



食用生物の育成を組み込んだ 汚水処理システム

橋 本 奨*

緒 言

汚水中の窒素・磷は、大昔から人類にとっては、食糧生産のための貴重な肥料資源であった。古くから、汚水の灌漑法や田畑土壌撒布法、又池、沼、溝、小川等による自然浄化法等により、浄化処理を兼ねて食糧生産がなされてきた。

この方法は、今日的にはリビングフィルター法¹⁾²⁾とも呼ばれ、廃棄物の資源循環再利用ということで、省資源・省エネルギー技術につながるので、現在注目を浴びている古くて新しい方法である。

著者の研究室では、昨年(昭57年)4月からタイ国チュラロンコン大学工学部衛生工学科との国際共同研究(学術振興会)一課題名: Channel flow system による汚水処理と食糧生産一がスタートすることになり、現在、工学部内共同大実験棟内でパイロットプラントによるテストを種々行っている。

ここでは、これまでの研究成果の一端を述べたい。

1. 汚水浄化と食用になるとされる水生植物と魚

自然生態系を利用する汚水処理は、自然生態系における一次生産者、二次植食者、三次捕食者の生物相互の食物連鎖の働きを利用したものである。食物連鎖におけるエネルギーと物質の収支と効率からすると、利用生物の生態的地位がより高次になる程、効率が著しく低下するので、従って、水生植物と魚による汚水での浄化性は、一般的には左程、大きく期待できない

ものと考えてよい。むしろ水生植物の毛根の働きに負うところが極めて大きく、これに付着した細菌や藻類、プランクトン等の微生物の働きや毛根の吸着・濾過作用に期待できるはずである。

これまで、汚水浄化に使えるとされている水生植物と魚としては、今回のタイパックブンとティラピアも含めると表1のようなものがあげられている。

従来、汚水浄化と食用の両者を兼ねるものとしては、水生植物ではオランダガラシ、魚ではコイ、フナ、ドジョウ等が用いられてきた。しかし、これらの生物種は、何れもタイパックブンとティラピアに比べて、汚水での浄化性と耐性、生育条件、商品価値等に見劣りがすると考えられ、これまでの同種の研究では見るべき成果が余り得られていない。

タイパックブン: 学名は *Ipomoea aquatica* といい、一名エンツァイ、水アサガオともいわれ、東南アジアの水生植物で、タイ国では食用野菜として多く栽培され、日本では鹿児島で栽培されているといわれる。この植物の容姿を写真-1に示した。この植物は栽培が極めて容易で、水中でも栽培できる。夏季には、生育速度が非常に速く、汚水中でも耐性があるので、汚水処理の窒素、磷除去に適している。写真-2はタイ国におけるタイパックブンの育成状況を示した。タイ国では、池、沼、水溜り、水路等でホテイアオイや蓮などの水生植物と一緒に自生しているので、市民はそれを採取して食用に供している。

タイ料理では、パックブンに味噌、醤油、魚ソース、肉などを入れて油いためるととても美味で、私も一昨年、タイ国でそれを賞味させていただいた。その他、スープにも入れるとよいそうで、タイ国ではとても貴重な野菜である。

* 橋本 奨 (Susumu HASHIMOTO), 大阪大学, 工学部, 環境工学科, 教授, 医博・工博, 水質管理工学, 環境化学

表1 汚水浄化に使えるとされる水生植物と魚の特徴

種別	名称	学名	特 徴			備 考
			生育温度 適温	最 温	存 低 度	
水生植物 ④⑤	ホテイアオイ 一名 (Water Hyacinth)	<i>Eichhornia crassipes</i> Soims	26~30	10	5~10	家畜の飼料 堆肥に利用
	オランダガラシ 別名 (クレソン)	<i>Nasturtium officinale</i>	25~30	5	0~5	肉料理のサラダやツマミと して生食。辛味成分を含む
	コウキクサ	<i>Lemna minor</i> L	25~30	10	5~10	家畜飼料・堆肥に利用
	ミゼンコウキクサ	<i>Wolffia arrihiza</i> Wimm.	25~30	10	5~10	新しい食糧資源として注目
	オオカナダモ	<i>Egeria densa</i> Casp	25~30	5	0~5	
	タイバックブ 別名 (エンツアイ) (水アサガオ)	<i>Ipomoea aquatica</i>	25~35	12~15	2~3	食用野菜として利用され、 タイ国で店頭で販売
魚 ⑥⑦⑧	グッピー	<i>Lebistes reticulatus</i>	24~28	20	10~15	観賞用。胎生。pH=7.2 汚水に強い、雑食性
	タップミノ 別名 (蚊ダヤシ) (蚊魚)	<i>Gambusia affinis</i>	24~28	10	0	ボーフラ退治用、胎生。 pH=7.2、汚水に強い、 雑食性
	フナ	<i>Carassius carassius</i> (L.)	25~30	10	0	食用、雑食性、汚水に強い
	コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	25~28	10	0	食用、雑食性
	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	25~30	15	0	食用、釣餌料、pH=8~10 雑食性、泥土を好む
ティラピア 別名 (チカダイ)	<i>Tilapia nilotica</i>	25~32	16	12	食用、雑食性、藻類を好んで 食べる。タイに似た味で タイと同じように刺身その 他の料理に用いられ、賞味 され、店頭で販売されてい る。	

④⑤⑥⑦⑧：文献番号



写真1 タイバックブ



写真2 タイ国でのタイバックブの育成状況

ティラピア：学名は *Tilapia nilotica* とい
い、日本では、肉質が鯛に近いということで、
通称チカダイと呼ばれ、写真-3に示した姿の

魚で、養殖魚として大量に生産されている。こ
の魚は、野性的、強健な魚で、環境条件に馴
しやすく、成長も速やかで、繁殖力も旺盛な上

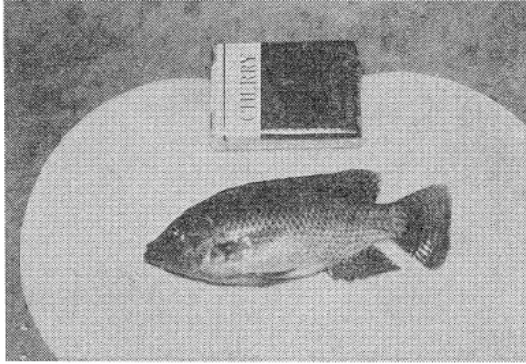


写真3 ティラピア

に、富栄養化した水に適し、藍藻、珪藻の消化率が非常に高いといわれる。近年、この魚の養殖技術も著しく進み、飼育が容易なことから、FAO（世界食糧農業機構）では、世界の食糧不足に役立つ魚として推奨されている。

この魚は、卵や仔魚を親が自分の口の中に入れて保護するという珍しい習性を持ち、生育水温範囲は15～45℃と広く、適温は24～32℃、10℃以下では弊死するといわれる。又、生育生存pHの範囲は5～10で、最適pHは6～8、pHが10前後でも生育可能といわれる。NO₂は5ppm以上になると死亡するといわれ、pHに

よって異なるが、NH₄⁺は40～50ppmの濃度でも生育でき、80ppmのNH₄⁺濃度でも生存できるといわれる。稚魚のときは、動物性飼料を摂食するが、成長するにつれて植物性飼料を摂食するのが多くなり、底棲動物、水底の堆積物、動物性プランクトン、植物性プランクトン、水苔、藻類、陸棲昆虫、陸上植物、新芽、ウキクサ、等葉緑素の多い植物小片を好んで食べる。従って、植物性プランクトンのよく繁殖した透明度の低い富栄養化した水中でよく成長するので、汚水処理の窒素、磷除去に一役を買わせることができるはずである。

2. 食用生物の育成を組み込んだ汚水処理

今回の国際共同研究では、食用生物の育成を組み込んだ汚水処理システムとしては、先ず図1の二次処理水の最終仕上げの高度処理を考え、本研究を設定することにした。

○channel flow systemのパイロットプラント：本法は、実際的には長い開水路として用いられるが、実験施設として長い水路の設置が

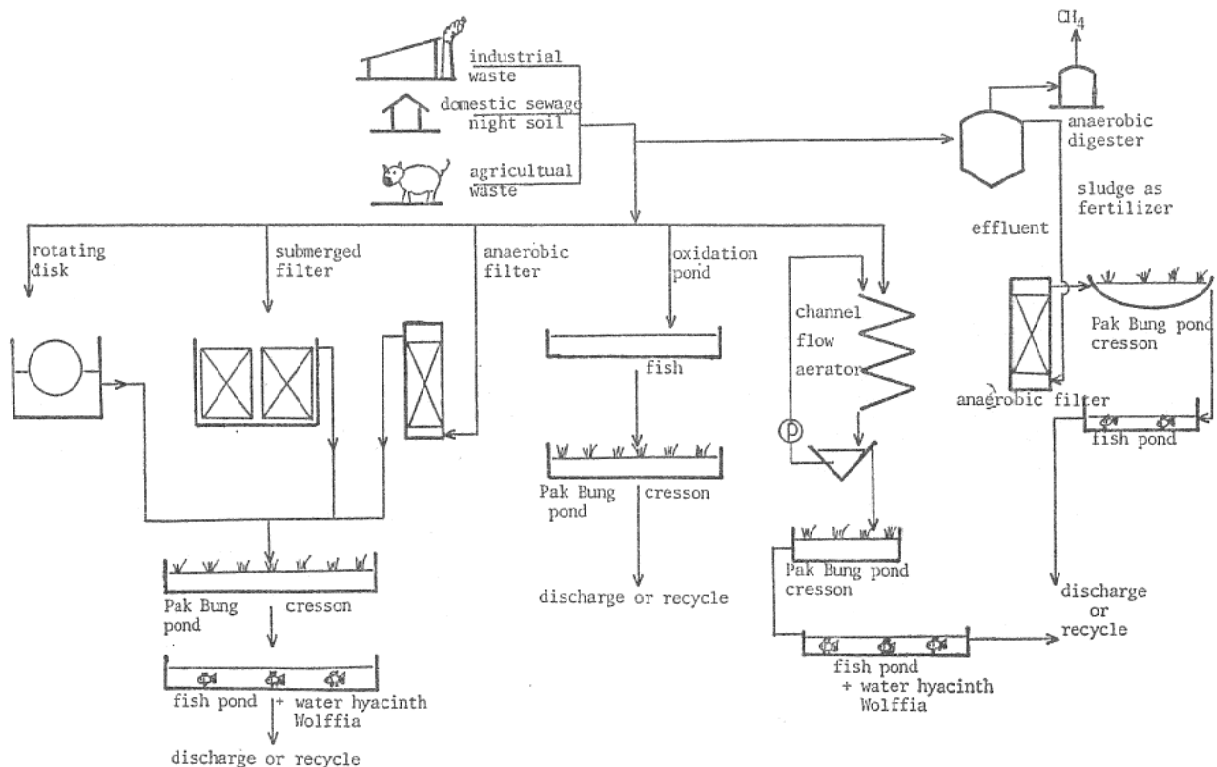


図1 SCHEMATIC DIAGRAM OF WASTEWATER TREATMENT AND FOOD PRODUCTION

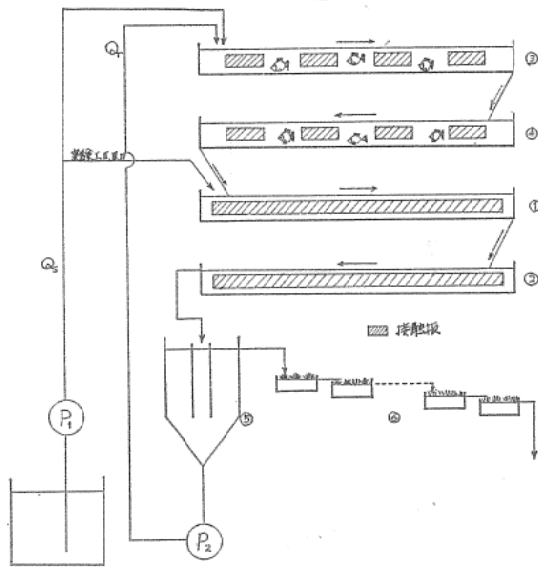


図2 Channel flow system の実験装置模式図

表2 稀釈合成尿尿と合成下水の組成

(a) 稀釈合成尿尿

成分	濃度 (mg/l)
ペプトン	36.0
肉エキス	24.0
(NH ₄) ₂ SO ₄	28.3
NH ₄ HCO ₃	79.0
K ₂ HPO ₄	28.1
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.0329
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.322
MnSO ₄ · 4H ₂ O	0.0049
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.011
Mg(CH ₃ COO) ₂ · 5H ₂ O	0.567
K ₂ SO ₄ · Al ₂ (SO ₄) ₃ · 24H ₂ O	0.0165
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.274
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.274

BOD : 30ppm, TOC : 22.5ppm, T-N : 23.3ppm,
T-P : 6.0ppm
蒸留水で1 lとした。

(b) 合成下水

成分	濃度 (mg/l)
ペプトン	240.0
肉エキス	160.0
NH ₂ CONH ₂	15.0
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	100.83
NaCl	12.0
KCl	5.60
CaCl ₂ · 2H ₂ O	7.43
MgSO ₄ · 7H ₂ O	8.20

BOD : 200ppm, TOC : 150ppm, T-N : 60ppm,
T-p : 12.5ppm
実験に際しては適宜希釈して使用した。

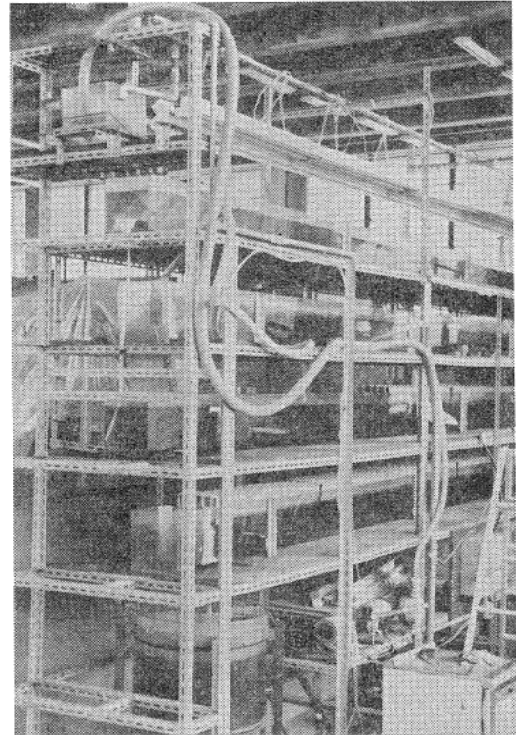


写真4 パイロットプラント

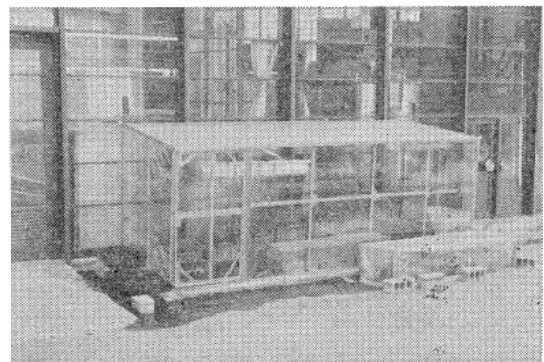


写真5 タイパックブン育成普培の状況

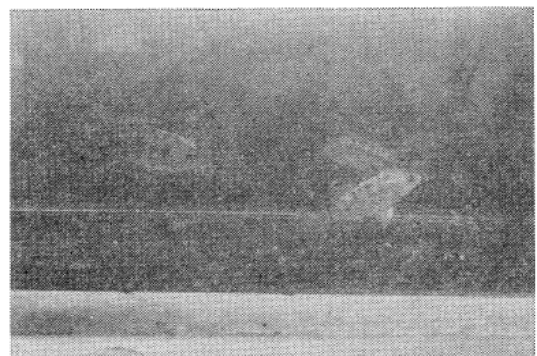


写真6 ティラピアの育成状況

極めて困難なので、ここでは、長い水路を想定して処理水の多量返送を行えるように、図2、写真-3のようなパイロットプラントを大阪大学工学部内共同大実験棟内に設置した。

表3 Channel flow system の合成下水処理成績

試料	試験及び 算出項目	実験No.	実験I	実験II	実験III	実験IV
		汚水別	合成尿尿稀釈水 (BOD 30mg/l)	合成下水稀釈水 (BOD 60mg/l)	合成下水稀釈水 (BOD 120mg/l)	合成下水稀釈水 (BOD 90mg/l)
流入汚水	TOC (mg/l)		23.4	44.0	93.8	65.4
	Total-N (mg/l)		24.7	16.4	36.0	22.6
	Total-P (mg/l)		6.13	5.25	7.50	5.63
	TOC-容積負 荷① (kg/m ³ /日)		0.0117	0.0227	0.0469	0.0327
	TOC-接触抗面 積負荷② (g/m ² /日)		0.16	0.31	0.66	0.46
養殖水路流出 水	TOC (mg/l)		1.68	3.22	7.30	2.6
	Total-N (mg/l)		20.5	14.1	21.7	18.6
	Total-P (mg/l)		4.44	4.07	6.20	4.55
接触酸化水路 流出水	TOC (mg/l)		2.06	3.34	7.43	2.52
	Total-N (mg/l)		19.3	14.6	22.4	19.0
	Total-P (mg/l)		4.85	3.70	5.33	4.54
タイパックブ ン栽培槽流出 水	TOC (mg/l)		—	3.06	6.66	2.12
	Total-N (mg/l)		—	13.9	22.2	17.9
	Total-P (mg/l)		—	3.57	5.23	4.08

注 ① 容積負荷=流入 TOC 量 (g/日)/水路の容積 (m³) 但し、水路の容積=1.2m³

② 面積負荷=流入 TOC 量 (g/日)/接触材の表面積 (m²) 但し、接触材の表面積=85.248m²

このプラントは、4段の水路①②③④（1段の水路：幅0.25m，高0.25m，長さ8m，有効容量300ℓ）と8段の水槽⑥（1槽：横幅55cm，縦幅71.5cm，深さ25.6cm，有効容量60ℓ）および調整槽⑤（有効容量130ℓ）から成っている。水路③④は、これに接触板（4個）を入れて、ティラピアの養殖水路とし、水路①②は、水路全面に接触板を入れて、接触酸化水路とした。水槽⑥は、タイパックブンの水蕨栽培槽とした。ポンプ(P₁)で、BOD濃度約30~120ppmの合成汚水を、Q_s=25ℓ/hrの流量で水路①、或は水路③に投入し、調整槽⑤からポンプ(P₂)

で返送水を Q_r=1800ℓ/hr の流量で水路③にポンプアップ返送し、水路内流速を1.35cm/secとした。

○実験とその成果：表3に示した組成の稀釈合成尿尿と合成下水稀釈液を30~120ppmのBOD濃度にして実験に供した。

昭和57年6月25日より実験を開始し、各水路の浄化能と接触板上の生物膜付着の充分なことを確認した。水路③④にティラピアを投入し、8段水槽⑥にはタイパックブンを湿重量にして3891.3g、8個の水槽に植えつけ、約7日毎にティラピアの重量増加とタイパックブンの収穫

表4 Channel flow system の除去率

水質項目	実験№	実験I	実験II	実験III	実験IV
		(平均除去率%)	(平均除去率%)	(平均除去率%)	(平均除去率%)
全施設 ¹⁾	TOC	91.2	93.0	92.9	96.8
	Total-N	21.7	15.6	38.3	20.8
	Total-P	20.9	32.0	30.3	27.5
Tilapia 養殖水路と接触酸化水路 ²⁾	TOC	91.2	92.4	92.1	96.1
	Total-N	21.7	11.0	37.8	15.9
	Total-P	20.9	29.5	28.9	19.4
タイパックブン栽培水路 ³⁾	TOC	—	8.38	10.4	15.9
	Total-N	—	4.79	0.89	5.79
	Total-P	—	3.51	1.88	10.1

- 1) 除去率 = (流入水濃度 - タイパックブン栽培槽流出水濃度) / 流入汚水濃度 × 100
- 2) 除去率 = (流入水濃度 - 接触酸化水路流出水濃度) / 流入汚水濃度 × 100
- 3) 除去率 = $\frac{\text{接触酸化水路流出水濃度} - \text{タイパックブン栽培槽流出水濃度}}{\text{接触酸化槽流出水濃度}} \times 100$

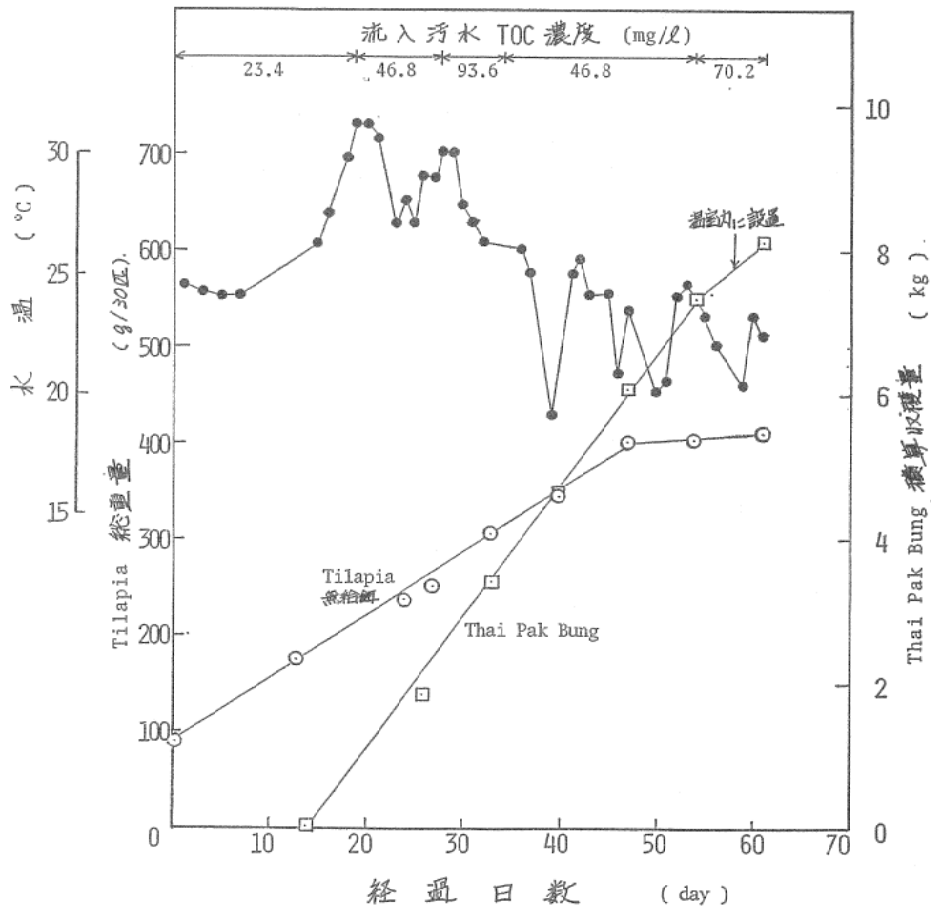


図3 Channel flow system で得られたタイパックブンの収穫量とティラピアの育成体重増加量の経日変化

量を計量した。タイパックブンの収穫は、水槽の全面の上に大きく伸びながら成長した若い莖

(20~30cm) を摘みとって採取した。写真-4 写真-5 にはタイパックブンとティラピアの育

表5 タイパックブンとハウレン草の年間生産量と生産額の比較

種別	年間生産量 (湿重 t/ha・年)	年間生産額 ²⁾ (万円/ha・年)
タイパックブン ¹⁾	250	12,500
ハウレン草 ²⁾	40	2,000

- 注) 1) 一週間に一回、新しく伸びたツル (20~30cm) を摘みとる。
(1回に 1.5kg/3.15m² 収穫)
2) 年4回収穫するものとする。(1回に 1t/10a 収穫)
3) いずれも 1kg 500円 として計算した。

成栽培の様子を示した。

これまでの実験結果を要約すると、表3、表4、図3のようになる。

本法では、合成下水は、channel flow systemの水路内の接触板に多量に付着生成した生物膜により TOC は約91~93%、Total-N は約16~38%、Total-P は約21~32%と効率的に除去でき、接触酸化水路流出水を用いて、タイパックブンの栽培とティラピアの養殖の可能性を確認できた。しかし、窒素・燐の除去には、データからすると余り大きな期待がかけられないようで、今後この除去効率のアップを考えていかねばならないが、二次処理水の最終仕上げの高度処理ということでは、充分目的が達せられたといえる。

タイパックブンの収穫量は、1回1.5kg/3.15m²/7日で、一年中 暖い タイ国や東南アジアは勿論、日本のように寒い冬季のある所でも温室栽培とすると、年間生産量は湿重量で 250 t/ha/年 と計算される。今、温室栽培で年4回収穫できる ハウレン草と比較すると、表5のようになり、タイパックブンの収穫量は著しく高く、一度植えつくと連続的に毎週収穫できるので、極めて経済的に簡単容易に汚水処理から食糧生産の夢が実現できることを確かめることができた。

又、ティラピアは、③④の養殖水路で付着生物膜の藻類等を活発に食べ、全くの無飼料で、47日間に約4倍に成長することが判った。この実験では水路容積当りの魚の密度が大きかったので、現在、密度と温度調整を行いながら、実験を続行している。成魚一匹が800gにもなると商品価値が極めて高く、現在、一匹1kg物で1000円位で出荷されているようで、そのときの

来るのを今から楽しみにしている。

現在、私の研究室では、毎週収穫したタイパックブンで色々料理に工夫をこらして、研究室総員、パックブンパーティを楽しんでいる。これまでのところ、私はやはり、油いためが一番適するのではないかと思っているが、すき焼き、漬物等にもいけるようで、今年はこの野菜の普及に力を尽したいと思っている。

結 語

昨年4月よりスタートしているタイ国チュロンコン大学工学部衛生工学科との国際共同研究について、パイロットプラントによるこれまでの実験成績の一端を紹介した。

この研究はまだ、ほんの糸口に入ったところであるが、今後基礎研究も含めて、いろいろの case で、研究を幅広く気長に取り組んでいく所存であるが、将来の人類の食糧危機に備えて、資源として無限に近い汚水から、その省資源、省エネルギー処理技術を通じて、食糧生産の明るいバラ色の夢の実現に努力していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 須田 正昭：リビングフィルター，ヘドロ，5，(13)，9月号(1978)。
- 2) 新井洋一，大槻忠，名取真：リビングフィルター，ppm，8，16~23(1979)。
- 3) 橋本 堯：汚水処理からの食糧生産の夢—国際共同研究計画—，大阪大学工業会誌，No. 435，1月号，31~33(1982)。
- 4) 徳永隆司：水生植物の水質汚濁防止への利用，用水と廃水，23，(2)，127~135(1981)。
- 5) 青山 勲：水物植物を利用した水質改善，用水と廃水，24，(1)，87~93(1982)。
- 6) 牧野信司：生態系を利用した廃水処理システム，用水と廃水，18，(1)，15~19(1976)。
- 7) 津田松苗：汚水生物学，北隆館(1972)，P206~214。
- 8) 水産庁振興部監：特用水産養殖ハンドブック，地球社(昭54)。