

***Tenebrio molitor* L. (Un Kurdu)' de Büyüme ve Gelişim Karakterlerine Ait Genetik Parametre Tahminleri**

Abdullah Nuri ÖZSOY^{1*} Erman GÜNDOĞDU²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Isparta

²Türkiye Cumhuriyeti Isparta İl Özel İdaresi, Isparta

*Sorumlu yazar: nuriozsoy@sdu.edu.tr

Geliş tarihi: 04.08.2017, Yayına kabul tarihi: 17.11.2017

Özet: Bu çalışmanın temel amacını, sahip olduğu yüksek protein ve yağ içeri ile özellikle kanatlı ve pet hayvanı beslemede alternatif bir besin katkısı olarak ön plana çıkan, *T. molitor*'un, gelişme ve üreme karakterlerine ait genetik parametrelerin tahmin edilmesi oluşturmaktadır. Çalışmada son dönem larva ağırlığı (SDLA), pupa ağırlığı (PA), ergin ağırlığı (EA), pupa olma süresi (PS), pupada kalış süresi (PKS) ve ergin olma süresi (ES) gelişim özellikleri, familya birey sayısı (FBS) ise üreme özelliği olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada son dönem larva ağırlığı, pupa ağırlığı ve ergin ağırlığı özelliklerine ait kalıtım derecesi tahminleri sırasıyla; 0,45, 0,65 ve 0,43 olarak tahmin edilmiştir. Çalışmada gelişim sürelerine ilişkin kalıtım derecesi tahminleri ise; pupa olma süresi için 0,27, pupada kalış süresi için 0,91 ve ergin olma süresi için 0,32 olarak tahmin edilmiştir. Araştırmada familya birey sayısına ilişkin kalıtım derecesi 0,98 olarak tahmin edilmiştir. Bu sonuçlara göre *T. molitor*' un gelişim özelliklerinin ıslah potansiyeli olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *Tenebrio molitor*, un kurdu, protein, genetik parametreler, larva.

Genetic Parameter Estimates for Growth and Development Characters in *Tenebrio molitor* (Mealworm)

Abstract : The main aim of this work is to estimate the genetic parameters of *T. molitor*, which is regarded as alternative nutrition for feeding poultry and pet animals due to its very high protein and fat content. In the study, larvae weight (LW), pupa weight (PW), adult weight (AW), duration of pupa (PT), duration of pupal stay (PST) and the duration of adulthood (AT) were considered as growth performance parameters; whereas the number of individuals in the family (FN) was treated as reproductive characteristic. Estimates of the heritability for larval weight, pupa weight and adult weight characteristics were: 0.45, 0.65, and 0.43, respectively. Estimates of heritability for duration of pupa, duration of pupal stay and the duration of adulthood were: 0.27, 0.91 and 0.32, respectively. The heritability for the number of individuals in the family was estimated to be 0.98. According to these results, it can be said that the developmental characteristics of *T. molitor* have genetic improvement potential.

Key words : *Tenebrio molitor*, mealworm, protein, genetic parameters, larva.

Giriş

Böcekler yüksek seviyede kaliteli ve yüksek yağ, protein içermeleri, generasyonlar arası sürelerinin kısa oluşu, üretimlerinde karbon salınımının az olması, kolay üretilmeleri ve üretim maliyetlerin (kullanılan maddelere göre değişik gösterir) düşük olması gibi sebeplerden dolayı hayvan beslemede gelecek vaat etmektedir.

Deneyisel çalışmalar böceklerin 3-4 aylık bir sürede kontrollü şartlarda % 8-9 seviyesindeki düşük kaliteli protein içerikli gıda atıklarının %44-61 düzeyinde iyi kaliteli böcek proteinine dönüştürebildiğini göstermektedir (Ramos-Elorduy, 1997).

Böceklerden günümüzde insan beslenmesinde de yararlanılmaktadır (Ghaly and Alkokaik, 2009). Böcekler içerisinde kitlesel üretime elverişli ve umut verici bir

tür olarak *Tenebrio molitor* ön plana çıkmaktadır (Ramos-Elorduy et al., 2002; Ghaly and Alkokaik, 2009). *T. molitor* larvaları sahip oldukları yüksek protein (%37-47) miktarının yanı sıra, yüksek yağ içeriğine de sahiptir (Finke, 2002; Ramos-Elorduy et al., 2002; Ghaly and Alkokaik, 2009; Huang et al., 2011). Doymamış yağ asitlerince zengin olan *T. molitor*' un kurutulmuş larvaları % 46 yağ içeriğine sahiptir (Siemianowska et al., 2013; Ravzanaadii et al., 2012). *T. molitor*' un son dönem larvaları pet hayvanları beslemede kullanılmaktadır. Ayrıca çalışmalar *T. molitor*'un broiler civciv (Ramos-Elorduy et al., 2002; Marco et al., 2015) ve balık beslemede de (Gasco et al., 2014; Ng et al., 2001; Belforti et al., 2016) protein kaynağı olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Günümüzde hayvansal üretimde kullanılan verim seviyesi yüksek kültür ırkı hayvanlar, yoğun ıslah programları sonucunda elde edilmiştir. Islah için önemli bir araç olan seleksiyon, bugün de etkin ve uygulanabilir bir yöntem olarak önemini korumaktadır. Islah edilmiş kültür ırkı hayvanlarda olduğu gibi, böceklerde de hızlı gelişen, yağ, protein ve döl verimi yüksek bireyler seçilerek sonraki generasyonlarda popülasyondaki nispi miktarlarını arttırmak mümkündür. Nitekim *T. molitor* ile aynı familyadan (*Tenebrionidae*) olan, biyolojisi ve hayat döngüsü *T. molitor*' e oldukça benzeyen ve popülasyon genetiği çalışmalarında model organizma olarak kullanılan *Tribolium* türlerinde yapılan çalışmalarda (Minvielle and Gall, 1980; Gall, 1971; Enfield et al. 1966; Wade, 1976; Özsoy, 2007) başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

İslahtaki başarı düzeyini, ele alınan özelliklere ait genetik parametrelerin doğru, sapmasız ve yansız tahmin edilmesi önemli ölçüde etkilemektedir. Günümüzde, parametre tahminlerinde ANOVA gibi klasik tahmin yöntemlerine göre çeşitli üstünlükleri olan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlilerinden biri kısıtlanmış maksimum olabilirlik (REML) yöntemidir.

Bu çalışmanın temel amacı, canlı yem kaynağı olarak öncelikle pet hayvanı beslemede kullanılan ve hayvan beslemede

gelecek vaat eden *T. molitor*' un, gelişme ve üreme karakterlerine ait genetik parametrelerin tahmin edilmesidir. Çalışma ile *T. molitor*' un ıslah potansiyeli ve uygulanacak bir ıslah programının ele alınan özelliklerin ne denli geliştirilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma iki generasyon boyunca sürdürülmüştür.

Materyal ve Metot

Materyal

Araştırmada deneme materyali olarak, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan *Tenebrio molitor* popülasyonu kullanılmıştır. Bu popülasyon 3 farklı bölgedeki (Ankara, Antalya ve Isparta) canlı yem üreticilerinden satın alma yolu ile temin edilmiştir. Laboratuvar stoklarına alınan bu böceklerin, resiprokal melezlemesi yapılarak elde edilen döllere, 4 generasyon şansa bağlı olarak çiftleştirilerek bir temel popülasyon oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan materyal, oluşturulan bu temel popülasyondan şansa bağlı olarak pupa döneminde cinsiyet belirlenmesi yapılarak alınmıştır.

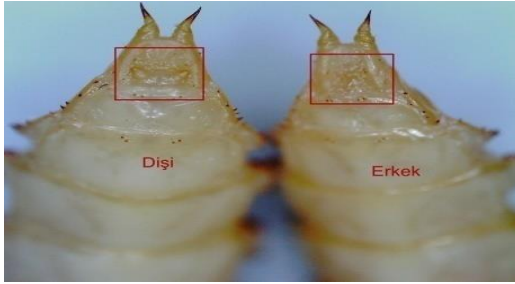
Yöntem

Materyalinin hazırlanması ve ölçümler

Laboratuvar stoklarında bulunan ve çalışmada kullanılan tüm böceklerin beslenmesinde %70 buğday unu, % 20 buğday kepeği ve %10 maya karışımı ile hazırlanan rasyon kullanılmıştır. Bu rasyonu oluşturan besin maddeleri, piyasadan satın alma yolu ile temin edilmiştir. Oluşturulan rasyon kullanılmadan önce zararlı olabilecek organizmalardan arındırılması amacı ile 60 °C sıcaklığa ayarlı etüvde 10 saat tutulmuştur. Çalışma boyunca larva ve ergin böceklerin su ihtiyaçları üç günde bir besin ortamına verilen taze havuç ile karşılanmıştır. Denemede süresince yumurta, larva, pupa ve ergin böcekler 28 °C sıcaklığa ayarlı dolaplarda muhafaza edilmiştir. Dolaplardaki nispi nemin %70 dolaylarında olmasına çalışılmıştır. Bu nem

seviyesi dolaplara yerleştirilen içi su dolu nem kapları ile sağlanmıştır.

Araştırma oluşturulan temel popülasyondan pupa aşamasına ulaşan 170 erkek ve 170 dişinin şansa bağlı olarak alınması ile başlamıştır. Böceklerin cinsiyet belirlenmesi Sokoloff (1977)'de *Tribolium* türleri için verilen erkek ve dişi belirleme yöntemine uygun olarak (Şekil 1), 40x büyütme kapasiteli stereo mikroskop yardımı ile yalnızca pupa döneminde yapılmıştır.



Şekil 1. *T. molitor* pupalarında cinsiyet belirlenmesi

Figure 1. Gender determination of *T. molitor* pupae

Cinsiyet belirlenmesi yapılan pupaların her biri 5 mL'lik kaplara bireysel olarak yerleştirilerek numaralandırılmış ve ergin olmaları sağlanmıştır. Ergin olan böcekler bu kaplarda 10 gün süre ile beslenerek tam olarak cinsi olgunluğa ulaşmaları beklenmiştir. Daha sonra bu böcekler numaralandırılan 250 mL'lik kaplara bir erkek bir dişi çiftleştirme düzenine göre yerleştirilmiştir. Çiftleşmeye hazır ergin böceklerin konulduğu bu kaplara 30 gr besi ortamı tartılarak konulmuştur. Böceklerin çiftleşmeleri ve yumurtlamaları için 48 saatlik bir süre verilmiştir. Bu süre sonunda erkek ve dişi böcekler buldukları ortamdan alınarak popülasyon kaplarına konulmuştur. Dişilerin yumurta bıraktığı kaplar ise inkübasyon periyodunun tamamlanması amacı ile 28° C'ye ayarlı dolaplara yerleştirilmiştir. Her biri bir öz kardeş familyasını oluşturan bu kapların tümü aynı dolapta muhafaza edilerek, yumurtalardan larvaların çıkması ve çıkan larvaların gelişmesi sağlanmıştır. Çalışmada oluşturulan bu 170 öz kardeş familyaları arasından şansa bağlı olarak 50 familya seçilerek bunlara ait veriler alınarak analiz

edilmiştir. Şansa bağlı olarak seçilen bu familyalardan birey sayısı 10'dan daha az olanları deneme dışı bırakılarak, bunların yerine yeni bir familya alınmıştır. Çalışmada *T. molitor*'un gelişim ve üreme özelliklerinden; son dönem larva ağırlığı (SDLA), pupa ağırlığı (PA), ergin ağırlık (EA), pupa olma süresi (PS), pupada kalış süresi (PKS) ve ergin olma süresi (ES) ve familya birey sayısı (FBS), özellikleri üzerinde durulmuştur. Bu özellikler şu şekilde belirlenmiştir;

Son dönem larva ağırlığı (SDLA)

Bire bir (1:1) çiftleştirme oranlarına uygun olarak eşleştirilen böcekler çiftleşme süreci ve dişi böceğin yumurta bırakması amacı ile 48 saat süre ile çiftleştirme kaplarında bir arada tutulmuşlardır. Bu süre sonunda ebeveynler ortamdaki ayrılmıştır. Bu ayırma zamanı yumurta gelişim sürecinin başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Bu süre bir başlangıç noktası olarak alınarak, bunu takip eden 10 günlük süre ise inkübasyon süresi olarak kabul edilmiştir. Bu sürenin bitiş noktası ise larva başlangıç dönemi olarak kabul edilmiştir. Çalışmada kullanılan böceklerin tamamı aynı anda son larva dönemine girmeyecekleri varsayılarak ve önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak, son larva dönemi, larva başlangıç döneminden itibaren 12 hafta sonra son dönem larva ağırlığı tartımları yapılmıştır. Tartımlar oluşturulan öz kardeş familyalarının her birinden şansa bağlı olarak alınan 10 larva üzerinde yapılmıştır. Son dönem larva ağırlığı belirlenen larvalar bireysel kaplara familya numarası ve birey numarası verilerek konulmuştur. Çalışmada alınan ağırlıkların tümü, 1/100.000 g duyarlılık analitik terazi (Radwag® AS 110.R2) kullanılarak belirlenmiştir.

Pupa ağırlığı (PA) ve ergin ağırlık (EA)

Çalışmada son dönem larva ağırlıkları belirlenen familya numarası ve birey numarası verilerek, bireysel kaplarda beslenen larvalar, 12 saat ara ile kontrol edilerek pupa safhasına girmeleri gözlenmiştir. Pupa safhasına giren böceklerin, pupa başlangıç zamanları ile ağırlıkları belirlenerek kaydedilmiştir. Pupa ağırlıkları (PA) belirlenen böcekler tekrar

alındıkları kaplara yerleştirilerek ergin oluşumu yine 12 saat ara ile gözlenmiştir. Ergin olduğu gözlenen böceklerin ergin olma zamanları ve ergin ağırlıkları (EA) belirlenerek kaydedilmiştir.

Familiya birey sayısı (FBS)

Yapılan çalışmada familiya birey sayısı özelliği olarak, daha önce çiftleşmemiş ve 48 saatlik çiftleştirme süresi sonunda dişilerin bıraktıkları yumurtalarından çıkan ve gelişerek son dönem larva dönemine erişen bireylerin her bir familyadaki toplam sayıları kullanılmıştır.

Pupa olma süresi (PS), pupada kalış süresi (PKS) ve ergin olma süresi (ES)

Çalışmada, pupa olma süresi (PS), pupada kalma süresi (PKS) ve ergin olma süresi (ES) özellikleri için kullanılan formüller (1) aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} PS &= \text{Larva başlangıç tarihi} - \text{Pupaya giriş tarihi} \\ PKS &= \text{Pupaya giriş tarihi} - \text{Ergin olma tarihi} \\ ES &= \text{Larva başlangıç tarihi} - \text{Ergin olma tarihi} \end{aligned} \quad (1)$$

İstatistiksel yöntem

Araştırmada *T. molitor*' un ele alınan özellikleri için genetik parametre tahminleri (ko)varyans unsurları kullanılarak elde edilmiştir. (Ko)varyans unsurlarının tahmini ise iki farklı model temelinde, REML yöntemi kullanılarak yapılmıştır. (Ko)varyans unsurları REML tahminleri veren ve Meyer (2000) tarafından hazırlanan DFREML (3.1) (Derivative Free REstricted Maximum Likelihood) bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. DFREML programı varyans unsurlarının tahmininde döngü temeline dayalı REML yöntemini kullanır ve DF (Derivative Free) algoritma yolu ile tahminlere ulaşır. Program, döngü temelinde REML yöntemini kullandığı için tahmin edilecek (ko)varyans unsurları için birer başlangıç değerine ihtiyaç vardır. Bu

nedenle veri setleri öncelikle MTDFREML (Boldman et al., 1995) programında tahmini bir başlangıç değeri verilerek analiz edilmiş, daha sonra bu programdan 10^{-8} yakınsama değeri kullanılarak elde edilen unsur DFREML programı için tahmin başlangıç değeri olarak alınmıştır.

Çalışmada *T. molitor*' un ele alınan gelişim ve üreme özelliklerine ait genetik parametre tahminlerinin bulunmasında iki farklı modelden yararlanılmıştır. Bu modellerden ilki (Model 2) özelliklerin tek tek ele alınarak değerlendirildiği tek özellikli modeldir. Bu modelde generasyon ve cinsiyet faktörleri sabit etki, birey ve sabit çevre etkisi şansa bağlı etkileri oluşturmaktadır. Tek özellikli model ve unsurları aşağıda verilmiştir.

$$y = Xb + Zu + Spe + e \quad (2)$$

Bu modelde yer alan terimler;

y = Gözlem değerleri vektörünü,
 b = Sabit etkiler vektörünü,
 u = Şansa bağlı birey etkileri vektörünü,
 pe = Sabit çevre etkisi vektörünü,
 e = Şansa bağlı hata etkiler vektörünü,
 X = Sabit etkilere ilişkin kayıtların desen matrisini,
 Z = Şansa bağlı birey etkilerine ilişkin kayıtların desen matrisini,
 S = Sabit çevre etkilerine ilişkin kayıtların desen matrisini ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan bir başka model ise çok özellikli modeldir (Model 3). Bu model araştırmada üzerinde durulan özellikler arasındaki genetik korelasyon katsayılarının tahmin edilmesi amacı ile kullanılmıştır.

Modelde yer alan terimler Model 2 ile aynıdır.

$$\begin{aligned} y_1 &= X_1 b_1 + Z_1 u_1 + S_1 p e_1 + e_1 \\ &\quad \vdots \\ y_n &= X_n b_n + Z_n u_n + S_n p e_n + e_n \end{aligned} \quad (3)$$

Model 3 matris eşitlikleri (4) kullanılarak ifade edilecek olur ise olacaktır;

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p e_1 \\ \vdots \\ p e_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada üzerinde durulan gelişim ve üreme özelliklerine ait tanıttıcı istatistikler

generasyon ve cinsiyet faktörlerine göre gruplandırılarak Çizelge 1’ de verilmiştir.

Çizelge 1. *T. molitor*’ un generasyon ve cinsiyete bağlı karakteristiklerin tanımlayıcı istatistikleri (SDLA, PA, EA; son dönem larva, pupa, ergin ağırlığı, PS, PKS, ES; pupa, pupada kalış, ergin süresi, FBS; familya birey sayısı).

Table 1. Descriptive statistics of generation- and gender-dependent characteristics of *T. molitor* (LW,PW,AW; larva, pupa, adult weight, PT, PST and AT; duration of pupa, duration of pupal stay and the duration of adulthood, FN; number of individuals in the family).

Özellikler Traits	Gen. Gen.	Cinsiyet	N	Ort. ±S.H.	En düşük	En yüksek	Var. Kat. Coeff. of Var.
		Sex (E-Male) (D-Female)		(mg) Mean±S.E. (mg)	(mg) Minimum (mg)	(mg) Maksimum (mg)	
SDLA	1	E+D	472	133,6 ± 1,4	40,9	196,7	27,0
LW	2	E+D	485	142,9 ± 1,2	12,1	227,1	27,7
PA	1	E	225	123,9 ± 1,8	110,3	185,7	13,6
		D	235	121,4 ± 1,6	96,7	166,4	12,9
PW	2	E	235	125,4 ± 1,4	95,2	210,2	15,0
		D	233	122,9 ± 1,2	90,9	183,9	12,7
EA	1	E	210	111,9 ± 1,7	72,2	133,4	13,4
		D	228	104,7 ± 1,5	77,9	128,2	13,4
AW	2	E	229	112,1 ± 1,2	73,1	144,7	15,1
		D	221	108,4 ± 1,1	68,1	138,7	13,0
PS	1	E	229	73,8 ± 0,3	62,0	78,0	5,3
		D	220	73,9 ± 0,2	65,0	79,0	4,2
PT	2	E	175	73,6 ± 0,4	64,0	81,0	4,7
		D	153	73,3 ± 0,3	66,0	83,0	4,3
PKS	1	E	229	5,5 ± 0,04	4,5	8,5	10,5
		D	220	5,7 ± 0,04	4,0	7,5	8,7
PST	2	E	173	5,9 ± 0,04	4,5	7,5	8,4
		D	150	5,9 ± 0,06	4,5	9,0	10,0
ES	1	E	229	79,3 ± 0,2	69,0	84,0	4,5
		D	220	79,6 ± 0,2	71,0	85,0	3,7
AT	2	E	169	79,5 ± 0,3	60,0	96,0	5,1
		D	148	79,2 ± 0,3	63,0	98,0	5,6
FBS	1	E+D	129	49,6 ± 3,6	10,0	83,0	37,0
FN	2	E+D	163	65,3 ± 2,8	10,0	98,0	47,8

Araştırmada SDLA’ nın generasyonlara ait ortalamaları olan 133,6 ± 1.4 mg ve 142,9 ± 1.2 mg değerleri, Ramos-Elorduy et al., (2002) ile Ghaly and Alkoaik,(2009) tarafından bildirilen ve sırasıyla 47–134 mg, 80,3–182,7 değerleri ile uyumlu; Urrejola et al., (2011) tarafından bildirilen 80–120 mg ortalama değerlerinden yüksektir. PA’ ı ortalama değeri, Ghaly and Alkoaik (2009) tarafından bildirilen 139,6–182,7 mg değerlerden daha düşük bulunmuştur. Çalışmada bulunan EA’ya ait ortalama

değerler, Urrejola et al., (2011) tarafından bildirilen değerler ile uyumludur.

Çalışmada iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirleyen korelasyon katsayılarından yararlanılarak, *T. molitor*’ un ele alınan özelliklerinin birbirleriyle olan fenotipik ve genetik ilişkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla tahmin edilen fenotipik ve genetik korelasyonlar Çizelge 2’ de verilmiştir. Araştırmada genetik korelasyon tahminleri çok özellikli model yardımı ile yapılmıştır.

Çizelge 2. Çok özellikli modelden tahmin edilen genetik (diyagonelin üstünde) ve fenotipik korelasyon (diyagonelin altında) katsayıları (SDLA, PA, EA; son dönem larva, pupa, ergin ağırlığı, PS, PKS, ES; pupa, pupada kalış, ergin süresi, FBS; familya birey sayısı)

Table 2. Estimates of genetic (above the diagonal) and phenotypic (below the diagonal) correlation coefficients calculated from the multivariate model(LW,PW,AW; larva, pupa, adult weight, PT, PST and AT; duration of pupa, duration of pupal stay and the duration of adulthood, FN; number of individuals in the family)

Özellik Trait	SDLA LW	PA PW	EA AW	PS PT	PKS PST	ES AT	FBS FN	Genetik korelasyon katsayıları Genetic correlation
SDLA - LW		0,62	0,16	0,18	0,08	0,02	0,06	
PA - PW	0,33**		0,77	0,25	0,16	0,16	0,05	
EA - EW	0,33**	0,96**		0,12	0,12	0,24	0,05	
PS - PT	0,12**	0,24**	0,18**		0,98	0,92	0,08	
PKS - PST	0,009	0,06	0,07	-0,15**		1,00	0,09	
ES - AT	0,15**	0,25**	0,18**	0,98**	-0,09		0,00	
FBS - FN	-0,45**	-0,38**	-0,36**	0,002	0,08	-0,01		
Fenotipik korelasyon katsayıları Phenotypic correlation coefficients								

Araştırmada ağırlığa ilişkin özellikler arasındaki fenotipik ilişkilerin tümü önemli ($P < 0,01$) bulunmuştur. Ağırlık özellikleri arasındaki genetik korelasyon tahminlerinden en yüksek olanı pupa ağırlığı (PA) ve ergin ağırlığı (EA) özellikleri arasında bulunmuştur. Bu iki özellik arasında belirlenen genetik ve fenotipik korelasyon katsayıları sırasıyla; 0,77 ve 0,96'dır. Son dönem larva ağırlığı (SDLA) ve pupa ağırlığı (PA) özellikleri arasında tahmin edilen fenotipik ve genetik korelasyon tahminleri ise sırasıyla; 0,33 ve 0,62 olarak bulunmuştur. Bu değerler SDLA ve PA özellikleri arasında yakın bir fenotipik ve genetik ilişkinin varlığını göstermektedir.

Diğer taraftan, gelişim süreleri özellikleri arasında tam'a yakın bir genetik ilişki (0,98, 0,92 ve 1,00) belirlenmiştir. Bu özelliklerden ergin olma süresi (ES) ile pupa olma süresi (PS) arasındaki fenotipik ilişki derecesi de "1" değerine oldukça yakındır. Gelişim sürelerine ait özellikler ile ağırlık özellikleri arasındaki en yüksek fenotipik korelasyon katsayıları PA ile PS ve PA ile ES özellikleri arasında sırasıyla 0,24 ve 0,25'lik önemli ($p < 0,01$) bir ilişki belirlenmiştir. Bu özellikler arasındaki genetik korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0,25 ve 0,16'dır. Diğer taraftan PKS özelliği ile SDLA, PA ve EA özellikleri arasında fenotipik bir ilişki belirlenmemiştir. Bu

özellikler arasındaki genetik korelasyonlarda SDLA ile PS haricinde "0" değerine oldukça yakın bulunmuştur. Araştırmada üreme özelliği olarak üzerinde durulan familya birey sayısı özelliği ile ağırlık ve gelişim süreleri özellikleri arasında genetik korelasyonların tümü oldukça düşük tahmin edilmiştir. Bu özellik ile ağırlık özellikleri arasında ters yönlü önemli bir ilişki belirlenirken, gelişim süreleri ile "0" değerine yakın bir ilişki düzeyi tahmin edilmiştir.

Çalışmada elde edilen fenotipik özelliklere ait korelasyonları karşılaştırabilecek herhangi bir literatür bilgisine ulaşamamıştır. Ancak bu konuda *T. molitor* ile aynı familyanın bir başka türü olan ve biyolojisi sarı un kurtlarına oldukça benzeyen *T. castaneum* türüne ait literatür bildirimleri mevcuttur. Buna göre bulunan SDLA ve PA özellikleri arasındaki 0,327'lik değer Scheinberg, (1967) tarafından bildirilen $0,55 \pm 0,02$ değerden daha düşük, Bell, (1972) tarafından bildirilen $0,36 \pm 0,05$ ve $0,29 \pm 0,05$ değerlere oldukça yakındır. Larva ve ergin ağırlık arasında belirlenen 0,333' luk değer ise Okada and Hardin (1967) tarafından bildirilen (erkek, dişi ve erkek + dişi) $0,15 \pm 0,03$, $0,16 \pm 0,03$ ve $0,16 \pm 0,04$ 'luk değerden daha yüksektir.

Çalışmada üzerinde durulan özelliklere ait genetik parametre tahminleri varyans-

kovaryans unsurları yöntemine göre, iki model kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan bu modellerin ilki olan tek özellikli model (Model 1) yardımıyla, üzerinde durulan özelliklere ait eklemeli genetik varyanslar (σ_a^2), ortak çevre varyansları (σ_{pe}^2), hata varyansları (σ_e^2),

fenotipik varyanslar (σ_p^2), kalıtım dereceleri (h^2), fenotipik varyasyonda ortak çevrenin payı (pe^2), ve fenotipik varyasyonda çevrenin payı (e^2) tahmin edilerek Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3. SDLA, PA, EA, PS, PKS, ES ve FBS özelliklerine ait genetik parametre tahminleri (SDLA, PA, EA; son dönem larva, pupa, ergin ağırlığı, PS, PKS, ES; pupa, pupada kalış, ergin süresi, FBS; aile birey sayısı).

Table 3. Estimates of genetic parameters for LW, PW, AW, PT, PST, AT, FN (LW, PW, AW; larva, pupa, adult weight, PT, PST and AT; duration of pupa, duration of pupal stay and the duration of adulthood, FN; number of individuals in the family).

Özellik	σ_a^2	σ_{pe}^2	σ_e^2	σ_p^2	h^2	pe^2	e^2
SDLA - LW	457,3	38,9	511,8	1007,9	0,45	0,04	0,51
PA - PW	250,2	29,3	108,1	387,6	0,65	0,08	0,28
EA - AW	161,8	24,4	172,5	358,6	0,43	0,07	0,48
PS - PT	3,4	0,0	9,0	12,3	0,27	0,00	0,73
PKS - PST	3,0	0,0	0,3	3,2	0,91	0,00	0,09
ES - AT	3,3	0,0	6,9	10,3	0,32	0,00	0,68
FBS - FN	3,9	0,0	0,1	4,1	0,98	0,00	0,02

Çalışmada ele alınan canlı ağırlık özelliklerinden SDLA, PA ve EA' 1 özelliklerine ait kalıtım derecesi tahminleri sırasıyla, 0,45, 0,65 ve 0,43 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu kalıtım derecesi tahminleri yüksek sayılabilecek değerlere sahiptir. Üzerinde durulan bir diğer özellik olan FBS'i özelliği için tahmin edilen kalıtım derecesi ise 0,98 olarak bulunmuştur. Bu değer oldukça yüksek ve "1" ekstrem değerine çok yakındır. Bu özellik için bu denli yüksek bir h^2 'nin tahmin edilmesinin birkaç nedeninin olabileceği düşünülmektedir. Bunlardan ilki 1. generasyon için elde edilen sonuçların pedigrisi bilinmeyen dişi böceklerle ait olmasıdır. Diğer bir başka sebep ise çalışmada diğer özelliklerin ölçülmesinde yeterli sayıda bireyin olması istendiğinden ve bunun sağlanması için her öz kardeş ailesinden 10 ve daha fazla birey bulunanlar dikkate alınmış olmasıdır. Bu durum grup içi varyasyonun azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca bu özellik için yalnızca iki günlük çiftleşme süresi sonunda elde edilen döllerin sayısı kullanılmıştır. Bu durum varyasyonda bir azalma meydana getirmiş olabilir. Bu nedenlerden dolayı aile başına döl sayısı için bulunan

kalıtım derecesi tahminlerinin gerçek durumu yansıtmadığı söylenebilir.

Çalışmanın materyalini oluşturan *T. molitor*' un ağırlık ve döl verimi özelliklerine ait çok az sayıda araştırmaya ulaşılabilmektedir. Ulaşılan bilgilerin de büyük bir kısmı fenotipik değerlere ait bilgilerdir. Ancak *T. molitor* ile aynı familyada yer alan *Tribolium* türlerinden *Tribolium castaneum* kalitatif ve kantitatif genetik çalışmalarında model organizma olarak kullanılan bir türdür. Biyolojisi, morfolojisi ve fizyolojisi un kurtlarına çok benzeyen bu türden elde edilen genotipik parametre sonuçları, *T. molitor*' den elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde iyi bir alternatiftir. Buna göre SDLA özelliği için tahmin edilen 0,45' lik kalıtım derecesi Campo and Rodriguez (1990), Bell (1972) ve Scheinberg et al., (1967) tarafından bildirilen ve sırasıyla, 0,59, 0,41 ile 0,61 ve 0,59 değerlere oldukça yakın ancak daha düşüktür. Yine bu değer Okada and Hardin (1967) ve Wilson (1974) tarafından bildirilen sırasıyla, 0,41 ve 0,20 ile 0,48 değerlerine oldukça yakın ancak bir miktar yüksektir. Araştırmada PA' i özelliğine ait 0,65' lik h^2 tahmini Bell (1972)' de bildirilen 0,69 ve 0,67 değerlerine oldukça yakın, Scheinberg et al., (1967)' da bulunan

0,80 değerinden daha küçük, Campo and Blanca (1987) ve Enfield et al., (1966) tarafından bildirilen 0,36, 0,37 ve 0,34 değerlerinden daha yüksektir. Çalışmada elde edilen EA özelliğine ait 0,43' lük kalıtım değeri tahmini ise Campo and Blanca (1987) ve Campo and Rodriguez (1990)' da bildirilen sırasıyla 0,46 ve 0,40 değerlerine oldukça yakın; Okada and Hardin (1967) ve Rantala et al. (2011) tarafından bildirilen 0,36 ve 0,36 değerlerinden daha yüksektir. FBS özelliği için tahmin edilen kalıtım derecesi ise Campo and Blanca (1987) tarafından bildirilen 0,09 değerinden oldukça yüksektir.

Çizelge 3' de verilen PS, PKS ve ES özelliklerine ait kalıtım derecesi tahminleri sırasıyla 0,27, 0,91 ve 0,32 değerlerine sahiptir. Elde edilen bu tahminlerden en dikkat çeken 0,91 tahmin değerine sahip olan pupada kalma süresi (PKS) özelliğidir. Bu özelliğe ait bulunan kalıtım derecesi tahminin "1" ekstrem değerine oldukça yakındır. Bunun anlamı bu özelliğin ortaya çıkmasında yalnızca genotipin rol oynamasıdır. Grup içi varyasyon yani şansa bağlı çevre etkisinin toplam varyasyondaki payının düşük olması, pupa evresinde böceklerin besin alımı gibi çevreden etkilenebilecek etkenlere maruz kalmaması ve tüm böceklerin bir arada kontrollü çevre şartlarının olduğu ortamda bir arada olmasıdır. Bu sonuçlara göre PKS' i özelliği için belirlenen fenotipik varyasyonun büyük ölçüde genotipik varyasyondan kaynaklandığı söylenebilir. Üzerinde durulan diğer gelişim özellikleri olan PS ve ES özellikleri için belirlenen fenotipik varyasyonda şansa bağlı çevrenin etkisi genotipin etkisinden daha yüksektir. Bu sonuçlara göre PS, PKS ve ES özellikleri genetik ıslah yolu ile geliştirilebilir özellikler oldukları söylenebilir.

Sonuç ve Öneriler

Çalışmada *T. molitor*' un ele alınan gelişim ve üreme özelliklerine ait elde edilen sonuçlar mevcut literatür bilgisi ışığında değerlendirildiğinde şu sonuç ve önerilere ulaşılmıştır;

1. *T. molitor* sahip olduğu yüksek ve değerli protein ve yağ içeri nedeniyle özellikle kanatlı hayvan beslemede kullanılabilir bir materyal niteliğindedir.

2. *T. molitor*' un ıslahına yönelik yapılacak çalışmalarda kullanılabilir en uygun özellik olarak pupa ağırlığı özelliği ön plana çıkmaktadır. Nitekim elde edilen % 65 h^2 tahmini, uygulanacak bir seleksiyon programı ile hızlı genetik ilerleme değerlerinin elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca pupa döneminde cinsiyet belirleme işleminin kolaylıkla yapılabilmesi bakımından bir avantajda sağlamaktadır.

3. *T. molitor*' un pupa ağırlığı ve ergin ağırlık özelliği arasındaki yüksek (0,77) genetik ilişki nedeniyle, pupa ağırlığı özelliğinin ergin ağırlık özelliği için erken seleksiyon kriteri olabileceği görülmüştür.

4. Araştırmada gelişim süreleri ile canlı ağırlık özellikleri arasında belirlenen düşük ve pozitif genetik korelasyonlar nedeniyle canlı ağırlıklarda yapılacak bir ıslah çalışması sonucunda, gelişim sürelerinde bir miktar uzamaların olabileceği belirlenmiştir.

5. Çalışmada kullanılan gerek tek ve gerekse çok özellikli modellerin *T. molitor*' un ıslahında da kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Özellikle diploid yapıda olan *T. molitor* gibi böceklerin genetik ıslahında bu ve diğer hayvansal modeller başarı ile kullanılabilir. Ayrıca BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan ve hayvansal modelleri temel alan seleksiyon yöntemleri böceklerin istenilen özelliklerinin geliştirilmesinde uygulanabilir niteliktedir.

6. *T. molitor* laboratuvar ortamında kolaylıkla yetiştirilebilir bir tür olması, yetiştirme ve besleme maliyetinin düşük olması, birim alanda çok sayıda yetiştirilebilmesi, generasyonlar arası sürenin kısa olması, özelliklerinin kolay belirlenebilir olması gibi özellikleri nedeniyle model organizma olma özelliğine sahip bir böcek türü olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon

Birimi tarafından 4338-YL1-15 No' lu proje olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı birime teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Bell, E., 1972. Divergent Two-Trait Selection in *Tribolium*. Proc. 21st A. Natn. Breeders'Roundtable, 106-134.
- Belforti, M, Gai, F, Lussiana, C, Renna, M, Malfatto, V, Rotolo, L, Marco, MD, Dabbou, S, Schiavone, A., Zoccarato, I., and Gasco, L, 2016. *Tenebrio molitor* Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Diets: Effects on Animal Performance, Nutrient Digestibility and Chemical Composition of Fillets. Italian Journal of Animal Science. 14, 670-676.
- Boldman KG, Kriese LA, Van Vleck LD, Van Tassel CP and Kachman SD (1995) A Manual for Use of MTDFREML. A Set of Programs to Obtain Estimates of Variances and Covariances [DRAFT]. USDA-ARS, Clay Center,
- Campo, J.L. and Bianca A.S., 1987. Experimental comparison of selection methods to improve a non-linear trait in *Tribolium*. Theoretical and Applied Gen., 75:4, 569-574.
- Campo, J.L., and Rodriguez, M. 1990. Relative efficiency of selection methods to improve a ratio of two traits in *Tribolium*. Theoretical and Applied Genetics. 80:3, 343-348.
- Enfield, FD., Comstock, RE., Braskerud, O., 1966. Selection for pupa weight in *Tribolium castaneum*. I. parameters in base populations. Genetics 54; 523-533
- Finke, MD. 2002. Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores. Zoo Biology 21: 269-285.
- Gall, GAE., 1971. Replicated Selection for 21-day Pupa Weight of *Tribolium castaneum*. Theoretical and Applied Genetics 41, 164-173.
- Gasco, L., Belforti, M., Rotolo L., Lussiana, C., Parisi G., Terova G., Roncarati A. and Gai, F., 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Abstract book Conference "Insects to Feed The World" The Netherlands 14-17 May 2014.
- Ghaly, AE., ve Alkokaik, FN., 2009. The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 4 (4): 319-331.
- Huang, Q., Hu, J., Zhou, DG., Sun, L., Ruan, HB, Wang, XN., Chen, G., Zhu, TH., Yang, CP, Yang, W., 2011. Comparison of Growth, Development, Survivorship and Food Utilization of Two Color Varieties of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Acta Entomologica sinica, 54(3): 286-292.
- Ramos-Elorduy, J. 1997. Insects: A sustainable source of food J. Ecol. Food Nut. 36 247-276.
- Ramos-Elorduy, J., Gozález, EA., Hernáz AR., Pino, JM., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. J. Venerinary Entomology. 95(1): 214-220.
- Rantala M.J., Viitaniemi, H., Roff, D.A. 2011. Effects of inbreeding on potential and realized immuneresponses in *Tenebrio molitor*. Parasitology, 138, 906-912.
- Ravzanaadii, N., Kim, S.H., Choi, W.H., Hong, S.J., and Kim, N.J., 2012. Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. Int.J. Indust.Ent.,Vol. 25:1,93-98.
- Marco, M.De, Martínez, S.,Hernandez, F., Madridb, J., Gai, F., Rotolo L., Belforti, M., Bergeroa, D., Katz, H., Dabboud, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gascoc, L., Schiavonea, A., 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. Animal Feed

- Science and Technology 209, 211–218.
- Meyer, K., 1997. DFREML 3.0a program package and user notes. Animal Genetics and Breeding Unit, Univ. New England, Armidale, New South Wales, Australia. 27 pp.
- Minvielle, F., Gall, G.A.E., 1980. Artificial Selection for 18-day Pupa Weight and Opposing Simulated Naturel Selection in *Tribolium castaneum*. Theor. Appl. Genet. 56,49-55.
- Ng, W-K., Liew, F-L., Ang, L-P., and Wong, K-W., 2001. Potential Of Mealworm (*Tenebrio molitor*) As An Alternative Protein Source In Practical Diets For African Catfish, *Clarias gariepinus*. Aquaculture Research, 32 (1), 273-280.
- Okada, I., and Hardin R.T., 1969. An Experimental Examination of Restricted Selection Index, Using *Tribolium castaneum*. II. The Results of Long-Term One-Way Selection. Genetics 64:533-539.
- Özsoy, A.N., 2007. Çeşitli Çiftleştirme Sistemleri Bakımından Seleksiyonun Genetik Parametreler Üzerine Etkisi. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. 85 sayfa.
- Scheinberg, E., Bell, A.E. and Anderson, V.I., 1967. Genetic gain in population of *Tribolium castaneum* Under Uni-Stage Tandem Selection and under Restricted Selection Indices. Genetics 55: 69-90.
- Siemianowska, E., Kosewska, A., Aljewicz, M., Skibniewska, K., Polak, L., Jarocki, A., Jędras, M., 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. Agricultural Sciences, 4, 287-291.
- Sokoloff, A. 1977. The Biology of *Tribolium* with Special Emphasis on Genetic Aspects. Volume 3. Clarendon Press Oxford. 612. England.
- Urrejola, S., Nespolo, R., and Lardies, M.A. 2011. Diet-induced developmental plasticity in life histories and energy metabolism in a beetle. Revista Chilena de Historia Natural 84: 523-533.
- Wade, M.J., 1976. Group selection among laboratory populations of *Tribolium*. Proc. Natl. Acad. Sci.,73(12), 4604-4607.
- Wilson, S.P., 1974. An Experimental Comparison of Individual, Family and Combination Selection. Genetics. 74(4): 823-836.