

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ  
رشد و نمو مراحل مختلف رشدی\* زنبور پارازیتوئید  
*Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae)

Comparison of non-linear models for predicting developmental rate of  
different life stages of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae)

مریم فروزان<sup>۱</sup>، احد صحراگرد<sup>۱\*</sup> و مسعود امیرمعافی<sup>۲</sup>  
۱- گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان  
۲- موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، تهران  
(تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۸۳، تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۸۶)

#### چکیده

رابطه بین دما و نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) در ده دما از ۱۶ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. طول دوره رشدی مراحل مختلف زنبور پارازیتوئید در دماهای متغیر بدست آمد. هفت مدل غیرخطی مربوط به اثر دما روی نرخ رشد و نمو حشره با داده‌ها انطباق داده شد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که مدل‌های Logan 1 و Stinner (بر اساس  $r^2$ ) به خوبی با داده‌های مراحل مختلف رشدی *H. hebetor* انطباق دارند. در این بررسی روابط مربوط به هر یک از مدل‌های فوق برای کلیه مراحل رشدی پارازیتوئید نیز ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: *Habrobracon hebetor* Braconidae، دما، مدل‌های غیر خطی

---

\*این مقاله بر اساس نتایج پایان نامه دوره کارشناسی ارشد نگارنده اول ارایه گردیده است.

\*\* Corresponding author: sahragard@guilan.ac.ir

## مقدمه

زنبور پارازیتوئید، *Habrobracon hebetor* Say پارازیتوئید خارجی، Idiobiont و اجتماعی لارو تعداد زیادی از پروانه‌ها است (Quicke & Van Achterberg, 1990). این زنبور پارازیتوئید، از ایران برای اولین بار، توسط Farahbakhsh (1961) از ورامین جمع‌آوری و گزارش شده است. استفاده از زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به عنوان عامل کنترل بیولوژیک جهت کنترل لارو *sp. Heliothis* در ایران از سال ۱۳۷۴ با تولید ۲۵۰۰۰۰ زنبور و رهاسازی آن‌ها در سطح ۲۲۳۰ هکتار از مزارع کشور آغاز گردید. در طی ۹ سال، میزان تولید این زنبور پارازیتوئید به ۱۵۷۶۰۰۰۰ عدد رسید و سطح زیر پوشش کنترل بیولوژیک در طی این مدت حدود ۶ برابر شد که علیه لارو آفات مهم گیاهان زراعی مانند پنبه، ذرت، گوجه فرنگی، سویا و نخود بکار می‌رود (Anonymous, 2004).

بسیاری از فرایندهای اکولوژیک تحت تأثیر اقلیم و به ویژه دما می‌باشند. لذا بدلیل اینکه وقوع پدیده‌ها در فصول مختلف سال و در مکان‌های مختلف متفاوت است، بنظر می‌رسد مطالعه اثر متقابل بین محیط (به ویژه دما) و رشد حشرات جزء مهم مطالعات اکولوژیک باشد (Cammell & Way, 1987).

اولین بار ۲۵۰ سال قبل Reumore نقش دما را روی رشد و نمو لاروهای یک نوع پروانه مورد بررسی قرار داد (Higley *et al.*, 1986)، از آن تاریخ تا کنون در مورد اثر دما روی توزیع (Mesenger, 1959)، دیابوز (Wagner & Villavaso, 1999)، باروری و دیگر ویژگی‌های بیولوژیک حشرات آفت (Aliniaze, 1976) و دشمنان طبیعی آفات (Lopez *et al.*, 1997; Dreyer *et al.*, ) (1997) مقالات متعددی منتشر شده است. پیش‌بینی نرخ رشد حشرات در طی صد سال گذشته در حشره‌شناسی کاربردی، مورد توجه زیادی قرار گرفته و در این مدت توابع ریاضی متعددی برای توصیف نرخ رشد، به عنوان تابعی از دما پیشنهاد شده است، که قدیمی‌ترین آن‌ها روش روز-درجه (Degree-Day) می‌باشد (Curry *et al.*, 1978). این روش را گاهی روش تخمین خطی رشد نیز بیان می‌دارند. اگر چه رابطه بین دما و رشد در دمای نزدیک به حداقل و حداکثر غیرخطی است، اما چون بیشترین مقدار رشد در بخش خطی منحنی رخ می‌دهد و به دلیل اینکه بسیاری از حشرات بندرت در دماهای بسیار بالا یا پایین قرار می‌گیرند،

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

بنابراین مدل‌های روز-درجه کارایی مناسبی دارند (Young & Young, 1998; Worner, 1992). در حال حاضر مدل‌های روز-درجه به عنوان جزئی مهم در مدیریت تلفیقی آفات می‌باشند (Higley et al., 1986). اطلاعات در این زمینه برای زنبور *H. hebetor* منحصر به مطالعه Adashkevich & Saidova (1987) می‌باشد. این محققان آستانه دمای پایین و بالا را به ترتیب  $12/4$  و  $37/8$  درجه سانتی‌گراد و مجموع دمای مؤثر برای رشد و نمو از تخم تا حشره کامل را  $186/7$  روز-درجه تعیین نموده‌اند. در این پژوهش تأثیر دماهای مختلف روی مراحل رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و برازش آن‌ها با مدل‌های غیرخطی مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### روش بررسی

**تأثیر دما بر طول دوره رشدی مراحل نابالغ:** در این بررسی دماهای  $16$ ،  $18$ ،  $20$ ،  $23$ ،  $25$ ،  $28$ ،  $30$ ،  $32$ ،  $35$  و  $38$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $5 \pm 60$  درصد و طول دوره روشنایی  $16$  و تاریکی  $8$  ساعت اعمال شد. در این آزمایش از کلنی پرورش یافته زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای سن آخر *Galleria melonella* استفاده شد که به عنوان میزبان از کلنی موجود در مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور تهیه شده بود (Mohaghegh & Amirmaafi, 2007). برای هر دما بین  $1400$  تا  $2600$  عدد تخم ( $1-0$  ساعته) زنبور پارازیتوئید از نسل هفتم  $F_7$  که روی لارو میزبان گذاشته شده بود، بصورت تصادفی انتخاب و برای سهولت بررسی، هر لارو میزبان که حامل تخم زنبور پارازیتوئید بود، بصورت انفرادی در داخل ظرف پتری به قطر  $5$  سانتی‌متر که کف آن توسط دستمال کاغذی پوشانده شده بود، قرار داده شد. سپس برای هر دما، گروه مربوطه به  $4$  دسته مساوی تقسیم و در شرایطی که در بالا به آن اشاره شد، به انکوباتور منتقل شد. در مرحله تخم هر  $4$  ساعت یکبار و در مرحله رشدی لارو و شفیره هر  $24$  ساعت یکبار، ظروف پتری بازدید و تعداد و مرحله رشدی مشاهده شده، شمارش و در جداول مربوطه ثبت گردید. کلیه آزمایش‌ها در بخش تحقیقات سن گندم، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، تهران انجام شد.

داده‌های مربوط به نرخ رشد، با هفت مدل غیرخطی به شرح زیر برازش داده شد:

۱- مدل **Exponential**: مدل نمایی بصورت معادله،  $r_{(T)} = \Psi e^{\rho(T-T_{\min})}$  است. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد،  $T$  دما و  $\rho, \Psi$  پارامترهای مدل می‌باشند و  $T_{\min}$  کمترین دمای مورد آزمایش است.

۲- مدل **Exponential T<sub>b</sub>**: این مدل نمایی برای آستانه دمای پائین، تغییر داده شده است و بصورت معادله  $r_{(T)} = e^{\rho(T-T_b)} - 1$  می‌باشد. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد،  $T$  دما و  $T_b, \rho$  پارامترهای این مدل هستند.

۳- مدل **Logan T<sub>b</sub>**: این مدل توسط Logan et al. (1979) ارایه شده است. این مدل رابطه بین نرخ رشد و دما را با استفاده از معادله،  $r_{(T)} = \Psi \left\{ e^{\rho(T-T_b)} - e^{-((T-T_b)/\Delta T)} \right\}$  بیان می‌نماید. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد،  $T$  دما و  $\Delta T, T_b, \rho, \Psi$  پارامترهای این مدل می‌باشند.

۴- مدل **Stinner**: این مدل توسط Stinner et al. (1974) بر اساس مدل سیگموییدی پیشنهاد شده است. این مدل رابطه بین نرخ رشد و دما را با یک زوج معادله به شرح:

$$r_{(T)} = \frac{C}{(1 + e^{(k_1+k_2)(2T_{opt}-T)})}, \langle T_{opt} \rangle (T) \quad \text{و} \quad r_{(T)} = \frac{C}{(1 + e^{(k_1+k_2)T})}, \langle T_{opt} \rangle (T)$$

توصیف می‌کند. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد،  $T$  دما می‌باشند. این مدل دارای ۴ پارامتر  $T_{opt}, k_2, k_1, C$  است.

۵- مدل **Logan 1**: این مدل توسط Logan et al. (1976) بر اساس تفریق دو مدل نمایی مستقل (که نشان دهنده بخش‌های صعودی و نزولی منحنی رابطه نرخ رشد و دما هستند)، ارایه شده است. نرخ رشد بر اساس معادله  $r_{(T)} = \Psi \left( e^{\rho T} - e^{\rho T_{\max} (T_{\max} - T/\Delta T)} \right)$  بیان می‌گردد. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد،  $T$  دما و  $\Delta T, T_{\max}, \rho, \Psi$  پارامترهای مدل هستند.

۶- مدل **Logan 2**: این مدل توسط Logan et al., (1976) با اندکی تغییرات بر اساس مدل

۵ ارایه شده است، که رابطه نرخ رشد و دما بصورت:

$$r_{(T)} = x[(1 + ke^{-\rho T})^{-1} e^{-((T_{\max}-T)/\Delta T)}]$$

بیان شده است. در این معادله  $r_{(T)}$  نرخ رشد و  $T$  دما بود و این معادله دارای ۵ پارامتر

است که عبارتند از:  $\Delta T, T_{\max}, P, K, x$

جدول ۱- میانگین طول دوره رشدی مراحل نابالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دماهای مختلف (در  $5 \pm 0$  درصد رطوبت و طول دوره روشنائی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت و میزان لارو سن آخر *G. melonella*).

**Table 1-** Mean development times (in days) of immature stages of *H. hebetor* reared on *G. melonella* larvae at different temperatures (with a RH of  $60 \pm 5\%$  and 16h. L: 8h. D).

| دما<br>Temp(°C) | تخم (Eggs)  |                           |             | لارو (Larva)              |             |                           | شیره (Pupa) |                           |             | تخم تا حشره ماده (Eggs to Females) |             |                           | تخم تا حشره نر (Eggs to Males) |                           |  |
|-----------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
|                 | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE) | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE) | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE) | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE) | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE)          | تعداد (No.) | Development time(Mean±SE) | تعداد (No.)                    | Development time(Mean±SE) |  |
| 16              | 1500        | 6.27 ± 0.124              | 0.0         | 0.00                      | 0.00        | 0.00                      | 0.00        | 0.00                      | 0.00        | 0.00                               | 0.00        | 0.00                      | 0.00                           | 0.00                      |  |
| 18              | 2000        | 2.595±0.076               | 120         | 11.405 ± 0.198            | 100         | 19.5 ± 0.815              | 30          | 32.667±0.33               | 70          | 33.857±1.299                       |             |                           |                                |                           |  |
| 20              | 1370        | 3.664±0.073               | 160         | 6.237 ± 0.128             | 160         | 17.463 ± 0.202            | 90          | 27.889± 0.087             | 70          | 26.667±0.029                       |             |                           |                                |                           |  |
| 23              | 1850        | 1.524 ± 0.37              | 410         | 6.232±0.159               | 380         | 9.454 ± 0.062             | 140         | 17.429±0.291              | 240         | 17.083±0.216                       |             |                           |                                |                           |  |
| 25              | 1440        | 1.542±0.42                | 370         | 4.675±0.11                | 290         | 8.369±0.098               | 130         | 14.385±0.14               | 160         | 14.75±0.17                         |             |                           |                                |                           |  |
| 28              | 2570        | 1.767± 0.29               | 1380        | 3.429± 0.032              | 1100        | 6.895±0.054               | 770         | 12.078±0.096              | 330         | 12.121±0.136                       |             |                           |                                |                           |  |
| 30              | 1550        | 1.47± 0.43                | 550         | 2.079 ± 0.039             | 440         | 6.791±0.109               | 690         | 11.000±0.17               | 200         | 11.1±0.143                         |             |                           |                                |                           |  |
| 32              | 2000        | 0.969± 0.63               | 1170        | 2.549±0.076               | 960         | 5.826±0.023               | 570         | 9.333±0.104               | 270         | 9.37± 0.166                        |             |                           |                                |                           |  |
| 35              | 1910        | 1.00 ± 0.00               | 850         | 3.012±0.088               | 770         | 4.417±0.063               | 490         | 8.368± 0.069              | 200         | 8.6±0.134                          |             |                           |                                |                           |  |
| 38              | 2000        | 0.815 ± 0.024             | 930         | 2.815±0.073               | 710         | 5.156±0.028               | 710         | 8.489±0.011               | 220         | 8.455±0.152                        |             |                           |                                |                           |  |

۷-  $T_{type III}$ : این مدل توسط Hilbert & Logan (1983) با تصحیح بخش نمایی اول مدل ۵ و تبدیل آن به یک بخش سیگموئیدی ارائه شده است که به صورت:

$$r(T) = \Psi \left[ \frac{T^2}{T^2 + D^2} - e^{-((T_{max} - T)/\Delta T)} \right]$$

$\Psi$ ,  $T_{min}$ ,  $D$ ,  $\Delta T$ ,  $T_{max}$  پارامترها هستند. کلیه محاسبات در این زمینه با استفاده از نرم افزار PMDS (Logan, 1988) انجام شد.

### نتیجه و بحث

در جدول ۱، طول دوره رشدی مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و در جدول ۲ نتایج برآورد پارامترهای مدل‌های غیرخطی برای هر یک از مراحل رشدی تخم، لارو، شفیره و از مرحله تخم تا حشره کامل (به تفکیک برای نر و ماده) ارائه شده است. بررسی‌ها نشان داد که داده‌های کلیه مراحل مورد مطالعه بخوبی با دو مدل Logan 1 و Stinner برازش یافته‌اند (بر اساس مقدار  $r^2$ )، بنابراین برای هر یک از مراحل مورد نظر به بررسی هر دو مدل پرداخته می‌شود (البته برای مرحله رشدی لارو و تخم تا حشره کامل، مدل Type III نیز بخوبی برازش یافته، اما چون داده‌های مرحله تخم و شفیرگی اصولاً با این مدل انطباق نیافتند از شرح آن خودداری شد).

در این بررسی رابطه بین نرخ رشد تخم زنبور *H. hebetor* و دما بخوبی با معادلات غیر خطی Stinner ( $r^2=0.88$ ) و Logan 1 ( $r^2=0.86$ ) برازش یافت. لذا برای مرحله رشدی تخم این پارازیتوئید روابط برای هر یک از مدل‌ها به شرح زیر است:

|   |               |             |
|---|---------------|-------------|
| $r(T) = \frac{1.186}{(1 + e^{(5.072 - 0.217T)})}$   | $T_{opt} > T$ | مدل Stinner |
| $r(T) = \frac{1.186}{(1 + e^{(5.072 - 0.217(66.12 - T)})}$  | $T_{opt} < T$ |             |
| $r(T) = 0.39 \left[ e^{0.148(T-18)} - e^{0.148 \times 22.83 - \left( \frac{22.83 - (T-18)}{5.237} \right)} \right]$ |               | مدل Logan 1 |

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

شکل ۱ (a و b) منحنی رشد، مرحله تخم زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* برازش یافته توسط مدل‌های Logan 1 و Stinner را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ مشخص است داده‌ها بخوبی با مدل برازش یافته‌اند.

مرحله رشدی لارو نیز بخوبی با مدل‌های Stinner ( $r^2=0.95$ ) و Logan 1 ( $r^2=0.96$ ) برازش یافتند. رابطه رشد لارو این زنبور پارازیتوئید با دما توسط مدل‌های Stinner و Logan 1 به شرح زیر است:

|  |               |             |
|--|---------------|-------------|
| $r_{(T)} = \frac{0.653}{(1 + e^{(4.451-0.152T)})}$                                       | $T_{opt} > T$ | مدل Stinner |
| $r_{(T)} = \frac{0.653}{(1 + e^{(4.451-0.152(64.28-T)})}$                                | $T_{opt} < T$ |             |
| $r_{(T)} = 0.104[e^{0.107(T-18)} - e^{0.107 \times 18.7 - (\frac{18.7-(T-18)}{1.916})}]$ |               | مدل Logan 1 |

شکل ۱ (c و d) بخوبی رابطه بین نرخ رشد و دما را برای مرحله رشدی لارو برای هر یک از مدل‌ها نشان می‌دهد.

برای مرحله شفیرگی نیز داده‌های این مرحله رشدی با مدل‌های غیرخطی برازش داده شد. نتایج انطباق مدل‌ها، شبیه به مرحله تخم و لارو بود و برای این مرحله رشدی نیز داده‌ها بخوبی با مدل Stinner ( $r^2=0.919$ ) و مدل Logan 1 ( $r^2=0.919$ ) برازش یافتند و مدل‌های این ارتباط به شرح زیر است:

|  |               |             |
|--|---------------|-------------|
| $r_{(T)} = \frac{0.248}{(1 + e^{(4.661-0.179T)})}$                                   | $T_{opt} > T$ | مدل Stinner |
| $r_{(T)} = \frac{0.248}{(1 + e^{(4.661-0.179(71.38-T)})}$                            | $T_{opt} < T$ |             |
| $r_{(T)} = 0.058[e^{0.1(T-18)} - e^{0.1 \times 24.1 - (\frac{24.1-(T-18)}{4.015})}]$ |               | مدل Logan 1 |

شکل ۱ (e و f) بخوبی رابطه بین نرخ رشد و دما را برای مرحله رشدی شفیره برای هر

یک از مدل‌ها نشان می‌دهد.

داده‌های کل دوره رشدی، یعنی از مرحله رشدی تخم تا حشره کامل به تفکیک برای حشرات نر و ماده با مدل‌های غیرخطی انطباق داده شد. نتایج این بررسی نشان داد که هر دو گروه داده‌ها بخوبی با مدل‌های Stinner ( $r^2=0.99$ ) و Logan 1 ( $r^2=0.98$ ) برازش می‌یابند. رابطه نرخ رشد و دما برای هر یک از مدل‌ها به تفکیک نر و ماده به شرح زیر است:

|  |               |  |
|--|---------------|--|
| $r_{(T)} = \frac{0.141}{(1 + e^{(4.404 - 0.172T)})}$   | $T_{opt} > T$ | مدل Stinner                                  |
| $r_{(T)} = \frac{0.141}{(1 + e^{(4.404 - 0.172(73.22 - T)})})}$  | $T_{opt} < T$ | (مرحله تخم تا حشره کامل ماده)                |
| $r_{(T)} = \frac{0.138}{(1 + e^{(4.335 - 0.171T)})}$   | $T_{opt} > T$ | مدل Stinner                                  |
| $r_{(T)} = \frac{0.138}{(1 + e^{(4.335 - 0.171(72.96 - T)})})}$  | $T_{opt} < T$ | (مرحله تخم تا حشره کامل نر)                  |
| $r_{(T)} = 0.048 \left[ e^{0.12(T-18)} - e^{\frac{0.12 \times 25.38 - (25.38 - (T-18))}{6.005}} \right]$ |               | مدل Logan 1<br>(مرحله تخم تا حشره کامل ماده) |
| $r_{(T)} = 0.036 \left[ e^{0.95(T-18)} - e^{\frac{0.095 \times 24.6 - (24.6 - (T-18))}{4.187}} \right]$  |               | مدل Logan 1<br>(مرحله تخم تا حشره کامل نر)   |

شکل ۱ (g, d, i و j) بخوبی رابطه بین نرخ رشد و دما را برای مرحله رشدی تخم تا حشره کامل ماده و نر (به تفکیک) برای هر یک از مدل‌ها نشان می‌دهد.

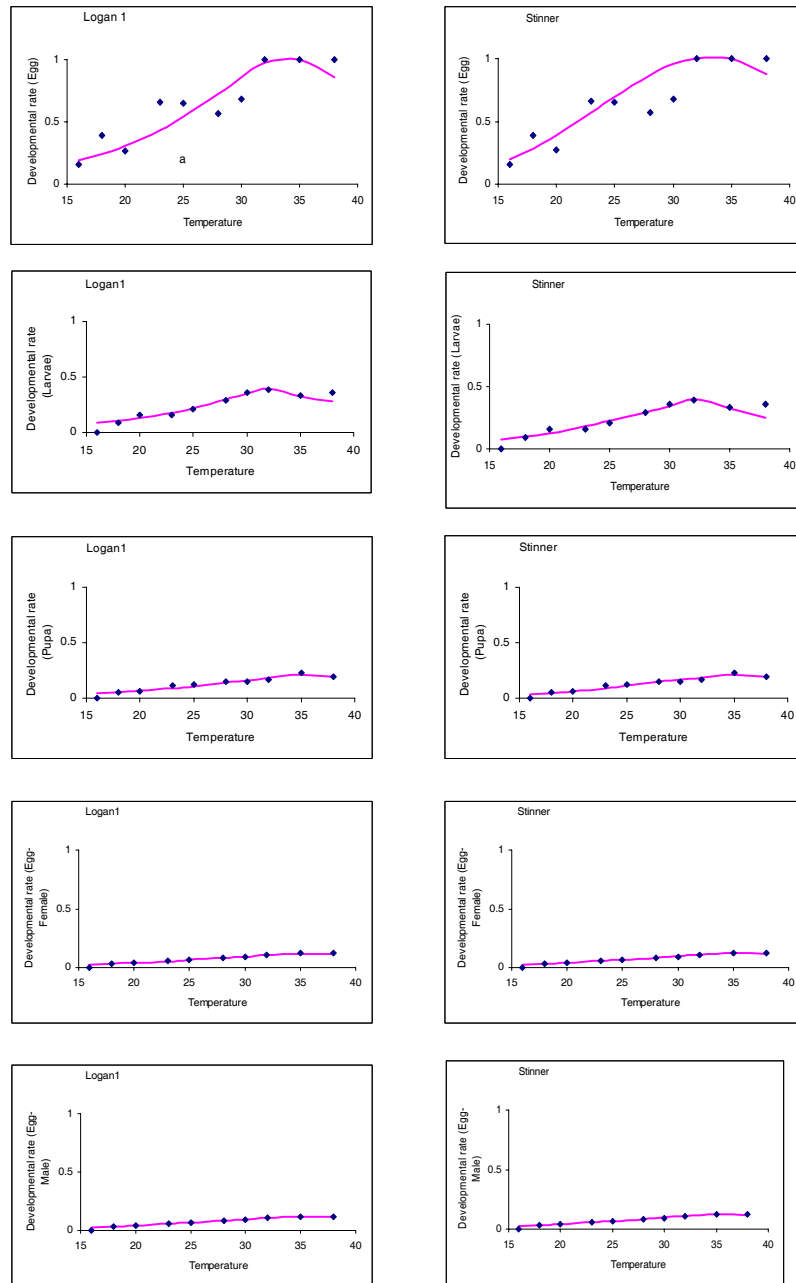


مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مدل‌های غیرخطی برازش داده شده با داده‌های مراحل مختلف رشدی زنبور *H. hebetor* در ۱۰ دمای ثابت و در  $60 \pm 5$  درصد رطوبت، طول دوره روشنائی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت و لاروسن آخر *G. mellonella* به عنوان میزبان.

**Table 2-** Parameter values of different non-linear models fitted to data relevant to the different developmental stages of *H. hebetor* at different temperatures.

| Model                      | parameter        | مرحله رشد (Developmental stages) |                       |        |                       |        |                       |               |                       |             |                       |
|----------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|---------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
|                            |                  | Egg                              |                       | Larva  |                       | Pupa   |                       | Egg to female |                       | Egg to male |                       |
|                            |                  | value                            | R <sup>2</sup><br>مدل | value  | R <sup>2</sup><br>مدل | value  | R <sup>2</sup><br>مدل | value         | R <sup>2</sup><br>مدل | value       | R <sup>2</sup><br>مدل |
| Exponential                | $\Psi$           | 0.243                            |                       | 0.115  |                       | 0.061  |                       | 0.036         |                       | 0.036       |                       |
|                            | $\rho$           | 0.088                            | 0.68                  | 0.0797 | 0.62                  | 0.072  | 0.74                  | 0.071         | 0.80                  | 0.069       | 0.79                  |
| Exponential T <sub>b</sub> | T <sub>b</sub>   | 8.69                             |                       | 10.46  |                       | 10.614 |                       | 10.86         |                       | 10.5        |                       |
|                            | $\rho$           | 0.029                            | 0.86                  | 0.014  | 0.79                  | 0.0074 | 0.89                  | 0.045         | 0.96                  | 0.0044      | 0.96                  |
| Logan T <sub>b</sub>       | $\Psi$           | 1.98                             |                       | 0.298  |                       | 0.305  |                       | 0.103         |                       | 0.102       |                       |
|                            | $\rho$           | -0.0025                          | 0.85                  | 0.017  | 0.75                  | 0.002  | 0.89                  | 0.014         | 0.97                  | 0.013       | 0.97                  |
|                            | $\Delta T$       | 24.31                            |                       | 9.91   |                       | 22.93  |                       | 14.52         |                       | 13.5        |                       |
|                            | T <sub>b</sub>   | 13.75                            |                       | 15.28  |                       | 14.55  |                       | 14.61         |                       | 14.71       |                       |
| Stinner                    | c                | 1.186                            |                       | 0.653  |                       | 0.248  |                       | 0.141         |                       | 0.138       |                       |
|                            | K <sub>1</sub>   | 5.072                            | 0.88                  | 4.451  | 0.95                  | 4.661  | 0.92                  | 4.404         | 0.99                  | 4.335       | 0.99                  |
|                            | K <sub>2</sub>   | -0.217                           |                       | -0.152 |                       | -0.179 |                       | -0.172        |                       | 0.171       |                       |
|                            | T <sub>opt</sub> | 33.06                            |                       | 32.14  |                       | 35.69  |                       | 36.61         |                       | 36.48       |                       |
| Logan 1                    | $\Psi$           | 0.39                             |                       | 0.104  |                       | 0.058  |                       | 0.048         |                       | 0.036       |                       |
|                            | $\rho$           | 0.148                            | 0.86                  | 0.107  | 0.96                  | 0.1    | 0.92                  | 0.12          | 0.98                  | 0.095       | 0.98                  |
|                            | T <sub>max</sub> | 22.83                            |                       | 18.7   |                       | 24.098 |                       | 25.38         |                       | 24.6        |                       |
|                            | $\Delta T$       | 5.237                            |                       | 1.926  |                       | 4.015  |                       | 6.005         |                       | 4.187       |                       |
| Logan 2                    | $\alpha$         | 1.219                            |                       | -      |                       | -      |                       | 0.149         |                       | -           |                       |
|                            | K                | 5.038                            |                       | -      |                       | -      |                       | 3.873         |                       | -           |                       |
|                            | $\rho$           | 0.211                            | 0.82                  | -      | -                     | -      | -                     | 0.159         | 0.99                  | -           | -                     |
|                            | T <sub>max</sub> | 21.6                             |                       | -      |                       | -      |                       | 23.07         |                       | -           |                       |
|                            | $\Delta T$       | 1.104                            |                       | -      |                       | -      |                       | 1.183         |                       | -           |                       |
| Type III                   | $\Psi$           | -                                |                       | 1.633  |                       | -      |                       | 0.261         |                       | 0.327       |                       |
|                            | T <sub>max</sub> | -                                |                       | 28.199 |                       | -      |                       | 33.156        |                       | 37.91       |                       |
|                            | $\Delta T$       | -                                | -                     | 0.272  | 0.93                  | -      | -                     | 0.854         | 0.99                  | 2.228       | 0.99                  |
|                            | D                | -                                |                       | 43.54  |                       | -      |                       | 30.16         |                       | 37.47       |                       |
|                            | T <sub>min</sub> | -                                |                       | 7.46   |                       | -      |                       | 7.283         |                       | 6.088       |                       |



شکل ۱- رابطه غیر خطی بین دما و نرخ رشد مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

Fig. 1- Non-linear relationship between temperature and developmental rate of *H. hebetor*.

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

مدل Stinner توسط محققین متعددی مانند Anderson *et al.* (1982)، Barnes (1976)، McClain *et al.* (1990) و Amir-Maafi (2000) برای بررسی رابطه بین رشد و دما مورد استفاده قرار گرفته است. با اینکه این مدل دارای ناپیوستگی است، اما قابلیت انعطاف این مدل به دلیل توصیف خوب آن از رشد و نمو می‌باشد (Got *et al.*, 1994). در منابع به کاربردهای متعددی از مدل Logan 1 اشاره شده است (Logan & Amman, 1986; Allen, 1988; Logan, 1988; Logan *et al.*, 1991; Arbab *et al.*, 2006; Logan *et al.*, 1991; Bentz *et al.*, 1991; Gray *et al.*, 1991; Worner (1992)). مهم‌ترین مزیت مدل Logan را محدود بودن پارامترهای آن می‌داند (داری ۴ پارامتر)، البته می‌توان پارامتر پنجم را به آن اضافه نمود، این پارامتر آستانه دما را تخمین می‌زند و به دلیل اینکه عموماً دماهای مورد مطالعه بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد است، بر رفتار مدل تأثیری ندارد. در این پژوهش مشخص شد که مدل‌های Logan1 و Stinner به خوبی داده‌های مربوط به کلیه مراحل رشدی *H. hebetor* را توصیف می‌کنند و لذا مناسب‌ترین مدل در توصیف روابط بین نرخ رشد مراحل مختلف رشدی پارازیتوئید مورد مطالعه و دما به شمار می‌روند.

Hilbert & Logan (1983) بیان می‌دارند که مدل‌های غیرخطی در اصل واقعی‌تر از مدل‌های خطی هستند و این مدل‌ها می‌توانند رشد و نمو مراحل مختلف رشدی حشرات را در دماهای پایین و بالا بخوبی توصیف نمایند. وجود رابطه غیرخطی نرخ رشد با دما در این گونه، ویژگی بسیاری از گونه‌های دیگر حشرات و کنه‌های گیاهی است (Briere & Pracros, 1998). غیرخطی بودن رابطه بین نرخ رشد و دما این فرضیه را تأیید می‌کند که فرایندهای کنترل‌کننده رشد و نمو غیرخطی هستند (Lamb, 1992). رابطه بین نرخ رشد حشره و دما از مدت‌ها قبل مشخص شده و به عنوان یک متغیر مهم اکولوژیکی در مدل سازی دینامیک جمعیت حشرات نقش بازی می‌کند (Jarosik *et al.*, 2002).

در این بررسی مشخص شد که دامنه دمایی برای رشد و نمو *H. hebetor* بین ۱۸ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. دامنه دوره رشد و نمو آن در این محدوده دمایی از تخم تا حشره ماده از  $۸/۳۶۸ \pm ۰/۰۶۹$  تا  $۳۲/۶۶۷ \pm ۰/۳۳$  روز و از تخم تا حشره نر از  $۸/۴۵۵ \pm ۰/۱۵۲$  تا  $۳۳/۸۵۷ \pm ۱/۲۹۹$  روز در نوسان بود. بطور کلی با افزایش دما دوره رشدی برای هر دو جنس نر و ماده کاهش یافت. نتایج حاصله نشان داد که دماهای بالاتر (۳۵ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد)

باعث کاهش نرخ رشد از روند خطی گردید. روند مشابهی نیز توسط (Arbab et al., 2006) در مورد شته سبز سیب (*Aphis pomi* (DeGeer) مشاهده شده است.

بر اساس یافته‌های Miller (1996) مطالعاتی که در آن‌ها نیازهای رشد و نمو وابسته به دما در جمعیت گونه‌های پارازیتوئید مورد مقایسه قرار می‌گیرد، پایگاه اطلاعاتی را به وجود می‌شود. به هر حال، چنین پیش‌بینی‌هایی تنها روابط نرخ رشد وابسته به دما بین پارازیتوئید و میزبان را در نظر می‌گیرند، در حالی که سایر عوامل مانند بارآوری و قدرت میزبان‌یابی نیز بر کارایی پارازیتوئید تأثیرگذار هستند. دسترسی به داده‌های فوق‌الذکر و اطلاعات مربوط به روابط وابسته به دما بین میزبان و پارازیتوئید، پیش‌بینی‌های خاصی را در ارتباط با گونه‌ها و محل‌های مناسب رها سازی دشمنان طبیعی فراهم می‌کنند که باید وارد و آزمایش شوند. بررسی و آزمایش نهائی چنین پیش‌بینی‌هایی می‌تواند در اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیک از طریق اصلاح و بهبود فرایند تصمیم‌گیری مربوط به دستیابی و رهاسازی دشمنان طبیعی راه گشا باشد.

در مدیریت تلفیقی آفات و بویژه راهکار کنترل بیولوژیک، مطالعات بیوکلیماتیک داری اهمیت و جایگاه ویژه‌ای می‌باشند. بازبینی (Stiling (1993 نشان می‌دهد که ۳۵ درصد از دلایل عمومی شکست در کنترل بیولوژیک کلاسیک، در ارتباط با شرایط آب و هوا می‌باشد. مطالعات بیوکلیماتیک برای آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها در توصیف توزیع جغرافیایی آن‌ها مؤثر بوده و محدودیت‌های فیزیولوژیکی احتمالی رهاسازی آن‌ها را در مناطق مختلف روشن می‌کند (Messenger, 1959, 1971). همچنین (Stiling (1993 بیان می‌دارد در صورتی که بین گونه‌های رهاسازی شده و شرایط آب و هوایی منطقه‌ای که در آن رهاسازی صورت گرفته، سازگاری وجود داشته باشد، احتمال موفقیت کنترل بیولوژیک و تنظیم جمعیت آفت توسط دشمن طبیعی رهاسازی شده، افزایش می‌یابد.

### سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از مدیریت مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور بخاطر در اختیار گذاشتن

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

امکانات این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از تکنسین‌های بخش تحقیقات سن گندم این مؤسسه آقایان علی اکبر حسنی و محمود صفری و خانم مرجان بی‌آبی سپاسگزاری می‌نمایند.

---

**نشانی نگارندگان:** مهندس مریم فروزان و دکتر احد صحراگرد، گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، ایران؛ دکتر مسعود امیرمعافی، بخش تحقیقات سن گندم، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، صندوق پستی ۱۴۵۴، تهران ۱۹۳۹۵، ایران.

مریم فروزان، احد صحراگرد و مسعود امیرمعافی

**Comparison of non-linear models for predicting developmental  
rate of different life stages of *Habrobracon hebetor*  
(Hymenoptera: Braconidae)**

**M. FOROOZAN<sup>1</sup>, A. SAHRAGARD<sup>1\*</sup> and M. AMIR-MAAFI<sup>2</sup>**

1- College of Agriculture, Guilan University

2- Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran

**ABSTRACT**

Relationship between temperature and developmental rate of different stages of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) were studied at 10 constant temperatures (16-38 °C). Development time for different stages of the parasitoid was obtained. Seven non-linear models describing the effect of temperatures on developmental rate were fitted to the observed data. Our statistical analysis indicated that the models, Logan 1 and Stinner were fitted well to all stages of *Habrobracon hebetor* (as indicated by  $r^2$  values). In this research, equations for above mentioned models referring to different developmental stages of the parasitoid have also been given.

**Key words:** *Habrobracon hebetor*, Braconidae, Temperature, non-linear models.

**References**

ADASHKEVICH, B. P. and E. KH. SAIDOVA, 1987. Features of the development of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) during rearing in the laboratory. Zoologicheskii Zhurnal, 66(10): 1509-1515.

ALINIAZEE, M. T. 1976. Thermal unit requirements for determining adult emergence

---

\* Corresponding author: sahragard@guilan.ac.ir

of the western cherry fruit fly (Dip.: Tephritidae) in the Willamette valley of Oregon. *Environ. Entomol.* 5: 397-402.

ALLEN, J. C. 1988. Averaging functions in a variable environment: a second order approximation method. *Environ. Entomol.* 17: 621-625.

AMIR-MAAFI, M. 2000. An investigation on the host-parasitoid system between *Trissolcus grandis* Thomson (Hym.: Scelionidae) and sunn pest eggs. Ph.D Thesis (in Persian with English summary), College of Agriculture, Tehran University, 220pp.

ANDERSON, T. E., G. G. KENNEDY and R. E. STINNER, 1982. Temperature-dependent models of European corn borer (Lep.: Pyralidae) development in North Carolina. *Environ. Entomol.* 11: 1145-1150.

ANONYMOUS, 2004. Annual report of Plant Protection Organization of Iran. 35pp.

ARBAB, A., D. C. KONTODIMAS and A. SAHRAGARD, 2006. Estimating development of *Aphis pomi* (DeGeer) (Hom.: Aphididae) using linear and nonlinear models. *Environ. Entomol.*, 35(5): 1208-1215.

BARNES, J. K. 1976. Effect of temperature on development, survival, oviposition and diapause in laboratory populations of *Spedon juscipenis* (Dip.: Sciomyzidae). *Environ. Entomol.*, 5: 1089-1098.

BENTZ, B. J., J. A. LOGAN and G. D. AMMAN, 1991. Temperature-dependent development of the mountain pine beetle (Col.: Scolytidae) and simulation of its phenology. *Can. Entomol.* 123: 1083-1094.

BRIERE, J. F. and P. PRACROS, 1998. Comparison of temperature-dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lep.: Tortricidae). *Environ. Entomol.*, 27: 94-101.

CAMELL, M. E. and M. J. WAY, 1987. Forecasting and monitoring. In: Integrated pest management. pp. 1-26 (Eds. A. J. Burn, T. H. Coacker and P. C. Jepson), Academic Press.

CURRY, G. L., R. M. FELDMAN and P. J. H. SHARP, 1978. Foundations of Stochastic development. *J. Theo. Biol.* 74: 397-410.

DREYER, B. S., P. NEUENSCHWANDER, B. BOUJOU, J. BUMGARTNER and S. DORM, 1997. The influence of temperature on life table of *Hyperaspis notata* *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 84: 82-85.

FARAHBAKHS, GH. 1961. A checklist of major crops and agricultural products pests in Iran. Ministry of Agriculture.



**Comparison of non-linear models for predicting developmental rate of different stages of ...**

GOT, B., S. MEUSNIER, I. PEYPELUT and F. FLEURY, 1994. First step in European corn borer (Lep.: Pyralidae) diapause mechanistic modelling: wing disks development model. *Environ. Entomol.*, 23: 955-964.

GRAY, D. R., J. A. LOGAN, F. W. RAVLIN and J. A. CARLSON, 1991. Toward a model of gypsy moth egg phenology: using respiration rates of individual eggs to determine temperature-time requirements of prediapause development. *Environ. Entomol.* 20: 1615-1652.

HIGLEY, L. G., L. P. PEDIGO and K. R. OSTLIE, 1986. Degday: A program for calculating degree-day and assumptions behind the degree-day approach. *Environ. Entomol.* 15: 999-1016.

HILBERT, D. W. and J. A. LOGAN, 1983. Empirical model of nymphal development of the migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes* (Orth.: Acritidae). *Environ. Entomol.* 12: 1-5.

JAROSIK, V., A. HONEK and A. F. G. DIXON, 2002. Developmental rate isomorphy in insects and mites. *Am. Nat.* 160: 497-510.

LAMB, R. J. 1992. Developmental rate of *Acyrtosiphon pisum* (Hom.: Aphididae) at low temperatures: implications for estimating rate parameters for insects. *Environ. Entomol.* 21: 10-19.

LOGAN, J. A. 1988. Toward an expert system for development of pest simulation models. *Environ. Entomol.* 17: 359-376.

LOGAN, J. A. and G. D. AMMAN, 1986. A distribution model for egg development in mountain pine beetle. *Can. Entomol.*, 118: 361-372.

LOGAN, J. A., R. A. CASAGRANDE and LIEBHOLD, A. M. 1991. Modelling environment for simulation of gypsy moth (Lep.: Lymantriidae) larval phenology. *Environ. Entomol.* 20: 1516-1525.

LOGAN, J. A., R. E. STINNER, R. L. RABB and J. S. BAEHELER, 1979. A descriptive model for predicting spring emergence of *Heliothis zea* populations in North Carolina. *Environ. Entomol.*, 8: 141-146.

LOGAN, J. A., D. J. WOLKIND, S. C. HOYT and L. K. TANIGOSHI, 1976. An analytic model for description of temperature rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.*, 5: 1113-1143.

LOPEZ, R., D. N. FERRO and J. S. ELKINTON, 1997. Temperature-dependent development rate of *Myiopharus doryphore* (Dipt.: Tachinidae) within its host, the colorado

potato beetle (Col.: Chrysomellidae). Environ. Entomol., 26: 655-660.

McCLAIN, D. C., G. C. ROCK and R. E. STINNER, 1990. San Jose scale (Hom.: Diaspididae): simulation of seasonal phenology in north Carolina orchard. Environ. Entomol., 19: 916-925.

MESSENGER, P. S. 1959. Bioclimatic studies with insects. Annu. Rev. Entomol., 4: 183-206.

MESSENGER, P. S. 1971. Climatic limitations to biological controls. Proc. Tall Timbers Conf. Ecol. Anim. Control Habitat Manage. 3: 97-114.

MILLER, J. C. 1996. Temperature-dependent development of *Meteorus communis* (Hym.: Braconidae), a parasitoid of the variegated cutworm (Lep.: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 89(4): 877-880.

MOHAGHEGH, J. and M. AMIR-MAAFI, 2007. Reproduction of the predatory stinkbug, *Andrallus spinidens* (F.) (Het.: Pentatomidae) on live and frozen prey. Appl. Entomol. Zool. 42: 15-20.

QUICKE, D. L. J. & VAN ACHTEBERG, C. 1990. Phylogeny of the subfamilies of the family Braconidae (Hym.: Ichneumonidea). Zool. Verh., 258: 1-95.

STILING, P. 1993. Why do natural enemies fail in classical biological control programs? Am. Entomol. 39: 31-37.

STINNER, R. E., A. P. GUTIERREZ and G. D. BUTLER, 1974. An algorithm for temperature-dependent growth rate simulation. Can. Entomol., 106: 519-524.

WAGNER, T. L. and E. J. VILLAVASO, 1999. Effects of temperature and adult diet on development of hypertrophied fat body in prediapause boll weevil (Col.: Curculionidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 92: 403-413.

WORNER, S. P. 1992. Performance of phenological models under variable temperature regimes: consequences of the Kaufman or rate summation effect. Environ. Entomol. 21: 689-699.

YOUNG, L. J. and J. H. YOUNG, 1998. Statistical Ecology: A population perspective. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. PP: 565.

---

**Address of the authors:** Eng. M. FOROOZAN and Dr. A. SAHRAGARD, Dept. of Plant protection, College of Agriculture, Guilan University, Iran; Dr. M. AMIR-MAAFI, Iranian Research institute for Plant Protection, P. O. Box 1454, Tehran 19395, Iran.