

Wpływ pożaru na populacje drobnych ssaków terenów otwartych – przegląd literatury

Effect of fire on small mammals in open ecosystems – a systematic review

Zbigniew Borowski 

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Polska

e-mail: z.borowski@ibles.waw.pl

Abstract. Fire is a disturbance that influences global ecosystem structure and function. It is also widely used as a management tool to achieve conservation goals. Wildfires can have highly destructive effects on habitats and their biota. Non-volant animals, such as small mammals, are among the most vulnerable to fire. To date, little is known about the reaction of these animals to fire events in fire-adepted, fast-recovering habitats. Here, we present a systematic literature review to analyse and evaluate the impact of fire on small mammals in open habitats. Most studies were carried out in the New World (Australia, North and South America) in fire-prone habitats. Most of them (74%) focused on forests, and only a quarter (26%) were conducted in habitats with herbaceous vegetation. These 15 articles formed the basis for analysing the response of small mammals living in open areas to fire disturbance. Surprisingly, the effects of fire were of short duration (less than one year) in most studies, and the regeneration of small mammal communities was related to the rate of regeneration of vegetation cover and habitat structure. A crucial factor was fire intensity; the highest diversity of small mammals was associated with low-intensity fires, that resulted in unburned habitat patches (so-called microrefugia). In open areas such as pastures, prairies and meadows, small mammals can survive fires in shelters such as burrows. This systematic review demonstrates that there is a continued focus almost exclusively on fire-prone habitats, whereas due to global change, fire disturbances will be more common and severe in "fire naive" ecosystems in boreal and temperate zones. Significant gaps in the understanding of the recovery ecology of small mammals in open habitats after fires have been identified. Future research should focus on how individual traits of small mammals affect their settling success in burnt habitats.

Słowa kluczowe: drobne ssaki, pożar, zaburzenie, gryzonie, otwarte środowiska, ekologia pożaru, wypalanie, różnorodność biologiczna, regeneracja

Keywords: small mammals, fire, disturbance, rodents, open habitats, fire ecology, prescribed burning, biodiversity, regeneration

1. Wstęp

Pożar jest ważnym czynnikiem wpływającym na ewolucję wielu środowisk, w tym także ekosystemów łąkowych (Turner 2010). Pożary wpływają na obieg składników odżywczych, modyfikują skład gatunkowy roślin i ich różnorodność oraz przyczyniają się do zmian w pokrywie roślinności drzewiastej. Występowanie ognia w ekosystemach łąkowych spowodowało przystosowanie się zbiorowisk roślinnych i zwierzęcych do okresowych pożarów, a ogień jest często używany jako narzędzie do adaptacyjnego zarządzania

roślinnością łąkową. Reakcje organizmów na pojawiający się ogień są złożone z powodu interakcji wielu różnych czynników, między innymi takich jak: charakterystyka pożaru (tj. intensywność i zasięg), historia pożarów, siedlisko, warunki klimatyczne i wreszcie biologia samych organizmów.

Istnieje ogólna zgoda, że temperatura otoczenia wynosząca powyżej 68°C jest zabójcza dla większości zwierząt kręgowych, a jak wiadomo w trakcie pożaru jest ona znacznie wyższa. Dlatego pożar jest realnym zagrożeniem dla znajdujących się w jego pobliżu zwierząt. Z uwagi na fakt, iż zaburzenie to poza wysoką temperaturą modyfikuje także strukturę i jakość środowiska, jego wpływ na żywe organizmy można podzielić na

Wpłynęło: 8.11.2023 r., zrecenzowano: 21.02.2024 r., zaakceptowano: 22.02.2024 r.

bezpośredni i pośredni. Bezpośrednim jest śmiertelność lub uszkodzenie ciała, co przede wszystkim dotyczy zwierząt o ograniczonej mobilności, które przebywają na powierzchni gruntu lub płytko pod ziemią. Zdarza się także śmiertelność dużych i wysoce mobilnych ssaków, jest to jednak wyjątek od reguły. Na przykład, w trakcie wielkich pożarów, które przetoczyły się w 1988 roku przez Greater Yellowstone Area, oszacowano, że płomienie bezpośrednio przyczyniły się do śmierci ok. 1% populacji żyjących tam jeleni kanadyjskich (*Cervus canadensis*) (Singer, Schullery 1989). Jednakże, znacznie poważniejszy dla tych dużych ssaków był pośredni wpływ pożaru na środowisko ich bytowania, gdyż susza jaka wystąpiła latem 1988 roku, w połączeniu z brakiem dostatecznej ilości pożywienia na terenach spalonych, wygenerowały wysoką śmiertelność, która zimą 1988/89 roku wyniosła 40% stanu populacji (Singer i in. 1989; Vales, Peek 1996).

Z pewnością ogień może szczególnie zagrozić takim gatunkom, których populacje są niewielkie i dodatkowo mają ograniczony zasięg i mobilność (Smith, Fischer 1997). Dobrym przykładem takiego gatunku jest wymarła w 1933 roku kura wrzosowata (*Tympanuchus cupido cupido*). Niegdyś pospolita na całym wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych, w wyniku polowań, pożarów i zmiany siedlisk ograniczyła swój areal do niewielkiej wyspy Martha's Vineyard na Atlantyku, na której pożary roślinności spowodowały jej wyginięcie (Lloyd 1938).

Jak już wcześniej wspomniano, zdolność do przetrwania pożaru różnych grup zwierząt, w tym ssaków, zależy od ich mobilności oraz od charakterystyki tego zaburzenia – głównie równomierności pokrycia terenu, intensywności, wielkości i czasu trwania (Wright, Bailey 1982). Większość naziemnych drobnych ssaków szuka schronienia pod ziemią lub w osłoniętych miejscach w obrębie pożarzyska, podczas gdy duże ssaki zmuszone są znaleźć bezpieczne refugia w miejscach niespalonych lub poza pożarzyskiem. Drobne ssaki próbują unikać ognia wykorzystując podziemne tunele, korytarze przebiegające pod wilgotną ściółką leśną, pniaki oraz schronienia pod kamieniami i martwym drewnem. Tego typu refugia nie zawsze zapewniają bezpieczeństwo, zależy to bowiem zarówno od izolacji termicznej konkretnego schronienia, jak i intensywności oraz czasu trwania pożaru. Należy także pamiętać, że w trakcie pożaru wydzielają się gazy (m. in. dwutlenek węgla), które niezależnie od temperatury występującej w konkretnym schronieniu, mogą uśmiercić przebywające tam zwierzę. Singer i Schullery (1989) donoszą, że większość dużych zwierząt zabitych przez pożary na terenie Yellowstone w 1988 roku zginęła właśnie z powodu wdychania dymu. Podobnie po pożarze łąk w stanie Illinois w USA znaleziono liczne martwe normiki pensylwańskie (*Microtus pennsylvanicus*), które nie zginęły bezpośrednio od ognia, gdyż nie nosiły śladów spalania. Zdarza się także, że drobne ssaki przeżywają pożary. Dobrym tego przykładem są badania Hedlund i Rickard (1981) oraz Geluso i in. (1986), które wykazały, że normiki ukryte w głębokich norach są w stanie przeżyć pożar, a następnie wrócić na powierzchnię po przejściu pożaru. Kolejnym czynnikiem warunkującym przeżycie pożaru są zachowania osobników konkretnego gatunku. Na przykład żyjące w Ameryce Północnej szczury leśne (*Neotoma cinerea*), zagrożone pożarem nie uciekają, tylko pozostają w swoich schronieniach i w związku z tym giną (Simons 1991).

Należy pamiętać, że są takie grupy gatunków, których reakcją na pożar jest ucieczka, należą do nich ssaki niebudujące tuneli i nor oraz większość ptaków. Pomimo, iż organizmy te opuszczają swoje siedliska podczas trwania pożaru, wiele z nich powraca tam w ciągu godzin lub dni po ustaniu tego zaburzenia. Zdarzają się jednak takie gatunki, które migrują na dłużej, w związku z faktem, że ogień zniszczył ich zasoby pokarmowe lub schronienia. Czas ich powrotu zależy od tego, jak bardzo ogień zmienił strukturę siedliska i jego zasobność pokarmową.

Istnieje cały szereg gatunków (ptaków i ssaków drapieżnych) korzystających ze środowisk zmienionych przez pożar, w związku z utratą osłon i łatwiejszym dostępem do potencjalnych ofiar lub dostępnością zasobów pokarmowych w postaci martwych i rannych zwierząt.

W przypadku drobnych ssaków silna modyfikacja środowiska ich życia na terenach otwartych, takich jak np. łąki i turzycowiska, powoduje przede wszystkim zwiększone drapieżnictwo na osobnikach, które przeżyły pożar lub tych, które kolonizują to środowisko. To z kolei prowadzi do zmniejszenia liczebności ich populacji. Na podstawie intensywnych odłowów na spalonych łąkach Nebraski stwierdzono, że większość normików przeżyła pożar, ale opuściła spalony obszar do czasu nagromadzenia się nowej warstwy ściółki, co trwało około dwóch sezonów (Vacantiand, Geluso 1985). Wydaje się, że możliwymi przyczynami migracji była wysoka presja drapieżników (brak osłon) i ograniczone zasoby pokarmowe. Pożar może także pośrednio modyfikować skład gatunkowy drobnych ssaków. Dobrym przykładem są badania prowadzone na prerii północnoamerykańskiej (Kaufman i in. 1988b), w których wykazano, że w pierwszym roku po pożarze prerii zanotowano emigrację i spadek liczebności badylarki zachodniej (*Reithrodontomys megalotis*). W tym samym okresie wzrosła natomiast liczebność innego gatunku gryzonia – myszaka leśnego (*Peromyscus maniculatus*), najprawdopodobniej zwabionej większą dostępnością pokarmu.

Tereny otwarte, czyli porośnięte roślinnością zielną (ang. grassland), będące przedmiotem tego opracowania, uważane są za ekosystemy, które są najbardziej podatne na globalne zmiany środowiskowe (Settele i in. 2014). Tereny trawiaste z nielicznymi krzewami lub bez krzewów mają relatywnie prostą nadziemną strukturę roślinności, która jest prawie całkowicie ulega spalaniu. Podobne warunki jak przed pożarem, jeżeli chodzi o skład gatunkowy i strukturę roślinności, zostają przywrócone po 2 lub 3 latach od wystąpienia pożaru (Launchbaugh 1972). Biorąc pod uwagę potencjalne zagrożenie dla fauny drobnych ssaków stwarzane przez zmiany klimatu, które modyfikują reżimy pożarowe, zrozumienie skutków pożarów na ich populacje ma kluczowe znaczenie dla rozwoju odpowiednich strategii zarządzania nimi i jako podstawa zarządzania adaptacyjnego (Driscoll i in. 2010).

W prezentowanej pracy zastosowano systematyczny przegląd literatury z ostatnich 25 lat dotyczącej wpływu pożaru na populacje drobnych ssaków. W szczególności podsumowano najnowszą literaturę na temat wpływu pożarów na drobne ssaki terenów otwartych i skutki tego zaburzenia na regeneracji ekosystemów. Na podstawie przeglądu przedstawiono wnioski dotyczące oddziaływania pożarów na badaną grupę zwierząt oraz wskazano luki w wiedzy, jakie należałoby uzupełnić w przyszłości.

2. Materiał i metody

Materiał stanowiły oryginalne (n=252) i przeglądowe (n=3) artykuły wyselekcjonowane poprzez wyszukiwanie literatury na platformie Web of Science w grudniu 2023 r., z zadaniem 25-letnim zakresem czasowym (od 1999 do 2023 roku włącznie) (baza danych Science Citation Index Expanded). Niektóre prace zostały wyselekcjonowane przez platformę Web of Science z datą akceptacji artykułu online w 2023 roku, podczas gdy publikacja ukazała się na początku 2024 roku. W polach tytułu, abstraktu i słów kluczowych Web of Science (TS) użyto tego samego zagnieżdżonego ciągu wyszukiwania boole'owskiego (tj. AND między różnymi grupami wyszukiwanych haseł, OR w grupach podobnych wyszukiwanych haseł i NOT w celu wykluczenia wyszukiwanych haseł). Ograniczono wyszukiwanie według języka (angielski) i typu dokument (artykuły recenzowane).

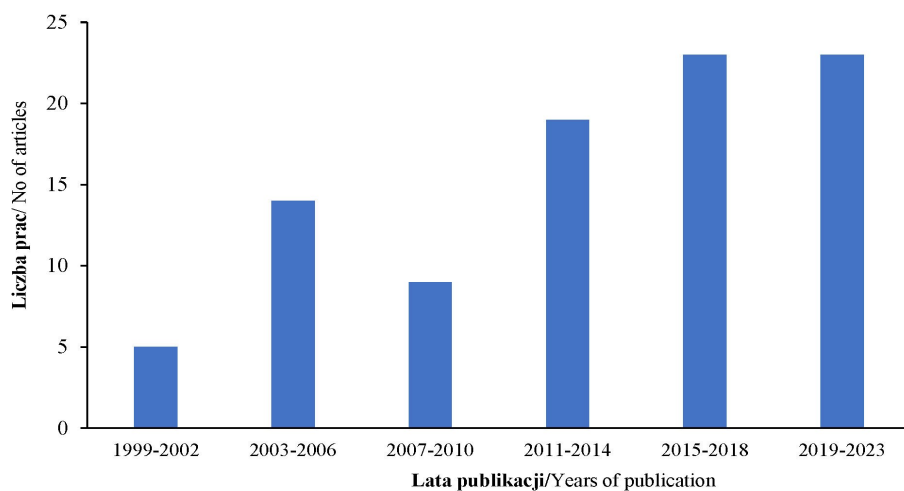
Do wyszukiwania zastosowano następujące słowa kluczowe "small mammals*" AND „fire” OR "burn".

Wyniki wyszukiwania z Web of Science zostały oczyszczone z duplikatów i dokładnie przeanalizowane pod kątem zgodności prowadzonych badań z analizowanym zagadnieniem (wpływ pożaru na drobne ssaki), w wyniku czego uzyskano 93 unikalne artykuły. Przegląd publikacji przeprowadzono przy użyciu Rayyan (Ouzzani i in. 2016), bezpłatnej aplikacji internetowej ułatwiającej ocenę artykułów. Decyzje o wykluczeniu lub włączeniu zostały najpierw podjęte poprzez przeczytanie tytułu i streszczenia każdego artykułu, a jeśli było to konieczne, całej pracy i określenie ich zgodności z kryteriami określonymi przez wyszukiwane hasła: właściwy temat (tj. pożar i drobne ssaki) i środowisko (tereny otwarte z dominującą roślinnością zielną). Z analizowanych artykułów dwa się dublowały, a jeden, który wykluczono, dotyczył gryzoni nadrzewnych na terenie neotropikalnej sawanny (Brazylia). Prace przeanalizowano pod kątem trafności, stosując kryteria dotyczące rodzaju środowiska, czyli terenów otwartych z dominującą roślinnością zielną. W wyniku analizy ostatecznie zawężono liczbę badań do 17.

3. Wyniki i dyskusja

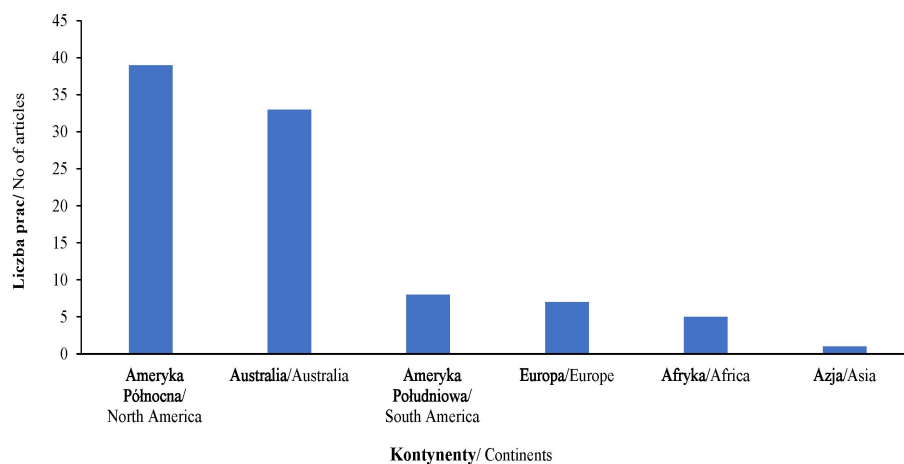
Rozpatrując geograficzną lokalizację analizowanych badań, większość z nich prowadzona była w Nowym Świecie: Ameryce Północnej (n = 39) Australii (n = 33) i Ameryce Południowej (n = 8). Znacznie mniej prac dotyczących wpływu pożaru na drobne ssaki przeprowadzono w Europie

(n = 7), Afryce (n = 5), czy Azji (n = 1) (ryc. 1). Prawie wszystkie badania dotyczyły ekosystemów pirofilnych lub takich, w których pożary zdarzają się bardzo często, a jedynie dwie prace przeprowadzono w ekosystemach, w których pożary zdarzają się sporadycznie (Szwecja i Brazylia). Rozkład czasowy opublikowanych w ostatnich dwóch dekadach badań pokazuje, że większość z nich prowadzona była w ostatnich dziewięciu latach (ryc. 2). Rozpatrując 93 opublikowane prace można dostrzec, że w analizowanych publikacjach duże znaczenie miał rodzaj środowiska, które uległo spaleni. Wiązało się to zarówno z odmiennymi gatunkami drobnymi ssaków dotkniętymi tym zaburzeniem, jak i intensywnością pożaru. Większość badań przeprowadzono bowiem na terenach porośniętych roślinnością drzewiastą, a jedynie mniej niż jedną piątą z nich – w środowiskach otwartych porośniętych roślinnością zielną (ryc. 3). Jak już wcześniej wspomniano, niniejsza praca dotyczy wpływu pożaru na drobne ssaki żyjące w ekosystemach otwartych (porośniętych roślinnością zielną), dlatego też bardziej szczegółowej analizie poddane zostanie jedynie 17 z 93 opublikowanych badań przeprowadzonych w tym środowisku. W tabeli 1 zestawiono ogólne dane opisujące prace przeprowadzone nad wpływem pożaru na drobne ssaki na terenach zdominowanych przez roślinność zielną. Jak z niej wynika, negatywny wpływ pożaru stwierdzono w trzech przypadkach, pozytywny w czterech, natomiast pozostałe prace nie wykazały istotnego wpływu pożaru na różnorodność drobnymi ssaków.



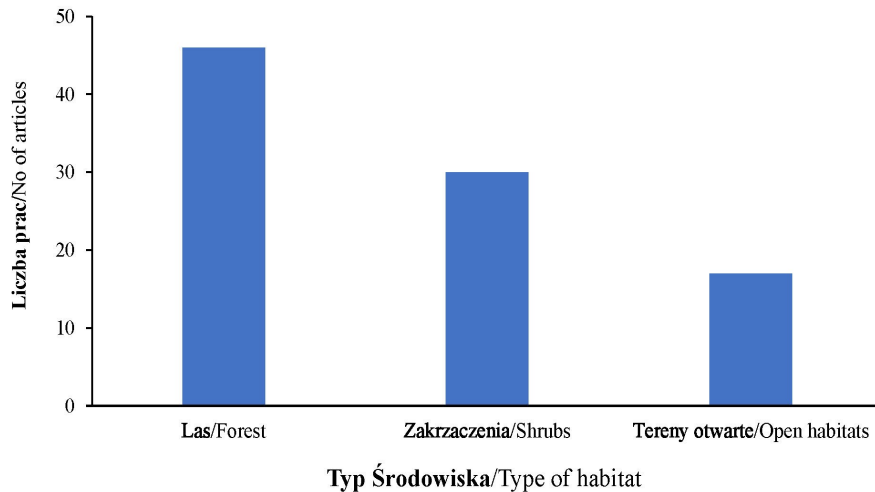
Rycina 1. Liczba badań opublikowanych w latach 1999–2023 nad wpływem pożaru na drobne ssaki przypadających na każdy kontynent. Afiliacje artykułów uwzględnionych na tym rysunku znajdują się w Załączniku 1.

Figure 1. Number of studies published between 1999 and 2023 on the effects of fire on small mammals per continent. The affiliations of the articles included in this figure can be found in Appendix 1.



Rycina 2. Rozkład czasowy badań opublikowanych w latach 1999–2023 dotyczących wpływu pożaru na drobne ssaki. Afiliacje artykułów uwzględnionych na tym rysunku znajdują się w Załączniku 1.

Figure 2. Time distribution of studies published between 1999 and 2023 on the effects of fire on small mammals. The affiliations of the articles included in this figure can be found in Appendix 1.



Rycina 3. Liczba opublikowanych prac w rozbięciu na trzy kategorie środowisk: las, zakrzaczenia i tereny otwarte. Jako tereny otwarte definiowano takie środowiska, w których dominowała roślinność zielna (łąki, prerie, turzycowiska, wrzosowiska, tereny pustynne i sawanny trawiaste). Afiliacje artykułów uwzględnionych na tym rysunku znajdują się w Załączniku 1.

Figure 3. The number of published papers is divided into three environmental categories: forest, shrubland, and open areas. Open areas were defined as those environments where herbaceous vegetation dominated (grasslands, prairies, sedges, heathlands, desert areas and grass savannas). The affiliations of the articles included in this figure can be found in Appendix 1.

Tabela 1. Wykaz analizowanych prac dotyczących wpływu pożaru na drobne ssaki terenów otwartych. W tabeli zawarto następujące informacje dotyczące wybranych prac: kontynent, na którym prowadzono badania, typ siedliska, podatność ekosystemu na ogień, najważniejszy wpływ pożaru i odniesienie do źródła. Dodatkowo, dla lepszej przejrzystości, prace, w których zaobserwowano pozytywny wpływ pożaru, znaczone są kolorem żółtym, a negatywny – kolorem szarym.

Table 1. List of analysed on the impact of fire on small mammals in open areas. The table includes the following information on the selected studies: continent where the study was conducted, habitat type, ecosystem vulnerability to fire, most importantly, fire impact and reference to the source. For better clarity, studies in which positive effects of fire were observed are marked in yellow and those in which negative effects were observed are marked in grey.

| Kontynent Continent | Typ siedliska Habitat type | Środowisko pirofilne Pyrophilous environment | Wpływ pożaru Effect of fire | Źródło Source |
|-----------------------------------|---|---|---|-----------------------|
| Australia Australia | Pustynia, łąki kępowe zdominowane przez <i>Triodia basedowii</i> Desert, tussock grassland dominated by <i>Triodia basedowii</i> | tak/yes | Nie stwierdzono wpływu na drobne ssaki No effects on small mammals | Letnic i in. 2004 |
| Australia Australia | Pustynia, łąki kępowe zdominowane przez <i>Triodia basedowii</i> Desert, tussock grassland dominated by <i>Triodia basedowii</i> | tak/yes | Niejednoznaczny, pośrednio zwiększa odporność niektórych gatunków Ambiguous, indirectly increases resistance in some species | Letnic, Dickman 2005 |
| Australia Australia | Pustynia, łąki kępowe zdominowane przez <i>Triodia basedowii</i> Desert, tussock grassland dominated by <i>Triodia basedowii</i> | tak/yes | Zmniejsza różnorodność alfa ale zwiększa różnorodność beta Decreases alpha but increases beta diversity | Pastro i in. 2011 |
| Australia Australia | Pustynia, łąki kępowe zdominowane przez <i>Triodia basedowii</i> Desert, tussock grassland dominated by <i>Triodia basedowii</i> | tak/yes | Brak wpływu na liczebność lub bogactwo gatunkowe drobnych ssaków No impact on abundance or species richness of small mammals | Letnic i in. 2013 |
| Australia Australia | Sawanna trawiasta Grass savannah | tak/yes | Silny negatywny, utrzymywanie się szczura bladego jest uzależnione od zachowania niespalonych płatów siedlisk Strong negative, the persistence of the pale rat is dependent on maintaining unburned patches of habitat | Shaw i in. 2021 |
| Australia Australia | Górskie wrzosowisko Mountain moorland | tak/yes | Silny negatywny poprzez redukcję roślinności, brak drobnych ssaków przez 2 lata po pożarze Strong negative through reduction of vegetation, absence of small mammals for 2 years after fire | Driessen 2024 |
| Australia Australia | Roślinność trawiasta (pustynia) Grassland vegetation (desert) | tak/yes | Brak negatywnego wpływu na różnorodność pod warunkiem ochrony terenów niespalonych No negative impact on diversity provided unburned areas are protected | Doherty i in. 2023 |
| Ameryka Północna North America | Preria Prairie | tak/yes | Nie stwierdzono wpływu na żerowanie gryzoni No impact on rodent foraging was detected | Reed i in. 2005 |
| Ameryka Północna North America | Łąka górską Mountain meadow | tak/yes | Niewielki wpływ pożaru na drobne ssaki Low impact of fire on small mammals | Horncastle i in. 2019 |

ciąg dalszy Tabeli 1
Table 1 continued

| Kontynent Continent | Typ siedliska Habitat type | Środowisko pirofilne Pyrophilous environment | Wpływ pożaru Effect of fire | Źródło Source |
|---|---|---|--|-------------------------------------|
| Ameryka Północna North America | Preria trawiasta Grass prairie | tak/yes | Brak wpływu, gryzonie prerii są przystosowane do pożarów No impact, prairie rodents are fire adapted | Kirchner i in. 2011 |
| Ameryka Północna North America | Roślinność stepowo-pustynna | tak/yes | Zróżnicowany efekt w zależności od środowiska, na jednej pustyni pożar zmniejszył liczebność, bogactwo i różnorodność gryzoni, na drugiej nie miał wpływu na liczebność, natomiast różnorodność i bogactwo gatunkowe wzrosły po pożarze Varying effect according to environment, in one desert, the fire reduced rodent abundance, richness and diversity, in another, it had no effect on abundance, while species diversity and richness increased fire | Sharp Bowman i in. 2017 |
| Ameryka Północna North America | Preria Prairie | tak/yes | Różnorodność drobnych ssaków była wyższa w przypadku wypasu na wypalanych płatach. Trudno oddzielić efekt pożaru od efektu wypasu The diversity of small mammals was higher when grazing on burned patches. It is difficult to separate the effect of fire from the effect of grazing | Ricketts i Sandercock 2016 |
| Ameryka Północna North America | Preria Prairie | tak/yes | Pozytywny, zwiększa różnorodność gatunkową drobnych ssaków Positive, increases species diversity of small mammals | Burke i in. 2020 |
| Afryka Africa | Łąki Meadows | tak/yes | Niska liczebność gryzoni nie pozwoliła na wyciągnięcie wniosków Low rodent abundance did not allow conclusions to be drawn | Salvatori i in. 2001 |
| Afryka Africa | Łąki Meadows | tak/yes | Pozytywny wpływ pożaru o niskiej intensywności, zwiększa różnorodność gatunkową drobnych ssaków Positive impact of low intensity fire, increases species diversity of small mammals | Yarnell i in. 2007 |
| Afryka Africa | Trawiasta podmokła sawanna Grassy wetland savannah | tak/yes | Krótkoterminowy wpływ pożaru, najważniejszym czynnikiem przy rekolonizacji były opady Short-term impact of fire, most important factor in recolonisation was rainfall | Plavsic 2014 |
| Europa Europe | Trawiasta Sawanna Grassy Savannah | tak/yes | Negatywny, rekolonizacja środowisk przez nornika iberyjskiego nastąpiła w okresie roku od wystąpienia pożaru Negative, recolonisation of habitats by Iberian voles occurred within a year of the fire occurrence | do Rosário i da Lus Mathias 2007 |

Negatywny wpływ pożarów dotyczył przede wszystkim takich terenów, na których wolno przebiega regeneracja roślinności po takim zaburzeniu. Na przykład na wrzosowisku, gdzie ogień powoduje silną redukcję roślinności (nawet do 80% pokrycia), pożar przekłada się bezpośrednio na redukcję populacji żyjących tam drobnych ssaków (Driessen 2024). Stwierdzono przy tym, że zgrupowanie tych zwierząt zaczęło się odbudowywać dopiero po dwóch latach od wystąpienia pożaru. Co ważne, w tego typu środowiskach, bardzo istotny dla odbudowy roślinności i populacji drobnych ssaków był czas rotacji pożaru. Roślinność regenerowała się bowiem dwa razy szybciej, jeżeli okres pomiędzy następującymi po sobie pożarami wynosił dwadzieścia, a nie dziewięć lat (Driessen 2024). Dodatkowo, stwierdzono także odmienną podatność różnych gatunków drobnych ssaków na pożar wrzosowiska. Gatunkiem najbardziej wrażliwym okazał się niewielki australijski torbaczk Antechinus bagienny (*Antechinus minimus*), natomiast dwa inne badane gatunki: szczur błotny (*Rattus*

lutreola) i zajęcoszczurek szerokozębny (*Mastacomys fuscus*), wydawały się być stosunkowo odporne na występowanie niewielkich pożarów o słabej intensywności, pod warunkiem jednak, że przerwy między pożarami nie były krótsze niż 10 lat.

Liczebność drobnych ssaków po pożarze powiązana jest z regeneracją roślinności i strukturą siedlisk (Crowther i in. 2018; Monamy, Fox 2000). Badania Shaw i in. (2021) przeprowadzone na trawiastej sawannie w Australii wykazały, że w zależności od wielkości i intensywności pożaru oraz rodzaju pokrycia terenu, populacje szczura bladego (*Rattus tunneyi*) odtwarzały się zarówno z puli osobników, które go przeżyły na pożarzysku, jak i z osobników rekolonizujących te tereny z miejsc niespalonych. Wydaje się, że odbudowa populacji tego gryzonia po pożarze o niskiej intensywności odbywała się przede wszystkim przez osobniki ocalałe w niespalonych płatach (tzw. mikroostojach). Natomiast, przy rozległych pożarach o dużej intensywności, które zazwyczaj nie zawierają niespalonych schronień (Russell-Smith,

Edwards 2006), populacje szczura bladego odbudowywały się poprzez rekolonizację spoza spalonego obszaru. Dlatego, wg autorów, dla ochrony fauny ważne są wszelkie działania ograniczające rozmiar i dotkliwość pożarów w tropikalnych sawannach, co wiąże się z zachowaniem zróżnicowania środowisk w skali krajobrazu i niespalonych mikrośrodowisk (refugiów) w obrębie pożarzyska (Legge i in. 2011; Radford i in. 2015).

Dość podobne mechanizmy wykazano analizując pożar sawanny trawiastej w Portugalii, gdzie odległość od krawędzi pożaru i obecność (lub brak) preferowanej roślinności były czynnikami wpływającymi na tempo rekolonizacji środowisk przez normika iberyjskiego (*Microtus cabreræ*) (do Rosário, da Luz Mathias 2007).

Nieco inne reakcje drobnych ssaków stwierdzono na porośniętych trawami terenach pustynnych Australii (Letnic 2002; Letnic i in. 2004; Pastro i in. 2011; Letnic i in. 2013). Nie wykryto tam bowiem różnic zarówno w liczebności poszczególnych gatunków drobnych ssaków, jak i bogactwie populacji drobnych ssaków strefy suchej (Pastro i in. 2011). Pewnym wytłumaczeniem słabej reakcji zgrupowania drobnych ssaków na wypalanie mogła być wysoka mobilność tych zwierząt, umożliwiającą im korzystanie z wielu różnych płatów siedlisk. Jest to tym bardziej prawdopodobne, że ssaki strefy suchej mogą przemieszczać się na znaczne odległości w krótkim czasie. Na przykład australijskie gatunki takie jak dunnarty (*Sminthopsis* spp.), czy myszy skaczące (*Notomys alexis*), w trakcie jednej nocy pokonują odległości rzędu 400 m (Haythornthwaite, Dickman 2006), a w ciągu kilku tygodni nawet ponad 10 km (Dickman i in. 1995). Co zrozumiałe, gatunki te są również w stanie zidentyfikować i selektywnie wykorzystywać obszary bogate w zasoby pokarmowe w heterogennym krajobrazie pustynnym Australii (Haythornthwaite 2005). Sugeruje to, że w krajobrazie pustynnym porośniętym roślinnością trawiastą dostępność zasobów pokarmowych może być ważniejszym czynnikiem wpływającym na wybór siedliska przez niektóre gatunki ssaków niż struktura roślinności zmieniona pożarem.

Dość sporym zaskoczeniem okazały się także wyniki badań analizujących różnorodność zgrupowania drobnych ssaków pustynnych terenów trawiastych w reakcji na wypalanie. Wbrew przewidywaniom, zabieg ten modyfikował różnorodność alfa zgrupowania i zwiększał różnorodność beta drobnych ssaków. Badania te wskazują, że reakcje drobnych ssaków w suchych siedliskach centralnej Australii na ogień są niestety mało przewidywalne i w największym stopniu zależą od opadów (Letnic i in. 2004; Letnic, Dickman 2010).

Jak trudny do przewidzenia jest wpływ pożaru na drobne ssaki terenów pustynnych, najlepiej świadczą wyniki badań przeprowadzonych w ekosystemach Wielkiej Kotliny i na pustyni Mojave w Stanach Zjednoczonych (Sharp Bowman i in. 2017).

W pierwszej wymienionej lokalizacji ogień miał silny negatywny wpływ na zgrupowanie gryzoni już na początku, a w niektórych miejscach ten negatywny wpływ potrafił utrzymywać się nawet przez 17 lat. W drugiej lokalizacji natomiast pożar nie zmienił liczebności gryzoni, zwiększył natomiast ich różnorodność gatunkową (Sharp Bowman i in. 2017).

Reakcje drobnych ssaków na pożar otwartych ekosystemów pustynnych można podsumować w oparciu o wyniki badań przeprowadzonych na terenach pustynnych Australii z podejściem eksperymentalnym BACI (ang. Before-After-Control-Impact) wykonane przez Doherty i in. (2023). W tym eksperymencie przeanalizowano wpływ pożarów o różnej wielkości (od 5 do 267 ha), nasileniu i heterogenności w pokryciu terenu, na zmiany w bogactwie gatunkowym drobnych ssaków. Bogactwo gatunkowe ssaków rosło wraz

z powierzchnią pożarzyska, na co wpływ miały przede wszystkim trzy gatunki zwiększające swoją aktywność na pożarzysku: mysz skacząca i dwa gatunki rodzaju dunnart, przy czym zmiany w łowności i składach gatunkowych obserwowane były wyłącznie w miejscach największych pożarów. Tam, gdzie pożary były małe lub niejednolite, nie obserwowano żadnych zmian. Eksperyment Doherty i in. (2023) wykazał też, że pożary typowe pod względem skali i intensywności dla wielu regionów pustynnych, miały pozytywny wpływ na obecność niektórych taksonów i nie nosiły trwałego negatywnego wpływu na zgrupowania żyjących tam drobnych ssaków. Wydaje się jednak, że do takiej reakcji, jak opisywana powyżej, niezbędne są refugia rekolonizacyjne, czyli niespalone siedliska, w których żyją zagrożone gatunki i z których zasiedlać będą środowisko po pożarze.

Dość podobne wyniki odnotowano na pólkach afrykańskich terenach trawiastych (Yarnell i in. 2007), gdzie bogactwo gatunkowe i różnorodność zgrupowania drobnych ssaków były wyższe na obszarach, które uległy spaleni 6 miesięcy wcześniej, niż na niespalonych siedliskach kontrolnych. Wskazuje to na opóźniony pozytywny wpływ pożaru w tych ekosystemach.

Dlatego spadek liczebności drobnych ssaków bezpośrednio po pożarze należy traktować jako krótkoterminowe zaburzenie z uwagi na fakt, że ich populacje szybko się regenerują w sprzyjających warunkach i przy odpowiednich opadach atmosferycznych.

W Ameryce Północnej w wyniku restytucji prerii trawiastej poprzez kontrolowane wypalanie, zwiększyła się liczebność, ale zmniejszyła różnorodność żyjących tam drobnych ssaków (Burke i in. 2020). Obserwowana reakcja była odpowiedzią żyjących tam dwóch głównych gatunków gryzoni: myszaka leśnego, który zwiększał swoją liczebność (a tym samym zwiększał liczebność drobnych ssaków) po pożarze i normika preriowego (*Microtus ochrogaster*), który w wyniku pożaru zmniejszał swoją liczebność i ograniczał różnorodność gatunkową zgrupowania. Mechanizmem stojącym za tą reakcją była prawdopodobnie różna dostępność siedlisk dla dwóch w/w gatunków. Pożary usuwały ściółkę i resztki martwej roślinności, które są ważnym siedliskiem dla normików, co z kolei odsłaniało glebę i ułatwiało żerowanie myszaka.

Prawdopodobnie podobnym mechanizmem można tłumaczyć reakcje gryzoni po wypalaniu prerii trawiastej w Teksasie (Kirchner i in. 2011), na której ogień silnie zredukował roślinność, w wyniku czego zmniejszyła się liczebność myszy karłowatej (*Baiomys taylori*) i szczurów bawełnianych (*Sigmodon hispidus*). Zaobserwowano natomiast wzrost liczebności myszaka leśnego, przy czym populacje trzech w/w gatunków powróciły do stanów sprzed pożaru już po 8 miesiącach. Mechanizmy te dobrze ilustruje praca analizująca skuteczność żerowania gryzoni, poprzez wyjadanie nasion na pożarzysku i w terenie niespalonym (Reed i in. 2005). W badaniach tych znacznie więcej nasion zostało zjedzonych na spalonych niż niespalonych preriach. Chociaż ostatecznie ogólna liczebność gryzoni nie różniła się między wypaloną a niespaloną prerią, to na pożarzysku odłowiono dwa razy więcej myszaków leśnych, które są wyspecjalizowane w pobieraniu nasion i są odpowiednikiem europejskiej myszy wielkookiej leśnej (*Apodemus flavicollis*). Wyniki te również nie były oczywiście, zakładano bowiem, że efektywność żerowania gryzoni będzie mniejsza na spalonej prerii ze względu na redukcję roślinności i wzrost ryzyka drapieżnictwa, co z kolei powinno się przełożyć na zmiany zachowań pokarmowych tych zwierząt i w konsekwencji ograniczone drapieżnictwo na nasionach.

Podobnie szybko, jak w przypadku prerii w Teksasie, zaobserwowano regenerację łąki górskiej po pożarze w Arizonie (Horncastle i in. 2019). Zaledwie rok po tym zaburzeniu do równowagi powróciła różnorodność gatunkowa żyjących tam drobnych ssaków. Najprawdopodobniej było to wynikiem przeżycia przez drobne ssaki pożaru poprzez schronienie się w refugiach znajdujących się na terenie pożarzyska (Yarnell i in. 2007). Dodatkowym ważnym czynnikiem jest tempo regeneracji roślinności po pożarze przekładające się bezpośrednio na to,

jak szybko siedlisko to będzie ponownie dostępne dla drobnych ssaków (Cheeseman, Delany 1979).

Reasumując, dostępna literatura dotycząca wpływu pożaru terenów otwartych na zgrupowania żyjących tam drobnych ssaków skupia się wyłącznie na terenach podatnych na pożary i w przeważającej większości opisuje mechanizmy występujące w Australii lub Ameryce Północnej. Niestety, brakuje zupełnie badań opisujących i analizujących mechanizmy regeneracji fauny drobnych ssaków terenów otwartych strefy borealnej i umiarkowanej, w których pożary nie zdarzają się tak często. Takie badania są niezwykle potrzebne i cenne, gdyż wraz ze zmianami klimatu, wzrostem temperatur i deficytem i/lub zmianą rozkładu opadów atmosferycznych, wzrasta zagrożenie pożarami. Dobrym tego przykładem jest olbrzymi pożar (największy pożar terenów otwartych w Polsce po II wojnie światowej), jaki powstał wiosną 2020 roku w Biebrzańskim Parku Narodowym, zajmując powierzchnię ok. 5500 ha, przede wszystkim na terenach otwartych (Walesiak i in. 2021). Prognozując w najbliższych 30 latach dziesięciokrotny wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremalnych pożarów w Europie (El Garroussi i in. 2024), należy się na to przygotować, analizując m. in. skuteczność zabiegów ograniczających dotkliwość pożarów jako zaburzeń dla żyjących tam zwierząt, w tym drobnych ssaków. Co zastanawiające, żadna z przeglądanych prac nie analizowała indywidualnych cech osobników przeżywających pożary w mikrorefugiach usytuowanych na pożarzysku lub rekolonizujących je z otaczających niespalonych siedlisk. Wydaje się to o tyle ważne, że pomimo podobnego składu gatunkowego zgrupowania drobnych ssaków, osobniki obecne na pożarzysku mogą różnić się tempem metabolizmu i/lub aktywnością ruchową od osobników tego samego gatunku zamieszkujących tereny niespalone (Iwińska i in. 2024).

Chcąc uzyskać wiarygodne informacje niezbędne dla ochrony przyrody i restytucji ekosystemów zburzonych pożarem należy jak najszybciej rozpocząć intensywne badania empiryczne w tym zakresie, usytuowane w strefach umiarkowanej i borealnej. Z uwagi na dużą trudność z utrzymaniem odpowiednich założeń metodycznych przy losowych zaburzeniach jakimi są m. in. pożary, zaleca się stosowanie podejścia eksperymentalnego. W tego typu badaniach ogień stosuje się jako narzędzie służące do odpowiedniego zreplikowania próby i porównania ekosystemu przed i po zaburzeniu (Hurlbert 1984). Przy planowaniu eksperymentu warto zwrócić uwagę na trzy następujące założenia: a) wytypować powierzchnie badawcze, b) zastosować kontrolę, czyli wybrać środowiska, na które zaburzenie nie będzie miało wpływu, c) dokonać losowego doboru prób do analiz (środowisk). Takie podejście pomoże zminimalizować różnicowanie wynikające ze zmienności czasowej i warunków lokalnych (Christie et al. 2019). Tego typu metodykę określa się terminem BACI i jest ona powszechnie stosowana przy analizowaniu wpływu zaburzeń na ekosystemy lub na ich części składowe (Underwood 1994). Jeżeli jest to możliwe warto zwiększyć precyzję oszacowań poprzez jednoczesne pobieranie próbek z miejsc kontrolnych i eksperymentalnych kilka razy przed i po oddziaływaniu czynnika – w tym wypadku pożaru (metoda BACIPS) (Stewart-Oaten, Bence 2001). W przypadku gryzoni, których populacje wykazują naturalne fluktuacje z roku na rok, takie podejście wydaje się szczególnie uzasadnione. Należy jednak pamiętać, że zaburzenia wielkoskalowe, jakimi są pożary, niezmiernie trudno jest naśladować eksperymentalnie, z uwagi na ograniczenia przestrzenne. W związku z tym, równoległe z eksperymentalnym podejściem, zaleca się prowadzenie badań w ekosystemach naturalnie zburzonych pożarem, pamiętając o konieczności równoległego monitorowania powierzchni niespalonych (kontrolnych).

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Dofinansowano ze środków funduszu leśnego przez Lasy Państwowe w ramach umowy nr EŻ.0290.1.3.2022 z Biebrzańskim Parkiem Narodowym. Tytuł tematu badawczego: „Biebrza po pożarze – wpływ pożaru na wybrane elementy przyrodnicze Biebrzańskiego Parku Narodowego – etap III”

Literatura

- Burke A.M., Barber A.M., Jones H.P. 2020. Early Small Mammal Responses to Bison Reintroduction and Prescribed Fire in Restored Tallgrass Prairies, *Natural Areas Journal* 40(1): 35–44. DOI: <https://doi.org/10.3375/043.040.0105>.
- Cheeseman C.L., Delany M.J. 1979. The population dynamics of small rodents in a tropical African grassland, *Journal of Zoology* 188: 451–475.
- Christie A.P., Amano T., Martin P.A., Shackelford G.E., Simmons B.I., Sutherland W.J. 2019. Simple study designs in ecology produce inaccurate estimates of biodiversity responses, *Journal of Applied Ecology* 56: 2742–2754. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13499>.
- Crowther M.S., Tulloc A.I., Letnic M., Greenville A.C., Dickman C.R. 2018. Interactions between wildfire and drought drive population responses of mammals in coastal woodlands, *Journal of Mammalogy* 99(2): 416–427. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy003>.
- Dickman C.R., Predavec M., Downey F.J. 1995. Long-range movements of small mammals in arid Australia: implications for land management, *Journal of Arid Environment* 31: 441–452.
- Doherty T.S., Bohórquez Fandiño D.F., Watchorn D.J., Legge S.M., Dickman C.R. 2023. Experimentally testing animal responses to prescribed fire size and severity, *Conservation Biology* e14231. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.14231>.
- Driscoll D.A., Lindemayer D.B., Bennet F.A., Bode M., Bradstock R.A., Cary G.J., Clarke M.F., Dexter N., Fensham R., Friend G., Gill M., James S., Kay G., Keith D.A., MacGregor C., Russell-Smith J., Salt D., Watson J.E.M., Williams R.J., York A. 2010. Fire management for biodiversity conservation: key research questions and our capacity to answer them, *Biological Conservation* 143: 1928–1939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.05.026>.
- do Rosário I.T., da Lus Mathias M. 2007. Post-fire recolonisation of a montado area by the endangered Cabrera vole (*Microtus cabreræ*), *International Journal of Wildland Fire* 16(4): 450–457. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF06096>.
- Driessen M.M. 2024. Small mammal succession following low severity planned burns with different fire intervals, *Australian Mammalogy* 46: AM23016.
- El Garroussi S., Di Giuseppe F., Barnard C., Wetterhall F. 2024. Europe faces up to tenfold increase in extreme fires in a warming climate, *npj Climate an Atmospheric Science* 7(30). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00575-8>.
- Geluso K.N., Schroder G.D., Bragg T.B. 1986. Fire-avoidance behavior of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*), *American Midland Naturalist* 116: 202–205.
- Hedlund J.D., Rickard W.H. 1981. Wildfire and the short-term response of small mammals inhabiting a sagebrush-bunchgrass community, *Murrelet* 62(1): 10–14.
- Hurlbert S.H. 1984. Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments, *Ecological Monographs* 54: 187–211. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942661>.
- Horncastle V.J., Chambers C.L., Dickson B.G. 2019. Grazing and wildfire effects on small mammals inhabiting montane meadows, *Journal of Wildlife Management* 83(3): 534–543. DOI: <https://doi.org/10.1002/jwmg.21635>.
- Haythornthwaite A.S. 2005. Microhabitat use and foraging behaviour of *Sminthopsis youngsoni* (Marsupialia: Dasyuridae) in arid central Australia, *Wildlife Research* 32: 609–615.
- Haythornthwaite A.S., Dickman C.R. 2006. Long-distance movements by a small carnivorous marsupial: How *Sminthopsis youngsoni* (Marsupialia: *Dasyuridae*) uses habitat in an Australian sandridge desert, *Journal of Zoology* 270: 543–549.
- Iwińska K., Wirowska M., Borowski Z., Boratyński Z., Solecki P., Ciesielski M., Boratyński, J.S. 2024. Energy allocation discloses while behavioural performance persists after fire-disturbance, *Journal of Experimental Biology*: jeb.247114. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.247114>.

- Kaufman D.W., Gurtz S.K., Kaufman G.A. 1988. Movements of the deer mouse in response to prairie fire, *Prairie Naturalist* 20: 225–229.
- Kirchner B.N., Green N.S., Sergeant D.A., Mink J.N., Wilkins K.T. 2011. Responses of Small Mammals and Vegetation to a Prescribed Burn in a Tallgrass Blackland Prairie, *The American Midland Naturalist* 166(1): 112–125. DOI: <https://doi.org/10.1674/0003-0031-166.1.112>.
- Launchbaugh J.L. 1972. Effect of Fire on Shortgrass and Mixed Prairie Species, w: Proceedings, Annual Tall Timber Fire Ecology Conference. Tall Timbers Research Station. Lubbock, Texas.
- Legge S.M., Kennedy M.S., Lloyd R., Murphy S.A., Fisher A. 2011. Rapid recovery of mammal fauna in the central Kimberley, northern Australia, following the removal of introduced herbivores, *Austral Ecology* 36(7): 791–799. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2010.02218.x>.
- Letnic M. 2002. Long distance movements and the use of fire mosaics by small mammals in the Simpson Desert, Australia, *Australian Mammalogy* 23: 125–34. DOI: 10.1071/AM01125.
- Letnic M., Dickman C.R., Tischler M., Tamayo B., Beh C.L. 2004. The responses of small mammals and lizards to fire and rainfall in arid Australia, *Journal of Arid Environments* 59: 85–114. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2004.01.014.
- Letnic M., Dickman C.R. 2005. The responses of small mammals to patches regenerating after fire and rainfall in the Simpson Desert, central Australia, *Austral Ecology* 30: 24–39. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01410.x>.
- Letnic M., Dickman C.R. 2010. Resource pulses and mammalian dynamics: Conceptual models for hummock grasslands and other Australian desert habitats, *Biological Reviews* 85: 501–521.
- Letnic M., Tischler M., Gordon C. 2013. Effects of fire on desert small mammals, *Austral Ecology* 38: 841–849. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.12063>.
- Lloyd H. 1938. Forest fire and wildlife, *Journal of Forestry* 36: 1051–1054.
- Monamy V., Fox B.J. 2000. Small mammal succession is determined by vegetation density rather than time elapsed since disturbance, *Austral Ecology* 25(6): 580–587. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2000.01057.x>.
- Ouzzani M., Hammady H., Fedorowicz Z., Elmagarmid A. 2016. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews, *Systematic Reviews* 5: 210.
- Pastro L.A., Dickman C.R., Letnic M. 2011. Burning for biodiversity or burning biodiversity? Prescribed burn vs. wildfire impacts on plants, lizards, and mammals, *Ecological Applications* 21: 3238–3253. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-2351.1>.
- Perals D., Griffin A.S., Bartomeus I., Sol D. 2017. Revisiting the open-field test: what does it really tell us about animal personality?, *Animal Behaviour* 123: 69–79.
- Plavsic M.J. 2014. Drivers of small-mammal recolonization after fire, *Animal Conservation* 17: 573–582. DOI: <https://doi.org/10.1111/acv.12124>.
- Radford I.J., Gibson L.A., Corey B., Carnes K., Fairman R. 2015. Influence of fire mosaics, habitat characteristics and cattle disturbance on mammals in fire-prone savanna landscapes of the northern Kimberley, *PLoS ONE* 10(6): e0130721. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130721>.
- Reed A.W., Kaufman G.A., Kaufman D.W. 2005. Rodent seed predation and GUDs: effect of burning and topography, *Canadian Journal of Zoology* 83(10): 1279–1285. DOI: <https://doi.org/10.1139/z05-124>.
- Ricketts A.M., Sandercock B.K. 2016. Patch-burn grazing increases habitat heterogeneity and biodiversity of small mammals in managed rangelands, *Ecosphere* 7(8):e01431. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.1431>.
- Russell-Smith J., Edwards A.C. 2006. Seasonality and fire severity in savanna landscapes of monsoonal northern Australia, *International Journal of Wildland Fire* 15: 541–550. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF05111>.
- Salvatori V., Egunyu F., Skidmore A.K., De Leeuw J., Van Gils H.A.M. 2001. The effects of fire and grazing pressure on vegetation cover and small mammal populations in the Maasai Mara National Reserve, *African Journal of Ecology* 39: 200–204. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2001.00295.x>.
- Settele J., Scholes R., Betts R.A., Leadley P., Nepstad D., Overpack J.T., Taboada M.A. 2014. Terrestrial and Inland Water Systems, w: C.B. Field i in. (red.) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. s. 271–359.
- Sharp Bowman T.R., McMillan B.R., St. Clair S.B. 2017. A comparison of the effects of fire on rodent abundance and diversity in the Great Basin and Mojave Deserts, *PLoS ONE* 12(11): e0187740. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187740>.
- Shaw R.E., James A.I., Tuft K. Legge S., Geoffrey J., Cary G.J., Peakall R., Banks S.C. 2021. Unburnt habitat patches are critical for survival and in situ population recovery in a small mammal after fire, *Journal of Applied Ecology* 58: 1325–1335. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13846>.
- Simons L.H. 1991. Rodent dynamics in relation to fire in the Sonoran Desert, *Journal of Mammalogy* 72: 518–524.
- Smith J.K., Fisher W.C. 1997. Fire Ecology of the Forest Habitat Types of Northern Idaho. USDA Forest Service General Technical Report INT-GTR-363, 142 s.
- Singer F.J., Schullery P. 1989. Yellowstone wildlife: Populations in proces, *Western Wildlands* 15(2): 18–22.
- Singer F.J., Schreier W., Oppenheim J., Garton E.O. 1989. Drought, fires, and large mammals, *BioScience* 39(10): 716–722.
- Stewart-Oaten A., Bence J.R. 2001. Temporal and spatial variation in environmental impact assessment, *Ecological Monographs* 71(2): 305–339. DOI: <https://doi.org/10.2307/2657220>.
- Turner M. G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world, *Ecology* 91(10): 2833–2849. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>.
- Underwood A.J. 1994. On Beyond BACI: Sampling Designs that Might Reliably Detect Environmental Disturbances, *Ecological Applications* 4: 3–15. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942110>.
- Vacanti P.L., Geluso K.N. 1985. Recolonization of a burned prairie by meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*), *Prairie Naturalist* 17: 15–22.
- Vales D.J., Peek J.M. 1996. Responses of elk to the 1988 Yellowstone fires and drought, w: J.M. Greenlee (red.) The ecological implications of fire in Greater Yellowstone. Proceedings of the Second Biennial Conference on the Greater Yellowstone Ecosystem. International Association of Wildland Fire, Fairfield, WA, USA, s. 159–167.
- Walesiak M., Mikusiński G., Borowski Z., Żmihorski M. 2022. Large fire initially reduces bird diversity in Poland's largest wetland biodiversity hotspot, *Biodivers Conserv* 31: 1037–1056. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02376-y>.
- Wright H.A., Bailey A.W. 1982. Fire ecology, United States and southern Canada. New York: John Wiley and Sons, 501 s.
- Yarnell R.W., Scott D.M., Chimimba C.T., Metcalfe D.J. 2007. Untangling the roles of fire, grazing and rainfall on small mammal communities in grassland ecosystems, *Oecologia* 154: 387–402.

Załącznik 1 Appendix 1

Literatura analizowana w artykule Literature analysed in the article

- Amacher A.J., Barrett R.H., Moghaddas J.J., Stephens S.L. 2008. Preliminary Effects of Fire and Mechanical Fuel Treatments on the Abundance of Small Mammals in the Mixed-Conifer Forest of the Sierra Nevada, *Forest Ecology and Management* 255(8–9): 3193–3202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.059>.
- Bagne K.E., Finch D.M. 2010. Response of Small Mammal Populations to Fuel Treatment and Precipitation in a Ponderosa Pine Forest, New Mexico, *Restoration Ecology* 18: 409–417. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00601.x>.
- Bennison K., Godfree R., Dickman C.R. 2018. Synchronous Boom-Bust Cycles in Central Australian Rodents and Marsupials in Response to Rainfall and Fire, *Journal of Mammalogy* 99(5): 1137–1148. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy105>.
- Briani D.C., Palma A.R.T., Vieira E.M., Henriques R.P.B. 2004. Post-Fire Succession of Small Mammals in the Cerrado of Central Brazil, *Biodiversity and Conservation* 13(5): 1023–1037. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000014467.27138.0b>.
- Burke A.M., Barber A.M., Jones H.P. 2020. Early Small Mammal Responses to Bison Reintroduction and Prescribed Fire in Restored Tallgrass Prairies, *Natural Areas Journal* 40(1): 35–44. DOI: <https://doi.org/10.3375/043.040.0105>.
- Camargo A.C.L., Barrio R.O.L., de Camargo N.F., Mendonça A.F., Ribeiro J.F., Rodrigues C.M.F., Vieira E.M. 2018. Fire Affects the Occurrence of Small Mammals at Distinct Spatial Scales in a

- Neotropical Savanna, *European Journal of Wildlife Research* 64(6). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1224-8>.
- Cazetta T.C., Vieira E.M. 2021. Fire Occurrence Mediates Small-Mammal Seed Removal of Native Tree Species in a Neotropical Savanna, *Frontiers in Ecology and Evolution* 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.793947>.
- Conner L.M., Holland A., Morris G. 2022. Fire Exclusion and Fire Return Interval Affect Small Mammal Populations in Longleaf Pine Forests, *Forest Ecology and Management* 520. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120352>.
- Converse S.J., White G.C., Block W.M. 2006. Small Mammal Responses to Thinning and Wildfire in Ponderosa Pine-Dominated Forests of the Southwestern United States, *Journal of Wildlife Management* 70(6): 1711–1722. DOI: [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2006\)70\[1711:SMRTTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2006)70[1711:SMRTTA]2.0.CO;2).
- Converse S.J., White G.C., Farris K.L., Zack S. 2006. Small Mammals and Forest Fuel Reduction: National-Scale Responses to Fire and Fire Surrogates, *Ecological Applications* 16(5): 1717–1729. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1717:SMAFFR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1717:SMAFFR]2.0.CO;2).
- Converse S.J., Block W.M., White G.C. 2006. Small Mammal Population and Habitat Responses to Forest Thinning and Prescribed Fire, *Forest Ecology and Management* 228(1–3): 263–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.006>.
- Crowther M.S., Tulloc A.I., Letnic M., Greenville A.C., Dickman C.R. 2018. Interactions between wildfire and drought drive population responses of mammals in coastal woodlands, *Journal of Mammalogy* 99(2): 416–427. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy003>.
- Culhane K., Sollmann R., White A.M., Tarbill G.L., Cooper S.D., Young H.S. 2022. Small Mammal Responses to Fire Severity Mediated by Vegetation Characteristics and Species Traits, *Ecology and Evolution* 12(5). DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.8918>.
- Davies H.F., Visintin C., Murphy B.P., Ritchie E.G., Banks S.C., Davies I.D., Bowman D.M.J.S. 2023. Pyrodiversity Trade-Offs: A Simulation Study of the Effects of Fire Size and Dispersal Ability on Native Mammal Populations in Northern Australian Savannas, *Biological Conservation* 282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110077>.
- Derrick A.M., Conner L.M., Castleberry S.B. 2010. Effects of Prescribed Fire and Predator Exclusion on Refuge Selection by *Peromyscus gossypinus* Le Conte (Cotton Mouse), *Southeastern Naturalist* 9(4): 773–780. DOI: <https://doi.org/10.1656/058.009.0411>.
- Diffendorfer J., Fleming G.M., Tremor S., Spencer W., Beyers J.L. 2012. The Role of Fire Severity, Distance from Fire Perimeter and Vegetation on Post-Fire Recovery of Small-Mammal Communities in Chaparral, *International Journal of Wildland Fire* 21(4): 436–448. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF10060>.
- do Rosário I.T., da Lus Mathias M. 2007. Post-fire recolonisation of a montado area by the endangered Cabrera vole (*Microtus cabreræ*), *International Journal of Wildland Fire* 16(4): 450–457. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF06096>.
- Doherty T.S., Bohórquez Fandiño D.F., Watchorn D.J., Legge S.M., Dickman C.R. 2023. Experimentally testing animal responses to prescribed fire size and severity, *Conservation Biology* e14231: 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.14231>.
- Doherty T.S., Davis R.A., van Etten E.J.B. 2015. A Game of Cat-and-Mouse: Microhabitat Influences Rodent Foraging in Recently Burnt but Not Long Unburnt Shrublands, *Journal of Mammalogy* 96(2): 324–331. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv034>.
- Driessen M.M. 2023. Small mammal succession following low severity planned burns with different fire intervals, *Australian Mammalogy* 46: AM23016. DOI: <https://doi.org/10.1071/AM23016>.
- Einoder L.D., Fisher A., Hill B.M., Buckley K., de Laive A.H., Woinarski J.C.Z., Gillespie G.R. 2023. Long Term Monitoring Reveals the Importance of Large, Long Unburnt Areas and Smaller Fires in Moderating Mammal Declines in Fire-Prone Savanna of Northern Australia, *Journal of Applied Ecology* 60(10): 2251–2266. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14482>.
- Fontaine J.B., Kennedy P.L. 2012. Meta-Analysis of Avian and Small-Mammal Response to Fire Severity and Fire Surrogate Treatments in U.S. Fire-Prone Forests, *Ecological Applications* 22(5): 1547–1561.
- Ford W.M., Menzel M.A., McGill D.W., Laerm J., McCay T.S. 1999. Effects of a Community Restoration Fire on Small Mammals and Herpetofauna in the Southern Appalachians, *Forest Ecology and Management* 114(2-3): 233–243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00354-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00354-5).
- Francl K.E., Small C.J. 2013. Temporal Changes and Prescribed-Fire Effects on Vegetation and Small-Mammal Communities in Central Appalachian Forest, Creek, and Field Habitats, *Southeastern Naturalist* 12(1): 11–26. DOI: <https://doi.org/10.1656/058.012.0102>.
- Gheler-Costa C., Sabino-Santos G., Amorim L.S., Rosalino L.M., Figueiredo L.T.M., Verdade L.M. 2013. The Effect of Pre-Harvest Fire on the Small Mammal Assemblage in Sugarcane Fields, *Agriculture Ecosystems & Environment* 171: 85–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.016>.
- González T.M., González-Trujillo J.D., Muñoz A., Armenteras D. 2021. Differential Effects of Fire on the Occupancy of Small Mammals in Neotropical Savanna-Gallery Forests, *Perspectives in Ecology and Conservation* 19(2): 179–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.03.005>.
- Green K., Sanecki G. 2006. Immediate and Short-Term Responses of Bird and Mammal Assemblages to a Subalpine Wildfire in the Snowy Mountains, Australia, *Austral Ecology* 31(6): 673–681. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2006.01629.x>.
- Griffiths A.D., Brook B.W. 2015. Fire Impacts Recruitment More than Survival of Small-Mammals in a Tropical Savanna, *Ecosphere* 6(6). DOI: <https://doi.org/10.1890/ES14-00519.1>.
- Griffiths A.D., Garnett S.T., Brook B.W. 2015. Fire Frequency Matters More than Fire Size: Testing the Pyrodiversity-Biodiversity Paradigm for at-Risk Small Mammals in an Australian Tropical Savanna, *Biological Conservation* 186: 337–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.021>.
- Hale S., Nimmo D.G., Cooke R., Holland G., James S., Stevens M., De Bondi N., Woods R., Castle M., Campbell K., Senior K., Cassidy S., Duffy R., Holmes B., White J.G. 2016. Fire and Climatic Extremes Shape Mammal Distributions in a Fire-Prone Landscape, *Diversity and Distributions* 22(11): 1127–1138. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12471>.
- Hale S., Mendoza L., Yeatman T., Cooke R., Doherty T., Nimmo D., White J.G. 2022. Evidence That Post-Fire Recovery of Small Mammals Occurs Primarily via in Situ Survival, *Diversity and Distributions* 28(3): 404–416. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.13283>.
- Henriques R.P.B., Briani D.C., Palma A.R.T., Vieira E.M. 2006. A Simple Graphical Model of Small Mammal Succession after Fire in the Brazilian Cerrado, *Mammalia* 70(3–4): 226–230. DOI: <https://doi.org/10.1515/MAMM.2006.044>.
- Hlôška L., Šaniga M., Chovancová G., Chovancová B., Homolová Z. 2022. Temporal and Spatial Changes in Small Mammal Communities in a Disturbed Mountain Forest, *Folia Oecologica* 49(1): 9–22. DOI: <https://doi.org/10.2478/foecol-2022-0002>.
- Holmes A.L., Robinson W.D. 2016. Small Mammal Abundance in Mountain Big Sagebrush Communities After Fire and Vegetation Recovery, *Western North American Naturalist* 76(3): 326–338. DOI: <https://doi.org/10.3398/064.076.0309>.
- Horn K.J., McMillan B.R., St Clair S.B. 2012. Expansive Fire in Mojave Desert Shrubland Reduces Abundance and Species Diversity of Small Mammals, *Journal of Arid Environments* 77: 54–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.10.003>.
- Horncastle V.J., Chambers C.L., Dickson B.G. 2019. Grazing and wildfire effects on small mammals inhabiting montane meadows, *Journal of Wildlife Management* 83(3): 534–543. DOI: <https://doi.org/10.1002/jwmg.21635>.
- Jacques M.E., Hallgren S.W., Wilson D.S. 2017. Low-Basal Area Treatment and Prescribed Fire to Restore Oak-Pine Savannas Alter Small Mammal Communities, *Forest Ecology and Management* 400: 353–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.022>.
- Kelly L.T., Nimmo D.G., Spence-Bailey L.M., Haslem A., Watson S.J., Clarke M.F., Bennett A.F. 2011. Influence of Fire History on Small Mammal Distributions: Insights from a 100-Year Post-Fire Chronosequence, *Diversity and Distributions* 17(3): 462–473. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00754.x>.
- Kelly L.T., Nimmo D.G., Spence-Bailey L.M., Clarke M.F., Bennett A.F. 2010. The Short-Term Responses of Small Mammals to Wildfire in Semiarid Mallee Shrubland, Australia, *Wildlife Research* 37(4): 293–300. DOI: <https://doi.org/10.1071/WR10016>.
- Kelt D.A., Sollmann R., White A.M., Roberts S.L., Van Vuren D.H. 2017. Diversity of Small Mammals in the Sierra Nevada: Filtering by Natural Selection or by Anthropogenic Activities?, *Journal of Mammalogy* 98(1): 85–93. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw158>.
- Kirchner B.N., Green N.S., Sergeant D.A., Mink J.N., Wilkins K.T. 2011. Responses of Small Mammals and Vegetation to a Prescribed Burn in a Tallgrass Blackland Prairie, *The American Midland Naturalist* 166(1): 112–125. DOI: <https://doi.org/10.1674/0003-0031-166.1.112>.
- Kronland W.J., Restani M. 2011. Effects of Post-Fire Salvage Logging on Cavity-Nesting Birds and Small Mammals in Southeastern Montana, *Canadian Field-Naturalist* 125(4): 316–326.
- Lawes M.J., Murphy B.P., Fisher A., Woinarski J.C.Z., Edwards A.C., Russell-Smith J. 2015. Small Mammals Decline with

- Increasing Fire Extent in Northern Australia: Evidence from Long-Term Monitoring in Kakadu National Park, *International Journal of Wildland Fire* 24(5): 712–722. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF14163>.
- Leahy L., Legge S.M., Tuft K., McGregor H.W., Barmuta L.A., Jones M.E., Johnson C.N. 2015. Amplified Predation after Fire Suppresses Rodent Populations in Australia's Tropical Savannas, *Wildlife Research* 42(8): 705–716. DOI: <https://doi.org/10.1071/WR15011>.
- Lee E.J., Rhim S.J., Son S.H., Lee W.S. 2012. Differences in Small-Mammal and Stand Structures between Unburned and Burned Pine Stands Subjected to Two Different Post-Fire Silvicultural Management Practices, *Annales Zoologici Fennici* 49(3): 129–138. DOI: <https://doi.org/10.5735/086.049.0301>.
- Lees D.M., Watchorn D.J., Driscoll D.A., Doherty T.S. 2021. Microhabitat Selection by Small Mammals in Response to Fire, *Australian Journal of Zoology* 69(3): 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1071/ZO21022>.
- Letnic M., Dickman C.R. 2005. The responses of small mammals to patches regenerating after fire and rainfall in the Simpson Desert, central Australia, *Austral Ecology* 30: 24–39. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01410.x>.
- Letnic M., Dickman C.R., Tischler M., Tamayo B., Beh C.L. 2004. The responses of small mammals and lizards to fire and rainfall in arid Australia, *Journal of Arid Environments* 59: 85–114. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2004.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.014).
- Letnic M., Tischler M., Gordon C. 2013. Desert Small Mammal Responses to Wildfire and Predation in the Aftermath of a La Nina Driven Resource Pulse, *Austral Ecology* 38(7): 841–849. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.12063>.
- MacFadyen D.N., Avenant N.L., van der Merwe M., Bredekamp G.J. 2012. The Influence of Fire on Rodent Abundance at the N'washitshumbe Enclosure Site, Kruger National Park, South Africa, *African Zoology* 47(1): 138–146. <https://doi.org/10.3377/004.047.0116>.
- Matthews J.K., Stawski C., Körtner G., Parker C.A., Geiser F. 2017. Torpor and Basking after a Severe Wildfire: Mammalian Survival Strategies in a Scorched Landscape, *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systems and Environmental Physiology* 187(2): 385–393. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00360-016-1039-4>.
- Mendes-Oliveira A.C., dos Santos P.G.P., de Carvalho O., Montag L.F.D., de Lima R.C.S., de Maria S.L.S., Rossi R.V. 2012. Edge Effects and the Impact of Wildfires on Populations of Small Non-Volant Mammals in the Forest-Savanna Transition Zone in Southern Amazonia, *Biota Neotropica* 12(3): 57–63. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000300004>.
- Meyer M.D., North M.P., Kelt D.A. 2005. Short-Term Effects of Fire and Forest Thinning on Truffle Abundance and Consumption by *Neotamias Speciosus* in the Sierra Nevada of California, *Canadian Journal of Forest Research* 35(5): 1061–1070. DOI: <https://doi.org/10.1139/x05-032>.
- Miritis V., Dickman C.R., Nimmo D.G., Doherty T.S. 2024. After the 'Black Summer' Fires: Faunal Responses to Megafire Depend on Fire Severity, Proportional Area Burnt and Vegetation Type, *Journal of Applied Ecology* 61(1): 63–75. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14545>.
- Monroe M.E., Converse S.J. 2006. The Effects of Early Season and Late Season Prescribed Fires on Small Mammals in a Sierra Nevada Mixed Conifer Forest, *Forest Ecology and Management* 236(2–3): 229–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.008>.
- Morandini M., Mazzamuto M.V., Koprowski J.L. 2023. Foraging Behavior Response of Small Mammals to Different Burn Severities, *Fire-Switzerland* 6(9): 367. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6090367>.
- Moreno S., Rouco C. 2013. Responses of a Small-Mammal Community to Habitat Management through Controlled Burning in a Protected Mediterranean Area, *Acta Oecologica - International Journal of Ecology* 49: 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.001>.
- Morris G., Hostetler J.A., Conner L.M., Oli M.K. 2011. Effects of Prescribed Fire, Supplemental Feeding, and Mammalian Predator Exclusion on Hispid Cotton Rat Populations, *Oecologia* 167(4): 1005–1016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2053-6>.
- Morris G., Hostetler J.A., Oli M.K., Conner L.M. 2011. Effects of Predation, Fire, and Supplemental Feeding on Populations of Two Species of *Peromyscus* Mice, *Journal of Mammalogy* 92(5): 934–944. DOI: <https://doi.org/10.1644/10-MAMM-A-419.1>.
- Mowat E.J., Webb J.K., Crowther M.S. 2015. Fire-Mediated Niche-Separation between Two Sympatric Small Mammal Species, *Austral Ecology* 40(1): 50–59. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.12166>.
- Ondeí S., Prior L.D., McGregor H.W., Reid A.M., Johnson C.N., Vigilante T., Goonack C., Williams D., Bowman D.M.J.S. 2021. Small Mammal Diversity Is Higher in Infrequently Compared with Frequently Burnt Rainforest-Savanna Mosaics in the North Kimberley, Australia, *Wildlife Research* 48(3): 218–229. DOI: <https://doi.org/10.1071/WR20010>.
- Pastro L.A., Dickman C.R., Letnic M. 2011. Burning for biodiversity or burning biodiversity? Prescribed burn vs. wildfire impacts on plants, lizards, and mammals, *Ecological Applications* 21: 3238–3253. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-2351.1>.
- Penn A.M., Sherwin W.B., Lunney D., Banks P.B. 2003. The Effects of a Low-Intensity Fire on Small Mammals and Lizards in a Logged, Burnt Forest, *Wildlife Research* 30(5): 477–486. DOI: <https://doi.org/10.1071/WR02080>.
- Pires A.S., Fernandez F.A.S., De Freitas D., Feliciano B.R. 2005. Influence of Edge and Fire-Induced Changes on Spatial Distribution of Small Mammals in Brazilian Atlantic Forest Fragments, *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40(1): 7–14. DOI: <https://doi.org/10.1080/01650520412331333747>.
- Puig-Gironès R., Pons P. 2020. Mice and Habitat Complexity Attract Carnivores to Recently Burnt Forests, *Forests* 11(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/f11080855>.
- Radford I.J., Gibson L.A., Corey B., Carnes K., Fairman R. 2015. Influence of fire mosaics, habitat characteristics and cattle disturbance on mammals in fire-prone savanna landscapes of the northern Kimberley, *PLoS ONE* 10(6): e0130721. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130721>.
- Radford I.J., Corey B., Carnes K., Shedley E., McCaw L., Woolley L.A. 2021. Landscape-Scale Effects of Fire, Cats, and Feral Livestock on Threatened Savanna Mammals: Unburnt Habitat Matters More Than Pyrodiversity, *Frontiers in Ecology and Evolution* 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.739817>.
- Radford I.J., Gibson L.A., Corey B., Vigilante T., Corporation W.G.A., Hatherley E., Fairman R., Carnes K., Start A.N. 2020. Prescribed Burning Benefits Threatened Mammals in Northern Australia, *Biodiversity and Conservation* 29(9–10): 2985–3007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02010-9>.
- Radford I.J. 2012. Threatened Mammals Become More Predatory after Small-Scale Prescribed Fires in a High-Rainfall Rocky Savanna, *Austral Ecology* 37(8): 926–935. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02352.x>.
- Reed A.W., Kaufman G.A., Kaufman D.W. 2005. Rodent seed predation and GUDs: effect of burning and topography, *Canadian Journal of Zoology* 83(10): 1279–1285. DOI: <https://doi.org/10.1139/z05-124>.
- Ricketts A.M., Sandercock B.K. 2016. Patch-burn grazing increases habitat heterogeneity and biodiversity of small mammals in managed rangelands, *Ecosphere* 7(8): e01431. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.1431>.
- Roberts S.L., Kelt D.A., van Wagtenonk J.W., Miles A.K., Meyer M.D. 2015. Effects of Fire on Small Mammal Communities in Frequent-Fire Forests in California, *Journal of Mammalogy* 96(1): 107–119. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyu011>.
- Salvatori V., Egunyu F., Skidmore A.K., De Leeuw J., Van Gils H.A.M. 2001. The effects of fire and grazing pressure on vegetation cover and small mammal populations in the Maasai Mara National Reserve, *African Journal of Ecology* 39: 200–204. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2001.00295.x>.
- Sasmal I., DePerno C.S., Swingen M.B., Moonman C.E. 2017. Influence of Vegetation Type and Prescribed Fire on *Peromyscus* Abundance in a Longleaf Pine Ecosystem, *Wildlife Society Bulletin* 41(1): 49–54. DOI: <https://doi.org/10.1002/wsb.740>.
- Senior K.L., Giljohann K.M., McCarthy M.A., Kelly L.T. 2023. A Field Test of Mechanisms Underpinning Animal Diversity in Recently Burned Landscapes, *Journal of Applied Ecology* 60(1): 146–157. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14315>.
- Sharp Bowman T.R., McMillan B.R., St. Clair S.B. 2017. A comparison of the effects of fire on rodent abundance and diversity in the Great Basin and Mojave Deserts, *PLoS ONE* 12(11): e0187740. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187740>.
- Shaw R.E., James A.I., Tuft K., et al. 2021. Unburnt habitat patches are critical for survival and in situ population recovery in a small mammal after fire, *Journal of Applied Ecology* 58: 1325–1335. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13846>.
- Shenko A.N., Bien W.F., Spotila J.R., Avery H.W. 2012. Effects of Disturbance on Small Mammal Community Structure in the New Jersey Pinelands, USA, *Integrative Zoology* 7(1): 16–29. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2012.00272.x>.
- Simon N.P.P., Stratton C.B., Forbes G.J., Schwab F.E. 2002. Similarity of Small Mammal Abundance in Post-Fire and Clearcut Forests, *Forest Ecology and Management* 165(1–3): 163–172. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00613-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00613-2).

- Slovikosky S.A., Merrick M.J., Morandini M., Koprowski J.L. 2023. Movement Response of Small Mammals to Burn Severity Reveals Importance of Microhabitat Features, *Journal of Mammalogy*. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyad117>.
- Stawski C., Körtner G., Nowack J., Geiser F. 2015. The Importance of Mammalian Torpor for Survival in a Post-Fire Landscape, *Biology Letters* 11(6). DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0134>.
- Stawski C., Körtner G., Nowack J., Geiser F. 2016. Phenotypic Plasticity of Post-Fire Activity and Thermal Biology of a Free-Ranging Small Mammal, *Physiology & Behavior* 159: 104–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.009>.
- Torre I., Ribas A., Puig-Gironès R. 2023. Effects of Post-Fire Management on a Mediterranean Small Mammal Community, *Fire-Switzerland* 6 (1). DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6010034>.
- Torre I., Diaz M. 2004. Small Mammal Abundance in Mediterranean Post-Fire Habitats: A Role for Predators?, *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 25(3): 137–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2003.10.007>.
- VanTassel H.L.H., Anderson K.E. 2018. Altered Space Use and Movement Distances of Merriam's Kangaroo Rat, *Dipodomys Merriami*, in Post-Fire Lands, *Journal of Mammalogy* 99(3): 684–692. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyy043>.
- VanTassel H.L.H., Barrows C.W., Anderson K.E. 2015. Post-Fire Spatial Heterogeneity Alters Ground-Dwelling Arthropod and Small Mammal Community Patterns in a Desert Landscape Experiencing a Novel Disturbance Regime, *Biological Conservation* 182: 117–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.046>.
- Vieira E.M. 1999. Small Mammal Communities and Fire in the Brazilian Cerrado, *Journal of Zoology* 249: 75–81. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0952836999009073>.
- Yarnell R.W., Metcalfe D.J., Dunstone N., Burnside N., Scott D.M. 2008. The Impact of Fire on Habitat Use by the Short-Snouted Elephant Shrew (*Elephantulus Brachyrhynchus*) in North West Province, South Africa, *African Zoology* 43(1): 45–52. DOI: [https://doi.org/10.3377/1562-7020\(2008\)43\[45:TIOFOH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3377/1562-7020(2008)43[45:TIOFOH]2.0.CO;2).
- Yarnell R.W., Scott D.M., Chimimba C.T., Metcalfe D.J. 2007. Untangling the Roles of Fire, Grazing and Rainfall on Small Mammal Communities in Grassland Ecosystems, *OECOLOGIA* 154(2): 387–402. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0841-9>.
- Zwolak R., Foresman K.R. 2007. Effects of a Stand-Replacing Fire on Small-Mammal Communities in Montane Forest, *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne de Zoologie* 85(7): 815–822. DOI: <https://doi.org/10.1139/Z07-065>.