

論文

韓国のコウライナガキクイムシ集合フェロモン物質およびエタノールへの キクイムシ類の反応*¹

上田明良*²・後藤秀章*²

上田明良・後藤秀章：韓国のコウライナガキクイムシ集合フェロモン物質およびエタノールへのキクイムシ類の反応 九州森林研究 70：33－37，2017 韓国のナラ枯れ媒介虫，コウライナガキクイムシ (*Platypus koryoensis*) の集合フェロモンがゲラニアルを主体とした5種の揮発物質であることが知られている。そこで，我が国においてもこのフェロモン物質が有効であるかをみるため，大分県由布市の被害地で衝突板トラップによる捕獲調査を行った。トラップにはシトラール（ゲラニアルとネラールの混合液）単体区，これに3物質（ネロール，シトロネロール，ゲラニオール）を加えた混合液区，これらに協力剤としてエタノールを用いた区，エタノール単体区と，何も用いない対照区の計6区を設けた。どの区にもコウライナガキクイムシが誘引されなかったことから，我が国と韓国の間でフェロモン物質が異なる可能性が示唆された。他のキクイムシ類10種をみると，4種がエタノールに誘引されていた。うちミカドキクイムシではフェロモン物質がエタノールの誘引効果を下げていた。また，キクイムシ類の天敵甲虫2種もエタノールに誘引されていた。
キーワード：シトラール，衝突板トラップ，天敵，ナラ枯れ，誘引剤

I. はじめに

2010年に大分県由布市のコナラ原生林で集団枯損が発生し，老齢枯死木からコウライナガキクイムシ (*Platypus koryoensis*：以下コウライナガ) が我が国ではじめて記録された（後藤ほか，2012）。その後，同県の宇佐市と九重町の若齢コナラ・クヌギ林においても被害が発生し，本種が捕獲されている（後藤ほか，2016）。本種は，韓国で2006年からモンゴリナラを中心としたナラ類の集団枯損を生じさせている大害虫として知られている（Hong *et al.*, 2006）。また，我が国のブナ科樹木萎凋病被害（ナラ枯れ）の大害虫であるカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*：以下カシナガ) が *Raffaelea* 属の病原菌 (*R. quercivora*) を媒介する（Kubono and Ito, 2002）のと同様に，コウライナガが *R. quercus-mongolicae* を媒介することが知られている（Kim KH *et al.*, 2009）。

一方，コウライナガが属するナガキクイムシ亜科のほとんどはオス創設一夫一妻制の養菌キクイムシとして知られている（Kirkendall, 1983；荒谷ほか，1996など）。そして，木に穴を穿ち，巣を創設した未交尾のオスが，雌雄を誘引する集合フェロモンを発信することが，いくつかの種で知られている（Renwick *et al.*, 1977；Milligan, 1982；Milligan *et al.*, 1988；Milligan and Ytsma, 1988；Ueda and Kobayashi, 2001）。これらのうち，カシナガでは集合フェロモン物質が特定されている（Tokoro *et al.*, 2007）。

コウライナガにおいても，Kim J *et al.* (2009) が集合フェロモンを特定している。彼らは，ヘキサソール内でのオスまたはメス成虫をつぶした液体からの揮発物質を比較し，オスではネロール (nerol)，ネラール (neral)，ゲラニオール (geraniol)，ゲラニアル (geranial) が多いことと，これらがオス腹部に集中して

存在することを明らかにした。また，浸水モンゴリナラ丸太に接種した未交尾オスが出す棒状フラスを採取し，ヘキサソール内で抽出したものを調べ，交尾後フラスや被害木鋸屑より明確に多い物質として上記4物質とシトロネロール (citronerol) を検出した。雌雄の触覚電位がこれら5物質に反応することも確かめた。最後に，これら5物質を誘引剤としたファンネルトラップで，誘引剤なしの約10倍のコウライナガを捕獲し，これらが集合フェロモンであることを示した。

枯死木から揮発する物質のなかにエタノール（以下 Et）が含まれていて，様々な枯死材性昆虫がカイロモンとして利用している。カシナガにおいても，集合フェロモンの協力剤として Et を用いることで，トラップによる捕獲数が多くなることが知られている（斉藤ほか，2008など）が，コウライナガでは調べられていない。

集合フェロモンは，防除だけでなく，生息数や分布の変化のモニタリングに利用できる。我が国のコウライナガ被害は，韓国と異なり，現在のところ限られた地域でのみみられるが，今後，被害地の拡大と被害の深刻化が危惧される。これに対処するには，集合フェロモンを用いたモニタリングが期待される。そこで，韓国で特定されたフェロモン物質およびこれに Et を組み合わせたものを誘引剤としたトラップ捕獲を行い，コウライナガおよび他のキクイムシ類の誘引効果を調べた。

II. 調査地と方法

調査は，2010年から被害が継続していた大分県由布市の「岳本のコナラ原生林」の西向き斜面（N 33° 16' 04"，E 131° 22' 13"，520 m asl.）で行った。林内に 50 m 四方の試験地を設定し，格子状に 10 m 間隔で衝突板トラップを配置した。トラップには

*¹ Ueda, A. and Goto, H.: Response of bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae) to the aggregation pheromone of Korean ambrosia beetle, *Platypus koryoensis*, and ethanol.

*² 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan.

外側を黒色に塗った2枚の直径16 cmのプラスチック皿を屋根と受け皿とし、間に縦22.0 cm 横15.5 cmに切り取った2枚のクリアファイルに切り込みを入れてクロスさせたものを吊し、衝突板とした(図-1)。受け皿には捕虫用に約100 mlのプロピレングリコール原液を入れた透明プラスチックカップを差し込んだ(図-1)。これを三脚状に組んだ園芸パイプに屋根高が約150 cmになるように吊した(図-1)。



図-1. 衝突板トラップ

表-1. 各試験区に用いた薬剤の各年における平均揮発量 (g) ± 標準誤差

薬剤名	試験区 (n=6)	2012.6/26-7/30	2013.6/25-7/22
フェロモン			
シトラール	シトラール単体	0.47±0.08ab(13.8)	33.4±0.1a(123.9)
	シトラール+Et	0.55±0.01a(16.2)	33.2±0.2a(111.7)
混合液	混合液単体	0.34±0.04b(10.0)	34.3±0.1b(105.8)
	混合液+Et	0.28±0.03b(8.2)	34.6±0.1b(98.7)
協力剤			
エタノール (Et)	Et単体	27.3±1.4	21.2±0.7ab*
	シトラール+Et	28.5±0.9	19.6±0.5a
	混合液+Et	28.6±1.2	22.7±0.7b

*n=5 (落枝によるトラップ破損が原因)。

注: 同じアルファベットは, Schefféの多重比較により, 5%水準で有意差がないことを示す。

注: 2013年のフェロモン剤揮発量の多くは希釈に用いたヘキサンの揮発量。

注: 括弧内は, 日あたり揮発量 (単位 mg) を示す (2013年はヘキサン希釈10倍なので, 10分の1の揮発量で推定)。

ゲラニオールとネラルの市販品がなく, 合成が困難であったため, 両者の混合液であるシトラール (95%, Aldrich Chemistry) を用いた。他に和光純薬の(±)シトロネロール (85%以上), ネロール (93%以上) とゲラニオール (97%以上) を用いた。Kim J *et al.* (2009) はゲラニオール:ネラル:シトロネロール:ネロール:ゲラニオール=5:2:1:1:1混合液を用いていたことから, これに近似するものとして2012年はシトラール:シトロネロール:ネロール:ゲラニオール=3:1:1:1混合液を, 2013年は5:1:1:1混合液を用意した。2012年はフェロモン剤として, シトラール単体と混合液のそれぞれ2 mlを50×36 mmのナイロンたわしに浸ませて70×50×0.08 mmのポリ袋に密封したものをトラップの屋根に吊した。また, 協力剤として100 mlのプラスチックボトルにカット綿を

2枚入れてEt (99%)を60 ml注ぎ, 揮発用の穴あき蓋 (1 mm径穴20カ所)をしたものを吊した。試験地の各横列 (計6列) にシトラール単体区, 混合液区, これらにEtを用いた区, Et単体区と, 何も用いない対照区の計6区をランダムに配置し, 6月26日~7月30日に捕獲を行った。2013年はシトラール単体と混合液をヘキサンの10倍に希釈したものを, Etと同じ方法で揮発させた。また, 2012年と同じように各区を配置し, 6月25日~7月22日に捕獲を行った。

捕獲虫のうち, 2012年はキクイムシ類のみ, 2013年はキクイムシ類とその天敵甲虫, および捕獲に顕著な偏りがみられたヒラタハナムグリ (*Nipponovalgus angusticollis*) のオスを数えた。各区のフェロモン剤とEtの揮発量および各昆虫の捕獲数をKruskal-Wallis検定で比較した。有意差 ($P<0.05$)があった場合は, Schefféの多重比較を用いて, 各区間の差を検定した。計算にはStatView ver. 5.0 (SAS Institute, 1998)を用いた。また, Kruskal-Wallis検定で有意差があり, フェロモン+Et区, Et単体区あるいはその両方で明確に捕獲数が多い種をEtに誘引される種と判断した。

Ⅲ. 結果と考察

2013年のEt単体区のひとつが落枝によって破損したため, 解析から除外した。フェロモン剤とEtの各区の平均揮発量を表-1に示した。区間の有意差がいくつかみられたが, 1日あたりの揮発量で考えると, 揮発量の差はほとんどなかった。表-1の括弧内に示した1日あたりのフェロモン剤の揮発量は, 2012年は約10 mg, 2013年はヘキサンの混合比からの推定値で約100 mgであった。Kim J *et al.* (2009) では, 揮発量が示されていないが, カシナガでは, 1日100 mg程度が捕獲期全体を通して最も誘引効果が高く, 1日100 mgは捕獲後期でもっとも誘引効果が高いことが知られている (布川, 2008)。このことから, 今回のフェロモン物質の揮発量は適切であったと考えられる。Et揮発量の最適値は知られていないが, α -ピネンとEtを別々の容器から揮発させるマダラコール (サンケイ化学) では, 約50 mlを3週間で完全揮発前に交換することを考えると, 今回の約1ヶ月で比重換算約30~40 mlの揮発量は適切であったと考えられる。

キクイムシ類の全捕獲数を表-2に示した。コウライナガの捕獲数は2012年6個体, 2013年3個体とわずかで, 特定の区への偏りもなかった。本研究よりも広範囲で並行して行った前年枯死木に設置した羽化トラップによる捕獲で, コウライナガを多数捕獲していることから (後藤・上田, 未発表), 調査地においてもコウライナガは多数飛翔していたと考えられる。以上のことから, 今回用いたフェロモン物質にコウライナガの集合効果はなかったと結論づけることができる。使用した薬剤や捕獲方法がKim J *et al.* (2009) と異なる部分があるため, 一概には言えないが, フェロモン物質が韓国と我が国で若干異なる可能性がある。今後, 我が国のコウライナガから集合フェロモンを特定する研究に期待したい。

各年に15個体以上捕獲されたキクイムシ類10種について, 各区の捕獲数を比較したところ, 6種はEtに誘引されていなかった。

表-2. 各試験区に用いた6トラップによるキクイムシ類の捕獲数

種名	2012							2013						
	混合液 +Et	シト ラール +Et	Et 単体	混合液 単体	シト ラール 単体	誘引剤 なし	計	混合液 +Et	シト ラール +Et	Et 単体*	混合液 単体	シト ラール 単体	誘引剤 なし	計
コウライナガキクイムシ <i>Platypus koryoensis</i>	1	1	1	1	0	2	6	0	0	0	2	1	0	3
ヨシブエナガキクイムシ <i>Platypus calamus</i>	3	10	2	1	2	7	25	1	5	1	3	1	1	12
ヨツメキクイムシ属の1種 <i>Polygraphus</i> sp.	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
ミカドキクイムシ <i>Scolytoplatypus mikado</i>	52	23	166	6	7	3	257	47	32	100	0	0	0	179
コーヒーキクイムシ <i>Taphrorychus coffeae</i>	28	29	12	0	1	0	70	7	12	7	0	1	1	28
クリノミキクイムシ <i>Coccotrypes cardamomi</i>	0	2	1	0	0	1	4	0	1	1	0	0	0	2
サザンカコアトマルキクイムシ <i>Coccotrypes longior</i>	6	3	3	4	3	3	22	2	5	1	4	7	5	24
ルイスザイノキクイムシ <i>Ambrosiodmus lewisi</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
アカクビキクイムシ <i>Ambrosiodmus rubricollis</i>	1	2	1	0	2	2	8	0	0	0	0	0	0	0
ツツミノキクイムシ <i>Amasa amputatus</i>	79	102	62	0	1	0	244	6	8	2	0	0	0	16
トドマツオオキクイムシ <i>Euwallacea validus</i>	0	1	0	0	2	1	4	0	0	0	1	0	0	1
クワノキクイムシ <i>Xyleborus atratus</i>	0	0	1	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	2
ハギキクイムシ <i>Xyleborus glabratus</i>	0	4	3	5	2	8	22	0	2	2	2	3	1	10
シイノホソキクイムシ <i>Xyleborus defensus</i>	0	0	1	1	0	0	2	2	0	1	2	0	3	8
ガンショキクイムシ <i>Xyleborus ganshoensis</i>	22	49	34	37	21	47	210	10	11	11	15	7	9	63
タキノヤキクイムシ <i>Xyleborus takinoyensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
ザイノキクイムシ属の1種 <i>Xyleborus</i> sp.	0	1	0	1	1	2	5	1	3	1	0	0	1	6
ハネミジカキクイムシ <i>Xylosandrus brevis</i>	1	3	4	0	1	0	9	2	1	1	0	1	0	5
ヒメハネミジカキクイムシ <i>Xylosandrus borealis</i>	0	1	7	0	0	0	8	2	1	2	0	0	0	5
ハンノキキクイムシ <i>Xylosandrus germanus</i>	4	2	5	1	0	1	13	2	4	0	1	1	2	10
シイノコキクイムシ <i>Xylosandrus compactus</i>	5	8	9	1	0	0	23	0	1	1	1	1	0	4
サクキクイムシ <i>Xylosandrus crassiusculus</i>	2	4	9	3	3	4	25	2	14	2	4	7	6	35
サクセスキクイムシ <i>Xyloborinus saxeseni</i>	5	2	4	0	0	0	11	3	1	0	0	0	0	4
ツクバネヤマキクイムシ <i>Microperus perparvus</i>	2	3	11	3	3	6	28	3	3	2	1	1	2	12
コキクイムシ亜族の数種 <i>Cryphalina</i> spp.	34	27	27	8	5	7	108	2	12	3	0	2	0	19
計	246	277	364	73	55	94	1109	94	116	138	36	33	33	450

*5トラップの捕獲数(落枝によるトラップ破損が原因)

た(図-2)。これらのうちサクキクイムシとツクバネヤマキクイムシは、Et使用区でやや多い傾向があったので、Etに若干誘引されていた可能性がある。実際、サクキクイムシが、Etに明確に誘引されることが知られている(上田・藤田, 1998; 上田ほか, 2000)。Etに誘引された4種のうちミカドキクイムシではフェロモン剤がEtの誘引効果を下げる傾向がみられ(図-3)、フェロモン物質に何らかの反応をしていると考えられた。これまで、Etを用いたキクイムシ類の捕獲がいくつか行われてきた(小林・萩田, 2000; 伊藤ほか, 2006, 2007; Iidzuka *et al.*, 2016など)。これらは、対照区を設けていないので、捕獲されたキクイムシ類がEtに誘引されたのか、偶然捕獲されたのかは不明であった。Etを誘引剤とした捕獲で、生物多様性等の評価を行う場合、各昆虫のEtへの誘引の有無を考慮した考察が必要となる(Iidzuka *et al.*, 2016)。たとえば、ガンショキクイムシのようにEtに誘引されないが多数捕獲された種(表-2, 図-2)は、調査地に非常に高密度に分布するが、ミカドキクイムシのようにEtで非常に多いが誘引剤なしでほとんど採れない種(表-2, 図-3)は、低密度だが広範囲から集合したと考えられる。これまで、Etの有無でキクイムシ類の捕獲数を比較した研究はわずかしかない(上田・藤田, 1998; 上田ほか, 2000)。今後、今回のような対照区を併設した調査によるデータの蓄積が期待される。

今回、キクイムシ類の天敵として知られるヒメホソエンマムシ(*Niponius osorioceps*)とツツヒラタムシ(*Ancistrina apicalis*)

が、Etに誘引されることが判明した(図-3)。これらは、枯死木から揮発するEtに定位して、寄主を探索していると考えられる。上田ほか(2000)においても、コバケデオナスイ(*Mimamodes japonus*)がEtに誘引されることが知られている。今回、フェロモン物質に明確に誘引される種として、ヒラタハナムグリのオスが確認された(図-4)。本種ではオスは花に集まるが、メスは朽ち木にいることが知られている(上野ほか, 1985)。今回フェロモンとして用いた物質には強い柑橘臭があった。オスはフェロモンではなく、花香に対して定位したと考えられる。

IV. 謝辞

本研究では、大分県農林水産研究指導センター林業研究部の方々および、由布市環境課の方々に調査地の提供等で助力をいただいた。ここに深謝する。なお、本研究は森林総合研究所交付金プロジェクト2「ナラ枯れの新害虫 *Platypus koryoensis* とその共生菌の遺伝的・生態的解明(H24-25)」による支援を受けた。

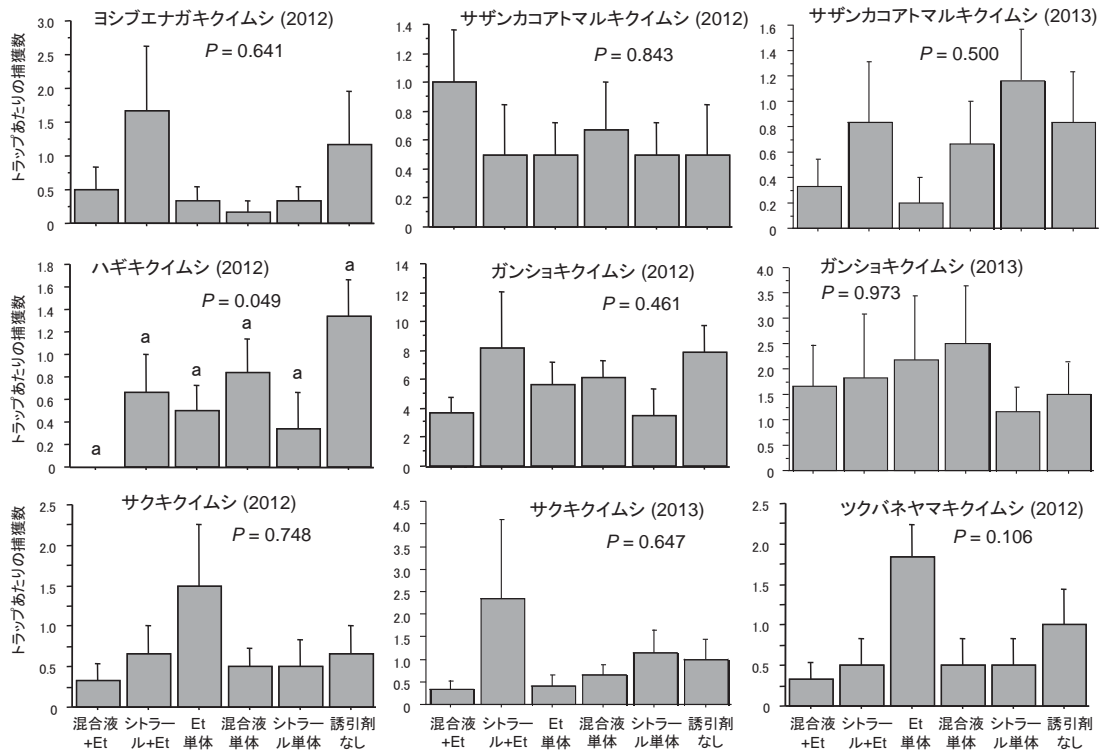


図-2. エタノールに誘引されなかったクイムシ類6種の各区の平均捕獲数
棒上のバーは標準誤差を示す。図中の数値は Kruskal-Wallis 検定結果を示す。各バー上の同じアルファベットは、Scheffé の多重比較により 5%水準で有意差がないことを示す。

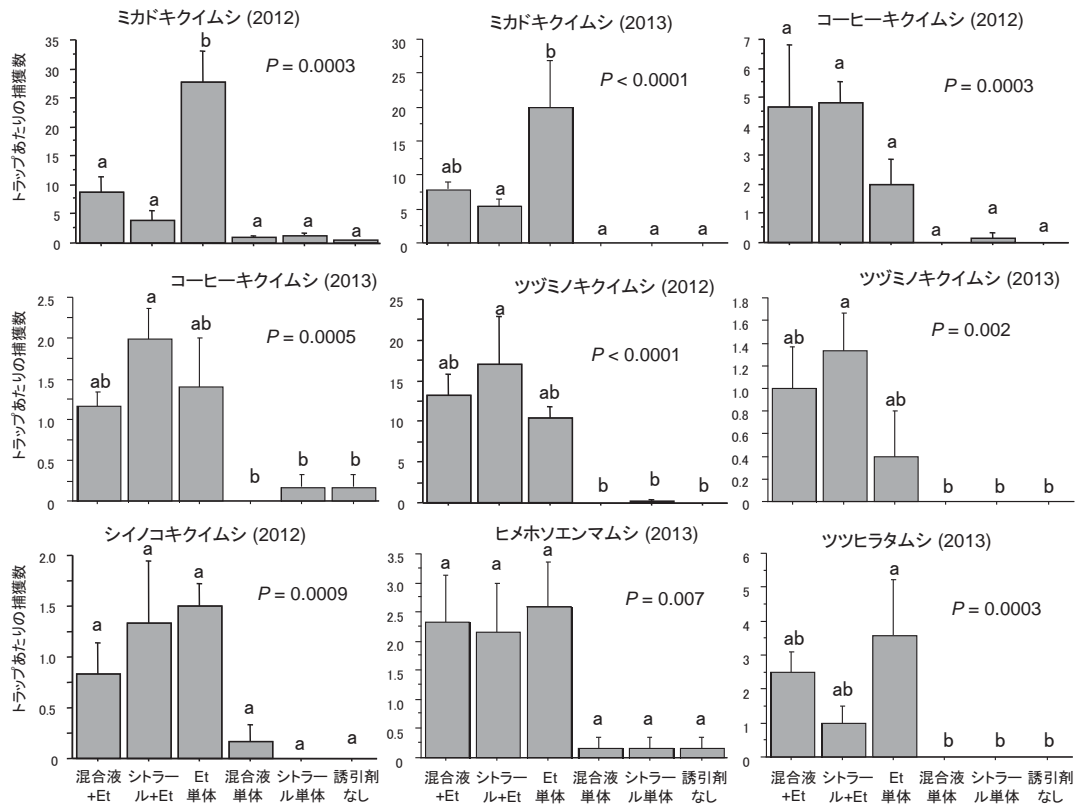


図-3. エタノールに誘引されたクイムシ類4種および、その天敵甲虫の各区の平均捕獲数
棒上のバーは標準誤差を示す。図中の数値は Kruskal-Wallis 検定結果を示す。各バー上の同じアルファベットは、Scheffé の多重比較により 5%水準で有意差がないことを示す。

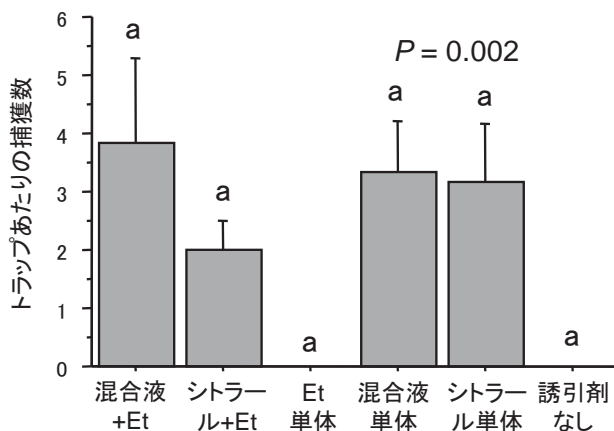


図-4. ヒラタハナムグリのオスの各区の平均捕獲数
棒上のバーは標準誤差を示す。図中の数値は Kruskal-Wallis 検定結果を示す。各バー上の同じアルファベットは、Scheffé の多重比較により 5%水準で有意差がないことを示す。

引用文献

- 荒谷邦雄ほか (1996) 親子関係の進化生態学—節足動物の社会—
(齋藤 裕編), 北大図書刊行会, 札幌, 76-108.
後藤秀章ほか (2012) 日森林学術講 123 : Pb 153.
後藤秀章ほか (2016) 日森林学術講 127 : P 2-159.
Hong KJ *et al.* (2006) Korean J Appl Entomol 45 : 113-117.

- Iidzuka H *et al.* (2016) Appl Entomol Zool. 51 : 347-352.
伊藤昌明ほか (2006) 森林総研研報 5 : 205-207.
伊藤昌明ほか (2007) 森林総研研報 6 : 245-248.
Kim J *et al.* (2009) J Agric Food Chem 57 : 1406-1412.
Kim KH *et al.* (2009) Mycotaxon 110 : 189-197.
Kirkendall LR (1983) Zool J Linn Soc 77 : 293-352.
小林正秀・萩田 実 (2000) 森林応用研究 9 (1) : 133-140.
Kubono T and Ito S (2002) Mycoscience 43 : 255-260.
Milligan RH (1982) In: Insect pheromones and their application.
Galbreath RA (ed.), Entomology Division Report 2, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research, Auckland, 37-50.
Milligan RH and Ytsma G (1988) J Appl Ent 106 : 113-118.
Milligan RH *et al.* (1988) J Appl Ent 106 : 20-24.
布川耕市 (2008) 新潟森林研報 49 : 15-22.
Renwick JAA *et al.* (1977) Naturwissenschaften 64 : 226.
斉藤正一ほか (2008) 東北森林科学会誌 13 (2) : 1-4.
SAS Institute (1998) StatView for PowerPC Version 5.0. SAS Institute, Cary
Tokoro M *et al.* (2007) 森林総研研報 6 : 49-57.
上田明良・藤田和幸 (1998) 森林応用研究 7 : 113-116.
Ueda A and Kobayashi M (2001) J For Res 6 : 173-179.
上田明良ほか (2000) 森林応用研究 9 (1) : 121-125.
上野俊一ほか (1985) 原色日本甲虫図鑑 (II), 514 pp. 保育社, 大阪.

(2016年11月18日受付; 2016年12月21日受理)