



Modellierung der Überlebensdynamik von Nymphen der Hausgrille *Acheta domestica* (L.) in Laborcontainern: Effekte von Umweltbedingungen, kontinuierlicher Nahrungsversorgung und Kannibalismus

Robert Sturm

Brunnleitenweg 41, 5061 Elsbethen, Österreich; E-Mail: sturm_bert@hotmail.com

eingereicht: 18.08.2025; akzeptiert: 07.10.2025 | doi.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Abstract

Modelling survival dynamics of nymphs of the house cricket, *Acheta domestica* (L.), in labor containers: Effects of environmental conditions, continuous supply with food, and cannibalism. The house cricket, *Acheta domestica*, is widely reared for animal feed, human consumption, and research purposes. Optimizing survival of its immature stages (instars) under confined rearing conditions is critical for improving yield and animal welfare. We developed a mathematical model simulating the survival of *A. domestica* instars cohabiting in plastic containers under controlled environmental conditions, continuous food supply, and cannibalism risk. The model integrates logistic survival functions modified by environmental stressors, density-dependent food stress, and inter-instar cannibalism. Numerical simulations illustrate how survival varies with instar size, food supply, and rearing conditions. Results show that cannibalism strongly reduces survival of smaller instars, even when food is abundant, while shelter availability and optimal temperature improve survival across stages. This model provides a tool for optimizing *A. domestica* rearing systems and studying ecological interactions under artificial conditions.

Keywords: environmental factors, instars, mathematical model, survival dynamics

Zusammenfassung

Acheta domestica wird weltweit für die Tierfütterung, den menschlichen Verzehr sowie zu Forschungszwecken gezüchtet. Die Optimierung der Überlebensrate ihrer unreifen Entwicklungsstadien unter beengten Haltungsbedingungen ist entscheidend für Ertragssteigerung und Tierwohl. Wir haben ein mathematisches Mo-

dell entwickelt, das das Überleben von *A. domesticus*-Nymphen simuliert, die gemeinsam in Plastikcontainern unter kontrollierten Umweltbedingungen, kontinuierlicher Nahrungszufuhr und Kannibalismusrisiko gehalten werden. Das Modell kombiniert logistische Überlebensfunktionen mit Modifikationen durch Umweltstressoren, dichteabhängigem Nahrungsstress und Kannibalismus zwischen spezifischen Jugendstadien. Numerische Simulationen zeigen, wie das Überleben in Abhängigkeit von Jugendstadium, Nahrungsangebot und Haltungsbedingungen variiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Kannibalismus die Überlebensrate kleinerer Nymphen stark reduziert – selbst bei reichlich vorhandener Nahrung –, während das Vorhandensein von Unterschlupfmöglichkeiten und optimale Temperaturen die Überlebenschancen über alle Stadien hinweg verbessern. Das Modell stellt ein Werkzeug zur Optimierung von Zuchtssystemen für *A. domesticus* sowie zur Untersuchung ökologischer Wechselwirkungen unter künstlichen Bedingungen dar.

Schlüsselwörter: Jugendstadium, mathematisches Modell, Überlebensdynamik, Umweltfaktoren

Einleitung

Insekten wie das Heimchen (*Acheta domesticus*) werden zunehmend in industriellem Maßstab gezüchtet – als Tierfutter, Heimtiernahrung und neuartige Proteinquelle für den menschlichen Verzehr (Van Huis et al. 2013, Halloran et al. 2018). Zudem dient *A. domesticus* als Modellorganismus für physiologische und verhaltensbiologische Studien (Huber et al. 2019, Psarianos et al. 2024). Eine hohe Überlebensrate während der Entwicklung ist entscheidend für die Effizienz der Produktion und die Einhaltung ethischer Standards (Rumpold & Schlüter 2013).

In künstlichen Umgebungen wie Plastikcontainern sind Jugendstadien von *A. domesticus* abiotischen und biotischen Stressfaktoren ausgesetzt, die in der Natur kaum auftreten (Clifford & Woodring 2009). Zu den entscheidenden Einflussfaktoren auf die Überlebensrate zählen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichtregime, Verfügbarkeit von Unterschlupfmöglichkeiten sowie das Nahrungsangebot (Clifford et al. 1977, Woodring et al. 1977). Kannibalismus ist bei Heimchen besonders häufig und wird oft durch hohe Besatzdichten, Nahrungsmangel oder erhöhte Verletzlichkeit während der Häutung ausgelöst (Wharton et al. 1967, Huber et al. 2019).

Mathematische Modellierung ermöglicht es, Überlebensverläufe unter verschiedenen Haltungsbedingungen vorherzusagen und liefert Einblicke in populationsbezogene Effekte von Kannibalismus und Konkurrenz (Wise 2006, Richardson et al. 2010). Obwohl es Modelle zum Wachstum und zur Reproduktion von *A. domesticus* gibt (Clifford et al. 1977, Sturm 1999, 2011, 2017), wurde das Überleben von Jugendstadien in gemischtaltrigen Populationen bisher nicht explizit modelliert.

Hier wird ein Modell vorgestellt, das das tägliche Überleben von *A. domesticus*-Nymphen in einem Zuchtbehälter mit kontinuierlicher Futtersversorgung, Umweltstress und Kannibalismus simuliert. Anschließend wird mithilfe numerischer Simulationen untersucht, wie sich diese Faktoren auf die Überlebensraten auswirken.

Material und Methoden

Biologischer Kontext

Acheta domesticus durchläuft eine unvollständige Metamorphose mit 7 bis 10 Nymphenstadien über einen Zeitraum von 6 bis 12 Wochen, bevor das adulte Stadium erreicht wird (Clifford & Woodring 2009). In der Labortierhaltung werden Individuen oft unabhängig vom Alter gemeinsam aufgezogen, was das Risiko für Kannibalismus erhöht – insbesondere durch ältere Jugendstadien gegenüber jüngeren (Roe et al. 1980, Adamo 1998).

Optimale Haltungsbedingungen für die Entwicklung umfassen Temperaturen von 28–32°C, eine relative Luftfeuchtigkeit von 50–70 % sowie kontinuierlichen Zugang zu einer getreidebasierten Nahrung (Woodring et al. 1977). Unterschlupfmöglichkeiten wie Eierkartons reduzieren Stress und Kannibalismus, da sie den Tieren Rückzugsräume bieten (Clifford & Woodring 2009, Sturm 2010, 2011, 2016).

Modellierung der Überlebensdynamik

Für das Modell werden drei Stadienkohorten (früh, mittel, spät) angenommen, welche über einen gegebenen Zeitraum t im Container koexistieren. Die Tiere stehen dabei unter dem Einfluss von Umweltstressoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht, Unterschlupf), kontinuierlicher Nahrungszufuhr und Kannibalismus durch jeweils gleich große oder größere Nymphen. Die Größe $D_i(t)$ repräsentiert die Populationsgröße im Container (Startwerte: siehe Tabelle 1) der Stadienkohorte i ($i = 1$: früh, 2: mittel, 3: spät) zur Zeit t , wobei eine tägliche Veränderung infolge der Wechselwirkung von Überleben und Kannibalismus eintritt (Abb. 1).

Jeder hier berücksichtigte Umweltfaktor (Temperatur T , Luftfeuchtigkeit H und Lichtphase L) übt insbesondere dann Einfluss auf die Überlebensdynamik, wenn er vom Optimalwert für die jeweils betrachtete Insektenart abweicht. Dabei gilt:

$$\Delta T = |T - T_{\text{opt}}|, \Delta H = |H - H_{\text{opt}}| \text{ und } \Delta L = |L - L_{\text{opt}}|, \quad (1)$$

wobei $T_{\text{opt}} = 30^\circ\text{C}$ (Clifford & Woodring 1990), $H_{\text{opt}} = 65\%$ und $L_{\text{opt}} = 10 \text{ h}$ (Sturm 2011) zur Anwendung gelangen. Die jeweiligen Betragszeichen zeigen dabei an, dass Abweichungen sowohl nach oben ($T > T_{\text{opt}}$ usw.) als auch nach unten ($T < T_{\text{opt}}$ usw.) stattfinden können. Der Unterschlupf $S_h \in [0, 1]$ ist ein Skalar, der den Anteil der geschützten Fläche (z. B. durch Eierkartons oder Papierknäuel) an der Gesamtfläche im Container beschreibt.

Das Modell bedient sich der beiden logistischen Überlebensparameter α_i und β_i mit den Koeffizienten a_n , b_n und c_i :

$$\alpha_i(t) = \alpha_0 - a_1\Delta T - a_2\Delta H - a_3\Delta L - a_4|I_i - I_{\text{opt}}| - a_5\text{FoodStress}(t) + a_6S_h - c_iC_i(t), \quad (2)$$

$$\beta_i(t) = \beta_0 + b_1\Delta T + b_2\Delta H + b_3\Delta L + b_4|I_i - I_{\text{opt}}| + b_5\text{FoodStress}(t) - a_6S_h. \quad (3)$$

In den obigen Gleichungen bezeichnet $|I_i - I_{\text{opt}}|$ die Abweichung einer gegebenen Stadienkohorte vom Optimum, wobei hier Werte von 0 bis 2 auftreten können (siehe obige Nominalskalierung der einzelnen Kohorten, wobei $i = 3$ optimal ist).

Der durch intraspezifische Konkurrenz induzierte Nahrungsstress $\text{FoodStress}(t)$ wird durch den Quotienten

$$\text{FoodStress}(t) = D_{\text{tot}}(t)/F_{\text{tot}}(t) \quad (4)$$

zum Ausdruck gebracht, bei welchem $D_{\text{tot}}(t)$ die Gesamtpopulation zum Zeitpunkt t und $F_{\text{tot}}(t)$ das gesamte Nahrungsaufkommen mit $F_{\text{tot}}(t) = (F_0 + r \cdot t) \cdot D_{\text{tot}}(0)$ darstellen (F_0 = Nahrung zum Zeitpunkt 0, $D_{\text{tot}}(0)$ = Gesamtpopulation zum Zeitpunkt 0, r = täglich zugeführte Nahrung pro Insekt).

Das Kannibalismusrisiko für das Jugendstadium i lässt sich aus der Formel

$$C_i(t) = \sum_{k>i} \gamma_{k,i} D_k(t) \cdot (1 - S_h) \quad (5)$$

gewinnen, in der $\gamma_{k,i}$ kohortenbezogene Kannibalismuskoeffizienten (Huber et al. 2019) beschreibt. Die Empfänglichkeit für Kannibalismus c_i variiert mit den jeweiligen Jugendstadien, wobei kleinere Nymphen einer wesentlich höheren Anfälligkeit unterliegen. Hier soll zunächst eine Konstanz von c_i angenommen werden.

Die aus den oben definierten Parametern zusammengesetzte logistische Überlebensfunktion $S_i(t)$ nimmt die Gestalt

$$S_i(t) = 1/(1 + e^{\alpha_i(t) - \beta_i(t)}) \quad (6)$$

an. Die nach jedem Zeitschritt (1 d) gewonnenen Populationsdichten für die einzelnen in Betracht gezogenen Jugendstadien ergeben sich abschließend aus der Gleichung

$$D_i(t + 1) = D_i(t) \cdot S_i(t). \quad (7)$$

In Tabelle 1 sind die für die Modellrechnung verwendeten Parameter zusammengefasst.

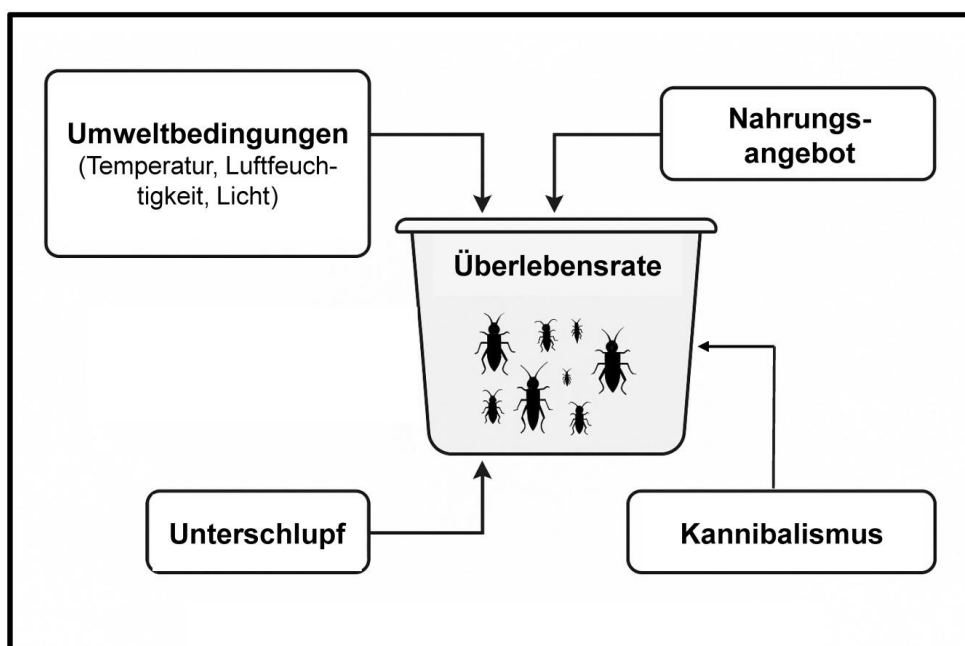


Abb. 1: Konzeption des Modells mit seinen einzelnen Einfluss nehmenden Faktoren.

Fig. 1: Conception of the model with its single factors influencing the survival rate.

Tab. 1: Zusammenstellung der einzelnen Parameter für die Modellberechnungen.

Tab. 1: Compilation of single parameters for model computations.

Parameter	Bezeichnung	Wert	Quelle
D(0)	Startwert der Populationsgröße [100, 50, 20] der Kohorten		Annahme (gemischte Kohorten)
T	Temperatur	32°C	Clifford & Woodring (2009)
H	Luftfeuchtigkeit	60 %	Woodring et al. (1977)
L	Lichtdauer	10 h	allgem. Labor-Setup
S _h	Unterschlupffaktor	0,8	mit Eikartons
F ₀	Nahrung zum Zeitpunkt 0	0,1 g/Insekt	Annahme
r	täglich zugeführte Nahrung pro Insekt	0,05 g/d	kontinuierliche Fütterung
α ₀	Basiskoeffizient der Überlebensfkt. α _i (t)	2,5	kalibriert
β ₀	Basiskoeffizient der Überlebensfkt. β _i (t)	0,1	kalibriert
a = [...]	Koeffizienten der Überlebensfkt. α _i (t)	[0,1, 0,05, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5]	Annahme
b = [...]	Koeffizienten der Überlebensfkt. β _i (t)	[0,08, 0,04, 0,03, 0,08, 0,15, 0,3]	Annahme
γ _{2,1}	kohortenbezogene Kannibalismuskoeffizienten	0,01	Huber et al. (2019)
γ _{3,1}		0,02	Huber et al. (2019)
γ _{3,2}		0,015	Annahme
c _i	Empfänglichkeit für Kannibalismus	0,5	Annahme

Ergebnisse

Die numerische Simulation wurde vereinfacht über einen Zeitraum von 15 Tagen durchgeführt, wobei sich die drei Stadienkohorten (früh, mittel, spät) einen begrenzten Raum unter kontrollierten Umweltbedingungen teilten: 32°C, 60 % relative Luftfeuchtigkeit, 12-stündige Fotoperiode und ein Schutzindex S_h von 0,8. Das Nahrungsangebot wurde täglich aufgefüllt.

Überlebensdynamik der Stadienkohorten

Abbildung 2 zeigt die simulierte tägliche Populationsgröße ausgehend von den Startwerten für jede Stadienkohorte. Bei den frühen Stadien (Stufe 1) kommt es zunächst zu einem starken Rückgang, wobei innerhalb der ersten fünf Tage fast

40 % der ursprünglichen Population verloren gehen. Darauf folgt ein stetiger Rückgang, wobei am 15. Tag nur noch etwa 30 % der ursprünglichen Kohorte überleben. Das mittlere Jugendstadium (Stadium 2) ist durch einen allmählicheren Rückgang gekennzeichnet. Während es anfangs einen geringfügigen Verlust erleidet (10 % innerhalb von 3 Tagen), stabilisiert sich die Überlebensrate aufgrund der geringeren Anfälligkeit für intraspezifische Fressfeinde und der sinkenden Dichte der Jungtiere (und damit geringerer Nahrungskonkurrenz, obwohl der Nahrungsbedarf mit dem Wachstum zunimmt). Am 15. Tag sind noch etwa 60 % der mittleren Jungtiere übrig. Das späte Jugendstadium (Stadium 3) behält während der gesamten Simulation eine hohe Überlebensrate bei, wobei mehr als 85 % der Individuen über die gesamte Zeit erhalten bleiben. Diese Nymphen sind keinem Kannibalismus ausgesetzt und groß genug, um effizient an Nahrung heranzukommen. Sie profitieren vom geringeren Populationsdruck, während die kleineren Jugendstadien abnehmen.

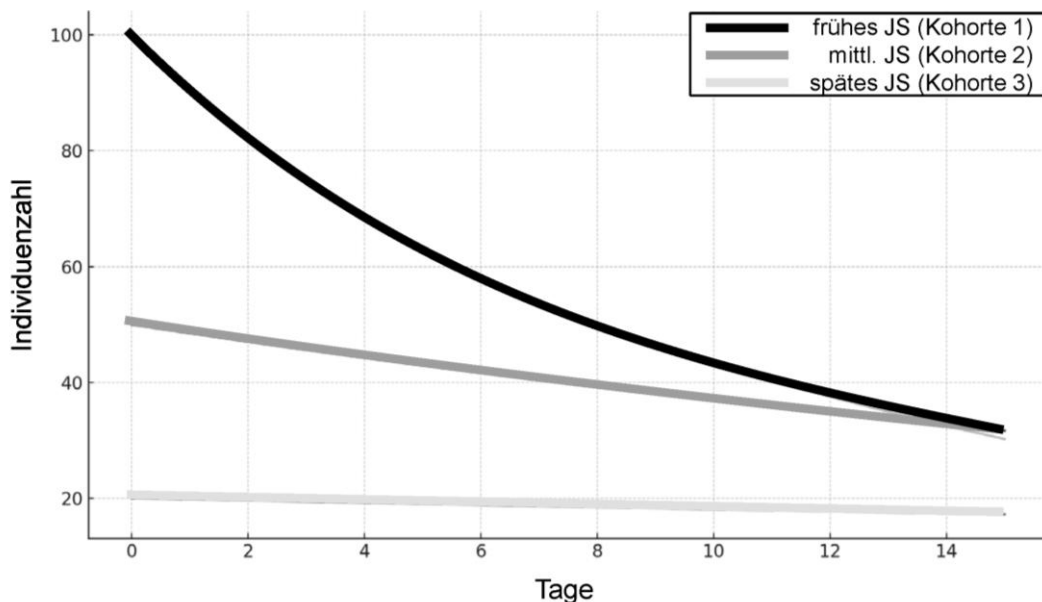


Abb. 2: Entwicklung der Individuenzahl im Container innerhalb der Jugendstadien (JS).

Fig. 2: Development of the number of individuals in the container within instars (JS).

Auswirkungen von Kannibalismus und Unterschluß

In Simulationen ohne Unterschluß (d. h. $S_h = 0$) steigt die Sterblichkeit der kleinsten Jungtiere dramatisch an (80 % Verlust bis zum 10. Tag), und bei den mittleren Jungtieren ist ein Rückgang von 40 % über 15 Tage zu verzeichnen. Die Kannibalismusraten erreichen insbesondere in den ersten Tagen hohe Werte, wenn noch alle Jugendstadien vorhanden sind. Abbildung 3 vergleicht das Kannibalismusrisiko bei den kleinsten Jungtieren (Kohorte 1) unter Bedingungen mit hohem bzw. niedrigem Schutz. In beiden Szenarien sinkt das Kannibalismusrisiko $C_i(t)$ für das frühe Jugendstadium deutlich mit der Zeit ab, da sich dessen Individuenzahl reduziert. Im Falle von Versteckmöglichkeiten sinkt der Faktor laut Abbildung um 40 bis 50 %. Dies bestätigt, dass der Unterschluß aggressive Interaktionen wirksam dämpft.

Nahrungsverfügbarkeit

Abbildung 4 zeigt den Nahrungsstress im Zeitverlauf. Trotz eines kontinuierlichen Nahrungsangebots bleibt das Stressniveau zu Beginn der Simulation aufgrund der hohen Populationsdichte moderat. Nach dem 5. Tag verbessert sich jedoch die Nahrungsverfügbarkeit pro Insekt, wodurch der Beitrag des Nahrungsstresses zur Sterblichkeit sinkt. In den Simulationen ohne Nachschub (statisches Nahrungs-niveau) wird der Nahrungsstress nach dem siebten Tag zum dominierenden Überlebenslimitator, was zu erhöhtem Kannibalismus in allen Gruppen und einer deutlich höheren Sterblichkeit bei den mittleren und sogar späten Jungtieren führte.

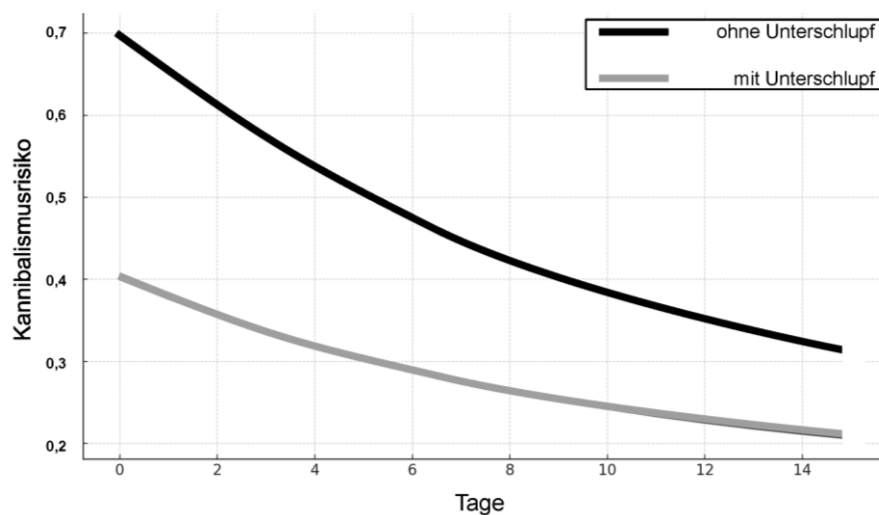


Abb. 3: Entwicklung des Kannibalismusrisikos $C_i(t)$ mit der Zeit für das jüngste Jugendstadium (Kohorte 1).

Fig. 3: Development of the cannibalism risk $C_i(t)$ with time for the youngest instars (cohort 1).

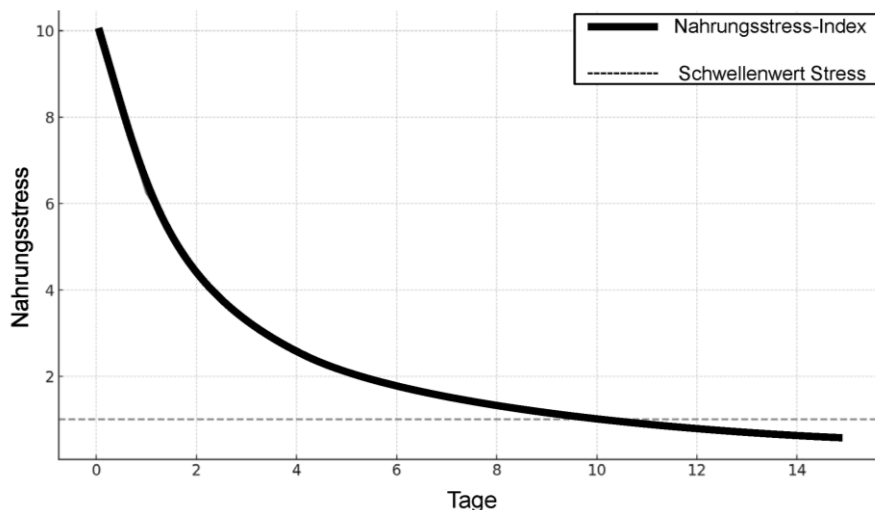


Abb. 4: Entwicklung des Nahrungsstress ($\text{FoodStress}(t) = D_{tot}(t)/F_{tot}(t)$) mit der Zeit. Der Schwellenwert markiert niedrigen Stress infolge eines Überangebots an Nahrung in Bezug auf die Populationsgröße.

Fig. 4: Development of the FoodStress(t) parameter ($= D_{tot}(t)/F_{tot}(t)$) with time. The threshold value indicates low stress due to an oversupply with food with respect to the population size.

Diskussion

Einschränkungen und Erweiterungen des Modells

Das derzeitige Modell ist zwar informativ, weist jedoch einige Vereinfachungen auf. Es geht von einem deterministischen Verhalten und einer homogenen Durchmischung der Jugendstadien aus. In Wirklichkeit ist Kannibalismus stochastisch, und die räumliche Struktur innerhalb von Behältern (z. B. ungleichmäßige Verteilung von Nahrung oder Häutungszone) beeinflusst die Interaktionen. Adulttiere, welche sich grundsätzlich ebenfalls in den Behältern befinden, werden der Einfachheit halber zunächst nicht berücksichtigt, können aber theoretisch in die dritte Stadienkohorte mitaufgenommen werden.

Das Modell berücksichtigt auch nicht die Häutungszyklen, die kritische Zeiträume für die Anfälligkeit darstellen. Zukünftige Arbeiten könnten einen Häutungszeitgeber integrieren, der die Individuen vorübergehend anfälliger für Prädatoren macht, oder den Entwicklungsverlauf zwischen den Stadien berücksichtigen. Darüber hinaus werden die Verfügbarkeit von Wasser, die Ansammlung von Abfällen und die mikrobielle Belastung, die in realen Aufzuchtssystemen wichtig sind, nicht berücksichtigt. Diese Stressfaktoren können mit den Verhaltensmustern interagieren und die Sterblichkeit verschlimmern. Schließlich sind reale Experimente erforderlich, um die Modellergebnisse zu validieren. Während die Parameterwerte anhand von Literatur und Aufzuchttrichtlinien im Labor kalibriert wurden, würden empirische Überlebensdaten aus gemischten Aufzuchtssystemen die Kannibalismuskoeffizienten und Umweltstressschwellen verfeinern.

Kannibalismus als Haupttreiber der Mortalität

Das Modell unterstreicht die ausgeprägten Auswirkungen von Kannibalismus bei der Aufzucht von *A. domesticus*, insbesondere bei den frühen Stadien. Dies deckt sich mit empirischen Erkenntnissen, wonach Prädatoren unter Artgenossen häufig vorkommen, wenn Größenunterschiede bestehen und den sich häutenden Individuen Mobilität oder Schutz durch das Exoskelett fehlt (Wharton et al. 1967, Richardson et al. 2010). Unsere Simulationen zeigen, dass Kannibalismus auch bei reichlich vorhandener Nahrung ein signifikanter Mortalitätsfaktor bleibt, was darauf hindeutet, dass dieses Phänomen nicht nur ernährungsbedingt auftritt, sondern auch eine Folge von räumlicher Enge, Stress oder Instinktverhalten ist (Huber et al. 2019). Dies stimmt mit dem Konzept des "überflüssigen Tötens" überein, das bei wirbellosen Tieren unter beengten Bedingungen beobachtet wurde (Wise 2006).

Unterschlupf als mildernder Faktor

Eine der wirksamsten Minderungsstrategien, die das Modell aufzeigt, ist die Nutzung von Unterschlupf. Die Erhöhung des Schutzindex von 0,2 auf 0,8 verringert die kannibalismusbedingte Sterblichkeit der frühen Stadien um bis zu 50 %. Dies steht im Einklang mit Laborexperimenten, die gezeigt haben, dass visuelle Barriere-

ren und Unterschlupfstrukturen aggressive Begegnungen zwischen Grillen erheblich reduzieren (Clifford & Woodring 2009, Sturm 2011). Die Bereitstellung von geschichteten Eierkartons oder vertikal unterteilten Gehegen vergrößert nicht nur die nutzbare Oberfläche, sondern ermöglicht auch die räumliche Trennung der Stadien, was dazu beitragen könnte, die Bedrohung gefährdeter Individuen während der Häutung oder Fütterung zu verringern.

Nahrungsangebot und Populationsdichte

Die Simulationen bestätigen, dass die kontinuierliche Fütterung zwar wichtig ist, sich aber weniger stark auf das Überleben der Jungtiere auswirkt, als man erwarten könnte. Dies kann auf Verhaltenshierarchien zurückgeführt werden. Größere Jugendstadien monopolisieren die Nahrungsressourcen aufgrund von Dominanz im Wettbewerb (Roe et al. 1980, Adamo 1998). Die Nahrungsstressfunktion des Modells verbessert sich zwar im Laufe der Zeit, beseitigt aber die auf Nahrung basierende Aggression nicht vollständig, es sei denn, sie ist mit einer räumlichen Trennung oder Kohortensegmentierung verbunden. Im Gegensatz dazu führen Szenarien, in denen die Nahrung nicht wieder aufgefüllt wird, zu einem raschen Anstieg der Aggression zwischen den Jungtieren in allen Bereichen. Dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit eines angemessenen Fütterungsplans und der physischen Fähigkeit aller Nymphen, gleichzeitig Zugang zur Nahrung zu bekommen.

Strategien für das Kohortenmanagement

Die Ergebnisse sprechen für eine altersgetrennte Aufzucht, bei der die Grillen nach Entwicklungsstadien oder Größe gruppiert werden. Eine Staffelung der Ernten oder die Trennung von Spät- und Frühstadien kann die Sterblichkeitsrate drastisch senken, ohne dass zusätzliche Nährstoffzufuhr erforderlich ist. Dies erhöht zwar den logistischen Aufwand, aber die Überlebensvorteile können die Arbeitskosten in kommerziellen Einrichtungen ausgleichen. Zu den alternativen Ansätzen gehören die Verbringung von sich häutenden Individuen in sichere Kammern, der Einsatz von Anti-Aggressions-Pheromonen (wird noch untersucht) und neuartige Haltingsformen mit kohortenspezifischen Mikrohabitaten.

Literatur

- Adamo S A (1998) The specificity of behavioral fever in the cricket, *Acheta domestica*. Journal of Parasitology 84: 529-533.
- Clifford C W, Roe R M, Woodring, J P (1977) Rearing methods for obtaining house crickets, *Acheta domestica*, of known age, sex, and instar. Annals of the Entomological Society of America 70: 69-74.
- Clifford C W, Woodring J P (2009) Methods for rearing the house cricket, *Acheta domestica* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition. Journal of Applied Entomology 109: 1-14.

- Halloran A, Flore R, Vantomme P, Roos N (2018) Edible insects in sustainable food systems. Springer, Heidelberg, 479 p.
- Huber F, Loher W, Moore T E (2019) Cricket Behavior and Neurobiology. Cornell University Press, Ithaca, 583 p.
- Psarianos M, Fricke A, Altuntas H, Baldermann S, Schreiner M, Schlüter O K (2024) Potential of the house cricket *Acheta domesticus* L. (Orthoptera: Gryllidae) as a novel food source for integration in a co-cultivation system. *Future Foods* 9: 100332.
- Richardson M L, Mitchell R F, Reagel P F, Hanks L M (2010) Causes and consequences of cannibalism in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 55: 39-53.
- Roe R M, Clifford C W, Woodring J P (1980) The effect of temperature on feeding, growth, and metabolism during the last larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. *Journal of Insect Physiology* 26: 639-644.
- Rumpold B A, Schlüter O K (2013) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* 57: 802-823.
- Sturm R (1999) Einfluss der Temperatur auf die Eibildung und Entwicklung von *Acheta domesticus* (L.) (Insecta: Orthoptera: Gryllidae). *Linzer biologische Beiträge* 31: 731-737.
- Sturm R (2010) Life time egg production in females of the cricket *Teleogryllus commodus* (Insecta: Orthoptera): Experimental results and theoretical predictions. *Linzer biologische Beiträge* 42: 803-815.
- Sturm R (2011) Ökophysiologische Studien an ausgewählten Orthopteren. VDM, Saarbrücken, 112 p.
- Sturm R (2016) Relationship between body size and reproductive capacity in females of the black field cricket (Orthoptera: Gryllidae). *Linzer biologische Beiträge* 48: 1823-1834.
- Sturm R (2017) Dependence of daily oviposition activity and total fecundity on body mass in the house cricket *Acheta domesticus* (L.) (Insecta: Orthoptera). *Linzer biologische Beiträge* 49: 961-969.
- Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P (2013) Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171, Rom, 187 p.
- Wharton D R A, Lola J E, Wharton M L (1967) Population density, survival, growth, and development of the American cockroach. *Journal of Insect Physiology* 13: 699-716.
- Wise D H (2006) Cannibalism, food limitation, intraspecific competition, and the regulation of spider populations. *Annual Reviews in Entomology* 51: 441-465.
- Woodring J P, Clifford C W, Reynolds D C (1977) Reproductive development in the house cricket. *Annals of the Entomological Society of America* 70(5): 678-681.