

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das System: Die pflanzliche Zelle und ihre Kompartimente . . . . .</b>	<b>1</b>
	Methoden der Cytochemie für die Analyse der Beziehung: Struktur-Funktion – Organellen: Funktionelle Substrukturen	
<b>2</b>	<b>Die Katalysatoren: Enzyme . . . . .</b>	<b>20</b>
	Kinetik der Enzymkatalyse – Das Fließgleichgewicht: eine Stoffwechselsituation – Das Enzym erniedrigt die Aktivierungsenthalpie – Die Bio-Katalysatoren sind Proteine	
<b>3</b>	<b>Informationsfluß und Regulation . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>3-1</b>	<b>Replikation: die Verdopplung der DNA . . . . .</b>	<b>40</b>
	Die Struktur der Nukleinsäuren: ein Polymeres mit Informationsbereichen – Replikation bei Prokaryonten – Für die Erhaltung der Information ist ein DNA-Reparaturmechanismus notwendig – DNA-Rekombination: Sexualprozesse auch bei Prokaryonten – Modifikation von DNA: eine Spezifizierung – RNA-abhängige DNA-Polymerasen – RNA-abhängige RNA-Polymerase – Replikation in Eukaryonten: ein vom Zell-Zyklus abhängiger Vorgang – Replikation in Mitochondrien und Chloroplasten: Analogien zur DNA-Duplizierung in Bakterien – Transgenosis: Übertragung, stabiler Einbau und Expression fremder Information	
<b>3-2</b>	<b>Transkription: Die Überschreibung der Information von DNA auf RNA . . .</b>	<b>53</b>
	RNA-Polymerasen in Eukaryonten: multiple Formen – RNA-Synthese am Nukleolus: Bildung von hochmolekularen Vorläufern der rRNA – Synthese von tRNA: Bildung von Vorläufern im Kern – mRNA wird im Nukleoplasma an Euchromatin gebildet – Modifikation von RNA – Transkription in Mitochondrien und Chloroplasten ist ähnlich wie bei Prokaryonten	
<b>3-3</b>	<b>Translation: Die Übersetzung der Information von RNA auf Protein . . . .</b>	<b>58</b>
	Protein-Synthese an den Ribosomen – Aminoacyl-tRNA-Synthetase gewährleistet die Präzision der Translation – Codon-Anticodon-Bindung und Nukleinsäure-Protein-Wechselwirkung für die Expression des genetischen Codes	
<b>3-4</b>	<b>Kontrolle über Transkription und Translation . . . . .</b>	<b>66</b>
<b>3-5</b>	<b>Regulation des Stoffwechsels . . . . .</b>	<b>69</b>
	Die Zelle kann die Enzymmenge und die Enzymaktivität regulieren – Allosterische Enzyme dienen der Feinregulation des Stoffwechsels – Die Regulation durch Kompartimentierung	

<b>4</b>	<b>Energiefluß: Aufbau, Speicherung und Verwendung von chemischem Potential . . . . .</b>	<b>72</b>
4-1	Die Komponenten der ET-Ketten . . . . .	74
4-2	Funktion und Aufbau der mitochondrialen ET-Kette . . . . . Die Elektronentransportkette in pflanzlichen Mitochondrien – Die ET-Kette der pflanzlichen Mitochondrien enthält zusätzlich eine Cyanid-unempfindliche Endoxidase	79
4-3	Photosynthese und ET der Thylakoide . . . . . Aufbau der ET-Kette der Thylakoide	82
4-4	ET-abhängige Phosphorylierung . . . . . Prozeß der Energiekonservierung – Topographie der ET-Membranen	87
4-5	Vergleich mit anderen membrangebundenen ET-Ketten . . . . .	94
	<b>Substanzfluß: Synopsis für Kapitel 5, 6 und 7 . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>5</b>	<b>Heterotrophe Ernährung . . . . .</b>	<b>99</b>
5-1	Mobilisierung der Reservekohlenhydrate . . . . . Stärke und Glykogen sind verzweigte $\alpha$ -Glucane – Beim Abbau von Stärke oder Glykogen müssen zwei Arten von Enzymen kooperieren – Am Abbau der Stärke in Pflanzen sind mindestens vier Enzyme beteiligt – Die Samen stärke-speichernden Kulturgräser dienen als Modellsystem für <i>in vivo</i> -Untersuchungen über die Mobilisierung von Reservestoffen während der Keimung – Der Abbau von Glykogen in Pilzen (und Säugetieren) verläuft anders als der Stärke-Abbau bei Pflanzen – Der Abbau von Speicherglykogen ist bei Pilzen sorgfältig reguliert – Viele Organismen transportieren Glucose als universellen Nährstoff in die Zelle – Beim Abbau von Glucose in der Glykolyse wird chemische Energie gewonnen – Einige Schlüsselmetaboliten der Zelle regulieren den Substanzfluß in die Glykolyse – Pyruvat kann in den Mitochondrien vollständig verbrannt werden – Der Citrat-Zyklus ist auch Ausgangspunkt für viele Synthesen der Zelle – Anaplerotische (auffüllende) Reaktionen halten den Spiegel an Zwischenstufen des Citrat-Zyklus konstant	99
5-2	Mobilisierung der Reservefette . . . . . Die Speicherorgane der Pflanze können auch Fette als Reservestoffe enthalten – Die Mobilisierung der Reservefette beginnt mit der Verseifung durch Lipase – Die Enzyme des Fettsäure-Abbaues sind in Organellen zusammengefaßt – Das Glyoxysom: funktionale Einheit des Stoffwechsels in Kooperation mit anderen Organellen – In keimenden Samen findet neben der $\beta$ -Oxidation von Fettsäuren auch eine $\alpha$ -Oxidation statt – Die cis-ungesättigten Fettsäuren der Reservefette machen bei der $\beta$ -Oxidation Schwierigkeiten – Pflanzen können auch Fettsäuren mit einer ungeraden Zahl von Kohlenstoffatomen vollständig abbauen – Der Glyoxylat-Zyklus ist eine notwendige Voraussetzung für das Wachstum von Mikroorganismen auf Acetat	125

5-3 Mobilisierung von Reserveprotein . . . . . 135

Eine Einteilung der Speicherproteine ausschließlich aufgrund physikalisch-chemischer Eigenschaften ist historisch bedingt — Die Speicherproteine der Zelle sind in Organellen lokalisiert — Keimlinge enthalten verschiedene proteolytische Enzyme — Mit Proteinkörpern sind proteolytische Enzyme assoziiert — Die hormonale Regulation der Proteinmobilisierung: das System Gerstenkeimling — Aminosäuren werden bevorzugt zur Enzymsynthese verwendet, können aber auch abgebaut werden — Proteinase-Inhibitoren: möglicherweise ein biochemischer Schutzmechanismus der Pflanzen

6 Photoautotrophe Ernährung, Syntheseleistungen der Organellen . . . . . 142

6-1 Photoassimilation von  $\text{CO}_2$  . . . . . 142

Photoassimilierung und Respiration sind formal gegenläufige Prozesse — Die Carboxylierung von Ribulosebisphosphat ist die Primärreaktion der  $\text{CO}_2$ -Fixierung — 3-Phosphoglycerat, das Primärprodukt der  $\text{CO}_2$ -Fixierung, wird zu Glycerinaldehydphosphat reduziert — Die regenerierende Phase: aus 5  $\text{C}_3$  mach 3  $\text{C}_5$  — In Chloroplasten entstehen außer Kohlenhydraten auch andere Primärprodukte der  $\text{CO}_2$ -Assimilierung

6-2 Bildung der Transport- und Speicherform des Assimilats . . . . . 156

Im Licht wird Saccharose in den Blättern synthetisiert und in andere Teile der Pflanze transportiert — In Chloroplasten entsteht Saccharose aus UDP-Glucose, Stärke aber aus ADP-Glucose — In reifenden Samen differenzieren Proplastiden zu Amyloplasten — Zwei Typen von Enzymen kooperieren bei der Synthese von Stärke — Wie wird die Chloroplasten-Stärke im Dunkeln abgebaut? — Die Biosynthese von Glykogen in Pilzen (und Säugetieren) verläuft analog der Stärkebildung in Pflanzen; die Regulation dieses Stoffwechselweges ist jedoch grundlegend verschieden

6-3 Photorespiration . . . . . 163

Photorespiration ist die lichtstimulierte  $\text{O}_2$ -Aufnahme und  $\text{CO}_2$ -Abgabe — Photorespiration bedeutet nicht nur  $\text{CO}_2$ -Verlust, sondern ist vielleicht der Hauptweg zur Bildung von Glycin und Serin

6-4 Kooperation zweier Chloroplastentypen bei  $\text{C}_4$ -Pflanzen . . . . . 169

Bei bestimmten Pflanzen ist der Carboxylierung von Ribulosebisphosphat eine andere  $\text{CO}_2$ -Fixierungsreaktion vorgeschaltet (Hatch-Slack-Weg)

6-5 Stoffwechsel von  $\text{C}_4$ -Säuren bei Crassulaceen . . . . . 177

Der Säurestoffwechsel bei Crassulaceen ist biochemisch mit dem Stoffwechsel der  $\text{C}_4$ -Säuren verwandt — Alle grünen Pflanzen zeigen einen Isotopeneffekt bei der Fixierung von  $\text{CO}_2$

6-6 Assimilatorische Nitrat-Reduktion (Anhang:  $\text{N}_2$ -Reduktion) . . . . . 180

Grüne Pflanzen und Pilze können Nitrat reduzieren und alle Stickstoffverbindungen aufbauen — Nitrat-Reduktase katalysiert die Reaktion Nitrit

→  $\text{NH}_4^+$  scheinbar in einem Schritt – Nitrat-Reduktase, das erste Enzym des Nitratstoffwechsels, sollte reguliert sein – Der letzte Schritt der assimilatorischen Nitrat-Reduktion ist der Einbau von  $\text{NH}_4^+$  in organische Stickstoffverbindungen – Die Reduktion von molekularem Stickstoff ist von fundamentaler Bedeutung in der Versorgung aller Organismen mit organischen Stickstoffverbindungen („Nahrungskette“) – Nur Bakterien, frei oder in Symbiose lebend, können  $\text{N}_2$  reduzieren – Eine genaue Untersuchung der Nitrogenase liefert wertvolle Informationen über die Biochemie der Stickstoff-Fixierung – Heterotrophe Bakterien und Blaualgen erzeugen ATP und reduziertes Ferredoxin für die  $\text{N}_2$ -Fixierung auf verschiedene Weise

## 6-7 Assimilatorische Sulfat-Reduktion . . . . . 190

Der Kreislauf des Schwefels – Die Biochemie der Sulfat-Reduktion ist nur in groben Zügen geklärt – Der Chloroplast kann den Schwefel des Cysteins zur Methioninbildung verwenden

## 6-8 *De novo*-Synthese der Strukturlipide in Chloroplasten . . . . . 197

Chloroplasten und Mitochondrien enthalten Lipide, die vorwiegend als Membrankomponente Bedeutung besitzen – Für Chloroplasten wurde die *de novo*-Synthese von Fettsäuren aus Acetat-Einheiten bewiesen – Wie kommen Chloroplasten zu Acetyl-SCoA? – Malonyl-SCoA, der zweite Partner bei der Neusynthese von Fettsäuren, entsteht durch  $\text{CO}_2$ -Anlagerung an Acetyl-SCoA – Die Einführung von Doppelbindungen ist mit dem Aufbau der Fettsäure gekoppelt – *De novo*-Synthese *versus* Verlängerung vorgebildeter Fettsäuren um Acetat-Einheiten – Zur Synthese der Lipide werden die an das Acyl-Trägerprotein gebundenen ungesättigten Fettsäuren auf freie Hydroxylgruppen in Glycerin übertragen – Wichtige Pigmente für die Lichtabsorption und die Elektronentransportkette der Thylakoide werden auch aus Acetat-Einheiten aufgebaut

## 7 Cytoplasmatische Syntheseleistungen . . . . . 211

### 7-1 Biosynthese aus Acetat-Einheiten: Fette, Phosphatide und Isoprenoide . . . 211

Im Cytoplasma läuft die *de novo*-Synthese von Fettsäuren an einem Multi-enzymkomplex ab – Die Produkte der Fettsäure-Synthase können weiter verlängert werden und/oder Doppelbindungen erhalten – Über die Bildung der „seltenen“ Fettsäuren oder der Polyacetylenverbindungen ist wenig bekannt – Coenzym A-Derivate der Fettsäuren werden für die Lipidbildung an den Mikrosomen benützt – Auch Wachse und Cutine leiten sich nach Struktur und Biosynthese von Fettsäuren ab – Acetogenine: auch aromatische Verbindungen können aus Acetat-Einheiten aufgebaut werden – Isoprenoide sind eine heterogene Klasse von Naturstoffen, die nach einem einheitlichen Prinzip aus Acetat-Einheiten aufgebaut werden – Die Bildung von Isopentenylpyrophosphat aus drei Acetat-Einheiten – Isopentenylpyrophosphat reagiert wiederholt mit einem Allylkation – Schwanz-an-Schwanz-Dimerisierungen bei der Bildung der Steroide ( $\text{C}_{15} + \text{C}_{15}$ ) oder der Carotinoide ( $\text{C}_{20} + \text{C}_{20}$ ) – Polyprenoide und Polyisoprene

7-2 Synthese der Aminosäuren . . . . . 236

Die Aufnahme von Amin-Stickstoff über Glutamat-Dehydrogenase und Transaminasen — Das Kohlenstoffskelett von Aspartat oder Glutamat ist der Ausgangspunkt für die Synthese zahlreicher Aminosäuren — Valin und Isoleucin werden aus den um zwei C-Atome kürzeren  $\alpha$ -Ketosäuren aufgebaut; dies geschieht durch Kondensation mit einer  $C_2$ -Einheit und anschließender Alkylumlagerung — Für die Bildung von Lysin existieren zwei prinzipiell verschiedene Aufbauwege — Glutamat als Vorstufe einer Reihe von  $C_5$ -Aminosäuren — Die C-Atome des Histidins stammen von Ribose bzw. aus dem Purinring von ATP — Die Biosynthese der aromatischen Aminosäuren über den Shikimisäure-Weg nimmt bei Produkten des Kohlenhydratstoffwechsels ihren Ausgang

7-3 Von Aminosäuren ausgehender Stoffwechsel . . . . . 256

Homologe Aminosäuren können durch einen  $C_1$ -Kettenverlängerungsmechanismus entstehen — Weitere Möglichkeiten der  $C_1$ -Kettenverlängerung — Cystein und Homocystein als Vorläufer schwefelhaltiger Aminosäurederivate — Ornithin als Vorläufer von Tropan- und Pyrrolizidin-Alkaloiden — Allgemeine Überlegungen zur Funktion von Phenylpropankörpern als Vorläufer von  $C_6C_2$ -,  $C_6C_1$ -Derivaten, Chinonen, Flavonoiden, Stilbenen und Lignin — Von Zimtsäure zweigen eine Reihe von Biosynthesewegen ab — Durch Kettenverkürzung entstehen aus aromatischen Aminosäuren Aldoxime und Phenylelessigsäuren mit einem  $C_6-C_2$ -Skelett — Die Biosynthese von Isochinolin- und Amaryllidaceen-Alkaloiden geht von aromatischen Aminosäuren aus — Benzoesäuren leiten sich von Zimtsäuren des gleichen Substitutionstyps ab — Anthranilsäure ist nicht nur Vorläufer von Tryptophan sondern auch eine Komponente von Alkaloid-Biosynthesen-Biosynthesen, die von Chorisminsäure ausgehen — Die Bildung von Benzo-chinonen aus aromatischen Aminosäuren

7-4 Biosynthese der Nukleotide, Porphyrine und anderer N-Heterozyklen . . . 280

Aspartat und Carbamylphosphat sind Vorläufer für die Synthese der Pyrimidine — Das Purinskelett wird in einer komplexen Reaktionssequenz aus vielen kleinen Bausteinen zusammengefügt — Für die Bildung der Desoxyribonukleotide muß auf der Stufe der Ribonukleosiddiphosphate reduziert werden — Heterozyklische Ringsysteme sind auch Bestandteile einiger Coenzyme — Strukturen verschiedener Tetrapyrrol-Systeme, die als prosthetische Gruppen in Chromoproteiden fungieren — Die Pyrrolringe des Porphyrinskelettes werden aus Succinyl-SCoA und Glycin aufgebaut

7-5 Cytoplasmatische Kohlenhydrat-Synthesen . . . . . 296

Die Gluconeogenese ist die Neubildung von Glucose und deren Folgeprodukten aus Oxalacetat — Bei Pilzen und keimenden Samen hat die Gluconeogenese die gleiche physiologische Funktion — Überlegungen zur physiologischen Funktion der Gluconeogenese beim grünen Blatt während der Dunkelperiode — Der oxidative Hexosephosphat-Pentosephosphat-Zyklus ist einer der wichtigen Prozesse, die an die Gluconeogenese anschließen —

Der oxidative Hexosephosphat-Pentosephosphat-Zyklus im Cytoplasma hat zwei wesentliche physiologische Funktionen – Pflanzen synthetisieren eine große Vielfalt nukleotidgebundener Zucker – Pilze haben ganz andere Strukturpolysaccharide als Pflanzen; aber auch sie werden über nukleotidgebundene Zwischenstufen synthetisiert – Die Reservepolysaccharide der Algen können von jenen höherer Pflanzen verschieden sein – Algen haben auch ganz charakteristische Strukturpolysaccharide – Die Biosynthese verzweigt-kettiger Zucker: Beispiele für weitgehende strukturelle Modifikationen nukleotidgebundener Kohlenhydrate – Nukleosiddiphosphatgebundene Zucker sind nicht immer der Glykosyl-Donor beim Aufbau glykosidischer Bindungen – Einige Beispiele für die Vielfalt struktureller Modifikationen von Zuckern, die nicht an Nukleosiddiphosphat gebunden sind

<b>8</b>	<b>Biologische Membranen und Zellwände</b>	<b>318</b>
8-1	Membranen	318
	Die Kompartimentierung von Enzymen ist für das Funktionieren der eukaryontischen Zelle stets vorteilhaft und vielfach auch notwendig – Eine Lipid-Doppelschicht bildet eine viskose Matrix, in die globuläre Proteine beweglich eingelagert sind – Aussagen des Modells einer Mosaikstruktur der Lipide und Proteine in Membranen	
8-2	Zellwände	323
	Die chemische Zusammensetzung der Zellwand von Pilzen ist ein taxonomisches Merkmal – Die chemische Zusammensetzung der Zellwand von Pflanzen ändert sich im Verlauf der Differenzierung – Wie sind die Komponenten in der Zellwand angeordnet? – Eine elegante Anwendung moderner analytischer Technik: die Strukturaufklärung der Primärwand von <i>Acer pseudo-platanus</i> – Das Modell für den Aufbau einer Zellwand erlaubt Voraussagen über das Prinzip der Zellwand-Biosynthese und des Zell-Wachstums – Pflanze - Pathogen Wechselwirkung: Angriff und Abwehr mit Enzymen als Waffe – Protoplasten pflanzlicher Zellen sind ein aussichtsreiches Studienobjekt für verschiedene biologische Disziplinen	
	<b>Appendix 1: Prochirale Substrate (Aspekte der Stereochemie)</b>	<b>339</b>
	<b>Appendix 2: Strukturformeln von Hemmstoffen und Hilfsverbindungen</b>	<b>346</b>
	<b>Literatur</b>	<b>349</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>355</b>