

気温データを用いたスクミリンゴガイの水田における越冬死亡率の推定

菖蒲信一郎*・御厨初子*・山口純一郎*・松崎正文*
善 正二郎**・和田 節***

* 佐賀県農業試験研究センター
** 佐賀県上場営農センター
*** 九州沖縄農業研究センター

Estimating the Overwintering Mortality of the Apple Snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae) in a Paddy Field of Southern Japan Using Temperature Data. Shin-ichirou Syobu, Hatsuko Mikuriya, Junichirou Yamaguchi, Masafumi Matsuzaki (Saga Prefectural Agriculture Research Center, Kawasoe, Saga 840-2205, Japan), Syojiro Zen (Saga Upland Farming Experiment Station, Chinzeicho, Saga 847-0326, Japan) and Takashi Wada (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Nishigoshi, Kumamoto 861-1192, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 45: 203-207 (2001)

Abstract: Overwintering mortality of the apple snail, *Pomacea canaliculata* was investigated in a paddy field of Southern Japan for seven consecutive years. Field data and laboratory experiments revealed snails larger than 6.0 mm exhibited higher cold tolerance than small snails. Seven-years of field data showed that a linear regression explained a close relationship between the overwintering mortality of snails larger than 6.0 mm and the cumulative low temperature calculated as the subtraction of the hourly temperature from 10°C (CLT). A high correlation was also observed between overwintering mortality of snails and the mean temperature between December and February. Thus, temperature data seems to be practical and effective in estimating mortality of field snails during the winter.

Key words: *Pomacea canaliculata*, apple snail, overwintering, shell height, temperature

緒 言 方 法

スクミリンゴガイは移植および湛水直播栽培におけるイネを加害し問題となるが、その期間は移植（播種）後の比較的短期間に限られる。このため、貝の水田内での越冬死亡率を推定することは貝の防除対策を考えるうえで極めて重要であるが、貝の越冬調査には多大な労力が必要となる。本種の水田での越冬には冬期の低温が大きな死亡要因になっており（清田・奥原，1987；大矢ら，1987；小澤・牧野，1988），冬期の温度データから貝の死亡率が推定できれば、その利用価値は非常に高い。しかし、この試みは小澤・牧野（1988）による2年間の解析事例があるだけで、貝の越冬死亡率の年次変動を対象とした解析はこれまで全く行われていない。そこで、筆者らは室内実験および7年間にわたる水田内での越冬調査を行い、低温条件と貝死亡との関係を得べ、温度データからの越冬死亡率の推定を試みた。なお、本文に先立ちデータの解析方法について有益なご助言を頂いた九州沖縄農業研究センターの松村正哉博士に御礼申し上げる。

1. 水田での越冬状況

(1) 調査場所

1994～2000年度（7シーズン）に、佐賀郡川副町の佐賀県農業試験研究センター内の圃場（8a）で、スクミリンゴガイの越冬調査を行った。調査圃場では毎年6月下旬にイネが移植され10月中旬頃に収穫された。収穫後、裏作は栽培せず、耕起も行わなかった。このため、10月のコンバインによる収穫時に圃場内に飛散した稲藁が、そのまま春まで圃場表面に存在した。調査圃場では毎年このような圃場管理を繰り返した。

(2) 貝の採集および生死判定

越冬中の貝の採集は、圃場内に飛散している稲藁を取り除きながら、浅く潜土しているが殻の一部が地表面に露出し容易に発見できるスクミリンゴガイを対象にして行った。殻高約20mm以上の貝の中には殻の一部が破損した貝や、貝の蓋（operculum）が取れて貝殻だけとなった個体も見つかったが、これらは前年秋期までに鳥類などに捕食された可能性があったため調査対象から除外した。貝の蓋と貝殻

の間に隙間があり、貝の内容物がほとんど消失した貝でも、蓋が確認できた貝は冬期に死亡した個体とみなし調査対象に加えた。1994年12月～1995年3月は毎月1回、発見できた全ての大きさの貝を対象に採集し、1996年の春以降は毎年3月下旬～4月上旬に1回、殻高約5mm以上の貝を対象に1回の調査で100個体以上採集した。生死判定は、約20～25℃の室内で水を溜めたプラスチック容器に貝を入れ、24時間後まで随時観察することにより行った。観察時に正常な歩行活動がみられた貝を生貝、それ以外を死貝とみなした。なお1994年12月～1995年3月と1999年3月の調査では殻高別に貝を採集し、大部分を占めた殻高12mm以下の貝について殻高別の死亡率の差を検定するために、多試料 χ^2 検定と角変換の後、Tukey-typeの多重比較を行った(Zar, 1999)。

(3) 利用した温度データ

貝の越冬死亡率と冬期の気温との関係を解析する際には、調査圃場から約5km北に位置するアメダス観測地点(佐賀市)の毎正時気温データを利用した。小澤・牧野(1988)は、水田地表面の温度が10℃未満になった場合に、10℃と地表面温度との差を時間毎に積算した温量を積算温量(本稿では積算低温量)と呼び、貝の越冬死亡率の推定に用いることを提案した。これを参考にして、各年次の10月から翌年3月までの積算低温量を算出した。また、10月から翌年3月、12月から翌年2月までの平均気温を同じアメダスデータから算出した。

2. 殻高別の低温耐性(実験1)

実験に用いた貝は、2000年11月に佐賀県農業試験研究センター内の圃場に隣接する排水用の溝から、土と一緒に採集した。採集翌日に水を溜めたプラスチック容器に貝と土を入れ、正常な歩行活動がみられる貝を試験に用いた。活動が完全に休止した状態の貝を供試するため、生貝を室温下で約1日間乾燥させ、貝の蓋を閉じさせた。次に、直径9cm、深さ2cmのガラスシャーレに濾紙を敷き、その上に殻高別に貝を入れた。シャーレには蓋をせずに3℃(±0.5℃)の恒温器で保管した。各シャーレ内には少量の水を1～2日おきに加え、濾紙を湿らせるとともに、恒温器内に水を溜めたシャーレを3つずつ入れ、器内を湿った状態に維持した。各シャーレ内には殻高4.1～5.0mm、5.1～6.0mm、6.1～7.0mm、7.1～8.0mmの貝はそれぞれ50頭ずつ、殻高8.1～9.0mmの貝は40頭ずつ、殻高9.1～10.0mm、10.1～11.0mmの貝はそれぞれ30頭ずつ、殻高11.1～13.0mmの貝は20頭ずつ入れた。殻高別の貝を入れたシャーレはそれぞれ4つずつ用意した。殻高4.1～5.0mm、5.1～6.0mmの貝を入れたシャーレは実験開始2, 5, 9, 12日後に、その他の貝を入れたシャーレは2, 5, 12, 19日後にそれぞれ1つずつ恒温器から取り出し、前述と同様な方法で貝の生死を判定した。一度恒温器から取り出した貝は、その

後の実験から除外した。なお、実験開始12日後の貝について、殻高別死亡率の差を検定するために前述の統計解析を行った。

3. 各温度条件下での低温耐性(実験2)

実験1と同様の手順で準備した、蓋を閉じさせたスクミリングガイを実験に供試した。直径9cm、深さ2cmのガラスシャーレに濾紙を敷き、その上に殻高6.1～12.0mmの貝を50頭ずつ入れた。シャーレには蓋をせずに、1, 3, 5, 7, 8, 9℃(±0.5℃)の恒温器で保管した。各温度条件について貝を入れたシャーレをそれぞれ6～8つずつ用意した。各シャーレ内および各恒温器内は、実験1と同様に湿った状態を維持した。それぞれの恒温器で保管したシャーレは、1℃は実験開始1, 2, 5, 8, 12, 15日後に、3℃は5, 8, 12, 15, 19, 28日後に、5℃は5, 12, 15, 19, 28, 35, 43, 50日後に、7℃は5, 12, 19, 28, 35, 43, 50, 61日後に、8および9℃は12, 21, 28, 35, 43, 50, 61日後にそれぞれ1つずつ恒温器から取り出し、貝の生死判定を行った。生死判定は実験1と同様の方法で行い、死亡率を算出した。また、実験開始12日後(6つの温度条件)と28日後(1℃を除く5つの温度条件)について、10℃と貝の保管温度との差を時間毎に積算した温量をそれぞれ算出し、この積算低温量と貝の死亡率との関係を調べた。同様に、貝の保管温度と貝の死亡率との関係も調べた。

結 果

1. 水田での殻高別の越冬状況

Table 1に、1994年12月～1995年3月に水田内から採集したスクミリングガイの殻高別の死亡率を示す。採集した貝は殻高4～8mmの個体数が多かった。各殻高において、貝の死亡率は1月下旬から2月下旬にかけて増加した。2月22日の貝の死亡率をみると、殻高3.1～4.0mmおよび殻高4.1～6.0mmの貝の死亡率が、殻高6.1～12.0mmの貝に比べ有意に高かった($p<0.05$)。3月15日の貝の死亡率でも、殻高3.1～6.0mmの貝の死亡率が、殻高6.1～12.0mmの貝に比べ有意に高かった($p<0.05$)。Table 2に、1999年3月に水田内から採集したスクミリングガイの殻高別の死亡率を示す。この年は殻高約5mm以上の貝を対象に採集したが、採集された貝は殻高5～8mmの個体数が多かった。殻高5.1～6.0mmの貝の死亡率は、殻高6.1～11.0mmの貝に比べ有意に高かった($p<0.05$)。

2. 殻高別の低温耐性(実験1)

Fig. 1に、3℃の温度条件下におけるスクミリングガイの殻高別死亡率(角変換値)の推移を示す。殻高4.1～5.0mm、5.1～6.0mmの貝は、それ以上の大きさの貝と比べ、短期間で死亡率が増加した。実験開始12日目の、殻高4.1～5.0mmの貝はそれ以上の大きさの貝と比べ、殻

Table 1. Changes in the mortality of snails collected under rice straws in the paddy field during the period of Dec. 1994–Mar. 1995

Shell height (mm)	27 Dec.			17 Jan.			22 Feb.			15 Mar.		
	No. of snails		Mortality ^a (%)	No. of snails		Mortality (%)	No. of snails		Mortality (%)	No. of snails		Mortality (%)
	Collected	Dead		Collected	Dead		Collected	Dead		Collected	Dead	
3.1–4.0	62	19	30.6 a	57	19	33.3 a	88	87	98.9 a	46	38	82.6 a
4.1–6.0	215	26	12.1 b	184	46	25.0 a	252	206	81.7 b	422	355	84.1 a
6.1–8.0	53	3	5.7 b	19	2	10.5 a	87	27	31.0 c	100	37	37.0 b
8.0–10.0	29	0	0.0 b	10	0	0.0 a	26	4	15.4 cd	31	6	19.4 bc
10.1–12.0	27	0	0.0 b	9	0	—	16	0	0.0 d	45	2	4.4 bc
12.1–20.0	18	1	5.6	10	0	0.0	17	0	0.0	51	7	13.7
20.1–30.0	0	0	— ^b	7	1	—	6	6	—	20	12	60.0
30.1–48.0	6	2	—	4	1	—	3	3	—	3	3	—

^a Within a column (snails with shell heights less than 12.0 mm), treatments followed by the same letters are not significantly different at the 5% probability level, according to χ^2 and Tukey-type multiple comparison test (Zar, 1999).

^b When the number of snails was less than 10, mortality was not calculated.

Table 2. Mortality of snails collected under rice straws in the paddy field in the spring of 1999

Shell height ^a (mm)	25 Mar.		
	No. of snails		Mortality (%)
	Collected	Dead	
4.1–5.0	9	7	—
5.1–6.0	106	62	58.5 a
6.1–7.0	268	64	23.9 b
7.1–8.0	145	32	22.1 b
8.1–9.0	69	15	21.7 b
9.1–10.0	18	3	16.7 b
10.1–11.0	22	3	13.6 b
11.1–20.0	19	8	42.1
20.1–28.0	34	29	85.3

^a Snails larger than approximately 5 mm were collected. See Table 1 for mortality of snails (5.1–11.0 mm).

高 5.1–6.0 mm の貝はそれ以上の大きさの貝と比べそれぞれ死亡率が有意に高かった ($p < 0.05$)。以上の結果から、殻高 6.0 mm 以下の貝の低温耐性が弱いことが実験的に明らかになった。

3. 各温度条件下での低温耐性 (実験 2)

スクミリンゴガイの死亡率 (角変換値) は、低い温度条件ほど短期間で高くなる傾向がみられた (Fig. 2)。実験開始 12 日後 (6 つの温度条件) の貝の死亡率 (角変換値) は、積算低温量あるいは保管温度との間に高い相関があり ($r^2 = 0.87$, $p < 0.01$)、積算低温量との間には $y = 0.0269x + 1.27$ 、保管温度との間には $y = -7.74x + 78.7$ の関係を認めた。実験開始 28 日後 (5 つの温度条件) の貝の死亡率 (角変換値) も、積算低温量あるいは保管温度との間に高い相

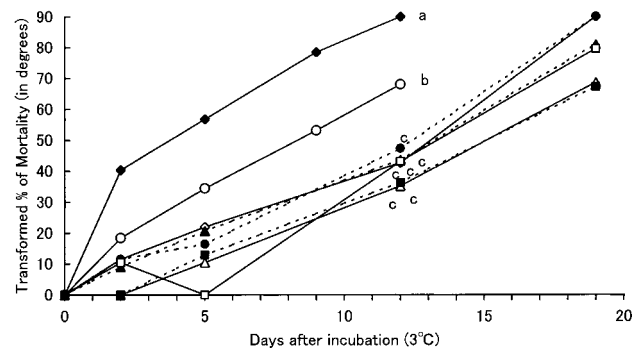


Fig. 1. Size-specific mortality of apple snails after incubation at 3°C constant temperature. Each symbol represents shell height of the snail (◆: 4.1–5.0 mm, ○: 5.1–6.0 mm, ◇: 6.1–7.0 mm, ●: 7.1–8.0 mm, ▲: 8.1–9.0 mm, □: 9.1–10.0 mm, △: 10.1–11.0 mm, ■: 11.1–13.0 mm). Treatments followed by the same letters on Day-12 are not significantly different at the 5% probability level.

関があり ($r^2 = 0.97$, $p < 0.01$)、積算低温量との間には $y = 0.0136x + 22.1$ 、保管温度との間には $y = -9.14x + 114$ の関係を認めた。

4. 水田での越冬状況と冬の気温との関係

稚貝の越冬死亡率は、他の殻高の貝に比べ特に高いとされているが (矢野ら, 1990; Watanabe et al., 2000)、本研究から殻高 6.0 mm 未満の貝の低温耐性が弱いことか明らかになった。そこで越冬死亡率に及ぼす貝のサイズ構成の影響を除くために、殻高 6.0 mm 未満の貝を除外して、各年次の越冬死亡率を算出した。この越冬死亡率は、全てのサイズの貝をランダム採集して得られる真の死亡率ではなく、貝の調査対象サイズと調査場所を毎年同じように限定した相対的な死亡率であるが、年次変動が大きく 1995–2001 年の値は 18.1–66.7% となった。アメダス毎正時データを用

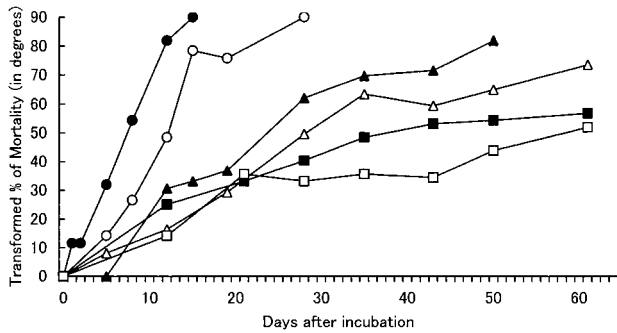


Fig. 2. Mortality of apple snails (6.1–12 mm) at different constant temperatures (●: 1°C, ○: 3°C, ▲: 5°C, △: 7°C, ■: 8°C, □: 9°C).

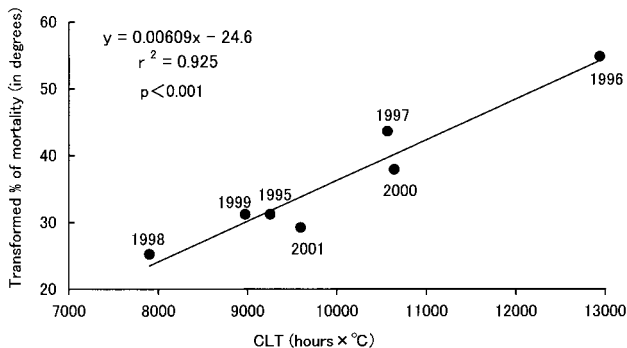


Fig. 3. Relationship between CLT and the overwintering mortality of apple snails collected in a paddy field for seven consecutive years. CTL: Cumulative low temperature calculated as the subtraction of the hourly temperature from 10°C. Temperature data were obtained at an AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) point about 5 km from the paddy field. The snails checked for mortality were larger than 6.0 mm.

いた各年次の10月から翌年3月までの積算低温量と春に採集した貝の越冬死亡率(角変換値)の関係は、一次回帰式によく適合した(Fig. 3)。同様に各年次の12月から翌年2月までの平均気温と貝の越冬死亡率(角変換値)の関係も、一次回帰式によく適合した(Fig. 4)。また、各年次の10月から翌年3月までの平均気温と貝の越冬死亡率(角変換値)の間には、 $y = -13.2x + 171$ ($r^2 = 0.81$, $p < 0.01$) の関係を認めた。

考 察

小澤・牧野(1988)は、本種の発育限界温度が約10°Cで(兼島ら, 1987), 生存日数が大きく減少し始める水温が約10°C(大上, 1986)であることから、貝がこの温度以下の低温にさらされると低温による死亡が誘起されると考えた。さらに、低温時は時間経過に比例して貝の死亡率が高まる傾向が認められ(大矢ら, 1987; 小澤・牧野, 1988), 温度と死亡率はほぼ反比例する傾向が認められることから(大上, 1986), 10°C以下の積算低温量を貝の越

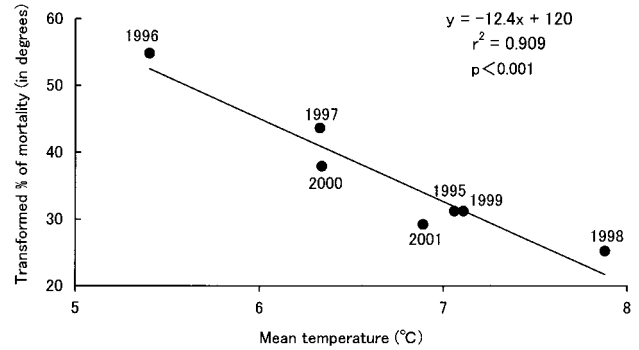


Fig. 4. Relationship between the mean temperature (December to February) and the overwintering mortality of apple snails collected in a paddy field for seven consecutive years. See the figure legend of Fig. 3 for explanation of temperature data and size of the snails.

冬死亡率の推定に用いる方法を提案した。今回行った実験2では、1~9°Cの範囲において、同じ時間経過(12日間あるいは28日間)を経た貝の死亡率と積算低温量の間にはそれぞれ高い相関を認めた。この結果からも、積算低温量を貝の死亡率の推定に使用することの妥当性が示された。ただし、今回の実験では死亡率が増加する限界温度が10°Cであるかどうかは実証できなかったため、今後詳細な実験で明らかにする必要がある。

本研究で算出した毎年春の越冬死亡率は、室内実験と同様に同じ時間経過を経た値(一冬を経過)であるため、積算低温量を用いた解析を行ったが、両者は一次回帰式によく適合した(Fig. 3)。よって、積算低温量は野外における貝の越冬死亡率の推定に有効であると思われる。また、各年次の12月から翌年2月までの平均気温と貝の越冬死亡率の関係も、一次回帰式によく適合した(Fig. 4)。スクミリンゴガイの越冬死亡率は12月から翌年2月に高まるので、この期間の平均気温と高い相関を示したと考えられる。平均気温による推定法は簡便であり利用価値が高いと思われる。

今回の野外調査では、貝が生息する水田内の温度の測定を行わず、代わりにアメダス観測値の気温データを用いた。地下3 cmの地温は、水田地表面温度より1~3°C高い傾向がある(小澤・牧野, 1988)。また地表の藁は、その下に生息する貝が直接寒風にさらされるのを防ぎ、保温効果を高める。よって、越冬調査を行った貝が生息していた場所の温度は、アメダスの気温データより高かった可能性が高い。今回の室内実験は1°C以上の各温度条件で行ったが、大矢ら(1987)によると0°Cでは20~25日、-3°Cでは3日、-6°Cでは1日内外でほとんどの貝が死亡する。今回7年間越冬調査を行った中では、全国的に寒冬年となった1995~1996年の冬期の積算低温量が最も大きかった。この期間のアメダス観測値で0°C以下の日最低気温が観測され

たのは46日、そのうち -3°C 以下は6日であった。ただしこのような低温が観測されたのは、深夜から早朝の時間帯に限られていた。小澤・牧野(1988)は、越冬調査を行った1986年度と1987年度が暖冬年であり、地表面温度が 0°C 以下になったのはそれぞれ5日、6日にすぎなかったことから、積算低温量を用いて正確に死亡率を推定するためには、氷点下の温度の補正が残された課題としている。しかし、今回の結果では上記のような寒冬年でも貝は死滅せず、その死亡率は積算低温量や平均気温から推定可能であったため、西南暖地においては 0°C 以下の補正は必要ないと思われる。

既に指摘したとおり、今回の簡便な貝の採集法では、一部の貝が活動を開始する春に殻の一部が地表面にでている貝だけを採集し、稚貝や貝殻だけの貝は調査対象から除外した。これらのことから、今回算出した越冬死亡率は、真の死亡率に比べて過小評価されていると思われる。貝の越冬死亡率は藁を放置した水田より除去した水田で高い(小澤・牧野, 1988)。さらに、硬い土壌より柔らかい土壌、土壌表面より深いところに生息する貝の越冬死亡率が低く(清田・奥原, 1987)、秋から冬にかけての耕起によって越冬貝の密度は低下する(山下, 1993; Kiyota and Sogawa, 1996; 高橋ら, 2000)。このように、貝の越冬死亡率と冬期の温度データとの関係式は、貝の採集方法や貝の殻高だけでなく、貝の採集場所、圃場条件などによって異なる。よって冬期の温度データを用いた越冬死亡率の推定は、各地域での越冬死亡率の平年比を推定する手段として活用するのが望ましいと思われる。

摘 要

水田におけるスクミリンゴガイの越冬調査を7年間継続して行った。野外調査および室内実験の結果から、低温耐性が比較的強いことが明らかになった殻高6.1 mm以上の貝を対象に、各年次の越冬死亡率を算出した。冬期のアメダス毎正時データを用いて、 10°C と気温との温度差を時間毎に積算した積算低温量と、貝の死亡率との関係を調べた結果、積算低温量が大きい年ほど越冬死亡率が高い明確な傾向がみられ、一次回帰式によく適合した。同様に冬期の平均気温と貝の越冬死亡率との関係も、一次回帰式によく適合した。このことから、冬期の温度データを用いた貝の越冬死亡率の推定法は、利用価値が高いと思われた。

引 用 文 献

兼島盛吉・山内昌治・黒住耐二(1987) スクミリンゴガイの發育

に及ぼす飼育温度と密度の影響. 九病虫研会報 33: 110-112. [Kaneshima, M., S. Yamauchi and T. Kurozumi (1987) Effect of rearing temperature and density upon the growth of apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck). *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 33: 110-112.]

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.]

Kiyota, H. and K. Sogawa (1996) Ecology and management of the apple snail in Kyushu, Japan. In *Proceedings of the International Workshop on Pest Management Strategies in Asian Monsoon Agroecosystems* (N. Hokyo and G. Norton eds.). Kyushu National Agricultural Experiment Station, Kumamoto, pp. 187-195.

大上皓久(1986) ラブラタリンゴガイの低温耐性と野外での越冬・生息状況. 静岡水試研報 21: 53-56. [Ohgami, H. (1986) Tolerance against low temperature and behavior in field of apple snail, *Ampullarium insularis* D., Orbigny. *Bull. Shizuoka Pref. Fish. Exp. Stn.* 21: 53-56.]

大矢慎吾・平井剛夫・宮原義雄(1987) 北部九州におけるスクミリンゴガイの越冬. 応動昆 31: 206-212. [Oya, S., Y. Hirai and Y. Miyahara (1987) Overwintering of the apple snail, *Pomacea canaliculata* Lamarck, in North Kyushu. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 31: 206-212.]

小澤朗人・牧野秋雄(1988) 静岡県におけるスクミリンゴガイの越冬実態. 静岡農試研報 33: 65-77. [Ozawa, A. and T. Makino (1988) Overwintering of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck), in Shizuoka Prefecture. *Bull. Shizuoka Agr. Exp. Stn.* 33: 65-77.]

高橋仁康・西田初生・関 正裕(2000) スクミリンゴガイの水稲被害とロータリー耕耘による密度低減. 農業技術 55: 226-229. [Takahashi, K., H. Nishida and M. Seki (2000) Damage of the apple snail, *Pomacea canaliculata* in paddy fields and decreasing density of the snail by rotary cultivator. *J. Agric. Sci.* 55: 226-229.]

Watanabe, T., K. Tanaka, H. Higuchi, K. Miyamoto, T. Kiyonaga, H. Kiyota, Y. Suzuki and T. Wada (2000) Emergence of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae), after irrigation in a paddy. *Appl. Entomol. Zool.* 35: 75-79.

山下 泉(1993) 高知県におけるスクミリンゴガイの越冬状況とその防除対策. 四国植防 28: 71-77. [Yamashita, I. (1993) Some winter season trials for controlling the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck), in Kochi prefecture. *Proc. Assoc. Pl. Protec. Shikoku* 28: 71-77.]

矢野貞彦・森下正彦・城野 晋・東 勝千代(1990) スクミリンゴガイの発生実態と防除対策. 和歌山県農試研報 14: 45-50. [Yano, S., M. Morisita, S. Johno and K. Azuma (1990) Occurrence and control of the apple snail, *Pomacea canaliculata*. *Bull. Wakayama Agr. Exp. Stn.* 14: 45-50.]

Zar, J. H. (1999) *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice-Hall, New Jersey. 663 pp.