บทที่ 10

อ๊อกซิเจน และแกซอื่น ๆ ละลาย

(Oxygen and other dissolved gas)

แหล่งที่มาของแกซในบรรณยากาศ (Atmosphere source of gases)

แกซจากบรรณยากาศ ได้ซึมผ่านลงสู่แหล่งน้ำอย่างน้อย 5-6 แกซที่สำคัญ มันทำหน้าที่ทางชีวะ, เคมี, ฟิสิคส์ แต่แตกต่างกันในจุดกำเหนิด, คุณสมบัติ ทางชีวะ N, O_2 และ CO_2 มีความสำคัญมาก N และ O มีมากที่สุดประมาณ 78% และ 21% (Table 10-1) ส่วน CO_2 เป็นแกซที่อยู่ในสภาพสารละลาย อยู่ที่ผิวทะเลสาป มีประมาณใกล้เคียงกับ Argon (A) ใน Table 10-2 CO_2 มีประมาณ 28 เท่าของ Argon ในความกดดัน 1 บรรณยากาศ

แกซส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโมเลกุส H, CO, N_2O, O_3, CH_4, NH_3, SO_2 และแกซเฉื่อย เช่น Kryton, Neon,

Table 10-l. Gaseous composition of atmosphere in percent by volume

Gas	Percent
Nitrogen (N_2)	78.084
Oxygen (O_2)	20.946
Argon (Al	0.934
Carbon dioxide (CO_2)	0.033'

*Estimates vary, but this is close to 1973 value.

Table **10-2. Solubility** of the common atmospheric gases in pure water at 10" C and at (I) a theoretical l-atmosphere pressure of the gases and at (II) their normal partial pressures*

Gas.	I	II
Nitrogen (N_2)	18.61	14.53
Oxygen (O_2)	36.46	8.06
Argon (A)	41.82	0.39
Carbon dioxide (CO_2)	1,194.00	0.39

*All values are in ml per liter.

กฎของเฮนรี่ และการละลายของแกซในสารละลาย

(Henry's law and gas solubility)

คุณสมบัติทางฟิสิคส์ของแกซในน้ำธรรมชาติอยู่ในสภาพสารละลาย แกซมีหน้าที่และคุณลักษณะแต่ละชนิดโดยถูกดัดแปลงจาก ความดัน, อุณหภูมิ และความเค็ม

Henry's law ว่า ที่อุณหภูมิคงที่, จำนวนแกซถูกดูดซึมอยู่ในปริมาตรของของเหลวเป็นสัดส่วนต่อความดันในบรรณยากาศ ซึ่งแกซได้ซึมเข้ามา

จากสูตร

$$C = K \times P$$

C = ความเข้มข้นของแกซ ถูกดูดซึม หน่วย mg/lt หรือ ml/lt

P = ความดันชั่วคราวที่แกซซึมผ่าน

K = ค่าคงที่จากการเปลี่ยนแปลงของแกซต่อแกซ

แกซส่วนใหญ่จะถูกคำนวณถูกต้องจาก Henry's law CO_2 จะรวมกับรูปของ Cat ion ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับน้ำธรรมชาติที่เข้ามา มันจะมีมากขึ้นกว่า Henry's law ที่ว่า

Effect of altitude อิทธิพลของความสูง

ในระดับความสูงที่สูงขึ้น ทำให้บรรณยากาศมีแกซบริสุทธิ์, ค่าของ P ก็จะลดลง เพราะฉะนั้นแกซที่ละลายอยู่ในของเหลวจะสมดุลย์กับที่อยู่ในอากาศ Table 10-3 แสดงให้เห็นว่า ความสูงทุก ๆ 100 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ที่ความดันบรรณยากาศเฉลี่ยลดลง 8-9 mgHg, จำนวนแกซละลายอิ่มตัวลดลงเกือบ 1.4% แต่ละระดับ 100 เมตร ดังนั้นการสลายตัวของแกซในของเหลว แสดงให้เห็นชัดถึงหน้าที่ของความดันบางส่วน (P) ในสูตรของการสลายตัวในของเหลว

ความกดดันลดลง เมื่ออยู่ในระดับสูงขึ้นไป จากระดับน้ำทะเล ถึง 600 เมตรแรก มันลดลงเกือบ 4% ทุก ๆ 300 เมตร, จาก 600-1500 เมตร มันลดลงเกือบ 3%, และจาก 1500-3050 เมตร มันลดลงเกือบ 2.5% ทุก ๆ 300 เมตร

Table 10-3. Factors for correcting partial pressure *(p)* and relative saturation of gases at different altitudes

Altitude		Pressure		
Feet	Meters	mm Hg	Partial (p) factor	Solubility factor
0	0	750	1.00	1.00
330	100	750	0.99	1.01
655	200	741	0.97	1.03
960	300	732	0.96	1.04
1310	400	723	0.95	1.05
1640	500	714	0.94	1.06
1970	600	705	0.93	1.06
2300	700	696	0.92	1.09
2630	800	687	0.90	1.11
2950	900	679	0.89	1.12
3280	1000	671	0.88	1.13
3610	1100	663	0.87	1.15
3940	1200	655	0.86	1.16
4270	1300	647	0.65	1.17
4600	1400	639	0.84	1.19
4930	1500	631	0.63	1.20
5250	1600	623	0.82	1.22
5580	1700	615	0.81	i.24
5910	1800	608	0.60	1.25
6240	1900	601	0.79	1.26
6560	2000	594	0.76	1.28
6900	2100	587	0.77	1.30
7220	2200	580	0.76	1.31
7550	2300	573	0.75	1.33
7880	2400	566	0.74	1.34
6200	2500	560	0.73	1.36

Effect of temperature อิทธิพลของอุณหภูมิ

แกซที่ละลายในของเหลวลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น มันจะเป็นปฏิภาคกลับกัน น้ำเย็นจะมีแกซอยู่มากกว่าน้ำอุ่น

Effect of salinity อิทธิพลของความเค็ม

เกลือแร่ชนิดต่าง ๆ ในน้ำมีน้อยกว่า แกซเมื่อเกิดความอิ่มตัว น้ำในพื้นดินที่บริสุทธิ์จะมีความเค็มเท่ากับ 0% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์อยู่ 20% น้ำทะเลมีความเค็ม 3.5% เมื่อเปลี่ยนเป็น ppm หรือ mg/lt จะ = 35,000 มากกว่าน้ำในธรรมชาติ น้ำที่มีเกลือละลายอยู่ในทะเลสาปจะมีเกลือแร่มากกว่าน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ในทะเล 5-6 เท่า

Relative saturation

การอิ่มตัวของแกซที่บริเวณเขตของผิวน้ำ และในบรรณยากาศจะสมดุลย์ การละลายของแกซในน้ำจะเท่ากับความเข้มข้นของแกซในสารละลาย ต่อความเข้มข้นของแกซที่อยู่เหนือสารละลาย ความอิ่มตัวสามารถคำนวณที่ความกดดันมากกว่าใต้ผิวน้ำ, จะบังเกิดมากกว่าในมวลน้ำไม่ว่าในกระแสคลื่นในแนวดิ่ง หรือแนวนอน และไม่มีขบวนการอื่นที่จะมาเปลี่ยนแปลง แม้ว่าความดัน 1 บรรณยากาศต่อระดับน้ำที่ลึกเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 เมตร

relative saturation คือความสัมพันธ์ของแกซที่มีอยู่ในของของเหลว ต่อความสมดุลย์ของความจุที่อุณหภูมิเดียวกัน และความกดดันชั่วคราว จาก Table 10-3 จะเห็นว่า ความเข้มข้นของแกซที่ระดับน้ำทะเลมีความอิ่มตัว 100% จะอิ่มตัว 125% ที่ความดัน 1,800 เมตร เมื่อมีสาเหตุอื่นเหมือน กัน สภาพการอิ่มตัวที่ 1,800 เมตรจะมีเพียงแต่ 80% ของความอิ่มตัวของระดับน้ำทะเล

แหล่งที่มาของแกซอื่น ๆ (other sources of gas)

แกซที่สำคัญที่เข้าสู่น้ำ CO_2 ถูกปล่อยออกมาในขบวนการหายใจ และจากทรากเน่าเปื่อย, ขณะที่ O_2 ปรากฏเป็นผลพลอยได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง แกซอื่น ๆ ถูกฟอร์มตัวขึ้นในสภาพความเป็นอยู่ของน้ำบางแห่งจะพบในทะเลสาปทั้งหมด เช่น CH_4 พบในน้ำบางแห่ง แต่มันกำเหนิดจากการทับถมของพืช และสัตว์ ที่ไม่ใช้อ๊อกซิเจนอิสสระกว่าการแลกเปลี่ยนเกิดขึ้นในบรรณยากาศ แกซที่พบบ่อยอีกได้แก่ H_2S มันฟอร์มตัวในทะเลสาป โดยขบวนการทางเคมีของการเปลี่ยนแปลงของ bacteria, ในบรรณยากาศมีน้อยมาก เพราะฉะนั้นมันไม่เข้าสู่ผิวน้ำของทะเลสาป

N_2 ที่อยู่ในรูปอื่นเกิดจาก heterotrophic bacteria สลายตัวของอินทรีย์สารกลายเป็น NH_3 พวก aquatic invertebrates สร้างแกซนี้โดยออกมาจากการขับถ่าย ถ้ามันมีมากก็จะเป็นพิษ NH_3 พบมากในชั้น hypolimnion ของ eutrophic lake ในฤดูร้อน ก่อนมาเป็น NH_3 มันอาจอยู่ในรูปของ NH_4^+ หรือ NH_4OH ในบรรณยากาศมี NH_3 น้อย

วิธีการหาจำนวน O_2 (Oxygen introduction and methodology)

O_2 จำเป็นสำหรับสิ่งที่มีชีวิตที่นำไปใช้ มันพบมากมายในบรรณยากาศ (Table 10-1) และละลายอยู่ในน้ำ มีวิธีที่จะหาปริมาณจำนวน O_2 ในแหล่งน้ำ โดย Winkle นับเป็นวิธีแรกที่ใช้หา O_2 ในแหล่งน้ำ ต่อมาก็มีวิธีอื่น ๆ เช่น electrometric oxygen analysis จะดีกว่า Winkler titrametric method วิธีการ Winklev มีอุปสรรคจากสาร alkaline, acid บ้าง การตอบสนองที่สำคัญขึ้นอยู่กับสาเหตุ 2 ประการ

1. Manganous hydroxide ถูก oxidised เป็น managanic hydroxide

2. Manganic salts ไม่ถาวรในสารละลายพวกกรดกับ iodide และเปลี่ยนกลับเป็น manganous salts, กรดทำปฏิกิริยากับ iodide และ free iodide

ดังนั้นควรมีปฏิกิริยาเป็นลำดับ

1. สร้าง Manganous hydroxide ในตัวอย่างน้ำเป็น manganous sulfate แล้วเติม KOH และ KI ลงไป

2. เกิด oxidation ของ manganous hydroxide เป็น manganic hydroxide โดย O_2 ละลายในตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

3. เปลี่ยน Manganic hydroxide ให้เป็น manganic sulfate โดยเติม H_2SO_4 ลงไปให้ทำปฏิกิริยา

4. เกิดการแทนที่ iodine ใน KI โดย sulfate สลาย free iodine

5. titrate สารละลาย iodine กับ sodium thiosulfate จนกระทั่ง free iodine รวมกับ Na กลายเป็น sodium iodide จนกระทั่งสีน้ำตาลของ Iodine หายไปโดยน้ำ น้ำแป้ง (starch solution) ดังสมการ

1. $MnSO_4 + 2KOH \longrightarrow Mn(OH)_2 + K_2SO_4$

2. $2Mn(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2Mn(OH)_4$

3. $2Mn(OH)_4 + 4H_2SO_4 \longrightarrow 2Mn(SO_4)_2 + 8H_2O$

4. $2Mn(SO_4)_2 + 4KI \longrightarrow 2MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 2I_2$

5. $4Na_2S_2O_3 + 2I_2 \longrightarrow 2Na_2S_4O_6 + 4NaI$

แหล่งที่มาของ O_2 (Sources of oxygen)

บรรณยากาศ และการสลายตัวของ O_2 ในสารละลาย

(Atmosphere and solubility)

แกซที่ผสมอยู่ในบรรณยากาศ ผ่านเข้าสู่แหล่งน้ำ มีแกซอ๊อกซิเจนบางส่วนอยู่ในน้ำ มีมากกว่า N_2 2 เท่ากว่า แต่ในบรรณยากาศมันน้อยกว่าเกือบ 4 เท่า O_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำขึ้นอยู่

กับอุณหภูมิ, ความเค็ม, และความดัน น้ำเย็นจะมี O_2 มากกว่าน้ำอุ่น, ความเค็มจะลดการละลายของ O_2 ที่อยู่ในน้ำ ถ้าความเค็มมาก O_2 มีน้อย ถ้าความเค็มน้อย O_2 มีมาก, ความดันเพิ่มจำนวน O_2 ในแหล่งน้ำ, ถ้าความดันน้อยจะมี O_2 ละลายอยู่ในแหล่งน้ำน้อย, ถ้าความดันมากจะมีจำนวน O_2 ละลายอยู่มากในแหล่งน้ำ

จำนวน O_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำที่ระดับน้ำทะเล มีอุณหภูมิเป็นองศาเซ็นเซียส หาได้จากสูตร

$$\text{Solubility in mg/lt} = \frac{468}{31.6+t}$$

$t = \pm 0.04$ mg/lt ระหว่าง 4° และ 33°

ที่ระดับน้ำทะเลใต้ความกดดัน 1 บรรณยากาศ, น้ำบริสุทธิ์จะมี O_2 10 mg/lt และ 78% ในการอิ่มตัวที่ 20° C จำนวน O_2 จะอิ่มตัว 110% ในน้ำบริสุทธิ์ที่ 15.2° C จะอยู่ในสภาพสมดุลย์

Table 10-4. Solubility of oxygen in pure water at equilibrium with moist air at sea level

°C	mg/liter	°C	mg/liter
0	14.63	21	8.91
1	14.23	22	8.74
2	13.84	23	8.57
3	13.46	24	8.42
4	13.11	25	8.26
5	12.77	26	8.12
6	12.45	27	7.97
7	12.13	28	7.84
8	11.84	29	7.70
9	11.55	30	7.57
10	11.28	31	7.45
11	11.02	32	7.33
12	10.77	33	7.21
13	10.53	34	7.09
14	10.29	35	6.98
15	10.07	36	6.88
16	9.86	37	6.77
17	9.65	38	6.67
18	9.46	39	6.57
19	9.27	40	6.47
20	9.08		

Data from Montgomery and others, 1964.

กับระดับน้ำทะเล, บรรณยากาศ, O_2 10 mg/lt เป็นตัวแทนในการอิ่มตัว จาก Henry's law การอิ่มตัว, ความดันจะลดลงกับระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ดังนั้นค่าของ O_2 ละลายที่ 1 บรรณยากาศจะน้อยกว่าการอิ่มตัว แต่เกือบจะสมดุลย์ที่ระดับสูงกว่า สาเหตุที่แท้จริง สภาพความอิ่มตัวสมดุลย์ลดลงกับความสูง เช่น บ่อตั้งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร มีอุณหภูมิ 14° C และ O_2 5.45 mg/lt

Table 10-4 แสดงว่า 10.29 mg/lt เป็นค่าอิ่มตัวของน้ำบริสุทธิ์ที่ 1 บรรณยากาศ และ 14° C จำนวน 5.45 เกือบ 53% ของ 10.29 การคำนวณนี้ผิดพลาดเพราะความดันลดลง ใน Table 10-3 ต้องการค่า 1.2 สำหรับความสูง 1,500 เมตร ดังนั้นผลคูณ 5.45 และ 1.2 จะได้ 6.54 mg/lt แสดงให้เห็นถึงระดับน้ำทะเลอะไรมี O_2 อยู่ 5.45 mg/lt ที่ 1,500 เมตร เมื่อเปรียบเทียบ 10.29 กับ 6.45 mg/lt เป็น 63.53% แสดงว่า O_2 ในแหล่งน้ำใกล้สมดุลย์กว่าครั้งแรก 53% × 1.2 = 63.6%

จำนวนเกลือชนิดต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำมีความสามารถน้อยในการดูดซึม O_2 ดังนั้นค่าความอิ่มตัวในสภาพสมดุลย์มีมากที่สุดในน้ำอ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์, น้ำทะเล, มี O_2 ละลายอยู่ลดลงเกือบ 18% เพราะว่ามีเกลือ 35 gm ละลายในทุก ๆ กิโลกรัม

O_2 ในบรรณยากาศเข้าสู่ผิวหน้าของทะเลสาปขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของกระแสน้ำและ Turbulent current

ในน้ำที่ไม่มีการใช้ O_2 อิสสระ ถ้า O_2ถูกแพร่กระจายโดย molecular diffusion โดยลำพัง, จะใช้เวลาเป็นแรมปีที่จะอยู่ลึกจากระดับผิวน้ำ 5 เมตร เมื่อมีกระแสลมพัด, กระแสคลื่นจะทำให้ O_2 ในบรรณยากาศซึมผ่านผิวน้ำลงไป ในทางกลับกันการเคลื่อนไหวของกระแสน้ำสามารถนำแกซเสียจากน้ำไปสู่บรรณยากาศ,และจะไม่อิ่มตัว ยกเว้นจากการนำเข้าของ phototrophic organisms O_2 พบมากที่สุดในบ่อที่มี algae มากระหว่างมีแสงแดด, ไม่มีลมเลย หรือมีน้อยมากมารบกวน จำนวน O_2 จะถูกสร้างสะสมมากขึ้นจาก algae ที่มีขบวนการสังเคราะห์แสง

O_2 ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง (Oxygen from photosynthesis)

O_2 ที่พบในแหล่งน้ำบางส่วนมาจากขบวนการสังเคราะห์แสง โดยพืชสีเขียว จากสมการ

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

โดยมีแสงเป็นตัวเร่ง จะได้ hexose 674 kg-cal/mole Co_2 ถูกเปลี่ยนเป็น CH_2O และ H_2O ถูก oxidised เป็น O_2 โดย dehydrogenation O_2 ที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง จะได้จากน้ำมากกว่า CO_2

ถ้า simple carbohydrate ถูกสร้าง, CO_2 แต่ละโมเลกุลถูกใช้จะคลาย O_2 ออกแต่ละโมเลกุล เพราะฉะนั้น Photosynthetic quotient (PQ) จะมีค่าประมาณ 1.2 ในทะเลสาปส่วนมาก O_2 จะได้จากพวกพืชขนาดใหญ่, phytoplankton, algae เป็นต้น ในลำธารเล็ก ๆ periphyton algae นับเป็นพวก autochthonous production

O_2 ที่สูญเสียไป (Loss oxygen)

จำนวน O_2 ลดลงเนื่องจากพืชน้ำ, สัตว์น้ำ, aerobic bacteria ที่อยู่ในทรากของสิ่งมีชีวิต นำไปใช้ในขบวนการหายใจ ขบวนการ oxidation เกิดขึ้นโดยมี bacteria เป็นตัวเร่ง O_2 ลดลงที่ระหว่างผิวหน้าของสิ่งที่มีชีวิตที่พื้นทะเลสาป และผสมในน้ำ มีฟองอากาศ (gas bubbles) จาก sediment ได้นำเอา O_2 ออกจากแหล่ง, นับเป็นวิธีการผลิตของน้ำที่ไม่ใช้ O_2 อิสสระ (anaerobic water) จาก N_2 ที่อยู่รอบ ๆ Linderman (1942 a) ต้องการน้ำที่ไม่มี O_2 ในทะเลสาป โดยการทดลองความทนทานของ benthic organism ต่อสภาพที่ไม่มี O_2 ใต้ชั้นน้ำแข็งใน Cedar Bog lake โดยการสั่นพวกสิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ที่ Sediment ให้มันอยู่เป็นระเบียบ

จากสภาพทางฟิสิคส์, น้ำอุ่นบนผิว epilimnion ในฤดูร้อนจะมีจำนวน O_2 ลดลง, เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากการทดลองของ Moore (1942) พวก Northern fish ตายใน 20° C เมื่อมี O_2 3 mg/น้ำ 1 lt ปลาจำนวนมากตายในทะเลสาปตื้นที่ปกคลุมไปด้วยน้ำแข็ง เกิดจากการที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนแกซกับบรรณยากาศ, หิมะป้องกันไม่ให้แสงผ่านทลุเข้ามาทำให้ขบวนการสังเคราะห์แสงหยุด ขบวนการหายใจเริ่มสำคัญกว่า และใน dimictic หรือ cold monomictic lake ที่ตื้นจะมีจำนวน O_2 เล็กน้อย, ระดับของจำนวน O_2 นี้จะลดลงถึงระดับทำให้ปลาตายได้ ก็ได้มีการแก้ไขโดยการปั๊มอากาศผ่านรูน้ำแข็งเข้าไปจะช่วยได้บ้าง ทำให้อัตราการตายน้อยลง หรือชลอการตาย

การแพร่กระจายของ O_2 แนวดิ่งและชั้นของทะเลสาป

(Vertical distribution of O_2 and lake typology)

จำนวน O_2ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็น biologic dehydrogenation ของน้ำระหว่างขบวนการสังเคราะห์แสง และแลกเปลี่ยนกับบรรณยากาศที่ผิว

Type of oxygen curve in lake

ในเวลาของการหมุนเวียนของน้ำในฤดูใบไม้ผลิ และฤดูใบไม้ร่วง ใน dimictic lake O_2 จะแพร่กระจายมากหรือน้อยอย่างเป็นระเบียบจากผิวน้ำถึงก้นพื้นน้ำ ถ้าเรานำมาพล็อตกร๊าฟ จำนวนแกซ O_2 ต่อความลึกจะได้กร๊าฟเส้นตรง เรียก Orthograde curve เมื่อเกิดการแบ่งชั้นของทะเลสาปในฤดูร้อน น้ำในทะเลสาปไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด, tropholytic zone กลับแยกจากผิวน้ำชั้นบน O_2 เริ่มถูกนำไปใช้ ใน Oligotrophy ที่มี hypolimnion มาก และมีความสัมพันธ์กับจำนวนสิ่งที่มีชีวิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย, O_2 ใน tropholotic zone จะมีน้อย, ในฤดูร้อนจะมีชั้น Orthograde curve ทั้ง ๆ ที่มีการแบ่งชั้น (Fig. 10-1, A) จำนวนสิ่งที่มีชีวิต, อัตราส่วนปริมาตรของ epilimnion ต่อ hypolimnion, และอุณหภูมิในชั้น hypolimnion จะสัมพันธ์ต่อการสร้าง Vertical oxygen curve

ถ้าในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม, สิ่งที่มีชีวิตจะเพิ่มผลผลิต ซึ่งแตกต่างจากระหว่าง summer stratification จำนวนการตายของสิ่งที่มีชีวิตมีผลทำให้ O_2 ในชั้น hypolimnion ลดลง จำนวน O_2 จะเพิ่มขึ้นแยกจาก O_2 ที่มีอยู่ (orthograde) ใน eutrophic lake เมื่อนำไปพล็อตกร๊าฟกับความลึกแล้ว กร๊าฟที่ได้เรียก Clinograde curve (Fig. 10-1, B)

ในบางทะเลสาปมีชั้น O_2 ไม่ปรกติ เช่นมีมากในชั้น thermocline เหนือการอิ่มตัว, ในบางสถานะการณ์มีมากถึง 400% เรียก positive heterograde (O_2 maxima) เมื่อนำมาพล็อตกร๊าฟ กร๊าฟที่ได้เรียก positive heterograde curve (Fig. 10-1, C) พบมากในทะเลสาปมากกว่า 50 ทะเลสาปในฤดูร้อน ในบางสภาพมีชั้นของ Oscillatoria agardhii มากในสภาพชั้นที่มี O_2 ผิดปรกติ พวก blue green algae จะเคลื่อนลงสู่แสงสลัว ๆ ในชั้น metalimnion, จำนวน O_2 จะเพิ่มมากขึ้น ขบวนการสังเคราะห์แสง มีมากกว่าขบวนการหายใจ และมี Turbulent current น้อย

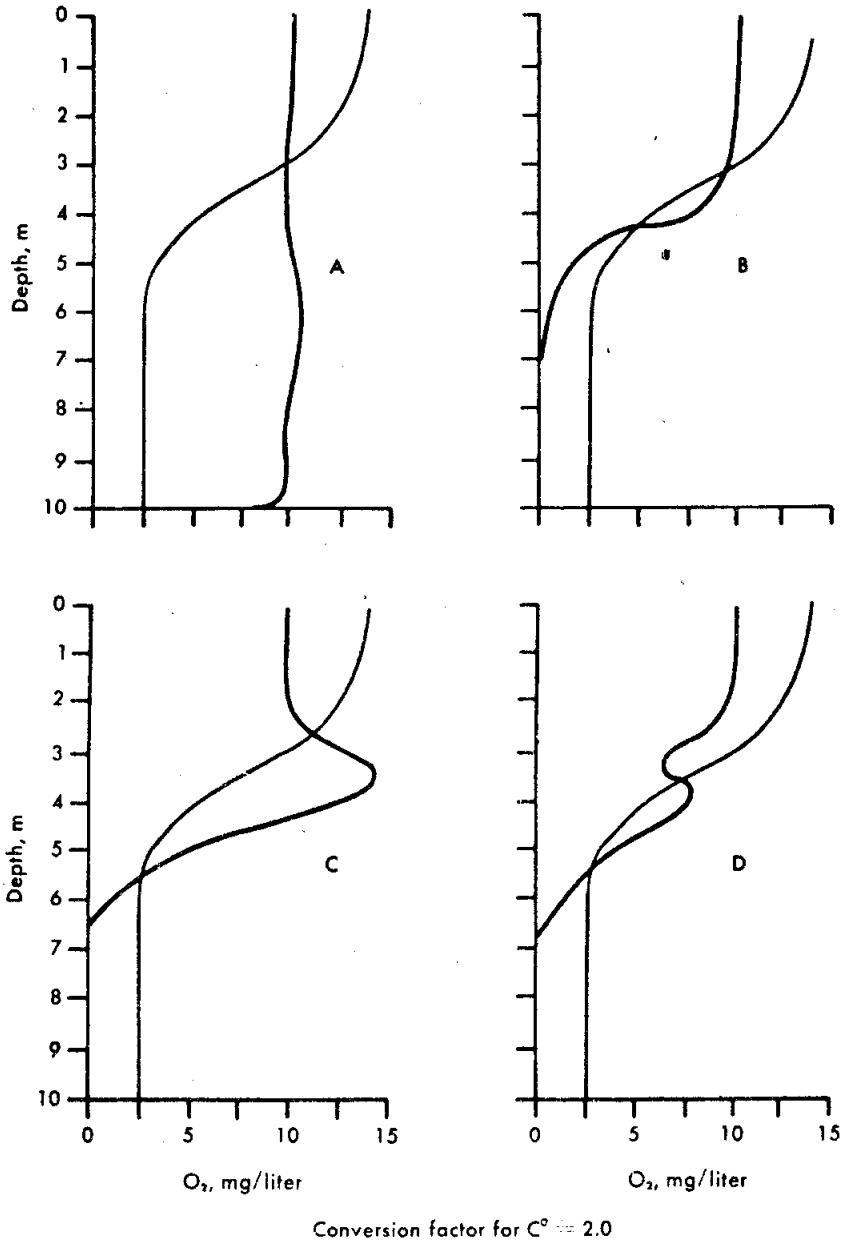

Fig. 10-1. Oxygen profiles in thermally stratified lakes. *A,* Orthograde oxygen profile; *B,* clinograde oxygen profile; *C,* positive heterograde oxygen profile; *D,* negative heterograde oxygen profile. Oxygen plotted with thicker lines; temperature plotted uniformly and with thinner lines; figures on x axis time 2.0 = ° C.

จำนวน O_2 ที่มีน้อย (O_2 minima) ในชั้น Vertical profile โดยมีขบวนการหายใจมาก, ทรากเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิต, สภาพไม่ปรกติของการเคลื่อนไหวของน้ำที่ผิวบน ขณะที่อินทรีย์สารที่ sediments มี O_2 น้อย อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น, ชั้น metalimnion อยู่ลึกไม่เกิดขบวนการสังเคราะห์แสง มักจะมีขึ้นในทะเลสาปที่สร้างขึ้น เพราะ density current ที่มี O_2 น้อยเคลื่อนเข้ามา เมื่อนำมาพล็อตกร๊าฟ กร๊าฟที่ได้เรียก negative heterograde curve (Fig. 10-1, D)

ในทะเลสาปบางแห่งที่ไม่ปรกติจะมี O_2 curve อยู่ 3 ชนิดในรอบปี เช่น Tom Wallace lake มี orthograde ระหว่างปลายตุลาคมถึงต้นเมษายน, positive heterograde มีชั่วขณะหนึ่ง, กลางฤดูร้อน มี clinograde จนถึงฤดูใบไม้ร่วง

วิธีการหา O_2 นำมาใช้หาผลผลิตเริ่มแรก (Primary production measured by 02 method) โดยวิธีการ

The light-dark bottle technique

มีการประมาณจำนวน total photosynthesis ภายใต้ พ.ท.ผิวน้ำ 1 หน่วย โดย Garrden และ Gram (1972) เรียกวิธีนี้ว่า light-dark bottom method มันขึ้นอยู่กับผลของ O_2 ที่ได้มาจากขบวนการสังเคราะห์แสง และถูกใช้ระหว่างการหายใจ

วิธีดำเนินการ โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำจากบริเวณใต้ผิวน้ำ แล้วนำมาผสมใน three glass stoppered reagent หรือ BOD (biochemical oxygen demand) ที่แท้จริง เท่ากับจำนวนน้ำที่มี plankton ขวดแรกใกล้แสง clear bottle, ขวดสองเป็นขวดที่แสงผ่านเข้าไม่ได้ที่มี algae อยู่ข้างใน ขวดนี้มืดเรียก dark bottle Dark bottle และ clear bottle ปิดจุกให้แน่น หลังจากนำตัวอย่างออกมาแล้วเติมน้ำลงไปให้อยู่ในระดับเดิม, ทิ้งเอาไว้สักระยะเวลาหนึ่ง ขวดที่สามมีน้ำตัวอย่างนำมาวิเคราะห์หาจำนวน O_2 ซึ่งอยู่ใน initial bottle, และความจุ O_2 ของมันเป็นตัวแทนจำนวน O_2 เริ่มต้นของการทดลอง IB เท่ากับจำนวน O_2 ใน initial bottle ซึ่งเป็นฐานที่เราจะนำมาคำนวณหา

หลังจากนำเอา subsurface bottle ที่อยู่ใต้ผิวขึ้นมา จะมี O_2 อยู่ภายใน O_2 ที่อยู่ใน clear, light bottle = LB, จำนวน O_2 เพิ่มขึ้นตั้งแต่เก็บครั้งแรก LB - IB = จำนวนออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น (net gain in oxygen, หรือ primary production ของ O_2 ที่ถูกปล่อยออกมา) ทั้งนี้เนื่องจาก O_2-ที่เพิ่มขึ้นบางส่วน และบางส่วนถูกใช้ไปในขบวนการหายใจในขวดไม่เพียงพอต่อความต้องการในการทดลอง แม้ว่าใน dark bottle ถูกคาดว่าเป็นการหายใจอย่างแท้จริง, DB แทนจำนวน O_2 ที่เหลืออยู่ ที่เหลืออยู่ dark bottle ภายหลังเกิด total respiration ระยะหนึ่ง เพราะฉะนั้นขบวนการหาย

ใจคล้ายคลึงกันใน light และ dark bottle และจะแสดงถึงจำนวน O_2 ลดลงต่อมา ดังนั้น IB-DB = R จำนวน O_2 ที่ใช้ในการหายใจ ในทั้งสองขวด

Net production + Respiration = Gross Production จำนวน O_2 เพิ่มขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสงระหว่างเวลาที่ต้องการ

$$GP = (LB—IB) + (IB-DB)$$
$$= LB-DB$$

ดังนั้น light and dark bottle มี O_2 หลังจากระยะเวลาหนึ่ง แต่ไม่ใช่การทดสอบครั้งสุดท้าย ไม่ว่าจะเป็น respiration หรือ net production

ในน้ำจาก eutropohic lake นำมาทดลองเริ่มจากตอนเช้าตรู่ เริ่มมีแสงถึงเที่ยง จากเที่ยงถึงมืดจะเพียงพอ ผลที่ได้เพิ่ม 2 เท่าตัว โดยประมาณของ diurnal production และ respiration แล้วหารด้วยจำนวน ช.ม. ในการผลิตของสิ่งที่มีชีวิตจะได้เท่ากับอัตราชั่วโมงเฉลี่ย ในน้ำจาก oligotrophic lake มีจำนวน plankton น้อย ใช้ระยะเวลานานที่จะหาว่าจำนวน O_2 เปลี่ยนแปลง แต่ไม่จำเป็นนัก เพราะว่า plankton ถูกเก็บตัวอย่างในระยะเวลาสั้น

ในบ่อน้ำทิ้ง (polluted pond) บางทีมี phytoplankton cells มาก ทำให้น้ำมีสีเขียว ขบวนการสังเคราะห์แสงบังเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำกลับมีจำนวน O_2 มาก, หรือขบวนการหายใจจะมีมากขึ้น ซึ่ง dark bottle กลับไม่มี ในบางสถานะการณ์ระยะเวลาน้อย ทำให้ไม่สามารถหาอัตราจำนวน O_2 ได้ สิ่งหนึ่งไม่สามารถเรียนรู้เมื่อ light bottle อิ่มตัว หรือจำนวน O_2 ถึงระดับศูนย์ (0) ใน dark bottle

Pratt และ Berkson (1959) พบสาเหตุของการผิดพลาดของ light-dark bottle method ว่าการหายใจส่วนใหญ่เป็นของ bacteria ไม่ใช่ phytoplankton โดยแสดงให้เห็น phytoplankton, bacterial population ในขวด 2 ขวด ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่ใช่สภาพที่แท้จริงที่อยู่ภายนอกภายหลัง 2 วัน

Net production ขึ้นอยู่กับการหายใจของพืชที่เกิดขบวนการ Metabolism ภายในเนื้อเยื่อในขบวนการสังเคราะห์แสง primary production ใหม่ ๆ บางตัวถูกกินโดยพวก herbivoreระหว่างสร้างตัวใหม่ขึ้นมาใน light-dark bottles ดังนั้น นักชลธีวิทยาจึงกรองเอา zooplanktonขนาดใหญ่ออกก่อนที่มันจะมีการสร้างตัวใหม่ขึ้นมา

Pratt และ Berkson ได้ทำการทดลอง และวิจัยแผนใหม่ขึ้นเรียก photorespiration ว่าการหายใจใน dark bottle จะแตกต่างอย่างที่เดียวกับใน light bottle Photorespiration เกิดในระยะมีแสงที่จะใช้กับ CO_2 ในขบวนการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น, จนถึงระดับ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการหายใจนำเอา CO_2 ออกมา, หรือใช้กับเพียงบางส่วนของ CO_2 ที่ได้จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เกี่ยวกับ photorespiration ได้เกิดขึ้น เช่น Chlorella sp. สร้าง glycollate มากกว่าที่จะ oxidize มัน ถ้ามีพวก phototroph อยู่บริเวณ limnetic มากจะเริ่ม oxidized glycollate เมื่อ CO_2 ลดระดับลง

การแตกต่างของการหายใจในที่มืด มันจะมีอัตราการหายใจไม่ว่องไว มากหรือน้อยต่อ O_2 ที่อยู่รอบ ๆ แต่จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแกซลดน้อยลง ค่าของ R ที่ได้จากการลดของ O_2 ใน dark bottle เหมือนกับใน light bottle สิ่งนี้ทำให้เกิดเทคนิคในการผลิตสิ่งที่มีชีวิตใหม่ขึ้น

Gottlerman (1971) ใช้ สิ่งที่มีชีวิตเป็นตัวกระทำให้หยุดยั้ง เขาพบว่าจำนวน O_2 ในที่มีแสงสว่างจะมากกว่าในที่มืด

การเปลี่ยนแปลงแกซอ๊อกซิเจนประจำวันในน้ำธรรมชาติ

(Diel oxygen changes in natural water)

การประมาณจำนวน O_2 ที่ถูกสร้างขึ้นในน้ำธรรมชาติ โดยใช้ dark bottle แทนเวลากลางคืน, clear bottle แทนเวลากลางวัน O_2 ที่เพิ่มขึ้นในตอนรุ่งอรุณ เริ่มมีแสงสว่าง ถึงเวลาพลบค่ำมีผลสท้อนต่อ net primary productivity จำนวน O_2 ลดลงจากเวลากลางคืน จนกระทั่งเช้าตรู่แทน 1/2 diel respiration เพิ่มจำนวน O_2 ที่หายไปในเวลากลางคืนเข้าไปในเวลากลางวันที่เพิ่มขึ้น คือ gross photosynthesis ประจำวัน

มีการผิดพลาดจากการซึมผ่านของ O_2 เข้าไปในน้ำ และออก ทำให้เกิดความคิดที่จะศึกษาอัตราขบวนการสังเคราะห์แสงต่อไป เมื่อลมพัดเข้ามาทำให้เกิด turbulence current น้อย

Odum (1956) ได้อธิบายวิธีการประมาณการ primary production จากการเปลี่ยนแปลง O_2 ในสภาวะน้ำไหล น้ำไหลลงสู่ลำธารจำนวน O_2 เพิ่มขึ้น เมื่อขบวนการสังเคราะห์แสงมากและหายไปในเวลากลางคืน Benthic plants, phytoplankton ได้ถ่ายเทแกซ O_2 ลงสู่น้ำระหว่างเวลามีแสง พวกมันสร้าง O_2 เรื่อย ๆ มีการแลกเปลี่ยน O_2 กับอากาศเกิดขึ้นในเวลากลางวัน และเรื่อย ๆ มาในเวลากลางคืนจะมี O_2 น้อย จากการศึกษาใน Montezuma Well, Arizona ในเวลาเที่ยงวัน เดือนมิถุนายน ได้รับ O_2 เพิ่มขึ้น 1.17 mg O_2/lt ใช้เวลาการไหล 40 นาที ในที่จุดหนึ่งของน้ำ

ภายในเนื้อที่ทั้งหมด 1,053 ม.^{2} กระแสน้ำไหลออกจาก Well 256.8 m^3/hr หรือ 171.2 m^3/40 minute เพราะฉะนั้น net production rate = 171.2 m^3 × 1.17 gm O_2/m^3 × 1/1,053 m^2 = 0.190 gm O_2/m^2 เวลาการสร้าง O_2 = 0.285 gm O_2/m^2 มันแทน 0.09 gm Cal/m^2 hour คือ net production ของสิ่งที่มีชีวิต = 1.0 K cal/m^2 ไม่มีรายละเอียดของขบวนการหายใจ ดังนั้น gross production

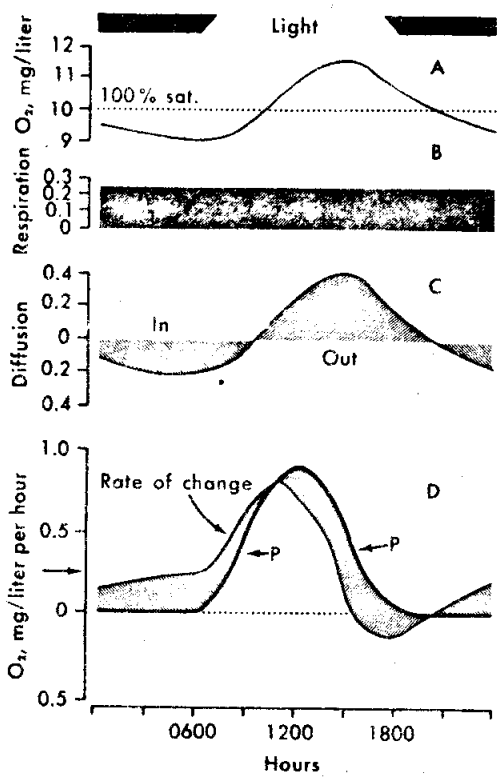

Fig. 10-2. Procedure for estimating gross primary production on the basis of oxygen changes in flowing water. *A*, Diel values in mg O_2 per liter; *B*, respiration in mg O_2 per liter, its rate assumed to be constant throughout the 24-hour period; *C*, diffusion in mg O_2 per liter, *in* (left hatching) and *out* (right hatching), following the saturation gradients shown in *A*; *D*, gross primary production, *P*, shown by thick-lined curve. This is the sum of hourly changes in oxygen and respiration (thin-lined curve) from which oxygen diffusing in from the atmosphere has been subtracted and to which the outgoing oxygen has been added. Multiplication by mean depth quantities the production on an areal basis. (Modified from Odum 1956.)

ในการไหล 40 นาทีไม่แน่นอน ในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนบังเกิดขึ้นที่สถานที่หนึ่งในลำธาร สามารถประมาณผลผลิต ถ้าไม่สามารถสร้างสถานที่อีกแห่งหนึ่ง ใน Fig 10-2 แสดงถึงวิธีการที่จะนำมาใช้เทคนิคในการหาสถานที่ทั้งสองบอกรายละเอียด แต่ยังไม่มีตัวอย่างอยู่

การแบ่งชั้นของ O_2 ที่ถูกสร้างขึ้น (Profile of production rate)

น้ำที่นำจาก และนำกลับคืนสู่ความลึกหลายระดับใน light, dark bottles สำหรับสิ่งมีชีวิตมีการเพาะฟักตัวจากผลของการทดลองจาก Vertical profile ของ photosynthesis rates นำมาพล็อตกร๊าฟ (Fig. 10-3)

Findenegg (1964) แสดง rate of production มี 3 ตอน ใน 3 curve ของ European Alps

ตอนแรก เป็น production-depth curve มีมากสุดในชั้นบน epilimnion และลดลงในชั้นลึกลงไป ชั้นนี้หมายถึงชนิดทะเลสาปอุดมสมบูรณ์ด้วย phytoplankton และกับผลของแสงที่ส่องทลุผ่านได้น้อย เช่น Lake Minnetonka, Minnesota

ตอนสอง ไม่มีความแตกต่างมากใน production depth curve มันมีมากหรือน้อยของ orthograde แต่มีผลผลิตต่ำในชั้นผิวหน้า แสงส่องทลุผ่านลึก และไม่มี limiting factor ทันที, nutrients น้อย, phytoplankton เริ่มเพิ่มขึ้น, ขบวนการสังเคราะห์แสงต่ำใน eutrophic zone

ตอนสาม มี curve อยู่ 2 peaks, peak แรกเป็น epilimnetic, peak สองเป็น metalimnetic มันทำให้เข้าใจว่าเป็น heterograde positive oxygen curve ทั้ง ๆ ที่เป็นชั่วคราวหรือยาวนาน peak บนสุดในสภาพแสงพอเหมาะ, peak ล่างแสดงให้เห็น nutrient สะสมมากขึ้น เมื่อมีแสงส่องทลุผ่าน

curve ชนิดอื่นใน oligotrophic ที่อยู่บนภูเขาสูงมีน้ำใสมาก แสงส่องทลุผ่านมาก Rodhe และผู้ร่วมงาน (1966) ได้อธิบายว่า trophogenic zone ได้เคลื่อนออกไกลจากผิวหน้า เหมือนมีสิ่งอะไรมาบังแสง Ultra violet ที่จะส่องทลุผ่านเข้าไป ภายใต้อิทธิพลของแสง ultraviolet, ในชั้นลึกซึ่งแสงสามารถมองเห็นได้ยังคงพอเพียง, phototrophic algae มีมากขึ้น

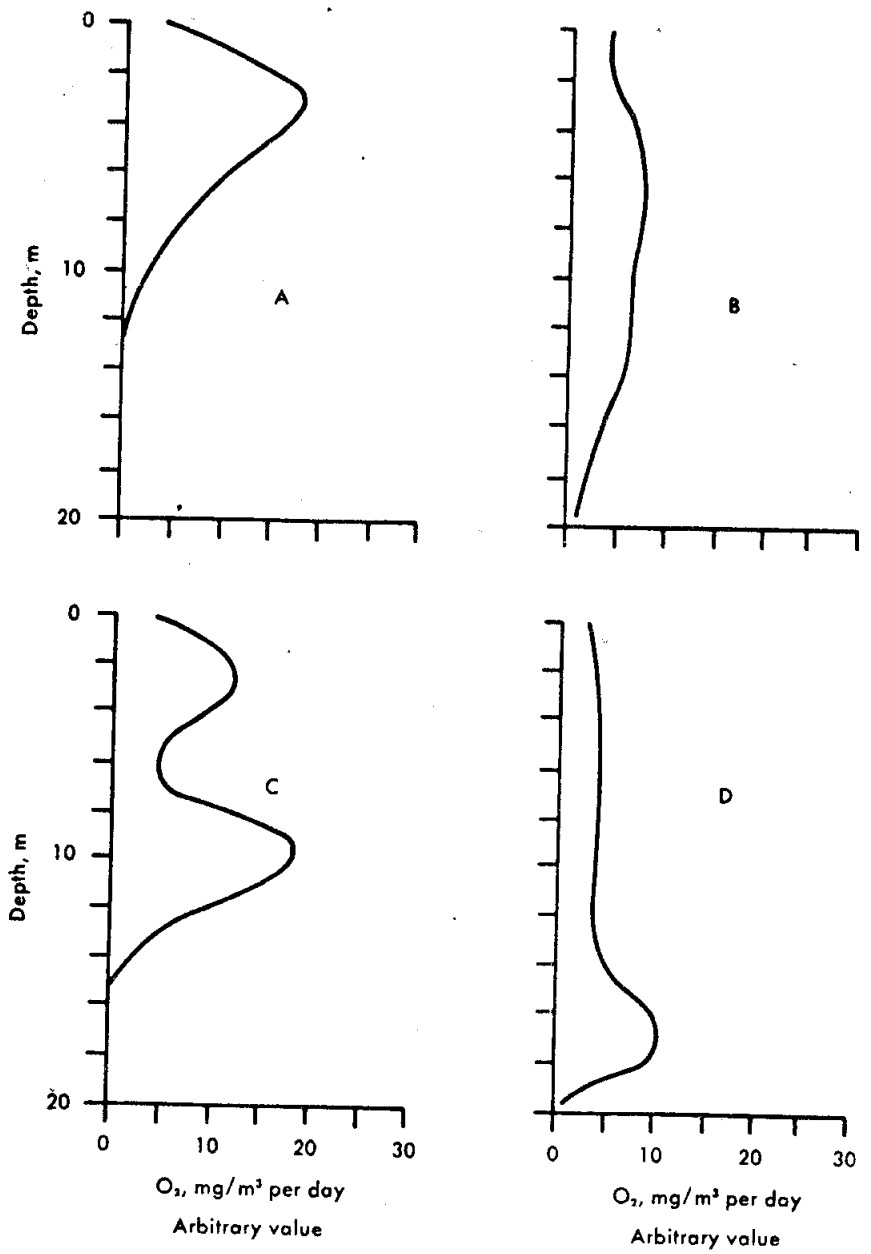

Fig. 10-3. Vertical profiles of photosynthetic rates discussed in text. (Classes *A*, *B*, and *C* modified from Findenegg 1964; Class *D* from Rodhe and others 1966.)

An integrated curve of production

ถ้าพล็อตจำนวน O_2 เพิ่มขึ้นกับความลึก (Fig. 10-3) curve ที่ได้จะแทนไม่แต่ net หรือ gross production อย่างใดอย่างหนึ่ง ในหน่วยของหน่วยบางหน่วยของเวลา เช่น ในการ titrate อยู่ในหน่วยของ mg O_2/lt หรือ g/m^3 พ.ท.ใต้ curve เป็นตัวแทนแล้ว g $O_2/m^3 \times$ m (Fig. 10-4)

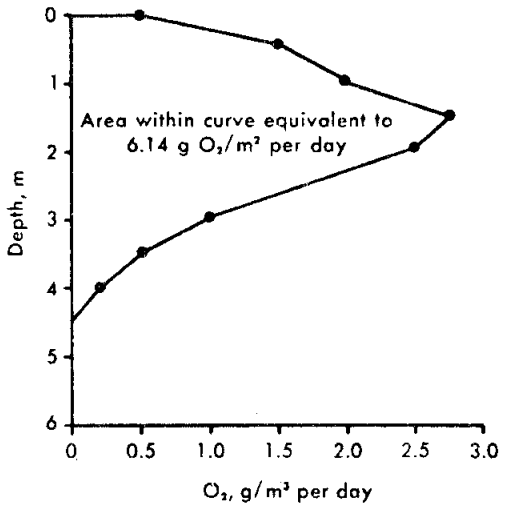

Fig. 10.4. Integrated curve of oxygen production beneath 1 m^2 and uncorrected for morphologic factors. (Data from Table 10.5.)

พ.ท.ของ curve สามารถวัดโดย planimeter หรือวิธีอื่น ๆ primary productivity (expressed as O_2) ภายใต้ 1 m^2 ของ พ.ท.ผิวของทะเลสาป เมื่อปริมาตรของแต่ละชั้นคูณด้วย gm O_2/-m^3 และผลคูณของชั้นทั้งหมดรวมกัน ก็คือ total production total O_2 หารด้วย พ.ท.ผิวหน้าจะได้ depth productivity แตกต่างจาก พ.ท.เป็นตารางเมตรของ Oxygen production ถูกพบ Table 10-5 แสดง O_2, relative area และ their product เมื่อนำมาพล็อตกับความลึก (Fig. 10.5) curve เป็น total production ต่อ m^2 ของ พ.ท.ผิวหน้าทะเลสาป

Table 10-5. Data from Tom Wallace Lake, Kentucky, used to compute primary production in two ways*

I Depth (m)	II Oxygen (g/m^3 per day)	III Area$_z$ (ha)	IV A_z/A_n	V Product Column II × column IV
0	0.50	2.34	1.0	0.50 g O_2/m^3 per day
0.5	1.50	2.14	0.914	1.37
1.0	2.00	1.96	0.837	1.67
1.5	2.75	1.80	0.769	2.11
2.0	2.50	1.64	0.701	1.75
2.5	2.00	1.49	0.637	1.27
3.0	1.00	1.36	0.581	0.58
3.5	0.50	1.22	0.521	0.26
4.0	0.20	1.11	0.474	0.09
4.5	0.00	0.85	0.460	0.00

*Column II plotted against depth gives unweighted production per m^2 as Fig. 10-4. Column V plotted against depth gives primary production for the entire lake referred to unit area, m^2, as shown in Fig. 10-5.

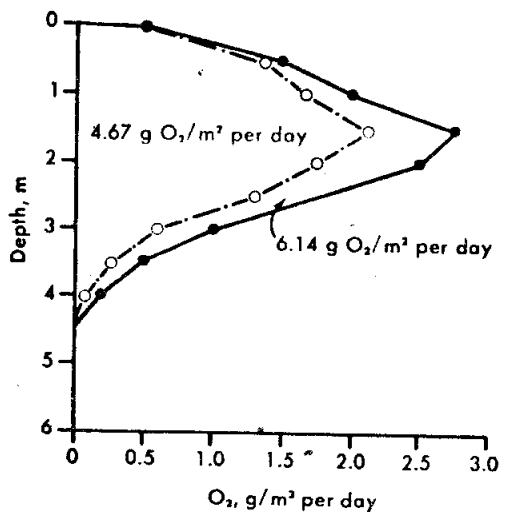

Fig. 10-5. Two integrated curves of oxygen production: the solid-line curve (from Fig. 10-4) shows production beneath a square meter of the lake, uncorrected for morphologic details; the dotted--line curve, which shows production beneath same area, corrected for morphology, is only 0.76 the rate derived from the uncorrected curve. (Data from Table 10-5.)

Conversion of O_2 data to carbon การเปลี่ยนอ๊อกซิเจนเป็นคาร์บอน ในการอธิบาย primary production ในเทอมของ carbon fixed ดีกว่า O_2 ที่เกี่ยวข้อง ค่าของ O_2 จะเป็นปฏิภาคกลับกัน Carbon วิธีหนึ่งที่จะสุ่มว่า 1 mole ของ O_2 ถูก fixed, เหมือนบอกในสูตรของขบวนการสังเคราะห์แสงอย่างธรรมดา น.น.โมเลกุล 44 ของ CO_2 และ O_2 = 32 ดังนั้น 44/32 = 1.375 ของ O_2 เปลี่ยนแปลงเป็น CO_2 เช่นเดียวกัน carbon มี atomic wt. = 12, O_2 มี molecular wt. = 32 ดังนั้น 12/32 = 0.375 ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลง

Photosynthetic quotient (PQ) ไม่เป็นแบบเดียวกันตลอด ถ้า hexose ถูกวิเคราะห์, สูตรง่าย ๆ คือ O_2/CO_2 จะให้ผล PQ = 1 แต่ PQ ไม่เปลี่ยน

ในปัจจุบัน ใช้ค่า 1.2 เปลี่ยน O_2 จากขบวนการสังเคราะห์แสงจาก carbon ในค่าเฉลี่ย O_2 มากกว่า 1.2 เท่าในจำนวน 1 โมเลกุล ตัวอย่าง ถ้าค่าของ annual production = 1.0 kg O_2/m^2 และ PQ = 0.375 kg C/m^2 เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามค่า PQ = 1.2 จะถูกใช้, จากการคำนวนเป็น

$$1.0 \text{ kg } O_2 \times 0.375 \times 1/1.2 = 0.313 \text{ kg C}$$

มันเป็นการนำ primary productivity ในรูปของ พ.ท.ที่มีรังสีแสงตกกระทบ ขบวนการสังเคราะห์แสง เกิดภายใต้ พ.ท.เป็นตารางเมตรที่ตื้น, eutrophic pond จะหนาแน่น, แต่ทางเดินของกระแสน้ำจะสั้น จากสาเหตุนี้ production/ตารางเมตร จะอยู่รอบ ๆ ในส่วนลึกของ oligotrophic lake ที่มีแสงทลุผ่าน

การเปลี่ยนหน่วยของ O_2 เป็นแคลลอรี่

(Conversion of O_2 data to calories)

การเปลี่ยนหน่วยทั้งหมดของผลผลิตเป็น calories ในรูปพลังงาน โดย Winberg (1963) ในลักษณะของการหมุนเวียนของสิ่งที่มีชีวิต

จากสูตรของการสังเคราะห์แสงอย่างง่าย

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ทุกโมเลกุล (180 gm) ของ glucose, 6 moles (192 gm) ของ O_2 ถูกสร้างขึ้นมา ในความหมายของแคลลอรี่, ว่าได้พลังงาน 674 kcal เมื่อ 1 mole ของ glucose ถูกทำให้สลายทุก ๆ โมเลกุลของ O_2 เปลี่ยนเป็น 1/6 ของ 674 kcal หรือ 112.3 kcal

$$\text{Oxycaloric coefficient} = \frac{112.3 \text{ K cal}}{1 \text{ mole ของ } O_2 = 32} = 3.5 \text{ cal/mg}O_2$$

ดังนั้น O_2 ที่ปล่อยออกมาใน primary production บอกถึงค่าของโมเลกุลของสิ่งที่มีชีวิตที่สร้างขึ้นใหม่ อัตราของ production, biomass, respiration สามารถรวมเป็นอันหนึ่งอันเดียว และควรใช้หน่วยของพลังงานแบบสากล เป็น joules

ดัชนีแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์

(An Index of productivity)

ความอุดมสมบูรณ์ของทะเลสาปมีมากหรือน้อย สามารถรู้ได้จากการกระจายของ O_2 ใน hypolimnion, สิ่งมีชีวิตเพิ่มจำนวนมากขึ้นใน trophogenic zone แล้วจมลงสู่พื้นน้ำ เกิดการตาย เน่าเปื่อยใน tropholytic zone ทำให้จำนวน O_2 ลดน้อยลง

จำนวน O_2 ที่ปรากฏ (apparent O_2 deficits)

ถ้าทะเลสาปมีการแบ่งชั้นในฤดูร้อน, รายละเอียดที่ได้จากการรวบรวม พบชั้นอุณหภูมิในแนวดิ่ง, O_2 มีอยู่หลายระดับ สามารถบอกได้ว่า

O_2 ที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ระดับความลึกต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน จำนวน O_2 ที่มีอยู่ภายใต้อุณหภูมิ และความดันมาเกี่ยวข้อง ทำให้อิ่มตัวเรียกว่า actual deficit

Actual O_2 deficit = จำนวน O_2 ที่อิ่มตัว - จำนวน O_2 ที่สังเกตุได้ (obsered value)

relative deficit เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ จำนวน O_2 ในฤดูร้อน กับ O_2 ในทุก ๆ สิ้นสุดฤดูใบไม้ผลิ เมื่อทะเลสาปมีอุณหภูมิเดียวกันตลอด

relative O_2 deficit = จำนวน O_2 ที่มีอยู่ก่อน - จำนวน O_2 ที่มีตอนหลัง

Absolute deficit เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ จำนวน O_2 ในฤดูร้อน กับจำนวน O_2 ที่มีอยู่ที่ 4° C

Absolute O_2 deficit = จำนวน O_2 ที่อิ่มตัวที่ 4° C – จำนวน O_2 ที่สังเกตุได้ (observed value)

ตัวอย่างเช่น ทะเลสาปสูง 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีชั้น hypolimnetic region ที่ 7° C และมี O_2 อยู่ 4.7 mg O_2/lt ความอิ่มตัว 12.13 mg/lt ที่อุณหภูมิระดับเดียวกับน้ำทะเล (Table 10-4) และ 11.44 ถูกพบกับ factor ของ 1.06 ในการลดความดันชั่วคราวที่ความสูง (Table 10-3)

Actual O_2 deficit = 11.44-4.70=6.74 mg/lt

Relative O_2 deficit = 11.03-4.70=6.33 mg/lt

Absolute O_2 deficit = 12.37-4.70=7.67 mg/lt

จำนวน O_2 ที่ปรากฏแท้จริง (The real O_2 deficit)

จำนวน O_2 ที่ปรากฏแท้จริง ถ้า O_2 มีน้อยหรือไม่มีเลย ถ้าน้ำเป็นพิษมักจะขาดแคลน O_2 จะมีเพียงแต่สารที่ดูดซึมอยู่ และจะเหลือน้อยลง ตัวอย่างเช่น ทุก ๆ มิลลิลิตรของ-CH_4 ในน้ำที่ไม่มีการใช้ O_2 อิสสระ จะมี 2.87 mgO_2 ในการหา real deficit ต้องนำสารและความสัมพันธ์ของสารที่มีอยู่มานับ เมื่อคำนวณหา actual, relative, absolute deficits แล้ว

จำนวน O_2 ที่มีอยู่ในชั้น hypolimnion (The hypolimnetic areal deficit and its rate)

ความแตกต่างระหว่างจำนวน O_2 ทั้งหมดอยู่ใต้พ.ท.แต่ละตารางเมตรของ hypolimnetic area ว่ามีเท่าไร ในฤดูร้อน เมื่อมันถูกนำมาเป็นตัวอย่าง เพื่อตรวจในอุณหภูมิขณะตรวจสอบที่อุณหภูมิ 4° C หรือ อุณหภูมิของฤดูใบไม้ผลิที่มีการเคลื่อนไหวแลกเปลี่ยนระดับน้ำ ตัวอย่างเช่น ถ้ามี O_2 5 mg/lt ในชั้นหนึ่ง ซึ่งมีปริมาตรของชั้นนั้นเท่ากับ 10^9 lt เพราะฉะนั้น จำนวน O_2-ที่มีอยู่ = 5 mg/lt × 10^9 lt = 5×10^9 mgO_2 แต่ละชั้น เมื่อรวมจำนวน O_2 ของชั้นต่าง ๆ ก็จะได้ Total O_2 ของ hypolimnion เมื่อได้ Total O_2 ระหว่างการหมุนเวียนในฤดูใบไม้ผลิ หรือที่ 4° C ลบด้วย total O_2 ในฤดูร้อน, หารด้วย พ.ท.ของ hypolimnion มีหน่วยเป็น cm^2 จะได้ hypolimnetic areal deficit มีหน่วยเป็น mgO_2/cm^2

ในการหา hypolimnetic areal deficit นี้เราหาได้ในวันเวลานั้นที่ต้องการไม่ใช่บอกก่อน หรือหลัง 2-3 วัน, 1 อาทิตย์มีเท่าไร ในการหา O_2 ที่หายไป โดยทำเป็นช่วงเริ่มจากฤดูใบไม้ผลิมีกระแสน้ำหมุนเวียนถึงฤดูร้อน แต่ก็ไม่สามารถนับได้ว่า จะได้อย่างสมบูรณ์ เช่น 25 มีนาคม ในชั้น hypolimnion มีจำนวน O_2 = 0.83 mgO_2/cm^2 และ 10 วันต่อมา คือ 4 มิถุนายน มี O_2 = 0.33 mgO_2/cm^2 เพราะฉะนั้นจากตัวเลขนี้ แสดงว่า O_2 หายไป = 0.83-0.33 = 0.50 mg/cm^2 ระหว่างเวลา 25 มีนาคม ถึง 4 มิถุนายน

อัตราของ hypolimnetic areal oxygen deficit เป็นดัชนีหนึ่งที่บอกถึงจำนวนของทรากสิ่งไม่มีชีวิตอยู่ใต้ trophogenic zone ทะเลสาปที่มีบริเวณอยู่ระหว่าง Oligotrophic และ eutrophic lake คือ 0.025 - 0.055 mgO_2/cm^2/day ทะเลสาปที่แสดง O_2 ที่มีอยู่ภายในระหว่างนี้ถูกเรียกว่า mesotrophic

Factor vitiating the index ที่จะชี้ว่ามีจำนวน O_2 มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ

1. ความลึกของ hypolimnion O_2 จะซึมหายไปในส่วนที่ลึกกว่าของชั้น hypolimnion เช่น Lake Itasca ในช่วง Oligotrophy เมื่อมีแสงส่องทลุผ่านเข้าสู่ชั้น hypolimnion ที่ตื้นจะเกิดขบวนการสังเคราะห์แสง และมี O_2 เพิ่มขึ้นวันต่อวัน จนกระทั่ง O_2 ซึมหายไปในส่วนที่ลึกลงไปของทะเลสาป

2. สิ่งที่มีชีวิต เช่นสัตว์น้ำ ถ้ามีมาก จำนวน O_2 จะลดลง ถ้ามีน้อย จำนวน O_2 จะมีมาก เมื่อเกิดตาย ทรากของสิ่งมีชีวิตเน่าเปื่อย จะทำให้ O_2 ลดน้อยลง

3. ขนาดของ hypolimnion เช่นทะเลสาปที่มี hypolimnion กว้างใหญ่ จะมี O_2 มากกว่าทะเลสาปที่มี hypolimnion เล็ก เพราะถ้า hypolimnion เล็กจะมี O_2 น้อย และสูญหายไปเร็วกว่า hypolimnion ใหญ่

4. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำ จะมี O_2 มาก ถ้าอุณหภูมิสูง จะมี O_2 น้อย Fig. 10-6

0° C มี O_2 14.62 ppm

5° C มี O_2 12.80 ppm

30° C มี O_2 7.63 ppm

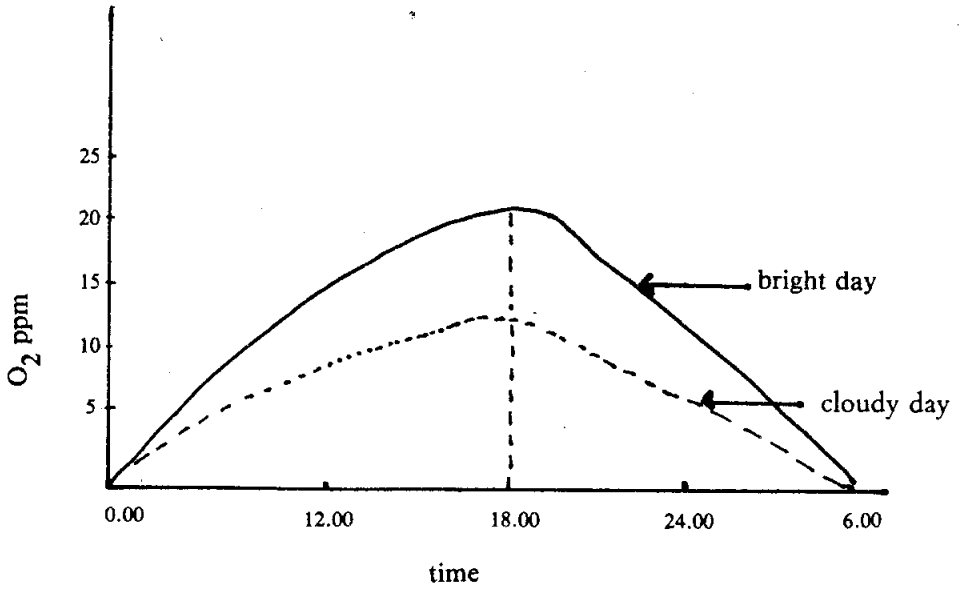

Fig. 10-6 แสดงจำนวน O_2 มีมากหรือน้อยต่อวัน

5. bacteria เกิดขบวนการ metabolism ลดลง และจำนวนทรากเน่าเปื่อยของสิ่งที่มีชีวิต แพร่กระจายมากขึ้น ทำให้ O_2 ลดลง

6. sediments โดย O_2ซึมหายเข้าไป

7. เวลา เวลาเช้าตรู่จะค่อย ๆ เริ่มมี O_2 มาก จนมากที่สุดเวลา 18.00 น. แล้วค่อย ๆ ลดลงไปจนน้อยที่สุดเวลา 6.00 น. ดู Fig. 10-6

8. ฤดูกาล เช่น ฤดูใบไม้ผลิ, ฤดูใบไม้ร่วง จะมี O_2 มากในแหล่งน้ำ ถ้าฤดูหนาว, ฤดูร้อนจะมี O_2 น้อย

9. โรงงาน, แหล่งชุมชน ปล่อยน้ำเสียลงสู่คู คลองหนองบึง ทะเลสาปจะทำให้ O_2 น้อยลง

The Isotopes of Oxygen

ในน้ำทะเลมี isotope ของ O_2 คือ $^{16}0$, 99.763%, $^{17}0$, 0.0372% และ $^{18}0$, 0.1995% Oxygen Isotope ประกอบด้วยสารชนิดหนึ่งสามารถสท้อนต่อสิ่งอื่นที่อุณหภูมิหนึ่ง มันมีประโยชน์ในการศึกษา ทางนิเวศม์วิทยาทางทะเล และภูมิอากาศของโลกที่ผ่านมา เช่น อุณหภูมิที่บริเวณ sediment ลดลง และ $CaCO_3$ ถูกนำไปสร้าง เป็นเปลือกของหอย

ในทะเลสาปมี isotope ของ O_2 ที่คงที่อยู่ 2 ชนิดคือ $^{18}0$ ใช้ชี้แนะอากาศที่ผ่านมาเป็นอย่างไร $^{18}0$ isotope มีมวลเบากว่า มันระเหยได้ดีกว่า $^{16}0$, น้ำที่กลายเป็นไอน้ำ จึงมี $^{16}0$ มากกว่า $^{18}0$ น้ำที่เหลือ จึงมี $^{18}0$ มาก มันยังใช้ในการศึกษาเปลือกหอยในใจกลางทะเลสาป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวน $^{18}0$ มากในเปลือกหอย จะมีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์อื่น, และชี้แนะถึงการขึ้นลงของระดับ O_2 ในทะเลสาปที่ผ่านมา