

# 静岡県内の水田畦畔およびナシ園におけるグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギの発生実態と防除対策

静岡県病害虫防除所

市原 実

## はじめに

外来のイネ科植物であるネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) は、牧草や河川法面等の緑化資材として利用される一方、農耕地において野生化し、甚大な農業被害が生じている (浅井・與語 2005)。ネズミムギは冬生一年草であり、静岡県内のコムギ畑、水田畦畔 (図-1(a)) およびナシ園 (図-1(b)) 等に自生している。コムギ畑ではネズミムギの侵入・蔓延によりコムギの収量が低下し (鈴木ら 2010)、水田畦畔では本草種が水稻の斑点米被害を引き起こすカメムシ類の寄主植物となる (樋口 2010; Yasuda *et al.* 2013) ため、ネズミムギはこれらの作物に多大な被害を及ぼす。一方、静岡県浜松市内の一部のナシ園においては、ネズミムギが多発し、ナシの管理作業の障害となっている。

これまで、静岡県中遠地域 (袋井市、磐田市等) の大規模水田地帯では、水田畦畔のネズミムギを効率的に除草するため、グリホサートを活性化

分とする除草剤が慣行的に長期間使用されてきた。しかし近年、本地域の水田畦畔において、グリホサートを散布してもネズミムギが枯死せず生存する事例が多く見受けられるようになり、ネズミムギがグリホサートに対する抵抗性を獲得していることが確認された (Niinomi *et al.* 2013; 市原ら 2016)。さらに、本地域の水田畦畔では、グリホサートとグルホシネートに対する多剤抵抗性のネズミムギも確認されており、これらの薬剤による防除が極めて困難となっている (市原ら 2018)。一方、浜松市内の一部のナシ園においても、グリホサートとグルホシネートが毎年使用されており、自生するネズミムギが両剤に対する抵抗性を獲得していることが確認された (Ichihara *et al.* 2020)。水田畦畔やナシ園におけるグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギを効果的に防除していくためには、抵抗性ネズミムギの発生実態を的確に把握するとともに、これらの防除に有効な薬剤を明らかにする必要がある。本稿では、静岡県内の水田畦畔およびナシ園で問題となっ

ているグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギの発生実態と防除対策について、著者らによるこれまでの研究を紹介する。

## 1. 水田畦畔におけるグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギの発生実態と防除対策

### (1) 水田畦畔における発生実態 (市原ら 2016, 2018)

静岡県内の水田畦畔におけるグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギの発生実態を明らかにするため、県東部地域 (伊豆の国市、伊豆市、函南町、沼津市、富士市、計 11 地点)、中部地域 (静岡市、計 4 地点)、志太榛原地域 (焼津市、藤枝市、島田市、吉田町、牧之原市、計 30 地点)、中遠地域 (袋井市、森町、掛川市、菊川市、御前崎市、磐田市、計 68 地点)、西部地域 (浜松市、計 15 地点) の水田周辺部 (水田畦畔または畦畔に近接する道路端) に自生するネズミムギ集団から 2012 年 6 月に種子を採取し、薬剤抵抗性検定を行った。グリホサート抵抗性の検定については全地域のネズミムギ集団を対象に、グルホシネート抵抗性の検定についてはグリホサート抵抗性の多発していた中遠地域のネズミムギ集団を対象に実施した。

各地点から採取した種子および薬剤感受性の栽培品種 (牧草名: イタリアンライグラス, 品種名: タチワセ, タ

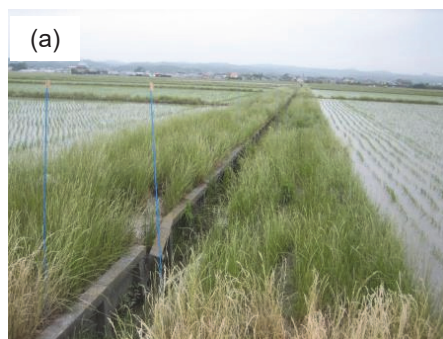


図-1 (a) 水田畦畔と (b) ナシ園で蔓延するネズミムギ

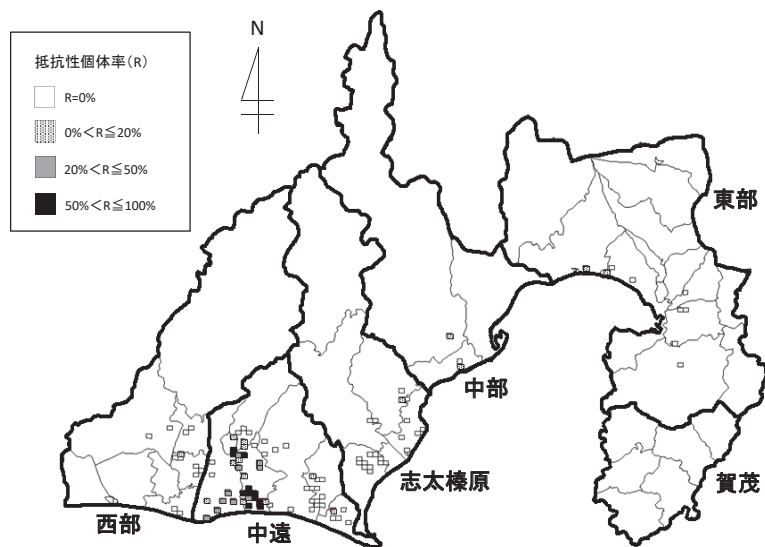


図-2 静岡県内の水田畦畔におけるグリホサート抵抗性ネズミギの分布 (市原 2019 より改変引用)

チムシャ、ワセフドウ)の種子を発芽させ、2～3葉期の段階で、グリホサートカリウム塩液剤(2.7 kg ai ha<sup>-1</sup>)またはグルホシネート液剤(1.0 kg ai ha<sup>-1</sup>)を処理することにより、各集団における抵抗性個体率(薬剤処理後の生存率)を算出した。なお、これらの薬量は、現地圃場での慣行的な散布薬量とした。

グリホサートまたはグルホシネート処理後、栽培品種では全個体が枯死したのに対して、一部の自生集団では枯死しない抵抗性個体が含まれていた。グリホサート抵抗性ネズミギは、静岡県内の主要な水田地域において一部の水田周辺部で出現しており、特に中遠地域では全調査地点のうち半数以上の58.8%の地点で抵抗性個体が確認された(図-2)。集団内のグリホサート抵抗性個体率は、東部地域、中部地域、志太榛原地域および西部地域では最大でも3.2%であったのに対して、中遠地域では22.1%の調査地点において抵抗性個体率が50%を超えており、抵抗性個体率は最大83.3%であった。中遠地域の中でも、特に袋井市および隣接する磐田市においてグリホサート抵抗性集団が多発していた。さ

らに中遠地域では、全調査地点のうち96.6%において、グルホシネート抵抗性個体が確認された。これらのことから、中遠地域ではグリホサートまたはグルホシネートに対する抵抗性を獲得したネズミギが広範囲にわたって出現していることが明らかとなった。

中遠地域では、全調査地点のうち61.0%の集団において、同一集団内にグリホサート抵抗性を持つ個体とグルホシネート抵抗性を持つ個体が確認され、両剤への抵抗性を獲得した個体の存在もうかがわれた。特に、袋井市内では全ての調査地点でそれらが確認された。袋井市内の大規模水田地帯では、1990年代初めから20年以上継続してグリホサートが使用されており、本剤の長期間の連用により抵抗性個体を選択され、本地域でグリホサート抵抗性個体が増加したものと考えられる。本地域で、グリホサートによる防除が困難となった場所で使用される代替除草剤は、グルホシネートであることが多い。そのため、同一場所でのグリホサートとグルホシネートの使用により、両剤への抵抗性が出現した可能性がある。さらに、ネズミギは風媒他殖性であるため、抵抗性遺伝

子を花粉によって広範囲に拡散すると考えられる(Busi *et al.* 2008; 市原ら 2016)。そのため、花粉を介して両剤に対する抵抗性を獲得した個体が出現する可能性もあるだろう。なお、袋井市内の水田畦畔に自生するネズミギのグリホサート抵抗性の機構は、植物体内における薬剤の浸透移行性の低下であることが明らかになっている(kurata *et al.* 2018)。

## (2) 水田畦畔における防除対策

水田畦畔においてグリホサートやグルホシネートに対する抵抗性ネズミギが顕在化している地域では、これらの除草剤以外の手段によってネズミギを防除していく必要がある。そのためには、抵抗性ネズミギの防除に有効な代替除草剤の選抜や、効果的な処理方法の検討を行い、早急に有効な防除対策を構築しなくてはならない。静岡県内の水田畦畔に自生するグリホサート抵抗性ネズミギについては、畦畔における2年間の試験により各種除草剤の効果が評価されている(宮田ら 2015)。ネズミギは、秋から冬にかけて出芽し、翌年の5～6月に出穂・結実する。宮田ら(2015)は、グリホサート抵抗性ネズミギの優占する水田畦畔において、4月(ネズミギ出穂前)にグリホサートカリウム塩液剤(2.7 kg ai ha<sup>-1</sup>)を処理した慣行区と無処理区では5月下旬(ネズミギ出穂時期)のネズミギ植被率がいずれも80%以上と高かったのに対して、4月にフルアジホップP乳剤(0.66

表-1 ナシ園のネズミムギおよび栽培品種のグリホサートまたはグルホシネート処理の生存率 (Ichihara *et al.* 2020 より改変引用)

品種または集団	グリホサート処理 (kg ai ha <sup>-1</sup> )	生存率(%±SE)	品種または集団	グルホシネート処理 (kg ai ha <sup>-1</sup> )	生存率(%±SE)
タチムシャ	0	99.0 ± 1.0 a	タチムシャ	0	99.0 ± 1.0 a
	1.08	0.0 ± 0.0 b		0.60	0.0 ± 0.0 b
	1.62	0.0 ± 0.0 b		0.80	0.0 ± 0.0 b
	2.16	0.0 ± 0.0 b		1.00	0.0 ± 0.0 b
	2.70	0.0 ± 0.0 b			
園地1	0	100.0 ± 0.0 a	園地1	0	100.0 ± 0.0 a
	1.08	38.0 ± 5.6 b		0.60	4.8 ± 2.5 b
	1.62	37.8 ± 2.3 b		0.80	1.9 ± 1.9 b
	2.16	23.1 ± 2.4 c		1.00	1.9 ± 0.9 b
	2.70	11.1 ± 1.6 d			
園地2	0	100.0 ± 0.0 a	園地2	0	100.0 ± 0.0 a
	1.08	53.3 ± 4.1 b		0.60	1.0 ± 1.0 b
	1.62	34.8 ± 5.4 b		0.80	0.9 ± 0.9 b
	2.16	13.0 ± 4.0 c		1.00	0.0 ± 0.0 b
	2.70	13.1 ± 2.0 c			
園地3	0	99.1 ± 0.9 a	園地3	0	99.1 ± 0.9 a
	1.08	47.2 ± 1.6 b		0.60	5.6 ± 2.8 b
	1.62	45.7 ± 7.3 bc		0.80	1.9 ± 1.0 b
	2.16	28.7 ± 0.9 bc		1.00	0.9 ± 0.9 b
	2.70	27.8 ± 1.6 c			

1)同符号はTukeyHSDによる多重比較にて5%水準で有意差がない。

kg ai ha<sup>-1</sup>)を処理した区では20%未満、前年12月(ネズミムギ出芽時期)にDBN粒剤(3.6 kg ai ha<sup>-1</sup>)を処理した区では10%未満と顕著に低かったことを報告している。これらのことから、静岡県内の水田畦畔では、ネズミムギ出芽時期の晩秋から初冬における土壌処理剤(DBN粒剤)の処理や、ネズミムギ出穂前の4月における茎葉処理剤(フルアジホップP乳剤)の処理により、抵抗性ネズミムギを効果的に抑制できることが明らかとなった。

一方、ネズミムギの開花期に草刈りを行うことが、グリホサート抵抗性ネズミムギの蔓延を防ぐ効果的な管理手段となりうるということが報告されている(Handayani *et al.* 2017)。Handayani *et al.* (2017)は、水田畦畔においてネズミムギの開花期(5月上旬～中旬)に草刈りを行った区では、ネズミムギの地上部重、種子生産数および埋土種子数が、無処理区や開花前(4月中旬～下旬)の草刈り区と比べて減少することを示している。中遠地域の水田畦畔における草刈りは、慣行的にネズミムギ開花前の4月に行わ

れるが、草刈時期をやや遅くして、開花期(5月上旬～中旬)に草刈りを行うことにより、ネズミムギを減らせる可能性がある。今後は、ネズミムギの生態に基づき、効果的な防除手段を適切に組み合わせて総合的に防除していくことも必要であろう。

## 2. ナシ園におけるグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギの発生実態と防除対策 (Ichihara *et al.* 2020)

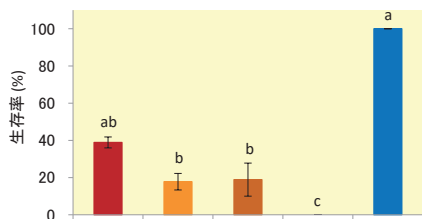
### (1) ナシ園における発生実態

静岡県浜松市内のナシ園に自生するネズミムギについてグリホサートおよびグルホシネートに対する抵抗性程度を明らかにするため、浜松市浜北区平口のナシ園3ヶ所(園地1、園地2、園地3)に自生するネズミムギ集団から2017年6月に種子を採取し、薬剤抵抗性検定を行った。各園地から採取した種子および薬剤感受性の栽培品種(牧草名:イタリアンライグラス、品

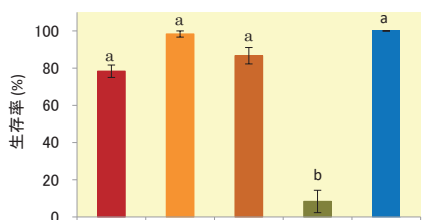
種名:タチムシャ)の種子を発芽させ、2.5～3.5葉期の段階で、グリホサートカリウム塩液剤(0, 1.08, 1.62, 2.16, 2.70 kg ai ha<sup>-1</sup>)またはグルホシネート液剤(0, 0.60, 0.80, 1.00 kg ai ha<sup>-1</sup>)を処理し、薬剤処理後の生存率を調査した。なお、本調査では実用的な薬量に対するネズミムギの反応を把握するため、農薬登録の範囲内の薬量に設定した。

グリホサートまたはグルホシネート処理後、栽培品種では全個体が枯死したのに対して、ナシ園の集団では一部の個体が生存した(表-1)。グリホサートについては薬量が増加するにつれて、ネズミムギの生存率が低下する傾向が認められた。グリホサートを1.08 kg ai ha<sup>-1</sup>処理した区での生存率は38.0～53.3%であったのに対して、2.70 kg ai ha<sup>-1</sup>処理した区では11.1～27.8%と低下した。一方、グルホシネートについては0.60～1.00 kg ai ha<sup>-1</sup>の薬量での生存率に有意差が認められなかったものの、1.00 kg ai ha<sup>-1</sup>処理した区の生存率が最も低く、0.0～1.9%であった。

(a) 生育初期処理



(b) 生育中期処理



(c) 生育後期処理

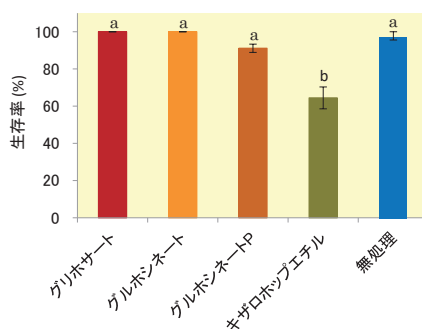


図-3 ナシ園に自生するネズミムギの (a) 生育初期, (b) 生育中期および (c) 生育後期における各薬剤処理後の生存率 (Ichihara *et al.* 2020より改変引用)

- 1) 同符号は TukeyHSD による多重比較にて 5%水準で有意差がない。
- 2) 垂線は標準誤差を示す。

これらのことから、ナシ園のネズミムギはグリホサートとグルホシネートに対する抵抗性を獲得していると考えられる。調査園地では、グリホサートとグルホシネートが毎年連用されているため、これらの薬剤に対する抵抗性個体が選択され、増加したのと考えられる。しかし、グルホシネートに対する抵抗性の発達は初期段階であった (表-1)。調査園地ではいずれも、グルホシネートの使用はネズミムギの枯死後の夏期のみであったため、ネズミムギに対するグルホシネートの選択圧は小さかったものと考えられる。ただし、ネズミムギの種子

散布後、地表面に位置する種子は7月下旬から出芽可能となる (Ichihara *et al.* 2009) ため、夏のグルホシネート散布も選択圧にはなりうる。

## (2) ナシ園における防除対策

ネズミムギの防除に有効な茎葉処理剤およびその処理時期を明らかにするため、ネズミムギの各生育段階において、ナシに適用のある (または適用拡大の見込みのある) 茎葉処理剤の効果を調査した。(1) の調査に供試したネズミムギの種子 (園地 3) を、本調査に供試した。2018年1月22日に無加温温室において、ネズミムギ種子をワグネルポットに播種し、ネズミムギが草丈約5cmの段階 (生育初期, 2月22日)、草丈約35cmの段階 (生育中期, 3月30日) および草丈約70cmの出穂直前の段階 (生育後期, 4月27日) に、各種茎葉処理剤を処理した。グリホサートカリウム塩液剤処理区 (2.70 kg ai ha<sup>-1</sup>)、グルホシネート液剤処理区 (1.00 kg ai ha<sup>-1</sup>)、グルホシネートPナトリウム塩液剤処理区 (0.63 kg ai ha<sup>-1</sup>)、キザロホップエチル水和剤処理区 (0.74 kg ai ha<sup>-1</sup>) および無処理区を設けた。処理薬量については、登録上の (または今後の適用拡大において想定される) 最大薬量とした。生育初期および生育中期処理では薬剤処理7週間後に、生育後期処理では5週間後に生存率を調査した。

ネズミムギの生育初期において、グ

リホサート処理区の生存率 (38.9%) は無処理区 (100%) と有意差が認められなかったのに対して、グルホシネート処理区 (17.8%) とグルホシネートP処理区 (18.9%) では無処理区よりも有意に低かった (図-3(a))。このため、ネズミムギの生育初期段階においては、グルホシネート系除草剤の処理はグリホサート系除草剤と比べて効果が高いと考えられる。しかし、生育中期以降は、無処理区、グリホサート処理区、グルホシネート処理区およびグルホシネートP処理区の生存率に有意な差は認められなかった (図-3(b) ~ (c))。一方、キザロホップエチル処理区においては、生育初期~後期における生存率がいずれも他の処理区よりも有意に低く、特に生育初期の生存率は0.0%と顕著に低かった (図-3(a) ~ (c))。このため、グリホサートやグルホシネートと比べて、抵抗性ネズミムギに対するキザロホップエチルの効果は極めて高いと考えられる。現時点ではナシ園におけるキザロホップエチルの適用はないが、今後の適用拡大によりナシ園での使用が可能となった場合、ナシ園のグリホサートおよびグルホシネート抵抗性ネズミムギを本剤により効果的に防除できる可能性がある。

今後は、現地のナシ園においてこれらの薬剤の効果や、適切な処理時期、処理量を明らかにするとともに、土壌処理剤との体系処理の効果についても検討する必要があるだろう。現時点では、抵抗性ネズミムギの出現しているナシ園は本地域の一部であるが、今後

は本地域における抵抗性ネズミムギの発生状況をモニタリングするとともに、抵抗性ネズミムギの分布拡大に警戒していくことが重要である。

### 3. まとめと今後の課題

これまでの研究から、静岡県中遠地域の水田畦畔ではグリホサートおよびグルホシネートに対する抵抗性を獲得したネズミムギが多発しており、浜松市内のナシ園においてもこれらの薬剤に対する抵抗性ネズミムギが発生していることが明らかとなった。抵抗性ネズミムギが問題となっている場所では、有効な代替除草剤の使用や適切な草刈管理（開花期の草刈り）によって防除していくことが重要である。

静岡県内ではネズミムギの他にも、果樹園のオオアレチノギクやヒメムカシヨモギ、茶園周辺部のオヒシバ等において、グリホサート抵抗性の獲得が疑われており、本剤による防除が困難となっている。今後は、これらの草種についても抵抗性発生実態の解明や防除技術開発に取り組んでいくことが必要である。

### 引用文献

- 浅井元朗・興語靖洋 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.
- Busi, R. *et al.* 2008. Long distance pollen-mediated flow of herbicide resistance genes in *Lolium rigidum*. *Theor. Appl. Genet.* 117, 1281-1290.
- Handayani, V.D.S. *et al.* 2017. Improved physical control of glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan. *Weed Biol. Manag.* 17, 77-83.
- 樋口博也 2010. 斑点米被害を引き起こすカスミカメムシ類の生態と管理技術. 日本応用動物昆虫学会誌 54, 171-188.
- Ichihara, M. *et al.* 2009. Influence of after-ripening environments on the germination characteristics and seed fate of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Weed Biol. Manag.* 9, 217-224.
- 市原実ら 2016. 静岡県内の水田周辺部におけるグリホサート抵抗性ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) の分布. 雑草研究 61, 17-20.
- 市原実ら 2018. 静岡県中遠地域の水田周辺部におけるグルホシネート抵抗性ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) の発生実態. 雑草研究 63, 109-112.
- 市原実 2019. 外来雑草ネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam.) による農業被害とその防

除対策. 雑草研究 64, 85-90.

- Ichihara, M. *et al.* 2020. Emergence of glyphosate- and glufosinate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) populations in Japanese pear orchards in Japan and their responses to several foliar-applied herbicides. *JARQ* (In press).
- Kurata, K. *et al.* 2018. Non-target-site mechanism of glyphosate resistance in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Weed Biol. Manag.* 18, 127-135.
- 宮田祐二ら 2015. 水田畦畔におけるグリホサート抵抗性ネズミムギの防除技術. 研究成果情報. <http://www.agri-exp.pref.shizuoka.jp/report/report00004.html>
- Niinomi, Y. *et al.* 2013. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan. *Weed Biol. Manag.* 13, 31-38.
- 鈴木智子ら 2010. コムギ圃場におけるネズミムギによるコムギ減収率の簡易査定法. 雑草研究 55, 174-182.
- Yasuda, M. *et al.* 2013. Effects of Japanese rice field boundary vegetation on *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) abundance. *Appl. Entomol. Zool.* 48, 289-294.