



赤霉素和细胞分裂素对狗牙根分蘖芽形态结构的影响

张海燕 孙雪 于辉 孙强 周乐 张延辉

Effects of gibberellin and cytokinin on the tillers bud morphology of *Cynodon dactylon*

ZHANG Haiyan, SUN Xue, YU Hui, SUN Qiang, ZHOU Yue, ZHANG Yanhui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0702>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

保水剂对狗牙根匍匐茎萌发、幼苗形态特征及抗旱性的影响

Effect of a super absorbent polymer on germination, morphology, and drought resistance of *Cynodon dactylon*

草业科学. 2019, 36(1): 142 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0126>

赤霉素和生长素浸种对野牛草种子萌发及幼苗生长生理的影响

Seed soaking in exogenous gibberellin and auxin and their impact on seed germination and seedling physiology of *Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.

草业科学. 2017, 11(9): 1838 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0036>

9种除草剂对狗牙根草坪中鸡眼草的防除效果

Control effects of nine herbicides on *Kummerowia striata* in *Cynodon dactylon* lawn

草业科学. 2018, 12(1): 69 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0120>

赤霉素浸种对PEG模拟干旱条件下多年生黑麦草种子萌发的影响

Effect of gibberellin soaking on seed germination of perennial ryegrass under polyethylene glycol simulated drought conditions

草业科学. 2019, 36(9): 2304 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0140>

封育和放牧对黄土高原典型草原芽库的影响

Effects of fencing and grazing management on bud bank in a semiarid steppe on the Loess Plateau

草业科学. 2017, 11(1): 9 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0151>

狗牙根和三叶草的根系特征及对荒坡紫色土抗剪性能的影响

Root characteristics of *Cynodon dactylis* and *Trifolium repens* and their effect on shear performance of purple soil in barren hillside

草业科学. 2018, 12(3): 463 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0349>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0702

张海燕, 孙雪, 于辉, 孙强, 周乐, 张延辉. 赤霉素和细胞分裂素对狗牙根分蘖芽形态结构的影响. 草业科学, 2023, 40(5): 1368-1377.

ZHANG H Y, SUN X, YU H, SUN Q, ZHOU Y, ZHANG Y H. Effects of gibberellin and cytokinin on the tillers bud morphology of *Cynodon dactylon*. Pratacultural Science, 2023, 40(5): 1368-1377.

赤霉素和细胞分裂素对狗牙根 分蘖芽形态结构的影响

张海燕^{1,2,3}, 孙雪^{1,2,3}, 于辉^{1,2,3}, 孙强⁴, 周乐⁵, 张延辉^{1,2,3}

(1. 新疆农业大学草业学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 西部干旱荒漠区草地资源与生态实验室, 新疆乌鲁木齐 830052;
3. 新疆草地资源与生态重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052; 4. 新疆维吾尔自治区草原总站,
新疆乌鲁木齐 830049; 5. 喀什地区草原站, 新疆喀什 844599)

摘要: 分蘖是禾本科植物的生物学特征, 分蘖数是草坪草密度评价的关键指标之一。狗牙根(*Cynodon dactylon*)是一种连续分蘖的禾本科草坪草, 分蘖促进产生新枝, 对于狗牙根草坪迅速返青、形成致密的草坪具有重要的作用。目前有关狗牙根分蘖还没有深入的研究报道, 本研究以‘新农1号’狗牙根(‘Xinnong No.1’)为材料, 分别喷施 $1\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 赤霉素(GA_3)和细胞分裂素(6-BA), 对分蘖芽的形成进行组织切片, 分析解剖结构和表型。结果显示: 狗牙根在三叶期形成分蘖原基, 在八叶期形成新的分蘖芽后突破母茎; 喷施 GA_3 和6-BA使狗牙根形成分蘖芽时间提前, GA_3 处理分蘖芽提前5 d在七叶期形成, 6-BA处理分蘖芽提前8 d在六叶期形成; 同时喷施两种激素狗牙根分蘖数和根长均增加, 且6-BA处理后分蘖数增加最多, 是对照的1.18倍。通过对不同激素处理下分蘖芽形成叶期的解剖结构观察, 发现无论表皮厚度、皮层厚度, 还是维管束直径均表现为6-BA > GA_3 > CK, 且在6-BA处理下是 GA_3 处理的1.28倍、2.33倍、1.34倍。研究结果表明, 在狗牙根分蘖初期喷施6-BA促进分蘖芽生长发育效果优于喷施 GA_3 。

关键词: ‘新农1号’狗牙根; 赤霉素; 细胞分裂素; 分蘖芽; 顶端优势; 石蜡切片; 解剖结构

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)05-1368-10

Effects of gibberellin and cytokinin on the tillers bud morphology of *Cynodon dactylon*

ZHANG Haiyan^{1,2,3}, SUN Xue^{1,2,3}, YU Hui^{1,2,3}, SUN Qiang⁴, ZHOU Yue⁵, ZHANG Yanhui^{1,2,3}

(1. College of Grassland Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

2. Key Laboratory of West Arid Region Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

3. Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

4. Xinjiang Uygur Autonomous Region Grassland Station, Urumqi 830049, Xinjiang, China;

5. Kashgar Prairie Station, Kashgar 844599, Xinjiang, China)

Abstract: Tillering is a biological characteristic of graminaceous plants, and the number of tillers is one of the key indicators of turfgrass density. *Cynodon dactylon* is a continuous tillering grass of the grass family. Tillering promotes the production of new branches and plays an important role in the rapid regeneration and formation of dense lawns. In this study, *C. dactylon* ‘Xinnong No. 1’ was sprayed with $1\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ gibberellin (GA_3) and cytokinin (6-BA), respectively, to analyze the formation of tiller buds in tissue sections, anatomical structures, and phenotypes. The results showed that the tiller base was formed at

收稿日期: 2022-09-01 接受日期: 2023-03-24

基金项目: 自治区重点实验室项目(2023D04039)

第一作者: 张海燕(1989-), 女, 新疆昌吉人, 硕士, 研究方向为草种质资源与育种。E-mail: 290120659@qq.com

通信作者: 张延辉(1980-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 副教授, 硕导, 博士, 研究方向为草种质资源与育种。E-mail: 717542457@qq.com

the three-leaf stage and new tiller buds were formed at the eight-leaf stage before breaking through the mother stem. The tiller buds formed 5 d earlier at the seventh leaf stage in the GA₃ treatment and 8 d earlier at the sixth leaf stage in the 6-BA treatment. The number of tillers and root length increased with both hormone sprays; the number of tillers increased the most with the 6-BA treatment compared to that with the CK by 1.18 times. By observing the anatomical structure of the tiller buds at the leaf formation stage under different hormone treatments, it was observed that in epidermal thickness, cortical thickness, and vascular bundle diameter, 6-BA > GA₃ > CK; moreover, these characteristics were 1.28 times, 2.33 times, and 1.34 times more under the 6-BA treatment than in the GA₃ treatment. The results showed that the spraying of 6-BA at the early stage of dog root tillering was better than the spraying of GA₃ in promoting the growth and development of the tiller buds.

Keywords: *Cynodon dactylon* ‘Xinnong No.1’; gibberellin; cytokinin; tiller bud; top advantages; paraffin section; anatomical structure

Corresponding author: ZHANG Yanhui E-mail: 717542457@qq.com

分枝是植物生长的基本特性之一,不同的植物分枝方式不同,可分为单轴分枝、合轴分枝、二叉分枝以及分蘖^[1]。分蘖是从叶腋的腋芽中生长出来,起源于腋生分生组织^[2]。分蘖对于植物的繁殖与生长有多方面的影响,首先,在禾本科草坪植物的生物学特性中,分蘖是一种无性繁殖方式^[3],分蘖促进产生新枝,新枝数目增加有利于扩大占地面积,减少杂草丛生,提高草坪植物的抗性和适应性^[4],还有利于增加草坪草的密度和质量,提高草坪草的耐践踏性和观赏价值^[5]。其次,分蘖对农作物的生长具有重要影响,分蘖能够促使植物充分利用土壤中的营养元素,提高植物对施肥过程中肥料的利用效率^[6]。并且能决定植物的农艺特性从而影响农作物的产量,相关研究表明,可以通过增加分蘖数来提高小麦 (*Triticum aestivum*)^[7]、水稻 (*Oryza sativa*)^[8] 以及大麦 (*Hordeum vulgare*)^[9] 的产量,特别是水稻不论是国际学者研究的“超高产新株型”,还是中国学者培育出的“中国超级稻”和“超级杂交稻”,分蘖数均是水稻高产的关键原因^[10]。可见,分蘖在植物生长过程中至关重要。

分蘖的发育分为 3 个阶段,一是腋生分生组织起始,二是腋芽的发育,三是腋芽生长形成分蘖。腋生分生组织的建立和腋芽的形成大部分受遗传控制,而腋芽的生长受遗传、激素和环境等共同因素影响^[11]。其中植物激素在伸长过程中起关键作用,生长素 (Auxin, IAA) 主要在植物茎尖与幼叶中合成,由上向下主动运输^[12],研究表明给植株注入适量的生长素可以代替顶芽抑制植物分蘖的发生^[13];但当对植物顶端生长素活性进行减弱或消

除,可以使植物重新开始生长,最终发育成新的分枝^[14-15],说明生长素通过顶端优势抑制侧芽的生长发育。细胞分裂素是参与调控分蘖的另一种激素,主要合成部位是根尖分生组织,通过蒸腾作用在木质部中向上运输^[16-17],研究表明对植物喷施一定浓度的细胞分裂素能去除植株中生长素所造成的顶端优势,促进侧芽萌发生长^[18]。可见,在植物生长过程中,细胞分裂素与生长素作用相反,能消除顶端优势,促进分蘖的发生。除此之外,赤霉素也是公众所熟知的一种植物激素,可以在植物体内自由运行双向运输,对种子的萌发、植株茎的伸长有促进作用^[19-21],同时对植物的分蘖也具有调控作用^[22]。

狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 作为暖季型草坪草是一种连续分蘖的植物,分蘖的产生有利于扩大草坪草的占地能力,增强其抗性和适应性,从而提高草坪草的密度和质量^[23]。从激素的角度研究狗牙根分蘖过程中微观结构的动态变化少见报道。因此,本研究以‘新农 1 号’狗牙根为解剖对象,研究赤霉素和细胞分裂素对狗牙根分蘖芽发育的影响,通过组织切片确定分蘖芽形成的具体时间节点,分析在外源激素的影响下分蘖芽的具体变化;并通过解剖结构观察其结构差异,为深入了解狗牙根分蘖发生奠定基础。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

以‘新农 1 号’狗牙根品种为试验材料,消毒后的种子培育在装有蛭石与珍珠岩 (2 : 1) 50 穴育苗盘中,置于人工气候室培育,每 3 d 更换一次营养液。

设置为白天 16 h (32 ± 1 °C)、夜晚 8 h (25 ± 1 °C), 光照强度是 24 000 lx。种子萌发后待狗牙根长至二叶期时, 选取长势一致的幼苗移栽至 4 cm × 4 cm 育苗盘中, 共 50 个穴 (每个穴移栽两株幼苗), 移栽 48 h 后进行试验处理。

供试外源激素: 细胞分裂素 (cytokinin, CTK) 6-苄基氨基嘌呤 (6-BA), 赤霉素 (gibberellins, GAs) GA_3 , 均由上海源叶生物科技有限公司生产。

1.2 试验设计

通过预试验, 筛选出 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 赤霉素、细胞分裂素为最适喷施浓度。以此为基础, 进行激素处理试验。

试验 I: 从狗牙根三叶期开始取样, 每增加 1 片幼叶取 1 次, 取至分蘖芽形成结束。

试验 II: 在狗牙根二叶期时, 叶面喷施 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 GA_3 , 喷施量为 100 mL。从三叶期开始, 每增加 1 片幼叶取 1 次, 取至分蘖芽形成结束。

试验 III: 在狗牙根二叶期时, 叶面喷施 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA, 喷施量为 100 mL。从三叶期开始, 每增加 1 片幼叶取 1 次, 取至分蘖芽形成结束。

取样部位为狗牙根分蘖节基部到向上茎节 0.5~1.0 cm 处, 将所取材料放入 EP 管中, 每管 15 株。

1.3 试验方法和测定指标

1.3.1 狗牙根生长指标测定

喷施激素 GA_3 和 6-BA 后, 测量其根长、株高和基部分支数, 每次测量取 10 株植物作为重复, 分析‘新农 1 号’狗牙根分别在不同时期的生长变化情况。

1.3.2 解剖结构指标测定

将组织放入 FAA 固定液 (70% 乙醇 + 冰醋酸 + 37%~40% 甲醛) 进行固定。经软化—脱水—透明—浸蜡—换蜡—包埋, 用德国徕卡轮转式切片器切取材料, 再使用番红和固绿对切片染色, 树胶封片, 具体参照路思谦和高虹^[24] 石蜡切片方法, 对其试验方案进行改进。

于 Nikon-E100 光学显微镜观察狗牙根基部节点并拍照, 通过组织切片确定 GA_3 和 6-BA 处理后分蘖芽形成的时期, 用 ImageJ 软件测定狗牙根分蘖节细胞中的表皮细胞厚度、皮层细胞厚度以及维管束直径。每个处理观察 3 张切片, 每张切片观察两个视野。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件数据整理, 通过 SPSS 24.0 进行单因素方差分析, 采用软件 Origin 20.0 制图。

2 结果

2.1 狗牙根分蘖芽形成的过程

连续分蘖是狗牙根的生物学特征, 在二叶期 (发芽后 8 d) 叶面积小, 只有一条主茎, 植物所需要的营养主要依靠这条主茎提供, 随着植物的生长发育至三叶期形成叶原基逐步开始分蘖。从四叶期 (发芽后 13 d) 开始分蘖结构逐渐形成为单独的个体。随着狗牙根的生长发育, 通过组织切片观察发现狗牙根在八叶期 (发芽后 28 d) 形成分蘖芽突出母茎 (图 1)。

对狗牙根基部节点进行组织切片制作, 观察狗牙根初期三叶期 (出芽后 10 d) 横切面 (图 2A) 发现, 茎端分生组织形成呈现出半月形突出体, 同时, 细胞壁薄、分裂旺盛, 开始逐步分化为原形成层, 观察其纵切面 (图 1G) 发现叶腋部位隆起, 即芽原基形成呈高圆丘状突起。当幼苗生长至四叶期 (出芽后 13 d) 时观察横切面 (图 1B) 发现茎端分生组织直径变宽, 细胞数量增加。五叶期 (出芽后 16 d) 时通过横切面 (图 1C) 观察发现茎端分生组织直径持续变宽, 叶原基周围分布着维管束。待植物发育至六叶期 (出芽后 20 d)、七叶期 (出芽后 24 d) 时, 观察横切面 (图 1D、E) 发现新的叶原基逐渐形成且组织结构清晰, 分布在主茎两侧, 观察其纵切面 (图 1I) 呈现出两个芽原基, 右侧新形成的芽原基在基部逐渐突起。狗牙根生长至八叶期 (出芽后 28 d) 时观察横切面 (图 1F) 发现新分蘖芽完全形成, 在茎端分生组织达到最宽半月形突出体, 观察纵切面 (图 1J) 分蘖芽结构完全形成突破母茎, 形成新的分枝, 由此可见, 分蘖芽在狗牙根八叶期形成突出母茎。

2.2 不同激素处理狗牙根分蘖芽形成的时期

2.2.1 GA_3 处理狗牙根分蘖芽形成的时期

GA_3 处理后观察三叶期 (出芽后 9 d) 纵切面 (图 2E) 发现狗牙根基部有隆起, 清晰可见芽原基。在四叶期 (出芽后 13 d) 时观察横切面 (图 2A) 发现茎端分生组织形成逐步开始分化出原形成层。待狗

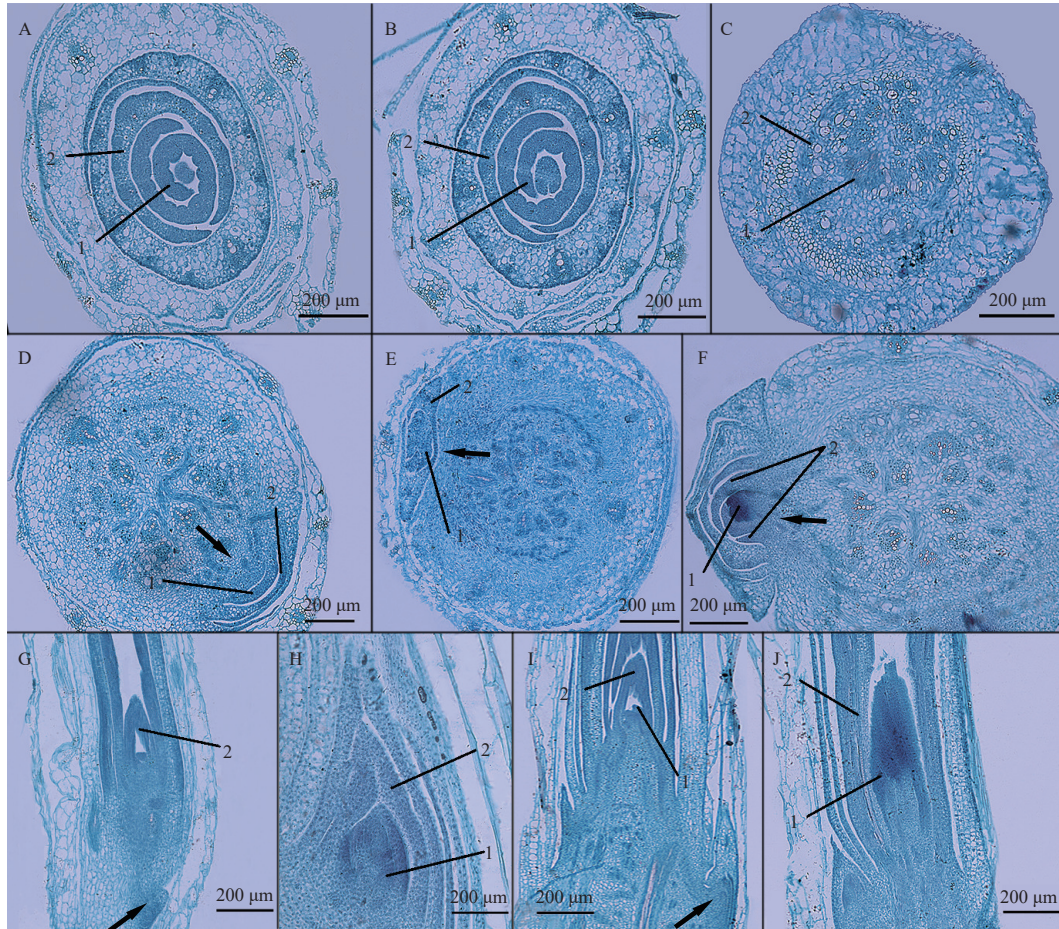


图 1 狗牙根分蘖芽形成组织切片 ($\times 100$)

Figure 1 Tissue section of the tiller shoot formation of *Cynodon dactylon* ($\times 100$)

A—F: 三叶期至八叶期横切面; G—J: 三叶、五叶、七叶、八叶纵切面; 1: 叶原基; 2: 幼叶; 箭头: 分蘖发生的方向。

A—F: transverse sections of the three- to eight-leaf stage; G—J: longitudinal sections of three, five, seven, and eight leaves; 1: leaf primordia; 2: young leaves; arrows: direction of tiller occurrence.

牙根生长到五叶期 (出芽后 16 d) 至六叶期 (出芽后 18 d) 时, 观察横切面 (图 2B、C) 发现逐渐有新的叶原基形成在茎端两侧, 观察其纵切面 (图 2F) 发现主茎基部新发育的芽原基逐渐隆起。当狗牙根发育至七叶期 (出芽后 23 d) 时, 观察横切面 (图 2D) 在主茎左侧形成新的半月形突出体, 再观察纵切面 (图 2G) 发现分蘖芽发育成熟并突出母茎。通过分析对比 GA_3 处理后分蘖芽形成时间提前 5 d 并且在七叶期形成。说明, GA_3 处理后对狗牙根分蘖芽形成具有促进作用。

2.2.2 6-BA 处理狗牙根分蘖芽形成的时期

狗牙根在 6-BA 处理下, 在三叶期 (出芽后 9 d) 时观察横切面 (图 3A), 发现茎端分生组织为半月形突出体, 观察其纵切面 (图 3E) 发现叶腋部位微微隆起, 芽原基形成。在狗牙根四叶期 (出芽后 12 d) 至

五叶期 (出芽后 15 d) 时, 观察横切面 (图 3B、C) 发现茎端分生组织随着狗生根生长持续增长变宽, 在主茎轴的左上方有分蘖芽的组织形成, 观察其纵切面 (图 3F) 有两个芽原基, 新形成的芽原基在基部微微突起。生长至六叶期 (出芽后 20 d) 时, 观察其横切面 (图 3D) 新形成的茎端分生组织为半月形突出体, 其纵切面 (图 3G) 可以看出分蘖芽结构发育完成突出母茎。通过分析对比 6-BA 处理后分蘖芽形成时间提前 8 d 并且在六叶期形成。说明, 6-BA 处理后对狗牙根分蘖芽形成具有促进作用。

综上所述, 狗牙根在三叶期形成分蘖原基, 并在八叶期 (出芽后 28 d) 形成分蘖芽突出母茎。而对狗牙根进行 GA_3 和 6-BA 处理后, 分别在七叶期 (出芽后 23 d) 和六叶期 (出芽后 20 d) 形成新的分蘖芽。通过对比分析, 6-BA 和 GA_3 处理后分蘖芽形成

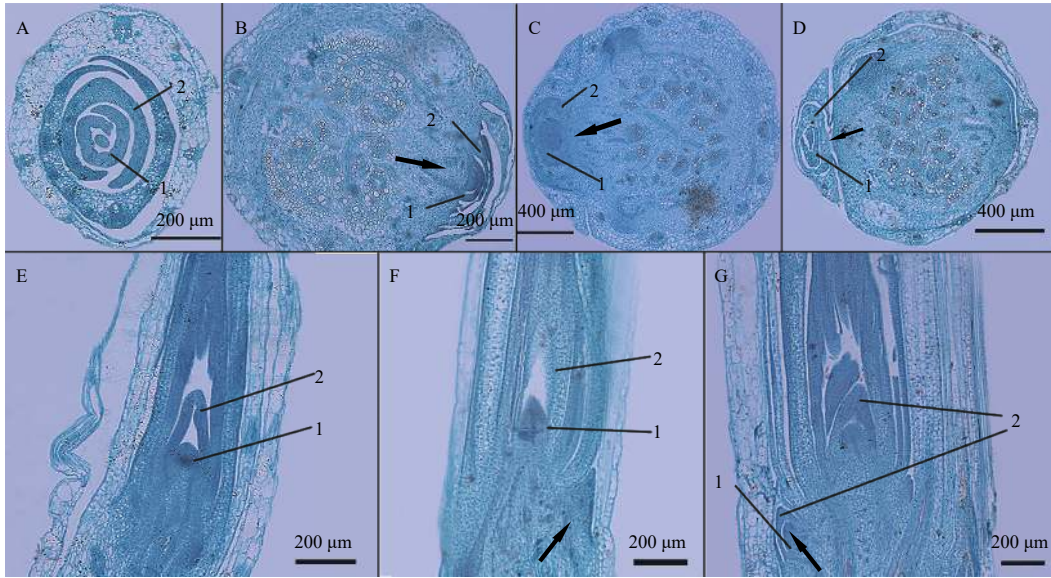


图2 赤霉素 (GA₃) 处理狗牙根分蘖芽形成组织切片 (×100)

Figure 2 Gibberellin (GA₃)-treated *Cynodon dactylon* tiller shoot formation tissue sections (×100)

A—D: 四叶期至七叶期横切面; E—G: 三叶期、五叶期、六叶期纵切面; 1: 叶原基; 2: 幼叶; 箭头: 分蘖发生的方向。

A—D: transverse sections of the four- to seven-leaf stage; E—G: longitudinal sections of the three-, five- and six-leaf stage; 1: leaf primordia; 2: young leaves; arrow: direction of tiller occurrence.

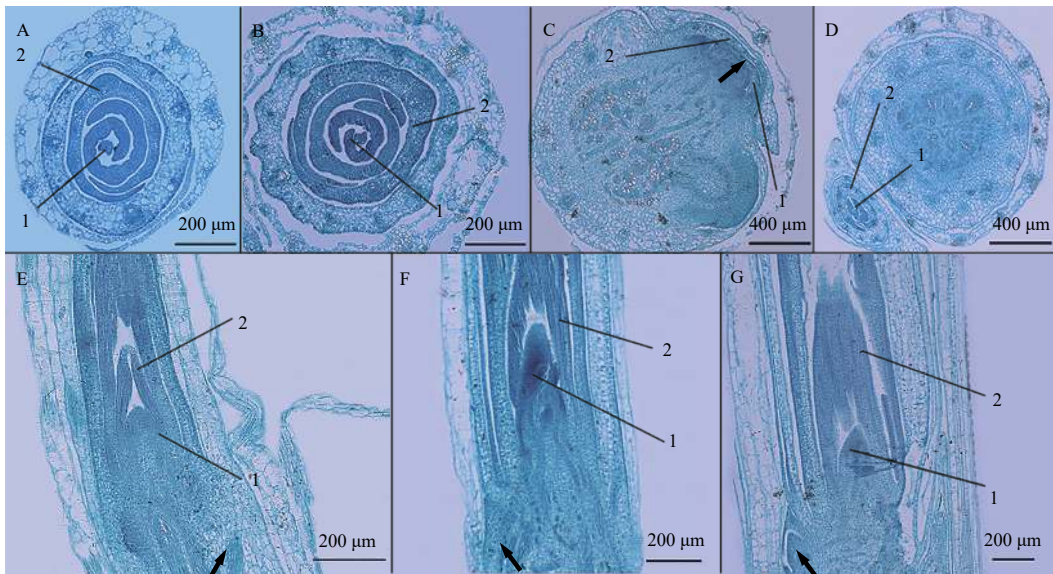


图3 细胞分裂素 (6-BA) 处理狗牙根分蘖芽形成组织切片 (×100)

Figure 3 Cytokinin (6-BA)-treated *Cynodon dactylon* tiller shoot formation tissue sections (×100)

A—D: 三叶期至六叶期横切面; E—G: 三叶期、五叶期、六叶期纵切面; 1: 叶原基; 2: 幼叶; 箭头: 分蘖发生的方向。

A—D: transverse sections of the three- to six-leaf stage; E—G: longitudinal sections of the three-, five- and six-leaf stage; 1: leaf primordia; 2: young leaves; arrow: direction of tiller occurrence.

时间分别提前 8 d 和 5 d, 说明在狗牙根分蘖初期喷施 6-BA 促进分蘖芽生长发育最明显。

2.3 不同激素处理狗牙根生长发育

不添加激素处理下, 不同时期狗牙根的株高、

分支数与根长变化情况表明 (表 1), 三叶期至四叶期无论是株高、根长, 还是分蘖数均呈缓慢增加趋势, 在五叶期后株高和根长呈快速生长, 变化范围分别为 11.21~22.05 和 12.29~26.72 cm, 分蘖数随

表 1 外源激素对不同时期狗牙根生长的影响
Table 1 Effects of exogenous hormones on the growth of *Cynodon dactylon* at different times

发育阶段 Developmental stage	处理组 Treatment	株高 Plant height/cm	分蘖数 Tillering number	根长 Root length/cm	备注 Remark
三叶期 Three-leaf stage	对照(CK) Control	6.11 ± 0.16a	2.45 ± 0.16a	7.42 ± 0.22b	
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	5.99 ± 0.11ab	2.70 ± 0.21a	7.60 ± 0.19ab	
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	5.65 ± 0.13b	3.00 ± 0.21a	8.07 ± 0.15a	
四叶期 Four-leaf stage	对照(CK) Control	8.82 ± 0.20a	2.60 ± 0.22b	9.31 ± 0.33a	
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	8.01 ± 0.17b	2.83 ± 0.17ab	9.59 ± 0.24a	
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	7.46 ± 0.28b	3.25 ± 0.13a	10.13 ± 0.28a	
五叶期 Five-leaf stage	对照(CK) Control	11.21 ± 0.27a	3.36 ± 0.15b	12.29 ± 0.33b	
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	10.92 ± 0.18ab	3.60 ± 0.16ab	13.47 ± 0.40ab	
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	10.28 ± 0.22b	4.00 ± 0.17a	14.03 ± 0.47a	
六叶期 Six-leaf stage	对照(CK) Control	13.90 ± 0.41a	3.90 ± 0.23b	15.13 ± 0.32b	
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	13.05 ± 0.31ab	4.09 ± 0.21b	15.73 ± 0.22ab	
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	12.35 ± 0.31b	4.70 ± 0.15a	16.26 ± 0.29a	√
七叶期 Seven-leaf stage	对照(CK) Control	19.71 ± 0.39a	4.25 ± 0.16b	21.66 ± 0.32b	
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	18.75 ± 0.30ab	4.83 ± 0.31ab	22.27 ± 0.33b	√
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	17.95 ± 0.31b	5.25 ± 0.16a	23.76 ± 0.23a	
八叶期 Eight-leaf stage	对照(CK) Control	22.05 ± 0.38a	4.75 ± 0.16b	26.72 ± 0.33b	√
	赤霉素(GA ₃) Gibberellins	21.08 ± 0.36ab	5.13 ± 0.23ab	27.38 ± 0.32ab	
	细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	20.59 ± 0.41b	5.63 ± 0.18a	28.14 ± 0.38a	

同列不同小写字母表示相同发育阶段不同处理间差异显著($P < 0.05$)。√: 突出母径。

Different lowercase letters within the same column of same stage indicate significant differences between the treatments at the 0.05 level. √: Protruding mother diameter.

着叶片数的增加而增加平均数为 3.36~4.75。对狗牙根株高、根长与分蘖数进行对比, 结果显示根长、株高均随着狗牙根的生长发育而增长, 同时分蘖数随着叶片数的增加与根长、株高正相关。

激素处理对狗牙根的生长发育影响如下, GA₃ 和 6-BA 处理下与 CK 相比狗牙根株高高度减少, 分蘖数目和根长长度均增加。通过分析对比, 喷施 6-BA 六叶期形成新的分蘖芽突出母茎, 分蘖数与根长分别是 GA₃ 处理的 1.15 倍、1.03 倍, 是 CK 的 1.20 倍、1.07 倍, 与 CK 相比株高降低 11.15%; 而喷施 GA₃ 七叶期形成新的分蘖芽突出母茎, 分蘖数与根长分别是 CK 的 1.14 倍、1.03 倍, 与 CK 相比株高降低 4.87%。

综上所述, 两种激素在分蘖初期对狗牙根的分蘖芽发育均具有促进作用, 通过切片对比分析, GA₃

处理后分蘖芽提前 5 d 在七叶期形成, 6-BA 处理后分蘖芽提前 8 d 在六叶期形成, 通过表型对比, GA₃ 和 6-BA 处理后狗牙根分蘖数和根长均增加, 但株高减少, GA₃ 和 6-BA 处理后待狗牙根生长至八叶期时分蘖数分别 CK 的 1.08 倍、1.18 倍。由此可以看出喷施 6-BA 分蘖数增加最多, 效果优于喷施 GA₃。

2.4 外源激素对狗牙根基部结构影响

2.4.1 狗牙根基部解剖结构

狗牙根基部横切面结构由维管束、机械组织、表皮(图 4)组成。维管束位于纤维带和茎皮层中, 主要有韧皮部和木质部; 基本组织中皮层由多层薄壁细胞组成; 表皮是最外面的一层细胞, 主要有保护作用, 且细胞与细胞之间排列紧密。

2.4.2 不同激素处理下解剖结构特征比较

通过对狗牙根进行组织切片观察, 发现狗牙根

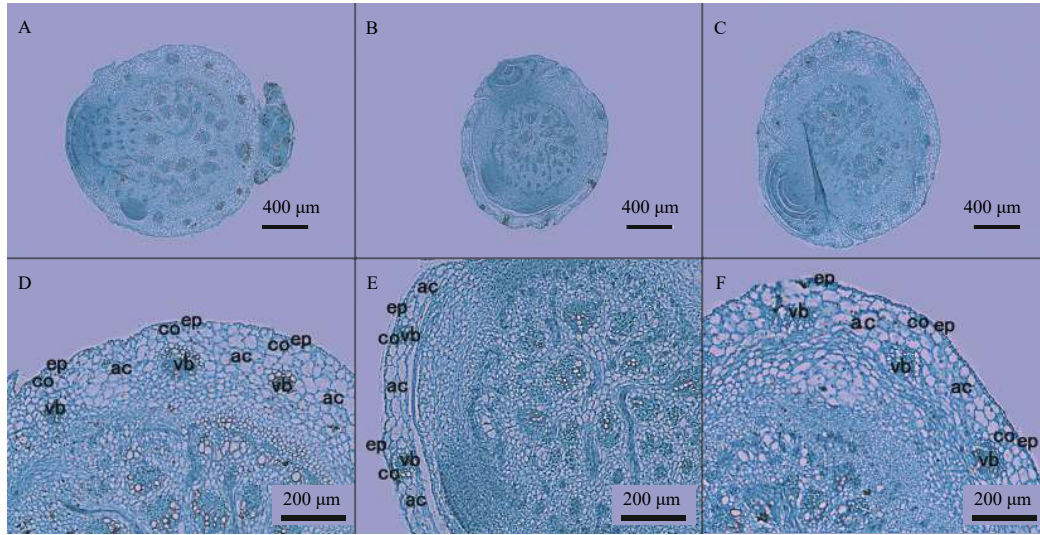


图 4 激素处理狗牙根茎基部组织解剖结构

Figure 4 Anatomical structure of the hormone-treated *Cynodon dactylon* stem base tissue

A、D: 细胞分裂素 (6-BA) 处理分蘖形成六叶期; B、E: CK 分蘖形成八叶期; C、F: 赤霉素 (GA₃) 处理分蘖形成七叶期。ep: 表皮; co: 皮层; vb: 维管束; ac: 气腔。

A, D: cytokinin (6-BA) treated tiller forming the six-leaf stage; B, E: CK tiller forming the eight-leaf stage; C, F: gibberellin (GA₃) treated tillers forming the seven-leaf stage; ep: epidermis; co: cortex; vb: vascular bundle; ac: aerial cavity.

八叶期形成分蘖芽突出母茎, 经过 GA₃ 和 6-BA 处理后, 狗牙根分蘖芽形成的时期分别为七叶期和六叶期, 对不同激素处理后分蘖芽形成的叶期进行解剖结构对比。

狗牙根的皮层位于茎基部最外层 (图 4), 表皮组织细胞呈砖型, 细胞之间无间隙, 不同激素处理下表皮中细胞较小; 尤其是 6-BA 处理下, 细胞组织排列紧密无间隙, 对组织具有保护作用, 表现出耐磨性和践踏性增强; 通过对比: 6-BA 处理表皮细胞厚度 > GA₃ 处理表皮细胞厚度 > CK 表皮细胞厚度 (表 2)。

皮层是介于表皮与维管束之间的薄壁组织, 观察发现两种激素处理后薄壁细胞多于 CK, 薄壁细

胞增多说明贮水细胞在体内丰富, 通过测量对比发现两种激素处理后皮层厚度均高于 CK。维管束分布在靠近表层的机械组织中, GA₃ 和 6-BA 处理后与 CK 相比维管束直径增大表明植物体内传输能力强, 有利于增强其草坪草的抗性。两种激素处理气腔数量增多呈椭圆状排列紧密, 形成比较好的通气组织。而 CK 气腔呈长椭圆状, 明显大于激素处理。

综上所述, 对不同激素处理后分蘖芽形成时期进行解剖结构对比, 发现喷施两种激素表皮细胞厚度、维束管直径、皮层细胞厚度均提高, 通过分析对比 (表 2) 6-BA 处理下表皮细胞厚度、维束管直径、皮层细胞厚是 GA₃ 处理的 1.28 倍、2.33 倍、1.34 倍, 说明在狗牙根分蘖初期喷施 6-BA 促进分蘖芽发育

表 2 不同激素处理对狗牙根茎基部解剖结构的影响比较

Table 2 Comparison of the effects of different hormone treatments on the anatomical structure of the basal part of the stem of *Cynodon dactylon*

处理 Treatment	表皮细胞厚度 Epidermis cell thickness/ μm	皮层细胞厚度 Cortex cell thickness/ μm	维束管直径 Vascular bundle diameter/ μm
对照(CK) Control	5.50 \pm 0.29c	21.73 \pm 1.76c	48.95 \pm 3.26b
赤霉素(GA ₃) Gibberellins	6.57 \pm 0.33b	27.84 \pm 1.65b	53.38 \pm 4.20b
细胞分裂素(6-BA) Cytokinin	8.40 \pm 0.26a	37.33 \pm 1.71a	124.48 \pm 3.41a

同列不同小写字母分别表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between the treatments at the 0.05 level.

且效果优于喷施 GA₃。

3 讨论与结论

3.1 外源激素对狗牙根分蘖芽形成的影响

高等植物的整个生长发育阶段主要在分生组织中不断裂、不断分化。如植物的茎、叶和花等器官主要是由茎端分生组织分化而成^[25-27]。地面下部以及靠近地面的部分的根状茎节上会产生腋芽,腋芽随着植物的生长会形成不定根的分枝,在禾本科草中,根据在茎节生长发育的位置,腋芽形成侧芽,侧芽是在茎基部产生的新分枝^[28]。蒋彭炎等^[29]对水稻研究发现,形成分蘖原基后要经历 3~4 个叶期才能形成分蘖芽,水稻从四叶期开始伸长,随着水稻不断的生长直至突出主茎成为分蘖,形态外观上,水稻分蘖数呈 N-3 同伸原则(N 代表叶片数)。王如芳等^[30]对玉米 (*Zea mays*) 进行研究,同样发现多分蘖品种玉米各级分蘖数与叶龄之间也呈现出 N-3 同伸原则,说明禾本科植物水稻与玉米分蘖芽形成遵循同一个同伸原则。本研究发现,狗牙根在三叶期形成分蘖原基,四叶期开始伸长,不断的生长发育分化成分蘖芽,本研究与上述研究结果相一致,说明狗牙根分蘖芽形成过程同样遵循 N-3 同伸原则。

植物激素细胞分裂素可以调控植物分蘖,能够解除顶端优势对侧芽的抑制作用从而促进侧芽的生长^[31]。本研究通过组织切片,研究发现对狗牙根喷施 6-BA 分蘖芽在六叶期形成,本研究与上述研究结果一样,说明细胞分裂素可以促进狗牙根分蘖芽生长。赤霉素在大多数研究中是抑制侧芽生长,如水稻、高粱 (*Sorghum bicolor*)、小麦等农作物^[32],但在柑橘 (*Citrus reticulata*)、金鱼草 (*Antirrhinum majus*)、小桐子 (*Jatropha curcas*) 以及甜樱桃树

(*Cerasus avium*) 越冬芽的应用中,发现喷施赤霉素可以有效地促进侧芽的生长^[33-34]。本研究中对狗牙根分蘖初期喷施 GA₃,发现分蘖芽提前在七叶期形成,本研究结果与上述研究结果一致,说明 GA₃ 对狗牙根分蘖芽生长具有促进作用。

3.2 外源激素对狗牙根基部解剖结构的影响

草坪草的耐践踏性和弹性与植物体内机械组织的分布以及表皮厚度、细胞的发达程度等特征有着密切的联系。对草坪草进行喷施激素,研究发现皮层厚度发生明显变化,结果表明适宜浓度的激素能增加皮层厚度,增强草坪草的耐践踏性和耐磨性,而喷施高浓度激素表皮厚度变薄,抑制草坪草正常生长^[35]。在本研究中,狗牙根喷施 GA₃ 和 6-BA,通过对分蘖芽形成时期基部解剖结构分析,发现两种激素处理能明显增加狗牙根基部表皮层厚度,对组织具有保护作用,本研究结果与上述研究结果一样,说明 1 μmol·L⁻¹ GA₃ 和 6-BA 可以提高狗牙根分蘖初期的皮层厚度,增强草坪草的耐践踏性和耐磨性。

综上所述,狗牙根在三叶期形成分蘖原基,并在八叶期形成分蘖芽突出母茎,而对狗牙根进行 1 μmol·L⁻¹ GA₃ 和 6-BA 处理后,发现喷施 GA₃ 分蘖芽提前 5 d 在七叶期形成,喷施 6-BA 分蘖芽提前 8 d 在六叶期形成,还发现喷施两种激素狗牙根株高减少,分蘖数和根长增加,6-BA 处理后待狗牙根生长至八叶期时分蘖数增加最多分别是 CK 和 GA₃ 处理的 1.18 倍、1.10 倍。同时,对两种激素处理后分蘖芽形成的叶期进行解剖结构对比,发现无论在表皮厚度,皮层厚度,还是维管束直径,均呈现出 6-BA 处理 > GA₃ 处理 > CK,通过分析对比,6-BA 处理下是 GA₃ 处理的 1.28 倍、2.33 倍、1.34 倍。由此可见,在狗牙根分蘖初期喷施 6-BA 促进分蘖芽发育且效果优于喷施 GA₃。

参考文献 References:

- [1] 杜黎明,毛传澡,毛伟海. 植物茎分枝的分子调控. 中国生物化学与分子生物学报, 2008, 24(2): 120-126.
DU L M, MAO C Z, MAO W H. Molecular mechanism of shoot branching in plants. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2008, 24(2): 120-126.
- [2] SCHMITZ G, THERES K. Shoot and inflorescence branching. *Current Opinion in Plant Biology*, 2005, 8(5): 506-511.
- [3] JIAN L C, LI J H, LI P H. Seasonal alteration in amount of Ca²⁺ in apical bud cells of mulberry (*Morus bombycis* Koidz): An electron microscopy-cytochemical study. *Tree Physiology*, 2000, 20(9): 623-628.

- [4] DOUST A N, KELLOGG E A. Effect of genotype and environment on branching in weedy green millet (*Setaria viridis*) and domesticated foxtail millet (*Setaria italica*) (Poaceae). *Molecular Ecology*, 2006, 15(5): 1335-1349.
- [5] 刘文辉, 周青平, 颜红波. 根茎型禾草繁殖途径的研究进展. *青海畜牧兽医杂志*, 2007, 37(2): 46-49.
LIU W H, ZHOU Q P, YAN H B. Advances in the reproductive pathways of rhizomatous grasses. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2007, 37(2): 46-49.
- [6] LI C. Toward understanding the stem-cell origin and molecular regulation of rice tillering. *Journal of Genetics and Genomic*, 2015, 42(2): 47-48.
- [7] ABICHOU M, FOURNIER C, DORNBUSCH T, CHANBON C, SOLAN B, GOUACHE D, ANDRIEU B. Parameterising wheat leaf and tiller dynamics for faithful reconstruction of wheat plants by structural plant models. *Field Crops Research*, 2018, 218: 213-230.
- [8] CLERGET B, BUENO C, DOMINGO A J, LAYAOEN H L, VIAL L. Leaf emergence, tillering, plant growth, and yield in response to plant density in a high-yielding aerobic rice crop. *Field Crops Research*, 2016, 199: 52-64.
- [9] SADRAS V O, SLAFER G A. Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research*, 2012, 127: 215-224.
- [10] 李家洋. 水稻分蘖数目与分蘖角度的分子机理. *中国基础科学*, 2008, 10(3): 14-15.
LI J Y. Molecular mechanism of tiller number and tiller angle in rice. *China Basic Science*, 2008, 10(3): 14-15.
- [11] KEBROM T H, RICHARDS R A. Physiological perspectives of reduced tillering and stunting in the tiller inhibition (*tin*) mutant of wheat. *Functional Plant Biology*, 2013, 40(10): 977-985.
- [12] DHONUKSHE P, TANAKA H, GOH T, EBINE K, MAHONEN A P, PRASAD K, BLILOU I, GELDNER N, XU J, UEMURA T, CH-ORY J, UEDA T, NAKANO A, SCHERES B, FRIML J. Retraction note: Generation of cell polarity in plants links endocytosis, auxin distribution and cell fate decisions. *Nature*, 2014, 511(7509): 370.
- [13] LEOPOLD A C. The control of tillering in grasses by auxin. *American Journal of Botany*, 1949, 36(6): 437-440.
- [14] KARIALI E, MOHAPATRA P K. Hormonal regulation of tiller dynamics in differentially-tillering rice cultivars. *Plant Growth Regulation*, 2007, 53(3): 215-223.
- [15] SOUZA B M, KRAUS J E, ENDRES L, MERCIER H. Relationships between endogenous hormonal levels and axillary bud development of *Ananas comosus* nodal segments. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2003, 41(8): 733-739.
- [16] TANAKA M, TAKEI K, KOJIMA M, SAKAKIBARA H, MORI H. Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. *The Plant Journal*, 2006, 45(6): 1028-1036.
- [17] WANG G, ROMHELD V, LI C, BANGERTH F. Involvement of auxin and CTKs in boron deficiency induced changes in apical dominance of pea plants (*Pisum sativum* L.). *Journal of Plant Physiology*, 2006, 163(6): 591-600.
- [18] 刘杨, 王强盛, 丁艳锋, 刘正辉, 李刚华, 王绍华. 水稻休眠分蘖芽萌发过程中内源激素水平的变化. *作物学报*, 2009, 35(2): 356-362.
LIU Y, WANG Q S, DING Y F, LIU Z H, LI G H, WANG S H. Endogenous phytohormone changes in the release of dormant tillering bud in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(2): 356-362.
- [19] SAKAMOTO T, MIURA K, ITOH H, TATSUMI TOMOKO, UEGUCHI-TANAKA M, ISHIYAMA K, KOBAYASHI M, AGRAWAL G K, TAKEDA S, ABE K, MIYAO A, HIROCHIKA H, KITANO H, ASHIKARI M, MATSUOKA M. An overview of gibberellin metabolism enzyme genes and their related mutants in rice. *Plant Physiology*, 2004, 134(4): 1642-1653.
- [20] 邹峻竹, 韩蕾, 李德颖, 孙振元. 赤霉素和生长素浸种对野牛草种子萌发及幼苗生长生理的影响. *草业科学*, 2017, 34(9): 1838-1846.
ZOU J Z, HAN L, LI D Y, SUN Z Y. Seed soaking in exogenous gibberellin and auxin and their impact on seed germination and seedling physiology of *Buchloe dactyloides* (Nut.) Engelm. *Pratacultural Science*, 2017, 34(9): 1838-1846.
- [21] YAMAGUCHI S, KAMIYA Y. Gibberellin biosynthesis: its regulation by endogenous and environmental signals. *Plant and Cell Physiology*, 2000, 41(3): 251-257.
- [22] 蔡铁, 徐海成, 尹燕桦, 杨卫兵, 彭佃亮, 倪英丽, 徐彩龙, 杨东清, 王振林. 外源IAA、GA₃和ABA影响不同穗型小麦分蘖发生的机制. *作物学报*, 2013, 39(10): 1835-1842.

- CAI T, XU H C, YIN Y P, YANG W B, PENG D L, NI Y L, XU C L, YANG D Q, WANG Z L. Mechanisms of tiller occurrence affected by exogenous IAA, GA₃, and ABA in wheat with different spike-types. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(10): 1835-1842.
- [23] DOUST A N, KELLOGG E A. Effect of genotype and environment on branching in weedy green millet (*Setaria viridis*) and domesticated foxtail millet (*Setaria italica*) (Poaceae). *Molecular Ecology*, 2010, 15(5): 1335-1349.
- [24] 路思谦, 高虹. 洋葱根尖细胞有丝分裂石蜡切片标本制作方法的改进. *济宁医学院学报*, 1990, 13(3): 67.
- LU S Q, GAO H. Improvement of the method for making mitotic paraffin section specimens of onion root tip cells. *Journal of Jining Medical University*, 1990, 13(3): 67.
- [25] STAHL Y, SIMON R. Plant stem cell niches. *International Journal of Developmental Biology*, 2004, 49(5/6): 479-489.
- [26] BARTON M K. Twenty years on: the inner workings of the shoot apical meristem, a developmental dynamo. *Developmental Biology*, 2010, 341(1): 95-113.
- [27] BESNARD F, VERNOUX T, HAMANT O. Organogenesis from stem cells *in planta*: Multiple feedback loops integrating molecular and mechanical signals. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2011, 68(17): 2885-2906.
- [28] FU C, SUNKAR R, ZHOU C, SHEN H, ZHANG J Y, MATTS J, WOLF J, MANN D J, JR C N, TANG Y, WANG Z Y. Overexpression of miR156 in switchgrass (*Panicum virgatum* L.) results in various morphological alterations and leads to improved biomass production. *Plant Biotechnology Journal*, 2012, 10(4): 443-452.
- [29] 蒋彭炎, 马跃芳, 洪晓富, 冯来定, 史济林, 顾宏辉. 水稻分蘖芽的环境敏感期研究. *作物学报*, 1994, 20(3): 290-296.
- JIANG P Y, MA Y F, HONG X F, FENG L D, SHI J L, GU H H. Studies on the sensitive stage to environment during differentiation and development of tiller buds in rice plant. *Acta Agronomica Sinica*, 1994, 20(3): 290-296.
- [30] 王如芳, 张吉旺, 吕鹏, 董树亭, 刘鹏, 赵斌. 不同类型玉米品种分蘖发生过程中内源激素的作用. *中国农业科学*, 2012, 45(5): 840-847.
- WANG R F, ZHANG J F, LYU P, DONG S T, LIU P, ZHAO B. Effects of endogenous hormones on tiller development process of different maize varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(5): 840-847.
- [31] LANGER R H M, PRASAD P C, LAUDE H M. Effects of kinetin on tiller bud elongation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany*, 1973, 37(3): 565-571.
- [32] 孙兵, 钱晓刚, 苏昌龙, 谭春燕, 孙芳. 超高产栽培中水稻无效分蘖的化学控制技术的研究. *耕作与栽培*, 2010, 29(1): 4-5.
- SUN B, QIAN X G, SU C L, TAN C Y, SUN F. Study on chemical control technology of ineffective tiller of rice in super high-yield cultivation. *Tillage and Cultivation*, 2010, 29(1): 4-5.
- [33] MARTH P C, MITCHELL A. Effects of gibberellic acid on growth and development of plants of various genera and species. *Botanical Gazette*, 1956, 118(2): 106-111.
- [34] NI J, GAO C, CHEN M S, PAN B Z, YE K, XU Z F. Gibberellin promotes shoot branching in the perennial woody plant *Jatropha curcas*. *Plant and Cell Physiology*, 2015, 56(8): 1655-1666.
- [35] 王艳, 张绵. 结缕草和早熟禾解剖结构与其抗旱性、耐践踏性和弹性的对比研究. *辽宁大学学报(自然科学版)*, 2000, 27(4): 372-375.
- WANG Y, ZHANG M. Comparison study of anatomy structure of *Zoysia japonica* and *Poa pratensis* related with characteristics of drought and tramp resistance and elasticity. *Journal of Liaoning University (Natural Science Edition)*, 2000, 27(4): 372-375.

(责任编辑 苟燕妮)