キバナツノクサネム (*Sesbania cannabina*) とその近縁種 *S. rostrata* の 種子生産特性からみた雑草化の可能性

鬼頭 誠^{★1,2}・玉城杏菜¹・中谷敬子^{3,4}

キーワード: 緑肥作物, 雑草化, キバナツノクサネム (*Sesbania cannabina*), *Sesbania rostrata*

Keywords: Green manure crop, naturalization, *Sesbania cannabina*, *Sesbania rostrata*

緒 言

セスバニア属植物のキバナツノクサネム (*Sesbania cannabina* (Retz.) Poir.) と *S. rostrata* Bremek. et Oberm. は, 1980 年代から緑肥として導入され, わが国でも緑肥としての生育や施用効果の試験が盛んに行われてきている。両植物は深根性のマメ科植物であり, 土壌物理性, 特に透水性不良土壌の改良などに用いられている (塩谷ら 1990; 山田ら 2007) 他, 難溶性リンの可給化によるリン吸収によりリン肥沃度の向上も期待される緑肥とされている (田中ら 1999; 鬼頭ら 2009; Aono *et al.* 2001)。また, *S. rostrata* は湿生植物でもあり, 水田状態でも生育量が高く, *Azorhizobium* との共生により茎粒を形成して窒素固定能も有している (大門 1999)。キバナツノクサネムも地下水位の上昇などの過湿土壌環境では, 二次通気組織を発達させることが知られている (Shiba and Daimon 2003)。草丈はいずれも生育盛期には 2 m 前後の直立型植物であり, キバナツノクサネムは分枝の発生が *S. rostrata* に比べて多い特徴がある (山田ら 2007)。

しかし, 各地で緑肥用に導入されている 2 種セスバニア属植物は熱帯産のマメ科植物であるため, 沖縄など温暖地域で発芽能力のある種子の生産が行われる可能性があり, 特に *S. rostrata* は水田状態でも旺盛な生育をすることから水系を経

て拡散する可能性を持つ。

そのため, 本論文では熱帯原産の 2 種セスバニア属植物の沖縄での種子生産数を調査するとともに, 気象条件の異なるつくば市での種子生産の可能性を調査し, 南西日本から関東での雑草化の可能性を検討した。

材料および方法

1. 供試植物

供試植物には緑肥用市販品種のキバナツノクサネム (*S. cannabina* 'Densuke' (雪印種苗 '田助')) と *S. rostrata* (カネコ種苗) を用いた。

2. 種子生産数の調査法

沖縄島における両植物の種子生産量は 2012 年から 2014 年までの 3 年間, 土壌を充填したポットで各 3 ポットを用いて栽培試験を行った。

2012 年の試験は, 1/5000 a ポットに尿素, 硫酸カリ, 過リン酸石灰を用い, N と K_2O を 0.5 g, P_2O_5 を 0.3 g 混和した 3.5 kg の赤色土 (acrisols [国頭マージ], pH 6.7, 全炭素 0.6 g kg^{-1} , 全窒素 0.2 g kg^{-1} , 全リン 0.1 g kg^{-1} , 無機態窒素 15.2 mg kg^{-1}) を充填し, 2012 年 3 月 23 日にポット当たり 10 粒播種し, 4 月 27 日までにポット当たり 2 個体に間引きを行い, 9 月 13 日まで琉球大学農学部研究圃場で適宜灌水して栽培を行った。

2013 年の試験は, 両植物の生育量が大きいためポットサイズを直径 25.5 cm, 高さ 26 cm のプラスチック製ポットに変更して土壌量を増加させた。また, 土壌は物理性の良好な赤玉土 (pH 6.6, 全炭素 19.7 g kg^{-1} , 全窒素 1.5 g kg^{-1} , 全リン 0.5 g kg^{-1} , 無機態窒素 42.2 mg kg^{-1} , リン酸吸収係数 23.4 g kg^{-1}) を用い, 土壌 6.0 kg に尿素, 硫酸カリ, 過リン酸石灰を用い, N と K_2O を 1.5 g, P_2O_5 をリン酸吸収係数の 5% 相当量の 12 g 混和した。栽培は両植物とも 2013 年 4 月 24 日にポット当たり 10 粒播種し, 6 月 11 日までにポット当たり 2 個体に間引きし, 9 月 7 日まで 2012 年と同様に行った。

2014 年の試験は 2013 年と同様に施肥と播種をし, 両植物の栽培を行った同一のポットで, 2014 年 6 月 6 日から 10 月 31 日まで栽培を行った。

種子形成数は, 褐色化し完熟した莢を採取して莢当たりの完熟種子数と未熟種子数を 3 ポットについて調査しポット当たりの種子生産数を調査した。ただし, 2012 年の試験では 3 ポット合計の完熟種子数のみを調査した。

また, 2013 年および 2014 年は茨城県つくば市 (中央農業

1 琉球大学農学部
〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1

★ kitou@agr.u-ryukyu.ac.jp

2 鹿児島大学連合農学研究科生物環境科学連合講座

3 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター

4 現: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター
Makoto Kitou^{★1,2}, Anna Tamashiro¹ and Keiko Nakatani^{3,4}; Comparison of the possibility for naturalization between *Sesbania cannabina* and *S. rostrata* based on seed production characteristics

1 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Sennbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

2 The United Graduate School of Agriculture Science, Kagoshima University

3 Central Region Agricultural Research Center, NARO

4 Present address: Western Region Agricultural Research Center, NARO (2017 年 12 月 13 日受付, 2018 年 7 月 7 日受理)

研究センター実験圃場、黒ボク土圃場)において栽培試験を行い、両植物の開花結実性、種子生産数および結実種子の発芽休眠特性について調査した。つくば市での試験では本試験とは異なる別の植物種子生産数の調査を合わせて行っていたためポット栽培ではなく圃場で栽培した。

2013年は6月28日に条間0.8mで播種し、出芽後間引きして株間0.5mとした。2014年は7月3日に条間1.0mで播種し、出芽後間引きして株間0.5mとした。施肥は両年とも化成肥料でN, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ1.8g, 6.0g, 6.0g m^{-2} 相当量を播種前に施肥した。キバナツノクサネムは2013年9月2日に開花した3個体、2014年は9月11日に開花した1個体、*S. rostrata*は2013年9月29日、10月3日、10月4日に開花した各1個体、計3個体、2014年は10月1日、10月2日、10月4日に開花した1個体の計3個体に形成した全莢を採取し、風乾後種子を完熟種子と未熟種子に分別するとともに、風乾後種子を完熟種子と未熟種子に分別するとともに、風乾貯蔵後の完熟種子を発芽試験に供試した。両年とも種子を採取した個体を含め、キバナツノクサネムは2013年7個体、*S. rostrata*は2013年25個体、2014年20個体の開花日を記録して平均開花日を算出した。ただし、2014年のキバナツノクサネムは開花・結実した個体が1個体のみであるため平均開花日は算出していない。

3. つくば市で採取した種子の発芽試験

発芽試験は、直径9cmシャーレに直径8cm、厚さ5mmのスポンジとろ紙を1枚敷き、蒸留水25mLを加えた後、両種とも2013年は50粒、2014年は20粒の種子を置床し、明期30°Cで12時間、暗期20°Cで12時間に設定した人工気象器内に置き、21日間の累計発芽数を調査した(発芽試験1)。その後、未発芽種子を暗所5°Cに28日間置き、低温処理をしたのち同条件で21日間の累計発芽数を調査した(発芽試験2)。発芽試験1で発芽した種子は非休眠状態で発芽

可能な種子、発芽試験2開始時および試験期間中に発芽した種子は低温湿潤条件で休眠覚醒する休眠の浅い種子(休眠1種子)と判断した。発芽試験2で未発芽の種子のうち、ピンセットを用いた押しつぶし法(山末2001)により腐敗すなわち死滅を確認した種子を取り除き、TTC水溶液による胚の染色により活性を確認するTTC検定法(山末2001)により生存が確認された種子は低温湿潤条件でも覚醒されにくい休眠の深い種子(休眠2種子)と判断した。発芽試験は2013年の種子では2014年2月24日、2013年の種子は2015年2月25日に開始し、両年とも3反復で行った。

4. 土壌理化学性の分析法

土壌の理化学性は定法に従い求めた。すなわち、pHは1:2.5(w/v)の水抽出後に電極法(伊達1986)、全炭素および全窒素はNCアナライザー(山田1997)、無機態窒素はブレムナー法(深山ら1970)、全リンは硝酸-過塩素酸による湿式灰化後(関谷1970)、リン酸吸収係数は25g L^{-1} リン酸アンモニウムの吸着量を比色法(南条1986)で測定した。

結 果

2012年から2014年に調査したキバナツノクサネムの種子数と日長は第1図に示した。

キバナツノクサネムは2012年から2014年の3年間とも沖縄では播種当年で開花・結実が見られ完熟種子が採取された。また、3年間とも8月上旬から完熟した種子が採取され、9月下旬にも種子生産が続いた。

2012年は日長が13時間程度の8月9日から9月13日までの調査期間中にポット当たり約2000粒以上の完熟した種子が生産された(第1図a)。栽培試験の結果、2013年と2014年とも日長が13時間程度の8月から種子生産が確認され、種子生産確認時の日長はおおよそ13時間程度であった。

一方、2012年から2014年の3月から6月に播種した

第1図 キバナツノクサネム (*S. cannabina*) の種子数と日長の推移

第1表 つくば市で栽培した2種セスバニア属植物の開花日、日長および種子採取数

		開花開始日	開花日平均	開花日平均 日長時間	開花日平均 20 日前 日長時間	種子採取数 / 個体
キバナツノクサネム (<i>S. cannabina</i>)	2013 年	8 月 19 日	9 月 2.4 日 $\pm$ 7.2	12.9	13.6	1627.0 $\pm$ 1162.9
	2014 年	9 月 11 日		12.6	13.3	1442.0
<i>S. rostrata</i>	2013 年	9 月 29 日	10 月 4.9 日 $\pm$ 2.3	11.7	12.4	780.3 $\pm$ 669.7
	2014 年	9 月 30 日	10 月 4.2 日 $\pm$ 3.1	11.7	12.5	875.7 $\pm$ 304.3

平均 $\pm$ 標準偏差

S. rostrata は、9 月下旬に開花が認められたが、調査期間中に莢形成が行われず沖縄での種子生産は行われなかった。

また、2013 年につくば市で圃場栽培した2種 *Sesbania* 属植物の開花日、日長時間、採取種子数は第1表に示した。*S. rostrata* の平均開花日は、2013 年では10月4.9日 $\pm$ 2.3日、2014 年は10月4.2日 $\pm$ 3.1日と個体間の変動および年次変動が小さかった。本試験で供試した2種の花芽分化が起こる時期は不明であるが、マメ科植物のダイズ（品種：フクユタカ）では開花日平均の20日前との報告があり（梅崎・松本1990）、これを参考にした場合、*S. rostrata* における開花日平均の20日前の日長時間は、各年度とも12.4~12.5時間であった。一方、キバナツノクサネムは2013 年では8月19日から開花が認められ、平均開花日は9月2.4日 $\pm$ 7.2日となった。2014 年では発芽不良等により開花まで生存した個体は1個体のみとなったが、その開花日は9月11日であり、2013 年度の平均開花日と比較して8日以上遅かった。キバナツノクサネムの開花は年次変動を考慮しても、*S. rostrata* と比較して20日以上早く、両年の開花開始日の違いから個体間の変動も大きいことが想定され、開花日平均の20日前の日長時間は13.3~13.6時間であった。なお、個体あたりの完熟種子数は、*S. rostrata* は780~876粒に対して、キバナツノクサネムは1442~1627粒と2年間とも1000粒以上となり、*S. rostrata* と比較して2倍近い種子を生産することが認められた。

採取種子の発芽試験の結果を第2図に示した。*S. rostrata* は調査した2年間に採種種子の全てが死滅種子であった。一方、キバナツノクサネムについては発芽種子の割合は2年間とも約20~25%であったのに対し、休眠種子の割合は年次変動が大きく、2013 年は30%以上で2014 年は0%であった。

考 察

セスバニア属植物のキバナツノクサネムと *S. rostrata* は、緑肥として日本各地で導入されているが、現在のところ雑草化や農業上の問題となった報告はない。しかし、国内において沖縄を含む亜熱帯地域では種子生産が行われ、雑草化することも懸念される。クロタリヤ属植物の *Crotalaria breviflora* は、石垣島で緑肥としての可能性が調査された後、島内各地

第2図 つくば市で栽培した2種セスバニア属植物から採取した種子の発芽率、休眠率および死滅率

で農耕地生態系外にエスケープし雑草化している（持田ら2003）。*C. breviflora* は、石垣島以外では確認されていないこと、草丈が50 cm~70 cm程度と低く、他の雑草と同時に機械刈りすることも容易であり農作業上問題になっていない。

本試験で調査した2種のセスバニア属植物は、草丈は2 m程度と高く、茎部は地際で直径2 cm~3 cmとなり、エスケープした場合、バイオマス量が大きく、他種との競合が懸念される。また、特に *S. rostrata* は湿生環境でも生育可能であり、河川や水路による分布域の拡大が懸念される（塩屋ら1990）。

本試験は沖縄でポット栽培による種子生産数を3年間調査し、つくば市においても圃場で種子生産数と発芽能力を2年間調査した。その結果、*S. rostrata* は発芽能力のある種子は確認されず（第2図）、つくば市で採取された種子に発芽能力はなかったことから現状では雑草化の危険性は少ないと考えられる。

一方、キバナツノクサネムは日長13時間程度の8月に種子生産が確認され（第1図）、開花しながら栄養生長を続ける無限伸育成を示した。沖縄でのポット試験での結果、個体

当たり約 1000 粒の完熟種子が 8 月上旬から 9 月上旬の間に採取された (第 1 図)。栽培条件など異なるが、つくば市においても沖縄での種子生産量よりは少ないものの発芽能力のある種子が生産された。今後、両植物の日長反応性についてはさらに調査が必要であるが、キバナツノクサネムは栄養生長が盛んで、緑肥として栽培している期間に生殖成長も同時に行われて種子が生産されることが明らかになった。そのため、緑肥として植物体をすき込み施用あるいは表面施用する時期に発芽能力のある種子が土壤に埋設あるいは散布されることが考えられる。本試験で調査した 2 種はいずれも硬実種子であることが知られており (渡辺ら 1990; 高橋 2003)、発芽は斉一性が低いために長期にわたり埋土種子として存在し続ける可能性もある。

種子生産性における雑草化の危険性は、*S. rostrata* では緑肥として栽培する限りほとんどないと言えるが、キバナツノクサネムはつくば市での栽培試験で個体当たりの完熟種子数が年次変動はあるものの多く、2014 年の試験では発芽不良により採取個体が少なく死滅種子の割合が多くなり、休眠性の強い種子がほとんど認められなかったが、2013 年の試験では休眠性の強い種子の割合が多く認められたことから、シードバンク形成による雑草化の危険性は否定できないため緑肥としての利用の際にも注意を払う必要がある。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費基盤研究 C (No.26450024) において行った。

引用文献

- Aono, T., N. Kanada, A. Ijima and H. Oyaizu 2001. The response of the phosphate uptake system and the organic acid exudation system to phosphate starvation in *Sesbania rostrata*. *Plant Cell Physiol.* 42, 1253–1264.
- 大門弘幸 1999. 熱帯原産マメ化植物の緑肥利用に関する研究の現状と種々の作付体系への導入の期待. *日作紀* 68, 337–347.
- Shiba, H. and H. Daimon 2003. Histological observation of secondary aerenchyma formed immediately after flooding in *Sesbania cannabina* and *S. rostrata*. *Plant and Soil* 255, 209–215.
- 伊達昇 1986. pH. 土壤標準分析・測定法委員会編「土壤標準分析・測定法」, 博友社, 東京, pp. 70–71.
- 深山政治・井田明・草野秀・徳永美治・森哲郎・赤塚恵 1970. 無機態窒素. 土壤養分測定法委員会編「土壤養分分析法」, 養賢堂, 東京, pp. 197–200.
- 鬼頭誠・松岡寛之・近藤葉子・内田直次 2009. 赤玉土を用いた数種マメ科植物の低リン耐性の比較とセスバニアの低リン耐性に及ぼす根系発達の影響. *土肥誌* 80, 487–493.
- 持田秀之・渡辺輝夫・久保寺秀夫・松永俊朗 2003. 高収益複合栽培技術体系の構築. 九沖縄農業研究センター. http://www.naro.affrc.go.jp/karc/contents/anet/mokuji/2_1/index.html (2018 年 3 月 18 日アクセス確認)
- 南条正巳 1986. リン酸吸収係数. 土壤標準分析・測定法委員会編「土壤標準分析・測定法」, 博友社, 東京, pp. 124–127.
- 大段秀樹・大門弘幸 1998. 異なる地下水位条件におけるクロタリアとセスバニアの生育と後作ホウレンソウの窒素吸収. *日作紀* 67, 467–472.
- 関谷宏三 1970. 全りん酸. 土壤養分測定法委員会編「土壤養分分析法」, 養賢堂, 東京, pp. 229–232.
- 塩谷哲夫・古賀野完爾・伊藤滋吉 1990. 熱帯マメ科緑肥作物による低湿重粘土輪換田の土壤改良 第 1 報 セスバニア, クロタリア: その生育特性と土壤物理性改善効果. *農作業研究* 25, 59–68.
- 高橋智恵子 2003. 温湯浸漬によるセスバニアの硬実打破. *日作東北支部報* 46, 87–88.
- 田中啓文・吉澤直人・磯井俊行 1999. セスバニア (*Sesbania rostrata*) によるリン酸アルミニウムからのリン酸の吸収と根からの有機酸の分泌. *名城大学総合研究所紀要* 4, 55–61.
- 梅崎輝尚・松本重男 1990. 第 2 報 節間伸長に及ぼす接触処理の影響, ダイズの節間伸長に関する研究. *日作紀* 59, 34–39.
- 渡辺好昭・田中征勝・塩谷哲夫 1990. セスバニア種子の硬実の打破方法. *北陸作物学会報* 25, 81–83.
- 山田寧直・寺井利久・大津善吉・宮寄朋浩・飯野慎也・山崎和之・黒川陽治・小林雅昭 2007. 諫早湾干拓干陸初期における緑肥作物並びに堆肥による早期土壌改良. *長崎総試験報* 33, 27–63.
- 山田裕 1997. 乾式燃焼法. 土壤環境分析法編集委員会編「土壤環境分析法」, 博友社, 東京, pp. 222–231.
- 山末祐二 2001. 種子の休眠・発芽調査法. 日本雑草学会編「雑草科学実験法」, 日本雑草学会, 東京, pp. 50–56.