

引用格式:

王森森, 乔国兰, 刘蕾, 陈桂华. 美洲商陆和拉巴豆在不同氮磷肥组合下的竞争效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(6): 706–711.

WANG S S, QIAO G L, LIU L, CHEN G H. Competitive effects between *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* under different nitrogen and phosphorus fertilization combinations[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(6): 706–711.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



美洲商陆和拉巴豆在不同氮磷肥组合下的竞争效应

王森森, 乔国兰, 刘蕾, 陈桂华*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 以美洲商陆(*Phytolacca americana*)和拉巴豆(*Dolichos lablab*)为试验材料, 通过室外盆栽试验, 研究它们在不同氮磷施肥组合(低氮、高氮、低磷、高磷、低氮低磷、低氮高磷、高氮低磷、高氮高磷)下的竞争效应。结果表明: 拉巴豆单种及与美洲商陆混种中, 施磷肥和混合施肥均显著提高拉巴豆叶的生物量和总生物量; 美洲商陆单种及与拉巴豆混种中, 高氮和高氮高磷处理均显著提高美洲商陆的株高、根生物量和总生物量; 单种时, 高氮高磷肥力处理下美洲商陆叶磷含量、根氮含量和根磷含量显著高于对照; 混种时, 在高氮高磷肥力处理下美洲商陆叶磷含量、根氮含量和根磷含量显著低于对照; 拉巴豆单种及与美洲商陆混种时, 拉巴豆叶氮含量、根氮含量均在高氮高磷肥力处理下达到最高, 叶氮含量分别为 67.17、66.62, 根氮含量分别为 62.07、66.31 mg/g; 美洲商陆与拉巴豆混种时, 在所有施肥处理下美洲商陆的相对产量均小于 1.0, 说明拉巴豆对美洲商陆有明显的种间竞争抑制作用。

关键词: 美洲商陆; 拉巴豆; 氮磷组合; 养分; 植物竞争

中图分类号: S451; S542

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)06-0706-06

Competitive effects between *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* under different nitrogen and phosphorus fertilization combinations

WANG Sensen, QIAO Guolan, LIU Lei, CHEN Guihua*

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In this study, we performed outdoor pot experiments by use of *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* treated by a batch of combinations of nitrogen and phosphorus fertilization to study their competitive effects. The applied combination eight sets were low nitrogen, high nitrogen, low phosphorus, high phosphorus, low nitrogen and low phosphorus, low nitrogen and high phosphorus, high nitrogen and low phosphorus, high nitrogen and high phosphorus. The results showed that in single species of *D. lablab* and the mixed species with *P. americana*, phosphorus fertilizer and mixed fertilizer significantly increased the biomass and total biomass accumulation of *D. lablab* leaves. The plant height, root biomass and total biomass of *P. americana* were significantly increased by high nitrogen and high phosphorus treatments in both single species and mixed species of *P. americana*. Under the condition of high nitrogen and high phosphorus fertility, the phosphorus content in leaves, roots and roots of *P. americana* was significantly higher than that of the control. High nitrogen and phosphorus fertility treatment resulted that the phosphorus content in leaves, root nitrogen and root phosphorus of *P. americana* were significantly lower than those of the control. The leaf nitrogen content and root nitrogen content of *D. lablab* were the highest under the high nitrogen and phosphorus fertility treatment when it was

收稿日期: 2022-04-07

修回日期: 2022-11-16

基金项目: 农业农村部物种资源保护项目(131821301354051003)

作者简介: 王森森(1995—), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事饲草学研究, 3035651945@qq.com; *通信作者, 陈桂华, 博士, 副教授, 主要从事草地资源生态工程研究, 158531879@qq.com

single species or mixed with *P.americana*. The leaf nitrogen content was 67.17, 66.62, and the root nitrogen content was 62.07, 66.31 mg/g, respectively. With mixing with *D. lablab*, the relative yield of *Phytolacca americana* was less than 1.0 under all fertilization treatments, and *D. lablab* had obvious inhibition on interspecific competition of *Phytolacca americana*.

Keywords: *Phytolacca americana*; *Dolichos lablab*; combinations of nitrogen and phosphorus fertilization; nutrient; plant competition

外来入侵生物对自然生态系统结构具有一定的破坏性,对当地生物多样性也会造成一定威胁。美洲商陆(*Phytolacca americana*)是一种多年生草本植物,其种子经动物传播,在全国范围迅速蔓延,对当地作物有化感作用^[1],使入侵地生态和经济受到威胁^[2]。国家林业和草原局已于 2009 年将美洲商陆列为入侵植物^[3]。

外来入侵植物的综合控制方法有多种^[4],其中生物替代控制方法是利用植物种间竞争关系,用有生态效益或有经济价值的植物取代入侵植物^[5]。入侵植物和替代植物会根据土壤养分的变化形成不同的生长策略^[6]。研究^[7-8]表明,较高的土壤养分会促进外来植物豚草和北美外来种芦苇等的生长,使其生物量远高于本地种,增加其竞争能力,促进其成功入侵。但也有研究^[9]表明,土壤养分增加并没有增加入侵植物雀麦草(*Bromus japonicus*)的竞争能力。以上研究结果表明,不同的土壤养分条件对入侵植物和替代植物的生长和竞争力影响不同。

笔者^[10]前期研究发现,拉巴豆对美洲商陆具有较强的替代控制潜力。本试验中,研究美洲商陆与拉巴豆在不同氮、磷肥条件下的竞争效应,比较 2 种植物对不同肥力的响应,旨在探讨拉巴豆替代控制美洲商陆的作用机理,为美洲商陆的防治提供理论依据。

1 试验地概况

试验于 2020 年 7 月 3 日至 10 月 3 日在湖南农业大学耘园基地(113°7' E, 28°18' N)的塑料大棚内进行。自然光照,最高温度和最低温度分别为 35.0 °C 和 18.0 °C,相对湿度为 65%~85%,海拔高度 22.09 m。土壤表层以下 5~25 cm 的土壤理化性质:有机质含量 19.52 g/kg,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 171.62、28.39、105.41 mg/kg,这与常见的草本植物要求的气候类型和土壤类型基本相似,大体反映了研究地区替代植物和入侵植物的自然状况。

2 材料与方法

2.1 材料

美洲商陆种子在湖南省长沙县江背镇自成养牛场山坡荒地采集;拉巴豆种子由湖南农业大学草业科学研究所提供。

2.2 试验设计

将采集的土壤装入塑料盆中(顶部直径为 22.5 cm,底部直径 17.0 cm,高 20.5 cm)中,每盆装供试土壤 5.0 kg,试验肥力设置见表 1。试验所用氮肥为尿素(含氮量 46.2%),所用的磷肥为过磷酸钙盐(P₂O₅ 含量 16.0%)。美洲商陆与拉巴豆分别按单种和混种进行种植:单种时美洲商陆和拉巴豆按 8 株/盆进行种植;混种时,每盆种植美洲商陆和拉巴豆植株各 4 株。每个处理盆栽 4 盆。3 次重复,共计 108 盆。美洲商陆种子与拉巴豆种子在盆栽里播种 10 d 后,根据试验设计进行定苗和施肥,每隔 1 周,施肥 1 次。播种 3 个月后,单种的美洲商陆结出种子,结束盆栽试验,收获美洲商陆与拉巴豆材料。

表 1 盆栽试验 9 种肥力处理

Table 1 9 different nutrient treatments with N and P addition in the experiment

| 处理 | 处理方法 |
|-------------|------------------------------|
| 对照(CK) | 不施加任何肥料 |
| 低氮(LN) | 每盆施加 0.03 g 尿素 |
| 高氮(HN) | 每盆施加 0.06 g 尿素 |
| 低磷(LP) | 每盆施加 0.03 g 过磷酸钙盐 |
| 高磷(HP) | 每盆施加 0.06 g 过磷酸钙盐 |
| 低氮低磷(LN+LP) | 每盆施加 0.03 g 尿素和 0.03 g 过磷酸钙盐 |
| 低氮高磷(LN+HP) | 每盆施加 0.03 g 尿素和 0.06 g 过磷酸钙盐 |
| 高氮低磷(HN+LP) | 每盆施加 0.06 g 尿素和 0.03 g 过磷酸钙盐 |
| 高氮高磷(HN+HP) | 每盆施加 0.06 g 尿素和 0.06 g 过磷酸钙盐 |

2.3 测定项目与方法

收获前测定 2 种植物的株高。收获时用流水洗净

美洲商陆和拉巴豆根系,分离根、茎、叶,将分离的根和叶 105 °C 下杀青 30 min, 60 °C 下烘干至恒重。

植株氮磷含量的测定:用植物粉碎机分别将植株磨碎后过 0.5 mm 塑料筛,制成样品,利用 San⁺⁺ 连续流动分析仪测定 N、P 含量。

参照刘冰^[11]的方法按照公式(1)(2)分别计算相对产量(B)和攻击系数(A)。

$$B_i = Y_{ij} / Y_i \quad (1)$$

$$A_i = B_i - B_j \quad (2)$$

式中: B_i 、 B_j 分别代表物种 i、j 的相对产量, Y_{ij} 为混种时物种 i 的单株平均生物量, Y_i 为单种 i 的单株平均生物量。 A_i 示物种 i 的攻击系数。如果 B_i 大于 1, 表明物种 i 的种内竞争大于种间竞争, 混种促进了其生长; 如果 B_i 小于 1, 表明物种 i 的种内竞争小于种间竞争, 混种阻碍了其生长; 如果 B_i 等于 1, 则种内竞争和种间竞争相同, 混种对其生长无影响。

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 制图; 采用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析; 采用单样本 t 检验分析 RY 与指定值 1、A 与指定值 0 的差异。

3 结果与分析

3.1 不同施肥水平对供试植物株高的影响

从表 2 可以看出, 单种中, 高氮高磷处理的美洲商陆株高最高, 达 40.78 cm, 显著高于对照, 比

表 2 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的株高

| 处理 | 单种株高 | | 混种株高 | |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (32.67±1.43)bc* | (89.18±6.01)b | (12.36±1.57)e | (105.14±2.57)d |
| LN | (37.95±2.08)ab* | (101.63±2.66)a | (12.82±1.42)cde | (118.80±13.33)cd |
| HN | (39.26±5.41)a* | (106.00±14.20)a | (17.44±3.28)a | (126.05±12.03)bc |
| LP | (29.99±1.23)c* | (113.13±13.34)a | (12.60±0.32)bcd | (113.55±8.40)cd |
| HP | (29.22±0.22)c* | (110.42±6.59)a | (13.78±1.68)d | (115.65±4.51)cd |
| LN+LP | (36.92±1.59)ab* | (107.33±11.74)a | (11.94±0.78)de | (118.86±1.13)cd |
| LN+HP | (37.97±1.80)ab* | (115.22±9.56)a | (14.36±0.51)bc | (140.39±7.00)a |
| HN+LP | (38.38±2.11)ab* | (102.55±6.20)a | (13.78±1.12)bcd | (134.45±4.24)ab |
| HN+HP | (40.78±4.71)a* | (102.90±6.24)a | (15.18±0.90)b | (122.04±8.79)cd |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

对照高 24.82%; 混种中, 低氮和低氮低磷处理下, 美洲商陆株高与对照相比无显著性差异, 其他施肥处理的株高显著高于对照。在相同施肥处理下, 混种时的美洲商陆株高显著低于单种的美洲商陆。单种中, 各施肥水平处理的拉巴豆的株高均显著高于对照; 混种中, 高氮、低氮高磷及高氮低磷处理下拉巴豆株高显著高于对照。

3.2 不同施肥水平对供试植物叶生物量的影响

从表 3 可以看出, 单种中, 低氮、高氮、高氮高磷处理的美洲商陆的叶生物量与对照差异显著, 高氮处理的最高, 达 0.77 g; 混种中, 低氮高磷与高氮高磷处理下美洲商陆的叶生物量显著高于对照的, 分别高于对照 75% 和 125%。在同一施肥水平下, 混种时的美洲商陆叶生物量显著低于单种美洲商陆的。单种中, 低氮、高氮处理的拉巴豆叶生物量与对照无显著性差异, 其他施肥处理的叶生物量显著高于对照的, 高磷处理的最高, 为 1.51 g; 混种中, 低氮处理的拉巴豆叶生物量与对照相比无显著性差异, 其他施肥处理的均显著高于对照, 低氮高磷处理的最高, 为 3.60 g。

表 3 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的叶生物量

| 处理 | 单种叶生物量 | | 混种叶生物量 | |
|-------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (0.43±0.04)d* | (0.87±0.04)d | (0.04±0.01)c | (1.54±0.21)d |
| LN | (0.66±0.11)abc* | (0.85±0.10)d | (0.05±0.01)c | (2.12±0.11)cd |
| HN | (0.77±0.09)a* | (1.01±0.15)cd | (0.06±0.01)c | (2.76±0.16)bc |
| LP | (0.45±0.04)cd* | (1.30±0.11)ab | (0.06±0.01)bc | (2.75±0.48)bc |
| HP | (0.59±0.08)abcd* | (1.51±0.11)a | (0.03±0.00)c | (2.83±0.19)b |
| LN+LP | (0.58±0.06)abcd* | (1.39±0.13)ab | (0.06±0.01)bc | (2.86±0.02)b |
| LN+HP | (0.54±0.09)abcd* | (1.40±0.00)ab | (0.07±0.02)b | (3.60±0.51)a |
| HN+LP | (0.58±0.16)abcd* | (1.16±0.18)bc | (0.06±0.01)bc | (2.50±0.39)bc |
| HN+HP | (0.76±0.13)ab* | (1.28±0.07)ab | (0.09±0.01)a | (2.30±0.17)bc |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.3 不同施肥水平对供试植物根生物量的影响

从表 4 可以看出, 单种中, 低氮、高氮、高氮高磷处理的美洲商陆根生物量显著高于对照的, 高氮处理的根生物量最高, 为 1.32 g; 混种中, 低氮、高氮、低氮低磷和高氮高磷处理的美洲商陆根生物量显著高于对照的, 高氮高磷处理的根生物量最

高, 为 0.18 g。在同一施肥水平下, 混种时的美洲商陆的根生物量显著低于单种的。单种中, 各施肥处理下的拉巴豆根生物量与对照无显著性差异; 混种中, 低氮、低氮混合施肥及高氮低磷施肥处理的拉巴豆根生物量显著高于对照的, 在高氮、低磷、高磷及高氮高磷施肥处理下, 拉巴豆的根生物量与对照无显著性差异。

表 4 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的根生物量

Table 4 Root biomass of *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* in different nutrient levels g

| 处理 | 单种根生物量 | | 混种根生物量 | |
|-------|------------------|---------------|----------------|-----------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (0.82±0.04)d* | (0.40±0.05)ab | (0.06±0.02)d | (0.77±0.06)e |
| LN | (1.25±0.17)ab* | (0.40±0.08)ab | (0.14±0.02)ab | (1.16±0.24)abc |
| HN | (1.32±0.31)a* | (0.52±0.05)a | (0.17±0.03)a | (1.05±0.18)bcde |
| LP | (0.90±0.03)bcd* | (0.30±0.05)b | (0.11±0.03)bcd | (0.84±0.03)de |
| HP | (0.86±0.04)cd* | (0.42±0.06)ab | (0.09±0.01)cd | (0.91±0.17)cde |
| LN+LP | (1.00±0.09)abcd* | (0.43±0.08)ab | (0.12±0.03)bc | (1.22±0.10)ab |
| LN+HP | (1.13±0.09)abcd* | (0.42±0.04)ab | (0.10±0.02)bcd | (1.42±0.05)a |
| HN+LP | (1.04±0.09)abcd* | (0.44±0.12)ab | (0.09±0.01)cd | (1.13±0.07)abcd |
| HN+HP | (1.19±0.22)abc* | (0.56±0.11)a | (0.18±0.02)a | (0.87±0.14)cde |

同列不同字母表示处理的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.4 不同施肥水平对供试植物总生物量的影响

由表 5 可以看出, 单种中, 在单施氮和混合施肥处理下, 美洲商陆总生物量显著高于对照的; 混种中, 单氮、低氮混合施肥及高氮高磷处理的美洲商陆总生物量显著高于对照的, 高氮高磷处理的总生物量最高, 为 0.33 g, 比对照高 371.43%。在同

表 5 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的总生物量

Table 5 Total biomass of *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* in different nutrient levels g

| 处理 | 单种总生物量 | | 混种总生物量 | |
|-------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (1.41±0.05)d* | (2.95±0.08)c | (0.07±0.01)c | (8.17±0.20)d |
| LN | (2.28±0.02)ab* | (2.74±0.23)c | (0.22±0.02)b | (10.64±0.56)c |
| HN | (2.50±0.34)a* | (3.46±0.31)c | (0.28±0.03)a | (11.67±1.03)c |
| LP | (1.52±0.05)d* | (4.38±0.32)b | (0.19±0.04)bc | (11.23±1.12)c |
| HP | (1.66±0.08)cd* | (5.12±0.42)ab | (0.16±0.02)bc | (12.74±1.08)bc |
| LN+LP | (1.94±0.02)bc* | (4.93±0.68)ab | (0.21±0.05)b | (14.69±0.70)b |
| LN+HP | (1.97±0.20)bc* | (5.71±0.24)a | (0.21±0.01)b | (19.78±0.25)a |
| HN+LP | (1.95±0.17)bc* | (5.19±0.33)ab | (0.18±0.01)bc | (14.75±1.15)b |
| HN+HP | (2.45±0.25)a* | (5.07±0.38)ab | (0.33±0.03)a | (12.29±1.98)c |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

一施肥水平下, 混种时的美洲商陆总生物量显著低于单种的美洲商陆总生物量。单种中, 单施磷肥和混合施肥处理的拉巴豆总生物量显著高于对照的; 单施氮肥处理下, 拉巴豆总生物量与对照相比无显著性差异。混种中, 施肥处理均显著提高了拉巴豆总生物量, 低氮高磷处理的总生物量最高, 达 19.78 g。

3.5 不同施肥水平对供试植物叶氮含量的影响

由表 6 可知, 单种中, 在单施磷肥及高氮处理时, 美洲商陆叶氮含量显著高于对照的; 混种中, 在施磷肥及低氮低磷处理时, 美洲商陆叶氮含量显著高于对照的, 其他施肥处理的美洲商陆叶氮含量与对照无显著性差异。单种及混种中, 高氮高磷处理的拉巴豆叶氮含量均最高, 分别达 67.17、66.62 mg/g, 所有施肥处理的拉巴豆叶氮含量均显著高于对照的。

表 6 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的叶氮含量

Table 6 Leaf nitrogen content of *Phytolacca americana* and *Dolichos lablab* in different nutrient levels mg/g

| 处理 | 单种叶氮含量 | | 混种叶氮含量 | |
|-------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (38.53±0.97)b | (53.06±0.93)e | (35.46±6.19)d | (42.71±7.68)d |
| LN | (40.77±3.55)ab | (61.70±3.07)bc | (40.50±4.34)bcd | (63.31±2.73)ab |
| HN | (43.58±0.72)a | (63.94±2.58)ab | (42.08±0.45)bcd | (61.07±2.27)abc |
| LP | (44.09±0.94)a | (61.20±1.12)bc | (46.07±3.13)ab | (64.16±0.35)ab |
| HP | (44.76±3.09)a | (64.35±1.29)ab | (49.91±0.71)a | (62.96±0.08)abc |
| LN+LP | (38.81±0.84)b* | (64.61±1.57)ab | (43.43±0.23)abc | (55.99±3.29)c |
| LN+HP | (31.69±1.89)c* | (59.49±1.20)cd | (39.22±0.59)bcd | (62.04±1.22)abc |
| HN+LP | (39.07±1.08)b | (57.42±1.58)d | (36.88±0.87)cd | (58.46±0.73)bc |
| HN+HP | (31.87±0.17)c* | (67.17±0.28)a | (38.93±2.69)bcd | (66.62±0.75)a |

同列不同字母表示处理的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.6 不同施肥水平对供试植物叶磷含量的影响

从表 7 可以看出, 单种中, 单施磷肥和混合施肥处理的美洲商陆叶磷含量显著高于对照的; 混种中, 单施氮肥及混合施肥处理的美洲商陆叶磷含量均显著低于对照的。单种中, 单施氮肥、低磷及低氮低磷处理下的拉巴豆叶磷含量显著高于对照的, 低氮低磷处理的含量最高, 为 5.45 mg/g, 高于对照 40.46%; 混种中, 单施氮肥、单施磷肥、低氮低磷及高氮低磷处理的拉巴豆叶磷含量均显著高于对照的, 低氮低磷处理的叶磷含量最高, 为 6.48 mg/g。

表7 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的叶磷含量

| 处理 | 单种叶磷含量 | | 混种叶磷含量 | |
|-------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (2.13±0.49)c | (3.88±0.37)c | (2.53±0.13)a | (4.37±0.14)c |
| LN | (2.31±0.25)c | (5.10±0.46)ab | (2.30±0.09)bc | (5.65±0.22)ab |
| HN | (2.11±0.05)c | (5.19±0.15)ab | (2.24±0.08)bcd | (5.50±0.12)ab |
| LP | (3.22±0.07)a* | (5.03±0.90)ab | (2.41±0.15)ab | (5.66±0.12)ab |
| HP | (2.77±0.16)b* | (4.40±0.47)abc | (2.37±0.08)ab | (5.53±0.17)ab |
| LN+LP | (3.23±0.08)a* | (5.45±0.69)a | (2.00±0.01)e | (6.48±0.74)a |
| LN+HP | (3.06±0.07)ab* | (4.35±0.24)abc | (2.00±0.08)c | (5.08±0.40)bc |
| HN+LP | (2.88±0.06)ab* | (4.51±0.10)abc | (2.05±0.02)de | (6.02±0.72)ab |
| HN+HP | (3.26±0.03)a* | (4.23±0.14)bc | (2.11±0.02)cde | (5.18±0.29)bc |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.7 不同施肥水平对供试植物根氮含量的影响

从表8可知,单种中,低氮、高磷及高氮高磷处理的美洲商陆根氮含量显著高于对照的,高氮高磷处理的含量最高,为50.84 mg/g,比对照高46.98%;混种中,所有肥力处理的美洲商陆根氮含量均显著低于对照的,低氮低磷处理的含量最低(19.32 mg/g)。单种中,高氮高磷处理的拉巴豆根氮含量(62.07 mg/g)显著高于对照44.69%;混种中,单施磷肥、低氮高磷、高氮低磷及高氮高磷处理的拉巴豆根氮含量显著高于对照的。

表8 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的根氮含量

| 处理 | 单种根氮含量 | | 混种根氮含量 | |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (34.59±1.04)c | (42.90±0.48)bc | (34.19±1.14)a | (43.64±1.14)d |
| LN | (42.88±2.72)b* | (42.92±0.80)bc | (27.48±1.10)b | (43.17±0.72)d |
| HN | (37.50±0.15)bc* | (43.97±1.18)bc | (26.38±0.18)b | (44.29±0.64)d |
| LP | (39.59±0.81)bc* | (45.63±2.10)b | (22.70±0.74)c | (52.64±1.05)b |
| HP | (42.82±2.28)b* | (47.92±0.31)b | (26.54±1.16)b | (53.13±4.87)b |
| LN+LP | (36.90±1.84)bc* | (41.15±7.34)bc | (19.32±3.29)d | (45.47±0.14)cd |
| LN+HP | (39.18±3.15)bc* | (37.65±4.15)c | (25.14±0.78)bc | (48.79±2.83)bc |
| HN+LP | (35.68±2.06)c* | (41.91±3.69)bc | (26.93±0.74)b | (52.47±1.32)b |
| HN+HP | (50.84±6.20)a* | (62.07±0.41)a | (25.99±1.55)b | (66.31±0.47)a |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.8 不同施肥水平对供试植物根磷含量的影响

从表9可以看出,单种中,高氮高磷处理的美洲商陆根磷含量最高(4.22 mg/g),显著高于对照26.73%;混种中,除低磷处理外,其他施肥处理的美洲商陆根磷含量均显著低于对照的。单种中,高磷及高氮高磷处理的拉巴豆根磷含量显著高于对照的;混种中,单施氮肥、单施磷肥及高氮高磷处理的拉巴豆根磷含量显著高于对照的。

表9 不同施肥水平美洲商陆和拉巴豆的根磷含量

| 处理 | 单种根磷含量 | | 混种根磷含量 | |
|-------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | 美洲商陆 | 拉巴豆 | 美洲商陆 | 拉巴豆 |
| CK | (3.33±0.16)b* | (4.53±0.05)b | (2.91±0.08)a | (3.28±0.05)c |
| LN | (2.62±0.34)b | (4.13±0.32)bc | (1.98±0.04)d | (4.02±0.03)b |
| HN | (2.54±0.31)b* | (4.40±0.19)bc | (1.82±0.05)d | (4.00±0.01)b |
| LP | (2.89±0.51)b | (4.48±0.20)b | (3.00±0.14)a | (4.60±0.13)a |
| HP | (3.05±0.12)b* | (5.48±0.11)a | (2.59±0.02)b | (3.71±0.05)b |
| LN+LP | (2.74±0.11)b* | (3.94±0.33)cd | (1.91±0.20)d | (3.25±0.15)c |
| LN+HP | (3.36±0.07)b* | (3.53±0.07)d | (2.42±0.07)bc | (3.12±0.20)c |
| HN+LP | (3.06±0.17)b* | (4.41±0.01)b | (2.32±0.02)c | (2.98±0.20)c |
| HN+HP | (4.22±0.81)a* | (5.81±0.29)a | (2.61±0.07)b | (3.61±0.44)b |

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”示相同养分处理下不同种植模式美洲商陆间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

3.9 不同施肥水平对供试植物竞争关系的影响

从表10可以看出,美洲商陆RY值在不同肥力处理下均显著小于1.0,表明美洲商陆与拉巴豆混种时的竞争力弱于单种时的竞争力;拉巴豆RY值在不同施肥处理下均显著大于1.0,表明不同施肥处理下拉巴豆与美洲商陆混种,拉巴豆受到的竞争影响小。

表10 不同施肥水平下美洲商陆和拉巴豆相对产量及美洲商陆竞争攻击力系数

| 处理 | B 美洲商陆 | B 拉巴豆 | A 美洲商陆 |
|-------|----------------|----------------|-----------------|
| CK | (0.185±0.023)* | (2.770±0.138)* | (-2.585±0.148)* |
| LN | (0.188±0.018)* | (3.919±0.495)* | (-3.730±0.493)* |
| HN | (0.223±0.040)* | (3.425±0.605)* | (-3.202±0.573)* |
| LP | (0.251±0.047)* | (2.566±0.201)* | (-2.315±0.154)* |
| HP | (0.193±0.012)* | (2.515±0.374)* | (-2.322±0.370)* |
| LN+LP | (0.214±0.047)* | (3.023±0.334)* | (-2.809±0.363)* |
| LN+HP | (0.216±0.023)* | (3.471±0.190)* | (-3.255±0.213)* |
| HN+LP | (0.189±0.023)* | (2.842±0.162)* | (-2.654±0.168)* |
| HN+HP | (0.268±0.035)* | (2.441±0.436)* | (-2.172±0.422)* |

“*”表示B与指定值1、A与指定值0差异显著($P < 0.05$)。

在不同施肥处理下,混种时的美洲商陆攻击力系数均显著小于 0,范围为-2.172~-3.730,表明美洲商陆与拉巴豆混种,美洲商陆处于劣势。

4 结论与讨论

当入侵植物进入新的栖息地时,会和栖息地的植物发生资源竞争关系^[12]。养分竞争是资源竞争的重要方式之一,由于不同物种对养分的吸收和响应能力不同,物种间的竞争关系也会发生改变^[13]。本研究中,施加磷肥和混合施肥提高了拉巴豆的叶生物量和总生物量,单施氮肥提高了美洲商陆的根生物量和总生物量。美洲商陆对氮资源的响应与同科外来入侵植物紫茎泽兰、飞机草和银胶菊对氮资源的响应相似^[14-15]。KEDDY 等^[16]研究表明,在相同条件下生长较快而生物量积累较高的植物相对竞争能力较强。本研究中,美洲商陆与拉巴豆混种时,在同一施肥处理下,拉巴豆植株株高、叶生物量和总生物量均明显高于美洲商陆;另外,在同一施肥水平下,混种时美洲商陆的株高、叶生物量、根生物量、总生物量均显著低于单种时的美洲商陆的。说明混种竞争抑制了美洲商陆株高及生物量的增加。

植物叶片营养元素的含量能够反映植物对土壤条件的适应^[17]。本研究中,美洲商陆单种时,其叶磷含量、根氮含量和根磷含量在高氮高磷肥力处理时最高。美洲商陆与拉巴豆混种时,所有肥力处理的美洲商陆叶磷含量、根氮含量均显著低于对照的;除低磷条件外,其他肥力处理均显著降低了美洲商陆的根磷含量。说明单种时,肥力相对较好的条件能提高美洲商陆氮磷含量,而与拉巴豆混种时,美洲商陆氮磷含量在肥力较高的条件下受到抑制。

相对产量或竞争平衡指数越大的物种其竞争能力越强,其取代邻体植物的可能性也越大^[18-19]。本研究中,拉巴豆相对产量和竞争攻击力系数在相同施肥水平下均显著大于美洲商陆,说明拉巴豆与美洲商陆在养分竞争中,具有较强的竞争优势,可作为替代控制美洲商陆的优势牧草,不仅可以控制美洲商陆的生态入侵,同时也为畜牧业的发展提供优质牧草资源。

参考文献:

- [1] 邹汶廷,潘云柳,张志飞,等. 美洲商陆水浸提液对 4 种作物的化感效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 472-477.
- [2] 温四民,张桂玲,袁蕾. 美洲商陆浸提液对 3 种作物

种子萌发及幼苗生长的化感效应[J]. 东北农业科学, 2020, 45(3): 76-80.

- [3] 董周焱,柏新富,张靖梓,等. 入侵植物美洲商陆对光环境的适应性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(2): 316-320.
- [4] 唐秀丽,谭万忠,付卫东,等. 外来入侵杂草黄顶菊的发生特性与综合控制技术[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(6): 694-699.
- [5] 田宏,刘洋,蔡化,等. 草地植物竞争的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8945-8947.
- [6] 袁伟影. 土壤养分和种间竞争对入侵及本地植物性状和氮磷吸收的影响[D]. 北京:北京林业大学, 2017.
- [7] 陆光亚,王晋萍,桑卫国. 氮沉降对外来种豚草入侵能力与竞争能力的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(6): 60-66.
- [8] SALTONSTALL K, STEVENSON J C. The effect of nutrients on seedling growth of native and introduced *Phragmites australis*[J]. Aquatic Botany, 2007, 86(4): 331-336.
- [9] KOLB A, ALPERT P. Effects of nitrogen and salinity on growth and competition between a native grass and an invasive congener[J]. Biological Invasions, 2003, 5(3): 229-238.
- [10] 王森森,贾宏定,张志飞,等. 入侵植物美洲商陆与 3 种牧草的竞争效应研究[J]. 草地学报, 2021, 29(1): 95-102.
- [11] 刘冰. 2 种替代植物与紫茎泽兰竞争效应及竞争相关指标适用性探索[D]. 泰安:山东农业大学, 2011.
- [12] 万凌云. 入侵植物加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)的磷资源竞争策略[D]. 镇江:江苏大学, 2019.
- [13] 王满莲,冯玉龙,李新. 紫茎泽兰和飞机草的形态和光合特性对磷营养的响应[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 4602-4606.
- [14] 王满莲,冯玉龙. 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[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 697-705.
- [15] 韦春强,唐赛春,岑艳喜,等. 入侵植物银胶菊对氮、磷营养的响应[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2009, 27(4): 99-103.
- [16] KEDDY P, NIELSEN K, WEIHER E, et al. Relative competitive performance of 63 species of terrestrial herbaceous plants[J]. Journal of Vegetation Science, 2002, 13(1): 5-16.
- [17] 伊田,梁东丽,王松山,等. 不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7): 111-117.
- [18] 李光义,刘强,李勤奋. 化感作用与资源竞争对假臭草入侵的影响[J]. 杂草科学, 2012, 30(2): 20-23.
- [19] WILLIAMS A C, MCCARTHY B C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs[J]. Ecological Research, 2001, 16(1): 29-40.

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正