象的同质性,直到样本达到平衡,提高了样本的代表性,是校正选择偏倚的有效手段^[43]。RDS 法通过数学模型可以实现对隐藏人群规模的估计,但目前常作为一种抽样方法和其他人群规模估计方法结合应用^[44-46]。RDS 法与 NSU 法结合时,往往根据 RDS 法获得的样本信息计算广义化 NSU 法中的校正系数,首先确定目标人群的“种子”,通过“种子”从目标总体中招募一个样本,利用 RDS 法获取样本代表性高的优点,得到更有代表性的目标人群样本,使校正系数更准确。

3. NSU 法与基于场所的抽样结合,提高抽样效率:基于场所的抽样利用了隐藏人群成员聚集性的特点,在特定的地点进行抽样^[47],有利于减小选择偏倚,提高抽样效率。与 NSU 法结合时,在目标人群经常出入的场所进行调查,了解受访者社交网络规模中目标人群的数量,并根据受访者到该场所的频率对结果进行加权调整,以获得目标人群规

模的估计值,尤其适用于估计规模小、隐匿性强的目标人群规模。Verdery 等^[24]在一个综合模拟评估框架中测试了基于场所的 NSU 法,证明该方法比传统的 NSU 法得到了更准确的结果。

四、小结

NSU 法作为一种新兴的人群规模估计方法很好地弥补了传统方法,如普查法^[48]、乘法法^[49]和捕获再捕获法^[50-51]等在估计社会边缘人群规模时的不足,但仍难以避免受到偏倚的影响,NSU 法的改进以及与新的调查技术的结合为该方法的应用提供了新的可能性。筛选已知人群或探索社交联系的定义,都使研究人员在不增加额外成本的情况下获得更准确的估计;NSU 法与 RRT 的结合是研究中存在敏感问题时校正偏倚的有效手段;NSU 法的广义化通过目标人群样本信息针对性地校正了偏倚,虽然需要接触目标人群,但与多种抽样方法的结合可以解决难以获得目标人群等问题。

研究人员可以从研究目的、数据质量、目标人群的特点等多方面考虑,选择合适的改进措施,多样化 NSU 法改进方法的提出与应用让该方法趋于成熟,各国各领域的研究人员集思广益、交流进步,NSU 法将会在各个领域得到更广泛的运用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Wesson P, Reingold A, McFarland W. Theoretical and empirical comparisons of methods to estimate the size of hard-to-reach populations: A systematic review[J]. AIDS Behav, 2017, 21(7): 2188-2206. DOI: 10.1007/s10461-017-1678-9.
- [2] Bernard HR, Johnsen EC, Killworth PD, et al. Estimating the size of an average personal network and of an event subpopulation: Some empirical results[J]. Soc Sci Res, 1991, 20(2): 109-121. DOI: 10.1016/0049-089X(91)90012-R.
- [3] Killworth PD, Mccarty C, Bernard HR, et al. Estimation of seroprevalence, rape, and homelessness in the United States using a social network approach[J]. Eval Rev, 1998, 22(2):289-308. DOI:10.1177/0193841X9802200205.
- [4] Haghdoost AA, Baneshi MR, Haji-Maghsoodi S, et al. Application of a network scale-up method to estimate the size of population of breast, ovarian/cervical, prostate and bladder cancers[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2015, 16(8):3273-3277. DOI:10.7314/apjcp.2015.16.8.3273.
- [5] Vardanjan HM, Baneshi MR, Haghdoost A. Total and partial prevalence of cancer across Kerman province, Iran, in 2014, using an adapted generalized network scale-up method[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2015, 16(13): 5493-5498. DOI:10.7314/apjcp.2015.16.13.5493.
- [6] Moradinazar M, Najafi F, Baneshi MR, et al. Size estimation of under-reported suicides and suicide attempts using network scale up method[J]. Bull Emerg Trauma, 2019, 7(2):99-104. DOI:10.29252/beat-070202.
- [7] WHO, UNAIDS. Guidelines on estimating the size of

- populations most at risk to HIV[EB/OL]. (2010-06-15) [2021-11-19]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44347/9789241599580_eng.pdf;jsessionid=4D4E835FC39BD0683ACE4EC03E6B95CB?sequence=1.
- [8] 惠珊, 王璐, 郭巍. 网络规模迭加法及其在男男性接触者人群规模估计中的应用[J]. 国际流行病学传染病学杂志, 2010, 37(6): 405-408. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4149.2010.06.014.
- Hui S, Wang L, Guo W. Estimation on the scale of men who have sex with men using the network scale-up method[J]. *Inter J Epidemiol Infect Dis*, 2010, 37(6): 405-408. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4149.2010.06.014.
- [9] 包水莲, 吴国辉, 张维, 等. 利用网络规模迭加法估计重庆市男男性行为人群规模的研究[J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33(10): 1036-1039. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.009.
- Bao SL, Wu GH, Zhang W, et al. Application on size estimation through the network scale-up method on men who have sex with men in Chongqing municipality[J]. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33(10): 1036-1039. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.009.
- [10] 明帅, 王璐. 用于估计难以计数人群规模的网络扩大法研究进展[J]. 国际流行病学传染病学杂志, 2011, 38(2): 130-133. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4149.2011.02.016.
- Ming S, Wang L. Development of the network scale-up method for size estimation on hard-to-count populations [J]. *Inter J Epidemiol Infect Dis*, 2011, 38(2): 130-133. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4149.2011.02.016.
- [11] 严敏, 严焱, 倪蓉, 等. 深圳市高校学生中艾滋病相关高危人群的规模估计[J]. 预防医学情报杂志, 2018, 34(12): 1468-1472.
- Yan M, Yan Y, Ni R, et al. Estimation on the scales of high risk group of HIV among college students in Shenzhen[J]. *J Prev Med Inf*, 2018, 34(12): 1468-1472.
- [12] Haghdoost A, Gohari MA, Mirzazadeh A, et al. A review of methods to estimate the visibility factor for bias correction in network scale-up studies[J]. *Epidemiol Health*, 2018, 40:e2018041. DOI: 10.4178/epih.e2018041.
- [13] Kanato M. Size estimation of injecting drug users through the network scale-up method in Thailand[J]. *J Med Assoc Thai*, 2015, 98 Suppl 6: S17-24.
- [14] Mohebbi E, Baneshi MR, Haji-Maghsoudi S, et al. The application of network scale up method on estimating the prevalence of some disabilities in the southeast of Iran[J]. *J Res Health Sci*, 2014, 14(4): 272-275.
- [15] Kazemzadeh Y, Shokoohi M, Baneshi MR, et al. The frequency of high-risk behaviors among Iranian college students using indirect methods: Network scale-up and crosswise model[J]. *Int J High Risk Behav Addict*, 2016, 5(3): e25130. DOI: 10.5812/ijhrba.25130.
- [16] Bernard HR, Hallett T, Iovita A, et al. Counting hard-to-count populations: the network scale-up method for public health[J]. *Sex Transm Infect*, 2010, 86 Suppl 2: ii11-15. DOI: 10.1136/sti.2010.044446.
- [17] Wang J, Yang Y, Zhao W, et al. Application of network scale up method in the estimation of population size for men who have sex with men in Shanghai, China[J]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0143118. DOI: 10.1371/journal.pone.0143118.
- [18] Narouee S, Shati M, Nasehi M, et al. The size estimation of injection drug users (IDUs) using the network scale-up method (NSUM) in Iranshahr, Iran[J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2019, 33: 158. DOI: 10.34171/mjiri.33.158.
- [19] Narouee S, Shatti M, Didevar M, et al. Estimating social network size using network scale-up method (NSUM) in Iranshahr, Sistan and Baluchestan Province, Iran[J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2020, 34: 35. DOI: 10.34171/mjiri.34.35.
- [20] 孙娜, 许小珊, 王晓璇, 等. 网络规模叠加法在潍坊市某城区女性性工作者人群规模估计中的应用[J]. 现代预防医学, 2019, 46(14): 2563-2566, 2583.
- Sun N, Xu XS, Wang XX, et al. Application of network scale-up method in estimating the population size of female sex workers in Weifang city[J]. *Mod Prev Med*, 2019, 46(14): 2563-2566, 2583.
- [21] 郭静, 黄晓娟, 王秀彬, 等. 利用网络规模迭加法估计北京市大学生男男性行为人群规模[J]. 中华流行病学杂志, 2013, 34(11): 1080-1082. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.011.008.
- Guo J, Huang XJ, Wang XB, et al. Estimation on the size of men who have sex with men among college students in Beijing through the Network Scale-Up Method (NSUM)[J]. *Chin J Epidemiol*, 2013, 34(11): 1080-1082. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.011.008.
- [22] 王俊, 杨瑛, 赵婉, 等. 网络规模迭加法中社交网络规模值的校正[J]. 中国卫生统计, 2016, 33(4): 667-669. DOI: CNKI: SUN:ZGWT.0.2016-04-031.
- Wang J, Yang Y, Zhao W, et al. Correction of social network size values in network scale up method[J]. *Chin J Health Stat*, 2016, 33(4): 667-669. DOI: CNKI: SUN:ZGWT.0.2016-04-031.
- [23] Feehan DM, Umubyeyi A, Mahy M, et al. Quantity versus quality: A survey experiment to improve the network scale-up method[J]. *Am J Epidemiol*, 2016, 183(8): 747-757. DOI: 10.1093/aje/kwv287.
- [24] Verdery AM, Weir S, Reynolds Z, et al. Estimating hidden population sizes with venue-based sampling: Extensions of the generalized network scale-up estimator[J]. *Epidemiology*, 2019, 30(6): 901-910. DOI: 10.1097/EDE.0000000000001059.
- [25] Ahmadi-Gohari M, Zolala F, Iranpour A, et al. Twelve-hour before driving prevalence of alcohol and drug use among heavy vehicle drivers in South East of Iran using network scale up[J]. *Addict Health*, 2019, 11(4): 256-261. DOI: 10.22122/ahj.v11i4.252.
- [26] Maltiel R, Raftery AE, McCormick TH, et al. Estimating population size using the network scale up method[J]. *Ann Appl Stat*, 2015, 9(3): 1247-1277. DOI: 10.1214/15-AOAS827.
- [27] Salganik MJ, Fazito D, Bertoni N, et al. Assessing network scale-up estimates for groups most at risk of HIV/AIDS: evidence from a multiple-method study of heavy drug users in Curitiba, Brazil[J]. *Am J Epidemiol*, 2011, 174(10): 1190-1196. DOI: 10.1093/aje/kwr246.
- [28] 马传智, 李树梅, 许小珊, 等. 基于网络规模迭加法潍坊市潍城区 MSM 人群规模估计[J]. 中国公共卫生, 2020, 36(8): 1166-1170. DOI: 10.11847/zgggws1122470.
- Ma CZ, Li SM, Xu XS, et al. Estimation on population size of men who have sex with men in a district of Weifang city, Shandong province using network scale-up method[J]. *Chin J Public Health*, 2020, 36(8): 1166-1170. DOI: 10.11847/zgggws1122470.
- [29] 杨瑛, 王俊, 赵婉, 等. 利用网络规模迭加法估计上海市闵

- 行区吸毒人群规模的调查研究[J]. 中国预防医学杂志, 2016, 17(3): 161-164. DOI: 10.16506/j.1009-6639.2016.03.001.
- Yang Y, Wang J, Zhao W, et al. Estimating the size of drug abusing population by using a network scale-up method in Minhang district of Shanghai[J]. *China Prev Med*, 2016, 17(3):161-164. DOI:10.16506/j.1009-6639.2016.03.001.
- [30] Maghsoudi A, Baneshi MR, Neydavoodi M, et al. Network scale-up correction factors for population size estimation of people who inject drugs and female sex workers in Iran [J]. *PLoS One*, 2014, 9(11):e110917. DOI:10.1371/journal.pone.0110917.
- [31] Zamanian M, Zolala F, Haghdoost AA, et al. Methodological considerations in using the Network Scale Up (NSU) for the estimation of risky behaviors of particular age-gender groups: An example in the case of intentional abortion[J]. *PLoS One*, 2019, 14(6):e0217481. DOI:10.1371/journal.pone.0217481.
- [32] Nikfarjam A, Hajimaghsoudi S, Rastegari A, et al. The frequency of alcohol use in Iranian urban population: The results of a national network scale up survey[J]. *Int J Health Policy Manag*, 2017, 6(2):97-102. DOI: 10.15171/ijhpm.2016.103.
- [33] Nikfarjam A, Shokoohi M, Shahesmaeili A, et al. National population size estimation of illicit drug users through the network scale-up method in 2013 in Iran[J]. *Int J Drug Policy*, 2016, 31: 147-152. DOI: 10.1016/j.drugpo.2016.01.013.
- [34] Guo W, Bao SL, Lin W, et al. Estimating the size of HIV key affected populations in Chongqing, China, using the network scale-up method[J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e71796. DOI:10.1371/journal.pone.0071796.
- [35] Zahedi R, Noroozi A, Hajebi A, et al. Self-reported and network scale-up estimates of substance use prevalence among university students in Kerman, Iran[J]. *J Res Health Sci*, 2018, 18(2):e00413.
- [36] Feehan DM, Salganik MJ. Generalizing the network scale-up method: a new estimator for the size of hidden populations[J]. *Sociol Methodol*, 2016, 46(1): 153-186. DOI:10.1177/0081175016665425.
- [37] Teo AKJ, Prem K, Chen MIC, et al. Estimating the size of key populations for HIV in Singapore using the network scale-up method[J]. *Sex Transm Infect*, 2019, 95(8): 602-607. DOI:10.1136/sextrans-2018-053747.
- [38] Zamanian M, Zolala F, Haghdoost AA, et al. Estimating the annual abortion rate in Kerman, Iran: Comparison of direct, network scale-up, and single sample count methods[J]. *Int J Fertil Steril*, 2019, 13(3): 209-214. DOI: 10.22074/ijfs.2019.5721.
- [39] Rueda MM, Cobo B, López-Torrecillas F. Measuring inappropriate sexual behavior among university students: Using the randomized response technique to enhance self-reporting[J]. *Sex Abuse*, 2020, 32(3): 320-334. DOI: 10.1177/1079063219825872.
- [40] Campbell AA. Randomized response technique[J]. *Science*, 1987, 236(4805): 1049. DOI: 10.1126/science.3576215.
- [41] Jing L, Lu Q, Cui Y, et al. Combining the randomized response technique and the network scale-up method to estimate the female sex worker population size: an exploratory study[J]. *Public Health*, 2018, 160:81-86. DOI: 10.1016/j.puhe.2018.04.002.
- [42] Johnston LG, Hakim AJ, Dittrich S, et al. A systematic review of published respondent-driven sampling surveys collecting behavioral and biologic data[J]. *AIDS Behav*, 2016, 20(8):1754-1776. DOI:10.1007/s10461-016-1346-5.
- [43] Handcock MS, Gile KJ, Mar CM. Estimating the size of populations at high risk for HIV using respondent-driven sampling data[J]. *Biometrics*, 2015, 71(1): 258-266. DOI: 10.1111/biom.12255.
- [44] Tran HV, Le LVN, Johnston LG, et al. Sampling males who inject drugs in Haiphong, Vietnam: Comparison of time-location and respondent-driven sampling methods [J]. *J Urban Health*, 2015, 92(4): 744-757. DOI: 10.1007/s11524-015-9966-z.
- [45] Zhao J, Cai R, Chen L, et al. A comparison between respondent-driven sampling and time-location sampling among men who have sex with men in Shenzhen, China [J]. *Arch Sex Behav*, 2015, 44(7):2055-2065. DOI:10.1007/s10508-014-0350-y.
- [46] Paz-Bailey G, Miller W, Shiraishi RW, et al. Reaching men who have sex with men: a comparison of respondent-driven sampling and time-location sampling in Guatemala City[J]. *AIDS Behav*, 2013, 17(9):3081-3090. DOI:10.1007/s10461-013-0589-7.
- [47] Gustafson P, Gilbert M, Xia M, et al. Impact of statistical adjustment for frequency of venue attendance in a venue-based survey of men who have sex with men[J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 177(10):1157-1164. DOI:10.1093/aje/kws358.
- [48] 孙坤, 景正朝, 杨庆伟, 等. 普查法估计红河州蒙自市建水县两地城区暗娼人群规模[J]. *中国艾滋病性病*, 2019, 25(3):294-296. DOI:10.13419/j.cnki.aids.2019.03.19.
- Sun K, Jing ZC, Yang QW, et al. Population size of female sex worker estimated by census method in the urban areas of Mengzi and Jianshui county, Honghe prefecture [J]. *Chin J AIDS STD*, 2019, 25(3):294-296. DOI:10.13419/j.cnki.aids.2019.03.19.
- [49] Johnston LG, Prybylski D, Raymond HF, et al. Incorporating the service multiplier method in respondent-driven sampling surveys to estimate the size of hidden and hard-to-reach populations: case studies from around the world[J]. *Sex Transm Dis*, 2013, 40(4): 304-310. DOI:10.1097/OLQ.0b013e31827fd650.
- [50] Lukacs PM, Burnham KP. Review of capture-recapture methods applicable to noninvasive genetic sampling[J]. *Mol Ecol*, 2005, 14(13):3909-3919. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2005.02717.x.
- [51] Böhning D, Rocchetti I, Maruotti A, et al. Estimating the undetected infections in the Covid-19 outbreak by harnessing capture-recapture methods[J]. *Int J Infect Dis*, 2020, 97:197-201. DOI:10.1016/j.ijid.2020.06.009.