

第二届数学中国杯数学建模网络挑战赛

B 题:流感疫苗

流感是一种广泛流行于世界范围内的疾病,每次流感大流行都会造成多人死亡和巨大损失。世界卫生组织大力推荐将疫苗作为一种有效的预防措施来抗击这种潜在的致命性疾病。如果疫苗毒株¹和流行的病毒类型相匹配,那么大约有 50% ~ 80% 的疫苗接种者能够抵抗流感的侵袭。即使疫苗不能完全抵御流感的侵袭,它也可以降低流感发病的严重程度以及严重并发症的发生率。但流感疫苗所能产生的抗体是短效的,所以每年流感流行季节到来前,都需要重新接种疫苗。每年冬天是流感的流行季节,在流行季节到来前 1 ~ 2 个月接种疫苗,能达到较为良好的防护效果。

流感病毒分为 A,B,C(又称甲、乙、丙)三型。其中 A 型病毒容易发生变异,依其两种主要抗原(HA,NA)的不同,区分为不同的亚型。现发现一共有 15 种 HA(H1~H15)及 9 种 NA(N1~N9)亚型。同一亚型的病毒之间也可能有一些区别。B 型病毒的变异比较缓慢,C 型病毒甚少对人类造成威胁。

由于流感病毒种类多样,变异迅速,所以每年使用的疫苗成分并不相同。世界卫生组织的专家通过对全球疫情的监控来收集数据,在每年 2 月份预测新的流行季节中流感流行情况,并确定毒株品种作为新年度北半球流感疫苗的推荐成分²。需要给药品制造商留出半年左右时间以生产和投放市场。现在的惯用推荐方案是三联装疫苗,也就是每份疫苗中有三种经过灭活或裂解处理³的毒株,分别为两个 A 型和一个 B 型。一般来说推荐的疫苗成分是 A

¹毒株也称病毒株,是由单个病毒粒子培养繁殖而成的纯种群体。如果病毒在自然界发生了变异,那么再通过分离培养,就得到了新的毒株。

²对南半球的疫苗成分推荐在每年的 9 月份确定。

³使之对人体失去致病性,但又能使人体的免疫系统识别它,产生针对它的抵抗力。

型的 H1N1 和 H3N2 亚型, 以及一个 B 型毒株。但每次建议的具体毒株并不相同, 例如 2008~2009 年针对北半球冬季的疫苗组成是: 一个 A/ 布里斯班 / 59/2007(H1N1) 类似株, 一个 A/ 布里斯班 / 10/2007(H3N2) 类似株和一个 B/ 佛罗里达 / 4/2006 类似株⁴。

1 第一阶段问题：

问题 1： 流感疫苗的制造成本较高。为降低成本, 可以设想将一种三联装疫苗改变成三种双联装疫苗, 也就是每份疫苗当中含有两种毒株成分。将北半球和南半球分别划分为稍小的区域, 并使用不同的疫苗针对不同区域来进行投放, 请你们建立合适的模型, 设计一个可行的投放方案, 并设计一个评估标准来评估其效果, 使之能与现行方案进行对比评价。在此问题当中, 可以只考虑病毒类型和亚型, 不必考虑具体毒株的选择。

问题 2： 如果考虑选择具体毒株, 就需要评估和预测对下一年威胁性最大的病毒是哪个具体品种。但如果对过去一年中所有引起流感流行的病毒都进行研究, 工作量相当可观。请建立合理的模型, 在监测到的流感流行记录中, 筛选出对下一年威胁较大的病毒可能在哪里出现, 以缩小病毒专家的研究范围, 便于疫苗成分的确定和生产。

2 第二阶段问题：

问题 3： 流感病毒依靠多种途径传播。一旦出现流行, 就难以预测和控制其最终的流行范围和持续时间。所以为了控制流感的传播, 需要有快速反应的应对措施。世界卫生组织 (WHO) 在世界范围内建立了流感监测网络。包括世界流感中心及实验室, 国家级流感中心, 数量众多的国家级流感监测网络实验室和哨点医院。流感监测网络的作用是监视流感在全球的活动情况, 并且及时准确地将流感爆发的信息、病毒分离的结果上报世界卫生组织, 进行病毒的研究鉴定。

为了提高流感监测网络的覆盖率和反应能力, 一方面需要提高各级流感中心对病毒样本的研究鉴定能力, 另一个很重要的方面是需要增加基层投

⁴WHO 规定的流感病毒的命名规则为: 型别 / 宿主名称 / 分离地区 / 编号 / 分离年份 (HA 和 NA 亚型), 若宿主是人则可省略, 若病毒是 B 或 C 型则省略亚型。例如 “A/ 布里斯班 / 59/2007(H1N1)”, 代表的是 A 型, H1N1 亚型, 于 2007 年在布里斯班分离, 编号 59。

入,主要包括流感监测网络实验室和哨点医院的数量。假设联合国有部分经费可以援助不同国家,用以建设流感监测网络实验室和哨点医院。请依据数据,建立合理的模型,评估需要援助的国家或地区的优先级。

本题中所附带数据来源于世界卫生组织网站。数据不够全面,需要自行查找。“参考资料来源”中已列出部分网上数据库的地址。在论文中使用的数据应当注明来源。

参考资料来源：

- [1] 中国国家流感中心:<http://www.cnic.org.cn/ch/>
- [2] 世界卫生组织流感监测项目:<http://www.who.int/csr/disease/influenza/en/index.html>
- [3] 世界卫生组织对流感疫苗组成的建议:<http://www.who.int/csr/disease/influenza/vaccinerecommendations/en/index.html>
- [4] 中国禽流感和大流行应对网:<http://www.pandemicflu.ac.cn/n3520543/index.html>
- [5] 世界流感中心:<http://www.nimr.mrc.ac.uk/wic/>
- [6] 世界卫生组织相关数据以及资料:
<http://www.who.int/whosis/en/index.html>
<http://gamapserver.who.int/GlobalAtlas/home.asp>
<http://apps.who.int/globalatlas/>
<http://www.who.int/research/en/>