植物生长调节剂在高尔夫球场果岭的有效利用

为了最大限度地发挥植物生长调节剂的潜力，可以采用生长度日模型；该模型提供了一种简单有效的方法评估 PGR 性能。

作者：比尔・克罗伊泽博士

割草是草坪管理方面最耗费人工和燃油的措施，也是大多数高尔夫球场管理预算的主要组成部分。因此，数十年来草坪管理者一直试图减少修剪需求。USGA 果岭部农艺师于 20 世纪 40 年代首先报道了激素生长调节剂可以减少草坪割草量（科曼和本特森，1940 年）。到了二十世纪中期，市场中出现了几种植物生长调节剂产品 (PGR)，包括可用于草坪的青鲜素和氟磺酰草胺等细胞分裂抑制剂。虽然这些产品具有重要的意义，但由于它们有时可能具有植物毒性，所以它们的使用仍然局限于低维护成本草坪。*《公牛报》*（匿名作者，1959 年）上发表的一篇文章说：“十年后，您可以坐在无需割草的草坪上，并从矮树的低矮树枝上摘下一只正常大小的桃子。这一场景是可能出现的，因为在 10 年内我们将研发出一种“抗赤霉素”。虽然该声明的第一部分尚未可知，但赤霉素 (GA) 抑制性生长调节剂，已经改变了我们管理优良草坪的方式。GA 的抑制性 PGR 可减少刈割量，提供良好的全年安全性，并促进一些间接好处，包括改善叶色、增加胁迫耐受力和减少营养需求。如今，抗倒酯、调嘧醇和多效唑等 GA 抑制性 PGR，是世界各地推行果岭管理计划的主要内容。

经过近 80 年的 PGR 草坪研究，尽管草坪行业已广泛采用，但使用 PGR 的背后依然蒙着一重神秘面纱，或者说，存在不确定因素——特别是在高尔夫球场的应用。杀菌剂或除草剂的作用到底是什么？是针对疾病还是针对杂草？这个问题是否容易？如果容易判断，则可能需要另一种施用措施。然而，查明 PGR 的效用并不是那么轻易。通常，高尔夫球场总监判断 PGR 计划的有效性的唯一方法是每天收到的割草量报告。虽然这种方法可能很简单，但通常不是很准确。割草量的日常变会影响 PGR 产生的割草量变化（图 1），使得高尔夫球场总监难以直观地估计 PGR 的效用。最终，确定 PGR 效用问题导致了各种不同的 PGR 施用率和频率，几乎没有什么具体数据来测量现场的性能。

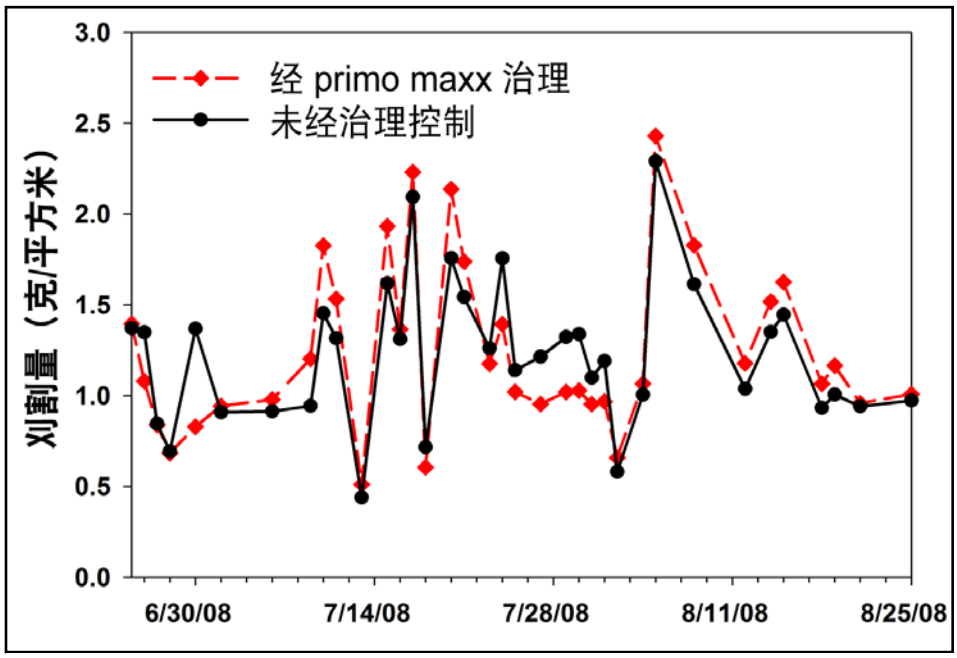

图 1 匍匐翦股颖果岭实际割草量的波动。红线代表用抗倒酯处理的地块，黑色代表对照地块。割草量的逐日波动比由 PGR 施用引起的变化更为极端。

用于果岭管理的 PGR

根据定义，PGR 可以是改变植物生长或发育的任何天然或合成化合物，包括植物激素、除草剂、生长抑制剂甚至生物刺激素。草坪的植物生长调节剂分为六类，分别为 A 类至 F 类（表 1）。虽然 A 类和 B 类 PGR 最常用于果岭维护，但所有 PGR 类别都会用于大多数的管理程序之中。例如，氟磺酰草胺（Embark®, PBI-Gordon 公司）和乙烯利（Proxy®, 拜耳环境科学）是用于控制一年生早熟禾（*Poa annua*）种穗生产的 C 类和 E 类 PGR。除草剂，恶噻草醚（PoaCure®，Moghu 研究中心），是 D 类 PGR，用于控制一年生早熟

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

《果岭部记录》第 53 卷第 7 期
2015 年 4 月 3 日
TGIF 记录编号 256014

表 1
植物生长调节剂化学类别、作用方式、以及果岭常用示例

PGR 类别	作用方式	常见示例和商品名称
A	晚期赤霉素抑制剂	抗倒酯（Primo® Maxx，先正达公司），调环酸钙（Anuew™，Nufarm 公司）
B	早期赤霉素抑制剂	调嘧醇（Cutless® MEC，SePro 公司），多效唑（Trimmit® 2SC，先正达公司）
C	早期赤霉素抑制剂	氟磺酰草胺（Embark®，PBI-Gordon 公司）
D	除草剂	恶噻草醚（PoaCure®，Moghu 研究中心），草甘膦（Roundup®，孟山都公司）
E	植物激素	乙烯利（Proxy®，拜耳环境科学）
F	自然生长调节剂	海藻提取物，腐殖酸

禾，但也可以减少匍匐剪股颖的刈割量（霍伊辛顿，2013 年）。此外，许多高尔夫球场总监都使用腐植酸和海藻提取物（F 类 FGR）提高夏季条件压力下的果岭性能。然而，大多数高尔夫球场总监在谈论果岭生长调节剂时都想到了 GA 抑制剂，这些产品也将是本文的重点。

通常用于冷季节和暖季节果岭的赤霉素抑制剂包括抗倒酯、调嘧醇和多效唑。在 2015 年，调环酸钙将作为第四种 GA 抑制剂推向草坪市场。所有四种 PGR 都通过限制 GA 的产生而起作用；GA 是一种可使细胞延长的植物激素。A 类 PGR 抑制末端途径附近的 GA 生物合成，而 B 类 PGR 在途径中较早抑制 GA 生物合成。A 类 PGR 被叶面吸收，快速流失，并在不同的喷雾量范围内减少割草量（费格纳斯和彭纳，1998 年上半年和 1998 年下半年）。B 类 PGR 为根系吸收，应用后应轻轻地浇注到土壤中。

赤霉素抑制剂在两个不同阶段影响刈割量（图 2）。在抑制 GA 期间首先降低刈割量，其紧随着 PGR 施用。经过一段时间后，相对割草量增加，并且随后超过了未处理草皮的割草量（图 2）。费格纳斯和耶尔弗顿（2000 年）首先描述了这个提高狗牙根割草量的时期，并称之为“抑制后促生长作用”。目前，这个阶段更经常被称为“反弹阶段”，在许多草坪草种中都能观察到。人们认为反弹阶段是由于 GA 采收者和碳水化合物在抑制期间积累而导致的，一旦 PGR 在割草期间被代谢或去除，就会导致割草量的快速增加。草皮经理应尽量避免反弹阶段，最大限度地发挥适用于果岭的 PGR 的积极效用。

在标记率下，GA 抑制剂通常在大多数草中四周时间内抑制了 50% 的割草量（表 2）。明显的例外是 A 类 PGR 适用于冷季节高尔夫球场。麦卡洛等人（2006 年）首先证实，当以 5.5 液盎司/英亩（0.125 液盎司/1,000 平方英尺）施用时，抗倒酯（(Primo® Maxx，先正达公司）在两周时间内将匍匐翦股颖果岭割草量降低了 20%。在后续研究中，麦卡洛等人（2007 年）报道，抗倒酯施用量并未影响匍匐翦股颖果岭的割草量抑制的总量。需要更频繁的施用间隔来维持一致的生长抑制。相比之下，在同一研究中，天堂草果岭在四周时间内割草量减少了 55%。内布

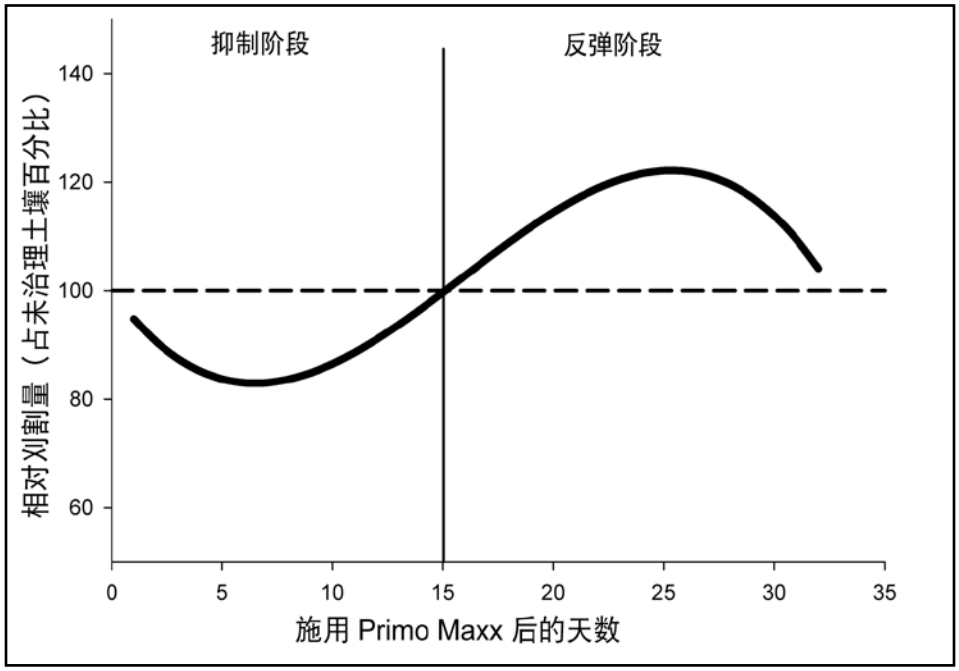

图 2 赤霉素抑制剂会影响两各阶段的生长。第一阶段是生长抑制。第二阶段是一个反弹阶段，其刈割量大于未处理的草坪。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

表 1
抗倒酯施用量和再施用频率
对各种草坪草种生长抑制量和持续时间的影响

草坪草种和割草高度	施用率	再施用频率	生长抑制	生长抑制的大致持续时间	参考信息
通用名称，英寸	*液盎司/英亩*	*周数*	*控制百分比*	*周数*	
匍匐剪股颖，0.13	5.5	4	20%	2	麦卡洛等人，2006 年
匍匐剪股颖，0.13	2.2, 3.3, 5.5	1, 2, 3	20 - 40 %	3	麦卡洛等人，2007 年
草地早熟禾，1.18	5.5	4-6	20%	4 - 6	斯蒂尔和罗杰斯，2001 年
草地早熟禾，1.30	5.5	4	50%	4	谭和钱，2003 年
草地早熟禾，1.25	15, 32, 64	无	44 - 73%	4 - 5*	比斯利和伯兰罕，2007 年
粗茎早熟禾，3.15	32	6	55 - 80%	6	加德纳和韦瑞，2005 年
羊茅，3.15	32	6	35 - 50%	6	加德纳和韦瑞，2005 年
钝叶草，3.00	15, 32	2, 4	50%	4	迈卡蒂等人，2004 年
林地早熟禾，1.18	5.5	4-6	60%	4-6	斯蒂尔和罗杰斯，2001 年
高羊茅，1.50	32	无	44 - 77%	4	里奇等人，2001 年
高羊茅，3.15	32	6	58 - 76%	6	加德纳和韦瑞，2005 年
老鹰草狗牙根，0.13	5.5	4	60%	3	麦卡洛等人，2007 年
天堂草，0.63	7.7, 12.1	4	60%	4	法格尼斯和耶尔弗顿，2000 年
天堂草，1.00	12.1	4	50%	4	法格尼斯等人，2004 年
结缕草，0.47	5.5, 11, 21	4, 8, 12	25, 27, 0%	4-6	钱和恩格尔克，1999 年

*时间取决于夏季或秋季

拉斯加大学和威斯康星大学进行的初步研究发现，另一种 A 类 PGR 的调环酸钙（Anuew™，NuFarm 公司）也将割草量降低了约 20%（奥比尔和克罗伊泽，2014 年；索尔达特，2014 年）。

避免生长度日反弹（GDD）

在二十世纪初，许多高尔夫球场总监报告称，抗倒酯在夏季的效果持续时间不长，许多人认为草坪正在变得对 PGR 具有抗性或免疫性。然而，效果减弱的现象只有在夏季才能观察到。研究人员还在夏季观察到抗倒酯的效用降低（里克费尔特等人，2005 年；比斯利和布拉纳姆，2007 年）。当他们证实抗倒酯酸（Primo® Maxx 的植物活性形式）和多效唑的分解随空气温度增加时，伊利诺伊大学的布拉纳姆和比斯利（2005 年）作出了解释。这一结果导致研究人员质疑基于日历安排 PGR 施药的效果，并认为，在温暖的夏季月份，应该比春秋两季较冷的月份更频繁地施用 PGR。

生长度日（GDD）模型广泛用于将作物生长与农业生产中与气温相关的领域。为了计算 GDD，将高低空气

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

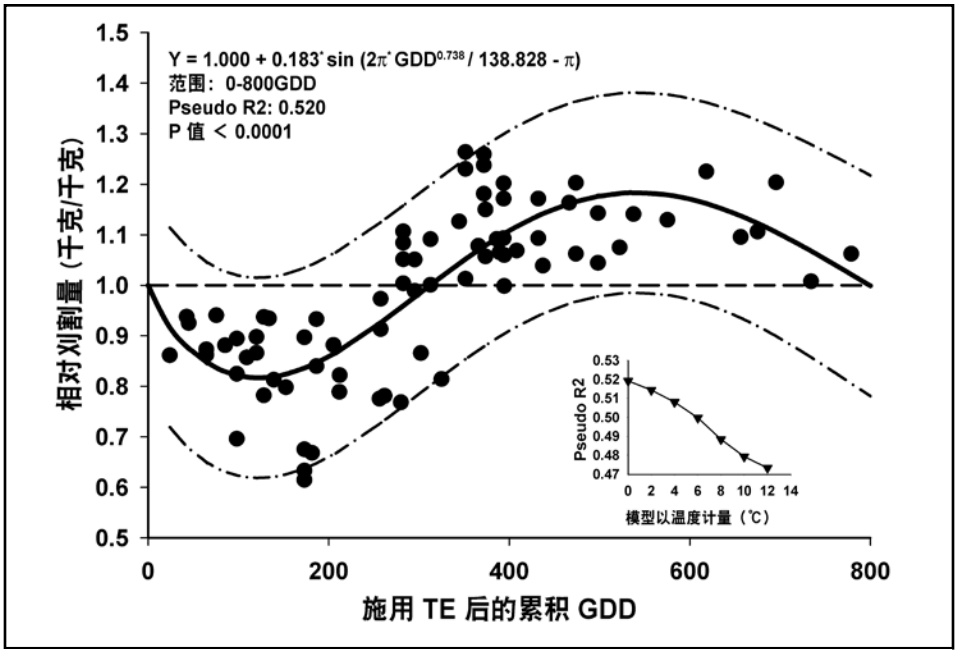

图 3 生长度日模型可以预测抑制和反弹阶段的持续时间和幅度。0 摄氏度基数温度产生了最好的模型结果。

温度进行平均，从代谢最小的基数温度中减去该平均温度值，并将其添加到前几天的值。研究人员推测，GDD 模型还可以预测生长抑制的持续时间，研究人员还推测应该有一个理想的基于 GDD 的再施用间隔，不管空气温度如何都可以持续一年的产量抑制。

为了验证 GDD 再施用间隔理论，2008 年开始了一项匍匐翦股颖果岭实地研究。该研究很简单 — 施药方式为每 100、200、400 和 800 个 GDD 以及每四周应施用一次 Primo® Maxx （抗倒酯）。每日 GDD 以摄氏度计，基数温度为 0 摄氏度，并且在 Primo® Maxx 再施用后将模型重置为 0。收集割草后的草屑，每周称重约 5 天，相对生长率与 Primo® Maxx 施用后的累积 GDD 有关。研究的目的是确定维持整季割草量抑制的 GDD 间隔。

研究表明，GDD 模型成功预测了 Primo® Maxx 施用后抑制和反弹生长阶段的持续时间（图 3）。在 Primo® Maxx 施用后，抑制发生在 0 至 300 GDD 阶段，随后是 300 至 800 GDD 的反弹阶段（克罗伊泽和索尔达特，2011年）。在反弹期间反映出相对割草量抑制——对照组的 20%。400 GDD、800 GDD 和四周再施用间隔并未维持抑制阶段（图 4）。100 和 200 个 GDD 间隔都阻止了反弹阶段。在 2009 年和 2010 年以两种 Primo® Maxx 施用率 — 5.5 或 11 液盎司/英亩（0.125 或 0.250 液盎司/1,000 平方英尺）— 对 GDD 模型进行了验证。Primo® Maxx 施用间隔再次在生长季节期间维持割草量抑制。有趣的是，施用率并没有影响生长抑制阶段的强度或持续时间（克罗伊泽和索尔达特，2011 年）。这项研究清楚地表明，Primo® Maxx 需要更频繁地施用，以保持温暖夏季期间的产量抑制，而不是以更高的速率。

自从 GDD 初步研究以来，已证明 Primo® Maxx 的 200 个 GDD 再施用间隔，在纽约州到内布拉斯加州的几个北部州都有效。来自世界各地的球场总监已经开始使用 GDD 模型来安排在冷季节果岭的 PGR 施用 — 一年生早熟禾和匍匐翦股颖果岭的反应,类似于 GDD 模型确定的 PGR 施用间隔（克罗伊泽，2014 年）。此外，研究人员还开发了其他 PGR 的 GDD 阈值。最新研究显示，GDD 还可以预测多效唑（Trimmit® 2SC，先正达公司）的生长阶段（克罗伊泽等人，*《工作草稿》*）。Trimmit® 2SC 的预估 GDD 阈值和峰值生长抑制为 350 GDD，在 11 液盎司/英亩（0.25 液盎司/ 1,000 平方英尺）施用率下为 45% 抑制（图 5）。然而，与 Primo® Maxx 不同，有证据表明使用多效唑对施用率的影响。更高的施用率导致较长时间内生长抑制的

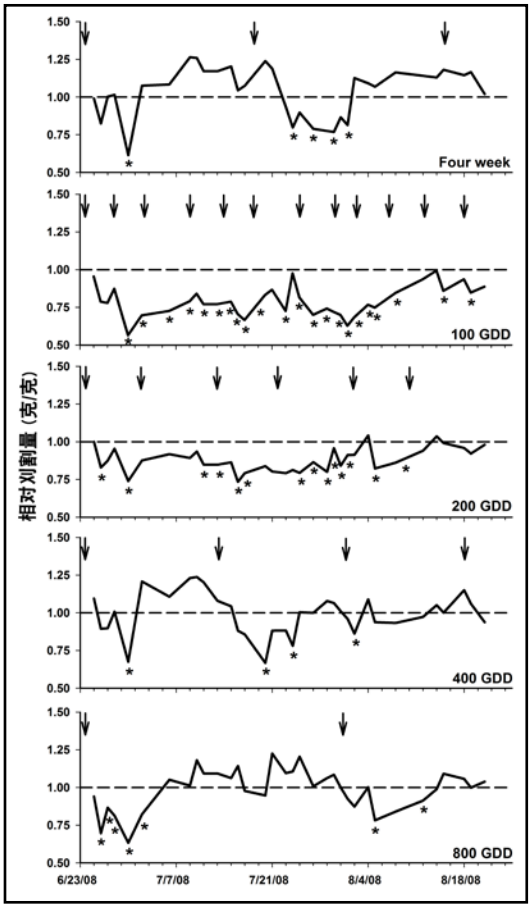

图 4 每 100、200、400 和 800 个 GDD 或每四周再施用抗倒酯。100 和 200 个 GDD 再施用间隔保持生长抑制，其他间隔则无法防止反弹阶段发生。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

增加（图5）。2015 年夏季将进行更多的研究，以了解 B 类 PGR 对果岭性能的施用率影响。

多效唑和抗倒酯混合施用导致生长抑制稍稍增加，但未增加冷季果岭生长抑制的持续时间（克罗伊泽等人，*《工作草稿》*）。有一些证据表明，当 A 类和 B 类 PGR 混合在一起施用时，峰值生长抑制发生得更快。然而，由于草坪草从未离开生长抑制阶段，基于 GDD 的再施用间隔使这一情况无从发生。此外，可以通过更高的多效唑施用率来实现生长抑制的增加。A 类和 B 类 PGR 混合物的理想 GDD 再施用间隔应为 B 类 PGR 的再施用间隔，这是由于其在植物中持续时间更长。

大多数 PGR GDD 研究仅在北部州的匍匐翦股颖或一年生早熟禾/匍匐翦股颖混合果岭进行。因此，所推荐的 GDD 阈值仅适用于这些类型的果岭。不同管理下的其他草坪种类对 PGR 的反应存在差异。例如，麦卡洛等人（2006 年和 2007 年）已经证明，狗牙根果岭对于 PGR 比匍匐翦股颖果岭更为敏感。在 5.5 液盎司/英亩（0.125 液盎司/1,000 平方英尺）或该值以下的抗倒酯施用率，在四周时间内对天堂草生长抑制超过 50%（麦卡洛等人，2006 年和 2007 年）。有研究显示，较高的抗倒酯施用率下对狗牙根具有显著的植物毒性（麦卡洛等人，2006 年）。因此，许多狗牙根果岭球场的草坪总监通常在生长季节每周以轻施用率（例如，少于 2 液盎司/英亩或 0.05 液盎司/1,000平方英尺）施用抗倒酯。

其他草坪科学家目前正在评估其他草坪草种的 GDD 模型和再施用阈值。麦卡洛博士目前正在佐治亚大学开发暖季草的模型。麦卡洛博士将 GDD 模型与气温和日照数据更进一步结合，更准确地预测 PGR 性能。此外，明尼苏达大学的研究人员正在研究如何养护高尔夫球道和运动场草坪草地早熟禾的 GDD 模型。为了帮助跟踪 GDD，可以登陆 turf.unl.edu 下载一个 Excel 电子表格，该网站将在 2015 年春末推出一个 app 应用。

草坪割草量抑制的益处

大多数高尔夫球场总监在草坪上使用 PGR 不仅仅是为了减少刈割量。科学文献记载了大量与 PGR 有关的间接益处的例子。例如，抗倒酯的常规施用加深了草坪颜色和目测质量评级（欧文和张，2008 年）。赤霉素抑制 PGR 可减少叶细胞长度，增加细胞密度，并增加叶绿素浓度，加深了草坪草的颜色（欧文和科斯基，2001 年；施蒂尔和罗杰斯，2001 年；邦内尔等，2005 年）。当 PGR 更频繁地施用时，草坪颜色和目测质量最好（施蒂尔等人，1999 年；钱和恩格尔克，1999 年）。抗倒酯还增加了分蘖密度和叶面积指数（欧文和科斯基，1998 年；比斯利和布拉纳姆，2007 年）。其他的 PGR 益处包括增加碳水化合物储存量，改善胁迫耐受性和减少氮肥需求。赤霉素抑制性 PGR 对冷季和暖季草坪草根系的影响尚无定论（欧文和张，2008 年）。

PGR 的这些间接益处在抑制阶段出现，这就是为什么在草坪上使用 PGR 时可以维持季节性割草量减少的重要原因。例如，用抗倒酯处理草坪草之后，观察到总的非结构性碳水化合物 (TNC)（即植物在黑暗中和草坪处于强烈环境压力情况下储存维持生长和生存的能量）增加，然后在施用后 4 至 16 周后减少，密切反映了抑制和反弹生长阶段（韩等人，1998 年和 2004 年）。在杂交狗牙根中发生了类似的现象（华尔兹和惠特威尔，2005 年），在高羊茅中反弹阶段测量 TNC 时（里奇等人，2001 年）也是如此。碳水化合物储备随着割草量在抑制阶段的减慢而增加，但在反弹阶段的促生长作用迅速消耗了储存的 TNC。

持续割草量抑制也可以减少果岭氮需求（克罗伊泽和索尔达特，2012 年）。在割草期间通常会把割草草屑从果岭中移除，以提高击球品质。这一措施会移除大量的氮，需要用肥料代替，以维持可接受的果岭性能和质量。采用一种 PGR 限制生长是减少割草过程中氮流失的方法，但只有在整个生长季节抑制割草量的情况下才会发生。2008 年至 2010 年，研

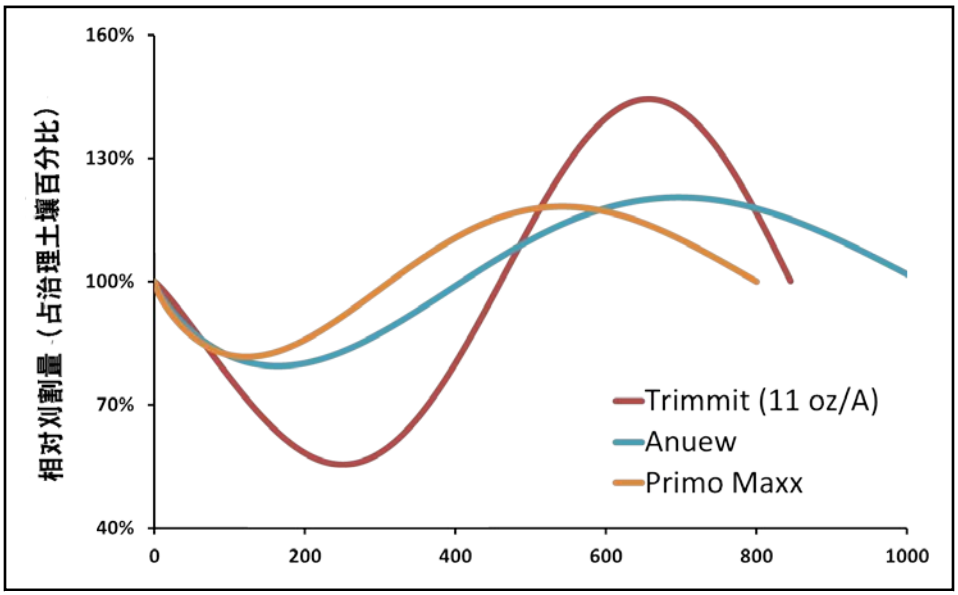

图 5GDD 模型还可预测多效唑的生长抑制和反弹。多效唑和抗倒酯混合施用导致稍大一些的生长抑制，但不会延长生长抑制的持续时间。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

究人员在威斯康星州麦迪逊的一个匍匐翦股颖果岭进行了一项实验。每两周在该果岭施用 0.1、0.2 或 0.4 磅/1,000 平方英尺的氮肥。在第一年，每三周用抗倒酯(Primo® Maxx)处理这些地块，或不用 PGR 处理。在季节结束时，使用抗倒酯处理的地块与未使用 PGR 处理的地块具有相同的氮响应/需求。割草量数据表明，整个季节的产量抑制并未持续，抑制阶段节省的氮在反弹阶段被损耗了。随后两年，每 200 个 GDD 施用抗倒酯。平均而言，保守估计抗倒酯将氮素需求减少了 20% 至 40%，因为在割草期间，抗倒酯增加了草坪颜色和限制了氮清除。当 0.2 磅/1,000 平方英尺氮和抗倒酯处理的草坪，与 0.4 磅/1,000 平方英尺氮处理草坪的质量相近时，会出现几个评级日期（图 6），割草量与使用 0.1 磅/1,000 平方英尺氮施肥（未用抗倒酯）的地块相似。但还是要给个警告：之前 PGR 施用非常频繁的果岭可能已经考虑到了氮需求变化。氮的进一步减少可能导致草坪质量下滑。

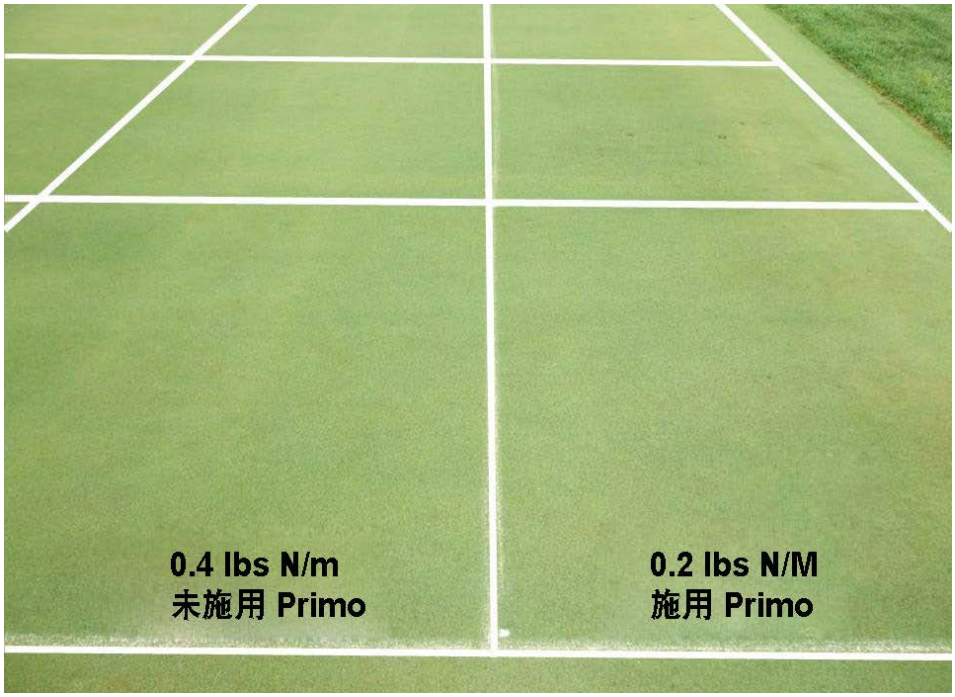

图 6 右侧的草坪用 0.2 磅/1,000 平方英尺氮施肥，并且每 200 个 GDD 使用抗倒酯处理。左侧的草坪用 0.4 磅/1,000 平方英尺氮施肥，但没有接受抗倒酯。在 2009 年和 2010 年的大多数评级日期，这些处理具有类似的草坪草质量。

PGR 和球滚动距离

PGR 用于果岭的另一个重要原因，是为了提高果岭击球速度或球滚动距离。理论依据是，PGR 叶子生长缓慢，可增加果岭击球速度，有证据表明 PGR 增加了在狗牙根果岭上的球滚动距离。最近，迈卡蒂等人（2011 年）发现，在老鹰草狗牙根果岭上，调嘧醇和抗倒酯在上午测量时以及下午测量时球滚动距离分别增加了 8 英寸和 2 英寸以及 10 英寸和 4 英寸。麦卡洛等人（2007 年）也证明，当每周（1.8 液盎司/英亩）、每两周（3.7 液盎司/英亩）或每三周（5.5 液盎司/英亩）施用抗倒酯时，老鹰草狗牙根果岭上的球滚动距离增加了 10 英寸。

然而，其他草种的试验结果并不明显。在一些场合下，沟叶结缕草果岭每周使用抗倒酯（1.8 液盎司/英亩）稍稍增加了球滚动距离，但是在其他评级日期它减少了球滚动距离或对其没有影响（蒙切克等人，2014 年）。冷季节果岭情形类似。早期研究表明，抗倒酯对球滚动距离的影响（即增加或减少 6 英寸）仅凭高尔夫球手肉眼根本看不出来（费格纳斯等，2000 年；麦卡洛等人，2005 年；卡彻等，2006 年）。重复施用 GDD 间隔的 PGR 无法增加太多的球滚动距离（麦克唐纳等人，2013 年；克罗伊泽，2014 年）。即使能产生比抗倒酯更多的相对生长抑制的 B 类 PGR，只能增加 0 至 5 英寸的球滚动距离（克罗伊泽和罗西，*《工作草稿》*）。数据的进一步分析表明，球滚动距离和割草量之间没有关系（图 7）（克罗伊泽，2014 年）。可能的其他因素，如叶子硬度/多汁度、质量或割草，以及表面微观形貌，对球滚动距离的影响比割草量更大。费格纳斯等人（2000 年）和克罗伊泽（2014 年）都表明，一旦果岭目测质量下降，球滚动距离也随之下降。这些结果表明，高尔夫球场总监努力保持良好的草坪质量，最大限度地提高球滚动距离。

使用 PDG 控制一年生早熟禾

植物生长调节剂也可用于控制匍匐剪股颖果岭中的一年生早熟禾增殖。B 类 PGR 通常可以可比抗倒酯更好地控制一年生早熟禾。大量报告表明，在匍匐剪股颖球道上使用多效唑和调嘧醇可以控制一年生早熟禾（比奇洛等人，2007 年；伊斯格雷斯等人，1999 年上半年和下半年；约翰逊和墨菲，1995 年和 1996 年；麦卡洛等人，2005 年；伍利等人，2003 年）。B 类 PGR 施用无法彻底根除一年生早熟禾，但可以减缓一年生早熟禾入侵。相比之下，抗倒酯对控制匍匐剪股颖球道中一年生早熟禾的影响有限（比奇洛等，2007 年；麦卡洛等，2005 年；罗西，2001 年）。赖歇尔等人的新研究（2015 年）显示，三年来在印第安纳州、密歇根州和内布拉斯加州

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

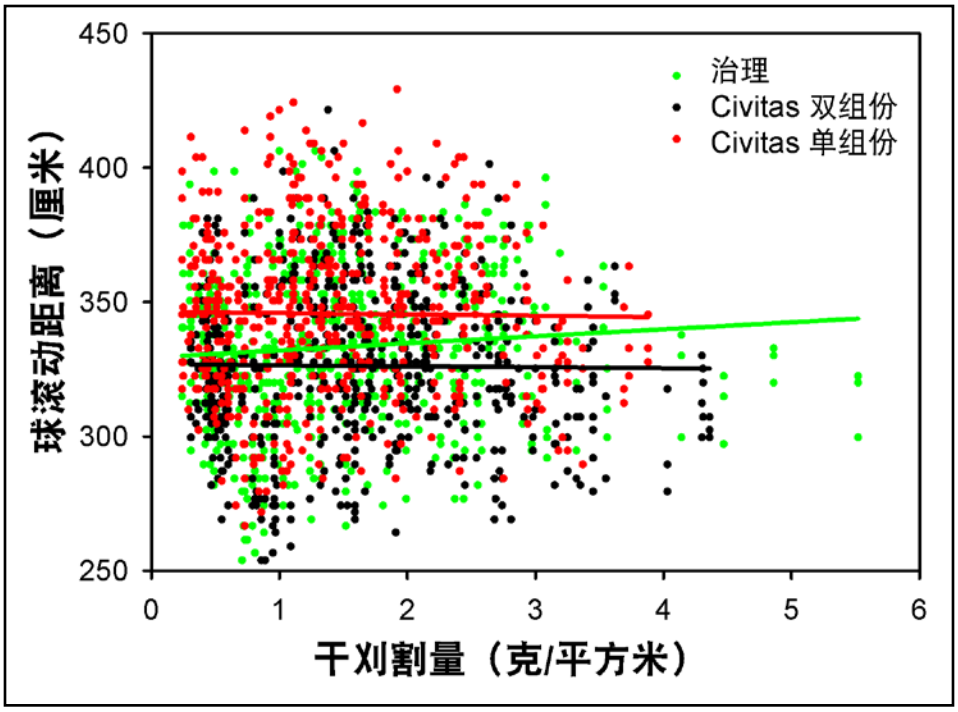

图 7 割草量是对球滚动距离影响很小的预测因子。

发现了类似的一年生早熟禾控制。多效唑（Trimmit® 2SC，先正达公司）的频繁施用提供了最大量的一年生早熟禾控制，其次是调嘧醇（(Cutless® MEC，SePRO 公司）、调嘧醇加上抗倒酯（Legacy®，SePRO 公司），最后是抗倒酯，与对照地块相同（图 8）。

在高尔夫行业很多人认为“Primo® 等于*早熟禾专用*”。虽然研究不支持这一想法，但给出的理由是抗倒酯使一年生早熟禾更健康，更有可能在夏季胁迫下存活下来。一个替代性推论是，抗倒酯使一年生早熟禾的颜色更加引人注目。为了检验这些推论，每 200 个 GDD 使用三种不同施用率的 Primo® Maxx （0.125、0.250、0.500 液盎司/1,000 平方英尺）处理匍匐剪股颖/一年生早熟禾混合地块。经过两个月的处理后，2009 年威斯康星大学草坪野外实习日的学生们，被要求直观估算一年生早熟禾覆盖的果岭表面百分比。第二天，用含有 700 多个杂交地块的网格测量了一年生早熟禾的实际百分比。与未处理的对照地块相比，每 200 个 GDD 用 Primo® Maxx 处理的草坪一年生早熟禾的实际百分比略低（图 9）。然而，直观估计认为，施用 0.125 和 0.500 液盎司 / 1,000 平方英尺 Primo® Maxx 的地块比对照地块的一年生早熟禾更多。评估者只看到未处理地块一年生早熟禾实际数量的一半，但它们相当准确地估计了经 Primo® Maxx 处理地块中一年生早熟禾百分比（图 9）。Primo® Maxx 的施用增加了一年生早熟禾和匍匐剪股颖之间的对比度。当用 Primo® Maxx 处理时，叶密度增加，叶片分离，匍匐剪股颖具有较深的蓝绿色。因此，我们经验丰富的草坪专业人士准确估计了使用 Primo® Maxx 处理地块中的一年生早熟禾。

PGR 和黄化

细菌性黄化已经成为草坪行业的热门话题。受影响的草坪草通常表现出叶片快速伸长和叶片黄化。这种疾病是由*燕麦食酸菌*亚种*麦长管蚜*和*黄单胞菌属*引起的（乔达诺等人，2012 年；罗伯茨等人，2014 年下半年）。虽然细菌性黄化的症状部分是由胁迫引发的。但是，已证明抗倒酯可增加叶片黄化的严重程度。罗伯茨等人（2013 年和 2014 年上半年）发现，先前接种*燕麦食酸菌*亚种*麦长管蚜*的匍匐剪股颖，当用抗倒酯处理时，叶片黄化更严重。有趣的是，用抗倒酯处理的草坪也有最好的目测草坪质量。与每

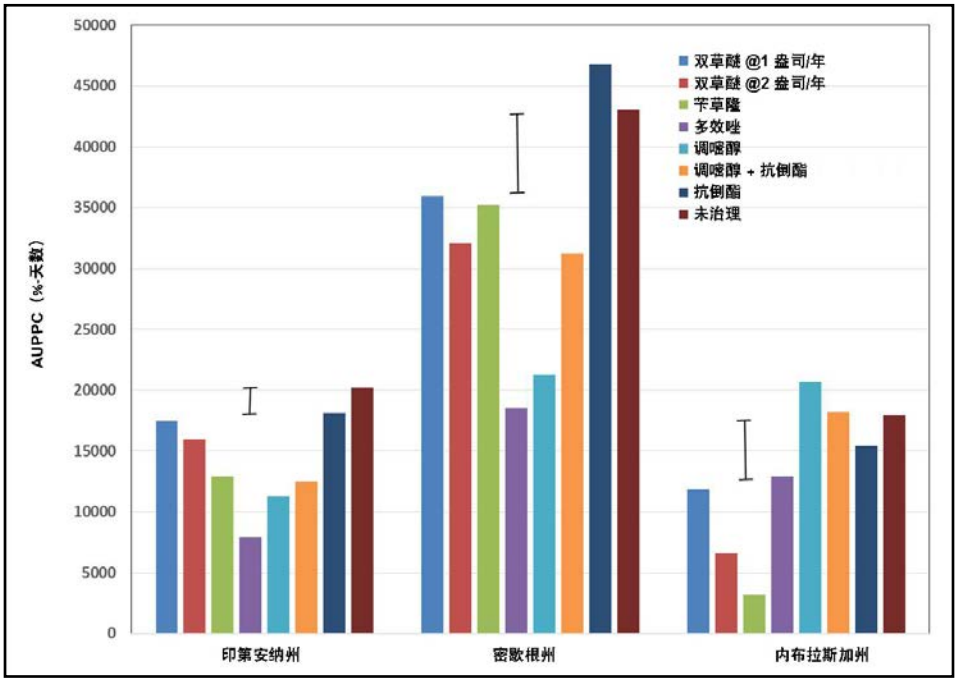

图 8 由不同生长调节剂处理的匍匐翦股颖果岭三年的早熟禾增长曲线下的面积。根据赖歇尔等人 2015 年的研究改编。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

14 天的间隔相比，每 7 天使用抗倒酯时，黄化症状更严重。相对于对照地块，多效唑和调嘧醇并未影响疾病严重程度（罗伯茨等人，2014 年上半年）。科学界仍然在设法弄明白为什么抗倒酯会加剧黄化。在我们对此有更深入的了解之前，研究人员建议在严重暴发细菌性黄化期间使用 B 类 PGR。

总结

已经证明，赤霉素抑制性 PGR 是果岭管理的重要工具。除了减少割草量外，还可以加深草坪颜色并增加分蘖密度、提高草坪质量、降低氮素需求、提高胁迫耐受性以及抑制一年生早熟禾入侵。为了最大限度发挥 PGR 潜力，高尔夫球场总监需要努力保持整个季节割草量抑制。可惜，在现场目测估计 PGR 性能几乎是不可能的。这就让管理者难以决定何时才应再施用 PGR 。生长度日模型提供了一种简单有效的方法来评估 PGR 性能。这些模型将 PGR 调度从基于日历的无效间隔转移到基于植物新陈代谢的间隔。日益增长的再施用阈值提供了一种简单的方法来维持割草量抑制，避免反弹阶段，并最大限度提高间接益处。

参考文献

Anonymous. 1959. End of lawn mowing seen. The Bull Sheet. 13: 2.

Bigelow, C. A., G. A. Hardebeck, and B. T. Bunnell. 2007. Monthly flurprimidol applications reduce annual bluegrass populations in a creeping bentgrass fairway. Online. Applied Turfgrass Science doi: 10.1094/ATS-2007-0508-02-RS.

Beasley, J. S., and B. E. Branham. 2005. Analysis of paclobutrazol and trinexapac acid in turfgrass clippings. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 10(2): 1170-1175.

Beasley, J. S., B. E. Branham, and L. A. Spomer. 2007. Plant growth regulators alter Kentucky bluegrass canopy leaf area and carbon exchange. Crop Sci. 47: 757-766.

Bunnell, B. T., L. B. McCarty, and W. C. Bridges. 2005. TifEagle bermudagrass response to growth factors and mowing height when grown at various hours of sunlight. Crop Sci. 45: 575-581.

Cornman, J. F., and J. W. Bengtson. 1940. Growth substances on turf grasses. Turf Culture. 2: 110-120.

Ervin, E. H., and A. J. Koski. 1998. Growth responses of *Lolium perenne* to trinexapac-ethyl. Hort Sci. 33: 1200-1202.

Ervin, E. H., and A. J. Koski. 2001. Trinexapac-ethyl increases Kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. HortScience. 36: 87-789.

Ervin, E. H., and X. Zhang. 2008. Applied physiology of natural and synthetic plant growth regulators on turfgrasses. p.171-200. *In* M. Pessarakli (ed.) Handbook of turfgrass management and physiology. CRC Press, Boca Raton, FL.

Fagerness, M. J., and D. Penner. 1998a. ^{14}C-trinexpac-ethyl absorption and translocation in Kentucky bluegrass. Crop Sci. 38: 1023-1027.

Fagerness, M. J., and D. Penner. 1998b. Spray application parameters that influence the growth inhibiting effects of trinexapac-ethyl. Crop Sci. 38: 1028-1035.

Fagerness, M. J., and F. H. Yelverton. 2000. Tissue production and quality

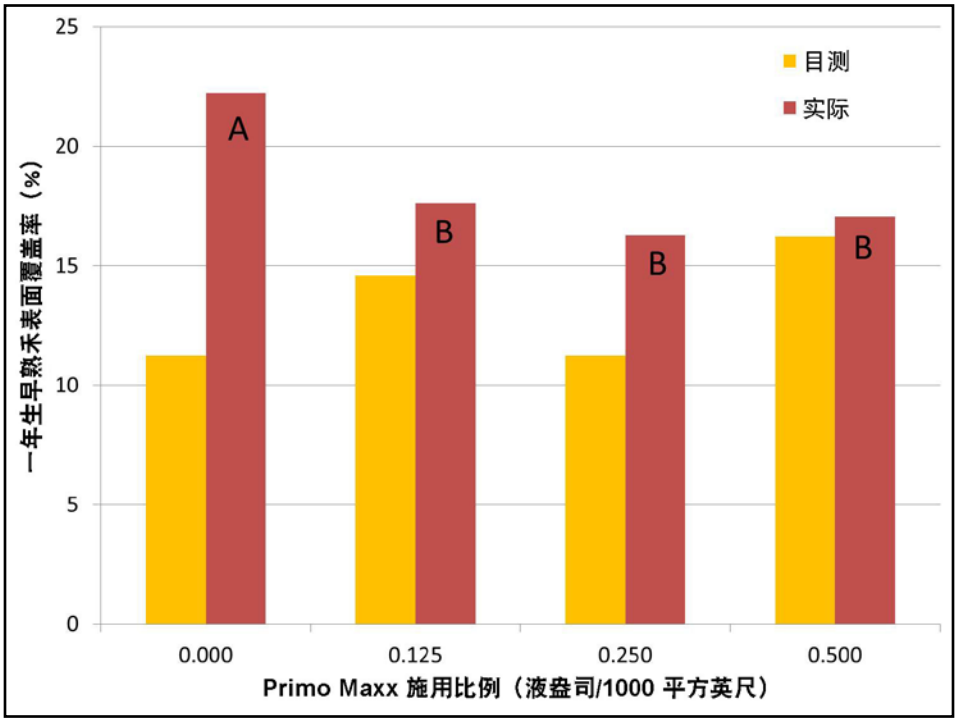

图 9要求专业草坪管理者直观估计每 200 个 GDD 以不同的 Primo® Maxx 施用率处理的一年生早熟禾覆盖物数量。然后用网格计数法测定一年生早熟禾的构成。在较高的 Primo® Maxx 施用率下，一年生早熟禾和匍匐翦股颖之间存在较大的对比度。这使得评估者能够准确估算果岭上的一年生早熟禾的数量。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

of Tifway bermudagrass as affected by seasonal application patterns of trinexapac-ethyl. Crop Sci. 40: 93-497.

Fagerness, M. J., D. C. Bowman, F. H. Yelverton, and T. W. Jr. Rufty. 2004. Nitrogen use in Tifway bermudagrass, as affected by trinexapac-ethyl. Crop Sci. 44: 595-599.

Gardner, D. S., and B. G. Wherley. 2005. Growth response of three turfgrass species to nitrogen and trinexapac-ethyl in the shade. HortScience. 40: 911-1915.

Giordano, P. R., G. Sundin, M. Chilvers, B. Day, K. Frank, N. Mitkowski, et al. 2012. *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*: An emerging bacterial pathogen on creeping bentgrass. Phytopathology. 102: S4.45.

Han, S. W., T. W. Fermanian, J. A. Juvik, and L. A. Spomer. 1998. Growth retardant effects on visual quality and nonstructural carbohydrates of creeping bentgrass. HortScience. 33: 197-1199.

Han, S., T. W. Fermanian, J. A. Juvik, and L. A. Spomer. 2004. Total nonstructural carbohydrate storage in creeping bentgrass treated with trinexapac-ethyl. HortScience. 39(6): p. 1461-1464.

Hoisington, N. R. 2013. Tolerance of Bentgrass Species and Cultivars to Methiozolin. M.S. Thesis: University of California, Riverside.

Isgrigg, J. III, and F. H. Yelverton. 1999. New approaches to management of annual bluegrass in bentgrass putting greens. Proc Southern Weed Sci. Soc. 52: 72.

Isgrigg, J. III, and F. H. Yelverton. 1999. Transition of *Poa annua* spp. *reptans* infested bentgrass putting greens to monoculture bentgrass using plant growth regulators. Proc. Southern Weed Sci. Soc. 52: 76-77.

Johnson, B. J., and T. R. Murphy. 1995. Effect of paclobutrazol and flurprimidol on suppression of *Poa annua* spp. *reptans* in creeping bentgrass (*Agrositis stolonifera*) greens. Weed Technol. 10: 705-709.

Karcher, D., T. Nikolai, and R. Calhoun. 2001. Golfer's perceptions of greens speeds vary: Over typical Stimpmeter distances, golfers are only guessing when ball-roll differences are less than 6 inches. Golf Course Manage. 69: 57-60.

Kreuser, W. C. 2014. A novel horticultural oil, Civitas, alters turfgrass growth and physiology. Ph.D. Diss: Cornell University.

Kreuser, W. C., G. R. Obear, and D. J. Michael. 201x. Growing degree-day models predict growth suppression and rebound of paclobutrazol applied to creeping bentgrass greens. *In prep*.

Kreuser, W. C., and F. S. Rossi. 201x. Civitas and PGRs affect putting green ball roll distance. *In prep*.

Kreuser, W. C., and D. J. Soldat. 2011. A growing degree-day model to schedule trinexapac-ethyl applications on *Agrostis stolonifera* golf putting greens. Crop Sci. 51: 2228-2236.

Kreuser, W. C., and D. J. Soldat. 2012. Frequent trinexapac-ethyl applications reduce nitrogen requirements of creeping bentgrass golf putting greens. Crop Sci. 52: 1348-1357.

McCarty, L. B., J. S. Weinbrecht, J. E. Toler, and G. L. Miller. 2004. St. Augustinegrass response to plant growth retardants. Crop Sci. 44: 1323-1329.

McCarty, L. B., T. G. Willis, J. E. Toler, and T. Whitwell. 2011. TifEagle bermudagrass response to plant growth regulators and mowing height. Agron. J. 103: 988-994.

McCullough, P. E., H. Liu, L. B. McCarty, and J. E. Toler. 2006. Bermudagrass putting green performance influenced by nitrogen and trinexapac-ethyl. HortScience. 41: 802-804.

McCullough, P. E., H. Liu, L. B. McCarty, and J. E. Toler. 2007. Trinexapac-ethyl applicaiton regimens influence growth, quality, and performance of bermudagrass and creeping bentgrass putting greens. Crop Sci. 47: 2138-2144.

McCullough, P. E., S. E. Hart, and D. W. Lycan. 2005. Plant growth regulator regimens reduce *Poa annua* populations in creeping bentgrass. Online. Applied Turfgrass Science doi: 10.1094/ATS-2005-0304-01-RS

McDonald, B. W., R. C. Golembiewski, T. W. Cook, and T. M. Blankenship. 2013. Effects of mowing and rolling frequency, Primo® Maxx, and roller weight on annual bluegrass putting green speed. Appl. Turfgrass Sci. 10: 1-10.

Menchyk, N., D. G. Bielenberg, S. Martin, C. Waltz, H. Luo, F. Jr. Bethea, et al. 2014. Nitrogen and trinexapacethyl applications for managing Diamond zoysiagrass putting greens in the transition zone, U.S.. HortScience. 49: 1076-1080.

Obear, G. R. and W. C. Kreuser. 2014. Determination of the growing degreeday reapplication threshold

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《USGA 果岭部记录》。

for the anuew PGR. University of Nebraska-Lincoln Turf Res. Reports

Qian, Y. L., and M. C. Engelke. 1999. Influence of trinexapac-ethyl on Diamond zoysiagrass in a shade environment. Crop Sci. 39: 202-208.

Reicher, Z., M. Sousek, A. Patton, D. Weisenberger, A. Hathaway, and R. Calhoun. 2015. Annual bluegrass control on putting greens from three or four years of season-long applications of herbicides or plant growth regulators in three states. Crop, Forage, and Turfgrass Management. doi: 10.2134/cftm2014.0050

Richie, W. E., R. L. Green, and F. Merino. 2001. Trinexapac-ethyl does not increase total nonstructural carbohydrate content in leaves, crowns, and roots of tall fescue. HortScience. 36: 772-775.

Roberts, J. A., J. P. Kerns, and D. Ritchie. 2014a. Plant growth regulator effects on etiolation development in creeping bentgrass putting green turf caused by *Acidovorax avenae*. Agron. Abr. p. 88373.

Roberts, J. A., and D. Ritchie. 2013. Biostimulant and plant growth regulator effects on etiolation of creeping bentgrass putting green turf. Int. Ann. Meet. p. 79218.

Roberts, J. A., L. P. Tredway, and D. F. Ritchie. 2014b. First report of *Xanthomonas translucens* causing etiolation on creeping bentgrass turf in Illinois, Kentucky, and North Carolina. Plant Disease. 98: 839.

Rossi, F. S. 2001. Annual bluegrass population dynamics in response to growth regulators and herbicides. International Turfgrass Society Research Journal 9: 906-909.

Soldat, D. J. 2014. Evaluation of a new plant growth regulator for creeping bentgrass putting greens. University of Wisconsin-Madison Turf Res. Reports.

Stier, J. C., J. N. Rogers III, J. R. Crum, and P. E. Rieke. 1999. Effects of flurprimidol on Kentucky bluegrass under reduced irradiance. Crop Sci. 39: 1423–1430.

Stier, J. C., and J. N. III Rogers. 2001. Trinexapac-ethyl and iron effects on supina and Kentucky bluegrasses under low irradiance. Crop Sci. 41: 457-465.

Tan, Z. G., and Y. L. Qian. 2003. Light intensity affects gibberellic acid content in Kentucky bluegrass. HortScience. 38: 113-116.

Waltz, F. C., Jr., and T. Whitwell. 2005. Trinexapac-ethyl effects on total nonstructural carbohydrates of field-grown hybrid bermudagrass. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 10(2): 899-903.

Woosley, P. B., D. W. Williams, and A. J. Powell. 2003. Postemergence control of annual bluegrass (*Poa annua* spp. *reptans*) in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) turf. Weed Technol. 17: 770-776.

比尔・克罗伊泽博士是内布拉斯加州林肯大学助理教授，也是一位草坪养护专家。

订阅 USGA 果岭部记录

编辑短信 GREENSECTION 发送至 22828 或点击这里

提供关于高尔夫球场管理、草坪栽培、环境问题、相关研究和经济可持续性等方面的最新信息。

©2015 美国高尔夫球协会。版权所有请参阅 USGA 果岭部出版物《再使用政策》。订阅《*USGA 果岭部记录*》。