

王 勋,张 颖. 水培条件下渗透胁迫和磷对草地早熟禾磷吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(2):86-91.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.02.016

# 水培条件下渗透胁迫和磷对草地早熟禾磷吸收的影响

王 勋,张 颖

(苏州农业职业技术学院,江苏苏州 215008)

**摘要:**在温室水培条件下,研究渗透胁迫和磷对草地早熟禾磷吸收的影响。结果表明,随着外源磷施入量的加大,地上部磷含量、地上部磷吸收量、根系磷含量、根系磷吸收量、地上部磷吸收所占比例均增加。渗透胁迫使同等磷处理地上部磷含量和处理中期根系磷含量增加,地上部磷吸收量和地上部磷吸收所占比例下降,对根系磷吸收量影响不明显。

**关键词:**草地早熟禾;渗透胁迫;磷;吸收

**中图分类号:**S688.401

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2021)02-0086-06

随着我国城市化水平的提高以及市民对优质生活环境的需求,草坪建植面积越来越大,而作为我国北方地区的当家冷季型草坪草种,草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)在北方城市中得到了大面积的推广与应用<sup>[1]</sup>。在我国西北地区,存在着水资源严重缺乏的问题,在这些地区大面积种植和养护草坪,由于气候干旱和蒸发量大等影响,导致草坪耗水量大,严重影响了草坪在我国西北地区的推广和应用。除了高羊茅属于深根性草坪草外,绝大部分草坪草的根系相对较浅,主要分布于 20~30 cm 的土层内。因此,即使是在不缺水的南方地区,草坪质量的维持和草坪功能的实现仍需要人工定期灌溉。

磷作为草坪植物必需的主要营养元素之一,由于土壤对磷的吸附和固定,导致土壤中磷的有效性非常低,施入土壤中的磷,当季有超过 80% 以上被土壤固定无法被植物吸收利用<sup>[2]</sup>,这不仅浪费了巨大的磷肥资源,而且这些不能被植物吸收利用的磷,易通过土壤侵蚀、径流等途径进入地下水或地表水流,导致水体富营养化<sup>[3-4]</sup>。土壤中磷的缺乏会导致草坪植物萎蔫、叶片发紫、草坪生长变慢和草坪返青推迟等问题,同时会造成草坪植物对不良环境的抵抗能力下降。在沙质土壤上建植草坪,更容易出现缺磷现象<sup>[5]</sup>。施用磷会促进草坪植物根系的生长<sup>[6-7]</sup>,并对不同土层中根系的分布起着显

著影响<sup>[8]</sup>。

作为草坪建植和养护管理中的重要工作,草坪施肥和浇水对草坪草生长、草坪质量、草坪功能体现以及城市生态环境质量等方面起着重要作用。已有的研究表明,施肥可以改善植物的水分利用率,提高植物抗旱性<sup>[9]</sup>,并可维持或提高草坪质量,使草坪功能得以实现。但在草坪实际实践中,过量施肥是非常普遍的,多余的养分会通过迁移或淋失,造成土壤或水体的污染。另外,水分会影响植物对养分的吸收、转移和分配<sup>[10-11]</sup>。因此,在草坪养护管理中,改善草坪草的水肥利用率,是节水、节肥和减免环境污染的重要措施。改善草坪草对环境的适应性,降低水肥消耗与投入量,而又不弱化草坪群体的长相长势,是当今草坪养护技术的新方向。本研究将水肥相结合,研究水分胁迫和磷对草地早熟禾养分吸收的影响,可为我国西北地区草坪水肥管理提供一定的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

草坪草种为干旱或半干旱地区常用的草地早熟禾中的 2 个品种:抗旱品种午夜(Midnight)和不抗旱品种辉煌(Brilliant)<sup>[12]</sup>。

### 1.2 试验方法

试验于 2016 年 10 月 16 日在苏州农业职业技术学院相城生态园校区实施,在温室内采取水培的方式进行,于 12 月 8 日开始取样。将厚度为 3 cm 的聚氯乙烯(PVC)板制作成直径为 32 cm 的圆形

收稿日期:2020-05-22

作者简介:王 勋(1969—),男,湖北襄阳人,硕士,副教授,主要从事草坪管理教学及科研工作。E-mail:314771410@qq.com。

板,在圆形板上挖出 8 个分布均匀且直径分别为 10 cm 的半圆,同时,在圆形板圆心处挖 1 个直径为 0.5 cm 的圆孔(通气管进出处),然后用胶水将 20 目的尼龙网粘贴在圆形板的底部(主要为了使根系能通过尼龙网并能固定草坪草植株)。在温室内的铁架床上铺上塑料薄膜,将经过水洗的河沙铺在塑料薄膜上,厚度达到 5 cm,然后将 PVC 圆形板压紧在已经铺平的河沙上。取 Midnight(抗旱品种)和 Brilliant(不抗旱品种)种子(种子发芽率分别为 93%、91%)各 100 粒,于 10 月 16 日尽可能均匀地播种于 PVC 圆形板内的栽培槽中,每个半圆形栽培槽播种 1 个品种,1 个栽培圆形板总共播种 Midnight 和 Brilliant 种子各 400 粒。种子播上后,再在种子上面覆盖 1 层河沙,厚度在 0.3 cm 左右,然后浇灌水使沙子全部湿润。以后的水分管理是每天用去离子水对栽培槽进行喷雾(4 次/d),保持栽培槽内的沙子处于湿润状态。10 月 23 日始见出苗,10 月 27 日后基本完成出苗。

当种子全部发芽后,每天对草地早熟禾幼苗进行喷雾灌溉(4 次/d)(种子发芽前亦采取同样处理),并从 08:00—20:00 将温室内的温度控制在  $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,从 20:00 至次日 08:00 将温室内的温度控制在  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,并且每天人工加光 3 h(17:00—20:00)(后面的温室管理均按此进行)。当草地早熟禾的幼苗长到 11 月 5 日时,先将槽中沙子用自来水浸湿,然后将有幼苗植株的 PVC 圆形板轻轻拿起,一边拿起 PVC 圆形板,一边用自来水对沙子进行冲洗,尽量不伤到植株幼苗的根系。当将圆形板完全拿起后,将圆形板放到自来水中,小心将草坪草根系上的沙子冲洗干净,然后将其放入装有 20 L 0.25 倍的 Hoagland 营养液的塑料桶[圆形塑料桶的直径(外径)与圆形板的一致]中进行培养。同时,在长有草坪草植株的纱网上均匀地撒上已经洗净的粗蛭石,以遮盖住草地早熟禾幼苗的根系。然后将硅胶管插入圆形板圆心孔内,并将硅胶管插入营养液中,硅胶管的另一端与通气泵进行联接,通过通气泵向营养液内不间断地供气。培养 14 d 后,将桶内的营养液更换成 0.5 倍的 Hoagland 营养液,再培养 14 d 后,将桶内的营养液换成 1 倍的 Hoagland 营养液。在整个培养期间,营养液中的磷由  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  配制,磷浓度配制成  $10\ \mu\text{mol/L}$ (因为在全球土壤中,土壤溶液中磷的浓度约为  $10\ \mu\text{mol/L}$ ),多出来的  $\text{K}^+$  由  $\text{KCl}$  进行补充。

草地早熟禾植株在 1 倍 Hoagland 营养液中培养 14 d 后,开始进行水分胁迫和磷处理。水分处理分为无胁迫处理(记为  $\text{S}_0$ )和  $-0.3\ \text{MPa}$  PEG-6000 水分胁迫(记为  $\text{S}_1$ )。无水分胁迫处理时,用去离子水配制 1 倍 Hoagland 无磷营养液,再加入用去离子水配制的磷溶液(用  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  配制),使磷浓度分别为  $10\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $0.31\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_1$  表示)、 $100\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $3.1\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_2$  表示)和  $200\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $6.2\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_3$  表示)。因为配制不同浓度的磷而带入到营养液中的  $\text{K}^+$  则由  $\text{KCl}$  进行补充,从而使不同处理营养液中的  $\text{K}^+$  浓度保持一致。 $-0.3\ \text{MPa}$  水分胁迫处理时,先用 PEG-6000 配制  $-0.3\ \text{MPa}$  的溶液,然后再用其配制 1 倍 Hoagland 无磷营养液,再加入用  $-0.3\ \text{MPa}$  PEG-6000 配制的磷溶液(用  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  配制),使磷浓度分别为  $10\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $0.31\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_1$  表示)、 $100\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $3.1\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_2$  表示)和  $200\ \mu\text{mol/L}$ (相当于  $6.2\ \text{mg/L P}$ ,以  $\text{P}_3$  表示),因为配制不同浓度的磷而带入到营养液中的  $\text{K}^+$  则由  $\text{KCl}$  进行补充,从而使不同处理营养液中的  $\text{K}^+$  浓度保持一致。将配制好的营养液加入 20 L 的桶中,将 PVC 板放在桶上,进行培养。处理 4 d 后开始取样,以后每间隔 4 d 取 1 次样,在第 2 次取样后,要更换营养液,总共取 4 次样。每个处理有 4 个重复(每桶包括 4 次重复),总共有 24 桶。

取样时先用剪刀沿着根部将地上部植株剪断,立即称质量测定其鲜质量。将测完鲜质量的地上部茎叶在  $105^\circ\text{C}$  的温度条件下烘干 30 min 后,再在  $80^\circ\text{C}$  条件下烘干 48 h,放置室温后称量其干质量。植株地上茎、叶部分处理完后,将各处理的根系分别取出,用去离子水漂洗 5 次,用吸水纸将根系外表的水分尽量吸干,对根系进行称量测定其鲜质量。将测完鲜质量的根系在  $105^\circ\text{C}$  温度条件下烘干 30 min 后,再在  $80^\circ\text{C}$  条件下烘干 48 h,放置室温后称质量测定其干质量。将烘干后的地上部和地下部样品磨成粉末状,分别称取  $0.1000\ \text{g}$  磨碎样品,放入消化管中,加入 3 mL 浓硝酸,过夜,然后放在红外消煮炉上进行消化,消化液冷却后,将消化后的液体定容到 50 mL,用电感耦合等离子体光谱仪(ICP)测定 P 的含量。

### 1.3 数据处理

使用 SAS 9.6 软件对所有测定数据进行方差分析等。

## 2 结果与分析

### 2.1 渗透胁迫和磷对草地早熟禾地上部磷含量的影响

由图 1 可以看出,2 个品种地上部磷含量均随着处理时间的延长呈显著下降趋势,经过 16 d 的处理,Midnight 品种 P1S0、P2S0、P3S0、P1S1、P2S1 和 P3S1 处理磷含量分别下降 39.78%、54.16%、60.39%、41.25%、51.57%、56.62%,Brilliant 品种分别下降 46.10%、57.61%、60.46%、42.65%、49.19%、52.58%。其中,P1S0 和 P1S1 在全部处理

过程中,磷含量的变化相对较小,且明显小于其他处理,两者之间磷含量在不同处理时期也均无明显差异。Midnight 品种 P2S0 和 P2S1 处理之间,除在第 2 次取样时的磷含量有明显差异外,其他取样期间磷含量均无明显差异;而 Brilliant 品种除了在第 1 次取样时无明显差异外,在随后的 3 次取样中,P2S0 处理磷含量明显低于 P2S1。在全部处理期间,2 个品种 P3S0 和 P3S1 处理的磷含量均明显高于其他处理,除了在第 1 次取样时的磷含量无明显差异外,其后 3 次取样均表现为 P3S1 明显高于 P3S0。

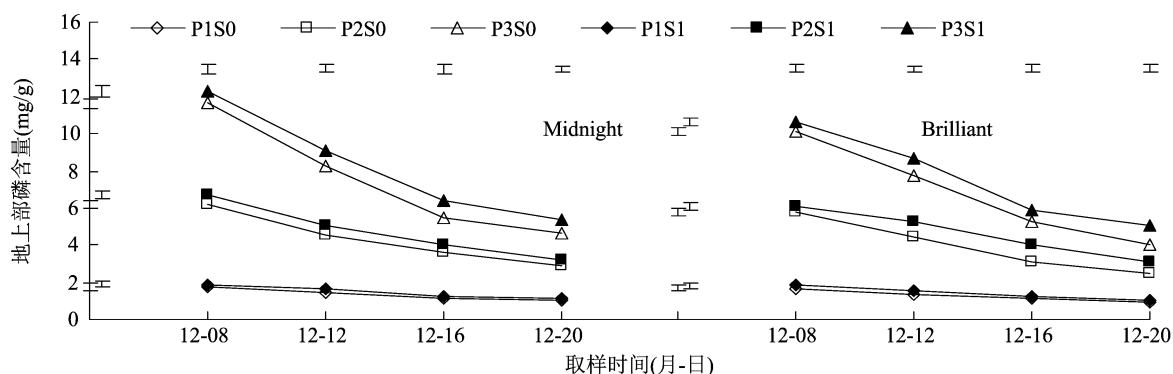


图1 渗透胁迫和磷对 Midnight 和 Brilliant 地上部磷含量的影响

### 2.2 渗透胁迫和磷对草地早熟禾根系磷含量的影响

由图 2 可以看出,随着处理时间延长,2 个品种不同处理根系磷含量均出现不同程度地下降。其中,P1S0、P1S1 2 个处理根系磷含量下降程度较小,Midnight 分别下降了 50.15%、26.94%,Brilliant 分别下降了 49.55%、13.86%;P2S0、P3S0、P2S1、P3S1 处理磷含量下降明显,Midnight 分别下降了 60.02%、64.10%、57.68%、66.46%,Brilliant 分别下降了 61.41%、66.81%、60.96%、59.20%。在第 1 次取样时,2 个品种 P1S1 和 P1S0、P2S0 和 P2S1、P3S0 和 P3S1 之间并差异不明显,但在第 2、3 次取样时,均表现为水分胁迫条件下的根系磷含量明显高于无水分胁迫处理 (Brilliant 在第 3 次取样时,P2S1 与 P2S0 处理差异不明显),而在第 4 次取样时,P1S0 和 P1S1、P2S0 和 P2S1、P3S0 和 P3S1 处理之间根系磷含量均无明显差异 (Brilliant 在第 4 次取样时,P1S0 与 P1S1 处理根系磷含量差异明显)。另外,在同一水分处理条件下,不同磷浓度处理之间,根系磷含量均表现为  $P1 < P2 < P3$ 。

### 2.3 渗透胁迫和磷对草地早熟禾地上部磷吸收量的影响

由图 3 可以看出,随着处理时间延长,2 个品种不同处理的地上部磷吸收量均增加,其中,P1S1 和 P1S0 的磷吸收量变化较小,经过 16d 的处理,Midnight 磷吸收量分别增加了 53.87%、38.78%,Brilliant 分别增加了 66.66%、19.55%,且 2 个处理之间磷吸收量无明显差异。在 Midnight 品种中,在前 3 次取样时,P2S0 与 P2S1、P3S0 与 P3S1 处理之间,地上部磷吸收量并无明显差异,而在第 4 次取样时,与第 1 次取样时相比,分别上升了 139.53%、81.01%、134.20%、93.53%,且表现为  $P3S0 > P3S1 > P2S0 > P2S1$ 。在 Brilliant 品种中,P2S0 和 P2S1 在前 3 次取样时,磷吸收量无明显差异,但在第 4 次取样时,P2S1 磷吸收量明显低于 P2S0 处理,且 P2S0 磷吸收量的增加率 (159.91%) 明显高于 P2S1 (73.83%)。P3S0 和 P3S1 处理在第 1 次取样时两者之间差异并不显著,但在后面的处理过程中,P3S1 处理磷吸收量均明显低于 P3S0 处理,经过 16 d 处理后,P3S0 和 P3S1 处理磷吸收量分别增加了 131.00% 和 74.97%。另外,从图 3 也可看出,除

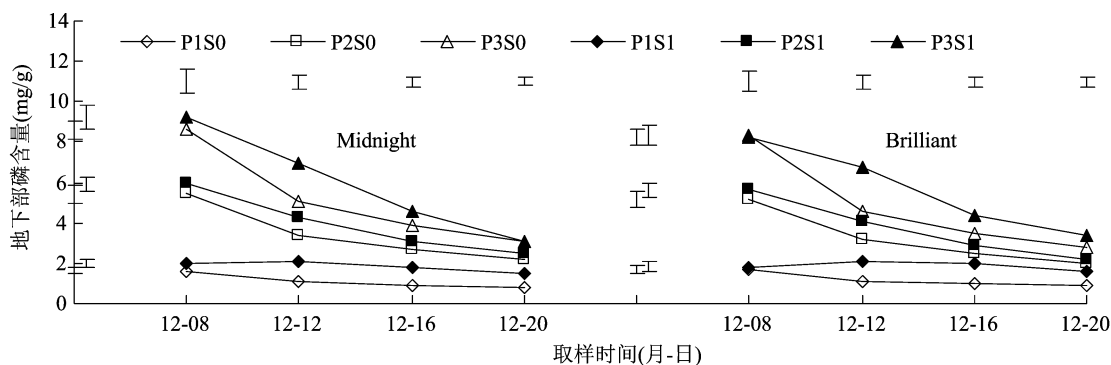


图2 渗透胁迫和磷对 Midnight 和 Brilliant 根系磷含量的影响

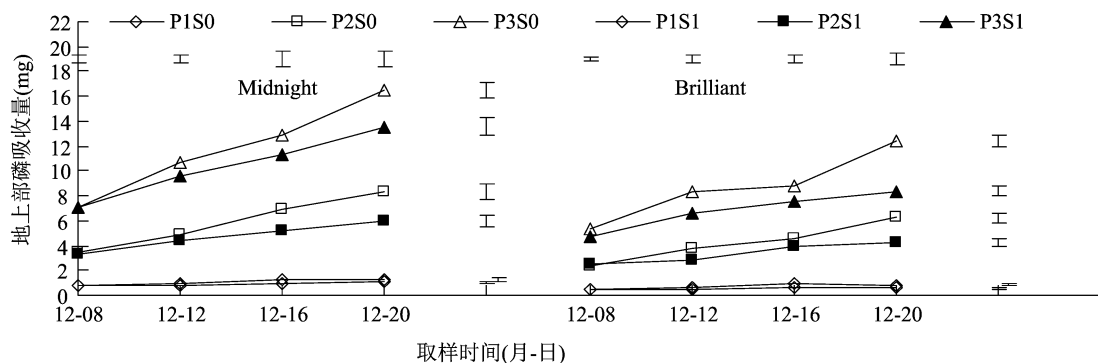


图3 渗透胁迫和磷对 Midnight 和 Brilliant 地上部磷吸收量的影响

了在低磷处理条件下差异不显著外,抗旱品种 Midnight 茎叶部分磷吸收量均高于相应的 Brilliant 品种。

#### 2.4 渗透胁迫和磷对草地早熟禾根系磷吸收量的影响

由图 4 可以看出,随着处理时间延长,2 个品种不同处理根系磷吸收量均有所增加,经过 16 d 的处理, Midnight 品种 P1S0、P1S1、P2S0、P2S1、P3S0 和

P3S1 处理根系磷吸收量分别增加了 31.87%、98.57%、82.97%、94.29%、69.39%、63.54%, Brilliant 分别增加了 78.85%、117.76%、73.14%、105.40%、42.82%、84.72%。在整个处理期间, P1S0 和 P1S1、P2S0 和 P2S1、P3S0 和 P3S1 之间,磷吸收量差异不明显,且在同一水分处理条件下,不同磷处理根系磷吸收量均表现为  $P1 < P2 < P3$ 。

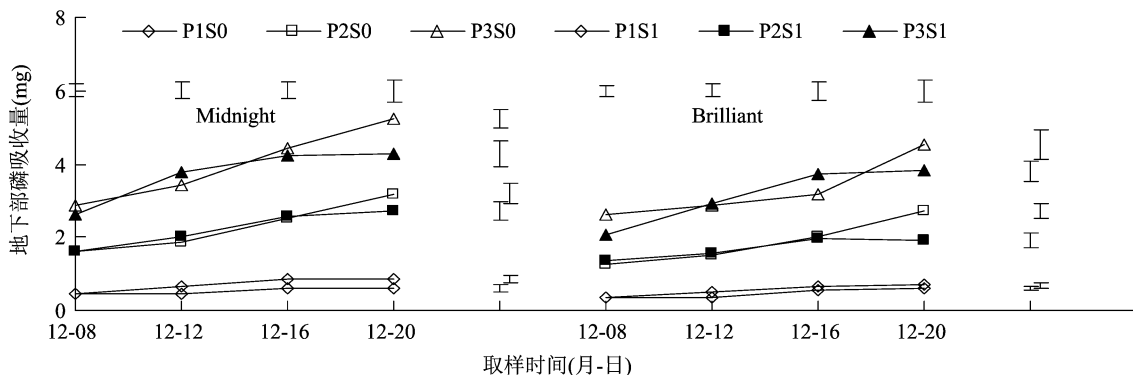


图4 渗透胁迫和磷对 Midnight 和 Brilliant 根系磷吸收量的影响

#### 2.5 渗透胁迫和磷对草地早熟禾磷分配的影响

由图 5、图 6 可以看出,在无渗透胁迫条件下,

随着增加磷的加入量,地上部磷所占比例增加,根系磷所占比例下降。而在水分胁迫条件下,地上部

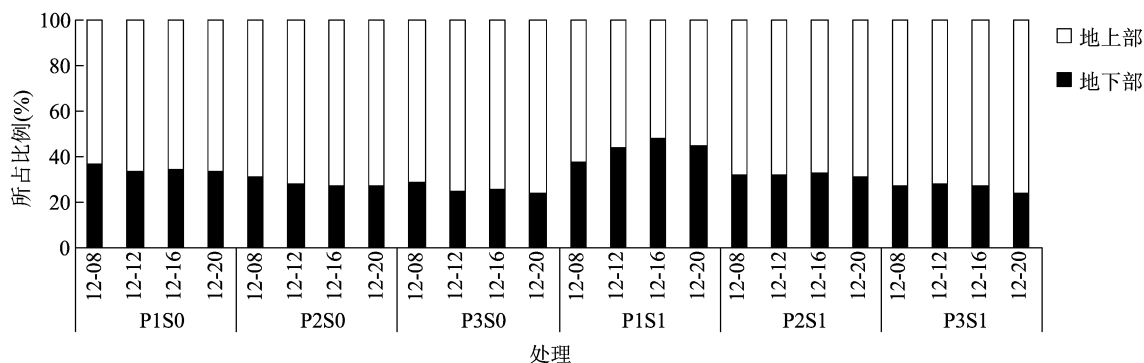


图5 渗透胁迫和磷对 Midnight 磷分配的影响

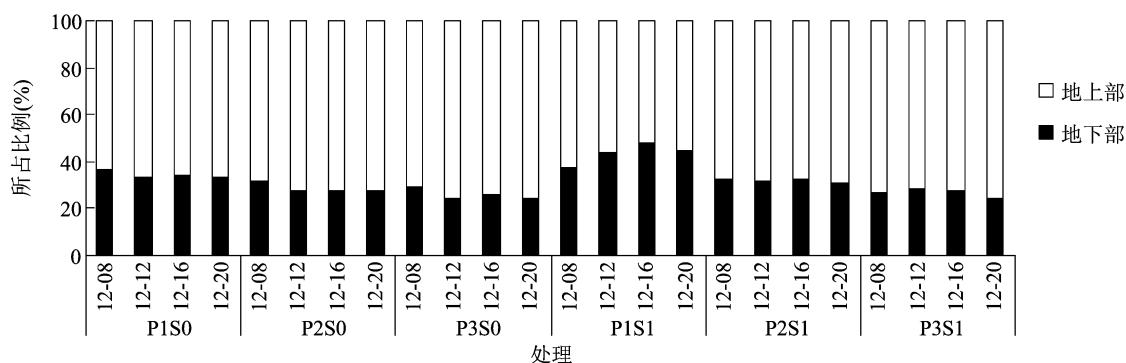


图6 渗透胁迫和磷对 Brilliant 磷分配的影响

含磷比例也随着加入磷的增加而增大,但在同一磷浓度处理条件下,渗透胁迫造成了地上部磷所占比例下降,而根系磷所占比例增加。

### 3 讨论与结论

施磷后,2 个品种地上部磷含量、地上部磷吸收量、根系磷含量以及根系磷吸收量均增加,这与草地早熟禾植株对营养液中的磷的吸收增加有关,这与前人在高羊茅、匍匐翦股颖中的研究结果<sup>[13-14]</sup>是一致的。前人的研究指出,水分胁迫使植物组织中的磷含量增加<sup>[15-17]</sup>。在本试验中,在低磷浓度下,渗透胁迫虽然造成植株地上部磷含量的增加,但与无水分胁迫相比差异不明显。但随着施用磷浓度升高,渗透胁迫对植株茎叶部分磷含量产生了较大的影响,在 100  $\mu\text{mol/L}$  条件下,水分胁迫对 Midnight 地上部磷含量的影响并不明显,但造成 Brilliant 地上部磷含量的明显上升,而在高磷 (200  $\mu\text{mol/L}$ ) 的条件下,渗透胁迫均造成 2 个品种茎叶部分磷含量明显增加。Sardans 等研究表明,水分胁迫造成圣栎 (*Quercus ilex*) 地上部叶片磷含量上升 18.2%<sup>[18]</sup>,而 PEG-8000 胁迫显著提高了凤仙

花属 Dazzler Pink 叶片中磷的含量<sup>[19]</sup>。Al-Karaki 等的研究表明,PEG-8000 模拟的水分胁迫造成菜豆地上部叶片磷含量升高<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,在相同处理条件下,Midnight 地上部磷含量比同期的 Brilliant 磷含量要高 (除第 2 次取样时的 P2S1 处理),说明抗旱品种在干旱条件下,地上部磷含量要高于不抗旱品种<sup>[20]</sup>。

王同朝等研究指出,在 15% PEG-4000 的溶液胁迫下,小麦根系中无机磷浓度随着胁迫时间的延长而呈倒“V”形变化,说明在渗透胁迫初期,根系中磷浓度有所升高,但随着胁迫时间的延长,根系中磷浓度下降,另外,随着渗透胁迫一定范围内的加强,根系中磷浓度升高,但当渗透溶液浓度达到 20% 时,根系中磷浓度下降<sup>[21-22]</sup>。在本试验中,处理中期渗透胁迫处理根系磷含量要高于无胁迫处理,但在处理后期相互之间无明显差异,说明长期渗透胁迫对根系吸磷具有抑制作用。由分析得出,在渗透胁迫条件下,抗旱品种 Midnight 地下部磷含量要明显高于无水分胁迫处理,而不抗旱品种 Brilliant 根系磷含量则与无水分胁迫相比总体上并无大的差异,说明水分胁迫对 Midnight 品种根系磷

含量的影响较大,而对 Brilliant 的影响则相对轻小,可能原因是抗旱品种在受到水分胁迫时,根系吸收较多的磷来促进根系的生长,从而促进其对水的吸收,而不抗旱品种则差异不大。Al - Karaki 等的研究表明,PEG - 8000 模拟的水分胁迫造成高粱根系中磷含量的升高<sup>[20]</sup>,并且耐旱品种含磷量要高于不耐旱品种。

在本试验中,外源磷的加入明显增加了植株对磷的吸收,并使植株在水分胁迫条件下获得更多的地上部和地下部的生长量,这对草坪植物在水分胁迫条件下草坪质量的保持和功能的发挥意义重大<sup>[23]</sup>。另外,在无水分胁迫条件下,磷主要向地上部积累,而在水分胁迫条件下,则磷主要向地下部积累,这与 Clarkson 等的研究结果<sup>[24]</sup>是一致的,特别是在低磷条件下,这一现象尤为明显。这也说明,在水分胁迫或低磷胁迫下,原植株体内的磷素可能被转运到根部,促进根部的生长,以扩大植株对外源磷的吸收利用<sup>[25]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 李晓光,张自和,刘艺杉. 30 个引种草坪草在北京地区的成坪质量评价与适应性研究[J]. 草业科学,2005,22(6):96-100.
- [2] 王庆仁,李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展[J]. 环境科学进展,1999(2):117-125.
- [3] Sui Y B, Thompson M L, Mize C W. Redistribution of biosolids - derived total phosphorus applied to a mollisol [J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28:1068-1074.
- [4] Sharpley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters [J]. Journal of Environmental Quality, 1994, 23(3):437-451.
- [5] Liu M, Sartain J B, Trenholm L E, et al. Phosphorus requirements of St. Augustine grass growth in sandy soils[J]. Crop Science, 2008, 48(3):1178-1186.
- [6] Watschke T L, Waddington D V, Wehner D J, et al. Effect of P, K, and lime on growth, composition and <sup>32</sup>P absorption by Merion Kentucky bluegrasses[J]. Journal of Agronomy, 1977, 69(5):825-828.
- [7] Recheigl J E. Response of ryegrass to limestone and phosphorus [J]. Journal of Production Agriculture, 1992, 5(4):602-607.
- [8] Lyons E M, Snyder R H, Lynch J P. Regulation of root distribution and depth by phosphorus localization in *Agrostis stolonifera* [J]. HortScience, 2008, 43(7):2203-2209.
- [9] 胡明芳,田长彦,马英杰. 不同水肥条件下棉花苗期的生长、养分吸收与水分利用状况[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3):35-37.
- [10] Huang B R. Water relation and root activities of *Buchloe dactyloides* and *Zoysia japonica* in response to localized soil drying [J]. Plant and Soil, 1999, 208(2):179-186.
- [11] Zeng Q P, Brown P H. Soil potassium mobility and uptake by corn under differential soil moisture regimes [J]. Plant and Soil, 2000, 221(2):121-134.
- [12] 李寿田,韩建国,毛培胜. 26 个草地早熟禾品种苗期抗旱性综合评价[J]. 草业科学, 2012, 29(7):1114-1119.
- [13] 鲁剑巍,邹娟,周世利,等. 施磷对越冬期高羊茅生长、养分吸收及抗寒性的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(5):436-441.
- [14] 金雄. 磷对冷季型草坪生长影响的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
- [15] Abdel Rahman A A, Shalaby A F, El Monayers M O. Effects of moisture stress on metabolic products and ions accumulation [J]. Plant and Soil, 1971, 34:65-90.
- [16] Rao A C, Ramamoorthy B. Effect of moisture stress on yield, nutrient uptake and nutrition movement into grain in the varieties of wheat [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1981, 24:269-282.
- [17] Patel A L, Singh J. Nutrient uptake and distribution in aerial parts of wheat under water stresses at different growth [J]. Annals of Agri Bio Research, 1998, 3(1):5-8.
- [18] Sardans J, Penuelas J. Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest [J]. Functional Ecology, 2007, 21(2):191-201.
- [19] Burnett S, Van Iersel M, Thomas P. PEG - 8000 alters morphology and nutrient concentration of hydroponic impatiens [J]. HortScience, 2005, 40(6):1768-1772.
- [20] Al - Karaki G N, Clark R B, Sullivan C Y. Effects of phosphorus and water stress levels on growth and phosphorus uptake of bean and sorghum cultivars [J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18(3):563-578.
- [21] 王同朝,卫丽,程相武,等. 缺磷对渗透胁迫条件下春小麦根系生长及活力的影响[J]. 华北农学报, 1999, 14(2):53-57.
- [22] 柯野,谢璐,蓝林,等. 低磷胁迫对甘蔗幼苗生长和生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20):114-118.
- [23] Ebdon J S, Kopp K. Relationships between water use efficiency, carbon isotope discrimination, and turf performance in genotype of Kentucky bluegrasses during drought [J]. Crop Science, 2004, 44(5):1754-1762.
- [24] Clarkson D T, Scattergood C B. Growth and phosphate transport in barley and tomato plants during the development of, and recovery from, phosphate - stress [J]. Journal of Experimental Botany, 1982, 33(5):865-875.
- [25] 樊明寿,陈刚,孙国荣. 低磷胁迫下玉米根中磷的运转与再利用[J]. 作物学报, 2006, 32(6):946-948.