

貴州省興義市周辺の農村におけるでんぷん精製排水が 農地土壌の化学性に及ぼす影響

八田 耕吉・糟谷真宏*

**The Effect of Starch Refinement Drainage in Farm Villages Around
Xing - Yi (Gui - Zhou, Southwest China) on the Chemistry of the Agricultural Soil**

Koukichi HATTA and Masahiro KASUYA

緒 言

現在、中国は日本の高度経済成長期をはるかにしのぐ工業化や市場経済化が進み、大気の大汚染や水質汚濁は中国全土に広がり、中国西南地域の内陸部に位置する農村(興義市)においても1970年代の日本の公害列島といわれた時代を思い起こさせるほどの状態である。今後、中国の公害の発生をくい止めるためにも、日本での調査や対策技術を持つ数人の仲間とでかけ、公害先進国が歩んできた多くの反省を生かした技術を、環境に対する意識の改革をも含めて、中国の環境保護局との共同研究に生かしていくことを目指した⁽¹⁾。

川をきれいにするためにお金を使うという考えは農村の住民だけでなく行政機関においてももっていないので、川をきれいにすることによる効果が目に見えるようでないといけない。さらに大都市ではできない、市民レベルでの環境への取り組みとして水質浄化の必要性や環境の大切さを環境保護局の人たちと取り組んできた(図3)。

わたしたちは中国貴州省興義市において、1995年から飲み水の水源となる浅井戸や河川水、水源ダムと、興義市に流入する5河川の水質調査をおこなってきた⁽²⁾。この2度の調査により水質汚濁の現状と問題点を整理し、興義市環境保護局との協議の結果、水質の大きな汚濁負荷の原因となっている地場産業の芭蕉麵(カンナ(図1)の塊茎(図2)から精製されるデンプンによりつくられる麵)の工場廃水の浄化について共同で研究を行うこととなった。芭蕉麵の原料となるデンプンの製造工程で川の上流のきれいな水を使って汚しているために、川の下流に住む人たちが利用する水源の富栄養化を防がなければならない。と同時に、排水の浄化に当たっては薬品などによる化学的な汚染を防ぐことはもちろんのこと、コストが極力かからないこと、管理が容易なことなども考慮しなければならない。

環境教育の実践の場としての取り組みとしては、ただ単に汚染水の浄化だけではなく、汚染された排水の影響による水稲被害やカンナ塊茎残さの農地還元による土壌の改良について土壌や肥料学の専門的な知識を持ったメンバーを加えて調査をしてきた。更に、芭蕉麵の食品としての栄養価や性状などの分析をした結果を現地に持ち込み、しばらくの堆肥化や製紙化を通し、農村での循環型社会の見直しの取り組みをおこなってきた。

現在、この地域の地場産業として急速にひろがっているカンナの塊茎によるデンプンの製造

*愛知県農業総合試験場主任研究員

は、その工程により出る排水により水源ダムの上流部を急速に汚している。汚泥の堆積やアオコの発生などにより、飲料水だけでなく灌漑用水としても不適な状態にまでなっている。新たにでてきたカンナ塊茎の破碎残さの処理、工場増加に伴う水量不足、漂白剤使用に伴う化学汚染、かんがい水の汚濁による水稲被害などを早く解決しなければ、一度富栄養化した湖を元に戻すことは更に困難である。

1997年3月より、中国貴州省環境保護局と「水質汚濁の負荷原因となる芭蕉麵工場の排水浄化の研究」の共同研究のもと、加圧浮上法や土壌浄化法、酸化池、礫フィルターなどの浄化実験を行い、具体的な実験プラント案の作成のために浄化技術の専門家を派遣してきた。この5回おこなわれた水質浄化対策の基礎実験の過程に、新たにでてきたカンナ芋の破碎カスの川への放流と工場増加に伴う水量不足による排水の再利用によるさらなる水質の悪化が水田などへの灌漑用水の汚染を引き起こし、稲など農作物への被害が問題となっている。

でんぷん精製は、まずカンナ塊茎を簡単に洗浄後、破碎して水に懸濁させ、深さ数十センチメートルの沈殿池を通す間に沈殿したでんぷんを回収する方法で行われる(図4, 5)。多くの場合、有機物や窒素を多く含んだ排水は、河川にそのまま放流されている。精製が行われる期間は秋から初春にかけてであるが、カンナ破碎物の残さも河川に捨てられるため、それが河川に堆積し、経年的な汚濁の進行が懸念される。

河川水は水田に利用されるが、汚濁の進行した河川水を利用する水田では、窒素過剰と考えられる過繁茂による水稲の被害が生じているという。実際に、それがひどい場合には、水稲作を放棄した水田もみられる。

一方、カンナ残さを有機物資源とみなせば、使い方によっては農地還元により、土壌改良効果、肥料的効果を発揮する可能性がある。

そこで、本調査では、でんぷん精製場排水の特性の把握と、農地に対する排水の影響、カンナ塊茎残さの農業利用に関して検討した。

調 査 方 法

調査地域および調査期間

調査地の興義市は、中国の西南地域に広がる雲貴高原の東部に位置し、標高227mから2,207mの熱帯山地性高原にある(北緯25度、東経105度)。人口60万人余の90%が農業人口で、城区と呼ばれる都市区域に9万人が住んでいる⁽³⁾。

調査は1999年2月27日～3月5日の間に、現地に行き、水田の状況と被害の実態、水質および土壌のサンプリングをおこなった。

1. でんぷん精製場排水の水質と酸化池による浄化効果

でんぷん精製場排水の水質は1998年12月と1999年3月に調査した。また、でんぷん精製場排水の流入する河川の水質を1999年3月に調査した。調査項目はpH、電気伝導率(EC)、全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素+亜硝酸態窒素(NO_x-N)および全リン(TP)とした。

でんぷん精製場排水処理の目的で、1998年12月に、長さ10m、幅3.5m、水深0.25mの酸化池を設置し、5m³/日の割合で、排水を流入させた。3月にでんぷん精製が終了した時点での酸化池に残った排水について、水質分析を行った。また、酸化池およびそれに付随する排水路の底質への窒素蓄積状況を調査した。分析項目はpH、EC、NH₄-N、硝酸態窒素(NO₃-N)、可

給態窒素(ava.N), TN及び全炭素(TC)とした。

水質分析方法は, pHはガラス電極法(堀場D-12), ECは電気伝導率計(堀場ES-12), T-Nは熱分解法⁽⁴⁾(三菱TN05), $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール青法⁽⁴⁾, $\text{NO}_x\text{-N}$ は硫酸ヒドラジニウム法⁽⁵⁾により測定した。全リン(TP)は酸分解後モリブデン青法⁽⁴⁾によった。

底質については, pHは1:2.5抽出後, ガラス電極法により, ECは1:5抽出後, 電気伝導率計により測定した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ は塩化カリウム抽出後滴定法, ava.NはpH7.0リン酸緩衝液抽出法, TNとTCは, CNコーダー法(NC-800, SUMIGRAPH)によった⁽⁶⁾。

2. 農地の窒素含量とカンナ残さ施用の影響

でんぷん精製排水の水田土壌への影響を知る目的で, 土壌の窒素含量等を調査した。調査は興義市周辺の二つの集落で, 農家への聞き取りにより, 排水流入による被害状況とカンナ残さの利用状況を調べると共に, 6か所の水田で土壌調査を実施した。分析項目と方法は, 酸化池底質調査と同様である。

結果および考察

でんぷん精製場排水の水質と酸化池による簡易浄化の検討

1998年12月に, でんぷん精製用の沈殿池からの排水の水質を調査した。その結果を第1表に示す。でんぷん精製作業が開始されて間もない13:00と2時間経過後の15:00に採水を行った。

15:00のサンプルは, 調査日当日の精製時の排水を代表するものと考えられ, その水質は, 全窒素 61.6mg L^{-1} , 全リン 6.60mg L^{-1} , $\text{EC}1.77\text{dSm}^{-1}$ で, 高濃度であった。窒素の大部分は有機態と $\text{NH}_4\text{-N}$ が占め, $\text{NO}_x\text{-N}$ はごくわずかであった。有機物については測定できなかったが, でんぷん精製排水であるため高濃度であることが推測され, 窒素, リン濃度とも高いことから, これらが放流される河川等への影響が懸念される。

第1表 カンナでんぷん精製場排水水質(1998年12月)

採水時間	pH	EC (ds m^{-1})	TN (mg L^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg L^{-1})	$\text{NO}_x\text{-N}$ (mg L^{-1})	TP (mg L^{-1})
13:00	7.0	0.58	7.9	5.5	0.12	0.58
15:00	6.9	1.77	61.6	34.6	0.14	6.60

一方, 13:00のサンプルは, 前日に精製工程が行われて漂白のためにさらし粉が投入された後, 固形物の沈降の進んだ上澄みが押し流されたものと考えられ, 全窒素 7.9mg L^{-1} , 全リン 0.58mg L^{-1} , $\text{EC}0.58\text{dSm}^{-1}$ で, 15:00と比べて低濃度であった。

酸化池による浄化の検討

でんぷん精製場排水が, 高濃度であり, 河川への直接放流の影響が大きいと考えられることから, それらを浄化するために, 滞留時間1日程度の酸化池を設置してその浄化効果を検討した。酸化池は1998年12月下旬に設置(図6)し, 2月上旬まで運転した。1999年3月上旬の調査は, このでんぷん精製場の稼働が終了した後に行ったものである。すなわち, 酸化池が約40日間使用された後, でんぷん精製が終了して3週間を経過した時点での調査であり, 酸化池の水

は停滞していた(図7)。

結果は第2表のとおりである。酸化池に溜まっていた排水の水質は、1998年12月に行ったでんぶん精製池排水とよく似ており、窒素の大部分が有機態と $\text{NH}_4\text{-N}$ であった。滞水後3週間を経ても $\text{NO}_3\text{-N}$ は非常に少なく、この間、硝化はほとんど進んでいないものと考えられる。酸化池流入原水の水質は、今回の調査では不明であるが、硝化がほとんど進んでいないことから判断して、この酸化池による水質浄化は不十分であったと考えられる。

本でんぶん精製場の排水が流入する河川は川幅2・3mと小さく、その水質は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.6 mgL^{-1} 、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 2.05 mgL^{-1} 、 EC 0.45 dSm^{-1} で、かなり窒素、塩類濃度の高い水質であるが、でんぶん精製場排水の水質はそれよりはるかに高い窒素濃度、塩類濃度を示しており、その影響による河川環境の悪化が懸念される(図10)。

第2表 カンナでんぶん精製場排水の浄化用酸化池と排水流入河川の水質(1999年3月1日)

サンプル	WT ($^{\circ}\text{C}$)	pH	EC (ds m^{-1})	TN (mg L^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg L^{-1})	$\text{NO}_x\text{-N}$ (mg L^{-1})
酸化池	11.0	8.0	1.63	53.4	32.8	0.12
流入河川	11.3	7.6	0.45	—	1.6	2.05

第3表 でんぶん精製場排水路および浄化用酸化池土壌の化学性の変化

サンプル	pH	EC (ds m^{-1})	ava N (mg kg^{-1})	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	TN (g kg^{-1})	TC (g kg^{-1})	C/N
原土	8.2	0.139	38.4	15.0	27.4	1.05	12.4	11.9
排水路	8.1	0.287	53.7	30.3	135.0	3.78	44.0	11.7
酸化池底泥	7.5	0.278	—	—	—	2.65	23.9	9.0

第3表は、このでんぶん精製場における原土、酸化池底質、排水路底質の窒素、炭素含量の測定結果である。サンプリング時には、酸化池には水が溜まっていたが、排水路には水がなく、底土は露出した状態であった。窒素、炭素、塩類(EC)とも、原土に比べ、酸化池・排水路底質は高濃度となっており、土壌への蓄積が進んでいることがわかる。ava.N(栽培期間中無機化して作物に吸収されうる有機態窒素)も増加していた。また、前述の酸化池の水では硝化がほとんど進んでいないと考えられるのと対照的に、排水路底質土壌中では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が135 mg kg^{-1} と $\text{NH}_4\text{-N}$ より多く存在しており、土壌中では硝化が進んでいるものと考えられる。このことから、もし農地に排水が流入した場合は、「土壌への窒素蓄積→可給態窒素増加→無機化量増大→作物への窒素供給」という窒素の流れが考えられ、その程度が大きい場合には、水稻では窒素過剰による倒伏、稔実歩合低下による収量減・品質低下が予想される。

水田等の土壌窒素含量

本地域の農業は、インディカ米を生産する水稻作が中心となっている。秋冬作として野菜類や小麦、アブラナなども栽培されるが、農家からの聞き取りによれば、米の方が高収入があがるため、肥料の投入も水稻作に限定するなど、水稻に対するこだわりは強い。水稻は、窒素過剰の場合には、栄養生長が大きくなり、稔実歩合の低下、倒伏、イモチ病などの被害が生じや

すくなる⁽⁷⁾。また、大量の有機物の流入によって還元障害が起きるおそれがある。したがって、でんぷん精製場排水などによって河川の汚濁が進んだ場合、その水をかんがいする水田では、水稻作に支障をきたすおそれがある。今回、そうした事例がないか聞き取り調査をしたところ、河川水の汚濁のために1998年に被害を受け、水稻作を放棄して野菜栽培に切り替えた水田が確認された。

一方で、カンナ残さについては、有機性資源として農地に還元することによって土壌改良・肥料的効果が発揮される可能性が考えられるので、この点についても聞き取り調査を行った結果、実際にすでに利用している農家が確認された。

以上のような観点から、2つの地区の合計6ほ場において、土壌中の窒素、炭素含量を調査した。その結果を第4表に示す。本調査地域の土壌の共通した特徴として、アルカリ性であること、塩類集積は進んでいないこと、及びava.Nから地力中庸であることがあげられる。

第4表 水田作土等土壌の化学性

地 区	サンプル	pH	EC (ds m ⁻¹)	ava N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)	TC (g kg ⁻¹)	C/N	備 考
A	1 1999.3.1	7.9	0.146	37.3	2.5	8.5	2.59	34.8	13.4	カンナ残さ利用田, 1.5 t / 10 a
	2-1 1999.3.1	7.9	0.241	43.7	6.3	85.2	2.39	29.5	12.4	排水流入 被害田水口
	2-2 1999.3.1	7.9	0.187	31.9	2.9	50.8	2.26	28.0	12.4	〃 水口から5 m奥
	3-1 1999.3.2	-	-	-	-	-	17.38	274.6	15.8	排水・カンナ残さ流入河川堆積物
	3-2 1999.3.2	8.2	0.151	27.9	6.9	11.7	2.01	27.1	13.5	カンナ残さ未利用田
B	4 1999.3.2	8.2	0.128	27.0	3.7	3.8	2.67	29.0	10.9	河川堆積物施用 1.5 t / 10 a
	5 1999.3.2	8.2	0.119	45.8	7.3	4.1	2.57	29.9	11.7	排水流入田(8年前に3か月間の流入)
	6-1 1999.3.2	8.2	0.089	34.2	9.0	8.2	2.67	31.9	12.0	排水流入河川を利用する水田水口
	6-2 1999.3.2	8.1	0.112	31.6	8.0	9.8	2.45	31.5	12.9	〃 水尻

第5表 カンナ塊茎残さのC, N含量

窒素	4.55g kg ⁻¹
炭素	378g kg ⁻¹
C/N	83

A地区のほ場1は、でんぷん精製場排水によって汚濁した河川水を利用して被害田である。調査時には、トマト、エンドウなどが栽培されていた(図8, 9)。土壌の窒素蓄積状況を見ると、NO₃-Nが高濃度であった。また、水口ではava.N, ECがやや高かった。汚濁水が水田に流入する場合、陽イオンは土壌に吸着されるため、流入口に近いほど多く蓄積する。NH₄-Nも陽イオンであり、土壌に吸着された後に微生物に取り込まれて有機化するため、ava.Nも流入口に近いほど高濃度となる⁽⁶⁾。このような状況が本水田でも認められる。なお、NO₃-Nが高濃度になっていたことは、前述のでんぷん精製場排水路の底質土の結果とあわせて、排水が流入する場合には、ava.Nの土壌集積が進むが、比較的、早く無機化、硝化が進むことを意味すると考えられる。

ほ場2では、カンナ残さが5月に1.5t/10a程度投入され、6月中旬に田植えが行われる。調査

時は無作付け期であった。カンナ残さの成分分析(第5表)によれば、窒素含量は低くC/N比が高いため、肥料的効果よりも、物理性や肥料保持力の向上などの土壌改良的效果が期待される。農家の話によれば、カンナ残さの使用を始めてから、収量が800kg/10aから1000kg/10a程度に増加し、効果を認めている。なお、化学肥料施用量は以前の2/3程度に減らしているとのことであった。

カンナ残さは、C/N比が高いため、施用方法としては量的にも、時期的にもこの施用法が妥当と考えられる。すなわち、より大量に施用したり、イネ移植直前に施用時期を遅らせた場合には、還元障害、窒素飢餓(微生物による窒素の取り込み)が起きる可能性も考えられる。

B地区では、でんぷん精製場排水が流入する河川の底泥(カンナ残さの堆積物)を、冬・春に堀上げて(図11)、それを水田に投入している農家が一部に認められた。本調査時には、河川から水が完全になくなっており、ちょうど、堀上げ作業が行われている最中であった。この河川底泥の成分分析の結果は第4表の3-1に示すように、カンナ塊茎残さそのもの(第5表)と比べて窒素含量が高くなっているため、この施用によって、土壌改良効果に加えて肥料的効果が期待できる。ほ場4では1.5t/10a程度が投入されており、これは窒素に換算すると、26kg/10aに相当する。実際に利用されているほ場4では、収量が525kg/10aから600kg/10aに増加したと言うことで、農家は効果を認めている。

ほ場5では、過去(8年前)に3か月間排水が流入した結果、イネの収量は低下したとの話であったが、現在は流入させていない。土壌分析結果で ava.N がやや高くなっているのは、地力増進を図るためにマメ科作物が栽培されていることが原因しているのかもしれない。

ほ場6は、排水流入河川水を、でんぷん精製場の下流約1kmの地点で利用する水田で、調査時にはアブラナが栽培されていた。特にイネに被害は認められないという話であった。水口と水尻の窒素含量等に大きな差がないことから、B地区においては、下流側で大きな被害が出るほどの影響はないと考えられる。原因として、でんぷん精製場の稼働の終わった冬季に河川から水がなくなる場合があること、また、河川底に堆積したカンナ残さが取り除かれることによって、底質が改善されるため、経年的な汚濁の進行が抑制されていると考えられる。水稻作期間中は、まだ、でんぷん精製が行われないので、前年までの汚濁物質蓄積の河川水に対する影響が少ないことも、下流域での水稻に対する影響を小さくしている一因と推測される。

今後の対策

1 廃水処理

酸化池による水質浄化は困難であるので、他の方法を考える必要がある。今回の調査で、土壌中で窒素代謝が起きている状況がつかめたので、目詰まりが起きないような土壌資材を選んで土壌浄化をするのが良いかもしれない。あるいは、立地条件によっては、林内への散布なども考えられる。

2 畑池利用

現在は、水稻の方が経済作物として重要であるが、将来的には、野菜類も儲かる品目になる可能性がある。でんぷん精製排水には、窒素、リン等が含まれており、肥料的価値も高いので、液肥として利用できる。高濃度に含まれる有機物も畑地なら問題になることはない。

3 カンナ残さの利用拡大

カンナ残さそのものは、第5表のように、C/N比が高く肥料的な効果は乏しい。したが

って、牛ふんと混ぜて堆肥化する、乾燥して牛舎の敷き草とする(最終的に農地還元される)、土壌改良資材として休耕期に施用する(数t/10a)などの農業利用が考えられる。いずれにしても、河川に流さず回収する必要がある。

4 施肥設計の合理化

聞き取りによれば、窒素施肥量は非常に多いが、かなり無駄に使用している部分が多いと考えられる。例えば、水田で化学肥料を追肥として利用しているが、利用効率は50%もないかもしれない。カンナ残さを利用したうえで、より効率的な施肥設計ができれば、経費も抑えることができる。

5 農家指導

以上の農業技術を定着、普及させるために、イネの生育と栄養吸収の詳細が調査できれば、より有効な取り組みが可能である。土壌、水質、作物の専門家が、常駐的に指導するのが理想であるが、とりあえずは、施肥時期、イネの栽培・生長パターン(移植、分けつ、出穂、収穫等)にあわせた、生育、土壌、水質調査が数回できれば、現状の概略はつかむことはできる。まず現地の農家指導体制を作ることが第一である。

要 約

中国西南部の小都市興義市において、カンナを原料としたでんぷん精製場排水の水質を調査するとともに、その酸化池による浄化について検討した。でんぷん精製排水には、有機物と窒素、リンが大量に含まれ、河川汚濁の大きな要因であることが明らかであった。酸化池による浄化効果は十分でなかったが、底質調査の結果、土壌への窒素の蓄積や土壌中での無機化、硝化が認められ、土壌浄化の可能性が示唆された。

排水の農業への影響を調査した結果、水稻に被害の生じた水田では、流入口付近に高濃度に窒素の蓄積が認められた。水稻の被害は有機物による還元障害のほか、過繁茂による倒伏、稔実歩合の低下、収量減が予想される。

カンナ残さや排水流入河川の底泥を農地還元している例では、いずれも農家は増収効果を認めており、土壌改良効果や肥料的効果が期待できる有効な活用方法と考えられた。

謝 辞

本調査は、(財)イオングループ環境財団の助成によりおこなっている「中国貴州省の水質汚染対策支援」の一環として行ったものです。ここに、当財団の助成金で行ったことを記し、感謝の意を表します。

文 献

- 1) 八田耕吉：中国西南地域の環境問題，生活と環境，41(10)，14(1996)
- 2) 八田耕吉，村上哲生：興義市(中国・貴州省)の陸水，名古屋女子大学紀要(家政・自然編)，44号，155(1998)
- 3) 名古屋女子大学生生活科学研究所中国学術調査団：中国貴州省の少数民族をたずねて，苗族・布依族の食文化，32，名古屋女子大学生生活科学研究所(1995)
- 4) 日本規格協会：工場排水試験法，JISK0102(1998)
- 5) 西條八束・三田村緒佐武：新編湖沼調査法，163-164，講談社(1995)
- 6) 土壌環境分析法編集委員会：土壌環境分析法，222-226，241-256，博友社(1997)

- 7) 槽谷真宏・加藤保・沖野英男・豊田一郎, かんがい水の汚濁による窒素の土壌蓄積と水稻の被害, 愛知農総試研報, 22, 69-77(1990)

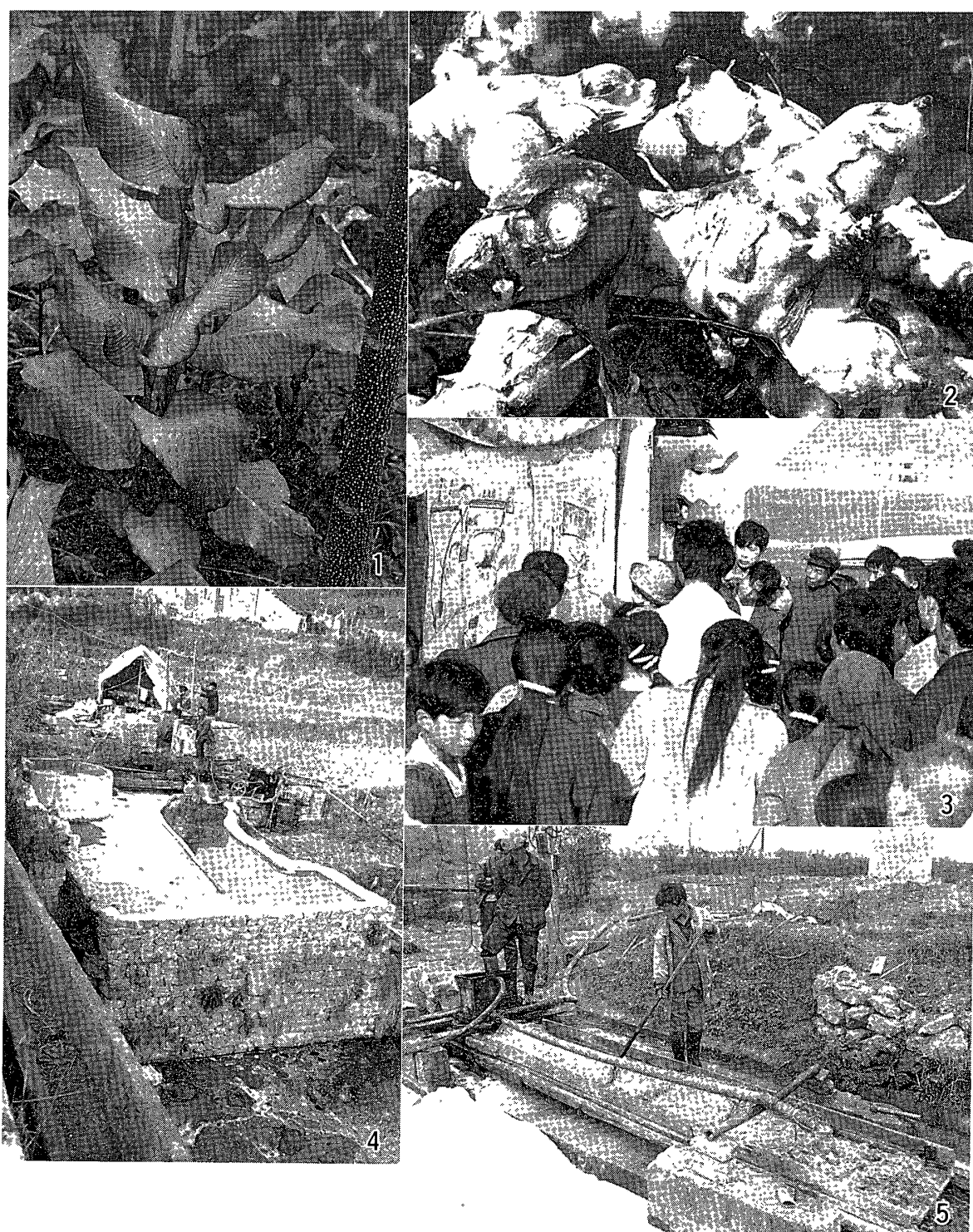


図1 食用カンナ(芭蕉芋)*Canna edulis* Ker.

図2 ショクヨウカンナの塊茎

図3 農民に水質汚染の現状と水質浄化の大切さを説明

図4 芭蕉麵(カンナめん)のデンプン精製場

図5 カンナの塊茎をすりつぶし、ふるい上で水にさらしてデンプンを沈殿池へ



- 図6 テンブン製造工程の沈殿池より排水する水を処理するための酸化池の掘削
 図7 テンブン製造の終了3週間後、酸化池の底泥を採取
 図8 窒素過剰による被害田の調査風景
 図9 トウガラシの被害状況を調べている
 図10 テンブン精製場からの排水によりヘドロ化した川
 図11 ヘドロ化した用水路の泥を干しあげて、田畑に吹き込むために乾燥