

植物及びろ材を利用した乳用牛尿汚水の処理

秋田 勉*

要 約

乳用牛の尿汚水を活性汚泥法で処理した処理水を脱色するために適したろ材を選定した。また処理水に含まれる窒素及びりんを除去するのに適した植物を選定した。更に選定したろ材及び植物を組み合わせた浄化処理装置による水質の変化を検討した。

- 1 脱色に適したろ材 (石炭焼却灰) の色素除去能力は 8 l/kg であった。
- 2 窒素及びりんの除去に適した夏季用植物はヨシ, 冬季用植物はイタリアンライグラスを選定した。窒素の除去量は各々 $0.20, 0.26 \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ であり, りんの除去量は各々 $0.01, 0.03 \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ であった。
- 3 活性汚泥法と植物及び脱色材として用いた石炭焼却灰を組み合わせた浄化処理装置による汚濁物質除去率はBOD, COD, SS及びりんは年間を通して95%以上の高い除去率であったが, 全窒素は夏季83%, 冬季41%であった。

Application of Plants and Filters to the Treatment of Cow Waste

Tsutomu AKITA

Summary

The objectives of this experiment was to evaluate materials for decolorization of waste water from a cow shed, and plants for removal of nitrogen and phosphorus including it. Moreover, it was to investigate the purification ability of the apparatus which was composed of a filter and plants.

- (1) The ash after firing coal was the most suitable filter to decolor the first treatment water, and its decolorization ability was 8 l/kg .
- (2) The plants for sucking up nitrogen and phosphorus in the first treatment water were reed and Italian ryegrass, and the removal quantity of nitrogen was respectively 0.20 and $0.26 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$, and the removal quantity of phosphorus was respectively 0.01 and $0.03 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$.
- (3) The removal rates of BOD, COD, SS and total phosphorus by the purification plant were more than 95% through the year, but the rate of total nitrogen was 83% in the summer season and 41% in the winter season.

キーワード：植物, ろ材, 乳用牛尿汚水, 脱色

緒 言

家畜の飼養管理等畜産業に関わる事業所からの排水については水質汚濁防止法の排水基準値が近年厳しくなっている。現在, 畜産農家では尿汚水は未処理, 曝気処理及び活性汚泥処理などさまざまな処理が行われた後, 土地に還元あるいは河川に放流されている。しかし, 未

処理は悪臭の発生による周辺住民への影響, 土壌及び地下水に対する負荷の増大を促す。曝気処理は処理液中の肥料成分含量が高く, 土地還元は環境に与える負荷が大きい。また活性汚泥法ではりん, 硝酸性窒素などによる水質及び地下水汚染の問題が発生している。更に最近ではミルクパーラー方式畜舎からの雑排水の処理が問題となっている。豚舎からの尿汚水の処理法では植物を使った活性汚泥処理水の処理¹⁾, 生物膜処理²⁾, セラミックス担体を用いた処理³⁾など様々な方法が報告され

2004年8月31日受理

* 兵庫県立農林水産技術総合センター 畜産技術センター

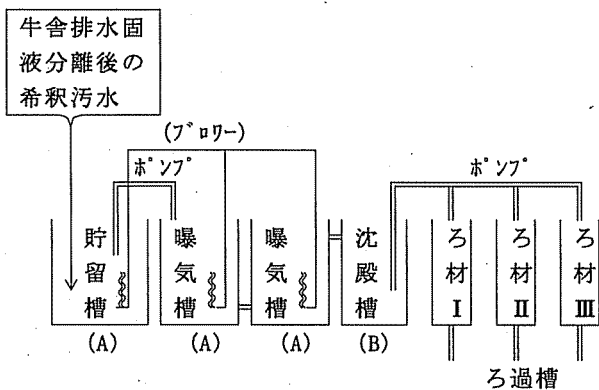


図1 ろ過材利用による一次処理水処理

(A)はFRPサイロ2m³, (B)はFRPサイロ1m³

ろ材 I はネッカリッチ、II はソフトシリカ
III は石炭焼却灰

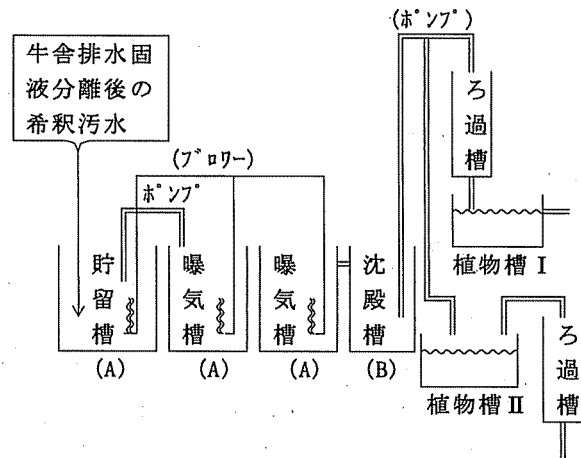


図2 植物を利用した浄化処理

(A)はFRPサイロ2m³, (B)はFRPサイロ1m³

ているが、乳用牛の尿汚水処理法についての報告¹⁶⁾は少ない。本報告では乳用牛の尿汚水を法的規制値以下にして放流するため、間欠曝気法とろ材及び植物浄化槽を組み合わせた省力的且つ低コストの浄化装置について調査したので報告する。

材料及び方法

試験1 汚水浄化に適したろ材の選定

供試した尿汚水は、当センター近くの酪農家(乳用牛30頭飼養)の畜舎から排出するふん尿混合物をローラープレス式固液分離機で分離後の汚水に水を加えた希釈汚水(BOD1949mg/l, COD2523mg/l, SS3258mg/l)を用いた。希釈汚水は曝気槽(2m³容FRPサイロ, 2基)に60ℓ/日送水し、間欠曝気(4時間曝気, 1時間停止)を行った。得られた一次処理水は送液ポンプで20ℓ/日を各ろ材(ネッカリッチ: 酢酸を0.3%含む木炭粉末, ソフトシリカ: モンモリロナイト系粘土鉱物, 石炭焼却灰: 二酸化珪素及び酸化アルミニウムが主成分)を詰めた約0.3m³容のろ過槽(二次処理)に送水してろ過

し(図1), ろ液中の水質及び着色状態を調査した。水質検査は下水試験法に準じた。

ろ材の脱色量はろ液の色調が一次処理水と同じになる直前の送水延べ汚水量とした。

試験2 汚水浄化に適した草種の選定

活性汚泥法(間欠曝気)で処理した一次処理水を夏季はろ過槽を通過させた後植物槽に、冬季は植物槽, ろ過槽の順に処理した(図2)。植物槽はコンクリートパネルで作成した水槽(縦45cm×横180cm×深さ30cm)にパーライトを入れたプラスチック籠(縦45cm×横61cm×深さ31cm)を入れ、植物を栽培(播種または移植)した。供試植物として夏季はヨシ(195本/m²を移植), ハトムギ(播種量2g/m²), 青葉ミレット(播種量2g/m²)を、冬季はイタリアンライグラス(播種量3g/m²), リードカナリーグラス(播種量3g/m²), レスクグラス(130本/m²を移植)を用い、作物の生育状況, 収量, 窒素(以下Nと呼ぶ)及びりん(以下Pと呼ぶ)含量を調査した。1日当たりの送水量は25ℓである。検査は全窒素(以下T-Nと呼ぶ)はケルダール法, 全り

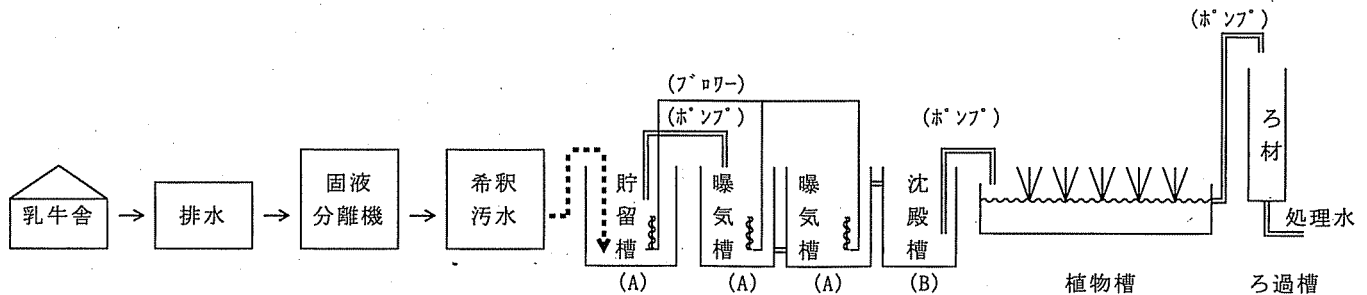


図3 植物及びろ材を利用した浄化処理装置

(A)はFRPサイロ2m³, (B)はFRPサイロ1m³

ろ過槽のろ材は石炭焼却灰

表1 一次処理水の水質変化

区分	pH	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	色調
7日後	6.9	21	110.8	28.0	175.3	赤褐色
28日後	7.6	2	57.6	30.2	155.9	赤褐色

ん(以下T-Pと呼ぶ)はモリブデン青吸光度法で行った。なお、ろ過槽のろ材は石炭焼却灰を用いた。

試験3 浄化処理装置の検討

図3に示す浄化装置の性能を調査するため、酪農家の牛舎排水を固液分離後注水した希釈汚水を用いた。希釈尿汚水を曝気槽(2 m³容FRPサイロ2基, BOD容積負荷量は約0.1kg/m³, 曝気量4 m³/時・m³, 4時間曝気, 1時間静置の間欠曝気)で処理後、沈殿槽, 植物槽, ろ過槽(石炭焼却灰50kg)の順に一連の処理を行い、水質を調査した。植物槽はパーライトを入れたプラスチック籠を設置し、植物(夏季はヨシ, 冬季はイタリアンライグラス)を栽培した。植物槽の送水量は約40ℓ/日とした。ろ材の色素除去能力は脱色量から算出した。

結果

試験1 汚水浄化に適したろ材の選定

一次処理水の色調は原水の黒緑色から赤褐色に変化した。汚濁物質の除去率は曝気処理7日後, BOD98%, COD94%, SS98%, 28日後では各々ほぼ100%, 97%, 98%であった(表1)。一次処理水を連続ろ過した7日後の水質はpHはソフトシリカが10.9と強アルカリ性であったが、他はpH8前後の弱アルカリ性であった。BOD, COD, SS等汚濁物質の除去効果はソフトシリカ>石炭焼却灰>ネッカリッチの順に高かった。28日後では

同様にソフトシリカの効果が最も高かったが、除去効果はすべて大きく低下した。一方、色調は7日後は無色透明から灰白色であったが、28日後ではネッカリッチは灰白色透明, ソフトシリカ及び石炭焼却灰は淡黄色~黄色を帯びた透明な液となった。T-Nの除去効果は低かった(表2)。ネッカリッチは送水量1140ℓ(開始28日後)で、また石炭焼却灰は1478ℓ(33日後)でろ過不能となった。ソフトシリカは1761ℓ(39日後)でもろ過は可能であったが、色調は一次処理水と同じになった。各ろ材の色素除去能力はネッカリッチ11ℓ/kg, ソフトシリカ9ℓ/kg, 石炭焼却灰8ℓ/kgであった。

試験2 汚水浄化に適した草種の選定

夏季植物用ろ過水及び冬季植物用沈殿水の水質を表3に示したが、T-N含量はろ過水(夏季)が高く、T-P含量は沈殿水(冬季)が高かった。夏季の生育はヨシが最も良く、葉色は一部黄化するものの緑色を保ち、草丈は125cmであったが、そのほかの植物は生育が悪く、黄化し、草丈は著しく劣った。植物のT-N及びP含量は青葉ミレットが最も高かった(表4)。冬季はイタリアンライグラスの生育が最も良く、5月10日まで9回の多刈りが可能で、乾物収量は最も多かった(表5)。またイタリアンライグラスのNO₃-Nは他の草種に比べて約2倍量含まれ、N及びPの吸収量は他の草種に比べて各々約3~4倍、約2~6倍多かった(表6)。

試験3 浄化処理装置の検討

冬季用植物イタリアンライグラスのN及びPの1 m²当たり吸収量は夏季用植物ヨシの吸収量に比べ各々1.6倍、4.6倍高かったが、乾物収量は61%強低収であった(表7)。

浄化処理装置による乳用牛舎排水を固液分離後の希釈

表2 一次処理水ろ材通過後の水質変化

区分	7日後			28日後		
	ネッカリッチ	ソフトシリカ	石炭焼却灰	ネッカリッチ	ソフトシリカ	石炭焼却灰
pH	8.0	10.9	7.9	8.1	10.4	7.7
BOD(mg/ℓ)	6(71)	4(81)	5(76)	3(-)	2(0)	1(50)
COD(mg/ℓ)	20.9(81)	2.6(98)	20.5(81)	34.6(40)	18.6(68)	41.0(29)
SS(mg/ℓ)	5.0(82)	1.5(95)	2.5(91)	14.5(52)	8.0(74)	9.0(70)
T-N(mg/ℓ)	98.8(44)	172.1(2)	131.2(25)	129.6(17)	149.9(4)	146.5(6)
色調	灰白色透明(100)	無色透明(100)	無色透明(100)	灰白色透明(98)	淡黄色透明(98)	黄色透明(96)

()内は一次処理水に対する除去率、色調のみ色素除去率
色素除去率は波長410nmで希釈汚水の吸光度を100として算出した。

表3 ろ過水及び沈殿水の水質

区分	pH (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	NH ₄ -N (mg/ℓ)	NO ₃ -N (mg/ℓ)	NO ₂ -N (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)
ろ過水	8.4	210.6	0	205.0	0.5	2.1	23.3	0.9
沈殿水	7.7	199.3	1.2	193.5	1.1	17.7	179.8	23.4

ろ過水は夏季用植物に利用(6月~10月初め)、沈殿水は冬季用植物に利用(10月~5月初め)

表4 夏季用植物の生育状況及び成分含量

区分	生育	葉色	草丈 (cm)	水分 (%)	T-N (%)	NO ₃ -N (%)	P (%)
ヨシ	良	濃緑色	125	72	2.6	0.11	0.15
ハムキ	不良	薄黄緑色	55	88	3.4	0.54	0.81
青葉シト	不良	薄黄緑色	10	88	8.2	1.98	1.12

乾物中

表6 冬季用植物の成分含量及びN, P吸収量

区分	IRG	RCG	RG
水分(%)	90.5	87.0	88.6
T-N(%)	6.44	6.06	5.10
NO ₃ -N(%)	1.51	0.78	0.77
P(%)	0.69	0.83	0.47
N吸収量(g/㎡)	65.1	23.9	14.8
P吸収量(g/㎡)	7.4	3.3	1.3
N除去量(g/㎡・日)	0.30	0.12	0.10
P除去量(g/㎡・日)	0.03	0.02	0.01

IRG は イタリアンライグラス、RCG は リート・カリーグラス、RG は レスクグラス 乾物中

汚水の汚濁物質除去率はBOD99%以上、COD95%、T-P98%以上であったが、T-Nは夏季の83%に対し冬季は50%で除去能力が著しく劣った(表8, 9)。ろ材の色素除去能力は最大24 l/kgであった。

考 察

ろ材と脱色効果

一般に家畜尿汚水の活性汚泥法による浄化処理後の処理水は茶褐色を呈しているが、これは難分解性の褐色色素であるフミン酸やメラノイジン化合物の蓄積によるものと考えられている。この色素の脱色法として、活性炭やオゾン¹²⁾がよく用いられているがランニングコストが高い、COD、N、Pの除去効果がほとんどないなどの問題がある。一方、ろ材を用いた脱色試験では岡野ら⁷⁾の雑木炭を用いて行った結果によると色素除去率約30%までは15 l/kgの処理が可能と報告、また森ら⁵⁾は黒ぼく土(火山灰土壌)による家畜尿汚水浄化処理水の処理量は色素除去率77%以上で6 l/kg、BOD及びCOD除去率は各々73%以上、60%以上と報告しており、ろ材により脱色並びに水質が改善されることを示唆している。本試験で

表8 原水及び処理水の水質(5月~10月中旬)

区分	pH	T-N (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-P (mg/l)
原水	7.6	919	2901	2578	10513	203
処理水	8.9	160	1	123	14	4
除去率(%)		83	>99	95	>99	98

表5 冬季用植物の生育状況及び乾物収量

区分	生育	葉色	草丈 (cm)	乾物収量 (g/㎡)
イタリアンライグラス	良	濃緑色	43	1026
リート・カリーグラス	やや良	黄緑色	38	390
レスクグラス	やや良	黄緑色	40	287

収穫はイタリアンライグラスは9回、リート・カリーグラスは4回、レスクグラスは3回。

表7 夏冬季用植物の生育収量、成分含量及びN, P吸収量

区分	ヨシ	IRG
草丈(cm)	171	47
乾物収量(g/㎡)	2300	882
水分(%)	56	91
T-N(%)	1.5	6.4
NO ₃ -N(%)	0.01	1.48
P(%)	0.06	0.73
N吸収量(g/㎡)	34.5	56.1
P吸収量(g/㎡)	1.4	6.5
N除去量(g/㎡・日)	0.20	0.26
P除去量(g/㎡・日)	0.01	0.03

IRGはイタリアンライグラスで6回収穫
乾物中

用いた多孔質ろ材は28日以上にわたって脱色効果があり、処理水の処理量は色素除去率60%以上で8 l/kg以上であり、雑木炭及び黒ぼく土に劣らない優れたろ材と考えられる。一方水質改善効果は当初一週間は認められたが徐々に低下しており、長期使用には適さないと考えられる。ソフトシリカはろ過水のpHが10以上と強アルカリ性になるが、これはろ材構成成分の流出によるものと考えられる。またソフトシリカ及びネッカリッチの単価は各々103円/kg、230円/kgと高価なため使用に当たってはランニングコストが高くなる。一方石炭焼却灰は現在、産業廃棄物として取り扱われているが、適切に使用するのであれば業者から無償で入手可能である。また使用済みのろ材は堆肥と混合して土壌還元することで飼料作物などの栽培に利用できるなど使い易い特徴があるので今後の利用が期待される。

浄化用植物の選定とN及びP吸収能

家畜尿汚水の処理水浄化用植物として野菜⁹⁾、ホテイアオイ²⁾、ハーブ類¹¹⁾等多くの植物が選定されている。

表9 原水及び処理水の水質(10月下旬~4月)

区分	pH	T-N (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-P (mg/l)
原水	6.7	475	1250	1822	462	80
処理水	9.5	236	<1	71	3	<1
除去率(%)		50	<99	96	>99	>99

浄化用として浅田ら¹⁾は11種の植物を用い、BOD約1000mg/lの耐汚水性植物として冬季用植物にイタリアンライグラス、夏季用植物にキシュウスズメノヒエを選定している。本試験では植物による一次処理水の浄化に適した水耕栽培用草種として夏季用植物にヨシを選定した。浅田ら¹⁾はBOD250mg/lの豚尿汚水でヨシを水耕栽培した結果、約1ヵ月で葉が黄色化し枯死したと報告しているが、本試験で用いたろ過水のpHは8.4で、りん含量は0.9mg/lと低く、葉は徐々に黄色化するものの次々新梢葉が現れ、10月初めの収穫まで枯死することはなかった。このような葉の黄色化現象は石炭焼却灰を用いたろ過水が中アルカリ性になり、植物による鉄の吸収が妨げられて鉄欠乏症になった⁸⁾結果と考えられる。一方冬季用植物として選定したイタリアンライグラスは浅田ら¹⁾と同様にヨシとは異なり葉は濃緑色を呈し、生育は非常に良好であった。また植物によるT-Nの除去は、浅田らはイタリアンライグラス及びキシュウスズメノヒエの浄化能力は1.0g/m²・日であったと報告している。今回選定したイタリアンライグラスの播種から収穫期までの生育日数から算出したT-N及びT-Pの除去量は各々0.30g/m²・日、0.03g/m²・日であり、T-Nの除去能力は浅田ら¹⁾が報告しているT-Nの除去能力の1/3であった。これは栽培期間が61日間長かったこと、また浅田ら¹⁾の1回刈りに対して草丈約40cmの低い生育旺盛な時期に刈取りを頻繁に行ったことに起因するものと考えられる。従って、刈取り回数の少ない栽培により浄化能力が向上すると推察される。

浄化処理装置と水質

家畜尿汚水の植物を利用した浄化処理法として植物とろ材¹⁰⁾や植物と土壌^{3,6)}の組み合わせが報告されている。本試験の植物とろ材を組み合わせた浄化処理装置はヨシ及びイタリアンライグラスのT-N及びT-Pの除去量を比較すると冬季用植物のイタリアンライグラスが夏季用植物のヨシよりT-Nで約1.5倍、T-Pで3倍優れていた。北爪ら⁴⁾は夏季用植物ヨシ及び冬季用植物リードカナリーグラスを浄化田で栽培した結果、リードカナリーグラスの方がヨシよりN及びP吸収能が高かったと報告しており、本試験の結果はこれと同様であった。水質は、BOD、SS及びT-Pは年間を通して98%以上の高い除去率であり、水質汚濁防止法の排水規制値以下であった。一方、T-Nの除去率は低く、またCODの除去率は高いがいずれも排水規制値以上であった。これら成分の対策として井上ら³⁾は植物の土壌ろ床栽培で好結果を得ており、本試験で行った水耕栽培ではなく未耕作地を利用したあるいは土壌ろ床での栽培により解決できると推察される。

以上の結果から、本試験の植物とろ材を組み合わせた簡易な浄化処理装置は窒素の浄化能力が低いため、高濃度処理水の場合は低濃度(T-N及びCOD濃度が300mg/l以下)まで希釈することで処理可能と考えられる。

引用文献

- (1) 浅田研一・柿原孝彦・小山太・高椋久次郎・徳満茂・福田誠実(1994):植物利用による畜舎汚水の処理:福岡農総試研報 C-13, 29-34
- (2) 因野要一・亀岡俊則・崎元道男・阿部一博(1987):豚舎排水の浄化処理水を用いたバイオマス生産と栄養塩類の除去:水処理技術 28(2), 83-89
- (3) 井上重美・斉木孝・片山秋坪(1980):畜舎汚水の土壌・植物濾床による浄化の実用化技術(2):岡山酪試研報 17, 93-104
- (4) 北爪惣一・中井裕・菅原和夫(2003):乳牛舎排水の植物浄化の検討:日畜学会第101回大会講演要旨 143
- (5) 森達摩・崎元道男・森忠明・坂井拓夫(1997):黒ぼく土による畜産廃水の脱色:日畜会報 68(10), 940-947
- (6) 森達摩・崎元道男(1998):イタリアンライグラスを植栽した黒ぼく土カラム脱色装置による畜産排水の脱色と窒素成分の除去:大阪農技セ研報 34, 25-28
- (7) 岡野秀樹・徳弘令奈・行永治彦(2002):家畜糞尿の有効利用及び高度処理に関する研究:高知畜試研報 18, 1-5
- (8) 高橋英一・吉野実・前田正男(1984):新版原色作物の要素欠乏・過剰症(社団法人農山漁村文化協会) 159-163
- (9) 脇屋裕一郎・田中宗広・田中朱里・坂井隆弘・小島孝之・岩永致悦(2001):V.豚尿処理水を用いた養液栽培技術の開発(第3報):佐賀畜試試験研究成績書 38, 64-68
- (10) 脇屋裕一郎・勝木宏昭・古田祥知子・古川敬通・坂井隆弘・岩永致悦(2002):IV.低コストセラミックスを利用した汚水浄化処理試験(第2報):佐賀畜試試験研究成績書 39, 74-79
- (11) 脇屋裕一郎・田中宗広・川崎貴明・坂井隆弘・小島孝之・岩永致悦(2002):V.豚尿処理水を用いた養液栽培技術の開発(第4報):佐賀畜試試験研究成績書 39, 80-84
- (12) 脇屋裕一郎・坂井隆弘・松尾孝弘・岩永致悦(2002):VI.オゾンを利用した汚水処理水脱色技術の開発:佐賀畜試試験研究成績書 39, 85-89
- (13) 渡邊祐治・八木広幸・遠藤敏章・河嶋典夫(2002):

- 豚舎汚水の簡易な処理装置に関する研究（短報）：鳥取中小試研報 54, 18-20
- (14) 山下滋貴・石山英光・井上尊尋（1984）：ろ材及び植物利用による畜舎汚水処理：福岡農総試研報 4, 65-70
- (15) 吉田繁樹・吉岡圭輔・飯島亘隆・星野健一郎・羽成勤・吉野卓広・小沢光男（2000）：植物による活性汚泥処理水の高次浄化処理試験：茨城豚試研報 11, 1-24
- (16) 吉尾卓宏・羽成勤・井上雅美（2003）：フリーストール牛舎・ミルクパラーから排出される尿及び汚水処理に関する試験：茨城畜セ研報 35, 71-75