

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Przewalski lovak populációs folyamatai
a Hortobágyi Nemzeti Parkban**

Kerekes Viola

Témavezető: Prof. Dr. Barta Zoltán



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2024

1. Előzmények és célkitűzések

1.1. A Przewalski lovak és a Pentezug projekt

A Przewalski ló (*Equus ferus przewalskii*) az ősi vadlovak egyetlen fennmaradt alfaja. Az ősi vadlovak egykor az eurázsiai sztyeppe sok részén előfordultak (Van Dierendock és de Vries, 1996), de Európából részben természetes, részben emberi tényezők miatt teljesen eltűntek (Pushkina, 2008). Az ősi vadlovak utolsó leszármazottjai Kína és Mongólia határterületeire szorultak vissza. A Przewalski lovakat tudományosan csak 1881-ben írta le Nyikolaj Mihajlovics Przewalszkij (orosz tábormegvezető és geográfus) és Ivan Szemjonovics Poljakov, a Szentpétervári Tudományos Akadémia Zoológiai Múzeumának tudósa (Wakefield et al., 2002). 1887 után számos befogó expedíciót szerveztek és több tucat lovat szállítottak európai és amerikai állatkertekbe. A vadonban az utolsó lovat 1947-ben fogták be és nem sokkal később, 1969-ben, a Przewalski lovak kihaltak a vadonban (Bouman és Bouman, 1994). Szerencsére a faj fogságban fennmaradt (összesen 12 vadonban befogott egyed tudott szaporodni) és az 1990-es évekre annyira megnőtt az egyedszámuk, hogy lehetővé vált a visszatelepítési projektek megindítása. Jelenleg 2500–3000 példány él a világon főként állatkertekben, rezervátumokban és a vadonban Kínában és Mongóliában (Turghan et al., 2022). A Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) Vörös Listája szerint a Przewalski ló jelenleg veszélyeztetett besorolású (King, 2005), ezért védelme kiemelt fontosságú. A vadlovak védelmével egyúttal a füves területek megőrzését is segítik, amelyek a mezőgazdaság, a túllegeltetés és az ipari tevékenység miatt védelemre szoruló élőhelyek közé tartoznak (Wesche et al., 2016).

A Przewalski lovak megjelenésükben némileg eltérnek a házi lovaktól, az átlagos házilónál alacsonyabbak, sörényük pedig feláll (a zebrák sörényéhez hasonlóan). A felnőtt egyedek átlagos marmagassága 130 cm, testtömege 250–350 kg. Izmos és zömök testfelépítésük van, szőrzetük jellemzően homokszínű, a sötétebbtől a világosabb árnyalatokig változhat (Wakefield et al., 2002). Elsősorban fűféléket fogyasztanak, de néha esznek ágakat, bogyókat is. A cellulóz emésztése a vakbélben történik. Szociális szerkezetükre jellemző, hogy háremcsoportokban élnek, hasonlóan az elvadult házi lovakhoz és a zebrákhoz (Rubenstein, 1978). A Przewalski lovaknak

és a házilovaknak eltérő számú (64, illetve 62) kromoszómájuk van (Benirschke et al., 1965), de képesek kereszteződni, és utódaik termékenyek (Short et al, 1974).

A Przewalski lovak egyik legnagyobb állománya, jelenleg kb. 280 egyed, a Hortobágyi Nemzeti Parkban (HNP) található, ahol a lovak „félvad” körülmények között élnek. A Pentezug projektet 1997-ben indította a HNP és a Kölni Állatkert. A projekt célja a füves területek ökoszisztémájának helyreállítása és megőrzése volt a HNP belső területén. Célként tűzték ki a nagytestű legelő állatokkal történő legeltetést minimális emberi beavatkozással. A 3000 hektáros, kerítéssel körbevett terület több, mint 70%-a füves terület, olyan fűfajokkal, mint például a veresnadrág csenkesz (*Festuca pseudovina*), réti ecsetpázsit (*Alopecurus pratensis*) és sziki mézpázsit (*Puccinellia limosa*). A területen találhatóak mocsaras területek, nádasok és egy csatorna is, amely egész évben biztosítja a vízellátást. A projekt indulásakor Przewalski lovakat, két évvel később (1999-ben) pedig rekonstruált őstulkokat telepítettek be a Pentezug területére. A Przewalski lovak szállítását az Európai Állatkertek és Akváriumok Szövetségének (European Association of Zoos and Aquaria, EAZA) szervezete, az EAZA Ex situ Program (EEP) határozza meg.

Az első néhány év során beigazolódott, hogy a terület megfelelő életteret biztosít a lovak számára, létszámuk növekedni kezdett. A populáció gyors növekedése miatt kb. 15 év után szükségessé vált az emberi beavatkozás a születésszám szabályozására. A területen a következő háromféle módszert használjuk a létszám korlátozására: (1) szállítás, (2) az immunválaszon alapuló fogamzásgátló-kezelés és (3) a súlyosan sérült, kedvezőlen genetikai hátterű, és/vagy beteg egyedek kilövése. Minden, Przewalski lovakkal kapcsolatos intézkedést a HNP munkatársai határoznak meg az EEP segítségével, melyeket a helyi hatóságoknak is jóvá kell hagynia.

1.2. Célkitűzések

A tudományos vizsgálatok általános céljaként a HNP területén található Przewalski lovak szociális és demográfiai jellegzetességeinek, változásainak és összefüggéseinek elemzését tűztük ki. Az elemzésekhez rendelkezésre álltak a több mint két

évtizeden át gyűjtött adatok, továbbá újabb vizsgálatok elvégzését is terveztük. Terveink szerint az átfogó tanulmányok hozzájárulnak a populációra ható folyamatok jobb megértését és támpontot adhatnak az állomány kezelés hatékonyságának növeléséhez. Az általános cél eléréséhez az alábbi specifikus célokat tűztük ki.

- A területen élő lovak szociális és demográfiai változásainak elemzése, különös tekintettel arra, hogy a különböző jelenségek és beavatkozások hogyan befolyásolják a populáció növekedését és genetikai jellemzőit.
- Célul tűztük ki a Przewalski lovak területhasználatának, aktivitásának és általános állapotának összehasonlítását a projekt különböző időszakaiban.
- Vizsgálni kívántuk, hogy a kancák általános állapotát (kondícióját) és ellési sikerességét hogyan befolyásolja az életkoruk, az egyedsűrűség és az időjárás.
- Célul tűztük ki továbbá a csoportmozgás és a szociális viszonyok összefüggéseinek vizsgálatát a HNP területén található vadló populációban.

2. Új tudományos eredmények

A célkitűzéseinkben megfogalmazott vizsgálataink eredményeit négy tudományos közleményben publikáltuk. Ebben a fejezetben ezeket a vizsgálatokat, a használt módszereket és eredményeket ismertetem.

2.1. A HNP területén élő vadló populáció szociális és demográfiai változásaival kapcsolatos eredmények

A HNP a Pentezug projekt indítása óta gyűjti a különböző adatokat a lovakról, beleértve a születéseket, halálozásokat, behozatalokat, kiviteleket, leszármazási viszonyokat, a csoportösszetétel változásait és az immunválaszon alapuló

fogamzásgátlás kezelés hatásait a kancákra. Az adatgyűjtés egy általunk kifejlesztett egyedi azonosítási rendszeren alapult, amely háromféle kulcsfontosságú adatot (csoportszerkezeti összetétel, egyedi fényképes katalógus és DNS vizsgálaton alapuló leszármazási adatok) tartalmazott.

Az átfogó adatbázisok alapján képesek voltunk nyomon követni a populáció növekedését, meghatározni az ellési és halálozási rátákat. A DNS vizsgálatokból származó folyamatos visszajelzések lehetővé tették számunkra a gén diverzitás és a beltenyésztési együththató meghatározását populációs szinten.

Az állomány létszámát befolyásoló tényezők közé tartoztak a természetes és az emberi eredetű (szállítás, fogamzásgátlás és kilövések) tényezők. Az ellési arányt jelentősen befolyásolta az un. PZP (Pig Zona Pellucida) kezelés, melyet 2013-ben kezdtünk használni fogamzásgátlásra. A természetes (nem emberi) hatások közé tartozott a nagytestű füevők (lovak és marhák) számának növekedése, amely a kezeletlen kancák ellési arányának csökkenését, valamint az első ellés kitolódását eredményezte. 2018 volt az egyetlen év, amikor a halálozási ráta meghaladta a születési rátát, ekkor közel 100 ló pusztult el, a túlnépesedés és az aszály okozta elégtelen táplálék és a rendkívül hideg tavaszi időjárási viszonyok miatt. A gén diverzitás viszonylag stabil maradt, körülbelül 0,8 körül, míg a beltenyésztési együththató enyhe növekedést mutatott. Jelentős változás volt megfigyelhető a lovak szociális viselkedésében, körülbelül 8 évvel a projekt kezdete után a hámerek összehangoltan kezdtek el mozogni.

2.2. A Przewalski lovak területhasználatának, aktivitásának és általános állapotának összehasonlítása a projekt különböző időszakaiban

A projekt olyan különböző időszakaiban gyűjtött adatokat hasonlítottunk össze, amikor alacsonyabb (korai évek) és magasabb (későbbi évek) egyedsűrűség volt jellemző a területen. A lovak helyzetének GPS adatai, az aktivitásuk típusai és az általános állapotuk (kondíciójuk) alapján végeztünk összehasonlításokat. Az élőhely preferencia értékeléséhez különböző időszakokban összehasonlítottuk az egyes élőhelyeken eltöltött idő arányát. Adatokat gyűjtöttünk arról, hogy a lovak különböző tevékenységei

(azaz pihenés, legelés, mozgás, interakció lovak között) mutatnak-e eltérést a különböző időszakokban. Az egyedek általános állapotát Rudman és Keiper (1991) módszerével határoztuk meg, egy 0-tól 5-ig terjedő skálán.

Megfigyeléseink szerint a Przewalski lovak élőhely-használata és általános állapota (kondíciója) eltért a két különböző időszakban, de az aktivitás százalékos aránya nem változott. Mindkét időszakban a lovak főként három élőhelyen legeltek: szikes réten, szikes pusztán és nyílt szikes gyepen, amely a terület 85%-át tette ki. A projekt kezdeti szakaszában a lovak ezeket az élőhelyeket minden évszakban egyformán használták, de a projekt későbbi szakaszában a nyílt szikes gyepet nem használták, és a szikes rét arányosan magasabb használatban volt télen. Ez a változás valószínűleg azért következett be, mert a szikes réten volt elérhető fű, míg a többi területet túllegelték. A kancák és fiatal ménék általános állapota (kondíciója) jelentősen csökkent a növekvő egyedsűrűséggel, de a háremcsődörök általános állapota nem változott.

2.3. A kancák általános állapotát és ellési sikerességét befolyásoló tényezők vizsgálata

Eredményeink azt mutatták, hogy a kancák általános állapotát (kondícióját) és ellési sikerességét olyan tényezők befolyásolják, mint az állatok életkora, az adott populáció egyedsűrűsége, vagy időjárási tényezők. A feltárt összefüggéseket a harmadik tanulmányunkban ismertettük.

A vizsgálataink alapján, ha a kancák első életévében a késő nyár kevés csapadék esett, akkor az jelentősen csökkentette a fiatal kancák általános állapotát. A növekvő egyedsűrűséggel párhuzamosan csökkent a fiatal (2–4 éves) kancák általános állapota. A populációban az egyedsűrűség növekedése negatívan befolyásolta az ellési sikerességet, elsősorban a fiatalabb kancák voltak érzékenyebbek. Az adatok azt mutatták, hogy bizonyos időjárási hatások csak akkor csökkentették az ellési sikerességet, ha több negatív tényező együttesen jelentkezett. Elsősorban a késő nyári és őszi csapadék hiánya után bekövetkező hideg tél csökkentette az ellési sikerességét a következő tavasszal.

2.4. A csoportmozgás és a szociális viszonyok összefüggéseinek vizsgálata

A negyedik tanulmányhoz felhasználtuk a lovak leszármazási és szociális adatait, valamint drónok segítségével videofelvételeket készítettünk a háremekről, továbbá elvégeztük a különböző adatok integrálását.

A tanulmány első fontos eredménye az volt, hogy mozgási mintázat alapján lehetséges volt a Przewalski lovak szociális szerveződési szintjeinek azonosítása. A lovak közötti távolság és mozgási hasonlóság alapján két alapvető szint volt megkülönböztethető: a hárem és a ménes.

A következő fontos megfigyelésünk az volt, hogy az aggregény csoportokon belül az egyedek mozgási szinkronizációja alacsonyabb szintű volt, mint a háremek tagjai között. Ez arra utalt, hogy az aggregény csoportok nem voltak olyan stabilak, mint a háremek. A kancák egymás közötti távolságát a háremeken belül befolyásolta, hogy mennyi időt töltöttek egymással korábban. A szorosabb rokonságban álló háremcsödörök háremei közelebb voltak egymáshoz, és a kancák cseréje ezek között a háremek között nagyobb volt. Érdekes módon, az a kanca, amelynek mozgása szinkronban volt egy másik háremmel, nagyobb valószínűséggel ment át ebbe az új hárembe a következő néhány évben.

3. Összefoglalás

A megfigyeléseink egyrészt bővítették az alfajjal kapcsolatos ismereteinket, másrészt hatékonyabb állománykezelési stratégiák kidolgozását tették lehetővé. Kutatásaink során három alapvető megfigyelést tettünk, amelyek szélesebb körben, hasonló természetvédelmi projektek számára is alkalmazhatóak.

3.1. A nagytestű fűevők állománykezelése adaptív emberi beavatkozást igényel

Európában egyre több országban tesznek erőfeszítéseket bizonyos területek „visszavadítása” iránt. Ezzel párhuzamosan,

(részben a „visszavadítási” programok keretében) zajlanak nagytestű füevők és nagyragadozók visszatelepítési projektjei az eredeti táplálékláncok helyreállítása érdekében (Svenning et al., 2016). Amikor évtizedekig vagy akár több ezer évig hiányzó vadállatokat telepítenek be újra a területre, természetesen felmerül a kérdés, hogy az élőhely még mindig megfelelő-e ezeknek az állatoknak. A HNP-ben végzett kutatásaink kimutatták, hogy a füves pusztai élőhely megfelelő a Przewalski lovak és rekonstruált őstulok számára. 15 év alatt a nagytestű füevők populációja elérte a terület eltartóképességét (lásd 1. és 2. tanulmány). A szükséges emberi beavatkozás mellett megfigyelhettük a populációnövekedés természetes korlátait lovak esetében, mint például az ellési sikeresség csökkenése a növekvő egyedsűrűség hatására. Ez különösen jellemző az első alkalommal ellő kancákra (3. tanulmány). Az emberi beavatkozás ellenére 2018-ban egy jelentős elhullási hullám lépett fel, ami arra késztetett bennünket, hogy megfigyeléseink alapján módosítsuk eddigi intézkedéseinket. Például a marhák számát jelentősen lecsökkentettük elszállításokkal. A lovaknál elkezdtük rendszeresebben alkalmazni a kilövéseket, főleg kora tavasszal, hogy eltávolítsuk a gyenge és sérült egyedeket (1. tanulmány). Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a nagytestű füevők kezelése lehetséges akár etetés nélkül is, de adaptív kezelési megközelítéseket igényel a kedvezőtlen események megelőzése érdekében.

3.2. A lovak szociális viselkedését és az állomány demográfiai jellemzőit számos tényező együttesen határozza meg

A folyamatos adatgyűjtésnek köszönhetően nyomon tudtuk követni a lovak demográfiai és szociális változásait. Megfigyeltük, hogy a különálló területek helyett teljesen átfedő területeket kezdtek használni, egy nagy ménesbe csoportosulva (ld. 1. és 4. tanulmány). Mongóliában (Great Gobi B Strictly Protected Area) is megfigyelték jó néhány hárem együttes mozgását, főként télen. Ez a típusú területhasználat hasonlít az alföldi zebrák (*Equus quagga*) és az elvadult házi lovak viselkedésére (Duncan, 2012). Megfigyeltük továbbá, hogy a lovak hogyan szinkronizálják mozgásukat, és hogyan alakíthatja a rokonság és „barátság” a háremek struktúráját (4. tanulmány). Az egyes állatok azonosítására, különböző viselkedési mintázatok követésére és állapotuk felmérésére szolgáló legalább

részben automatizált rendszerek létrehozása rendkívül hatékony eszköz lenne, például valós idejű adatokhoz rögzítéséhez és feldolgozásához.

3.3. A lovak egyedi azonosítása fontos eszköz a hatékony állomány szabályozásához és a tudományos kutatásokhoz

A Przewalski lovak egyedi felismerése az egyedi jellemzőkön és a háremek összetételének nyomonkövetésén alapul. A HNP vadló populáció azért különleges, mert itt DNS vizsgálat alapján is meghatározzuk az egyes egyedek családfáját. Ez azért is fontos, mert a genetikai adatokat is figyelembe véve tudjuk tervezni a PZP kezeléseket és a szállításokat. Amikor új helyekre telepítenek vadlovakat, akkor fontos szempont nagy géndiverzitású alapító populáció létrehozása. Az egyedi felismerés nemcsak a fent említett döntésekhez bizonyult hasznosnak, hanem a pontosabb és értékesebb tudományos kutatásokhoz is. Például a drónnal gyűjtött mozgási adatokat a több mint 20 év adatait tartalmazó adatbázis felhasználásával lehet elemezni (4. tanulmány). Ezen kívül a kancák termékenységének követése, illetve az időjárás ellésre gyakorolt hatásainak tanulmányozása is lehetséges volt (3. tanulmány). Az egyedi felismerés azonban kihívást jelent, az adatokat folyamatos ellenőrizni is frissíteni kell, ami időigényes folyamat, különösen nagy populációk esetén.

4. Jövőbeni tervek

Elsősorban szeretném folytatni a Przewalski lovak demográfiai vizsgálatát és szociális viszonyainak megismerését. Ezen adatokat szeretnénk hatékonyabb állománykezelési stratégiák kidolgozásához felhasználni.

Másodszor, a vadlovak és környezetük közötti kapcsolatok alaposabban megértéséhez kutatási terveink között szerepel több országban az ottani szakemberekkel elkészített összehasonlító tanulmányok elvégzése. Ezen vizsgálatok célja annak feltárása, hogy hogyan hatnak a környezeti változások a különböző Przewalski vadló populációkra, miben mutatnak ezek esetleges eltéréseket.

Harmadszor, az automatizált azonosító rendszerek fejlesztése folyamatban van, melyek bevezetése a terepi munkánkat könnyítené meg. Három éve dolgozunk együtt a Stuttgarter Egyetem (Universität Stuttgart), a Debreceni Egyetem és az Eötvös Loránd Tudományegyetem munkatársaival a drónokkal és elemző programokkal történő automatikus egyedi azonosítás kifejlesztésén.

Végül, néhány éve elkezdtük rendszeresen gyűjteni és elemezni az adatokat a terület növényzetéről, a vadlovak parazitáiról, a vízminőségről és az időjárásról, hogy tovább bővítsük ismereteinket a lovak, szarvasmarhák és környezetük közötti kölcsönhatásokról.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Barta Zoltán professzor úrnak a tudományos munkámhoz nyújtott segítségét, tanácsait és támogatását. A Pentezug Projektet és vizsgálatainkat a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatósága és a Kölni Állatkert támogatta. Szeretném megköszönni az egykori és jelenlegi igazgatóknak, Sándor Istvánnak, Dr. Kovács Zitának, Medgyesi Gergelynek és Dr. Theo Pagelnek, hogy támogatták a projektet és a tudományos munkámat. Az egykori és jelenlegi EEP koordinátorok, Dr. Waltraut Zimmermann, Dr. Lydia Kolter, Dr. Benjamin Ibler és Babrora Dobiasova valamint a jelenlegi törzskönyvvezető, Jaroslav Simek áldozatos munkája kiemelten fontos volt a projekt működéséhez. Köszönetet szeretnék mondani a területen dolgozó diákoknak, a Hortobágyi Nemzeti Park munkatársainak, a többi vadlovas projekten dolgozó külföldi szakembereknek, illetve a közleményeink társszerzőinek. Köszönetet mondok Dr. Karen Uraynak (Debreceni Egyetem) az angol nyelvi szerkesztésért, továbbá Dr. Cecilia Penedonak és Dr. Ann Bowlingnak (Veterinary Genetics Laboratory, Davis, USA) a DNS minták elemzéséért. Köszönöm két közvetlen munkatársam, Szabados Tímea és Csobán Péter munkámhoz nyújtott segítségét. Végül szeretném megköszönni férjemnek, Dr. Széles Lajosnak és gyermekeimnek a támogatásukat.

6. A disszertáció alapját képező publikációk listája

1. Kerekes, V., Sándor, I., Nagy, D., Ozogány, K., Göczi, L., Ibler, B., Szeles, L. & Barta, Z. (2021). Trends in demography, genetics, and social structure of Przewalski's horses in the Hortobágy National Park, Hungary over the last 22 years. *Global Ecology and Conservation*, 25, e01407.
2. Kerekes, V., Ozogany, K., Sandor, I., Vegvari, Zs., Czeto, Cs., Nyiro, B., Szeles, L. & Barta, Z. (2019). Analyses of habitat use, activity and body condition scores of Przewalski's horses in Hortobágy National Park, Hungary. *Nature Conservation Research*. 4(Suppl. 2) 31-39.
3. Rödel, H. G., Ibler, B., Ozogány, K., & Kerekes, V., (2023). Age-specific effects of density and weather on body condition and birth rates in a large herbivore, the Przewalski's horse. *Oecologia*, 203(3), 435-451.
4. Ozogány, K., Kerekes, V., Fülöp, A., Barta, Z., & Nagy, M. (2023). Fine-scale collective movements reveal present, past and future dynamics of a multilevel society in Przewalski's horses. *Nature Communications*, 14(1), 5096.

7. Irodalomjegyzék

- Benirschke, K., Malouf, N., Low, R. J., & Heck, H. (1965). Chromosome complement: differences between *Equus caballus* and *Equus przewalskii*, Poliakov. *Science*, 148(3668), 382-383.
- Bouman, I. & Bouman, J. (1994). The history of Przewalski's horse. In L. Boyd and K. Houpt(ed.): Przewalski's horse. The history and biology of an endangered species. *SUNY, Albany, NY*, pp. 5-38.
- King, S. R. B. (2005). Extinct in the Wild to Endangered: the history of Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*) and its future conservation. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 3(2), 37-41.

Pushkina, D., & Raia, P. (2008). Human influence on distribution and extinctions of the late Pleistocene Eurasian megafauna. *Journal of human evolution*, 54(6), 769-782.

Rubenstein, D. I. (1978). On predation, competition, and the advantages of group living. In *Social behavior* (pp. 205-231). Boston, MA: Springer US.

Rudman, R., & Keiper, R. R. (1991). The body condition of feral ponies on Assateague Island. *Equine Veterinary Journal*, 23(6), 453-456.

Der Sarkissian, C., Ermini, L., Schubert, M., Yang, M. A., Librado, P., Fumagalli, M., ... & Petersen, B. (2015). Evolutionary genomics and conservation of the endangered Przewalski's horse. *Current Biology*, 25(19), 2577-2583.

Short, R. V., Chandley, A. C., Jones, R. C., & Allen, W. R. (1974). Meiosis in interspecific equine hybrids: II. The Przewalski horse/domestic horse hybrid (*Equus przewalskii* × *E. caballus*). *Cytogenetic and Genome Research*, 13(5), 465-478.

Svenning, J. C., Pedersen, P. B., Donlan, C. J., Ejrnæs, R., Faurby, S., Galetti, M., Hansen, M. D., Sandel, B., Sandom, J. C., Terborgh, W. J., & Vera, F. W. (2016). Science for a wilder Anthropocene: Synthesis and future directions for trophic rewilding research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4), 898-906.

Svenning, J. C., Lemoine, R. T., Bergman, J., Buitenwerf, R., Le Roux, E., Lundgren, E., Mungi, N., & Pedersen, R. Ø. (2024). The late-Quaternary megafauna extinctions: Patterns, causes, ecological consequences and implications for ecosystem management in the Anthropocene. *Cambridge Prisms: Extinction*, 2, e5.

Turghan, M. A., Jiang, Z., & Niu, Z. (2022). An update on status and conservation of the Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*): Captive breeding and reintroduction projects. *Animals*, 12(22), 3158.

Van Dierendonck, M. C., & Wallis de Vries, M. F. (1996). Ungulate reintroductions: experiences with the takhi or Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*) in Mongolia. *Conservation biology*, 10(3), 728-740.

Wakefield, S., Knowles, J., Zimmermann, W., & Van Dierendonck, M. (2002). Status and action plan for the Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*). In *Equids: Zebras, Asses, and Horses: Status Survey and Conservation Action Plan* (pp. 82-92). Gland Switzerland and Cambridge, UK.

Wesche, K., Ambarl, D., Kamp, J., Török, P., Treiber, J., & Dengler, J. (2016). The Palearctic steppe biome: a new synthesis. *Biodiversity and conservation*, 25(12), 2197-2231.



Nyilvántartási szám: DEENK/468/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kerekes Viola

Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10096482

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. Rödel, H. G., Ibler, B., Ozogány, K., **Kerekes, V.**: Age-specific effects of density and weather on body condition and birth rates in a large herbivore, the Przewalski's horse.
Oecologia. 203 (3-4), 435-451, 2023. ISSN: 0029-8549.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-023-05477-9>
IF: 2.3
2. Ozogány, K., **Kerekes, V.**, Fülöp, A., Barta, Z., Nagy, M.: Fine-scale collective movements reveal present, past and future dynamics of a multilevel society in Przewalski's horses.
Nat Comms. 14 (1), 1-12, 2023. EISSN: 2041-1723.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-023-40523-3>
IF: 14.7
3. **Kerekes, V.**, Sándor, I., Nagy, D., Ozogány, K., Göczi, L., Ibler, B., Széles, L., Barta, Z.: Trends in demography, genetics, and social structure of Przewalski's horses in the Hortobágy National Park, Hungary over the last 22 years.
Glob. Ecol. Conserv. 25, 1-14, 2021. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01407>
IF: 3.969





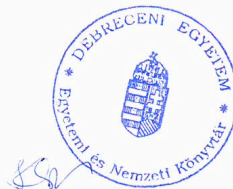
4. **Kerekes, V.**, Ozogány, K., Sándor, I., Végvári, Z., Czető, C., Nyírő, B., Szabados, T., Széles, L., Barta, Z.: Analysis of habitat use, activity, and body condition scores of Przewalski's horses in Hortobágy National Park, Hungary.
Nat. Conserv. Res. 4 (Suppl.), 31-40, 2019. ISSN: 2500-008X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.029>

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 20,969

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
20,969**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.09.05.



**Short thesis for the degree of Doctor of
Philosophy (PhD)**

**Popultaion processes in a Przewalski's
horse herd in the Hortobágy National
Park**

by Viola Kerekes

Supervisor: Prof. Dr. Zoltán Barta



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Juhász-Nagy Pál
Debrecen, 2024

1. Introduction and aims

1.1. The Przewalski's horse and the Pentezug project

The Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*) is the only surviving subspecies of ancient wild horses that has never been domesticated. These animals were once part of the large grazers of the Eurasian steppe ecosystem (Van Dierendock and de Vries, 1996), but gradually disappeared Europe due to natural and human factors (Pushkina, 2008). The last wild descendants of Pleistocene wild horses were forced to live on the border of China and Mongolia. Przewalski's horses were not scientifically described until 1881 when a Polish soldier, Nikolai Michailovich Przewalski, and a scientist from the Zoological Museum of the Academy of Science in St. Petersburg, Ivan Semjonovich Poliakov, described them (Wakefield et al., 2002). Between 1887 and 1902 several catching expeditions were organized by European hunters. The last wild female horse was captured in 1947, and Przewalski's horses became extinct in the wild by 1969 (Bouman and Bouman, 1994). Fortunately, the species survived in captivity, but only 13 individuals reproduced. There are only 2,500–3,000 individuals of this species, and most are found in zoos, semi-reserves and in the wild. This later in China and Mongolia (Turghan et al., 2022). According to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List, Przewalski's horse is currently classified as endangered (King, 2005). By protecting wild horses, we also help to conserve grasslands, which are among the least protected habitats due to human impacts such as agriculture, overgrazing, and mining (Wesche et al., 2016).

Przewalski's horses differ in appearance from domestic horses. They stand about 130 cm tall at the withers and weigh between 250–350 kg. They have a very muscular and compact body structure, and their coat is typically dune-colored, with variations ranging from darker to lighter shades (Wakefield et al., 2002). These horses are primarily grazers with a hindgut digestive system and live in harem groups similar to feral horses and zebras (Rubenstein, 1978). Przewalski's horses and domestic horses have 64 and 62 chromosomes, respectively (Benirschke et al., 1965), but they can interbreed, and their offspring are fertile (Short et al, 1974).

Hortobágy National Park (HNP) is home to one of the largest herds of Przewalski's horses, which live in semi-wild conditions. The Pentezug project was launched in 1997 by NHP and Cologne Zoo. The aim of the project was to restore the grassland ecosystem in the heart of the national park, on 3000 ha, with large grazers and minimal human intervention. More than 70% of the area is typical grassland with grass species such as fescue. The area also has marshes, reed beds, and a canal, which provides abundant water all year round. At the beginning of the project, Przewalski's horses and reconstructed aurochs were introduced to the fenced area in 1997 and 1999, respectively. The transportation of Przewalski's horses within Europe is determined by the European Ex situ Program (EEP) for Przewalski's horses, which is a subdivision of the European Association of Zoos and Aquaria (EAZA). After the first few years in the Pentezug Reserve, horses started to breed, and their number grew rapidly. The population required human management due to the lack of apex predators and scavengers in the area. Three control interactions were made in the Pentezug Reserve: transports, immunocontraception treatment (Pig Zona Pellucida, PZP), and culling. Every action concerning Przewalski's horses is determined by the HNP staff with the help of EEP. Local authorities also must give their consent to any action proposed by HNP staff.

1.2. Aims

The general aim of my PhD studies was to examine the various social and demographic features and changes in the Przewalski's horse population, using data collected over decades and incorporating novel observations and analyses. We expected that the results of these studies would assist in evaluating population management at a higher level, potentially offering valuable insights to other Przewalski's horse conservation programs. To achieve this general aim, we had defined four specific objectives:

- **Investigate social and demographic changes in the Pentezug population.** We aimed to assess the impact of both human and non-human factors on population growth and to explore changes in key genetic characteristics at the population level.

- **Analyze habitat use, activity, and condition in different grazing density periods.** We sought to determine how Przewalski's horses' habitat use, activity patterns, and physical condition varied between periods of significantly different large grazer densities.
- **Examine the relationship between foaling rate, body condition, and environmental factors.** We aimed to investigate how fluctuating weather conditions and population density impacted foaling rates and the body condition of females.
- **Study fine-scale movement and social structure.** We planned to explore how fine-scale movement patterns reflected the social structure within this Przewalski's horse population.

2. Novel findings of the studies

The results of the investigations outlined in our aims have been published in four scientific papers. This chapter provides an overview (key methods and results) of these studies.

2.1. Social and demographic changes in the HNP (Hortobágy National Park) population of Przewalski's horses

Since the launch of the project, HNP staff have systematically collected data on various aspects of the horse population, including births, deaths, imports, exports, parentage, group composition changes, and the effects of PZP (immunocontraception) treatment on females. This data collection utilized an individual identification system we developed, consisting of three main components: group structure composition, individual photographic identification, and DNA parentage examination.

In the first study, we leveraged these comprehensive databases to calculate the population growth rate, foaling rate, and mortality rate

over time, and explored the reasons behind observed changes. Continuous feedback from DNA parentage examinations enabled us to assess genetic diversity and the inbreeding coefficient at the population level. Throughout the study period, both horse and cattle numbers increased, peaking in 2017 with 329 horses and 580 cattle. Factors influencing horse numbers included non-human factors (births and deaths) and human-induced factors (imports, exports, immunocontraception treatment, and culling). The foaling rate was notably affected by PZP treatment after 2013. Non-human factors, such as an increase in large grazers, led to a decrease in foaling rates among non-treated females and a shift in the age of first foaling from 2–3 years to 3–5 years. Mortality rates varied by age and sex, with the only instance where mortality exceeded the birth rate occurring in 2018, when nearly 100 horses died. This was likely due to overpopulation, food shortages caused by drought, and extremely cold spring conditions. These demographic changes also impacted genetic parameters: gene diversity remained relatively stable at around 0.8, while the inbreeding coefficient showed a slight increase. Additionally, a shift in social structure was observed, with individual home ranges evolving into the collective movement of the entire herd (all harems and bachelor groups) approximately 8–10 years after their initial arrival.

2.2. Comparison of habitat use, activity, and condition of Przewalski's horses in different phases of the project

In our second study we compared three types of data pertaining to horses during two distinct periods of the project: GPS data, activity observations, and condition scores. The GPS data of horses were processed into a shapefile using ArcMap 10.0 and integrated with the existing habitat map shapefile. To assess the habitat preference during the two periods, we compared the occupied proportion of different habitats relative to the entire area and the proportion of time horses spent in each habitat. Activity data, including resting, grazing, moving, alertness, interaction, and comfort behaviors, were collected using scan sampling methods. Our condition scoring system was adapted from Rudman and Keiper (1991) and utilized hind-quarter scores ranging from 0 to 5.

We found that several aspects of habitat use and body condition of Przewalski's horses were significantly different in the two distinct periods, but the activity percentage did not change. During both periods, horses predominantly spent time grazing in three habitats - alkali meadow, alkali steppe, and open alkali grassland - accounting for 85% of the area. In the initial phase of the project, the horses used these three habitats equally in each season, but, in the later phase of the project, the open alkali grassland was not used, and the alkali meadow was used in a much higher proportion in winter. This change probably occurred because grass was available in the alkali meadow while the rest of the area was overgrazed. The body condition of females and young males significantly decreased with growing density, but the harem stallion's body condition did not change.

2.3. Analyses of factors influencing body condition and foaling rates of female Przewalski's horses

We investigated whether late summer precipitation influenced pregnancy rates and if weather conditions provided an advantage to females in their first year of life. Additionally, we assessed the impact of late winter temperatures on conception rates and, a year later, on foaling probability. We also examined how weather conditions affected the body condition of females.

We found that population density had a negative impact on foaling rates, with younger females being more sensitive to density than older ones. Weather effects, such as winter temperatures or late summer to early autumn precipitation, typically influenced foaling rates only when combined. We observed similar patterns for body condition, with increasing population density correlating with declining body condition in young females (2–4 years old). Additionally, a lack of late summer precipitation during the first year of life significantly decreased body condition in these young females.

2.4. Study of the relationship between fine-scale movement patterns and social structure of Przewalski's horses

In the fourth study, we utilized the horses' lineage and social data, and we recorded videos of the harems using drones.

Additionally, we integrated and interpreted the results from various data sources.

One of the key findings from this study was the identification of social levels within the Przewalski's horse herd based on detailed movement patterns. We distinguished two social levels—harem and herd—by analyzing the distance and movement similarity between pairs of horses. Our observations revealed that synchronization among bachelor group members was lower compared to that within harem groups, indicating that bachelor groups were less stable than harems. The level of familiarity—how much time females spend with each other within a harem—affected their proximity to one another. Our analysis showed that harems with closely related males were situated closer together, and there was a higher rate of female exchange between these harems. Notably, females whose movement patterns were more similar to those of another harem were more likely to join that harem in subsequent years.

3. Summary and general conclusions

We investigated the Przewalski's horse population in Hortobágy. Our findings have not only deepened our understanding of equine population dynamics in general but have also led to more effective population management strategies, a paramount challenge in recent years. Our investigations covered diverse facets of horse behavior and ecology, and we made three key observations that have broader implications for similar conservation projects.

3.1. Management of large grazing projects in the absence of large predators requires adaptive human control

In Europe, there is a growing interest in rewilding abandoned areas and reintroducing wild or feral large grazers and large predators to restore lost trophic chains (Svenning et al., 2016). However, when introducing wild animals that have been missing in the area for decades or even for thousands of years, the natural question of whether the habitat is still adequate for these animals arises. Our research in HNP demonstrated that the grassland habitat is suitable for

Przewalski's horses and reconstructed aurochs. Over a span of 15 years, the population of large grazers increased to the carrying capacity of the area (Study 1 and Study 2). However, we observed natural limitations on population growth, such as reduced foaling rates with increasing density, particularly among primiparous females (Study 3). Human intervention, including immunocontraception treatment (PZP) and occasional culling (Study 1 and Study 2), are necessary to maintain the balance between births and deaths. Despite these efforts, a population crash occurred in 2018, prompting us to implement measures based on our observations, including reducing the number of cattle and horses. We began to use culling more systematically, mostly in early spring, to eliminate weak, old, and injured individuals (Study 1). We started to use PZP on middle-aged and older individuals and let primiparous females foal to reduce the number of females who can give birth (instead of 50–60 females, only 20–30 could foal) and the actual number of surviving foals was reduced because young females are more sensitive to environmental effects (Study 3). Ultimately, our findings suggest that managing wild grazers in the absence of large predators is feasible but requires adaptive management approaches to prevent adverse events.

3.2. Characteristic features of the population and environment have multilateral effects on the social behavior of horses and the demographic traits of the population

Through continuous monitoring of social and demographic data, we observed significant changes over the project's lifespan. Social structure shifted from separate home ranges to entirely overlapping ranges (Study 1 and Study 4). Such phenomena are unique among semi-wild or wild Przewalski's horse populations and are reminiscent of behaviors observed in plain zebras and feral horses (Duncan, 2012). We highlighted some aspects of how horses synchronize their movement and how kinship and friendship can shape the structure of harems and the herd (Study 4). We do not know why horses are in one large herd in the Pentezug Reserve and separate home ranges in Mongolia.

In Study 4, we have shown that 280 individuals can be simultaneously followed but processing the data and gaining meaningful results took years. Creating automated or semi-automated systems for identifying

individual animals, tracking various behaviors, and assessing their condition based on video recordings would represent a highly efficient tool for obtaining real-time insights. Monitoring deteriorating conditions among horses or vegetation destruction through drone footage could serve as an early warning sign, prompting timely intervention to avert potential crises.

3.3. Individual identification is a very effective and useful tool for management and scientific studies

All reintroduced areas and semi-reserves use individual identification of Przewalski's horses based on individual traits and group position (Study 1). We have DNA parentage data of all our individuals that reach the age of one year, which is unique to the HNP. We could plan events, especially PZP treatment and transport, while taking into account the genetic diversity at the population level. When transporting horses to new places, we can choose a highly diverse founder population. When treating horses with PZP, we can allow genetically valuable horses to reproduce while reducing the reproduction of horses that are overrepresented in the population. In this way, we can keep our genetic diversity high (Study 1). Individual recognition proved to be useful not just for management decisions but for more accurate and valuable scientific research. Current movement data can be compared to 20-plus-year-old information on age, sex, and position in harems (Study 4). Following the lifelong fecundity of each female and determining the effects of weather on foaling was also possible (Study 3). However, the time-consuming nature of individual recognition presents a challenge, requiring frequent checks by staff members to maintain identification accuracy, especially in large populations.

4. Plans for the future

In the future, we plan to explore additional aspects of demography, social structure, and population management of Przewalski's horses in the Pentezug Reserve.

First, we aim to continue analyzing the relationship between demographic traits and environmental factors to enhance our understanding of optimal population management strategies.

Second, we seek to deepen our insight into the complex interactions between horses and their environment. Planned research initiatives include comparative studies across different continents to elucidate how environmental changes affect demographic and social traits in various Przewalski's horse populations.

Third, we are focusing on the development of automated identification systems to streamline fieldwork. In collaboration with Stuttgart University, Debrecen University, and Eötvös Loránd University, we have been working on automatic horse identification using drones for the past three years.

Last, our ongoing efforts to collect comprehensive data on vegetation, field use, parasitology, water quality, and weather aim to uncover the reciprocal effects between horses, cattle, and their environment. Through these initiatives, we strive to advance our understanding of the complex interplay between equines and their surroundings.

5. Acknowledgements

I would like to express my gratitude to my advisor, Professor Zoltán Barta, for his valuable guidance and support. The Pentezug Project and our studies were supported by the Hortobágy National Park Directorate and the Cologne Zoo. I would like to express my gratitude to the former and current directors, István Sándor, Dr. Zita Kovács, Gergely Medgyesi, and Dr. Theo Pagel, for their work and support. I am also grateful to the former and current EEP coordinators, Dr. Waltraut Zimmermann, Dr. Lydia Kolter, Dr. Benjamin Ibler, and Barbara Dobiasova, as well as the current studbook keeper, Jaroslav Simek, for their steadfast support. I would like to express my gratitude to the students working in the field, as well as the staff of Hortobágy National Park, the international experts working on other wild horse projects, and the co-authors of our publications. I am grateful to Dr. Karen Uray (University of Debrecen) for the English language editing. I appreciate Dr. Cecilia Penedo and Dr. Ann Bowling (Veterinary Genetics Laboratory, Davis, USA) for the analysis of the

DNA samples. Thanks to my direct colleagues, Tímea Szabados and Péter Csobán, for their support and assistance. Finally, I am deeply grateful to my husband, Dr. Lajos Széles, and my children for their support.

6. List of publications related to the thesis

1. Kerekes, V., Sándor, I., Nagy, D., Ozogány, K., Göczi, L., Ibler, B., Szeles, L. & Barta, Z. (2021). Trends in demography, genetics, and social structure of Przewalski's horses in the Hortobágy National Park, Hungary over the last 22 years. *Global Ecology and Conservation*, 25, e01407.

2. Kerekes, V., Ozogany, K., Sandor, I., Vegvari, Zs., Czeto, Cs., Nyiro, B., Szeles, L. & Barta, Z. (2019). Analyses of habitat use, activity and body condition scores of Przewalski's horses in Hortobágy National Park, Hungary. *Nature Conservation Research*. 4(Suppl. 2) 31-39.

3. Rödel, H. G., Ibler, B., Ozogány, K., & Kerekes, V. (2023). Age-specific effects of density and weather on body condition and birth rates in a large herbivore, the Przewalski's horse. *Oecologia*, 203(3), 435-451.

4. Ozogány, K., Kerekes, V., Fülöp, A., Barta, Z., & Nagy, M. (2023). Fine-scale collective movements reveal present, past and future dynamics of a multilevel society in Przewalski's horses. *Nature Communications*, 14(1), 5096.

7. References

Benirschke, K., Malouf, N., Low, R. J., & Heck, H. (1965). Chromosome complement: differences between *Equus caballus* and *Equus przewalskii*, Poliakov. *Science*, 148(3668), 382-383.

Bouman, I. & Bouman, J. (1994). The history of Przewalski's horse. In L. Boyd and K. Houpt(ed.): *Przewalski's horse. The history and biology of an endangered species*. SUNY, Albany, NY, pp. 5-38.

- King, S. R. B. (2005). Extinct in the Wild to Endangered: the history of Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*) and its future conservation. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 3(2), 37-41.
- Pushkina, D., & Raia, P. (2008). Human influence on distribution and extinctions of the late Pleistocene Eurasian megafauna. *Journal of human evolution*, 54(6), 769-782.
- Rubenstein, D. I. (1978). On predation, competition, and the advantages of group living. In *Social behavior* (pp. 205-231). Boston, MA: Springer US.
- Rudman, R., & Keiper, R. R. (1991). The body condition of feral ponies on Assateague Island. *Equine Veterinary Journal*, 23(6), 453-456.
- Der Sarkissian, C., Ermini, L., Schubert, M., Yang, M. A., Librado, P., Fumagalli, M., ... & Petersen, B. (2015). Evolutionary genomics and conservation of the endangered Przewalski's horse. *Current Biology*, 25(19), 2577-2583.
- Short, R. V., Chandley, A. C., Jones, R. C., & Allen, W. R. (1974). Meiosis in interspecific equine hybrids: II. The Przewalski horse/domestic horse hybrid (*Equus przewalskii* × *E. caballus*). *Cytogenetic and Genome Research*, 13(5), 465-478.
- Svenning, J. C., Pedersen, P. B., Donlan, C. J., Ejrnæs, R., Faurby, S., Galetti, M., Hansen, M. D., Sandel, B., Sandom, J. C., Terborgh, W. J., & Vera, F. W. (2016). Science for a wilder Anthropocene: Synthesis and future directions for trophic rewilding research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4), 898-906.
- Svenning, J. C., Lemoine, R. T., Bergman, J., Buitenwerf, R., Le Roux, E., Lundgren, E., Mungi, N., & Pedersen, R. Ø. (2024). The late-Quaternary megafauna extinctions: Patterns, causes, ecological consequences and implications for ecosystem management in the Anthropocene. *Cambridge Prisms: Extinction*, 2, e5.
- Turghan, M. A., Jiang, Z., & Niu, Z. (2022). An update on status and conservation of the Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*): Captive breeding and reintroduction projects. *Animals*, 12(22), 3158.
- Van Dierendonck, M. C., & Wallis de Vries, M. F. (1996). Ungulate reintroductions: experiences with the takhi or Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*) in Mongolia. *Conservation biology*, 10(3), 728-740.

Wakefield, S., Knowles, J., Zimmermann, W., & Van Dierendonck, M. (2002). Status and action plan for the Przewalski's horse (*Equus ferus przewalskii*). In *Equids: Zebras, Asses, and Horses: Status Survey and Conservation Action Plan* (pp. 82-92). Gland Switzerland and Cambridge, UK.

Wesche, K., Ambarl, D., Kamp, J., Török, P., Treiber, J., & Dengler, J. (2016). The Palaearctic steppe biome: a new synthesis. *Biodiversity and conservation*, 25(12), 2197-2231.



Registry number: DEENK/468/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Viola Kerekes

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10096482

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. Rödel, H. G., Ibler, B., Ozogány, K., **Kerekes, V.**: Age-specific effects of density and weather on body condition and birth rates in a large herbivore, the Przewalski's horse.
Oecologia. 203 (3-4), 435-451, 2023. ISSN: 0029-8549.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-023-05477-9>
IF: 2.3
2. Ozogány, K., **Kerekes, V.**, Fülöp, A., Barta, Z., Nagy, M.: Fine-scale collective movements reveal present, past and future dynamics of a multilevel society in Przewalski's horses.
Nat Comms. 14 (1), 1-12, 2023. EISSN: 2041-1723.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-023-40523-3>
IF: 14.7
3. **Kerekes, V.**, Sándor, I., Nagy, D., Ozogány, K., Göczi, L., Ibler, B., Széles, L., Barta, Z.: Trends in demography, genetics, and social structure of Przewalski's horses in the Hortobágy National Park, Hungary over the last 22 years.
Glob. Ecol. Conserv. 25, 1-14, 2021. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01407>
IF: 3.969





4. **Kerekes, V.**, Ozogány, K., Sándor, I., Végvári, Z., Czető, C., Nyíró, B., Szabados, T., Széles, L., Barta, Z.: Analysis of habitat use, activity, and body condition scores of Przewalski's horses in Hortobágy National Park, Hungary.
Nat. Conserv. Res. 4 (Suppl.), 31-40, 2019. ISSN: 2500-008X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.029>

Total IF of journals (all publications): 20,969

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 20,969

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

05 September, 2024

