

# ENCYCLOPEDIA OF PLANT PHYSIOLOGY

EDITED BY  
W. RUHLAND

COEDITORS  
E. ASHBY · J. BONNER · M. GEIGER-HUBER · W. O. JAMES  
A. LANG · D. MÜLLER · M. G. STÄLFELT

VOLUME IX  
THE METABOLISM OF SULFUR- AND  
PHOSPHORUS-CONTAINING COMPOUNDS

CONTRIBUTORS  
H. G. ALBAUM · B. AXELROD · R. S. BANDURSKI · TH. BERSIN · K. HASSE · A. KJÆR  
J. A. LOVERN · B. J. D. MEEUSE · J. R. P. O'BRIEN · W. SCHWARTZ · P. SCHWARZE  
TE MAY CHING · M. D. THOMAS · W. W. UMBREIT · J. M. WIAME

SUBEDITOR  
P. SCHWARZE

WITH 30 FIGURES



Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH  
1958

# HANDBUCH DER PFLANZENPHYSIOLOGIE

HERAUSGEGEBEN VON  
W. RUHLAND

IN GEMEINSCHAFT MIT  
E. ASHBY · J. BONNER · M. GEIGER-HUBER · W. O. JAMES  
A. LANG · D. MÜLLER · M. G. STÄLFELT

## BAND IX DER STOFFWECHSEL DER SCHWEFEL- UND PHOSPHORHALTIGEN VERBINDUNGEN

BEARBEITET VON  
H. G. ALBAUM · B. AXELROD · R. S. BANDURSKI · TH. BERSIN · K. HASSE · A. KJÆR  
J. A. LOVERN · B. J. D. MEEUSE · J. R. P. O'BRIEN · W. SCHWARTZ · P. SCHWARZE  
TE MAY CHING · M. D. THOMAS · W. W. UMBREIT · J. M. WIAME

REDIGIERT VON  
P. SCHWARZE

MIT 30 ABBILDUNGEN



Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH  
1958

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses  
Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)  
zu vervielfältigen

ISBN 978-3-662-21768-9      ISBN 978-3-662-21766-5 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-21766-5

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1958  
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag oHG, Berlin · Göttingen · Heidelberg 1958.  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1958

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in  
diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme,  
daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung  
als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

# Inhaltsverzeichnis. — Contents.

## I. Einführende Bemerkungen.

Von Dr. P. SCHWARZE . . . . .	Seite 1
-------------------------------	------------

## II. Der Stoffwechsel der S-haltigen Verbindungen.

<b>A. Übersicht.</b> Von Dr. P. SCHWARZE . . . . .	2
Am Stoffwechsel beteiligte S-haltige Verbindungen S. 3. — Die Assimilation des Schwefels S. 5. — „Sekundäre“ Schwefelverbindungen S. 6. — Die Schwefelspezialisten unter den Mikroorganismen S. 9. — Der Schwefelkreislauf S. 11.	
Literatur . . . . .	13
<b>B. Der Anteil der S-haltigen Verbindungen am Stoffwechsel.</b> Von Professor Dr. TH. BERSIN	16
I. Einleitung . . . . .	16
II. Thiolgruppen und Enzymaktivität . . . . .	17
A. Thiolgruppen in den katalytischen Proteinen von Hydrolasen . . . . .	19
a) Urease . . . . .	19
b) Bakterielle Thiolproteasen . . . . .	20
c) Papain . . . . .	21
d) Thiaminasen . . . . .	22
B. Thiolgruppen in den katalytischen Proteinen der Redoxasen . . . . .	24
a) Flavinenzyme . . . . .	24
b) Pyridinenzyme . . . . .	24
c) Pyridoxalenzyme . . . . .	25
Cystathionase . . . . .	25
Reaktionsmechanismus bei den Pyridoxalenzymen . . . . .	25
C. Schwefelhaltige Gruppen in Coenzymen und Cosubstraten . . . . .	27
a) Pyruvatoxydase und $\alpha$ -Ketoglutaratoxydase . . . . .	27
b) Coenzym A . . . . .	28
c) Biotin-Coenzyme . . . . .	30
d) Ketonaldehydmutase . . . . .	30
D. Weitere in den Schwefelstoffwechsel eingreifende Enzyme . . . . .	31
a) Glutathionreduktase und Cystinreduktase . . . . .	31
b) Transmethyhasen . . . . .	31
c) Sulfitoreduktase und Tetrathionase . . . . .	32
d) Sulfitoxydase . . . . .	33
e) Rhodanese (Transsulfurase) . . . . .	33
f) Kohlensäureanhydratase . . . . .	33
Literatur . . . . .	34
<b>C. Assimilation of sulfur and physiology of essential S-compounds.</b> By Dr. M. D. THOMAS. With 9 figures . . . . .	37
Sulfur compounds in plants p. 37. — Sulfur reactions in normal plants p. 38. — Symptoms of sulfur deficiency p. 39. — Chlorophyll and sulfur p. 40. — Fractionation of sulfur compounds p. 41. — Tracer studies of sulfur metabolism p. 43. — Radio-sulfur in wheat seedlings p. 48. — Radioautographs p. 49. — Sulfur, nitrogen, and molybdenum interactions p. 52. — Chemical changes in nitrogen and carbohydrates due to sulfur deficiency p. 55. — Amino acids in alfalfa as affected by sulfur supply p. 58. — Nitrate reductase p. 59. — Proteolysis and translocation p. 60. — Summary of sulfur reactions in plants p. 61.	
Literature . . . . .	62

	Seite
<b>D. Secondary organic sulfur-compounds of plants (Thiols, sulfides, sulfonium derivatives, sulfoxides, sulfones and isothiocyanates).</b> By Professor Dr. A. KJÆR. With 1 figure	64
I. Thiols (mercaptanes) . . . . .	64
a) Scope of discussion . . . . .	64
b) Occurrence and biosynthesis . . . . .	64
II. Sulfides and sulfonium compounds . . . . .	66
a) Scope of discussion . . . . .	66
b) Occurrence of sulfides . . . . .	66
c) Sulfonium compounds . . . . .	67
d) Special sulfides . . . . .	68
III. Disulfides and polysulfides . . . . .	68
a) Scope of discussion . . . . .	68
b) Garlic oil. Alliin . . . . .	68
c) Partly unidentified di- and poly-sulfides . . . . .	69
IV. Sulfoxides and sulfones . . . . .	70
a) Natural sulfoxides . . . . .	70
b) Natural sulfones . . . . .	71
V. <i>iso</i> Thiocyanates (mustard oils) and their parent glucosides . . . . .	71
A. <i>iso</i> Thiocyanate glucosides. Occurrence and chemical structure . . . . .	71
B. Natural <i>isothiocyanates</i> (mustard oils) . . . . .	74
a) Occurrence, isolation and identification . . . . .	75
b) Volatile natural <i>isothiocyanates</i> . . . . .	76
Simple alkyl <i>isothiocyanates</i> . . . . .	76
Methylthioalkyl <i>isothiocyanates</i> , including the corresponding sulfoxides and sulfones . . . . .	78
Aromatic <i>isothiocyanates</i> . . . . .	80
Ester <i>isothiocyanates</i> . . . . .	81
c) Non-volatile <i>isothiocyanates</i> . . . . .	81
d) Natural <i>isothiocyanates</i> suffering spontaneous cyclization . . . . .	82
e) <i>iso</i> Thiocyanates of questionable identity . . . . .	84
f) <i>iso</i> Thiocyanates. Biogenesis, metabolism and phylogenesis . . . . .	84
Literature . . . . .	85
<b>E. Die Schwefelspezialisten unter den Mikroorganismen.</b> Von Professor Dr. W. SCHWARTZ. Mit 7 Abbildungen . . . . .	89
1. Übersicht . . . . .	89
2. Sulphuretum . . . . .	90
3. Desulfurizierer . . . . .	92
4. Schwefelmikroben . . . . .	94
5. <i>Thiobacterium</i> ( <i>Thiobacillus</i> BEIJ.) . . . . .	97
6. Beziehung von Schwefelspezialisten zu geologischen und mineralogischen Prozessen . . . . .	98
Literatur . . . . .	100
<b>F. Le cycle du soufre dans la nature.</b> Par Professeur Dr. J. M. WIAME. Avec 4 figures	103
I. Introduction . . . . .	103
II. Le cycle du soufre simplifié: Beggiatoa et Desulfovibrio . . . . .	104
III. Les microorganismes du soufre en general . . . . .	107
A. Le soufre dans la chemosynthèse . . . . .	107
a) La réduction p. 107. — b) L'oxydation p. 107.	
B. Le rôle photochemosynthétique des composés soufrés . . . . .	109
IV. Le cycle du soufre généralisé. La participation des animaux, des végétaux et des microorganismes non spécialisés . . . . .	110
A. Généralités et réduction . . . . .	111
B. Oxydation . . . . .	113
C. Le cycle général . . . . .	115
V. Le rôle écologique du soufre . . . . .	115
Bibliographie . . . . .	118

**III. Der Stoffwechsel der P-haltigen Verbindungen.**

<b>A. Übersicht.</b> Von Dr. P. SCHWARZE. Mit 1 Abbildung. . . . .	121
Die Speicherung der Phosphorsäure S. 122. — Phosphatide S. 123. — Die Phosphorsäureester des Kohlenhydratstoffwechsels S. 124. — P-haltige Coenzyme S. 127. — Am P-Stoffwechsel beteiligte Enzyme S. 129. — Die Rolle der Phosphate bei der Energieübertragung S. 132.	
Literatur . . . . .	134
<b>B. Accumulation de l'acide phosphorique (phytine, polyphosphates).</b> Par Professeur Dr. J. M. WIAME . . . . .	136
I. Les polyphosphates . . . . .	136
1. Introduction et chimie . . . . .	136
2. Les polyphosphates et la métachromasie des cellules . . . . .	138
3. Détection et détermination quantitative des polyphosphates cellulaires . . . . .	139
4. La signification biologique des polyphosphates . . . . .	141
II. L'acide phytique (phytine) . . . . .	143
1. Composition et structure . . . . .	143
2. Propriétés chimiques; détermination et préparation . . . . .	144
3. Distribution et rôle biologique. . . . .	145
Bibliographie . . . . .	146
<b>C. The phosphatides.</b> By Dr. J. A. LOVERN . . . . .	149
Composition . . . . .	149
Metabolism . . . . .	150
Literature . . . . .	150
<b>D. The phosphoric acid esters in carbohydrate metabolism.</b>	
a) Lower plants. By Dr. W. W. UMBREIT . . . . .	152
Literature . . . . .	154
b) Higher plants. By Professor Dr. H. G. ALBAUM . . . . .	155
I. Introduction . . . . .	155
II. Methods . . . . .	155
III. Individual esters and enzymes of their metabolism . . . . .	159
Literature . . . . .	174
<b>E. P-haltige Coenzyme.</b>	
a) <b>Pyridinnucleotide.</b> (Diphospho-pyridinnucleotid und Triphospho-pyridinnucleotid) Von Professor Dr. K. HASSE. Mit 2 Abbildungen . . . . .	177
Einleitung . . . . .	177
Hydrierung der Pyridinnucleotide und Reoxydation . . . . .	178
Wasserstoffübertragung zwischen oxydierten und reduzierten Formen der Pyridinnucleotide . . . . .	180
Biosynthese. . . . .	181
Nicotinsäure . . . . .	181
Nicotinsäureamid-ribotid . . . . .	183
Diphospho-pyridinnucleotid . . . . .	184
Triphospho-pyridinnucleotid . . . . .	184
Enzymatischer Abbau . . . . .	184
Desaminierung S. 184. — Spaltung der Pyrophosphatbindung S. 184. — Dephosphorylierung S. 185. — Spaltung der Nicotinsäureamid-Ribosebindung S. 185.	
Desamidierung von Nicotinamid . . . . .	185
Abbau der Nicotinsäure . . . . .	186
Literatur . . . . .	187

	Seite
<b>b) Riboflavin nucleotides.</b> By Professor Dr. B. J. D. MEEUSE. With 5 figures . . .	190
Introduction . . . . .	190
I. The system FMN + apoprotein $\rightleftharpoons$ flavoprotein . . . . .	192
II. The system FAD + apoprotein $\rightleftharpoons$ flavoprotein . . . . .	195
III. Some data on the biological and chemical synthesis of Rbf, FMN and FAD . . .	196
IV. Methods for the isolation and assay of flavins and flavin nucleotides . . .	199
Literature . . . . .	200
<b>c) The formation and degradation of thiaminpyrophosphate.</b> By Dr. J. R. P. O'BRIEN . . .	204
Literature . . . . .	209
<b>d) Coenzyme A.</b> By Professor Dr. H. G. ALBAUM . . . . .	210
Structure . . . . .	210
Biosynthesis . . . . .	211
"Active acetate" . . . . .	212
Fatty acid activation . . . . .	214
The relationship of CoA to lipoic acid . . . . .	214
Coenzyme A in the tissues of higher plants . . . . .	215
Literature . . . . .	218
<b>e) Pyridoxal phosphate.</b> By Dr. W. W. UMBREIT . . . . .	219
Literature . . . . .	220
<b>F. Transphosphorylation (phosphotransferases, mutases and kinases).</b> By Professor Dr. B. AXELROD . . . . .	222
A. Introduction . . . . .	222
B. Enzymes transferring P from ATP . . . . .	222
a) Pyruvate kinase . . . . .	222
b) Phosphoglyceryl kinase . . . . .	223
c) Phosphofructokinase . . . . .	224
d) Adenyl kinase . . . . .	224
e) Nucleotide diphosphokinase . . . . .	225
f) Hexokinase . . . . .	225
g) Glucose-1-phosphate kinase . . . . .	226
h) Phosphoribokinase . . . . .	226
C. Phosphomonoesterases as transferases . . . . .	227
a) Citrus phosphatase . . . . .	227
b) Nucleoside phosphotransferase . . . . .	228
D. Phosphomonoesterases as hydrolytic enzymes . . . . .	228
a) General . . . . .	228
b) 5'-Nucleotidase . . . . .	229
c) 3'-Nucleotidase . . . . .	230
d) Apyrase . . . . .	230
E. Diesterases . . . . .	230
a) Ribonucleases . . . . .	230
b) Desoxyribonuclease . . . . .	231
c) Nucleotide pyrophosphatase . . . . .	232
F. Mutases . . . . .	232
G. Mechanism of phosphate transfer . . . . .	233
Literature . . . . .	234
<b>G. The role of the phosphates in energy transfer (adenosine phosphates).</b> By Professor Dr. R. S. BANDURSKI and Professor Dr. TE MAY CHING. With 1 figure . . . . .	237
I. Energy transfer function of adenosine phosphates . . . . .	237
A. Introduction . . . . .	237
B. Chemistry of 5'-nucleoside phosphates . . . . .	237
C. Transphosphorylation as an energy transfer mechanism . . . . .	240
1. Phosphorylation of nucleoside phosphates linked to exergonic reactions . . . . .	240
2. Dephosphorylation of nucleoside phosphates linked to endergonic reaction systems . . . . .	240

Inhaltsverzeichnis. — Contents.

IX

	Seite
3. Isergonic phosphate transfer reactions . . . . .	241
a) Nucleotide kinases . . . . .	241
b) Inorganic pyrophosphates and metaphosphates . . . . .	242
II. Occurrence and determination of nucleoside phosphates . . . . .	243
A. Occurrence of nucleoside phosphates . . . . .	243
1. Adenosine phosphates . . . . .	243
2. Other nucleoside phosphates . . . . .	243
B. The determination of adenosine phosphates . . . . .	244
III. Regulatory functions of the nucleoside phosphates . . . . .	244
IV. Summary . . . . .	245
Literature . . . . .	245
Namenverzeichnis — Author Index . . . . .	247
Sachverzeichnis (Deutsch-Englisch) . . . . .	261
Subject Index (English-German) . . . . .	284



## **Mitarbeiter von Band IX. — Contributors to volume IX.**

- Dr. HARRY G. ALBAUM, Professor of Biology, Biology Department, Brooklyn College, Brooklyn 10, New York (USA).
- Dr. BERNARD AXELROD, Associate Professor of Biochemistry, Department of Biochemistry, Purdue University, West Lafayette, Indiana (USA).
- Dr. ROBERT S. BANDURSKI, Associate Professor, Department of Botany and Plant Pathology, Michigan State University, East Lansing, Michigan (USA).
- Professor Dr. phil. THEODOR BERSIN, Laboratorien Hausmann A.G., St. Gallen (Schweiz).
- Professor Dr. phil. KURT HASSE, Institut für organische Chemie, Technische Hochschule Karlsruhe.
- Professor Dr. phil. ANDERS KJÆR, Royal Veterinary and Agricultural College, Copenhagen (Denmark).
- Dr. JOHN ARNOLD LOVERN, Department of Scientific and Industrial Research, Torry Research Station, Aberdeen (Great Britain).
- Dr. BASTIAAN JACOB DIRK MEEUSE, Associate-Professor of Botany, Botany Department, University of Washington, Seattle 5, Wash. (USA).
- Dr. J. R. P. O'BRIEN, Director of Department of Clinical Biochemistry, Reader in Clinical Biochemistry, Department of Clinical Biochemistry, University of Oxford, Oxford (Great Britain).
- Professor Dr. phil. habil. W. SCHWARTZ, Direktor des Institutes für Mikrobiologie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald.
- Dr. PAUL SCHWARZE, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Köln-Vogelsang.
- TE MAY CHING, Ph. D., Assistant Professor in Seed Technology, Oregon State College, Corvallis, Ore. (USA).
- MOYER D. THOMAS, D. Sc. (Oxon), Senior Scientist, Stanford Research Institute, Menlo Park, California (USA).
- Dr. WAYNE W. UMBREIT, Associate Director, Merck Institute for Therapeutic Research, Rahway, New Jersey (USA).
- Dr. J. M. WIAME, Professeur à l'Université de Bruxelles et Directeur du Service de Recherches du C.E.R.I.A., Bruxelles. Service de Recherches, C.E.R.I.A., 1 Avenue E. Gryson, Anderlecht-Bruxelles (Belgique).