

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006-2008  
 課題番号：18380018  
 研究課題名（和文） 休耕田を利用した富栄養化水による周年野菜栽培システムの確立  
 研究課題名（英文） Establishment of All Year Round Vegetable Production System Using Eutrophic Lake Water in Culture Resting Paddy Field  
 研究代表者  
 氏名（ローマ字）：篠原 温（SHINOHARA YUTAKA）  
 所属機関・部局・職：千葉大学・園芸学研究所・教授  
 研究者番号：30015903

## 研究成果の概要：

富栄養化湖沼水を用いた野菜生産では、湖水中の栄養塩濃度は極めて低く、植物が吸収する養分の大半は懸濁物質 SS に由来することが明らかになった。また、SS は一定量以上に根圏に捕捉されても植物の収量は上限以上にはならないことが分かった。SS には有機体の窒素が多く含まれるが、直接園芸培地化するには不適當なため、堆肥化し養分を無機化することが効果的と考えられた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2007 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

## 研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸学・造園学

キーワード：園芸学 水質汚濁・土壌汚染防止・浄化 環境 懸濁物質 野菜栽培

## 1. 研究開始当初の背景

河川や湖沼の富栄養化は各地で深刻な水質問題である。我々は養液栽培の観点から、富栄養化湖沼水を極低濃度の培養液と捉えて野菜栽培に用い、同時に水質浄化に貢献しようとして、千葉県の手賀沼をモデルケースとして研究してきた。その過程で、植物は湖沼水中の水溶性の栄養塩類のみならず、水中の懸濁物質（Suspended Solid:以下 SS）も利用して生育することが示唆された。SS は主に土壌粒子やプランクトンの死骸から成り、湖水を引き込んだ水路内に自重で沈積し、根圏に捉えられ、エンサイの生育を促進することが分かってきた。SS の堆積量は水路の上流から下流にかけて減少し、これに伴い植物の生育も

低下する現象がみられる。

## 2. 研究の目的

将来的に富栄養化水を肥料源とした野菜栽培を実用化する際に、この SS からの養分吸収について知見を得ることが、重要だと思われた。そこで、これまでの研究に基づき、栽培水路における SS の挙動とエンサイの生育の関係をさらに詳しく調査した。また、栽培後にも SS に養分が残存することから、系外に持ち出して有効利用する手段として、SS の園芸培地化を検討した。特に水温が低下する冬季に利用できれば、周年的に浄化に貢献できる。

### 3. 研究の方法

(1) 流量がSSの挙動とエンサイの生育に及ぼす影響

供試植物にエンサイ ‘bamboo’ (Thai Seed & Agriculture Co., Ltd.) を用いた。2008年6月5日に128穴セルトレイに播種し、6月27日に草丈20cm程度で7.5cmポリポットに鉢上げした。培地にはロックウール粒状綿を用いた。育苗は千葉大学園芸学部内研究圃場の温室で行い、園試処方1/4単位液を適宜灌水した。7月31日、8月9日に摘心し、8月20日に培地の際から草丈25cmで切り揃えて、手賀沼湖畔の休耕田(千葉県柏市大井新田)の温室内の水路に定植した(写真1, 2)。水路は地面を掘り、幅30cm、深さ20cm、長さ21mで作成し、勾配はなしとした。SSの調査のため、フィルム(スゾピー、MKVプラテック(株))を敷き、水田土壌と隔離した。切花用ネットで倒状を防ぎ、株間20cm、1条で各水路102株定植した。湖水はポンプで汲み上げ、水路の上端から常時供給し、水路の下端にて水位10cmで排水した。流量はバルブで調整し、40、20、10、5L/分の4処理区設けた。

エンサイは9月6日、9月21日、10月6日、10月30日の計4回、培地際から25cmの高さで刈り取り、生体重を記録した。栽培終了時に各水路上流・中流・下流のエンサイを3株ずつ器官別に分解し、窒素吸収量を求めた。水中のSS濃度を給水口から1、3、5、7、10、15、20m地点で、湖水をガラス繊維濾紙で濾過して定量した。SSの堆積深も同地点で調査した。筒を差し、筒内のSSを湖水と一緒にポンプで吸引採取し、別の円柱状の透明な容器に移して水路内での堆積深に換算した。そのSSの乾物重を測り、以後SSの乾物重から堆積深を算出した。硝酸態窒素濃度は給水口から1、5、10、15、20m地点で採水し定量した。1日のうちのSS濃度および硝酸態窒素濃度の変動を調査した。栽培終了後、水路に回収されたSSを天日干しにし、乾物重と窒素含有量を測った。

(2) 手賀沼のSS沈殿物および浚渫土を利用した園芸培地の特性評価

上記の実験(1)で水路に沈殿したSS(以下‘SS沈殿物’とする)と、千葉県東葛飾地域整備センターより譲渡された手賀沼の浚渫土を供試し、市販培地‘ちば土太郎’(スミリン農産工業(株))と比較した。浚渫土は湖岸の植生帯増設のため2008年に手賀大橋付近で浚渫されたものを、千葉大学園芸学部内研究圃場の温室にて天日干しした。化学性について、pH、EC、硝酸態窒素、全窒素・炭素含有量、C/N比、有効態リン酸含有量(トルオーグ法)、交換性Ca、K、Mg、Mnを測定した。日本アイリッヒ(株)の協力を得て直径約4mmに造粒し、物理性の改善を試みた(写

真3)。浚渫土は、造粒せず解砕のみ行ったもの、粗殻燻炭を混合したものも設けた。粗殻は近隣の農家から頂き、燻炭にした後、希硫酸を用いてpHが浚渫土と同等となるよう調整した。

2009年3月4日にコマツナ‘ひろみ’(野原種苗)を、各培地を800ml詰めた4.5号ポットに10粒ずつ播種した。その際各培地、化成肥料を露地栽培での施肥基準どおり(N:P:K=14kg:12kg:12kg/10a、耕深度20cm)に添加するもの、半分添加するもの、添加しないもの3種類を3ポットずつ設けた。栽培試験に供試した培地を表2に示す。栽培は、千葉大学園芸学部内研究圃場の無加温温室で行い、4月初旬までは夜間はトンネルで覆い保温した。気相割合が30%前後となるよう灌水量を調整した。ポット当たり2株を残し、‘ちば土太郎’が収穫適期となった時点で一斉収穫した。

### 4. 研究成果

(1) 流量がSSの挙動とエンサイの生育に及ぼす影響

エンサイの総収量は、40L区を除き、流量の多い水路が少ない水路を上回った(図1)。40L区の収量低下は、水路が側窓に近く位置していたことが要因と考えられた。刈り取り回数別にみると、1回目は全体的に収量が低く、これは定植してからの経過時間が短く、エンサイ株当たりの分けつがまだ少なかったことが一因と考えられる。刈り取り2・3回目では、40L区を除き、流量の多い水路が少ない水路を上回った。2回目よりも3回目で収量が低かったのは、栽培が秋季にさしかかり、この期間に平均水温が25.7℃から20.7℃に、大幅に低下したことが要因と考えられる。4回目では害虫が発生し、流量の多い水路ほど被害が大きかったため、正当な結果は得られなかった。上流から下流にかけての収量は、流量の少ない水路ほど、顕著に低下する傾向がみられた(図2)。

栽培期間中に水路に供給された手賀沼湖沼水の硝酸態窒素濃度は極めて低く、0.09-0.23me/Lの範囲で日によって変動した。流量の少ない10L、5Lでは下流にかけて徐々に低下し、水路末端では流入水に対して20-30%減となった(図3)。一方、流量の多い40L、20L区では、水路下流でも硝酸態N濃度は比較的高く維持され、流入水に対して約10%減に留まった。流入水中のSS濃度は日による変動のみならず、1日の中での変動も大きく、調査の結果プラスマイナス20%程度は誤差と考えることが妥当と思われた。しかし、その変動幅以上に、どの水路でも上流から下流にかけてSS濃度は大幅に低下し、水路下端では流入水の10-40%に相当した(図4)。とくに流量の少ない水路では上流で

急激に低下し以後ほぼ横ばいに推移したことから、水中のSSの大半が上流で沈殿したことが示された。一方、流量の多い水路ほどSSは徐々に沈殿した。SSは流量の多い水路ほど厚く堆積し、栽培終了時の総乾物重量は、40Lの水路で5Lの水路のおよそ4倍となった(図5)。水路の上流から下流にかけての低下の様相は、水中のSS濃度と類似していた。

10L区では収量がSSの堆積量とともに水路下流にかけて低下する傾向がみられ、この現象は過去の研究(同じ水路構造・流量で2003年に実施)と一致した。これよりも流量の少ない5Lでも同様の傾向がみられた。しかし、より流量の多い20L、40L区では、水路の下流にかけてSSの堆積量は大幅に減少するが、収量は上流と下流でほぼ一定に保たれた。

湖沼中の硝酸態窒素濃度は極めて低く、吸収濃度もこれと同等に低いと考えて差し支えないと思われる。仮に吸収濃度を0.2me/Lとすると、もし植物が水中にイオン状態で存在する養分のみ吸収していた場合、吸収された窒素をまかなうには、エンサイ1株1日当たりの吸水量は10L必要となる。仮に、1株1日当たりの吸水量を1Lとしても、全窒素吸収量の大半はSSに由来することになる。したがって、量的に沢山の硝酸態窒素が供給された40L、20L区においても、エンサイがSSからも養分を吸収していることは確実である。また、SSは量的に十分存在すれば、水路の上流と下流で堆積量が異なっても収量は低下しないことが示唆された。各水路の上流の収量を比べると、SSの堆積量は大きく異なるが株当たりの収量はほとんど変わらず、ここからも、根圏に多くSSが存在しても必要以上に養分吸収が増加することはないものと思われた。40L、20L区では水路の下流でも根に比較的分厚くSSが付着していたのに対し、流量の少ない10L、5L区では水路底付近に分布する根だけが沈殿したSSと接触している様子を目視で確認している。流量の少ない水路では下流で硝酸態窒素濃度が低下するので、上流と同等の収量を得るためには、下流においてSSからより多くの養分を吸収しなければならないと考えられるが、下流のSSの堆積量は絶対量が少なく、その結果、収量が低下したと考えられた。

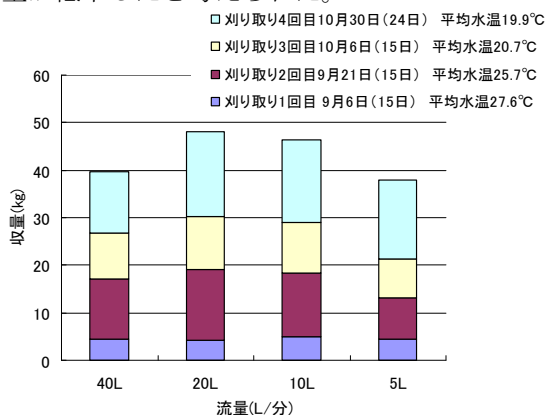


図1：流量とエンサイの総収量  
凡例の括弧内は、刈り取りまでに要した日数を示す。

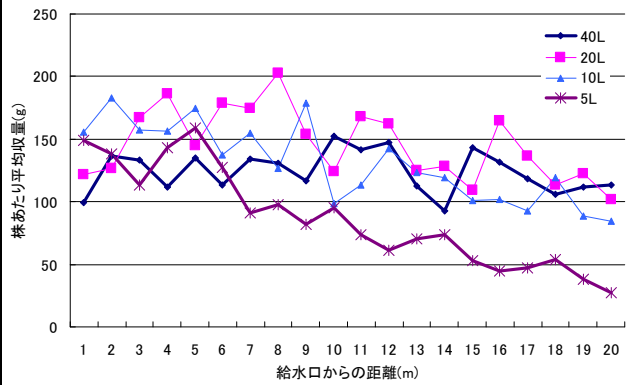


図2：流量と水路の上流から下流の収量(刈り取り2回目)

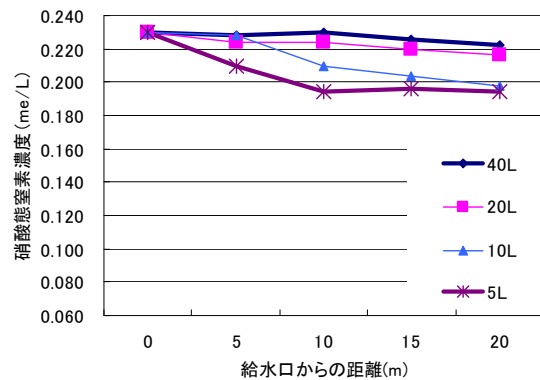


図3：流量と水路の上流から下流の硝酸態窒素濃度(10月15日調査)

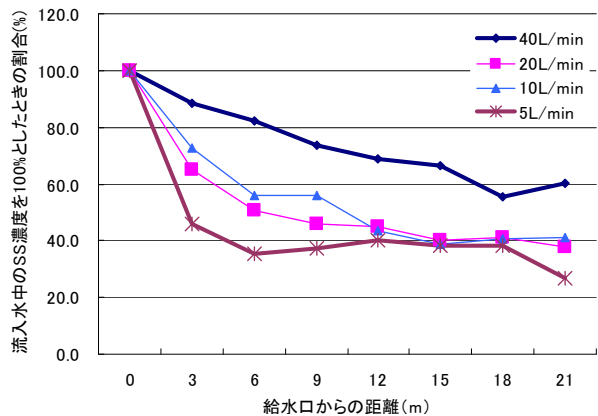


図4：流量と水路の上流から下流のSS濃度(9月7日調査、流入水約30mg/L)

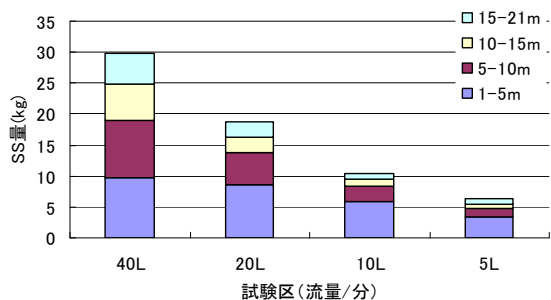


図5：流量と栽培終了時のSSの堆積量  
凡例は給水口からの距離を示す

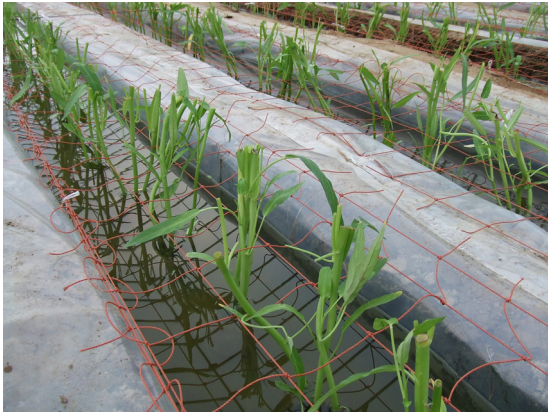


写真1：定植時の様子



写真2：栽培の様子

## (2) 手賀沼のSS沈殿物および浚渫土を利用した園芸培地の特性評価

SS沈殿物と浚渫土の硝酸態窒素や有効態リン酸は、市販培地の‘ちば土太郎’と比較して、極めて少なかった(表1)。しかし、SS沈殿物のECは‘ちば土太郎’と同等であり、他の物質が溶出していると考えられる。SS沈殿物と浚渫土を利用した培地でのコマツナの生育は、‘ちば土太郎’と比べて非常に劣った(図6)。どの培地においても、化成肥料の添加量が多いほどコマツナの生育速度がやや速い傾向がみられたが、市販培地にははるかに及ばなかった。

解砕した浚渫土と籾殻を組み合わせた培地では、栽培の前半は生育速度が速かったが、栽培後期では葉色が薄くなり著しく生育が悪くなった。SS沈殿物は、栽培の前半では著しく生育速度が遅かったが、葉色は濃く、養分欠乏症はみられなかった。栽培の後半で急激に生育速度を増し、浚渫土と同等になった(写真4)。これは有機体の窒素が、春先の気温上昇に伴って無機化したためと考えられ、事実、硝酸態窒素は栽培前の  $59\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  から栽培後には  $249\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  となった。SS沈殿物は全窒素含有量も比較的高いので、堆肥

化を検討する価値があると思われる。一方、浚渫土の硝酸態窒素は栽培の前後でほぼ変わらなかった。造粒した浚渫土と籾殻を組み合わせた培地では、籾殻の混合比率が高いほど、栽培後期で葉色がやや薄くなった。造粒加工により、籾殻を混合しなくとも気相は十分に確保され、むしろ水分保持力が小さくなったように思われる。今後、混合資材をさらに検討する必要があると考えられた。

表1：手賀沼のSS沈殿物および浚渫土の化学的特性

供試材料	pH(H <sub>2</sub> O 1:5)	EC(1:5) (dS/m)	NO <sub>3</sub> -N (mg·kg <sup>-1</sup> )	C/N	T-C (g·kg <sup>-1</sup> )	T-N (g·kg <sup>-1</sup> )	強熱減量 (%)
ちば土太郎 <sup>a</sup>	6.7	0.9	1100	—	—	—	25
浚渫土	7.7	0.5	13	12.6	17.8	1.4	8
SS沈殿物	6.5	1.1	59	8.2	71.6	8.7	21

供試材料	有効態リン酸 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (mg·kg <sup>-1</sup> )	CaO (mg·kg <sup>-1</sup> )	MgO (mg·kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg·kg <sup>-1</sup> )
ちば土太郎 <sup>a</sup>	1230	1280	12000	1680	—
浚渫土	127	1388	7605	1394	37
SS沈殿物	135	1061	8704	1765	187

a: アミリン農産工業株式会社の表示による。一部単位を改変して表示

表2: 供試した培地

処理区名	化成肥料添加 <sup>a</sup>	各原料の組成割合(% v/v)			加工 <sup>b</sup>
		SS沈殿物	浚渫土	籾殻燻炭	
ちば土太郎	—	—	—	—	—
SS	none	100	0	0	●
	half	100	0	0	●
	1	100	0	0	●
浚	none	0	100	0	●
	half	0	100	0	●
	1	0	100	0	●
浚75	none	0	75	25	●
	half	0	75	25	●
	1	0	75	25	●
浚50	none	0	50	50	●
	half	0	50	50	●
	1	0	50	50	●
浚解50	none	0	50	50	○
	half	0	50	50	○
	1	0	50	50	○
浚解25	none	0	25	75	○
	half	0	25	75	○
	1	0	25	75	○

注) a noneは無添加, halfは露地栽培での施肥基準の半分, 1は施肥基準通りに肥料を添加したことを示す  
b SS沈殿物および浚渫土の造粒を●、解砕を○で示す

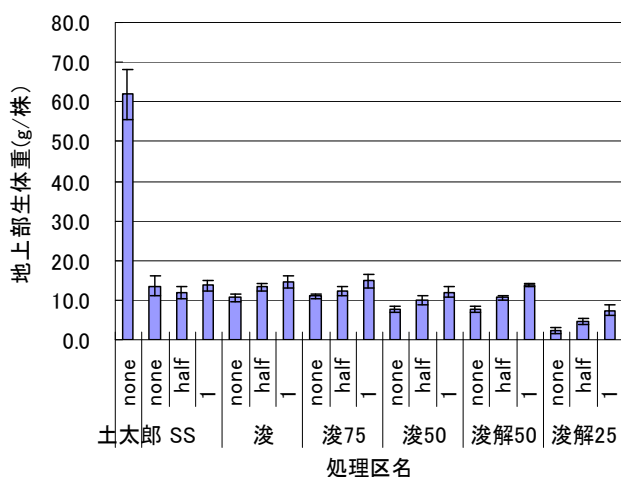


図6: コマツナの地上部生体重  
バーは標準偏差を示す

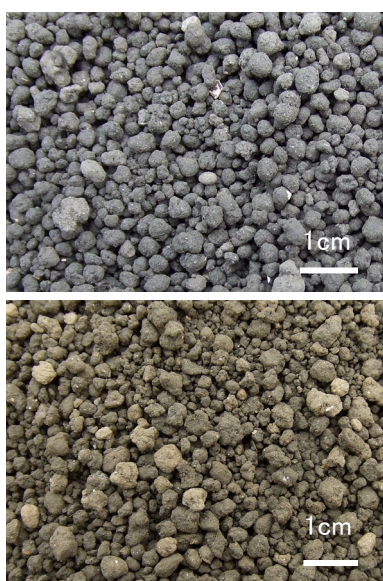


写真3: 造粒したSS沈殿物(上)と浚渫土(下)



写真4: 収穫時のコマツナの生育  
上から順に、土太郎、SS沈殿物、浚渫土  
(すべて化成肥料無添加)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Gonzales Jocelyn Amihan, 丸尾 達, 篠原 温, 低濃度域における培養液濃度がトマト苗の養分吸収速度に及ぼす影響, 園芸学研究, 第6巻別1, 169, 2007, 査読無し
- ② 小林 ゆり, 篠原 温, 丸尾 達, 休耕田を利用した富栄養化水による周年野菜栽培システムの確立, 熱帯農業研究 投稿予定

〔学会発表〕(計1件)

- ① Y. SHINOHARA, Development of Vegetable Production System Using Eutrophic Tega-lake Water and Some Derivative Works, The First Asian Horticultural Congress, 2008年12月12日, 韓国济州島国際会議場

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠原 温 (SHINOHARA YUTAKA)  
千葉大学・園芸学研究科・教授  
研究者番号: 30015903

(2) 研究分担者

丸尾 達 (MARUO TORU)  
千葉大学・園芸学研究科・准教授  
研究者番号: 20143266

高垣 美智子 (TAKAGAKI MICHIKO)  
千葉大学・園芸学研究科・准教授  
研究者番号: 00206715