

馬鈴しょでん粉工場排液の農地施用による動態

I. 排液散布による環境影響*

谷口 健雄** 黒川 春一***

ばれいしょでん粉工場排液は、窒素、カリを多く含み、カリは窒素の1.5倍以上に達した。含有有機物はC/N比が低く、その分解は極めて早い。工場別、排液の種類、排出時期などにより成分は異なり、速効的性格を持つものである。この排液を、窒素を基準にして農地へ散布した結果、カリが集積し、表層部では土壌の種類にかかわらず2 me/100 g以上になり、速効的性格を持つものである。この排液を窒素を基準にして農地へ散布した結果、カリが集積し、表層部では土壌の種類にかかわらず2 me/100 g以上になりMg/K比は1以下に低下した。また、カリの土層内の分布は、土壌孔隙、塩基置換容量等土壌特性に対応し、特徴的なパターンを示した。多量散布地の牧草は、カリを過剰に吸収し、塩基バランスが乱れた。礫質土壌の場合、土壌水分が飽和に近い条件下で排液を散布すると、暗渠からの流出水量、および、COD、窒素の流出量が増加した。排液散布量が累積するとこれら成分の流出濃度が上昇し、施用成分に対する流出比率も高まり、化学肥料施用圃場にくらべて発生負荷が多かった。

緒 言

農業と水質との関係には、4つの場面が考えられる。第1は、かんがい農業が受ける水質汚濁の影響、第2は、農地からの栄養塩類による負荷の発生、第3は、水の循環経路の中に農地が存在することによる水質浄化。第4は、各種排水の農業利用である。

農業および土壌とその生態系は系内に入ってくる様々な栄養塩類や有機物を分解、吸収、固定、不動態化する浄化能力を持ち^{1,23,32)}、この能力を利用した汚水処理法の研究がおこなわれている^{11,22,24)}。北海道の主要な農産加工場の一つである馬鈴しょでん粉工場の排液については、生物活性による処理法が採用されているが、一方では農地散布

処理が検討され¹⁴⁾その農業利用の可能性が示され¹⁵⁾、更に、作物生産の目的に適う窒素に基準をおいた限界散布量が設定されている⁶⁾。

道内の馬鈴しょでん粉工場(45工場)からは、年間2,000万m³に達する排液が排出され、その中にはN 2,800 t, P₂O₅ 1,700 t, K₂O 4,200 t余の肥料成分が含まれ、この量は、道内で使用される年間肥料成分量に対し、N 3.4%, P₂O₅ 1.6% K₂O 4.3%に匹敵する。排液を表面曝気、活性汚泥法等により処理放流するには莫大なエネルギーを消費する¹⁾。排液を農業系内副産物あるいは、未利用有機物資源としてとらえ、これをサイクル、利活用⁵⁾の一つとして農地散布するのは合理的であり、その散布面積は10,000 ha(1980年)に達し、今後も拡大の傾向にある。

ところで、この排液の農地散布にあたっては、作物の生産、品質に悪影響を与えてはならないし、土壌へ過剰な養分富化をもたらしたり、あるいは、散布地周辺の水系の水質に富栄養化等の影響を与えてはならない。本報はこのような観点から、馬鈴しょでん粉工場排液の農地散布による施用成分の動態について検討した結果を報告する。

1984年11月12日受理

* 本報の一部は1981年度日本土壌肥料科学会、名古屋大会で報告した。

** 北海道立中央農業試験場(現北海道立十勝農業試験場 082 河西群芽室町)

*** 北海道立中央農業試験場 069-13 夕張郡長沼町)

試験調査方法

本報は、(1)馬鈴しょでん粉工場排水の特性、(2)排水散布による土壌変化と牧草の無機成分、(3)排水散布地からの負荷発生、の3項目について調査、試験した。その方法は次のとおりである。

1. 馬鈴しょでん粉工場排水の特性

各馬鈴しょでん粉工場の排水を採取し、成分分析をおこなうとともに、デカンター型遠心分離機脱汁液（以後デカンター排水と称す）についてはその含有有機物の無機化について検討した。

2. 排水散布による土壌変化と牧草の無機成分

1978年から1980年にかけて未熟火山性土（普通畑、1973年散布開始；以下開始年を示す）、褐色火山性土（草地、A：1970年、B：1973年）、褐色森林土（草地、1970年）、疑似グライ土（草地、1970年）、灰色低地土（草地、1977年）の5土壌型について、排水散布による土壌化学性の土層内変化を調査した。また、灰色低地土草地で牧草の成分調査をおこなうとともに、土壌のかり飽和度と牧草の塩基バランスとの関係を明らかにするため、後述する方法によりポット試験を実施した。

3. 排水散布からの負荷発生

1977年に開発造成されたチモシー草地において1978年、1979年の2ヶ年にわたり、排水散布圃場と慣行化学肥料施用圃場の暗渠排水の排水量、水質調査を行うとともに流域河川水の水質も調査

した。

試験圃場へは、貯留排水（後述）を1978年5月、10月に計38mm、1979年8月、9月、10月に計72mm散布し、慣行化学肥料区の施肥は、 $N-P_2O_5-K_2O=9.4-13.0-15.4$ kg/10aを年3回に分けて施用した。暗渠は長さ115m、渠間15mで、排水量の測定は転倒マスでおこなった。

分析法は、土壌着分分析法、JIS K 0102 工場排水試験方法(1974)に準拠し、pHはガラス電極法、窒素はケルダール法、 NH_4-N 、 NO_3-N は蒸留法で測定し、CODは酸性過マンガン法で測定した。土壌の塩基置換容量はショーレンベルガー法によった。置換性塩基はIN酢酸アンモン(pH 7.0)液で抽出後、Ca、Mgは原子吸光法、K、Naは炎光法によった。排水、暗渠排水、および作物体は、硝酸、過塩素酸分解後、塩基は土壌の場合と同様の方法で測定し、Pはモリブデン酸アンモン比色法で測定した。排水中のCは立川の方法²⁹⁾によった。

結 果

1. 馬鈴しょでん粉工場排水の特性

馬鈴しょでん粉工場排水は、洗浄工程から出るフリーム排水、磨砕後の脱汁工程から出るデカンター排水及び篩別、精製工程から出るセパレーター排水から成り、農地散布の対象となるのは、デカンター排水とセパレーター排水で、前者は主

表1 馬鈴しょでん粉工場排水の成分

(mg/l)

種類	項目	pH	EC (ms)	全蒸発 残物	灼損 熱量	COD	T-N	NH_4-N	P	K	Ca	Mg	K/N
デカンター排水 (=10)	mean	5.57	12.9	32,060	23,310	10,390	2,908	638	375	4,313	31	232	1.51
	(酸化物)	—	—	—	—	—	—	—	P_2O_5 (860)	K_2O (5,176)	CaO (43)	MgO (385)	K_2O/N (1.78)
	C.V (%)	14.6	17.6	45.5	52.9	45.7	25.8	82.0	27.5	21.6	57.8	27.6	9.9
	max	6.60	17.2	53,100	40,700	16,420	4,160	1,340	586	5,680	65	302	1.76
	min	4.76	10.4	17,800	11,800	5,230	2,044	123	223	2,975	13	107	1.30
貯留排水 (N=8)	mean	6.51	5.5	—	—	754	487	488	84	780	23	50	1.6
	C.V (%)	12.9	6.8	—	—	42.8	32.4	22.8	25.3	32.6	46.1	28.6	28.6

注)排水は1978-1980年 道内8工場から採取した。

にタンクローリ、後者は単独あるいはデカンター排液と共に貯留池に貯留し（以後この排液を貯留排液と称す）、レインガンあるいはスプリンクラーで農地散布されている。

（1） 排液中の成分

排液の成分を表1に示した。デカンター排液の成分は、灼熱損量からみた有機物含量2%内外、全窒素0.3%内外、アンモニア態窒素0.06%内外、りん0.04%内外で、カリ（ K_2O ）は全窒素の1.4~1.8倍量を含み、苦土、石灰がごく少ない特徴をもっている。工場間に各成分の変動がみられ、とりわけアンモニア態窒素の変異係数が大きかった。これは、排出されてから試料採取までの期間が工場によって異なったためと考えられるが、特に排液中の窒素は分解されやすい蛋白態、アミノ態が主体になっているため、排出後時間の経過に伴ってこれら有機態窒素の分解が進んでアンモニア態窒素が増加し、その変動を著しくしたのであろう。またpHは分解が進んだものほど高くなる

傾向であった。

貯留排液の成分含量は、デカンター排液の1/5程度で、全窒素に占めるアンモニア態窒素の比率が90%以上と著しく高かった。貯留排液は前述のとおり、デカンター排液に成分濃度の低いセパレーター排液が任意に混合されているので、その成分濃度は当然低いものとなるが、貯留期間における分解や雨水の混入等によってさらに濃度が低下し、一方で窒素の大部分がアンモニア態に変化することが推定された。なお、各成分の含有比率はデカンター排液に類似していた。

表2 無機化実験供試排液

項目 排液	排液 T-N (mg/l)	添加N量(mg/100g)	
		有機態N	無機態N (NH_4-N)
A	2,570	9.9	10.7
B	4,068	17.2	2.3
C	3,589	18.5	1.6

表3 排液窒素の無機化率

項目 排液	無機態N量 (mg/100g)				有機態窒素の 無機化率(%)	
	培養14日目		培養28日目		14日目	28日目
	NH_4-N	NO_3-N	NH_4-N	NO_3-N		
無添加	0.55	0.49	0.69	0.56	—	—
A	20.19	0.39	19.77	1.29	89.3	92.0
B	14.98	0.62	17.89	0.73	71.3	87.6
C	18.73	0.55	16.66	0.93	89.9	79.7

（2） 含有有機物の分解

排液中の有機物の分解速度について、次の方法により検討した。窒素については、有機態窒素含量の異なる3種(A, B, C)の排液を供試し、N 25 mgに相当する排液を褐色火山性土の下層土125 gにそれぞれ添加し、30°Cで培養した。その結果（表3）、AおよびC排液は培養開始後2週間で有機態窒素の90%近くが無機化した。また、無機化の遅れたB排液でも培養後4週目には90%近い無機化率を示し、排液中の有機態窒素の分解は比較的早いことが推定された。

次に、炭素の無機化は、デカンター排液（T-C 0.8%）25 mlを2種の土壌（未熟火山性土、灰色低地土）に添加し、25°Cで培養して発生する炭酸ガス量を測定し、排液無添加土壌のそれを差し

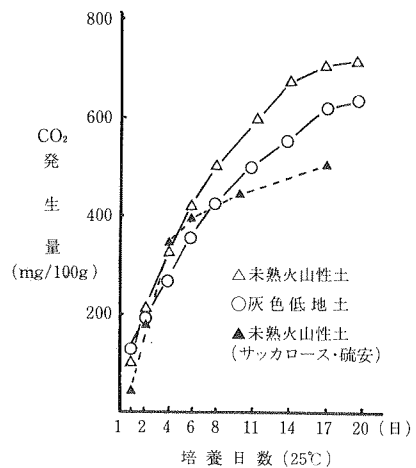


図1 排液中有機物の分解

引いて図1の結果を得た。なお、サッカロースと硫酸を用いて供試排液のC/N比2.35に調整した液について実験した結果も付け加えた。土壤に添加した有機物(C 200 mg/100 g 土)は培養後20日目で完全に分解し、ガス化した。このように、排液中の有機物はC/N比が低く、極めて分解しやすい。したがって、排液はN成分が速効的であり、カリは速効性なので、いわゆる液肥の性格の強いものであり、特に、分解の進んだ貯留排液は液肥と考えるべきである。

2. 排液散布による土壤変化と牧草の無機成分

調査地区の排液散布は1970—1977年の間にそれぞれ開始されている。したがって、調査時点までの積算散布量は地区によって相違し、また、年間の散布量も現在は灰色低地土のように年間10 mm (N 11, P_2O_5 3.5, K_2O 16 Kg/10 a) 程度ないしは多くて年間N 24 Kg/10 a相当量であるが、散布開始年次の早い以前には試算例が示すように

それ以上の多量散布が行われた経緯があった³⁰⁾。

(1) 作土の化学性

土壤の化学性によらず排液散布の影響を畑地(地表下30 cmまで)と草地(地表下20 cm)についてみると、明らかに窒素並びにカリの富化が認められた。すなわち、窒素は調査地区の多くは散布地圃場のT—Nが増加傾向を示し、熱水で抽出される易分解性Nの増加が認められた。カリは、いずれの散布地区も北海道の土壤診断基準(適正範囲、畑地15~30, 草地18~30 mg/100 g)²¹⁾を大幅に上廻り、中には K_2O 200 mg/100 gを超える圃場がみられ、また、カリ飽和度が10%を超える場合が多くみられた。土層内におけるカリの蓄積状況は、水山性土では地表下30 cmまでほぼ一様の濃度で蓄積しているが、灰色低地土など非火山性土の場合には表層蓄積型を示し、連用により順次下層に蓄積する傾向であった。石灰、苦土は土壤改良、施肥等の管理条件が一様でないため一

表4 散布量の試算例

原料処理	74,100 t/年 (1972-1978年)			
デカンター排液量	53,400 t (原料×0.72)			
セパレータ排液1次	288,000 t (" ×3.89)			
セパレータ排液2次	155,000 t (" ×2.09)			
	処理放流			
排液濃度 (ppm)	N	P_2O_5	K_2O	
デカンター	2,785	836	4,640	} 散布
セパレータ1次	126	49	148	
セパレータ2次	16	13	52	
散布量 (kg/10 a)	82.4	24.9	136.2	対象面積 185 ha

定の傾向をうかがうことができなかった。Mg/K比は散布地で1以下になり、塩期バランスが明らかに悪化していた。これは、排液散布に伴ってカリの蓄積が進行したため、施肥管理等のいかににかかわらず圧倒的な高カリ含量によって塩期バランスが崩れ、"K偏用土壤³³⁾"のごとくなったのである。なお、排液散布地ではナトリウムが低下する傾向がうかがわれた。

(2) カリの土層内分布

上記の調査から排液散布に伴って土壤中にカリ蓄積が起り、その土層内の蓄積状態が、土壤の種類によって異なる傾向がうかがわれたので、土性、粗孔隙、透水性等の異なる3土壤(図3)についてカリの土層内分布を調査した(図4)。

土性は粗粒質で、粗孔隙に富み、透水良好な未熟火山性土の土層内のカリ分布は、地表下70 cm位までは置換性カリ2.0~2.5 me/100 gの範囲で大差ない含量を示したが、その下部90~110 cm付近には最大12 me/100 gに達するカリ集積がみられ、さらに下層へも移動していた。ちなみにカリ集積層の塩基飽和度に100%を超えていた。当調査地区は以前に多量散布されたこともあって積算総散布量がかかなり多い事例である。

細粒質の土壤が密に堆積し、粗孔隙少なく、塩基置換容量の大きい灰色低地土では表層に最も多く蓄積し、段階的に下層へ進行すると考えられ、疑似グライ土も類似のパターンを示した。本調査地区は排液散布歴が短く、積算総散布量が少ない

表 5 排 液 散 布 地 の 土 壤 化 学 性

土 壤	排 液	項目 採取 位置	pH (H ₂ O)	T-N (%)	熱 水 抽出 N (mg/100 g)	T-C (%)	CEC (me/100 g)	ε x-base (mg/100 g)				塩 基 飽和度 (%)	K 飽和度 (%)	Mg / K
								K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO			
未 熟 火 山 性 土	散 布	0~10	5.47	0.27	9.5	3.37	19.7	94	3	221	22	56	10.2	0.6
		10~20	5.32	0.29	11.2	3.43	22.4	85	3	193	20	44	8.0	0.6
		20~30	5.16	0.26	8.2	3.33	20.5	104	6	168	18	45	10.7	0.4
	無 散 布	0~10	5.52	0.24	5.4	3.09	13.6	24	12	126	16	45	3.7	1.6
		10~20	5.76	0.23	5.2	2.99	14.1	19	10	115	14	39	2.8	1.8
		20~30	5.96	0.25	5.5	3.16	15.1	24	12	157	20	49	3.3	2.0
褐 色 火 山 性 土 ・ A	散 布	0~5	6.12	0.40	16.5	5.16	24.3	160	2	230	63	61	14.0	0.9
		5~10	6.00	0.39	11.7	4.99	21.1	137	2	202	32	55	13.7	0.6
		10~20	5.86	0.40	15.0	5.33	23.3	132	2	232	24	55	12.6	0.4
	無 散 布	0~5	5.67	0.41	19.7	5.57	27.1	61	3	524	89	91	4.8	3.4
		5~10	5.54	0.38	19.6	5.16	22.5	28	4	378	48	74	2.7	4.0
		10~20	5.70	0.41	9.4	5.66	24.9	14	3	325	30	54	1.2	5.0
灰 色 低 地 土	散 布	0~5	4.63	0.43	16.1	4.14	24.9	108	6	336	59	70	9.2	1.3
		5~10	5.84	0.30	7.9	2.78	20.0	71	9	328	26	74	7.5	0.9
		10~20	5.42	0.32	9.3	2.69	21.9	47	2	400	28	77	4.6	1.4
	無 散 布	0~5	5.38	0.33	8.7	3.10	29.9	52	6	524	91	86	3.7	4.1
		5~10	5.48	0.31	7.7	3.01	29.8	19	9	252	34	36	1.3	4.3
		10~20	5.48	0.33	8.2	3.04	29.5	9	9	490	63	72	0.7	15.5
褐 色 火 山 性 土 ・ B	散 布	0~5	5.81	0.53	26.6	—	28.4	118	3	356	46	62	8.8	0.9
		5~10	6.11	0.44	18.6	—	28.4	119	3	406	42	68	8.9	0.8
		10~15	6.61	0.43	15.0	—	27.8	143	3	529	44	94	10.9	0.7
	無 散 布	0~5	5.11	0.31	4.6	—	23.0	9	7	174	18	33	0.9	4.5
		5~10	5.80	0.26	3.7	—	23.8	11	11	316	8	52	1.0	1.8
		10~15	5.70	0.18	1.8	—	19.2	15	10	185	6	39	1.6	0.8
凝 似 グ ラ イ 土	散 布	0~5	6.49	0.44	26.3	—	25.1	168	6	350	68	78	13.8	1.8
		5~10	6.42	0.29	13.3	—	22.6	127	3	375	42	81	11.9	0.8
		10~15	6.24	0.26	8.2	—	21.7	90	3	297	32	65	8.6	0.8
褐 色 森 林 土	散 布	0~5	5.68	0.47	5.7	—	26.7	212	3	218	75	60	16.9	0.8
		5~10	5.67	0.29	10.9	—	24.7	99	2	115	24	30	8.5	0.5
		10~15	5.62	0.28	11.5	—	36.7	118	2	134	18	23	6.8	0.3

* 土壌名は北海道の農牧地土壌分類2次案にしたがった。

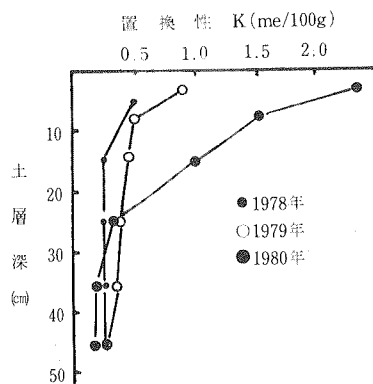


図 2 排液散布によるK分布の変化(灰色低地土)

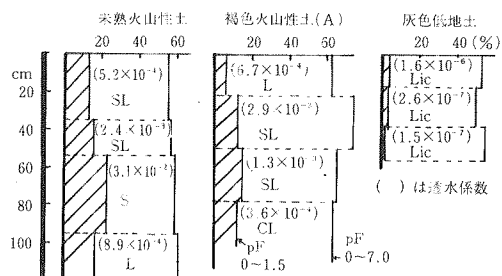


図 3 散布地土壌の孔隙および土性

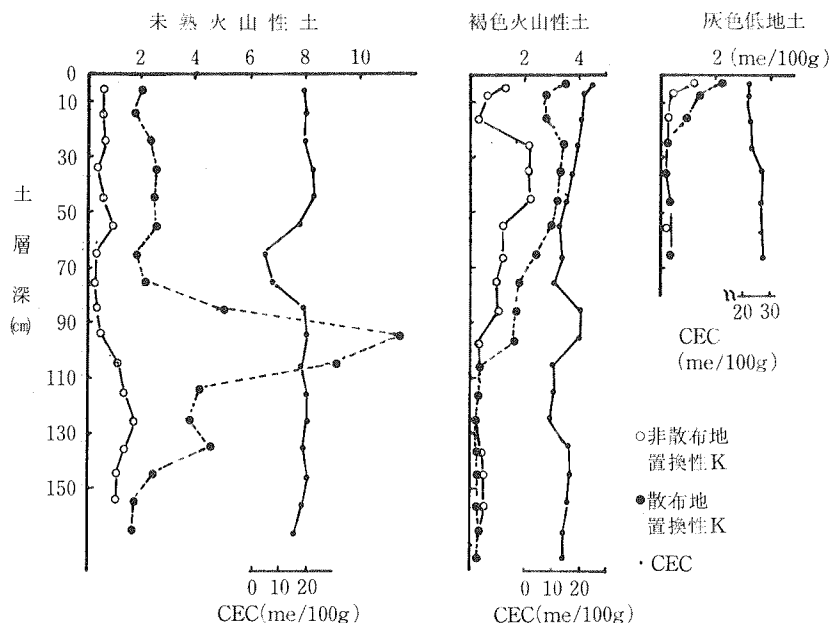


図4 塩基置換容量・置換性Kの垂直分布

ため、初期の段階と思われる。

中粒質の土性からなり、透水中庸かやや良好な褐色火山性土の場合には、地表下 20 cm 付近はやや低い含量を示すものの地表下 50 cm 付近まで高い含量を維持し、以下漸減するが、地表下 100 cm 付近までカリの蓄積が認められた。本地区の排液散布歴は 10 年間で、散布開始当初には多量に散布されたこともあり積算総散布量はかなり多い。なお、湿性黒色火山性土の排液散布によるカリ蓄積も褐色火山性土と類似のパターンを示した。

(3) 散布地における牧草の養分含有率

灰色低地土の採草地における排液散布圃場の牧草を調査した。本地区は排液散布歴が短く散布量も比較的少なかった。表層の置換性カリ (K_2O) 含量は 100 mg/100 g 程度であった。牧草の K 含有率は作物栄養診断基準²¹⁾の範囲内であったが、Ca、Mg が低く、塩基バランスの崩れていることがうかがわれた。原田ら³⁾が提案した牧草の N 含有率と $K/Ca+Mg$ 比との関係について検討すると図 5 のようになる。N 含有率が 3 % を超える牧草は少なかったが、クラステクニー誘発の危険性が示唆されている $K/Ca+Mg$ 比 3 以上を示すものが 5 割余あった。

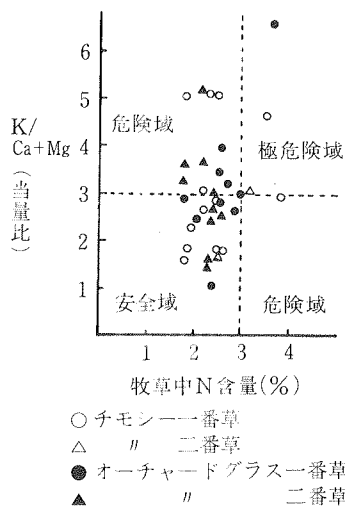


図5 排液散布草地(灰色低地土)の牧草のN含量とミネラルバランス

土壌カリ含量と牧草の塩基バランスの関係を知らため、褐色火山性土 (CEC 9.2 me/100 g) を 1/2000 a ワグネルポットに 10 Kg 充填し、炭酸カルシウム 10 g、過りん酸石灰 11.1 g、熔りん 11.1 g を施用、カリ飽和度が 10、20 % になるよう硫酸カリで調節し、チモシーを栽培して図-6 に示す結

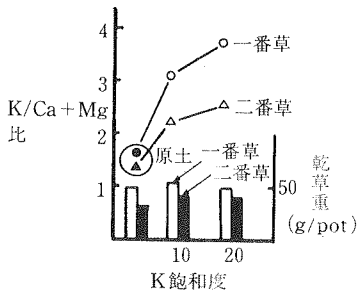


図6 土壌カリ飽和度と牧草の塩基バランス

果を得た。牧草の $K/Ca+Mg$ 比は、土壌のカリ飽和度が10%以上になると3以上となっており、二番草でも高い傾向であった。すなわち、土壌のカリ含量が増加すると牧草のK吸収が増加し、一方、Ca, Mgの吸収が抑制され、土壌のカリ飽和度が10%を超えると塩基バランスが著しく悪化することが予想された。

3. 散布農地からの負荷発生

調査地区は定置配管方式による畑地かんがい施設を設置した草地で、馬鈴しょでん粉工場の貯留排水を定置配管を通じてレインガンで散布している。暗渠排水の水質調査を実施した圃場の土壌は表層に火山灰が混入し、下層に礫層を挟在する灰色低地土である。

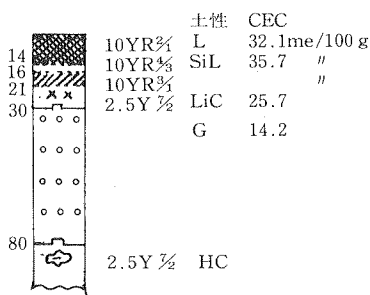


図7 暗渠排水調査地の土壌断面

暗渠排水溝からの流出水量は、表一6に示すごとく降水量の5%以下であったが、その流出は春の融雪・融凍時ならびに秋期に多く、夏期の流出はほとんど見られなかった。排水散布によって流出水量は増加し、見かけ上、散布水量の15%が流出していた。春および秋散布時、土壌水分がかな

表6 暗渠排水量(単位mm)

年月	項目	降水量	慣行化肥区排水量	排水散布区排水量
1977.11-1978.4		344	—	—
	5	127 (18)	15.7	22.2(4.6)
	6-9	395	20.6	20.9
	10-11上	94 (20)	7.7	10.1(1.8)
	計	960 (38)	44.0	53.2(6.4)
1978.11中-1979.3		230	—	—
	4-5	56	4.0	0.7
	6-7	107	—	—
	8	60 (36)	—	0.9(0.2)
	9	121 (18)	0.8	9.3(5.2)
	10	159 (18)	11.5	13.7(4.3)
	計	793 (72)	16.3	24.6(9.7)

注)1. 降水量中の()は排水散布量

2. 排水散布区排水量のうち()は散布時の排水量

り高い状態の時には流出率が高く、排水散布開始後30分頃から流出が始まった。このような条件下では、暗渠排水の水質は流出開始直後急激に悪化

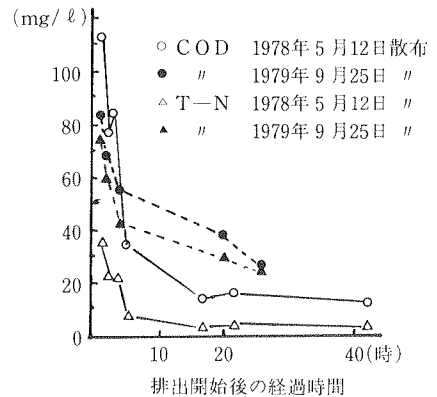


図8 排水散布時における暗渠排水の水質変化

し、一時的であるが、COD 80 mg/l, T-N 35 mg/l以上の高濃度を示し、安定的な水質を示すまで20時間以上を要した。この圃場の土壌は下層に礫層を挟在しているため浄化の場となる土層が薄く、しかも土壌水分が飽和状態に近い条件では排水成分が拡散、希釈作用を受けながら速かに浸透、流出するものと考えられる。散布後72時間以上経過したときを平常時とみなし、その平均的な水質について見ると(表7)、初年目(1978年)はN、

表7 暗渠排水の平常時水質

項 目		pH	E.C (ms)	COD	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-P	K	Ca	Mg
慣行 肥料	1978	5.4	0.18	4.7	0.86	0.24	—	0.057	4.1	16.0	2.5
	1979	5.8	0.23	9.3	2.97	0.91	1.30	0.015	2.6	19.9	3.1
排液 散布	1978	5.4	0.19	3.4	0.51	0.14	—	0.032	2.4	17.5	3.3
	1979	6.3	0.34	11.3	10.85	0.88	8.99	0.034	15.4	29.0	6.0

(mg/ℓ)

表8 暗渠からの流出分量

項 目		N	P	K	COD
散布成分量 (Kg/10 a)	1978年	16.2 (19.0)*	3.3 (5.7)*	32.5 (35.1)*	17.9
	1979年	34.6	7.5	76.7	50.2
流出成分量 (g/10 a)	排液散布区	657 (467)*	9 (6.5)**	962 (601)**	1347 (735)**
	慣行化肥区	83	3.2	217	458
施用成分に対する 流出比率(%)	排液散布区	1.22	0.07	0.19	2.0
	慣行化肥区	0.44	0.03	0.85	—

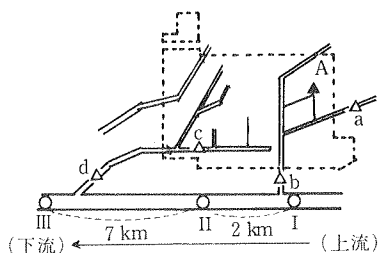
* 施用化学肥料との含量

** 散布時流出成分量

P, K, COD, いずれの成分も化学肥料施用圃場で高いが、2年目は排液散布圃場が高くなっており、特に、N (NO₃-N), K 濃度の増加が著しく、化学肥料施用圃場に対しそれぞれ 3.7, 5.9 倍の濃度となっていた。

暗渠からの流出成分量を見ると、排液散布圃場からは、化学肥料施用圃場に対し、N で 8 倍、P で 3 倍、K で 4.4 倍、COD で約 3 倍の流出が見られ、その 2/3 は排液散布時に流出していた。すなわち、排液散布圃場は、化学肥料施用圃場より富養化物質の流出が多かった。施用成分に対する流出割合は、N, P については排液散布圃場が高く、K は化学肥料施用圃場で高かった。COD は散布量中の 2 % が流出していた。この COD は有機物等過マンガン酸カリを消費する物質の量を表わすが、有機物を付加していない化学肥料施用圃場からもこの物質の流出が認められた。このことを考慮すると排液由来の COD は 2 % より少ないと考えられた。

次に、暗渠から流出した成分(N)が河川水質にどのような影響をおよぼすかを図9に示す地点で



A 暗渠水採水地点

a b c d 明渠水 "

I, II, III 河川水 "

注) 破線内散布地区

図9 水質調査地点、概略図

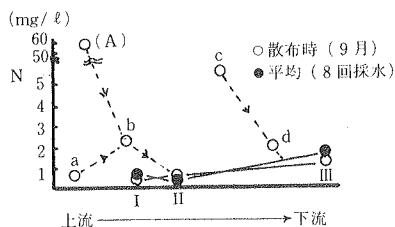


図10 各採水地点におけるN含量

調査した。その結果、図 10 に示すように排水散布地区外から排水散布地区内へ流入する明渠の水質は、排水散布地区の暖渠排水が流入し、負荷が加わって地点で N 濃度が上昇した。しかし、その下流地点では N 濃度が低下した。これは、下流への下流に伴って希釈作用、自浄作用等が関係しているものと推察される。本地区の東側を流れる河川の水質は、排水散布地区の集水明渠水が流入する直下流地点で N 濃度が若干上昇し、その影響がうかがわれた。明渠水への負荷は圃場からの暗渠排水以外に畜舎排水、生活排水等の混入も考えられるので、すべてが排水散布によるものとは考えられないが、河川水質へ影響しているものと考えられる。

考察および論議

1. 馬鈴しょでん粉工場排水の特性

馬鈴しょ塊茎中の成分は品種、栽培条件等により変動すると思われるが、N 0.2~0.3%， P_2O_5 0.1%前後、 K_2O 0.4~0.5%を含み、でん粉製造の際にその大部分がデカンター排水、一次セパレーター排水へ移行するとされている。これらの排水は貯留中に微生物の作用により排水中の蛋白質、アミノ酸等有機態窒素の分解が進行し、更に、雨水等で希釈されて肥効成分の濃度が変化すると報告されている³⁰⁾。なお、工場によりデカンターによる脱汁の割合が若干異なっており、排水の成分濃度は一定でない。

排水は収穫物の残渣³⁵⁾とも考えられるが、C/N 比は低く³⁶⁾含有有機物の分解は非常に早い。大久保²⁹⁾は、C/N 比の小さい野菜類、とくに葉菜、てん菜葉、根菜類の還元有機物は有機物としてでなく肥料として評価した方が合理性を持つとしている。馬鈴しょでん粉工場排水を液肥として評価するのはこの点からも妥当と考えられる。なおカリは大部分が無機態⁷⁾と考えられ、窒素の 1.5 倍以上含まれている。

2. 散布地土壌について

散布地土壌に見られたカリの蓄積は、すでに、土壌による馬鈴しょでん粉工場排水の浄化実験¹⁴⁾において認められている。吉岡³⁵⁾³⁶⁾も棗およびライシメーター試験で排水連用によりカリが蓄積することを認めている。

カリの蓄積は、家畜の糞尿が多量に供給される

フィードロット地²⁾、厩肥多量施用地⁴⁾¹⁰⁾、放牧地¹³⁾においても認められ、また、窒素、カリ中心の施肥³⁾等不適正な化学肥料の施用¹⁶⁾によっても土壌カリ含量は増加し、土壌の Mg/K 比を低下させるなど、土壌の塩基バランスを悪化させることが報告されている。

野村は¹⁹⁾十勝管内の火山性土は一価、二価カチオンの流亡が大であることを指摘している。が、今回調査したでん粉工場排水散布地の中でも散布歴が長く、かつ散布総量の多い褐色火山性土のカリ含量は高く、排水からのカリ付加が極めて多かったと推定される。

いずれにしても、調査した各土壌でのカリ蓄積がかなり進行しているの、そこに生育する作物は影響を受け、特に、牧草の塩基組成に強く反映され、更に、これを飼料とする家畜への影響も考えられる。いくつかの放牧地^{3,20,27)}においてグラステナニー、低 Mg 血症等、牧草の塩基組成に起因する症例が報告されている。

土壌カリ含量の増加に伴って、作物のカリ吸収が増し、反面、苦土、石灰の吸収が拮抗的に減少して苦土欠乏を呈する事は良く知られている。諸遊は¹⁷⁾土壌中の塩基のうちで作物の塩基組成にもっとも主動的に働くのはカリであって、石灰や苦土はその影響の下に変化し、苦土施用によって作物体を大きく変えることは困難と見られたと指摘している。このようにカリ蓄積土壌に対しては、苦土施用の効果が期待しにくい場合が多く、カリ施用をひかえることが必要とされており^{21,33)}、基本的にはカリの過用をさける²⁰⁾ことが重要であろう。カリの過剰域あるいは限界値を具体的に設定するための資料は充分でないが、火山灰土壌の野菜畑ではカリ飽和度 10%が一つの目安とされ、石灰、苦土との塩基バランスを $K:Mg:Ca=1:2:5$ の比率にするのが野菜にとって好ましい状態とされている⁹⁾。土壌カリ含量が作物体の塩基組成に反映されやすい牧草地では最終刈取後 1 me/100 g 以上では過剰¹⁰⁾とされている。ポット試験の結果はカリ飽和度 10%以上で牧草の塩基バランスの悪化が認められ、散布地土壌ではいずれも 2~3 me/100 g の含量を持ち、飽和度は 10%を超える状態にあった。すなわち、これらの土壌では排水の散布量が多すぎカリ過剰レベルに達していると考えられる。したがって、排水の散布に

あたり、農地の作物生産機能を阻害してはならないが、収量性に問題ない場合でも施用成分の作物による収奪以外の残留成分量を考慮しなければ、結果的に土壤塩基状態を悪化させることになる。北農試畑作部²¹⁾では、でん粉排液散布下の施肥法を検討し、排液中の肥料成分は速効性であることを認め、N に対する K の比率が高いためカリが過剰になりがちなのでカリを排液散布量の基準にする必要性を示唆している。

以上のことから、ばれいしょでん粉工場排液の散布量は、窒素を基準にした場合は連用によって土壤にカリ蓄積を促し、土壤の塩基バランスを乱し、ひいては作物及び家畜への悪影響も懸念されるため、従来の窒素基準⁹⁾を改め、カリに基準におくことが合理的である。

3. 散布農地からの負荷発生

排液散布圃場からの富栄養化物質の流出は化学肥料施用圃場より多く、しかも施用成分に対する比率も高くなっていた。この原因を考察すると、圃場の土壤条件と散布時の圃場水分条件の2つの要因が考えられる。井上⁸⁾は窒素の施用に際し制約の大きな土壤として①陸水、内海に隣接した土壤、②不透水層の浅い土壤、③地下水位の高い土壤、④砂質土のような吸着性の低い透水性過良な土壤をあげている。本試験に供試して散布圃場は下層に礫層を挟在し、春、秋は土壤水分が多いので、③と④の条件をそなえていたため一時的であるが排液散布時に多量の流出が見られたものと思われる。また、流出窒素量は排液散布圃場から 0.7 Kg/10 a、化学肥料施用圃場から 0.1 Kg/10 a で、その施用成分に対する流出比率はそれぞれ、1.2 %、0.4 % 前後であった。氏家³¹⁾は急斜面のミカン畑の浸透水による窒素流亡は 4.2 Kg/10 a であったと報告している。桜井²³⁾野菜栽培農地からの窒素溶脱率を 33 % とし、小川²⁵⁾は腐植質火山灰畑地からの窒素の浸透溶脱量は 1.8 Kg/10 a と報告している。また、國松¹²⁾ライシメーター試験、暗渠排出水の測定結果から、窒素の畑地からの地下流出は 18 %、河川への流出を 0.5 Kg/10 a と報告している。これらの報告と比較すると、当調査圃場からの流出量は高くないものと推定できるが、当該排液散布地区を集水域とする河川の水質には窒素濃度の上昇など若干の影響がうかがわれた。したがって、過剰散布など不適正な排液散

布は表面流去による明渠などへの直接流入、土層中の横滲透による流出など周辺水質への汚濁負荷を増大する可能性を含んでいると考えられる。

畑地の水利利用は、くり返し再利用され、その都度農地による浄化が期待できる水田とは異なり、一過性の水利利用形態をとるため農地による浄化の機会が少い。特に本調査地区のように礫層を介在するような土壤条件のところでは、排液の散布にあたって公共水域へ汚濁を負荷しないよう散布量、時期等に細心の注意を払う必要がある。

謝 辞 本報告のとりまとめにあたり、北海道立中央農業試験場高尾欽弥環境保全全部長には御校閲をいただき懇切なる御助言を賜わった。北海道立十勝農業試験場大崎玄佐雄土壤肥料科長には有益な御指導、御助言をいただいた。北海道立十勝農業試験場森義雄場長、北海道立中央農業試験場大垣昭一化学部長には御校閲いただいた。更に、調査、試験の遂行にあたり、東部十勝農工連でん粉工場、士幌町農協でん粉工場、美深町農協でん粉工場、ならびに各地に馬鈴しょでん粉工場には試料の採取および調査に御協力いただき、斜網東部農業改良普及所には土壤調査に御協力いただいた。以上の関係各位に対し、心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 有水彊, "污水处理への基本的な考え方、一微生物を中心として一", 農土誌, 48, 791-796 (1980).
- 2) Schuman, G. E.; Mccalla, T. M. "Chemical characteristics of a Feed lot soil profile". Soil sci. 119, 113-118 (1975).
- 3) 原田 勇, 篠原 功, "土壤 飼料および乳牛を巡るミネラルとそのバランス", 加里研究, 28, 2-13 (1981).
- 4) 橋元秀教, "有機物施用の理論と応用", 農山漁村文化協会, 1977, 188-191.
- 5) 北海道農協「土づくり」運動推進本部, 北海道, "土づくり技術検討会の記録", 1980.
- 6) 北海道農務部編, "昭和 53 年普及奨励ならび指導参考事項", 1978, p.205-212.
- 7) 北海道農試畑作部火山灰土壤研究室, 土壤改良研究室, 作付体系第一研究室, "土壤肥料試験研究成績, 昭和 51~54 年度", 1981, p.31-46.
- 8) 井上隆弘, 古畑 哲, 阿部和雄, "土壤の無機イオンの移動パターンとその環境保全的土壤区分への適用", 土肥誌講演要旨集, 24, 170, (1978).

- 9) 鎌田春海, "火山灰土壌の塩基バランス改善, 野菜畑の土壌管理", 実用化技術レポート, 20, (1975).
- 10) 近藤 照, 石井和夫, 杉原 進, "混播草地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用", 東北農試研報, 60, 41-62 (1970).
- 11) 國松考男, 金木亮一, "処理水の山林, 草地還元, 一処理水散布と土壌浄化", 農土誌, 48, 805-810 (1980).
- 12) 國松考男, "土壌生態系による水質保全(II)林地, 草地, 畑地による水質浄化", 用水と廃水, 24, 61-76 (1982).
- 13) 倉島健次, "山地傾斜地の放牧草地における土壌塩基の分布と牧草の塩基組成, I. 放牧草地における土壌塩基の分布", 日草誌, 25, 354-361(1980).
- 14) 南 松雄, 高田 享, "馬鈴薯澱粉工場廃液の農業上の利用に関する研究, 第1報, 澱粉廃液の畑地散布処理", 澱粉工業学会誌, 17(3), 10-15(1969).
- 15) 南 松雄, 高田 享, "馬鈴薯澱粉工場廃液の農業上の利用に関する研究, 第2報, 散布廃液の肥効について", 澱粉工業学会誌, 17(3), 16-22(1969).
- 16) 水野直治, 兼田裕光, 鎌田賢一, 目黒孝司, 土岐和夫, 後藤計二, "北海道農用地の土壌成分", 北海道立農試資料, 8, (1977).
- 17) 諸遊英行, "土壌中におけるカリの有効性と飼料作物に対するカリの施用効果に関する研究", 中国農試報, E9, 19-102 (1973).
- 18) 中田 均, 長谷川清善, 勝木依正, 西川吉和, 沢重孝, "農耕地における肥料成分の行動に関する研究, 第3報 水田地帯における肥料成分の行動調査の事例", 滋賀県農業試験場報告, 20, 20-31 (1978).
- 19) 野村 誠, "豆類増収技術の確立に関する試験, 第1報 十勝地方火山性土壌の地力と豆類生育について", 北農, 42(1), 19-34 (1975).
- 20) 野村忠弘, 坂本 晃, 広田千秋, 照井信一, "グラスターニー発生草地の土壌と牧草成分, 石倉山放牧場における発生例", 東北農業研究, 17, 193-196 (1975).
- 21) 農林水産省北海道農業試験場, 北海道立農業試験場, 北海道農務部農業改良課, "土壌および作物栄養の診断基準", 1981.
- 22) 尾形 保, 大嶋秀雄, 田野良衛, "豚ふん尿汚水の土壌利用による浄化処理に関する研究", 用水と廃水, 12, 112-118, 209-214, 643-661, 879-887, 975-979, (1970).
- 23) 尾形 保, "土壌の浄化力を利用した汚水の処理について", 水, 2, 57-63 (1975).
- 24) 尾形 保, 山口幹男, 石居企救男, 畠中哲哉, "生物酸化処理水の土壌・植物系による浄化に関する研究, I. 処理水の土壌浸透による浄化", 草地試験場研究報告, 13, 63-77 (1978).
- 25) 小川吉雄, 石川 実, 吉原 貢, 石川昌男, "畑地からの窒素の流出に関する研究", 茨城県農業試験場特別研究報告, 4, (1979).
- 26) 大久保隆弘, "輪作体系における物質収支と地力", 農業および園芸, 57, 151-158 (1982).
- 27) 太田 繁, 梶子剛資, 佐藤勝郎, 淵向正四郎, "草地管理面からみた低 Mg 血症発生の実態", 東北農業研究, 17, 191-193 (1975).
- 28) 桜井喜雄, "農地排水による河川および地下水の汚染", 農土誌, 43, 518-524 (1975).
- 29) 立川 涼, "土壌および液体試料中の有機物の迅速定量法ならびに糖類に関する二, 三の定量法", 土肥誌, 37, 28-33 (1966).
- 30) 浦幌町澱粉廃液散布営農対策協議会編, "草地における廃液灌漑とその影響", 1-40, 1975, p. 1-40.
- 31) 氏家 勉, 徳留昭一, 山崎清功, "傾斜耕草林地の保全機能に関する研究, 第2報, 果樹園における降雨及び肥料成分の流出", 土肥誌講演要旨集, 24, 169 (1978).
- 32) 矢木 博, "土壌における浄化作用", 用水と廃水, 18(3), 31-36 (1976).
- 33) 山崎 伝, 上敷領木男, 寺島政夫, "作物の苦土欠乏と苦土欠乏土壌", 東海近畿農業試験場研究報告, 栽培部3, 73-106 (1957).
- 34) 吉岡真一, "馬鈴薯澱粉工場精製廃液の耕地還元に関する研究, 第1報, 牧草地における廃液灌漑が土壌・牧草に及ぼす影響", 北海道農試研報, 114, 119-137 (1976).
- 35) 吉岡真一, "バレイショでんぷん工場廃液の耕地還元, 第2報, ライシメータ試験による廃液中肥料成分の行動", 北海道農試研報, 129, 155-166 (1981).
- 36) 吉岡真一, "バレイショでんぷん工場廃液の耕地還元, 第3報, 畑作物に対する廃液の肥効", 北海道農試研報, 130, 99-112 (1981).

Behavior of Potato Juice and Process Water from Potato Starch Factories in Arable Lands

1. Effects of potato juice and process water on plants, soil and water

Takeo TANIGUCHI* and Haruichi KUROKAWA**

Summary

Potato juice and process water discharged from the potato starch factories in Hokkaido contain 2800 tons N, 1700 tons P_2O_5 and 4200 tons K_2O per year and a certain amount is sprinkled the arable land in the area.

In this paper, we reported on our examination of potato juice regarding the soil properties, grass and water quality in the areas sprinkled.

The results obtained are as follows :

1) Potato juice and process water were rich in nitrogen and potassium and were poor in magnesium and calcium. Potassium was over one and half times as much as nitrogen. The ratio between carbon and nitrogen was low, therefore, the organic compound was easily decomposed, so we thought that potato juice and process water were not organic matters but liquid fertilizer.

2) Nitrogen and potassium were in abundance on the surface layer of soil in the areas sprinkled. The potassium in the soil was over 2 miliequivalents per 100g soil and Mg/K ratio decreased below 1.0. The distribution of exchangeable potassium in the soil profile had a characteristic pattern which changed according to soil porosity and cation exchange capacity.

3) The grass that grew in the land sprinkled with potato juice showed a bad mineral balance.

4) In the case of potato juice sprinkled on gravel-type soil, the amount COD and nitrogen in the underdrain increased more than that of chemical fertilizer applied to the fields. The water of the river adjacent to these fields was slightly polluted.

*Hokkaido prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station. Memuro, Hokkaido, 082 Japan.

**Hokkaido Prefectural Central Agricultural Experiment Station. Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.