

処理水の再利用に関する研究

II 処理水が土壤に及ぼす影響

吉田 勲*・石井利幸**

Studies on the Reuse of Purified Wastewater

II Effects of Purified Wastewater on Soil

Isao YOSHIDA* and Toshiyuki ISHII**

In this paper, the effects of the purified wastewater on soils are described. In comparison with the field soil qualities irrigated by service water, the field soil qualities irrigated by purified wastewater were not so different. Then we can say that the purified wastewater is able to be used as ordinary irrigation water.

Fresh water is vital for industry, drinking, agriculture and other human activities. In many parts of the world, there is widespread scarcity, gradual destruction and increased pollution of fresh-water resources. If we can use the purified wastewater for growing trees, washing cars and creation of a little stream, it would be good helps for solving many problems.

緒 言

前報¹⁾では集落排水処理場から放流される処理水の水質と処理水をカンガイして各種作物を栽培した場合の成育調査について述べた。ここでは処理水をカンガイ水として使用した場合、土壤にどのような影響が現れるかを検討した。

実験結果と考察

処理施設、実験圃場、栽培作物およびカンガイ方法については前報に述べたので省略し、ここでは処理水をカンガイ水として使用した場合、土壤にどのような影響が現れるかについて述べる。

1. 処理水が土壤や植物の化学性に及ぼす影響

1) 1作後：処理水のカンガイが土壤の化学性に及ぼす

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

** 鳥取県土地改良事業団体連合会

** Tottori Prefectural Federation of Land Improvement Association

影響を調査するために、栽培試験開始前と終了後に同一地点で採土し、土壌のpH, EC, 陽イオン交換容量 (CEC), リン酸吸収係数, 全炭素 (T-C), T-N, 有効態の $P_2 O_5$ 及び置換性塩基などの化学的性質について調べた。その結果の一部を第1表に示す。ストックの場合、採土月日は栽培前の1988年9月3日と栽培後の1989年1月20日である。大豆については栽培前は8月10日、栽培後は1月20日である。測定結果を比較したところ処理水カンガイ区と水道水カンガイ区の土壌の物理性に相違は見られなかった。

2) 栽培期間中：栽培期間中の土壌に処理水が土壌のpH, EC, 無機態窒素含有量に及ぼす影響を検討した。その結果、土壌のpHはどの試験区でも5.7以上と高く推移した。

3) 2作後：当試験開始前の1988年と2年経過した1990年の土壌の化学性の変化を測定した。これらの値から、2年経過すると石灰、苦土、カリなどの交換性塩基含量が増加し、従って、pH, ECも高くなっている。また、有効リン酸含量も増加している。しかし、処理水灌漑区と水道水カンガイ区との間で差がないことから、この増加の原因は処理水に起因するのではなく、むしろ、作物の作つけ前に施用した石灰及びリン酸などの土壌改良剤によるものと考えられる。土壌中のCu, Zn, Cd等の

重金属含有量についても試験開始前と、2年経過後とは殆ど差がなかった。従って、処理水灌漑による土壌への重金属の蓄積は少ないと考えられる。

2. 処理水が土壌の物理性に及ぼす影響

水の浸透能力を調査するために、ストック栽培後、試験区ごとにインテークレートおよび基準侵入度試験を実施した。また、処理水を灌漑したことにより、土壌の物理性に悪い影響が出ていないかどうかを知る為に、ストックと大豆栽培後の1989年1月20日に土壌の物理性を調査した。これらの試験を総合すると、試験区間に一定の傾向はなく、処理水のカンガイは作物栽培や土壌の物理性になんら悪い影響を与えていないと言える。

3. 土壌中の重金属の蓄積

栽培試験前と3作後の土壌中（この場合、ハウレンソウ収穫後）のCu, Zn, Cdを深さ0～15cmと15～45cmにおいて測定した。その結果を第2表に示す。ここで3作後の水道水カンガイ区と処理水カンガイ区の値を比較すると、重金属の蓄積にはカンガイ水の種類による差はみられない。そこで、3作後における両試験区の値の深さ別平均値を求め、これらの値と栽培前の値と比較すると、これもほとんど差がない。したがって、重金属が蓄積しているとは考えられない。

第1表 土壌化学性

	pH	電気伝導度 EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	陽イオン交 換容量 CEC	リン酸吸収 係数 ($\text{mg}/100\text{g}$)	全炭素 T-C (ppm)	全窒素 T-N (ppm)	有効態 りん酸 ($\text{mg}/100\text{g}$)
栽培前	5.99～6.41	360～517	17.1～20.1	492～518	6.23～7.63	236～280	66.6～83.7
栽培後	6.03～6.49	140～341	17.5～19.4	502～538	5.16～7.02	243～300	59.0～71.7

第2表 ハウス栽培における土壌中の重金属含有量の変化

採土時期	試験区名	深さ (cm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	備考
1988. 9. 3	水道水区	0 - 15	0.7	25	0.17	栽培試験前
		15 - 45	1.2	16	0.06	
		0 - 15	0.6	24	0.15	
		15 - 45	1.3	12	0.05	
1990. 10. 7	処理水区	0 - 15	0.5	22	0.14	3年後
		15 - 45	1.2	11	0.06	
		0 - 15	0.6	23	0.15	
		15 - 45	1.3	14	0.06	

第3表 各作物の地上部無期養分吸収量

(10a当たり平均値)

作物名	灌漑水の種類	(Kg)				(g)					
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
ストック	水道水	20.2	1.64	19.6	9.47	1.01	41	16	0.8	9	2年間の平均
	処理水	22.2	1.75	20.0	12.35	1.27	54	19	0.9	15	
	全平均	21.3	1.70	19.8	10.91	1.14	48	18	0.9	12	
トルコギキョウ	水道水	14.4	0.96	15.3	1.69	3.20	54	20	2.3	13	2年間の平均
	処理水	15.2	0.83	16.5	1.49	2.91	53	18	2.9	14	
	全平均	14.8	0.90	15.9	1.59	3.06	54	19	2.6	14	
スターチス	水道水	12.5	2.40	18.8	2.46	4.14	39	12	3.0	16	
	処理水	16.0	2.19	19.5	3.00	5.07	93	21	4.3	12	
	全平均	14.5	2.30	19.2	2.72	4.61	86	17	3.7	21	
スイートコーン	水道水	8.6	1.85	10.3	1.25	0.77	27	8	1.9	11	
	処理水	8.5	3.58	10.6	1.10	0.73	25	6	2.4	7	
	全平均	8.6	2.72	10.5	1.18	0.75	26	7	2.2	9	
ヤマノイモ コーン	水道水	4.3	0.27	2.7	0.11	0.11	3	0.1	0.2	0.5	
	処理水	4.2	0.41	3.3	0.05	0.09	4	0.2	0.2	0.8	
	全平均	4.3	0.34	3.0	0.08	0.10	4	0.2	0.2	0.7	

4. 処理水が作物体の養分含有量に及ぼす影響

ここでは各作物体の養分含有率について述べる。1989年栽培のスターチス、トルコギキョウ、1990年栽培のストック、トルコギキョウ等の処理水カンガイ区で栽培した作物体の窒素含有量を測定したところ、水道水カンガイ区の作物体に比べ高い傾向がみられた。これは処理水中の窒素の一部が吸収されているためと考えられる。しかし、1989年栽培のストック、スイートコーン、1990年の栽培のチンゲンサイ、ヤマノイモでは処理水と水道水カンガイ区で作物体に吸収されている養分に差がなかった。

次に微量元素についてみると(第3表)、処理水カンガイ区の作物は水道水カンガイ区の作物に比べ微量元素が高い傾向がみられるが、これは処理水の灌水によって微量元素が土壌中に多くなり、それが作物体に多く吸収されたのではなく、処理水カンガイ区の土壌のpHが水道水灌水区よりやや低いために微量元素が作物に吸収されやすい形態になったためと考えられる。しかし、この程度の含有量は正常の範囲内にあり問題とならない。

また、ハウス栽培で生育期間が比較的長く、処理水の灌漑水量の回数の多いスターチス、トルコギキョウ、ストック(1990年栽培)は水道水カンガイ区に比べ土壌中

第4表 肥料の収支 (10a当たり)

	N	P	Cu	Zn
処理水の濃度 (ppm)	10	2	0.01	0.1
供給量 (g)	5,000	1,000	5	50
ストックに含まれる量 (g)	21,300	1,700	0.9	12

の硝酸態窒素含有量が高く、作物体の窒素吸収量も2.5kg/10aと多くなっている。

次に、処理水から負荷される窒素、リン等の量と作物の養分吸収量および土壌のN、Pの蓄積量のなどの相互関係について考察することとする。今、仮に、一年間に500t/10aの処理水をカンガイするものとし、その供給栄養分を計算すると第4表のようになる。

第4表から、ストック栽培に当たっては窒素やリンは供給量よりも作物体に含まれる量の方が多いため作物を圃場から取り除けば蓄積しない。銅、亜鉛等は作物を圃場から作物を取り除くだけでは蓄積する可能性がある。しかし、実際の土壌分析では銅、亜鉛などは多くなっていない。この原因は現在のところ不明である。

5. 食中毒に関する検討

立派な野菜が栽培されてもそれを食べることによって健康が害されてはいけない。そこで、処理水をカンガイして栽培したハウレンソウが食中毒を起こす細菌等によって汚染されていないかどうかを検証した。検証のために1990年10月22日、食べられるように育成したハウレンソウを滅菌したナイフで滅菌したガラス容器に採取し、次の検査をした。すなわち、検体それぞれ10gを滅菌乳鉢ですりつぶし、90mlのEEM培地に入れ、よく混和した。各検体につき別のEEM培地入り試験管を9本用意し、3本宛、10ml、1ml、0.1mlの検体を加えて37℃で15時間培養した。次に、各検体に9本のSGB培地を用意し、EEM培地から3ml加え、さらに43℃で18時間培養した。その後、この培養液体をMLCB培地に塗抹し、37℃に保ち、24時間後に出現するサルモネラ様コロニーを検索した。サルモネラ菌は食品原料に1個でも付着していると温度等の条件により急激に増加することがあり、口に入る段階には $10^6/\text{ml}$ を超えると危険である（1-200個では問題とならない）。よって、野菜などの食料原料では検出されてはならないものである。他方、最初のEEM培地に混和した検体をDトル培地に塗抹し、37℃に保ち、24時間後に出現する大腸菌様コロニーを検索した。その結果、サルモネラ様コロニー、大腸菌様コロニーとも全く出現しなかった。

6. 肥料の節約

以上、種々の方面から処理水の再利用に関する検討を行ってきた。土中への塩類集積に少し不安があるにしても育成状態、食中毒の面からは何等問題はなかった。そこで、ここでは施肥の面から処理水の再利用を考えてみる。育成に必要な肥料成分の中で窒素肥料が最も多く必要とされるので、窒素肥料の経費節約について考えることにする。トルコキキョウ、スターチスなどは育成期間に80日を要し、10a当たり10-20(kg)の窒素肥料を必要とするといわれている。このように幅があるのは土壤そのものが持っている肥料成分に差があるからである。育成期間中のカンガイ総水量は $300(t/10a)$ ($=3.75t/10a \cdot \text{日}$)である。この300tの処理水に含まれる窒素量は $2.75(kg/10a)$ ($=300(t/10a) \times 9.15(g/m^3)$)である。育成に必要な窒素肥料を10(kg/10a)とすると、7.25の施肥が必要とする。即ち、10a当たり約3kgの節減となる。これを金に換算すると $900\text{円}(=3(kg) \times 300(\text{円/kg}))$ の節約となる。当処理場の日最大処理水量は $59.3(t/m^3)$ であるから、この水を有効に畑に利用すると、肥料の節約額は14,220円となる。

7. 今後の課題

ここでは処理水を再利用するに当たり感じた事及び実験中に発生した問題について述べる。一つは処理水を使うことに対する感覚的なものと、二つはカンガイに使用したチューブの目詰まりの問題である。

まず、実験開始に当たり、何故、処理水を使って農作物を作るのか?という質問を多く聞いた。現在、農作物は見た目には綺麗な肥料で栽培され、消費者は、それに慣れている。この時期に、汚い物を使って育てた食物なんか見向きもしてくれないと言う事であった。これは、当実験地が雨の多い、山陰地方であったこともあいまってかなりの抵抗に会った。筆者らは汚水ではなくて、綺麗な処理水をカンガイしていると言っても簡単に理解してもらえなかった。そこで、最初は花を栽培して観賞してもらったが、マスコミは汚水で花を咲かせたと報道する始末であった。しかし、砂漠化進行防止、地球の緑を増やすための水資源開発の必要性、地球の温暖化で将来、水不足が危惧されるなどの観点から話しをしているうちに次第に理解が得られるようになった。そこで、最終年には食物を栽培した。また、水の不足する瀬戸内海の島では処理水の再利用に関して高い関心をもって、この実験を注目していた。

次に、カンガイ中の散水チューブの目詰まりの問題である。処理水カンガイ用に使用したチューブは水道水を使ったものよりも2倍程早く目詰まりを起こした。従って、カンガイチューブの目をもっと大きくするか、他のカンガイ法を考案する必要があると考える。

結 言

本研究では集落排水処理施設から放流される水がカンガイ水として農業に利用できるかどうかを検討するために、水道水と処理水をカンガイして作物の育成状態や土中での塩類集積等について検討した。その結果、両者間の育成状態や収穫量に大きな差は見られなかった。従って、処理水は水道水と同じ様にカンガイ水として使えるとの結論に達した。この結論はあくまでも埋戻し処理場の処理水を使った実験による結果からいえることであり、処理施設が異なり、処理水質が異なれば結論も違って来ると思われる。ここでは処理水の利用の可能性のみを検討したが、汚水処理過程で出る汚泥についての有効利用の技術の確立も望まれる。

なお、本研究は鳥取県土地改良事業団体連合会が(株)日本農業集落排水協会の委託を受けて、鳥取県農林水産部農村整備課を窓口として、県の関係諸機関(農産園芸課、

農業改良課, 倉吉地方農林振興局, 倉吉農業改良普及所, 園芸試験場), 鳥取大学農学部, 中国四国農政局, (社)日本農業集落排水協会, 東郷町役場, 東郷町農業協同組合等で委員会を組織し, 実験業務に対する適切な指導及び協力を受けながら実施したものであることを付記し, 関係者の協力を心から感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 吉田 勲, 石井利幸: 処理水の再利用に関する研究 (1) 処理水に水質と栽培試験 鳥大農研報 46 pp. 23~27 (1993)