

ミニ特集：雑草防除に関する最近の話題

農地生態系における雑草と種子食昆虫の生物間相互作用： IPM への適用可能性

静岡県農林技術研究所 いち市 はら原 みのる実

はじめに

農地には雑草種子を捕食する様々な生物が生息している。ゴミムシ類やコオロギ類等の種子食昆虫類、ミミズ類、ナメクジ類、げっ歯類、鳥類等、多種の生物が雑草種子を餌資源として利用している (EVANS et al., 2011; 山下, 2011)。一方、植物にとって種子生産は、世代交代や分布拡大、個体群の増減にかかわる重要な生活史ステージであるため、種子捕食は雑草個体群の量的および空間的な動態に大きな影響を及ぼしうる (ZHANG et al., 1997)。種子捕食は農地の雑草種子の主要な死滅要因であり、その強度によっては雑草個体群を強く抑制しうることから、近年では雑草の生物的防除への利用が期待されている (WESTERMAN et al., 2003; 2005)。雑草管理の観点からの種子捕食の研究は、主に欧米諸国で進展しつつあるが、日本を含むアジア地域ではまだ始まったばかりである (ICHIHARA et al., 2011; 山下, 2011)。

種子捕食は、その生じるタイミングによって「散布前捕食 (pre-dispersal predation)」と「散布後捕食 (post-dispersal predation)」に分類される。散布前捕食は、植物体から散布される前の種子に対する捕食であり、植物体上で生じる。その捕食者の多くは昆虫類で、特定の植物の種子を捕食するスペシャリストである (CRAWLEY, 2000) ため、しばしば強害な外来雑草に対する生物的防除のエージェントとして利用される (SHEA et al., 2005)。一方、散布後捕食は、植物体から散布された後の種子に対する捕食であり、主に地表面で生じる。その捕食者はゴミムシ類やコオロギ類等の昆虫類やげっ歯類、鳥類等幅広く、多くは様々な植物の種子を捕食するジェネラリストである (CRAWLEY, 2000)。これらジェネラリストによる散布後捕食は、幅広い雑草種に対する防除手段となる可能性があり、近年では総合的有害生物管理 (IPM) の雑草管理手段としての利用が期待されている (WESTERMAN et al., 2003; 2005)。散布後捕食者の中でも、

特にゴミムシ類やコオロギ類は農地に多く生息し、またげっ歯類や鳥類と比べ、作物などに対する害が生じにくいいため、雑草の生物的防除のエージェントとして有用と考えられる。

本稿では、IPM への利用が期待されている散布後種子捕食に焦点を当て、①重要な種子食昆虫であるゴミムシ類とコオロギ類について解説し、②種子食昆虫による雑草種子の低減効果についての国内外の研究を紹介する。さらに、③種子食昆虫の保全における農地の景観構造や圃場周辺環境の重要性について述べる。

I 農地における重要な種子食昆虫

1 ゴミムシ類

ゴミムシ類は多くが肉食性であるため、害虫の天敵として注目されているが、一部の種については種子食性であり、雑草種子を捕食する。欧米の温帯地域の農地では、ゴミムシ類が最も重要な種子食昆虫とされており、雑草管理の観点からゴミムシ類を対象とした研究が進展している。欧米の農地における種子食ゴミムシ類は、*Harpalus* 属や *Amara* 属が優占することが多い (山下, 2011)。これらのゴミムシ類は、種子の物理的 (大きさ、硬さ等)・化学的 (栄養価など) 性質により嗜好性の違いがあるものの、様々な雑草種の種子を幅広く捕食する (HONEK et al., 2003; LUNDGREN and ROSENTRATER, 2007)。BOHAN et al. (2011) は、イギリス全土の 257 圃場における調査データを解析し、ゴミムシ類が農地の雑草埋土種子の制御に関与していることを明らかにした。

日本でのゴミムシ類の種子捕食についての知見はまだ少ないが、静岡県の水田転換コムギ圃場では、クロゴモクムシ (*Harpalus niigatanus*)、ウスアカクロゴモクムシ (*Harpalus sinicus*)、ツヤアオゴモクムシ (*Harpalus chalcatus*)、ホシボシゴミムシ (*Anisodactylus punctatipennis*)、ゴミムシ (*Anisodactylus signatus*) が生息しており (ICHIHARA et al., 2011)、これらはネズミムギ (*Lolium multiflorum*) やシロザ (*Chenopodium album*) 等複数種の雑草種子を捕食することが確認されている (ICHIHARA et al., 2011; 山下, 2011)。畑地以外にも、水田畦畔 (李ら, 2008) や休耕地 (YAMAZAKI et al., 2003) に、*Harpalus*

Biological Interaction between Weeds and Insect Seed Predators in Agro-ecosystems: Applicability to IPM. By Minoru ICHIHARA

(キーワード: 雑草の生物的防除, 散布後種子捕食, ゴミムシ類, コオロギ類, 季節消長, 景観要素)

属, *Amara* 属, *Anisodactylus* 属が多く生息する。

ゴミムシ類は繁殖時期によって、春繁殖型と秋繁殖型の2タイプに分類される。春から初夏に繁殖する春繁殖型ゴミムシと、夏から秋に繁殖する秋繁殖型ゴミムシは、それぞれこの時期に種子の捕食量が増加する (HONEK et al., 2006)。雑草は生育期によって、冬雑草と夏雑草に分類され、冬雑草は春から初夏に、夏雑草は夏から秋にかけて種子を散布する。したがって、春繁殖型ゴミムシと秋繁殖型ゴミムシは、それぞれ冬雑草と夏雑草の種子減少に貢献すると考えられる。

2 コオロギ類

コオロギ類はゴミムシ類よりも体長が大きく、雑草種子の採食能力が極めて高い (LUNDGREN and ROSENTRATER, 2007; WHITE et al., 2007)。コオロギ類の種子捕食についての研究は、ゴミムシ類ほど多くはないが、北アメリカに広く分布する *Gryllus pennsylvanicus* (フタホシコオロギ属) については、種子の採食能力 (LUNDGREN and ROSENTRATER, 2007; WHITE et al., 2007) や雑草の出芽への影響 (BRUST, 1994; WHITE et al., 2007)、圃場における個体群密度 (O'ROURKE et al., 2006) 等が調査されている。*G. pennsylvanicus* は、種子の特性によって選好性の違いがあるものの、アキノエノコログサ (*Setaria faberi*) やオニメヒシバ (*Digitaria sanguinalis*)、シロザ等、様々な雑草種の種子を幅広く捕食する (LUNDGREN and ROSENTRATER, 2007; WHITE et al., 2007)。米国アイオワ州のトウモロコシ-ダイズ輪作圃場では、*G. pennsylvanicus* が種子食昆虫類の中で優占しており、アキノエノコログサ種子の減少に最も貢献していた (O'ROURKE et al., 2006)。

日本の農地には、エンマコオロギ (*Teleogryllus emma*) やハラオカメコオロギ (*Loxoblemmus campestris*)、ツツレサセコオロギ (*Velarifictorus micado*) 等多種のコオロギ類が生息している。それらの多くは夏期に成虫が出現するため、メヒシバ (*Digitaria ciliaris*) やシロザ等夏から秋に種子を散布する夏雑草は、その種子捕食の影響を受けやすいと考えられる。また、春から初夏に散布される冬雑草の種子でも、夏期に地表面に残存しているものは、コオロギ類の捕食を受けるであろう。エンマコオロギは、シロザ (山下, 2011) やネズミムギ (ICHIHARA et al., 2011) 等複数種の雑草の種子を捕食することが確認されている。

コオロギ類は水田畦畔にも生息している。水田の落水後には、コオロギ類が畦畔から水田内部に侵入し、水田の強害雑草であるイヌビエ (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*) の種子を捕食する (市原, 未発表)。そのた

めコオロギ類は、水田内の雑草種子低減にも貢献する可能性がある。コオロギ類は野菜類には幼苗期に加害することがあるが、水稲への被害は認められていないため、特に水田地域における雑草の生物的防除のエージェントとして有用と考えられる。

II 種子食昆虫による雑草種子の低減効果

種子食昆虫による雑草種子の低減効果を評価するためには、種子散布と種子捕食の季節消長を把握し、植物体から散布された種子のうち何割が捕食されるのかを推定する必要がある。WESTERMAN et al. (2003) は、オランダのコムギ圃場に優占する雑草 10 数種について、散布種子数と種子捕食率の季節消長を調査した。その結果、散布後の雑草種子の 32 ~ 70% が、種子捕食によって失われていることが示された。ここでの種子捕食者はげっ歯類とゴミムシ類であり、一部の調査圃場ではゴミムシ類が主捕食者であった。

さらに WESTERMAN et al. (2005) は、種子捕食が雑草の個体群動態に及ぼす影響を定量した。米国アイオワ州の2年輪作体系 (トウモロコシ-ダイズ) と4年輪作体系 (トウモロコシ-ダイズ-ライコムギ・アルファルファ混作-アルファルファ) の圃場において、アオイ科雑草イチビ (*Abutilon theophrasti*) の生活史データ (埋土種子数、出芽率、実生生存率、散布種子数、種子捕食率等) を調査し、個体群動態モデルにより、イチビ埋土種子量の20年間の推移をシミュレートした。その結果、4年輪作ではコオロギ類やゴミムシ類等による種子捕食率が高く、その高い捕食圧がイチビ個体群を安定的に抑制することが示された。防除による雑草の死滅率が 99.9% から 75.0% に減少した場合、つまり雑草防除の効果が低下した場合、2年輪作ではイチビ密度が急増するのに対して、種子捕食率の高い4年輪作では影響が小さいことが予測された (防除効果 75% のときの2年輪作と4年輪作の年平均個体群増加率は、それぞれ 1.73 と 1.04)。これより、除草剤による防除が仮に失敗した場合、2年輪作では作物収量の低下による損失や雑草防除のコストが多額になるのに対して、4年輪作ではそのような危険性が低いと考えられた。なお4年輪作で種子捕食が強化されるのは、ライコムギやアルファルファの栽培への組込みが種子食者の繁殖・生息に好適な環境をもたらすためである。これらの結果から、種子捕食は雑草の生物的防除手段の一つとなりうることを示された。

日本の農地においても近年、種子捕食による雑草種子の低減効果を評価する取り組みが始まった。ICHIHARA et al. (2011) は、静岡県内の水田転換コムギ圃場において、

表-1 水田転換コムギ圃場の内部と畦畔における外来雑草ネズミムギの散布後種子捕食率 (%)

種子捕食者	2006		2007	
	圃場内部	畦畔	圃場内部	畦畔
昆虫類+げっ歯類+鳥類	43	—	35	42
昆虫類 (コオロギ類+ゴミムシ類)	34	—	13	33

ICHIHARA et al. (2011) を改変. 上段は昆虫類, げっ歯類および鳥類による種子捕食率, 下段は昆虫類 (コオロギ類およびゴミムシ類) のみによる種子捕食率を示している.

外来イネ科雑草ネズミムギの種子散布後に, 種子捕食率の季節消長を調査した。その結果, 圃場内では散布後種子の35~43%が, 畦畔では42%が, 種子捕食によって失われることが示された (表-1)。種子捕食者は, 圃場内部では昆虫類 (コオロギ類, ゴミムシ類), げっ歯類および鳥類, 畦畔では主に昆虫類 (コオロギ類, ゴミムシ類) であった。本研究より, 日本の水田転換コムギ圃場においても, 種子捕食は雑草埋土種子の重要な減少要因の一つと考えられた。しかしこの調査圃場は, 圃場整備された大規模農業地域に位置しており, 種子食昆虫の重要な生息地となる畦畔面積が小さく, さらに降雨で滞水しやすい水田転換圃場であったため, 種子食昆虫の生息には不適と考えられた (ICHIHARA et al., 2011)。圃場の環境条件や立地環境によっては, 種子捕食率が本研究結果よりもさらに高い可能性がある。

種子食昆虫は, 農地の雑草の群集構造にも影響しうる。BRUST (1994) は, 複数の雑草種の種子を播種した区画に, ゴミムシ類とコオロギ類 (*G. pennsylvanicus*) を放飼し, 各草種の出芽や生長に及ぼす影響を調査した。その結果, これらの種子食昆虫は, イネ科雑草の種子よりも広葉雑草のアオゲイトウ (*Amaranthus retroflexus*) やシロザの種子を好んで捕食し, 広葉雑草の競争力を低下させることが示された。実際, これらの種子食昆虫の多く生息する圃場では, 広葉雑草が少なかった (BRUST, 1994)。日本に生息するゴミムシ類やコオロギ類についても, 種子選好性や出芽への影響を明らかにすることにより, 雑草群集への影響を予測できるかもしれない。

III 農地の景観構造と圃場周辺環境の重要性

種子食昆虫による雑草種子の捕食は, 農地の在来昆虫が人間にもたらす恵みであり, 生態系サービスの一つと捉えることができる。この“種子捕食サービス”を維持, 向上させるためには, 農地の種子食昆虫を保全することが必要である。圃場周辺部の畦畔草地や休耕地は, ゴミ

ムシ類 (YAMAZAKI et al., 2003; SASKA et al., 2007; 李ら, 2008) やコオロギ類 (市原, 未発表) の重要な生息地であり, 農地の種子食昆虫を支持するうえで重要な役割を果たしていると考えられる。そのため, 農業地域における畦畔草地・休耕地の割合や, これらの形状, 空間的な配置が, 圃場内の種子捕食に大きく影響するであろう。米国ミシガン州のトウモロコシ圃場では, 農地の景観構造によって圃場内の種子捕食率が変動することが示されている (MENALLED et al., 2000)。一方, 農地の多くを水田が占めるアジア地域においては, 景観構造と種子捕食の関係についての研究はなく, 今後, 定量的な評価を行う必要がある。

農地の種子食昆虫を保全するためには, 重要な生息地である圃場周辺部を適切に管理することが必要である。圃場周辺部の植生管理は, 高強度の草刈りや除草剤の利用が一般的である。しかし, これらの種子食昆虫はかく乱の少ない, 植生に被覆された環境を好むと考えられる。最近では, 畦畔の草刈り高を通常よりもやや高めることで, 斑点米カメムシ類の発生源となるイネ科雑草を抑制する新たな草刈り技術 (高草刈り) (稲垣ら, 2012) や, 雑草を枯死させずに生育を抑制することで畦畔の裸地化を防ぐ抑草剤が開発されている。これらのかく乱の少ない植生管理技術が植生動態と種子食昆虫に及ぼす影響を評価することにより, 種子食昆虫の保全にも有効な管理技術を見いだせる可能性がある。

一方, 中山間地など農家の高齢化が深刻な地域では, 畦畔など圃場周辺部の管理が困難になりつつある。このような地域では, 農家高齢化への対応と生態系サービスの確保を両立できる畦畔管理を行うことが必要であろう。農家高齢化に対応した畦畔の省力的管理技術の一つとして, 近年ではカバープランツ (ヒメイワダレスウヤシバザクラ等) の植栽が注目されており, 雑草抑制や土壌侵食防止等の効果が期待されている (大谷ら, 2007)。カバープランツの植栽畦畔では, 草刈りや除草剤等のか

く乱が少ないため、種子食昆虫が増加する可能性がある。実際、ヒメイワダレソウやシバザクラの植栽畦では、コオロギ類の個体群密度や種子捕食率が高いことが確認されている（市原，未発表）。圃場周辺部の省力的管理の必要とされる地域では、今後カバープランツの導入が進むことが予想される。そのため、導入の際のかく乱および定着後の移入等、種子食昆虫への影響を明らかにしておく必要もあるだろう。

おわりに

農地の雑草の生産する種子は、種子を捕食する多くの生物種の餌資源となり、農地の生物多様性を支えている（EVANS et al., 2011）。一方、種子食者による種子捕食は、雑草種子の主要な死滅要因であり、雑草の動態に影響を及ぼしうる（ZHANG et al., 1997）。種子食者の中でも特に、ゴミムシ類やコオロギ類は農地に多く生息し、雑草種子の採食能力が高いことから、IPM における雑草管理手段としての利用が期待されている（WESTERMAN et al., 2005）。IPM における種子捕食の効果を高めるためには、農地の種子食昆虫の維持が重要であり、それらの生息地となる圃場周辺環境を適切に管理する必要がある。このような農地の生物間相互作用やその作物生産への応用についての研究は、農地生態系の解明や、生態系サービスの持続的利用のために必要不可欠である。

近年では、農地生態系の劣化が国内外で深刻な問題となっており、生態系を重視した持続的農業の再構築が求められている。農地生態系は、種子食者による雑草種子捕食や、天敵による害虫捕食、ポリネーターによる作物の授粉等、様々な生態系サービスを提供している。欧州

諸国では、農地の生態系サービスの評価や利用についての研究が進展しつつあるが、日本を含むアジア地域での取り組みはまだ始まったばかりである。農地生態系のもたらすこれらのサービスを適正に評価し、積極的な活用を考えていくことは、生態系を重視した持続的農業の再構築に必須であり、さらに農地生態系の保全と再生を前進させるだろう。

最後に、本稿の執筆に貴重なご助言を賜りました静岡県農林技術研究所の稲垣栄洋氏に、お礼申し上げます。

引用文献

- 1) BOHAN, D. A. et al. (2011): J. Appl. Ecol. 48: 888 ~ 898.
- 2) BRUST, G. E. (1994): Agric. Ecosyst. Environ. 48: 27 ~ 34.
- 3) CRAWLEY, M. J. (2000): Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities, 2nd edn., CABI Publishing, New York, p.167 ~ 182.
- 4) EVANS, D. M. et al. (2011): Biol. Conserv. 144: 2941 ~ 2950.
- 5) HONEK, A. et al. (2003): Eur. J. Entomol. 100: 531 ~ 544.
- 6) ——— et al. (2006): Entomol. Exp. Appl. 118: 157 ~ 162.
- 7) ICHIHARA, M. et al. (2011): Agric. Ecosyst. Environ. 140: 191 ~ 198.
- 8) 稲垣栄洋ら (2012): 農業技術体系作物編追録 33, 農文協, 東京, p. 1077 ~ 1081.
- 9) 李 哲敏ら (2008): 昆虫と自然 43: 6 ~ 10.
- 10) LUNDGREN, J. G. and K. A. ROSENTRATER (2007): Arthropod Plant Interact. 1: 93 ~ 99.
- 11) MENALLED, F. D. et al. (2000): Agric. Ecosyst. Environ. 77: 193 ~ 202.
- 12) O'ROURKE, M. E. et al. (2006): ibid. 116: 280 ~ 288.
- 13) 大谷一郎ら (2007): 近中四農研報 6: 39 ~ 53.
- 14) SASKA, P. et al. (2007): Agric. Ecosyst. Environ. 122: 427 ~ 434.
- 15) SHEA, K. et al. (2005): Ecology 86: 3174 ~ 3181.
- 16) WESTERMAN, P. R. et al. (2003): J. Appl. Ecol. 40: 824 ~ 836.
- 17) ——— et al. (2005): Weed Sci. 53: 382 ~ 392.
- 18) WHITE, S. S. et al. (2007): ibid. 55: 606 ~ 612.
- 19) 山下伸夫 (2011): 雑草研究 56: 182 ~ 190.
- 20) YAMAZAKI, K. et al. (2003): Appl. Entomol. Zool. 38: 449 ~ 459.
- 21) ZHANG, J. et al. (1997): MAFES Tech. Bull. 163: 32 pp.

新しく登録された農薬 (24.2.1 ~ 2.29)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、**適用雑草**等を記載。（登録番号：23040 ~ 23053）種類名に下線付きは新規成分。※は新規登録の内容。

「殺虫剤」

- **インドキサカルブ粉剤** ※新剤型
23040：**ガリソンエース粉剤 DL**（アグロカネショウ）12/02/08
インドキサカルブ：0.25%
はくさい：コナガ、アオムシ、ヨトウムシ：収穫7日前まで
キャベツ：コナガ、アオムシ、ヨトウムシ：収穫7日前まで
だいこん：コナガ、アオムシ、ヨトウムシ：収穫21日前まで

「殺菌剤」

- **硫黄・銅水和剤** ※新規参入
23045：**イデクリーン水和剤**（富士グリーン）12/02/08

- 硫黄：25.0%、塩基性塩化銅：61.0%
- うり類：べと病、炭疽病、うどんこ病：—
- トマト：疫病：—
- ミニトマト：疫病：—
- 豆類（種実）：さび病：—
- 豆類（未成熟）：さび病：—
- ばれいしょ：疫病、夏疫病：—
- かんきつ：そうか病、かいよう病、黒点病：—
- なし：黒斑病：—
- ぶどう：褐斑病、晩腐病：—

(39 ページに続く)