

少花蒺藜草与不同牧草混播根际与非根际土壤酶活性变化

于童洲¹,张天宇²,周立业¹

(内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028000)

摘要:为了探究牧草对少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus*)的竞争影响,采用3种优质牧草紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、羊草(*Leymus chinensis*)、草木樨(*Melilotus officinalis*)与少花蒺藜草混播,测定混播模式下少花蒺藜草不同生长时期根际和非根际土壤pH、脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性变化。结果表明:与3种牧草混播均显著提高少花蒺藜草根际土壤的酶活性;在紫花苜蓿与羊草混播,少花蒺藜草根际土壤的脲酶和蔗糖酶活性在开花期最高,磷酸酶活性在苗期最高,而与草木樨混播,少花蒺藜草根际土壤的磷酸酶和蔗糖酶活性在全生长期内均有大幅提高,脲酶活性在开花期时显著提高,草木樨更能激发少花蒺藜草根际土壤酶活性,与少花蒺藜草的竞争最为激烈。混播模式激发少花蒺藜草的自我保护机制,明显提高少花蒺藜草根际土壤酶活性,增强其自身的竞争能力,避免竞争胁迫带来的危害。

关键词:少花蒺藜草;竞争;土壤酶活性;根际与非根际土

中图分类号:S451 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)01-0096-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2022.01.013



生物入侵给自然生态系统和人类经济造成了严重的影响,是世界上最棘手的生态环境问题之一^[1-2]。少花蒺藜草俗名刺蒺藜、草狗子、草蒺藜,为禾本科蒺藜属一年生草本植物^[3]。少花蒺藜草原产于美洲,20世纪40年代传入我国,在我国的辽宁省、内蒙古自治区、吉林省广泛扩散传播,其成熟果实的刺苞极易造成放牧家畜口腔和胃肠的溃疡,严重影响到农牧民的经济收入和日常生活,现已成为科尔沁沙地危害最为严重的入侵杂草之一^[4],遏制和防除少花蒺藜草已经到了刻不容缓的地步。

外来植物入侵后,可能改变土壤水分与营养循环等土壤条件,这些土壤条件的改变又可能促进入侵物种的进一步扩散,进而对本地生物多样性和生态环境造成严重破坏^[5-7]。在早期关于生物入侵的研究中,对于入侵植物与入侵地生态系统各组分间相互作用的研究多集中在地上部分^[11],而随着研究的不断深入,入侵植物与入侵地土壤之间的互作关系越来越受到研究者的重视^[14-15]。土壤酶是联系植物和土壤有效养分的纽带,可以指示土壤生态系统功能与土壤肥力状况,对有机质的矿化和有机污染物的降解具有促进作用^[8-10],作为决定土壤养分转化方向和速率的关键性生物因子^[11],土壤酶还参与了土壤中多种养分物质的分解、合成以及释放过程,并且催化土壤中的一切生物化学反应^[12-13]。而根际土壤在本地植物和外来植物之间可以起到桥梁的作用,不同植物根际产生的分泌物种类与数量不同,导致不同植物群落下土壤的酶活性具有差异,同时植物根际土壤由于受到植物根系活动的影响,其中的生物地球化学循环最为活跃,物理、化学、生物学特征和酶活性

收稿日期:2021-02-15; **修回日期:**2021-04-06

基金项目:国家自然科学基金(替代牧草对少花蒺藜草生态竞争效应及机制 31460634);内蒙古留学人员创业创新项目(2019年立项)

作者简介:于童洲(1998-),男,内蒙古满洲里市人,硕士研究生。

E-mail:2567342820@qq.com

周立业为通信作者。

E-mail:toni2002@126.com

也显著不同于非根际土壤,而这些差异对植物群落的建成具有重要意义^[17-19]。

在研究防除外来物种入侵措施中,生物替代控制因不会引发新一轮生态安全问题而备受关注^[20]。近年来研究发现,一些多年生优质牧草对少花蒺藜草具有较强的竞争优势^[2]。为进一步探索优质牧草对少花蒺藜草的替代作用,明确优质牧草对少花蒺藜草的竞争机制,本研究以少花蒺藜草为研究对象,利用 3 种优质牧草(紫花苜蓿、羊草、草木樨)对其进行替代竞争,分析替代竞争下少花蒺藜草根际与非根际土壤中脲酶、磷酸酶、蔗糖酶与过氧化氢酶的活性变化,探讨在不同替代作用下不同生长时期少花蒺藜草生存策略,以期对遏制少花蒺藜草在科尔沁沙地的传播提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区设在内蒙古民族大学科技示范园区(N 43°19′~43°55′,E 120°55′~122°55′),海拔高度 178 m,年平均气温 6.4 ℃,年有效积温 3 184 ℃,极端低温-30.9 ℃。无霜期为 145 d,年平均降水量为 399.1 mm,土壤为沙壤土。

1.2 试验设计与土样采集

于 2020 年 4 月 15 日,选择试验地生长状况良好一致,种植年限为 1 年的紫花苜蓿、羊草和草木樨进行采集,采集后将根际剪至同一长度并移栽到预先整好的试验地小区,以试验地土壤为基质进行一个月的适应性生长,小区面积 2 m×3 m,移栽采用穴栽方式,植株间距 40 cm,于 5 月 15 日将少花蒺藜草播种在各穴牧草之间(每穴 2 粒,出苗后定苗至 1 株),少花蒺藜草与各穴牧草间距为 20 cm,并以单播少花蒺藜草为对照组,少花蒺藜草株行距均为 20 cm,分别记为少花蒺藜草单种(S)、少花蒺藜草与紫花苜蓿混种(SM)、少花

蒺藜草与羊草混种(SY)、少花蒺藜草与草木樨混种(SC),共计 4 个处理,每个处理 3 次重复,试验期间进行正常灌溉,所有牧草不进行刈割。土样采集时间开始于 2020 年 6 月 15 日,按照 5 点取样法每隔 30 d 取土 1 次(分别为少花蒺藜草的苗期、分蘖期和开花结实期),采集方法为 Riley 和 Barber 的抖落法^[20-21],用铁锹挖取少花蒺藜草地下根系(0~20 cm),抖去大块不含根系的土壤作为非根际土壤,然后用细毛刷刷取根系表层黏贴的土壤,去除杂质后作为根际土壤,按照四分法选取适当土样装入自封袋,在 4 ℃下保存带回实验室进行试验分析。

1.3 土样指标测定及其方法

用 pH 计测定土壤 pH 值。土壤酶活性主要参考关松荫等^[22]的测定方法。土壤脲酶的测定采用苯酚钠-次氯酸钠比色法,以 24 h 内 1 g 土壤中 NH₃-N 的毫克数表示土壤脲酶活性;土壤磷酸酶的测定采用磷酸苯二钠比色法,以 24 h 内 1 g 土壤中释放出的酚的质量(mg)表示土壤磷酸酶活性;土壤蔗糖酶的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 24 h 内 1 g 干土生成的葡萄糖毫克数表示;土壤过氧化氢酶的测定采用高锰酸钾滴定法,以每 g 干土 1 h 内消耗的 0.1 mol/L KMnO₄ 体积数表示。

1.4 数据统计与分析

本试验所有数据均使用 Microsoft Office Excel 2013 进行统计、计算和制作图表,使用 SPSS 23.0 对试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)及相关分析,显著度水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 混播处理下少花蒺藜草根际和非根际土壤的 pH

少花蒺藜草无论是根际土还是非根际土土壤 pH 值都大于 7,土壤偏碱性且各土壤样本之间的 pH 值没有显著差异($P>0.05$)(表 1)。

表 1 少花蒺藜草不同生育时期土壤 pH 值

Table 1 Changes of soil pH at different growth stages of *C. pauciflorus*

处理	出苗期		分蘖期		开花期	
	根际土	非根际土	根际土	非根际土	根际土	非根际土
S	7.69	7.80	7.80	7.60	7.62	7.24
SM	7.75	7.79	7.70	7.87	7.74	7.83
SY	7.50	7.54	7.67	8.04	7.92	7.84
SC	7.15	7.60	7.29	7.94	7.67	7.62

2.2 混播处理下少花蒺藜草苗期土壤酶活性的变化

不同混播模式下少花蒺藜草苗期根际土壤脲酶活性无显著性差异($P>0.05$)(图 1-A),与草木樨竞争时,少花蒺藜草根际土中磷酸酶和蔗糖酶活性显著高

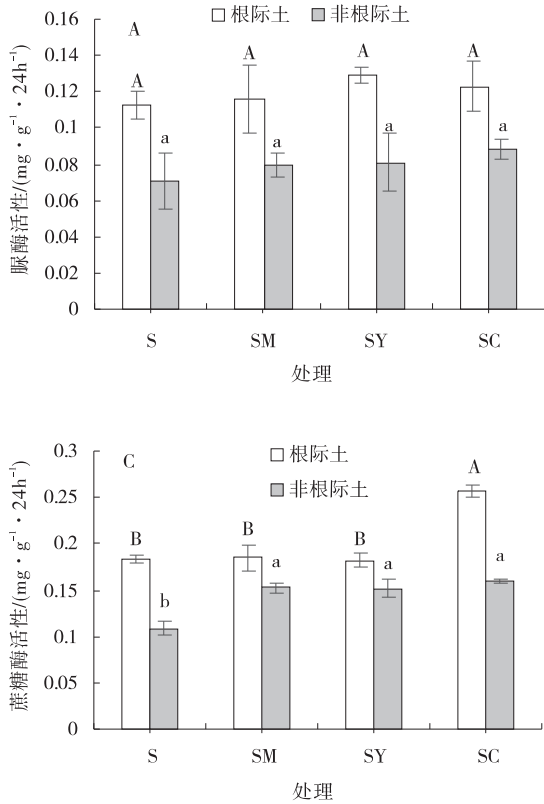


图 1 不同混播处理下少花蒺藜草苗期土壤的酶活性

Fig. 1 Changes of soil enzyme activities at seedling stage of *C. pauciflorus* under different competitive conditions

注:不同大写字母表示在 0.05 水平上根际土壤酶的差异显著性,不同小写字母表示在 0.05 水平上非根际土壤酶的差异显著性。下同

2.3 不同混播处理下少花蒺藜草分蘖期土壤酶活性变化

少花蒺藜草在分蘖期时与不同牧草混播对其根际土壤脲酶和过氧化氢酶活性无显著性影响($P>0.05$)(图 2-A,图 2-D)。草木樨处理下根际土土壤磷酸酶和蔗糖酶活性显著高于其他处理($P<0.05$),而其他处理组之间没有显著性差异($P>0.05$)(图 2-B,图 2-C)。在同一处理条件下少花蒺藜草根际土壤的 4 种酶活性均高于非根际土壤。

2.4 不同混播处理下少花蒺藜草开花期土壤酶活性的变化

开花期时,不同混播处理下少花蒺藜草的脲酶活性均显著高于对照组($P<0.05$),变化趋势为 SY>SM>SC(图 3-A)。在羊草与草木樨处理下,少花蒺藜草根际土壤磷酸酶活性显著高于对照组和紫花苜蓿处

于其他处理($P<0.05$)(图 1-B,图 1-C);与对照相比,紫花苜蓿竞争条件下少花蒺藜草根际土过氧化氢酶活性提高了 6%($P<0.05$)(图 1-D)。在少花蒺藜草苗期同一替代处理下根际土壤酶活性大于非根际土壤。

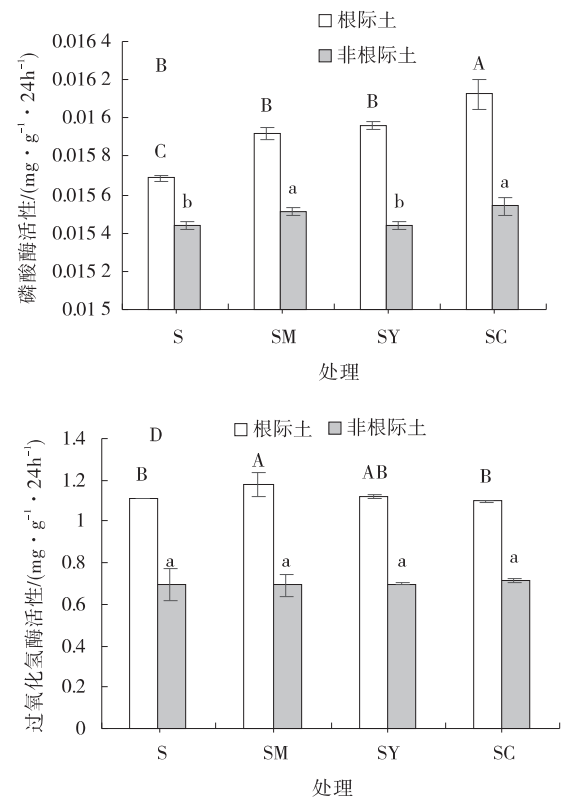


图 1 不同混播处理下少花蒺藜草苗期土壤的酶活性

Fig. 1 Changes of soil enzyme activities at seedling stage of *C. pauciflorus* under different competitive conditions

注:不同大写字母表示在 0.05 水平上根际土壤酶的差异显著性,不同小写字母表示在 0.05 水平上非根际土壤酶的差异显著性。下同

2.3 不同混播处理下少花蒺藜草分蘖期土壤酶活性变化

少花蒺藜草在分蘖期时与不同牧草混播对其根际土壤脲酶和过氧化氢酶活性无显著性影响($P>0.05$)(图 2-A,图 2-D)。草木樨处理下根际土土壤磷酸酶和蔗糖酶活性显著高于其他处理($P<0.05$),而其他处理组之间没有显著性差异($P>0.05$)(图 2-B,图 2-C)。在同一处理条件下少花蒺藜草根际土壤的 4 种酶活性均高于非根际土壤。

2.4 不同混播处理下少花蒺藜草开花期土壤酶活性的变化

开花期时,不同混播处理下少花蒺藜草的脲酶活性均显著高于对照组($P<0.05$),变化趋势为 SY>SM>SC(图 3-A)。在羊草与草木樨处理下,少花蒺藜草根际土壤磷酸酶活性显著高于对照组和紫花苜蓿处

理($P<0.05$)(图 3-B)。在草木樨处理下少花蒺藜草根际土壤蔗糖酶活性最高,其他两组处理之间无显著性差异($P<0.05$),且 3 组组处理的蔗糖酶活性显著高于对照组 S($P<0.05$)(图 3-C)。少花蒺藜草过氧化氢酶活性变化趋势处理为 S>SC>SY>SM,其中对照组过氧化氢酶活性显著高于紫花苜蓿与羊草处理($P<0.05$),与草木樨处理之间无显著性差异($P>0.05$),不同处理之间过氧化氢酶活性无显著性差异($P>0.05$)(图 3-D)。在相同处理条件下少花蒺藜草根际土壤的 4 种酶活性均高于非根际土壤。

3 讨论

土壤酶是植物、土壤动物和微生物代谢向土壤中释放的活性物质,用酶活性可以表征土壤的生态功能强度、各种生物化学过程的反应速率和方向^[23]。本研

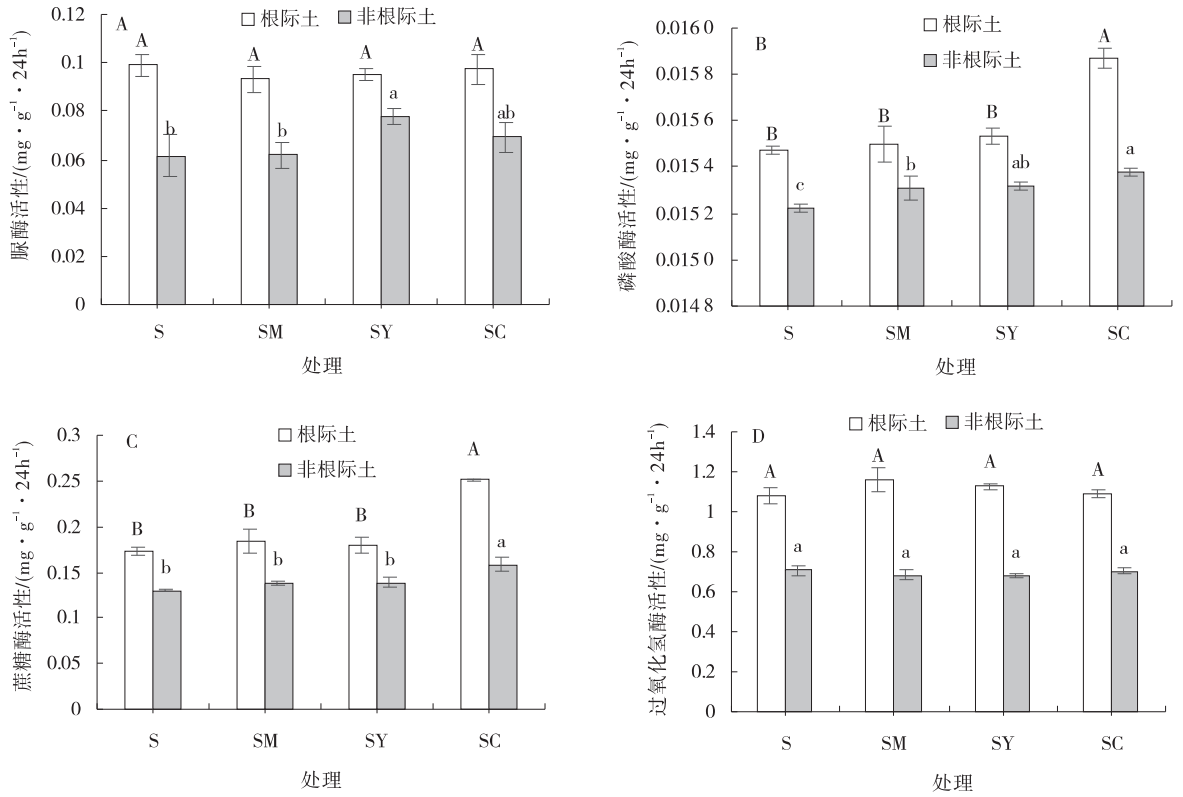


图 2 不同混播处理下少花蒺藜草分蘖期土壤的酶活性

Fig. 2 Changes of soil enzyme activities at tillering stage of *C. pauciflorus* under different competitive conditions

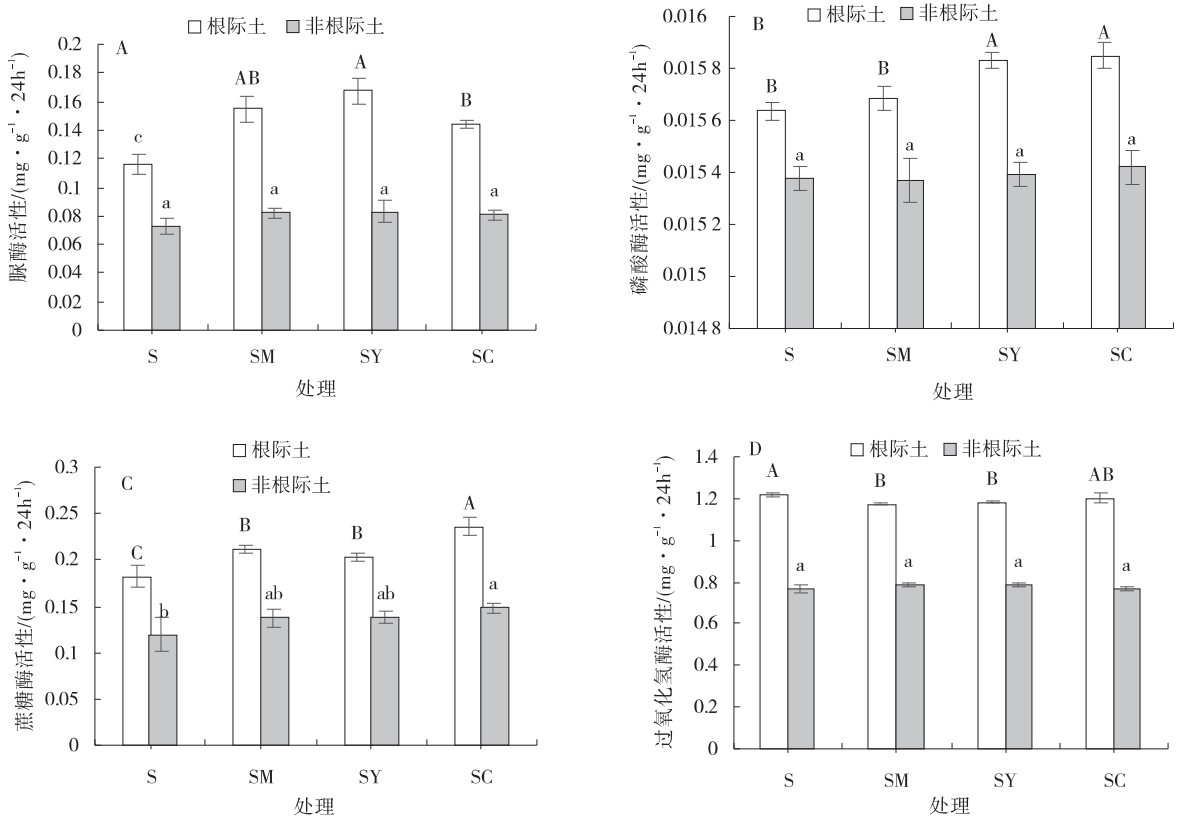


图 3 不同混播处理下少花蒺藜草开花期土壤的酶活性

Fig. 3 Changes of soil enzyme activities at flowering stage of *C. pauciflorus* under different competitive conditions

究中少花蒺藜草在不同替代作用下根际土壤的4种酶活性均高于非根际土,表现出一定的根际正效应(根际土/非根际土 >0),可能是因为少花蒺藜草在生长过程中通过根系吸收水分以及无机物质,同时又向周围土壤释放出根系分泌物如糖类、氨基酸、酚类和有机酸等物质,再加上凋落物的分解和土壤中形成腐殖质等因素,提高了少花蒺藜草根际土壤中微生物的活性,进而提高了根际土壤中的养分和酶活性。而非根际土壤受到植物根系活动的影响较小,从而导致少花蒺藜草根际与非根际之间的土壤酶活性具有较大差异。这与杨玉海等^[24]及罗明等^[25]的结论相一致。说明入侵植物—土壤—微生物所组成生态微域向稳态的方向发展,从而提高了自身的入侵性^[17]。

与少花蒺藜草单种相比,3种替代牧草均不同程度地提高了少花蒺藜草根际土壤脲酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性,造成这一结果的原因一是可能因为少花蒺藜草根系在受到竞争胁迫时会启动自我防御系统,产生根系分泌物,提高对土壤肥力的吸收利用以增强自身的竞争能力,这与赵燕娜等对某种入侵植物的研究结果相似^[26];二是可能因为替代植物根系在发育过程中会产生不同种类的化感物质并对其他植物根际的微环境形成影响,这与张海霞等^[16]及杜鄂巍等^[27]的研究结果一致。本研究结果表明,与草木樨混播下,少花蒺藜草根际土土壤酶活性提高最为显著,说明草木樨与少花蒺藜草之间的竞争最为激烈,而紫花苜蓿和羊草也在一定程度上刺激了少花蒺藜草脲酶与磷酸酶活性的增长,但关于二者是否可以作为替代少花蒺藜草的最佳牧草还有待对植物地上部分进一步研究。

本试验中相同处理下少花蒺藜草根际土壤酶活性均在开花结果期最高,其原因可能是不同生长期少花蒺藜草对土壤养分的需求不同,产生的根系分泌物不同,导致土壤中酶活性发生变化,这与罗雪晶等^[8]的结论一致,都表明了植物根际土壤酶活性会随着不同生长时期发生改变。

4 结论

不同牧草与少花蒺藜草竞争混播,少花蒺藜草会向根际分泌出更多的化学物质,提高土壤中的酶活性,增强其自身的竞争能力。本研究中与草木樨混播下少花蒺藜草根际土脲酶、磷酸酶与蔗糖酶活变化最为显著,未达到竞争抑制效果。

参考文献:

- [1] Mack R N, Simberloff D, Lonsdale W M, *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(3): 689—710.
- [2] 周立业, 汪丽萍, 刘庭玉. 科尔沁沙地人工固沙林群落中少花蒺藜草种群动态及群落多样性研究[J]. *草地学报*, 2013, 21(1): 87—91.
- [3] 赵哈林, 李玉强, 周瑞莲. 沙漠化对科尔沁沙质草地生态系统碳氮储量的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2412—2417.
- [4] 马金宝, 张永莉, 田迅, 等. 科尔沁沙地少花蒺藜草不同生育时期生理适应性的研究[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(6): 52—57+64.
- [5] Bunn S E, Davies D M, Prosser I P. Influence of invasive macrophytes on channel morphology and hydrology in an open tropical low land stream and potential control by riparian shading[J]. *Freshwater Biology*, 1998, 39: 171—178.
- [6] Mack M C, D'Antonio M, Ley R E. Alteration of ecosystem nitrogen dynamics by exotic plants: a case study of C4 grasses in Hawaii[J]. *Ecological Applications*, 2001, 11: 1323—1335.
- [7] Callaway Ragan M, Thelen Giles C, Rodriguez Alex, *et al.* Soil biota and exotic plant invasion. 2004, 427(6976): 731—3.
- [8] 罗雪晶, 石青, 贾月月, 等. 3种菊科入侵植物不同生长时期的土壤酶活性和养分变化[J]. *生物安全学报*, 2017, 26(4): 293—300.
- [9] 陆琴, 李冬琴. 土壤酶及其生态指示作用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(18): 14—17.
- [10] MUSCOLOA, SETTINERIG, ATTINE. Early warning indicators of changes in soil ecosystem functioning[J]. *Ecological indicators*, 2015, 48: 542—549
- [11] Levine J M, Vila M, Antonio C M D, *et al.* Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions[J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2003, 270: 775—781.
- [12] 罗琰, 苏德荣, 吕世海, 等. 辉河湿地河岸带土壤养分与酶活性特征及相关性研究[J]. *土壤*, 2017, 49(1): 203—207.
- [13] 孟小伟, 牛赞, 海龙, 等. 不同植被对盐碱地土壤微生物数量及的酶活性影响[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(3): 99—104.
- [14] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. *土壤通报*, 2004(4): 523—525.
- [15] 牛红榜, 万方浩, 刘万学, 等. 紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 入侵对土壤微生物群落和理化性质的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 3052—3053.

- [16] 张海霞. 不同入侵植物对本土植物根际土壤酶活性及微生物数量的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(21): 61—66.
- [17] 莫雪, 陈斐杰, 游冲, 等. 黄河三角洲不同植物群落土壤酶活性特征及影响因子分析[J]. 环境科学, 2020, 41(2): 895—904.
- [18] 马志良, 赵文强, 刘美, 等. 增温对高寒灌丛根际和非根际土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 1893—1900.
- [19] 沈伟, 岑湘涛, 吴晓倩, 等. 入侵植物白花鬼针草与 2 种牧草混播时的竞争效应[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 795—797.
- [20] Riley D, Barber S A. Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33(6): 905—908.
- [21] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal, 1970, 34(1): 154—155.
- [22] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 北京农业出版社, 1986.
- [23] 张海霞. 不同入侵植物对本土植物根际土壤酶活性及微生物数量的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(21): 61—66.
- [24] 杨玉海, 陈亚宁, 李卫红, 等. 干旱区胡杨根际微生物数量及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 719—725.
- [25] 罗明, 单娜娜, 文启凯, 等. 几种固沙植物根际土壤微生物特性研究[J]. 应用与环境生物学报, 2002, (6): 618—622.
- [26] 赵燕娜, 廖超英, 李晓明. 毛乌素沙地 4 种固沙植物根际与非根际土壤生物学特性[J]. 干旱区研究, 2015, 32(4): 680—686.
- [27] 杜鄂巍, 王妍, 孙建茹, 等. 不同植物对黄顶菊根际土壤微生物和土壤养分的影响[J]. 生物安全学报, 2019, 28(4): 292—300.

Changes of enzyme activities in rhizosphere and non-rhizosphere soil of *Cenchrus pauciflorus* at different growth stages under substitution competition

YU Tong-zhou¹, ZHANG Tian-yu², ZHOU Li-ye¹

(College of Agriculture, Inner Mongolia University for nationalities, Inner Mongolia, Tongliao 028000, China)

Abstract: In order to explore the competitive influence of alternative pastures on *Cenchrus pauciflorus* Benth., Benth was replaced by three high-quality pastures, *Medicago sativa*, *Leymus chinensis* and *Melilotus officinalis*. Under each replacement, the changes of soil pH, urease, phosphatase, sucrase and catalase activities in rhizosphere and non-rhizosphere soil were analyzed at different growth stages. The results showed that the enzyme activities in rhizosphere soil of *C. pauciflorus* were significantly increased by all three alternative pastures. Under the substitution of *M. sativa* and *L. chinensis*, urease and sucrase activities in rhizosphere soil of *C. pauciflorus* were the highest at flowering stage, and phosphatase activities were the highest at seedling stage. With *M. officinalis*, the activities of phosphatase and sucrase in rhizosphere of *C. pauciflorus* increased greatly throughout the entire growth period, and the activity of urease increased significantly during the flowering period. *M. officinalis* could stimulate the enzyme activity of rhizosphere soil of *C. pauciflorus*, and the competition with *C. pauciflorus* could be most intensive. This study suggests that substitution could provide self-protection mechanism for *C. pauciflorus*. The increase in the enzyme activity of the rhizosphere soil of *C. pauciflorus* could enhance its competitiveness and avoid damages caused by competitive stresses.

Key words: *Cenchrus pauciflorus*; competition; soil enzyme activity; rhizosphere and non-rhizosphere soils