

**Wirkung ionisierender Strahlen auf Atmungsenzyme  
und Redoxysteme keimender Gerstensamen**

A. AMBERGER, H. BULAT u. A. SÜß

Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz, München  
Landesanstalt für Samenkunde u. Samenprüfung. Stuttgart-Hohenheim

Estratto dagli Atti

dell'*VIII* Simposio Internazionale di Agrochimica  
su « *L'energia nucleare in agricoltura* »

Venezia, Isola di S. Giorgio Maggiore - 3-7 Maggio 1971

## Wirkung ionisierender Strahlen auf Atmungsenzyme und Redoxsysteme keimender Gerstensamen

A. AMBERGER, H. BULAT u. A. SÜß

Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz, München  
Landesanstalt für Samenkunde u. Samenprüfung. Stuttgart-Hohenheim

Atmungssysteme und Redoxsysteme sind empfindliche Indikatoren für die Funktionsfähigkeit biologischer Systeme und können in der lebenden Zelle schon durch eine geringe Strahlendosis in ihrer Wirkung erheblich beeinflußt werden<sup>11)</sup>. MAGDON<sup>18)</sup>, GIACOMELLI M. u. CERVIGNI T.<sup>19)</sup> berichten, daß in mehrere Wochen bestrahlten *Vicia sativa*-Pflanzen die Peroxydaseaktivität sowie Ascorbinsäure (AS)- und Dehydroascorbinsäure (DAS)-Gehalt stark verändert waren. Sulfhydrylhaltige Enzyme können durch Bestrahlung leicht inaktiviert werden (BARRON u. MITARB<sup>2)</sup>), ferner wird die DNS-Synthese und damit der Prozess der Zellteilung stark gehemmt.

Unter dem Einfluß ionisierender Strahlen werden primär Oxydationsvorgänge ausgelöst, die zur Ionisation des Wassers sowie zur Bildung sehr reaktionsfähiger freier Radikale OH u. HO<sub>2</sub>, sowie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und atomarem Sauerstoff<sup>23)</sup> führen. Durch Einwirkung solcher Oxydantien werden an den Doppelbindungen ungesättigter Fettsäuren Lipidperoxide gebildet, die sehr toxisch sind und die biologisch wichtigen Sulfhydrylgruppen der Zellen oxydieren. W. SCHEID<sup>21)</sup> glaubt nach einer Bestrahlung mit 1100 R in Weizenkeimextrakten solche Peroxide nachgewiesen zu haben. SH-gruppenhaltige Redoxkörper bzw. SH-haltige Enzyme können durch Bestrahlung irreversibel oxidiert bzw. Wasserstoffbrücken gesprengt werden, die die Doppelstranghelix der beiden Polynukleotidketten zwischen den Basen stabilisieren.

Den freien Thiolen kommt durch Konkurrenz mit solchen Radikalen bzw. Oxydationsprodukten eine Schutzwirkung im Zellstoffwechsel zu. Die Inaktivierung von Atmungsenzymen ist

weniger als eine direkte Strahlenschädigung zu betrachten, sondern wird sekundär durch Einwirkung reaktionsfähiger Radikale auf strahlensensitive SH-Gruppen bzw. schwermetallhaltige Enzyme oder Redoxsysteme ausgelöst. Enzyme, die den Wasserstoff direkt auf den Sauerstoff der Luft übertragen, sind für diese Vorgänge von besonderer Bedeutung; die Strahlenschäden sind umso größer, je höher der Sauerstoffdruck in den Zellgeweben ist.

In den folgenden Versuchen und Untersuchungen haben wir daher den Einfluß einer einmaligen Bestrahlung von Gerstensaamen auf die Aktivität der Peroxid-spaltenden Enzyme Katalase und Peroxydase sowie der Phenolase geprüft und die Veränderungen an freien Sulfhydrylgruppen, reduzierter und oxydierter Ascorbinsäure sowie der dazugehörigen Ascorbinsäureoxydase (ASO) untersucht. Im Tetrazolium-Test wurde später die Aktivität der Dehydrasen bzw. die Keimpotenz und Triebkraft der bestrahlten Samen geprüft.

VERSUCHSANSTELLUNG UND METHODIK. — Sorgfältig ausgelesenes Gerstensaatgut (Sorte Union) wurde 5 Minuten in 0.1%iger Formalinlösung gebeizt, getrocknet, in Polyäthylenbeutel eingeschweißt und anschließend einer Cs<sup>137</sup>-Quelle (Dosisleistung 72.4 R/Minute) ausgesetzt. Die Bestrahlung betrug in den ersten Versuchen 0 - 10 - 100 R und wurde später auf 500-1000 und 10 000 R erhöht. Nach der Bestrahlung werden je 100 Körner in Quarzsand mit 6 Parallelen je Versuchsgruppe ausgelegt und in der Klimakammer bei 10°C und 70% relativer Luftfeuchtigkeit gehalten. Die Untersuchungen wurden nach 3, 6 und 10 Tagen bei einer Keimlingslänge von 0.2-0.5 und 2 cm durchgeführt. Hinsichtlich der Aufbereitung des Samenmaterials darf auf vorausgegangene Arbeiten hingewiesen werden (AMBERGER u. Mitarbeiter <sup>1a)</sup> u. <sup>1b)</sup>).

Die ermittelten Werte wurden auf die biologische Einheit (10 Körner) bezogen. Die ASO wurde im Warburg-Apparat manometrisch, die Peroxydase nach PURR <sup>19)</sup>, die Katalase nach FEINSTEIN <sup>8)</sup> und die Phenoloxidasen nach DAWSON (s. <sup>1c)</sup>) bestimmt.

Die SH-Gruppen wurden nach der von GRUNERT u. PHILLIPS <sup>12)</sup> durch Extraktion mit Sulfosalicylsäure und Messung des mit Nitroprussidnatrium entstandenen Farbkomplexes im Spektralphotometer bei 520 nm ermittelt. Die Bestimmung der Ascorbinsäure bzw. Dehydroascorbinsäure erfolgte nach W. FRANKE <sup>9)</sup>.

I. *Atmungsenzyme und Redoxsysteme während der Keimung.* — Mit der Aufnahme von Wasser setzt der Vorgang der *Keimung* ein, damit geht das Samenkorn vom Ruhezustand in

eine Phase höchster Stoffwechselaktivität über. Es erfolgt eine rasche Mobilisierung von ungelösten, hochpolymeren Speicherstoffen mit Hilfe von Enzymen, die im ruhenden Korn teils in inhibitiertem Zustand vorliegen, teils während der Keimung erst neu gebildet werden.

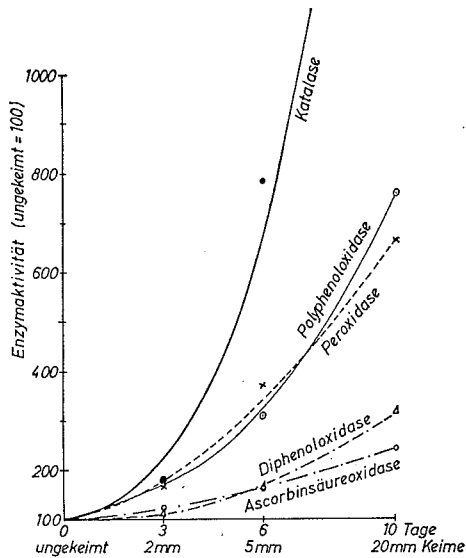


ABB. 1. — Enzymaktivität im Verlaufe der Keimung.

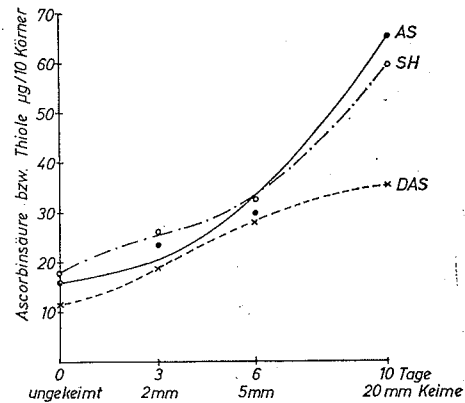


ABB. 2. — System Glutathion - Ascorbinsäure während der Keimung.

Die untersuchten Enzyme (Abb. 1) weisen in ungekeimtem Zustand eine geringe, oft kaum meßbare Aktivität auf. 3-10 Tage nach der Keimung steigt die Aktivität oft um mehrere hundert Prozent, im Falle der Katalase sogar um nahezu 2000 % an. Katalaseaktivität und Keimkraft bzw. hohe Stoffwechselaktivität sind eng korreliert (W. RUHLAND<sup>20</sup>). Das aus der Tätigkeit aerober Dehydrogenasen bei der Keimung entstehende Wasserstoffperoxid wird mit Hilfe von Peroxydase bzw. Katalase gespalten.

Phenole unterschiedlicher Art werden durch Di- u. Polyphenoloxidasen oxydiert. JAMES u. MITARBEITER (1954) haben in Gerstenwurzeln ein Atmungssystem nachgewiesen, in dem der Substratwasserstoff durch eine Dehydrogenase auf NADP<sup>+</sup> und von dort durch die Glutathionreduktase auf das oxydierte Glutathion übertragen wird. Die DAS übernimmt den Wasserstoff und wird zu AS reduziert. Durch die ASO erfolgt schließlich die Endoxydation des Wasserstoffs am Sauerstoff der Luft.

Das Tripeptid Glutathion macht den weitaus größten Teil der löslichen SH-gruppenhaltigen Konstituenten aus<sup>14</sup>). In ungekeimten Samen wurden 18 µg SH/10 Körner, das sind etwa 180 µg

Glutathion gefunden; bis zum 10. Tage steigt der Gehalt auf mehr als das 3-fache an (Abb. 2). Im ruhenden Korn ist der Gehalt an AS etwas höher als an DAS; jener steigt im Verlaufe der Keimung wesentlich stärker an.

2. *Wirkung einer einmaligen Bestrahlung auf Atmungsenzyme und Redoxsysteme.* — Atmungsenzyme und Redoxsysteme sind für den Vorgang Keimung außerordentlich wichtig, zeigen aber eine hohe Empfindlichkeit gegenüber ionisierenden Strahlen.

TAB. I. — *Wirkung einer einmaligen Bestrahlung auf die Enzymaktivität des ruhenden Kornes (unbestrahlte Kontrolle = 100).*

Strahlendosis R	Enzymaktivitäten				
	Ascorbinsäureoxydase	Katalase	Peroxydase	Diphenoloxydase	Polyphenoloxydase
I	79	74	76	81	96
10	62	69	50	69	80
100	36	50	33	60	69

Eine einmalige Bestrahlung des ruhenden Kornes führte zu einer teilweise erheblichen Beeinträchtigung der Enzymaktivitäten (Tab. I). Die höchste Strahlendosis verringerte die Aktivität von ASO und Peroxydase um  $\frac{2}{3}$ , die der Katalase um die Hälfte; am wenigsten wurden die Phenoloxidasen beeinflusst (Abfall ca.  $\frac{1}{3}$ ).

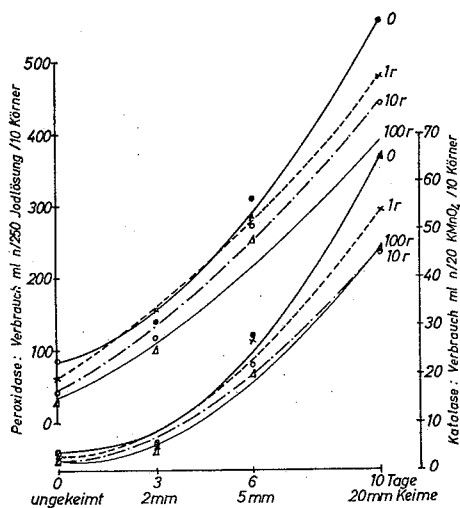


ABB. 3. — *Wirkung einer Bestrahlung auf Peroxydase und Katalase.*

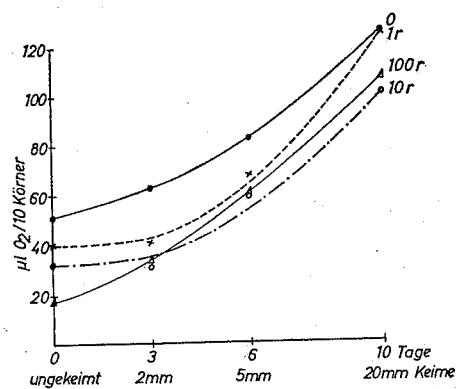


ABB. 4. — *Wirkung einer Bestrahlung auf Ascorbinsäureoxydase.*

Über eine Hemmung der Katalase durch Röntgenstrahlen haben ENGLISH<sup>7)</sup> sowie DALE u. RUSSEL<sup>5)</sup> berichtet. Die durch den Bestrahlungsvorgang stark gesenkte Peroxydase- und Katalase-Aktivität (Abb. 3) wird im Verlaufe des Keimungsvorganges — insbesondere bei niedriger Strahlendosis — langsam an den Kontrollwert angeglichen. Bei 100 R, z. Teil auch bei 10 R liegen die Werte nach 10 Tagen aber immerhin noch um ca. 30% niedriger.

Die Ascorbinsäureoxydase (Abb. 4), die durch Bestrahlung des ungekeimten Kornes ähnlich stark wie die Peroxydase geschädigt wurde, zeigt nach 6 Tagen eine deutliche Regenerierung; nach 10 Tagen betragen die Unterschiede zur Kontrolle nur mehr 14-20%.

Berechnend für die Phenoloxidasen (Abb. 5) ist, daß die zwar geringe Schädigung von ca. 30% am Ende des Keimversuches noch ziemlich unverändert geblieben ist. Eine Neubildung dieser Enzyme erfolgt offenbar sehr viel langsamer.

TAB. 2. — Wirkung einer einmaligen Bestrahlung auf Redoxsysteme im ruhenden Korn (unbestrahlte Kontrolle = 100).

Strahlendosis R	SH-Gruppen	Ascorbinsäure	Dehydroascorbinsäure
I	70	93	90
10	48	90	79
100	39	86	60

Freie Thiolgruppen erwiesen sich als wesentlich strahlenempfindlicher (Tab. 2) als die DAS; die geringste Beeinflussung zeigt die AS. Ein ähnliches Verhalten wurde in Samen von *Momordica charantia* festgestellt (VYAS u. Mitarbeiter<sup>22)</sup>).

Der durch eine einmalige Bestrahlung von 10 bzw. 100 R verursachte starke Rückgang des Thiolgehaltes schwächt sich im

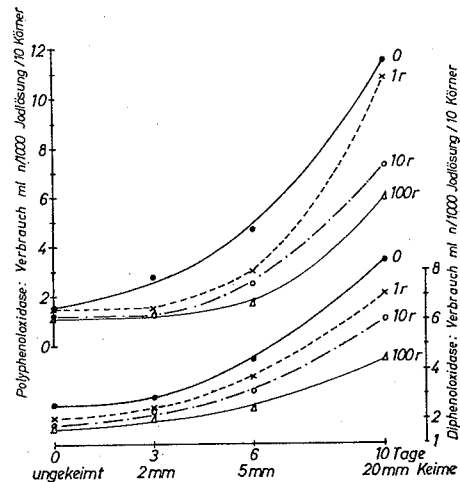


ABB. 5. — Wirkung einer Bestrahlung auf Polyphenoloxydase und Diphenoloxydase.

Verlaufe der Keimung langsam ab (Abb. 6); nach 6 bis 10 Tagen beträgt die Depression aber noch ca. 30%.

Eine geringe Strahlendosis führt schon nach 6 Tagen zu einer weitgehenden Angleichung der AS-Werte an die Kontrolle (Abb. 7); selbst bei höherer Strahlendosis betragen die Unterschiede nach

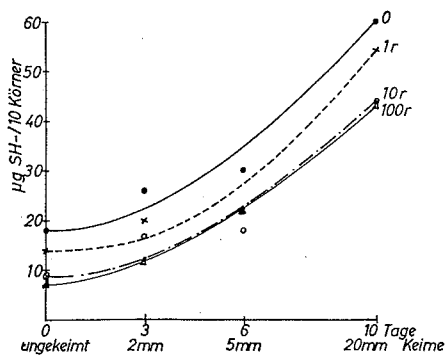


ABB. 6. — Wirkung einer Bestrahlung auf SH-Gruppen.

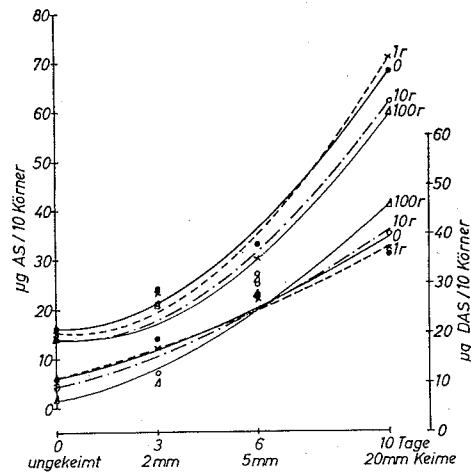


ABB. 7. — Wirkung einer Bestrahlung auf Ascorbinsäure- und Dehydroascorbinsäuregehalt.

10 Tagen nur mehr maximal 10%. Nach 6 Tagen liegen alle DAS-Werte auf gleicher Höhe mit der Kontrollgruppe, später weisen die mit 10 bzw. 100 R bestrahlten Körner sogar um 10-25% mehr DAS auf.

3. Im weiteren interessierte die Frage, ob die durch den Vorgang der Bestrahlung festgestellten Veränderungen von Enzymaktivität und Redoxsystemen sich auf *Keimpotenz u. Triebkraft der Samen* auswirken. Zu diesem Zweck wurden Gerstensamen 1 Tag nach der Bestrahlung nach dem sogenannten topographischen Tetrazoliumverfahren untersucht (BULAT<sup>4</sup>).

Tetrazoliumverbindungen dienen zum Nachweis biochemischer Reduktionsvorgänge, die durch Dehydrasen in Zellen oder Geweben bewirkt werden. 2,3,5-Triphenyl-tetrazoliumchlorid (TTC) dringt in 1%iger Lösung in die Samen bzw. herauspräparierten Embryonen von Getreide ein. Das oxidierte zellfremde TTC (farblos) nimmt den Wasserstoff vom NADH bzw. NADPH auf. Der Tetrazoliumring wird dadurch geöffnet und es entsteht Triphenylformazan, das eine intensiv rote Farbe aufweist:



Diese Reduktion erfolgt nur im neutralen Bereich (ca. pH 6.6); andere reduzierende Stoffe der lebenden Zelle wie Glutathion, Cystein, Ascorbinsäure oder Zucker können Tetrazoliumsalze erst bei pH 9 reduzieren und kommen daher unter unseren Bedingungen nicht in Frage<sup>16)</sup>. Während Keimfähigkeit bzw. Keimenergie im direkten Keimversuch festgestellt bzw. ausgezählt werden, vermittelt das TTC-Verfahren die Keimpotenz, d.h. die potentielle Entwicklungsfähigkeit der Körner. Durch Hitze bzw. andere Einflüsse geschädigte Körner zeigen Nekrosen von unterschiedlichem Ausmaß und verschiedener Lokalisierung am Embryo, bei stärkerer Schädigung auch an der Aleuronschicht.

TAB. 3. — Keimpotenz und Triebkraft nach dem topograph. Tetrazoliumverfahren.

Strahlendosis R	Triebkraft (TTC-Wert) %	Keimpotenz (TTC-Wert) %	Schäden	
<i>Versuch I</i>				
0	97	97	1% ohne Wurzelanlage, 1% ohne Embryo, 1% ungenügend angefärbt	
1	98	98	2% ohne Embryo	
10	96	96	2% ohne Embryo, 2% kleine aber deutliche Nekrosen	
100	99	99		
<i>Versuch II</i>				
0	98	98	} 1-2% embryolose Samen bzw. ungenügend angefärbt	
10	98	98		
100	98	98		
500	98	98		
1000	97	97		3% Randnekrosen
<i>Versuch III</i>				
0	99	99	} 1-2% ungenügend angefärbt	
100	98	98		
1000	98	99		1% mittelgroße Nekrosen
10000	98	98		1% große Nekrosen

Eine Bestrahlung der Gerstensamen in lufttrockenem Zustand mit 1-100 R (Tab. 3) brachte im Versuch I keine Beeinträchtigung von Triebkraft und Keimpotenz; geringe Ausfälle traten auf durch Körner mit beschädigten oder fehlenden Wurzelanlagen des Embryos ohne ursächlichen Zusammenhang mit der Bestrahlung.

Auch in den Versuchen II u. III sind Keimpotenz und Triebkraft bis zu  $10^4$  R unverändert. Bei hoher Dosis sind bis zu 3% Embryo-Nekrosen am Rande des Sprosses und mittelgroße bzw.



große Nekrosen in der Aleuronschicht feststellbar; in diesen Fällen ist also durch Bestrahlung eine gewisse Schädigung eingetreten.

TAB. 4. — Enzymaktivität, Redoxsysteme und Tetrazoliumtest bestrahlter ungekeimter Körner (unbestrahlte Kontrolle = 100).

Untersuchungen	Strahlendosis R		
	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Katalase	86	58	48
Ascorbinsäureoxidase	37	24	9
Thiole	58	37	26
Ascorbinsäure	93	75	73
Dehydroascorbinsäure	92	82	80
TTC-Triebkraft	98	98	98
TTC-Keimwert	98	99	98

In den mit hoher Strahlendosis behandelten Samen ist die Aktivität von Katalase und ASO, sowie der Gehalt an Thiolen stark geschädigt (Tab. 4). Die anderen Enzyme wurden nicht untersucht. AS und DAS wurden nur relativ wenig beeinträchtigt. Während also Atmungsenzyme und Redoxsysteme auf hohe Strahlendosis empfindlich reagieren, haben Keimpotenz und Triebkraft der Samen kaum gelitten. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit den Arbeiten von LINDEMANN<sup>17)</sup>, wonach bestrahlte (50.000 R) *E. coli*-Zellen keine Veränderungen in der Tetrazolium-Reaktion gezeigt haben. Die Wasserstoffübertragung durch Dehydrasen wird offenbar durch energiereiche Strahlen nicht beeinflußt.

DISKUSSION. — Damit biochemische bzw. physiologische Untersuchungen im Verlaufe des Keimprozesses untereinander vergleichbar sind, ist es wichtig, daß alle Ergebnisse auf die gleiche Basis bezogen werden wegen des sehr unterschiedlichen Wassergehaltes der Samen im Verlaufe der Keimung. Die Bezugsgröße Frisch- bzw. Trockensubstanz kann zu erheblichen Interpretationsfehlern führen; der Bezug auf die biologische Einheit Samenkorn bietet sich daher an. Die Untersuchungen von L. EHRENBURG<sup>6)</sup> haben ferner gezeigt, daß das Samenkorn zum Zeitpunkt der Wasseraufnahme gegen eine hohe Strahlendosis empfindlicher

ist und daß tiefe Temperaturen nach der Bestrahlung, während der Keimung das Ausmaß der Strahlenwirkung verstärken. Nach BIEBL u. PAPE<sup>3)</sup> ist ein ganz bestimmtes Stadium im Keimverlauf gegenüber Röntgenstrahlen besonders empfindlich. Da Peroxydase und Phenolasen aber den Auxingehalt bzw. das Längenwachstum der Keimpflanzen kontrollieren durch Oxidation der Indolessigsäure, könnte eine gehemmte Peroxydase- bzw. Phenolaseaktivität die durch kleine Strahlendosen induzierte Steigerung des Anfangswachstums (1 b) erklären. Die genannten Versuche von L. EHRENBERG haben auch gezeigt, daß  $\alpha$ -Amylase und Auxinbildung durch die Bestrahlung beeinträchtigt werden, lange bevor biologische Veränderungen makroskopisch festgestellt werden konnten.

## LITERATUR

- 1<sup>a)</sup> AMBERGER A. u. M. EL-FOULY: *Z. f. Pflanzenern., Dgg. u. Bk.*, 105, 37 (1964) u. 106, 218 (1964)
- 1<sup>b)</sup> AMBERGER A. u. A. SÜß: *Atompraxis*, 14, H. 7 (1968).
- 1<sup>c)</sup> AMBERGER A.: *Qual. Plant.*, 7, 249 (1960).
- 2) BARRON E. S. G. u. MITARB.: *J. Gen. Physiol.*, 32, 595 (1949) u. 32, 537 (1949); *Arch. of Biochem. a. Biophysics*, 41, 203 (1952).
- 3) BIEBL R. u. PAPE R.: *Österr. Bot. Z.*, 98, 361 (1951).
- 4) BULAT H.: *Proc. Int. Seed Test. Ass.*, 26, 685 (1961).
- 5) DALE W. M. u. RUSSEL C.: *Biochem. J.*, 62, 60 (1956).
- 6) EHRENBERG L.: *Svensk Kem. Tidskr.*, 67, 5 (1955).
- 7) ENGLISH J. A.: *Amer. J. Physiol.*, 183, 463 (1955).
- 8) FEINSTEIN R. M.: *J. biol. Chem.*, 180, 1197 (1949).
- 9) FRANKE W.: in RUHLAND W. - Handbuch der Pflanzenphysiologie Bd. XII/1, 401, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg (1960).
- 10) GIACOMELLI U. u. CERVIGNI T.: *Radiation Botany*, 4, 395 (1964).
- 11) GILLET C.: *Radiation Botany*, 3, 155 (1963).
- 12) GRUNERT R. R. u. PHILLIPS P. H.: *Arch. Biochem.*, 30, 217 (1951).
- 13) HANSL N. R.: *Öst. Akad. Wiss. math.-nat. Abtlg. I*, 164, 25 (1955).
- 14) HOPKINS F. G. u. MORGAN F. E.: *Nature* (London), 152, 288 (1943).
- 15) JAMES O.: *Endeavour*, Juli (1954), S. 155.
- 16) KUHN R. u. JERCHER D.: *Berichte d. Dtsch. Chem. Ges.*, 74, 941 (1941).
- 17) LINDEMANN J.: *Schweiz. Z. allg. Path. u. Bakter.*, 17, 498 (1954).
- 18) MAGDON E.: *Radiation Botany*, 4, 71 (1964).
- 19) PURR A.: *Biochem. Z.*, 321, 1 (1950).
- 20) RUHLAND W.: Handbuch der Pflanzenphysiologie Bd. XII, Teil 1, S. 383, Springer-Verlag, Berlin (1960).
- 21) SCHEID W.: Dissertation « Untersuchungen über die Wirkung einer Saatgutbestrahlung mit niedrigen Röntgendosen auf die Keimung und den Stoffwechsel von Getreide », TH Braunschweig (1965).
- 22) VYAS D. N., THANKI R. J., PATEL K. C. u. PATEL R. D.: *Naturwissenschaften*, 52, 345 (1965).
- 23) WEISS J.: *Brit. J. Radiology*, Suppl. 1, 56 (1947).

ZUSAMMENFASSUNG. — Atmungsstoffwechsel und Atmungsenzyme sind empfindliche Indikatoren für den Funktionszustand biologischer Einheiten. Gerstenkörner wurden einer Caesiumquelle (Dosisleistung 72.4 R/min)

ausgesetzt und mit einer Dosis von  $1 - 10 - 10^2 - 10^3 - 10^4$  R bestrahlt. Die bestrahlten Körner wurden anschließend in einer Klimakammer bei  $10^\circ\text{C}$  und 70% relativer Luftfeuchtigkeit zum Keimen ausgelegt und in Zeitabständen bis zu 10 Tagen untersucht.

Katalase, Peroxydase und Ascorbinsäureoxydase waren insbesondere bei der ersten Untersuchung sehr stark erniedrigt; etwas geringer war die Wirkung auf die Aktivität der Phenoloxidasen. Im Verlaufe von 10 Tagen wurden die Aktivitätsunterschiede zwischen den behandelten Körnern und den Kontrollen zunehmend geringer. Eine Bestrahlung mit geringer Dosis führte schon nach kurzer Zeit zu einer gewissen Aktivitätserhöhung.

In dem System Glutathion/Ascorbinsäure wurden Thiole und Dehydroascorbinsäure durch Bestrahlung stärker beeinträchtigt als Ascorbinsäure; doch setzte im ersteren Falle auch eine frühere Regeneration ein.

Eine Prüfung der bestrahlten Körner auf Keimschädigung bzw. Keimpotenz mit dem Tetrazoliumtest ergab, daß nur bei der höchsten Strahlendosis vereinzelt Nekrosen an der Aleuronschicht der Samen festzustellen waren; die Keimpotenz blieb jedoch unverändert.

RÉSUMÉ — Graines d'orge étaient traitées aux rayons d'une source de caesium avec 0-1-10-100 r respective 0-500-1000-10.000 r. Puis l'activité de quelques enzymes de respiration et systèmes de redox étaient examinés d'une intervalle de 0-3-6-10 jours, aussi l'énergie germinative et la faculté germinativ étaient examinées.

Pendant la germination l'activité de l'oxydase d'acide ascorbique peroxydase et particulier le catalase montent très forte; aussi la formation des thioles libres, et l'acid ascorbique et l'acid dehydroascorbique est très forte.

A une irradiation jusqu'à 100 r l'activité d'acide ascorbique et peroxydase est diminué à  $2/3$  de l'activité originale, la catalase à moitié; phenoloxydase est arrêté plus moins. Dans les jours suivant les enzymes et systèmes de redox regenerent lentement mais ne pas entièrement.

Les dehydrogenases (test de tetrazolium) n'était pas influencés; le faculté germinativ et l'énergie germinativ persistent ainsi dans le graines d'orge, quand ils étaient exposées d'une grande dose de radiation.

SUMMARY — Barley seeds were exposed to  $\text{Cs}^{137}$ -irradiation of 0 - 1 - 10 - 100 R resp. 0 - 500 - 1000 - 10,000 R. The activity of different respiration-enzyme and redoxsystems was determined after 0 - 3 - 6 - 10 days and the germinating power destinated.

During germinating phase activity of ascorbatoxidase, peroxidase, di- and polyphenoloxidase and especially catalase arised strongly; the free thiols als well as ascorbic and dehydroascorbic acid increased very much.

By irradiation up to 100 R activity of ascorbatoxidase and peroxidase decreased by  $2/3$ , of catalase by half; phenoloxidase were less inhibited. During the following ten days a slow but not complete regeneration of enzymes and redoxsystems took place. Dehydrogenases were apparently not influenced by irradiation; consequently germinating power of irradiated seeds remained unaffected even by high dosis.

RESUMEN — Semillas de cebada han sido expuestas a rayos radioactivos ( $Cs^{137}$ ) y radiadas con dosis de  $0-10-10^2-10^3-10^4$  Röntgen (r). Después han sido examinados la actividad de algunas encimas de recambio respiratorio y sistemas de reducción-oxidación en los intervalos de 0-3-6-10 días y ha sido constatada la facultad y la fuerza germinativa.

Durante la germinación la actividad de las encimas oxidantes del ácido ascórbico, de peróxido, de los di- y polifenoles, pero de manera especial la de la catalasa aumenta mucho; de igual manera aumentan mucho la formación de thiole libres, ácido ascórbico y ácido dihidroascórbico.

Mediante una irradiación hasta de 100 r la actividad de la oxidasa del ácido ascórbico y de la peroxidasa disminuye de un  $2/3$ , de la catalasa de un medio; las oxidasas fénicas menos ( $1/3$ ). Durante los 10 días siguientes inicia una incompleta regeneración de las encimas y de los sistemas de la oxidación-reducción. Dehidrogenasas, examinadas con método tetrazolio, no se ven evidentemente influenciadas por las irradiaciones; de ahí que facultad y fuerza germinativa no se encuentren influenciadas después de una irradiación de semillas secadas al aire efectuada con dosis relevantes.

RIASSUNTO — Semi d'orzo sono stati irradiati ( $Cs^{137}$ ) con dosi di  $1-10-10^2-10^3-10^4$ -R.

L'attività di alcuni enzimi respiratori e del sistema di ossi-riduzione è stata esaminata negli intervalli da 0-3-6-10 giorni parallelamente al potere germinativo.

Durante la germinazione l'attività degli enzimi ossidanti l'acido ascorbico, i perossidi e i di- e polifenoli aumenta fortemente insieme all'attività catalasica.

Si nota un forte aumento anche dei tioli liberi e dell'acido ascorbico e deidroascorbico.

L'irradiazione fino a 100 R diminuisce l'attività della ascorbico-ossidasi e della perossidasi di  $2/3$ , della catalasi della metà e delle fenol-ossidasi solo di  $1/3$ .

Nei 10 giorni seguenti incomincia una lenta ed incompleta rigenerazione degli enzimi e dei sistemi ossi-riduttivi. Le deidrogenasi, esaminate col metodo del tetrazolio, non risultano influenzate dall'irradiazione eseguita sui semi così come il potere germinativo.