



面向 21 世纪的曝气和追肥

两个旧概念，
融合出新的建议。

作者：帕特·奥布赖恩和克里斯·哈特威格

不管从字面意思还是象征意义上来说，果岭曝气和追肥都像是脏话。尽管有些不情愿，高尔夫球手还是接受了这一现实：为了保护果岭草坪的长期健康，每年都要进行曝气和追肥。随着更先进的产品和技术的出现，春秋两季对果岭进行曝气、铺砂的日子已经一去不复返了。但是，人们迷恋于不断改变这些方案，可能是由于并没有透彻了解保护果岭的长期健康所需的曝气量和追肥量。

果岭的长期健康取决于沙子作为主要生长介质，从而进行维护。如果有机物的积累量超出合理程度，沙土的物理效益就会降低，果岭的物理性质也会随着草坪健康度的降低而下降。长久以来，高尔夫球场一直在不断改变曝气和追肥计划，却没有一个标准或目

标水平可用来进行比较、鉴别优劣。之前有一篇题为《系统性的岩心曝气》的文章，其中果岭记录一节详细介绍了打孔机尖齿大小和间距是如果作用于曝气处理所影响的总表面积，并建议每年处理 15-20% 的表面（奥布赖恩和哈特威格，2001 年）。但这项建议还远远不够成熟，因为其不包含表面追肥应用（与稀释有机物积累中的核心曝气密切相关）。本文对这些概念进行了扩展，并与岩心曝气和沙土追肥结合起来。

岩心曝气和沙土追肥的重要意义

根据佐治亚大学草坪植物研究员鲍勃·卡罗博士的研究，沙基果岭面临的第一大问题就是有机质在土壤剖面上部的过度积累（卡罗等人，2002 年）。岩心曝气和沙土追肥是

使用干砂和适当的追肥设备可以提高工人的工作效率，提升高尔夫球手的满意度。

控制该区域有机质含量及其分布的两种最有效的手段。科学文献为岩心曝气和沙土追肥的益处提供了充分参考。但是，对于所需的曝气量和追肥量未作详尽说明。

目前，在果岭根系层结构上种植任何草种，坪床上部几英寸处土壤物理性质都会发生变化（哈贝和克里斯蒂安，2000年；柯蒂斯，2001年）。

在新果岭上，根系生长、衰老和再次生长会每年不断循环重复。根系在土壤大孔隙中穿过土壤向下生长，为植物提供所需水分、氧气和营养物质。

当根系不再存活时，则会堵塞土壤大孔隙，并可能阻碍活体植物的功能发挥。

卡罗博士于二十世纪九十年代中期对砂基果岭根系的有机物动力学进行了广泛研究（卡罗，1998年）。他得出结论认为，当砂基果岭中的有机物达到3-4%时，土壤大孔隙比例开始下降。减少孔隙空间会带来三个截然不同的影响，以及一系列可预期的主要问题：1) 进入根系层的氧气扩散开始下降。氧对植物生长以及土壤微生物平衡和功能起着至关重要的作用。2) 水分渗透减少，可能会导致土壤表面粘闭和饱和。3) 上部根系层水分含量增加，使表面减少。大孔隙（通气孔）减少，同时毛细孔或保水微孔增加。

如果有机物质重量积累超过3-4%，则果岭很容易受到诸如疾病、湿萎、软表面、根系生长不良、黑色附着层以及更为频繁的高温损伤等次要问题的困扰。这些次要问题通常被称为夏季翦股颖衰败（卡罗等人，2002年），并且处理起来可能非常昂贵。这些问题通常出现在果岭没有充分曝气和追肥的高

尔夫球场。许多球场不愿进行额外曝气和追肥以防止这种情况，也就势必要经受多年阵痛期。

卡罗博士的研究表明，岩心曝气和运用沙子可以帮助稀释有机物积累量，形成新的土壤大孔隙。后文将着重于开发一种使有机质含量低于3-4%（重量）的曝气和追肥方案。这种积极主动的做法最终可以减少干扰，并且比治疗方法缓解主要和次要问题所需费用更低廉。

有机物稀释方案是一个笼统性术语，其中包括与沙土追肥相结合的岩心曝气，用以填补直接应用于土壤表面的孔隙和沙土追肥。岩心曝气相关文献提到在3英寸标准深度的打孔机空心尖齿曝气。根据所使用打孔机和尖齿类型，曝气深度可能有较大区别。不考虑旨在纠正深层根系层问题的深度尖齿曝气或类似做法。表面追肥是指直接施用于草坪草冠层的沙子。轻度、中度和重度追肥应用场合分别为：每1000平方英尺约0.5立方英尺；每1000平方英尺约2.0立方英尺；每1000平方英尺约4.0立方英尺。

曝气和追肥建议

本案例已阐释了使用岩心曝气和砂土追肥来稀释有机物积累的重要性。问题是，每个球场需要多大的量？我们建议以另一种方式回答这个问题。回答这个问题，需要将曝气和追肥的主题结合起来。我们将两者联系在一起，因为它们是有有机物稀释方案的关键要素。岩心曝气可去除有机物质。用沙子填充孔洞，可确保空洞通畅。直接施加在地表上的沙尘也有助于控制有机物的积聚。

推荐每1000平方英尺每年至少施用40-50立方英尺沙子，以使有机物质含量低于根系层的3-4%。虽然这个建议简明扼要，但是理解其涉及面则是比较复杂的，会引发许多问题。这些问题将在以下章节中加以讨论。

表 1
沙子追肥的转化率

立方英尺 沙子/1000 平方英尺	磅干砂/ 1000 平方 英尺	施用 深度 (英寸)
0.50	50	0.006
1.00	100	0.012
2.00	200	0.024
4.00	400	0.048
50.00	5000	0.600

了解砂量

沙土追肥率可能难以概念化。表 1 显示以不同单位表示的砂量，并形成了一些有趣的比较为方便起见，100 磅的干砂相当于 1.0 立方英尺³ 沙子。同等体积的湿砂比干砂约重 6-10%。最后，沙量以英寸表示。沙量大时，这一单位更具概念化。

岩心或不是岩心，这不是问题

到目前为止，很多读者都会看到这个建议，都会恍然大悟：“啊，原来，如果通过定期追肥应用，每 1000 平方英尺施用 40-50 立方英尺沙子，就无需岩心曝气。”这个观点很容易解释，但不推荐这个策略。之所以没有采取这种方法，有一些农学和实践因素。通过岩心曝气去除有机物质并用沙子填充穿过高有机物质区域的垂直孔洞，确有可取之处。通过表面追肥每 1000 平方英尺施加 50 立方英尺沙子，则只需要每 1000 平方英尺施用 25 次约 2.0 立方英尺沙子，或每两周施用一次。在夏季，这一方案压力太大；在冬季，生长缓慢期间难以进入冠层进行工作。总体来说，打球和天气的干扰使这个方案显得不切实际。

同样，不要只采用岩心曝气和用沙子填充孔洞来满足追肥要求。这种方法可能导致分层。所有施用的沙子在孔洞中都不会起作用；有些落在孔洞之间。如果果岭每年曝气两次，则这种多余的沙子每年只会与冠层混合两次。另外，在没有经常表面追肥应用的情况下，很难将沙子保持在根系层附近，作为根部基质的主要组分。

方案示例

最好的方案要包含一定量的岩心曝气以及定期的砂土追肥。如果考虑打孔机尖齿尺寸，则应选择容易且完全回填曝气孔洞的尺寸。根据实地观察，小于 0.5 英寸的打孔机尖齿，可以坚实地填充沙子的最小孔洞。³/₈ 英寸直径的孔不容易填充，即使是最干燥的沙子也无济于事。以下列出了一些激发思考

的方案示例。没有放之四海而皆准的单一方案，但总体上实行全面的追肥目标，可以制定出满足任何球场需求的方案。

• **方案 1: 大孔隙，大间距。**这种方法使用传统曝气设备，尖齿为 ⁵/₈ 英寸，间距为 2 英寸 X 2 英寸。果岭在春秋两季各曝气一次。每 1000 平方英尺总共 36 立方英尺（即每 1000 平方英尺 3600 磅）适用于两次岩心曝气。参见表 2，查看填充用于其他打孔尺寸和间距模式的曝气孔所需沙量。

每 1000 平方英尺必须填充剩余的 14 立方英尺沙子，以满足 50 立方英尺目标，全年通过轻度到中度的追肥加以施用。轻度至中度的追肥被认为是每 1000 平方英尺 0.5 立方英尺到 2.0 立方英尺的区域，相当于每 1000 平方英尺 50 到 200 磅的沙子。

• **方案 2: 垂直割草。**这个方案只适用于新建果岭或满足追肥要求的果岭。使用垂直割草机从冠层上部去除有机物质。进行春季和秋季垂直割草处理。其主要优势是干扰较少。不推荐采用该方案治理作为有机物过量的果岭。将沙子掺入到由垂直割草设备制成

表 2
各种打孔尺寸和构型的曝气孔隙填充沙量

户外曝气 打孔直径 (英寸)	间距 (英寸)	%，受影响 表面积	立方英尺 沙子 / 1000 平方英尺。 需要将 孔隙填充至 3 英寸深度	磅干砂 / 1000 平方 英尺。需将 孔隙填充 至 3 英寸。 深度
1/4	1 x 1	4.91%	12.27	1227
1/4	1 x 2	2.45%	6.14	614
1/4	2 x 2	1.23%	3.07	307
3/8	1 x 1	11.04%	27.61	2761
3/8	1 x 2	5.52%	13.81	1381
3/8	2 x 2	2.76%	6.90	690
1/2	1 x 1	19.63%	49.09	4909
1/2	1 x 2	9.82%	24.54	2454
1/2	2 x 2	4.91%	12.27	1227
5/8	1 x 1	30.68%	76.70	7670
5/8	1 x 2	15.34%	38.35	3835
5/8	2 x 2	7.67%	19.17	1917

的通道中并不容易，特别是当切割槽大于 0.25 英寸深时尤为困难。

垂直割草后，掺入到树冠中的沙量远低于岩心曝气量。随着通道深度的增加，由于通道坍塌和封闭，砂掺入量减少。这可能是一个缺点，因为全年进行轻度和中度追肥所需时间要更多来应用。例如，假设果岭是用 $\frac{1}{4}$ 英寸刀片垂直割草。大约 14% 的面积受到影响，但只施用了 1-3 立方英尺 / 1000 平方英尺 的沙子。这个量的变化范围很大，取决于垂直割草通道的开放状态。剩余的每 1000 平方英尺 40-44 立方英尺沙子通过轻度和中度追肥施用。

许多球场将垂直割草机与曝气机结合使用。一些区域同时进行垂直割草和曝气，而其他区域则分开进行。

有机物积累最快的时候，进行每年一次中度追肥（每 1000 平方英尺 2.0 立方英尺）。在南方的翦股颖果岭，10 月至次年 4 月是有机物产量最多的时期。狗牙根果岭在夏季产生最多有机物质。一年中的任何时间都可以施用轻度追肥。

● **小孔洞，小间距。**使用此方法的示例方案可能包括：外齿直径为 0.420 英寸的超级四叉打孔机，用于 1 英寸 X $1\frac{1}{8}$ 英寸间距。果

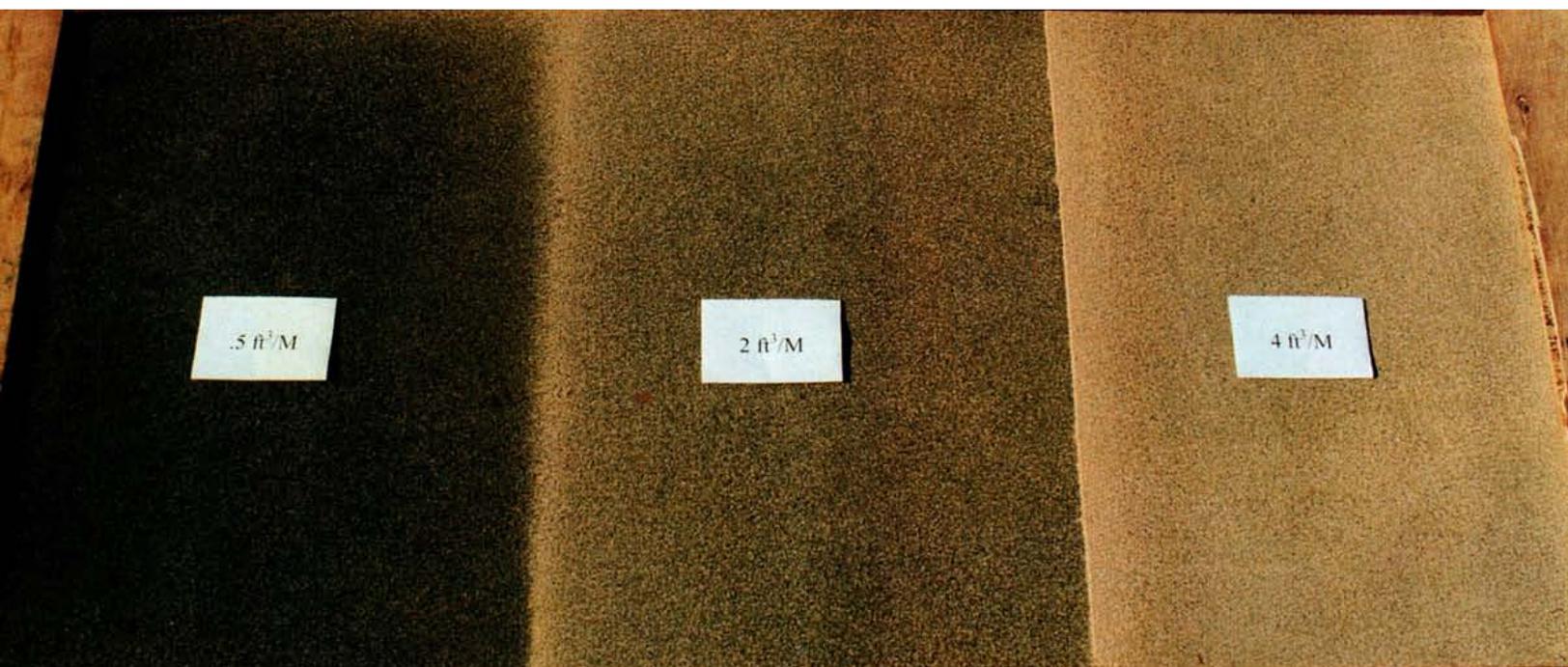
岭在春季曝气两次，秋季曝气一次或两次。每次曝气后填充孔洞所需的总砂量约为每 1000 平方英尺 6.15 立方英尺或每年每 1000 平方英尺 18-24 立方英尺。剩余的 1000 平方英尺 16-32 立方英尺可以通过全年施用轻度或中度追肥。

这种方法需要更小的打孔直径和更紧密的间隔模式。该方案的优点是减少恢复时间。因为，相比较大的孔洞，较小的直径孔洞所需的恢复时间更少。缺点是需要特殊设备，填充曝气孔洞更为困难。孔洞尺寸减小，砂粒横亘于孔表面的可能性越大。超级四叉打孔机只能进入根系层 1.75 英寸，这可能导致较厚的有机物积累层。具有可变间距的曝气器和带有减速器的拖拉机是重复执行这一方案的必备工具。为了获得最佳效果，请花点时间确保孔洞开放干净，并尽量使用最干燥的沙子。

理论与现实：计算沙量

每个高尔夫球场都有其独特的环境。确定所施用的追肥总量是富有挑战性的。表 2 显示了普通打孔尺寸和间距填充曝气孔所需的大致沙量。

体积测量数据（眼见为实）。轻度、中度和重度表面追肥率分别为：每 1000 平方英尺约 0.5 立方英尺；每 1000 平方英尺约 2.0 立方英尺；每 1000 平方英尺约 4.0 立方英尺。



如果已掌握推荐的追肥量，并且确定沙子不能顺利地进入孔中，草坪草管理者必须调整施用的追肥。有时，果岭是潮湿的或沙子是湿的。沙子在孔洞中的填充程度也可以变化。关键问题不是建议用沙量是否适用于填充孔洞，而是实际应用了多少沙量。这些信息在计算年度体积和确定进行轻度或中度追肥所需添加多少沙子时有帮助。

在计算所施用的沙量时，另一个考虑因素是估算投掷到果岭以外区域的沙量。采用旋转式顶部修整进行施加轻度或中度追肥时，要考虑这个问题。

建议达成情况：需要更多还是更少？

曝气和追肥相结合的好处在于，以年度追肥建议为目标值具有简洁性和灵活性。可能需要根据具体情况进行上下调整。在佐治亚州亚特兰大，此建议还包括了气候条件。基于下列因素，其他地区可能需要调整相应的追肥要求。

- **氮素含量。**氮与有机物生产直接相关。具有极高流量等级的果岭，或必须从某种类型的季节性损害中种植复苏的果岭，可能需要采用更高的氮素方案。可能需要更多追肥。在低氮条件下管理的果岭需要的沙量可能较少。

- **土壤 pH 值**土壤 pH 值 >5.5 是细菌活性和有机物质分解的最佳酸碱度。土壤 pH 值低于该水平，可降低有机物分解，则可能需要更多的追肥。

- **草坪草种类。**对于许多剪股颖和/或早熟禾果岭，最低要求是建议每 1000 平方英尺 40-50 立方英尺，可能需要每年调整。非过量的矮生百慕达或杂交狗牙根果岭，其年度追肥要求略低，在每 1000 平方英尺 35-40 立方英尺的范围内。非交播超矮果岭可能需要每 1000 平方英尺 40-50 立方英尺。超大矮生百慕达或杂交狗牙根过量需要每 1000 平方英尺 40-50 立方英尺，但是带有较新超矮品种的果岭往往表面 1-2 英寸积累有机物质，则可能需要更高的量。对于较新的狗

牙根品种，每年施用两次以上的“小孔隙，小间距”方案是一个很好的选择。对于倾向于积累表面有机物质的新型剪股颖品种，或在有利于有机物积累的气候中，高年度追肥用沙率很重要。这些情况下，“小孔隙，小间距”方案值得尝试。

不同寻常的场地条件

存在两种常见的场地条件，可能需要更高的沙量要求或应根据所需施用沙子调整沙量。



- **根系顶部快速枯死。**这种情况的特点是夏季月份由高温引起的剪股颖根系顶部快速枯死。当剪股颖根系顶部突然枯死时，一些有机物质发生性质改变，从活根结构变为具有凝胶状稠度的分解性有机物。卡罗博土说：“根系顶部枯死导致根系减少，但让人困扰的不是根系枯死，而是炎热夏季期间对根系快速枯死作出反应时，由于腐烂根系组织含氧量极低，从而产生的过度潮湿层。”（卡罗等人，2002 年）残余根系处于低氧化应激下，无法存留足够多的水分用于蒸腾冷却。由此可导致水分吸收减少、气孔关闭和高温根系顶部枯死。场地症状为草坪发黄，如果持续一至三天炎热潮湿天气，就会枯死。只要根系层顶部 1 英寸有机物重量

根系层上部的有机物累积是造成果岭随时间的推移而有时发生故障的主要原因。适当的曝气和追肥方案可以防止过量的有机物积累。



在夏季，翦股颖果岭的根系顶部快速枯死，从而在根系层上部产生凝胶状层，造成土壤含氧量低。可在 24 至 72 小时内造成草皮受损，需要额外的曝气和追肥才能促进恢复。

水平为 3-5%，就可能发生这种情况，而当有机物质重量大于 5% 时，这种情况发生概率更大（卡罗等人，2002 年）。炎热季节结束后，有必要继续稀释这种由枯死根系形成的有机物质，以及快速积累的新生根系产生有机物质。需增加追肥，应通过表面追肥和填充曝气孔相结合来满足追肥要求。

• **凉爽季节有机物的积累。**在凉爽季节，根系生长可能非常快。根系通过大孔隙通道向下生长，不定根则近地表生长。虽然活性有机物质不会像分解有机物质那样严重地降低氧气可用性，但是，由于根系填充许多大孔隙，氧气渗透和水分渗透可能不断减少。冬季到早春季节，雨后果岭开始变得更加粘湿泥泞，这种现象变得较为常见。在较为寒冷的气候条件下，土壤温度高于 32°F 但小于 55°F 时，问题更为严重。翦股颖/早熟禾将在高于 32°F 的温度下生长，但有机物分解所需的土壤微生物在 55°F 以下不起作用。这些情况在北方气候，特别是东北沿海和沿海西北部的气候条件下，更为普遍。除水分渗透减少之外，无法观察到其它表面症状，但是次

优氧气水平可降低深层生根率。春季曝气后，会有足够的氧气促进最大根系生长。

进展报告

草坪管理者负责有机物质稀释方案，会对该方案如何运作感到好奇。评估该方案的有效性有三种方法。

第一个方法是，将根系层剖面顶层 1-2 英寸的岩心样本交至土壤测试物理实验室。要求进行测试，确定有机物质的重量。

如果结果显示有机物质含量小于 3%，则是好消息，表明有机物积累已被沙子充分稀释。如果结果显示有机物质含量为 3-5%，则利弊难说，可能会发生大孔隙堵塞所引起的问题。在接下来的几个季节里，要注意实施有机物稀释方案。如果结果显示有机物质含量为 5% 或以上，则情况令人担忧。必须努力减少积累的有机物质。要更加重视岩心曝气和追肥，以填充孔隙。一些管理者可能采样，测样时发现有机物质含量大于 5% 却没有任何明显的症状。这种情况下，未来可能出现各种问题。

在适合剪股颖生长的较冷地区，有机物质含量可以高于 5% 的限值，而不需要立即关注。原因是这些地区的夏季炎热期较短。如果确实出现酷热天气，剪股颖会迅速减少。此外，在这些气候条件下，无论温度如何，有机物质可以继续增加，直至达到迫于氧气压力而不断减少的程度。

在南部过渡带，冬季的剪股颖以及春末的交播狗牙根草坪会发生季节性有机物累积波动的情况。由于活根可提高整体有机物含量，在凉爽季节，根系生长可能会使有机物在秋季提高 1-2%。季节性变化表明，剪股颖和狗牙根草的有机物质采样应在 5 月和夏末。5 月份，有机物质含量最高（特别是交播狗牙根果岭），而夏末则是一年中有机物质含量最低的时期。

评估方案有效性的另一种方法是对土壤剖面进行实地观察。如果存在分层的问题（正如不同的沙层或有机物质层所证明的那样），则可能是追肥相隔太远，或者是中度应用之间的轻度应用沙量太少了。另外，还需寻找通过曝气和追肥形成的沙柱。曝气后立马进行检查，则草坪管理者可以看到孔隙是否被沙子完全充满。

最后的一种评估方法包括使用双环渗透仪来读取季节性渗透数据。结合有机物质采样得到的读数可能会非常有用。通过每个季节在果岭同一地方进行数次渗透测量，草坪管理者可以获取几个重要信息。首先，季节渗透的变化将会一目了然。其次，连续进行几年读数后，管理者可以看到渗透率是否随着有机物稀释方案而增加、减少或保持不变。

结论

“老弟，问题的关键在于更多的沙子。”老汤姆·莫里斯如是说。虽然老汤姆可能从来没有想过果岭养护的科学和艺术会达到当今的质量水平，但他对沙子的重视言犹在耳，

依然是正确的。本文提供的信息具有科学依据，以证实行业内大多数人都明白的这一点：曝气和追肥是成功管理果岭的基础。

鸣谢

特别感谢佐治亚大学的鲍勃·卡罗博士和佐治亚州夏洛特乡村俱乐部高尔夫球场主管迈克·皮罗。

参考文献

- Beard, J. B. 2002. *Tuif Management for Golf Courses*, 2nd ed. Ann Arbor Press, Chelsea, Mich.
- Carrow, R. 1996. Summer decline of bent grass greens. *Golf Course Management*. 64(6): 51-56.
- Carrow, R. 1998. Organic matter dynamics in the surface zone of a USGA green: practices to alleviate problems. *The USGA 1998 Tuifgrass and Environmental Research Summary*. Golf House, Far Hills, N.J.
- Carrow, R., P. O'Brien, and C. Hartwiger. 2002. Why Putting Greens Sometimes Fail. Unpublished manuscript.
- Curtis, A. 2001. Evolution of a sand-based rootzone. *Golf Course Management*. 69(3). www.gcsaa.org/gcmI2001/mar01/03evolution.html.
- Habeck, J., and N. Christians. 2000. Time alters greens' key characteristics. *Golf Course Management*. 68(5). www.gcsaa.org/gcmI2000/may00/oftime.html.
- Hartwiger, C. 1997. A shower a day fills the holes ok. *USGA Green Section Record*. 35(3): 18.
- O'Brien, P., and C. Hartwiger. 2001. Core aeration by the numbers. *USGA Green Section Record*. 39(4): 8-9.

主管，帕特·奥布赖恩，和农艺师，克里斯·哈特威格：《经营果岭部门的东南部地区》。