

Lebensverlängernde Wirkung von γ -Strahlen auf Männchen des Lärchenwicklers *Zeiraphera diniana* (Lepidoptera; Tortricidae)

Als charakteristisch für die Wirkung ionisierender Strahlen auf die Lebensdauer von Organismen wird die Dosis herausgestellt, welche die Lebensdauer auf die Hälfte reduziert. Sie liegt bei Imagines verschiedener Insekten zwischen 10 und 100 kR¹⁻³. Für *Drosophila* wurde ein starker Unterschied der Strahlenempfindlichkeit der Geschlechter festgestellt, wobei sich die Weibchen als bedeutend resistenter erwiesen^{4,5}. Die strahlen-induzierte Lebensverkürzung wurde von BAXTER und TUTTLE⁶ als dosisproportional beschrieben, doch fanden GOWEN und STADLER Dosen unter 12,5 kR als wirkungslos bei Weibchen⁷ und 2,5–10 kR als geringfügig lebensverlängernd bei den Männchen⁸. Bei Weibchen wurde mit 40 kR eine gegenüber unbehandelten Tieren signifikante Erhöhung der mittleren Überlebenszeit festgestellt⁵. Dieses Ergebnis wurde von NÖTHEL⁹ für Dosen zwischen 6 und 42 kR bestätigt. Die Lebensdauer der Männchen wurde in seinen Stämmen durch alle Strahlendosen nur reduziert.

Frühere Untersuchungen wurden vor allem an Blattodea, Diptera, Hymenoptera und Coleoptera durchgeführt. Die vorliegenden Untersuchungen beziehen sich auf eine Lepidoptere, beschränken sich aber auf Männchen, denen Weibchen beigegeben waren.

Die Lärchenwickler wurden als Raupen des 2. Stadiums im Freiland (Tweng, Österreich) gesammelt und im Entomologischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich, einzeln in Pillengläsern bei 20 °C bis zur Verpuppung weitergezüchtet. Die Puppen wurden nach Geschlechtern sortiert. Einen Tag vor dem Schlüpfen der Falter verfärbten sich die Puppen dunkel. Für die Bestrahlungsversuche wurden nur dunkel verfärbte Männchen-Puppen oder, für sehr hohe Dosen, bereits geschlüpfte Männchen verwendet.

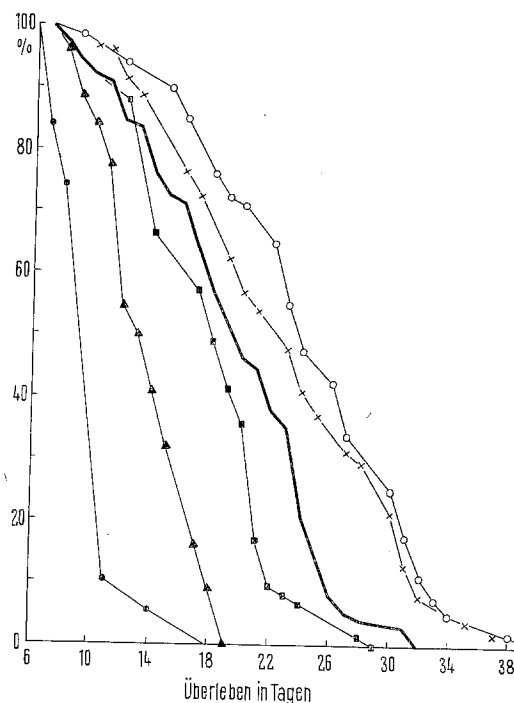
Die Bestrahlung erfolgte in einer ⁶⁰Co γ -Strahlenquelle, die 10 kR/min lieferte. Vorversuche mit Röntgenstrahlen (100 keV, 1 mm Be-Eigenfilter, 1,7 mm Aluminium) ergaben schlechte Resultate, da die relativ weichen Strahlen zu stark in der Epidermis der ungeschlüpfen Falter absorbiert wurden. Bereits bei 20 kR wurden die Puppen so stark geschädigt, dass von den Faltern ein grosser Teil mit verkrüppelten Flügeln schlüpfte. Bei 40 kR konnten keine normal geformten Falter mehr erhalten werden. Aus diesem Grunde wurden die harten Strahlen der ⁶⁰Co-Quelle vorgezogen.

Zur Bestrahlung wurden die Puppen in Polystyrenbecher verbracht, die in ihrem Zentrum einen Tubus mit gekühltem Alkohol (0 °C) und auf dem Boden eine 20 mm

tiefe Watteschicht enthielten. Das Alkoholgefäss diente zur Abkühlung der Luft im Becher, da die Temperatur in der Strahlungsquelle auf 38 °C stieg. Die Puppen wurden in 10 mm Entfernung rings um den Kühltubus angeordnet.

Für eine Dosis von 10 kR wurde der Becher für genau 1 min eingesenkt, für 20, 40 und 60 kR zweimal, viermal resp. sechsmal je 1 min. Hingegen wurden 80 und 100 kR erreicht, indem die Becher zweimal für 4 min resp. 5 min in die Quelle eingesenkt wurden. Mit 100 kR wurden nur geschlüpfte Falter behandelt. Diese wurden ohne Kühlung direkt in ihren individuellen Zuchtgefässen bestrahlt.

Die bestrahlten Puppen wurden bis zum Schlüpfen der Falter einzeln in Glastuben weitergezüchtet. Die geschlüpfen Männchen wurden dann mit normalen Weibchen einzelpaarweise in Plastikdosen (18 × 18 × 8 cm) ver-



Überlebenskurven von unbestrahlten (fette Linie ohne Zeichen) und mit verschiedenen hohen Strahlendosen behandelten Männchen von *Z. diniana*. ×, 20 kR; ○, 40 kR; ■, 60 kR; ▲, 80 kR; ●, 100 kR.

Tabelle I. Mittlere Lebensdauer und Kopulationsrate nach Bestrahlung mit verschiedenen Dosen

Dosis kR	Nr.	Lebensdauer in Tagen	Differenz zu Kontrollen	Signifikanz P	Kopulierende Männchen (%)	Spermatophoren/♂
0	72	19,62 ± 0,70	—	—	72,1	0,90
10	20	20,82 ± 0,68	1,20	> 0,05	85,0	0,85
20	51	23,13 ± 1,10	3,51	< 0,01	70,6	0,78
40	80	24,54 ± 0,79	4,92	< 0,001	60,0	0,75
60	75	17,93 ± 0,56	—1,69	> 0,05	53,5	0,54
80	44	13,61 ± 0,56	—6,01	< 0,001	10,7	0,11
100	19	10,58 ± 0,59	—9,04	< 0,001	0	0

Die Kopulationsrate wird durch den Prozentsatz der Spermatophoren übertragenden Männchen (= % kopulierende Männchen) und die je Männchen übertragene Zahl der Spermatophoren ausgedrückt.

Tabelle II. Lebensdauer (in Tagen) unbestrahlter und bestrahlter Männchen, die keine, eine oder mehr Spermatophoren übertragen haben

Dosis kR	Keine Spermatophoren		Eine Spermatophore		2-3 Spermatophoren	
	Nr.	Lebensdauer	Nr.	Lebensdauer	Nr.	Lebensdauer
0	20	16,15 ± 1,50	41	20,88 ± 0,83	11	21,27 ± 1,26
20	15	17,73 ± 1,57	32	24,94 ± 1,37	4	29,00 ± 1,73
40	32	23,47 ± 1,33	37	25,89 ± 1,03	11	23,09 ± 2,48

bracht. Die Einrichtung dieser Dosen und die Zuchtbedingungen sind früher beschrieben worden¹⁰.

Falter, die höchstens 24 h vor dem Schlüpfen aus der Puppe bestrahlt wurden, zeigten bis zu einer Dosis von 40 kR keine äusserlich sichtbaren Defekte. Bei 60 kR gab es einige, bei 80 kR viele defekte Falter.

Die Lebensdauer der äusserlich normalen Männchen-Falter ergab, je nach Bestrahlungsdosis, verschiedene Durchschnittswerte (Tabelle I). Bestrahlung mit einer Dosis von 10 kR hatte keinen Einfluss auf die mittlere Lebensdauer. Dagegen wirkten Strahlendosen von 20 und 40 kR, statistisch gut gesichert, lebensverlängernd. Höhere Strahlendosen als 60 kR wirkten hingegen lebensverkürzend. Offenbar treten bei diesen Dosen Strahlungsschäden auf, die eine allfällig positive Wirkung der Strahlen überdecken. Die Überlebenskurven der Falter sind in der Figur dargestellt.

Die lebensverlängernde Wirkung selbst relativ hoher Strahlendosen ist schwierig zu interpretieren. Nach NÖTHEL⁹ wird die Lebensdauer von *Drosophila*-Weibchen verlängert, sobald durch die Bestrahlung die Fekundität sehr stark reduziert wird. Die Lebensdauer ist maximal bei der niedrigsten Dosis, die die Tiere vollständig sterilisiert. Wie die Tabelle I zeigt, wird durch Bestrahlung die Kopulationsrate der *Zeiraphera*-Männchen reduziert. Man könnte sich deshalb vorstellen, dass die mit 20 und 40 kR bestrahlten Männchen als Folge der reduzierten Spermatophorenproduktion grössere Energiereserven besitzen und deshalb länger leben. Dagegen spricht aber der Umstand, dass die Männchen nach 20 kR länger leben, obwohl der Prozentsatz der erfolgreich kopulationsfähigen Männchen praktisch noch gleich hoch ist wie bei den Kontrolltieren.

Noch eindeutiger gegen die Hypothese der Energieeinsparung sprechen die Werte der Tabelle II. Männchen, die eine oder mehr Spermatophoren übertragen haben, leben nach Bestrahlung mit 20 kR signifikant länger als unbestrahlte Falter. Dasselbe gilt für die Männchen, die keine oder eine Spermatophore übertragen haben, nach Bestrahlung mit 40 kR. Ein allfälliger Einwand, dass die bestrahlten Männchen zwar Spermatophoren, aber keine Spermien abgeben, dürfte kaum stichhaltig sein, da mit 20 kR bestrahlte Männchen in ihren Spermatophoren noch praktisch normal befruchtungsfähige Spermatozoen in die Weibchen übertragen (Besamungsrate gegenüber Eiern unbestrahlter Tiere um 21% reduziert).

Zur Erklärung der lebensverlängernden Wirkung von γ -Strahlen auf Männchen von *Zeiraphera* könnte man sich ferner vorstellen, dass die Strahlen in den Insekten vorhandene Krankheitserreger abtöten, bevor grössere Strahlungsschäden im Insekt selber auftreten. Die Werte der Kontrolltiere in Tabelle II lassen aber vermuten, dass Männchen, die 2-3 Spermatophoren übertragen, sehr gesunde Tiere seien, da sie besonders lang leben. Aufgrund der Tatsache, dass einige Männchen keine Spermato-

phoren übertragen und zudem eine signifikant geringere Lebenserwartung haben, müsste diese Kategorie der Männchen als krank bezeichnet werden. Durch Bestrahlung mit 20 kR wird jedoch nur die Lebenserwartung der «gesunden», nicht aber diejenige der «kranken» Männchen erhöht.

Ebensowenig befriedigt die Hypothese einer strahlen-induzierten Verlangsamung physiologischer Prozesse als Ursache der Lebensverlängerung^{1,11}, es sei denn, man verstehe unter diesen Prozessen nur Alterungsprozesse. Jedenfalls wird die Lebenserwartung jener Falter am stärksten erhöht, die auch nach der Bestrahlung eine normale Kopulationspotenz aufweisen.

Am wahrscheinlichsten erscheint demnach die Hypothese, dass in Männchen von *Z. diniana* Strahlendosen von 20-40 kR infolge einer Stresswirkung gewisse Regenerationsprozesse stimulieren, wie dies von CORK¹ für chronische Bestrahlung mit niedrigen Dosen diskutiert wurde. Solche Prozesse sind bei Säugetieren nachgewiesen worden, z.B. eine Aktivitätssteigerung der RNA-Polymerase in Leberkernen nach Ganzkörperbestrahlung^{12,13}.

Summary. Males of the larch bud moth *Zeiraphera diniana* live longer when irradiated with 20-40 kR of ⁶⁰Co γ -rays than non-irradiated males. The prolongation of life in the irradiated males is probably neither a consequence of reduced fertility nor due to a hygienic effect, i.e. destruction of parasitic microorganisms. It seems probable that irradiation with the above mentioned doses stimulates certain regenerative processes.

G. BENZ

Entomologisches Institut, Eidg. Technische Hochschule, CH-8006 Zürich (Schweiz), 16. Juli 1970.

¹ J. M. CORK, Radiat. Res. 7, 551 (1957).

² D. R. A. WHARTON und M. L. WHARTON, Radiat. Res. 11, 600 (1959).

³ A. M. CLARK, Radiat. Res. 15, 515 (1961).

⁴ P. T. IVES, R. S. HEILMAN und H. H. PLOUGH, Genetics 40, 577 (1955).

⁵ V. BOCHNIG, H. LÜERS und G. WINTERFELD, Zool. Beitr. N.F. 5, 367 (1960).

⁶ R. C. BAXTER und L. W. TUTTLE, Radiat. Res. 7, 303 (1957).

⁷ J. W. GOWEN und J. STADLER, Genetics 37, 586 (1952).

⁸ J. W. GOWEN und J. STADLER, Anat. Res. 117, 81 (1951).

⁹ H. NÖTHEL, Strahlentherapie 126, 269 (1965).

¹⁰ G. BENZ, J. Insect Physiol. 15, 55 (1969).

¹¹ D. S. GROSCH, J. econ. Entomol. 49, 629 (1956).

¹² S. OMOTA, S. ICHII und N. YAGO, J. Biochem. Tokyo 63, 695 (1968).

¹³ M. B. YATVIN, Experientia 26, 490 (1970).