

**飼料及び堆肥に残留する除草剤(クロピラリド)の
簡易判定法と被害軽減対策マニュアル(第3版)**

解説集

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農業環境研究部門
畜産研究部門
野菜花き研究部門
宮崎県総合農業試験場



2022年10月

免責事項

本マニュアルは発行時点での情報に基づいて作成しています。農研機構および宮崎県総合農業試験場は、利用者が本マニュアルに記載された情報を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。

目次

はじめに	1
解説 1. 農作物のクロピラリド耐性の評価方法について	2
解説 2. 堆肥施用に伴う全国の土壌中クロピラリド濃度分布の推定方法と堆肥施用前に生物検定や残留分析を行えない場合の堆肥施用量の目安	8
解説 3. 残留分析により堆肥中クロピラリド濃度を得了場合の堆肥施用量について .	14
解説 4. 戻し堆肥利用に伴う堆肥中のクロピラリド蓄積について	20

はじめに

クロピラリドによる生育障害発生を防止するため、農研機構らが主体となり、「飼料及び堆肥に残留する除草剤（クロピラリド）の簡易判定法と被害軽減対策マニュアル」（以下「マニュアル」と略記）を作成・公開してきました。これまでに、新たに得られた研究成果や農林水産省 7 課長通知「牛等の排せつ物に由来する堆肥中のクロピラリドが原因と疑われる園芸作物等の生育障害の発生への対応について」（平成 28 年 12 月 27 日制定。以下「7 課長通知」）に記載されている情報を速やかに盛り込み、マニュアルを改訂してきました。今回のマニュアル（第 3 版）では、クロピラリド対策として重要な事項や計算を伴った事項について、解説集（本書）を追加で作成・公開することにしました。

行政機関を通じた公設試、農業生産団体等による生産現場への指導や説明に活用していただけると幸いです。

解説 1. 農作物のクロピラリド耐性の評価方法について(マニュアル 7 ページ)

これまでに、農作物のクロピラリドに対する耐性を評価してきましたが、マニュアル中に示された作物のクロピラリドに対する耐性の評価方法は明確に示していませんでした。ここでは、マニュアル（第2版と第3版）において供試した農作物のクロピラリドに対する耐性の評価方法について解説します。

供試作物：

野菜・穀類： トマト、中玉トマト、ミニトマト、ナス、ピーマン、シシトウ、サヤエンドウ、エダマメ、ソラマメ、リョクトウ、シュンギク、結球レタス、リーフレタス、キュウリ、ニガウリ、ズッキーニ、オクラ、セロリ、ニンジン、ダイコン、キャベツ、ハクサイ、コマツナ、ホウレンソウ、サツマイモ、イチゴ、ニラ、オオムギ

花き類： ペチュニア、スイートピー、クリムソンクローバー、輪ギク、スプレーギク、ヒマワリ、マリーゴールド、コスモス、ヒャクニチソウ、アスター、ガーベラ、ダリア、ケイトウ、リンドウ、トルコギキョウ、パンジー、ラナンキュラス、デルフィニウム、ナデシコ、キンギョソウ、ニチニチソウ、ストック、サルビア、ベゴニア、プリムラ、インパチエンス

試験方法：

市販培養土（くみあいニッピ園芸培土1号）に、土壌中濃度が0、1、5、25 µg/kg-DW となるようにクロピラリドを添加した堆肥を混和（培養土：堆肥=99：1、1t/10a 施肥相当）した土壌で栽培しました。クロピラリドのポットからの溶出を防ぐため、底面給水もしくは底穴が無いポットの場合は上部からの灌水としました。野菜、花きの栽培条件については、表 1-1 および表 1-2 に示しています。

耐性の評価方法：

栽培期間と栽培終了時におけるクロピラリドによる生育障害の程度（形態等に及ぼす影響）を表 1-3 に示した評価基準に従って5段階評価しました。次いで、表 1-4 に示した判断基準に基づき、クロピラリド耐性を「極弱」から「極強」までの5段階に分類しました（表 1-5 と表 1-6）。生育障害の症状については、

「野菜・花きの初期生育に及ぼす影響・データ集（第2版）」

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/155030.html
に示しています。

表 1-1 供試作物および栽培条件（野菜類）

試験作物	品種	栽培条件				
		施設	1濃度区あたり ポット数	定植時葉数	温度 (明期/暗期)	栽培日数
ナス科						
トマト	りんか409	人工気象室	4	本葉2-3葉期	25°C/20°C	28日
トマト	桃太郎8	人工気象室	4	本葉2葉期	25°C/20°C	28日
中玉トマト	フルティカ	人工気象室	4	本葉1-2葉期	25°C/20°C	28日
ミニトマト	アイコ	人工気象室	4	本葉2葉期	25°C/20°C	28日
ミニトマト	キャロル7	人工気象室	4	本葉2-3葉期	25°C/20°C	28日
ミニトマト	千果	人工気象室	4	本葉2-3葉期	25°C/20°C	28日
ナス	千両二号	人工気象室	4	本葉1-2葉期	25°C/20°C	28日
ナス	筑陽	人工気象室	4	本葉2葉期	25°C/20°C	28日
ピーマン	京鈴	硬質フィルムハウス	4	本葉11葉期	平均気温：22°C	38日
シシトウ	葵シシトウ	硬質フィルムハウス	4	本葉11葉期	平均気温：22°C	38日
マメ科						
サヤエンドウ	ニムラサラダスナップ	耐候性ハウス	4	直播	無加温	28日（9-11月）
エダマメ	湯あがり娘	耐候性ハウス	4	直播	無加温	28日（9-11月）
ソラマメ	陵西一寸	耐候性ハウス	4	直播	無加温	28日（9-11月）
リョクトウ	（品種不詳）	人工気象室	4	直播	25°C/25°C	28日
キク科						
シュンギク	さとゆたか	人工気象室	4	本葉2葉期	20°C/15°C	28日
結球レタス	スターレイ	人工気象室	4	本葉4葉期	20°C/15°C	28日
リーフレタス	レッドファイヤー	人工気象室	4	本葉3葉期	20°C/15°C	28日
ウリ科						
キュウリ	千秀2号	硬質フィルムハウス	4	本葉2葉期	平均気温：22°C	39日
ズッキーニ	KZ-2	耐候性ハウス	4	本葉2葉期	20°C設定	28日（9-10月）
ニガウリ	あばしゴーヤ	人工気象室	4	本葉2葉期	25°C/25°C	28日
アオイ科						
オクラ	アーリーファイブ	人工気象室	4	本葉2葉期	25°C/25°C	28日
セリ科						
セロリ	新コーネル619号	人工気象室	4	本葉3葉期	20°C/15°C	42日
ニンジン	向陽二号	人工気象室	4	直播	20°C/20°C	70日
アブラナ科						
ダイコン	耐病総太	耐候性ハウス	4	直播	20°C設定	28日（9-10月）
キャベツ	彩里	耐候性ハウス	4	本葉3葉期	20°C設定	28日（9-10月）
ハクサイ	晴黄60	人工気象室	4	本葉3葉期	20°C/15°C	28日
コマツナ	よかった菜	人工気象室	4	直播	20°C/15°C	42日
ヒユ科						
ホウレンソウ	サブライズ7	耐候性ハウス	4	直播	20°C設定	28日（9-10月）
ヒルガオ科						
サツマイモ	宮崎紅	耐候性ハウス	4	本葉4-5葉期	20°C設定	28日（8-9月）
バラ科						
イチゴ	さがほのか	耐候性ハウス	4	本葉6葉期	20°C設定	28日（10-11月）
ヒガンバナ科						
ニラ	ワンダーグリーンベルト	耐候性ハウス	4	直播	20°C設定	28日（8-9月）
イネ科						
オオムギ	ハヤドリ2	人工気象室	4	直播	20°C/20°C	35日

表 1-2 供試作物および栽培条件（花き類）

試験作物	品種	栽培条件				
		施設	1濃度区あたりポット数	定植時葉数	温度 (最低加温/換気)	栽培日数
ナス科						
ベチュニア	バカラ マジェンタ	プラスチックハウス	24	本葉6葉展開	25℃換気	24日
マメ科						
スイートピー	ステラ	硬質フィルムハウス	4	直播	平均気温:17.2℃	29日
クリムソクローバー	ストロベリートーチ	プラスチックハウス	12	直播	15℃加温/25℃換気	38日
キク科						
輪ギク	精興の誠	プラスチックハウス	12	本葉6-8枚展開	15℃加温/25℃換気	65日
スプレーギク	レーガンエリート トミーピンク	プラスチックハウス	12	本葉6-9枚展開	15℃加温/25℃換気	59日
ヒマワリ	F ₁ サンリッチ フレッシュレモン	プラスチックハウス	12	直播	15℃加温/25℃換気	54日
マリーゴールド	デュランゴ イエロー	プラスチックハウス	12	本葉2枚展開	25℃換気	35日
コスモス	ベルサイユ ピンク	プラスチックハウス	12	本葉2対展開	15℃加温/25℃換気	35日
ヒャクニチソウ	F ₁ ドリームランド スカーレット	プラスチックハウス	12	本葉2対展開	15℃加温/25℃換気	46日
アスター	ステラ スカーレット	プラスチックハウス	12	本葉2枚展開	15℃加温/25℃換気	35日
ガーベラ	フェスティバル ゴールデンイエロー	プラスチックハウス	27	本葉1対展開	15℃加温/25℃換気	131日
ダリア	黒蝶	耐候性ハウス	4	本葉7葉期	20℃設定	28日 (9 - 10月)
ヒユ科						
ケイトウ	きもの スカーレット	プラスチックハウス	15	本葉3対展開	25℃換気	32日
リンドウ科						
リンドウ	安代の秋	プラスチックハウス	12	本葉4対展開	25℃換気	211日
トルコギキョウ	レイナ ホワイト	プラスチックハウス	12	本葉2対展開	15℃加温/25℃換気	49日
スミレ科						
パンジー	よく咲くスミレ パイナップル	プラスチックハウス	12	本葉3-4枚展開	15℃加温/25℃換気	41日
キンポウゲ科						
ランタンキュラス	ガーネット	耐候性ハウス	4	本葉15葉期	20℃設定	28日 (10 - 11月)
デルフィニウム	ベガサス	耐候性ハウス	4	本葉10葉期	20℃設定	28日 (10 - 11月)
ナデシコ科						
ナデシコ	ダイアナ ブルーベリー	プラスチックハウス	15	本葉3対展開	15℃加温/25℃換気	51日
オオバコ科						
キンギョソウ	フローラルシャワー イエロー	プラスチックハウス	12	本葉3対展開	5℃加温/25℃換気	61日
キョウチクトウ科						
ニチニチソウ	エクエイター ローズ	プラスチックハウス	24	本葉2対展開	25℃換気	36日
アブラナ科						
ストック	ベイビー ローズ	プラスチックハウス	26 - 29 (八重咲き個体)	本葉2対展開	15℃加温/25℃換気	48日
シソ科						
サルビア	モハベ レッド	プラスチックハウス	15	本葉3対展開	25℃換気	30日
シュウカイドウ科						
ベゴニア	アンバサダースカーレット	プラスチックハウス	14 - 15	本葉4対展開	25℃換気	27日
サクラソウ科						
プリムラ	セブンティー ブライトローズ	プラスチックハウス	24	本葉6葉展開	5℃加温/25℃換気	89日
ツリフネソウ科						
インパチエンス	スーパーエルフィンXP オレンジブライト	プラスチックハウス	14 - 15	本葉4対展開	25℃換気	27日

表 1-3 作物の初期生育に及ぼすクロピラリドの影響評価基準

判断目安	評価基準
正常に生育（症状なし）	
疑わしい症状が観察された後、回復 栽培条件によっては症状が現れる可能性あり	
疑わしい症状あり 栽培条件によっては明確な症状あり	
単一の症状のみ（種類は問わない）	
複数の症状または生育上致命的な症状あり	

表 1-4 生育障害の程度の判定に基づくクロピラリド耐性に関する判断基準

クロピラリド耐性	判断基準
極弱	土壌中濃度1 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に緑色－赤色の判定が付く
	土壌中濃度5 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に赤色の判定が付く
弱	土壌中濃度5 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に黄色－オレンジ色の判定が付く
	土壌中濃度25 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に赤色の判定が付く
中	土壌中濃度5 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に緑色の判定が付く
	土壌中濃度25 $\mu\text{g}/\text{kg-DWI}$ に緑色－オレンジ色の判定が付く
強	全ての土壌中濃度に対して水色の判定が付く
極強	国外でクロピラリドが除草剤として適用がある作物

極弱から中については、判断基準の2つの事項のうち1つ以上を満たす場合

表 1-5 野菜のクロピラリド耐性

供試作物	品種	土壌中クロピラリド濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg-DW}$)				クロピラリド 耐性
		0	1	5	25	
ナス科						
トマト	りんか409	■	■	■	■	極弱
トマト	桃太郎8	■	■	■	■	極弱
中玉トマト	フルティカ	■	■	■	■	極弱
ミニトマト	アイコ	■	■	■	■	極弱
ミニトマト	キャロル7	■	■	■	■	極弱
ミニトマト	千果	■	■	■	■	極弱
ナス	千両二号	■	■	■	■	弱
ナス	筑陽	■	■	■	■	弱
ピーマン	京鈴	■	■	■	■	弱
ピーマン	みやざきグリーン	■	■	■	■	弱
シシトウ	葵ししとう	■	■	■	■	弱
マメ科						
サヤエンドウ	ニムラサラダスナップ	■	■	■	■	極弱*
エダマメ	湯上がりむすめ	■	■	■	■	極弱
ソラマメ	陵西一寸	■	■	■	■	極弱
リョクトウ	【品種不詳】	■	■	■	■	中
キク科						
シュンギク	さとゆたか	■	■	■	■	弱**
結球レタス	スターレイ	■	■	■	■	弱
リーフレタス	レッドファイヤー	■	■	■	■	弱
ウリ科						
キュウリ	千秀2号	■	■	■	■	中
ニガウリ	あばしゴーヤ	■	■	■	■	中
ズッキーニ	KZ-2	■	■	■	■	中
アオイ科						
オクラ	アーリーファイブ	■	■	■	■	中
セリ科						
セルリー	新コーネル619号	■	■	■	■	弱
ニンジン	向陽二号	■	■	■	■	極弱
アブラナ科						
ダイコン	耐病総太	■	■	■	■	強
キャベツ	彩里	■	■	■	■	強
ハクサイ	晴黄60	■	■	■	■	強
コマツナ	よかった菜	■	■	■	■	強
ヒユ科						
ホウレンソウ	サブライズ7	■	■	■	■	強
ヒルガオ科						
サツマイモ	宮崎紅	■	■	■	■	強
バラ科						
イチゴ	さがほのか	■	■	■	■	強
ヒガンバナ科						
ニラ	ワンダーグリーンベルト	■	■	■	■	強
イネ科						
オオムギ	ハヤドリ2	■	■	■	■	極強

*影響評価の結果からは弱だが、品種、栽培条件による変動も考慮し、マニュアル初版に従い極弱とした。

**影響評価の結果からは中だが、品種、栽培条件による変動も考慮し、マニュアル初版に従い弱とした。

表 1-6 花きのクロピラリド耐性

供試作物	品種	土壌中クロピラリド濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg-DW}$)				クロピラリド 耐性
		0	1	5	25	
ナス科						
ベチュニア	バカラ マジェンタ	Blue	Blue	Yellow	Red	弱
マメ科						
スイートピー	ステラ	Blue	Yellow	Red	Red	極弱
スイートピー	ロイヤルホワイト	Blue	Yellow	Red	Red	極弱
スイートピー	ロイヤルローズピンク	Blue	Yellow	Red	Red	極弱
クリムゾンクローバー	ストロベリートーチ	Blue	Yellow	Red	Red	極弱
キク科						
キク(輪ギク)	精興の誠	Blue	Blue	Blue	Red	弱
キク(スプレーギク)	レーガンエリート トミーピンク	Blue	Yellow	Yellow	Red	極弱
ヒマワリ	F1サンリッチ フレッシュレモン	Blue	Blue	Yellow	Red	弱
マリーゴールド	デュランゴ イエロー	Blue	Blue	Red	Red	極弱
コスモス	ベルサイユ ピンク	Blue	Blue	Red	Red	極弱
ヒャクニチソウ	F1ドリームランド スカーレット	Blue	Blue	Blue	Red	弱
アスター	ステラ スカーレット	Blue	Blue	Yellow	Red	極弱*
ガーベラ	フェスティバル ゴールデンイエローアイ	Blue	Blue	Blue	Red	弱
ダリア	黒蝶	Blue	Red	Red	Red	極弱
ヒユ科						
ケイトウ	きもの スカーレット	Blue	Blue	Red	Red	極弱
リンドウ科						
リンドウ	安代の秋	Blue	Blue	Blue	Yellow	中
トルコギキョウ	レイナ ホワイト	Blue	Blue	Blue	Blue	強
スマレ科						
パンジー	よく咲くスマレ パイナップル	Blue	Blue	Blue	Blue	強
キンポウゲ科						
ラナンキュラス	ガーネット	Blue	Blue	Blue	Blue	強
デルフィニウム	ペガサス	Blue	Blue	Blue	Blue	強
ナデシコ科						
ナデシコ	ダイアナブルーベリー	Blue	Blue	Blue	Blue	強
オオバコ科						
キンギョソウ	フローラルシャワーイエロー	Blue	Blue	Blue	Blue	強
キョウチクトウ科						
ニチニチソウ	エクエイターローズ	Blue	Blue	Blue	Blue	強
アブラナ科						
ストック	ベイビーローズ	Blue	Blue	Blue	Blue	強
シソ科						
サルビア	モハベレッド	Blue	Blue	Blue	Blue	強
シュウカイドウ科						
ベゴニア	アンバサダー スカーレット	Blue	Blue	Blue	Blue	強
サクラソウ科						
プリムラ	セブンティープライトローズ	Blue	Blue	Blue	Blue	強
ツリフネソウ科						
インパチエンス	スーパーエルフィンXP オレンジブライ	Blue	Blue	Blue	Blue	強

*影響評価の結果からは弱だが、品種、栽培条件による変動も考慮し、マニュアル初版に従い極弱とした。

解説 2. 堆肥施用に伴う全国の土壌中クロピラリド濃度分布の推定方法と
堆肥施用前に生物検定や残留分析を行えない場合の堆肥施用量の目安
(マニュアル 56 ページ)

堆肥中クロピラリド全国調査結果等のデータを用いた土壌中クロピラリド濃度の推定方法と、それを基にした堆肥施用前に生物検定や残留分析を行えない場合の堆肥施用量の目安の算出方法について解説します。

土壌中クロピラリド濃度分布の計算式：

堆肥施用に伴う混和直後の土壌中クロピラリド濃度 ($C_{soil}(0)$, mg/kg-DW) は以下の式で表すことができます。

$$C_{soil}(0) = \frac{C_{comp} \cdot M_{comp}}{10^6 \cdot d_{soil} \cdot \rho_b + M_{comp}} \dots (1)$$

ここで、 C_{comp} :堆肥中クロピラリド濃度(g/ton-DW)、 M_{comp} :堆肥施用量(kg-DW/10a)、 d_{soil} :堆肥を混和する土壌深さ(作土 0.2 m に均一に分布すると仮定)、 ρ_b :土壌の仮比重(g/cm³)。土壌中濃度を $\mu\text{g/kg-DW}$ で評価するため、式 (1) で得られた濃度を 1000 倍します。通常は、これらのパラメータの算術平均値や最大値を入力して土壌中濃度を算出しますが、ここでは C_{comp} 、 M_{comp} 、 ρ_b に確率分布 [全国堆肥中クロピラリド濃度の分布、堆肥施用量の分布、国内農耕地土壌の仮比重の分布] を入力、モンテカルロシミュレーションを行うことで土壌中クロピラリド濃度分布を推定することができます (図 2-1)。堆肥中濃度の分布は農林水産省による全国の実態調査結果¹⁾を、堆肥施用量の分布については実測値を用い、土壌の仮比重の分布については土壌環境基礎調査²⁾の普通畑のデータを引用しました。

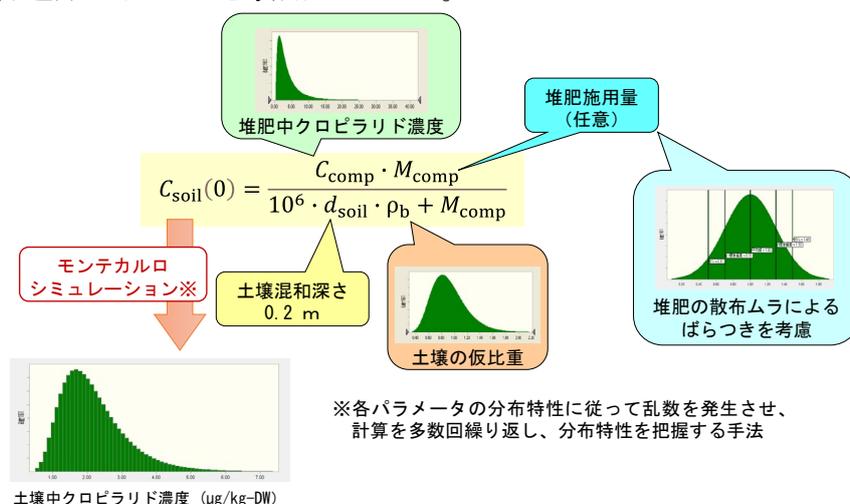


図 2-1 土壌中クロピラリド濃度分布の計算方法の流れ

堆肥中クロピラリド濃度の分布：

農林水産省により全国から採取された堆肥中のクロピラリド濃度の実態調査結果が公開されています¹⁾。そのデータを解析し、全国の牛ふん堆肥中クロピラリド濃度の確率分布はガンマ分布を仮定できること、平均値は42 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ であることが分かりました（図 2-2）。

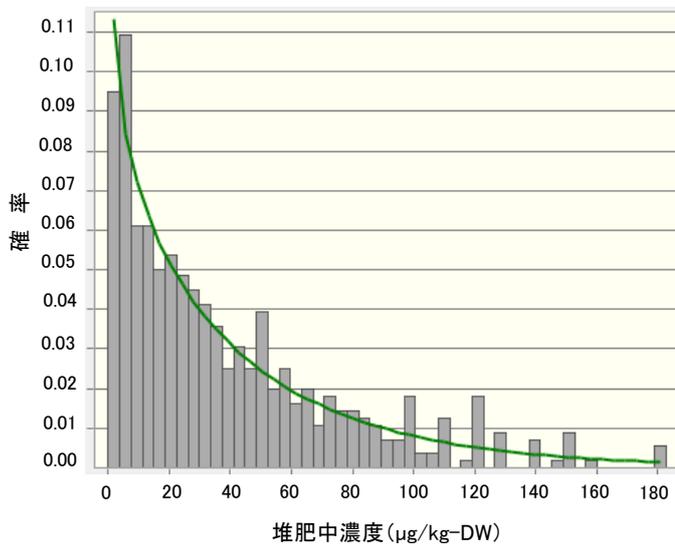


図 2-2 全国牛ふん堆肥中クロピラリド濃度のヒストグラム

堆肥施用量の分布：

堆肥の散布ムラの程度を把握するために、堆肥を1 t/10aと5 t/10aで散布した場合の1区画（1 m×1 m）あたりの堆肥量について調査しました。その結果、堆肥の散布ムラ（施用量のばらつき）はおおむね正規分布を仮定できることや、堆肥量の変動係数は1 t/10aの場合17.5%、5 t/10aの場合33.3%であることがわかりました（図 2-3）。

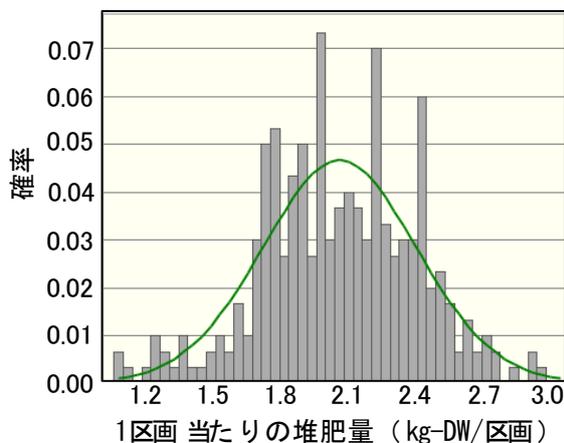


図 2-3 堆肥を散布した場合の1区画（1m×1m）あたりの堆肥量の分布（5 t/10aで施用した場合、図中堆肥量は乾燥重あたり）

土壤中濃度分布の推定：

前述の全国調査による堆肥中濃度の分布、堆肥施用量の分布、および国内農耕地土壌（普通畑 黒ボク土）の仮比重の分布を式 (1) に入力し、モンテカルロシミュレーションを行い土壌中クロピラリド濃度分布の推定した結果を図 2-4 に示しています。

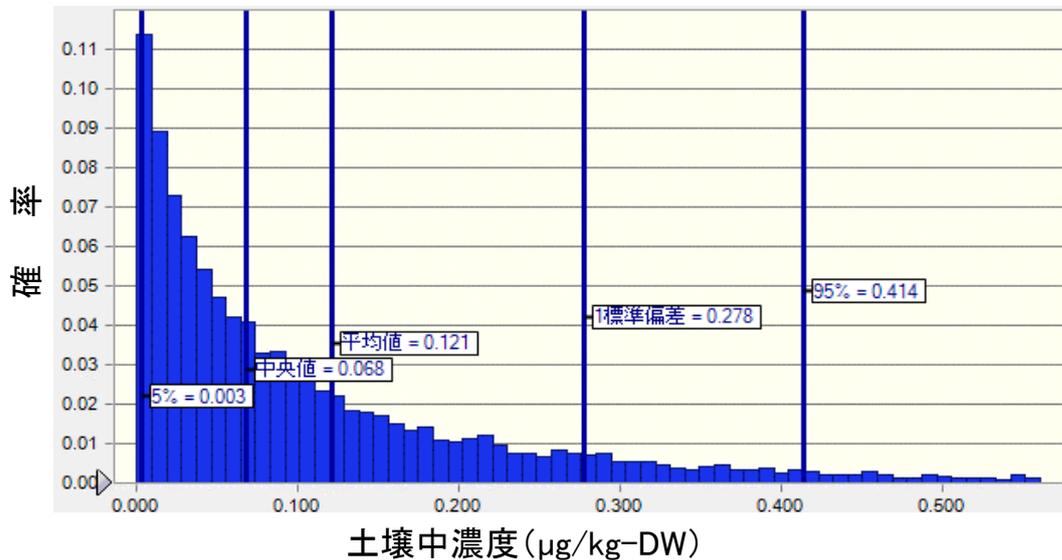


図 2-4 推定した全国土壌中クロピラリド濃度分布
(堆肥 1t /10a 施用の場合)

土壤中クロピラリド濃度の管理目標値の設定：

次に、生育障害が発生しないであろう土壌中クロピラリド濃度、すなわち、土壌中クロピラリド濃度の管理目標値について検討しました。原則、農作物のクロピラリド耐性を評価する試験（表 1-5 と表 1-6）で確認された最大無影響濃度を管理目標値としました。耐性が「極弱」、「弱」、「中」および「強」の作物の土壌中クロピラリドの最大無影響濃度はそれぞれ、不明、1、5、25 µg/kg-DW となります。ただし、「強」については、クロピラリドの作物残留を考慮し、5 µg/kg-DW としました。また、「弱」および「中」の最小影響濃度はそれぞれ 5、25 µg/kg-DW であり、最小影響濃度に安全係数 1/5 を乗ずることで最大無影響濃度と一致します。この考え方に従い、「極弱」の管理目標値を 0.2 µg/kg-DW としました（表 2-2）。

表 2-2 クロピラリドの耐性に応じた土壌中クロピラリド濃度の
管理目標値 (µg/kg-DW)

耐性	極弱	弱	中	強
土壌の 管理目標値	0.2	1	5	5

推定した土壤中クロピラリド濃度が管理目標値を超過するのか？：

推定した土壤中クロピラリド濃度は確率分布であるため、濃度の上限が無限大になってしまいます。そこで、土壤中クロピラリド濃度の上限を土壤中クロピラリド濃度分布の95%tile値として、土壤中クロピラリド濃度の管理目標値を超過するか否かを確認しました。

その結果、堆肥施用量が0.5t/10aから30t/10aの範囲において、土壤中クロピラリド濃度分布の95%tile値は極弱の作物の土壤中クロピラリド濃度の管理目標値を超過しました。また、弱の作物でも3t/10a以上の堆肥施用で土壤中クロピラリド濃度分布の95%tile値が管理目標値を超過することが分かりました。この結果は、極弱や弱の作物が多く含まれるナス科、キク科、マメ科などでは、堆肥施用に伴い生育障害が発生する可能性があることを示しています。したがって、堆肥施用前に生物検定や残留分析を行い生育障害が発生しないことを確認することが重要になります。

表 2-3 各堆肥施用量での推定土壤中クロピラリド濃度の95%tile値 (µg/kg-DW) と土壤中クロピラリド濃度の管理目標値の超過の有無

堆肥施用量 (t/10a)	推定土壤中濃度の95% tile値 (µg/kg-DW)	土壤管理目標値 (µg/kg-DW)		
		極弱	弱	中以上
		0.2	1	5
0.5	0.20	超過する	超過しない	超過しない
1	0.39	超過する	超過しない	超過しない
2	0.81	超過する	超過しない	超過しない
3	1.22	超過する	超過する	超過しない
5	1.89	超過する	超過する	超過しない
10	3.81	超過する	超過する	超過しない
30	11.04	超過する	超過する	超過する

堆肥施用可・不可の判断：

推定した土壤中クロピラリド濃度分布の 95%tile 値をリスク管理基準として、土壤の管理目標値を用いた堆肥施用可・不可の判断は以下のように行いました（図 2-5）。

施用可・・・リスク管理基準 < 土壤の管理目標値

施用不可・・・リスク管理基準 > 土壤の管理目標値

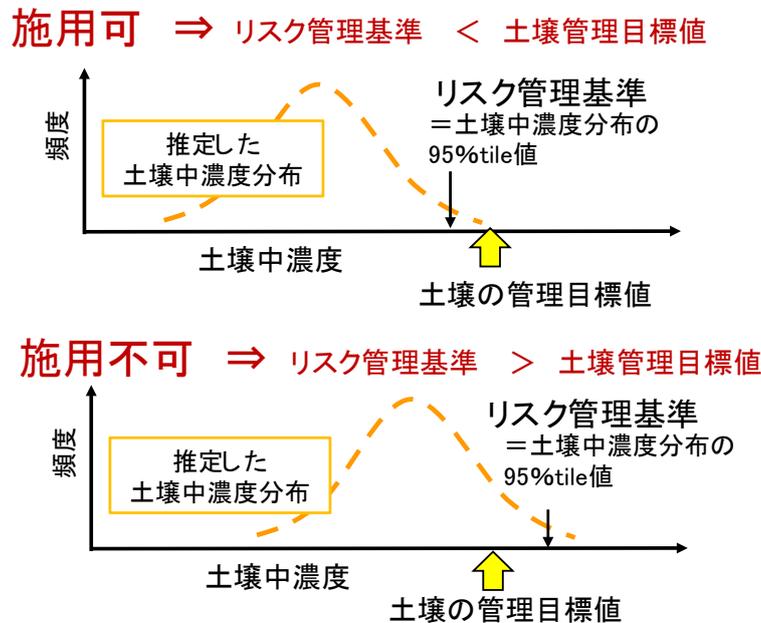


図 2-5 リスク管理基準と土壤中クロピラリド濃度の管理目標値を用いた堆肥施用可・不可の判断の概念図

堆肥施用前に生物検定や残留分析を行えない場合の堆肥施用量の目安：

堆肥施用前に生物検定や残留分析を行えない場合は、全国堆肥中クロピラリド濃度分布を基に土壤中クロピラリド濃度分布を推定し、堆肥施用量を決めることとなります。言い換えると、施用しようとする堆肥中クロピラリド濃度が分からないため、全国堆肥中クロピラリド濃度分布をあてはめるしかない、とも言えます。また、施設栽培を想定した室内での土壤中クロピラリドの半減期がおおむね 100 日（マニュアル 4 ページ）であることを考慮して、推定した土壤中クロピラリド濃度分布の 95%tile 値が土壤中クロピラリド濃度の管理目標値より小さい値（「極弱」：0.18 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「弱」：0.91 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「中」：4.55 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ ）を超えない堆肥施用量、すなわち施用可能な堆肥量の最大値を求めました。手順は以下のとおりです。

1. 堆肥施用量を 0.5～30 t/10a とした場合の推定土壤中クロピラリド濃度分布の 95%tile 値を得る（表 2-3）
2. 95%tile 値（X）と堆肥施用量（Y）の関係式を得る（図 2-6）

3. (X) に「極弱」：0.18 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「弱」：0.91 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「中」：4.55 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ を代入し、施用可能な堆肥量の最大値を算出する

その結果、堆肥施用量の目安は、「極弱」：0.48 t/10a、「弱」：2.45 t/10a、「中」：13.4 t/10a と算出されました。堆肥施用量は現物あたりの量です。これは、式 (1) を用いてシミュレーションをする際に、堆肥の水分含量を 60%と仮定して土壌中クロピラリド濃度を算出する式を作成しているためです。推定した土壌中クロピラリド濃度分布の 95%tile 値を使用しているため、堆肥施用量の目安より以下の場合であっても生育障害が発生する可能性があります。極弱や弱の作物が多く含まれるナス科、キク科、マメ科などでは、正確な堆肥施用量の把握に努めるとともに、堆肥施用前に生物検定や残留分析を行い生育障害が発生しないことを確認することが重要になります。また、「中」では 10 t/10a を超える堆肥量が算出されますが、都道府県の施用基準を順守してください。ここでは 3t / 10a を上限にしています。また、堆肥はムラなく施用するとともに、堆肥を散布した後は偏りが出ないように十分に土壌と混和するようにしてください。

なお、ポットによる苗生産で堆肥を混合する場合、混合割合が 10%であれば 11t/10a 程度、20%であれば 17t/10a 程度に相当するため（堆肥のかさ密度 0.5kg/L、堆肥以外の培土のかさ密度 0.75kg/L とした場合）、堆肥中クロピラリド濃度が低い場合も注意が必要です。

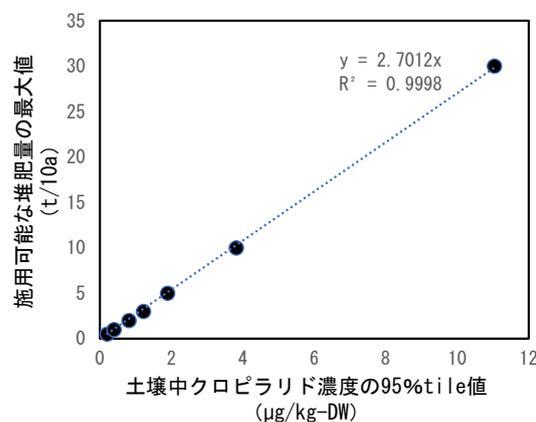


図 2-6 推定した土壌中クロピラリド濃度の 95%tile 値と堆肥施用量との関係

参考文献：

- 1) 農林水産省 輸入飼料中及び堆肥中に含まれるクロピラリドの調査結果について
- 2) 農林水産省 (1994-1998) 土壌環境基礎調査

解説3. 残留分析により堆肥中クロピラリド濃度を得た場合の 堆肥施用量について（マニュアル56ページ）

マニュアル第Ⅱ章に、残留分析により堆肥中クロピラリド濃度を得た場合の堆肥施用量を算出できる計算式を示しています。ここでは、その計算式を導くまでの過程について解説します。

土壌中クロピラリド濃度分布の計算式：

土壌中クロピラリド濃度分布を推定する計算式は、8ページの式(1)と同じです。また、土壌中クロピラリド濃度の管理目標値とリスク管理基準との比較についての考え方も同じです。しかし土壌中クロピラリド濃度分布を推定するための入力パラメータのうち、堆肥中のクロピラリド濃度分布のみが異なります。ここでは、全国堆肥中クロピラリド濃度分布ではなく、ストックヤードに保管されている堆肥中クロピラリド濃度分布を入力することになります。これは、1ロットを写真3-1のようなストックヤードに保管されている堆肥と仮定し、そのロット毎に残留分析を行うと想定したためです。



写真3-1 スtockヤードに保管されている堆肥の実例

堆肥中濃度の分布：

全国の堆肥製造場（のべ7地点）におけるストックヤードに保管されている堆肥中クロピラリド濃度分布を調査しました。堆肥を格子状にサンプリングを行い、混合せず、各々を分析することでクロピラリド濃度分布を得ました。その結果、各ストックヤードに保管されたクロピラリド濃度の平均値は 0.9 から 42.1 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、変動係数は 6.6%から 30.9%の範囲でした。クロピラリド濃度の確率分布は正規分布で近似できることを確認しました（図 3-1）。

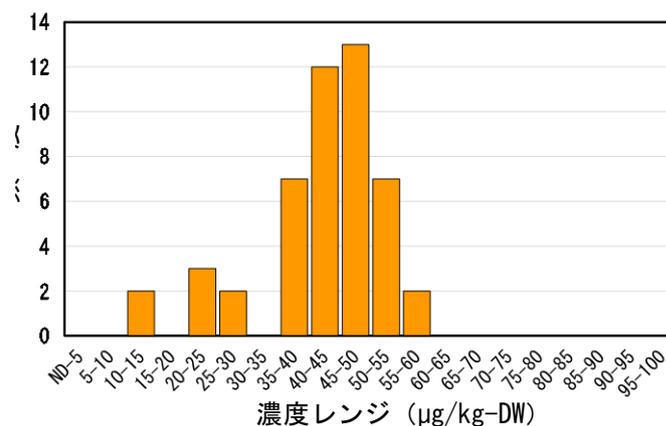


図 3-1 スtockヤードにおける堆肥中クロピラリド濃度分布の例

土壌中濃度分布の推定：

表 3-1 に示すパラメータを式 (1) に入力し、モンテカルロシミュレーション土壌中濃度分布を推定した結果を図 3-2 に示しています。なお、土壌の仮比重の分布については土壌環境基礎調査¹⁾の普通畑（黒ボク土）のデータを用いました。

表 3-1 土壌中クロピラリド濃度分布を推定するためのパラメータ
(堆肥中クロピラリド濃度が 42 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ の場合)

パラメータ	平均値	変動係数
堆肥中クロピラリド濃度	42 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$	30.9%
土壌の仮比重	0.75 g/cm^3	24.0%
堆肥施用量	1 t / 10 a	-
散布ムラ	-	30.0%

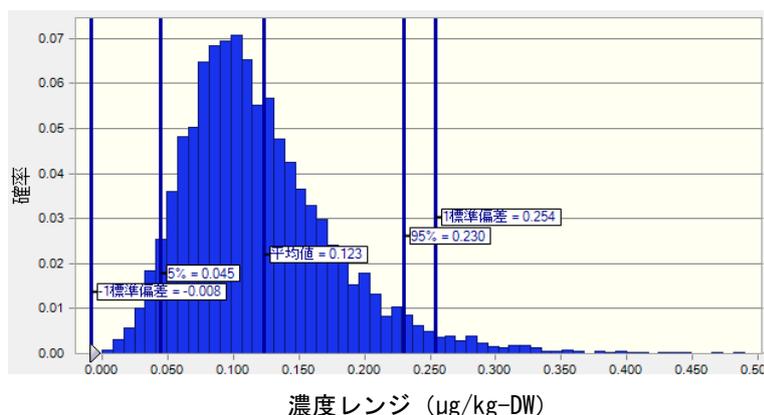


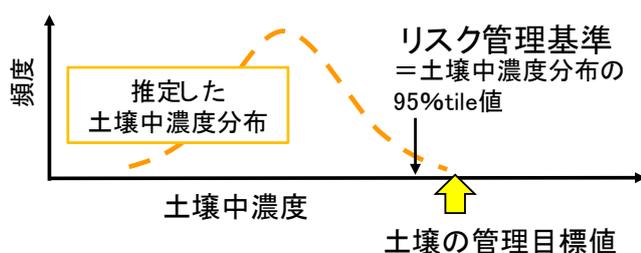
図 3-2 推定した土壌中クロピラリド濃度分布
(表 3-1 の条件で計算した場合)

堆肥施用可・不可の判断：

リスク管理基準を推定した土壌中クロピラリド濃度分布の 95%tile 値として、土壌の管理目標値を用いた堆肥施用可・不可の判断は以下のように行いました (図 3-3)。これは解説 2 と同じです。

- 施用可・・・リスク管理基準 < 土壌の管理目標値
- 施用不可・・・リスク管理基準 > 土壌の管理目標値

施用可 ⇒ リスク管理基準 < 土壌管理目標値



施用不可 ⇒ リスク管理基準 > 土壌管理目標値



図 3-3 リスク管理基準と土壌中クロピラリド濃度の管理目標値を用いた
堆肥施用可・不可の判断の概念図

堆肥中クロピラリド濃度が分かたら（施用可能な堆肥量）：

図 3-3 の考え方に基づけば、堆肥中クロピラリド濃度が分かれば堆肥施用可能か否かは判断できますが、その限界量（施用可能な堆肥量の最大値）は不明です。すなわち、「堆肥中クロピラリド濃度が分かった場合、どれくらいの量まで堆肥を施用可能か？」の問いに答えることはできません。そこで、堆肥中クロピラリド濃度から施用可能な堆肥量の最大値を算出する回帰式を以下の手順で作成しました。

1. 堆肥中クロピラリド濃度 10~200 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、堆肥施用量 0.5~30t/10a の範囲の組み合わせでシミュレーションを行い、土壌中濃度の 95%tile 値を得る。堆肥中クロピラリド濃度ごとに、土壌中濃度の 95%tile 値 (X) と堆肥施用量 (Y) の回帰式を作成する。
2. 堆肥中クロピラリド濃度 (10~200 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ごとに、土壌中クロピラリド濃度の管理目標値（「極弱」：0.2 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「弱」：1 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「中」：5 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ ）を代入し堆肥施用量を得る。
3. 堆肥中濃度 (10~200 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$) と堆肥施用量 (0.5~30t/10a) の回帰式を作成する（図 3-4）。
4. 耐性ごとに、1.~3.を行う（図 3-4）。
5. 次に、堆肥中クロピラリド濃度 (10~200 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ごとに、土壌中クロピラリド濃度の管理目標値より小さい値（「極弱」：0.18 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「弱」：0.91 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ 、「中」：4.55 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ ）を代入し堆肥施用量を得る。これを施用可能な堆肥量の最大値とする。土壌中クロピラリド濃度の管理目標値より小さい値を入力するのは、土壌中クロピラリドの半減期 100 日を考慮しているためであり、毎年堆肥を施用しても土壌中クロピラリド濃度の管理目標値を超えないようにしている。

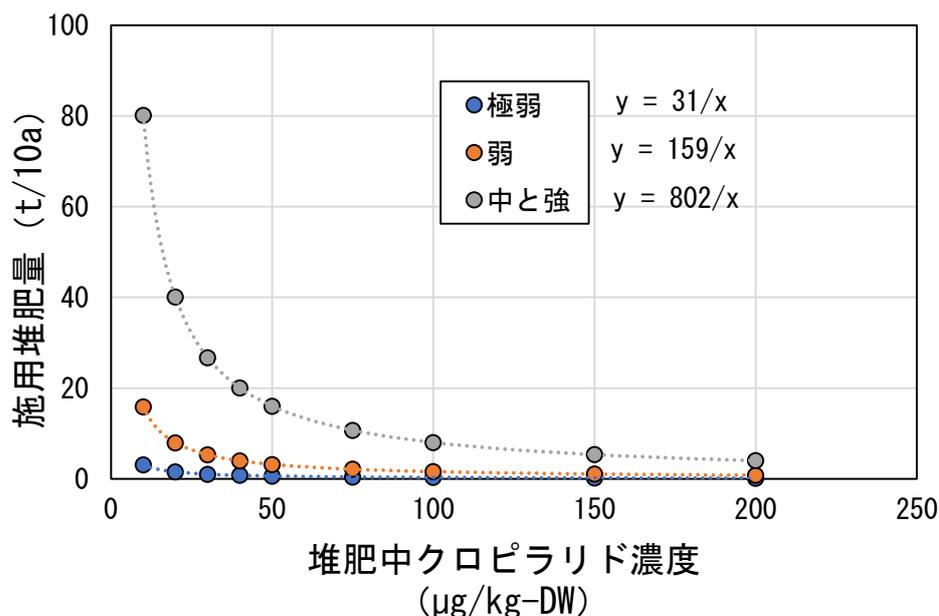


図 3-4 堆肥中クロピラリド濃度と作物の耐性（「極弱」～「中と強」）における堆肥施用量との関係

6. 堆肥中濃度 (10~200 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$) と施用可能な堆肥量の最大値 (0.5~30t/10a) の回帰式を作成する (図 3-5)。
7. 耐性ごとに、1.~3.を行う (図 3-5)。

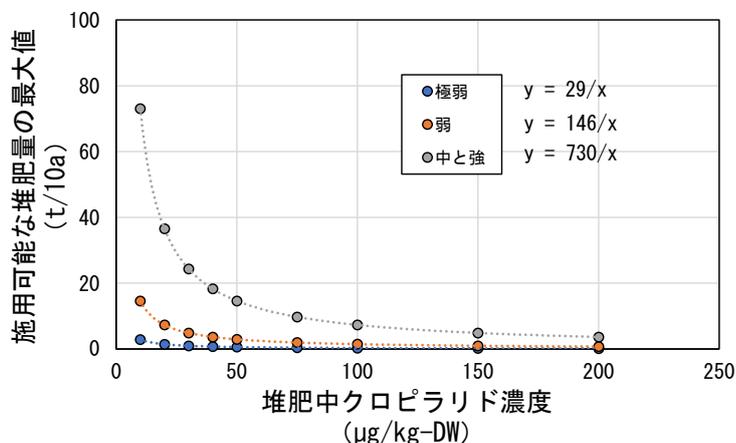


図 3-5 堆肥中クロピラリド濃度と作物の耐性（「極弱」～「中と強」）における施用可能な堆肥量の最大値との関係

例えば、耐性が「弱」の作物に対し施用しようとする堆肥中クロピラリド濃度が 50 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ であれば、図 3-5 の「弱」の回帰式 $Y = 146 X^{-1}$ の X に 50 を代入します。その結果、施用可能な堆肥量の最大値が 2.92 t/10a であることが分かります。

ここで注意しなければならないのは、 X に代入する堆肥中のクロピラリド濃度は乾燥重あたりの濃度であること、出力される施用できる堆肥量 Y はほ場面積 10a に対し現物あたりの量であることです。これは、式 (1) を用いてシミュレーションをする際に、堆肥の水分含量を 60% と仮定して土壌中クロピラリド濃度を算出する式を作成しているためです。また、堆肥中クロピラリド濃度が低い場合、10t / 10a を超えるような施用可能な堆肥量の最大値が算出されますが、都道府県の施用基準を守るため、実際の堆肥施用量は 3t / 10a を上限にしてください (表 3-2)。また、堆肥はムラなく施用するとともに、堆肥を散布した後は偏りが出ないように十分に土壌と混和するようにしてください。

なお、ポットによる苗生産で堆肥を混合する場合、混合割合が 10% であれば 11t/10a 程度、20% であれば 17t/10a 程度に相当します (堆肥のかさ密度 0.5kg/L、堆肥以外の培土の仮比重 0.75kg/L とした場合)。堆肥中クロピラリド濃度が低い場合も注意が必要です。

表 3-2 各堆肥中クロピラリド濃度（10 から 100 $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ ）における
作物のクロピラリド耐性に応じた施用可能な堆肥量の例（t/10a）

作物のクロピ ラリド耐性	堆肥中クロピラリド濃度（ $\mu\text{g}/\text{kg-DW}$ ）										
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
極弱	計算値	2.9	1.5	1.0	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
	施用基準を考慮	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
弱	計算値	14.6	7.3	4.9	3.7	2.9	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5
	施用基準を考慮	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
中以上	計算値	73	37	24	18	15	12	10	9	8	7
	施用基準を考慮	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

参考文献：

- 1) 農林水産省（1994-1998）土壤環境基礎調査

解説 4. 戻し堆肥利用に伴う堆肥中のクロピラリド蓄積について
(マニュアル 74 ページ)

堆肥中のクロピラリド蓄積の考え方：

最近の堆肥化処理においては、入手のしやすさやコスト低減の観点から、仕上がった堆肥を水分調整用の副資材として再利用する、いわゆる「戻し堆肥」の利用が増えています。十分に乾いた戻し堆肥であれば戻し堆肥だけでの水分調整が可能です。しかし、戻し堆肥の多くは堆肥化施設内に滞留して繰り返し副資材として利用されることになるため、家畜ふん尿や戻し堆肥中のクロピラリドは堆肥中に蓄積されていきます。このクロピラリドが蓄積されるメカニズムは、図 4-1 の考え方から下記の理論式 (2) の蓄積モデルで表すことができます。なお、この蓄積モデルは、温度上昇を伴う堆肥化 1 次発酵ではクロピラリドは分解されないことを前提にしており、この前提は実験的に確認しています。

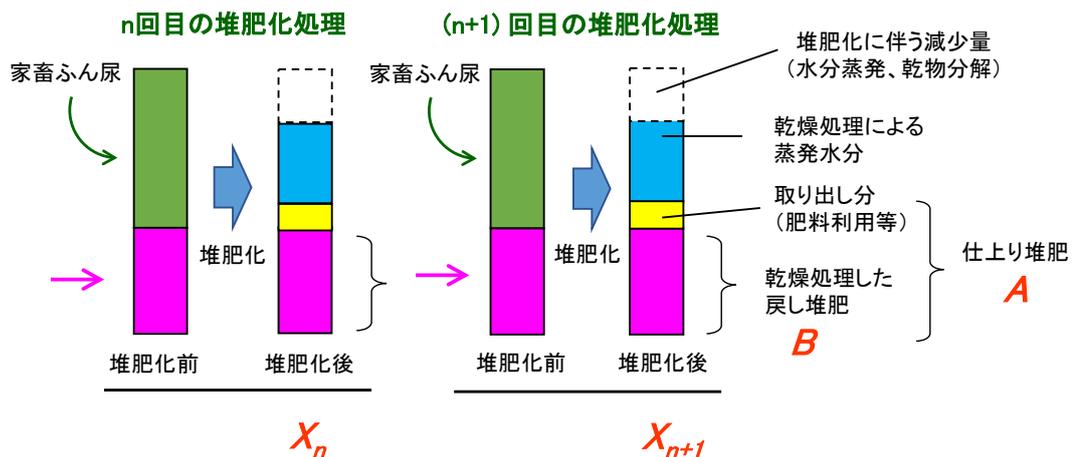


図 4-1 戻し堆肥利用によるクロピラリド蓄積モデルの概念図

$$\frac{X_n}{X_1} = -\frac{1}{A/B - 1} \times \left(\frac{B}{A}\right)^{n-1} + \frac{1}{1 - B/A} \dots (2)$$

ここで、 n ：堆肥化の繰り返し回数（回）、 X_1 ：堆肥化 1 回目の堆肥中クロピラリド濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg-DW}$)、 X_n ：堆肥化 n 回目の堆肥中クロピラリド濃度 ($\mu\text{g}/\text{kg-DW}$)、 A ：仕上り堆肥の乾物量 (kg-DW)、 B ：副資材として再利用した戻し堆肥の乾物量 (kg-DW)。なお、図 4-1 の概念図はわかりやすさを優先して現物あたりで示していますが、理論式 (2) の蓄積モデルは乾物ベースになっており、戻し堆肥は乾物分解しない、継続して投入される家畜ふん尿中のクロピラリド濃度は一定、式中の A と B は一定と仮定しています。

左辺の X_n/X_1 は、堆肥中のクロピラリド濃度の堆肥化 1 回目に対する n 回目の濃度

比を示し、以降ではクロピラリドの「蓄積比」と呼びます。また、右辺の要素である B/A は、仕上り堆肥に対する戻し堆肥の占める乾物割合を示し、以降では戻し堆肥の「再利用率」と呼びます。再利用率は1未満なので、堆肥化が無限回繰り返されると、蓄積比は理論式(2)の右辺第2項； $1/(1 - B/A)$ で表される極限值に収束することになります。

蓄積モデルの検証：

蓄積モデルの妥当性を検証するため、小型実験装置を供した堆肥化試験を行い、クロピラリド濃度の変化や再利用率； B/A を実験的に求めました。その結果を受けて、蓄積モデルと実測値との関係を示したものが図4-2です。蓄積モデルから求めた蓄積比とクロピラリド濃度の実測値から求めた蓄積比とはほぼ一致しており、蓄積モデルは妥当と考えられます。

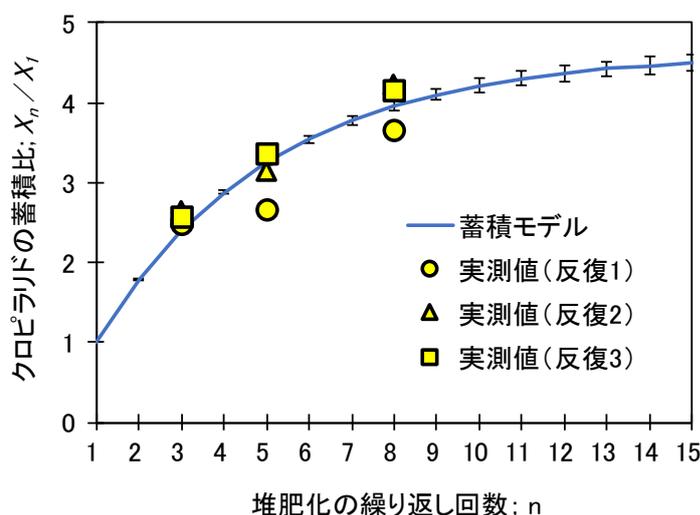


図 4-2 蓄積比に関するモデルと実測値の比較

モデルで求めた蓄積比とクロピラリドの実測値から求めた蓄積比はほぼ一致。グラフのエラーバーは3反復の標準偏差

戻し堆肥利用に伴うクロピラリド蓄積の検討：

蓄積モデルの再利用率； B/A を0.6~0.9の範囲で約0.1刻みに設定し、クロピラリドの蓄積比を極限值で比較したものが図4-3です。なお、図4-3中の再利用率；0.79は、図4-2中で示した蓄積モデルと同じ条件になります。

再利用率が最も高い0.90は、ほぼ全量を戻し堆肥で水分調整したケースを想定していますが、クロピラリド濃度は1回目の堆肥の10倍にまで理論的に高まることが示されました。このことは、堆肥のクロピラリド濃度が当初は十分に低くても、多量の戻し堆肥で繰り返し堆肥化を行うことにより、気づかないうちに作物への影響を無視できないレベルにまでクロピラリド濃度を高めてしまうリスクが存在することを

示しています。

一方で、他の副資材で戻し堆肥の一部を代替えできれば再利用率が下がり、蓄積比を比較的強く抑えることができます。ちなみに、再利用率を 0.79 にして蓄積比を 4.8 倍に抑えるためには、戻し堆肥の水分含量が 65% の場合では、戻し堆肥の約半分を他の副資材で代替えすれば達成できます。さらに、再利用率を 0.70、蓄積比を 3.3 倍にまで抑えるためには、戻し堆肥の 2/3 の代替えが必要になります。以前から、副資材として戻し堆肥を利用する場合には、堆肥の塩類濃度が過度に高まらないように他の副資材の併用が指導されています。クロピラリド対策でも同様に、クロピラリドが堆肥中に過度に蓄積しないよう、戻し堆肥だけで水分調整することはできるだけ避けて、オガ粉やモミガラなど他の副資材を併用するようにしてください。

また、多量の戻し堆肥を水分調整に利用した場合は、クロピラリド耐性が高いイネ科牧草やイネ科作物（飼料）等の自給飼料作物への施用を優先するほか、自家利用することを検討してください。

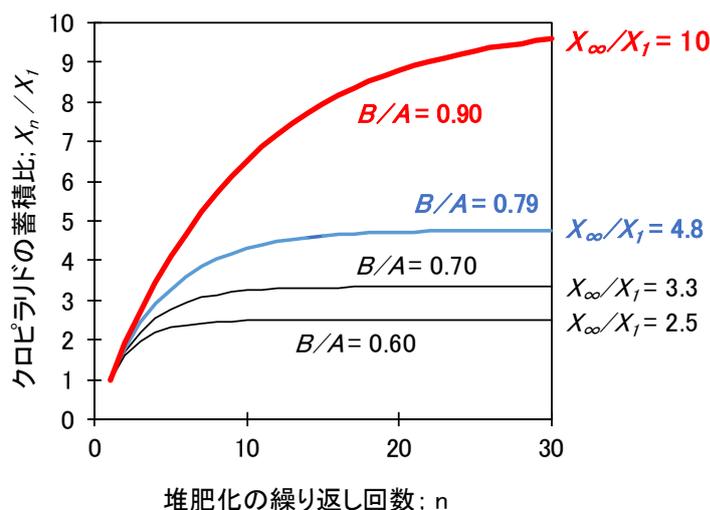


図 4-3 蓄積比の極限值による比較

参考文献：

- 1) Abe et.al. (2021) Change of clopyralid concentration in recycled beef cattle compost, Animal Science Journal, <https://doi.org/10.1111/asj.13568>
- 2) 中央畜産会（2003）堆肥化施設設計マニュアル、3-7 ページ

研究課題と研究担当者

課題名：堆肥中クロピラリドの高感度分析法の開発

資金制度：農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（緊急対応研究課題）

実施年度：平成 28 年度

課題番号：28045C

研究担当者：

農研機構 農業環境変動研究センター

清家伸康、渡邊栄喜、並木小百合

課題名：作物被害低減のためのクロピラリド動態解明

資金制度：農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（緊急対応研究課題）

実施年度：平成 29 年度

課題番号：29030C

研究担当者：

農研機構 農業環境変動研究センター

清家伸康、渡邊栄喜、並木小百合

農研機構 畜産研究部門

阿部佳之、小島陽一郎、神谷裕子、樋口幹人

農研機構 野菜花き研究部門

稲本勝彦、森川クラウジオ健治

宮崎県総合農業試験場

福田武美、杉田浩一、郡司孝幸、起汐一広

課題名：堆肥中のクロピラリドによる生育障害を防ぐための技術開発

資金制度：農林水産業 安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究
委託事業

実施年度：令和元年度～令和 2 年度

課題番号：3101

研究担当者：

農研機構 農業環境変動研究センター

清家伸康、渡邊栄喜、並木小百合、稲生圭哉

農研機構 野菜花き研究部門

稲本勝彦

宮崎県総合農業試験場

永井浩幸、有簾隆男

飼料及び堆肥に残留する除草剤（クロピラリド）の簡易判定法と被害軽減対策マニュアル（第3版）解説集

編集者： 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農業環境研究部門 清家 伸康
畜産研究部門 阿部 佳之

本解説集に関する問合せ先：

農研機構 農業環境研究部門 研究推進部 研究推進室

電子メール niaes_manual@ml.affrc.go.jp