

**PENENTUAN GERAK BALAS BERGANTUNG-KEPADA-UMUR LALAT BUAH
Zeugodacus cucurbitae (DIPTERA: TEPHRITIDAE) TERHADAP DUA BAHAN
PENARIK JANTAN FENILBUTANOID**

[DETERMINATION OF AGE-DEPENDENT RESPONSES OF FRUIT FLY
Zeugodacus cucurbitae (DIPTERA: TEPHRITIDAE) TOWARDS TWO PHENYL BUTANOID MALE
ATTRACTANTS]

Suk-Ling Wee^{1,2*} & Yim-Theng Ooi¹

¹ Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.
² Pusat Sistemik Serangga,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.

*Email Pengarang: slwee@ukm.edu.my

Penghantaran: 19 Julai 2022; Penerimaan: 14 Oktober 2022

ABSTRAK

Lalat buah melon, *Zeugodacus cucurbitae* Coquille (Diptera: Tephritidae) ialah spesies serangga perosak sayuran yang berkepentingan ekonomi, terutamanya ke atas famili Cucurbitaceae dan Solanaceae. Lalat buah jantan spesies ini adalah tertarik kepada *cue lure* (CL), iaitu sejenis bahan penarik jantan sintetik yang sering digunakan dalam pengurusan dan kawalan pelbagai spesies perosak lalat buah, termasuk spesies ini. Lalat buah *Z. cucurbitae* jantan juga dilaporkan tertarik kepada zingeron (ZN) yang ditemui dalam komponen fitokimia beberapa spesies bunga orkid liar daripada genus *Bulbophyllum* spp. Semakin banyak pembuktian menunjukkan interaksi lalat buah Tephritidae dengan bahan penarik jantan adalah unik dan bergantung kepada spesies dan jenis bahan penarik jantan. Maka, kajian ini bertujuan untuk menentukan dan membandingkan gerak balas bergantung-kepada-umur lalat buah jantan *Z. cucurbitae* terhadap dua jenis bahan penarik jantan dari kumpulan fenilbutanoid iaitu CL dan ZN. Pendekatan bioasai terowong angin telah digunakan. Lalat buah jantan yang matang secara seks diasakan kepada suatu julat kuantiti CL dan ZN tertentu untuk mendapatkan satu dos optimum sebelum pengujian rangsangan gerak balas *Z. cucurbitae* jantan terhadap CL dan ZN pada umur yang berbeza. Hasil mendapati corak rangsangan gerak balas lalat buah jantan *Z. cucurbitae* terhadap CL dan ZN adalah sama, iaitu menunjukkan gerak balas bergantung-kepada-umur yang meningkat dengan peningkatan umur dan kematangan seksual. Walau bagaimanapun, *Z. cucurbitae* jantan dilihat menunjukkan gerak balas yang lebih awal pada umur lima hari serta gerak balas yang lebih tinggi (77.8%) pada kuantiti optimum CL (10.0 mg) yang lebih rendah berbanding dengan ZN, iaitu pada umur 15 hari dengan hanya 34% gerak balas tertinggi pada kuantiti optimum yang lebih tinggi, iaitu 100.0 mg. Ini menunjukkan CL masih merupakan bahan penarik

jantan yang lebih berkesan berbanding dengan ZN untuk aktiviti pengesanan, pemantauan dan penindasan populasi *Z. cucurbitae*.

Kata kunci: Lalat buah melon, *cue lure*, zingeron, terowong angin, gerak balas terhadap bahan penarik

ABSTRACT

The melon fruit fly, *Zeugodacus cucurbitae* Coquilett (Diptera: Tephritidae), is a vegetable pest species of economic importance, especially crops of the family Cucurbitaceae and Solanaceae. Male fruit flies of this species are attracted to cue lure (CL), a synthetic male lure that is often used in managing and controlling fruit fly pest species, including this species. Male *Z. cucurbitae* fruit flies have also been reported to be attracted to zingerone (ZN), a phytochemical component of several wild orchid flower species of the genus *Bulbophyllum* spp. Increasing evidence shows the interaction of Tephritidae fruit flies with male attractants is unique and depends on the species and type of male attractants. Thus, this study aimed to determine and compare the age-dependent response of *Z. cucurbitae* male fruit flies to two phenylbutanoid male attractants, CL and ZN. The wind tunnel bioassay approach was used. Sexually mature male fruit flies were assayed to a range of CL and ZN quantities to obtain an optimal dose before testing the responses of *Z. cucurbitae* males at different ages to CL and ZN. The results found that the pattern of the response of *Z. cucurbitae* male fruit flies to CL and ZN was similar, i.e. showing an increasing age-dependent response with increasing age and sexual maturity. However, male *Z. cucurbitae* showed an earlier response at five day-olds as well as a higher response (77.8%) at a lower optimum quantity of CL (10.0 mg) compared to ZN, i.e. at 15 day-olds with only 34% response at the optimal quantity tested, i.e. 100.0 mg. This result indicates that CL is still a more effective male attractant than ZN for population detection, monitoring and suppression of *Z. cucurbitae*.

Keywords: Melon fly, cue lure, zingeron, wind tunnel, lure response

PENGENALAN

Sesetengah lalat buah Dacinae jantan (Diptera: Tephritidae) menunjukkan ketertarikan yang tinggi terhadap sebatian fitokimia tertentu yang dikenali sebagai bahan penarik jantan seperti metil eugenol (ME) dan keton raspberi (RK) (Tan et al. 2014). Lalat buah jantan dapat mengesan kehadiran fitokimia tersebut pada jarak sejauh beberapa ratus meter daripada sumber (Shelly & Nishimoto 2011). Kelakuan lalat buah jantan yang semula jadi terhadap bahan penarik jantan ini menyebabkan lalat yang tertarik menunjukkan gerak balas anemotaksis, iaitu penerbangan melawan arah arus angin untuk mengesan dan seterusnya memakan pada sumber fitokimia dengan rakus (Cunningham 1989). Kelakuan lalat buah yang unik ini telah dieksploitasikan dalam aktiviti pengesanan, pemantauan, kawalan dan penindasan populasi untuk tujuan kawalan dan pengurusan perosak lalat buah (Tan et al. 2014).

Secara amnya, interaksi antara lalat buah dan bahan penarik jantan ini adalah khusus kepada spesies dan berkait rapat dengan perkembangan seksual sesuatu spesies (Wee et al. 2018a, 2018b, 2018c; Wee & Tan 2000; Wong et al. 1989, 1991; Ooi & Wee 2016). Pengetahuan ini adalah penting dalam pembangunan strategi pengawalan populasi lalat buah secara luas kawasan seperti Teknik Pembasmian Jantan (*Male Annihilation Technique*, MAT) serta Teknik Pemandulan Serangga (*Sterile Insect Technique*, SIT). Selain itu, pengetahuan

asas mengenai perubahan kelakuan dan fisiologi berikutan daripada pemakanan bahan penarik jantan oleh lalat buah jantan juga adalah penting untuk memastikan daya saingan pengawanan ditingkatkan untuk tujuan kawalan dan pengurusan populasi lalat buah menerusi MAT dan SIT (Pereira et al. 2021; Wee et al. 2018b, 2018c).

Lalat buah melon, *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae: Dacinae) adalah perosak sayur-sayuran yang berkepentingan ekonomi, terutamanya sayuran daripada famili Cucurbitaceae seperti timum, lufa dan labu. Spesies lalat buah ini mempunyai taburan geografi yang luas dan julat tumbuhan perumah yang merangkumi 42 spesies daripada 12 famili (Allwood et al. 1999; White & Elson-Harris 1992). Lalat buah jantan spesies ini adalah tertarik kepada *cue lure* (CL), iaitu sejenis bahan penarik jantan sintetik dan RK. *Cue lure* sering digunakan dalam program kawalan dan pengurusan lalat buah kerana CL adalah lebih stabil pada suhu bilik dan mempunyai kadar pemeruapan lima kali lebih tinggi secara relatif daripada RK pada 25°C (Park et al. 2016). *Zeugodacus cucurbitae* jantan juga tertarik kepada zingeron (ZN), iaitu sejenis bahan fitokimia semula jadi yang ditemui pada bunga orkid liar, *Bulbophyllum* spp. (Tan & Nishida 2000, 2007). Wong et al. (1991) membandingkan gerak balas *Z. cucurbitae* jantan terhadap CL dan melaporkan perbezaan ketara antara lalat buah jantan strain liar dan strain yang telah beradaptasi dengan keadaan makmal. Walau bagaimanapun, tiada maklumat mengenai interaksi *Z. cucurbitae* dengan bahan penarik jantan baharu, ZN relatif kepada CL selaras dengan perkembangan umur dan kematangan spesies ini dilaporkan.

Kajian ini bertujuan untuk menentukan gerak balas bergantung-kepada umur lalat buah *Z. cucurbitae* terhadap CL dan ZN untuk menyumbangkan pengetahuan asas interaksi *Z. cucurbitae*-bahan penarik jantan fenilbutanoid ini dalam kawalan dan pengurusan spesies yang bersifat invasif ini.

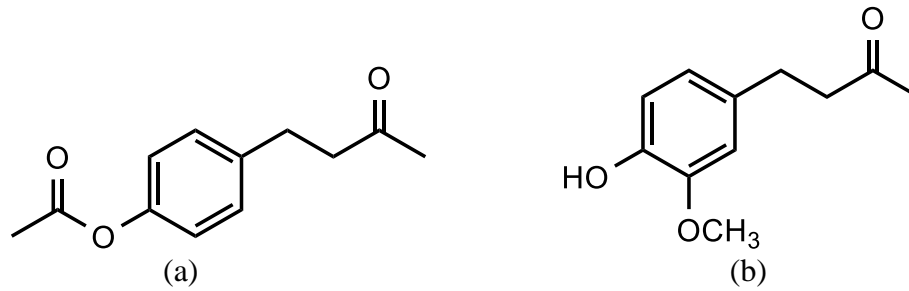
BAHAN DAN KAEDAH

Sampel Serangga

Lalat buah *Z. cucurbitae* dewasa disampel dari sebuah ladang sayuran di Bangi Lama, Selangor, Malaysia. Lalat buah kemudian dipelihara dalam sangkar bersaiz 40 x 40 x 40 cm dan dibekalkan dengan diet (nisbah 1 yis hidrolisat: 3 gula) dan air suling yang mencukupi. Beberapa hari kemudian, kepingan buah labu (*Cucurbita* sp.) diletakkan di dalam sangkar sebagai substrat peneluran antara jam 10:00-16:00. Kepingan labu kemudian dimasukkan ke dalam sebuah bekas yang ditutupi dengan kain muslin. Larva yang menetas daripada telur dibiarkan memakan pada labu. Setelah 7-8 hari, larva matang dikutip dan dimasukkan ke dalam pasir lembap untuk menjadi pupa. Lalat buah jantan dewasa diasingkan daripada lalat buah betina pada hari kelima selepas kemunculan dewasa untuk mengelakkan pengawanan. Lalat buah jantan dikurungkan dalam sangkar yang berlainan dan dibekalkan dengan diet (yis: gula dalam nisbah 1:3) dan air minuman yang mencukupi (Wee et al. 2018b). Rejim fotokala ditetapkan dengan 12 jam cahaya: 12 jam gelap pada suhu makmal pemeliharaan antara 25-28°C dan kelembapan relatif 80-85%.

Bahan kimia

Cue lure [4(para-asetofenil)-2-butanon; CL] (Rajah 1a) (ketulenan 98%) dan zingeron (4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) butan-2-one; ZN) (Rajah 1b) (ketulenan >96%) (disintesis dan dibekalkan oleh Ritsuo Nishida, Kyoto University, Jepun) dicairkan secara bersiri kepada 0.01, 0.1, 1.0, 10.0, and 100.0 mg per 100 µl dengan menggunakan etanol mutlak.



Rajah 1. Struktur kimia fenilbutanoid *cue lure* (a) dan zingeron (b)

Bioasai Gerak Balas Bergantung-Kepada-Umur Terhadap Bahan Penarik Jantan

Sebuah terowong angin berbentuk tiub panjang yang berdiameter 30 cm × 200 cm panjang yang diperbuat daripada kepingan poliasetat lutsinar telah digunakan dalam eksperimen ini (Wee et al. 2018a). Bioasai telah dijalankan pada waktu pagi antara jam 08:00-11:00 di makmal yang menerima cahaya matahari semula jadi dari tingkap yang menghadap ke arah utara. Suhu bilik dan kelembapan relatif bilik adalah di antara 25–29°C dan 83–90%.

Dos optimum untuk kajian gerak balas bergantung-kepada-umur terhadap bahan penarik jantan ditentukan terlebih dahulu. Gerak balas lalat buah jantan *Z. cucurbitae* yang matang secara seks telah diuji kepada kuantiti CL (atau ZN) yang berlainan (0.01 hingga 100.0 mg/50 µl) di sebuah terowong angin. Bermula dengan kuantiti CL (atau ZN) yang terendah, iaitu 0.01 mg, sebanyak 50 µl CL didispens pada sekeping kertas turas (4.5 cm diameter; Whatman® No. 1) yang terletak di dalam sebuah piring petri kaca. Piring petri kemudian dipindahkan kepada sebuah tripod dengan ketinggian 15 cm di bahagian hulu terowong angin. Pengaliran udara yang berterusan pada kadar kelajuan angin yang tetap (15–17 cms⁻¹) akan membawa plum bahan kimia dari penghujung hulu ke hilir terowong angin (Wee et al. 2018a).

Semasa bioasai, 10 ekor lalat buah jantan *Z. cucurbitae* dilepaskan di bahagian hilir terowong angin dan bilangan lalat buah jantan yang berkelakuan positif diperhatikan dan direkodkan dalam tempoh 10 minit. Gerak balas yang positif adalah merujuk kepada keadaan apabila lalat buah jantan yang dilepaskan di bahagian hilir terowong angin terbang secara zigzag ke arah penghujung hulu terowong angin, mendarat dan memakan pada sumber bahan kimia yang diuji. Selepas 10 minit, lalat buah jantan yang telah diuji dikeluarkan daripada terowong angin dengan menggunakan vial spesimen. Dinding terowong angin kemudian dibersihkan dengan tisu yang dilembapkan dengan 70% larutan etanol sebelum bioasai seterusnya untuk mengelakkan kontaminasi bahan kimia. Sebagai kawalan, larutan etanol mutlak menggantikan larutan CL (atau ZN) sebagai sumber ujian. Sebanyak lima hingga enam replikasi dilakukan untuk setiap dos pada hari yang lain dengan menggunakan lalat buah daripada kohort yang berbeza.

Selepas penentuan dos optimum, lalat buah jantan *Z. cucurbitae* yang berbeza umur, iaitu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 hari selepas kemunculan dewasa telah diasakan kepada CL (atau ZN) pada dos optimum dengan prosedur terowong angin yang sama seperti di atas. Sebanyak empat replikasi telah dilakukan untuk setiap kumpulan umur dengan menggunakan lalat buah jantan daripada kohort yang berlainan dan diasai pada hari yang lain.

Analisis Statistik

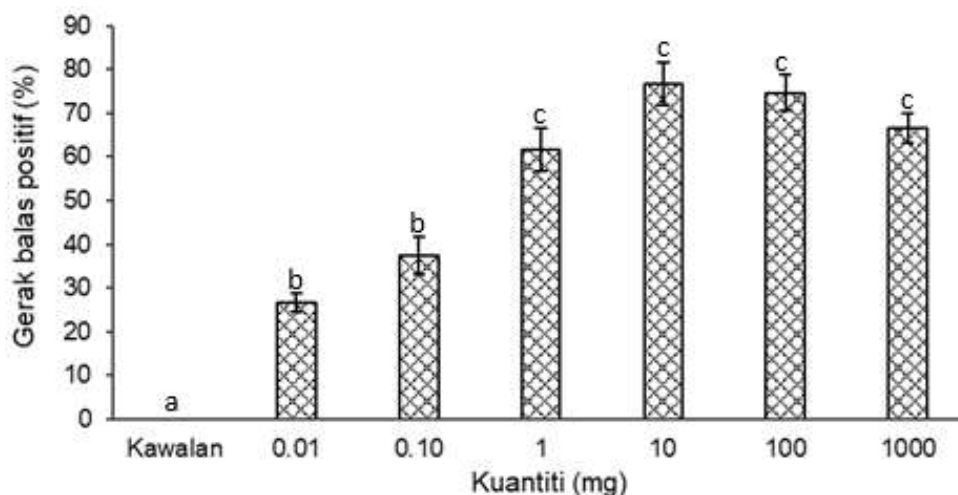
Data yang diperolehi daripada kajian terowong angin dalam bentuk nisbah telah dibuat transformasi lengkung sinus (Anscombe 1948) sebelum dianalisis dengan ujian kenormalan (Shapiro-Wilk) diikuti dengan analisis varians (ANOVA) satu hala. Perbandingan min telah dijalankan dengan ujian Tukey ($P=0.05$) dengan menggunakan perisian Sigma Plot 12.0.

HASIL

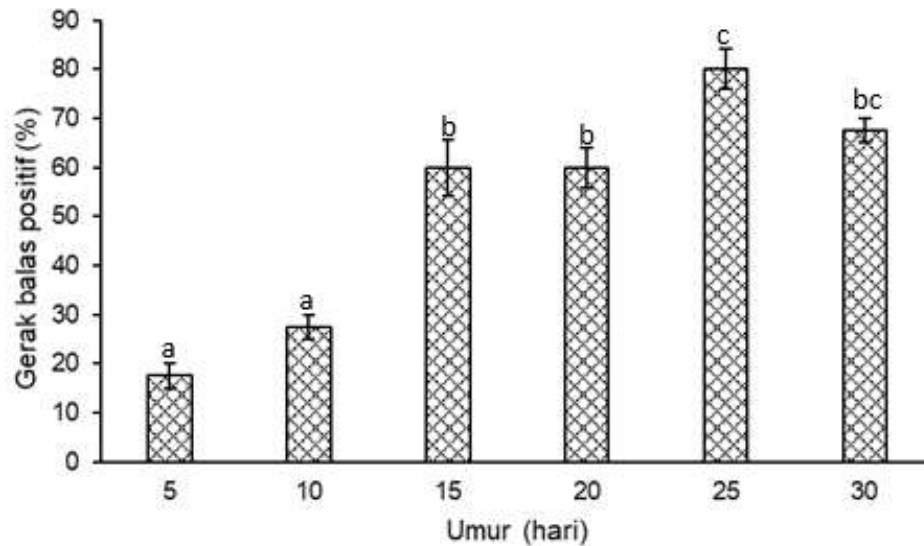
Gerak Balas Bergantung-Kepada-Umur *Z. cucurbitae* Terhadap CL

Kuantiti CL yang berlainan mempengaruhi gerak balas lalat buah jantan *Z. cucurbitae* secara signifikan dalam bioasai terowong angin ($F=65.331$, $df=6,35$; $P<0.001$) (Rajah 2). Apabila diasai pada 0.01 mg, sebanyak 26.7% ($\pm 2.1\%$) lalat buah jantan *Z. cucurbitae* menunjukkan gerak balas positif pada kuantiti yang terendah ini. Gerak balas semakin meningkat dengan peningkatan kuantiti CL yang diuji dan menunjukkan perbezaan gerak balas yang signifikan dari 1.0 mg hingga 1000.0 mg CL (Rajah 2). Gerak balas yang paling tinggi berlaku apabila 10.0 mg CL diuji (76.7 \pm 4.9%) (Rajah 2). Maka, 10.0 mg telah dipilih sebagai dos optimum untuk bioasai seterusnya dalam penentuan gerak balas bergantung-kepada-umur *Z. cucurbitae* terhadap CL.

Secara umumnya, gerak balas positif lalat buah jantan meningkat dengan signifikan dengan peningkatan umur ($F=38.503$, $df=5,18$; $P<0.001$) (Rajah 3). Lalat buah *Z. cucurbitae* jantan mula menunjukkan gerak balas terhadap CL pada hari ke-lima selepas eklosi dewasa (17.5 \pm 2.5%). Selepas itu, peningkatan gerak balas yang signifikan berlaku pada umur 15-20 hari ($P<0.05$; ujian Tukey). Puncak gerak balas positif berlaku pada umur 25 hari, iaitu sebanyak 80.0 \pm 4.1%. Namun, gerak balas positif lalat buah jantan didapati menurun kepada 67.5% pada umur 30 hari. Walau bagaimanapun penurunan ini adalah tidak berbeza secara signifikan ($P<0.05$; ujian Tukey).



Rajah 2. Gerak balas positif lalat buah *Zeugodacus cucurbitae* jantan terhadap kuantiti *cue lure* yang berlainan yang disediakan dalam larutan etanol mutlak dan diasai di dalam bioasai terowong angin. Kawalan adalah larutan etanol mutlak. Palang (=ralat piawai) dengan huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang signifikan (ujian Tukey; $P=0.05$)

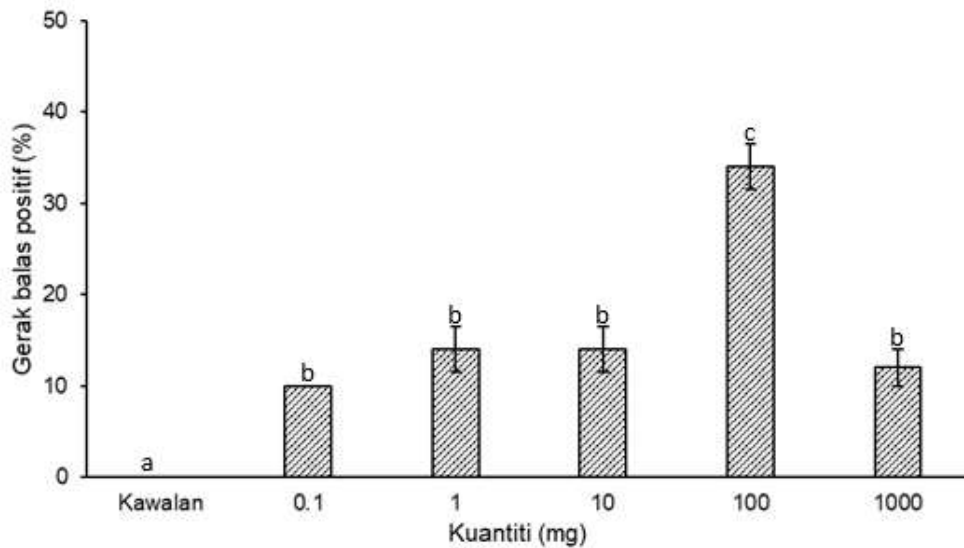


Rajah 3. Gerak balas positif lalat buah *Zeugodacus cucurbitae* jantan terhadap *cue lure* pada umur yang berlainan di dalam bioasai terowong angin Palang (= ralat piawai) dengan huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang signifikan (ujian Tukey; $P=0.05$)

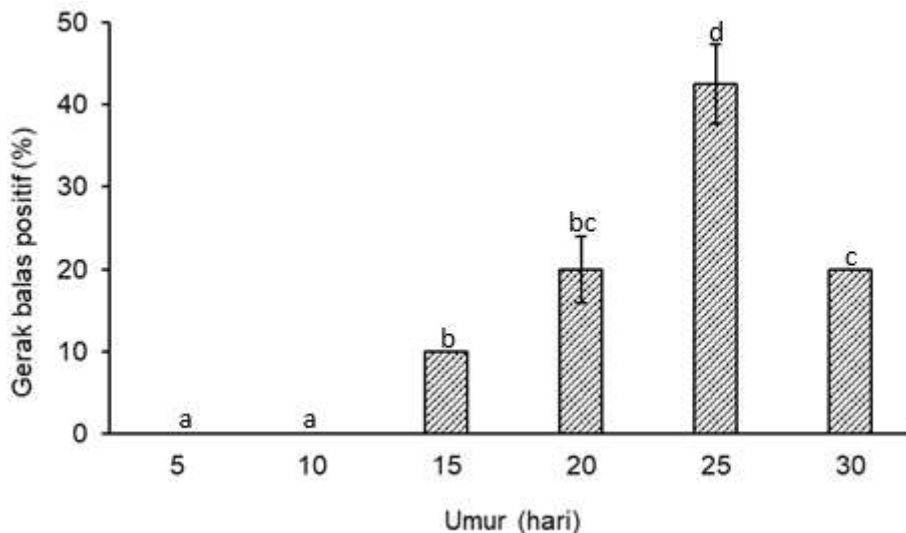
Gerak Balas Bergantung-Kepada-Umur *Z. cucurbitae* Terhadap ZN

Penarikan lalat buah jantan *Z. cucurbitae* terhadap ZN juga meningkat secara signifikan dengan peningkatan kuantiti ZN yang diasai ($F=40.389$, $df=5,24$; $P<0.001$) (Rajah 4). Hanya seekor *Z. cucurbitae* jantan ($10.0\pm 0.0\%$) yang menunjukkan gerak balas positif terhadap 0.1 mg ZN. Peningkatan kuantiti ZN yang diasai, iaitu dari 1.0 hingga 10.0 mg tidak banyak menyebabkan perubahan gerak balas yang ketara ($14.0\pm 2.5\%$; $P>0.05$; ujian Tukey). Peningkatan gerak balas lalat buah jantan yang drastik, yang juga merupakan gerak balas optimum ($34\pm 2.5\%$) berlaku apabila 100.0 mg ZN diasai ($P<0.05$; ujian Tukey). Namun, apabila diasai pada kuantiti yang lebih tinggi, iaitu 1000.0 mg, peratusan gerak balas ($12.0\pm 2.0\%$) berkurangan secara signifikan ($P<0.05$; ujian Tukey). Oleh itu, 100.0 mg ZN telah dipilih sebagai dos optimum dalam penentuan gerak balas bergantung-kepada-umur *Z. cucurbitae* terhadap ZN.

Secara umumnya, gerak balas positif lalat buah jantan *Z. cucurbitae* juga meningkat secara signifikan dengan peningkatan umur ($F=57.64$, $df=5,18$; $P<0.001$) (Rajah 5). Walau bagaimanapun, gerak balas *Z. cucurbitae* jantan terhadap ZN adalah lebih rendah berbanding dengan CL. Permulaan gerak balas *Z. cucurbitae* jantan terhadap ZN hanya berlaku pada umur 15 hari selepas eklosi dewasa ($10.0\pm 0.0\%$). Gerak balas didapati meningkat secara beransur-ansur dengan peningkatan umur dengan puncak gerak balas yang signifikan berlaku pada umur 25 hari ($42.5\pm 4.8\%$) ($P>0.05$; ujian Tukey). Walau bagaimanapun, gerak balas lalat buah jantan terhadap ZN didapati menurun secara signifikan kepada 20% ($\pm 0.0\%$) pada umur 30 hari ($P<0.05$; Ujian Tukey).



Rajah 4. Gerak balas positif lalat buah *Zeugodacus cucurbitae* jantan terhadap kuantiti zingeron yang berlainan yang disediakan dalam larutan etanol mutlak dan diasai di dalam bioasai terowong angin. Kawalan adalah larutan etanol mutlak. Palang (=ralat piawai) dengan huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang signifikan (ujian Tukey; $P=0.05$)



Rajah 5. Gerak balas positif lalat buah *Zeugodacus cucurbitae* jantan terhadap zingeron pada umur yang berlainan di dalam bioasai terowong angin Palang (=ralat piawai) dengan huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang signifikan (ujian Tukey; $P=0.05$)

PERBINCANGAN

Gerak balas *Z. cucurbitae* terhadap CL berlaku seawal lima hari selepas eklosi dewasa manakala untuk ZN, hanya berlaku pada umur 15 hari. Dalam kajian ini, koloni *Z. cucurbitae* yang digunakan adalah antara dua hingga empat generasi selepas disampel dari ladang sayur-sayuran dan masih dikategorikan sebagai strain liar (Schutze et al. 2015). Pemerhatian makmal menunjukkan strain *Z. cucurbitae* ini mulai mengawan kira-kira pada umur 14 hari

dan aktiviti pengawanan memuncak antara umur 24 hingga 29 hari. Ini menunjukkan gerak balas *Z. cucurbitae* terhadap CL bermula sebelum kematangan seksual (17% dan 27% pada umur 5 dan 10 hari masing-masing) manakala gerak balas terhadap ZN berlaku ketika perkembangan kematangan seksual berlaku. Maka, CL ialah bahan penarik jantan yang lebih berkesan berbanding dengan ZN untuk digunakan dalam program kawalan dan pengurusan populasi *Z. cucurbitae*. Berdasarkan keputusan, CL akan dapat menghapuskan sekurang-kurangnya 30% daripada populasi lalat buah jantan liar *Z. cucurbitae* sebelum kematangan seksual tercapai atau sempat mengawan dengan lalat buah betina liar. Hal ini secara tidak langsung akan membawa kepada pengurangan bilangan lalat buah betina gravid yang bakal merosakkan hasil tanaman Cucurbitaceae dan Solanaceae.

Puncak gerak balas bergantung-kepada-umur *Z. cucurbitae* untuk CL dan ZN adalah sama, iaitu pada 25 hari. Namun, pada umur 25 hari ini yang juga merupakan puncak aktiviti pengawanan spesies ini, jumlah peratusan gerak balas *Z. cucurbitae* jantan adalah dua kali lebih tinggi untuk CL (77.8%) daripada ZN (34%). Pada umur yang lebih lanjut, iaitu 30 hari, gerak balas *Z. cucurbitae* untuk CL masih tinggi (67.5%) manakala untuk ZN hanya serendah 20%. Memandangkan gerak balas optimum terhadap CL hanya berlaku ketika puncak aktiviti pengawanan *Z. cucurbitae* liar, maka sebahagian besar populasi jantan mungkin telah berjaya mengawan dengan lalat buah betina liar di lapangan sebelum bergerak balas kepada perangkap berumpukan CL. Ini juga menjelaskan sebab mengapa masa yang lebih lama dan usaha yang berlipat ganda diperlukan untuk membasmi populasi lalat buah *Z. cucurbitae* berbanding dengan ME dalam pembasmian *Bactrocera dorsalis* kerana lalat buah jantan pramatang spesies ini telah menunjukkan gerak balas yang tinggi (40-50%) sebelum mulanya sebarang aktiviti pengawanan (Ito et al. 2003; Steiner et al. 1965, 1970; Wong et al. 1989).

Trend gerak balas *Z. cucurbitae* terhadap CL dalam kajian ini juga konsisten dengan pelaporan Wong et al. (1991). Beliau mendapati *Z. cucurbitae* strain liar (generasi F₁ yang muncul daripada sayur-sayuran terinfestasi di lapangan) yang berumur 10 hari menunjukkan 27% gerak balas terhadap CL manakala pada umur 14 hari dan 22 hari, gerak balas masing-masing dicatatkan pada 57% dan >93%. Ini secara tidak langsung mengukuhkan lagi bukti bahawa strain *Z. cucurbitae* generasi dua hingga empat yang digunakan dalam kajian ini masih lagi bersifat liar.

Keputusan ini adalah juga konsisten dengan kajian interaksi lalat buah jantan *Bactrocera* spp. dengan bahan penarik jantan lain secara amnya, iaitu terdapat korelasi gerak balas lalat buah jantan terhadap bahan penarik jantan dengan peningkatan umur atau kematangan seksual (Ooi & Wee 2016; Wee et al. 2018a, 2018b, 2018c; Wee & Tan 2000; Wong et al. 1989, 1991). Walau bagaimanapun, perincian interaksi adalah unik dan spesifik mengikut spesies lalat buah dan jenis bahan penarik jantan yang dikaji. Hal ini adalah kerana perhubungan lalat buah Tephritidae dengan tumbuhan yang mengandungi bahan penarik jantan bersifat evolusi bersama dan mempunyai saling interaksi mutual ke atas pembiakan dan kemandirian masing-masing (Metcalf et al. 1979; Metcalf & Metcalf 1992).

Kajian ini juga mendapati jumlah kuantiti bahan penarik jantan optimum yang diperlukan untuk mencetuskan rangsangan gerak balas adalah lebih tinggi untuk ZN (100.0 mg), iaitu sepuluh kali ganda lebih daripada CL (10.0 mg). Ini menunjukkan *Z. cucurbitae* adalah lebih sensitif kepada CL daripada ZN. Selain itu, pada kuantiti optimum ini, jumlah peratusan gerak balas *Z. cucurbitae* jantan adalah dua kali lebih tinggi untuk CL (77.8%) daripada ZN (34%). Tekanan wap ZN (0.011 Pa) adalah kira-kira 1.5 kali lebih tinggi daripada CL (0.00754 Pa) pada suhu 25°C (Hanssen 2015; Park et al. 2016). Hal ini tidak

dapat menjelaskan gerak balas yang lebih tinggi untuk CL walaupun kadar pemeruapan CL yang sedikit lebih rendah daripada ZN.

Rantai sisi 2-butanon pada fenilbutanoid seperti CL dan RK bertanggungjawab dalam penarikan lalat buah yang responsif kepada CL/RK. Bagi ZN, selain daripada rantai sisi 2-butanon yang menarik lalat buah responsif CL/RK, ia juga mempunyai bahagian metoksi di gelang benzena yang dilaporkan membolehkan penarikan lalat buah yang bergerak balas terhadap ME (Tan & Nishida 2000, 2007; Wee et al. 2020). Walau bagaimanapun, dalam kes *Z. cucurbitae*, bahagian metoksi tambahan dalam sebatian ZN mungkin telah menjejaskan konformasi molekul kimia dalam persepsi olfaktori dan seterusnya mengakibatkan gerak balas terhadap ZN yang rendah. Keputusan ini menyokong pembuktian kajian terdahulu bahawa konformasi molekul kimia adalah faktor pertimbangan yang lebih penting daripada kadar pemeruapan dalam menjelaskan gerak balas lalat buah Tephritidae terhadap bahan penarik jantan (Metcalf et al. 1979, 1983; Park et al. 2016).

KESIMPULAN

Corak rangsangan gerak balas lalat buah jantan *Z. cucurbitae* terhadap kedua-dua bahan penarik jantan fenilbutanoid, CL dan ZN adalah sama, iaitu menunjukkan gerak balas bergantung-kepada-umur yang meningkat dengan peningkatan umur dan kematangan seksual. Walau bagaimanapun, *Z. cucurbitae* jantan dilihat menunjukkan gerak balas yang lebih awal di peringkat pra-matang serta gerak balas yang lebih tinggi pada kuantiti CL yang lebih rendah berbanding dengan ZN. Secara ringkas, dapatan kajian menunjukkan CL masih merupakan bahan penarik jantan yang lebih berkesan berbanding dengan ZN untuk aktiviti pengesanan, pemantauan dan penindasan populasi *Z. cucurbitae*.

PENGHARGAAN

Bekalan bahan kimia cue lure dan zingeron oleh Profesor Emeritus Dr Ritsuo Nishida (Kyoto University, Jepun) dan geran penyelidikan (ST-2019-005) daripada pihak International Atomic Energy Agency (IAEA), Austria adalah amat dihargai.

PERCANGGAHAN KEPENTINGAN

Tiada.

RUJUKAN

- Allwood, A.J., Chinajariyawong, A., Drew, R.A.I., Hamacek, E.L., Hancock, D.L., Hengsawad, J.C., Jirasurat, M., Kong Krong, C., Kritsaneepaiboon, S., Leong, C.T.S. & Vijaysegaran, S. 1999. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in South East Asia. *Raffles Bulletin of Zoology, Supplement 7*: 92.
- Anscombe, F.J. 1948. The transformation of Poisson, binomial and negative binomial data. *Biometrika* 35: 246-254.
- Cunningham, R.T., 1989. Biology and physiology; parapheromones. In: Robinson, A.S., Hooper, G. (eds.). *Fruit Flies: Their Biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pests 3(A)*, pp. 221–230. Amsterdam: Elsevier.
- Hanssen, B.L. 2015. Synthesis and analysis of zingerone analogues as fruit fly attractants. MSc. Thesis. Department of Chemistry and Biomolecular Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia.
- Ito, Y., Kakinohana, H., Yamagishi, M. & Kohama, T. 2003. Eradication of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, from Okinawa, Japan by means of the sterile insect technique, with special emphasis on the role of basic studies. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 6: 119-129.
- Metcalf, R.L., Metcalf, E.R., Mitchell, W.C. & Lee, L.W.Y. 1979. Evolution of olfactory receptor in oriental fruit fly *Dacus dorsalis*. *Proceedings of National Academy Sciences of USA* 76(4): 1561-1565.
- Metcalf, R.L., Mitchell, W.C., Metcalf, E.R. 1983. Olfactory receptors in the melon fly *Dacus cucurbitae* and the oriental fruit fly *Dacus dorsalis*. *Proceedings of National Academy Sciences of USA* 80:3143–3147.
- Metcalf, R.L. & Metcalf, E.R. 1992. *Plant Kairomones in Insect Ecology and Control*. New York, USA and London, UK: Chapman and Hall.
- Ooi, Y.T. & Wee, S.L. 2016. Sexual maturity, mating propensity and female remating incidence of *Zeugodacus tau* (Walker) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 19: 451-457.
- Park, S.J., Morelli, R., Hanssen, B.L., Jamie, J.F., Jamie, I.M., Siderhurst, M.S. & Philips, P.W. 2016. Raspberry ketone analogs: Vapour pressure measurements and attractiveness to Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *PLoS ONE* 11(5): e0155827.
- Pereira, R., Yuval, B., Leido, P., Teal, P.E.A., Shelyy, T.E., McInnis, D.O., Haq, I., Taylor, P.W. & Hendrichs, J. 2021. Improving post-factory performance of sterile male fruit flies in support of the Sterile Insect Technique. In: Dyck, V.A., Hendrichs, J. & Robinson, A.S. (eds.). *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*, pp. 631–656. Florida: CRC Press, Taylor & Francis.

- Schutze, M.K., Dammalage, T., Jessup, A., Vreysen, M.J.B., Wornoyaporn, V. & Clarke, A.R. 2015. Effects of laboratory colonization on *Bactrocera dorsalis* (Diptera, Tephritidae) mating behaviour: 'What a difference a year makes'. *Zookeys* 540: 369-383.
- Shelly, T.E. & Nishimoto, J. 2011. Additional measurements of distance-dependent capture probabilities for released males of *Bactrocera cucurbitae* and *B. dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Honolulu. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 14: 271-276.
- Steiner, L.F., Mitchell, W.C., Harris, E.J., Kozuma, T.T. & Fujimoto, M.S. 1965. Oriental fruit fly eradication by male annihilation. *Journal of Economic Entomology* 58:961-964.
- Steiner, L.F., Hart, W.G., Harris, E.J., Cunningham, R.T., Ohinata, K. & Kamakahi, D.C. 1970. Eradication of the oriental fruit fly from the Mariana Islands by the methods of male annihilation and sterile insect release. *Journal of Economic Entomology* 63:131-135.
- Tan, K.H. & Nishida, R. 2000. Mutual reproductive benefits between a wild orchid, *Bulbophyllum patens*, and *Bactrocera* fruit flies via a floral synomone. *Journal of Chemical Ecology* 26(2): 533-546.
- Tan, K.H. & Nishida, R. 2007. Zingerone in the floral synomone of *Bulbophyllum baileyi* (Orchidaceae) attracts *Bactrocera* fruit flies during pollination. *Biochemical Systematics and Ecology* 35: 334-341.
- Tan, K.H., Nishida, R., Jang, E.B. & Shelly, T.E. 2014. Pheromones, male lures, and trapping of tephritid fruit flies. In: Shelly, T.E., Epsky, N., Jang, E.B., Reyes-Flores, J., Vargas, R.D. (eds.) *Trapping and the Detection, Control and Regulation of Tephritid Fruit Flies*, pp. 15-74. Dordrecht: Springer.
- Wee, S.L. & Tan, K.H. 2000. Sexual maturity and intraspecific mating success of two sibling species of the *Bactrocera dorsalis* complex. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94: 133-139.
- Wee, S.L., Abdul Munir, M.Z. & Hee, A.K.W. 2018a. Attraction and consumption of methyl eugenol by male *Bactrocera umbrosa* Fabricius (Diptera: Tephritidae) promotes conspecific sexual communication and mating performance. *Bulletin of Entomological Research* 108(1): 116-124.
- Wee, S.L., Chinvinijkul, S., Tan, K.H. & Nishida, R. 2018b. A new and highly selective male lure for the guava fruit fly *Bactrocera correcta*. *Journal of Pest Science* 91(2): 691-698.
- Wee, S.L., Peek, T. & Clarke, A.R. 2018c. The responsiveness of *Bactrocera jarvisi* (Diptera: Tephritidae) to two naturally occurring phenylbutanoids, zingerone and raspberry ketone. *Journal of Insect Physiology* 109: 41-46.
- Wee, S.L., Royer, J.E., Herring, J., Mayer, D.G. & Tan, K.H. 2020. Relative response of male *Bactrocera frauenfeldi* (Diptera: Tephritidae) to phenylbutanoid phytochemicals:

implications for fruit fly control and plant–insect interactions. *Chemoecology* 30(6): 305-314.

White, I.M. & Elson-Harris, M.M. 1992. *Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics*. Oxford: CAB International.

Wong, T.T.Y., McInnis, D.O. & Nishimoto, J.I. 1989. Relationship of sexual maturation rate to response of oriental fruit fly strains (Diptera: Tephritidae) to methyl eugenol. *Journal of Chemical Ecology* 15: 1939-1405.

Wong, T.T.Y., McInnis, D.O., Mohsen, M.R. & Nishimoto, J.I. 1991. Age-related response of male melon flies *Dacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) to cue-lure. *Journal of Chemical Ecology* 17: 2481-2487.