

科技新闻

·深度报道·

“牛流感”为何仍在传播

研究人员至今仍未弄清,H5N1禽流感病毒究竟如何在奶牛之间,以及在不同牧场之间扩散

文/Jon Cohen

美国奶牛群中的H5N1流感疫情暴发2年后,似乎终于出现减弱迹象。这在一定程度上缓解了外界的担忧:一是担心该病毒会对乳业造成长期冲击,二是担心它进一步变异,演化为可能引发人类大流行的新毒株。根据美国农业部网站数据,最近一次新发受影响牛群的记录出现在2025年12月13日,地点位于威斯康星州一家牧场。美国农业部开展的牛奶病毒检测项目也显示,在曾出现疫情的19个州中,已有16个州清除了这种原本来自野鸟的病毒。

不过,疫情仍可能卷土重来,而要彻底清除它,现实中还面临不少难题。其中最关键的一点是:病毒究竟如何在牛群之间传播,至今并不明确。与此同时,尽管候选疫苗在早期试验中表现不错,但无论是政府还是农场主,对是否推动接种都可能持谨慎态度。

目前,H5N1仍在加利福尼亚州和爱达荷州的农场中传播,这两个州的农业部门均向《Science》表示,当地尚未实现清零。得克萨斯州在美国农业部最新通报中也仍被列为“受影响州”,尽管该州自2025年5月以来就没有再发现新病例。原因在于,该州此前未完全落实“国家牛奶检测战略”

中关于对乳品加工厂所有储奶罐进行采样检测的要求。当然,也不排除在其他州中,病毒只是暂时未被检测出来。

奶牛中的首批H5N1病例于2024年3月在得克萨斯州被发现。这种病毒属于H5N1的一个变体——2.3.4.4b分支。自2020年以来,它已在全球范围内造成家禽和野鸟大量死亡。它通常不会导致奶牛死亡,但会使牛奶变稠、颜色发黄,并显著降低产奶量。

在疫情暴发初期,挤奶设备很快被认为是重要传播媒介。毕竟,这类设备每天要接触数百头奶牛;同时,受感染奶牛普遍出现乳房炎症,而受影响牧场的牛奶中也检测出高水平病毒,这些现象都似乎支持了这一推测。

但后续研究表明,真实情况远比想象复杂。曾在美国农业部工作20年、现任职于科罗拉多州立大学的流行病学家兼兽医Jason Lombard说:“现在看来,病毒可能通过多种不同方式传播。”越

来越多的科学家认为,病毒可能较容易通过空气在牧场之间,甚至牛与牛之间扩散。受污染的废弃奶若被喂给小牛,也可能造成感染。还有研究在公牛精液中发现了病毒,这意味着繁殖过程也可能成为传播途径之一,甚至连苍蝇,也被怀疑可能参与传播。

圣裘德儿童研究医院病毒学家、禽流感专家Richard Webby坦言:“说实话,在这个病毒究竟是怎么传播的问题上,我觉得现在还没有哪一条线索能做到百分之百确定。”

随着疫情趋于减弱,科学家可用于开展现场研究的机会反而变少了,而这些原本正是解答关键问题所必需的。与此同时,也有研究者抱怨经费正在减少,美国农业部在数据共享方面进展缓慢。俄亥俄州立大学兽医Andrew Bowman说:“我感到沮丧,因为按理说,我们现在本该知道得更多。”

尽管如此,防控措施确实已经取得明显成效。美国农业部在意识到跨州调运奶牛会推动疫情扩散后,要求泌乳期奶牛在跨州



挤奶机长期以来一直被认为是H5N1病毒在奶牛之间传播的主要嫌疑对象,但部分研究人员认为其实际作用可能微乎其微

(图片来源:《Science》)

运输前必须检测呈阴性。为了尽快锁定受感染农场,农业部还启动了牛奶检测项目,要求实验室和兽医报告阳性结果,并要求农场主提供受影响牛群中动物调入调出的信息。各州对感染牛群实施的强制隔离,再加上部分暴发过疫情后牛群形成的自然免疫,也发挥了作用。美国农业部在一份声明中对《Science》表示:“大多数受影响牛群和州已经成功清除病毒。”不过,该机构拒绝安排旗下科学家接受采访。

但病毒在部分农场仍未消失。加州食品与农业部流行病学家 Edith Marshall 表示,有些农场里个别奶牛持续感染时间已超过1年。这些奶牛可能成为所谓的“超级传播者”,把病毒传染给新出生的小牛和后备母牛。而在奶牛场中,每年通常约有1/3成年奶牛会被这些年轻牛只替换。此外,一些没有明显症状、从未接受检测的感染奶牛,也可能持续传播病毒;检测本身若出现假阴性,也会增加隐患。

Marshall、Lombard 和 Webby 与加州 Lander 兽医诊所的兽医 Blaine Melody 合作,试图更细致地厘清病毒传播路径。2025年发布的一篇预印本中,他们详细分析了加州14家奶牛场中挤奶设备的作用。结果发现,挤奶设备上确实能检测到病毒,但 Bowman 团队和美国农业部开展的实验室研究均未能证明:受污染的设备可以直接把病毒传播给奶牛。

还有一个现象也让“挤奶设备主导传播”的假说受到挑战。

奶牛乳房有4个乳区,许多奶牛往往只有其中1个乳区带毒。挤奶设备也有4个对应的“乳杯”,理论上每次都会吸取同一位置乳区的奶液。如果设备是主要传播源,那么同一牛群中应更容易看到相同乳区反复感染的规律。但对加州这些奶牛场的调查并未发现这样的模式。该研究共同作者、埃默里大学病毒学家 Seema Lakdawala 说:“如果真是挤奶设备在传播,我原本会预期看到相同的乳区更常被感染。”

来自多项研究的数据,正在把注意力引向其他传播路线。例如,在加州奶牛场采集的空气样本中,研究人员很容易检测到病毒,这支持了“病毒可经空气传播”的判断。Melody 在加州中央谷地18家农场开展的另一项长期研究,则获得了尚未发表但颇具启发性的证据,提示风可能在更远距离上推动病毒扩散。

2024年初秋,加州中央谷地南部奶牛场的疫情明显暴发,而北部农场相对幸免。但到了11月下旬,一场“炸弹气旋”袭击加州,强劲南风席卷北部中央谷地。仅4天后,这18家农场全部出现疫情。Webby 目前正在对这些农场采集的病毒样本进行测序,相关结果有望帮助确认,它们是否源于同一次传播事件。

此前已有研究提示,风确实可能为流感病毒“插上翅膀”。荷兰一项关于2003年H7N7亚型疫情的研究表明,风在该病毒于家禽养殖场之间传播中发挥了重要作用。捷克共和国2025年的一份报告也认为,风曾将H5N1从一

处家禽养殖场传播到8 km外的另一处养殖场。Webby 提出的关键疑问是:“即便病毒颗粒被风吹到了牛身边,它又是如何进一步进入奶牛乳房的?”但 Melody 认为,奶牛鼻腔很可能是主要感染入口,尽管鼻拭子检测结果往往为阴性。

苍蝇也可能参与了传播。已知叮咬型蝇类可以在奶牛之间传播引发乳腺炎的细菌。2025年,Lombard 和 Melody 报告称,在奶牛血液中也检测到了H5N1。因此 Lombard 提出:“会不会是苍蝇叮咬奶牛时,把病毒注射进去?” Marshall 及其同事则在家蝇和丽蝇身上检测到了病毒。这2类蝇并不叮咬,但它们会反刍消化道内容物,这同样可能构成一种传播方式。研究团队在2025年11月的一篇预印本中提出了这一可能性。Marshall 说:“如果一只苍蝇把胃里的东西吐到奶牛乳头末端,里面的病毒量是否足以造成感染?”

来自感染奶牛的“废弃奶”也可能是另一条传播路径。加州大学戴维斯分校兽医流行病学家 Richard Pereira 指出,只有大约一半的大型牧场会对废弃奶进行巴氏消毒,而中小型牧场这一比例甚至不到1%。这些废弃奶往往被直接喂给小牛,或者随意倾倒,这不仅可能感染牛,也可能对人和宠物构成风险。Pereira 开发出一种更廉价的处理方法:在废弃奶中加入柠檬酸,使病毒失活,其成本远低于巴氏消毒。

研究人员同时警告,即使H5N1最终从美国奶牛群中被清

除,也仍可能再次由外部传入。目前在奶牛中传播的病毒属于B3.13基因型,推测源于2023年秋季一次从鸟类向牛的跨物种传播事件。但牛奶检测结果也显示,另一种名为D1.1的基因型曾3次由鸟类传入奶牛,不过每次都很快自行消失。与此同时,荷兰研究人员最近在奶牛体内检测到针对H5N1的抗体,说明当地奶牛曾在某个时期感染过该病毒,而具体是哪一种变体尚不明确。

一些研究者认为,接种疫苗是结束当前疫情、预防未来再次暴发的最佳手段。宾夕法尼亚大学病毒免疫学家Scott Hensley表示:“目标应该是把疫苗接种与检测以及现有的其他防控措施结合起来,真正把这件事彻底压下去。”

Hensley团队开发了多种前景较好的候选疫苗之一。4月初,他们公布了一项mRNA疫苗试验结果。该疫苗可诱导机体产生B3.13毒株血凝素表面蛋白。研究发现,接种疫苗后再暴露于病毒的动物,发病程度减轻,产奶量与正

常水平相当,而牛奶中的病毒载量则降低约至原来的1/1000。

但美国农业部是否会批准在奶牛中使用H5N1疫苗,以及疫苗价格是否能让农场主接受,仍是巨大的未知数。针对家禽的H5N1疫苗其实早已存在,但美国农业部始终没有批准广泛使用,主要担心这会损害出口市场。而在新冠疫情之后,社会上对mRNA疫苗普遍存在怀疑,一些州甚至在考虑禁止其用于家畜。对此,Hensley感叹:“这实在让我难以理解。”

Pereira认为,当前病毒传播范围受限,某种程度上是一段“侥幸争取来的缓冲期”。这段时间不应被浪费,而应被用于加快疫苗研发,并尽可能落实所有现有防控措施,以避免疫情反弹。他说:“我们不应该因为现在情况稍微缓和一点,就觉得可以不再理会。恰恰相反,我们是争取到了一点时间。现在最重要的是,把这段时间用好。”

(译自《Science》,2026,392,(6790))

达累斯萨拉姆大学来访的物理学家Denis Osborne。Osborne承诺回家亲自验证。1969年,两人合作发表经典论文,Osborne将姆潘巴列为第一作者并报告该现象,宣称“任何问题都不应被嘲笑”。

事实证明,水仅是冰山一角。过去10年,科学家在众多不同材料中发现了类似“姆潘巴效应”——从结晶聚合物到磁体。近期,该效应更现身于量子领域,例如激光囚禁的单个离子。2026年3月25日,《Physical Review X》刊发的新理论框架将各类姆潘巴效应统一描述,阐释了在每种情形下,初始状态离平衡态越远的系统反而可能更快回归稳态。加拿大西蒙菲莎大学物理学家John Bechhoefer表示:“这些看似迥异的现象,实则遵循同一物理原理。”

时至今日,研究者仍在争论姆潘巴效应是否普遍适用于水。水恰恰是特别难研究的对象:其冻结条件取决于微小差异,例如溶解气体的存在与否及容器表面光滑度。

但科学家在其他材料中观察到更清晰的效应迹象。例如,用于碳捕获的笼形水合物(clathrate hydrates,水分子构成的笼状结构)与3D打印所用聚乳酸塑料,经高温预处理后重结晶速度反而更快。科学家还发现磁学类比现象:初始磁场更强的某些材料反而能更快退磁。爱尔兰都柏林三一学院物理学家John Goold表示:“这显然是种普适现象——无处不在。只要你开始寻找,就能发现它。”

2017年,以色列魏茨曼科学

冰冻“怪现象”进入量子尺度

水结冰时的反常现象在原子尺度上再现,或为技术应用打开新空间

文/Zack Savitsky

1963年的一个午后,13岁的坦桑尼亚少年埃拉斯托·姆潘巴(Erasto Mpemba)在马甘巴中学制作冰淇淋。为抢占冰箱空间,他将滚烫的牛奶糖浆直接放入冷冻室,而同学们则先将混合物静置冷却。出乎意料的是,他的冰

淇淋竟最先凝固——这一偶然发现,日后将改写现代物理学对热力学过程的认知。

姆潘巴随后用水重复实验,并不断询问老师为何热水比冷水冻结更快,但老师们不予理会。他并未气馁,转而请教坦桑尼亚