

A LOVAK FEHÉRSÉGÉNEK EGY NEM VÁRT ELŐNYE

A leginkább "bögölyálló" ló depolarizáló fehér szőrű

Blahó Miklós

Környezetoptika Laboratórium,
Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

TDK dolgozat



Témavezetők:

Dr. habil. Horváth Gábor
egyetemi docens, az MTA doktora

Környezetoptika Laboratórium,
Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Dr. Kriska György
egyetemi adjunktus

Biológiai Szakmódszertani Csoport,
Embertani Tanszék,
Biológiai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest

2009.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Összefoglalás.....	2
2. Bevezetés.....	3
3. Vizsgálati módszerek.....	4
4. Eredmények.....	10
5. Elemzés.....	25
6. Köszönetnyilvánítás.....	30
7. Irodalom.....	31

1. Összefoglalás

A fehér kültakarójú lovak gyakran szenvednek az ultraibolya napsugárzással szembeni nagy érzékenységből fakadó rosszindulatú bőrrákban és látórendszeri betegségekben. Ráadásul a vadon élő fehér lovakat a ragadozók könnyebben elejtik, mert fehérségük miatt kevésbé tudnak rejtőzködni, mint sötétebb színű fajtársaik. Nagyobb sebezhetőségük ellenére a fehér lovakat az emberek évezredek óta nagy becsben tartják, éppen a természetbeni ritkaságuk miatt. TDK dolgozatomban megmutatom, hogy a bögölyök kevésbé vonzódnak a fehér lovakhoz, mint a sötét színűekhez. A bögölyök számos egészségügyi és gazdasági problémát okoznak az embereknek és állatoknak egyaránt, mivel a nőtényeik betegségek kórokozóit terjesztik, miközben a gerincesek vérért szívják. Azt is bizonyítom, hogy a bögölyök a vérszívásra alkalmas gazdaállatot részben az annak kültakarójáról visszavert poláros fény segítségével találják meg. A bögölyök főként fekete és barna kültakarójú lovakhoz való vonzódása a nemrégiben felfedezett pozitív polarotaxisukkal, vagyis az erősen és vízszintesen poláros fényhez való vonzódásukkal magyarázható. Mivel a gazdaállat színe meghatározza a bögölyökre kifejtett vonzerejét is, ezáltal kihat a gazdaállat kórokozó terhelésére is. Habár kizárólag a bögölyök és lovak közti vizuális kölcsönhatást vizsgáltam, eredményeim érvényesek lehetnek a polarotaktikus bögölyök más gazdaállataira is, mivel a gazdaállatok kültakarójának fénypolarizáló sajátságai fizikailag azonosak, így nem fajfüggőek.

TDK dolgozatom eredményei a következő publikációhoz járultak hozzá:

[1] HORVÁTH, G. - BLAHÓ, M. - KRISKA, G. - HEGEDŰS, R. - GERICS, B. - FARKAS, R. - ÁKESSON, S. (2009) An unexpected advantage of whiteness in horses: The most horsefly-proof horse has depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B (Biological Sciences)* (impact factor: 4.248) (submitted)

2. Bevezetés

A természetes kiválasztódás és a nőstény állatok párválasztása a hímek kültakarójának (tollazatának, szőrzetének) látványos mintázataihoz vezetett, mely mintázatok a hímekben hordozott "jó gének" és a paraziták elleni nagy ellenállóképesség vizuális jelzőinek számítanak (HAMILTON - ZUK 1982, CLAYTON 1991, CLUTTON-BROCK 2007). A tesztoszteron szabályozza a szőrzet növekedését (THORNTON et al. 2001) és a melaninképződést (WILSON 1983), valamint befolyásolja a hímek agresszióját (MARLER - MOORE, 1988), mely jellemzők a hímek dominanciájával és megnövekedett párosodási lehetőségével állnak szoros kapcsolatban. Ugyanakkor a magasabb tesztoszteronszint nagyobb parazitaterheléssel és a paraziták miatti nagyobb halálozási aránnyal jár együtt (ZUK - MCKEAN 1996, MOORE - WILSON 2002). A feltűnőségük miatti nagy sebezhetőségük következtében a természetben csak igen ritkán fordulnak elő fehér (világos szürke vagy albinó) lovak és más patás állatok. Az ilyen fehér állatok sokkal kevésbé védettek a napsugárzás ultraibolya összetevőjével szemben, ami megnöveli a bőrrák kialakulásának esélyét, továbbá a látórendszer betegségeihez vezethet (PIELBERG et al. 2008). Egy fehér kültakarójú patást a ragadozók könnyen észrevesznek, ezért a fehér egyedek az evolúció során kisselektálódtak a vadonélő populációkból. Másrészt viszont éppen a természetbeli ritkaságuk miatt az emberek kitenyésztették a fehér (lovas szaknyelven szürke) lovak különféle fajtáit. A fehér ló az emberi kultúrában idővel a méltóság és a gazdagság státusz szimbólumává vált (TRESIDDER 2005).

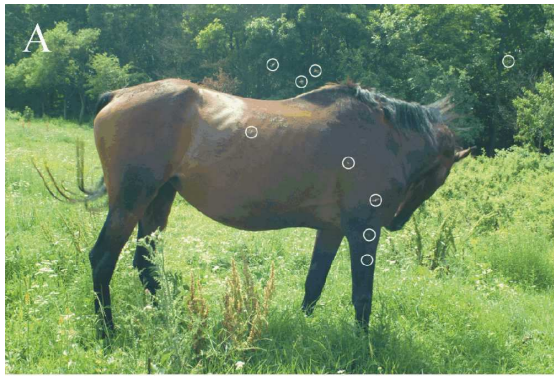
Jelen dolgozatban megmutatom, hogy a fehér lovak a bögyök számára kevésbé vonzóak, mint a sötétebb színűek. Kísérletekkel és képalkotó polarimetriai vizsgálatokkal támasztom alá azt a föltételezést, hogy e jelenség a kültakaró fénypolarizáló-képességével és a bögyöknél nemrég fölfedezett pozitív polarotaxissal (HORVÁTH et al. 2008) magyarázható, vagyis azzal, hogy a bögyök vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fény minden (természetes vagy mesterséges) forrásához. Az, hogy a fehér lovak kevésbé vonzzák a bögyöket, nagyon előnyös tulajdonság, mert a bögyök sok szenvedést okoznak a lovaknak, és más emlősöknek is. E rovarok vérszívó nőstényei súlyos betegségek kórokozói a hordozói (FOIL 1989), folytonos zaklatásuknak köszönhetően pedig a lovak és más növényevő állatok (például

szarvasmarhák) kevesebbet legelnek, miáltal testtömegük és tejtermelésük is jelentősen lecsökken (LEHANE 2005). A vadon élő populációkra is negatív hatással van a bögölyök folyamatos támadása miatt megzavart táplálkozás, miáltal a gazdaállatok állóképessége (fitnesze) csökken.

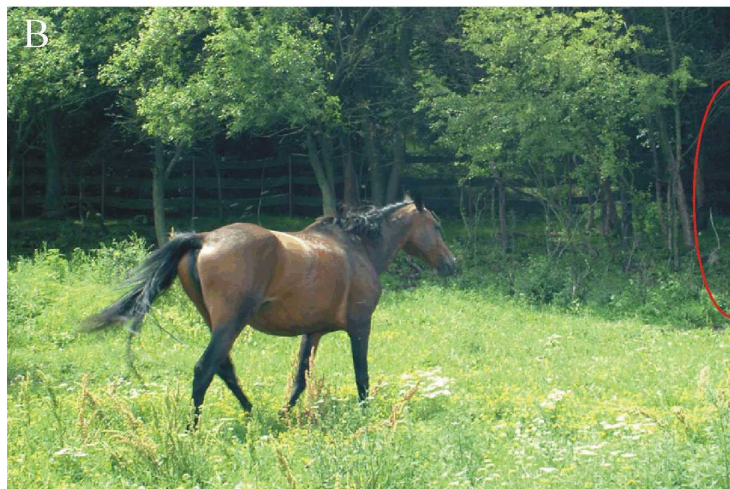
Témavezetőim segítségével a terepen megfigyeléseket és választásos kísérleteket végeztem, melyekben a bögölyök lovakhoz, lómakettekhez és különböző fénypolarizáló-képességű tesztfelületekhez való vonzódását tanulmányoztam. A kapott eredmények szerint nem önmagában a kültakaró sötét színe, hanem a fénypolarizáló-képessége okozza a bögölyök erősebb vonzódását a sötétebb lovakhoz. Hogy a választásos terepkísérletekben használt lómakettek és tesztfelületek polarizációs mintázatait összehasonlíthassam a bögölyök által támadott tipikus gazdaállatokéival, élő lovak és szarvasmarhák polarizációs mintázatait is mértem képalkotó polarimetriával.

3. Vizsgálati módszerek

Lovak bögölyök általi zaklatásának megfigyelése: Egy meleg napsütéses napon, 2008. június 22-én Szokolyán (47° 52' N, 19° 00' E) egy legelőn figyeltem meg egy barna (lovas szaknyelven pej) és egy fehér (szürke) ló bögölytámadásokkal szembeni viselkedését. A bögölyök mindkét lovat folyamatosan zaklatták, a lovakat valóságos bögölyfelhő vette körül. Hogy a bögölyfelhő méretét valamiképpen dokumentáljam, 70-70 fényképet készítettem a legelő barna és fehér lóról (*1. ábra*). A 10 megapixeles felbontású képeken egy számítógépes képernyőn leszámoltam a vizuálisan fölismert bögölyöket (*1. táblázat*). Az intenzív bögölytámadások elől a lovak időnként a napos legelőről a rétet határoló erdő árnyékába menekültek (*2. ábra*). Mértem mindkét ló legelőn és árnyékban töltött időtartamát (*2. táblázat*).



1. ábra: Két jellemző képpár a bögölyök által zaklatott barna (A, C) és fehér (B, D) lóról. A lovak körül szálló és azokra rászállt bögölyöket vizuálisan ismertem föl és a képeken karikával jelöltem. 70 képpárat értékeltem így ki, és az összes fényképen megszámoltam a bekarikázott bögölyöket. Az itteni képpáron is jól látható, hogy a barna lovat a bögölyök sokkal inkább támadták, mint a fehéret.



2. ábra: (A) Egy szokolyai legelő, ahol barna és fehér lovak bögölyök általi zaklatását figyeltem meg. A lovak a napos mezőn legeltek, vagy a legelőt szegélyező erdő árnyékában (piros ellipszissel jelölve) pihentek. (B) A napos mezőn történt rövid legelés után a barna ló a bögölyök folyamatos támadása elől bemenekült az erdőbe. (C) Az erdő árnyékába csak kevés bögöly követte a lovakat, így a lovak ott nyugodtan pihenhettek, amíg meg nem éheztek és újra ki nem merészkedtek a legelőre, ahol megint heves bögölytámadások érték őket.

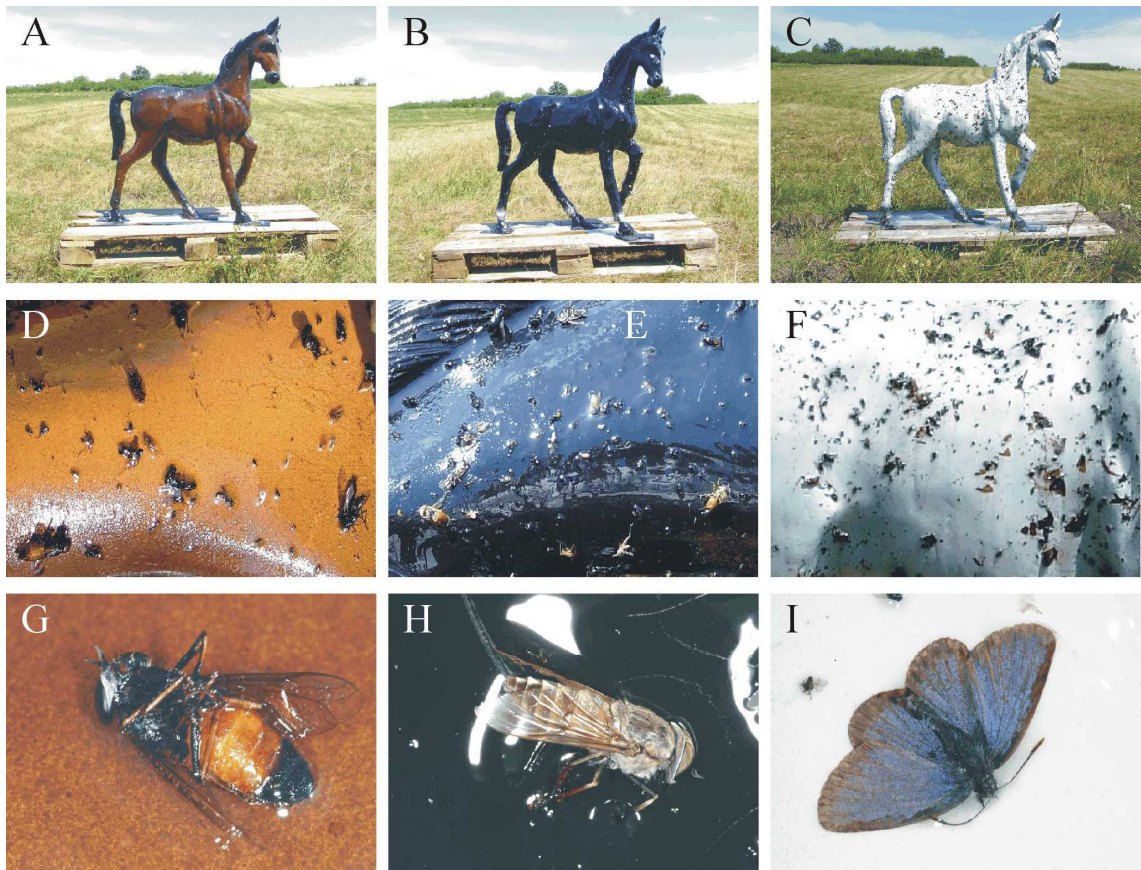
Az 1. kísérlet 2008. június 23-24-én, illetve 25-26-án zajlott meleg, napos időben egy-egy lovastanyán Gödön (47° 43' N, 19° 09' E) és Szokolyán (47° 52' N, 19° 00' E), naponta 9:30-tól 17:30-ig (helyi nyári idő = UTC+2). Egy adott helyszínen az első napon két azonos méretű (150 cm × 150 cm) és minőségű, száraz, matt, barna vásznat fektettem vízszintes deszkákra, egymástól 1 m távolságra. Az egyik vásznat egy szintelen, átlátszó, 3 mm vastag műanyag lappal fedtem le (7. ábra). A tesztfelületeket óránként fölcseréltem, továbbá kétóránként az árnyékból a közeli napos területre helyeztem át. A tesztfelületek T hőmérsékletét egy digitális kontakthőmérővel mértem. A két tesztfelület T hőmérséklete a kísérlet során mindvégig azonos volt $\pm 0.25^\circ\text{C}$ pontossággal. Mindkét tesztfelületnél számoltam az odavonzott bögölyöket és a tesztfelületre való leszállásaikat (3. és 4. táblázat). A második napon is elvégeztem ezt a kísérletet azzal a különbséggel, hogy a műanyag lappal borított barna vásznat egy azonos méretű matt fehér vászonra cseréltem.

A 2. kísérletet először 2008. augusztus 3-án 9:00 órától 19:00 óráig (UTC+2) végeztem el egy lovasiskola melletti temetőben, Kiskunhalason (46° 43' N, 19° 05' E). A kísérleti elrendezés az 1. kísérlettel megegyező volt, csak a vízszintes átlátszó, szintelen műanyag lapot szintelen, szagtalan ragasztóval (BabolnaBio® egérragacs) vontam be, amely a felületre szálló minden rovarot megfogott, továbbá a tesztfelületek végig árnyékban voltak. Számoltam a matt barna felületre szálló és a csillogó ragadós felülettel csapdába ejtett bögölyöket. A ragasztóba ragadt bögölyöket azonnal eltávolítottam a felületről, így a következő bögöly számára a csapdába ejtett fajtárs látványa nem befolyásolta a felület vonzóképességét. A kísérletet 2008. augusztus 4-én ugyanott megismételtem azzal a különbséggel, hogy a műanyag lappal borított matt barna vásznat egy azonos méretű matt fehér vászonra cseréltem. Megint számoltam a két tesztfelületre szálló bögölyöket. A tesztfelületek hőmérséklete a kísérlet során végig azonos volt, mivel árnyékban voltak.

A kísérlet első részét, amiben matt barna és fényes barna tesztfelületeket használtam, 2009. augusztus 16. és 25. között, naponta 12:00-tól 13:00-ig, összesen 10 alkalommal megismételtem. Számoltam a vízszintes matt barna felületre szálló és a vízszintes csillogó ragadós felülettel csapdába ejtett bögölyöket (5. táblázat). A fényes barna felületre ragadt bögölyöket most is azonnal eltávolítottam. Miközben a ragadós felületről leszedtem a bögölyöket, azok súlyosan megsérültek, ami a faji

meghatározásukat lehetetlenné tette. Mindazonáltal bizonyosan bögyök (Tabanidae: Diptera) voltak. 2009. augusztus 16. és 25. között, naponta 13:00-tól 14:00-ig a kísérlet második felét is – amiben egy száraz matt barna és egy száraz matt fehér tesztfelületet használtam – tízszer megismételtem, számolva a tesztfelületekre rászálló bögyöket.

A 3. kísérlet 2009. július 17-től szeptember 13-ig folyamatosan zajlott egy lovastanyán, Szokolyán (47° 52' N, 19° 00'E). Egy barna, egy fekete és egy fehér lómakettet (mindhárom azonos formájú és méretű: hosszúság: 160 cm, magasság: 110 cm, szélesség: 60 cm) állítottunk a füves talajra normál testtartásban (3. ábra). A három lómakettet 5 m távolságra helyeztük el egymástól egy egyenes mentén. A felületüket minden második napon színtelen, szagtalan ragasztóval (BabolnaBio® egérragacs) kentem be. A lómakettek sorrendjét kétnaponként véletlenszerűen fölcseréltük. A kísérlet helyét úgy választottuk meg, hogy mindhárom lómakett egyszerre legyen napon vagy árnyékban. A lómakettek ragadós felületeivel csapdába ejtett bögyöket kétnaponta leszedtem és megszámláltam (6. táblázat). Felhős vagy esős időben a bögyök nem repültek, s ekkor a lómakettek egyetlen bögyöt sem fogtak. Miközben a lómakettek ragadós felületéről a bögyöket leszedtem, azok súlyosan megsérültek, ami a faji meghatározásukat lehetetlenné tette. Mindazonáltal a leszedett rovarok bizonyosan bögyök (Tabanidae: Diptera) voltak. Mindezzel párhuzamosan egy másik kísérletet is végeztem július 17-től 26-ig, illetve augusztus 11-től 16-ig. Egy fekete, négyzet alakú (50 cm × 50 cm), étolajjal töltött műanyag tálcával fogtam bögyöket, ami lehetővé tette az adott területen jelenlévő bögyfajok meghatározását (6. táblázat).



3. ábra: A 3. kísérletben használt ragadós barna (A), fekete (B) és fehér (C) lómakettek. A barna (D), fekete (E) és fehér (F) lómakettre ragadt bögölyök és más rovarok. (G) A barna lómakettre ragadt bögöly. (H) A fekete lómakettre ragadt bögöly. (I) A fehér lómakettre ragadt lepke.

A 4. kísérlet egy gödi lovastanyán (47° 43' N, 19° 09' E) zajlott 2008. július 11. és szeptember 7. között. Öt (fehér, világosszürke, közészürke, sötétszürke, fekete) étolajjal töltött tálcát tettünk a földre (8. ábra), sorrendjüket naponta, véletlenszerűen változtatva. Éjszakára, valamint esős időben a tálcákat letakartuk. A tálcák által csapdába ejtett bögölyöket begyűjtöttük és etil-alkoholban tartósítottuk a későbbi határozás céljából.

Polarizációs mintázatok mérése: A tesztfelületek (7., 8. ábra), lómakettek (5. ábra), valamint lovak és szarvasmarhák (6. ábra) polarizációs mintázatait képalkotó polarimetriával mértem a spektrum vörös (650 ± 40 nm = a polariméter CCD detektora maximális érzékenységének hullámhossza \pm annak félértékszélessége), zöld (550 ± 40 nm) és kék (450 ± 40 nm) tartományában. A továbbiakban csak a zöld tartományban mért polarizációs mintázatokot mutatom be, a mintázatok mindhárom csatornában gyakorlatilag azonosak voltak. A képalkotó polarimetria módszere részletesen leírásra került másutt (HORVÁTH - VARJÚ 1997, 2004). A polarizációs méréseket tiszta égbolt alatt végeztem. A polarotaktikus vízirovarok, például a bögyök akkor érzékelnek víznek egy felületet, ha az arról visszavert fény (i) p lineáris polarizációfoka nagyobb egy fajfüggő p^* küszöbértéknél, és (ii) az α polarizációirányának a vízszintestől ($\alpha = 90^\circ$) való $\Delta\alpha = |90^\circ - \alpha|$ eltérése pedig kisebb egy fajfüggő $\Delta\alpha^*$ küszöbértéknél. Példaként a 5. ábrán $p^* = 10\%$ és $\Delta\alpha^* = 10^\circ$ értékeket használtam. Habár a küszöbértékek nagysága döntő fontosságú, más értékek alkalmazása sem befolyásolta az eredményeket és következtetéseket.

Taxonómiai meghatározás: Az etil-alkoholban tartósított bögyök faji meghatározást Dr. Farkas Róbert végezte (Szent István Egyetem, Állatorvos-tudományi Kar, Parazitológiai és Általános Ökológiai Tanszék, Budapest).

Statisztika: Az eredmények statisztikai elemzését (ANOVA, binomiális és multinomiális χ^2 tesztek) a Statistica 7.0 számítógépes program segítségével végeztem.

4. Eredmények

Megfigyeltem, hogy a barna és fehér lovakat a bögyök egyaránt és folyamatosan támadták (1., 2., 4. ábra). A lovak jellemző védekező reakciói a bögyökkel szemben a következők voltak: farokkal történő ide-oda csapkodás, lábbal a földre dobantás, hempergés a földön, hirtelen megrázkódás, fej himbálása, a vérszívó bögyök harapással és nyálással történő eltávolítása a kültakaróról (4D-I ábra). E viselkedési elemekkel próbálták elhajtani a lovak a rájuk szálló bögyöket. 70 képpáron számláltam meg a vizuálisan fölismert bögyöket a barna és a fehér lovakon, illetve

azok körül (*1. ábra, 1. táblázat*). A barna lovon $405/110 = 3.7$ -szer annyi bögölyt számoltam, mint a fehérén, mely különbség statisztikusan magasan szignifikáns. A barna lónak a fehérhez képesti, bögölyökre kifejtett nagyobb vonzereje összhangban áll a 3. kísérlet eredményével (lásd később).



4. ábra: (A-C) Lovak vérét szívó nőstény bögölyök (b) és más (nem-bögöly) legyek (l). A legyek a bögöly által ejtett sebből kibugyanó vért nyalogatják. (D-I) Fehér és barna lovak bögölyzaklatásokkal szembeni tipikus védekezőreakciói: farokcsapkodás (A, B), dobbantás a mellső (B) vagy hátsó (C,D) lábbal, hempergés a földön (E), a vérszívó bögölyök harapással és/vagy nyalással történő eltávolítása a kültakaróról (F).

1. táblázat: Egy szokolyai legelőn 2008. június 22-én egy barna és egy fehér lóról készült 70 képpáron (1. ábra) vizuálisan fölismert bögölyök N száma. Az $N = 405$ és 110 közötti különbség statisztikusan magasan szignifikáns ($\chi^2=169$, $df=1$, $p<0.0001$).

Képpár Sorszama	barna ló	fehér ló	képpár sorszama	barna ló	fehér ló
1.	9	1	36.	6	3
2.	6	0	37.	4	2
3.	7	1	38.	2	2
4.	11	2	39.	4	1
5.	10	1	40.	7	1
6.	5	4	41.	4	1
7.	7	3	42.	3	0
8.	4	2	43.	3	0
9.	5	0	44.	4	1
10.	5	0	45.	4	2
11.	7	1	46.	6	2
12.	6	1	47.	4	2
13.	5	1	48.	3	0
14.	5	1	49.	3	0
15.	4	0	50.	5	0
16.	5	0	51.	4	0
17.	9	1	52.	3	3
18.	7	0	53.	6	2
19.	8	0	54.	4	1
20.	11	1	55.	2	2
21.	9	0	56.	4	2
22.	7	2	57.	4	1
23.	8	0	58.	5	3
24.	9	1	59.	4	1
25.	5	3	60.	8	0
26.	7	1	61.	3	2
27.	4	2	62.	8	5
28.	6	1	63.	10	4
29.	6	2	64.	10	2
30.	2	1	65.	12	5
31.	3	2	66.	9	2
32.	2	2	67.	13	3
33.	3	3	68.	7	2
34.	2	1	69.	7	2
35.	3	3	70.	8	7
			összes	405	110

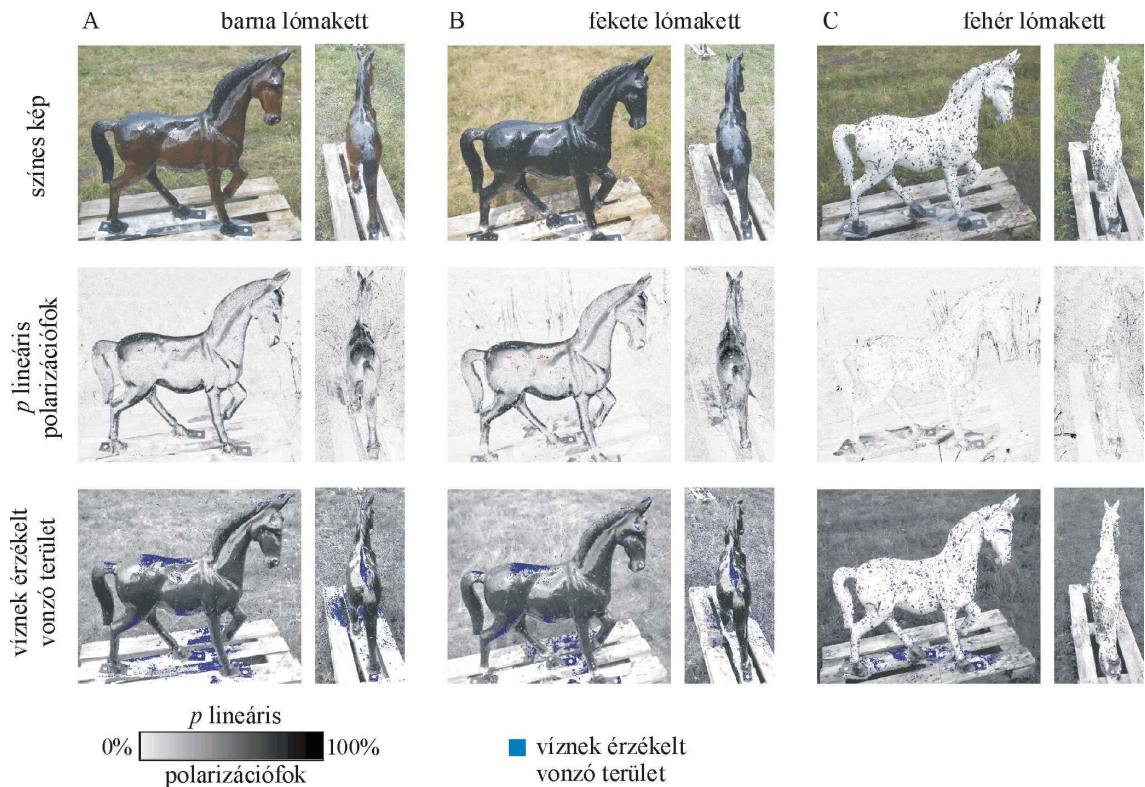
A terepen azt is megfigyeltem, hogy a nyílt legelőn és az árnyékos erdőben nem azonos a bögölytámadások intenzitása, miáltal a lovak a két terület között folyamatosan ingáztak (2. ábra, 2. táblázat). Bizonyos, legeléssel töltött idő után a lovak az árnyékos erdőbe menekültek a bögölyök elől, ahová a bögölyök csak ritkán követték őket, így nyugodtan tudtak pihenni. Egy idő elteltével a lovak újra előmerészkedtek a napos

mezőre legelni, ahonnan azonban hamarosan megint visszakényszerültek az árnyékba. Ezt az ingázó viselkedést ismételték periodikusan a nap közepéig (13:00), mikortól a bögölyök általi zaklatás oly mértékű lett, hogy a lovak már egyáltalán nem tudtak a mezőn legelni. A napos legelőről elsőként mindig a barna ló menekült az erdőbe (2. táblázat). A barna ló 82 perc / 38 perc = 2.2-szer több időt töltött a bögölymentes, árnyékos erdőben, mint a napos legelőn, míg a fehér ló 65 perc / 54 perc = 1.2-szer több időt töltött a legelőn, mint az árnyékban (2. táblázat).

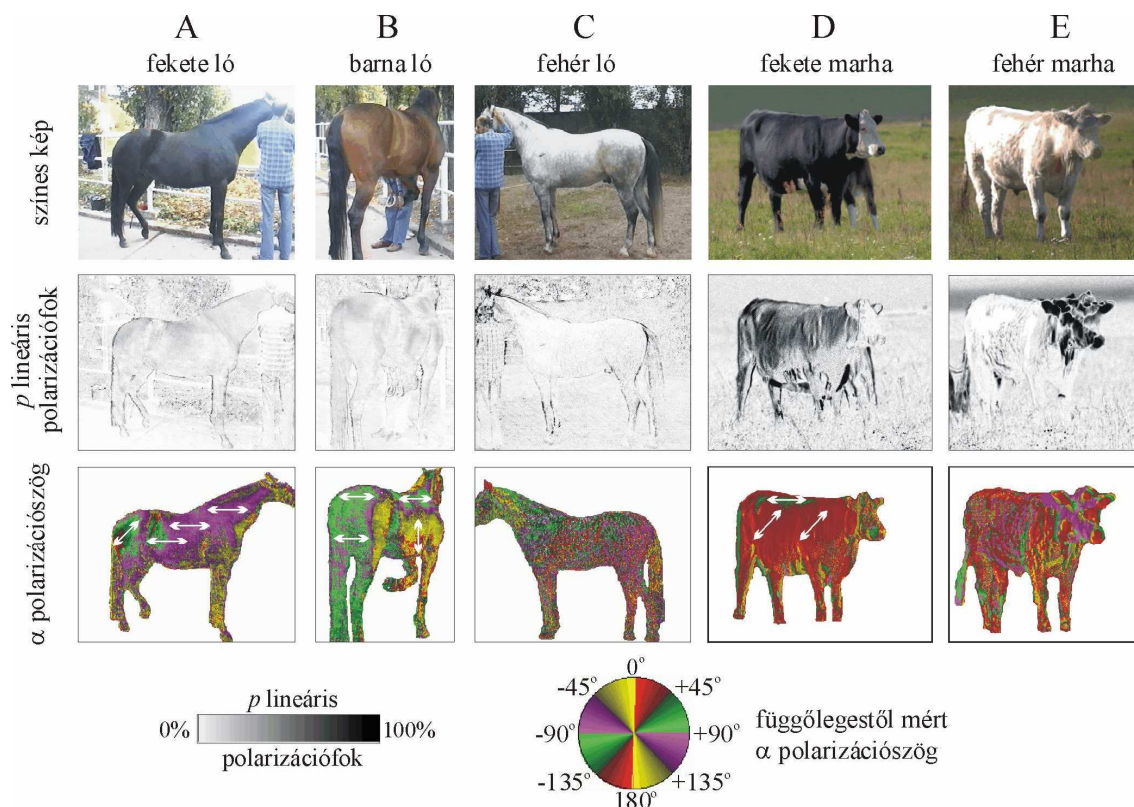
2. táblázat: Egy barna és egy fehér ló megfigyelt előfordulása (+ : megjelenés, – : eltűnés) 2008. június 22-én egy szokolyai napos legelőn és a legelő melletti erdő árnyékában az idő (helyi nyári időszámítás = UTC+2) függvényében, és a *t* teljes tartózkodási idő.

idő	árnyékos erdő		napos legelő	
	fehér ló	barna ló	fehér ló	barna ló
11:00	–	–	+	+
11:15	–	+	+	–
11:25	+	+	–	–
11:30	–	–	+	+
11:40	–	+	+	–
11:43	–	–	+	+
11:46	–	+	+	–
11:49	–	–	+	+
11:58	–	–	+	+
11:59	–	+	+	–
12:02	–	+	+	–
12:03	–	+	+	–
12:04	+	+	–	–
12:23	–	+	+	–
12:30	+	+	–	–
13:00	+	+	–	–
<i>t</i> (perc)	54	82	66	38

Mivel nemrég bebizonyosodott, hogy számos bögölyfaj vonzódik az erősen és vízszintesen poláros fényhez (HORVÁTH et al. 2008), feltételezhető volt, hogy a sötétebb (barna) ló nagyobb vonzóképesége részben megmagyarázható az állat kültakarójának fénypolarizáló-képességével, ami erősen függ annak színétől és világosságától, ahogyan az a 5. és 6. ábrán is látható. E föltevést négy különböző választásos kísérlettel ellenőriztem, amelyek közül néhányat többször is megismételtem.



5. ábra: A 3. kísérletben használt barna (A), fekete (B) és fehér (C) ragadós lómakettek színes képei, polarizációfok mintázatai és a polarotaktikus bögölyök által víznek érzékelt területei (ahol a p polarizációfokra: $10\% < p < 100\%$, és az α polarizációirányra: $80^\circ < \alpha < 100^\circ$) két különböző nézőpontból képalkotó polarimetriával mérve a spektrum kék (450 nm) tartományában. A lómakettekben jól láthatók a csapdába esett rovarok tetemei. A lómakettek napsütésben voltak, a polariméter optikai tengelye a vízszinteshez képest -20° -os szögben dőlt. A 3. sorban a víznek észlelt területeket kék színnel jelöltük.



6. ábra: Fekete (A), barna (B) és fehér (C) lovak, valamint egy fekete (D) és egy fehér (E) szarvasmarha képalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázata a spektrum kék (450 nm) tartományában. A D és E képeken a Nap a bal felső sarok irányából sütött. A polarizációirány mintázatain a háttérre fehérre színeztük, hogy az állatok mintázata jobban látszódjon. Az állatok testének néhány helyén a jellemző polarizációirányokat kettősfejű nyilak jelölik. Az E képen látható bika a polarizációs mérés közben elfordította a fejét, s az emiatti mozgási műtermék okozta a fej látszólag magas polarizációfokait. Valójában a bika feje is a testéhez hasonlóan polarizálatlan, illetve gyengén poláros fényt ver vissza.

Az 1. kísérletből kiderült, hogy a matt barna vászon, amely a lovak barna szőrét utánozta, a bögölyök számára nem volt vonzó, míg az átlátszó, szintelen műanyaglappal letakart matt barna vászon számos bögölyt vonzott (Szokolyán 44 bögölyt 174 leszállással, Gödön 47 bögölyt 157 leszállással a 3. és 4. táblázatok szerint). E különbségek a megvilágítási körülményektől (napos vagy árnyékos) függetlenül statisztikusan magasan szignifikánsak. A bögölyök azonnal vagy 2-15 felületérintés után szálltak rá az adott felületre. A bögölyök a barna tesztfelületeknél ugyanazt a viselkedést mutatták, mint a bögölyök pozitív polarotaxisának fölfedezésekor korábban lefolytatott választásos kísérletekben (HORVÁTH et al. 2008). Mikor az 1. kísérletet matt barna és matt fehér felületekkel ismételttem meg, azok egyáltalán nem vonzottak magukhoz bögölyöket.

3. táblázat: Az 1. kísérletben Szokolyán, 2008. június 23-án a fényes és matt barna tesztfelületekhez vonzott bögölyök N_B száma és azok tesztfelületre való leszállásainak N_L száma az idő függvényében (UTC+2). Az $N_B = 44$ és 1, valamint az $N_L = 174$ és 1 közti különbségek statisztikusan magasan szignifikánsak (df=1, 44/1: $\chi^2=41.1$, 174/1: $\chi^2=171.0$, $p<0.0001$).

idő	bögölyök N_B száma		leszállások N_L száma	
	fényes barna	matt barna	fényes barna	matt barna
10:35	1	0	5	0
10:51	1	0	1	0
10:52	1	0	1	0
11:00	1	0	1	0
11:05	0	1	0	1
11:12	1	0	1	0
11:39	1	0	1	0
12:06	1	0	1	0
12:20	1	0	3	0
12:23	1	0	4	0
12:30	1	0	5	0
12:31	1	0	2	0
12:32	1	0	10	0
12:33	1	0	11	0
12:39	1	0	7	0
12:45	1	0	2	0
12:48	1	0	5	0
12:54	1	0	1	0
13:00	1	0	15	0
13:04	1	0	1	0
13:17	1	0	2	0
13:28	1	0	5	0
13:29	1	0	3	0
13:30	1	0	4	0
13:39	1	0	2	0
13:40	1	0	5	0
13:42	1	0	1	0
13:55	1	0	3	0
13:56	1	0	1	0
14:13	1	0	3	0
14:32	1	0	3	0
14:42	1	0	4	0
14:45	1	0	4	0
14:48	1	0	10	0
14:49	1	0	3	0
14:50	1	0	2	0
14:51	1	0	4	0
15:44	1	0	4	0
15:47	1	0	3	0
16:02	1	0	3	0
16:12	1	0	10	0
16:13	1	0	3	0
16:26	1	0	3	0
16:38	1	0	2	0
16:56	1	0	10	0
összes	44	1	174	1

4. táblázat: Az 1. kísérletben Gödön, 2008. június 25-én a fényes és matt barna tesztfelületekhez vonzott bögölyök N_B száma és azok tesztfelületre való leszállásainak N_L száma az idő függvényében (UTC+2). Az $N_B = 47$ és 1, valamint az $N_L = 157$ és 1 közti különbségek statisztikusan magasan szignifikánsak ($df=1$, $47/1$: $\chi^2=44.1$, $157/1$: $\chi^2=154.0$, $p<0.0001$).

idő	bögölyök N_B száma		leszállások N_L száma	
	fényes barna	matt barna	fényes barna	matt barna
9:30	1	0	2	0
9:34	1	0	3	0
9:44	1	0	1	0
9:50	1	0	6	0
9:56	1	0	12	0
10:02	1	0	3	0
10:23	1	0	6	0
10:36	1	0	2	0
10:48	0	1	0	1
10:59	1	0	1	0
11:04	1	0	1	0
11:15	1	0	2	0
11:21	1	0	4	0
11:36	1	0	2	0
11:42	1	0	3	0
11:43	1	0	2	0
11:57	1	0	7	0
12:12	1	0	1	0
12:24	1	0	1	0
12:29	1	0	2	0
12:33	1	0	3	0
12:47	1	0	11	0
12:52	1	0	2	0
12:55	1	0	1	0
12:59	1	0	15	0
13:13	1	0	3	0
13:25	1	0	1	0
13:36	1	0	2	0
13:47	1	0	3	0
14:13	1	0	1	0
14:22	1	0	3	0
14:38	1	0	1	0
14:44	1	0	13	0
14:47	1	0	2	0
14:58	1	0	1	0
15:02	1	0	12	0
15:27	1	0	7	0
15:35	1	0	1	0
15:36	0	1	0	1
16:02	1	0	1	0
16:25	1	0	1	0
16:32	1	0	1	0
16:41	1	0	2	0
16:49	1	0	1	0
16:50	1	0	3	0
16:52	1	0	1	0
17:04	1	0	1	0
17:17	1	0	1	0
17:29	1	0	2	0
összes	47	1	157	1

Hogy az 1. kísérletben elkerülhetetlenül föllépő pszeudoreplikációt kizárjam (azaz, hogy ugyanazt a bögölyt többször is megszámloljam annak többszöri visszatérésekor), elvégeztem a 2. kísérletet, amiben a bögölyök többségét egy ragasztó megfogta. A 2. kísérlet eredménye tovább erősítette az 1. kísérletét. 2008-ban az átlátszó, szintelen, ragacsos műanyag lappal letakart barna felület 21 bögölyt fogott, míg a matt barna és matt fehér felületekre csak egyetlen bögöly szállt le ($\chi^2 = 18.2$, $df = 1$, $p < 0.0001$). Ezt a kísérletet 2009-ben tízszer megismételve, a következő eredmény adódott: az 5. táblázat szerint ekkor a fényes, ragacsos barna felület 189 bögölyt fogott, míg a matt, száraz barna mindössze 4-et. Mindkét különbség statisztikusan magasan szignifikáns. Mikor 2009-ben a 2. kísérletet is 10-szer elvégeztem a száraz matt barna és száraz matt fehér tesztfelületekkel, megint egyikük sem vonzott egyetlen bögölyt sem.

5. táblázat: A száraz matt barna tesztfelületre leszállt és a ragadós fényes barna felülettel csapdába ejtett bögölyök száma a 2. kísérletben, 2009. augusztusában.

χ^2 teszt: $df=1$, $\chi^2=177.3$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns

Egyutas ANOVA teszt: $SS_{\text{hatás}}=1711.3$, $df=1$, $MS_{\text{hatás}}=1711.3$;
 $SS_{\text{hiba}}=443.3$, $df=18$, $MS_{\text{hiba}}=24.6$;
 $F=69.48$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns

dátum (2009)	száraz matt barna	ragadós fényes barna
augusztus 16	1	25
augusztus 17	0	22
augusztus 18	1	13
augusztus 19	0	32
augusztus 20	1	15
augusztus 21	0	16
augusztus 22	0	19
augusztus 23	1	25
augusztus 24	0	12
augusztus 25	0	10
összes	4	189

Az 1. és 2. kísérletekből az a következtetés vonható le, hogy a bögölyök nem vonzódnak a vízszintes matt barna (kevésbé poláros) és a matt fehér (depolarizáló) tesztfelületekhez, viszont erősen vonzódnak a vízszintes fényes barna (vízszintesen poláros fényt visszaverő) felületekhez (7. ábra). Tehát a barna lovak bögölyökre kifejtett nagyobb vonzóképesége nem magyarázható pusztán a lovak kültakarójának színével és fényességével.

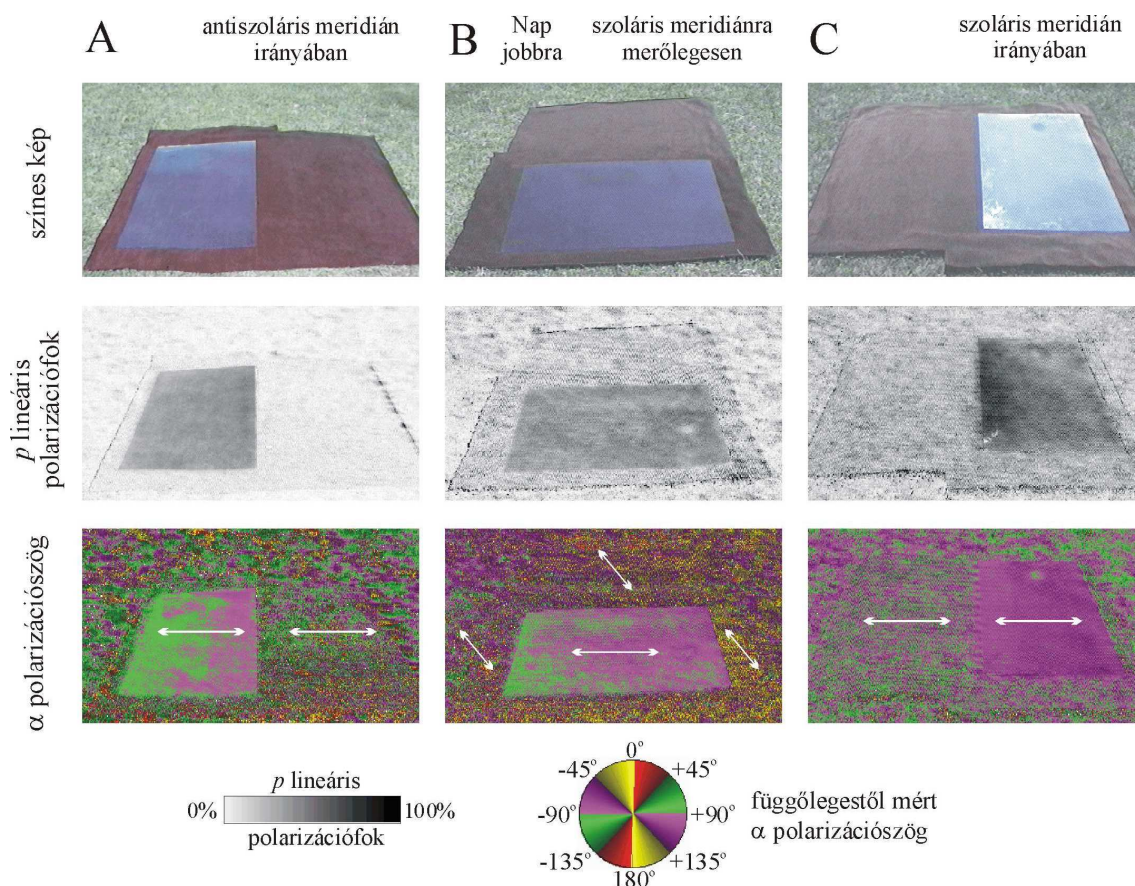
A képpalkotó polarimetriai mérések szerint, míg a fényes (száraz vagy ragadós) barna tesztfelületek (7. ábra), a szoláris meridiánhoz képesti nézőiránytól függetlenül, mindig erősen és vízszintesen poláros fényt vernek vissza, addig a matt száraz barna és fehér felületekről mindig csak gyengén poláros fény verődik vissza, aminek polarizációiránya függ a Naphoz képesti nézőiránytól. Így a felületek bögölyökre kifejtett vonzását nem okozhatja önmagában a barna szín, a visszavert fény polarizációs tulajdonságai is számítanak. Ezt a következtetést a 3. kísérlet (3., 5. ábra, 6. táblázat) eredményei is alátámasztották. A 6. táblázat szerint a fényes ragadós barna és fekete lómakettek $334/22 = 15.2$ -szer, illetve $562/22 = 25.5$ -ször annyi bögölyt fogtak, mint a ragadós fényes fehér lómakett. E különbségek most is statisztikailag magasan szignifikánsak. A megfogott bögölyök eloszlása a lómakettek testfelületén véletlenszerű volt, egyik részük sem volt kitüntetett a bögölyök számára. A 5. ábrán látható, hogy a barna és a fekete lómakett egyes részei nagyon erősen poláros fényt tükröznek, míg a fehér lómakett gyakorlatilag polarizálatlan fényt ver vissza. A barna és a fekete lómakett háta, valamint fara ver vissza erősen és vízszintesen poláros fényt (5. ábra 3. sora), így e testrészek lehetnek a bögölyök számára nagyon vonzóak.

6. táblázat: A ragadós barna, fekete és fehér lómakettel fogott bögölyök (*Tabanus tergustinus*, *T. bromius*, *T. bovinus*, *T. autumnalis*, *Atylotus fulvus*, *A. loewianus*, *A. rusticus*, *Haematopota italica*) száma a 3. kísérletben.

χ^2 tesztek: A) barna – fekete: $df=1$, $\chi^2=58.0$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns;
 B) barna – fehér: $df=1$, $\chi^2=273.4$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns;
 C) fekete – fehér: $df=1$, $\chi^2=499.3$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns;
 D) multinomiális teszt: $df=2$, $\chi^2=480.3$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns

Egyutas ANOVA teszt: $SS_{hatás}=5443.6$, $df=2$, $MS_{hatás}=2721.8$;
 $SS_{hiba}=21132.4$, $df=78$, $MS_{hiba}=270.9$;
 $F=10.05$, $p<0.0001$, magasan szignifikáns

dátum (2009)	időjárás	ragadós lómakett		
		barna	fekete	fehér
július 17-18	napos, meleg	41	50	4
július 19-20	napos, meleg	23	33	2
július 21-22	napos, meleg	9	18	2
július 23-24	napos, meleg	35	59	2
július 25-26	napos, meleg	11	50	1
július 27-29	esős, hideg	0	0	0
július 30-31	napos, meleg	40	50	1
augusztus 1-2	napos, meleg	64	78	2
augusztus 3-4	napos, meleg	20	28	1
augusztus 5-6	napos, meleg	10	13	1
augusztus 7-10	felhős, hideg	0	0	0
augusztus 11-12	napos, meleg	15	58	0
augusztus 13-14	napos, meleg	16	32	1
augusztus 15-16	napos, meleg	21	40	0
augusztus 17-18	napos, meleg	7	12	2
augusztus 19-20	napos, meleg	9	19	2
augusztus 21-22	esős, hideg	0	0	0
augusztus 23-24	napos, meleg	1	5	0
augusztus 25-26	napos, meleg	2	4	0
augusztus 27-28	napos, meleg	2	6	0
augusztus 29 - szeptember 1	esős, hideg	0	0	0
szeptember 2-3	napos, meleg	2	4	0
szeptember 4-5	napos, meleg	2	1	0
szeptember 6-7	felhős, hideg	0	0	0
szeptember 8-9	napos, meleg	3	0	1
szeptember 10-11	felhős, hideg	0	0	0
szeptember 12-13	napos, meleg	1	2	0
összes		334	562	22



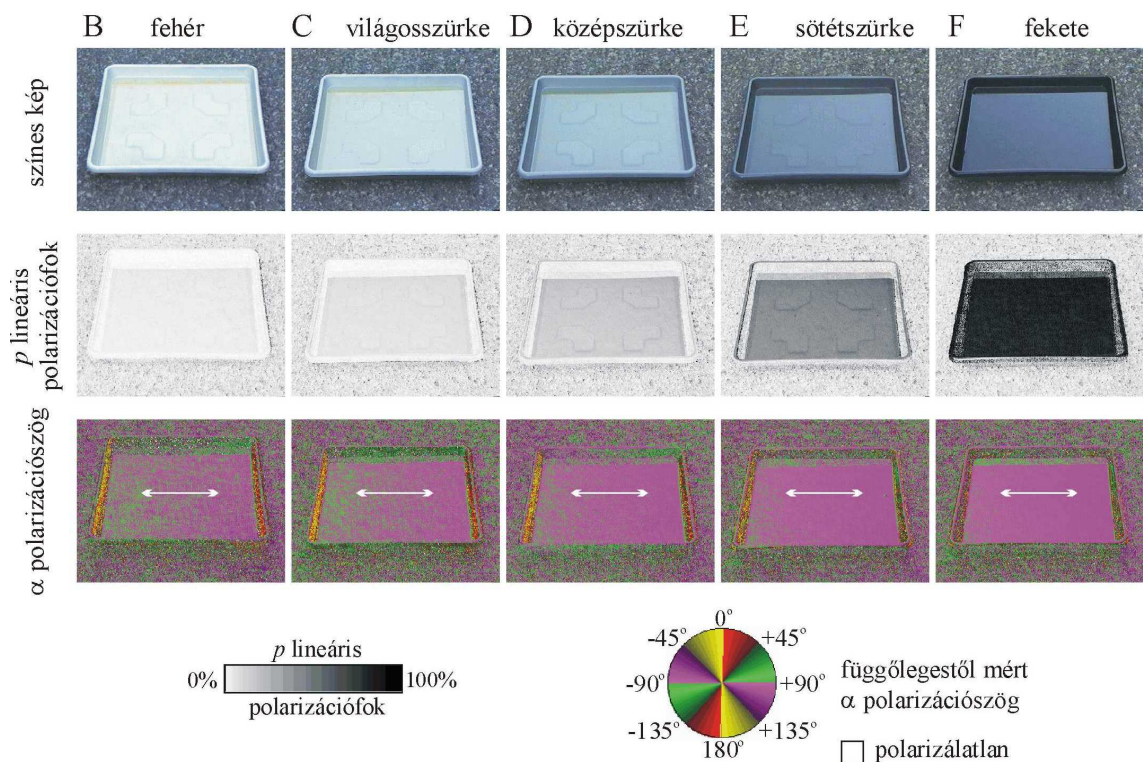
7. *ábra*: Az 1. és 2. kísérletben használt fényes barna (bal oldalt) és matt barna (jobb oldalt) napos tesztfelületeknek a szoláris meridiánhoz képest három különböző irányból képalkotó polarimetriával mért polarizációs mintázata a spektrum kék (450 nm) tartományában. A polariméter optikai tengelyének dőlésszöge -35° volt a vízszinteshez képest. Az α -mintázatokon a jellemző polarizációirányokat kettősfejú nyilak is mutatják. Mikor a tesztfelületek árnyékban voltak, a polarizációs mintázatuk teljesen hasonló volt, azzal a különbséggel, hogy a visszavert fény polarizációiránya mindig vízszintes volt.

A 4. kísérlet eredményei szerint minél sötétebb egy szintelen, vízszintesen polarizáló tesztfelület, annál vonzóbb a bögölyök számára: a fehér, világosszürke és középszürke olajtálcák a teljes fogásnak csak 0.9-2.7%-át adták, a sötétszürke tálca a bögölyök 19.8%-át fogta meg, míg a fekete tálca 74.8%-ot (7. táblázat). Ez az eredmény azzal magyarázható, hogy minél sötétebb egy szintelen felület, annál nagyobb a róla visszavert fény polarizációfoka a hullámhossztól függetlenül (8. *ábra*).

7. táblázat: Az étolajjal töltött fehér, világosszürke, középszürke, sötétszürke és fekete tálcákkal (8. ábra) fogott bögölyök (*Atylotus loewianus*, *Haematopota italica*, *Tabanus bovinus*, *T. maculicornis*, *T. tergestinus*) száma a 4. kísérletben, 2008. július 11. és szeptember 7. között, Gödön. Az $N_{\text{fekete}} - N_{\text{sötétszürke}}$ ($\chi^2=35.44$, $df=1$, $p<0.0001$) és az $N_{\text{sötétszürke}} - N_{\text{középszürke}}$ ($\chi^2=14.44$, $df=1$, $p<0.0001$) közti különbségek statisztikusan magasan szignifikánsak, amit * jelöl, míg a fehér, világosszürke és középszürke közti különbségek nem szignifikánsak: $N_{\text{fehér}} - N_{\text{világosszürke}}$ ($\chi^2=0.3333$, $df=1$, $p=0.5637$), $N_{\text{világosszürke}} - N_{\text{középszürke}}$ ($\chi^2=0.2$, $df=1$, $p=0.6547$), $N_{\text{fehér}} - N_{\text{középszürke}}$ ($\chi^2=1$, $df=1$, $p=0.3171$).

fehér (8B ábra)	világosszürke (8C ábra)	középszürke (8D ábra)	sötétszürke (8E ábra)	fekete (8F ábra)
1 (0.9%)	2 (1.8%)	3 (2.7%)	22* (19.8%)	83* (74.8%)

A választásos terepkísérletekből és polarizációs mérésekből az a következtetés vonható le, hogy a nemfémes (szigetelő) felületek közül – függetlenül attól, hogy naposak vagy árnyékosak, barnák vagy színtelenek (feketék, szürkék, fehérek) – a bögölyök számára az a legvonzóbb, melynek felületéről visszavert fény vízszintesen poláros és polarizációfoka a legnagyobb. Ez alapján logikus azt feltételezni, hogy a sötét színű lovak vízszintesen polarizáló testfelületei a bögölyök számára sokkal vonzóbbak, mint a világos színű lovak ugyanazon testrészei. A 5. és 6. ábrák szerint minél sötétebb a kültakaró, annál nagyobb a róla visszavert fény polarizációfoka. A fekete, barna, illetve fehér kültakaró erősen, közepesen, illetve gyengén poláros vagy polarizálatlan fényt ver vissza. A nézőiránytól és a megvilágítási körülményektől függően a normál, álló testtartású lovak nyaka, háta és fara általában vízszintesen poláros fényt ver vissza (a 6. ábra polarizációirány-mintázatain világoszölddel és világoslilával jelölve), míg a test többi részéről ferdén vagy függőlegesen poláros fény verődik vissza (a 6. ábra polarizációirány-mintázatain világosvörössel és világossárgával jelölve). E polarizációs sajátságok általánosak és a bögölyök minden gazdaállatára egyaránt érvényesek.



8. ábra: (A) A 4. kísérletben használt, étolajjal töltött öt színtelen (fekete, szürke, fehér) tálca elrendezése egy gödi lovastanyán. (B-F) A fehér, világosszürke, szürke, sötétszürke és fekete olajtálcák képalkotó polarimetriával árnyékban mért polarizációs mintázata a spektrum kék (450 nm) tartományában. Az antiszoláris meridián irányába néző polariméter optikai tengelyének dőlésszöge -35° volt a vízszinteshez képest. Az α -mintázatokon a jellemző polarizációirányokat kettősfejű nyilak is mutatják.

5. Elemzés

A fehér lovak egy speciális mutációt hordoznak, ami egy több ezer évvel ezelőtt élt közös ősről vezethető vissza (PIELBERG et al. 2008). A fehér lovak többsége egy őszülést okozó domináns mutációt hordoz, amennyiben e lovak színes (fekete vagy barna) szőrzettel születnek, de egyéves korukra megőszülnek. E folyamat hasonlít az emberek őszülésére, csak a lovaknál sokkal gyorsabban történik. A ma élő lovak mintegy 10%-a hordozza ezt az őszülést kiváltó mutációt. Ezen genetikai mutáció miatt, az emberi gondoskodás ellenére, a fehér lovak sokkal sérülékenyebbek a káros ultraibolya-sugárzással szemben, ami növeli a bőrrák kialakulásának esélyét. A 15 évesnél öregebb fehér (szürke) lovak 75%-ának van valamilyen jóindulatú daganata, ami néhány esetben rosszindulatúvá alakulhat (PIELBERG et al. 2008). Tehát a lovak látványos fehérségének az ára az ultraibolya-sugárzás kiváltotta bőrrák nagyobb kockázata.

Napsütésben a sötétebb kültakarójú lovak szőre jobban fölmelegedik, mint a világosabb kültakarójúaké, mert a sötétebb felület több fényt nyel el. Ez részben magyarázhatná, hogy a sötétebb lovak miért vonzanak több bögyöt, ha a bögyök egyértelműen vonzódnának a melegebb helyekhez. Habár a bögyöknél a gazdaállat kiválasztásában a testhőmérséklet is szerepet játszik (THORSTEINSON 1958), a gazdaállat testfelületének hőmérsékletét csak akkor tudják érzékelni, ha már rászálltak, mert nagyobb távolságból a különböző színű gazdaállatok testfelszíni hőmérséklete a repülő bögyök számára észlelhetetlen, mivel nincsen infravörös látásuk. Továbbá, az 1. és 2. kísérletben a különböző testfelületek hőmérséklete mindig azonos volt. Ezek alapján állítható, hogy a sötét kültakarójú lovak bögyökre kifejtett nagyobb vonzóképesége nem magyarázható csupán a sötét és világos lovak testfelszíni hőmérsékletének esetleges különbségével.

Habár egy barna lónak lehetne a bögyök számára vonzóbb szaga (például a sötétebb kültakaró magasabb hőmérséklete miatti erősebb izzadástól), a választásos kísérletekben használt testfelületeknek egyforma volt a szaga. Ezért a különböző színű lovak szagának esetleges különbsége nem lehet a bögyök preferenciájának fő oka. Mivel a vizsgált barna és fehér lovak alakjában és mozgásában sem volt fölfedezhető semmilyen

lényeges különbség, ez sem magyarázhatja, hogy a bögölyök miért vonzódnak jobban a barna lovakhoz. Az 1. és 2. kísérlet együtt kizárja annak lehetőségét is, hogy a barna szín önmagában jobban vonzaná a bögölyöket.

A fentiek alapján az egyetlen lehetséges magyarázat arra, hogy a barna lovak több bögölyt vonzanak a fehéreknél, az a kültakarójukról visszavert fény polarizációja. Az 1. és 2. kísérletből kiderült, hogy a bögölyök jobban vonzódnak az erősen és vízszintesen poláros fényt visszaverő fényes barna tesztfelülethez, mint a gyengén és nem mindig vízszintesen poláros fényt visszaverő matt barna vagy a depolarizáló matt fehér tesztfelületekhez. Ezért nem a szín és/vagy a fényesség a döntő, hanem a célpont (tesztfelület, gazdaállat) polarizációs mintázata.

Az evolúció során kifejlődött a bögölyök polarizációlátása és pozitív polarotaxisa, mely képesség a víz felszínéről visszavert fény vízszintes polarizációjának köszönhetően segíti őket a vízkeresésben. A víz közvetlen környezete ideális helye a bögölyök petezésének, a fajtársakkal való találkozásnak, valamint az inni és/vagy fürdeni rendszeresen a vízhez látogató gazdaállatok megtalálásának is. Logikus azt föltelezni, hogy a bögölyök polarotaxisa a gazdaállat kiválasztásában is szerepet játszik. Ha egy bögöly választhat egy sötét és egy világos kültakarójú, s minden egyéb tulajdonságában (nem, alak, méret, szag, hőmérséklet, mozgás, vér, stb.) megegyező gazdaállat közül, akkor a sötétebbet választja, mert a sötétebb gazdaállatról visszavert fény polárosabb. Ezek alapján a következő föltevések tehetők:

- 1) Ha a nőstény bögölyök a gazdaállat kiválasztásában is szerepet játszó pozitív polarotaxissal rendelkeznek, akkor azon gazdaállatokat preferálják, melyek testfelülete nagyobb intenzitású, erősebben és vízszintesen poláros fényt ver vissza.
- 2) Mivel a sötétebb felületek polárosabb fényt vernek vissza (Horváth és Varjú, 2004), a sötétebb kültakarójú gazdaállatok a polarotaktikus bögölyök számára vonzóbbak, mint a világosabb kültakarójúak.
- 3) Mivel a visszavert fény polarizációiránya akkor vízszintes, ha a visszaverődési sík függőleges, a gazdaállatok nyaka, háta és fara verhet vissza vízszintesen poláros fényt, így ezek azok a testtájak, amelyek vonzóak a polarotaktikus bögölyök számára.

A 4. kísérlet eredményei szerint a vízszintesen poláros fényt visszaverő szintelen felületek közül a fényt jobban polarizálók több bögölyt vonzanak, mint a gyöngébben polarizálók. Ez megerősíti a 2) föltevést. A képalkotó polarimetriás mérések (5., 6. ábra) megmutatták, hogy a sötétebb kültakarójú lovak és szarvasmarhák nagyobb polarizációfokú fényt vernek vissza, és ezen álló állatok nyaka, háta és fara vízszintesen poláros fényt verhetnek vissza. Habár a gazdaállatról visszavert fény polarizációiránya függ az állat testtartásától, a megvilágítási viszonyoktól és a szoláris meridiánhoz képesti nézőiránytól, a napfényel megvilágított állati kültakaró mindig vízszintesen poláros fényt ver vissza, ha a szoláris vagy az antiszoláris meridián irányából nézzük. Mindezek alátámasztják a 3) föltevést. Az 1) föltevés pedig a következőkön alapszik: A vizsgált bögölyöknek pozitív polarotaxisa van (Horváth és társai, 2008). Az 1) föltevés teljesüléséhez például az kell, hogy a 2) és 3) föltevések összhangban legyenek a megfigyeléseink és kísérleteink eredményeivel. A vadonban a bögölyök gazdaállatainak, a nagytestű növényevőknek, általában sötét (barna, szürke, fekete) a kültakarója. Álló helyzetben ezen állatok nyaka, háta és fara mindig mérsékelten (barna, szürke) vagy erősen (fekete) és vízszintesen poláros fényt ver vissza. Így tehát a bögölyök a pozitív polarotaxisukkal e gazdaállatokat éppúgy meg tudják találni, mint a vízfelületeket. Mai tudásunk szerint nem létezik semmilyen más magyarázata annak a jelenségnek, hogy a bögölyök miért vonzódnak jobban a sötétebb színű gazdaállatokhoz, mint a világosakhoz.

Mivel a bögölyök számára a sötét kültakarójú állatok világos kültakarójúakkal szembeni előnyben részesítése semmilyen előnyt vagy hátrányt nem jelent a természetes környezetben, e preferencia a bögölyök pozitív polarotaxisának egy semleges következményeként tekinthető. Másrészt viszont a gazdaállatok szemszögéből nézve, a bögölyök szóban forgó sötétpreferenciája nem semleges: a sötét kültakarójú állatoknak hátrányos, a világos kültakarójúaknak pedig előnyös a kisebb fertőzésveszélynek és kevesebb zaklatásnak köszönhetően. Az ember által mesterségesen tenyésztett és tartott lovak esetében a legkevésbé bögölyvonzó fehér kültakaró előnye részben ellensúlyozhatja az ultraibolya-sugárzás okozta bőrrákra való nagyobb érzékenységet. A vadon élő lovaknál mindazonáltal a sötétebb kültakaró (a könnyebb rejtőzködés miatt) előnyösebb, mint a világos (amely a bögölyök számára kevésbé vonzó), különben a fehér lovak gyakrabban fordulnának elő a vad populációkban.

Kísérleti eredményeink határozottan alátámasztják azt, hogy a gazdaállatok kültakarójának fehérsége egy előnyös tulajdonság, mivel a fehér állatok a bögölyöket kevésbé vonzzák, mint a sötétek. Számos bögölyfaj pozitív polarotaxissal bír, azaz vonzódik az erősen és vízszintesen poláros fényhez (Horváth et al. 2008), csakúgy, mint a vízirovarok általában (SCHWIND 1991, WILDERMUTH 1998, HORVÁTH - VARJÚ 2004). A bögölyök pozitív polarotaxisának a következő biológiai szerepei lehetnek:

- Odavezeti a nőstény bögölyöket a megfelelő, vízközeli petézőhelyhez, ahonnan a lárvák a vízbe vagy az iszapba kerülhetnek.
- A hím és nőstény bögölyöket egyaránt a vízhez vezeti, ahol ihatnak és a testüket is lehűthetik.
- A víz közelében a különböző nemű bögölyök könnyen egymásra találhatnak és pározhatnak.
- A nőstény bögölyök a víz közelében jó eséllyel találhatnak vérszívásra alkalmas gazdaállatot (főleg társas életmódú növényevőket), mert azok rendszeresen látogatják a vizeket ivás és/vagy fürdőzés végett.

A fentiek alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a bögölyök polarotaxisának a gazdaállat kiválasztásában is fontos szerepe van. Habár a különböző színű gazdaállatok egyaránt megfelelőek a nőstény bögölyöknek a vérszíváshoz, a bögölyök mégis a sötétebb (barna, fekete) kültakarójú állatokat részesíti előnyben a világos (szürke, fehér) kültakarójúakkal szemben. Ez a jelenség jól magyarázható a gazdaállatok kültakarójának fénypolarizáló-képességével és a bögölyök polarotaktikus viselkedésével. A korábbi föltevések szerint a bögölyök gazdaállat-kiválasztásában csak a mozgás, alak, szín, fényesség, szag és hőmérséklet játszik fontos szerepet (THORSTEINSON 1958, ALLAN - STOFFOLANO 1986, HALL et al. 1998, MIHOK 2002).

A 3. kísérletben a bögölyök a lómakettekről (3., 5. ábra) visszavert vízszintesen poláros fény mennyiségének megfelelően vonzódtak azokhoz. Habár nagy távolságból nézve a vízszintesen poláros fényt visszaverő testrészek lehetnek a polarotaktikus bögölyök

számára a legvonzóbbak, a bögölyök eloszlása a lómakettek teljes felületén véletlenszerű (egyenletes) volt. Ez azt mutatja, hogy a vízszintesen poláros fény mellett más vizuális jeleknek (a gazdaállat színének, fényességének és testformájának) is fontos szerepe van a gazdaállat megtalálásában és kiválasztásában. Habár csak a bögölyök és a lovak vizuális kölcsönhatását vizsgáltuk, a nyert eredmények más gazdaállatokra is érvényesek lehetnek, mivel a szóban forgó vonzás alapja, a pozitív polarotaxis, általánosnak tűnik a bögölyöknél (HORVÁTH et al. 2008), és a különböző gazdaállatok polarizációs mintázatai gyakorlatilag egyformák.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőimnek, Dr. **Horváth Gábornak** és Dr. **Kriska Györgynek** a TDK dolgozatom megszületésében nyújtott folyamatos támogatásukat, a terepkísérletekben való aktív közreműködésüket, kutatási pályázataikból az anyagi források biztosítását, és az ötletek kidolgozásában való együttgondolkodást.

Köszönöm Dr. **Gericz Balázsnak** (Szent István Egyetem, Állatorvos-tudományi Kar, Anatómia és Szövetani Tanszék, Budapest), hogy lehetővé tette különböző színű lovak polarizációs mintázatainak mérését a budapesti Nemzeti Lovardában.

Köszönöm Prof. **Farkas Róbertnek** (Szent István Egyetem, Állatorvos-tudományi Kar, Parazitológiai és Általános Ökológiai Tanszék, Budapest), hogy faj szinten határozta meg az egyik terepkísérletben befogott bögölyöket.

A bögölyök polarizációlátásával kapcsolatos kutató-fejlesztő munkánkat az **Európai Unió** (TabaNOid: Trap for the Novel Control of Horse-flies on Open-air Fields – No. 232366 Eu-FP7: Research for the Benefit of Small and Medium Enterprises) és a magyar **OTKA** (Közvetlen és közvetett polarotaxis vizsgálata tegzeseknél és kétszárnyúaknál, K-6846 tematikus kutatói OTKA pályázat) is támogatja.

7. Irodalom

- ALLAN, S. A. - STOFFOLANO, J. G. (1986) The effects of hue and intensity on visual attraction of adult *Tabanus nigrovittatus* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 23: 83-91
- CLAYTON, D. H. (1991) The influence of parasites on host sexual selection. *Parasitology Today* 7: 329-334
- CLUTTON-BROCK, T. (2007) Sexual selection in males and females. *Science* 318: 1882-1885
- FOIL, L. D. (1989) Tabanids as vectors of disease agents. *Parasitology Today* 5: 88-96
- HALL, M. J. R. - FARKAS, R. - CHAINEY, J. E. (1998) Use of odour-baited sticky boards to trap tabanid flies and investigate repellents. *Medical and Veterinary Entomology* 12: 241-245
- HAMILTON, W. D. - ZUK, M. (1982) Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites? *Science* 218: 384-387
- HORVÁTH, G. - MAJER, J. - HORVÁTH, L. - SZIVÁK, I. - KRISKA, G. (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95: 1093-1100
- HORVÁTH, G. - VARJÚ, D. (2004) *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg - Berlin - New York, p. 447
- LEHANE, M. J. (2005) *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- MARLER, C. A. - MOORE, M. C. (1988) Evolutionary costs of aggression revealed by testosterone manipulations in free-living male lizards. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 23: 21-26
- MIHOK, S. (2002) The development of a multipurpose trap (the Nzi) for tsetse and other biting flies. *Bulletin of Entomological Research* 92: 385-403
- MOORE, S. L. - WILSON, K. (2002) Parasites as a viability cost of sexual selection in natural populations of mammals. *Science* 297: 2015-2018

- PIELBERG, G. R. - GOLOVKO, A. - SUNDSTRÖM, E. - CURIK, I. - LENNARTSSON, J. - SELTENHAMMER, M. H. - DRUML, T. - BINNS, M. - FITZSIMMONS, C. - LINDGREN, G. - SANDBERG, K. - BAUMUNG, R.; VETTERLEIN, M. - STRÖMBERG, S. - GRABHERR, M. - WADE, C. - LINDBLAD-TOH, K. - PONTÉN, F. - HELDIN, C.-H. - SÖLKNER, J. - ANDERSSON, L. (2008) A cis-acting regulatory mutation causes premature hair graying and susceptibility to melanoma in the horse. *Nature Genetics* 40: 1004-1009
- SCHWIND, R. (1991) Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169: 531-540
- THORNTON, M. J. - HIBBERTS, N. A. - STREET, T. - BRINKLOW, B. R. - LOUDON, A. S. I. - RANDALL, V. A. (2001) Androgen receptors are only present in mesenchyme-derived dermal papilla cells of red deer (*Cervus elaphus*) neck follicles when raised androgens induce a mane in the breeding season. *Journal of Endocrinology* 168: 401-408
- THORSTEINSON, A. J. (1958) The orientation behavior of horseflies and deerflies (Tabanidae: Diptera). I. The attractance of heat to tabanids. *Entomologia experimentalis et applicata* 1: 191-196
- TRESIDDER, J. (2005) *The Complete Dictionary of Symbols*. Chronicle Books, p. 544
- WILDERMUTH, H. (1998) Dragonflies recognize the water of rendezvous and oviposition sites by horizontally polarized light: a behavioural field test. *Naturwissenschaften* 85: 297-302
- WILSON, M. J. (1983) Inhibition of development of both androgen-dependent and androgen-independent pigment cells in scrotal skin dermis of the rat by antiandrogen treatment during fetal growth. *Endocrinology* 112: 321-325
- ZUK, M. - MCKEAN, K. A. (1996) Sex differences in parasite infections: patterns and processes. *International Journal of Parasitology* 26: 1009-1024