

# Physiologie der Mikroorganismen

Die Zelle, ihre Umwelt und die Mechanismen der Adaptation

Herausgeber

**Michael Hecker** und **Wolfgang Babel**

Bearbeiter

W. Babel, E.-J. Bormann, R. Borries, W. Fritsche, J. Gumpert,  
M. Hecker, J. Hofemeister, K. Hofmann, E. Ohmann, D. Riesenberg,  
W. Roos, F. Schauer, E. Streiblovä

Mit 108 Abbildungen und 40 Tabellen



Gustav Fischer Verlag • Stuttgart • New York • 1988

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Der Mikroorganismus, sein Ökosystem und die molekularen Mechanismen der Adaptation

1./.	<i>Einführung</i> (M. HECKER)	11
1.1.1.	Spezifik der Physiologie der Mikroorganismen	11
1.1.2.	Signale, Signalempfang und Signalprocessing	15
1.1.3.	Ebenen der Adaptation	17
1.1.4.	Strategien zur Beantwortung einer Nährstofflimitation	20
1.1.5.	Zusammenfassung und Ausblick	23
1.2.	<i>Funktionen der Zellmembran bei der Adaptation</i> (W. Roos)	25
1.2.1.	Einführung	25
1.2.2.	Mechanismen des Carrier-Transports in Mikroorganismen	27
1.2.2.1.	Katalytische Diffusion	27
1.2.2.2.	Aktiver Transport	28
1.2.2.3.	Gruppentranslokation	31
1.2.2.4.	Die Vielfalt der mikrobiellen Transportkatalyse	32
1.2.3.	Transportprozesse als Sensoren extrazellulärer Bedingungen	33
1.2.4.	Transportsysteme in der Regulation der Genexpression	35
1.2.5.	Umweltabhängige Regulation der Permease-Synthese	37
1.2.6.	Umweltabhängige Regulation der Permease-Aktivität	38
1.2.7.	Kompartimentierung von Substraten und Effektoren	39
1.2.8.	Kooperation von Transportsystemen	41
7.5.	<i>Molekulare Mechanismen der Adaptation — Regulation der Genexpression in Prokaryoten</i> (M. HECKER)	43
1:3.1.	Einführung	43
1:3.2.	Regulation differentieller Genexpression bei Prokaryoten	44
1:3.2.1.	Die Initiation der Transkription	45
1:3.2.2.	Die Termination der Transkription	52
1:3.2.3.	RNS-Processing und RNS-Stabilität — Posttranskriptionskontrolle der Genexpression	54
1:3.2.4.	Translationskontrolle	55
1:3.3.	Molekulare Mechanismen der Adaptation auf der Ebene der differentiellen Genexpression	57
1:3.3.1.	Differentielle Genexpression bei der Nutzung bevorzugter und zweitrangiger Nährstoffe	58
1:3.3.2.	Die SOS-Antwort bei <i>Escherichia coli</i>	62
1:3.3.3.	Das Hitzeschock-Regulon in <i>Escherichia coli</i>	63
1:3.4.	Vom Gen zum Genexpressionsprogramm — Zusammenfassung und Ausblick	65
2.	<b>Einfluss von Milieufaktoren auf Stoffwechsel und Wachstum</b>	
2.1.	<i>Effizienz und Geschwindigkeit von Wachstum und Vermehrung</i> (W. BABEL)	72
2.1.1.	„Einführung“	72
2.1.2.	Synthese von „biologischer“ Energie	73
2.1.3.	Bedarfen „biologischer“ Energie für die Zellsubstanzsynthese	77
2.1.4.	Mikrobielles Leben unter nicht optimalen Wachstumsbedingungen	86
2.1.5.	Zusammenfassung	90
2.2.	<i>Die Rolle des Sauerstoffs bei der Regulation mikrobieller Stoffwechselprozesse</i> (F. SCHAUER)	92
2.2.1.	Einführung	92
2.2.2.	Aerotaxis	93
2.2.3.	Sauerstoffabhängige Enzyme	96

## Inhalt

1.1.Ti.X. Cytochromoxydase und Atmungskette . . . . .	97
2.2.3.2. Katabole Enzyme . . . . .	102
2.2.3.3. Anabole Enzyme . . . . .	103
2.2.4. Regulation der anaeroben Atmung . . . . .	107
2.2.5. Regulation der Gärung . . . . .	113
2.2.5.1. Pasteur-Effekt . . . . .	113
2.2.5.2. Custers-Effekt . . . . .	117
2.2.6. Sauerstofftoxizität . . . . .	118
2.3. <i>Der Einfluß des Lichtes auf die Kontrolle des Energiestoffwechsels</i> (E. OHMANN). . . . .	125
2.3.1. Einführung . . . . .	125
2.3.2. Phototrophe Organismen . . . . .	126
2.3.3. Strukturelle Voraussetzungen der Photosynthese . . . . .	127
2.3.4. Der Einfluß des Lichtes auf die Ausbildung des Photosyntheseapparates . . . . .	132
2.3.5. Lichtabhängige Regulationen der Energie Verteilung, des Elektronentransportes und der Phosphorylierung für Organismen mit oxygener Photosynthese . . . . .	134
2.3.6. Die photosynthetische CO <sub>2</sub> -Assimilation . . . . .	135
2.3.7. Regulatorische Wechselbeziehungen zwischen Photosynthese und Atmung . . . . .	137
2.3.8. Licht und der Energiestoffwechsel in Halobakterien . . . . .	142
2.4. <i>Das cAMP und seine Stoffwechselfunktion</i> (K. HOFMANN) . . . . .	143
2.4.1. Einführung . . . . .	143
2.4.2. cAMP in Bakterien . . . . .	144
2.4.3. cAMP in Pilzen . . . . .	150
2.4.4. Ausblick . . . . .	155
2.5. <i>Die Regulation der Stickstoffassimilation</i> (D. RIESENBEV-G). . . . .	156
2.5.1. Enterobakterien im Stickstoffkreislauf der Natur . . . . .	156
2.5.2. Stickstoffregulation in Enterobakterien . . . . .	157
2.5.2.1. Zentrales N-Regulationssystem . . . . .	157
2.5.2.2. Regulation der NH <sub>3</sub> -Assimilation . . . . .	163
2.5.2.3. Regulation der N <sub>2</sub> -Fixierung . . . . .	166
2.6. <i>Hochphosphorylierte Guanosinnucleotide</i> (M. HECKER und D. RIESENBERG). . . . .	170
2.6.1. Einführung . . . . .	170
2.6.2. Synthese und Abbau hochphosphorylierter Guanosinnucleotide in Bakterien . . . . .	172
2.6.3. Die Wirkung hochphosphorylierter Guanosinnucleotide in der Bakterienzelle . . . . .	175
2.6.3.1. Physiologische Charakterisierung der ppGpp-Wirkung . . . . .	175
2.6.3.2. Die molekularen Mechanismen der ppGpp-Wirkung in der Zelle . . . . .	179
2.6.4. Die Regulation der Ribosomensynthese in der Bakterienzelle . . . . .	183
2.6.5. Hochphosphorylierte Nucleotide als Auslöser bakterieller Differenzierungsprozesse . . . . .	185
2.6.6. Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	186
2.7. <i>Adaptation an extreme Umweltfaktoren</i> (W. BABEL). . . . .	187
2.7.1. Einführung . . . . .	187
2.7.2. Leben bei hohen Temperaturen . . . . .	189
2.7.3. Leben bei extremen pH-Werten . . . . .	195
2.7.4. Leben bei hohen Salzkonzentrationen . . . . .	199
2.7.5. Zusammenfassung . . . . .	201
2.8. <i>Antagonistische Mikroben-Pflanzen-Interaktionen</i> (W. FRITSCHKE). . . . .	203
2.8.1. Einführung . . . . .	203
2.8.2. Blattflecken als Modell-Mikrohabitate . . . . .	203
2.8.3. Eindringen der Mikroben in die Pflanze . . . . .	205
2.8.4. Induktion pflanzlicher Abwehrmechanismen . . . . .	206
2.8.5. Mikrobielle Phytotoxine . . . . .	207
2.8.6. Mikrobielle Detoxifikation antimikrobieller Pflanzeninhaltsstoffe . . . . .	210
2.8.7. Prinzipien der mikrobiellen Ökophysiologie . . . . .	211

<b>3. Wachstum und Differenzierung bei Substratlimitation</b> . . . . .	214
3.1. Replikationskontrolle bei Prokaryoten (J. HOYEMEISER EK). . . . .	214j
3.1.1. Vom Replicon-zum Origin-Modell. . . . .	214
3.1.2. Replikationszyklus bei Bakterien. . . . .	215
3.1.3. Isolierung und Funktion von Ori-DNS bei <i>E. coli</i> . . . . .	216
3.1.4. OriC von <i>Bacillus subtilis</i> .. . . .	221
3.1.5. Initiation der Replikation bei Phagen. . . . .	221
3.1.6. Replikationskontrolle bei Plasmiden. . . . .	223
3.1.7. Verallgemeinerungen. . . . .	228
3.2. Regulation des bakteriellen Zellzyklus (J. GUMPERT). . . . .	230
3.2.1. Einführung . . . . .	230
3.2.2. Allgemeine Gesetzmäßigkeiten. . . . .	230
3.2.3. Der Teilungszyklus von <i>E. coli</i> . . . . .	232
3.2.4. Die Regulation der Zyklusprozesse. . . . .	233
3.2.4.1. Präreplikatives Wachstum. . . . .	233
3.2.4.2. Replikation der chromosomalen DNS. . . . .	233
3.2.4.3. Wachstum der Zellumhüllung. . . . .	235
3.2.4.4. Septation und Zelltrennung . . . . .	240
3.2.5. Ausblick . . . . .	242
3.3. Regulation des Zellzyklus bei Hefen (E. STREIBLOVÁ). . . . .	243
3.3.1. Einführung.. . . . .	243
3.3.2. Steuerung der Zellteilung . . . . .	245
3.3.3. Neue Aspekte der Zellzyklus-Kontrolle. . . . .	248
3.3.4. Schlußfolgerungen . . . . .	249
3.4. Molekularbiologische Aspekte der Zelldifferenzierung bei Bakterien (M. HECKER). . . . .	250
3.4.1. Einführung . . . . .	250
3.4.2. Dormanz vegetativer Zellen. . . . .	251
3.4.3. Molekularbiologie der Sporulation von <i>Bacillus subtilis</i> . . . . .	254
3.5. Zell differenzierung und Bildung extrazellulärer Enzyme (R. BORRIS). . . . .	266
3.5.1. Einführung . . . . .	266
3.5.2. Synthese extrazellulärer Enzyme und ihre Regulation. . . . .	268
3.5.3. Zelldifferenzierung und Bildung extrazellulärer Enzyme. . . . .	276
3.5.4. Evolution extrazellulärer Enzyme. . . . .	279
3.5.5. Ökonomische Bedeutung extrazellulärer Enzyme. . . . .	280
3.5.6. Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	281
3.6. Regulation des mikrobiellen Sekundärstoffwechsels (E.-J. BORMANN). . . . .	283
3.6.1. Einführung . . . . .	283/
3.6.2. Quantitative Aspekte. . . . .	283
3.6.3. Biosynthese und Regulationsvorgänge. . . . .	285
3.6.3.1. Zuckerderivate . . . . .	286
3.6.3.2. Acetat-Polymalonat-Derivate . . . . .	288
3.6.3.3. Aminosäure-Derivate . . . . .	290
3.6.3.4. Shikimat-Derivate . . . . .	293
3.6.3.5. Mevalonat-Derivate. . . . .	294
3.6.4. Schlußbemerkungen . . . . .	296
<b>Sachregister</b> . . . . .	298