



Doctoral Thesis

Costs and benefits of sexual reproduction an experimental approach

Author(s):

Greeff, Michael

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005411606> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17130

**COSTS AND BENEFITS OF SEXUAL REPRODUCTION: AN
EXPERIMENTAL APPROACH**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

for the degree of
Doctor of Natural Sciences (Dr. sc. nat)

presented by

Michael Greeff
Diploma in Biology, University of Zürich, Switzerland

citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Paul Schmid-Hempel, examiner
Prof. Dr. Jukka Jokela, co-examiner

2007

SUMMARY

Sexuality is a delicate issue not only in our daily lives. Evolutionary biologists have been challenged for a long time by the existence of organisms that reproduce sexually because of its associated various costs. They have come up with a multitude of hypotheses to explain this phenomenon. But not only has the definitive theory about the maintenance of sexual reproduction not yet been found, there have also been astonishingly few experiments and field studies given the relevance of the topic.

In my thesis, I investigated some of the costs and benefits of sexual reproduction in two different model systems. In the bumblebee *Bombus terrestris*, my work has addressed the costs of sexual reproduction. Among those, the risk of remaining unmated or of receiving incompatible sperm is one of the harshest. Here, I hypothesized that sperm incompatibility would become visible as variation in the immune response against these foreign antigens. In a first step, I could demonstrate that fertilized queens more often show melanization of their spermathecae as compared to virgin queens. The occurrence of such a strong immune response in the female reproductive tract suggests the existence of mating incompatibilities. I found furthermore that the male mating products increased the mortality of the queens during hibernation, which is perhaps due to a general cost of keeping the sperm alive. In a comparison of spermatozoa from the male testes and the female spermathecae, I discovered an overall high sperm viability of almost 90%. Because of their habit of female single mating, unlike other insects, bumblebees should not be expected to engage in a costly sexual conflict that would harm both the sperm and the queens.

In the second part of my thesis, I tested two different hypotheses about the benefits of sex by studying meiotic recombination, a key feature of sexual reproduction, in the red flour beetle *Tribolium castaneum*. The Red-Queen hypothesis ascribes the advantage of recombination to its ability of creating rare genotypes in an environment of quickly adapting parasites. According to the Hill-Robertson effect, by contrast, recombination helps bringing together beneficial alleles if populations are limited in size and under selection. I measured the recombination rate in beetle populations that differed in population size and that were allowed to coevolve with a parasite or were

breed without parasites. After eight generations, I found a decrease in recombination rate in large populations irrespective of presence or absence of parasites. This corroborates the Hill-Robertson effect. In a second experiment in beetles, I could furthermore demonstrate that spontaneous or plastic changes in recombination rate in response to parasitic stress do not occur.

In my experiments, I found evidence for costs of sexual reproduction and I could show that recombination rate depends on the population size. Whereas many experimental studies have investigated the costs of sex so far, more studies concerning the benefits of sex are sorely needed.

ZUSAMMENFASSUNG

Sexualität ist nicht nur in unserem Alltag eine brisante Angelegenheit. Evolutionsbiologen beschäftigen sich seit langem mit der Frage, warum Sex in der Natur weit verbreitet ist, obwohl diese Art der Vermehrung viele Nachteile mit sich bringt. Inzwischen gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Hypothesen, die diesen Widerspruch zu erklären versuchen, die definitive Theorie wurde bis jetzt jedoch noch nicht gefunden. Erstaunlicherweise wurden auch fast keine Experimente oder Feldstudien zu diesem Thema durchgeführt.

In meiner Doktorarbeit arbeitete ich mit zwei Modellorganismen. Bei Hummeln (*Bombus terrestris*) untersuchte ich die Kosten sexueller Vermehrung. Dabei konzentrierte ich mich insbesondere auf die Nachteile von Paarungsinkompatibilitäten, von denen ich annahm, dass sie durch Immunantworten gegen Spermien entstehen können. Bei befruchteten Hummelköniginnen fand ich öfters als bei unbefruchteten eine Melanisation der Spermatheken. Melanisation ist eine sehr starke Immunantwort bei Wirbellosen und deutet durch ihr Auftreten in den weiblichen Geschlechtsorganen auf eine Paarungsinkompatibilität hin. Ausserdem konnte ich zeigen, dass die von Drohnen bei der Paarung übertragenen Flüssigkeiten die Sterblichkeit von überwinternden Königinnen erhöhten, was wahrscheinlich auf die zusätzlichen Kosten der Spermienfürsorge zurückzuführen war. Schliesslich verglich ich die Spermatozoen in den Hoden der Dronen und in den Spermatheken der Königinnen und fand generell eine sehr hohe Spermiovitalität von fast 90%. Im Unterschied zu anderen Insekten gibt es bei Hummeln vermutlich keinen sexuellen Konflikt, der die Spermien oder die Königinnen beeinträchtigte.

Im zweiten Teil meiner Doktorarbeit überprüfte ich zwei verschiedene Hypothesen über die Vorteile sexueller Vermehrung an Mehlkäfern (*Tribolium castaneum*), indem ich die Rate von meiotischer Rekombination, einem zentralen Element von Sex, mass. Die Red-Queen Hypothese sieht die Vorteile von Rekombination darin, dass sie in einem Umfeld sich schnell anpassender Parasiten seltene Genotypen schaffen kann. Der Hill-Robertson Effekt berücksichtigt die Fähigkeit von Rekombination vorteilhafte Allele zu vereinen, falls Populationen unter dem Einfluss von Selektion

stehen und eine begrenzte Grösse aufweisen. Ich setzte Käferpopulationen unterschiedlicher Grösse an und liess sie entweder mit Parasiten koevoluieren oder hielt sie ohne Parasiten. Nach acht Generationen konnte ich eine Abnahme der Rekombinationsrate in den grossen Populationen feststellen, wobei es keine Rolle spielte, ob die Käfer infiziert waren oder nicht. Dieses Resultat deutet auf das Vorhandensein des Hill-Robertson Effekts hin. In einem zweiten Experiment an Käfern konnte ich zeigen, dass Parasitierung keine spontane oder plastische Änderung der Rekombinationsrate hervorrief.

In meinen Experimenten konnte ich Kosten von sexueller Vermehrung aufzeigen und fand einen Zusammenhang zwischen Populationsgrösse und Rekombinationsrate. Im Gegensatz zu den Kosten von Sex, die in vielen Experimenten eingehend untersucht wurden, sind weitere Studien zu den Vorteilen von Sex dringend nötig.