

VII-48 *Chlorella vulgaris* と *Microcystis aeruginosa* を用いた連続培養システムによるCO₂の固定除去

岩手大学大学院 学生員 ○富高英典 毛利雄一
東北大学工学部 正 員 大村達夫 海田雄之

1. 研究背景および目的

地球上における人類の技術革新は急速な進歩を遂げてきた。人間活動の拡大には環境汚染が伴い、その結果として地球温暖化現象が今日における大きな問題となっている。この地球温暖化の防止・抑制の手段として、その原因の一つであるCO₂を微細藻類の光合成能力を利用して固定除去する技術がある。

本研究ではこの除去法を連続培養システムにより確立する事を目的とし、緑藻 *Chlorella vulgaris* (*C.vulgaris*) と藍藻 *Microcystis aeruginosa* (*M.aeruginosa*) を用いた場合のCO₂の除去及び藻体成分などに及ぼす水理学的滞留時間 (HRT) の影響について検討した。

2. 実験方法

2-1. 培養装置および条件

C.vulgaris と *M.aeruginosa* は国立環境研究所より提供された株を用い、Fig. 1に示す連続培養システムにより実験を行った。これは培養槽 (Liquid volume: 9l, Gaseous volume: 4l, Diameter: 200mm)、培地貯留槽、藻体回収貯槽、照明装置 (4000lux)、循環通気装置、pHコントローラ (*C.vulgaris*: pH7.5, *M.aeruginosa*: pH8.6)、ガス回収装置等から構成されたケスタッド型の外部制御培養装置である。培養は恒温室内 (25(±1)℃) において、12/12時間の明暗培養系で行った。培地にはTable-1に示すような改変Chu培地を選択した。HRTは *C.vulgaris* で0.8, 1.6, 3, 3, 5, 4, 8, 4(day)の5通りを、*M.aeruginosa* で5.0, 9.5(day)の2通りである。なお、今回は主に *C.vulgaris* の2通りについて検討した。

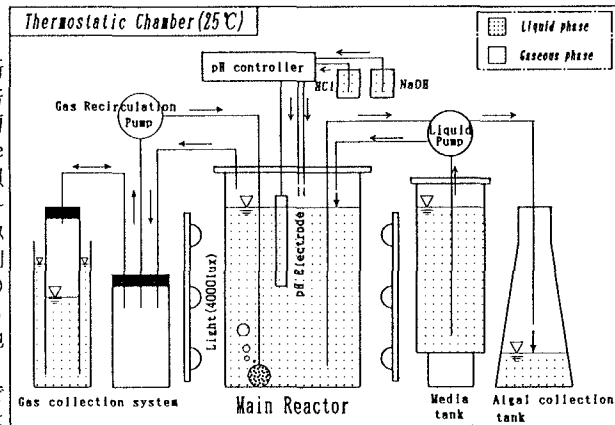


Fig. 1 連続培養システム

Table-1 改変Chu培地の組成

CO ₂	100mg-C(15%)	1) PIV 金属混液	
Ca(NO ₃) ₂ ・4H ₂ O	200.0mg	FeCl ₃ ・6H ₂ O	196.0mg
K ₂ HPO ₄	100.0mg	MnCl ₂ ・4H ₂ O	36.0mg
MgSO ₄ ・7H ₂ O	125.0mg	ZnCl ₂	10.5mg
Na ₂ SiO ₃ ・9H ₂ O	125.0mg	CoCl ₂ ・6H ₂ O	4.0mg
FeCl ₃	8.0mg	NaMoO ₄ ・2H ₂ O	2.5mg
PIV 金属混液 ¹⁾	5.0ml	Na ₂ EDTA	1000mg
Distilled water	1000ml	Distilled water	1000ml

pH 7.5 (*C.vulgaris*), 8.6 (*M.aeruginosa*)

2-2. 分析方法

- (a) 現存量
 - ・Chlorophyll a (色素量) : 7検抽出法
 - ・藻体乾燥重量 : 75℃, 2h
- (b) 成素量
 - ・TC, IC, TOC : SIMAZU TOC-5000
- (c) 藻体成分
 - ・タンパク質 : Lowry法
 - ・炭水化物 : 7検ソール硫酸法

3. 実験結果及び考察

3-1. 連続培養の過程

培養の一例としてFig. 2に *C.vulgaris* のHRT1.6日における流入IC濃度と培養槽内のIC濃度、藻体濃度およびChl.a濃度の変化を経日的に示した。連続培養開始後、培養槽内のIC濃度は21.4mg-C/lであったが徐々に増加し、約67mg-C/lで定常状態となった。また、この時のIC除去率は約32%となった。藻体濃度は連続開始時に177mg-dry/lであったが、連続開始直後に大幅に減少し、約65mg-dry/lで定常状態となった。Chl.a濃度については4400μg/lから約2000μg/lへと緩やかな減少をして定常状態となった。定常状態までの日数は約4日間を要し、他の実験においては各HRTの2~4日間を必要とした。なお、定常状態における培養槽内のIC濃度は、*C.vulgaris* のHRT0.8日で85.3mg-C/l、HRT3.3日で38.0mg-C/l、HRT5.4日で10.6mg-C/l、HRT8.4日で0.4mg-C/l、*M.aeruginosa* のHRT5.0日で49.8mg-C/l、HRT9.5日で21.7mg-C/lであった。

3-2. 定常状態の無機炭素の除去について

Fig. 3-1に *C.vulgaris*、Fig. 3-2には *M.aeruginosa* のICの流入量、除去量及び除去率の関係を示した。Fig. 3-1より、HRT0.8日では16.2%であった除去率が、HRT8.4日までは99.6%と顕著な増加(約6倍)を示した。また、Fig. 3-2の *M.aeruginosa* においてもHRT5.0日では47.2%であるが、HRT9.5日では77.8%と増加傾向を示した。*C.vulgaris* は *M.aeruginosa* よりICの除去量、除去率が大きい、両藻類ともにHRTが長いほど除去率が大きくなることから明らかになった。しかし、*C.vulgaris* の除去量においては、HRTが短くなるほどICの除去量が増加したが、HRT0.8日では、減少が見られた。これはHRTを短く制御することにより除去量を増加させることが可能であるが、最大

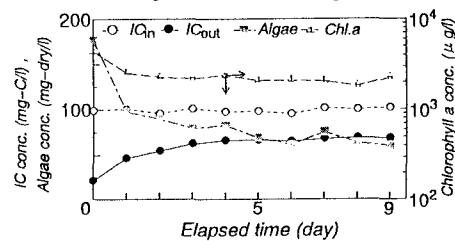


Fig. 2 *C.vulgaris* (HRT1.6) の培養槽における流入IC濃度、藻体濃度、Chl.aの経日変化

除去量の得られるHRTよりさらに短いHRTでは除去量の減少が起き、最終的には藻体のwash outにより除去が起こらなくなる。そのために本実験の範囲内では、最大除去量がHRT 1.6日で得られることとなった。次に希釈率： $D[d^{-1}]$ とChl.aを基準とした比基質消費速度： $\nu_1[mg-C/mg-Chl.a/day]$ 、藻体量を基準とした $\nu_2[mg-C/mg-Algae/day]$ の関係をそれぞれFig. 4-1とFig. 4-2に示した。これより*C.vulgaris*に関しては、HRT1.6～8.4日の範囲では希釈率と比基質消費速度の間には比較的直線関係があった。しかし、除去量の低下が観測された $D=1.25(d^{-1})$ （HRT0.8日）の時に $\nu_1=35.05[mg-C/mg-Chl.a/day]$ 、 $\nu_2=1.03[mg-C/mg-Algae/day]$ と最大値を示す結果となった。これはChl.a濃度及び藻体濃度の減少によるものと考えられる。*C.vulgaris*と*M.aeruginosa*を比較すると、藻体量基準の ν_2 の差はあまり見られなかったが、Chl.a基準の ν_1 は*C.vulgaris*より*M.aeruginosa*の方が高く、このことは、藻体中のChl.a量が*C.vulgaris*では約3.1%であるのに対し、*M.aeruginosa*は約1.8%と少ないことによるものと考えられる。

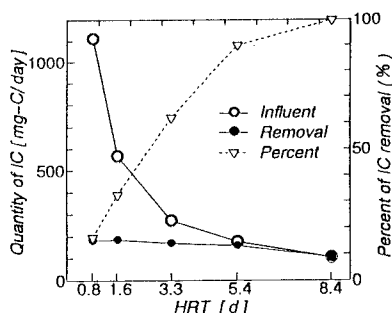


Fig. 3-1 無機炭素の流入量、除去量及び除去率の関係 (*C.vulgaris*)

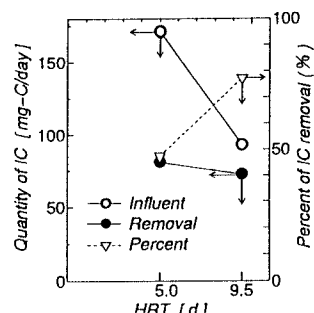


Fig. 3-2 無機炭素の流入量、除去量及び除去率の関係 (*M.aeruginosa*)

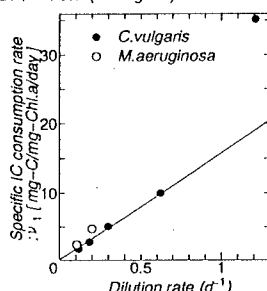


Fig. 4-1 希釈率とChl.aを基準とした比基質消費速度： ν_1 の関係

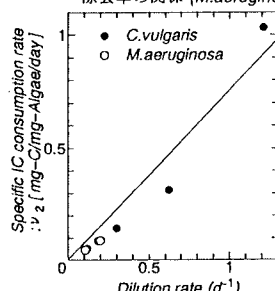


Fig. 4-2 希釈率と藻体量を基準とした比基質消費速度： ν_2 の関係

3-3. *C. vulgaris*の藻体量及び藻体内有機物

Fig. 5に*C.vulgaris*の藻体濃度と藻体回収量の関係を示した。*C.vulgaris*の藻体濃度は、HRTが長くなるにつれ増加するが、藻体回収量についてはIC除去量に対応し、HRT1.6日の369.0mg-dry/dayが最大であった。また、最小はHRT0.8日の218.0mg-dry/dayであった。次に藻体内の有機物について、Fig. 6(a)に培養槽内における藻体のタンパク質と炭水化物の濃度を、Fig. 6(b)にそれぞれの藻体中の含有率を示した。タンパク質と炭水化物の濃度は藻体濃度の増加に対応して増加した。しかし、(b)よりHRT1.6～HRT8.4の範囲において、タンパク質の藻体含有率は、HRT1.6日で60.3%であるのに対し、HRT8.4日では49.5%とHRTが長くなるにつれ減少した。また、藻体中に占める炭素割合についてもHRT1.6日で49.7%、HRT8.4日では40.6%へと減少していることから、増殖速度が高い時の藻体は固定したICを藻体内にタンパク質として多く蓄ええると考えられる。なお、この範囲での炭水化物の藻体含有率は各HRTで18%前後と大きな変化は観測されなかった。さらに、HRT0.8日におけるタンパク質の減少、炭水化物の増加については、極端に短いHRTでは除去された炭素がタンパク質だけでなく、炭水化物としても蓄えられるためにこうした増減が起きると考えられる。以上の結果は、増殖速度を制御することで藻体成分が変化することを明らかにした。また、これは藻体の有効利用を考慮した場合に役立つものと考えられる。

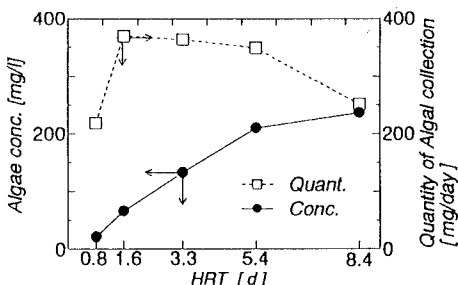


Fig. 5 藻体濃度と藻体回収量の関係 (*C.vulgaris*)

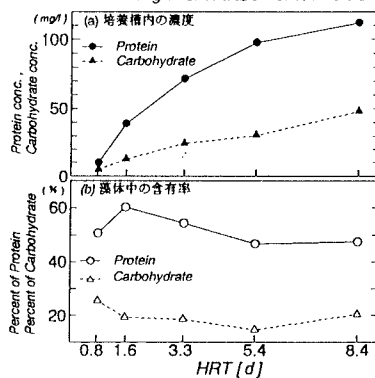


Fig. 6 タンパク質と炭水化物の変化
(a)培養槽内の濃度 (b)藻体含有率

4. おわりに

以上の結果は、滞留時間を変化させることで、限界はあるがICの除去率や除去量、さらに藻体回収量やその藻体内の成分についても制御が可能であることを示した。また、今後の展望として、藻体回収後の有効利用やCO₂の除去だけではなく、栄養塩の窒素、リンに関する除去についても検討していく予定である。