

不同植物(组合)对入侵杂草黄顶菊 功能性状的影响

韩月龙, 杨康, 孔令杰, 柳旭, 闫静, 张凤娟*
河北大学生命科学学院, 河北保定 071002

摘要: 【目的】外来植物的入侵能力与其性状之间的关系是入侵生态学中的基本问题之一。外来植物成功入侵具备哪些植物功能性状,一直是研究的热点问题,研究和把握这些性状对外来植物的入侵机理研究具有重要的现实意义。【方法】利用同质园实验,以入侵植物黄顶菊为研究对象,设置不同的植物(或组合)与黄顶菊竞争处理,研究不同植物(组合)对黄顶菊植物功能性状的影响,从而探究不同植物对黄顶菊的抵御能力。【结果】地肤、苘麻、苏丹草和苏丹草与地肤、黄花草木樨组合对黄顶菊有一定抑制作用,混种处理中黄顶菊的生物量、分枝数、株高显著低于黄顶菊单种处理,且对叶片功能性状、根功能性状、植株的全C和全N量等都有一定程度的影响。而反枝苋、反枝苋和紫花苜蓿组合对黄顶菊的生长有一定的促进作用,混种处理中黄顶菊的生物量与全C、全N含量较单种黄顶菊显著增加。【结论】不同植物与黄顶菊竞争生长对黄顶菊的影响不同,地肤和苘麻可以显著地抑制黄顶菊的主要功能性状生长发育,而反枝苋和紫花苜蓿促进黄顶菊生长发育。
关键词: 黄顶菊; 植物功能性状; 竞争生长; 植物全C; 植物全N

Effect of native plants (combination) on the functional traits of the invasive plant, *Flaveria bidentis*

HAN Yuelong, YANG Kang, KONG Lingjie, LIU Xu, YAN Jing, ZHANG Fengjuan*
College of Life and Science, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China

Abstract: 【Aim】 The study of the relationship between the invasive ability of exotic plants and their functional traits remains important in invasive ecology. 【Method】 In this study, an invasive species, *Flaveria bidentis*, was grown with selected plants, individually or in mixture, in a common garden experiment. The functional traits of *F. bidentis* were measured as well as the level of competition with these different plant species. 【Result】 *Kochia scoparia*, *Abutilon theophrasti*, *Sorghum sudanense* and the mixture of *S. sudanense*, *K. scoparia* and *Melilotus officinalis* had an inhibitory effect on the growth of *F. bidentis*. Biomass, number of stems and plant height of *F. bidentis* significantly increased when grown with *A. retroflexus* along or in a mixture with *M. sativa* and *A. retroflexus*. Root to shoot ratio and root length, plant height, C content, and number of branches had significant lower values when exposed to the other plant species. N content of *F. bidentis* significantly varied depending on the treatments. Root tissue density and specific leaf area significantly increased when grown together with the other species. 【Conclusion】 Different plants have different effects on the *F. bidentis* in competition. *K. scoparia* and *Abutilon theophrasti* can significantly inhibit the growth and modify the main functional traits of *F. bidentis*. However, *M. sativa* and *A. retroflexus* promote the growth and development of *F. bidentis*.

Key words: *Flaveria bidentis*; plant functional traits; competitive growth; total carbon concentrations; total nitrogen concentrations

外来植物的成功入侵既与入侵植物的功能性状密切相关(刘建等,2010),也与入侵域植物种类和多样性有关(马杰等,2011;张瑞海,2010)。植物功能性状在入侵植物和本地植物生长过程中起着重要的作用,与群落中C、N循环密切相关

(Grigulis & Clément, 2013),并且决定C输入的数量、形式及存留时间(Cornelissen, 2003; Fornara & Tilman, 2008),也影响枯落物的物理特征和化学成分,从而影响C浸出和C存留时间(Milchunas & Lauenrath, 1993)。叶面积、叶干重、叶厚度、比叶面

收稿日期(Received): 2018-09-18 接受日期(Accepted): 2019-01-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(31372000); 河北省自然科学基金项目(C2015201021); 河北省高等学校科学技术研究项目(ZD2016039)

作者简介: 韩月龙, 男, 硕士研究生。研究方向: 入侵植物学。E-mail: 843416238@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: fengjuanzhang@126.com

积、比根长、组织密度等功能性状可以较好地反映植物C收获最大化所采取的生存策略(Carlucci *et al.*, 2015);植物叶片含N量与氮循环速率密切相关(Baxendale *et al.*, 2015; de Vries *et al.*, 2012; Laughlin *et al.*, 2011)。入侵植物的生理相关指标(如光合速率、呼吸速率、水分利用效率和N素利用效率等)显著大于非入侵植物(Kleunen *et al.*, 2010);入侵植物通过改变其形态、生长、生物量分配和生理特性等来获取资源,占据生境,增强入侵能力(Hulme, 2010; Richards *et al.*, 2010)。在外来植物的入侵过程中,其入侵性与入侵域群落的抗入侵能力是决定能否成功入侵的关键。一方面,外来入侵植物通过提高自身的光合能力、资源利用率、表型可塑性以及降低繁殖成本等功能性状增加植株体内的C和N积累,实现其入侵(Legay, 2014);另一方面,入侵域本地植物通过降低入侵植物体内C、N积累来达到抵御入侵的目的(Zhang *et al.*, 2017)。因而,如何根据植物功能性状来探究植物的入侵能力和群落的抗入侵能力已成为研究热点。

黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze. 原产于南美洲(Powell, 1978), 因具有光合效率高、生长迅速、适应能力强、种子量大的特点(高尚宾等, 2017; 魏珍, 2017; 张风娟等, 2008), 入侵后能快速形成优势种, 给农牧业生产造成严重损失(时翠平等, 2011)。入侵域植物可通过改变入侵植物的功能性状而影响其生长和进一步扩散, 因而, 研究本地植物与黄顶菊竞争生长过程中对黄顶菊功能性状的影响, 获知影响黄顶菊竞争生长的作用机制, 可为黄顶菊的绿色防控提供理论依据。目前已有研究表明, 可利用高丹草 *Sorghum hybrid* Sudangrass、籽粒苋 *Amaranthus hypochondriacus* L. 和墨西哥玉米草 *Purus frumentum* 等植物生长速度快、叶片宽大等特点达到抑制黄顶菊的目的(韩建华, 2014), 但是相关机制有待进一步研究。本试验通过建立不同植物(或植物组合)与黄顶菊竞争处理, 研究不同植物对黄顶菊的竞争生长的影响, 探究与入侵植物竞争生长密切相关的植物功能性状。研究结果可丰富入侵植物的入侵机制, 同时为有效地控制外来植物的入侵提供重要的理论和实践依据。

1 材料与方

1.1 试验样地概况

试验样地位于河北省中国农业科学院廊坊科

研中试基地, 土壤属棕色砂质黏壤土, 属暖温带大陆性气候, 四季较分明, 2016年平均降水量555.1 mm, 平均温度12.9℃, 日照平均时间2483.0 h。

1.2 试验设计

根据植物的生长速度、是否具有固氮能力及其经济效益, 本试验选择地肤 *Kochia scoparia* (Linn.) Schrad、苘麻 *Abutilon theophrasti* Medicus、苏丹草 *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf、反枝苋 *Amaranthus retroflexus* L.、紫花苜蓿 *Medicago sativa* L. 和黄花草木樨 *Melilotus officinalis* L. 6种植物, 在田间同质园中设置7个处理: 黄顶菊单种; 地肤与黄顶菊混种; 苘麻与黄顶菊混种; 苏丹草与黄顶菊混种; 反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种; 反枝苋与黄顶菊混种; 苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种。裸土对照。通过测定单种和混种处理中黄顶菊生物量, 计算其相对竞争强度, 获知不同处理对黄顶菊竞争生长的影响。其中裸土对照为无任何植物生长的样方。每个处理设置5个重复, 共40个样方, 大小均为3 m×2 m(长×宽), 间距1 m。为防止边缘效应, 样方设置随机分布, 混种比例为1:1, 每个样方平均分布种植6行, 混种中每行各300粒, 单种每行600粒。生长期间除自然降水外, 播种后浇水1次, 生长期间浇水3次, 每次滴灌36 h, 及时人工拔除出苗的非目标杂草, 保持每样方的植物种类不变。4月底播种, 9月采集植株。

1.3 样品的采集

分别选取每个样方中长势较好并且能代表整个样方的5株植物, 取样时不选取每个样方边缘的植物, 将采集的植物的地上部与地下部分开, 编号, 带回实验室备用。

1.4 相关指标的测量

(1) 生物量(g): 先将植株在105℃下杀青15 min, 85℃烘干48~72 h至恒重, 称重; (2) 分枝数(个): 每块样地随机选取有代表性的植株进行分枝数的查看; (3) 株高(cm): 用卷尺进行测量; (4) 叶片厚度(mm): 选用精度为0.1 mm的游标卡尺, 沿主脉方向选3个点进行测定, 取平均值; (5) 叶大小(mm²): 用Yaxin-I242叶面积仪测定; (6) 叶组织密度(mg·mm⁻³): 叶组织密度=叶干重/叶总体积; (7) 比叶面积(mm²·mg⁻¹): 比叶面积=叶面积/叶干重; (8) 叶绿素总量(mg·g⁻¹): 分光光度法进行测量; (9) 根冠比(mg·mg⁻¹): 地下干重与地上干

重的比值; (10) 比根长 ($\text{mm} \cdot \text{mg}^{-1}$): 根长与干重的比值。用清水洗净细根 ($< 2 \text{ mm}$) 上附着的土, 用根系扫描仪对细根进行扫描, 使用 WinRHIZO 2009 根系分析软件得到根长; 细根在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青 15 min , $85 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干 $48 \sim 72 \text{ h}$ 至恒重, 称重; (11) 根组织密度 ($\text{mg} \cdot \text{mm}^{-3}$): 干重与体积的比值; (12) 植株全 C 量 (g): 烘干植株样品粉碎后, 采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消煮法测定植物的全 C 量; (13) 植株全 N 量 (g): 烘干植株样品粉碎后, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮法, 用凯氏定氮仪测定全 N 量。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用平均值 \pm 标准差的形式表示, 用 Microsoft Office Excel 软件统计, 用 SPSS 21.0 统计软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), Duncan 多重比较 ($P=0.05$)。利用相对竞争强度 (relative competition intensity, RCI) (Grace, 1995) 计算植物的竞争强度: $\text{RCI} = (pY_a - Y_{ab}) / pY_a$, 其中 Y_a 表示

单种的生物量, Y_{ab} 表示 a、b 混种时植物的生物量, p 表示物种 a、b 的混种比例。RCI=0 表示 2 种物种间不存在竞争, $0 < \text{RCI} < 1$, 表明该物种受到另一物种的有力竞争; $\text{RCI} < 0$ 表示另一物种对该物种有促进作用。

2 结果与分析

2.1 不同植物(组合)对黄顶菊生物量的影响

由表 1 可知, 与黄顶菊单种相比, 地肤与黄顶菊混种、苘麻与黄顶菊混种、苏丹草与黄顶菊混种及苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中, 黄顶菊的生物量、地上生物量、地下生物量显著降低, 其 RCI 值均大于 0, 且差异显著, 说明黄顶菊的生长受到了抑制。反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种, 反枝苋与黄顶菊混种处理中, 黄顶菊的生物量、地上生物量、地下生物量均显著增加, 其 RCI 值均小于 0, 且差异显著, 说明 2 个处理对黄顶菊的生长有一定的促进作用。

表 1 不同植物(组合)对黄顶菊生长的影响

Table 1 Effects of different plants treatments on the growth of *F. bidentis*

处理 Treatment	生物量 Biomass/g	地上生物量 Aboveground biomass/g	地下生物量 Belowground biomass/g	相对竞争强度 Relative competition intensity
H0	145.07 \pm 11.37c	125.24 \pm 7.85c	22.59 \pm 3.21b	0.00 \pm 0.00b
H1	64.52 \pm 3.64d	58.04 \pm 3.88d	6.48 \pm 3.09c	0.53 \pm 0.03a
H2	53.50 \pm 18.05d	48.54 \pm 16.41d	4.96 \pm 1.66c	0.61 \pm 0.13a
H3	77.89 \pm 28.23d	69.44 \pm 25.64d	6.45 \pm 0.97c	0.43 \pm 0.20a
H4	273.22 \pm 8.86a	242.16 \pm 2.95a	31.06 \pm 5.93a	-0.98 \pm 0.06d
H5	213.85 \pm 54.57b	188.36 \pm 49.98b	24.88 \pm 3.79b	-0.55 \pm 0.40c
H6	55.97 \pm 21.05d	48.52 \pm 17.85d	6.11 \pm 2.21c	0.59 \pm 0.15a

同列数据(平均值 \pm 标准误)后不同小写字母者表示在 5% 水平上差异显著。H0: 黄顶菊; H1: 地肤+黄顶菊; H2: 苘麻+黄顶菊; H3: 苏丹草+黄顶菊; H4: 反枝苋+黄顶菊; H5: 反枝苋+紫花苜蓿+黄顶菊; H6: 苏丹草+地肤+黄花草木樨+黄顶菊。

The data (means \pm SD) in the same column with the different letters indicate significant differences at 5% level. H0: *F. bidentis*; H1: *K. scoparia*+*F. bidentis*; H2: *A. theophrasti*+*F. bidentis*; H3: *S. sudanense*+*F. bidentis*; H4: *A. retroflexus*+*M. sativa*+*F. bidentis*; H5: *A. retroflexus*+*F. bidentis*; H6: *S. sudanense*+*K. scoparia*+*M. officinalis*+*F. bidentis*.

2.2 不同植物(组合)对黄顶菊分枝数的影响

与黄顶菊单种相比, 地肤与黄顶菊混种、苘麻与黄顶菊混种、苏丹草与黄顶菊混种处理及苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中黄顶菊的分枝数显著降低; 反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种, 反枝苋与黄顶菊混种处理对黄顶菊的分枝数影响不显著(图 1A)。

2.3 不同植物(组合)对黄顶菊株高的影响

与黄顶菊单种相比, 地肤与黄顶菊混种处理, 苘麻与黄顶菊混种处理, 苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中黄顶菊的株高显著降低, 表明黄顶菊的株高受到不同植物(组合)混种的抑制。

苏丹草与黄顶菊混种, 反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种, 反枝苋与黄顶菊混种处理对黄顶菊的株高影响不显著(图 1B)。

2.4 不同植物(组合)对黄顶菊叶片功能性状的影响

混种不同植物(组合)对黄顶菊叶片功能性状的影响不同(表 2)。苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中黄顶菊叶片厚度显著降低, 其他植物(组合)与黄顶菊混种处理对黄顶菊叶厚度的影响均不显著; 各植物(组合)对黄顶菊叶大小影响不显著; 地肤与黄顶菊混种、苘麻与黄顶菊混种处理中叶组织密度显著降低, 比叶面积显著增加; 地肤与黄顶菊混种处理显著增加了黄顶菊的叶绿素

含量。苏丹草与黄顶菊混种处理,反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种处理,反枝苋与黄顶菊混种处理对

黄顶菊的叶片厚度、叶大小、叶组织密度、比叶面积、叶绿素含量影响均不显著。

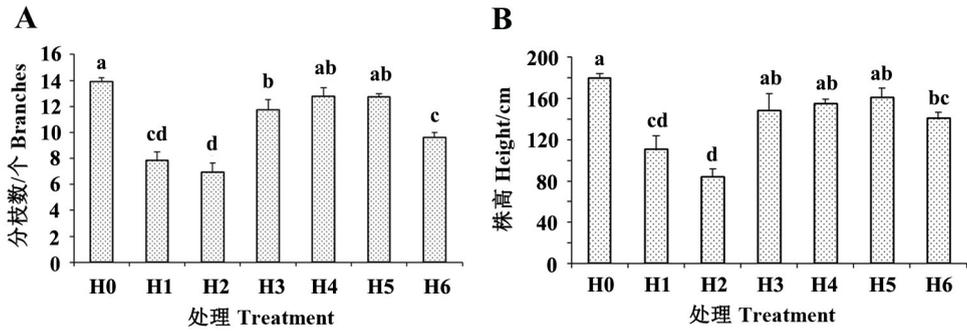


图 1 不同植物(组合)对黄顶菊分枝数(A)和株高(B)的影响

Fig.1 Effects of different plant treatments on number of branches (A) and plant height (B) of *F. bidensis*

A: 分枝数; B: 株高; H0: 黄顶菊; H1: 地肤+黄顶菊; H2: 苘麻+黄顶菊; H3: 苏丹草+黄顶菊; H4: 反枝苋+黄顶菊; H5: 反枝苋+紫花苜蓿+黄顶菊; H6: 苏丹草+地肤+黄花草木樨+黄顶菊。不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。

A: Branches; B: Vegetative height; H0: *F. bidensis*; H1: *K. scoparia*+*F. bidensis*; H2: *A. theophrasti*+*F. bidensis*; H3: *S. sudanense*+*F. bidensis*; H4: *A. retroflexus*+*M. sativa*+*F. bidensis*; H5: *A. retroflexus*+*F. bidensis*; H6: *S. sudanense*+*K. scoparia*+*M. officinalis*+*F. bidensis*.

Different letters indicate significant differences at 5% level.

表 2 不同植物(组合)对黄顶菊叶片功能性状的影响

Table 2 Effects of different plant treatments on leaf functional traits of *F. bidensis*

处理 Treatment	叶片厚度 Leaf thickness/ mm	叶大小 Individual leaf area/ (mm ²)	叶组织密度 Leaf tissue density/ (mg · mm ⁻³)	比叶面积 Specific leaf area/ (mm ² · mg ⁻¹)	叶绿素总量 Chlorophyll content/ (mg · g ⁻¹)
H0	0.21±0.01a	125.67±20.65ab	4.11±0.12ab	11.83±0.07d	2.41±0.18b
H1	0.20±0.01a	119.66±14.75b	2.71±0.15c	19.18±1.18a	3.19±0.45a
H2	0.20±0.01a	146.18±14.75ab	3.11±0.20c	15.82±1.37b	2.44±0.20b
H3	0.20±0.00a	151.03±26.32ab	3.87±0.06b	12.83±0.30cd	2.46±0.39b
H4	0.21±0.00a	140.82±20.54ab	4.18±0.24ab	11.66±0.63d	2.29±0.07b
H5	0.21±0.00a	138.43±17.22ab	4.42±0.34a	11.10±0.74d	2.12±0.34b
H6	0.18±0.01b	157.89±8.04a	3.78±0.54b	14.68±2.14bc	2.18±0.09b

同列数据(平均值±标准误)后不同小写字母者表示在 5% 水平上差异显著。H0: 黄顶菊; H1: 地肤+黄顶菊; H2: 苘麻+黄顶菊; H3: 苏丹草+黄顶菊; H4: 反枝苋+黄顶菊; H5: 反枝苋+紫花苜蓿+黄顶菊; H6: 苏丹草+地肤+黄花草木樨+黄顶菊。

The data (means±SD) in the same column with the different letters indicate significant differences at 5% level. H0: *F. bidensis*; H1: *K. scoparia*+*F. bidensis*; H2: *A. theophrasti*+*F. bidensis*; H3: *S. sudanense*+*F. bidensis*; H4: *A. retroflexus*+*M. sativa*+*F. bidensis*; H5: *A. retroflexus*+*F. bidensis*; H6: *S. sudanense*+*K. scoparia*+*M. officinalis*+*F. bidensis*.

2.5 不同植物(组合)对黄顶菊根功能性状的影响

表 3 为不同植物(组合)对黄顶菊根冠比、比根长及根组织密度的影响,与黄顶菊单种比较,各植物(组合)与黄顶菊竞争生长中黄顶菊的根冠比均显著降低;地肤与黄顶菊混种处理,苘麻与黄顶菊混种处理中比根长显著降低,而根组织密度显著增加。其他处理中根冠比均显著降低、比根长、根组织密度没有显著影响。说明地肤、苘麻与黄顶菊竞争生长中,地肤、苘麻抑制黄顶菊地下部分的生长。

2.6 不同植物(组合)对黄顶菊植株全 C 量的影响

不同植物(组合)与黄顶菊竞争生长,对黄顶菊植株全 C 量的影响不同(图 2A)。与黄顶菊单种比较,地肤与黄顶菊单种处理,苘麻与黄顶菊混种处

理,苏丹草与黄顶菊混种处理,苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中,黄顶菊植株全 C 量显著降低;反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种、反枝苋与黄顶菊混种处理中,植株全 C 量显著增加。

2.7 不同植物(组合)对黄顶菊植株全 N 量的影响

不同植物(组合)与黄顶菊竞争生长对黄顶菊植株全 N 量的影响不同(图 2B)。与黄顶菊单种比较,地肤与黄顶菊单种处理,苘麻与黄顶菊混种处理,苏丹草与黄顶菊混种处理,苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种处理中,黄顶菊植株全 N 量显著降低;反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种处理、反枝苋与黄顶菊混种处理中植株全 N 量显著增加。

表 3 不同植物(组合)对黄顶菊根冠比、比根长及根组织密度的影响

Table 3 Effect of different plant treatments on the ratio of root and shoot, specific root length and root tissue density of *F. bidentis*

处理 Treatment	根冠比 Root-shoot ratio	比根长 Specific root length/(mm · mg ⁻¹)	根组织密度 Root tissue density/(mg · mm ⁻³)
H0	0.18±0.02a	48.80±8.81a	0.27±0.01b
H1	0.11±0.03b	32.94±14.16b	0.35±0.06a
H2	0.09±0.02b	29.08±7.05b	0.35±0.02a
H3	0.13±0.01b	34.28±2.61ab	0.28±0.00b
H4	0.12±0.02b	40.20±8.11ab	0.28±0.01b
H5	0.14±0.02b	40.86±4.39ab	0.30±0.04b
H6	0.14±0.04b	38.06±2.39ab	0.32±0.02b

同列数据(平均值±标准误)后不同小写字母者表示在 5% 水平上差异显著。H0: 黄顶菊; H1: 地肤+黄顶菊; H2: 苘麻+黄顶菊; H3: 苏丹草+黄顶菊; H4: 反枝苋+黄顶菊; H5: 反枝苋+紫花苜蓿+黄顶菊; H6: 苏丹草+地肤+黄花草木樨+黄顶菊。

The data (means±SD) in the same column with the different letters indicate significant differences at 5% level. H0: *F. bidentis*; H1: *K. scoparia*+*F. bidentis*; H2: *A. theophrasti*+*F. bidentis*; H3: *S. sudanense*+*F. bidentis*; H4: *A. retroflexus*+*M. sativa*+*F. bidentis*; H5: *A. retroflexus*+*F. bidentis*; H6: *S. sudanense*+*K. scoparia*+*M. officinalis*+*F. bidentis*.

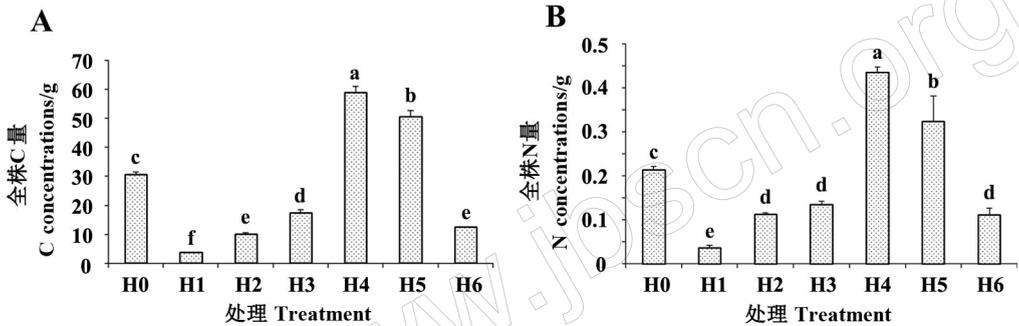


图 2 不同植物(组合)对黄顶菊植株全 C、全 N 量的影响

Fig.2 The influence of different native plant treatments on C, N content in *F. bidentis*

A: 全 C 量; B: 全 N 量; H0: 黄顶菊; H1: 地肤+黄顶菊; H2: 苘麻+黄顶菊; H3: 苏丹草+黄顶菊; H4: 反枝苋+黄顶菊; H5: 反枝苋+紫花苜蓿+黄顶菊; H6: 苏丹草+地肤+黄花草木樨+黄顶菊。不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。

A: Vegetative C content; B: Vegetative N content; H0: *F. bidentis*; H1: *K. scoparia*+*F. bidentis*; H2: *A. theophrasti*+*F. bidentis*; H3: *S. sudanense*+*F. bidentis*; H4: *A. retroflexus*+*M. sativa*+*F. bidentis*; H5: *A. retroflexus*+*F. bidentis*; H6: *S. sudanense*+*K. scoparia*+*M. officinalis*+*F. bidentis*. Different letters indicate significant differences at 5% level.

2.8 植物功能性状的关系

株高与叶片厚度 ($r = 0.588$)、叶组织密度 ($r = 0.481$)、比根长 ($r = 0.658$)、根冠比 ($r = 0.620$) 和植株 C 量 ($r = 0.472$) 有显著的正相关, 与根组织密度 ($r = -0.620$) 有显著的负相关, 其中与叶片厚度 ($p = 0.005$)、比根长 ($r = 0.001$) 和根冠比 ($r = 0.003$) 的关系极显著; 生物量与叶片厚度 ($r = 0.575$)、叶组织密度 ($r = 0.642$)、植株 N 量 ($r = 0.914$) 和植株 C 量 ($r = 0.950$) 有显著的正相关, 与比叶面积 ($r = -0.663$) 和根组织密度 ($r = -0.436$) 有显著的负相关, 其中与叶片厚度 ($p = 0.005$)、叶组织密度 ($p = 0.002$)、比叶面积 ($p = 0.001$) 和植株 C ($p = 0.000$)、N ($p = 0.000$) 量的关系极显著。

3 讨论

植物功能性状和植物的竞争能力关系密切 (Lake & Leishman, 2004), 如入侵植物的光合速率

高能促使其在竞争和入侵中获胜 (刘建等, 2010; Feng, 2008)。植物竞争的结果最终要通过植物的生长性状体现, 其中生物量、分枝数、株高是最重要的指标 (刘辉等, 2016; 翟偲涵等, 2017)。本研究发现, 生物量与叶片厚度、叶组织密度、比叶面积、根组织密度、植物全 C 和全 N 量有着显著的相关关系, 这些性状与植物光合作用 (Yang et al., 2018) 和植物根系养分 (Tu et al., 2000) 密切相关, 是影响黄顶菊竞争能力的重要性状。

不同植物(组合)与黄顶菊竞争生长中, 各处理均对黄顶菊产生了一定的作用效果。本试验筛选出对黄顶菊有抑制作用的植物(组合)为: 地肤与黄顶菊混种、苘麻与黄顶菊混种、苏丹草与黄顶菊混种和苏丹草、地肤、黄花草木樨与黄顶菊混种, 与张旭等(2013)和吕远等(2011)的研究结果一致。田间试验中混种植物与黄顶菊同时播种, 由于黄顶菊

前期生长缓慢(樊翠芹等,2008),而地肤、苘麻、苏丹草前期生长均较快,所以地肤、苘麻和苏丹草对黄顶菊的遮光率增加,抑制了黄顶菊的光合作用,降低了黄顶菊的竞争能力。对黄顶菊有一定促进作用的植物(组合)为:反枝苋、紫花苜蓿与黄顶菊混种和反枝苋与黄顶菊混种处理。该结果与刘红梅等(2012)和张瑞海(2010)的研究结果不一致,其原因可能是由于本试验中种植密度较低而没有达到抑制效果。

入侵植物与本地植物的功能性状和营养分配的差异与入侵植物的成功入侵密切相关(Wang *et al.*, 2018),而植物功能性状与营养分配之间的关系主要体现在光合作用上,物种在功能性状上通过一系列的改变来适应光强的变化,如增加比叶面积、叶片变薄等(Roderick *et al.*, 2000; Wright *et al.*, 2006),并通过减少自身资源的消耗来适应环境(Reich *et al.*, 1997, 2003; Wright *et al.*, 2001)。从养分吸收来看,根系主要是从土壤中吸取养分供植物自身生长,根长和根重与根系吸收养分和水分的能力密切相关(金可默, 2015; Fransen *et al.*, 1998)。本研究中,抑制黄顶菊的植物(组合)中黄顶菊植株的全C、全N量都显著下降,说明随着竞争植物的生长发育,竞争植物增加了对黄顶菊的遮光率,在弱光条件下,黄顶菊的叶组织密度降低,比叶面积增加,光合作用受到了抑制,直接影响光合产物,从而降低了黄顶菊地上部分的竞争能力。促进黄顶菊生长的植物(组合)中黄顶菊植株的全C、全N量都显著升高,说明这2个组合通过促进黄顶菊的光合作用促进了黄顶菊的生长。而地肤与黄顶菊混种、苘麻与黄顶菊混种处理中,根冠比和比根长显著降低,根组织密度显著增加,其他处理中根组织密度均变化不大,说明可通过降低黄顶菊比根长、增加根组织密度来抑制黄顶菊对土壤养分的吸收,从而达到降低黄顶菊竞争能力的目的。

综上所述,不同植物与黄顶菊竞争生长对黄顶菊的影响不同,入侵域植物可通过改变黄顶菊地上和地下功能性状,降低入侵植物植株体内C、N量达到抑制黄顶菊竞争生长的目的。

参考文献

樊翠芹,王贵启,李秉华,苏立军,2008. 黄顶菊生育特性研究. 杂草科学(3): 37-39.

- 高尚宾,张宏斌,孙玉芳,张国良,2017. 植物替代控制3种入侵杂草技术的研究与应用进展. 生物安全学报, 26(1): 18-22.
- 韩建华,程子林,张思晨,皇甫超河,武克,2014. 生物替代技术防控外来入侵植物黄顶菊试验. 天津农林科技(4): 1-3.
- 金可默,2015. 作物根系对土壤异质性养分和机械阻力的响应及其调控机制研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 刘红梅,皇甫超河,常瑞恒,杨殿林,2012. 2种替代植物对黄顶菊入侵土壤养分及酶活性的影响. 杂草学报, 30(2): 24-28.
- 刘辉,滕爱娣,王琳,邓波,高凯,2016. 去叶对不同时期菊芋生物量、株高和生长速率的影响. 草地学报, 24(4): 915-918.
- 刘建,李钧敏,余华,何维明,于飞海,桑卫国,刘国方,董鸣,2010. 植物功能性状与外来植物入侵. 生物多样性, 18(6): 569-576.
- 吕远,王贵启,郑丽,倪汉文,2011. 入侵植物黄顶菊与本地植物的竞争. 生态学杂志, 30(4): 677-681.
- 马杰,皇甫超河,易津,杨殿林,2011. 4种替代植物对黄顶菊入侵土壤养分和酶活性的影响. 生态环境学报, 20(5): 805-812.
- 时翠平,牛树启,王凤茹,2011. 外来入侵植物黄顶菊的危害与防控. 湖北农业科学, 50(10): 2008-2010.
- 魏珍,岳彩鹏,常岳旻,李秋洁,许雪敏,朱世新,2017. 入侵植物黄顶菊的繁殖生物学特性. 江苏农业科学, 45(9): 97-100.
- 翟偲涵,王平,盛连喜,2017. 竞争条件下植物功能性状的表型可塑性研究进展. 北华大学学报(自然科学版), 18(4): 538-546.
- 张凤娟,徐兴友,陈凤敏,郭艾英,龙茹,2008. 黄顶菊茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗化感作用的初步研究. 西北植物学报, 28(8): 1669-1674.
- 张瑞海,2010. 黄顶菊替代植物的筛选及其与黄顶菊竞争效应的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.
- BAXENDALE C, ORWIN K H, POLY F, POMMIER T, BARDGETT R D, 2015. Are plant-soil feedback responses explained by plant traits? *New Phytologist*, 204(2): 408-423.
- CARLUCCI M B, DEBASTIANI V J, PILLAR V D, DUARTE L D, 2015. Between-and within-species trait variability and the assembly of sapling communities in forest patches. *Journal of Vegetation Science*, 26(1): 21-31.
- CORNELISSEN J H C, LAVOREL S, GARNIER E, DÍAZ S, BUCHMANN N, GURVICH D E, 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional

- traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4): 335.
- DE VRIES F T, MANNING P, TALLOWIN J R B, MORTIMER S R, PILHRIM E S, HARRISON K A, 2012. Abiotic drivers and plant traits explain landscape-scale patterns in soil microbial communities. *Ecology Letters*, 15: 1230–1239.
- FENG Y L, LEI Y B, WANG R F, CALLAWAY R M, VALIENTEBANUET A, INDERJIT, 2009. Evolutionary tradeoffs for nitrogen allocation to photosynthesis versus cell walls in an invasive plant. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 1853–1856.
- FENG Y L, 2010. Photosynthesis, nitrogen allocation and specific leaf area in invasive *Eupatorium adenophorum* and native *Eupatorium japonicum* grown at different irradiances. *Plant Physiology*, 133(2): 318–326.
- FORNARA D A, TILMAN D D, 2008. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, 96(2): 314–322.
- FRANSEN B, KROON H D, BERENDSE F, 1998. Root morphological plasticity and nutrient acquisition of perennial grass species from habitats of different nutrient availability. *Oecologia*, 115(3): 351–358.
- GRACE J B, 1995. On the measurement of plant competition intensity. *Ecology*, 76(1): 305–308.
- GRIGULIS K, CLÉMENT J C, 2013. Relative contributions of plant traits and soil microbial properties to mountain grassland ecosystem services. *Journal of Ecology*, 101(1): 47–57.
- HULME P E, 2010. Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all jack? *Functional Ecology*, 22(1): 3–7.
- 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.
- LAKE J C, LEISHMAN M R, 2004. Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores. *Biological Conservation*, 117(2): 215–226.
- LEGAY N, BAXENDALE C, GRIGULIS K, KRAINER U, KASTL E, SCHLOTTER M, 2014. Contribution of above- and below-ground plant traits to the structure and function of grassland soil microbial communities. *Annals of Botany*, 114(5): 1011–1021.
- LAUGHLIN D C, 2011. Nitrification is linked to dominant leaf traits rather than functional diversity. *Journal of Ecology*, 99(5): 1091–1099.
- MILCHUNAS D G, LAUENROTH W K, 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 63(4): 328–366.
- POWELL A M, 1978. Systematics of *Flaveria* (Flaveriinae-Asteraceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 65(2): 590–636.
- REICH P B, WALTERS M B, ELLSWORTH D S, 1997. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94: 13730–13734.
- RICHARDS C L, BOSSDORF O, MUTH N Z, GUREVITCH J, PIGLIUCCI M, 2010. Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecology Letters*, 9(8): 981–993.
- RODERICK M L, BERRY S L, NOBLE I R. 2000. A framework for understanding the relationship between environment and vegetation based on the surface area to volume ratio of leaves. *Functional Ecology*, 14(4): 423–437.
- TU S, SUN J, GUO Z, GU F, 2000. On relationship between root exudates and plant nutrition in rhizosphere. *Soil & Environmental Sciences*, 9: 64–67.
- WANG H, ZHANG M, SONG Y, LI H, HUANG H, SHAO M, LIU Y, KANG Z H, 2018. Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, 136: 94–102.
- WRIGHT I J, REICH P B, ATKIN O K, LUSK C H, TJOELKER M G, WESTOBY M, 2006. Irradiance, temperature and rainfall influence leaf dark respiration in woody plants: evidence from comparisons across 20 sites. *New Phytologist*, 169(2): 309–319.
- WRIGHT I J, REICH P B, WESTOBY M, 2001. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*, 15(4): 423–434.
- YANG F, FENG L, LIU Q, WU X, FAN Y, RAZA M A, 2018. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environmental & Experimental Botany*, 150: 79–87.
- ZHANG F J, CHEN F X, LI Q, XU H Y, JIA Y Y, 2015. Effects of nitrogen addition on the competition between the invasive species *Flaveria bidentis*, and two native species. *Russian Journal of Ecology*, 46(4): 325–331.
- ZHANG F J, LI Q, CHEN F X, XU H Y, INDEJIT, WAN F H, 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi facilitate growth and competitive ability of an exotic species *Flaveria bidentis*. *Soil Biology & Biochemistry*, 115: 275–284.