دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ۴۶۶۸-۲۰۰۸
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی
(علمی- پژوهشی)
جلد۷ ، شماره ۳، سال ۱۳۹۴، (۲۳۳-۲۴۷)

تاثیر دما در ویژگی‌های آواز فراخوانی ملخ پیشانی‌سفید (Ensifera: Tettigoniidae) *Decticus albifrons*

شبنم جعفری[۱*]، محمدحسین کاظمی[۲]، محمود شجاعی[۳]، حسین لطفعلی‌زاده[۴]، محسن مفیدی نیستانک[۵]

۱- دانش آموخته دکتری حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران
۳- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۴- دانشیار، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی
۵- استادیار، بخش تحقیقات رده‌بندی حشرات و موزه حشرات هایک میرزایانس، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

چکیده

اغلب افراد نر ملخ‌های شاخک‌بلند در زمان جفت‌گیری از سیگنال‌های بیواکوستیکی استفاده می‌نمایند که نقش مهمی در موفقیت تولیدمثلی آن‌ها دارد. در تحقیق حاضر، دستگاه تولید صدای ملخ پیشانی‌سفید *Decticus albifrons* (Fabricius, 1775) تشریح گردیده و تجزیه و تحلیل روابط ویژگی‌های صوتی با درجه حرارت در طیف دمایی ۳۷-۱۸ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت. آواز فراخوانی از نوع چیرپ بوده و از اکم‌های کوتاهی تشکیل یافته است. فایل به‌طول ۳/۷۴ میلی‌متر بوده و از ۹۱-۷۷ دندانه تشکیل یافته است و به‌طور تقریبی ۲۲/۴۶ دندانه در هر میلی‌متر مشاهده می‌گردد. وقفه بین اکمی، مدت زمان لازم برای هر اکم و هر سیلابل از دمای ۱۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس رابطه معکوس با درجه حرارت داشته در حالی‌که فرکانس صوتی، سرعت اکم‌ها و سیلابل‌ها تا این دما افزایش می‌یابند. پس از دمای ۳۰ درجه سلسیوس تمام منحنی‌ها معکوس گردیدند که این دما به‌عنوان دمای بهینه برای آواز فراخوانی ملخ پیشانی سفید تعیین گردید. در بین مشخصه‌های صوتی ملخ پیشانی سفید سرعت اکم‌ها، فرکانس صوتی و وقفه بین اکمی دارای تفاوت معنی‌دار در دماهای مختلف بودند.

واژه‌های کلیدی: ملخ پیشانی سفید، مشخصه‌های صوتی، Tettigoniidae، سرعت اکم، چیرپ

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: *shabnamjafari60@gmail.com*
تاریخ دریافت مقاله (۹۳/۱۰/۲۰) - تاریخ پذیرش مقاله (۹۴/۴/۱۶)

مقدمه

راست‌بالان از قدیمی‌ترین حشرات تولید کننده صدا بوده و محققان در سال‌های اخیر موفق به مطالعه دستگاه تولید صدای گونه‌ای ملخ شاخک بلند متعلق به ۱۶۵ میلیون سال قبل (اواسط ژوراسیک) گشتند که قدمت ارتباطات اکوستیکی این راسته را به اثبات می‌رساند (Gu *et al*., 2012). غالب افراد نر زیرراسته Ensifera در زمان جفت‌گیری اقدام به تولید آواز فراخوانی می‌نمایند که این عمل نقش مهمی در هدایت افراد ماده به‌سمت آن‌ها دارد (Ulagaraj & Walker, 1975; Doherty & Callos, 1991; Oliveira *et al.,* 2001). صدا در افراد این زیرراسته از مالش بسیار سریع دو بخش تخصص یافته روی بال‌پوش‌ها تولید می‌گردد[1]. این عمل هزینه‌بر بوده و انرژی بالایی را در بخش ماهیچه‌های بالی حشره صرف می‌نماید (Prestwich & Walker, 1981; Hoback & Wagner, 1997).

با توجه به اختصاصی بودن آواز فراخوانی حشرات، اساسی‌ترین کاربرد توصیف مشخصه‌های سیگنال‌های صوتی، شناسایی و تفکیک گونه‌هاست (Kowalski & Lakes-Harlan, 2010; Iorgu & Iorgu, 2010; Hao *et al*., 2012; Sevgili *et al*., 2012).

اگرچه هر گونه حشره دارای الگوی صدای خاصی است اما ویژگی‌های فردی مانند سن، جثه و وزن بدن و شرایط محیطی همانند دما، رطوبت و سرعت باد قادر به ایجاد واریانسی در محدوده تعریف شده هر گونه برای برخی پارامترهای صدا می‌باشند (Zuk, 1987; Hedrick & Weber, 1998; Walker & Cade, 2003).

الگوی صوتی هر گونه همانند دستگاه زادآوری افراد نر تحت تاثیر ژن‌ها بوده و همانند اثر انگشت انسان‌ها کاملا اختصاصی گونه است (Walker, 1974). در شرایط محیطی یکسان، تغییرات اندک در برخی ویژگی‌های صدا شاخص خوبی بر شرایط فنوتیپی حشرات نر بوده و در آن‌ها رقابتی برای جذب افراد ماده ایجاد می‌نمایند (Brown *et al*., 1996; Holzer *et al.,* 2003; Bertram *et al.,* 2006). اغلب افراد ماده با تشخیص این تغییرات، به ویژگی‌های فردی افراد نر پی برده و جفت خود را با مشخصه‌های ریختی ایده‌ال انتخاب می‌کنند (Howard & Hill, 2006; Hunt *et al*., 2006; Arias *et al*., 2012).

نخستین‌بار فیزیکدان آمریکایی به‌نام «آموس دالبیر[2]»، به رابطه بین دما و مشخصه‌های صوتی جیرجیرک برفی[3] یا جیرجیرک دماسنجی[4] *Oecanthus fultoni* (Walker, 1962) پی‌برده و قانون دالبیر[5] را در مقاله‌ای تحت عنوان «The Cricket as a Thermometer» تعریف نمود:

بر اساس تئوری فوق، شمارش تعداد چیرپ‌های حشره مذکور در ۱۵ ثانیه و افزودن عدد ۴۰ به آن، درجه حرارت محیط را بر اساس فارنهایت نشان می‌دهد (Dolbear, 1897).

با توجه به خونسرد[6] بودن حشرات؛ بسیاری از رفتارها و اعمال فیزیولوژیکی بدن آن‌ها تحت تاثیر دمای محیط بوده و از معادله آرنیوس[7] تبعیت می‌نمایند. این معادله آستانه انرژی مورد نیاز جهت انجام یک واکنش شیمیایی در بدن را نشان می‌دهد. به این معنی که با افزایش درجه حرارت، رسیدن به آستانه انرژی خاص یا انرژی فعال‌سازی (همانند واکنش‌های شیمیایی مورد نیاز در انقباضات ماهیچه‌ای برای تولید صدا) آسان‌تر و سریع‌تر اتفاق می‌افتند. بنابراین میزان درجه حرارت

[1]- Stridulation
[2]- Amos Dolbear
[3]- Snowy tree cricket
[4]- Thermometer cricket
[5]- Dolbears Law
[6]- Ectotherms
[7]- Arrhenius equation

محیط اهمیت خاصی در تغییر مشخصه‌های صدا داشته و در گونه‌های مختلف این تاثیر متفاوت است (Ragge & Reynolds, 1998; Drosopoulos & Claridge, 2006). به‌عنوان مثال، با افزایش دما فرایندهای سیستم عصبی-ماهیچه‌ای[1] افزایش یافته و با در نظر داشتن این مسئله که رفتارهای مربوط به تولید صوت تحت کنترل سیستم مذکور می‌باشند، بنابراین مشخصه‌های صوتی به‌طور غیر مستقیم تحت تاثیر دمای محیطی قرار می‌گیرند (Toms *et al*., 1993; Gerhardt & Huber, 2002).

محققین متعددی به مطالعه تاثیرات درجه حرارت محیط بر آواز فراخوانی راسته‌های مختلف حشرات از قبیل راست‌بالان (Walker, 1974; Ragge & Reynolds, 1998)، جوربالان (Fonseca & Revez, 2002; Sueur & Sanborn, 2003) و سایر راسته‌ها (Sanborn, 2006) پرداخته‌اند که در این میان بیشترین مطالعات به‌دلیل سهولت پرورش و سادگی آواز فراخوانی روی جیرجیرک‌ها (که غالبا از نوع چیرپ بوده و متشکل از تعداد محدودی سیلابل می‌باشند) صورت پذیرفته است (Prestwich & Walker, 1981; Walker, 1998). واکر به بررسی دما، رطوبت، سرعت باد و سن حشره در سیگنال‌های صوتی ۱۵ گونه جیرجیرک درختی پرداخت (Walker, 1962). وی همچنین مطالعه‌ای بر مشخصه‌های صوتی دو گونه ملخ جنس *Atlanticus* spp. داشت و دریافت که رطوبت محیط و سرعت باد تاثیر معنی‌داری بر مشخصه‌های آواز فراخوانی حشرات مذکور نداشته اما سن حشره و درجه حرارت محیط قادر به ایجاد تغییرات محسوسی در محدوده تعریف شده ویژگی‌های صوتی هر گونه می‌باشد (Walker, 1974).

ملخ پیشانی سفید[2] با نام علمی *Decticus albifrons* (Fabricius, 1775)، اغلب در مراتع و مناطق خشک و زمین‌های آیش یافت شده و در شرایط اکولوژیکی شمال‌غرب ایران به‌وفور یافت می‌شود. این گونه از ایران توسط زنده یاد استاد جلال افشار در سال ۱۳۰۶ از مزارع اطراف تهران و ورامین گزارش گردید (Shojaei, 2013) و دارای انتشار وسیع در اغلب کشورهای اروپایی و آسیایی نظیر آلمان، فرانسه، ترکیه، روسیه، افغانستان و قزاقستان است (Eades *et al*., 2015). شجاعی به نقل از استاد افشار اذعان می‌نماید که افراد متعلق به این گونه، به محصولات کشاورزی مخصوصا غلات، پنبه، جالیز و صیفی حمله کرده و صدمه محسوسی به آن‌ها وارد می‌نمایند (Shojaei, 2013). هدف از انجام این تحقیق بررسی اهمیت دما بر مشخصه‌های صوتی حشرات و رابطه بین درجه حرارت با برخی ویژگی‌های سیگنال‌های بیواکوستیکی می‌باشد. بر اساس منابع موجود مطالعه‌ای بر تاثیر درجه حرارت محیط روی ویژگی‌های صوتی ملخ پیشانی سفید صورت نپذیرفته و این نخستین تحقیق در زمینه صدای گونه مذکور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دوازده حشره کامل (Metrani & Balakrishnan, 2005; Arias *et al*., 2012) ملخ پیشانی سفید (هشت نر و چهار ماده) در تابستان سال ۱۳۹۲ از مزارع و صیفی‌کاری‌های اطراف تبریز (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه شمالی) و مناطق مختلف آذرشهر (طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی) جمع‌آوری گردیدند. شکار حشرات با دست یا تور حشره‌گیری به قطر دهانه ۴۰ سانتی‌متر و طول دسته یک متر صورت پذیرفت. ملخ‌های مذکور به‌صورت انفرادی داخل جعبه‌های پلاستیکی مشبک به ابعاد ۱۵× ۲۵× ۳۴ سانتی‌متر قرار گرفته و سقف جعبه‌ها توسط تور پارچه‌ای پوشانده شد تا از فرار حشرات

[1]- Neuromuscular
[2]- White faced bush cricket

ممانعت به‌عمل آمده و نیز تهویه مناسب داخل قفس حشرات صورت پذیرد. قفس‌های حشرات نر و ماده کنار هم نگهداری گردیدند تا افراد نر متوجه حضور ماده‌ها گشته و نیز صدای احتمالی افراد ماده نیز ثبت گردد.

جهت ثبت درجه حرارت محیط در زمان ضبط صدای افراد نر، دماسنجی در مجاورت قفس‌ها تعبیه شده و از برگ غلات تازه برای تغذیه آن‌ها استفاده گردید. حشرات در دامنه حرارتی ۱۸–۳۷ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفتند که تقریبا منطبق با شرایط دمایی منطقه در فصل جفت‌گیری گونه مذکور است. با توجه به این‌که تفاوت‌های فردی از قبیل سن و جثه حشره، نقش مهمی در واریانس مشخصه‌های صوتی دارند، بنابراین تاثیر درجه حرارت محیط بر پارامترهای صدای هر فرد به‌صورت جداگانه بررسی گردیده و در نهایت میانگین مشخصه‌های فوق در نمودارهای مربوطه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

صدای افراد نر در آزمایشگاه توسط دستگاه ضبط دیجیتالی Canon (PC1192) و از فاصله ۱۵–۱۰ سانتی‌متری حشره مولد صدا ضبط و درجه حرارت محیط نیز ثبت گردید (Otte, 1992). دستگاه تولید صدای افراد نر، پس از جدا نمودن بال‌های جلویی توسط لام و لنز مدرج میکروسکوپ Olympus CX21 و استریومیکروسکوپ Leica MZ125 مطالعه گردید (n=8).

ویژگی‌های صوتی مورد اندازه‌گیری شامل سرعت اکم‌ها[1] (تعداد اکم در ثانیه) ، مدت زمان هر اکم[2] (زمان محاسبه شده برای یک دسته سیلابل متوالی) ، مدت زمان هر سیلابل[3] (زمان مورد نیاز از نخستین ایمپالس تا آخرین ایمپالس در هر بار باز و بسته نمودن بال‌های جلویی)، وقفه بین اکم‌ها[4] (فاصله زمانی از آخرین ایمپالس موجود در آخرین سیلابل یک اکم تا اولین ایمپالس موجود در اولین سیلابل اکم بعدی) و فرکانس پایه[5] (فرکانسی با بیشترین دامنه در پردازش سیگنال‌های صوتی) می‌باشند.

اصطلاحات صوتی بر اساس مطالعات هلر و تعاریف راگ و رینولد به‌قرار زیر به‌کار گرفته شدند (Ragge & Reynolds, 1998; Heller, 2006): اکم: یک دسته سیلابل متوالی، سیلابل: صدای تولید شده از یک‌بار باز و بستن بال‌ها، سرعت اکم‌ها: تعداد اکم‌ها در واحد زمان، وقفه بین اکم‌ها: فاصله زمانی بین دو اکم متوالی، سرعت سیلابل‌ها: تعداد سیلابل‌ها در واحد زمان، ایمپالس[6]: صدای تولید شده از برخورد یک دندانه (موجود بر فایل) با پلکتروم[7]، فرکانس پایه: طول موج غالب یک آواز، چیرپ[8]: آوازهای کوتاه و بریده متشکل از یک یا چند سیلابل، ترل[9]: آوازی گوش‌خراش و متشکل از اکم‌های پیوسته و بلند.

آنالیز ویژگی‌های صوتی توسط نرم افزار MATLAB صورت پذیرفت. باتوجه به این‌که هر صدا متشکل از صدها اکم و سیلابل می‌باشد؛ قطعاتی از آن به‌صورت تصادفی برش داده شده و حداقل ۵۰ اکم در هر دما، جهت پردازش انتخاب شده و نتایج آن در نمودارهای مربوطه ترسیم گردیدند. جهت برآورد حداقل اختلاف معنی‌دار، ویژگی‌های صوتی استخراج شده طی آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) توسط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

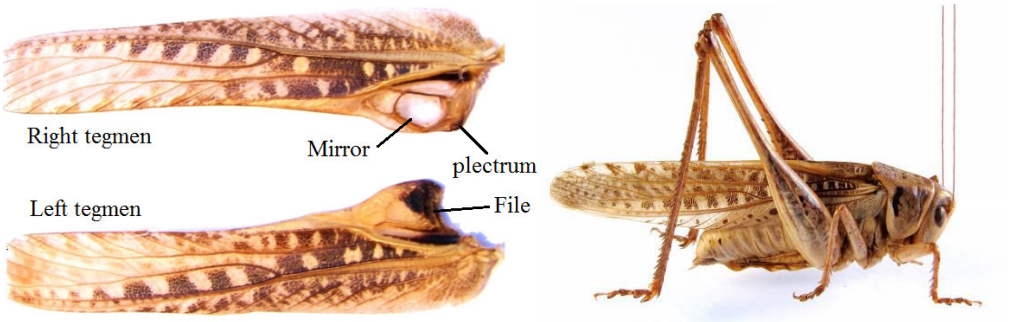
[1]- Echeme repetition rate
[2]- Echeme duration
[3]- Syllable duration
[4]- Inter-echeme interval
[5]- Dominant frequency
[6]- Impulse
[7]- Plectrum
[8]- Chirp
[9]- Trill

نتایج

الف) دستگاه تولید صدا

ملخ پیشانی‌سفید از زیر خانواده Tettigoniinae بوده و دستگاه تولید صدا (دندانه‌های فایل[1]، پلکتروم و آیینه) در این گونه نیز همانند سایر ملخ‌های شاخک‌بلند، در قاعده بال‌های جلویی قرار گرفته است. حشره نر از مالش سریع پلکتروم (یا اسکریپر) موجود در سطح فوقانی بال‌پوش راست با دندانه‌های فایل اقدام به تولید سیگنال‌های صوتی می‌نماید.

دندانه‌های فایل از تغییر شکل رگبال A_1 در سطح زیرین بال‌پوش چپ تشکیل یافته که آرشه نامیده می‌شود (Desutter-Grandcolas, 2003) (شکل۱). پلکتروم ساختاری به‌شدت اسکلروتینه است که در بالای آیینه قرار گرفته و رگبال تشکیل دهنده آن با قاب آیینه در ارتباط می‌باشد.



شکل۱- حشره نر (راست) و دستگاه تولید صوت در قاعده بال‌پوش‌های حشره نر (چپ) *D. albifrons* (اصلی)

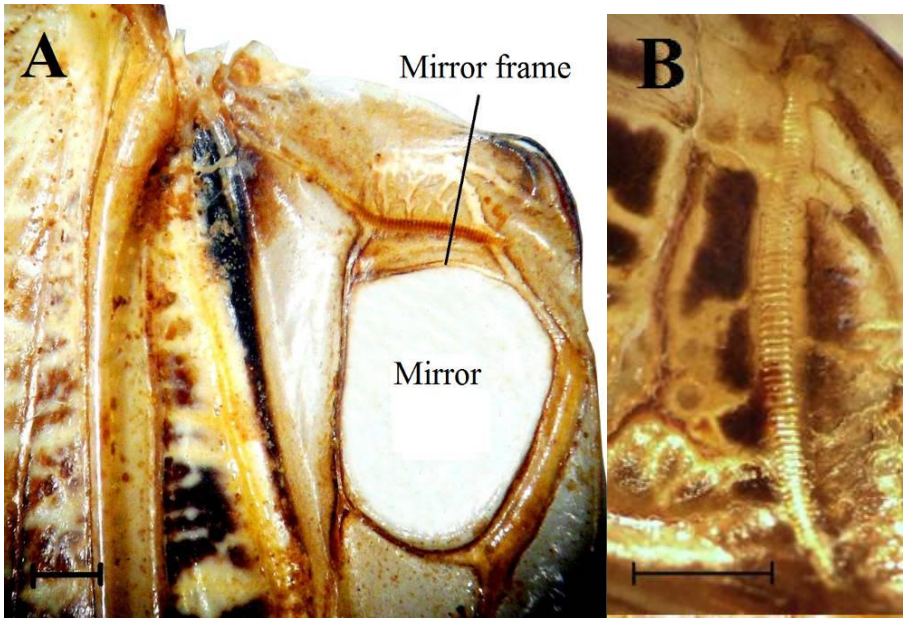
Fig. 1- Male (right) and the sound-producing organs in basal part of male tegmina (left) in *D. albifrons* (Original)

ارتعاشات حاصل از اصطکاک پلکتروم و آرشه، به آیینه و قاب آن منتقل می‌گردد. آیینه دارای غشایی بسیار نازک و شفاف بوده و قاب آن شامل رگبال‌های متورمی است که اطراف آن را احاطه کرده است. آیینه در ارتعاشات سریع بال نقش دارد؛ بدین صورت که با هر ایمپالس، بر اساس ویژگی‌های ارتجاعی کوتیکول با فرکانس خاصی به ارتعاش در می‌آید. بررسی دستگاه تولید صدای هشت فرد نر نشان داد که فایل متشکل از ۹۱-۷۷ دندانه عریض اسکلروتینه در سطح زیرین بال‌پوش چپ است که به‌صورت ردیفی و منظم پشت سر هم چیده شده‌اند. طول فایل ۳/۷۴±۰/۳۲ میلی‌متر بوده و تعداد دندانه‌ها در واحد سطح ۲۲/۴۶ (دندانه در هر میلی‌متر)[2] برآورد گردید. اندازه تقریبی هر دندانه ۴۴ میکرومتر می‌باشد (شکل۲).

در زمان تولید صدا بر اساس موقعیت قرار گرفتن آرشه و اسکریپر، بال‌پوش چپ روی بال‌پوش راست (برخلاف اکثر جیرجیرک‌ها و آبدزدک‌ها) قرار داده می‌شود. همچنین برخلاف اکثر جیرجیرک‌ها و آبدزدک‌ها که افراد در زمان آوازخوانی بال‌پوش‌های خود را با زاویه خاصی از بدن بالا برده و کمی نیز به طرفین بدن گسترش می‌دهند (Jafari *et al.*, 2015)؛ بر اساس مشاهدات نگارندگان، ملخ پیشانی‌سفید، بال‌های جلویی خود را تقریبا هم‌سطح بدن قرار داده و با باز و بسته کردن

[1]- File teeth
[2]- Teeth/mm

سریع آن‌ها (درحالت افقی) اقدام به تولید سیگنال‌های صوتی می‌نماید. حشرات کامل در مناطق مورد مطالعه از اواخر خردادماه اقدام به تولید آواز فراخوانی کرده و در شرایط محیطی ایده‌ال تا اواخر شهریورماه نیز قابل مشاهده می‌باشند.



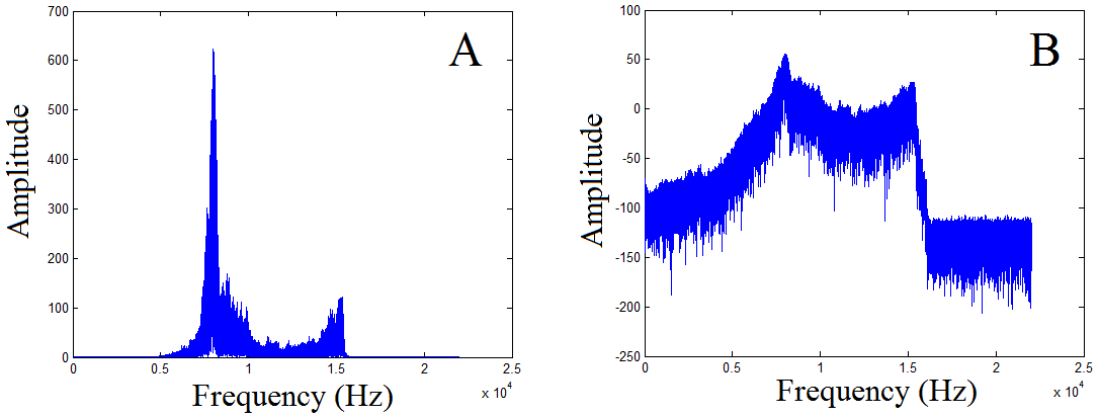
شکل۲- A) آیینه در سطح خارجی بال‌پوش راست، B) دندانه‌های فایل در سطح داخلی بال‌پوش چپ؛
میله مقیاس= یک میلی‌متر (اصلی)

Fig. 2-. A) The mirror in dorsal part of right tegmen, B) File teeth in ventral part of left tegmen; Scale bars=1mm (Original)

ب) تاثیر دما در ویژگی‌های صوتی

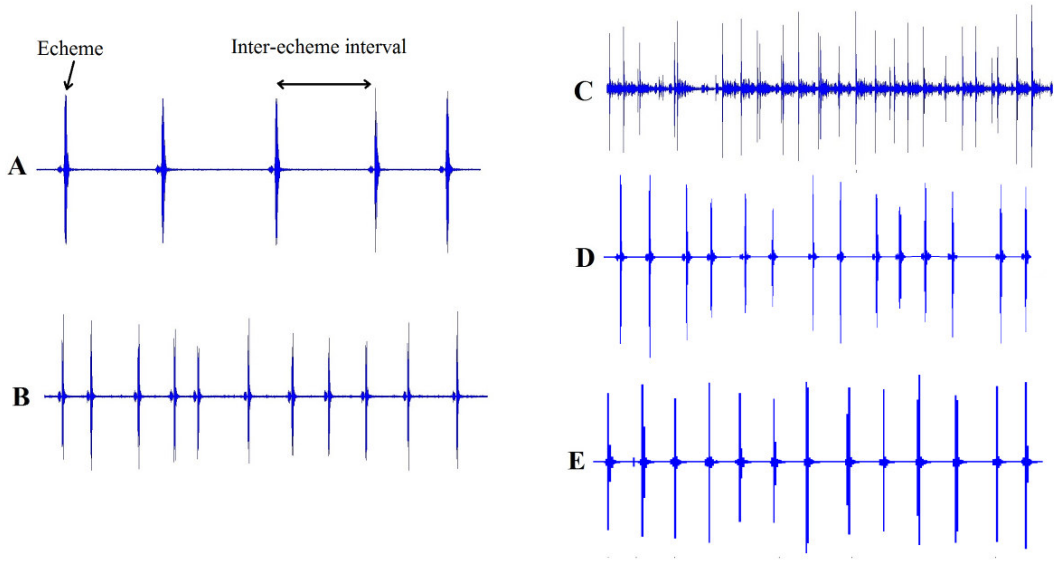
صدای تولید شده به‌قدری بلند می‌باشد که حتی از فاصله بیش از صد متری هم به‌گوش می‌رسد. آواز فراخوانی از نوع چیرپ بوده و از اکم‌های کوتاه و منظم تشکیل یافته است که با افزایش دما سرعت چیرپ‌ها افزایش می‌یابد. در طول انجام این تحقیق هیچ صدایی از افراد ماده شنیده نشد. وقفه بین اکم‌ها در دماهای مختلف بسیار متفاوت بوده و از حداقل پنج میلی‌ثانیه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس تا حداکثر ۴۴۰ میلی‌ثانیه در دمای ۱۸ درجه سلسیوس متغییر می‌باشد. فرکانس غالب صوتی توسط نمودارهای تبدیل سریع فوریه[1] (FFT) و چگالی طیف توان[2] (PSD) در محدوده ۱۱۰۰۰- ۷۷۳۰ هرتز برآورد گردید (شکل۳). با توجه به ثابت بودن الگوی صدا در هر گونه، برخی پارامترها مانند درجه حرارت محیط قادر به ایجاد تغییراتی بر مشخصه‌های صوتی در محدوده خاصی هستند. با افزایش دما بر اساس معادله آرنیوس، رسیدن به آستانه انرژی واکنش‌های شیمیایی مربوط به انقباضات ماهیچه‌های بالی سریع‌تر روی داده و سرعت باز و بسته کردن بال‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین تعداد اکم‌ها در هر ثانیه افزایش یافته و وقفه بین اکم‌ها کاهش می‌یابد (شکل۴).

[1]- Fast Fourier Transforms (FFT)
[2]- Power Spectral Density (PSD)



شکل۳- نمودارهای A) تبدیل سریع فوریه، B) چگالی طیف توان در آواز فراخوانی *D. albifrons* (اصلی)

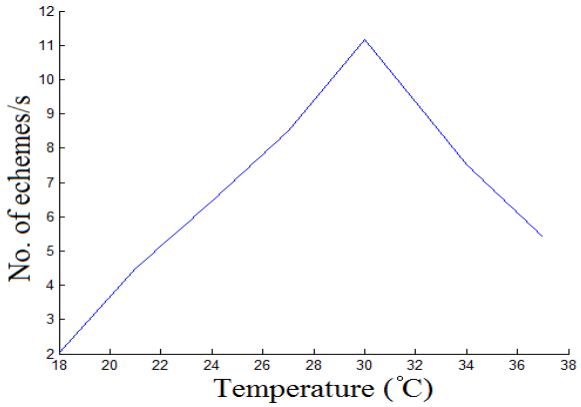
Fig. 3- A) Fast Fourier Transforms, B) Power Spectral Density in calling song of *D. albifrons* (Original)



شکل۴- توالی اکم‌های آواز فراخوانی *D. albifrons* در مدت زمان ۲ ثانیه در دماهای: A) ۱۸ درجه سلسیوس، B) ۲۴ درجه سلسیوس، C) ۳۰ درجه سلسیوس، D) ۳۴ درجه سلسیوس، E) ۳۷ درجه سلسیوس.

Fig. 4- Echeme sequences in calling song of *D. albifrons* in 2s at: A) 18 ºC, B) 24 ºC, C) 30 ºC, D) 34 ºC, E) 37 ºC.

با توجه به این‌که آواز فراخوانی ملخ پیشانی سفید از نوع چیرپ می‌باشد؛ هم‌زمان با افزایش سرعت بال‌زدن، سرعت چیرپ‌ها در واحد زمان افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت باز و بسته کردن بال‌ها علاوه بر سرعت چیرپ‌ها، بسیاری از مشخصه‌های صدا تحت تاثیر این امر قرار می‌گیرند؛ به‌عنوان مثال تعداد اکم‌ها در هر ثانیه افزایش یافته و وقفه بین اکم‌ها کاهش می‌یابد. شکل ۵ رابطه بین دمای محیط و تعداد اکم‌ها در هر ثانیه را در گونه مذکور نشان می‌دهد. افزایش سرعت اکم‌ها تا دمای ۳۰ درجه سلسیوس مشاهده گردیده و پس از دمای فوق، سرعت اکم‌ها کاهش می‌یابد.



شکل۵- رابطه بین دما و تعداد اکم‌ها در ثانیه در آواز فراخوانی ملخ *D. albifrons*؛ هر نقطه بیانگر میانگین سرعت اکم‌های صوتی در دمای مربوطه می‌باشد

Fig. 5- Echemes rate versus temperature in calling song of *D. albifrons*; each point represents the average echemes rate at a given temperature

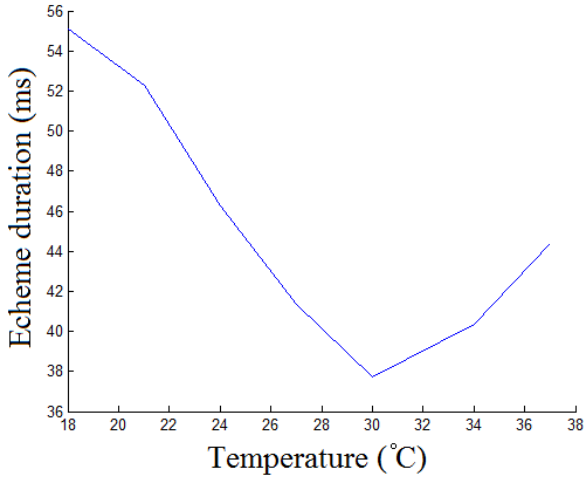
با عنایت به افزایش سرعت باز و بسته کردن بال‌ها، مدت زمان لازم برای هر اکم و سیلابل رابطه عکس با افزایش دما دارند که همانند وقفه بین اکمی، با افزایش دما کاهش می‌یابند. ولی این رابطه تا درجه حرارت ۳۰ درجه سلسیوس برقرار بوده و پس از آن افزایش دما باعث افزایش اندک مدت زمان هر اکم می‌گردد. ویژگی‌های استخراج شده صوتی جهت برآورد حداقل میزان معنی‌داری تا دمای بهینه، توسط آزمون تحلیل واریانس مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در جدول ۱ قید گردید. با افزایش دما، کاهش مدت زمان مورد نیاز هر سیلابل معنی‌دار نمی‌باشد. وقفه بین دو سیلابل موجود در یک اکم ۱۲-۴ میلی‌ثانیه برآورد گردیده که مشاهدات نشان دادند این مقدار عددی در دماهای مختلف در همین محدوده بوده و تقریبا ثابت می‌باشد، بنابراین معنی‌دار نبودن مدت زمان لازم برای اکم‌ها با توجه به غیرمعنی‌دار بودن مدت زمان سیلابل‌های هر اکم و وقفه بین سیلابلی کاملا محرز می‌باشد (شکل۶).

جدول۱- نتایج آزمون تحلیل واریانس مشخصه‌های صوتی و درجه حرارت تا دمای بهینه

Table1- Results of the analysis of variance between acoustical characters and temperature until optimum temperature

Acoustical characters	Sum of Squares	d.f.	Mean Square	F	P
Syllable duration (ms)					
Between groups	967	4	241	26	ns
Within groups	803	88	9		
Total	1771	92			
Inter-syllable interval (ms)					
Between groups	57	4	14	2	ns
Within groups	484	95	5.098		
Total	541	99			
Echeme duration (ms)					
Between groups	3422	4	855	16	ns
Within groups	4488	85	52		
Total	7911	89			
Inter-echeme interval (ms)					
Between groups	1293518.032	4	323379	310	0.0001
Within groups	111445	107	1041		
Total	1404963	111			
Frequency (kHz)					
Between groups	60535714	4	15133928	844	0.0001
Within groups	841957.058	47	17913		
Total	61377671	51			

Note: ns, $P > 0.05$.

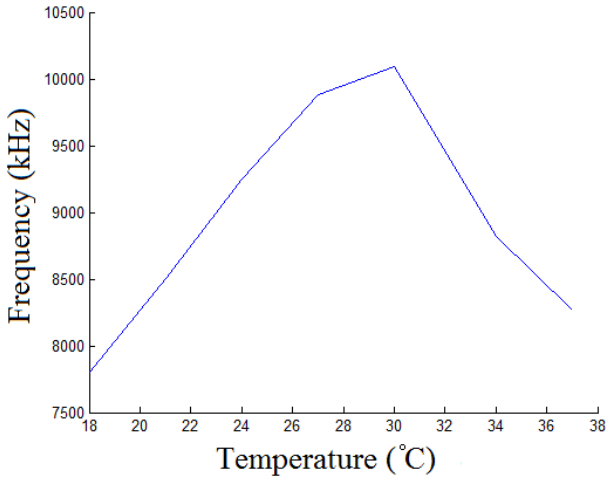


شکل۶- رابطه بین دما و مدت زمان اکم‌ها در آواز فراخوانی ملخ *D. albifrons*؛ هر نقطه بیانگر میانگین مدت زمان هر اکم در دمای مربوطه می‌باشد

Fig. 6- Echemes duration versus temperature in calling song of *D. albifrons*; each point represents the average echemes duration at a given temperature

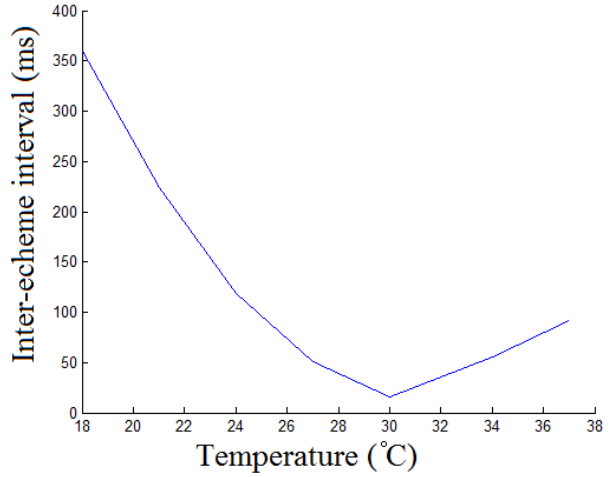
هم‌زمان با افزایش سرعت اکم‌ها تا دمای بهینه، باتوجه به این‌که فرکانس به‌صورت سیکل در ثانیه تعریف شده است (Obrist *et al.*, 2010)؛ فرکانس سیگنال‌های صوتی نیز تا دمای ۳۰ درجه سلسیوس در محدوده تعریف شده برای گونه افزایش می‌یابد. شکل ۷ میزان تغییرات فرکانس صوتی و نمودار مربوط به تغییرات فرکانس صوتی ملخ پیشانی سفید را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. فرکانس صوتی ملخ پیشانی سفید حدود ۱۱۰۰۰-۷۷۳۰ هرتز است که از دمای ۱۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس هم‌زمان با افزایش دما و افزایش سرعت چیرپ‌ها در واحد زمان، فرکانس سیگنال‌های صوتی نیز افزایش یافته و حداکثر میزان آن در دمای ۳۰ درجه سلسیوس برابر با ۱۰۹۳ هرتز برآورد گردید. پس از گذشتن از دمای ۳۰ درجه، دارای شیب نزولی گشته و در نهایت بدون تغییرات محسوسی در محدوده ۸۵۰۰-۸۰۰۰ هرتز نوسان می‌نماید.

وقفه بین اکم‌ها در تمامی افراد ملخ پیشانی سفید مورد مطالعه در این تحقیق، از دمای ۱۸ تا ۳۰ درجه سلسیوس کاهش قابل توجهی داشته و با شیب تندی به حداقل مقدار (پنج میلی‌ثانیه) میل کرده است. پس از گذشتن از دمای مذکور، وقفه بین اکم‌ها با شیب افزایشی ملایمی تا دمای ۳۷ درجه سلسیوس مواجه می‌گردند (شکل۸). بر پایه این مطالعه، می‌توان دمای مذکور (۳۰ درجه سلسیوس) را درجه حرارت بهینه آواز فراخوانی ملخ پیشانی سفید تعیین نمود.



شکل۷- رابطه بین دما و فرکانس صوتی در آواز فراخوانی ملخ *D. albifrons*؛ هر نقطه بیان‌گر میانگین فرکانس‌های صوتی در دمای مربوطه می‌باشد.

Fig. 7- Frequency versus temperature in calling song of *D. albifrons*; each point represents the average frequency at a given temperature

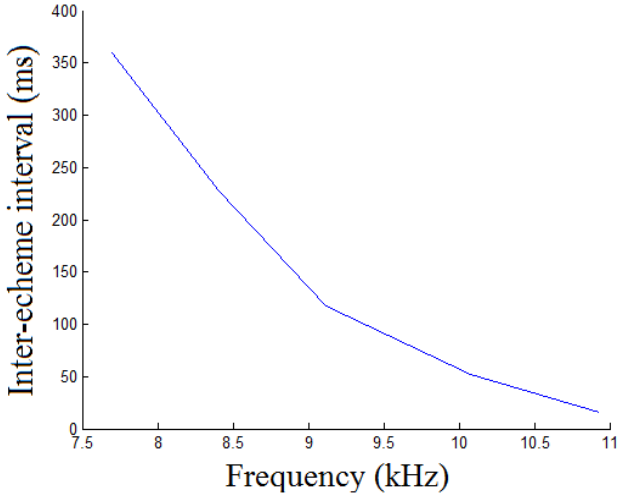


شکل۸. رابطه بین دما و وقفه بین اکم‌ها در آواز فراخوانی ملخ *D. albifrons*؛ هر نقطه بیان‌گر میانگین وقفه بین اکمی در دمای مربوطه می‌باشد.

Fig. 8-Inter-echeme interval versus temperature in calling song of *D. albifrons*; each point represents the average inter-echeme interval at a given temperature.

معنی‌دار بودن افزایش فرکانس صوتی تا دمای بهینه حاصل برآیند فاکتورهای مختلفی از قبیل کاهش مدت زمان مورد نیاز هر سیلابل، کاهش وقفه بین سیلابلی، کاهش مدت زمان مورد نیاز هر اکم و نیز کاهش وقفه بین اکم‌ها می‌باشد. با توجه به معنی‌دار نبودن مدت زمان سیلابل‌ها و وقفه بین سیلابلی، مدت زمان مورد نیاز اکم‌ها نیز معنی‌دار نمی‌باشد. در مقابل وقفه بین اکمی هم‌زمان با افزایش دما تا دمای بهینه دارای تفاوت معنی‌داری بوده و این مسئله در جدول تجزیه واریانس مشهود می‌باشد. بنابراین باتوجه به‌موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که کاهش وقفه بین اکم‌ها بیشترین تاثیر را در افزایش فرکانس صوتی گونه مورد مطالعه داشته و این نتیجه الزاما در مورد سایر گونه‌ها صادق نمی‌باشد. ارتباط بین

فرکانس صوتی و وقفه بین اکم‌ها تا دمای بهینه در نمودار شکل ۹ ترسیم شده و این نمودار دارای شیب نزولی می‌باشد. شیب نزولی نمودار فوق بدین معناست که همزمان با افزایش فرکانس، وقفه بین اکم‌ها کاهش می‌یابد.



شکل۹. ارتباط بین وقفه بین اکم‌ها و فرکانس صوتی تا دمای بهینه در آواز فراخوانی ملخ *D. albifrons*؛ هر نقطه بیانگر میانگین وقفه بین اکمی در فرکانس مربوطه می‌باشد

Fig. 8- Inter-echeme interval versus frequency until optimum temperature in calling song of *D. albifrons*; each point represents the average inter-echeme interval at a given frequency

بحث

سیر صعودی و نزولی تمام پارامترهای صوتی مورد مطالعه (بدون در نظر گرفتن شدت شیب آن‌ها) در تحقیق حاضر تا دمای بهینه، با مطالعات مترانی و بالاک‌ریشنان که به تاثیر درجه حرارت محیط بر ویژگی‌های صوتی چهار گونه جیرجیرک درختی *Oecanthus* spp. در محدوده ۱۶-۳۰ درجه سلسیوس پرداخته‌اند مطابقت دارد (Metrani & Balakrishnan, 2005).

همچنین بر اساس پژوهش دوهرتی بر تاثیر درجه حرارت‌های مختلف محیطی بر آواز فراخوانی جیرجیرک *Gryllus bimaculatus* (De Geer, 1773) در محدوده دمایی ۳۳-۱۵ درجه سلسیوس مشخص گردیده که سرعت چیرپ‌ها و سیلابل‌ها تا دمای ۲۴ درجه سلسیوس افزایش یافته و پس از آن تا دمای ۳۳ درجه سلسیوس بعد از افزایش ناچیزی تقریبا ثابت مانده است. (Doherty, 1985) روند افزایشی و کاهشی مشخصه‌های صوتی جیرجیرک دولکه‌ای نیز منطبق با تحقیق حاضر بوده با این تفاوت که دمای بهینه برای حشره فوق ۲۴ درجه سلسیوس تعریف گردیده که بر اساس ویژگی‌های خاص هر گونه، دمای مطلوب و شیب منحنی‌ها متفاوت خواهند بود.

با افزایش دما انرژی جنبشی مولکول‌های آنزیم‌ها و پروتئین‌ها افزایش یافته و در نهایت زنجیر پلی‌پپتیدی تشکیل دهنده آنزیم‌ها واسرشته می‌شود. زیرا فعالیت حیاتی ماکرومولکول‌هایی مانند پروتیین‌ها به ساختمان فضایی آن‌ها وابسته است. همچنین در شرایط دمایی بالاتر از دمای بهینه، نوعی پروتیین به‌نام پروتیین‌های تنش[1] ساخته می‌شود که مانع

[1]- Stress proteins

تاخوردگی پروتیین‌های دیگر شده و یا در حذف پروتیین‌ها و بقای ارگانیسم‌ها در شرایط تنش‌زا دخالت دارند (Currie & Tufts, 1997; Kolb, 2001). نگارندگان تصور می‌نمایند کاهش سرعت اکم‌ها پس از دمای بهینه، می‌تواند مربوط به صرف انژی بیشتر جهت سنتز پروتیین‌های تنش یا افزایش تنفس حشره در دمای بالا باشد؛ بدین ترتیب که در درجه حرارت‌های بالای محیطی، حشره جهت خنک کردن بدن و متعادل نگه داشتن دمای داخلی برای انجام واکنش‌های بیوشیمیایی و پایداری پروتئین‌های ضروری نیاز به افزایش سرعت تنفس دارد. این مسئله باعث می‌شود مقداری از انرژی موجود در ماهیچه‌های بالی صرف افزایش فعالیت‌های تنفسی گشته و پس از دمای بهینه سرعت بال زدن حشره و در نتیجه سرعت چیرپ‌ها کاهش یابد.

مطالعات مارتین بر تغییرات ویژگی‌های صوتی جیرجیرک *Gryllus integer* (Scudder, 1901) در طیف دمایی ۱۹-۳۲ درجه سلسیوس نشان داد که اولا باتوجه به این‌که آواز فراخوانی گونه مذکور از نوع ترل می‌باشد؛ طول ترل‌ها، وقفه بین ترل‌ها و وقفه سیلابلی از دمای ۱۹ تا ۳۲ درجه سلسیوس روند کاهشی داشته و در مقابل فرکانس و سرعت سیلابل‌ها با روند افزایشی مواجه گردیده‌اند. ثانیا ویژگی‌هایی از قبیل تعداد سیلابل در هر ترل و تعداد سیلابل‌های از دست رفته هر ترل تحت تاثیر دمای محیط قرار نمی‌گیرند (Martin *et al.*, 2000).

علاوه بر موارد فوق، تحقیقات وسیع دانشمندان مختلف در زمینه تاثیر دمای محیط روی مشخصه‌های صوتی گونه‌های مختلف نشان داده است که در تمامی آن‌ها سرعت اکم‌ها، سرعت سیلابل‌ها (یا پالس‌ها) و فرکانس با بالا رفتن دما افزایش می‌یابند (Walker, 1962; Souroukis *et al*., 1992; Toms *et al.*, 1993; Walker & Cade 2003; Arias *et al.*, 2012).

با مقایسه شیب منحنی‌های مختلف در چند گونه مشخص گردید که شیب افزایش یا کاهش ویژگی‌های صوتی در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشند و می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که همان‌طور که دستگاه زادآوری افراد نر، صدای فراخوانی و دستگاه تولید صدای هر گونه مختص آن گونه است، تغییرات ویژگی‌های صوتی هر گونه در دماهای متفاوت نیز اختصاصی گونه بوده و تحت کنترل ژن‌های آن‌ها می‌باشند.

References

Arias, A., Márquez, R., Llusia, D., Beltrán, J. F., Slimani, T., Radi, M., Fattah, A. and Mouden, H. 2012. Effects of temperature on the song parameters of the Moroccan bushcricket *Eugaster spinulosa* (Orthoptera, Tettigoniidae). Bioacoustics, 21(3): 225–238.

Bertram, S. M., Schade, J. D. and Elser, J. J. 2006. Signaling and phosphorus: Correlations between mate signaling effort and body elemental composition in crickets. Animal Behavior, 72:899–907.

Brown, W. D., Wideman, J., Andrade, M. C. B., Mason, A. C. and Gwynne, D. T. 1996. Female choice for an indicator of male size in the song of the Black-horned tree cricket. *Oecanthus nigricornis* (Orthoptera: Gryllidae: Oecanthinae). Evolution, 50: 2400–2411.

Currie, S., and Tufts, B. 1997. Synthesis of stress protein 70 (Heat Shock Protein 70) in rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) red blood cells. Journal of Experimental Biology, 200: 607–614.

Desutter-Grandcolas, L. 2003. Phylogeny and the evolution of acoustic communication in extant ensifera (Insecta, Orthoptera). Zoologica Scripta, 32(6): 525–561.

Doherty, J. A. 1985. Temperature coupling and trade-off phenomena in the acoustic communication system of the crickets, *Gryllus bimaculatus* De Geer (Gryllidae). Journal of Experimental Biology, 114:17–35.

Doherty, J. A. and Callos, D. 1991. Acoustic communication in the trilling field cricket, *Gryllus rubens* (Orthoptera: Gryllidae). Insect Behavior, 4: 67–82.

Dolbear, A. 1897. The cricket as a thermometer. The American Naturalist, 31: 970–971.

Drosopoulos, S. and Claridge, M. F. 2006. Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution. Boca Raton, FL: CRC Press, 552 pp.

Eades, D. C., Otte, D., Cigliano, M. M. and Braun, H. 2015. Orthoptera Species File. http://orthoptera.speciesfile.org/common/editTaxon/Distribution/ShowDistribution.aspx?TaxonNameID=1142922. [Accessed on 2 January 2015].

Fonseca, P. J., Revez, M. A. 2002. Temperature dependence of cicada songs (Homoptera, Cicadoidea). Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology, 187: 971–976.

Gerhardt, H. C. and Huber, F. 2002. Acoustic communication in insects and anurans: Common problems and diverse solutions. Chicago: University of Chicago Press, 542 pp.

Gu, J. J., Montealegre, Z. F., Robert, D., Engel, M. S., Qiao, G. X. and Ren, D. 2012. Wing stridulation in a Jurassic katydid (Insecta, Orthoptera) produced low-pitched musical calls to attract females. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(10): 3868–3873.

Hao, Y., Campana, B. and Keogh, E. 2012. Monitoring and mining animal sounds in visual space. Insect Behavior, 25(6): 1–28.

Hedrick, A. V. and Weber, T. 1998. Variance in female responses to the fine structure of male song in the field cricket, *Gryllus integer*. Behavior Ecology, 9: 582–591.

Heller, K. G. 2006. Song evolution and speciation in bush-crickets. In: Drosopoulos S, Claridge MF. (Eds) Inst sounds and communication: physiology, behavior, ecology and evolution. CRC Press, Boca Raton (FL), USA. 532 pp.

Hoback, W. W. and Wagner, W. E. 1997. The energetic cost of calling in the variable field cricket, *Gryllus lineaticeps*. Physiological Entomology, 22: 286–290.

Holzer, B., Jacot, A. and Brinkhof, M. W. G. 2003. Conditiondependent signaling affects male sexual attractiveness in field crickets, *Gryllus campestris*. Behavior Ecology, 14: 353–359.

Howard, D. R. and Hill, P. S. M. 2006. Morphology and calling song characteristics in *Gryllotalpa major* (Orthoptera: Gryllotalpidae). Orthoptera Research, 15: 53–57.

Hunt, J., Jennions, M. D., Spyrou, N. and Brooks, R. 2006. Artificial selection on male longevity influences age dependent reproductive effort in the Black field cricket *Teleogryllus commodus*. The American Naturalist, 168: 72–86.

Iorgu, I. S. and Iorgu, E. I. 2010. A new species of *Isophy* (Orthoptera: Phaneropteridae) from the Romanian Carpathian Mountains. Travaux du Muséum d'Histoire Naturelle Grigore Antipa, 53: 161–170.

Jafari, S., Kazemi, M. H. and Lotfalizadeh, H. 2015. Acoustic burrow structure of European mole cricket, *Gryllotalpa gryllotalpa* (Orth.: Gryllotalpidae) in north-western Iran. North-Western Journal of Zoology, 11(1): 58–61.

Kolb, V. A. 2001. Cotranslational protein folding. Molecular biology, 35(4): 584–590.

Kowalski, K. and Lakes-Harlan, R. 2010. Sounds, behavior, and auditory receptors of the Armored ground cricket, *Acanthoplus longipes*. Insect Science, 10(59): 1–15.

Martin, S. D., Gray D. A. and William H. C. 2000. Fine-scale temperature effects on cricket calling song. Canadian Journal of Zoology, 78: 706–712.

Metrani, S. and Balakrishnan, R. 2005. The utility of song and morphological characters in delineating species boundaries among sympatric tree crickets of the genus *Oecanthus* (Orthoptera: Gryllidae: Oecanthinae): A numerical taxonomic approach. Journal of Orthoptera Research, 14(1): 5–20.

Obrist, M. K., G. Pavan, J. Sueur, K. Riede, D. Llusia and Marquez. R. 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. Abc Taxa, 8: 68–99.

Oliveira, P., Simoes, P. and Quartau, J. 2001. Calling songs of certain orthopteran species (Insecta, Orthoptera) in southern Portugal. Animal Biodiversity and Conservation, 24: 65–79.

Otte, D. 1992. Evolution of cricket songs. Journal of Orthoptera Research, 1: 25–49.

Prestwich, K. N., Walker, T. J. 1981. Energetics of singing in crickets: Effect of temperature in three trilling species (Orthoptera: Gryllidae). Journal of Comparative Physiology, 143: 199–212.

Ragge, D. R. and Reynolds, J. W. 1998. The songs of the grasshoppers and crickets of western Europe. Harley Books, Essex, 591 pp.

Sanborn, A. F. 2006. Acoustic signals and temperature. In: Drosopoulos S, Claridge MF, editors. Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution. Boca Raton, Florida: CRC Taylor & Francis, pp: 111–125.

Shojaei, M. 2013. Entomology: Classification and evolutionary perspective. Habitate adaptability. University of Tehran Press, 553 pp. (in Persian).

Sevgili, H., Ciplak, A., Demirsoy, A. and Çiplak, B. 2012. Description and bioacoustics of a new species of the genus *Isophya* (Orthoptera: Tetigoniidae: *Phaneropterinae*) from Turkey. Zootaxa, 3361: 33–44.

Souroukis, K., Cade, W. H. and Rowell, G. 1992. Factors that possibly influence variation in the calling song of field crickets: Temperature, time, and male size, age, and wing morphology. Canadian Journal of Zoology, 70: 950–955.

Sueur, J. and Sanborn, A. F. 2003. Ambient temperature and sound power of cicada calling songs (Hemiptera: Cicadidae: *Tibicina*). Physiological Entomology, 28: 340–343.

Toms, R. B., Ferguson, J. W. H. and Becker, S. 1993. Relationship between body temperature and air temperature in stridulating male crickets, *Gryllus bimaculatus* (Orthoptera: Gryllidae). African Zoology, 28: 71–73.

Ulagaraj, S. M. and Walker, T. J. 1975. Response of flying mole crickets to three parameters of synthetic songs broadcast outdoors. Nature, 253: 530–532.

Walker, T. J. 1962. The taxonomy and calling songs of United States tree crickets (Orthoptera: Gryllidae: Oecanthinae). I. The genus *Neoxabea* and the *niveus* and *varicornis* groups of the genus *Oecanthus*. Annals Entomological Society of America, 55: 303–322.

Walker, T. J. 1974. Effects of temperature, humidity and age on stridulatory rates in *Atlanticus* spp. (Orthoptera: Tettigonidae: Decticinae). Annals of the Entomological Society of America, 68(3): 607–611.

Walker, T. J. 1998. Trilling field crickets in a zone of overlap (Orthoptera: Gryllidae: *Gryllus*). Annals of the Entomological Society of America, 91: 175–184.

Walker, S. E. and Cade, W. H. 2003. The effects of temperature and age on calling song in a field cricket with a complex calling song, *Teleogryllus oceanicus* (Orthoptera: Gryllidae). Canadian Journal of Zoology, 81: 1414–1420.

Zuk, M. 1987. Variability in attractiveness of male field crickets (Orthoptera: Gryllidae) to females. Animal Behavior, 35: 1240–1248.

Journal of Entomological Research
Volume 7, Issue 3, pages: 233-247

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

Effects of temperature on calling song parameters of White faced bush cricket, *Decticus albifrons* (Ensifera: Tettigoniidae)

Sh. Jafari[1*], M. H. Kazemi[2], M. Shojaei[3], H. Lotfalizadeh [4], M. Mofidi-Neyestanak[5]

1- Graduated student of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
3- Professor, Department of Plant Protection, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
4- Associate Professor**,** Department of Plant Pests and Diseases, Agricultural and Natural Resources Research Center of East Azarbaijan, Tabriz, Iran
5- Assistant Professor, Insect Taxonomy Research Department & Hayk Mirzayans Insect Museum, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Abstract

Most males of katydids stridulate in mating. Calling song has important role in reproductive successes. In the present work, the stridulatory organ of White faced bush cricket, *Decticus albifrons* (Fabricius, 1775) was described and an analysis for possible relationship of song parameters with temperature in range of 18-37°C was provided. The calling song is chirp and consists of short echemes. The file length was 3.74±0.32 mm and composed of 77-91 teeth that there is about 22.46 teeth per mm. The inter-echeme interval, echemes and syllables duration showed inverse relationship with temperature in 18-30°C, whereas the dominant frequency, rate of echemes and syllables increase within this range of temperature. The entire curves were reversed after 30°C; consequently, this point was determined as the optimal temperature for calling song of *D. albifrons*. Among song parameters of White faced bush cricket, echemes rates, dominant frequency and inter-echeme interval have significant differences in different temperature.

Key words: White faced bush cricket, Song parameters, Tettigoniidae, Echemes rate, Chirp

* Corresponding Author, E-mail*: shabnamjafari60@gmail.com*
Received: 10 Jan. 2015 – Accepted: 7 July. 2015