**圣经中的气候变化与水资源管理丹市**

全球气候变化使人们更加关注与水资源短缺相关的社会和经济挑战，特别是在人为需求超过供给的地区。这种现代条件也是古代西亚人民所经历的，长期干旱加剧了长期干旱。然而，人类社会可能会以不同的方式对气候变化，特别是干燥作出反应，具体取决于当地的具体情况条件。我们专注于Tel丹（现今的以色列）的圣经网站，展示了即使在干旱时期也能充分浇水和肥沃的环境中严重降水减少的影响。当周围的雨水灌溉地区粮食资源稀缺时，这种繁荣的当地利基成为捕食的有吸引力的目标。我们建议捕食迫使城市人口逃离或采取新的生存策略。掠夺和放弃，即使只是部分，导致城市内外的供水网络维护不善。一旦积水包围该地区，水传播疾病就会激增。我们的研究表明，气候变化如何破坏社会和政治结构，导致水系统管理崩溃，并促进沼泽地扩张。

说明：：

肥沃的新月现在是一个受水资源挑战的地区。在不久的将来，预测表明供水量的最大变化将来自东地中海风暴路径活动的减少以及由此导致的降水减少（1-4）。虽然水已经成为影响新月肥沃的第一个真正城市的出现的关键因素，大约6000年前，引发并刺激了美索不达米亚沼泽地区的城市发展（5-7），将淡水供应作为“战争武器” “早熟（8,9）。由占主导地位的政治力量维持的黎凡特和美索不达米亚（10,11）的城市增长和交错交换网络的扩张，由于供水严重下降而定期瘫痪（12），由此产生的有限水资源迅速成为一个对象军事征服，政治杠杆的来源，冲突的工具和目标（8,13）。

有人提出，最早，规模最大，寿命最长的城市是在沼泽地内外建立和发展的（ 5,6）。沼泽缓冲了降水的大规模波动或变化供水。它们是灌溉用水的永久来源和食品和建筑材料供应商（14）。永久访问数千年来，水源是人类健康和持续粮食生产的关键（7,15,16）。这种田园诗般的情况是否可以持续数千年？

位于黎凡特最城市化的沼泽地区之一的边缘，圣经城市丹（Tell el-Qadi，阿拉伯语中的“法官丘”;图1）在希伯来圣经中提到超过60次（例如，法官18:29; 20：1）。 “从丹到别是巴”这个词是一个描述以色列土地边界的股票短语。目前，Tel Dan的遗址位于Hula山谷北部和戈兰高地的干旱地区，一片郁郁葱葱的绿色植物。这座古城位于丹水系统的源头，约旦河的主要支流，以色列和约旦的主要淡水资源，在希伯来圣经中被描述为生育的源泉，它的山谷像“耶和华的花园”一样浇水“（创世记13:10）。Dan溪流（年平均流量2.6×10 8 m 3）由数十个泉水供给，这些泉水主要来自赫尔蒙山上的降雨和降雪（2814米;湖泊上方2760米）。弹簧的放电以其年度和年际稳定性而闻名（17,18）。这座古城还由Nahal Sion（平均日产量1.8×10 3 m 3）喂养，从Hermon山下降，进一步为下面的山谷贡献淡水。这些来源持续人类社会和城市Tel丹的发展，自晚期以来拥有丰富的农业基地新石器时代，7000年前。我们没有书面的历史资料来叙述水的作用以及古丹的区域短缺的影响;然而，来自叙利亚，美索不达米亚和南部黎凡特的证据表明，干旱和不断变化的气候模式孕育或加剧了暴力对抗，放弃了雨养平原和迁徙（12,19-21）。

过去和现在的气候变化越来越明显

结合社会，经济和政治因素加剧脆弱性（22-24）;近几千年来，严重干旱事件影响了西亚社会（12,25-27）。但是，永久水资源是否保护了黎凡特和西亚的一些人口，而其他人则为了寻找肥沃的土地而萎缩或逃离？一些城市是否完全不受影响？

在这里，我们通过古代Tel Dan的棱镜探讨了肥沃新月水分胁迫关键时期城市化沼泽地区的严重气候变化的结果。气候模型现在预测在下个世纪将在地中海盆地广泛干旱（28,29）。预计干旱的增长可能会对已经有限的水资源造成特别的压力（30,31），对环境，社会（32）和人类健康产生重大影响（33,34）。过去严重干旱事件的结果可能与中东干旱地区目前的降水减少（1）产生共鸣，并预示其后果。

电话丹

在古代以色列王国（35）最北边的丹城（图2;参见补充材料），在希伯来圣经中也称为拉什（约书亚记19:47;法官18:29） 。 Laish出现在位于幼发拉底河贸易路线中间的Mari（叙利亚的Tell Hariri）以及埃及执行文本（列出法老的敌人）的书面文件中，两者显然都是公元前18世纪的（ 35）。雄伟的三拱形泥砖门（公元前约1750年）是世界上最早保存下来的拱形建筑之一，可以追溯到这个时期（36）。埃及法老图特摩斯三世（公元前1494年至公元前1483年）（37）将莱什命名为他在黎凡特军事行动中征服的城市之一。在阿拉姆 - 大马士革的哈扎尔（约公元前840年）（38,39）建立了在外门入口处的结构中发现的阿拉姆语胜利石碑。哈泽尔战胜了以色列国王（很可能是约兰）和他的盟友，大卫之王（很可能是亚哈斯）。丹市于公元前8世纪中期被地震摧毁，也许是阿莫斯书（1：1）中提到的“巨大噪音”，可追溯到公元前762年。该公墓在公元前8世纪下半叶再次被部分摧毁，也许是亚述国王提格拉 - 比瑟瑟三世（列王纪下15:29）。从波斯时期开始，Tel Dan似乎已经失去了很多伟大和邪教的重要性（35,40）。

结果：：

生态转变：：

从历史上看，人口增长已经适应当地的生态水文限制（16）。考虑到这一点，我们探讨了Tel Dan附近沼泽地淡水供应的变化情况主要的生态转变。在古老的上加利利，关键的花粉 - 衍生的植被模式并置了两个不同但同时代的环境，其动态特征是主要的生态变化（图3A）。随着时间的推移，两个环境区，即过渡区和Chaparral /橡树林地区（图S1和S2）显着负相关（Lag 0 = -0.76，P = 0.05;图S3A）并且对应于主要负荷主成分分析[PCA;所有基于花粉的聚类（图S1）占PCA-Axis1方差的+0.787（图3A）]。

因为城市地区附近的生态系统动态可能主要是从人为因素，如砍伐森林，火灾和侵蚀，a进行PCA-Axis1评分与栽培种之间的互相关（图S3B）。以零滞后为中心的正相关（滞后0 = -0.76，P = 0.05;图S3B）表明（i）抗旱簇的扩散（PCAAxis1上总变差的-0.68和-0.43）不是人为影响的结果，以及（ii）栽培作物遵循湿植被类型的模式（滞后0 = + 0.476，P = 0.05;图S3C），在耕种管理良好的时期收获增加。

由水灌溉植被加载的PCA-Axis1得分的变化集群（正值）和抗旱集合（负面评分）反映了由于水资源可用性的周期性变化导致的生态变化（图S2）（图3A和图S1）。在生态系统动态中观察到的主要变化 - 营养降级，群落衰退和生态系统服务的丧失 - 是由Hermon山在公元前2150年至公元前1950年，公元前1050年至840年以及公元前550至350年之间的较低水输入造成的（图。 3A）。该地区从未干涸，但可能演变为沼泽地区，这意味着供水动态的变化和城市周围供水网络的中断。在铁器时代IB到铁器时代IIA，上加利利的生态转变也与埃及（41），叙利亚（42），塞浦路斯（43）（图S4）和黎巴嫩（44）（图.S5）。小波分析还表明，PCA-Axis1的定义是550年的周期和长期趋势（1500年，结合550年和950年的周期;图S6A）。由于淡水供应量的减少，生态转变显示了550年（45）的关键周期，这一发现得到了光谱（白噪声）和REDFIT（红噪声）分析的强调。 550年起搏器似乎是一个可能是衍生的中间周期模式源于对基本太阳模式叠加产生的信号的整流（46,47）。这个中间周期也可以是大西洋温盐环流对外部太阳调制和起搏的整流响应的表现（48）。因此，古代上加利利的供水变化似乎是由全球温盐环流对太阳强迫的内部阈值响应所调节的。

沉降强度和油脂养殖：：

我们通过组合两个来创建结算强度曲线（图3B）参数，“沉降密度”和“估算的沉降面积”，以评估由赫尔蒙山和戈兰的淡水供应变化引起的生态变化是否可能影响城市发展（图4）。通过追踪Tel Dan周围的传统地中海油料养殖迹象，评估了供水对农业实践和人类行为的影响（图3C）。其他栽培种（谷物，葡萄和核桃）和牧场活动在很大程度上反映了橄榄的相对强度（图S7）。

根据现有数据，该区域在中级青铜时代（公元前2500至1950年）（49）和青铜时代晚期至青铜时代晚期II边界（公元前1450至1350年）不太密集地定居，也许是反复的埃及入侵，驱逐和奴隶（50），以及铁器时代晚期IB到铁器时代IIA（公元前1050年至840年）的反复。在黎巴嫩和希腊化时期（公元前550年至公元前60年），当黎凡特成为经济和政治上的死水时，电话丹只是人口稀少（51-53）。似乎低沉降强度和油文化下降的三个阶段（公元前2500至1950年，公元前1050至840年，公元前约550年;图3，B和C）按时间顺序与淡水的最低投入相关来自赫尔蒙山（图4）。这种相关性表明供水波动直接或间接地以某种方式影响了沉降密度。在干旱地区（例如，在叙利亚和土耳其的大部分地区），对日益稀缺的资源的竞争可能导致移民到像丹丹这样的肥沃地区，造成社会紧张局势。当地人口中遭受各种形式捕食的部分人最终逃离城市，将城市中心转变为低密度村庄（图3B）。

公元前1100年左右开始的油脂养殖下降（图3C），不仅可能是由于农业实践的减少，也可能是由于气候压力导致的橄榄树物候变化。虽然橄榄树是一种适应干旱条件的简约水消费者，但水分胁迫会影响开花，导致花粉产量低（54-56）。进一步的压力可能对应于耕地的积水，这些积水会产生根部缺氧（57）。

水排放：：

水位（图3D）和排水（图4），由赫尔蒙山喂养（图S8） ），已经重建，试图探测与城市发展的相关性。低水位的两个主要阶段（公元前约2150年至1950年和公元前约1050年至840年;图3）按时间顺序与沉降强度的急剧下降相关联（图3B）。在公元前1950年至1050年（图3D），该地点的周围环境似乎完全被水覆盖，至少在播种和生长季节。地下水位可能足以成功实现农业发展（图3C）。相反，公元前840年至公元前300年的水输入变化较大，随着公元前700年左右开始逐渐下降，公元前约350年达到峰值，最可能影响自公元前650年以来的人口。这段时间的下降也标志着牧场的增加，而农业指标低于青铜时代的分数（图S7）。最后记录期间（约300至约90BCE）的水位增加但仍保持在中值附近。水位和放电的小波分析显示550年周期，类似于PCA-Axis1记录的周期（图S6）。以零滞后为中心的正相关（滞后0 = +0.791，P = 0.05;图S3C）也表明水变化与生态系统动态有关。

我们建议Tel丹附近的湿地植物群减少（图S2）是栖息地干燥的结果，因为减少了对沼泽地的淡水输入，产生大面积的积水，沼泽边界和咸水坑（图4），被干旱的植被类型所包围（图S2）。在低沉降密度期间（公元约2500至1950年，公元前约1050至850年，以及公元前约550年;图4）占据该地点的人口居住在具有挑战性的环境中并且可能遭受与沼泽有关的疾病。

讨论：：

过去4500年（12,27,58-60）在地中海和西亚多次发生的干旱事件严重影响了生态系统，并导致环境退化，破坏了栖息地与社会经济系统之间的传统平衡（13,61）基于生存的人口可能从农村耕地迁移到城市中心的周边地区。在2007年至2010年的3年干旱期间，现代叙利亚见证了这一结果，导致了广泛的作物歉收和农业社区大规模迁移到城市地区（22,62）。同样，在Tel丹地区（公元前2150年至1950年，公元前1050年至840年，公元前550年至350年）持续干旱阶段，适应性社会结构似乎变得极其脆弱。对于寻求避难区的人来说，放弃雨水平原和栖息地追踪水文多样的景观（河岸，封闭和岩溶避难所）是唯一的弹性策略（12）。向河岸和喀斯特地区的春季地区迁移，例如Tel Dan肥沃的地区，造成了资源竞争，群体之间的紧张关系，以及最终城市的半封闭（图3B）。

一旦中央权力机构和城市框架崩溃，灌溉和排水系统 - 那些使Tel丹周围地区进入呼拉谷的高效生产系统 - 不再得到维护，山谷又恢复了它的沼泽，疾病缠身前自我（图4）。为了理解在这些时期内Tel丹及其周围发生的事情，可以从中世纪时期直至公元19世纪（49,63-66）与Hula Valley的定居模式进行平行。在蒙古突袭（公元前1240年）（67）之后，由于缺乏管理排水和灌溉系统的强大中央权力机构，沼泽地在山谷中扩展到Tel丹。灌溉水库，河道和水闸被腐烂，形成一个“泥泞的野”（63），被水媒疾病，主要是疟疾（疟原虫）感染，由蚊子Anopheles传播（64,68）。自希波克拉底（公元前5世纪）以及后来的罗马帝国时期，疟疾与沼泽有关（69），这种疾病被解释为沼泽引起的m气（70）。游牧居民离开了夏季时的呼啦谷当蚊子的密度幼虫和成虫较高（71）并返回播种高粱和水稻;然而，疟疾是如此普遍，以至于疾病控制了贝都因人群的密度（67）。在公元19世纪至20世纪，生活在胡拉谷的贝都因人（阿拉伯语中的“Buhairat al Hula”）只保留了他们的永久定居点，因为人口不断涌入。沼泽地只为居民提供了边际生活，热和疟疾使恶劣和具有挑战性的条件恶化（72）。他们的生存生活方式基于湿地（例如纸莎草收获），动物（水牛和牛）以及湿地（及周边地区）农业（玉米，水稻和小麦）的资源（64），类似于伊拉克南部底格里斯 - 幼发拉底河沼泽地的Ma'Dan Marsh Arabs（73）。由于慢性疾病（63）和通过消耗积水（腹泻病或胃肠道疾病）传播的粪口病病原体，死亡率极高。

对于人口来说，疟疾是如此令人震惊，以至于在1951年至1958年间，湿地不仅用于扩大农业生产，而且还用于消除水传播疾病（64）。据我们说来自Tel Dan的数据显示，在城市成为低密度村庄（公元前2500至1950年，公元前1050至840年以及公元前550年左右）期间，疟疾的条件变得最佳，并且在此期间放弃了灌溉和排水系统。赫尔蒙山投入减少的时期，共同导致有机污染的盆地，池塘和积水的水坑。诅咒被错误地解释为十字军（63）进口的疟疾，是黎凡特中一个成熟的祸害。它的传播被认为是在1万到5年前在非洲和中东开始，受农业和早期城市发展的影响（74,75）。东地中海青铜时代疟疾的最早证据来自埃及，其中图坦卡蒙尸体的遗传指纹识别显示该疾病的痕迹（公元前1348年至1339年第一年）（37），以及图坦卡蒙的直系（76）和从新王国到晚期（77）的墓葬复合体中的木乃伊组织。至少早在公元前2千年（76,78），马拉里亚就是尼罗河流域的特有种。早在公元前4千年（79）。许多埃及人会成为疟疾的携带者。至少早在青铜时代晚期，大约公元前1500年（80-82），埃及人居住在约旦河谷。

在公元前4世纪后期，他们还作为定居者来到青铜时代早期的黎凡特南部海岸平原（83）。几乎可以肯定，疟疾是塑造古代迦南低地人类生活方式的关键因素（84）。尼罗河谷和尼罗河三角洲是广阔的沼泽地区，因此是Anopheles（76）的完美繁殖地，类似于Dan地区一直到Hula Valley。

在淡水输入减少期间，灌溉和排水渠道的维护可能缓解了疟疾流行病的祸害（图3D）;然而，在这些长期内持续存在低人口密度（图3B）阻碍了有效管理。低密度可能首先是由于害怕捕食造成的，因为我们假设这个城镇已成为掠夺或征服的目标。之后，缺乏集中管理的灌溉和排水系统，造成大面积的停滞水，并创造了有利于疾病，进一步抑制在这里定居。

从Tel Dan到Hula Valley的区域可以作为了解沼泽地社会，边缘和近处干旱地区未来的典范。古老的Tel Dan强调了当前全球气候变化背景下水传播疾病的威胁。虽然疟疾仍然备受关注，但非洲和阿拉伯半岛最近爆发的裂谷热（33,34,85）表明改变气候和非管理水系统将起到作用作为水传播疾病的催化剂，对当地人口的健康具有重要意义。

材料与方法：：

核心和年表：：

Tel Dan是一个长方形的土丘（约20公顷），位于赫拉山谷的东北部，靠近赫尔蒙山山麓（图2）。陆地和淡水生物指标是从675厘米的连续岩心（TD-1,33°15'00.24''N，35°39'13.18''E; + 209米平均海平面）中提取的，在冲积扇上钻探。 Nahal Sion（图S8），靠近Tel Dan的东侧，位于中青铜时代泥砖门附近的一个鳄梨园。核心年表基于九个加速器质谱14 C日期（表S1）。在中间核心中没有发现植物宏观遗骸或安全的大块部分，留下250至150厘米深度的浮动年表。使用CALIB REV 7.1和IntCal13校准日期样品（1s和2s校准，分别为68和95％的概率）（86）。岩心地层的平均时间分辨率为4年/ cm -1（每年2.5毫米-1）。我们认识到，这个平均值可能会掩盖更强烈的天气事件和严重排序的一系列更为极端的干旱或高降水年份。它会然后还掩盖了冲积层和花粉沉积模式中的一些时间变化。从单个核心的角度来看，这将导致插值的启发式练习，而不是作为时间上可靠的气候变化记录。然而，当相同的模式在不同位置的不同核心中重现时在地中海东部和西亚地区（12,19,20,41-44），我们可以将这些模式视为在某种程度上精确地反映时间维度。考古资料考古数据是自1966年以来在Tel Dan开展的超过50年（38次实地考察）的结（35,40,87,88），并作为补充文本汇总（见补充材料和表格S2至S4）。人口和人口估计密度是根据自1966年以来所进行的挖掘和勘察所收集的居住区域所测量的。所有这些估算都假定在整个场地中建筑单元的占有是基于所识别的地层视界中的物质文化的同质性。

考古资料

考古数据是自1966年以来在Tel Dan开展的50多年（38次野外活动）的结果（35,40,87,88），并作为补充文本汇总（见补充材料和表S2至S4） 。人口和人口密度的估计是基于1966年以来从挖掘和现场调查中收集到的居住区域的测量结果。所有这些估计都假设在整个场地中根据物质文化的同质性占据建筑单位的同时性。确定了地层视野。

植物学数据

使用粘土样品的标准程序制备来自核心TD-1的样品用于花粉分析。花粉频率（以百分比表示）基于陆地花粉总和，不包括当地的湿生植物和非血管密码的孢子。通过将当地的湿生植物 - 水生植物添加到陆地花粉总和来计算水生分类群频率。

统计分析

使用软件包PAST版本2.17c分析所有考古和植物学数据。定期插值（20年）首先应用于整个数据集。使用聚类分析（配对组作为算法和相关性作为相似性测量;图S1）研究花粉数据。聚类分析（降序类型）用于计算树枝的长度，使用分支作为生态

分类群之间的距离。还使用相关性作为相似性度量和最终分支作为根来计算邻近连接，用于分层聚类分析的替代过程，用于亲水性亲水性组分（图S1）。将每个星团相加以产生花粉衍生的植被模式。

通过评估花粉衍生植被模式的主要变化，运行PCA来测试陆地生态系统的排序（图3A）。 “农牧业活动”和“洪水平原河床”

组合（图S1）被排除在矩阵之外。主要方差由PCA-Axis1（称为生态变化）加载，其显示为线性年龄尺度上绘制的LOESS平滑（具有自举和平滑0.05）（图3A）。添加了一个箱线图，以区分极端值的自然变异性。

使用正弦回归（无相位;图3A）研究周期性以显示长期趋势，并使用以Morlet作为基函数的小波分析（小波变换）进一步检查（图S6A）。尺度图显示为线性年龄尺度的周期（log 2标度）。然后计算频谱分析以考虑频率/功率方面的周期性（图S6A）。增加了REDFIT分析以减少红噪声（过采样，1;分段，1;和窗口，矩形;图。 S6A）。使用自回归 - 移动平均分析和自相关（95％置信度）测试残差对周期性的潜在影响。

沉降强度曲线（图3B）和油脂分数（图3C）也显示为LOESS平滑（具有自举和平滑0.05），具有正弦回归的结果（相位自由），并绘制在线性年龄上-规模。对于每条曲线，框图是

还增加了从极端分数中显示的自然变异性。

通过添加“洪泛平原”和“河床”（图S1）的集群创建了地表水曲线（图3D），并以与另一个相同的方式表示。曲线（LOESS，正弦回归和箱线图）。然后通过用抗旱生态系统的变化校正地表水来产生河流流量曲线（图4）。一个将平方根应用于结果信号，并计算“减去平均值”函数。结果以正弦回归和箱线图显示（图4）。使用Morlet作为基函数的小波分析检查河流流量曲线的周期性（图S6B）和地表水曲线（图S6C）。

使用互相关分析群集，PCA-Axis1，农业和地表水之间的关系（P =0.05）。该互相关通过相关系数评估两个时间序列的时间对齐。该系列已经交叉相关以确定最佳时间匹配和两个选定变量之间的潜在滞后。然后将相关系数绘制为对准位置的函数（图S3）。考虑正相关系数和负相关系数，重点关注Lag 0值（以+0.50和-0.50作为显着阈值）。