Enzymatik – Expertenaufgaben für Schnelle

Zusatzaufgaben zu Einflussfaktoren, Enzymhemmung und Experimentbewertung

Zusatzaufgaben für Schnelle: Du bist mit dem Basis-Arbeitsblatt fertig? Dann kannst du hier dein Wissen zur Enzymatik vertiefen und auf neue Situationen übertragen. Die Aufgaben sind anspruchsvoller und teils offen angelegt – es gibt oft mehrere gute Lösungswege. Begründe sorgfältig und verwende die Fachsprache.

1 Ein Forschungsteam isoliert aus einer heißen Quelle (ca. 85 °C) das Bakterium Thermus aquaticus. Dessen Enzym Taq-Polymerase hat ihr Temperaturoptimum bei etwa 72 °C. a) Erkläre auf molekularer Ebene, wodurch die Taq-Polymerase bei dieser Temperatur stabil bleibt, während Katalase aus der Leber denaturiert. b) Begründe, warum diese Eigenschaft für die PCR (Polymerase-Kettenreaktion) ein entscheidender Vorteil ist.

2 Experiment-Analyse: Ein Schüler untersucht die Katalase-Aktivität in Kartoffelstücken bei verschiedenen Temperaturen. Er legt gleich große Kartoffelstücke in Wasserstoffperoxid-Lösung bei 10 °C, 30 °C und 60 °C und beobachtet die Schaumbildung. Bei 60 °C schäumt es kaum. Danach kühlt er den 60 °C-Ansatz auf 30 °C ab und stellt fest, dass die Schaumbildung nicht wieder einsetzt. a) Begründe, welche Schlussfolgerung über die Art der Wirkung hoher Temperatur möglich ist. b) Nenne zwei Schwächen seines Versuchsdesigns und schlage Verbesserungen vor. c) Entwirf ein Experiment, das zeigt, dass eine niedrige Temperatur (z. B. 0 °C) die Enzymaktivität dagegen reversibel hemmt.

3 Ein Enzym wird durch einen Hemmstoff gehemmt. Im Experiment steigt die Reaktionsgeschwindigkeit bei sehr hoher Substratkonzentration trotz Hemmstoff wieder auf den gleichen Maximalwert Vmax wie ohne Hemmstoff, der Km-Wert ist aber scheinbar größer. Was ist die beste Deutung?

- ☐ Kompetitive Hemmung: Der Hemmstoff konkurriert mit dem Substrat um das aktive Zentrum und wird bei hohem Substratüberschuss verdrängt.
- ☐ Nicht-kompetitive Hemmung: Der Hemmstoff verändert das Enzym außerhalb des aktiven Zentrums dauerhaft.
- ☐ Denaturierung: Das Enzym wird durch den Hemmstoff irreversibel zerstört.
- ☐ Allosterische Aktivierung: Der Hemmstoff erhöht die Zahl der aktiven Zentren.

4 Transfer Medizin: Methanol ist giftig, weil es von der Alkoholdehydrogenase (ADH) zu Formaldehyd und weiter zu Ameisensäure umgesetzt wird, die Sehnerv und Organe schädigt. Bei Methanolvergiftungen wird als Gegenmittel Ethanol verabreicht (neben Fomepizol). Ethanol ist ebenfalls ein Substrat der ADH. a) Erkläre das Wirkprinzip dieser Therapie mit Fachbegriffen der Enzymhemmung. b) Begründe, warum die Ethanol-Gabe über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden muss und eine einmalige Gabe nicht genügt. c) Skizziere in Worten, wie sich die Substratsättigungskurve (Reaktionsgeschwindigkeit gegen Methanolkonzentration) mit und ohne Ethanol unterscheidet.

5 Beurteile die Aussagen (wahr/falsch):

	richtig	falsch
Ein Enzym senkt die Aktivierungsenergie einer Reaktion, verändert aber nicht die Lage des chemischen Gleichgewichts.	☐	☐
Bei einer nicht-kompetitiven Hemmung lässt sich die Hemmung durch eine sehr hohe Substratkonzentration vollständig aufheben.	☐	☐
Denaturierung durch Hitze zerstört die Peptidbindungen und damit die Primärstruktur des Enzyms.	☐	☐
Schwermetall-Ionen wie Hg^{2+} können Enzyme hemmen, indem sie an SH-Gruppen von Cysteinresten binden und so die Struktur verändern.	☐	☐

6 Knobelaufgabe: Bei der Endproduktheminung (negative Rückkopplung) hemmt in vielen Stoffwechselketten das Endprodukt das erste Enzym der Kette. a) Erkläre, warum es sinnvoll ist, dass gerade das erste und nicht ein späteres Enzym gehemmt wird. b) Begründe, weshalb das Endprodukt dabei häufig nicht im aktiven Zentrum, sondern an einem anderen Bindungsort (allosterisches Zentrum) bindet, obwohl es dem Substrat strukturell kaum ähnelt. c) Bewerte, welchen Vorteil diese Regulation gegenüber der Steuerung der Enzymmenge über die Genexpression hat.

7 Forscheraufgabe: Ein Waschmittelhersteller will ein proteasehaltiges Waschmittel für Wäsche bei 40 °C und alkalischem Waschwasser (pH ca. 10) entwickeln. Entwirf einen Forschungsplan: a) Welche Eigenschaften muss die Protease haben? b) Beschreibe ein Screening-Experiment, mit dem du aus mehreren Enzymkandidaten das geeignetste auswählst (mit Variablen, Messmethode und Kontrolle). c) Nenne zwei weitere Faktoren aus dem Waschalltag, die die Enzymaktivität beeinträchtigen könnten, und begründe sie.

Lösungen

Enzymatik – Expertenaufgaben für Schnelle · Biologie · Klasse 12

Für dich als Lehrkraft: leichtere Fassung in einer Minute

QR scannen oder lehreule.de/anpassen/enzyme-einflussfaktoren-und-hemmung-klasse-12 öffnen: kostenloses Konto, dann schreibt Lehreule die leichtere Fassung mit Hilfen — oder Zusatzaufgaben für Schnelle, eine Word-Datei, einen QR-Code für die Klasse.

Aufgabe 1: a) Die Aminosäuresequenz bestimmt Sekundär- und Tertiärstruktur. Bei hitzestabilen Enzymen enthält sie meist mehr stabilisierende Wechselwirkungen, z. B. zusätzliche Ionenbindungen, Disulfidbrücken, stärkere hydrophobe Wechselwirkungen im Proteininneren und eine kompakte Faltung. Dadurch bleiben die Tertiärstruktur und das aktive Zentrum auch bei hohen Temperaturen erhalten. Bei der Katalase aus dem Säugetier reichen die schwachen Wechselwirkungen nur für Temperaturen um 37 °C; darüber werden sie gelöst und das Enzym denaturiert. Die Enzyme sind also an die Umweltbedingungen ihres Organismus angepasst (Struktur-Funktions-Prinzip, Selektion). b) Bei der PCR wird die DNA in jedem Zyklus auf etwa 95 °C erhitzt, um die Doppelstränge zu trennen. Eine normale Polymerase würde dabei denaturieren und müsste nach jedem Zyklus neu zugegeben werden. Die Taq-Polymerase übersteht die Hitzeschritte weitgehend intakt und arbeitet anschließend bei ca. 72 °C bei der Verlängerung (Elongation); so kann die PCR automatisiert in einem Thermocycler ablaufen.

Aufgabe 2: a) Dass die Aktivität nach Abkühlung nicht zurückkehrt, zeigt, dass die Wirkung hoher Temperatur irreversibel ist: Die Tertiärstruktur und damit das aktive Zentrum wurden dauerhaft verändert (Denaturierung). Das Enzym kann seine ursprüngliche Struktur nicht wieder einnehmen. b) Schwächen: (1) Die Schaumbildung ist nur qualitativ und subjektiv beobachtet. Besser: Messung des Sauerstoffvolumens pro Zeit (z. B. Kolbenprober) oder der Schaumhöhe in einem Standardgefäß. (2) Es gibt keine Wiederholungen und keine Kontrolle: Gewebestückgröße und Enzymgehalt können schwanken, und die Temperatur des Wasserstoffperoxids wird nicht sicher konstant gehalten. Besser: mehrfache Messung mit Mittelwert, Wasserbäder, Kartoffelstücke aus derselben Knolle mit gleicher Masse bzw. Oberfläche (oder Katalase-Lösung), Kontrollansatz ohne Gewebe bzw. mit gekochtem Gewebe, Pufferung des pH-Werts. Auch nur drei Temperaturwerte sind zu wenig, um ein Optimum zu bestimmen. c) Ansatz A wird bei 0 °C inkubiert und gemessen, Ansatz B bei 30 °C als Vergleich. Anschließend wird Ansatz A auf 30 °C erwärmt und erneut die Reaktionsgeschwindigkeit gemessen. Erreicht A danach etwa die Aktivität von B, ist die Hemmung bei Kälte reversibel: Die Struktur bleibt erhalten, es sind nur Bewegung und Stoßhäufigkeit der Teilchen verringert.

Aufgabe 3: Kompetitive Hemmung: Der Hemmstoff konkurriert mit dem Substrat um das aktive Zentrum und wird bei hohem Substratüberschuss verdrängt.

Aufgabe 4: a) Ethanol und Methanol konkurrieren um dasselbe aktive Zentrum der ADH. Das Prinzip entspricht einer kompetitiven Hemmung (Substratkonkurrenz): Da die ADH Ethanol mit höherer Affinität (kleinerer Km) bindet als Methanol, wird Methanol kaum noch umgesetzt. Die giftigen Abbauprodukte Formaldehyd und Ameisensäure entstehen deutlich langsamer; das Methanol kann unverändert über die Niere und die Lunge ausgeschieden werden. b) Die Wirkung beruht auf einem Konzentrationsverhältnis und ist reversibel. Ethanol wird selbst von der ADH abgebaut, seine Konzentration sinkt mit der Zeit. Sobald zu wenig Ethanol vorhanden ist, bindet wieder Methanol vermehrt im aktiven Zentrum, und die Giftung setzt fort. Da Methanol nur langsam ausgeschieden wird, muss das Verhältnis über längere Zeit zugunsten von Ethanol gehalten werden. c) Ohne Ethanol steigt die Kurve hyperbolisch an und nähert sich Vmax. Mit Ethanol verläuft sie flacher (scheinbar größerer Km, d. h. man braucht mehr Methanol für die halbe Maximalgeschwindigkeit), erreicht aber bei sehr hoher Methanolkonzentration weiterhin dasselbe Vmax.

Aufgabe 5: Ein Enzym senkt die Aktivierungsenergie einer Reaktion, verändert aber nicht die Lage des chemischen Gleichgewichts. → **richtig**
Bei einer nicht-kompetitiven Hemmung lässt sich die Hemmung durch eine sehr hohe Substratkonzentration vollständig aufheben. → **falsch**
Denaturierung durch Hitze zerstört die Peptidbindungen und damit die Primärstruktur des Enzyms. → **falsch**
Schwermetall-Ionen wie Hg^{2+} können Enzyme hemmen, indem sie an SH-Gruppen von Cysteinresten binden und so die Struktur verändern. → **richtig**

Aufgabe 6: a) Wird das erste Enzym gehemmt, wird die gesamte Kette gestoppt und es entstehen keine Zwischenprodukte, die sich anhäufen würden. Das spart Ausgangsstoffe und Energie und verhindert, dass Zwischenprodukte, die unter Umständen schädlich sein können, in zu hoher Konzentration vorliegen. Würde ein späteres Enzym gehemmt, würden sich die vorangehenden Zwischenprodukte stauen. b) Das Endprodukt ähnelt dem Substrat des ersten Enzyms meist nicht, kann also nicht in dessen aktives Zentrum passen. Es bindet daher an ein eigenes allosterisches Zentrum, das räumlich passend zum Endprodukt gebaut ist. Die Bindung verändert die Konformation des Enzyms und damit das aktive Zentrum (allosterische Hemmung, wirkt wie nicht-kompetitive Hemmung). Weil die Wirkung nicht durch die Substratmenge aufgehoben werden kann, ist eine verlässliche Abschaltung möglich. c) Die Hemmung wirkt innerhalb von Sekunden bis Minuten, weil kein Protein neu gebildet oder abgebaut werden muss, und ist schnell reversibel: Sinkt die Endproduktkonzentration, löst sich der Hemmstoff und das Enzym wird wieder aktiv. Die Genregulation ist dagegen langsamer und energieaufwendiger, eignet sich aber für langfristige Anpassungen.

Aufgabe 7: a) Die Protease muss ein Temperaturoptimum bei etwa 40 °C haben, bei pH 10 stabil und aktiv sein (alkalisches pH-Optimum) und gegenüber Tensiden und Bleichmitteln möglichst stabil sein. Sie muss Proteinflecken (z. B. Blut, Ei, Gras) hydrolytisch in lösliche Peptide spalten. Solche Enzyme stammen z. B. aus alkaliphilen Bakterien wie Bacillus-Arten. b) Man verwendet standardisierte Testflecken (z. B. Gelatine- oder Eiweißschichten bzw. angeschmutzte Stoffproben gleicher Größe) und gibt in gepufferte Waschlösungen (pH 10, 40 °C) jeweils die gleiche Aktivitätsmenge bzw. Masse eines Kandidaten. Unabhängige Variable: das Enzym (Kandidat); abhängige Variable: Fleckenentfernung, messbar als Helligkeit (Remission) des Stoffs oder als freigesetzte Aminosäuren/Peptide (z. B. Biuret- oder Ninhydrin-Test) nach definierter Zeit. Kontrollvariablen: Temperatur, pH-Wert, Waschzeit, Bewegung, Tensidgehalt, Fleckenart. Kontrollen: Ansatz ohne Enzym (nur Waschlauge) und ein Referenzenzym. Wiederholungen und Mittelwerte sichern die Aussage. Zusätzlich lässt sich die Stabilität über längere Lagerung prüfen. c) Beispiele: Bleichmittel und Tenside können Proteine oxidieren bzw. denaturieren und das Enzym schädigen; hartes Wasser/Schwermetall-Ionen können Enzyme hemmen oder die Struktur stören; Waschtemperaturen über 60 °C denaturieren das Enzym; Proteasen können sich durch Autolyse gegenseitig verdauen.