

## REZUMAT

### TERMO-ECOLOGIA REPTILELOR: STRATEGII COMPORTAMENTALE DE TERMOREGLARE - DE LA INDIVID LA NIVEL POPULAȚIONAL

Ecologia termică este esențială în cercetarea biologiei reptilelor, deoarece temperatura corpului influențează profund procesele metabolice și de dezvoltare. Reptilele, precum alte ectoterme, se confruntă în zilele noastre cu provocările ecologice și fiziologice cauzate de schimbările climatice. În pofida limitărilor termice, reptilele și-au însușit diverse strategii de adaptare, cum ar fi plasticitatea fiziologică și comportamentală, decalarea ariei geografice sau adaptarea evolutivă. Cu toate că reptilele își reglează temperatura corpului mai ales prin termoreglare comportamentală – utilizând gradientii termici spațiali și temporali –, fiziologia termică a fost inclusă în contextul sindromului comportamental (engl. *behavioural syndrome*) de abia recent. Studii noi au demonstrat că există constanță în trăsăturile comportamentale termice (eng. *thermal trait*) ale ectotermelor. Cu toate acestea, numărul studiilor care investighează diferențele constante în variațiile inter-individuale (engl. *between-individual*) și intra-individuale (engl. *within-individual*), în ceea ce privește trăsăturile comportamentale termice, este redus.

Pornind de la premisa că plasticitatea fiziologică și comportamentală poate contracara efectele schimbărilor climatice, această teză își propune să exploreze modalitatea în care strategiile comportamentale de termoreglare ale unor populații diverse de reptile răspund la condiții termice dificile, concentrându-se atât la nivel individual, cât și populațional.

CAPITOLUL II prezintă studiul variației inter-individuale (între indivizi) și intra-individuale (la nivel de individ) la ectotermele de talie mică, atât în ceea ce privește trăsăturile comportamentale termice, cât și cele „clasice”, folosind *Zootoca vivipara* ca specie-model. Studiul se concentrează asupra trăsăturilor individuale (ca parte integrantă a personalității animale) și agregate (în contextul sindromului comportamental), precum și asupra predictibilității comportamentale (engl. *behavioural predictability*), o componentă insuficient studiată a variației strategiei de termoreglare. S-a urmărit verificarea ipotezei conform căreia strategiile de termoreglare și cele comportamentale sunt integrate și că există o corelație pozitivă între comportamentul de asumare a riscului (engl. *risk-taking*) și preferința termică precisă, în baza axei „fierbinte-rece”, propusă în studiile de termoreglare ale ectotermelor. S-au constatat diferențe individuale constante în ceea ce privește trăsăturile strategiei de termoreglare – sau trăsăturile comportamentale termice –, și cele „clasice” (deplasare, adăpostire și comportamentul de asumare a riscurilor), susținând prezența personalității animale. De asemenea, indivizii au prezentat diferențe

constante în ceea ce privește predictibilitatea comportamentală în toate trăsăturile studiate. Starea individuală (engl. *individual state*) nu a afectat tipul de comportament (engl. *behavioural type*) sau predictibilitatea, cu excepția condiției corporale ridicate, care a rezultat într-o predictibilitate mai mare a comportamentului de adăpostire. S-a constatat o corelație pozitivă semnificativă între tipul de comportament și predictibilitate, indivizii care au preferat o temperatură corporală mai ridicată fiind mai predictibili. De asemenea, s-a constatat un sindrom comportamental în cadrul trăsăturilor comportamentale termice și „clasice”, arătând o corelație pozitivă între temperatura corporală selectată și comportamentul de asumare a riscurilor.

Studiul limitei superioare a toleranței termice este crucial pentru înțelegerea fiziologiei termice a reptilelor, deoarece oferă informații despre capacitatea acestora de a-și regla temperatura corporală ca răspuns la condițiile extreme de mediu. Măsura în care fiziologia termică, în special consistența trăsăturilor comportamentale termice, este influențată de adaptarea la condițiile locale rămâne un domeniu activ de cercetare. CAPITOLUL III prezintă măsurători și estimări ale limitei termice comportamentale (sau voluntare) superioare ( $VT_{max}$ ) pentru nouă specii și subspecii de vipere de stepă din subgenul *Acridophaga*. Rezultatele studiului contrazic ipoteza conform căreia temperatura mediului este corelată pozitiv cu  $VT_{max}$ . Habitatele alpine favorizează o toleranță termică crescută, permițând viperelor să utilizeze în mod eficient în scopuri fiziologice perioadele de vreme favorabile scurte, dar deseori fierbinți. În schimb, taxonii de la altitudinile joase prezintă limite termice superioare mai reduse, astfel trăiesc într-un interval de temperatură mai restrâns și, în consecință, sunt mai vulnerabili la modificările de habitat care îi afectează caracterul termic. Prin urmare, eforturile de conservare ar trebui să prioritizeze luarea în considerare a trăsăturilor comportamentale termice pentru populațiile critic periclitate și să integreze ecologia termică în strategiile de conservare.

Studiile anterioare privind fiziologia termică s-au axat în principal pe valori medii ale speciilor sau populațiilor, punând mai puțin accent pe variația inter- și intra-individuală. În CAPITOLUL IV, au fost evaluate strategiile individuale ale viperelor stepice în alegerea  $VT_{max}$ . S-a urmărit ipoteza dacă indivizii din populațiile alpine vor prezenta o consistență mai mare în menținerea  $VT_{max}$  decât corespondenții lor de stepă, deoarece sunt mai aproape de limita lor termică critică superioară ( $CT_{max}$ ). Ca rezultat, s-au constatat diferențe constante între indivizi în ceea ce privește media  $VT_{max}$ , sugerând prezența personalității animale. Unii indivizi au prezentat un  $VT_{max}$  mai mic sau mai mare decât media populației. În plus, viperele au arătat, de asemenea, diferențe semnificative în ceea ce privește tipul de comportament și predictibilitatea comportamentală. Totodată, viperele din populațiile alpine au demonstrat o repetabilitate ușor

mai mare a  $VT_{max}$  în comparație cu cele din regiunile de stepă, sugerând că presiunile de selecție din trecut au modelat o distribuție diferită în aceste populații.

În concluzie, variația comportamentală termică individuală la reptile poate fi atribuită unor comportamente sau strategii de termoreglare constant menținute. Aceste strategii sunt integrate la nivel individual pe axa „fierbinte-rece”. Diferențele constante în ceea ce privește trăsăturile comportamentale termice și „clasice” susțin prezența personalității animale. La nivel de populație, strategiile comportamentale de termoreglare constante mențin valori diferite de toleranță termică. De asemenea, au fost observate diferențe constante în ceea ce privește toleranța termică inter- și intra-individuală, probabil datorită unor strategii comportamentale diverse și consecvente.

Importanța comportamentului de termoreglare la reptile în scenariul recentelor schimbări climatice este evidentă, iar aplicarea studiilor privind personalitatea animală ar putea oferi informații relevante despre flexibilitatea sa ontogenetică și evolutivă. În plus, înțelegerea potențialului adaptativ și evolutiv al toleranței termice la ectoterme, la nivel individual, va îmbunătăți capacitatea noastră de a prezice consecințele încălzirii climei atât la nivel de populație, cât și la nivel de specie.

## Cuvinte cheie

strategie de termoreglare, consistență comportamentală, personalitate animală, sindrom comportamental, predictibilitate comportamentală, fiziologie termală, limită termică voluntară superioară, temperatura mediului, ectoterm, reptilă

## TABLE OF CONTENTS

CHAPTER I.....	6
GENERAL INTRODUCTION.....	6
1. Thermal ecology of reptiles.....	6
1.1. Physiological and behavioural traits in thermoregulation.....	7
1.2. Insights into behavioural thermoregulation among reptiles.....	8
2. Consistent individual thermal behavioural variation.....	10
3. OUTLINE OF THE THESIS.....	12
4. References.....	14
CHAPTER II.....	24
Integrating behavioural thermoregulatory strategy into the animal personality framework using the common lizard, <i>Zootoca vivipara</i> as a model.....	24

1. Abstract.....	24
2. Introduction.....	25
3. Materials and methods.....	28
3.1. Study animals.....	28
3.2. Individual traits.....	29
3.3. Measurements of thermal behaviour.....	29
3.4. Behavioural assays.....	30
4. Statistical analysis.....	31
5. Results.....	33
5.1. Animal personality.....	33
5.2. Effects of state variables.....	37
5.3. Correlations between behavioural type and predictability.....	37
5.4. Behavioural syndromes.....	39
6. Discussion.....	40
6.1. Animal personality in boldness vs. thermoregulatory traits.....	41
6.2. The effects of individual state on behavioural type and predictability.....	42
6.3. Behavioural type – behavioural predictability correlations.....	44
6.4. Behavioural syndromes within and across personality vs. thermoregulatory traits.....	44
7. Conclusions.....	46
8. References.....	47
CHAPTER III.....	60
Voluntary thermal maximum of grassland vipers ( <i>Vipera</i> spp.): environmental drivers and local adaptation.....	60
1. Abstract.....	60
2. Introduction.....	60
3. Material and methods.....	62
3.1. Data collection.....	64
4. Statistical analysis.....	66
5. Results.....	67
6. Discussion.....	71
7. Conclusion.....	74
8. References.....	75
CHAPTER IV.....	84

Coping through diversity: quantifying variation in behavioural thermal tolerance of grassland vipers ( <i>Vipera</i> spp.) on individual and population level.....	84
1. Abstract.....	84
2. Introduction.....	85
3. Materials and methods.....	87
3.1. Study species.....	87
3.2. Data collection.....	89
4. Data analysis.....	90
5. Results.....	92
6. Discussion.....	97
7. References.....	102
CHAPTER V.....	114
GENERAL CONCLUSIONS.....	114
1. References.....	118
LIST OF PUBLICATIONS INCLUDED IN THE THESIS AS CHAPTERS.....	120
LIST OF PUBLICATION NOT INCLUDED IN THE THESIS.....	120
LIST OF CONFERENCE PARTICIPATION.....	121
ACKNOWLEDGEMENTS.....	124