USGA资助的

科研报告供您使用

草坪草行业面临的水的问题

草坪学领域领先科学家会晤探讨，就有关草坪草所面临的用水问题交换看法。

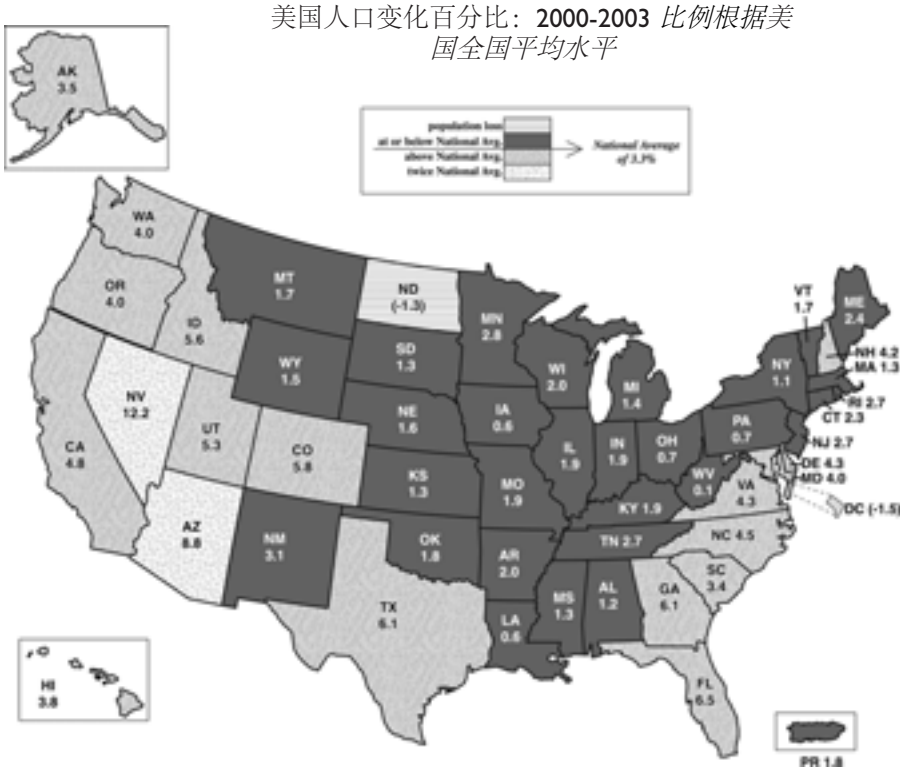
詹姆斯·比尔德　迈克尔·肯纳 著

种植在市区的草坪草影响着美国人日常生活的诸多方面。据估计，美国有大约5千万英亩需要维护的草坪，包括家庭草坪，高尔夫球场，体育场地，公园，儿童游玩场所，墓地以及高速公路路旁地带。预计这些草坪的年经济价值为400亿美金。[2]

科学家们已经列出了草坪带给人们和环境的一系列的好处，但是批评意见指出，相比其他景观植物，草坪需要耗费大量的水和使用过量的农药。很重要的一点需要指出，植物并不能够节约用水，但是人能够。草坪草属于禾本科，在没有农药和灌溉系统的情况下，它已经经历了上百万年的演变。世界上有些草能适应最湿润的气候，有些能适应最干燥的气候。有关草坪草的学术和行业研究将继续为本行业提供优质的草坪草，并同时减少农药的使用和水的使用。

图1

美国人口变化百分比：2000-2003 *比例根据美国全国平均水平*



水的危机

人口分布与水资源供应之间不再存在显著的关系。美国西南沙漠地带（亚利桑那州，内华达州和加利福尼亚州）是增长最快的区域，[7] 这个区域不可否认存在着供水和分配的问题 (图 1)。据美国地质调查 局（USGS），在过去的45年，总淡水提取量在下降，而人口却在增长。美国地质调查局的结论是，更高效的工业和农业对水的使用是在人口增加的情况下，水提取量减少的原因。

城市用水可以分成室内和户外用途。室内用水保持一年四季相对稳定；然而，夏季出现的水需求高峰期是户外用水的结果。即使在水源充足的地区，当高峰期的水需求成为水务机构决策的主导因素时，经济或投资方面的担心也会因此而存在。缓和高峰期的需求是水务机构的目标。由于需求曲线的高峰通常位于户外用水增加的时间，因此节水工作的目标重点主要是放在景观用水，特别是草坪的用水上。

显而易见，节约用水可以有积极的益处，例如水的供给可以延伸到更多的人或扩展到其他用途，而且可以减少开发新的水资源的成本。但是，户外用水的估算很复杂，并且有一些缺陷。有必要进行更多的研究和分析，以改进户外用水。此外，还需要弄清不同的景观植物使用水的量，有多少水量是以蒸发，径流或流入地下水的方式回归的。

低降水量的景观

在降雨缺乏的地区没有得到适当灌溉的草坪会引发一些问题。这七类问题包括病害和空气中的粉尘，受热胁迫的局部孤立区域，野外火灾，土壤流失和洪灾，城市污染，犯罪活动以及社会的不和谐。通过制定公共法律来免除对水的某一项使用的简单方法成为了一种趋势。这种“一刀切”的方法，不允许灌溉所有或部分的场地（如草坪）会导致其他潜在的严重问题。

在制定相关的法规条例，将灌溉在城市景观中全部和部分地除去时，有关官员应该考虑到可能产生的后果。城市景观中的草坪草／土壤形成的生态系统为社会提供了很多其他有益的功能和用途。不容置疑，它在社会和经济方面的价值是显著的，但是关于它的经济价值量化的研究还有待进行。

可以实施其他一些效果明显的节水方法以进一步达到更好地节水，而不是在低降雨量地区消除对水的一些使用。这些措施包括从草坪灌溉的可持续发展的最佳管理措施（BMPs）到对城市供水系统泄漏的修复。不合理的法律规章，以及“草坪费钱“的思维方式会减少草坪面积，增加观赏灌木和树木的使用，这反而会增加用水量，所以这不是有效的解决方法。在人口密集的地区，综合地和整体地衡量水的使用是至关重要的。在城市景观的空地避免种植草坪的情况应该只在干旱气候条件下不得已而为之。草坪不仅使用水，而且还收集，保持，和清洁水，同时增加地下水的补给和促进蒸发散热。

精确控制根区的水分含量对提供最优良的打球场地条件是至关重要的，特别是在果岭。 在今年多利松（Torrey Pines）举行的美国公开赛上，美国高尔夫球协会（USGA）的果岭农艺师帕特 . 格罗斯检查果岭的水分含量。

监管问题

环境保护署（EPA）负责执行清洁水法案和安全饮用水法案，海岸区法案的某些部分，以及保护我们的海洋和海岸的一些国际公约。 EPA的任务是用成本效益的方法，尽可能地防止污染，以减少对人类和生态系统的风险。近年来，水的安全成为了EPA的使命中更加重要的组成部分。霍尔的文章讨论了安全饮用水法案和清洁水法案的历史和背景，以及这两个法案的目标是如何与联邦，州和地方的执法结合在一起的。[9]

市政政策

有两种完全不同的法律体系主宰了美国整个地区的水的分配。河岸水权体系适用于在传统上被认为是湿润地区的东部29个州，对于河道流域土地的拥有权决定了对河流的使用权利。在水的短缺时期, 在河流流域所有的土地拥有者都必须减少对水的使用。由于西部水资源的短缺，水的使用权如果是依据对河道流域土地的拥有权而定就很不合理，这就产生了水使用权的“先占水权”体系，它最开始是由加利福尼亚州的采矿业主使用，后来被西部九个干旱州采用。

根据先占的法则，水的使用权是由调配水资源并将它使用于有益的用途而获得。如果一方对水的调配“在先”，便具有比后来的人更“优先”的权利。在水资源短缺的时候，优先权必须完全满足之后，才能满足次等权利人的需求，一些时候，会导致次等权利人完全得不到水用。理查森的文章将进一步解释这些系统以及其他各项现有的水资源政策。[16]

在美国，大多数的水资源政策是由州和地方（市）政府一级制定；饮用水系统非常分散，其结构分四种基本方式：（1）由地方政府拥有，（2）独立的政府机构，（3）私营公司拥有，（4）公私合营。美国有53,000个社区供水系统，提供90%的美国人使用的自来水。只有424个社区供水系统的服务人口超过10万人。总体而言，80%的美国社区供水系统为82%的总人口服务。地方政府或独立的政府机构拥有86%的社区供水系统。

从历史上看，水的定价反映了水在获取，处理和运输方面的成本。因此，这种方法常常会掩盖更大的、不容易量化的、节约水源方面的社会效益。至于水的费用，已经有完善的政策，主要是因为美国自来水厂协会（AWWA）的工作，该组织成员提供整个美国约85%的饮用水供给。

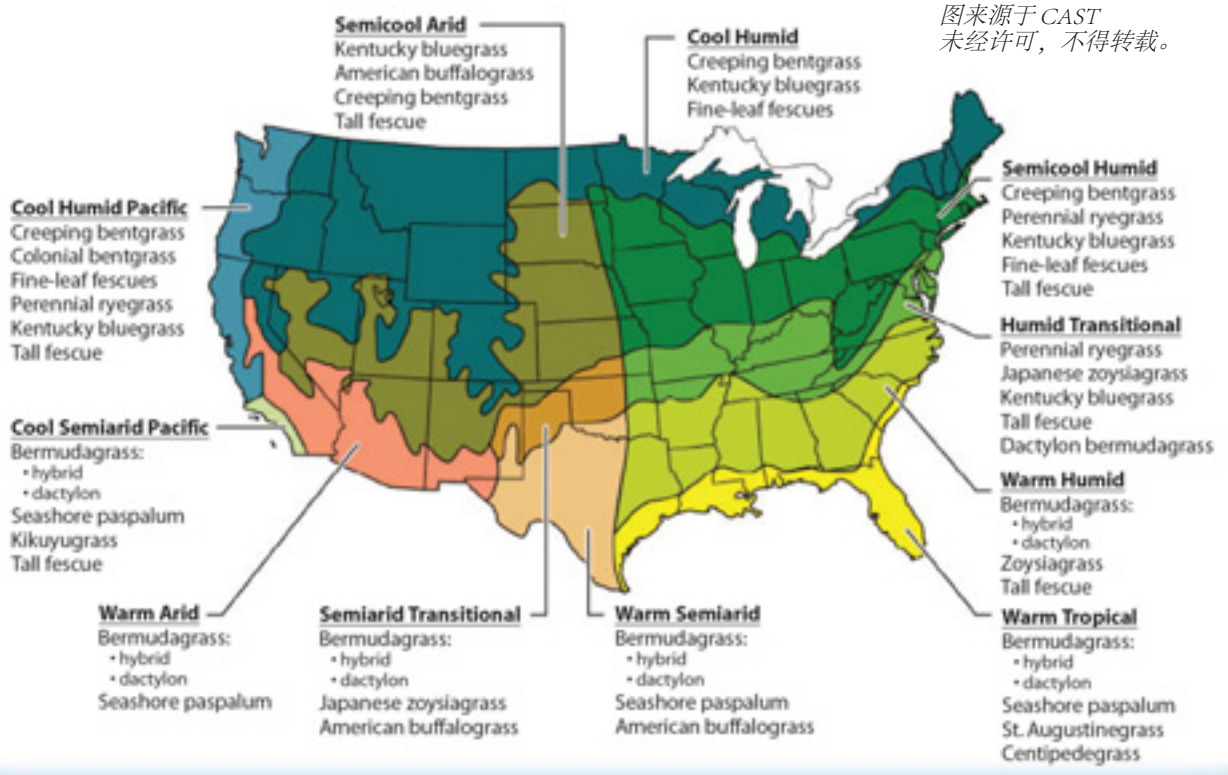
草坪草与环境

节约水源的第一步是选择正确的草坪草，能够适应气候生长的草。肯纳列出了美国的气候带图以及冷季型和暖季型草坪草的分布（图2）。[13] 在过去的30年里，草坪草科学家已经确定了主要草种的用水率。草坪草赖以生存所需的水量比大多数人的想像要低得多；几种草坪草品种具有良好的抗旱性。大量的有关信息可以在互联网上查找，如密歇根州立大学网站（http://tic.msu.edu）的草坪草资料文件。

通过环境保护署（EPA）注册的施用于草坪草的农用化学产品，经过几个过程后，这些化学物质分解成无生物活性的副产物。两个关注点 – 农药和营养素是否淋滤或从草坪区径流流逝。农药或营养素通过土壤系统由于水的作用向下运动被称为淋滤／淋溶。 径流是降水或降雨离开土壤表面的部分。有几个相互作用的过程能影响农药和化肥对草坪草的作用。对农药和营养素产生影响的七个因素包括：挥发，水溶解度，干扰，植物吸收，降解，径流和淋滤。[13] 在伯兰罕[3]和金与巴洛克[14]的文章中有进一步研究这些过程，以及农药渗入地下或地表水的可能性。

图2：主要草坪草气候带以及草种在美国的地理分布

图来源于 CAST
未经许可，不得转载。



土壤水分

水流入土壤的量一部分是受当地气候的影响。降雨将水置于土壤的表面，雨的强度和持续性决定了水渗入或径流的量。太阳的辐射，相对的湿度以及风力会影响水的蒸散率。水流入土壤的量也会受草坪草植物的特征和目前生长阶段的影响。大气对蒸发的需求受从土壤中（为蒸散）吸收水分的植物的缓解。因此，不同种类和不同品种草的冠层阻力的差异，以及草坪草不同的农艺种植方法也会影响土壤对水分的吸收。

水流入土壤的量由土壤的孔隙空间对水的留存和传输能力决定。[15] 粗质的土壤有更好的传输能力，细质的土壤有更好的保持水的能力。先前土壤的含水量也会影响水的渗透速度和流经土壤的情况。

地下水

草坪草和相关的管理措施能减少农药和营养素渗入到地下水的可能。在伯兰罕的文章中，讲述了通过营造健康的草坪来保护地下水的方法。[3]草坪草能对（营养素和农药）的淋滤产生相当大的防止作用。

对于高尔夫球场来说，一个最重要的问题就是球场的管理如何影响周围水源的水质。美国高尔夫球协会出资开展了几项研究，分析草坪草中营养素和农药的转移，以小面积区域和大面积的流域为研究对象。

因为高含量的有机物和相关的微生物活性可以起到固定和降解农药和硝酸盐的作用。过度的灌溉或大量降雨引起优先流或大孔隙流，会减少这些优势，将溶解物冲出到微生物活动的区域之下。

对农药的影响一概而论是不明智的做法，因为每一种农药具有不同的特性，会影响其分散和结果；然而，目前大多数用于草坪草的农药对地下水产生污染的风险很小。健康的草坪草有能力吸收大量的营养素。然而，硝酸盐的淋滤可能会造成问题，在草坪草行业的某些领域，因为没有将草的生长年龄和割草后（氮素）的回归作为考虑因素，从而氮肥用量没有得到减少，

地面水

在过去的二十年里，人们对从城市景观地面的径流量（地面水流走量）以及其化学成分的认识了解有所增加；然而，需要更多的信息才能做出任何涵盖范围广泛，普遍的结论。在金与巴洛克的文章中讨论了土壤表面径流的因素，如气候，场地和土壤状况，以及管理方法。[14] 最显著的气候因素是降水量，蒸发量和温度。场地和土壤状况也会影响泥沙，营养素，农药从场地流失的可能性。最显著的场地和土壤的影响因素是土壤的质地和有机物质的含量，体积密度，渗透系数，茅草层，景观的坡度，以及接近水源的距离。

影响地面径流中最关键的因素是管理，包括灌溉，排水，肥料和农药的施用，以及农艺技术操作。 在合理的情况下，可以将径流量控制在少量范围，并且让农药和营养素的流失少于农业种植产生的流失。[14]有关在多种地理状况下，长期跟踪的冷季和暖季草，和自然条件下，明确界定的集水区的数据记录会更进一步说明这方面的情况。

农药和营养素模型

制定各种草坪管理方法的研究人员，监管部门，关注农药和营养素从场地流失的社区，制定草坪最佳管理实施方法（简称BMPs）的各类科学家和工程师，需要依靠数学模型来预测草坪中化学物质的最终结果／走向。然而，大多数像这样针对草坪草的模型还不存在，草坪草不同于耕作物的特性应该纳入模型的算法和输入指南中。此外，还会有这样的根本问题存在 — 关于模型在各种场合的应用，它提供可靠预测的能力如何。虽然模型是非常有用的工具，但其内容和应用程序必须要不断地审查和改进。

水生植物在这个小湖中的种植能过滤营养物质，并且为水生生物提供栖息地。

科恩等人总结了有关预测草坪化学物质离开场地流入水源的数学模型的技术／应用的重要实践和研究。[5] 这些模型是对草坪化学物质进行风险评估和风险管理的重要工具，但它们得出的结果有可能会极大地偏离实际的情况。与耕作物的农业系统相比较，在评估草坪化学物质的最终结果／走向时，存在基本的概念模型和算法的问题。

选择植物

当叶片面积／叶片伸长率减少，草坪草的密度增加，水的用量就会减少。此外，具有深度和丰富的根系的草坪草更具有抗旱性，并且更具节水潜力。根据广泛的研究资料表明，水的使用量根据植物的种类和品种的不同而有所差异，并且受外部因素影响，尤其是环境因素。选择耗水量低和／或耐寒性强的草种是减少用水的主要方法。并且，选择适宜当地气候生长的草的种类和品种也会大大地减少水的用量。例如，在干旱和半干旱的气候条件下，暖季型草使用的水要比冷季型草要少。在德维特和莫里斯的文章中，解释了选择植物的因素与节水之间的关系。[6]

目前，我们缺乏树木，灌木，地被植物用水方面的数据，同时关于生长条件和灌溉对这些用水产生的影响也不甚清楚。需要注意到，以草地为主导的植物群落在干燥气候下与林地相比较的情况。重点应该放在选择功能性强的景观植物上，避免在没有合理的理由时取缔整个植物种类。尽可能使用耗水量低的草坪草品种。

草坪用水

随着水的供应变得越来越有限，而且成本也越来越高，在草坪草的种植中，节水就变得非常的重要。如果没有充足的水分，草坪草就会变黄干枯，在严重情况下甚至死亡。草坪草的生长特性中，影响用水的方面包括，顶冠的构形，叶片的方向，分蘖或芽的密度，生长习性，根的深度和密度。不同的种类和品种对水有不同的需求，并且受多种外部因素的影响，特别是环境因素。在黄氏的文章中有探讨不同的草坪草用水的特点，以及环境因素如何影响草坪草的用水。[11]

草坪草的用水是由植物生长和蒸腾（水从叶片散失）所需的水的总量，再加上水从土壤表面（蒸发）的损失量来进行计算。蒸腾的水量占输送到植物的水总量的90%以上，而只有1%至3%的水量实际用于代谢过程。

休眠时的草坪草的蒸腾水损失会很少甚至没有，因此具有低的用水量。休眠期草坪草的叶子变成褐色是对缺乏水的适应反应，但在茎的生长点并没有死。在一般情况下，特别是那些有匍匐茎（地下茎）的草坪草，可以在没有水的情况下存活数周或数月而不会有很大的伤害，这取决于大气的温度。在低维护地区让某些草坪草进入休眠状态会起到明显的节水效果，而且不会造成草坪草的损失。

草坪草的用水是受环境因素如温度，风，太阳辐射，相对湿度，土壤质地和土壤湿度的影响。这些因素同时会影响植物蒸腾和土壤水分蒸发。了解影响用水的环境因素对制定有效的草坪草农艺策略是非常重要的，尤其是在供水有限的地区。有关重要的植物生理状况和不同类型土壤水分含量的知识对制定灌溉日程计划非常重要 – 何时灌溉，需要多少水量来补充因蒸腾造成的水流失以及灌溉到达土壤的深度是多少。

农艺技术操作

有足够的研究证实一些特定的农艺技术操作，或系统方法可以降低草坪草的用水量，达到节水，和增强耐旱的能力。草修剪的高度和频率，营养和灌溉是直接影响植物垂直伸长率，叶片表面积，冠层阻力，生根特性以及用水量的主要农艺操作。在希尔曼的文章有谈论到，实施这些操作方法，可以立刻达到节水和保持草坪草质量和功能的效果。[17] 辅助性的农艺措施如草种植，表面处理，湿润剂，植物生长调节剂和虫害管理也会影响草坪草的顶部和根部的生长，从而对节水产生潜在的影响。

实现有效的灌溉

在哈克和左德斯基的文章中有探讨高效率的灌溉用水的诸多因素，从合理的系统设计开始，一直到安装、管理和灌溉系统的维护。[12] 一个重要的因素是提供景观所需的适当水量，避免水的深度渗漏和径流。这种做法可能包括控制阀的循环，以尽量减少灌溉水在表面的流动。

美国高尔夫协会资助了一些研究项目，以了解高尔夫球场草坪的水文，地表径流，径流和淋滤。这个俄克拉何马州大学的项目的目的是研究如何通过使用沿球道边缘的植物过滤条带来减少径流。

高效用水的第二个重要因素是尽可能做到均匀地灌溉。近年来，为草坪草创新设计的自动喷头和用于景观植物的滴灌／微灌系统大大地提高了灌溉的均匀性，如果在正确设计和安装的前提下。现有的工具能让设计人员在购买和安装灌溉设备之前，通过操作模型来模拟喷头浇水的均匀性。因此，在购买灌溉系统之前，在合同中特别指出对灌溉均匀性的要求是合情合理的。

安装以后的审查可以用来验证系统的性能。住宅灌溉系统中经过改进的控制器，结合高度均匀的喷灌和/或滴灌系统，将会促成高效率的用水，从而会产生比传统方法更显著的节水效果。这种方法已被广泛的草坪草区域的应用所证实，并且需要在家庭景观的应用中加以重视。

再生水的应用

在干旱的地区，人口密集的大都市，水是一种有限的自然资源，在灌溉景观时，使用城市再生水，未经处理的生活灰水，或其他低质量（含盐）的水是应对饮用水短缺的一种可行手段。在哈里瓦蒂等人的文章中阐述了有关的方法，以及再生水使用的利弊。[10] 多年的实践以及对大量草坪草实地的观察，让我们确信再生水或含盐水可以成功地用于草坪草的灌溉。 使用这种方法产生的节水效益已经超过了它所带来的负面影响。然而，在制定适当的农艺方案使用再生水之前，再生水／含盐水的水质必须要经过彻底地评估。

灌溉水的质量，由水中溶解盐的量和种类决定其作用，它会影响土壤的化学和物理的特性，进而影响植物－土壤－水的关系。这种相互关系可以通过常规的化学分析进行监测，并在许多情况下可以得到管理控制。目前，使用家庭灰水来灌溉住宅的景观没有被广泛实施。需要更多的研究来确定使用这样的水最有效，最便宜，最安全的（关于人类健康）方法。

公共政策办法

一个节约用水的计划可以做到非常的行之有效。它可以以科学为依据，并且被社区的居民广泛接受。德克萨斯州，圣安东尼奥的节水计划就符合这样的情况。圣安东尼奥处于半干旱气候状态，从上世纪80年代初至今，人均年用水量的下降已超过了40%，但它却避免了与景观浇灌发生冲突。取得成功的原因是因为圣安东尼奥的供水系统认识到草坪对于城市居民生活的价值，并与他们共同合作，建立了一套完整的节水计划，在减少景观灌溉用水的同时，积极改善基础设施、改进低效率的管道，实施先进的工业技术以及其他节水措施。景观浇灌的节水措施要根据外部的研究报告和当地的调查研究来确定机遇，它会引起草坪管理的变化，植物种类或品种的选择，以及灌溉技术的改进，而并不是试图消除草坪。

每个社区的情况不同，减少用水的方法也会有所不同。圣安东尼奥的例子表明，在享受草坪益处的同时，可以做到节约水量，并且符合当地居民对草坪作用的积极态度。[8]

全面综合的分析评定

在卡罗和邓肯的文章中，阐述了综合全面管理水质和环境的各种方法。[4]由环境保护署在过去35年间建立起来的最佳管理措施方法（BPM）旨在保护地面水和地下水不受泥沙，营养物质以及农药的侵害，有长期的跟踪记录证明，这些措施已被成功地执行贯彻，因为有一些关键的特征存在。它是以科学为依据的；整合生态系统（整体）中所有策略；体现了各利益方在社会，经济和环境问题上的担忧；重视教育和交流推广；欢迎融入新技术；已经被用在监管，流域，社区以及特定场地等不同的层面，以及教育领域，并且它保持灵活性以适应新情况。因此，该最佳管理措施方法（BPM）模式是处理其他复杂环境问题，如节约用水问题的应用样板。

在提供优良的场地条件的同时，又要做到节水是所有高尔夫球场管理者的首要任务。这需要仔细地手工浇灌果岭，因此可以保持果岭硬实，且适度的状态，最大程度减少推杆果岭所受的胁迫。

环境管理系统 (EMS) 的方法将一个场点的所有环境问题以及相关的后果都归到一个范畴之下。当某个单一问题（例如，节约用水）被用来作为对草坪草行业或某一设施的攻击目标时，并不罕见的做法是将减少水的用量作为唯一达到目的手段，而没有考虑到对经济／就业的影响，以及意想不到的环境后果。在环境管理体系中（EMS），环境问题的方方面面都能得到处理，其中包括一些潜在的不利影响。

总结

在人口增长与水供应不足的地区，用水危机是一个悬而未决的问题。即使在水源充足的地区，当高峰期的水需求成为水务机构决策的主导因素时，经济或投资方面的担心也会因此而存在。人们倾向于用简单的方法来消除某项水的使用，以颁布法律的方式来实现。禁止所有或部分区域的灌溉（如草坪）的单一解决问题的办法，会引起其他潜在的严重问题发生。官员们在提出全部或部分禁止灌溉市区景观的立法建议时，应该考虑到可能产生的后果。

美国目前没有全国性的水政策，一部分原因是与国家的历史有关，另一部分原因是因为大多数的水问题被当作是地方的问题来处理。造成了极其分散的输水系统。全国水问题需要以综合方式加以解决，重点项目应放在流域一级 。有必要协调众多的律法，行政命令和国会指导，这些已经造成了分散脱节，各自独立的国家水政策。需要认识到国家所面临的财政现状，有效地与联邦，州，部落和当地政府一起合作来应对水的问题。

对于景观草坪，节约用水的第一步是选择适合在当地气候生长的草坪草。有足够的研究证实，使用特定的农艺措施或系统方法，可减少草坪的用水，节省水源并增强抗旱性。这些方法可以立刻起到节水和维护草坪草质量和功能的效果。

再生水和含盐水可以成功地用于灌溉草坪草。由此产生的节水效益远远超过了潜在的负面影响。在制定适当的农艺方案使用再生水之前，再生水／含盐水的水质必须要经过彻底地评估。如果使用灌溉系统，正确设计，安装，管理和维护是非常重要的。其中一个关键因素是在景观需要浇灌时提供适当的水量，以防止深层渗漏和径流。

其他问题包括从草坪区淋滤和径流流失的农药和营养物质。安全饮用水法案和净水法案的立法历史和内容都指明，联邦、州和地方政府要提供清洁安全的饮用供水。重要的是要知道，健康的草坪在吸收所施养分，分解农药，帮助补给地下水和减少地面径流方面具有极大的能力。问题的关键是管理，这包括灌溉、排水、肥料和农药的施用，以及农艺技术。根据景观草坪的调查研究，径流流失量普遍较小，农药和营养物质的流损也小于农业生产。这项信息被用于制定草坪化学物质的风险评估模型和风险管理模型。

由环境保护署制定的最佳管理措施（BMP）有长期的跟踪记录表明，它在被成功地执行贯彻。用类似的方法制定节约用水计划会非常有效。它能够以科学技术为基础，并可以被社区居民所接受。最终的目标是在节约和保护供水资源的同时，为日常活动和休闲娱乐提供优质的场地。

致谢

作者要感谢美国高尔夫球协会的草坪与环境研究计划，美国农业部农业研究服务署（USDA-ARS），国际草坪生产者基金会，行业对环境负责组织（Responsible Industry for a Sound Environment （RISE）），以及美国灌溉协会，为2006年1月23日至25日在内华达州拉斯维加斯举行的为期三天的研讨会提供资金。

本次研讨会，由美国农业科学和技术委员会（CAST）主办，为研究人员，科学家，环保主义者以及水资源专家提供了一个共同参与和探讨草坪和水资源行业所面临的问题的机 会。研讨的结果刊登在农业科学和技术委员会特刊27期上，题为*城市景观草坪草的水质和水量问题*，可从爱荷华州埃姆斯的农业科学和技术委员会（CAST）获取。有关订购该重要出版物的信息，请访问http://www.cast-science.org/ 。

文献引用

1. Beard, J. B. 2008. Integrated multiple factor considerations in low-precipitation landscape approaches. Pages 33-40. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

2. Beard, J. B., and M. P. Kenna (eds.). 2008. Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

3. Branham, B. 2008. Leaching of pesticides and nitrate in turfgrasses. Pages 107-120. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

4. Carrow, R. N., and R. R. Duncan. 2008. Best management practices for turfgrass water resources: holistic-systems approach. Pages 273-294. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

5. Cohen, S. Z., Q. Ma, N. L. Barnes, and S. Jackson. 2008. Pesticide and nutrient modeling. Pages 153-170. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

6. Devitt, D. A., and R. L. Morris. 2008. Urban landscape water conservation and the species effect. Pages 171-192. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

7. Fender, D. H. 2008. Urban turfgrasses in times of a water crisis: benefits and concerns. Pages 11-31. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

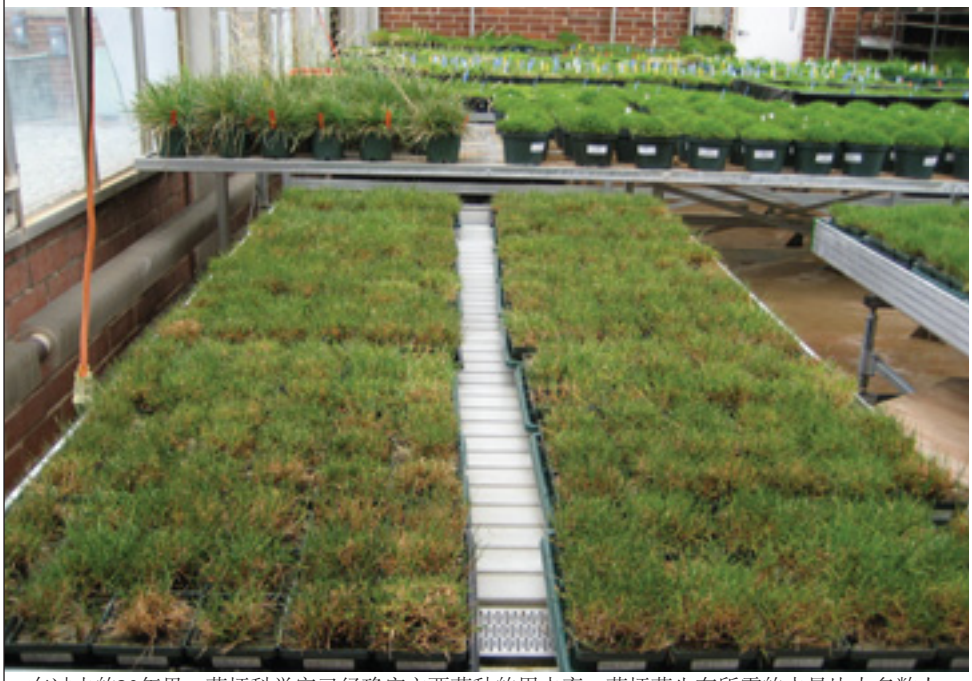
8. Finch, C. 2008. San Antonio water conservation program addresses lawngrass/landscapes. Pages 259-272. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

9. Hall, B. 2008. Regulatory considerations for water quality protection. Pages 41-52. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

10. Harivandi, M. A., K. B. Marcum, and Y. Qian. 2008. Recycled, gray, and saline water irrigation for turfgrass. Pages 243-257. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.

11. Huang, B. 2008. Turfgrass water requirements and factors affecting water usage. Pages 193-203. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa. (TGIF Record 133443).

12. Huck, M. T., and D. F. Zoldoske. 2008. Achieving high efficiency in water application via overhead sprinkler irrigation. Pages 223-242. *In* J. B. Beard and M. P. Kenna (eds.). Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa.



在过去的30年里，草坪科学家已经确定主要草种的用水率。草坪草生存所需的水量比大多数人想像的要低得多；几种草坪草品种具有良好的抗旱性。

詹姆斯·比尔德博士，得克萨斯州A&M大学草坪学名誉教授，得克萨斯州大学城；国际运动草坪研究所所长兼首席科学家，得克萨斯州大学城。迈克尔·肯纳博士，美国高尔夫球协会果岭研究室主任，俄克拉何马州静水城。