

P XXII/5 Eisen(II)-oxidierende, neutrophile Bakterien

Fe(II+) (Ferro-Eisen) wird in der Natur an Standorten zu Fe(III+) (Ferri-Eisen) oxidiert, an denen Fe(II+)-haltiges Wasser in oxische Zonen übertritt. Dies ist zum Beispiel dort der Fall, wo Wasser aus einem anoxischen Grundwasserträger oder aus dem anoxischen Hypolimnion eines Sees in oxische Umgebungen (Erdatmosphäre, oxisches Epilimnion) gelangt. Das Oxidationsprodukt Ferri-Eisen lagert sich meist als amorphes, rostfarbenes Ferri(oxy)hydroxid (FeO(OH), Fe(OH)₃ oder Fe₂O₃) in der anoxisch/oxischen Übergangszone ab. Die Oxidation kann rein chemisch durch den Kontakt mit dem Luftsauerstoff, oder durch mikrobiell vermittelte Prozesse geschehen.

Zur Isolation von Ferro-Eisen-oxidierenden Bakterien aus Redoxübergangshabitaten wurden im Labor in einem halbfesten, bei pH 6.3 mit Hydrogenkarbonat gepufferten Agarosemedium gegenläufige Gradienten von O₂ und Fe(II+) hergestellt, wie dies im Einschub zu Abbildung 1 dargestellt ist. Dabei dienten Pyrrhothit (FeS_(s)) oder Siderit (FeCO_{3(s)}), die in die

Bodenagarschicht des Gradientenröhrchens eingeschmolzen wurden, als Quellen für Fe(II+). Der Sauerstoff der Luft, welcher aus dem Gasraum (Headspace) in den Agar diffundierte, diente als Oxidationsmittel. In der Gradientenzone, in der sich micro-oxische Bedingungen einstellten, entwickelte sich in beimpften, wie in unbeimpften Röhrchen innert 6 Tagen eine diskrete Bande, deren Rostfarbe von Ferrihydrit, FeO(OH), stammte. Aus den Banden beimpfter Röhrchen liess sich ein obligat chemolithoautotrophes, micro-aerobes, neutrophiles "Eisenbakterium" isolieren, das zur gamma-Unterkategorie der Proteobakterien gehört und mit ES-2 bezeichnet wurde.

Die Ergebnisse einiger in Agarosegradienten ausgeführten Untersuchungen sind in Abbildung 2 dargestellt. In der Tabelle sind einige phänotypische Fähigkeiten von ES-2 zusammengefasst.

Tabelle 1. Physiologische Fähigkeiten von ES-2

Experiment Nr.	Wachstumsbedingungen Medienkomponenten				Ergebnis WACHSTUM
	Weitere Zusätze	Fe(II+)	HCO ₃ ⁻	O ₂	
1	keine	+	+	+	ja
2	keine	-	+	+	nein
3	keine	+	-	+	nein
4	Acetat	+	+	+	ja
5	Acetat	-	+	+	nein
6	Pyruvat oder Glucose	+	+	+	ja
7	Pyruvat oder Glucose	-	+	+	nein
8	Mn(II+)	-	+	+	nein
9	HS ⁻	-	+	+	nein
10	S ₂ O ₃ ²⁻ (Thiosulfat)	-	+	+	nein
11	Succinat und Fe(III+)	-	+	-	nein

Daten aus Emerson, D. and C. Moyer, AEM/63/12/97/4784-4792

Erklärungen

Ferro-Eisen = zweiwertiges Eisen Fe(II+),

Ferri-Eisen = dreiwertiges Eisen Fe(III+).

Ferro-Eisenverbindungen: Siderit = FeCO_{3(s)}, Pyrrhothit = FeS_(s)

Ferri-Eisenverbindungen: Ferrihydrit = FeO(OH), Goethit = alpha-FeO(OH), Maghaemit = gamma-Fe₂O₃,

Amorphes Ferri(oxy)hydroxid = am. FeO(OH), amorphes Eisenhydroxid = am. Fe(OH)₃.

Aufgaben

Überlegen Sie sich Lösungen zu den folgenden Fragen:

1 Präzipitatbildung

Warum entstehen auch in Röhrcchen, die nicht beimpft wurden rostfarbene Banden ?

2 Spezifität

Welche Folgerungen lassen sich aus den Experimenten 8, 9 und 10 (siehe Tabelle) ziehen ?

3 Autotrophie

Experiment 3 (Tabelle) in Verbindung mit Experiment 1 deutet auf autotrophes Wachstum von Stamm ES-2 hin. Welche Experimente würden Sie zusätzlich ausführen, um C-Autotrophie nachzuweisen ?

4 Chemolithotrophie

Welche Ergebnisse unterstützen die chemolithotrophe Lebensweise von Stamm ES-2 ?

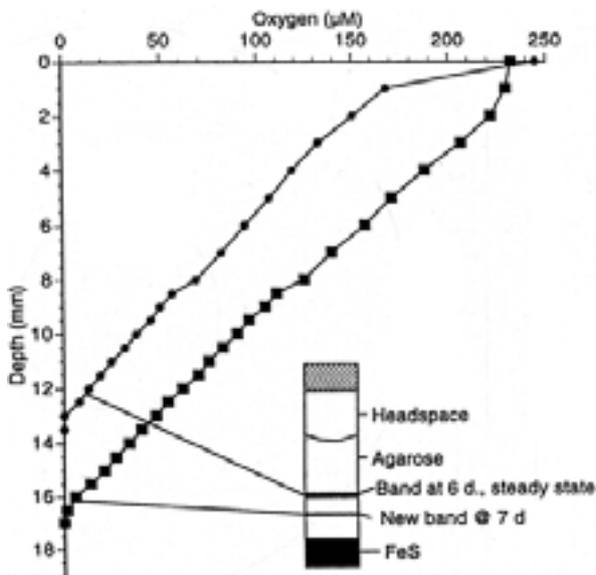
5 Chemoorganotrophie

Inwiefern wurde mit Experiment 11 (Tabelle) überprüft, ob der Organismus ES-2 auch chemoorganotroph wachsen könne ?

6 Diffusion

Aus Abb.1 geht hervor, dass sich nach längerer Inkubation tiefer unten im Agar eine weitere Bande bildete. Wie lässt sich diese erklären ?

Abbildung 1: Agar-Gradientenröhrcchen

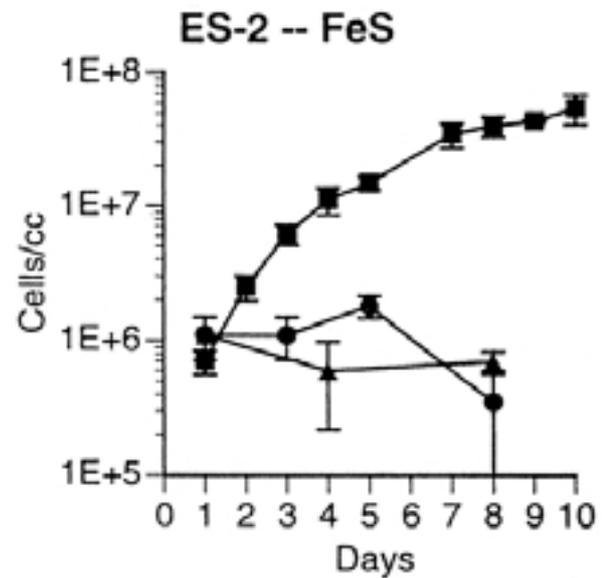


Entwicklung und Wanderung der rostfarbenen Bande und zugehörige Sauerstoffprofile in Agarose-Gradienten-Röhrcchen. Die erste Bande befand sich nach 6 Tagen in 13 mm Tiefe, die zweite nach 7 Tagen in 16.5 mm Tiefe.

7 Ferro-Eisen-Quelle

Warum ist es empfehlenswerter, für die Anreicherung von Fe(II+)-oxidierenden Bakterien Siderit und nicht Pyrrhoit zu verwenden ?

Abbildung 2: Wachstumskurven



Wachstumskurve für Stamm ES-2 in Gradienten mit FeS (Vierecke), ohne FeS aber mit 10 mM Acetat (Kreise) und mit Agarose allein, ohne FeS und ohne Acetat (Dreiecke).

8 Energetik

Beurteilen Sie anhand von Abb.3 die Energetik der Gesamtreaktion, die sich aus Reaktion 1 + 2 ergibt und zeichnen Sie deren Verlauf in die Figur ein:

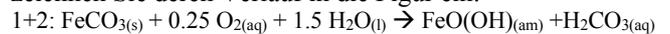
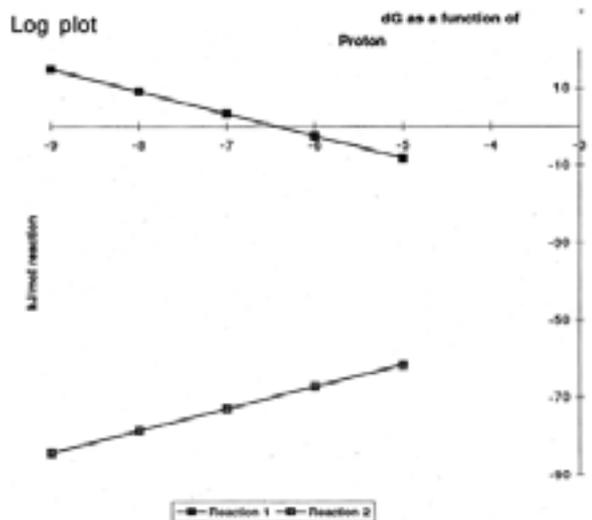
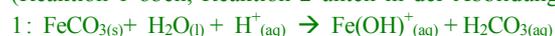


Abbildung 3: Thermodynamische Betrachtung



ΔGr -Werte in kJ/Reaktion; dG steht für ΔGr auf der Ordinate aufgetragen, Proton steht für die H^+ -Konzentration (10^{-pH}) auf der Abszisse dargestellt. Die beiden Reaktionen 1 & 2 (Reaktion 1 oben, Reaktion 2 unten in der Abbildung) sind



in Abhängigkeit des pH (5-9). Den Berechnungen von ΔGr wurden für die in gelöster Form vorliegenden Reaktionspartner die folgenden Aktivitäten zugrunde gelegt (alle Angaben in Moleq./Liter): $O_{2(aq)} 10^{-6}$; $Fe(OH)^+(aq) 10^{-5}$; $H_2CO_3(aq) 10^{-2}$. Für die Aktivitäten von H_2O und von Festsubstanzen wurde 1.0 eingesetzt.