

種子食昆虫による雑草種子の低減効果

静岡県農林技術研究所 市原 実

はじめに

雑草の植物体から地表に散布された種子は、その多くが種子食生物の捕食によって失われていることが、近年の研究で明らかになってきた (Westerman et al., 2003; 2005; Ichihara et al., 2011)。ゴミムシ類やコオロギ類などの種子食昆虫類 (図-1)、ミミズ類、ナメクジ類、げっ歯類、鳥類など、農地に生息する多くの生物が雑草種子を捕食する (Evans et al., 2011; 山下, 2011)。雑草にとって種子生産は、世代交代や分布拡大、個体群の増減に関わる重要な過程であり、種子捕食の強度によっては雑草個体群が強く抑制される (Zhang et al., 1997; Westerman et al., 2005)。そのため種子捕食は、雑草の生物的防除手段として、総合的雑草管理(IWM: Integrated Weed Management)における利用が期待されている

(Westerman et al., 2003; 2005; 浅井, 2011; Ichihara et al., 2011; 山下, 2011)。

種子捕食を雑草の生物的防除に適用するためには、種子食者による雑草種子の低減効果や、雑草の個体群動態への影響を明らかにする必要がある。さらに、種子捕食の効果を高めるためには、農地の種子食者を保全することが重要である。このような、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 (Menalled et al., 2000; Westerman et al., 2003; 2005)。一方、アジア地域での研究は極めて少ないが、最近では日本でも、種子食者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; 山下, 2011)。日本の農地では、ゴミムシ類やコオロギ類などの種子食昆虫類、げっ歯類および鳥類が主な種子捕食者である (Ichihara

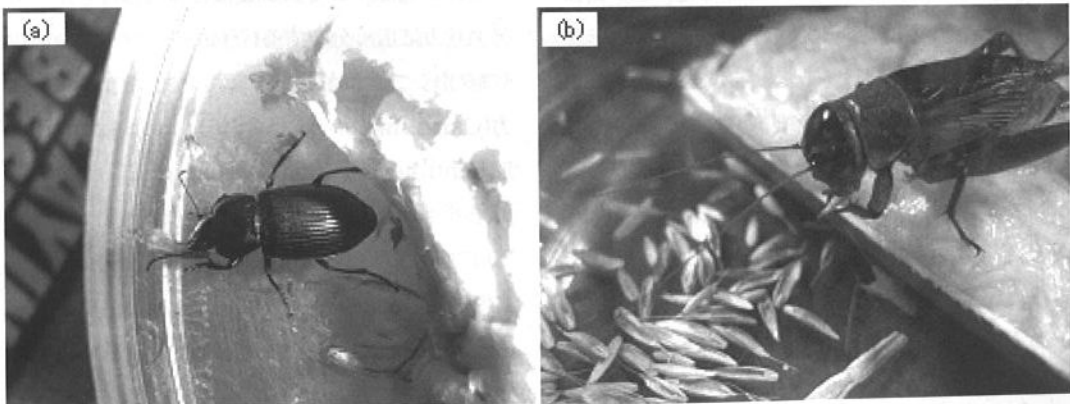


図-1 外来雑草ネズミムギの種子を捕食する (a) ゴミムシ類と、(b) エンマコオロギ

et al., 2011)。これらの中でも、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、作物等に対する害が生じにくいいため、IWMにおける生物的防除資材として有用と考えられる。

本稿では、(1) 日本の農地における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圃場周辺環境の重要性について述べる。

1. 農地の重要な種子食昆虫

(1) ゴミムシ類

ゴミムシ類は地表徘徊性の甲虫であり、一部の種が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、硬さなど)・化学的(栄養価など)特性により選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*)、ウシ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*)など複数の雑草種の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*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数が増加する(Honek et al., 2006)。春から初夏に散布される冬雑草の種子と夏から秋に散布される夏雑草の種子は、それぞれ春繁殖型ゴミムシと秋繁殖型ゴミムシによる捕食を受けると考えられる。

(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(Carmona et al., 1999; 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(Carmona et al., 1999; 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(Carmona et al., 1999; O'Rourke et al., 2006)などが調査されている。*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), シロザなど, 様々な雑草種の種子を幅広く捕食する(Carmona et al., 1999; Lundgren and Rosentrater, 2007; White et al., 2007)。アメリカ・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低減に最も貢献していた(O'Rourke et al., 2006)。また, コオロギ類は植物種子のみでなく, 昆虫なども捕食する広食性捕食者である(Bechinski et al., 1983; Burgess and Hinks, 1987)。そのため, 雑草種子が存在しなくとも昆虫などの代替餌が存在すれば, コオロギ類は個体群を維持できると考えられ, 雑草の侵入抑制にも貢献するであろう。

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*)など多種のコオロギ類が生息している。それらの多くは夏から秋に成虫が出現するため, メヒシバ(*Digitaria ciliaris*)やシロザなど同時期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)など複数の雑草種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。コオロギ類は野菜畑では作物に加

害することがあるが, 水田地域では雑草の生物的防除資材として有用と考えられる。

2. 種子食昆虫による雑草種子の低減効果

(1) 欧米の農地における研究

種子食者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。アメリカ・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, 種子捕食率など)を収集し, 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など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。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が種子食者に好適な生息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。

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。

(2) 日本の農地における研究

日本の農地においても近年、種子食者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。本州以南のコムギ圃場では、外来雑草ネズミムギの蔓延による被害が顕在化しており、除草剤のみによる防除が困難であることから、IWMの構築が求められている(浅井・興語, 2005)。そのためには、ネズミムギの個体群動態の解明や、個体群の抑制要因についての詳細な理解が必要である。そこでIchihara et al. (2011)は、静岡県内の水田転換コムギ圃場において、ネズミムギ種子散布後(コムギ収穫後)の種子捕食率の季節消長を調査し、散布後種子の捕食率を推定した。その結果、圃場内では散布後種子の35~43%が、畦畔では42%が、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であると考えられた。

しかし本調査圃場では、種子捕食がネズミムギ

個体群を強く抑制するには至らないと考えられた(Ichihara et al., 2011)。調査圃場におけるネズミムギ種子散布後の埋土種子密度は4000~5000 m²と極めて高く(市原ら, 2010), そのうち40%程度が捕食されたとしても2400~3000 m²と高密度で存在することとなる。実際、調査翌年のネズミムギの発生程度は、前年とほぼ同じであった。ネズミムギ個体群の抑制のためには、さらに高い割合の種子が捕食される必要がある。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、さらに降雨により圃場内が湛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。

3. 種子食昆虫の保全における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、農地の在来生物が人間にもたらす恵み(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、ゴミムシ類やコオロギ類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。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。アメリカ・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、

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	34	-	13	33

Ichihara et al. (2011) を改変。上段は昆虫類(コオロギ類, ゴミムシ類), 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, ゴミムシ類)のみによる種子捕食率を示している。

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、高強度の草刈りや非選択性除草剤の利用が一般的である。しかし、種子食昆虫は攪乱の少ない、植生に被覆された環境を好むと考えられる。近年では、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。これらの攪乱の少ない植生管理技術が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(ヒメイワダレソウやシバザクラなど)の植栽が注目されており、雑草抑制や土壌侵食防止など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

刈りや除草剤などの攪乱が少ないため、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畔では、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ため、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

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、送粉者による作物授粉など、様々な生態系サービスを提供している。欧米諸国では、農地の生態系サービスの評価や利用、保全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少ない。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、その利用や保全手法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。

引用文献

浅井元朗, 與語靖洋, 2005. 関東・東海地域の麦作圃場におけるカラスムギ, ネズミムギの発生

- 実態とその背景. 雑草研究 50, 73-81.
- 浅井元朗, 2011. 雑草の個体群動態予測モデルと耕地生態系の生物間相互作用: IWMからIPM, IBMへ. 雑草研究 56, 191-196.
- Bechinski, E.J., Bechinski, J.F., Pedigo, L.P., 1983. Survivorship of experimental green cloverworm(Lepidoptera: Noctuidae) pupal cohorts in soybeans. Environ. Entomol. 12, 662-668.
- Bohan, D.A., Boursault, A., Brooks, D.R., Petit, S., 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators J. Appl. Ecol. 48, 888-898.
- Brust, G.E., 1994. Seed-predators reduce broadleaf weed growth and competitive ability. Agric. Ecosyst. Environ. 48, 27-34.
- Burgess, L., Hinks, C.F., 1987. Predation on adults of the crucifer flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* (Goeze), by the northern fall field cricket, *Gryllus pennsylvanicus* Burmeister (Orthoptera: Gryllidae). Can. Entomol. 119, 495-496.
- Carmona, D.M., Menalled, F.D., Landis, D.A., 1999. *Gryllus pennsylvanicus* (Orthoptera: Gryllidae): laboratory weed seed predation and within field activity-density. J. Econ. Entomol. 92, 825-829.
- Evans, D.M., Pocock, M.J.O., Brooks, J., Memmott, J., 2011. Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. Biol. Conserv. 144, 2941-2950.
- Honek, A., Martinkova, Z., Jarosik, V., 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. Eur. J. Entomol. 100, 531-544.
- Honek, A., Saska, P., Martinkova, Z., 2006. Seasonal variation in seed predation by adult carabid beetles. Entomol. Exp. Appl. 118, 157-162.
- 市原 実, 山下雅幸, 澤田 均, 石田義樹, 稲垣榮洋, 木田揚一, 浅井元朗, 2010. コムギ-ダイズ連作圃場における外来雑草ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.)の埋土種子動態と出芽動態—耕起体系と不耕起体系の比較. 雑草研究 55, 16-25.
- Ichihara, M., Maruyama, K., Yamashita, M., Sawada, H., Inagaki, H., Ishida, Y., Asai, M., 2011. Quantifying the ecosystem service of non-native weed seed predation provided by invertebrates and vertebrates in upland wheat fields converted from paddy fields. Agric. Ecosyst. Environ. 140, 191-198.
- 稲垣榮洋, 丹野夕輝, 山下雅幸, 済木千恵子, 松野和夫, 市原 実, 2012. 高刈りによるイネ科雑草と斑点米カメムシの抑制. 農業技術体系作物編追録 33, 農文協, 東京, p.1077-1081.

- 李 哲敏, 長井良浩, 広渡俊哉, 石谷正宇, 石井実, 2008. 圃場整備による水田畦畔のゴミムシ類群集の変化. 昆虫と自然 43, 6-10.
- Lundgren, J.G., Rosentrater, K.A., 2007. The strength of seeds and their destruction by granivorous insects. *Arthropod Plant Interact.* 1, 93-99.
- Menalled, F.D., Marino, P.C., Renner, K.A., Landis, D.A., 2000. Post-dispersal weed seed predation in Michigan crop fields as a function of agricultural landscape structure. *Agric. Ecosyst. Environ.* 77, 193-202.
- O' Rourke, M.E., Heggenstaller, A.H., Liebman, M., Rice, M.E., 2006. Post-dispersal weed seed predation by invertebrates in conventional and low-external-input crop rotation systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116, 280-288.
- 大谷一郎, 渡辺 修, 伏見昭秀, 2007. 畦畔法面への利用を前提としたグラウンドカバープランツの生育および土壌保全機能と植栽斜面方位との関係. 近中四農研報 6, 39-53.
- Westerman, P.R., Wes, J.S., Kropff, M.J., van der Werf, W., 2003. Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. *J. Appl. Ecol.* 40, 824-836.
- Westerman, P.R., Liebman, M., Menalled, F.D., Heggenstaller, A.H., Hartzler, R.G., Dixon, P.M., 2005. Are many little hammers effective? Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics in two- and four-year crop rotation systems. *Weed Sci.* 53, 382-392.
- White, S.S., Renner, K.A., Menalled, F.D., Landis, D.A., 2007. Feeding preferences of weed seed predators and effect on weed emergence. *Weed Sci.* 55, 606-612.
- 山下伸夫, 2011. 無脊椎動物による畑地雑草の種子損耗とその雑草管理への利用性. 雑草研究 56, 182-190.
- Yamazaki, K., Sugiura, S., Kawamura, K., 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and other insect predators overwintering in arable and fallow fields in central Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 38, 449-459.
- Zhang, J., Drummond, F.A., Liebman, M., Hartke, A., 1997. Insect predation of seeds and plant population dynamics. *MAFES Tech. Bull.* 163: 32pp.