

花卉の水耕栽培による 生活雑排水中の窒素及びリン除去について*

平野 浩 二** 吉田 克彦**
井上 充** 井口 潔**

1. はじめに

湖沼、海域等における富栄養化の主な原因が生活排水であることから、各自治体において下水道、合併浄化槽、小規模排水処理施設等の普及が急がれている。しかし、これらはBOD除去には効果があるものの富栄養化の主要因物質である窒素(T-N)及びリン(T-P)の除去にはあまり効果がない。

また、これらの施設の運転には大量の電気エネルギーを消費するため、汚水を浄化する一方において炭酸ガス等の大気汚染物質の発生原因ともなっている。

生活排水等に含まれるT-N及びT-Pを少ないエネルギー消費で除去することを目的として、近年植物を用いた水処理が種々検討されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。中でもホテイアオイを用いた排水及び公用水中のT-N、T-P等の除去については、以前から研究が続けられ印旛沼等の湖沼において実用試験が行われている⁶⁾。しかし、これらの水処理においては、栄養塩等の吸収により増殖したホテイアオイの処分に関する問題が残されており、またキショウブを植えた水路浄化では根の増殖による水路の閉塞が生じるなど植物の増殖に伴う問題が残されている。

そこで、水処理に用いた植物が増殖した場合、それらを一般の家庭に提供または販売することにより使用する植物の量を一定に維持することを考え、家庭でも園芸用によく栽培されている花卉を対象として生活雑排水による水耕栽培への適性並びにそれらの植物による生活雑排水中のT-N及びT-P除去について検討した。

2. 実 験

2・1 花 卉

花卉及びその種子は、盛花時にあるもの及びその種子を市中の園芸店で購入した。実験に使用した花卉は以下に示すとおりである。

盛花時にある花卉：キンセンカ、ミヤコワスレ、ナデシコ、マリーゴールド、ロベリア、ベゴニア、インパチェンス、ニチニチソウ、アゲラタム、ノースポール、パンジー、アネモネ、シバザクラ、ペチュニア、ゼラニウム、セントポーリア、イワタバコ、デージー、サルビア及びバーベナの20種

春播用種子：ヤグルマソウ、ニチニチソウ、ホウセンカ、キンレンカ、インパチェンス、カスミソウ、コスモス、ヒャクニチソウ、セキチク、サルビア、ナデシコ、ベゴニア、カンパニュラ及びトレニアの14種

秋播用種子：ワスレナグサ、ノースポール、ナデシコ、セキチク、プリムラ、キンセンカ、ビオラ、マリーゴールド、ムラサキハナナ、ラナンキュラス、デージー、ベビーパンジー、ベゴニア、ペチュニア、及びカンザキジャノメギクの15種

上記のほかに2月にセントポーリアを土に挿し葉して根の出たものを実験に用いた。

2・2 培 養 液

実験に供した培養液は津久井湖(神奈川県)へ流入する約70世帯の生活雑排水を処理している装置の原水槽から採取し、ろ過したものをを用いた。

2・3 栽 培 方 法

生活雑排水30ℓをポリ容器に入れ、曝気しながらポンプで排水を図1に示す水耕栽培用ベットへ送り、その溢流水を再びポリ容器中に戻して循環させた。ベットを流れる排水の表面に厚さ2cmの発泡スチレンを浮かせ、発泡スチレンには10cm間隔で2cm×

* Phosphorus and Nitrogen Removal from Gray Water by Hydroponics of Flower Plant

** Koji HIRANO, Katsuhiko YOSIDA, Mitsuru INOUE, Kiyosi IGUCHI (神奈川県環境科学センター) Environmental Research Center of Kanagawa Prefecture

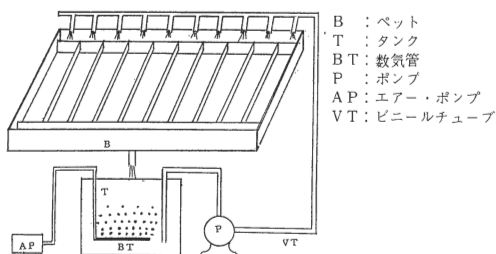


図1 水耕栽培用ベットの概要

2 cm の穴をあけ、そこに、中央に十文字に切れ目を入れた1辺が2 cm の立方体の発泡ウレタンをはめ込み、ウレタンの切れ目に播種し、あるいは土で本葉まで生育したものを定植した。

盛花時の花卉は、根についている土を水でよく洗い落とし、根を発泡スチレンの穴に入れウレタンで根元を固定し、水耕栽培用ベットに定植した。

2・4 生活雑排水中の元素吸収量の測定方法

生活雑排水1ℓを図2に示すようにプラスチック容器と1ℓのメスシリンダー内にポンプで循環させ、プラスチック容器内の水面上に盛花時にある花卉5本が定植されている発泡スチレンを浮かせ、24時間後に生活雑排水の量を測定した。実験開始前後の生活雑排水中の各成分の濃度を測定し、花卉1本当たりが1日に200 ml の生活雑排水中から吸収する各成分元素の量をもとめた。なお、実験は繰り返して行い天候の良い日の値を吸収量とした。

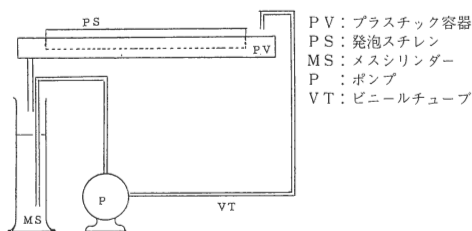


図2 吸収量測定用小型ベット

2・5 分析方法

生活雑排水の組成、吸収量などを求めるための分析

方法及び装置は、以下に示すとおりである。

pH はガラス電極法⁷⁾、BOD はアジ化ナトリウム変法⁷⁾、T-N は化学発光法⁷⁾ (柳本製作所製：微量窒素分析装置・TN-7)、T-P はペルオキソ二硫酸カリウム分解・モリブデン青 (アスコルビン酸) 法⁷⁾ で、その他の元素は ICP 発光分光分析装置 (日立製作所製：P-5200 型) とフレームレス原子吸光度計 (パリアンインスツルメンツリミテッド製 SpectraAA-300) を併用して測定した。

3. 結果及び考察

3・1 生活雑排水の組成

水耕栽培に用いた培養液は、約70世帯の生活雑排水をろ過したものであるが、その組成について分析した結果を表1に示した。

一般の生活雑排水⁸⁾と比較してT-N及びT-Pの濃度が低いのは、この排水を処理している施設の原水槽へ湧水が流入しているためである。またこの値は、同表に示した水耕栽培用培養液の日本園試処方⁹⁾の1/10~1/100程度の濃度であった。

3・2 花卉の生活雑排水による水耕栽培への適性

春播花卉の種子を、栽培用ベットに浮かべ生活雑排水で湿潤したウレタンの切れ目に播種した場合と、土に播種し本葉が出た後ウレタンに定植した場合の各花卉の水耕栽培への適性について検討し、その結果を表2に示した。

ニチニチソウ、ヒャクニチソウ及びセキチクは播種の方法による発芽及び生育に差は認められなかったが、それら以外は土に播種し本葉が出た後に水耕栽培に移した場合の方が、ウレタンに播種した場合よりも良好に生育した。特に、キンレンカ、インパチェンス及びナデシコのようにウレタンに播種した場合発芽しないものもあったことから、土に播種し本葉が出た後に水耕栽培に移す方が良いと判断された。

本実験では、期間中に2日間曝気が停止するなど植物にとって十分な生育条件ではなかったがニチニチソウ、ハウセンカ、インパチェンス、サルビア、ペゴニア及びトレンシアは順調に生育して花を咲かせ、生活雑排水による水耕栽培への適性が高いことが明らかに

表1 生活雑排水の組成

	T-N	T-P	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Zn	B	S
生活雑排水	12	1.1	20	6.2	31	9.0	0.020	0.0092	0.040	0.0080	9.5
園試処方	132	42	162	50	-	314	3.0	0.50	0.050	0.50	65

単位：(mg/ℓ)

表2 花卉の生活雑排水による水耕栽培への適性 (春播)

花 卉 名	播 種 方 法	
	水 耕	土 耕
ヤグルマソウ	○	○
ニチニチソウ	◎	◎
ホウセンカ	○	◎
キンレンカ	×	○
インパチェンス	×	◎
カスミソウ	△	○
コスモス	△	○
ヒャクニチソウ	○	○
サルビア	△	◎
セキチク	○	○
ナデシコ	×	○
ベゴニア	—	◎
カンパニュラ	△	△
トレニア	—	◎

◎：順調に生育し花が咲き適性が高い
 ○：生育が充分でなく、やや適性が劣る
 △：生育せず適性がない
 ×：発芽しなかった

なった。

春播花卉の水耕栽培への適性試験結果に基づき、秋播花卉16種について、土に播種し、(セントポーリアは挿し葉)本葉が出た後、生活雑排水による水耕栽培への適性について検討し、結果を表3に示した。

キンセンカ、マリーゴールド、ベゴニア、ペチュニア、セントポーリア及びカンザキジャノメギクは生活雑排水で順調に生育し花を咲かせ適性が高いことが明

表3 花卉の生活雑排水による水耕栽培への適性 (秋播)

花 卉 名	適 性
ワスレナグサ	○
ノースポール	○
ナデシコ	○
セキチク	○
プリムラ	○
キンセンカ	◎
ビオラ	△
マリーゴールド	◎
ムラサキハナナ	△
ラナンキュラス	○
パンジー	△
デージー	△
ベゴニア	◎
ペチュニア	◎
セントポーリア	◎
カンザキジャノメギク	◎

◎：順調に生育し花が咲き適性が高い
 ○：生育が充分でなく、やや適性が劣る
 △：生育せず適性がない

らかになった。特にキンセンカは生育が良く草丈は40cmを越えた。しかし、下水処理水による水耕栽培への適性が高い¹⁰⁾と報告されているムラサキハナナ、デージー及びパンジーは生育が悪く、本実験においては適性が低いと判断された。

3・3 盛花時における花卉の水耕栽培への適性

土で栽培し盛花時にある20種の花卉について生活雑排水による水耕栽培への適性について検討した結果を表4に示した。

表4 盛花時における水耕栽培への適性

花 卉 名	適 性
キンセンカ	◎
ミヤコワスレ	○
ナデシコ	○
マリーゴールド	○
ロベリア	×
ベゴニア	◎
インパチェンス	◎
ニチニチソウ	◎
アゲラタム	×
ノースポール	△
パンジー	△
アネモネ	×
シバザクラ	×
ペチュニア	○
ゼラニウム	◎
セントポーリア	◎
イワタバコ	◎
デージー	×
サルビア	○
パーベナ	×

◎：土耕栽培よりも生育が良く、非常に適性が高い
 ○：次第に水耕栽培に適応していったが、やや適性が劣る
 △：次第に枯れていき、適性がない
 ×：水耕栽培に適応しなかった

キンセンカ、ベゴニア、インパチェンス、ニチニチソウ、ゼラニウム、セントポーリア及びイワタバコは非常に適性が高く、長期間にわたり花を咲かせた。

ミヤコワスレ、ナデシコ、マリーゴールド、ペチュニア及びサルビアは移植時の古い葉は枯れたが、新しい芽を出し、移植後20日前後で新しく白い根を生じて水耕栽培への適性を示した。

その他の8種は2週間以内で枯れ適性が低いと判断された。特に、デージーは下水処理水で十分に水耕栽培が可能であると報告¹⁰⁾されているが、種から育成した場合と同様に、移植後1週間で枯れ、本実験では適性が低いと判断された。

3・4 花卉による生活雑排水中の成分元素の除去率

インパチェンス、トレニア及びニチニチソウが1本

表5 花卉植物によるT-N、T-P及び無機金属の除去率(%)

花卉名	T-N	T-P	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Zn	B	S
インパチェンス	81	81	56	56	26	91	50	95	0	50	26
トレニア	87	82	20	56	13	98	45	95	0	63	21
ニチニチソウ	85	82	20	16	13	71	50	95	0	13	14

当たり1日で200 mlの生活雑排水中から吸収する各成分元素の量を測定し、それらの除去率を求めて結果を表5に示した。

T-N, T-P, K及びMnに関しては高い除去率を示したがNa, Zn及びSに関しては除去率は低く、実験に用いた花卉の成長にあまり関係の無いことが明らかになった。また、Ca, Mg及びBは植物により吸収量が異なり、花卉の種類によりこれらの元素に対する吸収量に差があることが認められた。

3・5 花卉のT-N及びT-P吸収量

種子から生育し花が咲いた植物のうち、病気や害虫による被害を受けなかった4種について、盛花時における花卉1本が1日で生活雑排水200 ml中のT-N及びT-Pを吸収する量を求めて結果を表6に示した。

表1から生活雑排水200 ml中に含まれるT-N及びT-Pの絶対量は、T-Nが2.4 mg、T-Pが0.22 mgである。インパチェンス、トレニア及びベゴニアのT-N吸収量は1.9～2.2 mgであり80～90%の除去率を示した。インパチェンス、トレニア、サルビア及びベゴニアのT-P吸収量は0.19～0.22 mgで86～100%と高い除去率を示した。

表6 花卉の窒素及びリン吸収量

	(mg/日・本)			
	インパチェンス	トレニア	サルビア	ベゴニア
T-N	2.2 (92)	2.1 (88)	1.1 (46)	1.9 (79)
T-P	0.21 (95)	0.21 (95)	0.22 (100)	0.19 (86)

()内は、除去率

3・6 T-N及びT-P濃度と吸収量の関係

盛花時にある花卉のT-N及びT-P吸収量と濃度の関係について、インパチェンス、トレニア、ベゴニア及びニチニチソウについて検討した。培養液は井上¹¹⁾らが実験に使用した人工下水と同じ組成の液を調製したものを用いた。その組成及び水質は表7に示した。なお、実験に際しては表7に示す濃度の100倍の濃厚培養液を調整し、それを適宜希釈して用いた。

各花卉のT-N及びT-P濃度と吸収量の関係を図3～6に、濃度と除去率の関係を図7～10に示した。

表7 人工下水の組成及び水質

組 成 (mg/ℓ)		水 質	
		単 位: pH以外 mg/ℓ	
CaCl ₂ ・2H ₂ O	50	pH	7.0～7.2
MgSO ₄ ・7H ₂ O	150	BOD	200
NaCl	100	COD	120
NaHCO ₃	150	T-N	20
KH ₂ PO ₄	25	T-P	6.0
(NH ₄) ₂ SO ₄	70		
グルコース	140		
ペプトン	140		

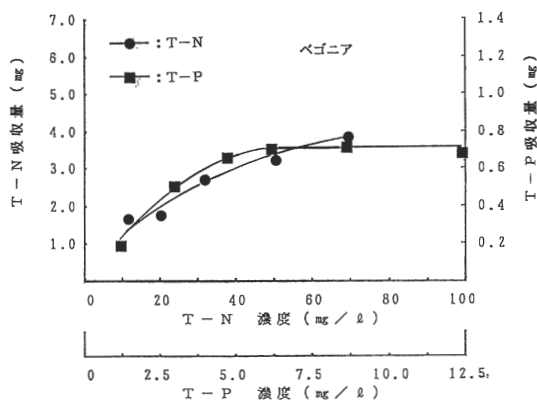


図3 培養液中のT-N及びT-P濃度と吸収量の関係

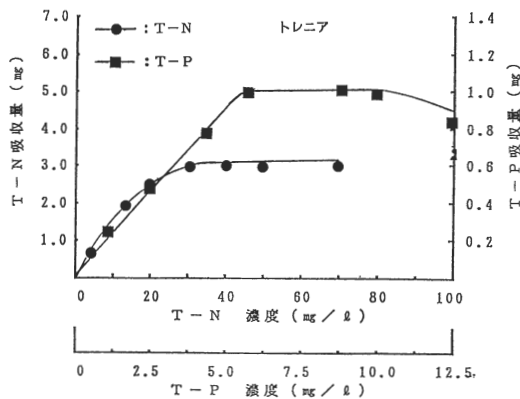


図4 培養液中のT-N及びT-P濃度と吸収量の関係

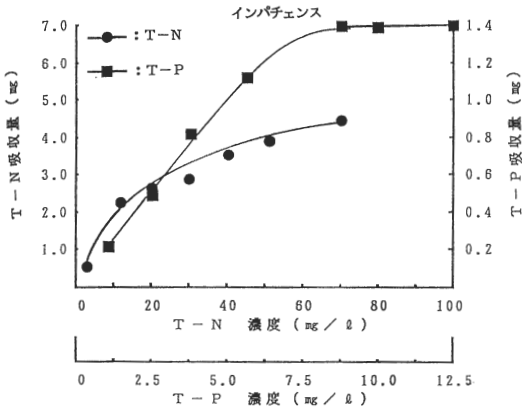


図5 培養液中のT-N及びT-P濃度と吸収量の関係

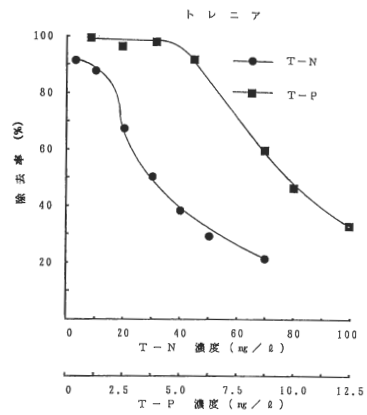


図8 培養液中のT-N及びT-P濃度と除去率の関係

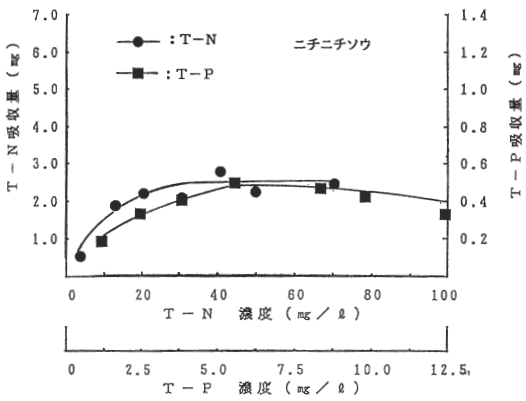


図6 培養液中のT-N及びT-P濃度と吸収量の関係

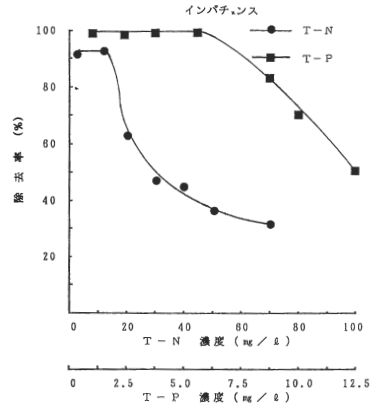


図9 培養液中のT-N及びT-P濃度と除去率の関係

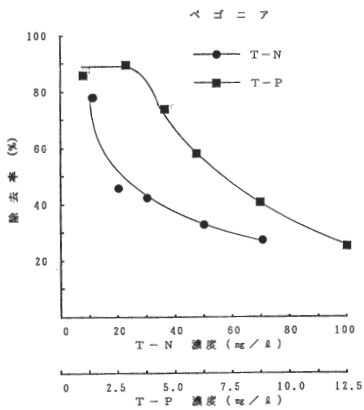


図7 培養液中のT-N及びT-P濃度と除去率の関係

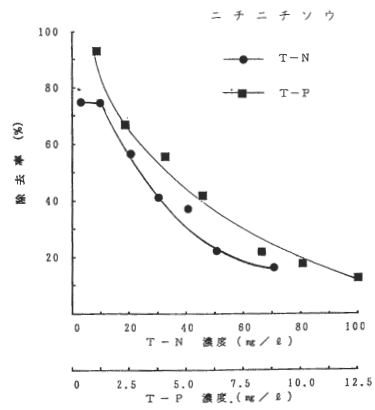


図10 培養液中のT-N及びT-P濃度と除去率の関係

T-N は、ペゴニアでは培養液中の濃度が 12 mg/ℓ と低い場合吸収量は 1.8 mg で除去率は 80% 近いが濃度が高くなるに従って吸収量は増加し、70 mg/ℓ のとき 3.8 mg であった。しかし除去率は 27% に低下した。トレニアでは培養液中の濃度が 3.0 mg/ℓ のとき吸収量は 0.56 mg、除去率は 92% である。除去率は濃度の増加に伴って低下するが、吸収量は 30 mg/ℓ 以上の濃度では 3.0 mg の一定値を保った（以後この値を、飽和吸収量と呼ぶ）。インパチェンスはペゴニアと同様の傾向を示したが吸収量はペゴニアより多く、培養液濃度が 12 mg/ℓ のとき 2.2 mg で 93% の除去率であった。ニチニチソウはトレニアと同様の傾向を示し、培養液の濃度が 12 mg/ℓ 以上では濃度が増加しても吸収量は一定値を保ち飽和吸収量は 2.4 mg でペゴニアより低い値であった。

T-P は、ペゴニアでは飽和吸収量は 0.65 mg であり除去率は培養液の濃度が 2.9 mg/mg までは 90% と高いが濃度の増加に伴って低下した。トレニア及びインパチェンスも同様の傾向を示したが、飽和吸収量はインパチェンスが 1.4 mg と最も高く、トレニアは 1.0 mg であった。ニチニチソウの飽和吸収量は 0.4 mg と 4 種類の中では最も低かった。除去率は培養液の濃度が 1.2 mg のとき 93% であったが濃度の増加に伴って低下した。

4. ま と め

生活雑排水により一般の家庭で園芸用に栽培されている花卉の水耕栽培への可能性及びこれらの植物による生活雑排水中の T-N 及び T-P 除去について検討した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 成分濃度が日本園試処方による水耕栽培用培養液の 1/10～1/100 の生活雑排水で多くの花卉植物が水耕栽培可能である。

(2) 種子から水耕栽培を行うよりも土に播種し本葉まで成長した後水耕栽培に移す方が栽培しやすい。

(3) 盛花時における水耕栽培への適性はキンセンカ、ペゴニア、インパチェンス、ニチニチソウ、ゼラニウム、セントポーリア及びイワタバコが優れてい

た。

(4) T-N の除去率はインパチェンス、トレニア及びペゴニアにおいて 80～90%、T-P の除去率はインパチェンス、トレニア、サルビア及びペゴニアにおいて 86～100% であった。

(5) 盛花時における飽和吸収量は、T-N ではトレニアが 3.0 mg と最も高く、T-P ではインパチェンスが 1.4 mg と最も高かった。

謝 辞

本研究の実施あたり種々ご指導賜りました本城庄五郎氏及び神奈川県農業総合研究所成松次郎氏に心より感謝申し上げます。

一 引 用 文 献 一

- 1) 喜納政修, 安里辰夫, 田仲康彦, 高良保英: ホテイアオイ池による有機廃水処理実験, 下水道協会誌, Vol 13, No 146, pp 37-44, 1976.
- 2) 喜納政修, 屋良朝徳: ホテイアオイの硝酸性窒素吸収におよぼす個体密度の影響, 水質汚濁研究, Vol 8, No 5, pp 296-303, 1985.
- 3) 今岡務, 寺西靖治: ホテイアオイの栄養塩吸収能を利用した水質浄化に関する研究, 水質汚濁研究, Vol 8, No 5, pp 314-322, 1985.
- 4) 今岡務, 寺西靖治: ホテイアオイの栄養塩吸収能を利用した水質浄化に関する研究, 水質汚濁研究, Vol 8, No 6, pp 358-366, 1985.
- 5) 大矢昌弘, 遠田和雄: 水生植物と接触ばっ気の組合せによる水質浄化法の検討 (第 2 報), 横浜市公害研究所報第 14 号, pp 121-135, 1990.
- 6) 佐藤正春, 奥田惟精, 中川和義, 稲生義彦, 大橋武, 駒塚富男: 手賀沼におけるホテイアオイ植栽実験, 千葉県水質保全研究所報告, pp 1-57, 1982.
- 7) 日本工業規格協会: JIS KO 102 工場排水試験方法 (1986), 日本工業標準調査会, 東京.
- 8) 大野茂: 合併処理浄化槽に流入する汚水と処理水の水質について, 生活と環境, Vol 24, No 6, pp 15-27, 1979.
- 8) 堀裕: 『蔬采・花きのれき耕栽培』養賢堂, 東京, 1966.
- 10) 宗宮功, 津野洋, 池田建志, 神村正樹: 下水二次処理水による花き植物の水耕栽培に関する研究, 下水道協会誌, Vol 27, No 316, pp 45-51, 1991.
- 11) 井上充, 平野浩二, 稲森悠平: 間欠曝気式回分活性汚泥法による生活排水中の窒素, リン, 有機物除去のための最適条件の選定, 水質汚濁研究, Vol 14, No 5, pp 301-311, 1991.