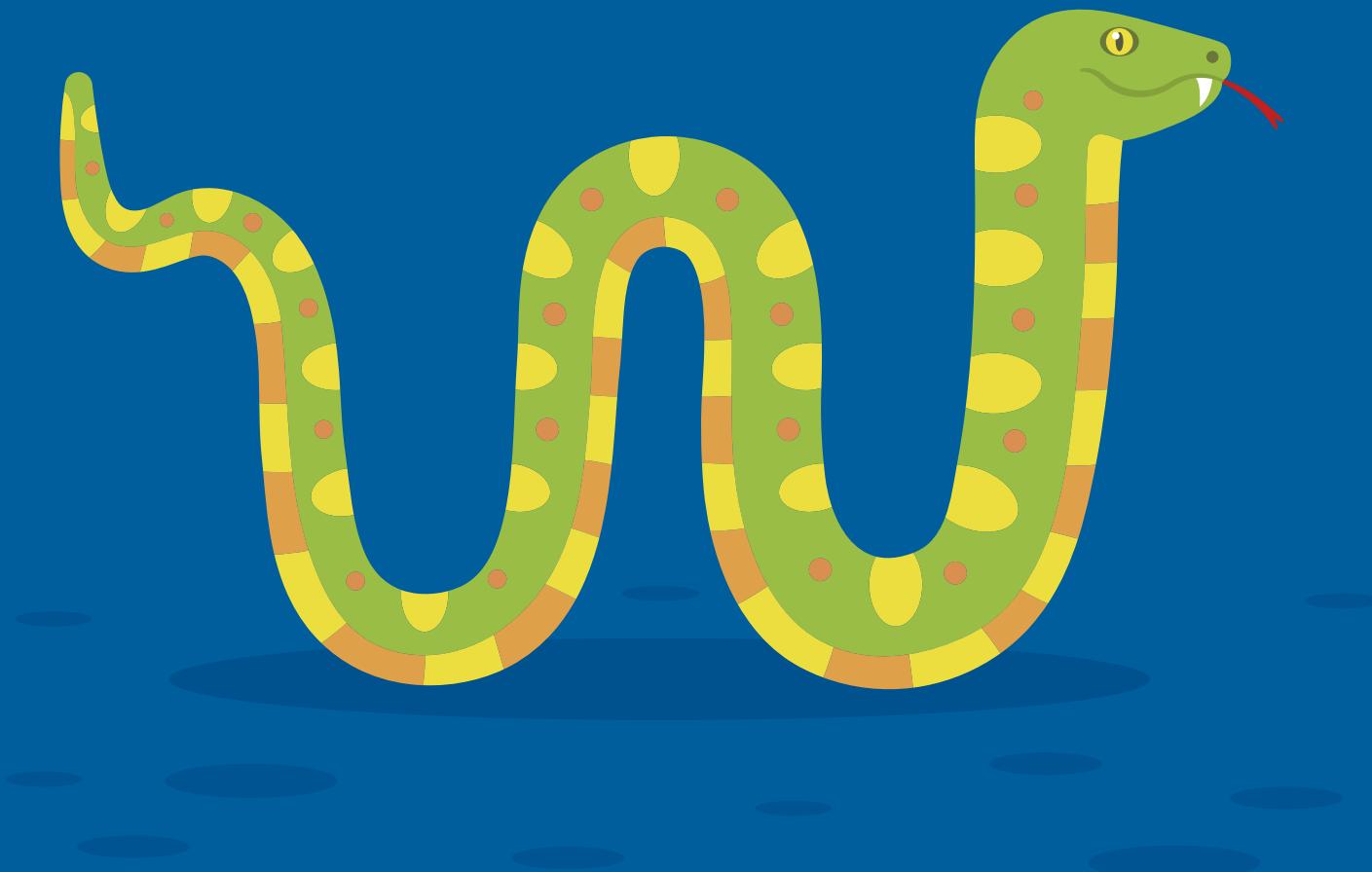


三亚悲剧背后： 解码蛇毒的致命化学方程式

作者：李文波；Email: eynwnu@163.com



当三亚的椰风海韵遇上致命的蛇吻，一场原本美好的旅行瞬间变成了人间悲剧。在这场生死较量中，蛇毒究竟扮演了怎样的角色？它又藏着哪些令人惊叹的化学秘密？

当三亚的椰风海韵遇上致命的蛇吻，一场原本美好的旅行瞬间变成了人间悲剧。被蛇伤害的事情多有发生，尽管紧急送医全力抢救，却仍因蛇毒入侵身体回天乏术。这起令人痛心的事件，让我们不得不直面一个既神秘又危险的存在——蛇毒。在这场生死较量中，蛇毒究竟扮演了怎样的角色？它又藏着哪些令人惊叹的化学秘密？今天，就让我们一同揭开蛇毒的神秘面纱。

一、蛇毒：自然界的“生化武器库”

蛇毒并非单一物质，而是一个复杂得超乎想象的“生化武器库”，堪称自然界最精密的化学混合物之一。从化学组成来看，蛇毒中90%以上是蛋白质，其中包含酶、多肽和糖蛋白等多种成分，其余则是一些小分子物质，如氨基酸和金属离子等。这些成分相互配合，构成了蛇毒致命的威力^[1]。

酶在蛇毒中起着至关重要的作用。磷脂酶A2能够分解细胞膜上的磷脂，破坏细胞结构，使细胞内容物释放出来，导致组织损伤和炎症反应^[2]；透明质酸酶则可以分解细胞间质中的透明质酸，让蛇毒在体内更快速地扩散，就像为蛇毒打开了在身体内横冲直撞的“绿色通道”。

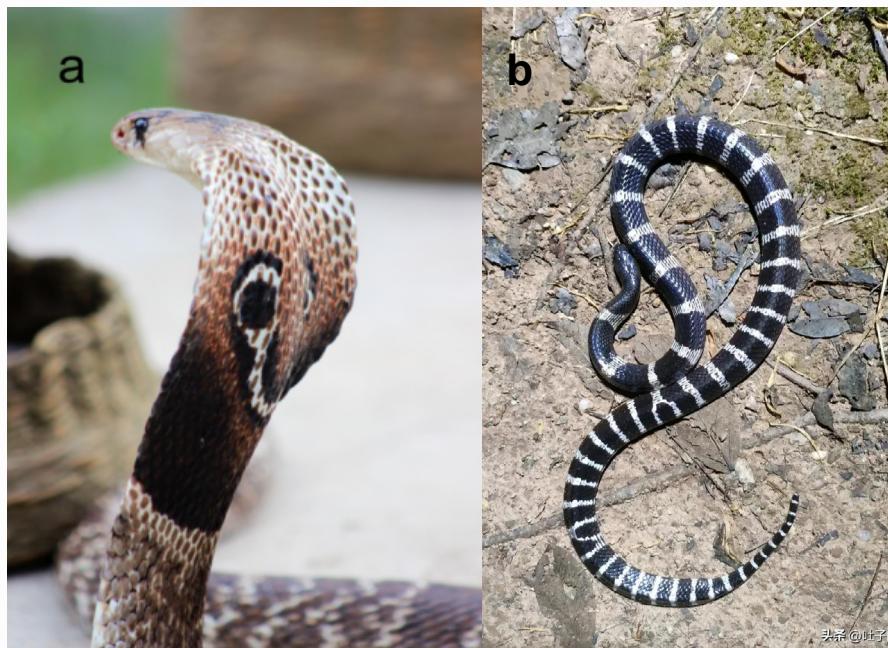
多肽类物质同样不容小觑。它们虽然相对分子质量较小，但活性极高。某些多肽能够特异性地作用于神经细胞、肌肉细胞或血液细胞，干扰细胞的正常功能，从而引发一系列中毒症状。

二、蛇毒的致命“组合拳”：不同类型的毒性机制

蛇毒的毒性机制多种多样，根据其对人体的主要作用部位和症状表现，大致可以分为神经毒、溶血毒、细胞毒以及混合毒四大类。每一类蛇毒都有其独特的“攻击方式”，如同精心设计的致命“组合拳”，对人体造成严重伤害。

(1) 神经毒：切断生命的“信号通路”

神经毒是蛇毒中极具杀伤力的一类毒素，眼镜蛇（图1a）和银环蛇（图1b）等毒蛇分泌的毒液就以神经毒为主。这类毒素的目标十分明确——神经系统^[3]。当神经毒进入人体后，它会精准地与神经肌肉接头处的乙酰胆碱受体结合。乙酰胆碱是神经细胞之间传递信号的重要化学物质，它就像一把“钥匙”，能够打开神经细胞上的“锁”（乙酰胆碱受体），从而传递神经信号。而神经毒就像是一把“假钥匙”，抢先占据了受体的位置，真正的乙酰胆碱无法与之结合，导致神经信号无法正常传递。



①【图1】a) 眼镜蛇（图片来源于百度百科）；b) 银环蛇（图片来源于搜狐）



随着神经毒的不断作用，中毒者首先会出现眼睑下垂、视物模糊和言语不清等症状，这是因为控制眼部肌肉、面部肌肉和声带肌肉的神经信号受到了干扰。随着病情的发展，呼吸肌也会逐渐麻痹，中毒者会感到呼吸困难，最终因呼吸衰竭而死亡。这种悄无声息的攻击方式，往往让中毒者在意识清醒的状态下，眼睁睁地看着自己的身体逐渐失去控制，令人不寒而栗。

(2) 溶血毒：破坏血液的“运输系统”

溶血毒主要攻击人体的血液系统，响尾蛇和蝰蛇等毒蛇的毒液中就含有大量的溶血毒素。这类毒素的作用方式直接而粗暴——破坏红细胞^[4]。红细胞是血液中负责运输氧气的重要细胞，一旦它们被破坏，身体各组织器官就会因缺氧而受损。

溶血毒可以通过多种途径破坏红细胞。有些溶血毒素能够改变红细胞膜的通透性，使细胞内的物质外渗，导致红细胞破裂；还有些溶血毒素可以激活血液中的凝血系统，形成微血栓，堵塞小血管，进一步加重组织缺血缺氧。当大量红细胞被破坏后，血液中的血红蛋白会释放到血液中，经过一系列代谢，会导致黄疸和贫血等症状。更严重的

是，溶血过程中产生的大量代谢产物还会对肾脏造成损害，引发急性肾衰竭，危及生命。

(3) 细胞毒：让细胞“自我毁灭”

细胞毒是一种直接作用于细胞的毒素，竹叶青蛇和烙铁头等毒蛇的毒液中含有丰富的细胞毒素^[5]。这类毒素就像细胞的“终结者”，能够直接破坏细胞的结构和功能。细胞毒可以与细胞膜上的特定受体结合，改变细胞膜的通透性，使细胞内的离子平衡失调；也可以抑制细胞内的酶活性，影响细胞的正常代谢；甚至还能诱导细胞发生凋亡或坏死。

当细胞毒作用于皮肤和肌肉组织时，会导致局部组织肿胀、疼痛和坏死，伤口周围皮肤出现瘀斑和水疱，严重时甚至需要进行截肢手术。如果细胞毒进入重要器官，如心脏、肝脏和肾脏等，会直接影响器官的功能，导致多器官功能衰竭，后果不堪设想。

(4) 混合毒：全方位的致命打击

有些毒蛇的毒液更为“致命”，它们兼具多种毒性，被称为混合毒，眼镜王蛇^[6]和蝮蛇等就是典型代表。混合毒就像一个“全能杀手”，对人体进行全方位的攻击。它既能通过神经毒麻痹呼吸肌，导致呼吸衰竭；又

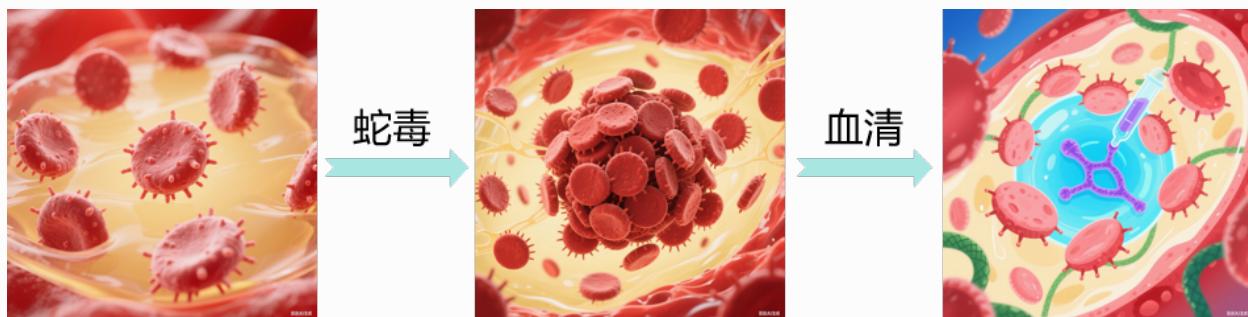
能利用溶血毒破坏血液系统，引发贫血和肾衰竭；还会借助细胞毒造成局部组织坏死和器官功能损伤。

由于混合毒的作用机制复杂，中毒后的症状也十分严重且多样化。患者可能同时出现呼吸困难、出血倾向和局部组织坏死等多种症状，治疗难度极大。这也使得被混合毒蛇咬伤后的死亡率相对较高，三亚女游客被蛇咬伤身亡的悲剧，很可能就是混合毒在作祟。

三、从“死神镰刀”到“生命之光”：蛇毒的医学奇迹

随着现代科学技术的发展，人们对蛇毒的研究逐渐从经验走向科学。通过先进的分离、纯化和分析技术，科学家们成功地从蛇毒中提取出了许多具有特殊生物活性的成分，并将其开发成药物。卡托普利是第一种基于蛇毒开发的降压药^[7]。它的研发灵感来源于巴西矛头蝮蛇的毒液。科学家发现，这种蛇毒中含有一种能够抑制血管紧张素转化酶（ACE）的物质。ACE会促使血管收缩，导致血压升高，而卡托普利通过抑制ACE的活性，扩张血管，从而降低血压。自卡托普利问世以来，无数高血压患者从中受益，它的成功研发也为蛇毒药物的开发开辟了道路。





①【图2】血小板在中毒解毒过程中的变化图

替罗非班和依替巴肽是两种用于治疗心血管疾病的蛇毒衍生药物^[8]。它们的作用机制是抑制血小板的聚集。血小板在血液凝固过程中起着关键作用，但在某些心血管疾病中，血小板过度聚集会形成血栓，堵塞血管，引发心肌梗死和脑卒中等严重疾病。替罗非班和依替巴肽能够特异性地结合血小板表面的受体，阻止血小板之间的相互作用，从而预防血栓的形成，为心血管疾病患者带来了新的治疗选择。

四、对抗蛇毒：人类的智慧与挑战

面对蛇毒的威胁，人类从未停止过与之抗争的脚步。抗蛇毒血清是目前治疗蛇咬伤最有效的方法（图3）。它的制作过程十分复杂。首先，需要选择合适的实验动物，如马或羊。然后，将

少量经过处理（减毒）的蛇毒注射到实验动物体内，刺激动物的免疫系统产生相应的抗体。经过一段时间后，采集实验动物的血液，分离出血清，这种血清中就含有能够中和蛇毒的抗体，即抗

蛇毒血清。

然而，抗蛇毒血清的生产存在诸多问题。由于不同种类的蛇毒成分差异很大，一种抗蛇毒血清通常只能针对一种或几种毒蛇



①【图3】常见抗蛇毒血清（图片来源于搜狐）

的毒液。这就意味着，在治疗蛇咬伤患者时，需要准确判断咬伤的蛇种，才能选择合适的抗蛇毒血清。但在实际情况中，很多患者无法准确描述蛇的特征，这给治疗带来了很大困难。

此外，抗蛇毒血清的生产周期长和成本高，且保存条件苛刻，导致其供应往往不足。而

且，抗蛇毒血清还可能引发过敏反应，给患者带来额外的风险。这些问题都迫切需要解决，以提高蛇咬伤的治疗效果。

随着科技的不断进步，新型的蛇毒治疗方法也在不断涌现。人工智能技术的发展为蛇毒研究带来了新的思路。科学家

们利用人工智能算法分析蛇毒的化学结构和作用机制，设计出能够更有效中和蛇毒的抗毒蛋白。这种方法相比传统的抗蛇毒血清研发，具有更高的效率和针对性。相信在不久的将来，人工智能将在蛇毒治疗领域发挥更大的作用，为蛇咬伤患者带来更多希望。

参考文献

- [1] Akef H M. Snake venom: Kill and cure[J]. Toxin Revs, 2017, 38(1): 21-40.
- [2] Shayman J A , Tesmer J J G. Lysosomal phospholipase A2[J]. Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids, 2019, 1864(6): 932-940.
- [3] Padula A M, Leister E M. Severe neurotoxicity requiring mechanical ventilation in a dog envenomed by a red-bellied black snake (*Pseudechis porphyriacus*) and successful treatment with an experimental bivalent whole equine IgG antivenom[J]. Toxicon, 2017, 138(41): 159-164.
- [4] Gorai B, Sivaraman T. Delineating residues for haemolytic activities of snake venom cardiotoxin 1 from *Naja naja* as probed by molecular dynamics simulations and *in vitro* validations[J]. Int J Biol Macromol: Structure, Funct Interact, 2017, 95(8): 1022-1036.
- [5] 许淑贞, 林起庆, 宋丽, 等. 竹叶青蛇咬伤中毒机制及临床研究新进展[J]. 蛇志, 2021, 33(1): 13-16.
- [6] Wongtay P, Sangtanoo P, Sangvanich P, et al. Variation in the protein composition and biological activity of King cobra (*Ophiophagus hannah*) venoms[J]. Protein J, 2019, 38(5): 565-575.
- [7] Carolina C R H, Chatzaki M, Almeida Rezende B, et al. Cardiovascular-active venom toxins: An overview[J]. Curr Med Chem, 2016, 23(6): 603-622.
- [8] Wang J, Zou D. Tirofiban-induced thrombocytopenia[J]. Annals Med, 2023, 55(1): 2233425.