

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202007086

www.dxhx.pku.edu.cn

化学教学新课堂：科学抗疫中的化学知识

吴静*, 戚洪彬, 王英滨

中国地质大学(北京)数理学院, 北京 100083

摘要: 新冠疫情爆发, 各种疫情防控工作随之开展。在这场没有硝烟的战争中, 化学发挥了重要作用: 口罩的结构中蕴含了界面化学的知识, 口罩的制作材料则包含高分子化学知识, 核酸检测和新冠疫苗研发则运用了生物化学知识, 各种消杀用品的主要成分涉及无机和有机化学知识, 简单的肥皂洗手中还包含了物理化学知识, 每一个新冠药物则是一个复杂的有机化合物。所有这些都作为化学教学的生动实例, 彰显化学的强大魅力的同时, 可以让学生认识到化学在我们生活中所扮演的重要角色, 由此激发他们学好化学的动机。

关键词: 新冠疫情; 抗疫; 化学; 教学

中图分类号: G64; O6

A New Classroom for Chemistry Teaching: Chemical Knowledge in the Fight against COVID-19 Epidemic

Jing Wu*, Hongbin Qi, Yingbin Wang

School of Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, P. R. China.

Abstract: As the break out of COVID-19 epidemic, the prevention and control work was consequently carried out. Chemistry plays an important role in the white war. The structure of mask contains the knowledge of interfacial chemistry. The material of mask encompasses the knowledge of polymer chemistry. Nucleic acid test and COVID-19 vaccine research need the knowledge of biological chemistry. The sanitizers involve the knowledge of inorganic and organic chemistry. The knowledge of physical chemistry takes effect in daily hand washing with soap. Each drug against COVID-19 virus was a complex organic compound. All the above things can be taken as appropriate examples in chemistry teaching to display the charm of chemistry. Meanwhile, these examples help students to realize that chemistry works as a vital part in our lives and therefore active their motivation to study chemistry well.

Key Words: COVID-19 epidemic; The fight against COVID-19 epidemic; Chemistry; Teaching

2020年是特殊的一年, 新冠疫情全球蔓延, 新冠病毒到处肆虐, “抗疫”成了我们生活的主线。当“防疫”成为日常时, 我们的生活开始出现了很多变化: “口罩”成了每个人的必需品, “消杀物品”成了每个家庭的必备品, “核酸检测”这个原本只有科学家知道的名词走入大众视野, “肥皂洗手”成了每个人外出回家后要做的第一件事, “新冠疫苗”的研究进展牵动着每个人的心, 人们开始关心哪些是有效的“新冠药物”。而所有这些事件中都蕴含着化学原理, 作为一名化学专业的高校教师, 应该以“抗疫”为契机, 利用这一新的课堂, 向学生尤其是非化学专业的学生普及化学知识教

收稿: 2020-07-28; 录用: 2020-09-01; 网络发表: 2020-09-10

*通讯作者, Email: wujing@cugb.edu.cn

基金资助: 2019年中国地质大学(北京)本科教育质量和教学改革工程建设项目(中地大教发[2019]32号文); 中国地质大学(北京)第四批求真学人项目(2652018004); 国家自然科学基金面上项目(21874120)。

育, 让更多学生了解化学, 让更多学生认识到化学是一门基础自然科学, 适用面广, 让更多学生意识到学好化学的重要性。

1 “口罩”中的界面化学和高分子化学知识

新冠疫情爆发之初, “口罩”一度成为畅销品, 甚至脱销, 市场上重金难买一口罩, 各大电商平台上也限时限量进行抢购, 因为每个人都知道佩戴口罩可以有效防止新冠病毒传染, 其中的科学原理究竟是什么呢? 首先, 要从口罩的结构说起, 以医用口罩为例, 其结构分为三层: 内外两层无纺布(Spunbond)和中间一层喷熔布(Meltblown), 简称 SMS 结构^[1]。这三层布的原料都是聚丙烯, 但是经不同处理后, 其功能各不相同。内层为普通无纺布, 是亲水性的, 水对其接触角 $\theta < 90^\circ$, 可以被水润湿, 起到吸湿、透气的作用。外层无纺布则是经低表面能的氟类或硅类整理剂进行了拒液整理^[2,3], 是疏水性的, 水对其接触角 $\theta > 90^\circ$, 不易被水润湿, 可以隔绝他人喷出的液体, 起到防飞沫的作用。中间的喷熔布是核心层, 其纵横交错的纤维结构可以过滤细菌, 阻止其传播, 而且该层经驻极处理后可以带上电荷, 飞沫中的病毒、细菌靠近时, 可被静电吸附在表面而无法透过, 这样使得过滤效率大大提高的同时并没有增加呼吸阻力(图 1)。所谓驻极处理是指将口罩中的聚丙烯纤维经处理后变为驻极体, 即长期储存电荷的电介质材料, 纤维的致密结构可使带电纤维间形成大量电极, 这样不仅能吸附带电微粒, 也可将不带电的病毒部分极化, 从而使得病毒被吸附或因电荷相斥而阻隔。口罩的这三层结构涉及物理化学中界面化学部分的知识, 可以此作为液体对固体润湿的实例, 进行相关教学。

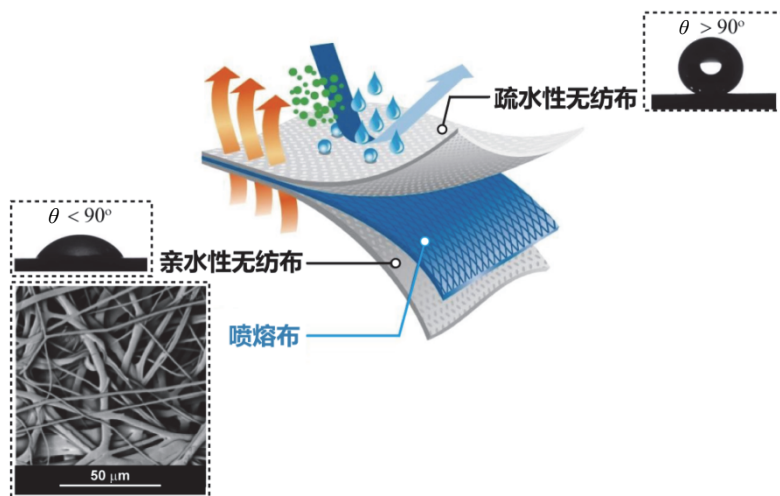


图 1 口罩的结构

口罩结构模型来源于网络^[4]

此外, 制作口罩的主要原料聚丙烯是丙烯加聚而成的聚合物, 可作为高聚物的实例引入教学。加聚反应即加成聚合反应, 是指一些含有不饱和键的化合物, 在催化剂、引发剂或热辐射等外加条件下, 同种单体间相互加成形成高分子化合物的反应。聚丙烯具有耐化学性、耐热性、可塑性、高耐磨性、高强度韧性、良好的接枝和复合功能。可塑性使得聚丙烯逐步替代了木料; 高耐磨性和高强度韧性使得聚丙烯逐步替代了金属; 良好的接枝和复合功能使得聚丙烯逐步替代各种原料而应用于纺织、包装、建筑和农林渔业等方面。聚丙烯用作口罩的制作材料, 其过滤机理有两种: 机械过滤和静电吸附^[5]。如图 2a 所示, 机械过滤是指通过拦截效应、惯性碰撞、重力沉积以及因布朗运动引起的扩散效应, 过滤一部分微小颗粒。而携带病毒的飞沫或粉尘主要是通过静电作用而被吸

附(图 2b), 因此, 使聚丙烯带上静电对于口罩的防护效果来说至关重要。聚丙烯作为一种半结晶聚合物, 其自身的结晶结构和纤维结构与其表面电荷的稳定性和滤效密切相关。聚丙烯是晶区-非晶区-晶区的周期性重复结构, 晶区之间或晶区与非晶区之间的界面产生电荷陷阱以存储电荷。由于晶区和非晶区导电性能不同, 电荷载流子堆积在微晶表面, 从而使得电荷被固定^[6,7]。聚丙烯的表面密度越大, 其与空气接触界面面积增加, 注入电荷载流子的陷阱增加, 从而使得有效表面电荷密度增大, 但是透气性和过滤能力会降低。

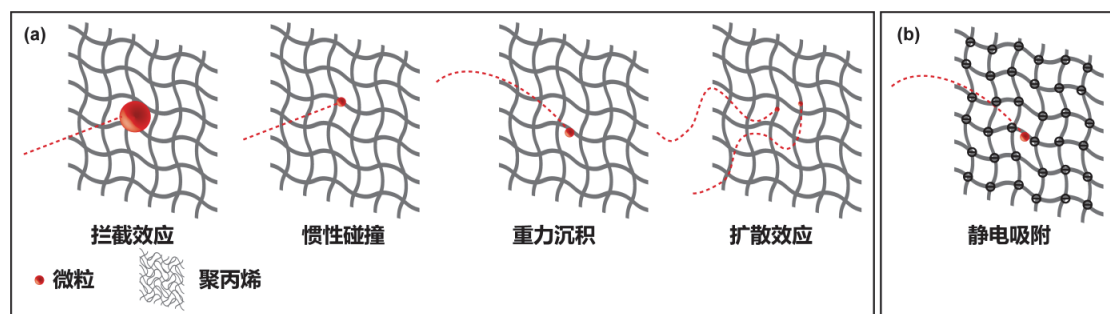


图 2 聚丙烯纤维的过滤机理^[5]

口罩之所以成为防止新冠病毒传染的利器是因为新冠病毒的主要传播途径有: 直接传播、经呼吸道和飞沫接触传播、气溶胶传播。其中, 气溶胶传播引起了大家的广泛关注。气溶胶是指固态或液态颗粒分散在气体介质中形成的气态分散系统, 可作为分散系统的实例引入教学。一种或几种物质分散在另一种物质中所构成的系统统称为“分散系统”。被分散的物质是“分散相”; 分散相所存在的介质称为“分散介质”。根据分散粒子的大小, 分散系统大致可分为三类: (1) 分子分散系统, 分散粒子的半径小于 10^{-9} m; (2) 胶体分散系统, 分散粒子的半径在 10^{-9} – 10^{-7} m; (3) 粗分散系统, 分散粒子的半径在 10^{-7} – 10^{-5} m。气溶胶中的固态或液态颗粒是分散相; 气体是分散介质。气溶胶由于其颗粒尺寸在胶体颗粒尺寸范围内, 因此具有胶体的性质, 如: 丁达尔效应、电泳、布朗运动等。气溶胶传播是指飞沫混合在空气中形成气溶胶, 人吸入后导致感染。含飞沫的气溶胶一般颗粒较大, 佩戴医用口罩可在一定程度上拦截这种粒子, 从而起到防护的作用。

2 “核酸检测”中的生物化学和分析化学知识

核酸检测是确定是否被新冠病毒感染的有效方法之一, 正因如此, 核酸检测这个原本只有科学家知道的名词, 现在可谓是家喻户晓。核酸是除朊病毒之外的所有生物携带和传递遗传信息的最基本物质单元, 是脱氧核糖核酸(DNA)和核糖核酸(RNA)的总称。新冠病毒仅含 RNA, 其中特异性的序列是识别新冠病毒的重要标志。核酸检测是基于实时定量聚合酶链式反应(quantitative reverse transcription polymerase chain reaction, RT-qPCR)定性和定量分析新冠病毒的特异性核酸序列^[8]。PCR反应是指双链 DNA 在高温(95°C)时变性为两条单链 DNA, 低温(约为 60°C)时, 两条单链 DNA 分别与引物按碱基互补配对原则结合, 再升温至适宜的反应温度(约为 72°C), 在 DNA 聚合酶的作用下, 复制成两条双链 DNA, 完成一轮反应(图 3)。经多轮 PCR 反应后, 可将微量 DNA 大量扩增。基于 RT-qPCR 反应的核酸检测过程分为以下几步(图 4): (1) 由于 PCR 反应的模板仅为 DNA, 因此, 首先需要将新冠病毒的 RNA 逆转录为 DNA; (2) 逆转录所得的双链 DNA 解螺旋成两条单链 DNA, 在低温下与引物结合; (3) 另需加入一个 Taqman 探针, 该探针是一段特异性寡核苷酸序列, 两端分别标记了荧光基团和淬灭基团, 探针完整时, 荧光基团的信号被淬灭基团淬灭, 无荧光发射; 如存在新冠病毒 RNA 逆转录所得的 DNA, 探针与 DNA 单链结合, DNA 聚合酶将探针酶切降解,

荧光基团和淬灭基团分离，发出荧光；(4) 每扩增一条 DNA，就会有一个荧光基团脱离出来，这样通过检测荧光强度，再根据朗伯-比尔定律，即可得出病毒核酸的浓度^[9]。荧光强度超过预先设定的阈值时即可判断为阳性。核酸检测原理中涉及生物化学和分析化学知识，既可用作相关知识的实例讲解也可作为引例导入。

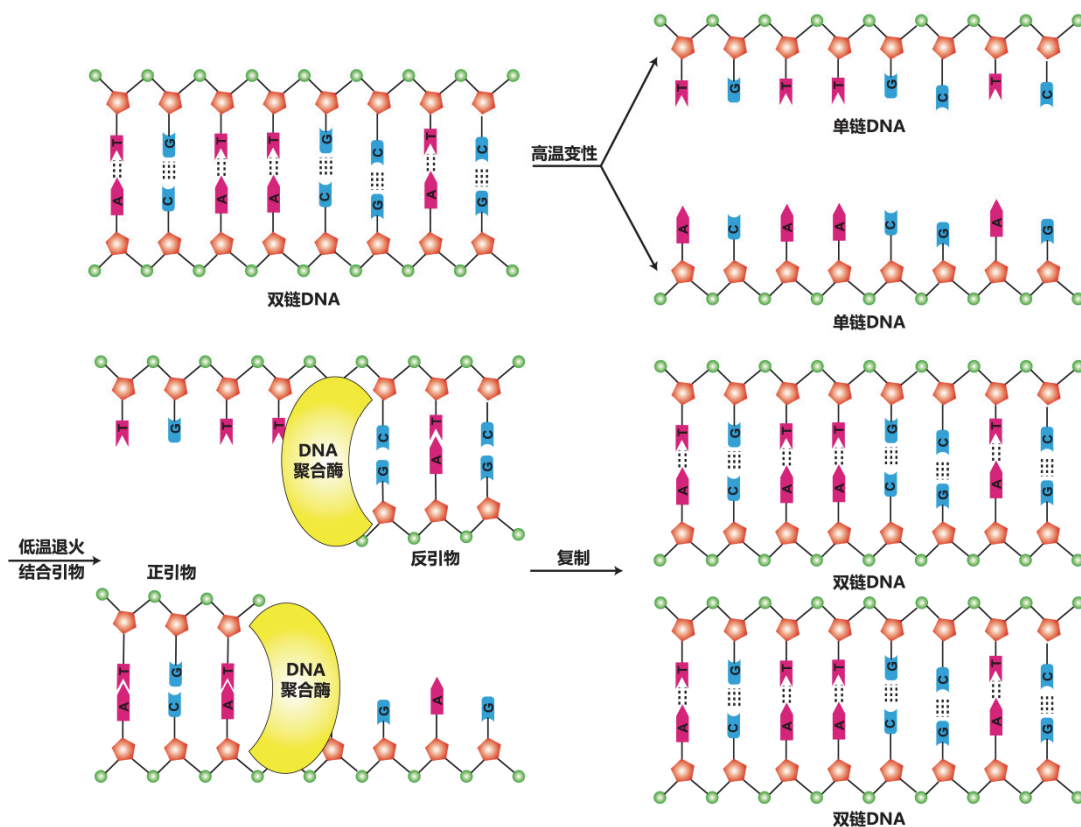


图3 PCR反应原理

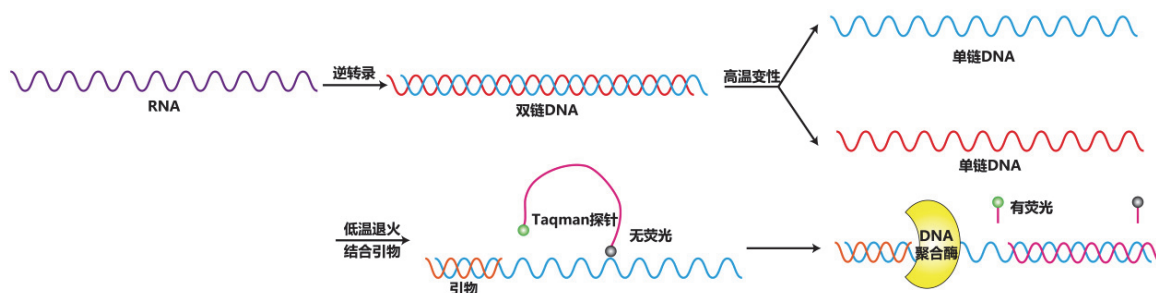


图4 基于 RT-qPCR 反应的核酸检测原理

3 “消杀用品”中的无机化学和有机化学知识

在新冠病毒肆虐期间，各种消杀用品成了家家户户的必备品，常见的消杀用品有 84 消毒液、过氧乙酸、75%酒精、含碘消毒剂、醛类消毒剂、双胍类和季铵盐类消毒剂等，这些消毒剂按其化学成分可分为含卤素类、过氧化物类、醇类、酚类、醛类和表面活性剂类，其工作机制各有不同(图 5)^[10]。

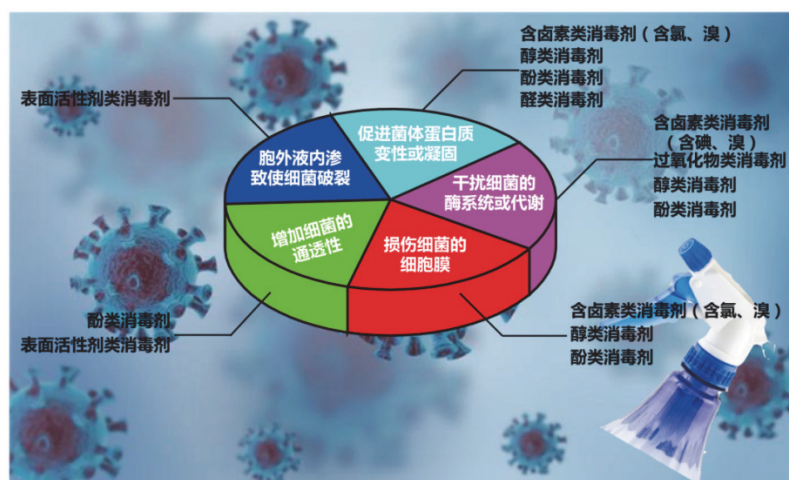


图5 化学消毒剂的工作机制及其举例

3.1 含卤素类消毒剂

含卤素类消毒剂主要是指含氯、溴、碘类消毒剂。84 消毒液是最常见的含氯消毒剂，其主要有效成分是次氯酸钠(NaClO)，其工作机制是 NaClO 水解后生成次氯酸(HClO) (式 1)， HClO 分子量小，可穿透细菌细胞膜而进入其体内， HClO 具有强氧化性，能将细菌蛋白质氧化，使其变性，从而杀灭肠道致病菌、化脓性球菌和细菌芽孢。含碘消毒剂包括碘酊和碘伏，碘酊又名碘酒，是碘和碘化钾(或碘化钠)溶于酒精和水的混合溶液，碘伏则是碘和聚乙烯吡咯烷酮的不定型结合物，这两者的工作机制都是抑制细菌酶的活性而导致其死亡。含溴消毒剂则是指溴氯-5,5-二甲基乙内酰脲和 1,3-二溴-5,5-二甲基乙内酰脲，其工作机制是破坏细菌细胞膜，使其细胞质渗出，其中的蛋白质变性，并抑制破坏菌体酶系统。含氯消毒剂主要用于杀灭微生物，如：细菌繁殖体、真菌、病毒、细菌芽孢和结核杆菌等，在抗疫中主要用于物体表面、织物、皮肤、黏膜、室内空气以及水、果蔬和餐具等的消毒；含溴消毒剂则主要用于物体表面消毒；碘酊可用于手术、注射或穿刺部位的皮肤消毒、新生儿脐带部位皮肤消毒，不适用于黏膜和敏感部位皮肤消毒；碘伏则适用于黏膜冲洗消毒、外科手和前臂消毒。



3.2 过氧化物类消毒剂

过氧化物类消毒剂包括过氧乙酸、过氧化氢等。过氧乙酸的分子式为 CH_3COOOH ，其制备反应如式 2 所示。这类消毒剂的工作机制是依靠其强氧化性，通过氧化作用使细菌体内的酶失去活性，从而杀灭细菌繁殖体、分枝杆菌、细菌芽孢、真菌、藻类及病毒，也可破坏细菌毒素。过氧化物类消毒剂几乎可将所有微生物杀灭，在抗疫中可用于物体表面、室内空气、皮肤伤口、医疗器械的消毒。



3.3 醇类、酚类和醛类消毒剂

醇类消毒剂常见的是酒精和异丙醇。酒精是乙醇的俗称，分子式是 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ，其工作机制是乙醇分子进入细菌内部，乙醇分子中的乙基(C_2H_5-)破坏蛋白质内部憎水基团之间的吸引力，水分子松弛蛋白质亲水基团之间的吸引力，二者协同作用使细菌蛋白质凝固、变性，从而导致其死亡。浓度为 75% 的酒精消毒效果最好是由于：酒精浓度过高时会使得细菌蛋白脱水过于迅速，细菌表面的蛋白质首先凝固，形成一层坚固的包膜，酒精不易渗入细菌内部，降低了其杀菌能力。酒精浓度过低时，其渗透性也降低，同样难以进入细菌内部，影响其杀菌能力。75% 酒精的渗透压与细菌相似，可在细菌表面蛋白未变性之前渗入细菌体内，使细菌蛋白质脱水、变性、凝固，从而杀死细菌。酚

类消毒剂包括苯酚、甲基苯酚、卤代苯酚及酚的衍生物等,不同浓度的酚类消毒剂的工作机制不同。高浓度酚类消毒剂可裂解并穿透细胞壁,结合菌体蛋白,引起蛋白质变性;低浓度酚类消毒剂则是使细菌酶系统失去活性,影响细菌的物质代谢。醛类消毒剂主要包括甲醛和戊二醛等,其工作机制是作用于病原体蛋白质的氨基、羧基、羟基和巯基,从而破坏蛋白质分子导致病原体死亡。醇类消毒剂可用于破坏细菌繁殖体,杀灭亲脂性病毒,在抗疫中主要用于手部和皮肤消毒,也可用于较小物体表面消毒,但不宜大面积喷洒;酚类消毒剂则可用于物体表面和织物消毒;醛类消毒剂主要用于环境、器械和水体等的消毒。

3.4 表面活性剂类消毒剂

双胍类和季铵盐类属阳离子表面活性剂,在结构上含有亲水基和亲油基,双亲性结构使得它具有杀菌和去污的作用,其工作机制是亲油基可撬开病毒的脂质包膜和细菌的细胞膜,改变其通透性,从而破坏病毒和细菌的结构,如与其他消毒剂复配则可提高杀菌效果和速度。在抗疫中,这类消毒剂使用较多,主要用于手部、环境、纤维和织物等表面消毒,与醇复配后可用于外科手消毒。

由此可见,各种消杀用品中蕴含丰富的无机和有机化学知识,是相关知识点教学时的很好引例,如能巧妙引入则可以在引起学生兴趣的同时,自然地进入新知识点的教学。

4 “肥皂洗手”中的物理化学知识

自疫情爆发后,“常用肥皂洗手”逐渐成为了大家的习惯,大街小巷也随处可见叮嘱人们“勤洗手,防病毒”的标语。那么,肥皂洗手除去病毒的科学原理是什么呢?肥皂的主要成分是表面活性剂,表面活性剂分子结构中含有亲水基和亲油基,是一种双亲性结构(图 6a)。表面活性剂在水中达到临界胶束浓度后,可结合形成胶束(图 6b)。新冠病毒的结构则是由刺突糖蛋白和脂质包膜形成一层外壳,内部包裹 RNA 构成。根据“相似相溶”原理,表面活性剂中的亲油基很容易结合到病毒的脂质包膜上,并撬开外壳,破坏病毒结构,病毒碎片和污垢被包裹到表面活性剂所形成的胶束中,从而被冲洗掉(图 6c)。肥皂洗手这一简单的日常动作中却包含着不简单的物理化学知识,可以此进行表面活性剂知识的相关教学。

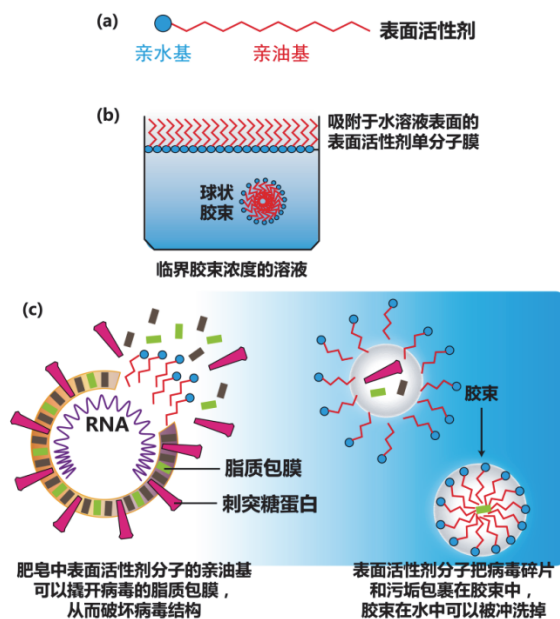


图 6 肥皂洗手除病毒的原理

(a) 表面活性剂的双亲性结构; (b) 表面活性剂达到临界胶束浓度后形成胶束; (c) 表面活性剂分子破坏病毒结构

5 “新冠疫苗”中的生物化学知识

鉴于人类可能与新冠病毒长期共存的“新常态”，疫苗研发势在必行。那么，疫苗为什么能帮助人体对病毒产生免疫力？目前，研发的新冠疫苗有哪些种类？疫苗的设计原理是(图 7)^[11]：从病原体中提取出病原蛋白质基因，并分离出目的基因，将目的基因克隆入质粒，再经大量生产、纯化质粒，然后注射入活体，人为引入病毒抗原，抗原呈递细胞(APC)会将靶抗原携带的表位序列呈递给不同的 T 细胞亚群，这些 T 细胞会被进一步活化为辅助性 T 细胞(Th 细胞)和细胞毒性 T 细胞(Tc 细胞)。B 细胞在 Th 细胞的辅助下识别抗原，进而产生抗体，由此形成体液免疫。Tc 细胞可直接识别抗原，裂解被感染的细胞，实现细胞免疫^[12-15]。目前，新冠疫苗的开发策略有灭活和减活病毒疫苗、腺病毒载体疫苗、重组蛋白疫苗、核酸疫苗、病毒样颗粒疫苗和多肽疫苗等。灭活疫苗采用的是死病毒，安全性好，但免疫原性也变弱，主要诱发体液免疫。减活疫苗则采用的是毒性降低的病毒，免疫原性强，可同时诱发体液免疫和细胞免疫，但是存在潜在危险性，需要在对病原毒性的分子认识的基础上进行更合理的减毒，使其无法恢复毒性。腺病毒载体疫苗是将载体腺病毒的关键基因敲除，将新冠病毒的靶基因整合到载体的基因组里，借助载体实现细胞内化并在体内产生抗原，诱导机体产生体液和细胞免疫。重组蛋白疫苗则是利用生物工程方法大量表达靶蛋白抗原，纯化后进行疫苗构建。核酸疫苗包括 DNA 疫苗和 mRNA 疫苗，其原理是将病毒的遗传物质 DNA 和 mRNA 运

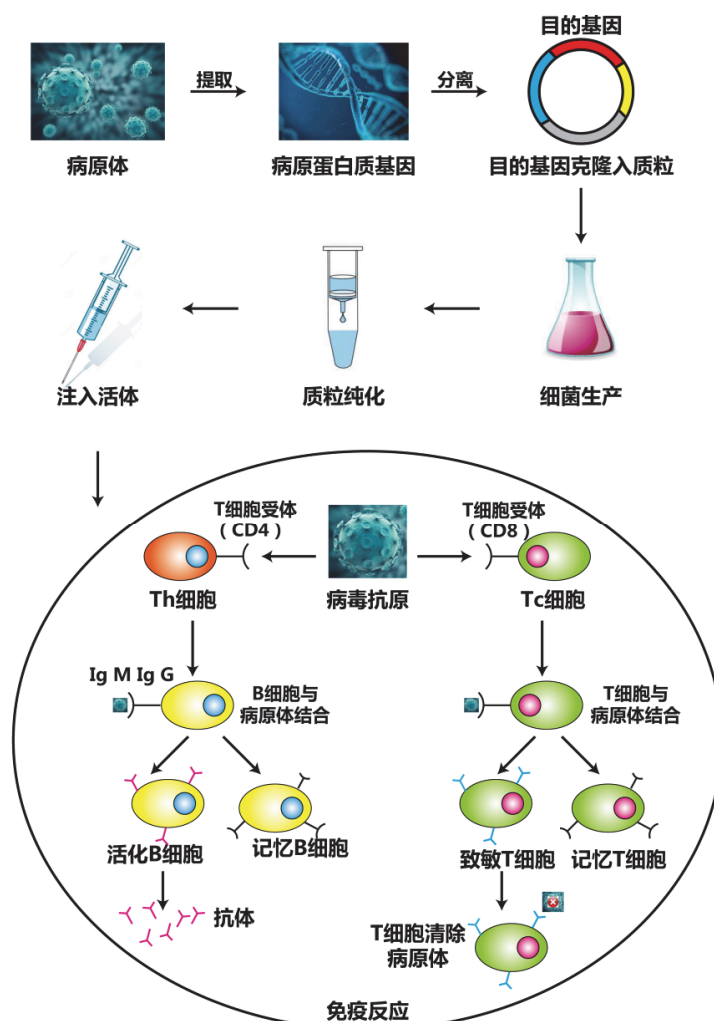


图 7 疫苗设计的原理示意图^[11]

送到 APC 细胞, 翻译表达靶抗原, 让细胞识别, 相当于给病毒画了肖像, 具有同样特征的病毒进入体内时, 会被免疫细胞识别, 引起机体免疫反应^[16]。病毒样颗粒疫苗是去除了核酸的病毒蛋白体, 充分保留了靶抗原信息, 可实现高效疫苗递送, 有利于免疫系统的识别。多肽疫苗是已鉴定的 B 表位或是 T 表位序列, 其骨架由酰胺键构成^[15]。目前, 我国已有多项新冠疫苗研究进入临床试验, 可以此激发学生去探究其中的生物化学原理。

6 “新冠药物”中的有机化学知识

2020 年 2 月 4 日李兰娟院士团队公布研究成果: 阿比多尔、达芦那韦两种药物对新冠病毒有明显抑制作用, 此外, 还有利巴韦林、磷酸氯喹等药物也都被报道用于新冠肺炎的临床治疗。这些药物分子结构如图 8 所示。这些药物涉及多个有机化学知识点, 如: 杂环化合物、芳香胺、羧酸衍生物、酚、醇等^[17], 结合这些药物分子的结构可以设计很多有机化学相关知识的问题, 例如: (1) 其中 N 原子的杂化类型是什么? (2) 苯环上的一氯代物有多少种? (3) 1 mol 该物质可与多少 mol 的 H_2 发生加成反应? (4) 分子中存在几个手性碳原子? 这些问题可作为相关知识点授课后的练习使用, 巩固知识点的同时可以拓宽学生的知识面。这样的教学设计还可以让学生意识到: 自己所学的知识在抗疫中有具体应用, 有机化学是一门实践性很强的科学, 在现代高科技中处处彰显出重要的作用和地位^[18]。这会调动他们的学习积极性, 提高他们学习有机化学的热情。此外, 利用我国科学家在抗疫药物研发中的成就, 如: 自主研发的阿兹夫定和汉防己甲素是具有自主知识产权的药物, 由此自然融入思政教育, 进行爱国主义教育, 增强学生的民族自豪感, 同时增强学生对科技强国的认同感^[19]。

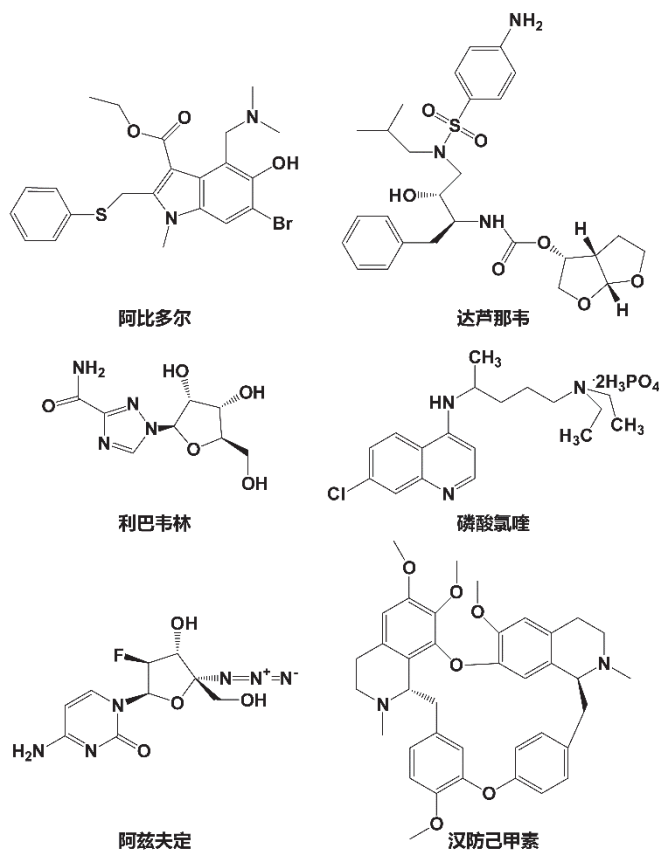


图 8 有效抑制新冠病毒的药物分子结构图

7 结论

新冠疫情是一场灾难,但也是一个契机。化学教学应该利用好这一个特殊的机会,从各种抗疫行动中引申出化学原理,以此作为一个新的课堂,让学生看到化学在这场没有硝烟的战争中所发挥的强大作用,体会到化学学科的强大魅力,激发他们学习化学的主动性,调动他们学好化学的积极性。同时,也可将抗疫中的案例发展成为课程思政的素材,让学生感受到我国化学工业的强大生产力和研发力,培养他们的高尚情怀和正确的三观,增强他们的历史使命感。

参 考 文 献

- [1] 陶永亮,陈曦,向科军. 橡塑技术与装备(塑料), **2020**, *46*, 33.
- [2] 沈嘉俊,许晓芸,刘颖,赵奕,靳向煜. 棉纺织技术, **2020**, *48*, 79.
- [3] 苏静,王璐,罗丹,刘斌,张瑜,张瑞萍. 印染, **2013**, *21*, 32.
- [4] 坊间传闻的那些口罩消毒的方法,原来并不靠谱,还是臭氧最对头. [2020-02-11]. <http://baijiahao.baidu.com/s?id=1658247246536546641>.
- [5] 侯冠一,武文杰,万海肖,张至宇,高科,李赛,刘铭晖,胡水,张世甲,田洪池,等. 高分子通报, **2020**, doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2020.08.001
- [6] Hillenbrand, J.; Motz, T.; Sessler, G.; Zhang, X.; Behrendt, N.; von Salis-Soglio, C.; Erhard, D.; Altstädt, V.; Schmidt, H. J. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **2009**, *42*, 065410.
- [7] Yamashita, T.; Ikezaki, K. *J. Electrostatics* **2003**, *57*, 263.
- [8] 王春霞,曲广波,陈拥军. 科学通报, **2020**, doi: 10.1360/TB-2020-0600
- [9] 国家药品监督管理局医疗器械技术审评中心. 中国医药报, 2020-02-11. doi: 10.38249/n.cnki.nyiya.2020.000144.
- [10] 杨磊. 中国洗涤用品工业, **2020**, No. (3-4), 230.
- [11] 免疫反应的类型和机制. [2020-07-24]. <http://www.lovfp.com/xueask-1268-12680920.html>.
- [12] Takeuchi, O.; Akira, S. *Immunol. Rev.* **2009**, *227*, 75.
- [13] Carroll, M. C. *Nat. Immunol.* **2004**, *5*, 981.
- [14] Iwasaki, A.; Medzhitov, R. *Science* **2010**, *327*, 291.
- [15] 李文浩,李艳梅. 大学化学, **2020**, *35* (12), 29.
- [16] 付丽丽. 科技日报, 2020-06-29.
- [17] 万福贤,王日为,于斌,张元红,李映,张丽丽,艾仕云,姜林. 大学化学, **2020**, *35* (12), 110.
- [18] 那行,朱亚先. 大学化学, **2019**, *34* (8), 25.
- [19] 段戴平,曾会应. 大学化学, **2021**, in press. doi: 10.3866/PKU.DXHX202004044