

全国の試験圃場での除草剤の土壌吸着

公益財団法人
日本植物調節剤研究協会研究所

中村 直紀

はじめに

今日、多様な除草剤が農薬登録され、日本での製剤数は1,499種類にのぼる（農薬安全適性使用ガイドブック2016）。これらの除草剤は、その作用特性によって非選択性除草剤と選択性除草剤に大別され、さらに処理方法によって茎葉処理剤、土壌処理剤およびその両方を兼ねる茎葉兼土壌処理剤の3つに別けられる（伊藤1993）。

土壌処理剤を処理すると有効成分が土壌表層に吸着される。これを処理層といい、雑草は土壌表層の種子に出芽能力があるので、出芽時に処理層の有効成分が吸収されて枯れる。作物の種子や移植苗の根は処理層の下に位置するので有効成分が吸収されない。従って、処理層が安定して土壌表面に保持されていれば効果は安定するが、水の動きなどとともに処理層の有効成分が下方に移動する程度が大きいと効果は不安定になり、作物への影響が大きくなる。また、非選択性茎葉処理剤の多くでは土壌表面に落下した有効成分は土壌に強く吸着され、植物の根から吸収されることはほとんどない。従って作物播種あるいは定植前の雑草防除や、作物の畦間に生育した雑草の防除に使用できる。このように除草剤の土壌への吸着は除草効果や作物への安全性、土壌中での挙動に大きく関与している。

日本において、土壌中での除草剤の挙動を把握するために登録上要求されている試験としては、土壌中運命試験、

土壌吸着性試験、土壌残留性試験がある（独立行政法人農林水産消費安全技術センター2016）。さらに、土壌残留性試験の結果によっては後作物残留性試験が求められる。このほかに、土壌が間接的に影響する試験として水質汚濁性試験や水田水中濃度測定試験などがある。

圃場に処理された除草剤の挙動や効果発現には、除草剤の土壌中での分解、溶脱、吸着などの要因が大きく関与し、これらに加えて水分条件や温度など種々の環境要因が影響する（伊藤1993；金沢1992）。これらの要因のなかでも、とりわけ土壌吸着性は除草剤の土壌中での分解や溶脱へも影響し、除草剤の効果や作物への被害とも大きく関与している（欽塚1981）。

従って、土壌吸着性を調べることは、除草剤の土壌中での挙動をとらえ、さらには除草剤の効果や作物への被害を予測するための一つの材料となる。土壌吸着性を調べる試験としては、対象とする除草剤の水溶液と土壌を吸着平衡に達するまで振とうした後、溶液中の除草剤濃度を測定し、その値から土壌に吸着した除草剤の量を求める方法が一般的である（経済協力開発機構

2016；欽塚1981）。

この土壌吸着性試験に供試する土壌として、OECDのテストガイドライン（経済協力開発機構2016）では7つの土壌タイプを推奨している（表-1）。日本では、試験に用いる土壌はこのOECDテストガイドラインに準じているが、「農薬の登録申請時に提出される試験成績の作成に係る指針」の中で、「OECDテストガイドライン106に準じて測定する。ただし供試土壌は、原則として当該テストガイドラインに示されている7つの土壌タイプのうち、タイプ2、3、4及び5ごとにそれぞれ1種類以上とし、少なくとも1種類は火山灰土壌を含める。」と規定している。

OECD、日本ともに、農耕地における農薬の環境中での挙動を概観する目的で土壌吸着性試験の供試土壌が規定されているため、供試土壌の種類は必要最低限で少ない。除草剤の登録を行う場面においてはこれら数種の土壌を用いさえすれば要件を満たしたことになるが、実際の普及場面を想定した場合、日本全国には物理化学性の異なる様々な土壌が分布していることから、国内における土壌の吸着性の全体像や、除草剤の効果被害変動の振れ幅をとらえるためには、7種類あ

表-1 土壌吸着性試験における土壌選択のためのガイダンス

Soil type	pH range (in 0.01M CaCl ₂)	Organic carbon content (%)	Clay content (%)	Soil texture (USDA)
1	4.5-5.5	1.0-2.0	65-80	clay
2	>7.5	3.5-5.0	20-40	clay loam
3	5.5-7.0	1.5-3.0	15-25	silt loam
4	4.0-5.5	3.0-4.0	15-30	loam
5	<4.0-6.0	<0.5-1.5	<10-15	loamy sand
6	>7.0	<0.5-1.0	40-65	clay loam/clay
7	<4.5	>10	<10	sand/loamy sand

るいは4種類の土壌の調査だけでは十分とはいえない。

そこで筆者らは、除草剤の土壌中での挙動に大きく影響する土壌吸着性を一つの指標にとらえ、この土壌吸着性の強弱にどの程度振れ幅があるか、そしてまた特異的な吸着傾向を示す土壌が存在するかを調査することを目的として、全国各地にある植調協会試験地や道府県の農業研究施設の土壌を収集し、水稲用ならびに畑作用の数種除草剤について吸着性を調べた。

吸着試験の方法

収集する際の土壌の採取深は、除草剤の活性発現に関わっている表層部分の土壌を対象とするため原則として表層から5cmとした。日本全国から土壌(道府県の農業研究施設、植調協会試験地等の土壌)を収集し、代表的な除草剤の吸着性および土壌の物理化学性を調べた。この吸着性や土壌の物理化学性をもとに、基本土壌種(現在、40種類)を選抜し、環境中での挙動や効果・薬害の解析に利用できる除草剤の土壌吸着性を評価する試験方法を確立した。

選抜した基本土壌種(現在、40種類)を用いた土壌吸着性を評価する試験の方法は、前出のOECDテストガイドラインに従った。ただし、供試土壌が40種以上と多いため、供試する除草剤の試験溶液の濃度段階は一濃度のみに限定して試験を行った。除草剤の試験溶液の濃度段階を複数濃度に設定して土壌吸着性試験を実施した場合、その除

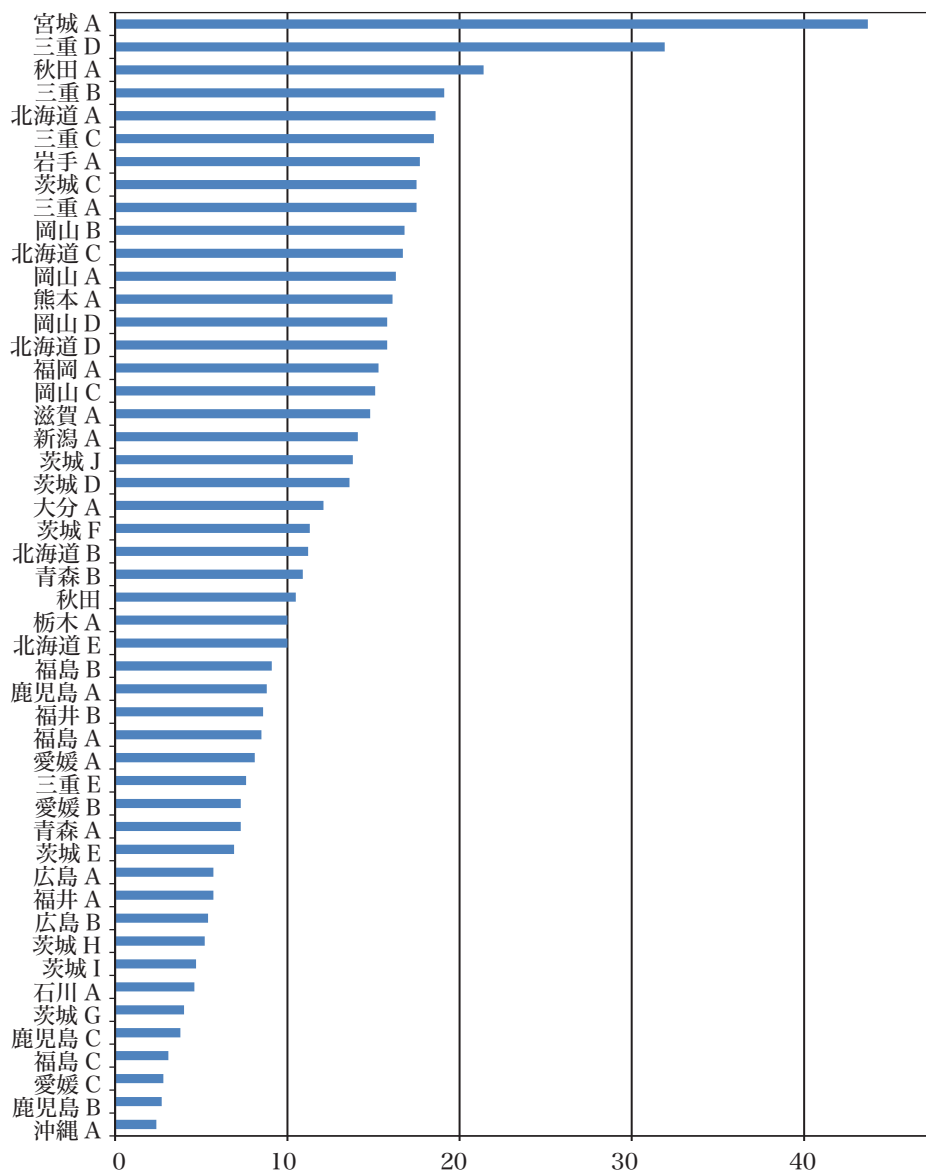


図-1 水稲用除草剤での土壌吸着係数 (Kd) の比較の一例

草剤の吸着等温線を作成することができる。この除草剤の吸着等温線は必ずしも直線にはならないことが一般的に知られている(鍬塚 1981)。このことから判るとおり、土壌吸着係数 (Kd) はある濃度における吸着性を示すに過ぎないことをこの場で断っておく。

実際の試験方法としては、除草剤を0.01mol/L塩化カルシウム溶液に溶かして一定濃度に調製した試験溶液を作成し、土壌試料5gに対して試験溶液25mLになるように遠心管に量り取った。栓をして吸着平衡時間(予備試験により決定)に達するまで水平振とう

後、遠心機にて遠心分離した。上澄液を分取して除草剤の濃度を測定し、土壌吸着係数 (Kd) あるいは土壌吸着定数 (Koc) を計算により求めた。

さらに、供試土壌の物理化学性を調べ、得られた土壌吸着係数 (Kd) と土壌の物理化学性との相関関係を調べた。土壌の物理化学性は、粒径組成(粘土、シルト、細砂、粗砂)、pH (H₂O, KCl)、有機炭素含量、陽イオン交換容量およびリン酸吸収係数の9項目とした。

また、吸着試験を実施した後の土壌にヒメタイヌビエなど雑草の催芽種子を入れ、一定期間後のヒメタイヌビエ

表-2 数種除草剤の土壤吸着係数 (Kd)

試料名*	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
宮城A	43.7	14.7	350	576.7	25.7	63.1	333	30.0	452	18.0	164.4	48.3	158	1131	168	26.0	197.0	2545	6723
三重D	31.9	6.9	624	749.0	33.4	36.5	111	57.3	402	91.3	73.9	9.6	38	210	53	39.2	410.5	13415	3172
秋田A	21.4	7.9	41	184.8	3.8	11.1	191	4.6	261	4.1	58.9	13.6	75	588	86	14.5	16.3	111	3603
三重B	19.1	11.8	25	81.2	3.2	8.7	187	9.0	286	4.4	119.6	40.2	91	590	99	14.1	7.1	35	1051
北海道A	18.6	7.9	81	164.8	4.7	14.1	198	6.2	280	4.0	83.3	23.5	92	587	88	8.7	9.8	86	2934
三重C	18.5	11.3	21	46.8	2.6	8.4	204	13.6	178	4.9	120.9	47.7	102	730	103	10.2	6.2	23	1898
岩手A	17.7	7.3	140	325.1	8.4	18.7	167	9.2	305	9.3	87.9	16.8	66	537	89	14.0	107.0	1675	4376
三重A	17.5	9.8	19	71.7	2.7	7.4	191	8.2	266	4.0	104.8	30.8	80	560	91	11.6	6.7	35	876
茨城C	17.5	7.6	42	63.5	3.4	12.2	221	3.0	180	4.2	81.5	25.9	87	694	90	7.9	5.2	31	4102
岡山B	16.8	9.8	70	91.7	5.9	18.7	263	9.4	130	4.7	135.9	28.7	110	1158	128	9.8	7.1	66	1980
北海道C	16.7	6.5	59	131.4	3.6	11.3	185	4.5	237	3.9	78.8	21.3	83	583	85	8.0	8.3	67	3201
岡山A	16.3	8.0	79	111.0	6.8	20.8	217	10.9	135	4.6	118.1	26.8	95	752	108	8.9	10.0	87	2851
熊本A	16.1	8.7	13	24.6	2.3	8.0	157	6.2	80	4.5	77.5	52.2	74	491	71	6.3	6.1	12	6896
北海道D	15.8	7.1	48	132.3	4.7	15.0	192	4.1	188	4.4	76.1	18.5	72	616	88	10.3	16.6	114	3198
岡山D	15.8	7.9	97	101.9	8.8	28.2	228	7.5	116	4.1	93.8	20.9	84	774	97	7.9	9.0	72	2971
福岡A	15.3	7.9	50	79.7	4.0	14.8	133	9.0	129	4.6	74.6	53.1	78	364	63	6.9	7.2	37	2756
岡山C	15.1	7.7	77	101.1	7.3	24.3	201	5.7	116	3.9	95.8	22.7	84	783	85	7.2	7.6	51	3146
滋賀A	14.8	5.4	68	295.9	3.2	5.9	92	10.2	329	4.1	51.0	11.5	39	271	39	16.1	28.4	204	3426
新潟A	14.1	9.3	175	171.0	10.7	33.2	235	8.9	202	5.9	115.7	33.0	105	847	119	11.1	22.1	181	5851
茨城J	13.8	6.3	31	42.0	2.9	10.6	124	1.6	59	2.7	54.6	17.3	60	416	56	4.8	4.0	21	1516
茨城D	13.6	7.0	24	61.0	2.5	9.1	174	9.4	230	3.2	64.9	24.9	70	540	62	5.8	4.0	21	3671
大分A	12.1	7.2	35	95.9	3.3	9.8	160	15.0	200	3.4	73.1	19.2	61	550	68	8.0	6.6	42	4402
茨城F	11.3	5.6	16	45.8	2.1	7.4	98	9.5	115	2.9	45.0	20.7	49	330	40	4.3	3.7	13	2814
北海道B	11.2	5.1	19	21.7	2.1	7.7	147	2.9	80	2.5	52.1	15.4	54	390	60	4.5	2.7	11	4824
青森B	10.9	7.0	60	45.2	6.8	22.3	211	4.0	78	3.3	103.0	23.6	81	566	99	6.7	4.1	24	2730
秋田B	10.5	5.0	73	240.4	6.4	13.1	139	7.3	293	4.3	45.7	9.0	48	382	57	8.8	21.8	237	1977
北海道E	10	3.9	52	167.5	4.7	12.2	97	4.8	220	4.8	38.3	9.0	35	285	39	7.7	38.7	230	3951
栃木A	10	6.4	6	13.8	1.2	2.8	115	5.8	373	2.6	58.3	17.9	52	401	45	6.1	2.9	7	947
福島B	9.1	5.4	13	54.6	1.4	3.6	122	2.6	289	2.2	52.9	11.3	49	392	57	7.2	4.4	33	1197
鹿児島A	8.8	5.6	32	21.1	2.8	9.2	164	2.1	40	2.5	67.2	14.8	63	415	80	6.1	2.0	14	1813
福井B	8.6	4.8	14	32.6	1.6	5.1	98	6.6	184	2.2	44.8	15.9	48	345	47	4.4	3.1	13	821
福島A	8.5	4.9	37	103.7	2.9	7.5	130	2.9	201	2.6	50.0	10.3	48	393	50	5.8	8.8	77	2367
愛媛A	8.1	3.8	26	36.1	2.6	8.0	91	3.2	87	2.3	39.4	11.0	37	287	37	3.4	3.6	15	2479
三重E	7.6	5.4	7	16.0	1.5	3.1	118	7.3	170	2.1	67.0	19.3	46	359	61	7.3	2.1	10	
青森A	7.3	4.4	27	33.4	2.6	7.6	137	2.4	171	2.2	57.8	15.4	43	329	55	4.7	3.1	17	5326
愛媛B	7.3	4.8	18	32.4	1.9	5.8	133	7.0	73	2.4	50.7	13.4	45	360	47	4.6	2.8	16	1556
茨城E	6.9	5.9	26	61.9	2.8	10.3	105	5.0	170	3.9	45.7	29.2	51	314	42	5.0	5.3	21	3788
福井A	5.7	3.3	4	16.5	0.8	1.9	76	3.6	216	1.4	31.6	8.1	34	250	32	3.5	2.3	7	353
広島A	5.7	4.1	16	11.1	1.3	4.1	99	6.6	27	1.9	46.2	10.5	42	364	48	4.0	1.4	9	385
広島B	5.4	4.0	12	11.5	1.4	4.2	105	6.9	25	1.9	44.0	9.9	41	331	43	3.6	1.6	8	347
茨城H	5.2	3.6	9	26.7	1.0	2.6	78	3.3	256	1.8	28.1	11.3	29	178	28	5.0	2.4	9	1649
茨城I	4.7	2.9	17	37.3	1.3	4.3	62	1.1	94	1.7	26.6	7.1	27	193	27	2.5	3.6	18	1707
石川A	4.6	3.1	25	34.6	2.0	7.0	68	1.6	55	1.2	13.5	5.9	30	259	27	2.0	2.3	10	1957
茨城G	4	2.1	4	20.2	0.9	2.1	100	2.0	203	1.2	16.1	6.6	14	100	14	3.3	1.6	5	2412
鹿児島C	3.8	2.4	13	15.1	1.3	3.8	64	1.5	26	1.6	25.6	7.8	27	206	29	2.8	1.8	8	1883
福岡C	3.1	1.9	15	44.3	1.5	6.2	67	1.2	119	1.2	8.4	6.2	9	48	6	1.9	3.0	12	1957
愛媛C	2.8	2.0	18	13.5	2.4	7.5	57	2.7	21	1.2	23.5	5.4	21	170	22	2.0	1.2	6	4620
鹿児島B	2.7	1.6	3	5.6	0.5	1.3	57	0.8	20	0.9	15.3	5.1	14	112	13	1.5	1.4	4	2525
沖縄A	2.4	2.2	3	2.7	0.4	0.9	68	3.0	17	0.8	22.8	5.2	18	144	22	2.4	0.5	3	1081

: 上位1~10番目の土壤
 : 上位11~20番目の土壤
 : 下位1~10番目の土壤
 : 下位11~20番目の土壤

*土壤試料の並びは除草剤AのKd値の降順で示した。

の生育量を調査した。この生育量と土壤吸着の強弱との相関性を調べた。

試験結果

(1) 除草剤の土壤吸着係数 (Kd)

土壤吸着係数 (Kd) は、その数値が大きいほど土壤に対する除草剤の吸着が強く、反対に数値が小さいほど吸着が弱いことを意味する。

ある水稲用除草剤を用いて土壤吸着性を評価した結果の一例を図-1に示した。土壤吸着係数 (Kd) は土壤によって大き

く異なり、最小と最大の土壤では数十倍の差が認められた。除草剤によって異なるが、土壤吸着係数 (Kd) が最小と最大の土壤では数十~数百倍の差があった。

数種の除草剤を用いて土壤吸着性を評価した結果を表-2に示した。除草剤の種類によらず、宮城A、新潟Aなどの土壤は極端に強い吸着を示し、沖縄A、鹿児島Cなどの土壤は極端に弱い吸着を示した。このように比較的多くの除草剤に対して常に強い吸着を示す土壤、あるいは常に弱い吸着を示す土壤があることが判ってきた。

一方で、除草剤によって吸着の強弱

が大きく変化する土壤もまた存在することが判ってきた。例えば、三重D土壤は、除草剤A、C~F、H~K、P~Sでは強い吸着性を示すが、除草剤G、L~Nでは逆に弱い吸着性を示した。また、薬効薬害試験の結果と照らし合わせた場合、この土壤吸着性との間に関連性が示唆されるような土壤が多数認められた。圃場試験において除草剤の効果発現が弱い場所の土壤は、推測どおり土壤吸着性も極端に強いことが確認できたケースもある。さらには、大まかな傾向としてではあるが除草剤の化学構造が近いほど土壤に対する吸着の強弱パターン

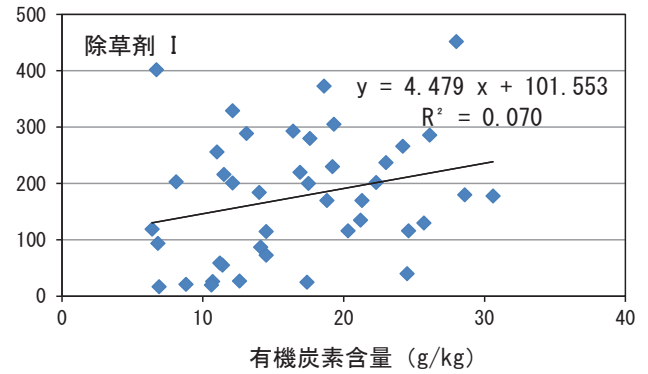
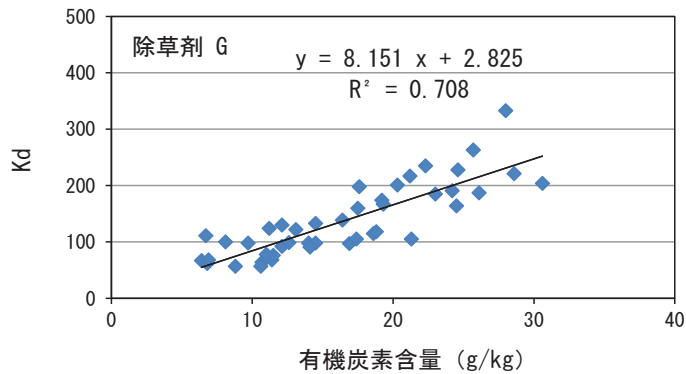


図-2 除草剤の土壌吸着係数 (Kd) と有機炭素含量との相関関係の違い

が似ていることが判ってきた。

(2) 土壌の物理化学性と土壌吸着係数との相関関係

図-2は土壌吸着係数 (Kd) と有機炭素含量との相関関係を除草剤 G と除草剤 I で比較した例である。除草剤 G では、有機炭素含量と土壌吸着係数 (Kd) の相関関係は $R^2 = 0.708$ となり、正の相関関係 (有機炭素含量が高いほど吸着が強くなる傾向) が認められたが、一方の除草剤 I では相関関係は認められなかった。このように土壌の物理化学性と土壌吸着係数 (Kd) との相関関係は除草剤によって大きく異なり、除草剤 G の例のように相関関係を検討していく中で除草剤の吸着特性が顕著に認められる場合がある。

(3) 雑草の生育量と土壌吸着の強弱との関係

土壌吸着係数 (Kd) の異なる土壌を数種選び、土壌吸着試験と同様に被験

物質を添加して 20 時間吸着振とうしたものにヒメタイヌビエ雑草種子を投入して生育抑制効果を比較した。その結果、土壌吸着係数 (Kd) の大きい土壌ほどヒメタイヌビエの平均茎葉長も大きくなる傾向が見られた (図-3)。ヒメタイヌビエの平均茎葉長と土壌吸着係数 (Kd) の相関係数は $R^2 = 0.897$ であり、有意な相関関係 (吸着が強いほど効果が弱くなる傾向) が認められた (図-4)。

おわりに

当協会では、この土壌吸着性試験を農業会社から受託し、非公開試験として実施している。この場合、希望があれば基本土壌種以外の土壌についても一緒に評価することが可能である。この土壌吸着性試験は、試験圃場から得られる効果発現や被害発生の結果に対して土壌吸着性の観点から考察するための有効な手段の一つであり、除草剤

の開発あるいは普及の過程で非常に役立つ情報の一つであると考えている。土壌吸着性試験の基本土壌 40 種は、強い吸着を示す土壌、逆に弱い吸着を示す土壌、あるいは除草剤によって吸着の強弱が変化する土壌を含み、土壌の物理化学性も考慮し、日本各地の試験圃場の土壌吸着性を把握できるように選抜してある。今後も継続して日本各地から土壌を収集して、保有する土壌の種類を増やし、必要に応じて基本土壌種の見直しも行っていく予定である。

引用文献

- 独立行政法人農林水産消費安全技術センター 2016. <http://www.famic.go.jp/>
- 伊藤操子 1993. 「雑草学総論」. 養賢堂, pp.178-237
- 金沢純 1992. 「農薬の環境科学」. 合同出版, pp.93-140.
- 経済協力開発機構 2016. <http://www.oecd.org/home/>
- 鎌塚昭三 1981. 4. 土壌中における農薬の移動・吸着. 日本土壌肥科学会編「土壌の吸着現象—基礎と応用—」. 博友社, pp.129-160.
- 農薬安全適性使用ガイドブック 2016. 全国農業協同組合.

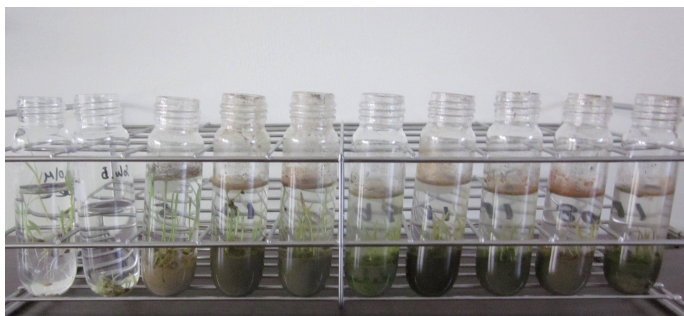


図-3 ヒメタイヌビエに対する生育抑制効果の比較試験結果
左から、塩化カルシウム溶液、除草剤試験溶液、土壌吸着係数大→小の土壌

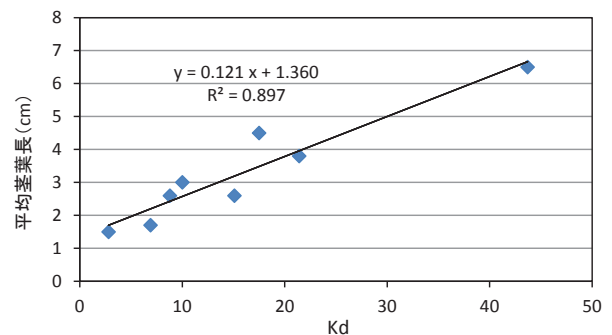


図-4 ヒメタイヌビエの平均茎葉長と除草剤の土壌吸着係数 (Kd) の相関関係