

# Aereazione

**Le fermentazioni industriali sono generalmente processi aerobici che avvengono in coltura sommersa**

In queste condizioni i microrganismi possono acquisire solo substrati disciolti, anche se gassosi come l' $O_2$

- **Qual'è la quantità di  $O_2$  necessaria per il bioprocesso?**
- Qual'è la  $[O_2]$  necessaria per il bioprocesso?

L' $O_2$  è molto poco solubile in  $H_2O$ , per cui esso deve essere costantemente rifornito attraverso l'aereazione della brodocoltura, migliorata nell'STR dalla continua agitazione

- Come avviene il trasferimento dell' $O_2$  dalla fase gassosa alla fase liquida?

Qual'è la quantità di  $O_2$  necessaria per il bioprocesso?

## **RUOLO DELL' $O_2$ NEL METABOLISMO**

@ **Accettore ultimo degli elettroni prodotti durante il processo di ossidazione**

@ **Substrato di reazioni del metabolismo primario e secondario**

es.: introduzione di  $O_2$  in composti organici ad opera di mono- e diossigenasi

- catabolismo di idrocarburi alifatici
- catabolismo di idrocarburi aromatici
- trasformazione di antibiotici

**La specifica quantità di  $O_2$  necessaria per il bioprocesso dipende dal tipo di metabolismo!**

Qual'è la quantità di  $O_2$  necessaria per il bioprocesso?

## **LA RICHIESTA DI $O_2$ DIPENDE DAL TIPO DI METABOLISMO**

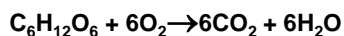
- **Fonte di C** utilizzata per produrre energia
- **Grado di riduzione della fonte di C** (quindi dalla stechiometria della reazione di ossidazione)
- **Frazione di substrato convertita in biomassa**
- **Grado di ossidazione della biomassa** (quindi dalla composizione elementare della biomassa)

**Per calcolare la quantità di  $O_2$  richiesta si deve far riferimento alla stechiometria della reazione relativa alla produzione di biomassa da un dato substrato**

Qual'è la quantità di O<sub>2</sub> necessaria per il bioprocesso?

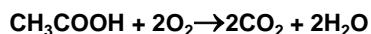
## ESEMPI DI FONTI DI C UTILIZZATI PER PRODURRE ENERGIA

### Glucosio



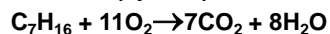
1 mole O<sub>2</sub> / mole C  
192 g O<sub>2</sub> per 180g glucosio  
1.07 g O<sub>2</sub> / g glucosio

### Acido acetico



(1 mole O<sub>2</sub> / mole C)

### Idrocarburi (eptano)



(1.6 moli O<sub>2</sub> / mole C)

La stechiometria dell'ossidazione del substrato rappresenta una stima approssimativa dell'O<sub>2</sub> richiesto, poiché non tiene conto della frazione di substrato (es. glucosio) convertita in biomassa

Un calcolo più accurato può essere impostato applicando l'equazione di Johnson

$$\frac{A}{Y_{X/S}} - B = C$$

Qual'è la quantità di O<sub>2</sub> necessaria per il bioprocesso?

## L'EQUAZIONE DI JOHNSON

A = quantità di O<sub>2</sub> necessaria ad ossidare completamente 1 g di substrato

B = quantità di O<sub>2</sub> necessaria ad ossidare completamente 1 g di biomassa (41.7 mmoliO<sub>2</sub>/g)

Y<sub>X/S</sub> = resa, grammi di cellule prodotte da 1 g di substrato

$$\frac{A}{Y_{X/S}} - B = C$$

C = quantità di O<sub>2</sub> necessaria convertire il substrato in 1 g di biomassa

Se il substrato è glucosio,

$$A = 33.43 \text{ mmoli O}_2/\text{g glucosio} \quad Y_{X/S} = 0.5 \quad C = \frac{33.43}{0.5} - 41.7 = 25.16 \text{ mmoli O}_2/\text{g biomassa} = 0.8 \text{ g O}_2/\text{g biomassa}$$

La quantità di O<sub>2</sub> da supplementare corrisponde circa alla quantità finale di biomassa da produrre!

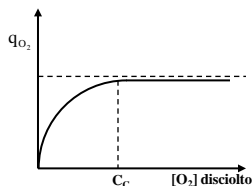
Qual'è la  $[O_2]$  necessaria per il bioprocesso?

## L'OSSIGENO COME SUBSTRATO LIMITANTE

La stima del fabbisogno complessivo non è da sola sufficiente a determinare la quantità di  $O_2$  da fornire!

Il metabolismo e la crescita sono influenzati dalla concentrazione dell' $O_2$  disciolto in quanto essa influenza la **velocità specifica di assunzione del gas**

$$q_{O_2} = \frac{q_{o,max} C}{K_O + C}$$



$C_C$  = concentrazione di  $O_2$  critica

**Una produzione massima di biomassa può essere ottenuta solo se, oltre a soddisfare la specifica richiesta di  $O_2$ , la concentrazione del gas è mantenuta al di sopra di  $C_C$**

**Per  $C < C_C$  le cellule risulteranno metabolicamente disturbate o cesseranno di crescere!!**

il trasferimento dell' $O_2$  dalla fase gassosa alla fase liquida

## QUANTO E' SOLUBILE L' $O_2$ IN $H_2O$ ?

Legge di Henry: *la concentrazione di gas disciolto in un dato solvente ad una data temperatura è proporzionale alla pressione parziale del gas in equilibrio con la soluzione*

$$C^* = p_O H$$

dove  $H$  = costante di Henry;  $p_O$  = pressione parziale  $O_2$

Per l' $O_2$   $H = 38.8 \text{ mg/l atm}$  a  $25^\circ\text{C}$ , in soluzioni acquose

Nell'aria a 1 atm  $p_O = 0.209 \text{ atm}$   $C^* = 0.209 \times 38.8 = 8.1 \text{ mg } O_2/\text{l}$   
 $= 0.25 \text{ mmol } O_2/\text{l}$

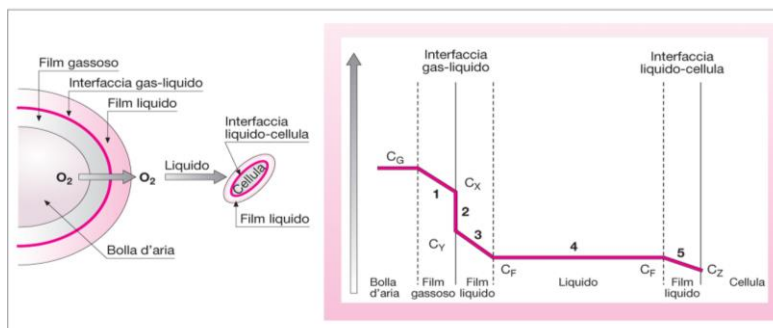
Se assumiamo una tipica velocità di respirazione  $50 \text{ mmol } O_2/\text{l h}$ , in assenza di traferimento, l' $O_2$  sarà consumato in:

$$\frac{0.25}{50} = 5 \times 10^{-3} \text{ h} = 18 \text{ sec}$$

il trasferimento dell'O<sub>2</sub> dalla fase gassosa alla fase liquida

## IL TRASFERIMENTO DELL'OSSIGENO

Secondo il modello del film liquido stazionario, all'interfaccia tra **bolla di gas e liquido**, o tra **liquido e cellula** esiste un **film liquido stazionario** nel quale c'è un gradiente di concentrazione del gas disciolto.



Tre sono le principali fasi di trasferimento dell'O<sub>2</sub> dall'aria alla cellula:

1. Trasferimento di O<sub>2</sub> dalla bolla d'aria alla soluzione (*bulk liquid*)
2. Trasferimento di O<sub>2</sub> disciolto nella soluzione attraverso il brodo fino alla cellula (↑agitazione)
3. Assunzione (*uptake*) di O<sub>2</sub> disciolto da parte della cellula (*molto veloce*)

**Il passaggio più lento e limitante è il primo!**

il trasferimento dell'O<sub>2</sub> dalla fase gassosa alla fase liquida

## La velocità di trasferimento di O<sub>2</sub> attraverso il film liquido stazionario

Essendo di natura diffusiva dipende dal gradiente di concentrazione tra le varie fasi

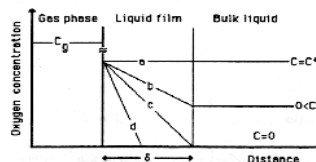


Fig 6.2 Oxygen concentration gradients at the gas-liquid interface.  $C_G$  is the oxygen concentration in the gas phase (about 300 mg/L). At the liquid side of the interface ( $\delta=0$ ) the dissolved oxygen concentration  $C^*$  is given by Henry's law. It is about 7 mg/L in water in equilibrium with air. Depending on the oxygen consumption rate in the liquid different concentration gradients (a-d) will appear through the liquid film with the thickness  $\delta$ .

Possiamo dire che la **velocità di trasferimento di O<sub>2</sub>** o **OTR** è

$$OTR = DA \frac{\Delta C}{\delta}$$

$$\text{Se } \frac{D}{\delta} = K_L \quad \text{e} \quad a = \frac{A}{V_L}$$

D = coefficiente di diffusione di O<sub>2</sub> (m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>)

A = area interfacciale (m<sup>2</sup>)

$\Delta C$  = gradiente di concentrazione attraverso il film =  $C^* - C$

$\delta$  = spessore del film (non noto)

$K_L$  = coefficiente di trasferimento di massa (m h<sup>-1</sup>)

a = area interfacciale per unità di volume di liquido (m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>)

$$OTR = K_L a (C^* - C)$$

$C^*$  è la concentrazione di saturazione dell' O<sub>2</sub> nel liquido e corrisponde alla concentrazione dell'ossigeno nel film liquido all'interfaccia con la fase gassosa. C è la concentrazione di ossigeno in soluzione

il trasferimento dell'O<sub>2</sub> dalla fase gassosa alla fase liquida

$$OTR = K_L a (C^* - C)$$

**L'agitazione meccanica del mezzo ha un effetto positivo sull'OTR in quanto:**

- ❖ Disperde l'aria in piccole bolle, aumenta  $a$  ( $a=A/V$ )
- ❖ Ostacola la fuoriuscita delle bolle dal liquido
- ❖ Previene la coalescenza delle bolle e conseguente riduzione di  $a$
- ❖ Diminuisce lo spessore del film interfacciale gas/liquido ( $\delta$ )  $\frac{D}{\delta} = K_L$

il trasferimento dell'O<sub>2</sub> dalla fase gassosa alla fase liquida

$$OTR = K_L a (C^* - C)$$

**$K_L a$  = coefficiente volumetrico di trasferimento dell'O<sub>2</sub> (h<sup>-1</sup>)**

- ☞ Rappresenta la misura della capacità di aereazione di un fermentatore, che è tanto maggiore quanto maggiore è  $K_L a$
- ☞ Se  $K_L a$  è piccolo, la riserva di O<sub>2</sub> sarà rapidamente esaurita e la  $C$  scende sotto il livello critico  $C_c$

**E' una proprietà del fermentatore e dipende da vari parametri:**

- Temperatura
- Flusso aria in entrata
- Proprietà reologiche del brodo
- Agitazione
- Rapporto tra altezza e larghezza del fermentatore