

# 模拟氮沉降对鬼针草及其近缘本地植物的影响

韦春强<sup>1</sup>, 李象钦<sup>1,2</sup>, 唐赛春<sup>1\*</sup>, 潘玉梅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006; <sup>2</sup>台州学院, 浙江省植物进化生态学与保护重点实验室, 浙江 台州 318000

**摘要:**【目的】理解氮素增加对入侵植物与近缘共存本地植物生长和竞争的影响, 可为预测全球氮沉降背景下入侵植物的风险评价和本地植物的保护提供依据。【方法】为模拟氮沉降, 设置对照(无氮添加)、低氮( $1\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )和高氮( $5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )添加3种处理, 将入侵植物鬼针草及其近缘共存的本地植物金盏银盘分别单种和混种, 比较它们在各处理下的生长(株高、分枝数和生物量等)和竞争[相对优势度指数(RDI)与相对互动强度指数(RII)]情况。【结果】无论有无竞争, 高氮添加均显著增加鬼针草的生物量, 降低其根冠比; 无竞争时, 高氮添加还显著增加其株高和分枝数。但高氮添加仅显著增加金盏银盘无竞争时的生物量。在所有氮处理下, 鬼针草的RDI和RII均显著大于金盏银盘。高氮添加显著增加鬼针草的RDI, 但其RII在所有氮处理间无显著差异; 高氮添加显著降低金盏银盘的RDI和RII。【结论】高氮更利于鬼针草的生长, 其在所有氮素处理下均有较强的竞争力和竞争耐受性, 且高氮处理下竞争力更强。因此, 全球氮沉降增加会加剧鬼针草对近缘本地植物的竞争抑制和入侵风险。

**关键词:** 氮沉降; 鬼针草; 近缘本地植物; 生长; 竞争



开放科学标识码  
(OSID)

## Simulated nitrogen deposition exacerbates the effects of invasive species *Bidens pilosa* and its native congener

WEI Chunqiang<sup>1</sup>, LI Xiangqin<sup>1,2</sup>, TANG Saichun<sup>1\*</sup>, PAN Yumei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin, Guangxi 541006, China; <sup>2</sup>Zhejiang Provincial Key Laboratory of Plant Evolutionary Ecology and Conservation, Taizhou University, Taizhou, Zhejiang 318000, China

**Abstract:**【Aim】Several studies have shown that alien invasive plants have serious negative impacts on biodiversity, especially on native species that compete for similar resources. Global nitrogen (N) deposition can increase soil N availability, which may favor fast-growing invasive plants. However, whether invasive plants are superior to their native congeners, and whether the competitive relationship between them will be altered with increased N deposition remain unclear. Understanding these questions will help to predict alien plant invasion risks and protect native biodiversity under N deposition.【Method】We conducted a greenhouse experiment, in which invasive species *Bidens pilosa* and its native congener *B. biternata* were grown alone and together under three N addition treatments (CK;  $0\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , low N addition;  $1\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  and high N addition;  $5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ). We compared the growth (plant height, branch number, root/shoot ratio and biomass) and competition [relative dominance index (RDI) and relative interaction index (RII)] parameters of the invasive species and its native congener.【Result】High level N addition significantly increased the biomass and decreased the root/shoot ratio of invasive *B. pilosa* regardless of whether it was grown alone or grown together with *B. biternata*, and also enhanced the plant height and branch number of *B. pilosa* when grown alone. But high level N addition only enhanced the biomass of native *B. biternata* when grown alone. The RDI and RII of *B. pilosa* were greater than that of *B. biternata*.

收稿日期(Received): 2021-11-23 接受日期(Accepted): 2022-04-27

基金项目: 国家自然科学基金(31460165, 31960282); 广西自然科学基金(2018GXNSFAA281112); 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室项目(19-050-6, 19-185-7); 广西植物研究所基本业务费(201806)

作者简介: 韦春强, 助理研究员。研究方向: 入侵植物生物学。E-mail: weichun007@163.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 唐赛春, E-mail: tangs@gxib.cn

nata under all N treatments. Furthermore, high level N addition significantly increased the RDI of *B. pilosa* whereas reduced the RDI and RII of the native congener. The RII of *B. pilosa* did not significantly differ among N treatments.【Conclusion】 High level N is more favorable for the growth of *B. pilosa* than for that of *B. biternata*. The invasive species exhibit stronger competitive ability and more tolerance than its native congener under all N treatments, and the competitive ability was magnified under high N level. Global N deposition may exacerbate the competition inhibition of *B. pilosa* over its native congener and hence increase its invasion risk.

**Key words:** nitrogen deposition; *Bidens pilosa*; native congener; growth; competition

外来入侵植物在引入地建立种群,竞争、排挤本地植物,减少本地物种多样性,改变生态系统的结构和功能(Cordero *et al.*, 2016; Vilà *et al.*, 2011),对当地生态系统造成严重影响。研究表明,与近缘的本地植物相比,入侵植物常表现出较快的相对生长速率、较高的生物量、较强的竞争力和资源利用效率(Ni *et al.*, 2018; Yu & He, 2021; Zheng *et al.*, 2009)。由于与近缘本地植物资源需求相似,外来入侵植物一旦建立种群,会对近缘本地植物产生较大的威胁(Balestri *et al.*, 2018)。比较系统发育或生态学上相似、分布区相同的入侵植物和非入侵植物差异,是探讨外来植物入侵性的重要方法(王坤等, 2009; Matzek, 2011; McDowell, 2002)。由于入侵物种与近缘物种具有相同的进化史,二者常表现出相近的生物学特征以及相似的资源需求(Yanneli *et al.*, 2017)。当外来物种入侵到其近缘本地植物分布的生境中时二者易产生竞争,但在生境中可利用资源增加将如何影响入侵植物和近缘本地植物的生长和竞争关系目前仍不明确。

生物入侵作为全球变化的一部分,自身也受到全球变化其他因子如氮沉降增加等的影响(He *et al.*, 2012)。人类活动引起的氮沉降使土壤中的氮养分增加(Gilliam, 2006),氮养分增加对不同入侵植物和本地植物有着不同程度的影响。比较生境中氮养分的增加对入侵植物及其近缘本地植物生长和竞争的影响,不仅有助于预测全球氮沉降下外来植物的入侵风险,还可为采取措施保护本地植物提供科学依据。多数研究表明,低氮利于本地植物的竞争,增加氮养分利于入侵植物的竞争(He *et al.*, 2012; Pan *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2019)。但也有研究发现,增加氮养分对入侵植物双雄雀麦 *Bromus diandrus* Roth. 与本地植物紫羊茅 *Festuca rubra* L. 的竞争没有影响(Abraham *et al.*, 2009),甚至能够减缓入侵植物刺槐 *Robinia pseudoacacia* L. 对本地植物麻栎 *Quercus acutissima* Carr. 的竞争(Luo *et al.*, 2014)。可见,氮养分增加对不同入侵植物生长和

竞争的影响不同,这可能与所选目标植物有关。因此,需要针对具体物种开展研究,特别是对资源需求相似的入侵植物和本地植物的比较,以明确氮沉降对某种入侵植物入侵能力的影响。

鬼针草 *Bidens pilosa* L. 隶属菊科 Compositae 鬼针草属 *Bidens*, 原产美洲,归化于热带亚热带地区,在我国辽宁、北京、湖北、四川、广西等 27 个省区有分布,常发生于路边、耕地和弃耕地等(马金双, 2013)。该入侵植物种子萌发率高(洪岚等, 2004)、繁殖能力较强(郝建华等, 2009)、对本地植物化感抑制作用强(王瑞龙等, 2011),并且对光照和水分变化具有较高的表型可塑性(Pan *et al.*, 2017),对极端降雨引起的短暂涝害也具有很强的适应性(Yue *et al.*, 2019)。这些资料表明鬼针草具有较强的入侵性。金盏银盘 *Bidens biternata* (Lour.) Merr. et Sherff 与鬼针草同属,产于亚洲、非洲(马金双, 2013),是一种本地杂草(Dakshini & Singh, 1984; Lin *et al.*, 2003)。该植物在低养分下与鬼针草的株高、生物量等相似(刘明超等, 2012),在 20~30 °C 时,种子萌发率可达 90% 以上(韦春强等, 2013)。鬼针草与金盏银盘生境相似,近年来野外观察发现,金盏银盘虽为杂草,但种群数量在减少。

本试验分别对鬼针草和金盏银盘进行单种和混种,模拟氮沉降,设置不同的氮养分处理,验证以下 2 个假设:(1)氮养分的增加促进鬼针草和金盏银盘的生长,但更有利于鬼针草的生长;(2)较低的氮养分下金盏银盘竞争力强,而高的氮养分下鬼针草竞争力强,氮养分增加提高了鬼针草对金盏银盘的竞争能力。本研究旨在明确全球变化之氮沉降对鬼针草入侵能力的影响,为控制鬼针草和保护本地植物提供科学依据。

## 1 试验材料

### 1.1 植物材料和试验地

入侵植物鬼针草和近缘本地植物金盏银盘的种子于 2015 年 10 月采自广西桂林地区。试验在

广西植物研究所塑料大棚内进行,地点位于广西桂林市雁山区(25°4′35″N, 110°18′20″E, 海拔160 m),属中亚热带季风气候。

## 1.2 试验方法

2016年6月5日,鬼针草和金盏银盘种子分别播种于5个花盆内,30 d后,选择各植株大小较一致的幼苗移栽到内径23 cm、深18 cm的塑料花盆中。盆栽用土壤为次生林表土,其全氮和全磷含量分别为(1.76±0.09)和(0.86±0.01) g·kg<sup>-1</sup>,有效氮和有效磷含量分别为(190.33±32.52)和(5.97±0.23) mg·kg<sup>-1</sup>。分别设置鬼针草和金盏银盘单种和混种2种植方式。单种为每盆1株植物,混种为每盆2株植物(1株鬼针草和1株金盏银盘)。约生长2周后,各植株均已长出新根,开始进行实验处理。

模拟氮沉降参照 He *et al.* (2012)的方法,设置对照(CK)、低氮沉降(N1, 1 g·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)和高氮沉降(N5, 5 g·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>)处理,以NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>溶解于纯净水中进行添加。低氮和高氮处理中,每盆分别添加0.13和0.65 g的NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>。分2次施肥,间隔时间约为2周。每个种每处理7个重复,则单种为2个物种×3个N处理×7个重复=42盆,混种为1对物种×3个N处理×7个重复=21盆,共计63盆。试验处理过程中,每天浇水,以保证其正常生长。

8月30日,在鬼针草和金盏银盘生长旺盛期(少数植株出现花蕾),测量各植物的株高和分枝数。随后,分根、茎、叶收获,分装标记后置于80℃下烘干至恒质量,测定根、茎和叶干质量(g)。计算总生物量=根干质量+茎干质量+叶干质量,根冠比=根干质量/地上生物量总质量。混种中鬼针草和金盏银盘的竞争力用相对优势度指数(relative dominance index, RDI)表示,受到的竞争抑制或竞争耐受性用相对互作强度指数(relative interaction index, RII)表示。RDI的计算方法参照 Myers & Bazely (2003), RII的计算方法参照 Armas *et al.* (2004):

$$RDI = (B_p \text{ 或 } B_b) / (B_p + B_b) \times 100\%$$

式中, $B_p$ 为混种中鬼针草的生物量, $B_b$ 为混种中金盏银盘的生物量。 $0 < RDI < 1$ , RDI值越大,竞争力越强(Zhang *et al.*, 2017)。

$$RII = (B_w - B_0) / (B_w + B_0)$$

式中, $B_w$ 为鬼针草或金盏银盘混种时的生物量, $B_0$ 为鬼针草或金盏银盘单种时7个重复的生物量的平均值。 $-1 < RII < 1$ , RII为负值时,值越小则受到的竞争抑制作用越大; RII为正值时,值越大表示越能耐竞争(Gruntman *et al.*, 2014)。

## 1.3 数据统计分析

所有统计和方差分析采用 SPSS 18.0 统计软件进行。鬼针草或金盏银盘生长(株高、分枝数、根冠比和生物量)和竞争参数(RDI和RII)在不同氮养分间的差异采用单因素方差分析(one-way ANOVA),同一氮养分下鬼针草或金盏银盘生长参数在有竞争和无竞争间的差异以及2个物种间竞争参数的差异采用独立样本 $t$ 检验分析。氮养分和竞争对鬼针草或金盏银盘生长的影响以及物种来源与氮养分对竞争的影响采用两因素方差分析(two-way ANOVA)。差异显著性水平为0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮添加对鬼针草生长的影响

Two-way ANOVA分析表明,氮添加对鬼针草的分枝数( $F = 5.39, 0.001 < p < 0.01$ )、根冠比( $F = 8.99, p < 0.001$ )和生物量( $F = 54.03, p < 0.001$ )有显著影响,竞争对其分枝数( $F = 8.81, 0.001 < p < 0.01$ )也有显著影响;氮添加的影响作用大于竞争的影响作用(除对分枝数的影响外)。

与对照相比,无竞争时,高氮添加下鬼针草的株高和分枝数均显著增加,分别为36.98%和51.11%;有竞争时,氮添加对鬼针草的株高和分枝数无显著影响(图1A、B)。无论有无竞争,高氮添加时鬼针草的根冠比显著降低(无竞争时降低24.26%,有竞争时降低42.09%)(图1C)。低氮和高氮添加均显著增加鬼针草的生物量,在无竞争时分别增加30.37%和80.73%,在有竞争时分别增加22.46%和71.00%(图1D)。

有竞争和无竞争相比较,除了对照中鬼针草分枝数在有竞争时显著低于无竞争时和根冠比在有竞争时显著高于无竞争时外(图1B、C),所有氮养分下鬼针草的所有参数均表现为有竞争和无竞争之间差异不显著(图1A、B、C、D)。

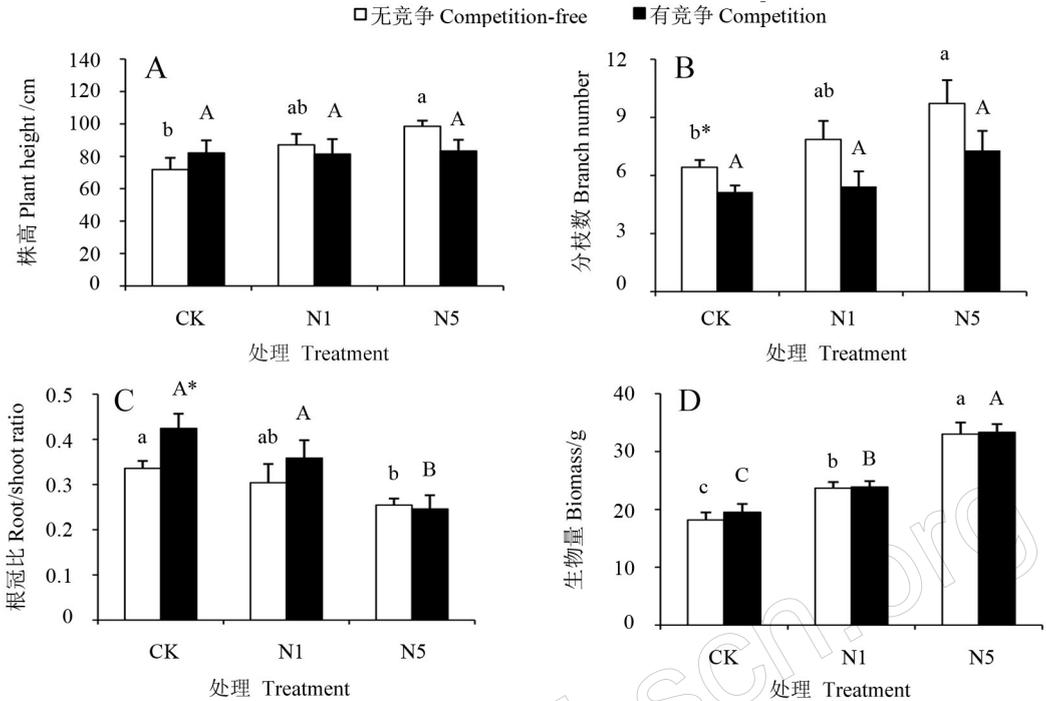


图 1 不同氮处理下鬼针草的生长

Fig.1 Growth characteristics of *B. pilosa* under different N nutrient treatments

图中数据为平均值±标准误; \* 表示同一 N 处理下无竞争和有竞争间差异显著,不同小写字母表示无竞争间差异显著,不同大写字母表示有竞争间差异显著,  $p < 0.05$ 。

Data are means±SE. \* denotes significant differences between with and without competition under the same N treatment, while different small letters indicate significant differences among without competition and different capital letters indicate significant differences among with competition under N treatments.  $p < 0.05$ .

## 2.2 氮添加对金盏银盘生长的影响

Two-way ANOVA 分析表明,竞争对金盏银盘的株高 ( $F = 7.23, 0.01 < p < 0.05$ )、分枝数 ( $F = 95.92, p < 0.001$ )和生物量 ( $F = 106.75, p < 0.001$ )有显著影响,氮添加对生物量 ( $F = 4.61, 0.01 < p < 0.05$ )以及氮添加与竞争交互作用对其生物量 ( $F = 7.03, 0.001 < p < 0.01$ )也有显著影响;并且竞争的影响作用大于氮添加的影响作用。

与对照相比,无论有无竞争,氮添加对金盏银盘的株高无显著影响(图 2A)。无竞争时,氮添加对金盏银盘的分枝数也无显著影响,但有竞争时,金盏银盘的分枝数在高氮下显著下降(约降低 68.75%)(图 2B)。无论有无竞争,氮添加对金盏银盘的根冠比影响不显著(图 2C)。无竞争时,低氮和高氮添加增加生物量分别为 20.78%和 60.84%,并且高氮显著高于低氮和对照(图 2D)。有竞争时,低氮下生物量增加 12.99%,高氮下生物量反而下降 12.25%(图 2D)。

有无竞争相比,金盏银盘株高仅在低氮下表现为有竞争时显著低于无竞争(图 2A);分枝数和生物量在所有氮养分下均表现为有竞争者时显著低于无竞争时(图 2B、D);所有氮养分下的根冠比均为有竞争和无竞争间差异不显著(图 2C)。

## 2.3 氮添加对鬼针草与金盏银盘的竞争的影响

Two-way ANOVA 分析表明,物种来源及其与氮的交互作用显著影响 RDI ( $F = 552.17, p < 0.001$ ),物种来源、氮及它们的交互作用对 RII ( $F$  分别为 143.89、4.82、3.56,显著性差异分别为  $0.001 < p < 0.01, 0.01 < p < 0.05, 0.01 < p < 0.05$ )有显著影响,而且物种来源的影响作用大于氮的影响作用。

鬼针草的 RDI 和 RII 在所有氮水平下均显著大于金盏银盘(图 3A、B)。鬼针草的 RDI 在高氮下显著高于低氮和对照,而金盏银盘的 RDI 在高氮下显著低于低氮和对照(图 3A)。鬼针草的 RII 在所有氮水平间差异不显著,但金盏银盘的 RII 在高氮下显著小于低氮和对照(图 3B)。

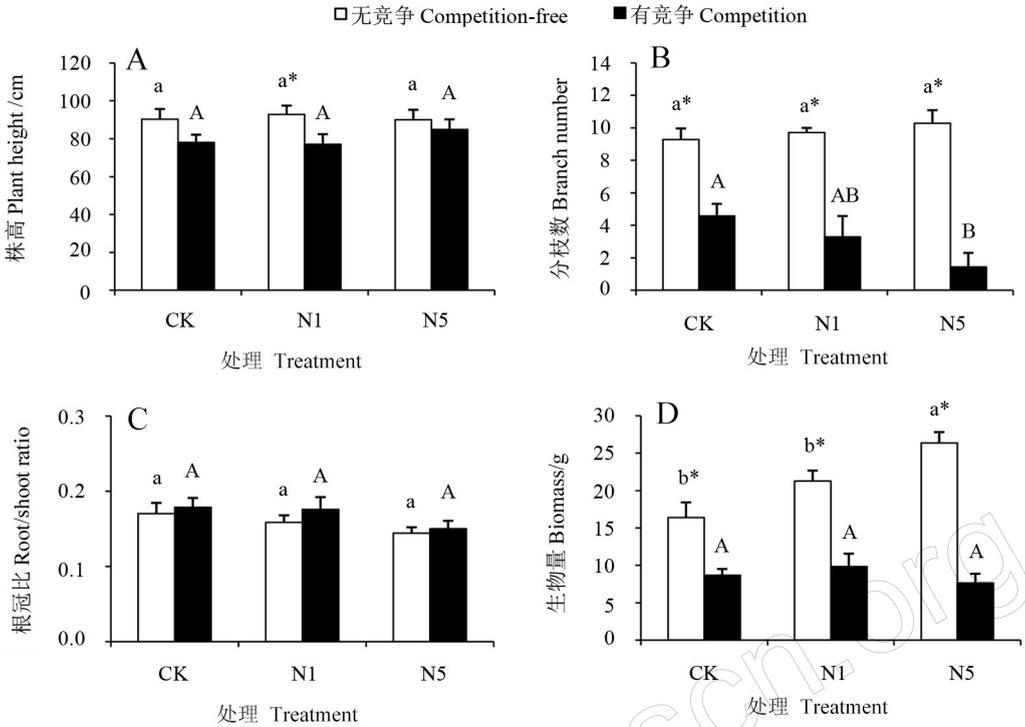


图 2 不同氮处理下金盏银盘的生长

Fig.2 Growth characteristics of *B. biternata* under different N nutrient treatments

图中数据为平均值±标准误；\*表示同一N处理下无竞争和有竞争间差异显著，不同小写字母表示无竞争间差异显著，不同大写字母表示有竞争间差异显著， $p < 0.05$ 。

Data are means±SE. \* denotes significant differences between with and without competition under the same N treatment, while different small letters indicate significant differences among without competition and different capital letters indicate significant differences among with competition under N treatments.  $p < 0.05$ .

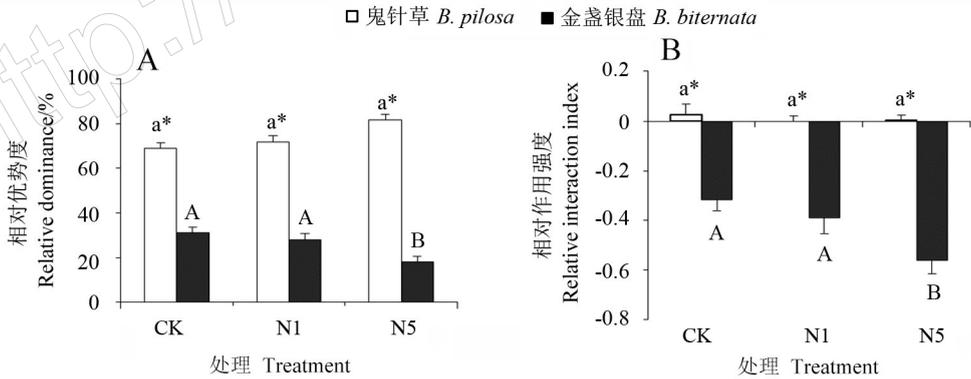


图 3 不同氮处理下鬼针草与金盏银盘的相对优势度和相对作用强度

Fig.3 The relative dominance index (RDI) and relative interaction index (RII) of *B. pilosa* and *B. biternata* under different N treatments

平均值±标准误。\*表示同一N处理下鬼针草和金盏银盘间差异显著，不同小写字母表示鬼针草在不同N处理间差异显著，不同大写字母表示金盏银盘在不同N处理间差异显著， $p < 0.05$ 。

Data are mean±SE. \* denotes significant differences between *B. pilosa* and *B. biternata* under the same N treatment, while different small letters indicate significant differences for *B. pilosa* and different capital letters indicate significant differences for *B. biternata* under N treatments.  $p < 0.05$ .

### 3 讨论与结论

#### 3.1 氮添加对鬼针草和金盏银盘生长的影响

本研究发现，在单种时（即无竞争时），高氮显著增加鬼针草的株高、分枝数和生物量，并显著降

低其根冠比；但高氮下金盏银盘仅生物量显著增加。这些结果符合本文的第一个假设，即高氮更有利于入侵植物鬼针草的生长。

形态、生长和生物量分配等特征对鬼针草属入侵种的入侵性比光合特征更为重要（潘玉梅等，

2017)。高氮添加增加鬼针草的株高和分枝数,这一结果与高氮下入侵植物飞机草 *Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Robinson 和紫茎泽兰 *Ageratina Adenophora* (Sprengel) R. M. King & H. Robinson 株高和分枝数显著增加的研究结果(王满莲和冯玉龙,2005)相似。更大的株高和更多的分枝数使入侵植物占据更多的空间,捕获更多的光资源,还可遮阴相邻植物,抑制其生长(Gupta & Narayan,2012; Wan *et al.*,2019)。

在对照中(无氮添加),鬼针草的根冠比在竞争条件下显著高于无竞争条件下,分枝数则相反。这表明,当生境中养分较少时,植物对地下资源的竞争较强,增加根冠比可提高对地下资源的竞争力(Liao *et al.*,2013)。在高氮下,鬼针草的根冠比显著降低。王满莲和冯玉龙(2005)也发现,飞机草和紫茎泽兰在低养分下根冠比较高,高养分下根冠比显著降低。当养分增加时,竞争由地下竞争转变为地上竞争,植物将资源更多地分配到地上光合器官茎和叶,以捕获更多的光资源,积累更多的生物量。另外,在高养分下,降低根冠比还可在不影响根吸收资源的情况下减少根呼吸对碳的损耗而增加生物量的积累(Feng *et al.*,2007; Zheng *et al.*,2009)。

氮沉降能够不同程度地提高入侵植物和本地植物的生长(He *et al.*,2012)。模拟氮沉降增加的一些研究也表明,土壤氮养分增加更利于入侵植物的快速生长,例如,低氮和高氮沉降提高入侵植物矢车菊 *Centaurea stoebe* L.的生物量分别为 72% 和 168%,提高本地植物的生物量分别为 56% 和 122%(He *et al.*,2012)。本研究中,无竞争时,低氮和高氮添加下鬼针草的生物量分别增加 30.37% 和 80.73%,金盏银盘的生物量分别增加 20.78% 和 60.84%;有竞争时,低氮和高氮添加下鬼针草的生物量分别增加 22.46% 和 71%;金盏银盘的生物量在低氮添加时增加 12.99%,高氮添加时其生物量下降 12.25%。这表明,入侵植物具有更高的氮利用效率(Yu & He,2021)。无论有无竞争,氮养分的添加均更有利于鬼针草的生长。Huang *et al.* (2018)对包括鬼针草在内的 6 种入侵植物和本地植物的研究也表明,无论有无竞争,养分添加均促使入侵植物生物量增加。这可能与入侵植物具有较高的表型可塑性,使其在生境中可利用资源增加时能够最大化地提高适合度相关(Dawson *et al.*,

2012; van Kleunen *et al.*,2010)。其他研究也发现,氮沉降增加更有利于入侵植物大狼把草 *Bidens frondosa* L.、加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* L. 的生长(Pan *et al.*,2016; Wan *et al.*,2019)。对于本地植物金盏银盘而言,作为一种本地杂草,高氮也显著增加其在单种时的生物量,但增量仍小于入侵植物鬼针草,且高氮下生物量增加仅在无竞争时发生。

### 3.2 氮增加对鬼针草和金盏银盘竞争的影响

本文用 RDI 和 RII 分别代表目标植物的竞争力和受到的竞争抑制或竞争耐受性,RDI 值越大表示植物竞争力越大(Zhang *et al.*,2017),RII 值越小表示植物受到的竞争抑制越大或值越大植物越能耐受竞争(Gruntman *et al.*,2014)。本研究发现在所有氮处理下,鬼针草的 RDI 和 RII 均显著大于金盏银盘的 RDI 和 RII。高氮添加显著增加鬼针草的 RDI,但其 RII 在所有氮处理间无显著差异,且 RII 数值接近 0。高氮添加显著降低金盏银盘的 RDI 和 RII。这些结果说明鬼针草的竞争力和竞争耐受性在所有氮处理下均高于金盏银盘,而且,高氮养分更利于鬼针草的竞争。反之,在所有氮处理下,金盏银盘的竞争力和竞争耐受性都低于鬼针草,高氮下受到的竞争抑制更大。这些结果部分支持本文的第二个假设。

一般来说,植物竞争的动态取决于生境中可利用的资源(He *et al.*,2012; Liu *et al.*,2018)。入侵植物豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L.的竞争力在低氮下小于本地植物黄花蒿 *Artemisia annua* 和蒙古蒿 *Artemisia mongolica* (Fisch. ex Bess.) Nakai,但在高氮下大于这 2 个本地植物(王晋萍等,2012)。氮的增加也能改变竞争力较弱的入侵植物粗毛牛膝菊 *Galinsoga quadriradiata* Ruiz et Pav.与本地植物苦苣菜 *Sonchus oleraceus* L.和狗娃花 *Heteropappus hispidus* (Thunb.) Less.的竞争关系,促进其入侵(Liu *et al.*,2018)。本研究中,所有氮处理下,鬼针草均具有很强的竞争力和竞争耐受性,特别是高氮下竞争力更强。一旦被引入到同属本地植物占优势的群落中,更可能竞争抑制同属本地植物。Zhang *et al.* (2017)也发现,在所有氮水平下喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.均具有较大的 RDI,且 RDI 随氮水平的升高而增加,养分增加会加剧喜旱莲子草入侵的负面影响。

本文表明,鬼针草在所有氮养分条件下均有很强的竞争力和竞争耐受性,即使没有氮的添加,仍能抑制本地植物金盏银盘而自身却不受金盏银盘的抑制;在高氮添加下生物量显著提高,RDI也显著高于低氮条件下,说明其在高氮下生长和竞争力更强。当鬼针草入侵到近缘本地种金盏银盘生长的生境中时,易形成更加旺盛生长的鬼针草单优势群落。Vasilyeva & Papchenkov (2011)发现,同属入侵植物大狼把草不但可通过杂交影响本地植物狼把草 *Bidens tripartita* L.,还能通过竞争排斥狼把草,在其入侵的区域,狼把草开始消失。可见,由于近缘植物对资源的需求相似,氮沉降增加会加剧鬼针草对金盏银盘的竞争排斥,导致金盏银盘种群数量的减少甚至消失,从而加剧鬼针草的入侵风险。

### 参考文献

- 郝建华,刘倩倩,强胜,2009. 菊科入侵植物鬼针草的繁殖特征及其与入侵性的关系. 植物学报, 44(6): 656-665.
- 洪岚,沈浩,杨期和,曹洪麟,叶万辉,2004. 外来入侵植物种子萌发与贮藏特性研究. 武汉植物学研究, 22(5): 433-437.
- 刘明超,韦春强,唐赛春,潘玉梅,2012. 不同土壤养分水平下2种外来鬼针草和近缘本地种的比较研究. 生物安全学报, 21(1): 32-40.
- 马金双,2013. 中国入侵植物名录. 北京: 中国高等教育出版社.
- 潘玉梅,唐赛春,韦春强,李象钦,2017. 不同光照和水分条件下鬼针草属入侵种与本地种生长、光合特征及表型可塑性的比较. 生物多样性, 25(12): 1257-1267.
- 王晋萍,董丽佳,桑卫国,2012. 不同氮素水平下入侵种豚草与本地种黄花蒿、蒙古蒿的竞争关系. 生物多样性, 20(1): 3-11.
- 王坤,杨继,陈家宽,2009. 近缘种比较研究在植物生态学中的应用. 生物多样性, 17(4): 353-361.
- 王满莲,冯玉龙,2005. 紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应. 植物生态学报, 29(5): 697-705.
- 王瑞龙,韩萌,梁笑婷,宋圆圆,苏娟娟,曾任森,2011. 鬼针草生物量分配与化感作用对大气温度升高的响应. 生态环境, 20(6/7): 1026-1030.
- 韦春强,潘玉梅,唐赛春,林春华,刘明超,2013. 不同光照和温度下白花鬼针草和金盏银盘种子萌发研究. 杂草科学, 31(4): 1-4.
- ABRAHAM J K, CORBIN J D, D'ANTONIO C M, 2009. California native and exotic perennial grasses differ in their response to soil nitrogen, exotic annual grass density, and order of emergence. *Herbaceous Plant Ecology*, 201(2): 445-456.
- ARMAS C, ORDIALES R, PUGNAIRE F I, 2004. Measuring plant interactions: a new comparative index. *Ecology*, 85(10): 2682-2686.
- BALESTRI E, VALLERINI F, MENICAGLI V, BARNABA S, LARDICCI C, 2018. Biotic resistance and vegetative propagule pressure co-regulate the invasion success of a marine clonal macrophyte. *Scientific Reports*, 8(1): 16621.
- CORDERO L, TORCHELSEN R, OVERBECK F P, ANAND M, 2016. Invasive gorse (*Ulex europaeus*, Fabaceae) changes plant community structure in subtropical forest-grassland mosaics of Southern Brazil. *Biological Invasions*, 18(6): 1629-1643.
- DAKSHINI K M M, SINGH P P, 1984. Taxonomy of *Bidens* section *Psilocarpaea* (Asteraceae-Heliantheae-Coreopsidinae) in India. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Plant Science)*, 93(2): 165-177.
- DAWSON W, ROHR R P, VAN KLEUNEN M, FISCHER M, 2012. Alien plant species with a wider global distribution are better able to capitalize on increased resource availability. *New Phytologist*, 194(3): 859-867.
- FENG Y L, WANG J F, SANG W G, 2007. Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels. *Acta Oecologica*, 31(1): 40-47.
- GILLIAM F S, 2006. Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition. *Journal of Ecology*, 94(6): 1176-1191.
- GRUNTMAN M, PEHL A K, JOSHI S, TIELBÖRGER K, 2014. Competitive dominance of the invasive plant *Impatiens glandulifera*: using competitive effect and response with a vigorous neighbour. *Biological Invasions*, 16(1): 141-151.
- GUPTA S, NARAYAN R, 2012. Phenotypic plasticity of *Cenopodium murale* across contrasting habitat conditions in peri-urban areas in Indian dry tropics: is it indicative of its invasiveness? *Plant Ecology*, 213(3): 493-503.
- HE W M, MONTESINOS D, THELEN G C, CALLAWAY R M, 2012. Growth and competitive effects of *Centaurea stoebe* populations in response to simulated nitrogen deposition. *PLoS ONE*, 7(4): e36257.
- HUANG Q Q, FAN Z W, LI X X, WANG Y, LIU Y, SHEN D, 2018. Effects of nutrient addition and clipping on biomass production of invasive and native annual Asteraceae plants. *Weed Research*, 58(4): 318-326.
- LIAO Z Y, ZHANG R, BARCLAY G F, FENG Y L, 2013.

- Differences in competitive ability between plants from non-native and native populations of a tropical invader relates to adaptive responses in abiotic and biotic environments. *PLoS ONE*, 8(8): e71767.
- LIN D Z, TSUZUKI E, SUGIMOTO Y, DONG Y J, MATSUO M, TERAO H, 2003. Assessment of dwarf lilyturf (*Ophiopogon japonicus* K.) dried powders for weed control in transplanted rice. *Crop Protection*, 22(2): 431–435.
- LIU G, YANG Y B, ZHU Z H, 2018. Elevated nitrogen allows the weak invasive plant *Galinsoga quadriradiata* to become more vigorous with respect to interspecific competition. *Scientific Reports*, 8(1): 3136.
- LUO Y J, GUO W H, YUAN Y F, LIU J, DU N, WANG R Q, 2014. Increased nitrogen deposition alleviated the competitive effects of the introduced invasive plant *Robinia pseudoacacia* on the native tree *Quercus acutissima*. *Plant and Soil*, 385(1/2): 63–75.
- MATZEK V, 2011. Superior performance and nutrient-use efficiency of invasive plants over non-invasive congeners in a resource-limited environment. *Biological Invasions*, 13(12): 3005–3014.
- MCDOWELL S C L, 2002. Photosynthetic characteristics of invasive and noninvasive species of *Rubus* (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 89(9): 1431–1438.
- MYERS J H, BAZELY R, 2003. *Appendix-some tools for studying plant populations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NI M, LIU Y, CHU C J, 2018. Fast seedling root growth leads to competitive superiority of invasive plants. *Biological Invasions*, 20(7): 1821–1832.
- PAN Y M, TANG S C, WEI C Q, LI X Q, 2016. Effects of global risks-nitrogen additions on growth and competitive relations among invasive and native congeneric species—*Bidens frondosa*. *Polish Journal of Ecology*, 64(4): 443–452.
- PAN Y M, TANG S C, WEI C Q, LI X Q, 2017. Growth and photosynthetic responses of invasive *Bidens frondosa* to light and water availability: a comparison with invasive and native congeners. *Weed Biology Management*, 17(1): 36–44.
- VAN KLEUNEN M, WEBER E, FISCHER M, 2010. A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters*, 13(2): 235–245.
- VASILYEVA N V, PAPCHENKOV V G, 2011. Mechanisms of influence of invasive *Bidens frondosa* L. on indigenous *Bidens* species. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2(2/3): 81–85.
- VILÀ M, ESPINAR J L, HEJDA M, HULME P E, JAROŠÍK V, MARON J L, PERGL J, SCHAFFNER U, SUN Y, PYŠEK P, 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 14(7): 702–708.
- WAN L Y, QI S S, ZOU C B, DAI Z C, REN G Q, CHEN Q, ZHU B, DU D L, 2019. Elevated nitrogen deposition may advance invasive weed, *Solidago canadensis*, in calcareous soils. *Journal of Plant Ecology*, 12(5): 846–856.
- YANNELLI F A, KOCH C, JESCHKE J M, KOLLMANN J, 2017. Limiting similarity and Darwin's naturalization hypothesis: understanding the drivers of biotic resistance against invasive plant species. *Oecologia*, 183(3): 775–784.
- YU H W, HE W M, 2021. Congeneric invasive versus native plants utilize similar inorganic nitrogen forms but have disparate use efficiencies. *Journal of Plant Ecology*, 14(2): 180–190.
- YUE M F, SHEN H, LI W H, CHEN J F, YE W H, TIAN X S, YIN A G, CHENG S M, 2019. Waterlogging tolerance of *Bidens pilosa* translates to increased competitiveness compared to native *Bidens biternata*. *Plant and Soil*, 437(1/2): 301–311.
- ZHANG H J, CHANG R Y, GUO X, LIANG X Q, WANG R Q, LIU J, 2017. Shifts in growth and competitive dominance of the invasive plant *Alternanthera philoxeroides* under different nitrogen and phosphorus supply. *Environmental and Experimental Botany*, 135: 118–125.
- ZHENG Y L, FENG Y L, LIU W X, LIAO Z Y, 2009. Growth, biomass allocation, morphology, and photosynthesis of invasive *Eupatorium adenophorum* and its native congeners grown at four irradiances. *Plant Ecology*, 203(2): 263–271.

(责任编辑:郭莹)