

土柱模拟条件下水分胁迫和磷对草地早熟禾耗水量的影响

李寿田, 顾国海, 汪成忠 (苏州农业职业技术学院, 江苏苏州 215008)

摘要 通过土柱模拟研究水分胁迫和磷对草地早熟禾耗水量的影响。结果表明, 在同一水分处理条件下, 磷的添加对草地早熟禾每天耗水量和耗水总量无明显影响, 但会造成低磷处理(P_0)下的草坪草需水量显著高于中磷(P_1)和高磷(P_2)处理(Brilliant P_0S_2 和 P_1S_1 处理除外)。在同一磷处理水平下, 随着水分胁迫程度的加剧, 草坪草每天耗水量和耗水总量随之下降, 对草坪草需水量的影响不大。由此可见, 在土壤水分胁迫条件下适当施磷肥有助于降低草坪草的需水量, 从而提高草坪草对水分的利用效率。

关键词 草地早熟禾; 水分胁迫; 磷; 耗水量; 需水量

中图分类号 S 668.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)20-0183-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.048

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Water Stress and Phosphorus on Water Consumption of *Poa pratensis* L. under Soil Column Simulation Conditions

LI Shou-tian, GU Guo-hai, WANG Cheng-zhong (Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou, Jiangsu 215008)

Abstract The effects of water stress and phosphorus on water consumption of *Poa pratensis* L. under soil column simulation conditions were studied. The results showed that daily water consumption and total water consumption of *P. pratensis* were not obviously affected by the addition of phosphorus under the same water stress treatments, the water requirement of turfgrass in middle phosphorus treatment(P_1) and high phosphorus treatment(P_2) were significantly lower than that of low phosphorus treatment(P_0) (except for P_0S_2 and P_1S_1 of Brilliant). In the same phosphorus treatment, daily water consumption and total water consumption of turfgrass decreased with the increase of water stress, its impacts on water requirement of turfgrass was not great. Therefore, proper addition of phosphorus fertilizer was conducive to reduce the water requirement of turfgrass and improve the water use efficiency of turfgrass under soil water stress conditions.

Key words *Poa pratensis* L.; Water stress; Phosphorus; Water consumption; Water requirement

我国是世界上最干旱的国家之一, 干旱和半干旱面积占国土面积的 50% 以上, 特别是我国北方地区水资源严重匮乏^[1-2]。草地早熟禾(*Poa pratensis* L.) 作为我国北方地区的当家草种, 得到了大面积应用^[3]。但是, 由于干旱和半干旱地区气候干旱和蒸发强烈等因素, 草坪需水量大, 容易造成“草坪好看不好养”和“草坪费水”等问题, 制约了草坪在我国北方地区的进一步发展。磷作为植物大量元素之一, 在植物生命活动中起着关键作用, 但由于磷是土壤中有效性最低的元素, 施入土壤中的磷当季利用率只有约 15%, 其余 80% 以上的磷被土壤固定成为不能被植物吸收利用的无效态磷^[4]。这不仅会造成磷肥资源的巨大浪费, 而且也使之易通过侵蚀、淋洗等途径造成水体污染及富营养化^[5-6]。前人研究表明, 草坪土壤水分含量、草坪灌溉和施肥等会影响草坪耗水量^[7-9], 限水灌溉^[10]、调整施肥量^[8-9]等可以降低草坪蒸散量, 从而减少草坪耗水量。

此外, 施肥可以提高植物的水分利用效率, 增强植物的抗旱性^[11]。植物对养分的吸收、转移和分配会受到水分的影响^[12-14]。增强草坪草的适应性、减少水分消耗和减少肥料使用量, 但又不明显降低草坪质量是近年来草坪养护管理发展的新趋势。前人对草坪水分和养分的研究大多局限于水分或肥料的研究, 笔者将水分和养分结合起来, 研究水分胁迫和磷对草地早熟禾耗水量的影响, 旨在为干旱和半干旱地区草坪草的水分利用和磷肥施用提供一些依据。

1 材料与方法

1.1 材料 试验以 Midnight(抗旱品种)和 Brilliant(不抗旱

品种) 为研究材料^[15]。

1.2 方法 试验采取温室土培的形式进行。取高 31 cm、直径 11 cm 的 PVC 管(上下均不封口), 用双层塑料薄膜将下部封口, 然后用铁丝固定(图 1)。将 PVC 管放在天平上, 将事先配制好的基质(土壤取自耕层土壤, 风干后过 1 mm 筛; 砂子颗粒为 1 mm 左右, 并用水洗干净后风干。将土壤和砂子按土砂比 1:1 混合均匀后, 装入 PVC 管中墩实, 并使上表面留出 1 cm 的高度, 使土壤容重为 1.54 g/cm³。然后, 将一定量的去离子水缓慢倒入土柱中, 使其达到田间持水量, 过夜。混合基质的基本性状如下: 有机质含量 10.6 g/kg、全磷含量 3.84 g/kg、水溶性磷含量 2.06 mg/kg、有效磷含量 15.68 mg/kg、速效钾含量 31.77 mg/kg、全氮含量 0.79 g/kg、速效氮含量 18.42 mg/kg、pH 7.39。

2020 年 3 月 6 日上午开始播种, 取 Midnight 和 Brilliant 的种子, 在每个 PVC 管中播 150 粒种子, 播种完毕后用少量细土将种子覆盖, 并将表面土壤用去离子水喷湿, 然后在 PVC 管中用塑料薄膜封住保湿。6 d 后种子开始萌发, 当种子萌发后将封口用的塑料薄膜揭掉。每隔 2 d 用天平称量并加入去离子水至田间持水量[种子及苗子的重量忽略不计, 为了保持整个土柱水分含量的一致性, 每隔 1 d 从土柱上表面和下表面加水]。3 月 30 日开始, 每隔 7 d 浇 0.25×Hoagland 营养液 30 mL(磷浓度为 10 mg/kg), 14 d 后(4 月 13 日)修剪至草坪高度 5 cm, 继续浇 0.25×Hoagland 营养液 30 mL, 此后每隔 7 d 修剪 1 次(高度 5 cm)。14 d 后(4 月 27 日)修剪结束, 浇 0.5×Hoagland 营养液 30 mL, 此后每隔 7 d 修剪 1 次(高度均为 5 cm)并浇 0.5×Hoagland 营养液 30 mL(磷浓度均为 10 mg/kg); 14 d 后(5 月 11 日)对草坪草进行修剪, 然后浇 1×Hoagland 营养液 10 mL, 14 d 后(5 月 25 日)修剪后再

基金项目 江苏省“青蓝工程”资助项目。

作者简介 李寿田(1973—), 男, 安徽六安人, 教授, 博士, 从事草坪管理研究及教学工作。

收稿日期 2022-04-30

加入 1×Hoagland 营养液 10 mL,并加入去离子水将土壤水分含量调整至田间持水量(不考虑草坪草植株的重量),立即开始磷和水分胁迫处理。

处理分为磷和水分 2 个因素,磷设 3 个水平(P_0 10 mg/kg、 P_1 100 mg/kg 和 P_2 200 mg/kg),水分设 3 个水平(S_0 田间持水量、 S_1 75%田间持水量和 S_2 50%田间持水量),组成 9 个处理组合。对于磷处理,将已经配制好、不含磷的营养液母液配制成 Hoagland 营养液(包括 N、K、Ca、Mg 以及微量元素),再用 KH_2PO_4 配制成磷浓度分别为 10、100 和 200 mg/kg 的溶液。针对配制磷溶液时多出来的 K^+ ,将 KCl 加入 Hoagland 营养液中进行补充,使 N、K、Ca、Mg 等营养元素的含量一致(Cl⁻除外)。处理开始后,每隔 7 d 修剪 1 次,修剪留茬高度至 5 cm,并在每次修剪后加入营养液各 10 mL。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 不同处理耗水量测定。每天 17:00 将每个土柱放在天平上进行称量,记作 A;然后,按照不同水分处理加入一定量的蒸馏水,使其达到各处理的水分含量(草坪草重量忽略不计),记作 B,以此类推。用前一天的读数 B 减去第 2 天的读数 A,即为第 2 天草坪草的耗水量。在水分添加过程中,为了使整个土柱水分含量尽可能一致,在灌水时每隔 1 d 从土柱上表面或下表面加水。加水时,根据天平读数,用注射器吸取一定量的水。当在土柱上表面加水时,直接将水缓慢注入草坪草茎基部土壤表面;当需要在土柱下表面加水时,用注射器吸取一定量的水,用针头刺破土柱基部的塑料薄膜,贴着 PVC 管壁将水缓慢注入,借助土柱底部土壤对水分的吸力将水分缓慢吸收(图 1)。

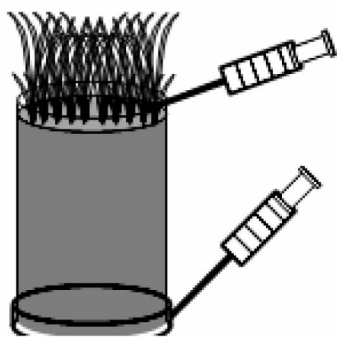


图 1 栽培土柱和加水示意

Fig.1 Soil column culture and water addition

1.3.2 数据统计与分析。所有试验数据均使用 SAS 9.6 软件进行 LSD 方差分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫和磷对草地早熟禾每天耗水量的影响 水分胁迫和磷对 2 种草地早熟禾每天耗水量的影响见图 2 和图 3。从图 2 可以看出,不同处理每天耗水量存在较大的差异。在田间持水量条件下,除了个别处理每天耗水量有显著差异外, P_0S_0 、 P_1S_0 和 P_2S_0 在整个处理期间每天耗水量无显著差异,而在 75%田间持水量(S_1)和 50%田间持水量(S_2)条件下,在整个处理期间 P_0 、 P_1 和 P_2 处理每天耗水量均无显著

差异。此外,在处理期间的有些时间段,田间持水量(S_0)和 75%田间持水量处理(S_1)每天耗水量要显著大于 50%田间持水量处理(S_2)。

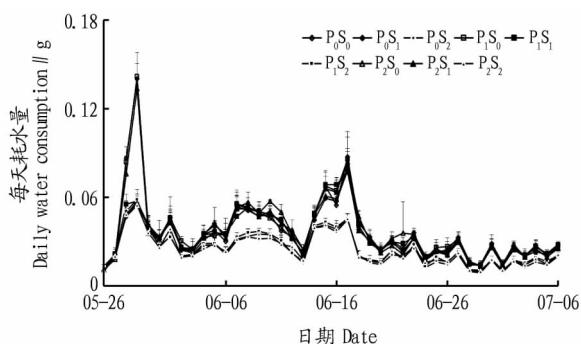


图 2 水分胁迫和磷对 Midnight 每天耗水量的影响

Fig.2 Effects of water stress and phosphorus on daily water consumption of Midnight

从图 3 可以看出,与 Midnight 品种相似,Brilliant 不同处理每天耗水量存在较大差异。在田间持水量(S_0)、75%田间持水量(S_1)和 50%田间持水量(S_2)处理条件下,不同磷处理每天耗水量差异并不显著。另外,在有些时间段,75%田间持水量处理(S_1)每天耗水量要显著大于 50%田间持水量处理(S_2),但与田间持水量处理(S_0)差异并不显著。

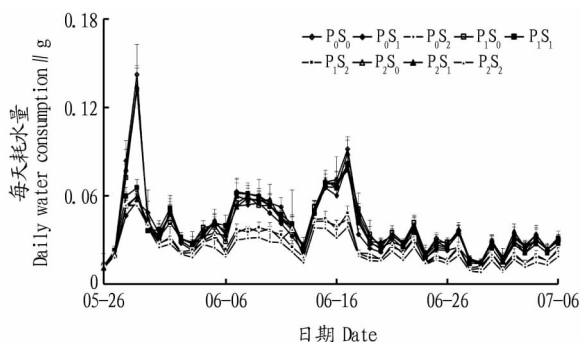


图 3 水分胁迫和磷对 Brilliant 每天耗水量的影响

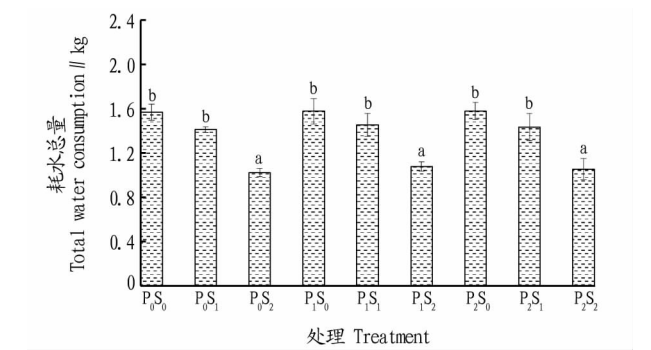
Fig.3 Effects of water stress and phosphorus on daily water consumption of Brilliant

2.2 水分胁迫和磷对草地早熟禾耗水总量的影响 将整个处理过程中所消耗的水分进行累加,即可得到整个处理期间的草坪草耗水总量。磷和水分胁迫对 2 个品种草地早熟禾耗水总量的影响见图 4 和图 5。从图 4 可以看出,在同一水分处理条件下,随着磷添加量的增加,草坪草耗水总量有所增加,但不同磷处理之间的耗水总量并没有显著差异。在同一磷处理水平条件下,随着水分胁迫程度的增大,草坪草耗水总量逐渐下降,且田间持水量(S_0)和 75%田间持水量处理(S_1)之间耗水总量无显著差异,但均显著高于 50%田间持水量处理(S_2)。

从图 5 可以看出,在低磷处理(P_0)条件下,水分胁迫越严重,耗水总量越低,且 3 个水分处理之间耗水总量存在着显著差异。在 P_1 和 P_2 处理条件下,田间持水量(S_0)和 75%田间持水量(S_1)之间耗水总量无显著差异,但均显著高于 50%田间持水量(S_2)。由此可见,磷的添加并未造成耗水总量的显著

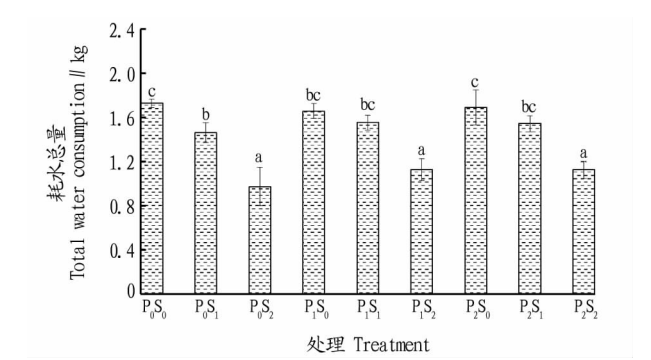
变化。

2.3 水分胁迫和磷对草地早熟禾需水量的影响 草坪草需水量是指每生产 1 g 干物质所消耗的水分量。从图 6 可以看出,在低磷条件下,Midnight 需水量在不同水分处理间无显著差异,50%田间持水量处理 Brilliant 需水量显著低于 100%和 75%田间持水量处理。在 P_1 和 P_2 处理条件下,除 Midnight P_1S_0 和 P_1S_1 处理需水量显著高于 P_2S_2 处理外,2 个品种不同水分处理之间需水量均无显著差异;在同一水分处理条件下,除了 Brilliant 品种中 P_0S_2 和 P_1S_1 处理间无显著差异外, P_0 处理需水量显著高于 P_1 和 P_2 处理。



注:各处理间不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters among treatments indicated significant differences ($P<0.05$)

图 4 水分胁迫和磷对 Midnight 耗水总量的影响
Fig.4 Effects of water stress and phosphorus on total water consumption of Midnight



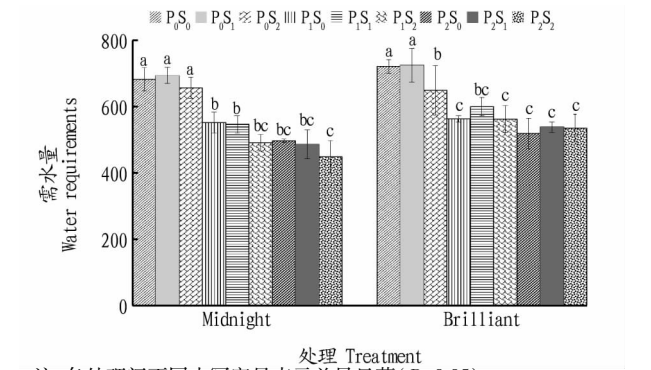
注:各处理间不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters among treatments indicated significant differences ($P<0.05$)

图 5 水分胁迫和磷对 Brilliant 耗水总量的影响
Fig.5 Effects of water stress and phosphorus on total water consumption of Brilliant

3 讨论

该试验结果表明,随着水分胁迫的加剧,草坪草的耗水量降低。前人研究表明,当土壤中含水量过高时,草坪草的需水量会随之增加^[16],这说明草坪草具有奢侈耗水的特性,与该试验结果相一致。Dacosta 等^[17]研究表明,亏缺灌溉可以降低匍匐翦股颖草坪水分消耗量,从而提高水分利用效率,而严重水分亏缺则在导致耗水量下降的同时,也导致草坪草水分利用效率的下降。徐敏云等^[18]研究表明,灌水量影响了草坪草的蒸散量,水分梯度大的处理蒸散量高于水分

梯度小的处理,但蒸散量并不是仅由灌水量因子决定。试验期间温度、光照强度、蒸发量同样影响草坪草蒸散量的变化,当土壤含水量为 70%~90%田间持水量时,蒸散作用主要由气象因子调节,而当土壤含水量为 30%~50%田间持水量时,蒸散作用更多地受控于土壤水分。另外,通过对 2 个品种的比较发现,除了 Midnight P_0S_2 处理耗水总量高于 Brilliant P_0S_2 处理外,其他处理 Brilliant 耗水总量均高于 Midnight 相应处理。这可能是由于 Midnight 属于抗旱品种,其对水分的消耗要低于干旱敏感品种 Brilliant。Huang^[12]研究表明,干旱胁迫时耗水量下降可能与干旱胁迫时蒸腾速率下降有关,并且各品种间存在一定差异,抗旱性强的草地早熟禾品种气孔阻力低,从而可以通过关闭叶片气孔来降低蒸腾作用和减少水分散失^[19]。



注:各处理间不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters among treatments indicated significant differences ($P<0.05$)

图 6 水分胁迫和磷对草地早熟禾需水量的影响
Fig.6 Effects of water stress and phosphorus on water requirement of *P.pratensis*

从耗水总量来看,不同处理在 100%田间持水量(S_0)和 75%田间持水量(S_1)条件下,不同磷处理耗水总量差异不显著(除 Brilliant 品种的 P_0S_0 和 P_0S_1 处理外),但从草坪草需水量来看,磷的添加降低了草坪草需水量,也就是说磷的添加提高了草坪草的水分利用效率。这可能与磷的施加有利于植物叶片保持其细胞膜结构和功能的完整性有关。施磷肥有助于减轻水分胁迫对细胞膜的伤害,从而保证植物代谢的正常进行,有利于植物对干旱的抗性。另外,施磷肥可以明显增加叶片束缚水含量,增强组织耐脱水的能力,并对干旱条件下组织代谢活动表现出一定的促进作用^[20]。梁银丽等^[21]研究表明,施用磷肥可提高小麦幼苗干物质重与耗水量的比值,当相对含水量 40%~58%时磷肥施用量增加,水分利用效率随之提高,且随着土壤干旱程度的加重,磷肥的施用效果愈加显著。因此,在干旱胁迫条件下适当施磷肥有助于降低草坪草的需水量,从而提高草坪草对水分的利用效率。

4 结论

在同一水分处理条件下,磷的添加对草坪草每天耗水量和耗水总量无显著影响,但低磷处理(P_0)条件下的草坪草需水量显著高于中磷(P_1)和高磷(P_2)处理(Brilliant P_0S_2 和

P₁S₁ 处理除外)。在同一磷处理水平下,随着水分胁迫程度的加剧,草坪草每天耗水量和耗水总量随之下降,对草坪草需水量的影响不大。因此,在土壤水分胁迫条件下适当施磷肥有助于降低草坪草的需水量,从而提高草坪草对水分的利用效率。

参考文献

- [1] 罗志成.北方旱地农业研究的进展与思考[J].干旱地区农业研究,1994,12(1):1-8.
- [2] 康绍忠.新的农业科技革命与21世纪我国节水农业的发展[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):126-127.
- [3] 李晓光,张自和,刘艺彬.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.
- [4] 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,1999,7(2):116-124.
- [5] SUI Y B, THOMPSON M L, MIZE C W. Redistribution of biosolids-derived total P applied to a Mollisol[J]. Journal of environmental quality, 1999, 28(4):1068-1074.
- [6] SHARPLEY A N, CHAPRA S C, WEDEPOHL R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options[J]. Journal of environmental quality, 1994, 23(3):437-451.
- [7] BARTON L, WAN G G Y, BUCK R P, et al. Nitrogen increases evapotranspiration and growth of a warm-season turfgrass[J]. Semigroup forum, 2009, 101(1):17-24.
- [8] CANDOGAN B N, BILGILI U, YAZGAN S. Irrigation level and nitrogen rate affect evapotranspiration and quality of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) [J]. International journal of agriculture and biology, 2015, 17(3):431-439.
- [9] EBDON J S, PETROVIC A M, WHITE R A. Interaction of nitrogen, phos-

phorus, and potassium on evapotranspiration rate and growth of Kentucky Bluegrass[J]. Crop science, 1999, 39(1):209-218.

- [10] AYDINS AKIR K, BUYUKTAS D, BASTUG R, et al. Evapotranspiration and quality characteristics of some bermudagrass turf cultivars under deficit irrigation[J]. Grassland science, 2016, 62(4):224-232.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] KNEEBONE W R, PEPPER I L. Luxury water use by bermudagrass turf[J]. Agronomy journal, 1984, 76(6):999-1002.
- [17] DACOSTA M, HUANG B R. Deficit irrigation effects on water use characteristics of bentgrass species[J]. Crop science, 2006, 46(4):1779-1786.
- [18] 徐敏云,刘自学,胡自治.灌溉对三种冷季型草坪草蒸散耗水的影响[J].草原与草坪,2004,24(1):36-40.
- [19] PERDOMO P, MURPHY J A, BERKOWITZ G. Physiological changes associated with performance of Kentucky bluegrass cultivars during summer stress[J]. HortScience, 1996, 31(7):1182-1186.
- [20] 梁银丽,陈培元.土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的效应[J].作物学报,1996,22(4):476-482.
- [21] 梁银丽,康绍忠,张成娥.不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):58-64.

(上接第157页)

长均有不同程度的抑制作用;6次果皮醇浸提液与对照组比,对白菜种子萌发无差异($P>0.05$),对白菜胚根、胚轴的生长仅第1次浸提液有明显抑制作用,分别为95.22%、82.33%。

3 结论与讨论

透骨香种子、果皮的水及甲醇浸提液均对白菜种子萌发存在一定的抑制作用,水浸提液抑制作用强于甲醇浸提液;相同提取溶剂,果皮浸提液比种子浸提液的抑制作用强,当果皮水浸提液浓度为0.10 g/mL时,白菜种子呈完全抑制状态。因此,建议在人工育苗过程中应将其果皮和种子分离后进行相关试验。

参考文献

- [1] 国家中医药管理局《中华本草》编委会.中华本草[M].上海:上海科学技术出版社,1999.
- [2] 贵州省药品监督管理局.贵州省中药材、民族药材质量标准(2003版)[M].贵阳:贵州科技出版社,2003:308.
- [3] 李蒙禹,朱玉梅,王世清.不同干燥方式对透骨香药材水杨酸甲酯含量的影响[J].贵阳中医学院学报,2016,38(4):36-38.
- [4] 张颖,李嘉,何飞,等.滇白珠止泻活性部位的化学成分研究[J].中草药,2020,18(11):1800-1802.
- [5] 刘绍欢,何晶晶,詹云慧,等.透骨香不同部位显微特征研究[J].时珍国

医国药,2018,29(7):1644-1647.

- [6] 陈应康,余福强,刘大腾,等.苗药透骨香抗急性痛风性关节炎作用的实验研究[J].中药材,2016,39(9):2118-2121.
- [7] 覃容贵,龙庆德,秦拴梅,等.不同炮制方法对透骨香抗炎镇痛作用及水杨酸甲酯含量的影响[J].时珍国医国药,2013,24(2):409-410.
- [8] KHAN A A. The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination[M]. New York: Elsevier/North-Holland Biomedical Press, 1977.
- [9] LI B B, WEI X H, XU Y. The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking[J]. Acta ecological sinica, 2013, 33(15):4631-4638.
- [10] 陈伟,马绍宾,陈宏伟.种子休眠类型及其破除方法概述[J].安徽农业科学,2009,37(33):16237-16239.
- [11] 常晖,张小燕,张跃进,等.黄芪种子内源抑制物质的初步研究[J].种子,2015,34(1):44-47.
- [12] 房海灵,叶金山,朱培林.了哥王种子萌发抑制物质特性[J].江苏农业科学,2017,45(1):138-140.
- [13] 廖源林,蔡仕珍,李西,等.野鸦椿种子内源抑制物活性初探[J].广西植物,2016,36(5):600-606,538.
- [14] 杨轶华,梁鸣,孙波,等.4种荚蒾属植物种子内源抑制物存在特征初探[J].中国农学通报,2015,31(22):142-147.
- [15] 孙娜,陈黎,刘序,等.香榧种子内含发芽抑制物对种子萌发的影响[J].黄山学院学报,2016,18(3):44-47.
- [16] 李樱花,郭松,李在留,等.掌叶木种皮障碍及种子各部位内源抑制活性的研究[J].广西植物,2016,36(4):443-448,470.
- [17] 李双梅,柯卫东,李峰,等.荸荠种子内源抑制物质生理活性的研究[J].种子,2014,33(12):10-12.