

## 自走式蒸気処理防除機を利用した過熱水蒸気処理による スクミリンゴガイ (原始紐舌目: リンゴガイ科) の防除

井鍋 大祐<sup>1,\*</sup>・市原 実<sup>1</sup>・宮田 祐二<sup>1</sup>  
白鳥 孝太郎<sup>1</sup>・中野 亮平<sup>1</sup>・中村 浩也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>静岡県農林技術研究所

<sup>2</sup>株式会社丸文製作所

Control of the Apple Snail, *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda: Ampullariidae), with Superheated Steam Treatment by a Mobile Steam Chamber Machine. Daisuke INABE,<sup>1,\*</sup> Minoru ICHIHARA,<sup>1</sup> Yuji MIYATA,<sup>1</sup> Kotaro SHIRATORI,<sup>1</sup> Ryohei NAKANO<sup>1</sup> and Hiroya NAKAMURA<sup>2</sup> <sup>1</sup>Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry; 678-1 Tomigaoka, Iwata, Shizuoka 438-0803, Japan. <sup>2</sup>Marubun Mfg. Ltd.; 5-8-23 Nakaku Hagioka, Hamamatsu, Shizuoka 433-8121, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 60: 197-203 (2016)

**Abstract:** We investigated application of superheated steam treatment for controlling overwintering apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in post-harvest paddy fields. Vertical distribution of the snails in the soil showed that the majority (49%–93%) inhabit surface soil or shallow underground soil above 2 cm depth. Using a mobile steam chamber machine that blows out superheated steam, we measured increase in soil temperatures and the subsequent mortalities of the snail that were experimentally placed at different soil depths. Snails on the soil surface were effectively killed by exposure to superheated steam. When the machine was run at a speed of 0.5 km/h, the soil temperature attained a maximum 91.5°C which caused 100% mortality of *P. canaliculata* on the soil surface and 23% mortality of snails buried at 2 cm depth. In the farmers' field trials, the superheated steam treatment conducted during winter successfully reduced snail density and rice damage by snails in early summer after rice planting. These results show the effectiveness of superheated steam treatment using a mobile steam chamber machine for controlling overwintering *P. canaliculata*.

**Key words:** *Pomacea canaliculata*; control; superheated steam; mobile steam chamber machine; paddy field

### 緒 言

スクミリンゴガイ *Pomacea canaliculata* (Lamarck) は、台湾から養殖等を目的として日本に導入され、その後野生化し農作物に被害を与えるようになった(平井, 1989; 和田, 2015)。静岡県内では1984年頃から焼津市の養殖場下流の水路や水田で自然繁殖し、1986年には食害による水稻の被害が確認された(牧野・小澤, 1987)。現在、県内の本貝発生圃場では、主に浅水管理(小澤・牧野, 1989)を行うことで本貝の活動を抑制し、被害の低減が図られている。しかし、圃場の凹凸や降雨の影響などにより浅水管理が継続できず、多大な被害が生じている圃場も数多く見られる。メタアルデヒド剤などの農薬により水田内の密度を低下させる方法もあるが、水田内に多くの越冬個体が生息する圃場では被害を抑えきれないのが現状であり、そ

のような圃場では越冬個体を減少させることが重要となる。

越冬個体を減少させる防除法として、ロータリー耕うん(高橋ら, 2002; 和田ら, 2004; 高橋・田坂, 2015)や水稻収穫後の湛水条件での石灰窒素の施用(牧野・小澤, 1987; 林ら, 1988)がある。ロータリー耕うんは貝殻を破碎することで、石灰窒素の施用は殺貝効果のある遊離シアナミドを生成することで越冬個体を殺貝する。しかし、ロータリー耕うんによる防除は、殻高の小さな個体への防除効果が劣る。また、石灰窒素の施用による防除は、水温が高い時期に施用しないと防除効果が劣り、施用効果の高い時期が水稻収穫など農家の作業が集中するといった問題点が挙げられる。そのため、スクミリンゴガイ多発圃場における水稻被害を軽減するため、冬期に越冬個体をより効果的に防除できる技術を開発する必要がある。

\*E-mail: daisuke1\_inabe@pref.shizuoka.lg.jp

2015年10月29日受領 (Received 29 October 2015)

2016年8月16日登載決定 (Accepted 16 August 2016)

DOI: 10.1303/jjaez.2016.197

施設栽培においては、蒸気処理により土壌中の病害虫を死滅させる技術が開発されているが、大掛かりな設備が必要となる (Gay et al., 2010) ため、土地利用型農業では利用されていない。一方で、近年自走式の蒸気処理防除機が開発され、土地利用型作物栽培圃場の雑草種子を最高 300°C まで加熱した過熱水蒸気を処理することにより死滅させる技術が開発されている (酒井ら, 2012; 西村ら, 2014)。開発された自走式蒸気処理防除機は、走行しながら過熱水蒸気を噴出することにより、圃場の地表面を最高 95°C まで加熱することができる (西村ら, 2014)。スクミリングガイは地表面付近で多くの個体が越冬しているため (矢野・中谷, 1989; 高橋ら, 2002)、越冬期間中に自走式蒸気処理防除機を利用した高温の過熱水蒸気処理を行うことにより、越冬個体の多くが死亡する可能性がある。

そこで、本研究では水稲収穫後の過熱水蒸気処理によるスクミリングガイ越冬個体の防除技術開発を目的とし、(1) 越冬中の本貝の土中深度分布調査、(2) 自走式蒸気処理防除機の処理速度およびスクミリングガイの深さと死亡率の関係、(3) 自走式蒸気処理防除機によるスクミリングガイ防除の現地試験を行った。

本文に入るに先立ち、調査圃場を快くご提供いただいた農家の皆様、調査にご協力いただいた東北農業研究センターの浅井元朗氏、また静岡県農林技術研究所の白鳥幸広氏をはじめ作物科職員の皆様に厚くお礼申し上げます。

## 材料および方法

### 試験 1. 越冬中のスクミリングガイの土中深度分布調査

2014 年 11 月から 2015 年 2 月に、静岡県掛川市幡鎌 (北緯 34 度 49.4 分、東経 137 度 57.1 分)、磐田市加茂 (北緯 34 度 43.5 分、東経 137 度 50.2 分) および藤枝市平島 (北緯 34 度 52.4 分、東経 138 度 17.1 分) の 3 地域 8 カ所の水稲収穫後圃場において、越冬中のスクミリングガイの土中深度分布調査を行った (順に圃場名を掛川 1~4、磐田 1~2、藤枝 1~2 とする)。調査には 50cm 四方のコドラート枠を用い、コドラート枠内の土を 2cm 間隔 (0~2cm, 2~4cm, 4~6cm, 6~8cm および 8~10cm) で深さ 10cm まで採取した (各圃場 3 カ所)。土の採取はコドラート枠周辺の土を取り除き、シャベルを水平に挿し込むことにより行った。採取した土は 2mm 目合いのザルに入れ、水洗いで土を落とし、残った本貝の数をカウントした。土中深度分布調査は、掛川 1~4 では 2014 年 11 月 6 日、磐田 1~2 では 2015 年 1 月 20 日、藤枝 1~2 では 2015 年 2 月 23 日に行った。土性については掛川 1~4 は砂壤土、磐田 1~2 および藤枝 1~2 は埴壤土であり、いずれの圃場も水稲の栽培期間中は殺菌剤の使用はなく、秋耕は行われず、収穫後の藁はそのまま水田内に放置されていた。

### 試験 2. 自走式蒸気処理防除機の処理速度およびスクミリングガイの深さと死亡率の関係

2015 年 2 月 3 日に、静岡県農林技術研究所 (静岡県磐田市富丘) 内の水稲収穫後圃場 (土壌含水率 27%) において、ポリエステル製ネット (20cm×12cm, 2mm 目合い) に殻高約 2cm のスクミリングガイを入れ、各ネットの底部が土壌表面、深さ 2cm および深さ 4cm となるように設置し、地表面まで覆土し隙間がないように手で押し固め、自走式蒸気処理防除機 (Fig. 1) で過熱水蒸気処理を行った。土壌表面と深さ 2cm の個体を対象とした処理については本貝 10 頭を供試し (3 反復)、深さ 4cm の個体を対象とした処理についても本貝 10 頭を供試した (2 反復)。自走式蒸気処理防除機は、クローラ型運搬機 (NCKD1275MB) に株式会社丸文製作所製のボイラー「JJ-5.0 型」(伝熱面積 5.0m<sup>2</sup>; ゲージ圧 0.4MPa; 相当蒸発量 400kg/h; 蒸気潜熱 900MJ/h) と 300L の水タンクを搭載し、最高 300°C まで加熱した水蒸気を運搬機後部の鉄製保温カバー (幅 0.9m, 長さ 1.0m) 内の蒸気噴出部 (地表面まで 0.2m) から噴出する。鉄製保温カバー内に噴出させる際の水蒸気温度は約 240°C、水蒸気量は約 300kg/h、水蒸気圧力は約 0.4MPa であり、作業幅は鉄製保温カバーの幅である 0.9m である。自走式蒸気処理防除機の処理速度は 0.5km/h~2.0km/h の間で変更が可能であり、今回の試験では約 0.5km/h、約 1.0km/h、約 1.5km/h となるように走行させた。土壌表面の保温カバーの通過時間 (カバーで被覆される時間) は、0.5km/h 走行で約 7.2 秒、1.0km/h 走行で約 3.6 秒、1.5km/h 走行で約 2.4 秒である。また無処理 (control) として、自走式蒸気処理防除機から過熱水蒸気を噴出させずに、本貝の上を 0.5km/h で走行する処理 (直接クローラで個体を踏まない) を併せて行った (反復は過熱水蒸気処理区と同数)。

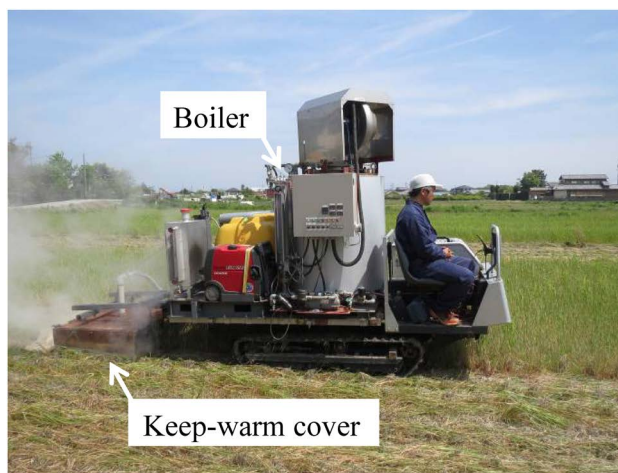


Fig. 1. A mobile steam chamber machine that blows superheated steam.

スクミリンゴガイは、処理の数日前に静岡県掛川市幡鎌の水田で生存が確認された殻高約2cmの個体を採集し、人工気象器内(20°C, 24D)で保存したものを使用した。また、過熱水蒸気処理後は人工気象器内(23°C, 12L12D)でプラスチック容器に殻高の半分程度まで水を入れた状態で保存し、24~48時間後に生死を判定した。水中で動いている個体や、殻と蓋の隙間をピンセットでつつくと蓋を閉じる個体を生存と判定した。一方、殻から貝の内容物が出ていたり、殻と蓋の隙間をピンセットでつついても蓋を閉じない個体や、蓋を軽くピンセットで押すとすぐに蓋が脱落する個体を死亡と判定した。得られた死亡率のデータは、逆正弦変換後に処理速度ごとに貝の深さ間でHolmの多重比較を行った。また、過熱水蒸気処理時の温度を温度センサ(ステンレス保護管センサ, TR-1220, 株式会社ティアンドディ)を用い、処理直前から1秒間隔で連続測定した。温度センサは、土壌表面、土中1cmおよび土中3cmの温度測定用に合計3つ使用し、それぞれの深さに温度感知部分を設置した。なお本試験では、圃場地表面の稲わらを除去した場所に本貝を設置した。

### 試験3. 自走式蒸気処理防除機によるスクミリンゴガイ防除の現地試験

2014年12月から2015年4月に、土中深度分布調査を行った掛川1、磐田1および藤枝1の3カ所の水稲収穫後圃場において、自走式蒸気処理防除機による過熱水蒸気処理(処理速度0.5km/h)を行い、田植え約2週間後のスクミリンゴガイの発生個体数、食害度および食害株率を調査した。なお、各地域とも過熱水蒸気処理を行わない対照圃場(掛川2、磐田2、藤枝2)においても同様の調査を行った。過熱水蒸気処理は処理時期が限定されないことを確認するため、12月~4月まで処理時期に幅を持って行った。掛川1と藤枝1では過熱水蒸気処理圃場の隣接田を、磐田1では1枚越しの水田を対照圃場とした。処理に使用した自走式蒸気処理防除機は、試験2で用いたものと同じであり、過熱水蒸気処理時の地表面温度を温度センサ(ステンレス保護管センサ, TR-1220, 株式会社ティアンドディ)1つを用い、処理直前から1秒間隔で連続測定した。田植え後の発生個体数は、2m四方のコドラート枠を用い、コドラート枠内に生息するスクミリンゴガイを約1mの高さから肉眼で数えた(1圃場5カ所)。また、各圃場内の5カ所で30株を任意に選び食害度および食害株率を調査した。各圃場で作付けされている水稲品種は、掛川1~2および磐田1~2では‘コシヒカリ、’藤枝1~2では‘誉富士’であった。食害度は、山中ら(1988)を参考に1株ごと食害程度別に0~4の指数に分類(0:食害なし, 1:食害面積割合が1/3以下, 2:食害面積割合が1/3~2/3, 3:食害面積割合が2/3以上, 4:完全に食害され欠株に相当するもの)し、 $[\sum(\text{食害程度別株数} \times \text{指数}) / (4 \times \text{調査株数})] \times 100$ の

式により算出した。得られた発生個体数のデータについては、過熱水蒸気処理の有無を要因、3地域をブロックとみなして、対数変換後に乱塊法で解析した。食害株率のデータについては、過熱水蒸気処理の有無を要因、3地域をブロックとみなして、逆正弦変換後に乱塊法で解析した。

なお、外部からの本貝の侵入を防ぐため、試験圃場と対照圃場の入水口と排水口に4mm目合いのネットを設置した。掛川1~2は無農薬栽培、磐田1~2と藤枝1~2は慣行栽培が行われており、いずれの圃場も水稲の栽培期間中に殺貝剤は使用されず、過熱水蒸気処理を行う以外は農家による通常の圃場管理が行われたが、本貝の対策として藤枝1~2では浅水管理が行われた。

## 結 果

### 試験1. 越冬中のスクミリンゴガイの土中深度分布調査

調査した圃場によりスクミリンゴガイの土中深度分布にばらつきは見られたが、いずれの圃場においても深さ2cm以内に越冬個体の49%~93%、深さ4cm以内に80%~100%が存在しており、比較的浅い土中で多くの越冬個体が確認された(Fig. 2)。圃場別に見ると、磐田1では深さ2cm以内に90%以上の越冬個体が集中していたが、掛川1~2と藤枝1~2では深さ6cm以上の比較的深い土中まで越冬個体が確認された。各圃場で採取された個体数は1m<sup>2</sup>あたり、掛川1は152頭、掛川2は201頭、掛川3は28頭、掛川4は47頭、磐田1は36頭、磐田2は24頭、藤枝1は53頭、藤枝2は65頭であった。

### 試験2. 自走式蒸気処理防除機の処理速度およびスクミリンゴガイの深さと死亡率の関係

自走式蒸気処理防除機の処理速度が遅いほど地表面温度

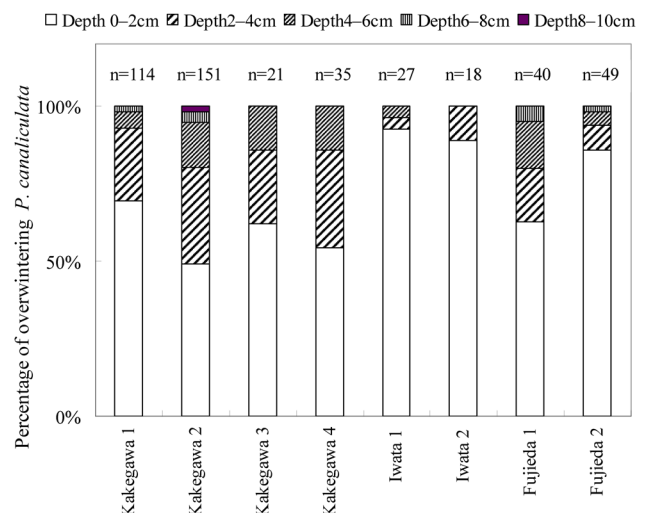


Fig. 2. Vertical distribution of overwintering *Pomacea canaliculata* in the soil at eight post-harvest paddy fields of Shizuoka Prefecture.



Table 1. Soil temperature readings following superheated steam treatment using a mobile steam chamber machine and subsequent snail mortality in relation to driving speed and soil depth

(Driving speed) Soil depth (Snail depth)	Temp. before treatment (°C)	Max. temp. (°C)	Duration (seconds) above		No. of replicates <sup>a</sup>	Snail mortality (%) (Mean±SE) <sup>b</sup>
			80°C ≤	60°C ≤		
(0.5 km/h)						
Soil surface	15.1	91.5	15	106	3	100 a
1 cm (2 cm)	10.1	22.0	0	0	3	23±2.7 b
3 cm (4 cm)	6.4	7.1	0	0	2	0 c
(1.0 km/h)						
Soil surface	13.7	74.7	0	24	3	53±7.2 a
1 cm (2 cm)	9.4	14.6	0	0	3	13±5.4 b
3 cm (4 cm)	8.2	9.7	0	0	2	0 c
(1.5 km/h)						
Soil surface	10.0	61.0	0	4	3	7±2.7 a
1 cm (2 cm)	9.7	13.8	0	0	3	0 a
3 cm (4 cm)	8.3	10.8	0	0	2	0 a
(Control)						
Soil surface	—	—	—	—	3	0 a
1 cm (2 cm)	—	—	—	—	3	0 a
3 cm (4 cm)	—	—	—	—	2	0 a

<sup>a</sup>Ten snails (*Pomacea canaliculata*) were used in each replicate.

<sup>b</sup>Different letters indicate statistical significance between the soil depth at each speed and the control (pairwise *t* test with Holm adjusted *p* value, *p* < 0.05).

が高まり、地表面に設置したスクミリングガイの死亡率が高くなった (Table 1)。0.5 km/h の速度で過熱水蒸気処理を行った結果、地表面温度は 91.5°C まで上昇し、80°C 以上の温度が 15 秒間、60°C 以上の温度が 106 秒間継続した。生死判定の結果、地表面に設置した個体は全て死亡しており、深さ 2 cm および深さ 4 cm の個体の死亡率より有意に高かった (*p* < 0.01)。土中 1 cm における地温の上昇は処理前の 10.1°C から最高 22.0°C への 11.9°C の上昇に留まったが、深さ 2 cm に設置した個体の死亡率は 23.3% となり、深さ 4 cm の個体の死亡率より有意に高かった (*p* < 0.01)。また、生存と判定した個体においても全て無処理の個体と比べて、蓋と殻の間を刺激したときの反応が鈍く、水中で徘徊する個体は確認されなかった。しかし、土中 3 cm については地温の上昇は見られず、深さ 4 cm に設置した個体は過熱水蒸気処理による死亡は認められなかった。1.0 km/h の速度で過熱水蒸気処理を行った結果、地表面の最高温度は 74.7°C となった。生死判定の結果、地表面に設置した個体の死亡率は 53.3% となり、深さ 2 cm および深さ 4 cm の個体の死亡率より有意に高かった (*p* < 0.01)。また、生存と判定した個体においても全て無処理の個体と比べて、蓋と殻の間を刺激したときの反応が鈍く、水中で徘徊する個体は確認されなかった。深さ 2 cm に設置した個体の死亡率は 13.3% となり、深さ 4 cm の個体の死亡率より有意に高かった (*p* < 0.05)。深さ 4 cm に設置した個体

は過熱水蒸気による死亡は認められなかった。1.5 km/h の速度で過熱水蒸気処理を行った結果、地表面の最高温度は 61.0°C となった。生死判定の結果、地表面でわずかに死亡個体が見られたものの、深さ 2 cm および深さ 4 cm との間で死亡率に有意な差は認められなかった (*p* > 0.05)。なお、無処理 (control) の個体はいずれの深さにおいても全て生存しており、本貝の採集、保存、埋め込み、掘り出しの過程で生存率が低下しなかったことが確認された。

### 試験 3. 自走式蒸気処理防除機によるスクミリングガイ防除の現地試験

試験 1 の土中深度分布調査で水田内の越冬個体密度が明らかとなったが、3 地域とも試験圃場と対照圃場では、ほぼ同等の越冬個体密度であった (Table 2)。自走式蒸気処理防除機を利用した過熱水蒸気処理を行った結果、地表面温度は、掛川 1 (土壌含水率 32%) で最高 85.2°C、磐田 1 (土壌含水率 31%) で最高 90.5°C、藤枝 1 (土壌含水率 28%) で最高 89.6°C となった (Table 2)。過熱水蒸気処理を行った圃場の田植え後のスクミリングガイ発生個体数は、掛川 1 で 1.1 個体/m<sup>2</sup> (掛川 2 : 17.1 個体/m<sup>2</sup>)、磐田 1 で 0.2 個体/m<sup>2</sup> (磐田 2 : 0.8 個体/m<sup>2</sup>)、藤枝 1 で 0.4 個体/m<sup>2</sup> (藤枝 2 : 3.4 個体/m<sup>2</sup>) であり (Table 3)、対照圃場と比べて有意に少なくなった (*F*<sub>1, 24</sub> = 20.168, *p* < 0.01)。試験圃場における食害度は、掛川 1 で 17.0 (掛川 2 : 63.5, Fig. 3)、磐田 1 で 1.5 (磐田 2 : 4.8)、藤枝 1 で 2.0 (藤枝 2 : 6.2) であり、

Table 2. Paddy field management at the study sites and soil surface temperatures attained with superheated steam treatment using a mobile steam chamber machine

Study site	Field treatment	Area (a)	Snail density in winter (snails/m <sup>2</sup> )	Superheated steam treatment				Spring tillage	Rice planting
				Dates of treatment	Temp. before treatment (°C)	Max. temp. (°C)	Soil moisture (%)		
Kakegawa 1	Test	15	152	Dec 10, 2014	15.6	85.2	32	Mar 5, 2015	Jun 6, 2015
Kakegawa 2	Control	25	201	None	—	—	—	2015	2015
Iwata 1	Test	9	36	Feb 3, 2015	12.6	90.5	31	Mar 10, 2015	May 9, 2015
Iwata 2	Control	15	24	None	—	—	—	2015	2015
Fujieda 1	Test	9	53	Apr 24, 2015	28.1	89.6	28	Apr 27, 2015	Jun 12, 2015
Fujieda 2	Control	9	65	None	—	—	—	2015	2015

Table 3. Comparison of snail densities and rice damage by snails between the superheated steam-treated fields and the untreated fields

Study site <sup>a</sup>	Field treatment	Snails/m <sup>2</sup> (mean±SE)	Plants in each damage degree <sup>b</sup>						Damage index <sup>c</sup> (mean±SE)	Plants damaged by snails (%)
			0	1	2	3	4	Total		
Kakegawa 1	Test	1.1±0.4	23.2	1.8	0.6	0.2	4.2	30	17.0±2.8	22.7
Kakegawa 2	Control	17.1±1.5	5.8	3.4	4.0	2.4	14.4	30	63.5±9.1	80.7
Iwata 1	Test	0.2±0.1	28.2	1.8	0.0	0.0	0.0	30	1.5±0.6	6.0
Iwata 2	Control	0.8±0.2	24.6	5.0	0.4	0.0	0.0	30	4.8±0.4	18.0
Fujieda 1	Test	0.4±0.1	27.6	2.4	0.0	0.0	0.0	30	2.0±0.5	8.0
Fujieda 2	Control	3.4±0.6	23.6	5.6	0.6	0.2	0.0	30	6.2±0.8	21.3

<sup>a</sup> Superheated steam treatment using a mobile steam chamber machine in the test fields was conducted during winter (see Table 2). Investigation of snail densities and rice damage in the test fields and untreated fields was conducted in early summer after rice planting (Kakegawa 1, 2; June 19, 2015; Iwata 1, 2; May 22, 2015; Fujieda 1, 2; June 25, 2015).

<sup>b</sup> Snail damage degree on a rice plant is categorized into five grades: 0: No snails damage, 1: 1/3 or less of a plant is damaged, 2: 1/3 to 2/3 of a plant is damaged, 3: 2/3 or more of a plant is damaged, 4: Missing plant (hill).

<sup>c</sup> Damage index =  $[\sum (\text{Severity of snail damage} \times \text{Frequency}) / (4 \times \text{Survey number of plants})] \times 100$ .



Fig. 3. Comparison of plant establishments between the superheated steam-treated field (right) and the untreated field (left) in Kakegawa, Shizuoka Prefecture on July 31, 2015.

対照圃場と比べて値は小さくなった。試験圃場における食害株率は、掛川1で22.7% (掛川2: 80.7%), 磐田1で6.0% (磐田2: 18.0%), 藤枝1で8.0% (藤枝2: 21.3%)であり、対照圃場と比べて有意に低くなった ( $F_{1, 24} = 29.987$ ,  $p < 0.01$ )。

## 考 察

越冬中のスクミリンゴガイの土中深度分布調査により、地表面を含め深さ2cmまでに越冬個体の49%~93%が存在することが確認された (Fig. 2)。矢野・中谷 (1989) の研究からも本貝の越冬個体は地表面に28.7%、深さ3cm以内に56.4%、深さ3cm以上は14.9%と比較的浅い土中で多くの越冬個体が確認されており、本研究においても同様の傾向が認められた。ただし、調査圃場によって土中深度分布にはばらつきが見られた。清田・奥原 (1987) は、圃場の土壌条件が潜土する個体の割合に影響するとしているため、本調査においても土性などの土壌条件が原因で土中深度分布にはばらつきが生じた可能性がある。また、水稻に被害を与えるのは主に水田内で越冬した個体であると考えられているが (小澤・牧野, 1989)、今回調査を行った8カ所の圃場において、越冬個体数が最も少ない圃場でも1m<sup>2</sup>あたり24頭が存在し、掛川2においては201頭に達しており、越冬個体を防除することの重要性が改めて示された。

これまでスクミリングガイに対して、過熱水蒸気処理の効果は知られていなかったが、本試験の結果から、過熱水蒸気処理によるスクミリングガイの殺貝効果が明らかとなった。本貝の埋設深度が浅いほど殺貝効果は高く、0.5km/hで処理した場合は地表面の個体は全て死亡しており、深さ2cmに設置した個体の死亡率は23%となった (Table 1)。土中に設置した個体よりも地表面の個体に対する処理効果が高いのは、自走式蒸気処理防除機による雑草種子の死滅効果を調査した酒井ら (2012) や西村ら (2014) の試験結果と同様の傾向であった。ただし、深さ2cmで生存と判定された個体も無処理の個体より明らかに弱っていた。実際の圃場条件では過熱水蒸気処理後に貝は厳しい低温条件下に放置される。そのため、深さ2cmでの処理個体の春期における死亡率は今回の試験結果よりさらに高くなることが予想される。これらのことから、水稲収穫後から田植え前の不耕起期間に自走式蒸気処理防除機で速度0.5km/hで過熱水蒸気処理を行うことにより、越冬個体の多くを死亡させることができると考えられる。なお、今回の試験では圃場地表面の稲わらを除去した場所に本貝を設置し、死亡率の調査を行った。酒井ら (2012) による調査では、自走式蒸気処理防除機を利用した過熱水蒸気処理の際に、稲わらの有無によって地表面の最高温度および防除の対象である雑草イネに及ぼす影響に差は認められなかったため、本貝においても稲わらを除去したことで死亡率が過大または過小評価された可能性は低いと考えられる。

現地試験を行った結果、自走式蒸気処理防除機を利用した過熱水蒸気処理により田植え後のスクミリングガイの個体数を低下させ、水稲の食害を低減することが可能であった (Table 3, Fig. 3)。特に掛川1~2は本貝の越冬個体数が顕著に多かったが、過熱水蒸気処理を行うことで田植え後の個体数を対照圃場の10分の1以下に減少させることができた。本圃場では2cmより深い土中にも越冬個体が確認されたが (全体の31%)、地面のひび割れにも多くの越冬個体が存在しており、そのような個体は過熱水蒸気が直接体の一部に接触することになるため、処理の影響を受けやすく、試験2の結果以上に田植え後の個体数が減少したのかもしれない。地面のひび割れの影響についてはさらに詳細な調査が必要である。また、今回の現地試験では処理を12~4月に行った。西村ら (2014) の研究では、1月に過熱水蒸気処理を行った際に、地表面温度は処理前の9.4°Cから91.3°Cまで上昇することを確認している。本研究で2月に処理を行った磐田1においても、地表面温度は処理前の12.6°Cから90.5°Cまで上昇していることから、処理時の気温がある程度低くても過熱水蒸気処理の効果は有効と考えられる。これらのことから自走式蒸気処理防除機を利用した水稲収穫後の過熱水蒸気処理は、スクミリン

ゴガイの防除に極めて有効な手段であることが明らかとなった。なお、現地試験圃場において自走式蒸気処理防除機のクローラ通過後も粉碎した貝は確認されておらず、過熱水蒸気が本貝を死亡させたことは明らかである。

しかし、過熱水蒸気処理を行っても越冬個体を全て死亡させることはできないので、現在ある防除法と上手く組み合わせる必要がある。藤枝2では、田植え後の本貝の発生個体数が比較的多かったが、浅水管理を適切に行うことができたため、食害程度は低く抑えられた。このため、越冬個体数が顕著に多い圃場では、自走式蒸気処理防除機による過熱水蒸気処理で越冬個体の密度を低減させ、田植え後の浅水管理を行うことで、さらに効果の高い防除体系になると考えられる。

今回使用した自走式蒸気処理防除機は、0.5km/hで過熱水蒸気処理する場合、10aあたりの処理時間は2~3時間程度となり、燃料である灯油の使用量は60L程度となる。このため、主に普及が見込まれるのは有機栽培や特別栽培など、高付加価値米を生産している水田であると考えられる。しかし、本処理は水田の耕起前に行うことで、地表面に存在する病原菌、雑草種子および漏生糞も死滅させ、次作の病害虫や雑草による被害を総合的に低減させられる可能性がある。現在までに病原菌ではイネ紋枯病菌の菌核、雑草種子ではノビエ、また漏生糞についても過熱水蒸気処理による高い死滅効果が確認されている (井鍋ら、未発表)。なお現在、自走式蒸気処理防除機の改良が行われており、処理効率や処理時の地表面最高温度が向上する見込みである。このため、改良後は処理効率の向上とともに、土中の個体にもより効果を与えることのできる機械となることが期待できる。

## 摘 要

水稲収穫後の過熱水蒸気処理による水田のスクミリングガイ越冬個体の防除技術開発を目的とし、(1)越冬中の本貝の土中深度分布調査、(2)自走式蒸気処理防除機の処理速度およびスクミリングガイの深さと死亡率の関係、(3)自走式蒸気処理防除機によるスクミリングガイ防除の現地試験を行った。越冬中の土中深度分布調査では、深さ2cm以内に越冬個体の49%~93%が存在しており、比較的浅い土中で多くの越冬個体が確認された。自走式蒸気処理防除機を使用した場合、地表面の個体については、最高温度が91.5°Cとなる0.5km/h走行で100%死亡させることが可能であった。また、深さ2cmに埋めた個体については23%の個体が死亡した。自走式蒸気処理防除機を0.5km/hで走行させ過熱水蒸気処理を行った現地試験で、田植え後の本貝の個体数および食害を低下させることができた。これらのことから、自走式蒸気処理防除機による過熱水蒸気処理は、水田のスクミリングガイ防除に有効である



と考えられた。

## 引用文献

- Gay, P., P. Piccarolo, D. R. Aimonino and C. Tortia (2010) A high efficiency steam soil disinfestation system, part I: Physical background and steam supply optimization. *Biosystems Eng.* 107: 74-85.
- 林 嘉孝・永井清文・恒吉 隆・戸高 隆 (1988) スクミリンゴガイに対する石灰窒素の施用効果. 九病虫研会報 34: 121-123. [Hayashi, Y., K. Nagai, T. Tsuneyoshi and T. Todaka (1988) Effect of application of calcium cyanamide on the apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck). *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 34: 121-123.]
- 平井剛夫 (1989) スクミリンゴガイの発生と分布拡大. 植物防疫 43: 498-501. [Hirai, Y. (1989) Expanding occurrence and distribution of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck), in Japan. *Plant Prot.* 43: 498-501.]
- 清田洋次・奥原國英 (1987) スクミリンゴガイの越冬経過について. 九病虫研会報 33: 102-105. [Kiyota, H. and K. Okuhara (1987) Overwintering ability of the apple snail, *Pomacea canaliculata*. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 33: 102-105.]
- 牧野秋雄・小澤朗人 (1987) 石灰窒素施用によるスクミリンゴガイの防除. 関東東山病虫研報 34: 208-210. [Makino, T. and A. Ozawa (1987) Control of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) by application of calcium cyanamide. *Kanto-Tosan Plant Prot.* 34: 208-210.]
- 西村愛子・浅井元朗・澁谷知子・黒川俊二・中村浩也 (2014) 蒸気処理機を用いた耕地雑草埋土種子の死滅技術開発. 雑草研究 59: 167-174. [Nishimura, A., M. Asai, T. Shibuya, S. Kurokawa and H. Nakamura (2014) A steam-treatment technique for weed-seeds disinfestation in arable fields. *J. Weed Sci. Tech.* 59: 167-174.]
- 小澤朗人・牧野秋雄 (1989) スクミリンゴガイの生態と防除. 植物防疫 43: 502-505. [Ozawa, A. and T. Makino (1989) Biology of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) and its control. *Plant Prot.* 43: 502-505.]
- 酒井長雄・青木政晴・土屋 学・原田良太・中沢克明・浅井元朗・西村愛子・中村浩也・高山英行・松井良共 (2012) 蒸気除草機処理による地温上昇と雑草イネ種子の発芽への影響. 北陸作物学会報 47: 40-43. [Sakai, N., M. Aoki, M. Tsuchiya, R. Harada, K. Nakazawa, M. Asai, A. Nishimura, H. Nakamura, H. Takayama and Y. Matsui (2012) Germination response of weedy-rice seeds to heat exposure treated with a steam-weeder. *Hokuriku Crop Sci.* 47: 40-43.]
- 高橋仁康・田坂幸平 (2015) スクミリンゴガイの物理的防除と水路における産卵抑制. 植物防疫 69: 165-168. [Takahashi, K. and K. Tasaka (2015) Physical control spawning prevention technology of apple snail. *Plant Prot.* 69: 165-168.]
- 高橋仁康・関 正裕・西田初生 (2002) ロータリ耕うんによるスクミリンゴガイ防除に関する基礎的研究. 農業機械学会誌 64(6): 76-81. [Takahashi, K., M. Seki and H. Nishida (2002) Research for control of apple snail by rotary cultivator. *J. Soc. Agr. Mach.* 64(6): 76-81.]
- 和田 節 (2015) スクミリンゴガイの日本における発生状況と農薬による水稲被害回避における問題点. 植物防疫 69: 155-159. [Wada, T. (2015) Distribution and chemical control of the apple snail, *Pomacea canaliculata*, in Japanese paddy fields. *Plant Prot.* 69: 155-159.]
- 和田 節・遊佐陽一・市瀬克也・菅野紘男・松村正哉・有村一弘・浦野 知・高橋仁康 (2004) ロータリ耕耘や代かきによるスクミリンゴガイの殺菌効果. 九病虫研会報 50: 23-28. [Wada, T., Y. Yusa, K. Ichinose, H. Kanno, M. Matsumura, K. Arimura, S. Urano and K. Takahashi (2004) Decrease in density of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae) by tillage and soil puddling. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 50: 23-28.]
- 山中正博・藤吉 臨・吉田桂輔 (1988) スクミリンゴガイのイネ苗加害習性. 福岡農総試研報 A-8: 29-32. [Yamanaka, M., N. Fujiyoshi and K. Yoshida (1988) Injuring habits of the apple snail (*Pomacea canaliculata* Lamarck) to the rice plant. *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* A-8: 29-32.]
- 矢野貞彦・中谷政之 (1989) スクミリンゴガイの水稲への加害と越冬状況. 関西病虫研報 31: 57. [Yano, S. and M. Nakatani (1989) Damage to the rice plant and overwintering of the apple snail, *Pomacea canaliculata*. *Kansai Plant Prot.* 31: 57.]