

# 今日课程

正确的土壤取样

固定实验室

土壤 pH接近中性

必要时请教专家

## 土壤肥力和 草坪营养101

一些您在课堂内外可能会忽略的重要概念

詹姆斯·H. BAIRD 著

**很**少有人会质疑高品质草坪种植这项活动包含了艺术与科学。然而，最近似乎土壤肥力和草坪营养的操作正变得越来越远离科学，也比艺术更不合逻辑。

虽然科学不断向前发展，在我看来，大多数新的理论或所谓的进步是由一些公司或个人宣称的，他们通过出售产品或咨询服务赚钱。大多数草坪管理者会毫不犹豫地使用新产品，只要他们认为它不会带来损害，并且能帮助维持草坪的状态。

不幸的是，施加错误的营养或过多使用某种营养，可导致其他营养物质缺乏，改变土壤酸度导致疾病暴发风险提高，或导致土壤物理性质某些不利的变化。鉴于当今不确定的经济形

势和对化学品使用越来越严格的审查，所有的草坪管理者需要运用建立在科学基础上的个人经验和感觉，来重新评估他们的施肥措施。

土壤肥力和植物营养是很复杂的问题，但它们绝不是不可理解的。一篇这种长度的文章不能解决所有的土壤肥力和草坪营养的基本问题。相反，本文的目的是帮助大家简化几个养护草坪的关键概念，并综合考虑环境和经济。重点将放在东北地区土壤和草坪的营养需要，虽然这些原则也可以更加广泛地适用于其他地区。欲了解更多信息，请参阅文章最后的参考资料。现在开始我们的课程。

表一  
土壤pH值普遍对应的营养物质可用性和各种相应的草坪问题

5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
缺乏症 (<5.5) 氮 磷 钾 镁 钼 硫						缺乏症 (> 7.5) 磷 铁 锰 硼 铜 锌
疾病 (>5.3) 春季死斑病		疾病 (> 6.0) 夏枯斑病	疾病 (> 6.5 ) 雪霉叶枯病 全蚀病			
铝, 锰 中毒 (<5)	杂草增长 (<5.5)				氮 (尿素) 挥发 (>7.5)	

### 自己动手测试你的土壤

在使用任何营养素之前,确定什么营养物不足以及缺乏量的多少很重要。营养缺乏,包括氮(N),铁(Fe),和磷(P),有时一双训练有素的眼睛通过观测便可以检测到,尽管确定需要补充的量就算不是不可能,也是非常困难的。植物组织检测可以提供对于植物营养状况更加客观和量化的评价。然而,还需要更多的研究来确定营养水平与相应的草坪状态。植物组织检测是最好的诊断步骤,因为植物在耐受某种营养物时一定会表现出来。

虽然远不完美,土壤检测仍然是确定草坪养分供应最常见也是最好的手段,因为它可以尝试在爆发之前诊断出潜在问题。从我被不少雇佣了土壤顾问的草坪管理者质疑的经历,或是我被要求解释我的报告的次数来看,据我了解,很多草坪管理者对土壤测试结果的解读并不满意。在参考文献部分,有几篇针对土壤测试的文章。土壤测试的四个主要组成部分是:1) 取样,2) 实验室分析,3) 解释结果,和4),化学物品使用变化的建议,如果有必要的话。

### 不要小看正确取样的重要性

不正确土壤取样可能是土壤检测中最大的错误来源之一。关于土壤取样有几件事情要记住:1) 在代表性区域至少取20份样品(核心)然后汇集,混合,取样化验;2) 在均匀深度取样(例如,果岭通常为2至4英寸深);3) 如果有真正的植物腐质层或追肥层,考虑细分每个采样点到腐质层或草丛以及下层土壤,以确定每部分的化学和营养性质;4) 采样时间和频率对

于确定测试结果的一致性和施肥的有效性非常重要。施肥导致的化学变化在几天或几周内就会反应在沙质土壤上,而粘土则需要数月或数年。在东北地区,以砂质为主的果岭或发球台,最好考虑春季透气前采样,并在施用粒状化肥6至8周后再次采样作为后续分析。夏末透气施肥后6至8周再次取样。

### 固定在同一家实验室分析

一些大学和商业实验室可提供土壤样品分析。对于化肥生产商或草皮经销商提供的免费分析和建议请保持谨慎。此外,还应该知道,由于提取方法以及分析使用化学物质的不同,每个实验室得出的结果很可能有差异。详情请参阅卡罗等人文章(2003年和2004年)其中描述土壤分析过程中的差异。为了确保您的土壤检测程序的准确性,选择一家正确的实验室很重要,它使用的检测流程和营养素区间应该适合你的高尔夫球场土壤类型。一旦信息收集好了,就应当坚持去同一家实验室来分析养分供应充分或不足的趋势。

### 你也可以解读土壤检测报告

实验室或顾问给出的说明应该让每一个草坪管理者明了土壤测试结果并感到满意。以下是对东北部土壤检测报告常见信息的说明。

## 土壤酸度或pH值

土壤酸度或pH值与氢离子浓度负相关，刻度从0到14，7表示中性（氢离子浓度等于氢氧离子）。表1的图表展示了不同的pH水平导致的营养缺乏和有可能发生的草坪问题。在一般情况下，土壤呈酸性或接近中性可以确保土壤中所有必需营养物质尽可能充分供应。该pH范围有利于营养物保持为植物可用的形式。这是要记住的土壤肥力和植物营养最简单，最重要的原则之一。

## 石灰的使用要求

石灰使用的要求是，石灰石（碳酸钙）的用量能够提高酸性土壤的pH值到所需水平。缓冲液被加入到土壤中，以确定缓冲液pH值。得到的数值本身草坪管理者并无意义，但在必要时，它帮助实验室确定石灰用量。添加硫或酸以降低碱性土壤pH值的能力在很大程度上取决于游离石灰在土壤中存在的情况，数量越大则对pH值改变的能力越大。因此，即使是使用少量石灰降低土壤pH值的尝试也是不被建议的，因为草皮需要大量的酸，这么做可能对草皮带来损伤。

## 可溶盐

测量可溶性盐对于确定盐渍土壤的盐度尤其重要。导电率（ECe）以dS/m或毫姆欧/厘米（mmhos/cm）为单位。如果导电率高于4.0 ds/m就被认为是盐水。饱和土浆提取（SPE）公认为是测量导电率，钠吸收比率（SAR），和硼（B）浓度的标准程序。虽然不是东北地区土壤检测中典型的测量内容，SAR可以测出潜在过剩钠（Na），后者可能使土壤结构恶化。SAR等级高于12被认为对土壤和植物健康不利，而理想的水平应该为3或者更低。如果土壤检测表明问题由可溶性盐或钠引起，那么水源检测便是很有必要的，并应该向可靠的咨询顾问或大学专家寻求帮助。

## 基本营养物质

实验室使用化学萃取液测算土壤中植物可用的养分含量。结果值以百万分率（ppm）或磅/英亩（lbs/A）为单位。此外，大多数实验室时会根据植物利用率列出每种营养物质，从低于到高于最佳条件，或单纯由低到高。这种方法被称为可用营养素的充分性级别（SLAN），它试图建立植物状况与可提取土壤养分间的关联。尽管可以说只有很少的数据证明，土壤养分含量与草坪草的某种特定或理想的反应相关，总

的来说 SLAN 已经是测算植物可用养分最真实可靠的方法。

记住，您在报告中看到的数据和与此相关的充分性水平基于各种要素，比如使用的提取剂类型和所选要解释的特定充分性指标。由卡罗等人所著的文章（2003和2004）中阐述了使用不同的提取剂时所对应的各种营养素的中等浓度范围。有可能您的报告中提供的推荐范围要求太高，几乎每一种情况都需要施肥。如果一个实验室使用一个稍微不同的范围区间，比如卡罗文章中提供的范围，那么会一切正常。您做出是否要依据这些结果施肥的决定，应该考虑到营养不足发生在您的情况的可能性（见表2），以及现有的草坪状况和性能。

## 阳离子交换能力 以及基阳离子饱和

土壤带有净负电荷，可以吸引带正电荷的离子。因此，阳离子交换能力（CEC）是一种阳离子数量测量法，土壤可以保持在一个给定的pH值，虽然可能因为植物的摄取吸收而改变。CEC通常用毫当量（meq）每100克干土或毫摩尔每公斤（cmol/kg）的表示。100g土壤样品的CEC值为1meq（非常低）也就是包含 $6.02 \times 10^{20}$ （602,000,000,000,000,000,000）个负电荷。如果一个土壤样本没有其他信息，CEC可以提供一些关于土壤质地的指示。有机物含量低（1-2%）的沙土通常具有非常低的CEC值，范围为1-3 cmol/kg，而大多数粘土或黏质壤土在20 cmol/kg或更高。

CEC是碱性（ $K^+$ ， $Ca^{+2}$ ， $Mg^{+2}$ ，和 $Na^{+2}$ ）和酸性（ $Al^{+3}$ 和 $H^+$ ）阳离子的总和。报告中所有列出来的总量，都被CEC相除，得到这种离子的饱和度。看起来大多数草坪园艺顾问（不包括美国高尔夫球协会果岭部和大学科学家）都支持碱性阳离子饱和度和比率（BCSR）理论，据此解释土壤检测结果并给出施肥建议。



土壤检测中，如果采样深度不同，可能会产生非常不同的结果。如果是较长的土壤样品，区分上层砂质部分和下层的矿物质部分，并分别检测。

表 2  
植物所需基本营养元素, 它们的功能, 和不足或中毒的可能性

基本主要 营养素	化学符号	植物可利用的 形式	主要作用	在植物 中的移	草坪草 缺乏症发生频率	缺乏症 情况发生	过多或中毒 情况发生
碳	C	CO <sub>2</sub>	许多	—	有时	缺水干旱	—
氢	H	H <sub>2</sub> O	许多	—	有时	缺水干旱	—
氧气	O	CO <sub>2</sub> / O <sub>2</sub>	许多	—	有时	土壤板实; 水分过多	—
氮	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	构成氨基酸, 酰胺, 蛋白质, 核酸, 核苷酸, 辅酶等等	移动	常见	沙质土; 过度淋洗; 修剪枝叶; 脱氮作用: pH值过低 (<4.1)	盐中毒; 生长过快; 肉质化
磷	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	构成磷酸糖, 核酸, 核苷酸, 辅酶, 磷脂等, 涉及ATP反应并起到关键作用	移动	有时	砂质, 低EEC, 灌溉土壤: 低pH值 (<5.5); 黏土含量高 (> 7.5-8.5); 下层土; 培植期磷需求量较高; 土壤含量减少吸收; 修剪枝叶	某些条件下过多的磷可诱发缺铁
钾	K	K <sup>+</sup>	作为多种酶的辅助因子; 气孔开闭; 保持植物细胞中的电中性	移动	有时	降雨或淋洗过多; 沙质或低 (EC土壤; 酸性土壤 (pH值<5.5)); 修剪枝叶; 使用过多钙, 镁或钠; 过度施用含氮肥料; 土壤蛭石, 伊利石或蒙脱石含量高, 并且pH值高。	盐分过多; 抑制镁, 钙, 或钾的吸收; 过度施肥
钙	Ca	Ca <sup>2+</sup>	组成细胞壁中间层, 作为一些酶的辅因子	不移动	罕见	低pH值 (<5.5); 由于低CEC和高铝, 锰, 氢含量造成的砂质土; 添加大量钠, 钙或钾; 淋洗过多	钙过多可导致镁, 钾, 锰, 铁缺乏
镁	Mg	Mg <sup>2+</sup>	组成叶绿素分子	移动	有时	低pH值 (<5.5); 沙密耳因如此之低 (E1和高在, 鳍HL; 在高伊达。 约或 k 另外 :	镁过多可导致 钾, 锰, 和钙缺乏
硫	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	一些蛋白质的成分	稍移动	有时	有机物含量低; 沙土, 低CEC土: 降水和淋洗量大: 底层大气添加; 高氮含量并修建枝叶	叶片灼伤: 导致不被游离石灰中和的极度酸性; 加剧缺氧条件下的黑层
铁	Fe	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup> 铁螯合物	组成细胞色素, 组成参与光合作用的非血红素铁蛋白。 固氮, 呼吸	不移动	常见	高pH值 (> 7.5); 根系不发达, 腐质层过厚; 湿冷土壤; pH值较高, 含磷量高的土壤; 干旱地区pH值高的钙质土壤; 使用高HCO <sub>2</sub> , 盖, 锌或铜的水灌溉; 有机物含量低的土壤, 污泥富含重金属	叶片含铁过高可使叶变黑, 可能导致组织损伤; 可诱发镁缺乏; 酸性, 排水不良的土壤能产生可溶性铁的毒性水平, 对根部不利
锰	Mn	Mn <sup>2+</sup> 螯合物	为酶提供活性参与氧的光合作用变化,	不动	有时	pH值高的钙质土壤; pH值大于7.0的泥炭淤泥干燥; 干燥, 温暖的天气; 铜, 锌, 铁, 钠含量高, 尤其是淋洗过的低CEC草皮	酸性土壤 (pH<4.8) 中对根部有毒; 土壤缺氧, 高锰含量可诱发钙, 铁, 锰缺乏; 硅和高温增加植物的耐锰能力
锌	Zn	Zn <sup>2+</sup> ZnOH <sup>+</sup>	构成酶	稍移动	罕见	碱性土壤; 铁, 铜, 锰, 磷或氮含量高; 土壤湿度大; 湿冷天气, 光照不足; 强烈风化的酸性土壤	一些城市废物可能含锌量高; 锌含量过高可造成铁或镁不足, 并引起萎黄病
铜	Cu	Cu <sup>2+</sup> Cu(OH) <sup>+</sup> 铜螯合物	构成酶	稍移动	罕见	大量铜聚合出现在有机土中; 深度淋洗的沙土: 铁, 锰, 锌, 磷和氮含量高; pH值偏高	可能由污水污泥或猪/禽类粪便引起
钼	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> HMoO <sub>4</sub>	构成硝酸还原酶, 固氮	稍移动	罕见	钼缺乏经常发生在酸性、砂质土壤; 富含铁或铝氧化物的酸性土壤; 铜, 锰, 铁, 硫含量高影响吸收	钼中毒对于放牧动物很重要, 并与潮湿的高pH值土壤相关
硼	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-3</sup>	间接参与碳水化合物运输	稍移动	罕见	高pH值可引发硼不足, 尤其是在淋洗过的石灰沙土; 高钙含量可限制硼可用性; 干燥土壤, 高钾含量可能会加剧缺硼土壤的硼缺乏	硼中毒比硼缺乏更可能由含硼量高的灌溉水造成; 天然富含硼的土壤; 过度施用硼; 使用某些堆肥
氯	Cl	Cl <sup>-</sup>	参与涉及氧气的光合作用反应	—	从不	NO <sub>3</sub> -和SO <sub>4</sub> 2-含量过高抑制氯吸收	氯是许多盐的组成元素, 可直接引起叶片和根部组织中毒; 更多的时候是通过增加土壤含盐量降低水的供应
镍	Ni	Ni <sup>2+</sup>	脲酶的重要组成部分, 催化尿素水解成CO <sub>2</sub> 和NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	—	从不	与镍缺乏相关的条件不明确, 因为极少出现	镍中毒可能由使用高镍污泥引起

依据卡罗等人, 2001

这一理论的基础是，如果碱性阳离子达到80%饱和，那么其中包含65%的钙，10%的镁，和5%的钾。施肥建议的目标，不仅是要达到这些百分比，还希望营养物质互相之间达到理想平衡。在听过那些“喂养土壤”理论支持者的陈述后，不少草坪管理者奉行这一理论，这件事并不令我感到惊讶，因为它是伪科学和商业推销中令人印象深刻的展示。

不幸的是，BCSR理论毫无根据，如果有谁试图以平衡土壤阳离子为日常养护基准，仅仅是在浪费自己的时间和俱乐部的钱。具体而言，奉行BCSR理论有可能导致以下后果：1) 错误的施肥建议并增加肥料使用量，尽管以SLAN法来看是没有必要的。2) 砂质有机土碱饱和度提高到接近80%，可导致土壤pH值显著提高，而这可能引发各种问题，比如全蚀病或夏季枯斑病发病率增加。3) 当结果建立在百分比，而不是土壤营养物数量的基础上，就可能出现一个基本阳离子，比如K<sup>+</sup>，呈现次优比例，但达到足够提取K<sup>+</sup>的水平，反之亦然。4) 根据这一理论，土壤中的钙含量会被高估，而另一方面，钙质土或持续使用高钙、高镁水灌溉的绿色植被及其他区域，它们的CEC则会被低估。5) 后果往往是过度施用某种碱性阳离子，反过来又影响其他营养的可用性。总体而言，除非是特殊情况下(表2)，植物缺钙和缺镁是非常罕见的。

直到最近，BCSR理论还没有真正在草坪实践得到检测。而科学研究已经进一步证明这一理论缺乏有效性。基于充足数据，施用了合理数量的碱性阳离子后，阳离子比例水平会自然地根据土壤类型调整。难道这一切意味着CEC和碱性阳离子饱和度数据应该被忽略？这倒不一定。这些信息可以用于管理盐渍化土壤(即高钠)或作为充足水平的补充，以帮助确定和评价土壤肥力。

## 土壤氮

您的土壤检测实验室不一定显示土壤氮检测结果，因为大多数形式的氮在植物的土壤系统里波动迅速，难以准确可靠地预测可用氮含量。然而，利用伊利诺伊土壤氮测试给我们带来了一线希望。这种测试着眼于一种更稳定的氨基形态，已经在农业生产中运用，目前正被推广到草坪养护中，可预测草坪氮肥需求量，或者找出在已经施加氮肥的情况下，需要进一步进行硝酸淋洗(leaching)的草坪区域。在此期间，氮肥施用的建议主要依据草坪的反应，并由草坪管理者视情况调整，比如草坪组成品种(例如早熟禾vs翦股颖)，交通量，疾病敏感度，和环境不利条件。

## 根部是吸收养分的主要部位

最近,我听到了很多关于叶片用营养,以及可以对叶片起作用的产品,吹嘘得好似真的。虽然营养成分可以通过表皮气孔被枝条吸收,但也不要忘记,相较于根系吸收营养素的效率,叶面能吸收的只是少数。你可以想想,叶片被设计为吸收光线及防止水分流失。限制叶面吸收营养的因素包括角质层的厚度,吸收前干燥速度过快,叶片晃动或降水导致营养物滴落,以及营养素挥发。最后但同样重要的是,真正的叶面浇水只需要少量水(<1加仑每1000平方英尺)用于叶面的喷雾液滴;反过来说,就我所知大多数草坪管理者使用较大功率的喷雾机,是为了将杀虫剂喷洒到更深的草丛或者根部。



有时区分营养缺乏症和疾病或虫害问题是一个难题。彻底检查草皮。上图的情况,是由早熟禾象鼻虫造成的草坪发黄。

毫无疑问,充足的光照,频繁的施肥对于草坪营养管理非常重要,特别是在果岭或其他集中管理的区域。虽然用语义命名,但是液体施肥这个术语更准确的描述应该是将营养素喷洒在叶面的行为,因为植物的根和茎都可以吸收养料。问题的关键在于,您到底花了多少钱在“真的叶面”肥料上?

## 氮元素吸收

氮主要以铵( $\text{NH}_4$ )和硝酸( $\text{NO}_3^-$ )离子形式被植物吸收,在更小的尺度上则是尿素,然后它们转化为氨基酸及其他重要的含氮化合物以供植物生长和代谢。现在的问题是,避开这个过程并直接吸收氨基酸对于植物来说是否更好更高效?虽然吸收氨基酸是可能的,我搜索文献只发现极少的著作提到了北极莎草吸收氨基酸!我再次提出这个问题,您花了多少钱在含氨基酸等生物刺激素的产品上?还需要更多的研究和产品测试,以证明使用这些产品给草坪施肥的成本和功效。

## 效果最优的晚季施肥

秋末,或一些人所谓的“休眠”施肥,在北方温带地区冷季十分常见。秋末施肥的最终目标是提供氮给植物的碳水化合物存储,它可以提高抗性并促进早春根系生长。其他好处比如提早返青期,减少早春施肥,可进一步促进新梢生长,提高修剪频率。由于秋季土壤温度仍然比空气温暖,即使枝干生长基本上已经停止,根依然能够吸收营养物质。与此同时,光合作用仍然可以进行。因此,恰当的时机是第一次霜冻降下到持续积雪或者植物真正休眠到来之间。



氮元素缓慢释放的各种化学形态,包括天然有机物,通常在秋末施用,以避免在不正常高温情况下植物异常生长。不幸的是,由于化学形态的原因,多数氮元素都要等到下个春天才能被植物利用,这违背了促进根系而非枝条生长的目的。此外,氮可能因流水冲刷丢失或因淋洗渗入地下水中。

所以最好施用可溶解,易于植物吸收的氮元素形式,如硫酸铵,以确保秋末时根部能尽可能吸收养分并储存碳水化合物。如果使用了缓慢释放氮的肥料,那么秋季施用时机应当提前,这个时候较温和的气温保障营养的可用性以及充分被根部吸收。每1000平方英尺施用少于1.0磅的氮,如果草坪能够吸收并运用氮元素,那么就可以避免一些流水或降水带来的潜在风险。只有很少证据表明,在比例和时机选择恰当的情况下,深秋施用氮肥会加剧寒冷季节低温对草坪草的损害。另一方面,如果没有使用杀菌剂,深秋施氮肥可增加雪霉病活性;不过,增加氮元素可以帮助草坪从疾病或其他冬季损伤中迅速恢复。

### 钾肥:并不是越多越好

除了在生理程序中起重要作用外,钾也影响耐旱,耐寒,耐高温,耐损伤,和耐盐能力。我们还把“奢侈消费”这一概念与钾联系在一起,有了它植物对恶劣环境的耐受力可能高于满足生长的基本水平。了解到这点后,有些草坪管理者似乎采用了“越多越好”的办法,每年施用2~3次甚至更多次钾肥,超过氮肥使用量。研究已经证实,除开涉及盐渍土壤和耐盐品种的情况,草坪达到最佳耐受性是当土壤钾含量保持在一个足够的范围时。请记住,过度的钾会加剧盐渍化;抑制镁,钙和锰的吸收;加剧雪腐病发病。

疾病还是过度施肥?  
地上的颗粒就可以告诉你。



喷洒液体可以是一种高效的草坪施肥方法,但请对那些大肆宣传叶片吸收的观点持保留态度,因为根部吸收更常见。

### 总结

土壤肥力和草坪营养对于很多草坪管理者来说可能是一个艰巨的课题。我希望这篇文章有助于让各种关键原则和做法变得简单明了,并帮助各位草坪管理者接收自己的草坪营养计划。满足您的草皮的营养需求,并不需要很多钱或者推测。让科学成为你的老师。

### 参考文献

- Carrow, R. N. 1995. Soil testing for fertilizer recommendations. *Golf Course Management*. 63(11):61-68.
- Carrow, R. N., D. V. Waddington, and P. E. Rieke. 2001. *Turfgrass soil fertility and chemical problems: Assessment and management*. Wiley, Hoboken, N.J.
- Carrow, R. N., L. Stowell, W. Gelernter, S. Davis, R. R. Duncan, and J. Skorulski. 2003. Clarifying soil testing: I. Saturated paste and dilute extracts. *Golf Course Management*. 71(9):81-85.
- Carrow, R. N., L. Stowell, W. Gelernter, S. Davis, R. R. Duncan, and J. Skorulski. 2004. Clarifying soil testing: II. Choosing SLAN extractants for macnutrients. *Golf Course Management*. 72(1):189-193.
- Carrow, R. N., L. Stowell, W. Gelernter, S. Davis, R. R. Duncan, and J. Skorulski. 2004. Clarifying soil testing: III. SLAN sufficiency ranges and recommendations. *Golf Course Management*. 72(1):194-197.
- Chapin, F. S. III, L. Moilanen, and K. Kielland. 1993. Preferential use of organic N for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. *Nature*. 361:150-153.
- Gardner, D., and B. Horgan. 2006. 2006 Turfgrass and Environmental Research Summary. p. 15.
- Happ, K. A. 1994. Tissue testing: Questions and answers. *USGA Green Section Record*. 32(4):9-11.
- Happ, K. A. 1995. Sampling for results: The methods are important. *USGA Green Section Record*. 33(5):1-4.
- Kopittke, P. M., and N. W. Menzies. 2007. A review of the use of the base cation saturation ratio and the "ideal" soil. *SSSAJ*. 71(2):259-265.
- Kussow, W. R. 2000. Soil cation balance. *The Grass Roots*. 29(2):58-61.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press, New York, N.Y.
- Skorulski, J. E. 2001. Unlocking the mysteries: Interpreting a soil nutrient test for sand-based greens. *USGA Green Section Record*. 39(1):9-11.
- Skorulski, J. E. 2003. Digging deeper into soil nutrient testing. *Tee to Green*. 33(1):3-5.
- Skorulski, J. E. 2003. Micro-managing. *USGA Green Section Record*. 41(5):13-17.
- St. John, R., and N. Christians. 2007. Basic cation ratios for sand-based greens. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online*. 6(10):1-9.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 1991. *Plant physiology*. Benjamin/Cummings. Redwood City, Calif.
- Woods, M. S. 2006. Nonacid cation bioavailability in sand rootzones. Ph.D. dissertation. Cornell University, Ithaca, N.Y.

鸣谢:佐治亚大学的罗伯特·N.卡罗博士(Drs. Robert N. Carrow);密歇根州立大学的保罗E.雷基(E. Rieke);和罗格斯大学的詹姆斯·墨菲(James A. Murphy);感谢他们提供的帮助。

吉姆·BAIRD是一位居住在东北地区的果岭部农艺师,在那里,他走访了康涅狄格州,新泽西州,纽约州和加拿大安大略省的数个高尔夫场。