

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2020.03.019

浦绿对高尔夫球道结缕草草坪耐荫性的影响

罗建章¹, 李双铭^{1,2}, 向佐湘^{2*}, 胡龙兴²

(1. 湖南涉外经济学院, 湖南 长沙 410205; 2. 湖南农业大学农学院草业科学系, 湖南 长沙 410128)

摘要:浦绿是一种环己酸类植物生长调节剂,不仅可以抑制赤霉素的生物合成而延缓植物的生长,还可提高植物的抗逆性。为探讨浦绿对高尔夫球道结缕草(*Zosia japonica*)草坪耐荫性的影响,本试验以湖南龙湖高尔夫俱乐部球场 5 号洞球道的‘兰引 3 号’结缕草(*Z. japonica* ‘Lanyin No. 3’)草坪为试验材料,研究了浦绿($0.1\text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}$)对人工模拟不同遮荫率条件下(全光照;自然光;轻度:遮荫率 $25\%\pm3\%$;中度:遮荫率 $50\%\pm3\%$;重度:遮荫率 $75\%\pm3\%$)球道草坪冠层高度、叶长和茎粗以及草坪盖度、草坪质量、绿色指数、可溶性蛋白、脯氨酸、可溶性糖和赤霉素含量等指标的影响。试验结果表明,随着遮荫率的提高,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪的盖度、茎粗、草坪质量、绿色指数、可溶性蛋白和可溶性糖含量呈下降趋势,而草坪冠层高度、叶长、脯氨酸含量和赤霉素含量则呈升高趋势;喷施浦绿显著($P<0.05$)降低了不同遮荫率下的冠层高度、叶长和赤霉素含量,显著($P<0.05$)提高了可溶性蛋白和可溶性糖含量以及草坪绿色指数。因此,本试验得出浦绿可有效增强草坪的耐荫性,提高高尔夫球道的草坪质量。

关键词:浦绿;高尔夫球道;耐荫性;草坪质量;‘兰引 3 号’结缕草

中图分类号:S688.4

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2020)03-0743-07

Effects of Primo on Shade Tolerance of Fairway Turfgrass *Zoysia japonica* on Golf Course

LUO Jian-zhang¹, LI Shuang-ming^{1,2}, XIANG Zuo-xiang^{2*}, HU Long-xing²

(1. Hunan International Economics University, Changsha, Hunan Province 410205, China; 2. Department of Pratacultural Sciences, College of Agriculture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan Province 410128, China)

Abstract:Primo as a plant growth regulator not only inhibits gibberellin acid biosynthesis to reduce vertical shoot growth, but also improves stress tolerance for plants. In order to investigate the effects of primo on the shade tolerance of fairway turf in golf course, the fairway turfgrass established with *Zosia japonica* ‘Lanyin No. 3’ in Longhu Golf Course of Hunan province, was treated with primo ($0.1\text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}$) and subsequently exposed to four shading percentage treatments: control, natural light; light shading, $25\%\pm3\%$; moderate shading, $50\%\pm3\%$; severe shading, $75\%\pm3\%$. The effects of primo on turf canopy height, leaf length and width, stem diameter, turf coverage, turf quality, turf green index, leaf soluble protein content, soluble sugar content and gibberellin acid content were determined under shade stress. The results showed that turf coverage, stem diameter, turf quality, turf green index, soluble protein content and soluble sugar content gradually decreased with the shading rate increasing, while turf canopy height, leaf length, proline and gibberellic acid content gradually increased along with the increasing in shading percentage. Primo application significantly reduced canopy height, leaf length and gibberellic acid content, and significantly enhanced turf coverage, turf quality and turf green index. The results suggested that primo application could effectively improve turf shade tolerance and increase the fairway turf quality on the golf course.

Key words:Primo; Golf course fairway; Shade tolerance; Turf quality; *Zosia japonica* ‘Lanyin No. 3’

草坪具有美化、生态和运动等功能,是园林绿化、灌、草相结合的统一有机体,但是大量高大乔木或灌木配置中重要的组成部分。园林绿化通常是乔、木的应用以及城市中高大而又置密建筑的拔地而

收稿日期:2020-02-06;修回日期:2020-02-25
基金项目:湖南省教育厅科研重点项目(17A122 和 19A287);湖南省高校教改项目(979)共同资助
作者简介:罗建章(1974-),男,湖南娄底人,副教授,主要从事休闲体育产业研究,E-mail:591175513@qq.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail:233678536@qq.com

起,往往给低矮的草坪带来不可避免的遮荫问题^[1]。除了园林绿化草坪外,运动场草坪遮荫问题也日益突出,尤其是在高尔夫球场中占比最大的球道草坪。高尔夫球场一般占地约 50~80 ha,其中草坪及园林景观占球场面积的 70%左右,而球道草坪占据了高尔夫球场需要经常养护管理草坪的 80%~90%,尤其对于山地球场来说,为避免对原生态环境的破坏,球场的球道通常设计成镶嵌在原生境中,但常因高大林木的遮挡而造成对球场球道草坪的遮荫胁迫^[2]。

遮荫改变了草坪生长的环境小气候,其中对光照的影响最为突出,不仅降低了光照强度,而且还改变了光质,引起草坪光合碳同化受限,进而造成生长发育和生理代谢异常,抗病虫害能力减弱,草坪质量下降,从而加剧了草坪退化^[3]。已有研究^[4-5]表明,荫蔽条件下,草地早熟禾(*Poa pratensis*)易感染全蚀病、锈病和白粉病等,并且在生长速度、叶色、密度等方面都受到显著影响。生产中常用的草坪草品种普遍耐荫性较弱,尤其是暖季型草坪草,如狗牙根(*Cynodon dactylon*)和结缕草(*Zoysia japonica*)等属 C4 类型的草坪草种,该类草坪草常需要较强的光照;当遮荫达到 65%时,各品种的草坪质量和坪用性状都急剧下降^[6]。

选育和引种耐荫品种是提高草坪耐荫性的常用方法,但是存在周期长和生态环境适应性差等问题,而喷施外源小分子物质来调控草坪草的耐荫性,具有快速和高效等特点,对短期内迅速提高草坪耐荫性具有重要作用^[7]。已有研究^[7-10]表明,通过喷施一定浓度的外源物质如蔗糖、植物激素或生长调节剂、硅肥等均可有效提高植物的耐荫能力。浦绿是一种环己酸类植物生长调节剂,主要成分为抗倒酯,主要通过抑制赤霉素的生物合成而延缓植物的生长,是近年来在运动场及高尔夫球场草坪中应用最多的一种生长调节剂。目前,在农作物和牧草的生产实践中抗倒酯常用于抗倒伏、增强抗逆性以及提高种子产量等方面^[11-13]。在草坪养护管理中抗倒酯常用来作为化学修剪,以达到减少修剪频率和降低草坪养护成本的目的^[14-15];遮荫条件下常因赤霉素的生物合成增强而造成草坪草向上垂直生长,从而影响草坪的坪用性状和草坪质量,但抗倒酯作为草坪遮荫条件下的改良剂应用却报道较少。目前,浦绿对遮荫胁迫下结缕草草坪生长和草坪质量的影响还未见相关报道。因此,为探究浦绿对结缕草草坪的影响,本研究以湖南地区推广应用面积最大的暖季型草种—‘兰引 3 号’结缕草建植成的球道草坪为

试验对象,通过喷施浦绿和人工模拟不同遮荫率处理,研究浦绿对不同遮荫率下球道草坪的形态和生长、草坪质量以及对草坪草生理的影响,探讨浦绿提高球道草坪耐荫性的作用,以期为浦绿在草坪遮荫条件下养护管理中的应用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地为湖南龙湖国际高尔夫俱乐部高尔夫球场 5 号洞球道的‘兰引 3 号’结缕草草坪,球场(28°15'38"~28°16'35" N,112°51'24"~112°52'36" E)座落于长沙西北角的黄金乡观音岩水库边,属于亚热带季风气候,年平均气温 17.2℃,年均降水量 1 361.6 mm。球场草坪施用的主要化肥有:18-3-18(N-P-K)三元复合肥、高氮肥、高钾肥,年平均单位面积施肥量为 350 g·m⁻²。

1.2 试验设计与处理

试验区球道草坪建植参照美国高尔夫协会的标准,具有完善的排灌系统。参考已有研究^[14]和预试验结果,0.1 mL·m⁻²的浦绿对结缕草的效果最佳,该浓度既抑制了‘兰引 3 号’结缕草草坪草的垂直生长又不影响草坪质量。本试验中浦绿浓度为 0.1 mL·m⁻²,以喷施自来水为对照;遮荫率设 4 个梯度:0%(全光照)、25%±3%遮荫(轻度)、50%±3%遮荫(中度)和 75%±3%遮荫(重度),试验共 8 个处理,每个处理 4 次重复,共计 32 个小区,每个小区面积为 3 m²(长 2.0 m,宽 1.5 m),随机区组排列。球道日常养护为每隔 3~5 d 修剪 1 次,剪草留茬高度为 2.5 cm。喷施浦绿前 3 d 对球道草坪统一修剪,草坪留茬高度为 2.5 cm,于 2019 年 8 月下旬在晴天上午,用黑色塑料薄膜间隔小区,将浦绿按 1:100 的比例用自来水稀释,然后采用手持式喷壶喷施浦绿溶液,喷施后 48 h 内停止喷灌,48 h 后根据天气情况和草坪蒸散量进行适当喷灌。喷施浦绿 5 d 后按设计的遮荫率用不同网孔大小遮阳网组合调节透光率使其跟设计的遮荫率基本一致,遮荫 3 周后进行取样和测定相关指标。

1.3 测定指标与方法

草层高度:采用五点取样法用直尺测定各小区内的草层高度^[16],单位为 cm。

草坪盖度:用自制的 50 cm×50 cm 方格网进行目测,方格内共 100 个点,目测草坪所占点数,以百分数表示^[16]。

草坪质量:根据草坪的色泽、密度、质地、均一性、枯死率和发病程度进行打分评价(0~9 分)^[16]。

草坪绿色指数:采用手持式 TGM500 草坪色彩仪测定。

可溶性蛋白含量:用磷酸缓冲液提取后,采用考马斯亮蓝显色法测定可溶性蛋白含量^[17]。

可溶性糖含量:采用蒽酮比色法测定可溶性总糖的含量^[18]。

脯氨酸含量:用磺基水杨酸提取,采用酸性茚三酮比色法测定游离脯氨酸的含量^[19]。

赤霉素含量:用 80% 的甲醇提取后,采用外标法,用液相色谱—质谱联用仪测定赤霉素含量^[20]。

1.4 统计分析

数据统计分析采用 SAS 9.4 for Window 软件进行,采用 Duncan’s 多重比较检测差异显著性($P<0.05$),采用 Sigmaplot 12.0 作图。

表 1 浦绿对不同遮荫率下草坪冠层高度和盖度的影响

Table 1 Effects of primo on the turf canopy height and coverage in different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Primo/ mL·m ⁻² | 0% (全光照 Full light) | 25%±3% (轻度遮荫 Light shading) | 50%±3% (中度遮荫 Moderate shading) | 75%±3% (重度遮荫 Severe shading) |
| | | | | | |
| 冠层高度 | 0 | 5.81±0.31 ^{dA} | 6.62±0.40 ^{cA} | 7.60±0.51 ^{bA} | 8.54±0.41 ^{aA} |
| Canopy height/cm | 0.1 | 3.32±0.20 ^{aB} | 3.50±0.21 ^{aB} | 3.71±0.32 ^{aB} | 3.72±0.30 ^{aB} |
| 盖度 | 0 | 91.20±4.20 ^{aA} | 88.22±4.50 ^{aA} | 76.11±3.30 ^{bB} | 63.41±3.50 ^{cB} |
| Coverage/% | 0.1 | 93.01±3.10 ^{aA} | 90.34±4.20 ^{abA} | 85.42±3.80 ^{bA} | 74.04±4.02 ^{cA} |

注:同行不同小写字母表示不同遮荫率下差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一遮荫率下差异显著($P<0.05$),下同
Note: Different lower-case letters in a row indicate significant difference among different shading percentages, and different upper-case letter in a column indicate significant difference between treatments within a given shading percentage ($P<0.05$), the same as below

2.2 浦绿对不同遮荫率下草坪叶长、叶宽和茎粗的影响

随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪的叶长显著变长。相比全光照,在轻度、中度和重度遮荫率下叶长分别提高了 11%、37% 和 74%,与全光照相比均差异显著(表 2);喷施浦绿后,叶长显著下降,在全光照、轻度、中度和重度遮荫条件下,喷施浦绿处理的叶长分别为未喷施浦绿处理的 69%、64%、58% 和 51%,叶长在轻度遮荫下与全光照无显著性差异,而在中度和重度遮荫条件下仍显著高

2 结果与分析

2.1 浦绿对不同遮荫率下草坪冠层高度和盖度的影响

随着遮荫率的增加,‘兰引 3 号’结缕草草坪的冠层高度显著升高($P<0.05$)。相比全光照,在遮荫率为轻度(25%±3%)、中度(50%±3%)和重度(75%±3%)处理下分别提高了 14%、31% 和 47% (表 1);喷施浦绿后,草坪冠层高度显著降低($P<0.05$),在遮荫率为全光照、轻度、中度和重度下,喷施浦绿处理的冠层高度分别为未喷施浦绿处理的 57%、53%、49% 和 44%,但喷施浦绿处理后不同遮荫率下冠层高度没有显著差异(表 1)。

由表 1 可知,未喷施浦绿的处理随着遮荫率的提高,草坪盖度逐渐下降,在轻度、中度和重度遮荫下草坪盖度分别下降至全光照的 96%、83% 和 69%,其中重度和中度遮荫下草坪盖度显著低于全光照;喷施浦绿后轻度遮荫处理与全光照和中度遮荫处理差异不显著,重度遮荫处理草坪盖度明显低于其他 3 个处理。

表 1 浦绿对不同遮荫率下草坪冠层高度和盖度的影响

Table 1 Effects of primo on the turf canopy height and coverage in different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Primo/ mL·m ⁻² | 0% (全光照 Full light) | 25%±3% (轻度遮荫 Light shading) | 50%±3% (中度遮荫 Moderate shading) | 75%±3% (重度遮荫 Severe shading) |
| | | | | | |
| 冠层高度 | 0 | 5.81±0.31 ^{dA} | 6.62±0.40 ^{cA} | 7.60±0.51 ^{bA} | 8.54±0.41 ^{aA} |
| Canopy height/cm | 0.1 | 3.32±0.20 ^{aB} | 3.50±0.21 ^{aB} | 3.71±0.32 ^{aB} | 3.72±0.30 ^{aB} |
| 盖度 | 0 | 91.20±4.20 ^{aA} | 88.22±4.50 ^{aA} | 76.11±3.30 ^{bB} | 63.41±3.50 ^{cB} |
| Coverage/% | 0.1 | 93.01±3.10 ^{aA} | 90.34±4.20 ^{abA} | 85.42±3.80 ^{bA} | 74.04±4.02 ^{cA} |

注:同行不同小写字母表示不同遮荫率下差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一遮荫率下差异显著($P<0.05$),下同
Note: Different lower-case letters in a row indicate significant difference among different shading percentages, and different upper-case letter in a column indicate significant difference between treatments within a given shading percentage ($P<0.05$), the same as below

于全光照。由表 2 可知,喷施浦绿和遮荫均对‘兰引 3 号’结缕草球道草坪的叶宽无显著影响。

随着遮荫率的增加,未喷施浦绿‘兰引 3 号’结缕草草坪的茎粗逐渐下降。相比全光照,在遮荫率为轻度时差异不显著,遮荫率为中度和重度时茎粗则显著低于全光照(表 2);喷施浦绿后,遮荫条件下的茎粗有所提高,其中在遮荫率为中度和重度时,喷施浦绿处理的茎粗分别提高至未喷施浦绿处理的 1.4 和 1.7 倍,达显著水平($P<0.05$),但喷施浦绿处理后不同遮荫率下茎粗没有显著差异(表 2)。

表 2 浦绿对不同遮荫率下叶长、叶宽和茎粗的影响

Table 2 Effects of primo on the leaf length,leaf width and stem diameter under different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Primo/ | 0% | 25%±3% | 50%±3% | 75%±3% |
| | mL·m ⁻² | (全光照 Full light) | (轻度遮荫 Light shading) | (中度遮荫 Moderate shading) | (重度遮荫 Severe shading) |
| 叶长 | 0 | 3.52±0.18 ^{dA} | 3.87±0.16 ^{cA} | 4.82±0.15 ^{bA} | 6.12±0.16 ^{aA} |
| Leaf length/cm | 0.1 | 2.40±0.12 ^{cB} | 2.48±0.14 ^{bcB} | 2.80±0.17 ^{abB} | 3.14±0.17 ^{aB} |
| 叶宽 | 0 | 3.01±0.11 ^{aA} | 2.94±0.17 ^{aA} | 2.82±0.16 ^{aA} | 2.76±0.15 ^{aA} |
| Leaf width/mm | 0.1 | 3.14±0.16 ^{aA} | 3.22±0.17 ^{aA} | 3.04±0.17 ^{aA} | 2.77±0.13 ^{aA} |
| 茎粗 | 0 | 1.23±0.10 ^{aA} | 1.14±0.08 ^{abB} | 0.92±0.07 ^{bB} | 0.74±0.06 ^{cB} |
| Stem diameter/mm | 0.1 | 1.28±0.11 ^{aA} | 1.29±0.09 ^{aA} | 1.21±0.11 ^{aA} | 1.22±0.10 ^{aA} |

2.3 浦绿对不同遮荫率下草坪质量和绿色指数的影响

随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪的草坪质量逐渐下降。相比全光照,在遮荫率为轻度时无显著差异,当遮荫率为中度和重度时草坪质量分别下降至全光照的 86%和 77%,达显著水平($P<0.05$)(表 3);喷施浦绿提高了遮荫条件下‘兰引 3 号’结缕草草坪的草坪质量,在遮荫率为中度和重度条件时,喷施浦绿处理的草坪质量比不喷施浦绿处理的草坪质量分别提高了 8%和

12%,达显著水平($P<0.05$)(表 3)。

随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪的绿色指数均逐渐下降。相比全光照,在遮荫率为轻度时无显著性差异,遮荫率为中度和重度时草坪绿色指数分别下降至全光照的 86%和 73%,达显著水平($P<0.05$)(表 3);喷施浦绿显著提高了中度和重度遮荫条件下‘兰引 3 号’结缕草草坪的绿色指数,相比未喷施浦绿处理,喷施浦绿处理的草坪绿色指数分别提高 16%和 20%,达显著水平($P<0.05$)(表 3)。

表 3 浦绿对不同遮荫率下草坪质量和绿色指数的影响

Table 3 Effects of primo on turf quality and green index under different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|--------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Primo/ | 0% | 25%±3% | 50%±3% | 75%±3% |
| | mL·m ⁻² | (全光照 Full light) | (轻度遮荫 Light shading) | (中度遮荫 Moderate shading) | (重度遮荫 Severe shading) |
| 草坪质量 | 0 | 8.38±0.30 ^{aA} | 8.12±0.20 ^{aA} | 7.31±0.20 ^{bB} | 6.51±0.40 ^{cB} |
| Turf quality | 0.1 | 8.56±0.30 ^{aA} | 8.46±0.30 ^{abA} | 7.90±0.30 ^{bA} | 7.24±0.20 ^{cA} |
| 绿色指数 | 0 | 2.45±0.14 ^{aA} | 2.21±0.11 ^{abB} | 2.11±0.13 ^{bcB} | 1.80±0.11 ^{cB} |
| Green index | 0.1 | 2.79±0.15 ^{aA} | 2.61±0.16 ^{abA} | 2.44±0.14 ^{bcA} | 2.24±0.10 ^{cA} |

2.4 浦绿对不同遮荫率下草坪可溶性蛋白和脯氨酸含量的影响

由表 4 可知,随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片的可溶性蛋白含量显著下降。相比全光照,在遮荫率为轻度、中度和重度条件时可溶性蛋白含量分别下降至全光照的 82%、65%和 44%,达显著水平($P<0.05$)(表 4);喷施浦绿显著提高了遮荫条件下叶片的可溶性蛋白含量,在遮荫率为轻度、中度和重度条件时,喷施浦绿处理叶片的可溶性蛋白含量比不喷施浦绿处理叶片的可溶性蛋白含量分别提高 25%、36%和 53%,达显著水平($P<0.05$)(表 4)。

由表 4 可知,随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片的脯氨酸含量逐渐升高。相比全光照,在遮荫率为轻度时无显著差异,在遮荫率为中度和重度时脯氨酸含量分别升高 56%和 98%,达显著水平($P<0.05$);喷

施浦绿对轻度遮荫条件下‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片的脯氨酸含量无显著影响,而显著降低了中度和重度遮荫率条件下‘兰引 3 号’草坪叶片的脯氨酸含量,相比全光照分别下降 17%和 16%(表 4)。

2.5 浦绿对不同遮荫率下草坪叶片可溶性糖和赤霉素含量的影响

由表 5 可知,随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片可溶性糖含量显著下降。相比全光照,在遮荫率为轻度、中度和重度时可溶性糖含量分别下降至全光照的 88%、77%和 65%,达显著水平($P<0.05$);喷施浦绿显著提高了遮荫条件下‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片的可溶性糖含量,在遮荫率为轻度、中度和重度时可溶性糖含量分别为不喷施浦绿处理的 1.1 倍、1.2 和 1.3 倍,均达显著水平($P<0.05$);在遮荫率为轻度时与全光

照无显著差异,在遮荫率为中度和重度时则显著低于全光照(表 5)。

由表 5 可知,随着遮荫率的增加,未喷施浦绿的‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片赤霉素含量显著升高。相比全光照,在遮荫率为轻度、中度和重度时赤霉素含量分别提高 45%、109%和 245%,达显著水平(P

<0.05);喷施浦绿显著降低了‘兰引 3 号’结缕草草坪叶片的赤霉素含量,在遮荫率为全光照、轻度、中度和重度条件下,喷施浦绿处理的赤霉素含量分别仅为未喷施浦绿处理的 30%、26%、20%和 12%,均达显著水平($P<0.05$),但喷施浦绿处理后不同遮荫率下赤霉素含量并没有显著差异(表 5)。

表 4 浦绿对不同遮荫率下可溶性蛋白和脯氨酸含量的影响

Table 4 Effects of primo on leaf soluble protein and proline content in different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Primo/ | 0% | 25%±3% | 50%±3% | 75%±3% |
| | mL·m ⁻² | (全光照 Full light) | (轻度遮荫 Light shading) | (中度遮荫 Moderate shading) | (重度遮荫 Severe shading) |
| 可溶性蛋白 | 0 | 3.38±0.21 ^{aA} | 2.83±0.13 ^{bB} | 2.18±0.15 ^{cB} | 1.47±0.10 ^{dB} |
| Soluble protein/ | | | | | |
| mg·g ⁻¹ | 0.1 | 3.77±0.24 ^{aA} | 3.48±0.17 ^{aA} | 3.03±0.11 ^{bA} | 2.26±0.15 ^{cA} |
| 脯氨酸 | 0 | 8.49±0.45 ^{cA} | 9.52±0.68 ^{cA} | 13.34±1.09 ^{bA} | 16.88±1.28 ^{aA} |
| Proline/μg·g ⁻¹ | 0.1 | 8.83±0.66 ^{cA} | 9.63±0.71 ^{cA} | 11.12±0.78 ^{bB} | 14.33±0.79 ^{aB} |

表 5 浦绿对不同遮荫率下可溶性糖和赤霉素含量的影响

Table 5 Effects of primo on soluble sugar and gibberellacid content in different shading percentage

| 指标 Indicator | 浦绿 | 遮荫率 Shade percentage | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | Primo/ | 0% | 25%±3% | 50%±3% | 75%±3% |
| | mL·m ⁻² | (全光照 Full light) | (轻度遮荫 Light shading) | (中度遮荫 Moderate shading) | (重度遮荫 Severe shading) |
| 可溶性糖 | 0 | 52.22±3.20 ^{aA} | 46.30±3.03 ^{bB} | 40.20±2.90 ^{cB} | 34.22±2.50 ^{dB} |
| Soluble sugar/ | | | | | |
| mg·g ⁻¹ | 0.1 | 56.31±3.03 ^{aA} | 53.21±4.10 ^{abA} | 48.32±3.01 ^{bcA} | 44.25±2.90 ^{cA} |
| 赤霉素 | 0 | 1.14±0.10 ^{dA} | 1.64±0.15 ^{cA} | 2.34±0.19 ^{bA} | 3.84±0.21 ^{aA} |
| Gibberellin acid/ | | | | | |
| ng·g ⁻¹ | 0.1 | 0.33±0.14 ^{aB} | 0.41±0.12 ^{aB} | 0.45±0.11 ^{aB} | 0.47±0.17 ^{aB} |

3 讨论

3.1 浦绿对遮荫胁迫下球道草坪形态和生长的影响

光是植物生长的能量来源,高大建筑、乔木和灌木遮荫引起的光强减弱、光质变化会直接影响草坪的生长发育。光照不足常导致植物高度显著增加,叶片形态也发生显著变化,在草坪草中,茎节和叶片伸长、茎秆变细进而垂直生长加速是对遮荫胁迫最直观的形态反应^[20]。本研究结果表明,随着遮荫率的增加,草坪的冠层高度和叶长逐渐增加,这与已有在高羊茅(*Festuca arundinacea*)^[1]、草地早熟禾(*Poa pratensis*)^[1]、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)^[9]、牛鞭草(*Hemarthria altissima*)^[21]、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)^[22]中的研究结果相一致,表明遮荫胁迫诱导了体内赤霉素的生物合成,从而导致了植株的快速生长。

植株向上垂直生长和叶片变长,有利于叶片充分利用所拥有的空间进行光合作用,制造充足的养分并将部分同化产物输送到匍匐茎中,从而提高荫

蔽适应性。但对于草坪草而言,过度的垂直生长会造成修剪增多、草坪密度下降等问题而使草坪质量和坪用性状降低。赤霉素是导致草坪在遮荫胁迫下茎叶伸长的主要激素,施用赤霉素合成抑制剂则有助于缓解遮荫胁迫下草坪草的形态变化,提高草坪的耐荫性^[23]。抗倒酯作为一种赤霉素合成抑制剂,广泛在草坪上作为化学修剪应用^[13-15,24]。在本研究中,遮荫下喷施浦绿后,草坪草的赤霉素含量降低,显著缓解了光照不足导致的徒长,降低了冠层高度和叶长,表明浦绿有效抑制了草坪体内赤霉素的生物合成,抑制了纵向生长,促进了横向生长,提高了草坪草的茎粗和耐荫能力。

叶长和叶宽对草坪质地评价具有非常重要的意义。本研究结果显示,施用浦绿和遮荫均对‘兰引 3 号’结缕草球道草坪的叶宽无显著影响,这与杨志民^[25]在多年生黑麦草(*Lolium perenne*)和高羊茅中的研究结果一致,而胡绍杰^[11]研究发现,喷施抗倒酯后,草地早熟禾的叶宽明显受到抑制;孙旭春等^[13]对多花黑麦草(*Lolium multiflorum*)的研究

则发现,喷施抗倒酯后,叶宽在试验前期受到抑制,但后期叶宽显著大于对照;这些在不同草种中的试验结果各异,表明抗倒酯对草坪草叶宽的影响因物种不同而具有差异。

3.2 浦绿对遮荫胁迫下球道草坪质量的影响

色泽、质地、盖度和均一性是评价草坪质量的主要因素。遮荫对植物叶片色泽的影响不一,有研究^[26]认为遮荫提高了叶片的叶绿素含量而色泽加深,也有研究认为遮荫胁迫下叶绿素含量下降^[27]。本研究结果表明,草坪的绿色指数随遮荫率的增加而降低,这与已有的在紫羊茅(*Festuca rubra*)、草地早熟禾和匍匐翦股颖中的结果^[9]相一致,这可能是由于环境对植物的选择和植物对环境的适应,不同植物表现出对弱光不同的适应性。本试验中,喷施浦绿显著提高了不同遮荫率下草坪的绿色指数、盖度和草坪质量,表明浦绿可以增加遮荫胁迫下草坪叶绿素的合成,促进匍匐茎的生长而提高盖度,从而提高草坪质量,这与烯效唑和油菜素内酯等激素在遮荫条件下具有类似的效果^[9-10],但本研究结果表明在遮荫条件下,这种效果更为显著。

3.3 浦绿对遮荫胁迫下球道草坪生理指标的影响

可溶性糖既是植物体内重要的能量物质,逆境下还可作为植物体内重要的渗透调节物质,与植物的抗逆能力密切相关。本研究中,可溶性糖含量随着遮荫率的增加而逐渐下降,这与已有在草地早熟禾^[5]、海滨雀稗(*Paspalum vaginatum*)^[8]、紫羊茅^[10]、高羊茅^[23]等草坪草中的研究结果一致,这可能是遮荫条件下,草坪处于低光胁迫,光合能力下降,因而碳水化合物合成速率下降,直接体现在可溶性糖含量的下降上。本试验中,遮荫条件下喷施浦绿的草坪叶片可溶性糖含量显著升高,表明遮荫条件下浦绿可以改善草坪草非结构性碳水化合物的含量及组分,促进大分子糖的分解以及光合产物直接转向低分子量的可溶性糖,因而增加了遮荫条件下草坪草的能量和渗透调节物质,提高了草坪的耐荫能力^[9-10]。

遮荫条件下光合能力的下降会影响植物体内氮的代谢,从而引起可溶性蛋白和游离脯氨酸的变化^[28]。本研究结果显示,遮荫胁迫下未喷施浦绿的球道草坪可溶性蛋白显著降低,而游离脯氨酸含量显著升高,这与周兴元等^[29]和李永进等^[30]在假俭草中的研究结果一致。本试验中,遮荫条件下喷施浦

绿显著提高了可溶性蛋白含量,降低了游离脯氨酸含量,表明浦绿可促进遮荫下可溶性蛋白的合成与积累,减少蛋白分解为游离氨基酸而降低了脯氨酸含量,有利于草坪耐荫性的提高。

4 结 论

遮荫条件下‘兰引 3 号’结缕草草坪的盖度、茎粗、草坪质量、绿色指数、可溶性蛋白和可溶性糖含量与全光照相比均显著下降,而草坪冠层高度、叶长、脯氨酸含量和赤霉素含量显著增加;遮荫条件下喷施 0.1 mL · m⁻² 的浦绿可有效缓解‘兰引 3 号’结缕草草坪的垂直生长,提高草坪可溶性蛋白和可溶性糖含量,其中以在中度遮荫率(50%±3%)下喷施浦绿效果最佳。可见,在结缕草草坪中喷施浦绿可有效增强草坪的耐荫性,提高高尔夫球道的草坪质量。

参考文献

[1] 杨志民,何霞,韩烈保. 高温季节不同光照强度对冷季型草坪草坪用性状的影响[J]. 草业学报,2007,16(5):48-55

[2] 王迅,张新全,刘金平. 草坪草对遮荫胁迫的生理反应[J]. 草业科学,2006,23(4):86-90

[3] 许岳飞,金晶炜,陈浩,等. 草坪植物耐弱光机理研究进展[J]. 草地学报,2011,19(6):1064-1069

[4] 杨燕,杨晓华,孙彦. 不同遮荫强度对草地早熟禾草坪质量的影响[J]. 草地学报,2010,18(3):447-451

[5] 德力格尔,张淑艳,谢立娟. 遮荫对播种当年草地早熟禾生长的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2011,26(2):176-179

[6] 罗耀,席嘉宾,谭筱弘,等. 9 种暖季型草坪草耐荫性综合评价及其指标的筛选[J]. 草业学报,2013,22(5):239-247

[7] 李丽群,陶莲,周禾. 脱落酸、蔗糖和硅对高羊茅和草地早熟禾耐荫性的影响[J]. 草地学报,2012,20(1):63-69

[8] 甄畅迪,喻敏,萧洪东,等. 硅对遮荫处理草坪草可溶性糖和氨基酸含量的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(03):317-320

[9] 米文精,张成梁,杜永吉. 稀效唑对遮荫环境下草坪草生长及生理活动长期调控的研究[J]. 中国农学通报,2009,25(2):59-64

[10] 王书宏,杜永吉. 外源激素对遮荫草坪草生长及生理特性的影响[J]. 生态环境,2008(4):1528-1532

[11] 胡绍杰. 草地早熟禾种子休眠破除及喷施多效唑、抗倒酯对其坪用和生理性状的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011:34-42

[12] Fagerness M J, Yelverton F. Tissue production and quality of ‘Tifway’ bermudagrass as affected by seasonal application patterns of trinexapac-ethyl[J]. Crop Science,2000,40(2):493-497

[13] 孙旭春,顾洪如,沈益新,等. 抗倒酯对多花黑麦草生长与倒伏的影响[J]. 江苏农业学报,2012,28(1):144-148

[14] 王新,孙熙喏,孙鑫博,等. 抗倒酯对遮荫下狗牙根生长和草坪

质量的影响[J]. 北方园艺,2019(22):76-82

[15] 顾跃,严伟宾,徐庆国. 抗倒酯对草坪草狗牙根生长和质量的影响[J]. 中国草地学报,2019,41(01):31-37

[16] 刘天增,王旭盛,张巨明. 新型草坪模拟践踏器的研制及暖季型草坪草耐践踏性评价[J]. 草业学报,2019,28(12):41-52

[17] 刘霄霏,李惠英,陈良,等. 外源硒对镉胁迫下黑麦草生长和生理的影响[J]. 草地学报,2020,28(1):72-79

[18] Zhang P P, Fu J M, Hu L X. Effects of alkali stress on growth, free amino acids and carbohydrates metabolism in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*)[J]. Ecotoxicology,2012, 21(7):1911-1918

[19] Hu L X, Hu T, Zhang X Z, *et al.* Exogenous glycine betaine ameliorates the adverse effect of salt stress on perennial ryegrass[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,2012,137(1):38-46

[20] Li S M, Yang Y, Zhang Q, *et al.* Differential physiological and metabolic response to low temperature in two zoysia grass genotypes native to high and low latitude[J]. PLOS ONE,2018, 13:e0198885

[21] 张学权. 不同遮荫条件下牛鞭草生长特征分析[J]. 成都大学学报(自然科学版),2013,32(1):12-14

[22] 杨渺,毛凯,马金星. 遮荫生境下假俭草的形态变化与能量分配研究[J]. 中国草地,2004,26(4):44-48

[23] 付娟娟,张瀚文,陈浩,等. 不同遮荫方式对高羊茅形态和生理变化的影响[J]. 北方园艺,2012(7):46-48

[24] Amirikhah R, Eetemadi N, Nikbakt A, *et al.* Effects of sequential trinexapac-ethyl applications and traffic on growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne*)[J]. Korean Journal of Horticultural Science and Technology,2015,33:340-348

[25] 杨志民. 不同光照强度对冷季型草坪草越夏的影响[D]. 北京:北京林业大学,2006:56-63

[26] 于得水,刘金荣,陈平,等. 华南地区4种禾草的耐荫性比较研究[J]. 草原与草坪,2011,31(1):73-78

[27] 唐天云,胡庭兴,陈光升,等. 川西地区蜜桔林不同遮荫度对3种禾草生物特性和地上生物量的作用[J]. 草业科学,2008(8):40-45

[28] 宋洋,廖亮,刘涛,等. 不同遮荫水平下香榧苗期光合作用及氮分配的响应机制[J]. 林业科学,2016,52(5):55-63

[29] 周兴元,曹福亮. 遮荫对假俭草抗氧化酶系统及光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(3):32-36

[30] 李永进,代微然,任健,等. 遮荫对假俭草生长及可溶性蛋白质含量的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(28):49-52

(责任编辑 陈力玉)