

学校流感暴发疫情防控措施动力学模型效果分析

钟剑明¹, 梁静¹, 李学云¹, 邓凯杰¹, 郭聪锐¹, 申红卫¹, 许玉成¹, 陈田木²

1. 深圳市福田区疾病预防控制中心, 广东 深圳 518040; 2. 厦门大学公共卫生学院, 福建 厦门 361102

摘要: **目的** 探讨学校流感暴发疫情的最佳控制方式, 为制定停课标准提供参考。 **方法** 通过 SEIAR 模型对流感暴发疫情隔离和停课效果进行分析。 **结果** 本起流感暴发疫情基本再生数 R_0 为 7.6180, 无干预措施下疫情会持续 20 天, 1 169 名学生和教职工 (99.74%) 会感染流感。第 5~10 天开始隔离措施, 疫情持续时间介于 35~44 天, 第 10 天开始隔离感染人数是第 5 天开始隔离的 6.9 倍。与单独采取隔离措施相比, 停课 1 天、3 天、5 天、7 天可以减少 4.51%~10.92%、13.41%~29.31%、19.46%~45.40% 和 24.82%~57.47% 的感染人数, 持续时间并没有太大变化; 停课 14 天疫情持续时间都会明显下降, 感染人数下降 33.43%~65.52%。 **结论** 隔离措施越早实施对疫情控制效果越好, 显性感染人数达到 20% 以上时可以停课, 出现重症或死亡病例时要将停课时间延长。

关键词: 流感; 防控措施; 模型; 效果

中图分类号: R181.2⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-8507(2019)11-1946-06

Effect of dynamic model of prevention and control measures for influenza outbreak in schools

ZHONG Jian-ming^{*}, LIANG Jing, LI Xue-yun, DENG Kai-jie, GUO Cong-ru, SHEN Hong-wei, XU Yu-cheng, CHEN Tian-mu

^{*} Futian Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen, Guangdong 518040, China

Abstract: Objective To study the best way to control the outbreak of influenza in schools, so as to provide residents reference for the formulation of the standards for closing classes. **Methods** The effect of isolation and suspension of the flu outbreak in the area was analyzed by SEIAR model. **Results** The basic reproduction of this influenza outbreak in a number of R_0 was 7.6180, and the non-intervention measures epidemic lasted for 20 days, with 1169 students and faculties (99.74%) infected. When the isolation measures began on the 5th-10th day, the duration of the epidemic lasted for 35-44 days, and the number of isolated infections began on the tenth day was 6.9 times higher than that on the fifth day. Compared with the separate quarantine measures, the number of infections for 1 day, 3 days, 5 days, 7 days could reduce 4.51-10.92%, 12.41-29.31%, 19.46-45.40% and 24.82-57.47%, respectively, but the duration change little. The epidemic duration closing for 14 days would be significantly decreased, and the number of infections decreased by 33.43-65.52%. **Conclusion** The earlier implementation of quarantine measures, the better the effect of epidemic control would be. If the number of symptomatic infected persons reached over 20%, the school or the class should be closed. It is necessary to extend the closing time when there are severe or fatal cases.

Keywords: Influenza; Outbreaks; Model; Effective

流行性感 冒 (influenza), 是一种由流感病毒 (influenza virus) 引起的呼吸道传染病, 具有高度传染性, 病程一般 5.2 天^[1]。流感传播速度快, 可在学校等集体单位中引起暴发流行。学校流感主要治疗和防控措施包括药物和非药物两大类, 药物措施包括预防性服药、治疗患者、对易感人群接种疫苗, 非药物措

施包括隔离、改善个人卫生习惯、增加社交距离 (停课或关闭学校) 等^[2], 这些措施效果如何, 对控制疫情哪种措施效果较好, 目前都是凭经验。本研究通过辖区一起流感暴发疫情资料, 利用易感者-潜伏期-显性/隐性感染者-移出者 (susceptible-exposed-infectious/asymptomatic-removed, SEIAR) 动力学模型, 研究隔离、停课防控效果, 探讨流感暴发疫情控制措施最佳方式, 为制定学校流感暴发疫情停课标准提供参考。

基金项目: 1. 2016 年深圳市卫生计生系统科研项目 (201602008); 2. 2016 年深圳市福田区卫生公益性科研项目 (FTWS20160051)

作者简介: 钟剑明 (1979-), 男, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 疾病控制和突发公共卫生应急事件处置

通讯作者: 李学云, E-mail: 20115493@qq.com

1 资料与方法

1.1 建立无干预流感 SEIAR 模型 根据流感自然

史,建立学校流感暴发疫情无干预措施模型,即易感者-潜伏期-显性/隐性感染者-移出者(susceptible-exposed-infectious/asymptomatic removed, SEIAR)模型。模型原理详见参考文献^[3],微分方程如下:

$$\begin{aligned} dS/dt &= -\beta S(I + \kappa A) \\ dE/dt &= \beta S(I + \kappa A) - (1 - \rho)\omega E - \rho\omega'E \\ dI/dt &= (1 - \rho)\omega E - \gamma I \\ dA/dt &= \rho\omega'E - \gamma'A \\ dR/dt &= \gamma I + \gamma'A \end{aligned}$$

dS/dt 、 dE/dt 、 dI/dt 、 dA/dt 、 dR/dt 表示 t 时刻 S 、 E 、 I 、 A 、 R 人群变化速率。 β 是传染率系数; κ 为 A 相对 I 传播能力系数, ω 是显性感染者潜伏期系数, ω' 是隐性感染者潜伏期系数, ρ 隐性感染比例, γ 为显性感染者移出率系数; γ' 则是隐性感染者移出率系数。

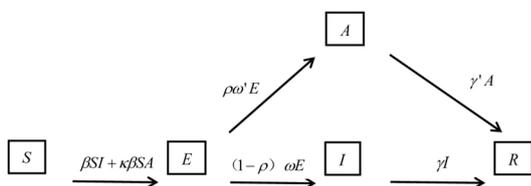


图1 无干预流感 SEIAR 模型流程图

1.2 隔离措施 SEIAQR 模型 隔离措施针对所有患者 I , 所有病例在疾控中心介入时, 一旦被发现有立即被隔离。隐性感染者由于难以被发现, 隔离措施只针对显性感染者 I 。设隔离后人群为 Q , 在隔离期间, 患者病情发展过程与未隔离者相同, 移出率系数仍为 γ 。隐性感染者未能被隔离, 疫情仍在班级里传播, 流程图见图 2。

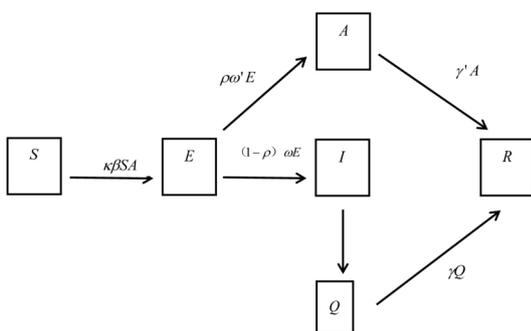


图2 隔离患者的 SEIAQR 模型

1.3 停课措施对学校疫情影响的 SEIAR 模型 本次只研究对学校影响(不考虑对社区影响)。停课, 学校间流感传播途径被切断, 即 $\beta = 0$ 。未停课学生里的隐性感染者未被隔离, 仍然具有传播能力。停课结

束后, 学生隐性感染者和部分症状未完全好转学生回校后可能会将流感传播给易感者; 流程图同无干预措施(见图 1)。

1.4 参数估计及敏感性分析 研究显示, 流感潜伏期介于 1~7 天, 平均 1.9 天, 平均潜隐期 1.2 天, 隐性感染者传染期为 4.2 天, 隐性感染者传染力是显性感染者一半^[4], 因此, $\omega = 0.5263$, $\omega' = 0.8333$, $\gamma' = 0.2439$, $\kappa = 0.5$ 。根据收集暴发疫情病例资料, 计算参数 γ 、 β 通过暴发疫情数据进行模拟拟合获得, 陈涛^[5]对 2005 到 2013 年对国家突发公共卫生事件报告系统里的 2 768 宗流感公共卫生暴发疫情进行分析, 发现这些流感暴发疫情的隐性感染率平均值 0.14 (95% CI: 0.12~0.16), 其中 H₃N₂ 的流感暴发疫情隐性感染率平均值 0.14 (95% CI: 0.09~0.19), 本次疫情为一起 H₃ 流感暴发疫情, 隐性感染率参考文献取值 0.14, 显性患者感染率占比为 0.86。文献显示^[6], 这些参数变化对模型的结果影响较小, 模型稳定性较好。

1.5 基本再生数 (basic reproduction number, R_0) 判断流感传播能力。 R_0 是 1 个传染源在其传染期内预期直接传播新病例数^[7]。当 $R_0 < 1$ 时, 疾病不会流行, 染病者数将下降而趋向于零, 疾病将逐渐消除, 疫情得到控制; 当 $R_0 > 1$ 时, 疾病出现流行。在本次流疫情中 R_0 公式如下: $R_0 = \beta S \left(\frac{1-\rho}{\gamma} + \frac{\kappa\rho}{\gamma'} \right)$, 通过公式 $R_0 = \beta S \left(\frac{1-\rho}{\gamma} + \frac{\kappa\rho}{\gamma'} \right)$, 利用 Berkeley 软件模拟出 β 值为 0.00164293, 该校学生和教职工共 1172 人(学生 996 名, 教职工 76 名), 因此 S_0 为 1172, $\omega = 0.5263$, $\omega' = 0.8333$, $\gamma = 0.2342$, $\gamma' = 0.2439$, $\kappa = 0.5$, 代入公式得出基本再生数 R_0 为 7.6180。本研究评估各类防控措施效果指标主要为累计罹患率 (total attack rate, TAR) 和暴发持续时间 (duration of outbreak, DO)。

1.6 数学模拟及数据处理方法 本研究通过 2017 年 3 月发生在深圳市福田区某小学的流感暴发疫情, 疾控中心前去调查处理, 同时查阅文献和利用小学人口和疫情资料, 获得相关参数 (β 、 R_0 、 ω 、 ω' 、 κ 、 ρ 、 γ 、 γ'), 建立该小学流感暴发疫情防控措施的 SEIAR 模型, 同时模拟隔离患病学生和停课效果。模型模拟采用的软件为 Berkeley Madonna 8.3.18。相关数据的录入和图表均采用 Excel 2003。

2 结果

2.1 疫情概况 2017 年 3 月 12 日, 深圳市福田区某小学一(3)班自 3 月 7 日开始陆续有学生出现发热、

咳嗽、全身酸痛等症状,至 3 月 12 日已有 19 名学生患病,疾控中心专业技术人员开展流行病学调查,采集患病学生咽拭子后确认这是一起 H₃ 流感暴发疫情。经对学生开展晨检并隔离、消毒通风以及健康教育及停课 1 周后,最长潜伏期内无新发病学生,疫情得到有效控制。该小学为一所全日制公立小学。全校共有学生 996 名,教职工 76 名,开设 6 个年级 25 个班。

2.2 防控措施模拟效果

2.2.1 无干预的结果 在 SEIAR 模型之中,如果不对该疫情采取任何措施,该疫情会持续 20 天,最终全校共有 1 169 人感染流感,感染率为 99.04%。在疫情发生的第 11 天感染人数最高,当天感染人数 196 人(表 1)。

2.2.2 单独隔离的效果分析 本次疫情发生后的第 5 天学校校医报告给疾控中心,我们分别以疫情发生无干预情况下的第 5 天(当天总感染人数占全校人数 2.86%,显性感染者为 2.46%)、第 6 天(当天总感染人数 5.64%,显性感染者为 4.85%)、第 7 天(当天总感染人数 9.95%,显性感染者为 8.56%)、第 8 天(当天总感染人数 17.04%,显性感染者为 14.65%)、第 9

天(当天总感染人数 27.86%,显性感染者为 23.96%)、第 10 天(当天总感染人数 42.51%,显性感染者为 36.56%)开始单独采取隔离措施,结果如表 1。

2.2.3 停课的效果分析 由于第 5 天学校才给疾控中心报告疫情,因此停课从第 6 天开始,我们分别模拟第 6 天、第 7 天、第 8 天、第 9 天、第 10 天采取隔离措施并开始停课 1 天、3 天、5 天、7 天、14 天,结果见表 1。研究发现第 6 天、第 7 天、第 8 天、第 9 天、第 10 天开始分别对该学校流感暴发疫情进行 1、3、5、7、14 天停课,结果发现与单独采取隔离措施相比,只停 1 天课可以减少 4.51%~10.92% 教职工和学生感染,但并没有减少疫情持续时间;而停 3 天(减少 13.41%~29.31% 感染者)、5 天(减少 19.46%~45.40% 感染者)也得出一样结论。而如果都是停课 7 天,介入时间越早,疫情持续时间就越短,感染人数可以下降 24.82%~57.47%。如果停课 14 天,无论什么时候介入,疫情持续时间都会明显下降,当天开始停课,疫情就会在学校得到控制,同时也能让感染人数下降 33.43%~65.52%。

表 1 不同控制措施下流感暴发疫情发病情况

措施		累计罹患数 TAR(例)	累计罹患 率(%)	暴发持续 时间 DO(天)	发病高 峰日	发病高峰 值(例)	
无干预		1 169	99.74	20	第 11 天	196	
单独隔离患者	第 5 天开始隔离患者	100	8.53	36	第 5 天	13	
	第 6 天开始隔离患者	174	14.85	42	第 6 天	16	
	第 7 天开始隔离患者	276	23.55	44	第 7 天	40	
	第 8 天开始隔离患者	404	34.47	43	第 8 天	68	
	第 9 天开始隔离患者	552	47.10	39	第 9 天	105	
	第 10 天开始隔离患者	709	60.49	35	第 10 天	143	
停课 + 隔离措施	第 6 天开始停课并隔离	停 1 天	155	13.23	41	第 6 天	24
		停 3 天	123	10.49	38	第 6 天	24
		停 5 天	95	8.11	32	第 6 天	24
		停 7 天	74	6.31	24	第 6 天	24
		停 14 天	60	5.12	6	第 6 天	24
	第 7 天开始停课并隔离	停 1 天	251	21.42	44	第 7 天	40
		停 3 天	207	17.66	42	第 7 天	40
		停 5 天	169	14.42	39	第 7 天	40
		停 7 天	141	12.03	34	第 7 天	40
		停 14 天	106	9.04	7	第 7 天	40
	第 8 天开始停课并隔离	停 1 天	373	31.83	43	第 8 天	66
		停 3 天	320	27.30	43	第 8 天	66
		停 5 天	372	31.74	41	第 8 天	66

(续表)

措施	累计罹患数	累计罹患	暴发持续	发病高	发病高峰	
	TAR(例)	率(%)	时间 DO(天)	峰日	值(例)	
无干预	1 169	99.74	20	第 11 天	196	
第 9 天开始停课并隔离	停课 7 天	237	20.22	38	第 8 天	66
	停课 14 天	182	15.53	8	第 8 天	66
	停课 1 天	518	44.20	40	第 9 天	102
	停课 3 天	460	39.25	41	第 9 天	102
	停课 5 天	410	34.98	42	第 9 天	102
	停课 7 天	368	31.40	38	第 9 天	102
第 10 天开始停课并隔离	停课 14 天	305	26.02	26	第 9 天	102
	停课 1 天	677	57.76	36	第 10 天	144
	停课 3 天	621	52.99	37	第 10 天	144
	停课 5 天	571	48.72	37	第 10 天	144
	停课 7 天	533	45.48	36	第 10 天	144
	停课 14 天	472	40.27	28	第 10 天	144

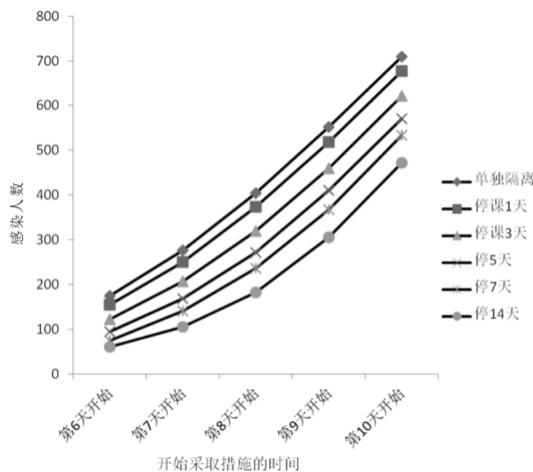


图 3 不同时间开始采取措施感染人数情况

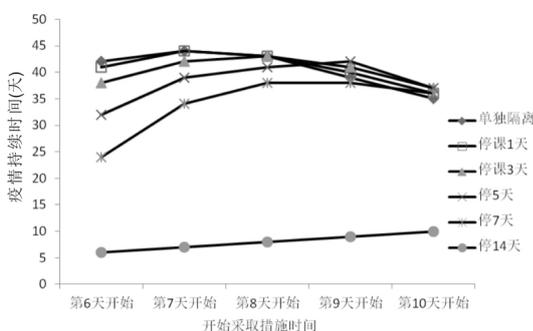


图 4 不同时间采取措施的持续时间情况

2.2.4 不同时间采取措施效果 由图 3 和图 4 可以看到,第 6 天开始采取措施(单独措施或者停课不同天数),最终感染人数介于 60 ~ 174 人之间,持续时间介于 24 ~ 41 天(停课 14 天持续时间为 6 天);随着采

取干预措施的时间越晚,感染人数越来越多,持续时间相对越来越长。如果到第 10 天才采取措施,感染人数到达 472 ~ 709 人之间,持续时间介于 35 ~ 37 天之间(停课 14 天持续时间为 10 天)。

3 讨论

流感是造成我国学校突发公共卫生事件发生几个主要传染病之一,每年造成许多学生感染流感,部分有些孩子因此得了重症甚至死亡,对许多家庭造成巨大伤害。学校流感暴发疫情已经成为我国乃至全世界学校突发公共卫生事件主要原因之一,2017 年 12 月份中国疾控中心发布^[8]“全国突发公共卫生事件及需关注的传染病风险评估”,将流感作为最重点关注的传染病之一。隔离一直被专业技术部门认为控制流感疫情的有效措施,但停课的必要性却一直争论不休^[9-10]。即使如此,停课还是被许多国家作为对待学校流感暴发疫情的重要方式,1997 - 2008 年期间全球平均每年有 8 746 个班级因流感暴发疫情而停课^[11],许晴等人^[12]在 2013 年详细总结归纳我国和国外一些国家对待学校流感暴发疫情的差异和利弊,认为学校停课措施实行得越晚,对流感疫情的控制效果越不明显。

本次研究发现,如果该校不采取任何措施,该次疫情将会在 20 天感染 99.74% 的学生,说明本次疫情传播速度还是非常快的,同时也表明我们采取措施的必要性。如果我们只对该次疫情采取隔离措施,疫情还是会继续感染其他学生(因为有隐性感染者存在而无法被隔离),即使这样,隔离措施在疫情控制上还是有重要的作用,而且在不同时间采取隔离措施(第

5~10 天),效果也不一样。随着开始隔离时间越晚,疫情持续时间变化不大,但是感染人数会越来越多,如果是第 10 天才采取隔离措施,感染人数是第 5 天介入的 6.9 倍。因此,在学校发生流感疫情的时候,一定要及时采取隔离措施,越早采取隔离措施,流感疫情控制效果越好,这与马萍等人^[13]研究一致。

有文献报道^[14-15],在保持隔离措施基础上,对学校流感暴发疫情采取一定时间段停课,确实能有效减少感染人数,本次研究也印证这一点。本次研究分别对第 6 天、第 7 天、第 8 天、第 9 天、第 10 天开始分别对该学校流感暴发疫情进行 1、3、5、7、14 天停课,结果发现,与单独采取隔离措施相比,只停 1 天课、3 天课、5 天课可以减少教职工和学生感染,但并没有减少疫情持续时间;而如果都是停课 7 天,介入时间越早,疫情持续时间就越短,感染人数明显减少。如果停课 14 天,无论什么时候介入,疫情持续时间都会明显下降,当天开始停课,疫情就会在学校得到控制,同时也能让感染人数显著减少。

流感暴发疫情什么时候开始停课,停课多久才最有效,Nilimesh Halder 等人^[16]认为,停课时间长短主要通过看流感致病性,传播性。日本学者 Asami Sasaki 等人^[17]则认为,如果一个班级或学校的学生因流感样症状一天缺勤率 $\geq 5\%$,两天 $\geq 4\%$,三天 $\geq 3\%$ 可以停课。2015 年深圳市卫生和计划生育委员会和深圳市教育局下发的文件《深圳市中小学校及托幼机构常见传染病疫情处置指引》中指出,一个班级急性呼吸道感染现症病例累计达到 30% 的时候,该班级停课 7 天。本次研究发现,如果一个班级发生流感疫情,在显性感染人数在 20%~30% 的时候,班级可以停课,停课时间 3~5 天即可。在这个基础上,要将晨检和隔离措施真正落到实处,疫情一般情况下是可以得到控制的;如果班级出现重症病例或者死亡比例时,考虑病毒可能出现变异,建议停课时间可延长至 7~14 天。如果班级显性感染人数已经达到 40%,建议班级停课时间 7~14 天,这样可以快速有效控制疫情进一步扩散,不建议停课多于 2 周,因为流感的潜伏期为 1~7 天,停课 14 天完全可以将本次疫情控制下来。如果一个年级出现 20%~30% 的班级停课,可以全年级停课,停课 3~5 天,如果该年级出现重症病例或者死亡病例,可以将停课时间延长至 7~14 天;如果一个学校有 2 个年级停课,可以考虑全校停课,停课 3~5 天,如果风险较大(如有两个年级以上的学生出现重症或者死亡时),停课时间可以延长至 7~14 天。我们的研究成果发现日本学者的停课标准过于宽松(流感样症状一天缺勤率 $\geq 5\%$ 停课),而《深圳市中小学校及托幼机构常见传染病疫情处置指引》

则和我们研究结果比较接近。虽然有时候停课时间长至 14 天,但是为了学生的身体健康,大部分家长会表示理解和支持的。

不同时间采取控制措施,感染人数和持续时间均不一样,随着介入时间推移,无论只是采取单独隔离措施还是停课 1、3、5、7、14 天,感染人数都会不断上升,进一步说明尽快介入学校疫情并采取相应措施的重要性;除停课 14 天之外,其余停课时间(停 1 天、3 天、5 天、7 天)疫情的持续时间相差不大,介入时间越早,不同停课天数疫情持续时间相对相差较大,如果介入时间越晚,疫情持续时间就相差不大,停课 14 天流感疫情能得到立即控制的效果。说明在对待学校流感暴发疫情时,无论采取什么措施,都要尽快介入,这样能最大限度的减少感染人数,同时能让疫情尽快结束。

本次研究得出该起疫情基本再生数为 7.6180。陈田木^[18]研究 47 起学校流感暴发疫情基本再生数,最小基本再生数为 2.3,最大 21.78,平均(10.12 \pm 5.16),本起疫情基本再生数位于其研究暴发疫情中间位置。本次疫情 1 个感染者预计能在 1 个传染期内直接传播新病例数为 7.6180 人,传播力比较强,这也证明为什么在不做任何干预措施情况下,本次疫情能在 20 天内将 1 169 名学生和教职工感染。因此我们必要的停课非常必要,停课 7 天后,疫情也能得到快速控制。

本次研究由于时间比较紧迫,没有将消毒通风和健康教育效果纳入模型研究之中,是我们本次研究不足之处。

参考文献

- [1] Liu R, Leung RK, Chen T, et al. The effectiveness of Age-Specific isolation policies on epidemics of influenza a(H1N1) in a large city in central South China [J]. PLOS One, 2015, 10(7): e0132588.
- [2] Chen T, Zhao B, Liu R, et al. Simulation of key interventions for seasonal influenza outbreak control at school in Changsha, China [J]. The Journal of international medical research, 2018, 2018: 300060518764268.
- [3] 陈田木,刘如春,张锡兴,等.长沙市甲型 H1N1 流感流行干预措施效果的数学模拟[J].中国卫生统计,2015,32(2):205-210.
- [4] Yang Y, Sugimoto JD, Halloran ME, et al. The transmissibility and control of pandemic influenza A(H1N1) virus [J]. Science, 2009, 326(5953): 729-733.
- [5] Chen T, Chen T, Liu R, et al. Transmissibility of the influenza virus during influenza outbreaks and related asymptomatic infection in mainland China, 2005-2013 [J]. PLOS One, 2016, 11(11): e0166180.
- [6] 陈田木,刘如春,谭爱春,等.隔离患者对控制学校甲型 H1N1 流感暴发疫情效果的数学模拟[J].中国卫生统计,2014,31(3):390-394.

(下转第 1955 页)

- growth of pine trees in the Mezaparks forest in Riga [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24 (13) : 11964 - 11977.
- [31] Sawidis T, Breuste J, Mitrovic M, et al. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities [J]. Environmental Pollution, 2011, 159(12) : 3560 - 3570.
- [32] Guéguen F, Stille P, Lahd GM, et al. Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring——part I: trace element analysis [J]. Chemosphere, 2012, 86(10) : 1013 - 1019.
- [33] Ferreira AB, Ribeiro AP, Ferreira ML, et al. A streamlined approach by a combination of bioindication and geostatistical methods for assessing air contaminants and their effects on human health in industrialized areas: a case study in Southern Brazil [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 1575.
- [34] 郝宇琦, 马志龙, 周学红, 等. 鸟类在湿地汞循环和汞监测中的作用 [J]. 湿地科学, 2015, 13(5) : 551 - 558.
- [35] Garcia Seoane R, Varela Rio Z, Carballeira Ocana A, et al. Selection of tawny owl(*Strix aluco*) flight feather shaft for biomonitoring As, Cd and Pb pollution [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(14, SI) : 14271 - 14276.
- [36] Kouddane N, Mouhir L, Fekhaoui M, et al. Monitoring air pollution at Mohammedia(Morocco) : Pb, Cd and Zn in the blood of pigeons (*Columba livia*) [J]. Ecotoxicology, 2016, 25(4) : 720 - 726.
- [37] Cui J, Halbrook RS, Zang SY, et al. Metal concentrations in homing pigeon lung tissue as a biomonitor of atmospheric pollution [J]. Ecotoxicology, 2018, 27(2) : 169 - 174.
- [38] Siculo M, Tringali M, Orsi F, et al. Porphyrin pattern and methemoglobin levels in columba livia applied to assess toxicological risk by air pollution in urban areas [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 57(4) : 732 - 740.
- [39] 翟丹蕾. 羽毛的重金属指示剂的作用研究 [J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2013, 29(1) : 83 - 85.
- [40] Sanchez - Virosta P, Espin S, Garcia - Fernandez AJ, et al. A review on exposure and effects of Arsenic in passerine birds [J]. Science of the Total Environment, 2015, 512/513: 506 - 525.
- [41] Bauerova P, Vinklerova J, Hranicek J, et al. Associations of urban environmental pollution with health - related physiological traits in a free - living bird species [J]. Science of the Total Environment, 2017, 601/602: 1556 - 1565.
- [42] Zaric NM, Ilijevic K, Stanislavljevic LA. Use of honeybees (*Apis mellifera* L.) as bioindicators for assessment and source appointment of metal pollution [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(33) : 25828 - 25838.

收稿日期: 2019 - 01 - 08

(上接第 1950 页)

- [7] Chen SL, Liu RC, Chen FM, et al. Dynamic modelling of strategies for the control of acute haemorrhagic conjunctivitis outbreaks in schools in Changsha, China(2004 - 2015) [J]. Epidemiology and Infection, 2017, 145(2) : 368 - 378.
- [8] 孟玲, 李超, 汪立杰, 等. 2017 年 12 月全国突发公共卫生事件及需关注的传染病风险评估 [J]. 疾病监测, 2017, 32(12) : 907 - 910.
- [9] 温雯, 黄立勇, 王海滨, 等. 2014 - 2016 年北京市朝阳区流感聚集性疫情流行特征及影响因素分析 [J]. 现代预防医学, 2017, 44(14) : 2507 - 2511.
- [10] Effler PV, Carcione D, Giele C, et al. Household responses to pandemic(H1N1) 2009 - related school closures, Perth, Western Australia [J]. Emerging Infectious Diseases, 2010, 16(2) : 205 - 211.
- [11] Cauchemez S, Maria DV, Brett NA. School closures during the 2009 influenza pandemic: national and local experiences [J]. BMC Infectious Diseases, 2014, 14: 207.
- [12] 许晴, 祖正虎, 张文斗, 等. 实施学校停课措施对流感疫情及经济的影响 [J]. 军事医学, 2013, 37(2) : 150 - 154.
- [13] 马萍, 王敬军, 张义, 等. 陕西省 2006 - 2013 年流感暴发疫情流行特征影响因素 [J]. 中国公共卫生, 2015, 31(1) : 17 - 21.
- [14] 徐展凯. 基于个体的传染病传播模型构建及应用 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2016.
- [15] 黄婷, 程秀伟, 周丽君, 等. 2004 - 2016 年四川省流感暴发疫情流行病学分析 [J]. 现代预防医学, 2018, 45(4) : 591 - 595, 599.
- [16] Halder N, Kelso JK, Milne GJ. Developing guidelines for school closure interventions to be used during a future influenza pandemic [J]. BMC Infectious Diseases, 2010, 10: 221.
- [17] Sasaki A, Hoen AG, Ozonoff A, et al. Evidence - based tool for triggering school closures during influenza outbreaks, Japan [J]. Emerging Infectious Diseases, 2009, 15(11) : 1841 - 1843.
- [18] 陈田木, 陈水连, 谢知, 等. 不同隐性感染和传播能力条件下的流感暴发防控措施效果模拟 [J]. 中国热带医学, 2017, 17(5) : 470 - 476.

收稿日期: 2018 - 05 - 31