

Zárójelentés az OTKA K62000 pályázathoz

A pályázat ideje alatt, eddig 41 publikáció született: 14 cikk (melyekből egy az Ecology-ban jelent meg, az összesített IF: 19,036); 3 könyvfejezet és 24 konferencia előadás és 2 kézirat került benyújtásra. Természetesen, a pályázók nem vehettek részt 24 konferencián az OTKA támogatásból, hanem olyan társzerzők is kivették részüket az előadásokból, akiket jelen OTKA pályázat nem támogatott. Ez lényegesen növelte az OTKA mint támogató megjelenését a konferenciákon. A fenti publikáción kívül két kéziratunk van benyújtva.

A pályázatban vállalt feladatokat teljesítettünk. A pályázat két fő kutatási területre összpontosított:

I. Ökológiai játékok és optimalizációs modellek

Olyan többfajos evolúcióökológiai modellt dolgoztunk ki, amely az invazív fajok kezelését is lehetővé teszi. Megvizsgáltuk, hogy az általunk bevezetett evolúciós stabilitási fogalom miképpen finomítja a fajkeletkezési modelleket. Az újdonsága az, hogy az általunk kidolgozott modellezési módszerrel képesek vagyunk nem csak folytonos, hanem diszkrét skálán mozgó tulajdonságok evolválódását is leírni és vizsgálni. Az általunk bevezetett fogalom alkalmas a paleontológia egyik fő elméletének, nevezetesen a „szakaszos egyensúlyra” vonatkozó elméletnek matematikai kezelésére is [1].

Bevezettünk egy ragadozó és két préda fajra vonatkozó koevolúciós modellt, ahol minden faj stratégiája befolyásolja a predáció sikerét. Például a prédák egy stratégiája lehet az, hogy mennyi időt töltenek táplálkozással olyan területen, ahol a predációs esély nagy, de táplálékhiány van, illetve olyan területen, ahol a predációs esély kicsiny ugyan, de a táplálék kevés. Megmutattuk, hogy ha a ragadozók denzitásával csökken a predációs siker, akkor az általunk bevezetett háromfajos denzitásfüggő differenciálegyenlet-rendszerrel leírt ökológiai rendszer evolúciósan stabilis. Ismeretem szerint ez az első példa háromfajos denzitásfüggő ESS-re [8]. Ennek az elméleti modellnek van egy olyan következménye, amely konzervációbiológiai szempontból is megfontolandó lehet. Ismert, hogy mind a „menedék” (refuge), mind az „látszólagos versengés” (apparent competition) külön-külön is általában stabilizálja a fajok együttélését. Megmutattunk, hogy e két külön-külön stabilizáló jelenség együtt evolúciós instabilitást okozhat. Ez konzervációbiológiai szempontból azt valószínűsíti, hogy egyszerre csak egy stabilizáló hatásra célszerű építeni egy adott faj megvédési stratégiáját.

Egy optimalizációs modell keretében jellemeztük a ragadozók opportunizmusát. Ez a cikk fontos eleme egy modellezés-módszertani eredmény, amely a magyar származású Wald Ábrahám tételén alapul, és sok esetben lehetővé teszi a funkcionális válasz elméleti úton történő meghatározását [12], [39].

Evolúciós játékelméleti dinamikákkal vizsgáltuk a prédaállatok a csoportokba tömörülését. Megmutattuk, hogy nem opportunist (célprédát kereső és csak azt üldöző) ragadozó esetén kevert ESS (mind magányos, mind csoportban élő prédaegyedek előfordulnak), míg opportunist (amivel találkozik, arra mindig támad) ragadozó esetén általában tiszta ESS alakul ki, ami annak felel meg, hogy a prédaállatok csoportokba tömörülnek. Ezt az eredményt az Ecology-ban publikáltuk [14].

Megmutattuk, hogy az adaptív dinamika evolúciós stabilitási fogalma speciális esetként adódik az általunk bevezetett dinamikus stabilitási fogalomból. Továbbá azt is megmutattuk, hogy az általunk bevezetett fogalom többdimenziós fenotípus-evolúció esetén is alkalmazható, sőt nemcsak kis, hanem tetszőlegesen nagy mutáció esetén is [15], [29], [34].

Kidolgoztunk egy ökológiai modellt, amely két növényfaj nektárjáért versengő két méhfaj biomasszájának változását írja le, ha a növények denzitása nem változik. Példát adtunk olyan paraméterekre, amelyek esetén a méhek optimális nektárgyűjtési viselkedése nem automatikusan garantálja a koegzisztenciát. Ez azt jelenti, hogy evolúciós stabilitás nem állhat fenn ökológiai stabilitás nélkül, és ez utóbbi nem hagyható figyelmen kívül [19, 20].

II. Komplex viselkedés-játékelméleti modellek vizsgálata

Egy evolúciós játékelméleti modell keretében kimutattuk, hogy kis csoportlétszámot feltételezve, az altruista segítség ragadozó támadása esetén ESS [6], [40]. E túlélési játékban lényegében több N -személyes játék valósul meg, hiszen sikeres predáció esetén a csoportlétszám csökken, és ezzel együtt mind az egyedre vonatkozó predáció, mind a sérülés esélye nő. Kimutattuk, hogy kis csoportokban a ragadozók elleni altruista védekezés elterjed, továbbá, hogy ekkor az altruizmus evolúciósan stabilis.

Egy evolúciós játékelméleti modellt javasoltunk az emberi kooperáció vizsgálatára. Parciális adaptív dinamika felhasználásával modellünkben egy Cournot-féle játékot vizsgáltunk és kimutattuk, hogy a nem kooperáló egyedek kellően határos büntetésével stabilizálható a kooperáció [9], [21, 22].

Egy dinamikus modell keretében megmutattuk, hogy a természetes szelekció folyamán az „optimalizáló” típust (amely a saját bevételét maximalizálja) a „versengő” típus (amely a teljes populáció feletti relatív előnyét maximalizálja) kiszelektálja [38].

Benyújtott kéziratok: Mivel ezek még nem jelentek meg, így kicsit részletesebben fejtjük ki az elért eredményeket.

Kidolgoztunk az „irigység” (amely csökkenti a sikeresebbek nyereségét) evolúciójára vonatkozó evolúciós játékelméleti modellt, amelynek keretében megmutattuk, hogy mind az „irigység”, mind az „adakozás” (az adakozó sikerét csökkenti a fogadó fél nyereségét növeli) lehet darwini evolúció terméke. Az irigység költséges kompetíciónak (Hamiltonaféle „spiteful” stratégiának) tekinthető, és növeli az irigy egyedek relatív előnyét a populációval szemben. Az sikeres adakozó azzal, hogy csökkenti a nyereségekülönbséget közte és az kevésbé sikeres irigyek között, csökkenti a jövőben ellene irányuló kártételt. Ugyancsak bevezettük „Klütamnésztra-stratégiát”, amely azt jelenti, hogy ha valaki „szegény”, akkor ad a legsikeresebbeknek. E paradox stratégia irigyek alkotta csoportban elterjed, ugyanis az irigyek a legsikeresebbeknek okoznak kárt, így a legsikeresebbek nyereségét az irigyek radikálisan csökkentik, továbbá, ha az irigyek kártétele költséges, akkor a „Klütamnésztra-stratégia” relatív előnyre tesz szert az irigyekkel szemben is, hiszen a fokozódott kártételek összköltsége ugyancsak csökkenti az irigyek nyereségét [37], [41].

Általánosítottuk a jelen pályázat keretében bevezetett korábbi túlélési játékokat [6] abban az értelemben, hogy a ragadozó egyszeri támadása esetén a *rabok dilemmája* játék adja meg az egyedek túlélési valószínűségét. E játék additíve szétbontható két játékra: *kollektív játékra*

(*collective game*), melynek célja a csoport együttes túlélése, és ellenséges játékra (*hostile game*), melynek célja az, hogy a társ elpusztuljon mialatt a játékos túlél. Kimutattuk, hogy ha elég sokszor kell a csoportnak védekeznie ragadozók támadása ellen, akkor a *kollektív játék* megoldása garantálja a maximális túlélési esélyt az egyedek számára. Ez az eredmény tükrözi azt az intuíciót, hogy a társ halálából egyszer lehet előnyt kovácsolni, míg a társ megléte folyamatosan csökkentheti a ragadozó sikerét. Megmutattuk, hogy a *kollektív játék* szimmetrikus kifizetómátrixszal adható meg, és vagy csak a védekezés ESS, vagy a játék bistabilis, azaz mind az altruista védekezés, mind a menekülés ESS. Ha a védekezés az egyetlen ESS, akkor védekezés ESS a teljes túlélési játékra nézve. Bistabilis esetben, ha a populáció nem teljesen kevert (vagyis azonos klónból származó egyedek alkotnak védekező csoportokat), akkor úgyszintén a védekezés lesz ESS [42].

Megkezdett kutatás: Szimulációs modellek alkalmazásával kimutattuk, hogy a klikken belüli reciprok kooperáció kiszorítja az indirekt reciprokátorokat.

III. A pályázathoz tematikailag vagy módszertanilag szorosan kapcsolódó eredmények

A most felsorolt eredmények kapcsolódnak a pályázat célkitűzéseikhez, de konkrétan nem szerepeltek azok között.

Populációgenetikai eredmények

Megvizsgáltuk, hogy ha növekedési és termékenységi paraméterek több lókuszon öröklődnek, akkor a halászat mely geno-fenotípus megfeleltetés esetén vezet olyan „evolúciós” változáshoz a halpopulációban, amelynek végeredménye a kitermelt hal piaci értékének erős csökkenése (feltéve, hogy a halak egységára tömegüktől függ) [11], [25], [27], [36].

Megmutattuk, hogy az utódpopuláció relatív előnye arányos a szülőpopulációbeli replikátorok rátermettségének varianciájával. Igazoltuk, hogy a Ewens-féle átlagos rátermettség parciális növekedési rátája és a játékelméleti értelemben vett relatív előny növekedési rátája egyenértékű abban az értelemben, hogy mindegyik arányos a replikátorok rátermettségének varianciájával [16].

Matematikai rendszerelméleti eredmények a biológiában

A pályázati kutatás fő irányához kapcsolódva, annak tematikai kibővítéseként a matematikai rendszerelmélet módszertanának populációbiológiai alkalmazása területén az alábbi eredményeket értük el

A konzervációökológia egyik kulcskérdése az ökoszisztéma monitorozása. Sok esetben az, hogy egy ökoszisztéma minden fajtát nyomonkövessük az igen költséges, ezért rendszerelméleti módszert dolgoztunk ki arra, hogy e dinamikai rendszerek csak bizonyos indikátorfajait monitorozva, hogyan lehet az egész rendszerben jelenlévő egyedszámokat meghatározni. Az ezt lehetővé tevő megfigyelő rendszert konstruáltunk egy Lotka-Volterra-modellre [24], [2]. E kutatási irány távlati célja többfajos rendszerekre olyan monitoring módszer kidolgozása, amely viszonylag kevés faj denzitása időbeli változásának megfigyeléséből az egész rendszer változását képes rekonstruálni.

Ugyancsak populációdinamikai és matematikai rendszerelméleti megközelítést igényelt a következő radioterápiai feladat. A sugárkezelés hatásának matematikai modellezése jelentős múltra tekint vissza, a technika fejlődése azonban állandóan új feladatokat vet fel. Mi

Freedman és Pinho két-dimenziós modelljéből indultunk ki, amely a sugárzás hatását vizsgálja egymással kölcsönható ép és besugárzott sejtpopulációkra. E modell feltételezi, hogy az ép sejtek növekedése logisztikus. Megadtunk egy elégséges feltételt e modell megfigyelhetőségére az egyensúlyi helyzet környezetében, továbbá meg is konstruáltunk egy megfigyelő rendszert is. Végül azt is megmutattuk, miként lehet a rendszert a besugárzási stratégia megválasztásával egy kívánt egyensúlyi állapotba hozni. [5], [32]

A [7] dolgozatban az előbbi módszertant kiterjesztve sikerült a fenti modell esetében indikátorfaj megfigyelése alapján abiotikus környezeti hatások meghatározására is megfigyelő rendszert konstruálni.

Az [18] publikációban - a korábbi megfigyelhetőségi vizsgálatot továbbfejlesztve - egy egyetlen ragadozó és két zsákmányfajból álló populációrendszer esetében megfigyelő rendszert konstruáltunk.

A szexuális populációkra vonatkozó evolúciós dinamikával kapcsolatos problémákat vizsgáltunk a [3] közleményben. Egy lokális megfigyelhetőségre elégséges feltételt szolgáltató korábbi tételünket alkalmazva kaptunk megfigyelhetőségi eredményt arra az esetre, amikor a fenotípusszelekciót egy sajátos evolúciós játék, az evolúciós játékelméletben közkeletű példaként ismert, ún. "kő-papír-olló" játék írja le. Ezt követően e modell esetében két különböző biológiai szituációra is konstruáltunk megfigyelő rendszert. (Ez - a modell frekvenciafüggő volta miatt - új megközelítést igényelt a korábbi, denzitásfüggő megfigyelő-konstrukciókhoz képest.) E modell keretében vizsgáltuk a dinamikus egyensúly stabilitását is. (Ennek az egyensúlynak fenotipikusan evolúciósan stabilis stratégia felel meg.) A bifurkációelmélet egy klasszikus tételét alkalmazva, az evolúciós játék paramétereire vonatkozó, szuperkritikus Hopf-bifurkációt találtunk.

Végül a matematikai rendszerelméleti módszerek addigi populációbiológiai alkalmazásait tekintette át a [31] előadásban és a [4] dolgozatban.

Eredmények a biometria területén

E módszerek azért kerültek kidolgozásra, hogy hidat teremtsünk a fenti elméleti eredményeink kísérletekkel való lehetséges tesztelésére. Természetesen ezek a kutatások csak első lépéseknek tekinthetők.

A bootstrap-módszeren alapuló olyan statisztikai eljárást dolgoztunk ki, amely a váltópont helyett az ún. váltóintervallum statisztikai becslésére szolgál [10], [26], [28]. A végső cél olyan módszer kidolgozása, amely nemcsak prezencia-abszencia esetén képes foltokat kimutatni növényi vegetációkban, hanem arra is érzékeny, hogy a különböző foltokban csak az adott faj előfordulási valószínűsége változik. Első látásra úgy tűnhet, hogy e vizsgálatok a kutatás jelenlegi fázisában nem kapcsolódnak jelen pályázathoz, azonban e statisztikai módszer nem túl jelentős változtatással alkalmas lehet humán populációk klikkesedési dinamikájának vizsgálatára is, továbbá segíthet a ragadozók prédaválasztási stratégiájának (milyen préda-denzitási értékeknél vált prédát a ragadozó) megismerésében.

Statisztikai módszert dolgoztunk ki többfajos evolúciós játékelméleti modellek jóslatainak tesztelésére [23].

Élet keletkezéséhez kapcsolódó eredmény

Egy 10 évvel ezelőtt kezdődött kutatás lezárásaként publikált cikkben felvettük egy olyan a darwini evolúción alapuló lehetőséget, hogy az élet királyságát a reflexív-autokalitatikus kombinatorikus-könyvtárak királis instabilitása eredményezte [13].

Publikációk

Referált folyóiratcikkek

1. Cressman, R., Garay, J. (2006) A game-theoretical model for punctuated equilibrium: species invasion and stasis through coevolution. *BioSystem* **84**: 1-14. **IF:1.080**
2. López, I., Gámez, M., Varga, Z., Garay, J. (2007) Monitoring in a Lotka–Volterra model. *BioSystems* **87**: 68-74. **IF:1.646**
3. López, I., M. Gámez and Z. Varga, Observer design for phenotypic observation of genetic processes. *Nonlinear Analysis: Real World Applications* 9 (2008) 290–302. **IF: 1.778**
4. Z. Varga, Applications of mathematical systems theory in population biology. *Periodica Mathematica Hungarica*, Vol. 56 (1), (2008) 157-168.
5. Gámez M., I. López, J. Garay, Z. Varga. (2009) Observation and control in a model of a cell population affected by radiation. *Biosystems* **96**: 172–177. **IF: 1.477**
6. Garay, J. (2009) Cooperation in defence against predator *J. Theor. Biol* **257**: 45-51. **IF: 2,323**
7. López I., J. Garay, R. Carreño, Z. Varga, (2009) Observer Design for Ecological Monitoring *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (ISSN: 2070-3724) **54**: 371-375
8. Cressman, R., Garay, J (2009) A Predator-Prey Refuge System: Evolutionary Stability in Ecological Systems *Theor. Pop. Biol.* **76**: 248-257. **IF: 1.578**
9. Varga Z., A. Scarelli, R. Cressman and J. Garay. (2010) Evolutionary game model for a marketing cooperative with penalty for unfaithfulness. *Nonlinear Analysis: Real World Applications* **11**: 742-749 **IF: 1,778**
10. López I., M. Gámez, J. Garay, T. Standovár and Z. Varga. (2010) Application of change-point problem to the detection of plant patches *Acta Biotheoretica* 58:51-63 (DOI 10.1007/s10440-009-9093-x) **IF: 0.735**
11. Sebestyén Z., Varga Z., Garay J., and Cimmaruta R., (2010). Dynamic model and simulation analysis of the genetic impact of population harvesting *Applied Mathematics and Computation* **216**: 565-575. **IF: 0,961**
12. Garay, J. Móri, F. T., (2010) When is the opportunism remunerative? *Community Ecol.* **11**:160-170. **IF: 0.898**
13. Garay, J. (2011) Active centrum hypothesis: The origin of chiral homogeneity and the RNA-world. *Biosystem* **103**: 1-12 **IF: 1,267**
14. Cressman, R., Garay, J. (2011) The effects of opportunistic and intentional predators on the herding behaviour of prey. *Ecology* 92:432–440. **IF: 4,782**

Könyvrészletek

15. Garay, J. (2007) Adaptive dynamics based on ecological stability. pp. 271-287. (In “*Advances in Dynamics Game Theory: Numerical Methods, Algorithms and Applications to Ecology and Economics*” Ed. Jorgensen S., Quincampoix M, Vincent T. L.) Annals of International Society of Dynamics Games, Birkhauser, Boston, Basel, Berlin
16. Garay, J. (2007) Relative advantage and fundamental theorems of natural selection. In. *Mathematical Modelling of biological Systems*, vol. II. : Eds: Deutsch, A, Parra R.B.,

Boer, R.J., Dieckman, O., Jagers, P., Kisdi É., Kretzschmar, M., Lansky, P., Metz, H. 63-74. Birkhauser, Boston, Basel, Berlin

17. Gámez M., I. López, J. Garay and Z. Varga, Monitoring the effects of human activities and environmental change on a population system. iEMMs 2008, July 7-10, 2008, Barcelona, Spain. Peer-reviewed full paper in *Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software iEMSs 2008* (Eds.: Miquel Sánchez-Marrè. Javier Béjar, Joaquim Comas, Andrea E. Rizzoli, Giorgio Guariso, ISBN: 978-84-7653-074-0, Vol. 3, 1877-1884.

Konferencia-kiadványok

18. López, I., M. Gámez, J. Garay, Z. Varga. Construcción de un observador en un modelo depredador-presa. XXIX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, Tenerife, 15-19 de mayo de 2006. Actas, 105-106.
19. Garay J. *An ecological game-theoretical model for the foraging problem of bees*. BIRS Workshop on Evolutionary Games Dynamics, 2006, Banff, Canada. (invited speaker)
20. Garay, J., R. Cressman and Z. Varga, Population-dynamical consequence of a two-species foraging problem concerning bee populations. International Congress of Mathematicians, ICM 2006, 22-30 August, 2006, Madrid / Spain. Abstracts, 170.
21. Scarelli, A., J. Garay and Z. Varga, Evolutionary Dynamics for the Behaviour in a Cooperative. SING 2 – Spain-Italy-Netherlands Meeting on Game Theory. 14-17 June 2006, Foggia / Italy. Abstracts, 161
22. Garay, J., A. Scarelli, R. Cressman and Z. Varga, Dynamic game model for a marketing cooperative with penalty for unfaithfulness. XXX AMASES (Italian Association of Mathematics Applied to Economics and Social Sciences) National Congress. 4-7 September, 2006, Trieste, Italy
23. Varga Z. and J. Garay, Testing an evolutionary game model of predator-prey interaction. 11-th Spanish Biometric Conference and 1-st Biometric Meeting of Iberian and Latin American Countries, Salamanca / Spain, 20-22 June 2007. Abstracts 45.
24. López, I. Gámez, M. Garay J., Varga. Z. Construcción de un observador en un modelo depredador-presa. XXIX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, Tenerife, 15-19 de mayo de 2006. Actas, 105-106.
25. Sebestyén, Z., Z. Varga, József Garay, R. Cimmaruta, Dynamic mode for the exploitation of a population integrating the genetic structure. Global Change, Ecological Diversity and Sustainability. Italian Ecological Society-XVI National Meeting, 19-22 September 2006, Viterbo-Civitavecchia / Italy. Abstracts 165.
26. Garay J., T. Standovár, M. Gámez, I. López, *Aplicación del problema del punto de cambio a la detección de manchas vegetales*. SEIO 2007, XXX Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, 25-28 de septiembre, Valladolid. Resúmenes, 145.
27. Sebestyén Z., Varga Z., Garay J., R. Cimmaruta, Effect of harvesting on the genetic composition of a population. 8th Hungarian Conference on Biometrics and Biomathematics. Budapest, 2008 July 1-2. Abstracts, p. 14 (in Hungarian)
28. López I., T. Standovár, J. Garay, Z. Varga and M. Gámez, Statistical analysis of spatial plant patterns under the effect of forest use. iEMMs 2008, July 7-10, 2008, Barcelona, Spain. Peer-reviewed full paper in *Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software iEMSs 2008* (Eds.: Miquel Sánchez-Marrè. Javier Béjar, Joaquim Comas, Andrea E. Rizzoli, Giorgio Guariso, ISBN: 978-84-7653-074-0, Vol. 3, 1766-1773.

29. Garay, J, Invadability in monomorphic two-species system. *13th Int. Symp. Dynam. Games Application*, Jun 30, Jul 3, Wroclaw, Poland, Abstract, 106
30. Gámez M., I. López, J. Garay and Z. Varga, Monitoring the effects of human activities and environmental change on a population system. iEMMs 2008, July 7-10, 2008, Barcelona, Spain. Peer-reviewed full paper in *Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software iEMSs 2008* (Eds.: Miquel Sánchez-Marrè. Javier Béjar, Joaquim Comas, Andrea E. Rizzoli, Giorgio Guariso, ISBN: 978-84-7653-074-0, Vol. 3, 1877-1884.
31. Varga Z., I. López, A. Scarelli and J. Garay. Control and observation in population models. Conference on Boundary Value Problems: Mathematical Models in Engineering, Biology and Medicine. Santiago de Compostela /Spain, September 16-19, 2008. Abstracts, 113.
32. I. López, M. Gámez, R. Carreño and Z. Varga. Observation and control in a model of a cell population affected by radiation. Conference on Boundary Value Problems: Mathematical Models in Engineering, Biology and Medicine. Santiago de Compostela /Spain, September 16-19, 2008. Abstracts, 85.
33. Scarelli A., J. Garay and Z. Varga, Game-theoretic model for the conflict of producers with the environmental policy of the government. International Conference on Sustainable Development in Southeast Europe. 16-20 June 2009, Tekirdag-Istanbul, Turkey. Abstracts, 26.
34. Garay, J. Multi-species ESS and substitution in Lotka-Volterra systems. 8th Hungarian Congress of Ecology, Szeged, 2009. (In Hungarian)
35. Garay, J., Scarelli, A., Varga, Z. Dynamic model for the conflict of producers with the environmental policy. AIRO2009. *40th Annual Conference Italian Operational Research Society: Decision and optimization models for the evolution and management*, Siena, Italy, September 8-11. Abstracts 94.
36. Sebestyén Z., Z. Varga, J. Garay, R. Cimmaruta, Fishing effort model with genetic structure. Synergy 2009, *International Conference on Synergy and Technical Development*, 30 August-03 September, 2009, Gödöllő, Hungary Abstracts, 73.
37. Garay, J. Envy, charity and selfishness *BIRS Workshop on Evolutionary Games* June 13-18, 2010 The Banff Centre, Banff, Alberta, Canada, Abstract, 4
38. Garay, J. Competitor against optimizer: Evolutionary dynamics model. Fourteenth *International Symposium on Dynamic Games and Applications* June 19-23, 2010 The Banff Centre, Banff, Alberta, Canada Abstracts, 35
39. Garay, J., Szigeti F., Cabelloc T., Carreno R. Opportunism as optimal foraging strategy. *CMPD3* May 31 Jun 4, 2010 Bordeaux, France. Abstracts, 93.
40. Garay, J. Altruistic in defence against a predator. *SING 6, 6th Spain, Italy and Netherlands; Meeting on Game Theory* Jul 7-9, 2010 Palermo Italy. Abstracts, 57

Benyújtott kéziratok

41. Garay, J., Móri TF. Is Envy one of the possible Evolutionary Roots of Charity? (Benyújtva a Biosystems-hez)
42. Garay J., Varga Z. Decomposition of multi-attack survival games, based on prisoners' dilemma (Benyújtva a J. Theor. Biol.-hoz)