水稲乾田直播栽培地帯の水田圃場におけるノビエの残存履歴と埋土種子数との関係

橘 雅明[★]・藤本 寛・高橋英博

キーワード：ノビエ，埋土種子数，雑草蔓延度，圃場履歴，水稲乾田直播

Keywords: barnyardgrass, buried seed population, degree of weed infestation, field history, dry seeded rice

緒 言

近年，営農法人等の大規模経営化により，省力や作業分散を目的に水稲乾田直播栽培の導入が図られている。乾田直播栽培では除草剤の処理回数が多くなり，移植や湛水直播栽培に比べて除草コストが高くなる問題がある（橘・藤本 2017）。特にノビエ（*Echinochloa* spp.）は早期から多量に萌芽するので他の雑草に比べ防除が難しい。一方，乾田直播栽培におけるヒメタイヌビエ（*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *formosensis* Ohwi）を対象とした研究では，埋土種子数が 1 m² あたり 1000 粒以下と少ない条件であれば，通常除草剤処理 3 回で防除するところを 2 回に削減可能と報告されている（橘・藤本 2017）。主要雑草であるノビエの埋土種子数が除草剤処理回数を減らせるほど少ないか否かを事前に把握できれば，埋土種子数の少ない圃場では除草コストを削減できる。しかし，多筆圃場を有する農業経営体では，ノビエの埋土種子数を調べるのに多大な時間と労力がかかる（小林・渡邊 2010）ため，埋土種子数が少ない圃場を簡易に推定する手法の開発が望まれる。

ノビエ種子の寿命はコナギ（*Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Presl var. *plantaginea* (Roxb.) Solms-Laub.）（住吉ら 2011）やイヌホタルイ（*Schoenoplectus juncooides* (Roxb.) Palla）（渡辺ら 1991）に比べて短く，寒冷地のタイヌビエ（*E. oryzicola* Vasing.）では前年の埋土種子の 1 年後の生存率は 40% であった（渡邊 2013）。また，温暖地で同一年に生産されたヒメタイヌビエとイヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*）の種子を土壤に埋設した結果，年間の生存率はそれぞれ 7%，8% であった（宮原 1991）。仮にノビエの埋土種子の年間生存率は

40% とし，毎年完全に防除して新たな種子供給がない場合には，ノビエの埋土種子数が 1 m² あたり 6000 粒であった圃場でも 1 年後に 1 m² あたり 2400 粒，2 年後には 1 m² あたり 960 粒まで減少し，埋土種子数の少ない条件に該当することになる。一方，新たな種子供給がある場合には，前年春季の埋土種子数に年間の生存率を乗じ，前年秋に生産され翌年まで生存している種子数を足せば，当該年の埋土種子数となる。タイヌビエでは小穂数が地上部乾物重に比例する（橘ら 2013）ので，稔実率が一定の条件では，秋季の地上部の残存量によって生産される種子数はほぼ決まる。そのため，ノビエの残存量と新たな種子の供給量には密接な関係があるものと推測される。以上の知見を踏まえ，筆者らはノビエの残存量を 2 年間にわたり秋季に達観評価して記録しておけば，その残存履歴を活用してノビエの埋土種子数が少ない圃場を推定できると考えた。

そこで，水稲乾田直播栽培の除草コスト削減に資する基礎的知見を得るため，現地生産法人が管理する水田圃場においてノビエの残存履歴と埋土種子数との関係を検討した。

材料および方法

1. 調査圃場

岡山県岡山市において，本研究に協力いただいた法人が管理する水稲栽培圃場 67 筆（平均面積 24 a，最小面積 3 a，最大面積 114 a）を対象に 2014 年から 2017 年にかけて秋季のノビエの残存程度と春季のノビエの埋土種子数を調査した。調査圃場では 5 月下旬の播種後，6 月下旬に湛水し，10 月中旬に水稲を収穫する乾田直播栽培が主であったが，2014 年には 8 筆，2015 年には 6 筆，2016 年には 19 筆で 6 月下旬から移植栽培が行われた。当地域では麦作が盛んなため，水利慣行として圃場の湛水は 6 月下旬に地域全体で一斉に行われた。各調査圃場の除草剤処理回数は 0～3 回と異なり，処理時期も適期を過ぎることがあり，雑草防除圧は圃場ごとに大きく異なった。

2. ノビエ残存程度の達観評価

調査圃場に発生したノビエの種類はヒメタイヌビエとイヌビエで，両種は圃場の中に混在していたため，本研究では両種を区別せずにノビエとして取り扱った。ノビエが出穂し，圃場における残存の程度が容易に視認できた 2014 年 9 月 24 日，2015 年 9 月 24 日，2016 年 9 月 21 日に対象圃場 1 筆ごとに，圃場に占めるノビエの残存面積の割合をブラウン・ブラ

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

〒 721-8514 広島県福山市西深津町 6-12-1

[★] tachiba@affrc.go.jp

Masaaki Tachibana[★], Hiroshi Fujimoto and Hidehiro Takahashi: Relationship between the field history of barnyardgrass infestation and the buried seed population in dry paddy fields under direct-seeded rice cultivation region

Western Region Agricultural Research Center, NARO, 6-12-1 Nishi-fukatsucho, Fukuyama, Hiroshima 721-8514 Japan

(2018 年 5 月 7 日受付，2018 年 9 月 11 日受理)

ンケの被度階級を参考に達観で I (1%未満), II (1%以上 5%未満), III (5%以上 25%未満), IV (25%以上 50%未満), V (50%以上 100%以下) の 5 段階に分けて評価した。個々の圃場の評価は著者の三人で協議のうえ決定した。

3. ノビエの埋土種子数調査

圃場ごとのノビエの埋土種子数を把握するため、2016 年および 2017 年の両年とも、3 月 23 日と 3 月 24 日に 1 筆あたり 20 点の土壌を採取した。1 筆の圃場を 20 等分した面積あたり 1 点となるように採取場所を定めた。ただし、2017 年には 1 筆で土壌の採取ミスがあり、欠測値となった。1 点の採取土壌体積は直径 4 cm、深さ 15 cm の円柱形の 188.4 cm³ とした。埋土種子数の推定精度として相対標準誤差 $D = (s/\sqrt{q})/m$ (s : 標準偏差標本推定値, q : サンプル数, m : 平均値) の目標をやや大まかな鳥瞰的研究の目安である 0.4 に設定した (久野 1986)。中山ら (2011) の方法を参考に、採取した 20 点の土壌を十分に混和した後、20 等分し 20 サンプルとした後、1 サンプルずつ 1 mm の篩を用いて水洗し、ノビエの種子を回収した。ピンセットの先で押しても潰れないものを生存種子として計数し、埋土種子数とした。推定精度 0.4 とするために必要なサンプル数を超えるまでサンプルの調査を繰り返した。ただし、サンプルを 10 個調査しても必要サンプル数に達しない場合は、調査を打ち切り、調査したサンプルの平均値を圃場の埋土種子数とした。

4. 統計解析

調査圃場におけるノビエの残存履歴と埋土種子数との関係調べるため、ノビエの埋土種子数に 0.5 を加えて Box-Cox 変換したデータを外的基準とし、前々年と前年のノビエ残存程度の組み合わせとノビエ埋土種子数の調査年次をアイテムとして数量化 I 類により解析した。また、外的基準データを残存履歴間で Tukey の HSD 検定により多重比較した。いずれも有意水準は 5% とした。ノビエの埋土種子数の変動性を調べるために、残存履歴ごとに箱ひげ図を作成し、中央値 (箱中の線)、第 1 四分位値 (25% タイル値、箱の下端) および第 3 四分位値 (75% タイル値、箱の上端) を求めた。箱の長さ (第 3 四分位値 - 第 1 四分位値) の 1.5 倍以内にある最小値と最大値を求めて「ひげ」の両端とし、「ひげ」の外の値を外れ値とした。データ解析には統計解析ソフトウェア JMP13.0.0 を使用した。

結 果

ノビエの埋土種子数に対する残存履歴の効果は有意であった ($P < 0.0001$) が、調査年次の効果は有意でなかった ($P = 0.0815$)。そのため、以下では調査年次を要因から除き、2014 年および 2015 年のノビエ残存程度と 2016 年のノビエ埋土種子数のデータセットと 2015 年および 2016 年のノビエ残存程度と 2017 年のノビエ埋土種子数のデータセットを合

わせて解析した。

調査圃場におけるノビエ埋土種子数の最小値は 1 m² あたり 0 粒、最大値は 27866 粒であった (第 1 図)。ノビエの残存程度 IV と V を含む残存履歴に該当する調査圃場数は比較的少なかった (第 1 表)。ノビエ埋土種子数調査の前々年のノビエの残存程度が I で、前年のノビエの残存程度が I の組み合わせ (I・I, 以下全ての残存履歴を「前々年の残存程度」・「前年の残存程度」として同様に表記) の場合、ノビエの埋土種子数は平均で 1 m² あたり 44 粒と最も少なく (第 1 表)、最大値は 318 粒であった。残存履歴が I・II, I・III, II・I の場合、ノビエの埋土種子数は平均で 1 m² あたり 1000 粒以下と少なく、標準誤差も 200 粒以下と比較的小さかった (第 1 表)。また、最大値は 1 m² あたり 955 粒であった (第 1 図)。II・II ではノビエの埋土種子数が平均で 1 m² あたり 1097 粒であったが (第 1 表)、外れ値の 7166 粒を除いた平均では 1 m² あたり 338 粒であり、外れ値を除く最大値は 1 m² あたり 876

第 1 表 現地調査圃場におけるノビエの埋土種子数

ノビエ残存程度		圃場数	ノビエ埋土種子数 (粒 / m ²)		
前々年	前年		平均	標準誤差	
I	I	18	44 f	22	
I	II	9	336 def	123	
I	III	6	438 def	164	
I	IV	2	2548 abcdef	956	
II	I	9	212 ef	104	
II	II	9	1097 cdef	766	
II	III	12	1827 bcde	722	
II	IV	2	9103 abcd	3371	
II	V	1	1592 abcdef	—	
III	I	4	1413 bcdef	1129	
III	II	9	1427 bcde	497	
III	III	16	5282 ab	1652	
III	IV	5	7431 abc	2827	
III	V	2	4114 abcde	664	
IV	I	2	1314 abcdef	916	
IV	II	3	2681 abcdef	1379	
IV	III	3	4865 abcd	1609	
IV	V	1	10085 abcde	—	
V	I	2	3583 abcdef	2946	
V	II	4	5812 abcd	3467	
V	III	6	6768 ab	1559	
V	IV	1	6635 abcdef	—	
V	V	7	13975 a	3426	

ノビエの埋土種子数は 2016 年および 2017 年の 3 月に調査した。ノビエの残存程度は埋土種子数調査の前々年および前年の 9 月に圃場に占めるノビエの残存面積の割合を達観評価し、I (1%未満), II (1%以上 5%未満), III (5%以上 25%未満), IV (25%以上 50%未満), V (50%以上 100%以下) の 5 段階に分けた。表中の同一英小文字間には 5% 水準で有意差がない (Tukey の HSD 検定)。— は算出不能。

第1図 ノビエの残存履歴と埋土種子数との関係

横軸は前々年と前年の秋季におけるノビエ残存程度の組み合わせを示す。圃場に占めるノビエの残存面積の割合を達観評価し、I (1%未満)、II (1%以上5%未満)、III (5%以上25%未満)、IV (25%以上50%未満)、V (50%以上100%以下)の5段階に分けた。箱ひげ図では、箱中の線が中央値、箱の下端が25%値(第1四分位値)、箱の上端が75%値(第3四分位値)、ひげの両端は箱の長さの1.5倍以内にある最大値と最小値、ひげの外の○は外れ値を示す。

粒であった(第1図)。III・Iではノビエの埋土種子数は平均で1m²あたり1413粒、標準誤差は1129粒であり(第1表)、最大値は1m²あたり4777粒であった(第1図)。V・Vではノビエの埋土種子数は平均で1m²あたり13975粒と最も多く、標準誤差は3426粒であった(第1表)。また、最小値は1m²あたり1911粒、最大値は27601粒であった(第1図)。残存履歴間の多重比較の結果、各残存履歴は重なり的大きい多数のグループに分かれ、各グループの範囲も広がった(第1表)。ノビエの残存程度が大きい組み合わせの残存履歴ほどノビエの埋土種子数は多くなり、かつデータのばらつきも大きくなる傾向がみられた(第1図)。

考 察

本研究で調査した現地の水田圃場では乾田直播栽培が主であったが、一部で移植栽培も行われた。しかし、湛水時期は両栽培法で同一の時期であったため、湛水期間に大きな違いはなかったと考えられる。代かきの有無や除草剤の使用履歴は栽培法により異なったが、それらの違いが発芽しなかった埋土種子の生死に大きく影響したとは考えにくい。また、ノビエの埋土種子数に対する調査年次の効果は有意でなく、調査結果に対し調査年次の違いは大きく影響していないと考えられる。

本研究で得られたデータの特徴として、ノビエの残存程度が大きかった圃場ではノビエの埋土種子数が多くなる傾向が

みられた (第 1 表)。しかし、データの分布を概観するとその関係は直線的ではなく、ノビエの埋土種子数の平均値が大きい場合に測定値のばらつき、すなわち分散が大きい扇型となった (第 1 図)。そのため、ノビエの残存程度が大きい条件ではノビエ埋土種子数の分散が大き過ぎ、本試験で得られた残存履歴を用いて埋土種子数を精度良く推定することは困難である。この原因として、ノビエ残存程度の各段階の幅が大きく、同じ段階でも生産される種子数にばらつきがあった可能性や稲作期間外の土壌水分の違いで圃場ごとにノビエ種子の生存率が異なった (荒井・宮原 1963, 宮原 1991) 可能性、埋土種子数調査のサンプル数が少なく実態を反映できなかった可能性などが考えられる。

一方、本研究の目的はノビエの埋土種子数が除草剤処理回数を減らせるほど少ないか否かをノビエの残存履歴から推定することである。外れ値を除いたデータをみると I・I、I・II、I・III、II・I、II・II の残存履歴でノビエの埋土種子数の最大値が 1 m^2 あたり 1000 粒を下回っていた (第 1 図)。しかし、I・III の逆のパターンである III・I の残存履歴ではノビエの埋土種子数は平均で 1 m^2 あたり 1000 粒を上回り、最大値も 5000 粒に近かった (第 1 表、第 1 図)。そのため、残存履歴にノビエの残存程度 III を含む場合には、ノビエの埋土種子数が低位安定するか不確かである。以上の結果を踏まえると、ノビエの残存程度が 5% 未満の組み合わせである I・I、I・II、II・I、II・II の残存履歴であれば、ノビエの埋土種子数が 1 m^2 あたり 1000 粒を下回ると考えられ、橘・藤本 (2017) が報告しているように、除草剤の処理回数を 1 回削減できる可能性がある。

このように、本研究では、秋季の達観評価により圃場に占めるノビエの残存面積の割合が 2 年連続で 5% 未満の場合、ノビエの埋土種子数は 1 m^2 あたり 1000 粒以下と推定できることが明らかになった。今後は、本手法を用いて推定したノビエ埋土種子数の少ない圃場で、除草剤処理回数の削減が可能であることを実証する必要がある。種子寿命の長い雑草種 (住吉ら 2011, 渡辺ら 1991) について埋土種子数が少ない圃

場を本手法で推定することは困難であるが、種子寿命の短い雑草種に関しては本手法の応用が可能と考えられる。

謝 辞

本研究は、農研機構中課題「中山間地域における広域水田営農システムの実現に向けた技術体系の確立」(運営費交付金) および農林水産省委託プロジェクト研究「飼料用米の収量を高位安定化させる生産技術等の開発」の研究費を利用して実施した。本研究の遂行にご協力いただいた農研機構西日本農業研究センター技術支援センター業務第 1 科の門田克史氏、原富男氏、山崎孝昭氏をはじめとする諸氏に深く感謝の意を表する。

引用文献

- 荒井正雄・宮原益次 1963. 水田雑草タイヌビエの生理生態学的研究 第 4 報 休眠覚醒過程における種子の死滅について. 日本作物学会紀事 31, 190-194.
- 小林浩幸・渡邊寛明 2010. 雑草研究における埋土種子調査の目的と手法. 雑草研究 55, 194-207.
- 久野英二 1986. 「生態学研究法講座 17 動物の個体群動態研究法 I —個体数推定法—」. 共立出版, 東京, pp. 55-57.
- 宮原益次 1991. 「水稻作雑草研究 40 年」. 私刊, 鴻巣, pp. 105-112.
- 中山壮一・柴田泰宙・浅井元朗 2011. 埋土種子調査のためのサンプリング計画. 雑草研究 56, 53-61.
- 住吉正・小荒井晃・川名義明・牛木純・赤坂舞子・渡邊寛明 2011. 水稻作における難防除雑草の埋土種子調査法. 雑草研究 56, 43-52.
- 橘雅明・中山壮一・河本英憲・押部明徳・渡邊寛明 2013. 北東北地域の飼料イネ栽培におけるタイヌビエの許容残存量. 雑草研究 58, 177-182.
- 橘雅明・藤本寛 2017. 水稻乾田直播栽培におけるヒメタイヌビエおよびクサネムの埋土種子数と防除に必要な除草剤処理回数との関係. 雑草研究 62, 97-109.
- 渡辺寛明・宮原益次・芝山秀次郎 1991. 水田土壌中におけるイヌホタルイ種子の生存状態と発生. 雑草研究 36, 362-371.
- 渡邊寛明 2013. 埋土種子動態の解析に基づく水田雑草の総合的管理戦略の構築. 雑草研究 58, 183-189.