
TENTAMEN I BIOREAKTIONSTEKNIK KKR090

Fredag 23/8 2013 fm VV

Claes Niklasson kommer att besöka tentamenslokalen.

Examinator: Claes Niklasson (772 3027 – 0731574690)

Granskning av tentamensrättning sker 4/9, 12:30-13:15 i KRTs seminarierum

Tillåtna hjälpmedel: Räknedosa

UPPGIFT 1 (10 poäng)

Man har genomfört ett tillväxtförsök (batch) med en renodlad bakteriekultur i ett flytande medium. Till ett rör med 8 ml steril buljong sattes 4 ml ympkultur med en koncentration om $3,5 \cdot 10^8$ celler/ml. Antalet bakterier/ml bestämdes därefter vid tre tillfällen:

4 timmar efter ymp: $7,3 \cdot 10^7$ c/ml

7 timmar efter ymp: $1,9 \cdot 10^8$ c/ml

Följande koncentration uppmättes då cellerna hunnit in i stationärfas: $7,5 \cdot 10^8$ c/ml

Inga problem tillstötte under försöket dvs tillväxtkurvan såg helt normal ut.

A: Hur lång var generationstiden (h)?

B: När slutade lag-fasen (h)?

C: Hur lång var log-fasen(h)?

UPPGIFT 2 (12 poäng)

En mikroorganism tillväxer på ett substrat (glukos) enligt följande volumetriska produktionshastighet:

$$q_x = 0.17 \frac{S}{(0.3 + S)} X \quad \left(\frac{g}{l h} \right)$$

Koncentrationen av substrat (s) i inloppet av en kemostatodling är 7,3 g/l . Utbyteskoefficienten för biomassa i detta fall är $Y_{x/s} = 0.28$ g/g. Antag rent respirativ fermentation.

Biomassa = $CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$

Kvävekälla = Ammoniak

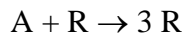
A: Beräkna aktuell biomassa- och CO₂ prod (g/l h) då utspädningshastigheten (D) är 0.1 h⁻¹.

B: Beräkna maximal utspädningshastighet för att fortfarande ha biologisk aktivitet i reaktorn.

C: Beräkna maximal biomassaproduktion i denna kemostat.

UPPGIFT 3 (12 poäng)

Produkten R avser man att framställa ur reaktanten A genom den autokatalytiska reaktionen



Hastighetsekvationen för detta förlopp kan skrivas

$$r = k c_A c_R$$

där hastighetskonstanten vid rådande betingelser är $k = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Produktionen är planerad att ske kontinuerligt i en ideal tubreaktor i gasfas

A: Beräkna reaktorvolymen då omsättningsgraden av A i utgående flöde är 0.95.

Sammansättningen i det färska inflödet är $c_A^0 = 2 \text{ kmol/m}^3 = c_R^0$.

Den totala molära flödes hastigheten i det färska inflödet är 1 kmol/s.

Reaktionen sker isotermt och isobart i reaktorn.

UPPGIFT 4 (10 poäng)

För att bestämma DRT för sterilisering av en viss organism utfördes ett dynamiskt försök. Försöket utfördes så att ett känt antal mikroorganismer ympades till en satsreaktor. Därefter mättes antalet mikroorganismer vid olika tider. Omrörningen i reaktorn kan anses ideal. Data ges i tabell enligt:

TID (MIN)	ANTAL ORGANISMER	TEMPERATUR (°C)
12	$1.3 \cdot 10^{11}$	120
25	$1.6 \cdot 10^8$	120

A: Bestäm DRT vid temperaturen 120 °C

Antag aktiveringsenergin för avdödning för denna organism är 37 kJ/mol.

B: Vad skulle DRT då bli vid 140 °C

UPPGIFT 5 (6 poäng)

A: Vilka parametrar anser du är viktigast att mäta och styra för att bibehålla stationärtillstånd i en kontinuerlig odling av jästceller när man vill ha konstant cellkoncentration?

B: Vad är anledningarna till att kontinuerliga processer är så ovanliga i industriell skala ?

C: Beskriv de 2 olika typer av principer för fed-batch odlingar som existerar

UPPGIFT 6 (10 poäng)

Ur följande kemostat data vill man, för att beskriva kinetiken, anpassa en sk Contois modell enligt

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_X X + S}$$

Substrat (S) g/l (ut ur reaktor)	spec. tillväxthast. μ h ⁻¹
0.8	0.13
0.5	0.12
0.3	0.11
0.2	0.09

$$Y_{x/s} = 0.12 \text{ g/g}, S^{\text{in}} = 2 \text{ g/l}$$

A: Bestäm ur dessa data så noggrant som möjligt de okända kinetikkonstanterna K_X och μ_{\max}

Ledning: Lösningen skall göras grafiskt.

B: Diskutera hur väl experimenten har planerats om man är ute efter att bestämma en kinetik (koefficienter) och föreslå hur ni hellre skulle ha utfört ytterligare experiment för att få en så välbestämd och användbar kinetikmodell som möjligt.

Formelsamling: Bioreaktionsteknik KKR090

Reaktionsomsättning

$$n_j = n_j^\circ + \sum v_{ij} \xi_j, \quad i = 1, 2, \dots, R$$

$$F_j = F_j^\circ + \sum v_{ij} R_i \quad R_i = \frac{d \xi_i}{dt}$$

Omsättningsgrad

$$F_j = F_j^\circ (1 - x_j), \quad x_j > 0 \quad \text{då } v_j < 0$$

Reaktionsentalpi

$$\Delta H = \sum v_j h_j = \sum v_j (\Delta H_f^\circ)_j$$

Medelmolvärme

$$\langle c_p \rangle = \left[1 / (T_2 - T_1) \right] \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$$

$$\text{Reduceringsgrad} \quad \gamma_i = 4 + a_i - 2b_i - (c_i/c_4) * (4d_4 + a_4 - 2b_4)$$

Uppehållstidfördelning

$$\langle t \rangle = \int_0^1 t dF(t), \quad \langle t \rangle = \int_0^\infty t E(t) dt \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 = \int_0^\infty (t - \langle t \rangle)^2 E(t) dt$$

$$\text{Pulsmetoden} \quad E(t) = \frac{c_s}{\int_0^\infty c_s dt} \quad \text{Stegmetoden} \quad F(t) = \frac{C_s - C_{s0}}{C_{s1} - C_{s0}}$$

Ideal tankreaktor

$$E(t) = (1/\tau) \exp(-t/\tau)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t/\tau)$$

Linjär process eller segregerat flöde

$$\langle c_j \rangle = \int_0^\infty c_j(t) E(t) dt$$

Spårämnesförsök öppen mätsträcka

$$\langle t \rangle = (L/v) [1 + 2(D_{ea}/vL)] \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 / \langle t \rangle^2 = 2(D_{ea}/vL) + 8(D_{ea}/vL)^2$$

Spårämnesförsök slutna mätsträcka

$$\langle t \rangle = L/v \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 / \langle t \rangle^2 = 2(D_{ea}/vL) - 2(D_{ea}/vL)^2 [1 - \exp(-vL/D_{ea})]$$

Jämförelse av ideal och reell reaktor för första ordningens förlopp

Vid given omsättningsgrad:

$$(V_{reell} / V_{ideal}) = 1 + k_1 \tau_{reell} \frac{D_{ea}}{v L_{reell}} \quad (\text{tom tub})$$

Vid lika reaktorvolym:

$$(1 - x)_{reell} / (1 - x)_{ideal} = 1 + (k_1 \tau)^2 (D_{ea}/vL) \quad (\text{tom tub})$$

$$\text{Tankseriemodellen} \quad \langle t \rangle = \tau, \quad N = \tau^2 / \sigma_t^2$$

ELEMENTARY FORMS

1. $\int a \, dx = ax$
2. $\int a \cdot f(x) \, dx = a \int f(x) \, dx$
3. $\int \phi(y) \, dx = \int \frac{\phi(y)}{y'} \, dy$, where $y' = \frac{dy}{dx}$
4. $\int (u + v) \, dx = \int u \, dx + \int v \, dx$, where u and v are any functions of x
5. $\int u \, dv = u \int dv - \int v \, du = uv - \int v \, du$
6. $\int u \frac{dv}{dx} \, dx = uv - \int v \frac{du}{dx} \, dx$
7. $\int x^n \, dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$, except $n = -1$
8. $\int \frac{f'(x) \, dx}{f(x)} = \log f(x)$, ($df(x) = f'(x) \, dx$)
9. $\int \frac{dx}{x} = \log x$
10. $\int \frac{f'(x) \, dx}{2\sqrt{f(x)}} = \sqrt{f(x)}$, ($df(x) = f'(x) \, dx$)
11. $\int e^x \, dx = e^x$
12. $\int e^{ax} \, dx = e^{ax}/a$
13. $\int b^{ax} \, dx = \frac{b^{ax}}{a \log b}$, ($b > 0$)
14. $\int \log x \, dx = x \log x - x$
15. $\int a^x \log a \, dx = a^x$, ($a > 0$)
16. $\int \frac{dx}{a^2 + x^2} = \frac{1}{a} \tan^{-1} \frac{x}{a}$

17. $\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \begin{cases} \frac{1}{a} \tanh^{-1} \frac{x}{a} \\ \text{or} \\ \frac{1}{2a} \log \frac{a+x}{a-x}, \end{cases} \quad (a^2 > x^2)$
18. $\int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \begin{cases} -\frac{1}{a} \coth^{-1} \frac{x}{a} \\ \text{or} \\ \frac{1}{2a} \log \frac{x-a}{x+a}, \end{cases} \quad (x^2 > a^2)$
19. $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \begin{cases} \sin^{-1} \frac{x}{|a|} \\ \text{or} \\ -\cos^{-1} \frac{x}{|a|}, \end{cases} \quad (a^2 > x^2)$
20. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \log(x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$
21. $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2 - a^2}} = \frac{1}{|a|} \sec^{-1} \frac{x}{a}$
22. $\int \frac{dx}{x\sqrt{a^2 \pm x^2}} = -\frac{1}{a} \log \left(\frac{a + \sqrt{a^2 \pm x^2}}{x} \right)$

FORMS CONTAINING $(a + bx)$

For forms containing $a + bx$, but not listed in the table, the substitution $u = \frac{a + bx}{x}$ may prove helpful.

23. $\int (a + bx)^n \, dx = \frac{(a + bx)^{n+1}}{(n+1)b}$, ($n \neq -1$)
24. $\int x(a + bx)^n \, dx$

$$= \frac{1}{b^2(n+2)}(a + bx)^{n+2} - \frac{a}{b^2(n+1)}(a + bx)^{n+1}, \quad (n \neq -1, -2)$$
25. $\int x^2(a + bx)^n \, dx = \frac{1}{b^3} \left[\frac{(a + bx)^{n+3}}{n+3} - 2a \frac{(a + bx)^{n+2}}{n+2} + a^2 \frac{(a + bx)^{n+1}}{n+1} \right]$

INTEGRALS (Continued)

$$26. \int x^m(a+bx)^n dx = \begin{cases} \frac{x^{m+1}(a+bx)^n}{m+n+1} + \frac{an}{m+n+1} \int x^m(a+bx)^{n-1} dx \\ \text{or} \\ \frac{1}{a(n+1)} \left[-x^{m+1}(a+bx)^{n+1} \right. \\ \quad \left. + (m+n+2) \int x^m(a+bx)^{n+1} dx \right] \\ \text{or} \\ \frac{1}{b(m+n+1)} \left[x^m(a+bx)^{n+1} - ma \int x^{m-1}(a+bx)^n dx \right] \end{cases}$$

$$27. \int \frac{dx}{a+bx} = \frac{1}{b} \log(a+bx)$$

$$28. \int \frac{dx}{(a+bx)^2} = -\frac{1}{b(a+bx)}$$

$$29. \int \frac{dx}{(a+bx)^3} = -\frac{1}{2b(a+bx)^2}$$

$$30. \int \frac{x dx}{a+bx} = \begin{cases} \frac{1}{b^2} [a+bx - a \log(a+bx)] \\ \text{or} \\ \frac{x}{b} - \frac{a}{b^2} \log(a+bx) \end{cases}$$

$$31. \int \frac{x dx}{(a+bx)^2} = \frac{1}{b^2} \left[\log(a+bx) + \frac{a}{a+bx} \right]$$

$$32. \int \frac{x dx}{(a+bx)^n} = \frac{1}{b^2} \left[\frac{-1}{(n-2)(a+bx)^{n-2}} + \frac{a}{(n-1)(a+bx)^{n-1}} \right], \quad n \neq 1, 2$$

$$33. \int \frac{x^2 dx}{a+bx} = \frac{1}{b^3} \left[\frac{1}{2}(a+bx)^2 - 2a(a+bx) + a^2 \log(a+bx) \right]$$

$$34. \int \frac{x^2 dx}{(a+bx)^2} = \frac{1}{b^3} \left[a+bx - 2a \log(a+bx) - \frac{a^2}{a+bx} \right]$$

$$35. \int \frac{x^2 dx}{(a+bx)^3} = \frac{1}{b^3} \left[\log(a+bx) + \frac{2a}{a+bx} - \frac{a^2}{2(a+bx)^2} \right]$$

$$36. \int \frac{x^2 dx}{(a+bx)^n} = \frac{1}{b^3} \left[\frac{-1}{(n-3)(a+bx)^{n-3}} \right. \\ \left. + \frac{2a}{(n-2)(a+bx)^{n-2}} - \frac{a^2}{(n-1)(a+bx)^{n-1}} \right], \quad n \neq 1, 2, 3$$

INTEGRALS (Continued)

$$37. \int \frac{dx}{x(a+bx)} = -\frac{1}{a} \log \frac{a+bx}{x}$$

$$38. \int \frac{dx}{x(a+bx)^2} = \frac{1}{a(a+bx)} - \frac{1}{a^2} \log \frac{a+bx}{x}$$

$$39. \int \frac{dx}{x(a+bx)^3} = \frac{1}{a^3} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{2a+bx}{a+bx} \right)^2 + \log \frac{x}{a+bx} \right]$$

$$40. \int \frac{dx}{x^2(a+bx)} = -\frac{1}{ax} + \frac{b}{a^2} \log \frac{a+bx}{x}$$

$$41. \int \frac{dx}{x^3(a+bx)} = \frac{2bx-a}{2a^2x^2} + \frac{b^2}{a^3} \log \frac{x}{a+bx}$$

$$42. \int \frac{dx}{x^2(a+bx)^2} = -\frac{a+2bx}{a^2x(a+bx)} + \frac{2b}{a^3} \log \frac{a+bx}{x}$$

FORMS CONTAINING $c^2 \pm x^2$, $x^2 - c^2$

$$43. \int \frac{dx}{c^2+x^2} = \frac{1}{c} \tan^{-1} \frac{x}{c}$$

$$44. \int \frac{dx}{c^2-x^2} = \frac{1}{2c} \log \frac{c+x}{c-x}, \quad (c^2 > x^2)$$

$$45. \int \frac{dx}{x^2-c^2} = \frac{1}{2c} \log \frac{x-c}{x+c}, \quad (x^2 > c^2)$$

$$46. \int \frac{x dx}{c^2 \pm x^2} = \pm \frac{1}{2} \log(c^2 \pm x^2)$$

$$47. \int \frac{x dx}{(c^2 \pm x^2)^{n+1}} = \mp \frac{1}{2n(c^2 \pm x^2)^n}$$

$$48. \int \frac{dx}{(c^2 \pm x^2)^n} = \frac{1}{2c^2(n-1)} \left[\frac{x}{(c^2 \pm x^2)^{n-1}} + (2n-3) \int \frac{dx}{(c^2 \pm x^2)^{n-1}} \right]$$

$$49. \int \frac{dx}{(x^2-c^2)^n} = \frac{1}{2c^2(n-1)} \left[-\frac{x}{(x^2-c^2)^{n-1}} - (2n-3) \int \frac{dx}{(x^2-c^2)^{n-1}} \right]$$

$$50. \int \frac{x dx}{x^2-c^2} = \frac{1}{2} \log(x^2-c^2)$$

$$51. \int \frac{x dx}{(x^2-c^2)^{n+1}} = -\frac{1}{2n(x^2-c^2)^n}$$

FORMS CONTAINING $a + bx$ and $c + dx$

$$u = a + bx, \quad v = c + dx, \quad k = ad - bc$$

$$\text{If } k = 0, \text{ then } v = \frac{c}{a}u$$

$$52. \int \frac{dx}{u \cdot v} = \frac{1}{k} \cdot \log \left(\frac{v}{u} \right)$$

$$53. \int \frac{x dx}{u \cdot v} = \frac{1}{k} \left[\frac{a}{b} \log(u) - \frac{c}{d} \log(v) \right]$$

$$54. \int \frac{dx}{u^2 \cdot v} = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{u} + \frac{d}{k} \log \frac{v}{u} \right)$$

$$55. \int \frac{x dx}{u^2 \cdot v} = \frac{-a}{bku} - \frac{c}{k^2} \log \frac{v}{u}$$

$$56. \int \frac{x^2 dx}{u^2 \cdot v} = \frac{a^2}{b^2ku} + \frac{1}{k^2} \left[\frac{c^2}{d} \log(v) + \frac{a(k-bc)}{b^2} \log(u) \right]$$

$$57. \int \frac{dx}{u^n \cdot v^m} = \frac{1}{k(m-1)} \left[\frac{-1}{u^{n-1} \cdot v^{m-1}} - (m+n-2)b \int \frac{dx}{u^n \cdot v^{m-1}} \right]$$

$$58. \int \frac{u}{v} dx = \frac{bx}{d} + \frac{k}{d^2} \log(v)$$

$$59. \int \frac{u^m dx}{v^n} = \begin{cases} \frac{-1}{k(n-1)} \left[\frac{u^{m+1}}{v^{n-1}} + b(n-m-2) \int \frac{u^m}{v^{n-1}} dx \right] \\ \text{or} \\ \frac{-1}{d(n-m-1)} \left[\frac{u^m}{v^{n-1}} + mk \int \frac{u^{m-1}}{v^n} dx \right] \\ \text{or} \\ \frac{-1}{d(n-1)} \left[\frac{u^m}{v^{n-1}} - mb \int \frac{u^{m-1}}{v^{n-1}} dx \right] \end{cases}$$

FORMS CONTAINING $(a + bx^n)$

$$60. \int \frac{dx}{a + bx^2} = \frac{1}{\sqrt{ab}} \tan^{-1} \frac{x\sqrt{ab}}{a}, \quad (ab > 0)$$

$$61. \int \frac{dx}{a + bx^2} = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{-ab}} \log \frac{a + x\sqrt{-ab}}{a - x\sqrt{-ab}}, & (ab < 0) \\ \text{or} \\ \frac{1}{\sqrt{-ab}} \tanh^{-1} \frac{x\sqrt{-ab}}{a}, & (ab < 0) \end{cases}$$

$$62. \int \frac{dx}{a^2 + b^2x^2} = \frac{1}{ab} \tan^{-1} \frac{bx}{a}$$

$$63. \int \frac{x dx}{a + bx^2} = \frac{1}{2b} \log(a + bx^2)$$

$$64. \int \frac{x^2 dx}{a + bx^2} = \frac{x}{b} - \frac{a}{b} \int \frac{dx}{a + bx^2}$$

$$65. \int \frac{dx}{(a + bx^2)^2} = \frac{x}{2a(a + bx^2)} + \frac{1}{2a} \int \frac{dx}{a + bx^2}$$

$$66. \int \frac{dx}{a^2 - b^2x^2} = \frac{1}{2ab} \log \frac{a + bx}{a - bx}$$

$$67. \int \frac{dx}{(a + bx^2)^{m+1}} = \begin{cases} \frac{1}{2ma} \frac{x}{(a + bx^2)^m} + \frac{2m-1}{2ma} \int \frac{dx}{(a + bx^2)^m} \\ \text{or} \\ \frac{(2m)!}{(m!)^2} \left[\frac{x}{2a} \sum_{r=1}^m \frac{r!(r-1)!}{(4a)^{m-r}(2r)!(a + bx^2)^r} + \frac{1}{(4a)^m} \int \frac{dx}{a + bx^2} \right] \end{cases}$$

$$68. \int \frac{x dx}{(a + bx^2)^{m+1}} = -\frac{1}{2bm(a + bx^2)^m}$$

$$69. \int \frac{x^2 dx}{(a + bx^2)^{m+1}} = \frac{-x}{2mb(a + bx^2)^m} + \frac{1}{2mb} \int \frac{dx}{(a + bx^2)^m}$$

$$70. \int \frac{dx}{x(a + bx^2)} = \frac{1}{2a} \log \frac{x^2}{a + bx^2}$$

$$71. \int \frac{dx}{x^2(a + bx^2)} = -\frac{1}{ax} - \frac{b}{a} \int \frac{dx}{a + bx^2}$$

$$72. \int \frac{dx}{x(a + bx^2)^{m+1}} = \begin{cases} \frac{1}{2am(a + bx^2)^m} + \frac{1}{a} \int \frac{dx}{x(a + bx^2)^m} \\ \text{or} \\ \frac{1}{2a^{m+1}} \left[\sum_{r=1}^m \frac{a^r}{r(a + bx^2)^r} + \log \frac{x^2}{a + bx^2} \right] \end{cases}$$

$$73. \int \frac{dx}{x^2(a + bx^2)^{m+1}} = \frac{1}{a} \int \frac{dx}{x^2(a + bx^2)^m} - \frac{b}{a} \int \frac{dx}{(a + bx^2)^{m+1}}$$

$$74. \int \frac{dx}{a + bx^3} = \frac{k}{3a} \left[\frac{1}{2} \log \frac{(k+x)^3}{a + bx^3} + \sqrt{3} \tan^{-1} \frac{2x-k}{k\sqrt{3}} \right], \quad \left(k = \sqrt[3]{\frac{a}{b}} \right)$$

$$75. \int \frac{x dx}{a + bx^3} = \frac{1}{3bk} \left[\frac{1}{2} \log \frac{a + bx^3}{(k+x)^3} + \sqrt{3} \tan^{-1} \frac{2x-k}{k\sqrt{3}} \right], \quad \left(k = \sqrt[3]{\frac{a}{b}} \right)$$

Second order reaction

