

紫金

从现代的观点来看再生水灌溉

阿里·哈利瓦蒂 博士 著



先进的污水处理技术将原污水转换成清澈的再生水，肉眼看起来和任何饮用水没有区别。然而，许多“溶解的”固体（盐）仍然存在，能否将这样的水用于灌溉水是令人关注的问题。

大多数人对“黑金”这一说法都很熟悉，它是对石油的另一种称呼，你也许听说过“蓝金”，它在某些地方，被用来称呼“水”。国际新闻越来越多地出现这样的故事—水被“私有化”，或成为那些将它商品化的人和那些认为获得干净水是一项基本人权的人之间的政治斗争。毫无疑问，人类正在污染和浪费水源，尽管人类对水的需求随着人口的增长在持续增加。因此，正如今天的战争似乎是在争夺石油，而未来战争可能会是争夺水资源（为了能更好地了解这一话题，请观看纪录片“蓝金：世界水资源的战争”（Blue Gold: World Water Wars），还有一本由巴洛和克拉克（Barlow and Clarke）撰写的书）。

农学家一般不扮演经济学家、外交家、或军人的角色。不过，有时候当我们所讨论的话题有很大的影响时，我们可以起到教育的作用。我相信，

回收水或再生水的使用正是这样的问题。当考虑到当今世界对水需求的紧迫性时，我想把再生水冠以“紫金”之名，因为紫色被正式指定为所有再生水的相关设施的标示颜色。与该资源打了30多年的交道，评估再生水在草坪和景观灌溉方面的潜力，我亲眼目睹了它的质量已经显著地提高。由于水质的提高，再生水的价值及其使用也在急剧上升。我相信，再生水，可以名符其实地被称作“紫金”，它的价值在不久的将来会被社会广泛地承认。目前，人类正面临着越来越普遍的干旱，栖息地的流失，以及饮用水成本的不断攀升，再生水是城市园林绿化灌溉的“紫金”。鉴于再生水的重要性，有必要对它的质量及管理措施进行回顾，以便成功地利用该资源。

水的分布 尽管四分之三地球表面被水覆盖，但在地球上所有的水源中，只有很少一部分是容易获取、且水质适合人的使用，其中也包括农作物和园林植物的灌溉。事实上，据估计，地球上全部的水中，仅0.02%是可以立刻获取的淡水—也就是说，相对容易获取，只需要消耗很少的能源和成本就能得到。地球上的那一小部分水资源包括雨水、储存在湖泊和水库中融化的雪水，以及河流可供的水。地球上99%以上的水不是在海洋里，就是被封锁在极地冰盖和冰川中。从这些资源中获取饮用水会消耗巨大的能源和昂贵的成本。然而，地表的和地下的淡水正在由于工农业的使用、人类直接消费而迅速地消耗殆尽。人口增长加快加剧了饮用水的短缺。此外，人类的活动继续污染着大部分地球的水资源，造成饮用水短缺。据估计，到2025年，地球人口将



高级废水处理涉及的工艺和设备类似于饮用水的处理。高级处理通常也被称为“三级处理”。

超过80亿，并且大多数人生活在大都市地区。世界上大多数的草坪（和景观种植）也在城市中心，在那里，人的用水和食品生产与高品质的灌溉用水之间形成了竞争。

还有另一个世界用水难题的因素——干旱成为世界大部分地区日益严重的问题。在美国和其他地区——在过去的二十年里，严重的旱情发生在不同的地区。在同一时期，大量的美国人迁移到“沙漠”之州。在这些干旱地区的房地产开发，以及与之相伴的景观场所（特别是高尔夫球场）已经显著增加了对水的需求量。

在大多数情况下，草坪和景观的灌溉在干旱时不是城市顾及的重点。所以在旱情发生时，严格限制草坪和景观的灌溉是常事，包括彻底关闭高尔夫球场或公园的灌溉系统。因此，使用再生水灌溉是对付干旱、水资源短缺、饮用水成本上升的一种可行的手段。目前，大量的再生水被用于灌溉高尔夫球场、公园、路边绿化、景观、墓地、运动场、草皮生产农场等等。伴随着更多和更高质量经过处理的污水可以使用，人们对利用再生水灌溉的兴趣也在增加。

污水处理在消除潜在的人类病原体的技术上变得更为有效。过去，处理后的污水只用于灌溉那些人们不直接食用的作物（例如：牧场、饲料、纤维和种子作物），还有果树——挂果需到达一定高度，且接触不到灌溉水源，以及用于制造加工食品的作物（例如做葡萄酒的葡萄，做西红柿酱的西红柿，做泡菜的黄瓜）。今天，大多数污水处理厂生产出的高品质的再生水能适宜（只要人类病原体含量得以关注）其他用途，如用于高尔夫球场、公园、运动场以及其他的城市景观场所。在美国的某些西南部沙漠地区，多数高尔夫球场（和相关的景观）只可以使用再生（或其他降低质量）的水来灌溉。在更大的范围内，再生水现在已经成为大约**15%**的美国高尔夫球场的灌溉水源，在美国西南部各州的高尔夫球场，比例接近**35%**。当把所有其他使用再生水灌溉的商业、团体和工业场所设施考虑在内，这个数字正在迅速增大。

水是如何再生的

“再生水”指的是水经过了一个周期的



在大多数情况下，当严重的干旱发生时，草坪和园林景观的灌溉不是城市的重点，因此导致草的干枯。

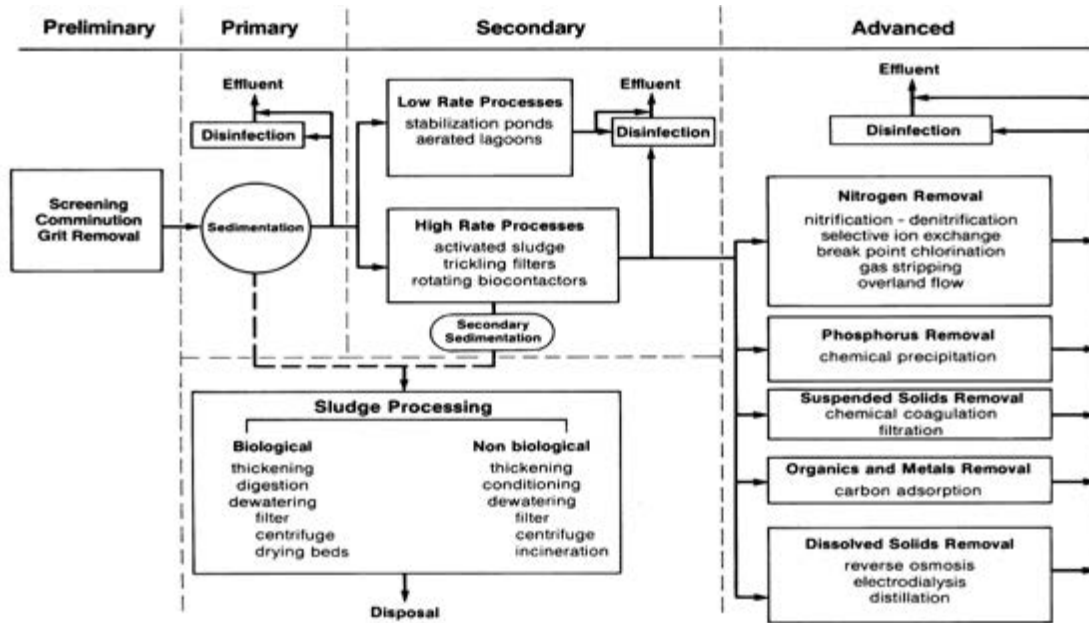
(人的) 使用后, 在污水处理厂进行深度的处理, 以达到各种再利用的用途, 其中包括草坪灌溉。再生水还有其他几个名称, 其中有: 再造水, 再利用的废水, 排放水, 和处理过的污水。取决于水处理的程度, 再生水被分为一级、二级、高级 (三级) 处理的城市生活污水和工业废水。一级处理一般是过滤和沉淀的过程, 去除废水中有机和无机的固体物质。二级处理是用一种生物方法, 把复杂的有机物质分解为结构更简单的有机物质, 然后利用简单的生物将其消化代谢掉, 这些生物最终也会在水中被除去。高级废水处理使用类似于饮用水的处理工艺, 如化学混凝和絮凝、沉淀、过滤、或通过活性炭器组成的吸附床来吸附化合物。高级处理常常又被称为“三级处理”。二级和三级处理显著降低了废水中的悬浮物和病原微生物。城市污水处理采用先进的工艺和设备, 以消除使人致病的微生物。图1呈现了三个级别处理的简化示意图。

污水处理将含有悬浮物及病原微生物的原污水, 转化成清澈的再生水, 肉眼看上去和任何饮用水没有区别。在几乎所有情况下, 再生水在离开处理厂之前, 已经被彻底地消毒。消毒大大降低了 (或完全消除) 使人类致病的生物, 并且扩大了再生水灌溉的使用。

然而, “溶解的”固体 (盐) 仍然存在, 能否将这样的水用于灌溉是令人关注的问题。在技术上是能够从污水中除去所有溶解的盐, 使用例如“反向渗透”的技术。“反向渗透”技术实际上已经在几个高尔夫球场上小规模地使用了, 它除去了水中几乎所有溶解的固体。然而, 成本却是可观的, 以至于目前在世界上鲜有使用。因此, 大多数可用于灌溉的再生水只经过了三级处理, 可能含有高浓度的盐。

草皮草特别适合于再生水灌溉。相比较其他景观植物, 草皮草能吸收相对大量的再生水中高浓度的氮素和其他营养物质, 并且, 这一特性可以大大减少由再生水灌溉引起的地下水污染的可能性。同样重要的是, 草皮草的种植一般是永久性的, 他们的成长也是连续的, 因此, 对不断产生的再生水有稳定的需求。目前, 大部分使用再生水灌溉的草皮草位于高尔夫球场。然而, 再生水灌溉在运动场、公园、许多工业和机构场所的景观、以

图1
废水 (污水) 处理的概括流程图



来源: Asano, T., 等人, 1984。城市污水: 处理和再生水的特点。Pettygrove和Asano (合编) — 使用来自城市污水的再生水 - 指导手册。报告编号84-1 wr。加利福尼亚水资源控制委员会, 萨克拉门托, 加利福尼亚州。

及草皮生产农场的使用也在不断地增加。

大部分城市要求设立标志（通常用紫色）来告知公众有关再生水的存在。这些工作的目的是防止任何人饮用或以其他方式直接使用再生水，从而避免与人类病原体接触的微小风

紫金，尽管也面临着问题和挑战。

相比其他大多数的灌溉水源，再生水通常含有较高浓度的溶解盐。盐在土壤中的堆积是最常见的问题。通常情况下，要经过长时间的灌溉后，盐才会在土壤里积累到足以损害植物的程度。除了含盐的灌溉水，自然降水

造成一定的离子（如钠）被植物大量地吸收，引起植物组织烧伤或与其他要素的竞争，造成营养不平衡。在大多数情况下，由于水中／土中高盐度所造成的伤害通常是这些因素综合作用的结果。



紫色现在被广泛接受为再生水输送设备官方标示颜色。几乎所有的灌溉系统都具备紫色的组件。



目前，大部分使用再生水灌溉的草坪位于高尔夫球场，运动场，公园等。然而，再生水对城市其他公共场所的灌溉使用正在不断增加。

险。紫色现在已经被广泛接受为再生水输送设备的官方标示颜色。几乎所有的灌溉系统都具备紫色的组件，其中包括管道、喷头、阀门和灌溉箱。

潜在的挑战

尽管有充分的理由使用再生水灌溉草坪，但是由于再生水的含盐以及其他特征，我们有正当的理由担心它可能会损伤草坪和景观植物。在灌溉中，溶解的盐和其他化学成分和水一起进入到植物根区。认识到由此可能出现的问题，并了解其改进措施能使草坪管理者能利用这一宝贵的灌溉资源，

不足，灌溉不充分，排水不畅都会增加产生盐渍土的可能性。

通常，当可溶性盐在根区的总含量很高时，盐度会对草皮造成问题。盐在土壤中积累到这样的水平的速度取决于灌溉水中盐的浓度，水的每年施用量，年降雨量，土壤的物理和化学特性。一旦根区盐分达到有害的水平，可能会出现一些问题。盐度可以抑制植物的根部吸收水的能力（由于土壤水分溶液的高渗透势）并导致植物出现干旱胁迫，即使在根部区域有充足的水供给。对于这种由于渗透导致的胁迫症状，“生理干旱”这一术语经常被使用。高盐度也会

如果草坪所接受的水量（灌溉加上降水）小于蒸发量和排水量，那么盐的走向是向下的。反之，如果蒸发量超过浇水量，盐的走向是向上的。在后者的情况下，盐到达表面逐渐积累到对草皮和其他植物有害的水平。诊断水/土壤含盐量总是从灌溉水和土壤的化学分析开始。

不同实验室的水中含盐量的分析报告会有所不同。可使用电导率（EC_w），以每米的deci Siemens（dS/m）为单位，或使用总溶解固体（TDS）的百万分率（ppm）或毫克每升（mg/L）为单位。

通常，质量可接受的草坪灌溉水的电导率小于0.7 dS/m (表1)。可溶性盐水平高于3 dS/m的水会伤害到草坪，不建议用于灌溉。含盐量高达3 dS/m的再生水可以被一些草种忍受，但只能是在具有良好的渗透性和底土排水性的土壤，通过定期的大量灌溉，会让草皮将过多的盐分从根区淋滤出。

为了农艺目的，除了盐度外，还必须评估再生水的钠、氯、硼、碳酸氢盐和营养物质含量，以及pH值和悬浮物质。这些元素会影响植物生长。管理者可以要求实验室分析他们的样品，

对他们认为可能对植物造成伤害的特定元素进行测定。手中掌握了分析的结果，管理人员可使用颁布的指南来决定他们的情况是否有问题，如果有问题，具体是怎样的。

钠含量和盐的含量一样，对再生水的质量是至关重要的。虽然钠可以直接毒害植物，但它对植物生长最常见的伤害是间接的，通过对土壤结构的改变。常见的高钠含量的再生水会导致土壤中粘土颗粒的抗絮凝性(分散)，或土壤结构破坏，降低了土壤的通气性和水的渗透、渗滤性。水涝和土壤板结是多余的钠引起的常见现象。在这样的情况下，钠的直接毒害性也可能最终会发

生。钠(Na)对再生水的危害性是通过钠吸附比(SAR)来测量的，通常计算如下所示：

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

由于钙(Ca)，镁(Mg)絮凝粘土颗粒，而钠则分散它们，这些元素在灌溉用水中相互之间的比例提供了在使用一种特定的水灌溉时，土壤可能的渗透性的衡量。这就是说，钠对土壤颗粒分散的效果(即渗透性)被高电解质抵消

表 1
灌溉用再生水水质数据解读指南

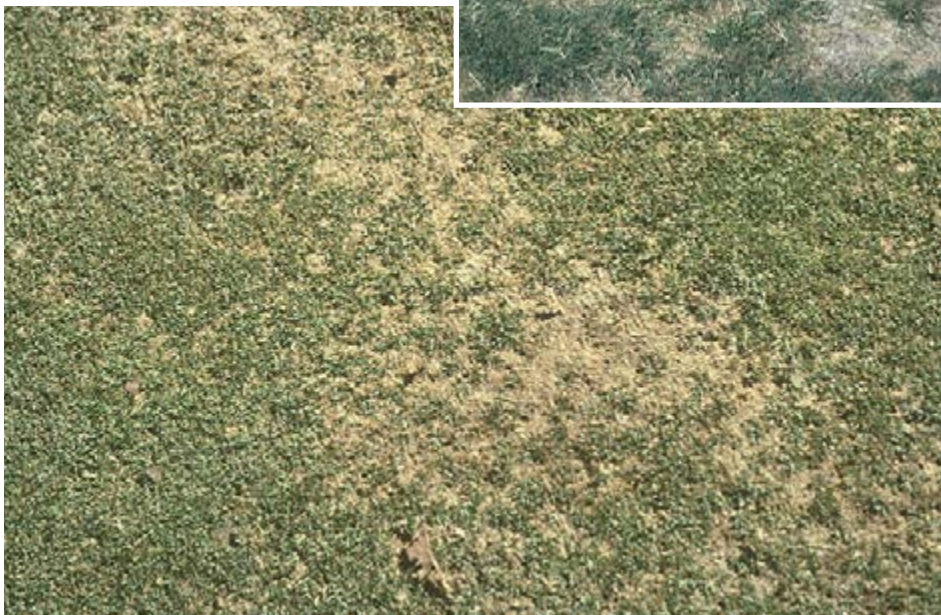
潜在的灌溉问题	单位	在使用上的限制程度		
		无限制	低度到 中度限制	严格限制
盐度				
EC _w	dS m ⁻¹	<0.7	0.7 至 3.0	>3.0
TDS	mg L ⁻¹	<450	450 至 2,000	>2,000
土壤中水的渗透性 (使用EC _w (dS m ⁻¹) 和 SAR 一起来评估: 如 SAR = 0 至 3, EC _w = 如 SAR = 3 至 6, EC _w = 如 SAR = 6 至 12, EC _w = 如 SAR = 12 至 20, EC _w = 如 SAR = 20 至 40, EC _w =				
		>0.7	0.7 至 0.2	<0.2
		>1.2	1.2 至 0.3	<0.3
		>1.9	1.9 至 0.5	<0.5
		>2.9	2.9 至 1.3	<1.3
		>5.0	5.0 至 2.9	<2.9
特定的离子毒性				
钠 (Na)				
> 根吸收	SAR	<3	3 至 9	>9
> 叶面吸收	meq L ⁻¹ mg L ⁻¹	<3 <70	>3 >70	— —
氯 (Cl)				
> 根吸收	meq L ⁻¹ mg L ⁻¹	<2 <70	2 至 10 70 至 355	>10 > 355
> 叶面吸收	meq L ⁻¹ mg L ⁻¹	<3 <100	>3 >100	— —
硼(B)	mg L ⁻¹	<1.0	1.0 至 2.0	>2.0
pH	—	正常 范围:	6.5 至 8.4	—



在使用含盐的再生水灌溉时，通常对草皮以外的景观植物的伤害出现在较低的枝叶上，因为与灌溉水直接接触的原因。

(右) 草坪草有不同程度的耐盐性。一些机构正出资研发具有高耐盐性的草坪草(如盐草)。

(下图) 使用含盐再生水灌溉，在盐分积聚的早期阶段，盐度所造成的胁迫可能会使那些稀疏，弱质的草更容易遭受其他类型的胁迫，如高温，干旱或疾病感染。



(水溶性盐)。因此，一种特定灌溉水对土壤渗透性可能造成的影响最好的衡量方式是通过评估水的钠吸附比(SAR)和电导率(ECw)。请注意，对于含碳酸氢盐高的再生水，一些实验室“调整”SAR的计算(产生了一个所谓的“调整的SAR”或“Adj.

SAR”)，因为土壤中的钙，镁浓度受水中碳酸氢盐的影响。简单说，Adj. SAR反映水中含钙，镁，钠，碳酸氢盐的量，以及水的总含盐量。水的ECw和SAR对土壤渗透率的综合效应见表1。该表仅提供一般性的指导原则，因为土壤性质，灌溉，气候，品种的耐盐性，以及农艺操作都会与水质和植物生长产生相互的影响。一般情况下，SAR低于3的水对草皮和其他观赏植物是安全的。当对细密结构(即粘土)的土壤使用SAR大于9的再生水灌溉一段时间后，能引起严重的渗透性问题。粗质(即沙)土遭遇的渗透性问题不太严重，可以容忍这一程度的SAR。例如，在高尔夫球场果岭和运动场使用高含砂量的草根区混合物，可以成功地使用SAR值高的水来灌溉，因为具有良好的排水性。

再生水通常还含很多不同种类的低浓度的元素。其中的一些元素如果在土壤中积累到一定程度，会对草皮和植物造成伤害。最常见的伤害是由于钠，氯和硼的积累所造成的。植物根吸收钠并运输到叶片，钠在叶片上的积累会对植物造成伤害。钠中毒的症状类似于盐烧伤的叶片。钠的毒性对景观植物的威胁比对草皮的威胁更令人担心，主要是因为每次割草的时候，钠都会被除去。

氯离子(Cl)，除了占灌溉水总的可溶性盐含量的一部分之外，还是可能直接毒害景观植物的另一种离子。虽然没有特别对草坪草造成毒害，它影响到许多树木，灌木和地被植物。

对于敏感的植物，在轻微氯中毒情况下，会引起叶缘焦枯，在严重的情况下，会让整个叶片死掉并脱落。幸运的是，氯化物盐很易溶解，因而可从具有良好的地表下排水的土壤中淋滤出。

再生水可能还含有硼 (B)，它是植物生长必不可少的微量营养素。过量的硼造成的伤害最为常见的表现是老叶边缘的坏死。草坪草对硼的承受力大于其他景观植物。表1提供了用于评估灌溉水中钠，氯化物，和硼的影响的一般准则。

pH值，酸度的测量，评估的数值范围从0到14。水的pH值很容易确定，并且它提供了有关水的化学性质方面非常有用的信息。虽然它本身很少成为问题，但非常高或低的pH值表明水需要做其他成分的鉴定。关于pH值的范围，pH值为7表示中性（即，pH为7的水既不是酸性也不是碱性的。）从pH7移动至pH0，水的酸性逐渐增强；从pH7移动至pH14，水的碱性逐渐增强。对于大多数草坪草，理想的土壤pH值是5.5至7.0；然而灌溉水的pH值的范围在6.5到8.4之间。取决于草生长的土壤，pH值范围在6.5-7之间的灌溉水是理想的。对于pH值在理想范围之外的再生水，必须要对其他化学成分进行鉴定。

再生灌溉水中的碳酸氢盐 (HCO₃)，以及在较轻程度上的碳酸盐 (CO₃) 含量也值得仔细评估。再生水中碳酸氢盐的含量特别容易过高。灌溉水中高水平的碳酸氢盐会增加土壤的pH值，并可能影响土壤的渗透性；与钙和/或镁相组合，碳酸氢盐沉淀为钙和/或镁的碳酸盐，这两者都增加了土壤溶液的钠吸附比 (SAR)。如前面所指出的，高的SAR会导致土壤渗透性的降低。为了确定再生水中

碳酸氢盐含量的负面影响，它的成分不是以HCO₃的 meq/ L (每升毫克当量) 在报告中列出，而是以残余碳酸钠 (RSC) 的成分列出。RSC是由以下所示的公式计算得出，其中所有离子浓度均以毫克当量/升 (meq/L) 为单位。

$$RSC = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg)$$

一般情况下，再生水的RSC值在1.25 毫克当量/升或更低时，灌溉是安全的，水的RSC值在1.25到2.5毫克当量/升之间时，灌溉安全性为边缘范围，若水的RSC值在2.5毫克当量/升或更高，大概就不适合用于灌溉。

再生水可能还含有较高的营养成分，其经济价值也许是一个重要的考虑因素。氮，磷，钾，所有这些草坪草生长必不可少的要素都存在于大部分再生水的主要营养成分中。即使某些再生水的营养物质的含量少，但它们也能被有效地用于草坪草，因为灌溉的经常性和规律性。在大多数情况下，草皮从再生水中获得生长所需的所有的磷和钾，和很大一部分氮。大多数的再生水也提供充分的微量营养素。因此水的化学分析必



在一些地点，尤其是高尔夫球场，使用再生水进行灌溉，一些创意水景被纳入景观设计中，以控制池塘内藻类的生长。



只要是使用再生水进行灌溉的地方，良好的排水是必不可少的。排水可以是天然的，或者可以通过安装瓦水渠来改善排水。

须要进行彻底的测定，以确定灌溉水中营养素种类以及每种营养素的施用量情况；然后草皮的施肥程序可以做相应地调整。多数农艺实验室将根据要求提供再生水的营养成分分析。

在回收水中，悬浮物包括无机颗粒，如粘土，粉沙，和其他土壤成分，还有有机物质，如植物体，藻类，细菌等，这些物质不溶于水，因此只能通过过滤方式才能去除。在三级处理（高级）中，回收水的悬浮物可以忽略不计，不是需要担心的问题。然而，如果使用二级处理的回收水灌溉，固体悬浮物应该要进行监测。除了会堵塞灌溉设备外，固体物还会填充砂粒之间的空隙，从而减少渗透和排水，增加土壤的板结。根据固体物质种类，灌溉系统和土壤的不同，其产生的影响也大不一样，因此很难就灌溉水中的悬浮固体量值进行标准化。总而言之，由于灌溉用水及其系统的复杂性和变化性，做到有效的过滤是控制水中悬浮物造成危害最明智的方法。

再生水的水质根据污水处理厂的不同，以及季节因素的影响而显著不同，它必须单独和定期地分析。很少有再生水的水源是绝对不适合用于草坪灌溉的。此外，某种再生水的水质和潜在的问题大小将取决于它与气候和土壤的化学和物理特性之间的相互作用。

土壤的物理特性和排水性对决定根区处理盐的能力扮演着重要的角色。例如，导电率（ECw）为1.5 dS/m的水可以成功地用于生长在具有良好排水和高度自然淋滤能力的沙质土壤上的草，但如果将它用来浇灌生长在粘土或排水不畅的土壤上的同样的草上，可能会被证明在非常短的时间内就会造成损害，因为在根区盐分的积累，会对草造成危害。因此，土壤特性必须和水质一起综合来评估，以确定灌溉引发问题的可能性。细质的土壤（粘土）比粗质土（砂）更容易积累盐。另外，根部区域的层叠会干扰排水（因此影响盐的淋滤）可导致水引发的植物损伤，尽管使用的是看似可接受的再生水灌溉。换言之，缺乏排水性导致盐的积聚。对于已

经含盐或含钠的土壤，使用再生水灌溉，显然更容易导致盐分伤害，不论其排水性如何。过度的施肥也会增加盐的负荷，从而造成盐度的问题，尽管再生水本身的盐负荷可能不足以导致伤害。

可能的解决方案

如果水的含盐，钠和其他化学成分会导致问题产生，适当的管理是农艺成功的关键。以下列出了用来解决潜在的再生水灌溉问题挑战的管理措施。

选择耐盐性的草种。 如果预计用再生水灌溉会产生盐度问题，应考虑种植耐盐性草种。草坪草的耐盐性通常以相对于土壤的含盐量来表示。表2提供了每种草坪草的耐盐性的一般指导，以ECe值为单位（土壤提取液电导率）。竖列中的草种显示它们能容忍的盐的最高水平。如图所示，土壤的ECe低于3 dS/m被认为是对大多数草的生长具有理想的效果；土壤的ECe值在3 dS/m和10 dS/m之间可适合几个中等耐盐的草种，而土壤的ECe值高于10 dS/m时，只能适于非常耐盐的草。

使用额外的水将多余的盐淋滤到根区的下面。 需要使用额外的灌溉用水将盐淋滤到草皮草的根区以下，从而防止盐积聚到有害的水平，这一过程

表 2
草坪草种类对饱和和湿润的土壤提取物中盐度 (ECe) 的相对耐受力

敏感 (<3 dS/m)	中度敏感 (3-6 dS/m)	中度耐受 (6-10 dS/m)	耐受 (>10 dS/m)
早熟禾 百喜草	一年生黑麦草 野牛草	多年生黑麦草 匍匐翦股颖 (海员和海滨品种)	碱茅(Alkaligrass) 狗牙根草
地毯草	匍匐翦股颖	粗叶 (梗型) 结缕草	细叶 (沟叶结缕草型) 结缕草
假俭草	细长匍匐羊茅 紫羊茅和丘氏紫羊茅	高羊茅	盐草(Saltgrass)
细弱剪股颖			海滨雀稗 圣奥古斯丁草
硬羊茅 草地早熟禾 粗茎早熟禾			

被称作淋滤需要或淋滤部分，并通过如下所示的公式来计算：

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_p) - EC_w}$$

(淋滤需要量)

淋滤需要量是根据场地上再生水的含盐量和草的耐盐水平（以 EC_e 为单位）而定。例如，如果一个草皮草种类具有不大于 2.5 dS/m 的耐盐度，灌溉用再生水为 1.2 dS/m 的电导率，必须使用超过蒸散量（ET）10%的水将盐浸出根区。

$$LR = \frac{1.2}{5(2.5) - 1.2} = \frac{1.2}{11.3} = 0.10$$

系统中任何输入量的改变，如降雨，都会影响到淋滤所需要的水的用量。如果淋滤需要量增加（因此更多的盐淋滤出），在根区的盐分积累就会减少。其结果是，高盐再生水可成功地用于高降雨量地区的灌溉，而同样的水用在干旱和半干旱地区可能会对草坪草造成严重的盐度伤害。

提供排水。显然，成功地将盐淋滤出需要充分的排水。在所有用再生水灌溉的情况下，排水良好是必要的。排水渠道可以是天然的，也可以通过安装瓦水渠加以改进；以一个排水必须要改进的场地为例：高尔夫球场的果岭建造使用经过改良的天然土壤（如，高坡果岭），果岭转为用再生水灌溉。球场可以将果岭根区重建为以沙为主的混合土壤或安装有效的排水系统，使盐淋滤出。其目的是为了将渗滤出的盐水控制在草坪草的根系层之下。

改良管理措施。某些管理措施可以减轻盐分的不利影响。在高尔夫球场的果岭，特别是减少或去除积聚在表面的有机物（茅草）是使用再生水灌溉的关

键。茅草和有机物堆积层阻挡了水（还有盐）流向土壤，并妨碍盐的淋滤。在根系层分布均匀的高尔夫果岭，排水足以淋滤出盐份。然而，如果某些高尔夫果岭根系层剖面显示出过多的有机物质（茅草）堆积，或者更糟的是，土壤层剖面有分层现象，这就必须尽一切努力在开始使用再生水灌溉之前，清除茅草或去除堆积层。增加土壤透气性（特别有助于高尔夫果岭和运动场），通过在不渗透层打孔，促进水更快更好地向各土壤层的流动。打孔机定距离取出土芯。这些土芯必须从高尔夫果岭和类似的专业草皮的土壤表面移除，同时将空出的洞填上沙子。通常，仅仅在打孔的地表面撒沙子无法将空洞填满。通过扫，刷，或吹将沙填满打孔后的空洞，以确保填沙的最佳效果。应该将洞填满至地表面，以提供管道使水渗透到沙层/有机物层。



尤其是在高尔夫果岭，减少或消除累积在表面的有机物[茅草]对用再生水进行灌溉是极其关键的。茅草和累积的有机物层阻止水在土壤里的流通，并阻碍盐份的淋滤。

改良草根区土壤的混合配比。当草坪草生长的土壤仅有极低的自然排水能力（如，重粘土，土壤有硬底层或粘土层），并且用于灌溉的再生水含有高浓度的盐或钠，就很有必要将根系区的土壤混合彻底改良。以沙为主的高尔夫果岭或运动场通常排水良好，能够耐受对于高粘土或板结的土壤来说盐份过高的再生水。

混合灌溉用水。通常情况下，如有可能与质量较佳的水相混合，低质量的水也能够用于灌溉。可以在灌溉前将两类水抽入蓄水池中混合。虽然混合后的盐度会根据盐份的种类和气候条件的不同而有所差异，水质的提高程度和混合比是成比例的。例如，当等量的两类水，一类电导率（ EC_w ）为 1 dS/m ，另一类水的电导率为 5 dS/m ，

两者混合时，混合水中盐份的电导率应该约为 3 dS/m 。可以通过在低质量水中混入含钠较低（含有低的钠/碳酸氢钠成分），质量较佳的水，来减少钠/碳酸氢钠的有害影响。尽管所得到的钠含量会根据钠/碳酸氢钠在两类水中量的不同而有所差异，水质的提高程度和混合比是成比例的。



施加土壤和水的改良剂，如石膏（硫酸钙），氯化钙，硫磺，还有硫酸或N-phuric酸（一种类型的脲硫酸）可以减少钠及其他盐的负面影响。有许多不同的改良剂和设备可用来有效地将其注入到灌溉系统中。

使用改良剂。施加土壤和水的改良剂，如石膏（硫酸钙），氯化钙，硫磺，还有硫酸或N-phuric酸（一种类型的脲硫酸）可以减少钠和碳酸氢盐的负面影响。他们还可以帮助改善水/土壤的pH，特别是对盐份的控制。这些改良剂增加土壤中钙的供给，可以是直接的，以加入石膏和氯化钙为例；或是间接的，如使用硫磺和硫酸或N-phuric酸（一种类型的脲硫酸）。硫磺和含硫的肥料施用到天然富含钙的土壤中，可以使钙更可溶。一旦可能，钙就可以取代粘土颗粒中的钠，以防止过量的钠积累。随后的淋滤过程会将钠盐冲出根系区。所需的硫改良剂的用量取决于土壤的钠含量，灌溉水的钠吸附比（SAR），使用的水量，土壤质地以及改良剂的种类。

碳酸氢盐对pH值的影响，也可以通过施加酸化肥料来降低，如使用硫酸铵来作为常规施肥方案的一部分；或通过灌溉水的酸化来降低。在一些情况下，具有高残留碳酸钠的水可能需要通过加入硫酸，N-phuric酸（一种类型的脲硫酸），或磷酸，或通过使用硫燃烧器（可产生亚硫酸）来进行酸化。

改良剂可以直接施用于草坪草/土壤或注入灌溉系统中。注入酸的水酸化过程需要特别的测量和设备。草坪管理者必须与咨询实验室密切合作，以确定是否有必要进行酸化，如果确定有需要，怎样以最好的方式完成。同样需要小心的是硫燃烧器的使用。不过，在一般情况下，由燃烧器所产生的亚硫酸的腐蚀性并不如硫酸强。

在灌溉系统中直接注入改良剂来处理再生水有许多好处，其中有以下方面：

- 比施用在土壤表面更有效（渐进和频繁地应用）
- 不干扰场地的使用
- 减低劳动强度
- 无粉尘问题
- 减少潜在的硫化物烧伤
- 降低“过量”的风险
- 降低pH和盐度的波动

直接注入也有潜在的缺点：

- 材料更加昂贵

- 设备及维护成本
- 酸处理的危险性
- 灌溉效率和均匀性必须是最佳的
- 隔离开区域是不可能的（例如，高尔夫球场的果岭和球道）

结论

随着人口的增长和淡水变得越来越稀缺，再生水可替代昂贵且有限的饮用水，成为草坪灌溉的另一种可行的选择。草坪草比其他景观植物对再生水有更好的承受能力；同时，草坪场地（高尔夫球场，公园，墓地，绿化带，校园场地，运动场，及生产草皮的农场）有着大片的面积和训练有素的维护人员，特别适合将再生水应用到他们的灌溉程序中。城市人口的增长使得用于各种娱乐休闲和其他功能的草坪草场在不断扩展，这意味着“紫金”灌溉将成为我们城市景观规划设计中固定的组成部分。

阿里·哈利瓦蒂 (M. ALI HARIVANDI) 博士，加州大学合作推广部的区域技术推广专家，可通过电子邮箱联络。 maharivandi@ucdavis.edu