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 *

市原 実^{★1}・石田義樹²・小池清裕⁴・新實由貴⁶・木田揚一³・
神谷径明¹・鈴木 亨⁴・済木千恵子⁵・山下雅幸⁷・澤田 均⁷

キーワード: ネズミムギ, グリホサート抵抗性, 水田周辺部, 分布

Keywords: Italian ryegrass, glyphosate resistance, paddy field margin, distribution

緒 言

外来の一年生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)。静岡県内では水田畦畔や畦畔に近接する道路端といった水田周辺部において、ネズミムギの侵入および蔓延がしばしば問題となっている。ネズミムギ等のイネ科雑草は水稻の斑点米被害を引き起こすアカスジカスミカメを主とするカメムシ類の寄主植物となるため、斑点米被害の軽減のためには、水田周辺部のネズミムギ等のイネ科雑草を防除することが重要となる (樋口 2010; Yasuda *et al.* 2013)。また、ネズミムギは静岡県内の水田転換圃場を中心

としたコムギ作における強害雑草でもある (浅井・與語 2005; 鈴木ら 2010)。コムギ圃場内へのネズミムギの侵入および蔓延を未然に防ぐためにも、その侵入源となる可能性のある圃場周辺部のネズミムギを防除することが重要である。これまで、静岡県内の大規模水田作地帯の一部では、水田周辺部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成分とする除草剤が慣行的に長く使用されてきた。しかし最近、このような水田畦畔においてグリホサート抵抗性を獲得したネズミムギが出現しており (Niinomi *et al.* 2013)、グリホサートによる防除が極めて困難となっている。

グリホサート抵抗性のネズミムギは、2001年にチリの果樹園において初めて確認されて以来 (Perez and Kogan 2003)、現在ではアメリカ合衆国、アルゼンチン、イタリア、スペイン、チリ、ブラジル、ニュージーランド、スイスおよび日本の農耕地において確認されている (Heap 2015)。日本では2011年に静岡県袋井市内の水田畦畔において確認され (Niinomi *et al.* 2013)、これが国内でのグリホサート抵抗性雑草の最初の報告となっている。しかし、国内におけるグリホサート抵抗性ネズミムギの広域的な分布状況や出現頻度については不明である。水田周辺部のネズミムギを効果的かつ適切に管理していくためには、グリホサート抵抗性ネズミムギの分布状況を把握することが必要である。そこで本研究では、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の分布を把握するため、県内の主要な水田作地帯の水田周辺部に自生するネズミムギ集団のグリホサート抵抗性個体率を広域的に調査した。

材料および方法

静岡県内の主要な水田作地帯において、2012年または2013年にネズミムギの種子採取を行った。静岡県東部地域 (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種子を採取した (Table 1)。なお、これらの地域は県農林事務所の管区に基づいて区分した。各地点におけるネズミムギ集団で生産された種子の抵抗性個体率を調査するため、各地

* 大要は日本雑草学会第52回講演会 (2013年4月) および第53回講演会 (2014年3月) において発表した。

1 静岡県農林技術研究所

〒438-0803 静岡県磐田市富丘 678-1

★ minoru_ichihara@pref.shizuoka.lg.jp

2 静岡県西部農林事務所

3 静岡県東部農林事務所

4 静岡県庁経済産業部

5 静岡県庁くらし・環境部

6 京都大学大学院農学研究科

7 静岡大学大学院農学研究科

Minoru Ichihara^{★1}, Yoshiki Ishida², Kiyohiro Koike⁴, Yuki Niinomi⁶, Yoichi Kida³, Michiaki Kamiya¹, Tohru Suzuki⁴, Chieko Saiki⁵, Masayuki Yamashita⁷ and Hitoshi Sawada⁷: Distribution of glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in paddy field margins in Shizuoka prefecture

1 Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry, 678-1 Tomigaoka, Iwata, Shizuoka 438-0803, Japan

2 Agriculture and Forestry Office for Western Region of Shizuoka Prefecture

3 Agriculture and Forestry Office for Eastern Region of Shizuoka Prefecture

4 Economy and Industry Department, Shizuoka Prefectural Government

5 Community and Environmental Affairs Department, Shizuoka Prefectural Government

6 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

7 Graduate School of Agriculture, Shizuoka University

(2015年3月18日受付, 2015年11月20日受理)

点に自生するネズミムギ約 30 個体から、結実している穂を 1 個体あたり 1 ～数本採取し、地点ごとに一括して紙袋に入れた。採取した種子は、自然乾燥させた後、実験室内で保管した。種子採取は、中遠地域については 2012 年 6 月に、その他の地域については 2013 年 6 月に行った。

各年とも 11 月から 12 月に、グリホサート感受性のネズミムギ栽培品種（牧草名：イタリアンライグラス、品種名：タチワセ、タチムシャ、ワセフドウ）の種子と各地点から採取した種子を、ろ紙 2 枚を敷いた直径 9 cm のシャーレに播種し、蒸留水を加え、25°C・12 時間明期の恒温器（LH200-RDS、日本医化器械製作所）で発芽させた。発芽した実生は、培土（くみあい宇部培土、エムシー・ファータicom）を敷き詰めた育苗用ポット（BEE POT Y36 型、キャネロン化工）に移植し、静岡県農林技術研究所三ヶ野圃場（静岡県磐田市三ヶ野）の温室内で生育させた。培土の窒素、リン酸およびカリウムの成分含有量は、それぞれ 0.27 g/kg、0.27 g/kg および 0.33 g/kg であった。育苗ポットの下にはプラスチックトレイを敷き、常時 2 cm 程度湛水することにより、底面灌水を行った。ネズミムギが 2～3 葉期の段階で、グリホサートカリウム塩液剤（有効成分量：2.7 kg ai ha⁻¹、散布水量：100 ml/m²）をハンドスプレー（HI-SPRAYER、キャニオン）で散布した。各品種および各集団における供試した実生個体数は、Table 1 のとおりである。グリホサートカリウム塩液剤の散布葉量は、現地圃場における慣行的な散布葉量とした。薬剤散布 7 週間後の生存個体数を調査し、グリホサート抵抗性個体率 $[\{(\text{散布 7 週間後の生存個体数}) / (\text{散布前の生存個体数})\} \times 100]$ を算出した。新葉が抽出し生育している個体を生存個体と判定した。また、この調査と同時に、各品種および各集団とも 18 個体程度を同様の育苗用ポットに移植し、グリホサート無処理条件下における同期間の生存個体率を調査した。

結 果

グリホサート散布 7 週間後、ネズミムギの栽培品種は全ての供試個体が枯死したが、水田周辺部の自生集団では生存個体が確認された（Table 1）。グリホサート抵抗性個体の確認された地点数の割合は、東部地域では 18.2%，中部地域では 50.0%，志太榛原地域では 3.3%，中遠地域では 58.8%，西部地域では 6.7% であった。各地点におけるネズミムギ集団内の抵抗性個体率は、東部地域では 0.0～2.9%（平均値：0.5%），中部地域では 0.0～2.8%（1.4%），志太榛原地域では 0.0～2.8%（0.1%），中遠地域では 0.0～83.3%（24.3%），西部地域では 0.0～3.2%（0.2%）であった。一方、グリホサート無処理条件下におけるネズミムギの生存率の平均値は、96.3% であった。

考 察

グリホサート無処理条件下におけるネズミムギの生存率は 90% 以上であったことから、グリホサート処理条件下において枯死した個体の大部分は薬剤処理によって死滅したものと考えられ、生存した個体については抵抗性を有していると考えられる。グリホサート抵抗性ネズミムギは、静岡県内の主要な水田作地帯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（Table 1）。集団内の抵抗性個体率は、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%（95% 信頼区間：0.0～16.8%）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%（95% 信頼区間：66.8～94.0%）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抵抗性集団が多発していた。これまでの研究から、中遠地域の袋井市内の水田畦畔に自生する一部のネズミムギ集団がグリホサート抵抗性を獲得していることがわかっているが（Niinomi *et al.* 2013）、本研究より、その分布は広範囲にわたることが明らかとなった。

グリホサート抵抗性ネズミムギが多発していた袋井市内の大規模水田作地帯では、効率的に畦畔管理を行うために、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きた。同一の作用機構の除草剤の連用は、雑草の除草剤抵抗性を進化させる（Christoffers 1999）。このような、水田周辺部における長期間のグリホサートの連用により、抵抗性のネズミムギ個体が選択され、増加したものと考えられる。ネズミムギは風媒他殖性であるため、グリホサート抵抗性遺伝子を、種子のみならず、花粉によって広範囲に拡散している可能性がある。実際、グリホサート感受性ネズミムギの開花個体に、抵抗性ネズミムギの花粉を授粉すると、F1 世代の一部が抵抗性となることが確認されている（市原 未発表）。ネズミムギと同属のボウムギ（*Lolium rigidum* Gaudin）の花粉による遺伝子流動は、3 km の距離においても生じることが知られている（Busi *et al.* 2008）。ネズミムギのグリホサート抵抗性がどのように出現し、拡散していくのかを明らかにするためには、グリホサート抵抗性の機構や抵抗性遺伝子の拡散機構について、今後詳細に調査していく必要があるだろう。

水稻害虫である斑点米カメムシ類の低減や、コムギ圃場内へのネズミムギの侵入および蔓延を未然に防ぐためには、水田周辺部のネズミムギを防除することが重要である。グリホサート抵抗性ネズミムギが出現している地域では、グリホサート以外の手段によってネズミムギを防除していく必要がある。そのためには、グリホサート抵抗性ネズミム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

Table 1. Proportion of glyphosate-resistant individuals in Italian ryegrass populations in each sampling point of paddy field margins

Region	City/Town or cultivar	Latitude	Longitude	No. of seedlings tested	Proportion of resistant individuals (%)	95% confidence interval	Region	City/Town	Latitude	Longitude	No. of seedlings tested	Proportion of resistant individuals (%)	95% confidence interval
	Tachiwase	—	—	36	0.0	0.0–9.8	Chuen	Fukuroi	34.73	137.90	34	2.9	0.0–15.4
	Tachimusha	—	—	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.70	137.92	36	83.3	66.8–94.0
	Washudou	—	—	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.70	137.93	32	75.0	56.5–88.6
Toubu	Izunokuni	35.06	138.95	33	0.0	0.0–10.6	Fukuroi	Fukuroi	34.70	137.93	34	64.7	46.3–80.5
	Izunokuni	35.06	138.95	35	0.0	0.0–10.1		Fukuroi	34.69	137.92	31	41.9	24.4–61.1
	Izu	34.99	138.93	26	0.0	0.0–13.3		Fukuroi	34.68	137.92	33	75.8	57.7–89.0
	Izu	34.99	138.93	35	0.0	0.0–10.1		Fukuroi	34.68	137.92	35	80.0	62.7–91.9
	Izu	34.96	138.94	34	0.0	0.0–10.3		Fukuroi	34.68	137.94	36	77.8	60.8–89.9
	Kannami	35.09	138.95	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.68	137.95	34	70.6	52.3–85.2
	Numazu	35.12	138.83	33	0.0	0.0–10.6		Fukuroi	34.70	137.94	36	55.6	38.0–72.1
	Numazu	35.15	138.78	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.71	137.92	33	63.6	45.1–79.6
	Numazu	35.14	138.77	35	2.9	0.0–15.0		Fukuroi	34.71	137.92	35	77.1	59.8–89.9
	Fuji	35.15	138.72	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.71	137.91	34	82.4	65.4–93.3
	Fuji	35.15	138.72	36	2.8	0.0–14.6		Fukuroi	34.70	137.92	36	69.4	51.8–83.7
								Fukuroi	34.81	137.88	32	12.5	3.5–29.0
Chubu	Shizuoka	35.02	138.40	36	2.8	0.0–14.6		Fukuroi	34.79	137.88	34	64.7	46.3–80.5
	Shizuoka	35.01	138.40	35	0.0	0.0–10.1		Fukuroi	34.78	137.88	35	60.0	42.1–76.2
	Shizuoka	34.96	138.42	35	0.0	0.0–10.1		Fukuroi	34.78	137.89	28	42.9	24.4–62.9
	Shizuoka	34.96	138.42	36	2.8	0.0–14.6		Fukuroi	34.77	137.89	35	5.7	0.6–19.2
Shida-Haibara	Yaizu	34.85	138.29	35	0.0	0.0–10.1	Fukuroi	Fukuroi	34.76	137.89	34	41.2	24.6–59.4
	Yaizu	34.84	138.30	34	0.0	0.0–10.3		Fukuroi	34.78	137.90	32	62.5	43.6–78.9
	Yaizu	34.84	138.29	35	0.0	0.0–10.1		Fukuroi	34.78	137.90	35	34.3	19.1–52.3
	Yaizu	34.83	138.33	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.78	137.91	36	44.4	27.9–62.0
	Yaizu	34.82	138.32	33	0.0	0.0–10.6		Fukuroi	34.80	137.93	36	0.0	0.0–9.8
	Yaizu	34.82	138.29	24	0.0	0.0–14.3		Fukuroi	34.76	137.95	25	40.0	21.1–61.4
	Yaizu	34.79	138.29	36	0.0	0.0–9.8		Fukuroi	34.76	137.94	35	28.6	14.6–46.4
	Fujieda	34.89	138.29	34	0.0	0.0–10.3		Fukuroi	34.75	137.95	36	19.4	8.1–36.1
	Fujieda	34.89	138.29	36	2.8	0.0–14.6		Mori	34.82	137.89	31	0.0	0.0–11.3
	Fujieda	34.89	138.29	33	0.0	0.0–10.6		Mori	34.83	137.90	35	0.0	0.0–10.1
	Fujieda	34.89	138.29	29	0.0	0.0–12.0		Mori	34.82	137.92	36	0.0	0.0–9.8
	Fujieda	34.90	138.28	34	0.0	0.0–10.3		Mori	34.81	137.91	34	11.8	3.3–27.5
	Fujieda	34.90	138.28	34	0.0	0.0–10.3		Mori	34.80	137.90	35	14.3	4.8–30.3
	Fujieda	34.90	138.28	36	0.0	0.0–9.8		Kakegawa	34.80	137.96	35	0.0	0.0–10.1
	Fujieda	34.91	138.28	36	0.0	0.0–9.8		Kakegawa	34.78	137.96	35	0.0	0.0–10.1
	Shimada	34.84	138.21	35	0.0	0.0–10.1		Kakegawa	34.79	137.99	36	0.0	0.0–9.8
	Shimada	34.84	138.21	36	0.0	0.0–9.8		Kakegawa	34.80	138.01	32	0.0	0.0–10.9
	Yoshida	34.76	138.24	33	0.0	0.0–10.6		Kakegawa	34.67	138.07	32	0.0	0.0–10.9
	Makinohara	34.77	138.24	35	0.0	0.0–10.1		Kakegawa	34.69	138.06	21	0.0	0.0–16.2
	Makinohara	34.77	138.24	35	0.0	0.0–10.1		Kakegawa	34.71	138.06	30	0.0	0.0–11.6
	Makinohara	34.78	138.22	26	0.0	0.0–13.3		Kakegawa	34.67	138.02	34	0.0	0.0–10.3
	Makinohara	34.78	138.21	28	0.0	0.0–12.4		Kakegawa	34.68	137.97	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.78	138.21	32	0.0	0.0–10.9		Kakegawa	34.69	137.96	35	2.9	0.0–15.0
	Makinohara	34.77	138.19	28	0.0	0.0–12.4		Kakegawa	34.68	138.08	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.77	138.19	31	0.0	0.0–11.3		Kikugawa	34.73	138.07	33	6.1	0.7–20.3
	Makinohara	34.77	138.18	32	0.0	0.0–10.9		Kikugawa	34.71	138.07	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.76	138.21	33	0.0	0.0–10.6		Kikugawa	34.73	138.09	33	0.0	0.0–10.6
	Makinohara	34.75	138.21	34	0.0	0.0–10.3		Kikugawa	34.73	138.09	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.75	138.20	36	0.0	0.0–9.8		Kikugawa	34.71	138.08	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.75	138.20	26	0.0	0.0–13.3		Kikugawa	34.70	138.10	36	0.0	0.0–9.8
	Makinohara	34.75	138.21	32	0.0	0.0–10.9		Kikugawa	34.69	138.10	32	0.0	0.0–10.9
Seibu	Hamamatsu	34.67	137.76	35	0.0	0.0–10.1	Kikugawa	Kikugawa	34.69	138.08	34	0.0	0.0–10.3
	Hamamatsu	34.67	137.74	34	0.0	0.0–10.3		Kikugawa	34.68	138.09	36	0.0	0.0–9.8
	Hamamatsu	34.67	137.74	34	0.0	0.0–10.3		Omaezaki	34.67	138.12	36	2.8	0.0–14.6
	Hamamatsu	34.74	137.79	36	0.0	0.0–9.8		Omaezaki	34.66	138.12	33	0.0	0.0–10.6
	Hamamatsu	34.75	137.80	36	0.0	0.0–9.8		Omaezaki	34.67	138.15	27	0.0	0.0–12.8
	Hamamatsu	34.76	137.79	36	0.0	0.0–9.8		Omaezaki	34.64	138.16	28	0.0	0.0–12.4
	Hamamatsu	34.77	137.75	36	0.0	0.0–9.8		Omaezaki	34.66	138.13	15	0.0	0.0–21.9
	Hamamatsu	34.77	137.75	32	0.0	0.0–10.9		Iwata	34.70	137.88	34	17.6	6.7–34.6
	Hamamatsu	34.78	137.75	31	3.2	0.0–16.8		Iwata	34.69	137.90	28	10.7	2.2–28.3
	Hamamatsu	34.82	137.77	34	0.0	0.0–10.3		Iwata	34.69	137.88	30	36.7	19.9–56.2
	Hamamatsu	34.82	137.77	35	0.0	0.0–10.1		Iwata	34.71	137.87	27	48.1	28.6–68.1
	Hamamatsu	34.83	137.78	35	0.0	0.0–10.1		Iwata	34.69	137.86	35	28.6	14.6–46.4
	Hamamatsu	34.83	137.73	35	0.0	0.0–10.1		Iwata	34.67	137.84	36	44.4	27.9–62.0
	Hamamatsu	34.81	137.68	31	0.0	0.0–11.3		Iwata	34.66	137.82	33	33.3	17.9–51.9
	Hamamatsu	34.81	137.68	34	0.0	0.0–10.3		Iwata	34.69	137.82	29	10.3	2.1–27.4
								Iwata	34.74	137.84	35	0.0	0.0–10.1
								Iwata	34.76	137.84	35	0.0	0.0–10.1
								Iwata	34.76	137.88	34	8.8	1.8–23.7

1) Confidence intervals were calculated with the Clopper and Pearson method based on the F distribution.

い、早急に有効な防除対策を構築しなくてはならない。一方、グリホサート抵抗性ネズミギが出現していない地域では、作用機構の異なる複数の除草剤の使用や、草刈り管理の組み合わせにより、除草剤抵抗性個体の出現を防ぐ必要があるだろう。また、本研究では水田周辺部のネズミギを調査対象としたが、ネズミギは野菜を作付けする畑圃場周辺部にも自生することがある。これらの場所でもグリホサート抵抗性ネズミギが出現している場合、抵抗性遺伝子の供給源となりうるため、これらのネズミギの抵抗性についても今後調査する必要があるだろう。

謝 辞

研究にご協力いただいた、京都大学大学院農学研究科 富永達教授、下野嘉子助教、(国研) 農研機構・東北農業研究センター 浅井元朗氏、静岡県立農林大学校園芸学科 須藤聡氏、静岡県農林技術研究所作物科 宮田祐二氏をはじめ作物科職員の皆様に、心より感謝いたします。

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ミギ、ネズミギの発生実態とその背景. 雑草研究 50, 73–81.
- Busi, R., Q. Yu, R. Barrett-Lennard and S. Powles 2008. Long distance pollen-mediated flow of herbicide resistance genes in *Lolium rigidum*. Theor. Appl. Genet. 117, 1281–1290.
- Christoffers, M. J. 1999. Genetic aspects of herbicide-resistant weed management. Weed Technol. 13, 647–652.
- Heap, I. 2015. The international survey of herbicide resistant weeds. <http://weedsociety.org/> (2015 年 10 月 18 日アクセス確認)
- 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.
- Niinomi, Y., M. Ikeda, M. Yamashita, Y. Ishida, M. Asai, Y. Shimono, T. Tominaga and H. Sawada 2013. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) on rice paddy levees in Japan. Weed Biol. Manag. 13, 31–38.
- Perez, A. and M. Kogan 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. Weed Res. 43, 12–19.
- 鈴木智子・足立有右・市原実・山下雅幸・澤田均・稲垣栄洋・石田義樹・木田揚一・浅井元朗 2010. コムギ圃場におけるネズミ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., A. Takeda, K. Tabuchi, T. Yasuda and T. Watanabe 2013. Effects of Japanese rice field boundary vegetation on *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) abundance. Appl. Entomol. Zool. 48, 289–294.