茶園におけるチャトゲコナジラミ幼虫の密度調査法

小澤朗人・内山 徹・小杉由紀夫*・芳賀 一*

Akihito Ozawa, Toru Uchiyama, Yukio Kosugi* and Hajime Haga*: Methodologies for estimating the density of tea spiny whitefly larvae, *Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and Kasai in tea fields

Abstract

We developed methodologies for estimating the density of the larvae of tea spiny whitefly, *Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and Kasai, in tea fields. In the period of rising density in 2013, 100 tea leaves were collected from each of 50 commercial tea fields in Shizuoka Prefecture, and the number of larvae and emerged exuviae of *A. camelliae* on the leaves was counted. Since a high correlation of $R^2 = 0.98$ or 0.99 was consistently found between the true larval density and apparent larval density, including emerged exuviae, from February–July 2013, the apparent larval density was used as a surrogate for true larval density in subsequent analyses. There was a significant correlation between larval density and the frequency of leaves infested by larvae, and this relationship was well described by the Kono and Sugino (1958) formula. Based on the resulting regression equation, we showed that the frequencies of leaves infested by the larvae corresponded to several steps of densities, assuming a standard value of the degree of occurrence of the pest. A significant positive correlation was found between mean density and mean crowding index in each field. The index of basic contagion $\alpha = 8.56$ and the density-contagiousness coefficient $\beta = 1.66$ were obtained from the regression equation. Based on these values, the relationship between larval density and number of samples required to satisfy aimed precision D was simulated according to a study by Iwao and Kuno (1968). Results showed that, if the larval densities are 0.67, 0.33, and 0.16 or more per leaf, the aimed precision $D = 0.3$ for the survey is satisfied by sampling 50, 100, and 200 leaves, respectively. **Key words:** *Aleurocanthus camelliae*, density estimation, Kono and Sugino formula, sampling method, tea

緒 言

京都府宇治市で2004年に初確認された(山下・林田, 2006)侵入新害虫チャトゲコナジラミ *Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and Kasai (カメムシ目: コナジラミ科) (Kanmiya et al., 2011) は, 静岡県では2010年に初確認された後, 2012年後半から2013年前半にかけて県内ほぼ全域の茶産地に分布が急拡大した(小澤ら, 2015)。的確な防除対策を構築するためにはチャ園における生活史など基本的な生態の解明が急務となっており, 筆者らはこれまで継続的に茶園における発消長などの動態を調査してきた(小澤ら, 2012; 小澤ら, 2013; 小澤ら, 2015; 小澤ら, 2016)。成虫の密度調査については, 簡便な黄色粘着トラップを用いる方法が有効で(例えば, 竹若・村井, 2008; 上杉・佐藤, 2013; Yamashita et al.,

2016), 本法が広く普及している。一方, 幼虫の密度調査に関しては, 本種は葉裏に寄生し, 時には葉当たり数100頭と高密度になって個体識別が困難になる場合もあるため, 密度調査法の詳細な検討は進んでいない。また, 現時点で本種は国の発生予察事業の指定病害虫ではないものの, 全国的な広がりや被害の拡大(佐藤, 2013)により, 将来的には予察事業の調査対象害虫として取り扱われる可能性が高い。そこで, 発生予察事業における調査実施基準の策定を想定して, チャにおける本種幼虫密度の調査方法について現地圃場のデータを用いて基礎的な解析を行ったので, その結果を報告する。

なお, 本研究は, (独) 農業・食品産業技術総合研究機構の「発生予察事業の調査実施基準の新規手法策定事業(2013~2014年)」の助成を受けて実施した。

材料および方法

1. 調査場所および調査方法

静岡県内の主要茶産地において、チャトゲコナジラミが急速に蔓延しつつあった2013年前半期（小澤ら, 2015）の幼虫期である2, 3, 4, 6, 7月の各月20日前後に、チャの県内巡回調査地点（定点）50カ所（富士山麓10, 静岡北部10, 川根10, 牧之原10, 小笠・磐田原10）において本虫の幼虫密度の調査を実施した。

予備調査により樹冠面は摘採や整・せん枝作業により葉層の増減が激しく、本種の密度の変動もその影響を受けやすいこと、本種は一般に樹冠面の葉よりもすそ葉における密度が高く（小澤ら, 2012）、すそ重点散布法が有効であること（佐藤, 2013; 竹若, 2011）から、すそ葉を調査対象として各回・圃場当たり100葉（10枚×10カ所）を採取して実験室に持ち帰った。採取された葉の葉裏に寄生するチャトゲコナジラミ幼虫を齢期別に数え、あわせて成虫が羽化した後の脱皮殻とシルベストリコバチが羽化した後の脱皮殻を数えた。なお、外見上、明らかな死亡個体は幼虫数に含めなかった。

2. 幼虫密度と脱皮殻を含めた見かけ上の幼虫密度との関係

現場での見取り調査では、幼虫と成虫羽化後の脱皮殻あるいは寄生蜂の脱皮殻（以下、両者をまとめて脱皮殻とする）を区別して数えることは困難である。ここでは、幼虫密度と脱皮殻を含んだ見かけ上の幼虫密度との関係式を各調査時期ごとに求めた。

3. 幼虫密度と存在頻度率（寄生葉率）との関係

圃場における幼虫密度を葉単位の存在頻度率に対応させるため、河野・杉野（1958）に従い、2, 4, 6, 7月のデータを用いて葉当たりの見かけ上の幼虫密度とその存在頻度率（寄生葉率）との関係式を求めた。なお、モデル式のパラメータ算出には、統合型フリーソフトウェアのCollege Analysis Ver. 5.1（福井, 2013）の非線形最小2乗法を用いた。

4. 分布様式と必要標本数

第2世代幼虫が出現して各地で密度が急激に上昇した7月の調査データを用い、Iwao and Kuno（1968）に従って葉当たりの見かけ上幼虫密度の平均値と平均込み合い度との関係式を求めて幼虫の分布様式を明らかにするとともに、目標精度を満たすための必要標本数を算出した。

結 果

1. 幼虫密度、寄生葉率、および齢構成比の推移

Fig. 1 下に見かけ上の幼虫寄生葉率の箱ひげ図（ $n=50$ ）の推移を、同下に見かけ上幼虫密度の葉当たり平均

Fig. 1. Seasonal changes in mean larval density per leaf (above) and percent tea leaves infested by *A. camelliae* larvae including emerged exuviae (below) in commercial tea fields in 2013. Bars above indicate standard errors, box and whisker plots below indicate min-Q1-me-Q3-max.

値（ $n=50$ ）の推移を示した。

寄生葉率は越冬世代幼虫期の2月～4月までは約14～15%で変化せず、第1世代幼虫発生期の6月には31.8%に、第2世代幼虫発生期の7月には34.4%に上昇した。幼虫密度は2～4月は0.8～1.1頭/葉で推移したが、6月～7月に世代を繰り返すごとに急上昇して、7月には7.9頭/葉に達した。

Fig. 2 に幼虫の齢構成比の推移（すべての発生圃場における齢別個体数の合計値より算出）を示した。2月から4月にかけては越冬世代幼虫の発育が進み徐々に老齢幼虫の割合が増加した。脱皮殻の割合は2月と3月はほぼ同じであったが4月には羽化が進み急増した。6月は第1世代幼虫の2, 3齢が中心となって脱皮殻はごく少なく、7月は第2世代幼虫の1齢と第1世代幼虫の脱皮殻の割合が高かった。

2. 幼虫密度と脱皮殻を含めた見かけ上の幼虫密度との関係

各時期における幼虫密度（ x ）と見かけ上の幼虫密度（ y ）との関係をTable 1に示した。Fig. 2より2月～3月は冬季のため羽化個体はほとんどなく脱皮殻の割合はこの間で変化が認められなかったため、2, 4, 6, 7月の各データについて両者間の相関および直線回帰式を求めた。その結果、いずれの時期においても寄与率（ R^2 ）は0.98～0.99と両者の相関は極めて高く（ $p<0.001$ ）、圃

Fig. 2. Seasonal changes in frequencies of each of the instars of *A. camelliae* larvae in commercial tea fields in 2013. *Exuvia (mummy) from which a parasitoid emerged.

Table 1. Results of linear regression between y: the number of both larvae and emerged exuviae and x: the number of larvae of *A. camelliae* per leaf in commercial tea fields in Shizuoka Prefecture in 2013

Month	No. of tea fields	Regression formula	R ²	P
Feb.	50	$y = 1.09x + 0.27$	0.99	< 0.001
Apr.	50	$y = 1.80x - 0.17$	0.98	< 0.001
Jun.	50	$y = 1.00x + 0.00$	0.99	< 0.001
Jul.	50	$y = 1.07x + 0.66$	0.99	< 0.001

場間のばらつきは非常に小さかった。直線回帰式の傾きは1よりもやや大きく、脱皮殻の割合が高かった4月では1.80であった。

3. 幼虫密度と存在頻度率（寄生葉率）との関係

Fig. 3 に2, 4, 6, 7月期における葉当たり幼虫密度（以下の解析では、脱皮殻含む見かけ上の幼虫密度を幼虫密度として取り扱うこととする）と存在頻度率（寄生葉率）との関係を示した。いずれの時期も河野・杉野

Fig. 3. Relationship between the number of larvae including emerged exuviae per leaf and percentage of leaves infested by *A. camelliae* in commercial tea fields in 2013.

(1958) のモデル式によく合致し、幼虫密度と寄生葉率は相関が高かった ($R^2=0.90\sim0.98$)。

次に、具体的な幼虫密度とそれらに対応する寄生葉率との関係を Table 2 に示した。時期によって同じ密度に対応する寄生葉率はやや変動するものの大きな差はなく、密度が高まった 7 月の場合、0.1 頭/葉は寄生葉率 8.8% に、1 頭/葉は 27.1% に、10 頭/葉は 66.3% に相当した。

4. 分布様式と必要標本数

7 月のデータを用いて算出した平均密度と平均込み合い度との関係を Fig. 4 左に、算出された基本集合度 $\alpha=8.56$ と密度-集合度係数 $\beta=1.66$ に基づいて算出された平均密度と目標精度 (相対標準誤差) $D=0.1, 0.2, 0.3$ を確保するための必要標本数 (葉の枚数) との関係を Fig. 4 右に示した。

平均値 (x) と平均込み合い度 (y) との間には有意な正の相関関係が認められ、直線回帰式 $y=8.56+1.66x$ ($R^2=0.85$) が得られた。 $\alpha>0$, $\beta>1$ となり、幼虫の分布様式はコロニー (平均サイズ一定) の集中分布と判断された (Iwao and Kuno, 1968)。次に、Fig. 4 に基づいて目

Table 2. Population density (number of *A. camelliae* larvae, including emerged exuviae per leaf), and corresponding predicted % leaves infested, based on regression equations shown in Fig. 3

Densities/leaf	Month				Mean
	Feb.	Apr.	Jun.	Jul.	
0.1	4.7	5.4	6.8	8.8	6.4
0.5	15.5	20.4	18.4	19.6	18.5
1.0	25.1	34.3	27.4	27.1	28.5
5.0	63.9	82.1	60.3	52.8	64.8
10.0	82.7	95.8	76.7	66.3	80.4
50.0	99.8	99.9	98.5	92.4	97.7

標精度 (D は相対標準誤差) $D=0.1, 0.2, 0.3$ のそれぞれを確保するために必要な標本数 50 枚, 100 枚, または 200 枚に対応した幼虫密度の最小値を求めて Table 3 に示した。 $D=0.3$ の場合, 50 枚調査では 0.67 頭/葉, 100 枚では 0.33 頭/葉, 200 枚では 0.16 頭/葉以上の密度ならば目標精度が確保される。さらに、今回実際に調査した 100 枚の標本数の場合に、2, 4, 6, 7 月における密度データを Fig. 4 にあてはめて $D=0.3$ を満たしていた圃場数を算出して Table 4 に示した。低密度期の 2 月や 4 月では目標精度 $D=0.3$ を満たしていた圃場割合は発生確認圃

Table 3. Minimum population densities of *A. camelliae* larvae, including emerged exuviae, per leaf to achieve an aimed precision (relative standard error: D) of 0.1, 0.2, or 0.3, based on the analysis shown in Fig. 4

Aimed precision	Number of tea leaves sampled per field		
	50	100	200
$D = 0.1$	2.21	1.03	0.50
$D = 0.2$	1.03	0.50	0.25
$D = 0.3$	0.67	0.33	0.16

Table 4. Number of tea fields in which *A. camelliae* larvae, including emerged exuviae, were observed out of the 50 fields investigated, and number of tea fields in which aimed precision of $D = 0.3$ was obtained by sampling 100 tea leaves per field

	Month			
	Feb.	Apr.	Jun.	Jul.
Number of tea fields in which <i>A. camelliae</i> was observed/50 fields (a)	37	39	48	49
Number of tea fields in which the precision: $D = 0.3$ was obtained (b)	16	15	33	36
Percentage of b/a	43.2	38.5	68.8	73.5

Fig. 4. Left: Relationship between mean larvae, including emerged exuviae, and mean crowding index. Right: Relationship between mean density/leaf and number of samples required for aimed precision of $D = 0.1, 0.2$, and 0.3 . Data collected in July 2013 were used for the calculations.

場中の40%前後であったが、密度が上昇した6月～7月にはその割合が増加し、7月では73.5%の圃場において目標精度を満たしていた。

考 察

発生予察事業においてカンザワハダニなど重要な害虫については指定病害虫に認定されており、定められた調査実施基準に従って巡回調査が行われている。チャトゲコナジラミは侵入新害虫であり、予察事業における調査対象害虫ではないものの、近年全国的に茶産地では問題となっており（佐藤，2013）、静岡県においても2013年後期には県内ほぼ全ての茶産地に蔓延（小澤ら，2015）して各地で被害が発生している。そのため今後は予察事業における調査対象害虫として扱う必要があり、信頼性が高くかつできるだけ簡便な密度調査法を早急に確立する必要がある。また、発生予察情報の作成にあたっては、発生量（無～甚）の程度別基準値も設定しておく必要があり、そのためにも密度調査法の確立が急がれる。本種の幼虫は微小であり、コロニー単位で集中分布（Fig. 4）するため、個体識別を必要とする葉当たり頭数といった虫密度よりも、比較的簡便に調査が可能な存在頻度率（寄生葉率）を調査単位として用いる方が現実的である。しかし、害虫の発生量を判断する根拠としては、まず最初に葉当たり虫数や株当たり虫数のような絶対密度を基準とすることが一般的である。そのため、本研究では、真の幼虫密度と脱皮殻を含む見かけ上の幼虫密度との関係を精査して見かけ上の幼虫密度の信頼性を担保した上で、次いで（見かけ上の）幼虫密度と寄生葉率との関係を算出した。その結果、幼虫密度と寄生葉率の間には高い相関関係が認められ、Table 2 に示す両者間の対応表が得られた。この表に基づけば、発生予察事業での利用が見込まれる発生程度別の基準値を寄生葉率により設定することが可能である。例えば、少：0.5頭/葉未満，中：5頭/葉未満，多：50頭/葉未満の密度に設定すれば、少・中・多・甚の境界値は寄生葉率でそれぞれ約18%・約64%・約97%（Table 2 の平均値を使用）となる。なお、現時点で発生予察事業における本種の発生程度基準は、本研究の成果などを参考に寄生葉率を用いて、少：1～20%，中：21～60%，多：61～95%，甚：96%以上、が提案されている。

次に、サンプリングに必要な標本数について検討し、目標の精度を満たすために必要な葉数を算出した。本研究では、密度上昇期の7月（Fig. 1）のデータのみを使用して解析した値を用いたが、圃場当たり100枚の調査により低密度期（2月と4月）を除けば発生圃場の約

70%を30%の相対誤差内に抑えることが可能であった（Table 4）。このことから、巡回調査に当たっては、今回実施した各圃場すそ葉100枚の調査で統計上の信頼性はほぼ確保できると考えられる。100葉の見取り調査法は、すでにカンザワハダニにおいても調査実施基準として採用されているので、両種の同時調査も可能ではある。ただし、時期によりチャ樹上のサンプリング部位がやや異なるのでどちらかに合わせるか、チャトゲコナジラミのために別途、すそ葉を調査しなければいけないかもしれない。

侵入新害虫であるチャトゲコナジラミは、侵入後に密度上昇期から多発期を経て低密度収束安定期へと発生密度が長期変動するとされている（佐藤，2013）。今回実施した2013年前半の調査時期は、全県的に密度上昇期に該当する時期の調査となった（小澤ら，2015）。そのため、今回の密度調査法は、侵入直後や多発期、あるいは低密度収束安定期における時期の調査には必ずしも適しない可能性はある。例えば、侵入直後の低密度の時期には抽出標本数（葉数）をさらに増やす必要があり、全体的に高密度となる多発期の場合にはむしろ標本数を減らしても目標とする精度が得られる可能性はある。ただし、圃場ごとに100枚をサンプリングして葉ごとに寄生する個体数を計数した今回のような綿密な調査は膨大な調査労力を要するため実施そのものが困難で、実際、筆者らも2013年8月以降の調査では7月まで行っていた100葉全ての幼虫密度調査はできなかった。とはいえ、密度上昇期または上昇期を経過して間もない地域では、本研究で得られた成果を発生予察事業の調査などに十分活用できると思われる。また、年間における調査時期・回数に関しては、本種は静岡県の平坦地では比較的明瞭な年4回発生がみられること（小澤ら，2016）から、各世代の幼虫発生期、例えば越冬世代は2～3月、第1世代は6月下旬、第2世代は7月下旬、第3世代は9月下旬頃を中心に調査を実施するのが適当と考えられる。

本研究により、すそ葉100枚における幼虫の寄生葉率を調べることで幼虫の発生程度を判断できることが示唆された。ただし、巡回調査では複数の調査員が調査に入ることが考えられるので、調査員間で誤差が生じる恐れはある。筆者らはこの点についても若干の調査を実施しており、調査員が異なっても寄生葉率の誤差はごく小さいことを確認している（小澤ら，未発表）。一方、本種のチャに対する典型的な被害であるすす病の発生程度については、調査員に依存した誤差がやや大きいことを確認した（小澤ら，未発表）。被害の指標となり得るすす病の調査法については、今後の検討課題である。

摘 要

茶園におけるチャトゲコナジラミ幼虫の密度調査法を検討した。2013年の密度上昇期に静岡県内の現地茶園50圃場において各圃場からすそ葉100枚を採取して、これらに寄生する本種の幼虫数を数えた。真の幼虫密度と脱皮殻を含めた見かけ上の幼虫密度との間には $R^2=0.98\sim 0.99$ の高い相関関係が認められたので、脱皮殻を含めた幼虫数を幼虫密度として取り扱った。幼虫密度と存在頻度率（寄生葉率）との関係は河野・杉野式（1958）によく合致し、両者間に有意な相関関係が認められた。得られた回帰式により、発生程度基準値の設定を想定した数段階の密度に対応する寄生葉率を算出した。圃場ごとの平均密度と平均込み合い度との間には有意な正の相関関係が認められ、直線回帰式より基本集合度 $\alpha=8.56$ 、および密度-集合度係数 $\beta=1.66$ が得られた。これらの値から Iwao and Kuno（1968）に従って平均密度と目標精度 D を満たすために必要な標本数との関係を算出した。その結果、 $D=0.3$ の場合、葉当たり0.67頭以上では50枚、0.33頭以上では100枚、0.16頭以上では200枚の調査葉数により目標精度が確保される。

引用文献

- 福井正康（2013）College Analysis Ver. 5.1 <http://www.heisei-u.ac.jp/ba/fukui/analysis.html>
- Iwao S. and E. Kuno (1968) Res. Popul. Ecol. 10: 210-214.
- Kanmiya K., S. Ueda, A. Kasai, K. Yamashita, Y. Sato and Y. Yoshiyasu (2011) Zootaxa 2797: 25-44.
- 河野達郎・杉野多万司（1958）応動昆 2：184-188.
- 小澤朗人・内山 徹（2014）静岡農林研報 7：13-19.
- 小澤朗人・内山 徹・小杉由紀夫・芳賀 一（2012）第56回応動昆大会：46.（講要）
- 小澤朗人・内山 徹・小杉由紀夫・芳賀 一（2013）関西病虫研報 55：93-95.
- 小澤朗人・内山 徹・小杉由紀夫・芳賀 一（2016）静岡農林研報 9：25-33.
- 小澤朗人・内山 徹・小杉由紀夫・芳賀 一・佐藤安志・上杉龍士（2015）静岡農林研報 8：17-25.
- 佐藤安志（2013）植物防疫 67：137-141.
- 竹若与志一（2011）平成23年度農研機構シンポジウム「チャの侵入新害虫チャトゲコナジラミの戦略的防除技術体系の確立を目指して」53-54.（講要）
- 竹若与志一・村井公亮（2008）滋賀農技セ研報 47：7-14.
- 上杉龍士・佐藤安志（2013）応動昆 57：35-41.
- 山下幸司・林田吉王（2006）植物防疫 60：378-380.
- Yamashita K., A. Kasai, Y. Suzuki and Y. Yoshiyasu (2016) Appl. Entomol. Zool. 51: 117-124.