

## 28-高芸苔素内酯对草坪种子萌发和幼苗生长的影响

徐俊洲<sup>1</sup>, 史顺心<sup>1</sup>, 余铮<sup>2</sup>, 王英<sup>2</sup>, 卢美婷<sup>2</sup>, 赵德义<sup>2</sup>, 刘天增<sup>1\*</sup>

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510642; 2. 江西威敌生物科技有限公司, 江西 南昌 330000)

**摘要:**【目的】明确不同浓度28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草(*Lolium perenne*)和狗牙根(*Cynodon dactylon*)种子萌发及幼苗生长的影响。【方法】通过盆栽和培养皿试验探究2种草坪草种子萌发率、根系形态结构、生物量等指标对28-高芸苔素内酯的响应。【结果】狗牙根种子在4 000倍28-高芸苔素内酯·赤霉酸A<sub>3</sub>水分散粒剂培养皿试验中表现较优,与对照清水相比,其发芽率、根系形态及生物量显著增加( $P < 0.05$ );在盆栽试验中,2 000倍28-高芸苔素内酯处理显著促进狗牙根幼苗生长和分枝( $P < 0.05$ )。多年生黑麦草在1 000倍28-高芸苔素内酯培养皿和盆栽试验中表现较优,与对照清水相比,其发芽率、根系形态及分蘖显著增加( $P < 0.05$ )。【结论】28-高芸苔素内酯能显著促进2种草坪草种子的萌发,并促进了幼苗的生长发育。本研究结果可为草坪草建植和养护管理提供一定的理论依据,可在园林绿化及运动场草坪中推广使用。

**关键词:**28-高芸苔素内酯;种子萌发;根系构型;幼苗生长

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)01-0035-10

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.005



芸苔素内酯属于甾醇类化合物,是继生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯后自然界最新的植物生长调节剂,称为第六类植物激素<sup>[1]</sup>,广泛分布于植物的根、茎、叶、花器和籽粒中,参与植物种子萌发、植株生长发育和衰老<sup>[2]</sup>等,对农业增产丰收和抗环境胁迫等有积极作用<sup>[3-7]</sup>。同时,芸苔素内酯还具有抗药害<sup>[8]</sup>及病虫害<sup>[9-10]</sup>等作用,如防止小麦(*Triticum aestivum*)、大豆(*Glycine max*)茎基腐病的发生<sup>[11-12]</sup>,缓解防腐剂对玉米(*Zea mays*)幼苗的胁迫<sup>[13]</sup>,增强匍匐剪股颖(*Creeping bentgrass*)对褐斑病的抗性<sup>[14]</sup>,和调控细胞分裂和植物生长<sup>[15-16]</sup>。研究表明,芸苔素内酯诱

导拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)根细胞伸长和根系发育,促进根毛形成、侧根和原分生组织的分化<sup>[17]</sup>。芸苔素内酯能调控小麦(*Triticum aestivum*)根细胞长度变化进而影响幼苗根系伸长生长<sup>[18]</sup>。在植物根系发育和幼苗生长中,细胞伸长极为重要,需要系统研究来阐明对植物生长的具体功能,从而促进芸苔素内酯在植物根系改良和促进生长的应用。

草坪具有调节气温、增加湿润度、美化环境、保持水土和防风固沙等生态效应,施用生长调节剂是草坪常用的管理方式之一。宋靛苑等<sup>[19]</sup>研究盐胁迫对沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)愈伤组织生长和再生的影响发现,加入表油菜素内酯可提高愈伤组织再生苗数,促进根长和根系直径发育。王书宏<sup>[20]</sup>探究外源激素对草坪草遮荫生长及生理发现,稀效唑和24-表油菜素内酯调节植高、叶片厚度,影响叶绿素含量和可溶性糖含量,提高草坪草紫羊茅(*Festuca rubra*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、匍匐剪股颖(*Agrostis stolonifera*)的耐阴性。Mutlu等<sup>[21]</sup>研究发现,叶面喷施24-

收稿日期:2024-01-08;修回日期:2024-05-11

基金资助:华南农业大学横向项目

作者简介:徐俊洲(1996-),男,甘肃环县人,硕士研究生。

E-mail:951051616@qq.com

\*通信作者,研究方向为草坪与草地生态。

E-mail:liutianzeng@scau.edu.cn

表油菜素内酯缓解盐胁迫对草坪草多年生黑麦草和高羊茅(*Festuca arundinacea*)的影响,提高草坪外观质量和促进地上部生物量的增加。目前国内外已经将生长调节剂广泛应用于草坪业中如园林花卉及高尔夫球场、运动场、公园草坪和机场草坪等领域<sup>[22-24]</sup>。

28-高芸苔素内酯是人工合成的芸苔素内酯中活性最高的一种化合物,约为天然芸苔素内酯活性的87%<sup>[25]</sup>。已有研究表明,无论在正常环境还是在逆境中,芸苔素内酯均能促进种子萌发和幼苗生长<sup>[26]</sup>,然而目前关于28-高芸苔素内酯及其复配制剂对草坪草种子萌发和幼苗生长的研究较少,例如28-高芸苔素内酯和吲哚乙酸、赤霉素之间是否存在互作效应?因此,本试验选择冷季型草种多年生黑麦草和暖季型草种狗牙根作为供试草种,探究28-高芸苔素内酯及其复配制剂对草坪草种子萌发、根系形态和幼苗生长的影响,以筛选出最佳生长调节剂,为其在园林绿化及运动场草坪使用提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试草种为多年生黑麦草和狗牙根,种子均由百绿公司提供。供试药剂为28-高芸苔素内酯及其复配制剂产品,分别为28-高芸苔素内酯可溶液剂、28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、28-高芸苔·赤霉素 $A_{4+7}$ 可溶液剂和28-高芸苔·赤霉素 $A_3$ 水分散粒剂,4种药剂均由江西威敌生物科技有限公司生产。种植盆所用沙子

为当地河沙。

### 1.2 种子萌发

精心挑选籽粒均匀、饱满、大小一致的黑麦草和狗牙根种子各50粒,用10%次氯酸钠溶液震荡消毒30 min,消毒后用蒸馏水冲洗5~6次,沥干表面水分,用供试药剂浸泡种子12 h,每种药剂设置2个浓度(表1)。待种子表面液体风干后置于铺有两层滤纸直径为9 cm培养皿中,分别加入5 mL蒸馏水,每个处理3次重复。以清水浸泡种子作为对照,其他过程与处理组一致。将处理好的黑麦草种子放入25℃/22℃的培养箱中,狗牙根种子放入28℃/26℃的培养箱中每日观察。在种子萌发期间,每日在相同时间段用称量法根据水分蒸发量补充水分。从第4天开始统计种子发芽率,到第7天发芽数不再变化时记录种子发芽率,第24天测量根系形态指标和生物量。

### 1.3 幼苗生长

挑选籽粒均匀、饱满的黑麦草和狗牙根种子,用10%次氯酸钠溶液表面消毒,用蒸馏水冲洗5~6次,沥干表面水分,然后用供试药剂浸泡种子12 h。将供试药剂浸泡过的种子均匀播种到8 cm×8 cm的花盆中,花盆中装有河沙,每盆种植50粒,表面覆沙厚度0.5 cm。待幼苗出土后2-3叶期第1次喷施药剂,喷施原则为均匀喷施,叶片浸湿但不滴落为界,10天后进行第2次喷施,同时喷施等量清水作为对照。成坪后每周修剪1次,留茬高度5 cm。

表1 28-高芸苔素内酯及其复配制剂施用浓度

Table 1 Types and concentrations of 28-Homobrassinolide

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释倍数	有效成分药浓度/(g·kg <sup>-1</sup> )
清水	/	/
28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂	1 000	0.50
	2 000	0.25
28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂	1 000	0.50
	2 000	0.25
28-高芸苔·赤霉素 $A_{4+7}$ 可溶液剂	2 000	1.00
	4 000	0.50
28-高芸苔·赤霉素 $A_3$ 水分散粒剂	2 000	1.00
	4 000	0.50

### 1.4 指标测定及方法

种子发芽率:目测计数发芽种子的总量,发芽率=(种子第7天的发芽数/供试种子总数)×100%。

根系形态参数:第24天,每个重复随机选取6株完整根系,主根长用直尺测量;根系构型参数使用根系扫描仪(EPSONPERFECTION V700,法国)对根

系进行扫描,用WinRHIZO根系图像分析系统软件对根系扫描图像进行定量分析,总根长、根表面积、根平均直径。

**生物量:**用滤纸吸干植物表面多余的水分,用电子天平称取植株鲜重;将称完鲜重的植株放到110℃的烘箱烘干30 min后将温度调至80℃,待温度恒定后称取植株干重。

**生长速度:**修剪前后测定草坪高度,通过前后两次高度变化反映草坪的生长速度(cm/d),生长速度=(修剪前高度-修剪后高度)/两次相隔时间天数,每个种植盆随机选取5个点。

### 1.5 数据处理

试验数据采用Excel 2010进行初步整理,采用SPSS 23.0单因素方差分析(one way ANOVA),利用Duncan进行多重比较( $P<0.05$ ),Origin 8.5进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 28-高芸苔素内酯对狗牙根发芽率和根系形态的影响

与对照清水相比,4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂以及2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$

水分散粒剂显著提高了种子发芽率( $P<0.05$ ),在进行培养皿试验的第2天,所有处理种子发芽数目基本保持一致,只有较少的种子萌发,在第3~7天试验结束时,4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂以及2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理的种子萌发速率加快,不同浓度浸种处理打破了狗牙根种子的休眠并促进萌发。浸种处理对狗牙根的根系同样起到明显的促进作用,1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂、2 000倍28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂和2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理显著提高了主根长,1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著提高了根系总长,2 000倍28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著提高了表面积和直径( $P<0.05$ ),与对照清水相比,处理组的根系进一步下扎获得更多的养分。但浸种处理也存在部分抑制作用,2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理显著抑制了狗牙根种子发芽( $P<0.05$ )。4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理与对照清水相比,发芽率、根系总长、根系表面积、根系直径分别增加了26%、15%、76%、213%、56%,效果最佳(表2)。

表2 28-高芸苔素内酯对狗牙根发芽率和根系形态的影响

Table 2 Effects of 28-Homobrassinolide on seed germination rate and root architecture of *Cynodon dactylon*

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释倍数	发芽率/%	主根长/cm	总根长/cm	根表面积/mm <sup>2</sup>	根平均直径/mm
清水	/	59.33±2.40 <sup>cd</sup>	2.79±0.13 <sup>c</sup>	11.92±0.32 <sup>cd</sup>	0.50±0.02 <sup>b</sup>	0.16±0.01 <sup>c</sup>
28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂	1 000	68.67±8.70 <sup>bc</sup>	3.93±0.22 <sup>a</sup>	13.82±0.27 <sup>a</sup>	0.62±0.04 <sup>b</sup>	0.17±0.01 <sup>bc</sup>
	2 000	36.67±1.33 <sup>e</sup>	3.35±0.14 <sup>b</sup>	13.10±0.54 <sup>abc</sup>	0.65±0.05 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>
28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂	1 000	54.00±3.06 <sup>d</sup>	3.30±0.10 <sup>b</sup>	12.79±0.35 <sup>abcd</sup>	0.59±0.03 <sup>b</sup>	0.18±0.01 <sup>bc</sup>
	2 000	68.00±3.06 <sup>bc</sup>	4.06±0.12 <sup>a</sup>	13.02±0.25 <sup>abc</sup>	0.81±0.05 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>a</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂	2 000	68.67±4.06 <sup>bc</sup>	4.26±0.28 <sup>a</sup>	12.39±0.44 <sup>bcd</sup>	0.63±0.05 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>
	4 000	83.33±2.40 <sup>a</sup>	2.73±0.13 <sup>c</sup>	11.64±0.43 <sup>d</sup>	0.59±0.04 <sup>b</sup>	0.21±0.02 <sup>ab</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂	2 000	78.00±3.06 <sup>ab</sup>	3.01±0.15 <sup>bc</sup>	13.31±0.53 <sup>ab</sup>	0.83±0.07 <sup>a</sup>	0.24±0.02 <sup>a</sup>
	4 000	74.67±0.67 <sup>ab</sup>	2.75±0.13 <sup>c</sup>	13.72±0.52 <sup>a</sup>	0.88±0.07 <sup>a</sup>	0.25±0.02 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示不同浓度生长调节剂处理间差异显著( $P<0.05$ ),下表同。

### 2.2 28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草发芽率和根系形态的影响

与对照清水相比,所有处理均明显提高了发芽率,1 000和2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂、2 000倍28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂、4 000倍28-高

芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理发芽率显著提高( $P<0.05$ ),在培养皿试验开始的第2天,所有种子便快速开始萌发直至第7天试验结束,所有处理以及对照清水的发芽率均超过80%。浸种处理对多年生黑麦草

的根系也起到明显的促进作用,2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理主根长显著提高( $P<0.05$ );与1 000倍28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理相比,1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理显著促进了根总长、根表

面积、根体积、根平均直径( $P<0.05$ ),因而在此处理下,多年生黑麦草的根系最发达,可为植株生长提供土壤深层养分。1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理与对照清水相比,发芽率、根体积分别提高了19%、52%,效果最佳(表3)。

表3 28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草发芽率和根系形态的影响

Table 3 Effects of 28-Homobrassinolide on seed germination rate and root architecture of *Lolium perenne*

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释 倍数	发芽率/%	主根长/cm	总根长/cm	根表面积/mm <sup>2</sup>	根平均直径/ mm
清水	/	82.33±2.33 <sup>d</sup>	10.30±0.96 <sup>b</sup>	50.96±2.71 <sup>ab</sup>	4.91±0.41 <sup>ab</sup>	0.38±0.02 <sup>ab</sup>
28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂	1 000	98.00±1.00 <sup>a</sup>	12.73±0.67 <sup>ab</sup>	59.30±3.60 <sup>a</sup>	6.22±0.47 <sup>a</sup>	0.41±0.02 <sup>a</sup>
	2 000	92.33±2.33 <sup>ab</sup>	10.56±0.87 <sup>b</sup>	44.94±3.56 <sup>b</sup>	4.18±0.59 <sup>b</sup>	0.36±0.02 <sup>ab</sup>
28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂	1 000	83.00±0.00 <sup>cd</sup>	10.57±0.70 <sup>b</sup>	48.54±2.00 <sup>b</sup>	4.74±0.25 <sup>b</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>
	2 000	93.33±3.33 <sup>ab</sup>	12.33±1.11 <sup>ab</sup>	55.00±2.82 <sup>ab</sup>	5.37±0.42 <sup>ab</sup>	0.37±0.02 <sup>ab</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂	2 000	85.67±1.33 <sup>cd</sup>	13.81±0.41 <sup>a</sup>	47.62±3.37 <sup>b</sup>	4.39±0.52 <sup>b</sup>	0.34±0.02 <sup>b</sup>
	4 000	88.67±2.96 <sup>bc</sup>	12.74±0.54 <sup>ab</sup>	49.38±3.53 <sup>ab</sup>	4.50±0.46 <sup>b</sup>	0.33±0.02 <sup>b</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂	2 000	93.00±0.00 <sup>ab</sup>	14.87±0.71 <sup>a</sup>	54.93±2.34 <sup>ab</sup>	5.27±0.4 <sup>ab</sup>	0.36±0.02 <sup>ab</sup>
	4 000	89.00±1.00 <sup>bc</sup>	14.82±0.94 <sup>a</sup>	59.31±4.18 <sup>a</sup>	5.18±0.34 <sup>ab</sup>	0.34±0.02 <sup>b</sup>

### 2.3 28-高芸苔素内酯对培养皿种子萌发生物量的影响

从表4可以看出,在不同浓度28-高芸苔素内酯浸种处理下,狗牙根的地上部分以及地下部分都获得促进作用,与对照清水相比,2 000倍28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著提高了狗牙根地上部生物量鲜重( $P<0.05$ ),2 000倍28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著提高了狗牙根根系生物量鲜重和地上部生物量干重( $P<0.05$ ),4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著提高了狗牙根根系生物量干重( $P<0.05$ )。4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理与对照清水相比,地上部鲜重、根系鲜重、地上部干重和根系干重分别提高了80.02%、129.02%、42.97%、97.92%,效果最佳。浸种处理对多年生黑麦草生物量干鲜重有一定的促进作用,但差异不显著。

### 2.4 28-高芸苔素内酯对狗牙根生长速度的影响

第1次测定结果表明,2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理的生长速度为0.70 cm/d,显著高于1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂、1 000和

2 000倍28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理以及对照清水( $P<0.05$ )。第2次测定结果表明2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理的生长速度为0.70 cm/d,显著高于1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂、1 000和2 000倍28-高芸苔·吲哚乙酸可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂、2 000和4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理以及对照清水( $P<0.05$ )。第3次测定结果表明2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理的生长速度为0.83 cm/d,显著高于其他所有处理( $P<0.05$ )。叶面喷施不同浓度28-高芸苔素内酯后,植株的再生能力得到提升,一定程度上缓解修剪带来的不利影响(表5)。

### 2.5 28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草生长速度的影响

第1次测定结果表明4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理的生长速度显著高于除2 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理的其他所有处理( $P<0.05$ ),对照清水生长速度显著高于除4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂以及28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂的其他所有处理( $P<0.05$ ),第2次测

表4 28-高芸苔素内酯对培养皿种子萌发生物量的影响

Table 4 Effects of 28-Homobrassinolide on seed germination biomass in Petri dishes

草种	28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释 倍数	地上部鲜重/g	根系鲜重/g	地上部干重/g	根系干重/g
狗牙根	清水	/	0.13±0.02 <sup>ef</sup>	0.05±0.00 <sup>cd</sup>	0.022 0±0.002 5 <sup>c</sup>	0.008 0±0.000 6 <sup>bc</sup>
	28-高芸苔素内酯可溶液剂	1 000	0.16±0.02 <sup>de</sup>	0.06±0.01 <sup>cd</sup>	0.018 0±0.004 1 <sup>cd</sup>	0.007 1±0.003 4 <sup>bc</sup>
		2 000	0.10±0.01 <sup>f</sup>	0.04±0.00 <sup>d</sup>	0.013 8±0.000 8 <sup>d</sup>	0.004 7±0.001 2 <sup>c</sup>
	28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂	1 000	0.12±0.01 <sup>ef</sup>	0.04±0.01 <sup>cd</sup>	0.019 4±0.002 1 <sup>cd</sup>	0.006 3±0.001 0 <sup>bc</sup>
		2 000	0.20±0.01 <sup>abc</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	0.029 9±0.001 9 <sup>ab</sup>	0.011 0±0.001 4 <sup>abc</sup>
	28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>4+7</sub> 可溶液剂	2 000	0.14±0.01 <sup>def</sup>	0.08±0.01 <sup>bc</sup>	0.023 7±0.002 6 <sup>bc</sup>	0.010 0±0.002 5 <sup>abc</sup>
		4 000	0.18±0.03 <sup>bed</sup>	0.08±0.03 <sup>bc</sup>	0.017 1±0.002 9 <sup>cd</sup>	0.008 1±0.002 3 <sup>bc</sup>
	28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>3</sub> 水分散粒剂	2 000	0.23±0.01 <sup>ab</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	0.032 4±0.001 7 <sup>a</sup>	0.012 1±0.000 8 <sup>ab</sup>
		4 000	0.23±0.01 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>ab</sup>	0.031 5±0.000 8 <sup>a</sup>	0.015 8±0.002 7 <sup>a</sup>
	多年生 黑麦草	清水	/	0.70±0.16 <sup>a</sup>	0.42±0.12 <sup>a</sup>	0.100 0±0.013 2 <sup>a</sup>
28-高芸苔素内酯可溶液剂		1 000	0.63±0.07 <sup>a</sup>	0.36±0.04 <sup>a</sup>	0.100 0±0.00 5 <sup>a</sup>	0.072 7±0.005 2 <sup>a</sup>
		2 000	0.96±0.07 <sup>a</sup>	0.50±0.05 <sup>a</sup>	0.100 1±0.022 2 <sup>a</sup>	0.058 4±0.014 1 <sup>a</sup>
28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂		1 000	0.70±0.03 <sup>a</sup>	0.33±0.03 <sup>a</sup>	0.095 0±0.007 6 <sup>a</sup>	0.075 7±0.016 7 <sup>a</sup>
		2 000	0.63±0.05 <sup>a</sup>	0.41±0.06 <sup>a</sup>	0.098 4±0.009 9 <sup>a</sup>	0.081 3±0.010 5 <sup>a</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>4+7</sub> 可溶液剂		2 000	0.96±0.10 <sup>a</sup>	0.52±0.09 <sup>a</sup>	0.126 7±0.011 1 <sup>a</sup>	0.096 7±0.009 2 <sup>a</sup>
		4 000	0.93±0.14 <sup>a</sup>	0.35±0.09 <sup>a</sup>	0.106 1±0.012 3 <sup>a</sup>	0.105 9±0.039 2 <sup>a</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>3</sub> 水分散粒剂		2 000	0.82±0.17 <sup>a</sup>	0.32±0.03 <sup>a</sup>	0.105 4±0.012 8 <sup>a</sup>	0.088 0±0.015 2 <sup>a</sup>
		4 000	0.95±0.06 <sup>a</sup>	0.37±0.05 <sup>a</sup>	0.117 7±0.006 6 <sup>a</sup>	0.090 2±0.01 2 <sup>a</sup>

表5 28-高芸苔素内酯对狗牙根生长速度的影响

Table 5 Effects of 28-Homobrassinolide on the growth rate of *Cynodon dactylon*

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释倍数	第1次生长速度/ (cm·d <sup>-1</sup> )	第2次生长速度/ (cm·d <sup>-1</sup> )	第3次生长速度/ (cm·d <sup>-1</sup> )
清水	/	0.56±0.02 <sup>b</sup>	0.49±0.02 <sup>c</sup>	0.60±0.01 <sup>d</sup>
28-高芸苔素内酯可溶液剂	1 000	0.58±0.03 <sup>b</sup>	0.56±0.02 <sup>bc</sup>	0.61±0.02 <sup>d</sup>
	2 000	0.70±0.04 <sup>a</sup>	0.70±0.02 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>c</sup>
28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂	1 000	0.46±0.03 <sup>c</sup>	0.61±0.02 <sup>b</sup>	0.75±0.01 <sup>b</sup>
	2 000	0.56±0.03 <sup>b</sup>	0.58±0.03 <sup>b</sup>	0.67±0.02 <sup>c</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>4+7</sub> 可溶液剂	2 000	0.61±0.04 <sup>b</sup>	0.69±0.03 <sup>a</sup>	0.83±0.01 <sup>a</sup>
	4 000	0.63±0.02 <sup>ab</sup>	0.54±0.02 <sup>bc</sup>	0.71±0.02 <sup>bc</sup>
28-高芸苔·赤霉酸 A <sub>3</sub> 水分散粒剂	2 000	0.62±0.03 <sup>ab</sup>	0.62±0.03 <sup>b</sup>	0.71±0.02 <sup>bc</sup>
	4 000	0.56±0.02 <sup>b</sup>	0.56±0.02 <sup>bc</sup>	0.61±0.02 <sup>d</sup>

定结果表明4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 A<sub>4+7</sub>可溶液剂处理的生长速度显著高于其他所有处理( $P<0.05$ ),第3次测定结果表明2 000倍28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 A<sub>4+7</sub>可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 A<sub>3</sub>水分散粒剂处理的生长速度显著高于其他所有处理( $P<0.05$ ),在喷施不同浓度28-高芸苔素内酯后,多年生黑麦草的生长速度都有一定的提升,新生枝条数增多,植株的高度增加。其中4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 A<sub>4+7</sub>可溶液剂处理生长速度最快,在第2次测定中,速度达到0.92 cm/d,

2 000倍28-高芸苔素内酯可溶液剂处理生长速度快慢,在第3次测定中,生长速度为0.52 cm/d,1 000倍28-高芸苔素内酯可溶液剂、4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 A<sub>3</sub>水分散粒剂处理的生长速度与对照清水相当(表6)。

## 2.6 28-高芸苔素内酯对分枝的影响

叶面喷施28-高芸苔素内酯可以促进草坪草的分枝,产生新的分蘖,加速草坪的成坪。多年生黑麦草在1 000倍28-高芸苔素内酯可溶液剂处理的一级分枝显著高于对照清水、2000倍28-高芸苔素

表 6 28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草生长速度的影响

Table 6 Effects of 28-Homobrassinolide on the growth rate of *Lolium perenne*

cm/d

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释倍数	第1次生长速度	第2次生长速度	第3次生长速度
清水	/	0.69±0.02 <sup>b</sup>	0.68±0.02 <sup>c</sup>	0.66±0.02 <sup>b</sup>
28-高芸苔素内酯可溶液剂	1 000	0.58±0.02 <sup>cd</sup>	0.66±0.03 <sup>c</sup>	0.67±0.02 <sup>b</sup>
	2 000	0.55±0.03 <sup>cd</sup>	0.55±0.021 <sup>d</sup>	0.52±0.02 <sup>c</sup>
28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂	1 000	0.50±0.03 <sup>d</sup>	0.78±0.02 <sup>b</sup>	0.64±0.03 <sup>b</sup>
	2 000	0.59±0.02 <sup>c</sup>	0.84±0.02 <sup>b</sup>	0.81±0.02 <sup>a</sup>
28-高芸苔·赤霉素 A <sub>4+7</sub> 可溶液剂	2 000	0.61±0.03 <sup>c</sup>	0.69±0.02 <sup>c</sup>	0.70±0.04 <sup>b</sup>
	4 000	0.80±0.03 <sup>a</sup>	0.92±0.03 <sup>a</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>
28-高芸苔·赤霉素 A <sub>3</sub> 水分散粒剂	2 000	0.75±0.04 <sup>ab</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>b</sup>
	4 000	0.58±0.03 <sup>cd</sup>	0.70±0.02 <sup>c</sup>	0.78±0.04 <sup>a</sup>

内酯可溶液剂、1 000 和 2 000 倍 28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂处理 ( $P < 0.05$ ), 其中对照清水的一级分枝最少, 1 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂处理比对照清水高出 132.00%。1 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂、2 000 倍 28-高芸苔·赤霉素 A<sub>3</sub>水分散粒剂处理的二级分枝显著高于除 28-高芸苔·赤霉素 A<sub>4+7</sub>可溶液剂外其他处理 ( $P < 0.05$ )。狗牙根在 2 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂处理分枝数显著高于其他所有处理 ( $P < 0.05$ ), 4 000 倍 28-高芸苔·赤霉

酸 A<sub>4+7</sub>可溶液剂处理显著高于对照清水、2 000 倍 28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂和 28-高芸苔·赤霉素 A<sub>3</sub>水分散粒剂处理 ( $P < 0.05$ ), 2 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂和 4 000 倍 28-高芸苔·赤霉素 A<sub>4+7</sub>可溶液剂处理相比对照清水分别提高了 46.62%、21.80%。其中, 1 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂处理对促进多年生黑麦草的分枝表现较优, 2 000 倍 28-高芸苔素内酯可溶液剂处理对促进狗牙根的分枝表现较优(表 7)。

表 7 28-高芸苔素内酯对分枝的影响

Table 7 Effects of 28-Homobrassinolide on branching

28-高芸苔素内酯及其复配制剂	稀释倍数	多年生黑麦草		狗牙根
		单株一级分枝/枝	单株二级分枝/枝	单株分枝数/枝
清水	/	0.25±0.08 <sup>b</sup>	0.03±0.01 <sup>bc</sup>	1.33±0.11 <sup>c</sup>
28-高芸苔素内酯可溶液剂	1 000	0.58±0.12 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	1.51±0.11 <sup>bc</sup>
	2 000	0.33±0.09 <sup>b</sup>	0.02±0.01 <sup>c</sup>	1.95±0.11 <sup>a</sup>
28-高芸苔·吡啶乙酸可溶液剂	1 000	0.32±0.01 <sup>b</sup>	0.01±0.01 <sup>c</sup>	1.50±0.11 <sup>bc</sup>
	2 000	0.32±0.03 <sup>b</sup>	0.02±0.01 <sup>c</sup>	1.32±0.11 <sup>c</sup>
28-高芸苔·赤霉素 A <sub>4+7</sub> 可溶液剂	2 000	0.38±0.03 <sup>ab</sup>	0.03±0.01 <sup>bc</sup>	1.44±0.11 <sup>bc</sup>
	4 000	0.36±0.05 <sup>ab</sup>	0.07±0.02 <sup>ab</sup>	1.62±0.11 <sup>b</sup>
28-高芸苔·赤霉素 A <sub>3</sub> 水分散粒剂	2 000	0.43±0.11 <sup>ab</sup>	0.08±0.02 <sup>a</sup>	1.36±0.11 <sup>c</sup>
	4 000	0.42±0.06 <sup>ab</sup>	0.04±0.01 <sup>bc</sup>	1.42±0.11 <sup>bc</sup>

### 3 讨论

施用芸苔素内酯是常见的栽培技术措施, 本试验从培养皿试验和盆栽试验进行分析评价, 得到 28-高芸苔素内酯可以有效提高种子发芽率并促进根系形态发育、种苗分蘖的结果。种子萌发是一个复杂的生理生化过程, 同时受到植株自身遗传特性和环境因子的影响, 而芸苔素内酯在诱导植物种子萌发过程中发挥着重要的作用。本研究结果表明 4 000 倍 28-高芸

苔·赤霉素 A<sub>3</sub>水分散粒剂处理有效提高了狗牙根种子的发芽率, 1 000 倍 28-高芸苔素内酯处理有效提高了多年生黑麦草种子的发芽率。目前已有大量研究表明芸苔素内酯可以显著促进草种萌发, 如 24-表油菜素内酯和赤霉素可以促进羊草 (*Leymus chinensis*) 种子萌发, 且 24-油菜素内酯和赤霉素存在正互作效应, 以 24-油菜素内酯 0.1 ug/g 和赤霉素 200 ug/g 效果最好<sup>[27]</sup>。李凯荣等<sup>[28]</sup>用天然油菜素内酯浸种苜蓿 (*Medicago sativa*) 等 5 种牧草种子研究发现, 浸种后

可以提高种子发芽率和发芽势,而且促进了胚根下胚轴伸长,有利于胚根的下扎,缩短发芽天数。从本研究结果得出,28-高芸苔素内酯浸种狗牙根发芽率较对照清水提高了40.45%,黑麦草发芽率较对照清水提高了19.03%,与以上研究结果一致<sup>[29]</sup>。这可能是由于28-高芸苔素内酯可有效打破种子休眠,替代一些种子对低温后熟、光暗和干藏后熟的条件,进而促进了种子萌发<sup>[30]</sup>。根系作为连接土壤与地上部植株的关键枢纽,是衡量草坪质量的重要指标。良好的根系结构是影响草坪草吸收水分和养分的关键因素,决定物质积累与分配,根系形态调整是植物适应环境的重要策略。Liu等<sup>[31]</sup>探究在水分胁迫下植物代谢物和生长调节剂油菜素内酯对高羊茅(*Festuca elata*)根伸长和侧根发育发现,适当浓度可促进主根伸长和侧根发育。Zhang等<sup>[32]</sup>通过探究油菜素内酯对玉米(*Zea mays*)根系形态发现,油菜素内酯促进了种子萌发期的主根的伸长和侧根的发育。李传广等<sup>[33]</sup>通过研究28-高芸苔素内酯对烤烟(*Tobacco*)幼苗生长发育的影响发现,适宜浓度0.05 mg/L的28-高芸苔素内酯显著提高烤烟壮苗指数,有效促进根系形态发育,而过高浓度0.4 mg/L则会对其生长产生抑制作用。本试验研究结果发现,2种草坪草种子浸种与未浸种相比,适当浓度的28-高芸苔素内酯可以调整根系形态结构,根总长、根表面积、根平均直径均显著增加,其中2 000倍28-高芸苔素内酯处理对狗牙根的盆栽试验结果较好,1 000倍28-高芸苔素内酯处理对多年生黑麦草的盆栽试验结果较好,这与以上研究结果一致。由此可以看出,28-高芸苔素内酯在打破种子休眠,促进根系生长发育等方面具有积极作用。根系生物量也与草坪外观质量密切相关,Ali等<sup>[34]</sup>通过探究28-高芸苔素内酯对番茄幼苗根系影响发现低浓度油菜素内酯促进了番茄幼苗根系生长发育,与对照清水相比,根系生物量干鲜重显著增加( $P<0.05$ )。通过本试验结果可以看出,4000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理显著促进狗牙根植株体生物量干鲜重( $P<0.05$ ),以上结果与本试验结果一致<sup>[35]</sup>。

生长速度和分蘖作为评判草坪生长性能指标之一,受自身遗传性状和外部环境的影响,适当浓度的激素能够促进草坪草分蘖和群落结构的形成,提高

观赏质量<sup>[36]</sup>。张利娟等<sup>[37]</sup>通过探究生长调节剂对结缕草幼苗生长影响发现,外施芸苔素内酯显著加快结缕草幼苗的生长速度和成坪时间,提高草坪外观质量。薛世龙<sup>[38]</sup>研究发现,在天然羊草退化草地上喷施油菜素内酯可增加羊草株丛数。欧阳底梅<sup>[39]</sup>研究发现,0.5 mg/L 0.1%芸苔素内酯可溶性粉剂能有效促进沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)的分蘖,改善冬季草坪景观。本试验结果表明,喷施适宜浓度的28-高芸苔素内酯显著提高草坪草生长速度和分蘖性能( $P<0.05$ )。其中1 000倍28-高芸苔素内酯处理对促进多年生黑麦草的分枝表现较优,2 000倍28-高芸苔素内酯处理对促进狗牙根的分枝表现较优,与对照相比分别高出132%、46.62%( $P<0.05$ ),这可能是因为喷施后叶绿素含量提高,促进光合结构对 $CO_2$ 的利用率,增加碳同化和有机物的积累<sup>[40]</sup>,这与本文的结论相符。而草坪高度是决定草坪是否修剪的重要指标,草坪草过快的生长速度前期会导致幼苗的徒长,对草坪草壮苗不利,后期频繁修剪,一方面会造成会耗费大量的人力物力,另一方面也会造成营养物质的流失<sup>[41]</sup>。因此,既能降低草坪草生长速度又能够增加分蘖促进草坪群落的形成,提高外观质量显得极为重要。本研究结果表明,2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理同时提高了狗牙根生长速度和分枝数,4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理促进了狗牙根分蘖但生长速度较慢,因此,狗牙根幼苗生长阶段2 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理表现较优。从不同浓度28-高芸苔素内酯对多年生黑麦草影响可以看出,4 000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_{4+7}$ 可溶液剂处理显著促进生长( $P<0.05$ ),但分蘖数较低,会增加其生产成本,而1 000倍28-高芸苔芸苔素内酯可溶液剂处理既能促进多年生黑麦草分蘖又可降低生长速度。

## 4 结论

本试验通过探究不同浓度的28-高芸苔素内酯对两种草坪草种子萌发和幼苗生长影响发现,4000倍28-高芸苔·赤霉酸 $A_3$ 水分散粒剂处理对种子萌发、根系形态指标和根系发育表现较优,幼苗生长阶段2 000倍28-高芸苔素内酯处理对减缓草坪生长和促进分枝表现最优;多年生黑麦草种子萌发和幼苗生长均在

1 000倍28-高芸苔素内酯处理表现最优。根据两种草坪草种的对比可知,草种萌发阶段和幼苗生长阶段对不同浓度28-高芸苔素内酯的响应存在差异,具有遗传多样性。外源施用28-高芸苔素内酯时,对于不同的草种需要考虑不同的浓度。此外,28-高芸苔素内酯和吲哚乙酸、赤霉素混配存在正效应。因此,适宜浓度的28-高芸苔素内酯及其混配药剂对草种的萌发有促进作用,可以为草坪建植管理等提供新思路,但对于28-高芸苔素内酯与激素混配对草种萌发和幼苗生长等相互作用机制还有待进一步研究分析。

#### 参考文献:

- [1] Mandava N, Bhushan. Plant growth-promoting brassinosteroids [J]. Annual review of plant physiology and plant molecular biology, 1988, 39(1): 23-52.
- [2] Yang C J, Zhang C, Lu Y N. The mechanism of brassinosteroids' action: From signal transduction to plant development [J]. Molecular Plant, 2011, 4(4): 588-600.
- [3] Alam M N, Zhang L, Yang L, *et al.* Transcriptomic profiling of tall fescue in response to heat stress and improved thermotolerance by melatonin and 24-epibrassinolide [J]. BMC GENOMICS, 2018, 19(1): 1-14.
- [4] Zhang F H, Lu K, Gu Y Y, *et al.* Effects of low-temperature stress and brassinolide application on the photosynthesis and leaf structure of tung tree seedlings [J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 10: 497266.
- [5] Sun S A, Yao X F, Liu X, *et al.* Brassinolide can improve drought tolerance of maize seedlings under drought stress: By inducing the photosynthetic performance, antioxidant capacity and ZmMYB gene expression of maize seedlings [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2022, 22(2): 2092-2104.
- [6] 王丹, 刘亚西, 周扬, 等. 油菜素内酯对盐胁迫下黑麦草种子萌发及幼苗生长的生理调控作用 [J]. 草业科学, 2021, 38(6): 1110-1118.
- [7] Zhong W X, Xie C C, Hu D, *et al.* Effect of 24-epibrassinolide on reactive oxygen species and antioxidative defense systems in tall fescue plants under lead stress [J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2020, 187: 109831.
- [8] 林瑞嫦, 高玉萌, 王可心, 等. 芸苔素内酯对糜苧茶啉·二甲钠药害的缓解作用 [J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(4): 726-734.
- [9] Deng X G, Zhu T, Peng X J, *et al.* Role of brassinosteroid signaling in modulating Tobacco mosaic virus resistance in *Nicotiana benthamiana* [J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 1-14.
- [10] 王瑞娇, 郑小兰, 刘勇鹏, 等. 芸苔素内酯的复合应用对番茄根结线虫抑制效果的研究 [J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(1): 29-35.
- [11] 陆宁海, 郎剑锋, 张俊伟, 等. 芸苔素内酯对小麦种子萌发、幼苗生长及茎基腐病的影响 [J]. 河南科技学院学报 (自然科学版), 2015, 43(3): 31-35.
- [12] 陈丽霞, 李英慧, 郑服丛, 等. 油菜素内酯(BR)对大豆疫霉根腐病抗性的影响 [J]. 大豆科学, 2007(5): 713-717+727.
- [13] 胡春红, 郭婕, 陈龙, 等. 防腐剂胁迫下外源芸苔素内酯对玉米幼苗生长及抗性的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2014, 40(2): 113-116.
- [14] 赵春旭, 姜寒玉, 董文科, 等. 外源复合激素对匍匐翦股颖抗褐斑病的诱导抗性 [J]. 草业学报, 2018, 27(11): 120-130.
- [15] Chen Z F, Wang Z, Yang Y G, *et al.* Abscisic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 228: 1-9.
- [16] Yin X W, Tang M J, Xia X J, *et al.* BRASSINAZOLE RESISTANT 1 Mediates Brassinosteroid-Induced Calvin Cycle to Promote Photosynthesis in Tomato [J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 811948.
- [17] Kang Y H, Breda A, Hardtke C S. Brassinosteroid signaling directs formative cell divisions and protophloem differentiation in Arabidopsis root meristems [J]. Development, 2017, 144(2): 272-280.
- [18] 邓茜, 张爱华, 侯立江, 等. 油菜素内酯对小麦幼苗根系发育的影响 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38(12): 1504-1511.
- [19] 宋靛苑, 林恬逸, 许静雯, 等. 盐胁迫下表油菜素内酯对沟叶结缕草愈伤组织生长和再生的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34(7): 1440-1446.
- [20] 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.
- [21] Mutlu S S, Atesoglu H, Selim C, *et al.* Effects of 24-epibrassinolide application on cool-season turfgrass growth and quality under salt stress [J]. Grassland science, 2017, 63(1): 61-65.



- [22] Fan J B, Zhang W H, Amombo E, *et al.* Mechanisms of environmental stress tolerance in turfgrass [J]. *Agronomy*, 2020, 10(4): 522.
- [23] 连鹤娜, 李春杰. 不同栽培措施对醉马草坪用性状的影响[J]. *草业学报*, 2022, 31(6): 178–188.
- [24] 赵春旭, 姜寒玉, 董文科, 等. 外源复合激素对匍匐剪股颖抗褐斑病的诱导抗性[J]. *草业学报*, 2018, 27(11): 120–130.
- [25] 王洪凤, 耿全政, 孔波, 等. 芸苔素内酯和ZNC免疫诱抗剂研究进展[J]. *现代农业科技*, 2020(19): 127–130.
- [26] 万群. 芸苔素内酯对低温胁迫下樱桃五彩椒种子萌发及幼苗抗逆性的影响[J]. *北方园艺*, 2016(13): 13–17.
- [27] 郭慧琴, 任卫波, 李平, 等. 2,4-表油菜素内酯和赤霉素互作对羊草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草业科学*, 2014, 31(6): 1097–1103.
- [28] 李凯荣, 王健, 贺秀贤. 天然油菜素内酯对五种牧草种子发芽和胚根下胚轴伸长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008(1): 221–225.
- [29] 孙晓, 姜兴印, 姚晨涛, 等. 3种不同结构芸苔素内酯在棉花上的应用研究[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(11): 121–126.
- [30] 夏发生, 刘刚. 植物生长调节剂在高尔夫草坪上的应用[J]. *草原与草坪*, 2013, 33(5): 119–123.
- [31] Liu Y, Zhang J M, Huang B R. Priming effects of phyto-metabolites and hormones on rooting characteristics in tall fescue exposed to water stress[J]. *Crop Science*, 2020, 60(5): 2732–2743.
- [32] Zhang H, Zhao D, Tang Z Y, *et al.* Exogenous brassinosteroids promotes root growth, enhances stress tolerance, and increases yield in maize[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2022, 17(1): e2095139.
- [33] 李传广, 付沙, 李峰, 等. 28-高芸苔素内酯对烤烟幼苗生长发育的影响[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(8): 107–111.
- [34] Ali B, Hayat S, Hasan A, *et al.* Effect of root applied 28-homobrassinolide on the performance of *Lycopersicon esculentum*[J]. *Sci Hort*, 2006, 110(3): 267–273.
- [35] Wang Y, Liu Z Q, Xiemuxiding A, *et al.* Fulvic Acid, Brassinolide, and Uniconazole Mediated Regulation of Morphological and Physiological Traits in Maize Seedlings Under Water Stress[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022, 42(3): 1762–1774.
- [36] 奇凤, 宋桂龙. 草坪草分蘖特征及调控机理研究进展[J]. *草原与草坪*, 2012, 32(1): 79–86.
- [37] 张利娟, 钟天秀, 许立新, 等. 外施氮肥、生长调节剂对结缕草幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2014, 22(5): 1038–1044.
- [38] 薛世龙, 乌云娜. 牧草叶面喷施油菜素内酯效果研究[J]. *中国草地*, 1996, (4): 80–81.
- [39] 欧阳底梅, 丁少江, 朱伟华, 等. 植物生长调节剂对暖地型草坪冬季质量的影响[J]. *草业科学*, 2005(3): 98–101.
- [40] 胡文海, 黄黎锋, 毛伟华, 等. 油菜素内酯对黄瓜苗期叶片光合机构调节作用的研究[J]. *园艺学报*, 2006(4): 762–765.
- [41] 王旭盛, 罗涵夫, 张巨明. 过量使用抗倒酯对海滨雀稗草坪生长的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(6): 1451–1458.

## Effects of 28-homobrassinolide on the turfgrass seed germination and seedling growth

XU Jun-zhou<sup>1</sup>, SHI Shun-xin<sup>1</sup>, YU Zheng<sup>2</sup>, WANG Ying<sup>2</sup>, LU Mei-ting<sup>2</sup>,  
ZHAO De-yi<sup>2</sup>, LIU Tian-zeng<sup>1\*</sup>

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Jiangxi Windeal Biological Technology Co. Ltd., Nanchang 330000, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the effects of different concentrations of 28-homobrassinolide on seed germination and seedling growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and bermudagrass (*Cynodon dactylon*).

**【Method】** The response of seed germination rate, root morphology and structure, and biomass in two turfgrass species was assessed using pot and petri dish tests. **【Result】** The response to 28-homobrassinolide varied between grass species. In the Petri dish experiment, Bermudagrass seeds treated with 4 000 times dilution of 28-homobrassinolide•gibberellic acid A3 Water dispersible granules showed significant improvements in germination rate, root morphology and biomass compared to the control treatment ( $P < 0.05$ ). In the pot experiments, the dilution of 2 000 times 28-homobrassinolide significantly promoted seedling growth and branching ( $P < 0.05$ ). For both Petri dish and pot experiments, the dilution of 1 000 times 28-homobrassinolide significantly promoted the germination rate, root morphology, and tillering of perennial ryegrass ( $P < 0.05$ ), compare to the control water treatment. **【Conclusion】** Different concentrations of 28-homobrassinolide significantly promoted seed germination and seedling development in both perennial ryegrass and bermudagrass. The results of this study provide a theoretical foundation for the establishment, maintenance, and management of turfgrass, with potential application in landscaping and sports turf management.

**Key words:** 28-Homobrassinolide; seed germination; root architecture; seedling growth

(责任编辑:新奇峰)