

ジャガイモシロシストセンチュウの 緊急防除対策技術 標準作業手順書

公開版



改訂履歴

版数	発行日	改訂者	改訂内容
第1版	2023年2月3日	奈良部 孝	初版発行

2023年2月3日版

目次

はじめに	.....	1
免責事項	.....	3
I ジャガイモシロシストセンチュウの概要と調査法	.....	4
1. ジャガイモシロシストセンチュウ類の生態と特徴	.....	4
2. ジャガイモシロシストセンチュウ類によるバレイショ被害	.....	6
3. ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性品種の特徴	.....	8
4. ジャガイモシロシストセンチュウの発生状況	.....	8
5. 線虫調査法	.....	8
(1) シストを分離して顕微鏡によって観察する方法		
(2) カップ検定法		
6. 密度区分の定義	.....	12
II ジャガイモシロシストセンチュウ防除対策技術の概要と特徴	.....	13
1. D-D 剤による土壌消毒	.....	14
2. 捕獲作物	.....	15
3. 防除を成功させるための防除組み合わせ	.....	17
4. 防除完了とバレイショ栽培の再開	.....	18
III 土壌消毒によるジャガイモシロシストセンチュウ防除	.....	19
1. 土壌消毒によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果	.....	19
2. 実施計画策定、作業委託・管理	.....	22
3. 作業手順	.....	22
(1) 圃場の事前耕起・整地		
(2) 土壌への薬液注入処理		
(3) ガス抜き作業		
IV 捕獲作物ペルビアナム栽培によるジャガイモシロシストセンチュウ防除	.....	27
1. オホーツク地域におけるペルビアナムの栽培適性	.....	27
2. 捕獲作物ペルビアナム栽培によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果	.....	28

3. 実施計画策定、作業委託・管理	.....	30
4. 作業手順	.....	30
(1) 圃場の事前準備		
(2) ペルビアナムの播種		
(3) 栽培管理		
(4) 栽培終了		
V 防除を成功させるための防除組み合わせ	.....	37
1. 複数回防除によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果	.....	37
2. 防除を成功させるための防除実施体系例	.....	39
3. ジャガイモシロシストセンチュウの恒常的な封じ込めに向けて	.....	40
VI 防除対策にかかる労力と経費	.....	42
VII 補足情報	.....	44
1. ふるい分けシスト流し法	.....	44
参考資料	.....	46
担当窓口、連絡先	.....	49

はじめに

2015年8月、北海道網走市の一部の圃場において、日本では未確認であったジャガイモシロシストセンチュウ *Globodera pallida*（以下、Gpと記載）が発見されました。Gpは、既に日本へ侵入している近縁のジャガイモシロシストセンチュウ *G. rostochiensis*（以下、Grと記載）と同様に、南米を原産地とするバレイシヨの重要害虫で、世界の主要バレイシヨ栽培地帯に発生が拡大しています。本種の幼虫が根に多数寄生すると、根の養水分吸収が妨げられ、著しい減収となります（詳しい生態および被害については、本手順書「I. ジャガイモシロシストセンチュウの概要と調査法」の1および2（4～7ページ）を参照ください）。GpおよびGr（以下、これら2種をまとめて「本線虫類」とする）は、植物防疫法で「検疫有害動植物」に定められており、輸入検疫の対象害虫です（発生国からの宿主植物の輸入も禁止されています）。また、本線虫類はバレイシヨに付着して移動・分散するリスクがあることから、国内検疫（種馬鈴しよ検疫）の対象害虫にも指定され、種馬鈴しよ検疫制度に基づく検査が行われています。これらの線虫の発生が確認されると、その圃場で生産されたイモは種いもとして移動や譲渡することができなくなりますので、種いも生産農家にとっては大きな損害となります。

本線虫類に対する実用的な防除対策は抵抗性品種を活用することです。Grに対しては単独で強力な抵抗性を示す抵抗性遺伝子 *H1* が見出されており、それを導入した抵抗性品種が国内でも多数育成され、Gr対策に活用されています。一方、Gpに対しては、*H1* 抵抗性遺伝子は全く効果を示しません。Gpの発生時、国内で利用できるGp抵抗性バレイシヨ品種はありませんでした。したがって、国内においてGpの発生が拡大・まん延することはわが国のバレイシヨ生産にとって非常に大きな脅威でした。そこで、2016年秋以降、Gpを防除してそのまん延を防止するため、植物防疫法に基づき、発生地域を対象として国（農林水産省）による**緊急防除**（次ページコラム）が開始されました。

緊急防除では、Gp 密度を低下させる防除技術として、土壌くん蒸剤（1,3-ジクロロプロペン油剤：以下、D-D 剤と記載）による土壌消毒および捕獲作物（トマト野生種の一つ *Solanum peruvianum*：以下、ペルビアナムと表記）の栽培が採用されました。

農研機構北海道農業研究センターは、北海道庁や北海道立総合研究機構北見農業試験場（以下、道総研北見農試）等と連携し、オホーツク地域の Gp 発生圃場において防除技術の改善と効果の検証を重ねてきました。その結果、複数の防除技術を確立し、Gp をごく低密度（密度の定義については、本手順書「I. ジャガイモシロシストセンチュウの概要と調査法」の 6（12 ページ）を参照ください）へ効率的に低減できるこれら防除技術の組み合わせを選定しました。

本書では、今後の Gp の新規発生あるいは再発生に備え、緊急防除実施に際してその実施者（都道府県）が早期かつ効率的に防除（密度低減）対策を実施・指導できるよう、土壌消毒および捕獲作物栽培による防除手順を取りまとめました。今後、Gp の緊急防除が新たに必要になった場合、適切な防除体系の速やかな策定とそれによる Gp の早期密度低減・封じ込めのため、本書をご活用ください。

なお、本書の内容は、農林水産省の「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」において、農研機構北海道農業研究センターと北海道農政部、道総研北見農試が共同で実施した研究成果として得られたものです。

緊急防除とは、国内に侵入・発生した病害虫により、農作物等に大きな被害が生じるおそれがある場合に、その病害虫を駆除し、まん延を防止するため、植物防疫法第 4 章「緊急防除」に基づき、緊急的に実施される防除措置です。Gp の緊急防除では、Gp が確認された圃場における防除とともに、1) 寄主植物栽培の制限・禁止、2) 病害虫付着のおそれのある植物・容器等の移動制限、およびその廃棄の命令、といった対策が実施されます。詳しくは「植物防疫法：https://elaws.e-gov.go.jp/document?law_id=325AC0000000151」および農林水産省ホームページ「ジャガイモシロシストセンチュウに関する情報」https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/gp/gp.html）掲載の最新情報を参照ください。

■ 免責事項

- 農研機構は、利用者が本手順書に記載された技術を利用したこと、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。
- 本手順書に記載された栽培・作業暦に示したスケジュールは北海道網走市における例であり、地域や気候条件等により変動することに留意してください。
- 本手順書に示した経営上の効果は、あくまでも北海道網走市における実証試験での実測値を基に試算した概算値です。地域、気候条件、圃場規模、品種、取引や流通状況その他の条件により変動することに留意してください。本手順書に記載の技術の利用により、この通りの効果が得られることを保証したものではありません。
- 本手順書に記載の図表は引用を除き、全て農研機構が著作権を有します。

I. ジャガイモシロシストセンチュウの概要と調査法

最初に、本 SOP を理解していただくために必要なジャガイモシロシストセンチュウ *Globodera pallida*（以下、Gp と記載）の生態と密度調査法等について説明します。

1. ジャガイモシロシストセンチュウ類の生態と特徴

ジャガイモシロシストセンチュウ類（Gp および Gr）は、ナス科植物の根に寄生する植物寄生性線虫ですが、増殖に適した寄主作物はバレイショ、トマト、ナスに限られ、**寄主範囲が狭い**ことが特徴の一つです。

本線虫類は通常、「シスト」と呼ばれる状態で土壌中に潜在しています（図 I -1）。このシストの中には線虫の卵が数百個（通常 100～400 個）内蔵されています（図 I -1）。シストが存在する圃場にバレイショを栽培すると、その**根から放出される特異的な物質**（「ふ化促進物質」と呼ばれます）**に反応してシスト内の卵がふ化**します（図 I -2、①）。ふ化した幼虫（体長 0.5 mm 程度）は土壌中を移動して、根にたどり着くと侵入して寄生します（図 I -2、②）。幼虫は根から養分を吸収しながら肥大成長します（図 I -2、③）。雌は肥大して球形になり、雄成虫（体長約 1.0～1.5 mm）との交尾後

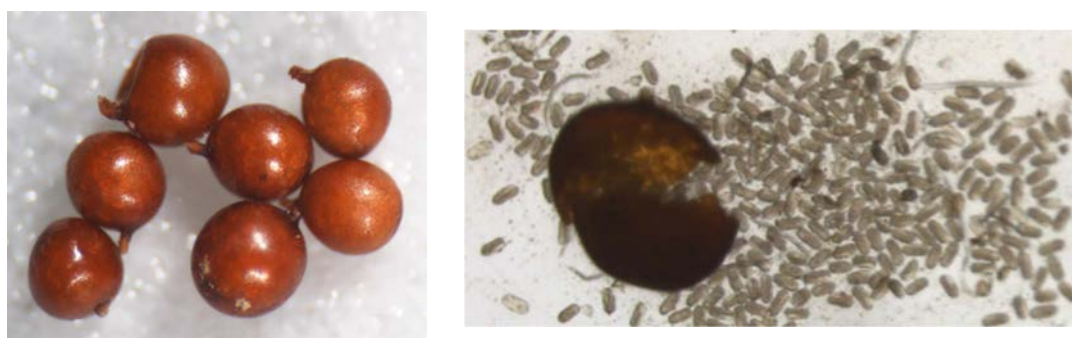


図 I -1 ジャガイモシロシストセンチュウ類のシスト（左）とシストを壊して内部の卵を露出させた様子（右）

シストは直径 0.5～0.8 mm の球形で、内部には 100～400 個の線虫卵を有する。

に自らの体内に産卵します（図 I -2、④⑤）。やがて体内が卵で充満すると一生を終え、体皮が硬化してカプセル状となった「シスト」を形成します（図 I -2、⑥）。シストは収穫作業時に根から容易に離脱して土壌中に分散し、翌年以降の感染源になります。



図 I -2 ジャガイモシストセンチュウ類の生活環（一生）

本線虫類の大きな特徴は、耐久態の「シスト」を形成することです。**シスト内の卵は生存リスクとなる乾燥や低温¹に対して高い耐性を有し**、バレイショが栽培されなくても土壤中で**10年以上生存**することができます。また、シストは農作物や農業機械に付着した土壌とともに別の圃場に容易に移動し、発生地域が拡大する原因になります。したがって、本線虫類は農作物を加害する植物寄生線虫の中でも特に防除や拡散防止が難しい線虫とされています。

2. ジャガイモシストセンチュウ類によるバレイショ被害

バレイショの根に本線虫類の幼虫が多数寄生すると、根の正常な伸長や養水分吸収が阻害されるため、地上部の生育も抑制されます。線虫が高密度の条件では地上部に萎凋や下葉の黄化などの症状が現れ、枯死に至る場合もあります（図 I -3）。これにより、バレイショの収穫量は減少します。植付け時の卵密度が高いほど減収程度は大きくなり、高密度条件では40%以上減収する場合があります（図 I -4）。

減収以外の被害として、種バレイショ生産の制限があげられます。シストセンチュウ発生圃場で収穫したバレイショには、シストを含む土壌が付着しています。このバレイショを種にしまうと、発生を拡げてしまうため、発生圃場で生産されたイモは種いもとして移動や譲渡することができなくなります。本線虫類の発生地拡大に伴って、種いもを生産できる場が減少し続けており、種いもの安定供給が脅かされています。種いもは地域内だけでなく、全国に流通するため、十分な種いも供給ができなくなった場合、影響はわが国全体のバレイショ生産に及びます。

¹ シストを土ごとマイナス10℃で160日間処理しても生きていました（50%以上がふ化。山田ら、1987）。



図 I -3 ジャガイモシストセンチュウ（Gr）高密度発生圃場におけるバレイショ被害

Gr 発生圃場で開花前に黄化したバレイショの地上部。

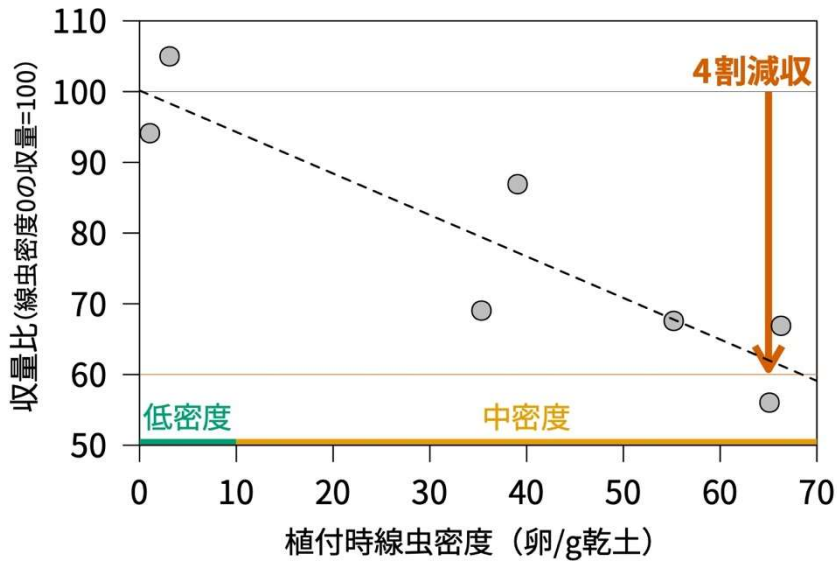


図 I -4 ジャガイモシストセンチュウ密度とバレイショ収量の関係

奈良部ら（2017）を改変。

植付時線虫密度とバレイショ収量の関係式（ $y = -0.59x + 100.16$ 、図中の点線）

から求めた、線虫密度 0 卵/g 乾土時の収量（19.37kg/20 株）を 100 としたときの各試験区の相対収量を示す。品種は「男爵薯」。

3. ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性品種の特徴

Gp は Gr に近縁で、形態や生態がほとんど同じですが、線虫抵抗性バレイショ品種の抵抗性強度や育成の難易には大きな違いがあります。Gr については単独で強力な抵抗性を示す抵抗性遺伝子 (*H1*) が見出されており、それを導入するだけで根に寄生した全ての Gr を死滅させることができる強力な抵抗性品種を育成できます。これまでに多くの抵抗性品種が国内でも育成されており、Gr の防除に活用されています。一方、Gp に対して *H1* 遺伝子は効果を示しません。Gp に対しては単独で強力な抵抗性を示す遺伝子は見出されておらず、抵抗性強度が高い品種を育成するには、複数の抵抗性遺伝子を 1 品種に導入する必要があることから、その育成は非常に難しいとされています。また、Gp は抵抗性程度が高い品種にも寄生し、少数ながら次世代を生じるため、これらが世代を繰り返すうちに抵抗性品種でも増殖可能な個体の比率が高まり、抵抗性を打破してしまうことが知られています。

4. ジャガイモシロシストセンチュウの発生状況

Gp はこれまでに北海道網走市、大空町、斜里町、清里町の 1 市 3 町で発生確認があり、うち大空町においては防除が終了して防除区域から除外されています。最新の Gp 発生および防除の状況は、農林水産省のホームページで確認できます (https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/gp/gp.html、参考検索キーワード：ジャガイモシロシストセンチュウ)。

5. 線虫調査法

圃場土壌中のジャガイモシロシストセンチュウ類の生息状況（発生の有無や密度など）を調査する方法について紹介します。その前段となる圃場からの土壌サンプリング方法については、圃場全面から少量ずつの土壌を採取してサンプルとする「八歩幅法」や「ジグザク法」がありますが、その詳細は小野寺ら（2017）を参考にしてください。

サンプリングした土壌中の本線虫類を調査する方法としては、国内では2つの方法：「シストを分離して顕微鏡によって観察する方法」と「カップ検定法」が用いられています。

(1) シストを分離して顕微鏡によって観察する方法

「ふるい分けシスト流し法（補足情報 1、44～45 ページ）」によって土壌中からシストを分離し、実体顕微鏡でシストの有無を観察調査する方法です。この方法は、多くの機関で線虫の土壌検診に利用されている方法で、比較的**短期間に線虫の発生や発生量を評価**できますが、**顕微鏡による調査にはある程度の熟練が必要です**。なお、本法は**密度調査に適した方法**であり、本手順書に掲載した密度低減効果等の研究データのほとんどはこの方法により得られています。

「ふるい分けシスト流し法」は、乾燥したシストが水に浮く性質を利用して比重の大きい土壌粒子と分け、さらにふるいを用いて大きさで選別・分離する方法です。しかし、分離物には図 I -5 のようにシスト以外にも多くの雑多な「夾雑物」（水に浮き、シストと同じような大きさの雑物：植物組織や種子、微小生物の死骸など）が含まれます。実体顕微鏡で入念に観察し、シストの有無を調査します。

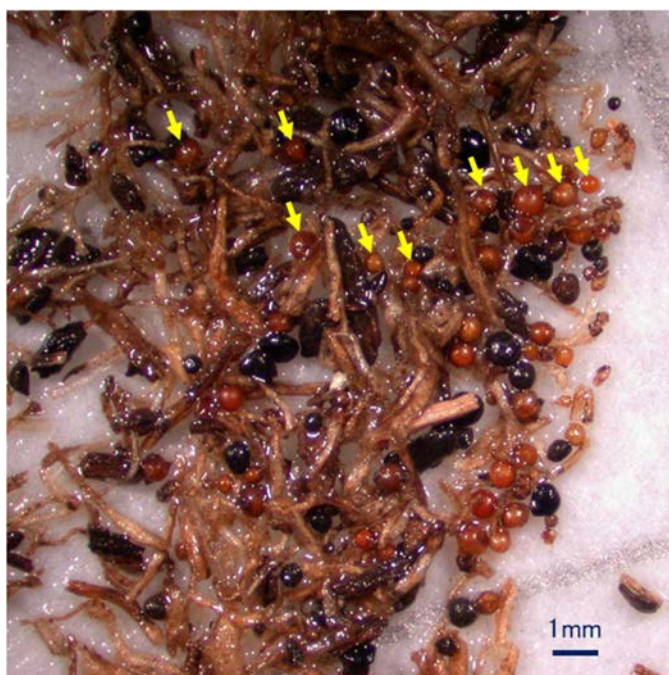


図 I -5 土壌からの分離物

シスト（褐色球状。黄色矢印は一部例）と一緒に、根の破片など多くの夾雑物が分離される。

ここでシストが見つかった場合は、地域の病害虫防除所や最寄りの植物防疫所等へ報告し、必要に応じて種同定を行い（**標準作業手順書「ジャガイモシストセンチュウ類2種の同時判別技術」**参照）、適切な防除対策、分散防止対策を行います。ほとんどの土壌検診では、線虫発生の有無を確認するためのものですので、ここまでになります。

【密度調査】

適切な防除対策を選定するうえで、またその防除対策の効果を評価するには、線虫密度（一定量の土壌あたりの線虫個体数）を調査する必要があります。本線虫類は通常、土壌中のシスト内で卵の状態で潜んでおり、その卵の多少がバレイショ被害の大小と相関しますので、**線虫密度は、一般に「卵の密度」を指します（以下、本手順書では基本的に「Gp密度」と表記していますが、「Gpの卵の密度」を指します）**。シストはその大きさや古さによって含まれる卵数が異なりますので（小さいほど、古いほど、含まれる卵は少ない）、シスト数から卵数を推定することはできません。卵密度を調査するには、まず上記の「ふるい分けシスト流し法」で土壌からろ紙上に分離したシストを、実体顕微鏡下でピンセットを用いて全て拾い出します。その後、ホモジェナイザー等でシストを破碎して内部の卵を取り出し、水に懸濁して（適宜に希釈）一部をカウントすることによって、卵密度を割り出します（なお、密度調査は労力と専門的技術を要するため、試験研究以外ではあまり行われていません）。

(2) カップ検定法

圃場の土壌を透明プラスチックカップに詰め、バレイショ（感受性品種）を栽培して線虫を寄生させ、**形成された雌成虫またはシストを観察する**ことで線虫の有無を調べる方法です（雌成虫またはシストまで育て、目視評価する）。手法の詳細は「プラスチックカップを用いたジャガイモシストセンチュウの簡易検出・密度推定法」（<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/harc/2007/cryo07-07.html>）を参照してください。供試土壌の量によってプラスチックカップの大きさを変えて実施します。バレイショを植付けて50日目以降に定期的に壁面越しに根を観察し、雌成虫やシストの着生を調査します。供試土壌中にジャガイモシストセンチュウ類がいた場合、根の上に白色または黄色の雌成虫、

または褐色のシストが見えるようになります（図 I -6）。雌成虫またはシストが認められた場合は、（1）と同様に防除所等へ報告し、対策を実施します。



図 I -6 カップ検定の様子（左）と根の表面に認められる雌成虫やシスト（右、矢印[一部]）

カップ検定法は**省力的に実施でき、熟練した技術も必要ない**、という大きな利点があります。また、「シストを分離して顕微鏡観察する方法」では、僅かに含まれる可能性がある「死亡卵」を見分けることは困難ですが、カップ検定法には**「生きている線虫」だけを対象に調査できる**利点もあります。結果が出るまでに **2～3 ヶ月の長期を要する**欠点がありますが、「線虫がいる」「いない」を簡易に調査するには適した方法で、実際に生産者によるジャガイモシストセンチュウ類の自主検査に使用されているほか、植物防疫所による Gp の調査（発生範囲特定調査や防除効果確認調査など）にも利用されています。ただし、線虫密度の推定精度は大まかですので、正確な密度調査には向いていません。

6. 密度区分の定義

ジャガイモシストセンチュウ類の土壌中密度は、基本的に低密度、中密度、高密度、甚密度の4つに区分されています（北海道ジャガイモシストセンチュウ類防除対策基本方針、http://www.agri.hro.or.jp/boujoshu/shishuto_kihonhoushin.pdf）。それぞれの密度は以下の通りです。

低密度： 乾土 1 グラム当たりの卵数が 10 個以下

中密度： 乾土 1 グラム当たりの卵数が 11～100 個

高密度： 乾土 1 グラム当たりの卵数が 101～300 個


甚密度： 乾土 1 グラム当たりの卵数が 301 個以上

一般的に低密度は被害が発生しないレベルです。品種にもよりますが、中密度以上で被害（減収）が発生し、密度に応じて減収程度が大きくなり、甚密度では収穫はほとんど期待できません。

なお、この標準作業手順書では、乾土 100 g あたり卵数がゼロの場合（＝生きている卵が検出されない）を「**ごく低密度**」とします（「無線虫」としないのは、調査する土壌の量を増やすなど、検出感度を上げた場合には卵が検出される可能性があるためです）。**Gp の緊急防除では、Gp 密度を「ごく低密度」に低減させることが目標となります。**ごく低密度に Gp を抑え込むことができれば、植物防疫所による防除効果確認検査においても Gp が検出されず、「防除完了」になる可能性が高くなります。詳しくは「Ⅱ-4. 防除完了とバレイショ栽培の再開」（18 ページ）を参照ください。

II. ジャガイモシロシストセンチュウ防除対策技術の概要と特徴

Gpの防除法には、「D-D剤による土壌消毒」と「捕獲作物栽培」の2通りがあり、図II-1にその概要を紹介します。

土壌消毒処理	捕獲作物栽培
<ul style="list-style-type: none"> • D-D剤（1,3-ジクロロプロペン） • 整地後の圃場全面に薬液を注入処理（40 L/10 a） • 処理約10日後にガス抜き（ロータリー耕起） • 処理適期は6～9月（年1回） 	<ul style="list-style-type: none"> • トマト野生種「ポテモン」<i>Solanum peruvianum</i> • 6月播種（播種量：320 g/10 a）、約2ヶ月栽培 • 栽培管理：除草剤処理、野良イモ防除、疫病防除
	

組み合わせ防除体系

- これらの防除を組み合わせることにより、ごく低密度へ低減を図る。
- Gp密度を2, 3年の短期間にごく低密度へ低減させることが期待できる防除組み合わせは、「D-D剤処理2回と捕獲作物栽培1回」であり、オホーツク地域の作付体系に合わせた場合の導入事例は、以下のとおり。

防除体系	1年目				...	2年目				...	3年目			
	6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月
A	捕獲作物		DD		秋まき小麦				DD		非寄主作物			
B	秋まき小麦		DD		捕獲作物		DD			非寄主作物				
C	秋まき小麦		DD		非寄主作物						捕獲作物		DD	

図II-1 技術の全体概要図

1. D-D 剤による土壌消毒

D-D 剤は線虫をはじめとする土壌害虫防除に広く使われている土壌くん蒸剤で、バレイシヨの Gp に対して処理量 40 L/10 a で農薬登録があります。具体的な商品としては D-D、テロン、DC 油剤があります。

有効成分含有量および剤型は、1,3-ジクロロプロペン（D-D）97%油剤です。**透明な液体で刺激臭があり、劇物および消防法危険物第 4 類（引火性液体）**に指定されています。土壌中に注入処理されると気化し、殺虫効果を発揮します。Gp に対しては、**1 回の処理で土壌中の密度をおよそ 90%以上低減でき、高い防除効果を有します。**

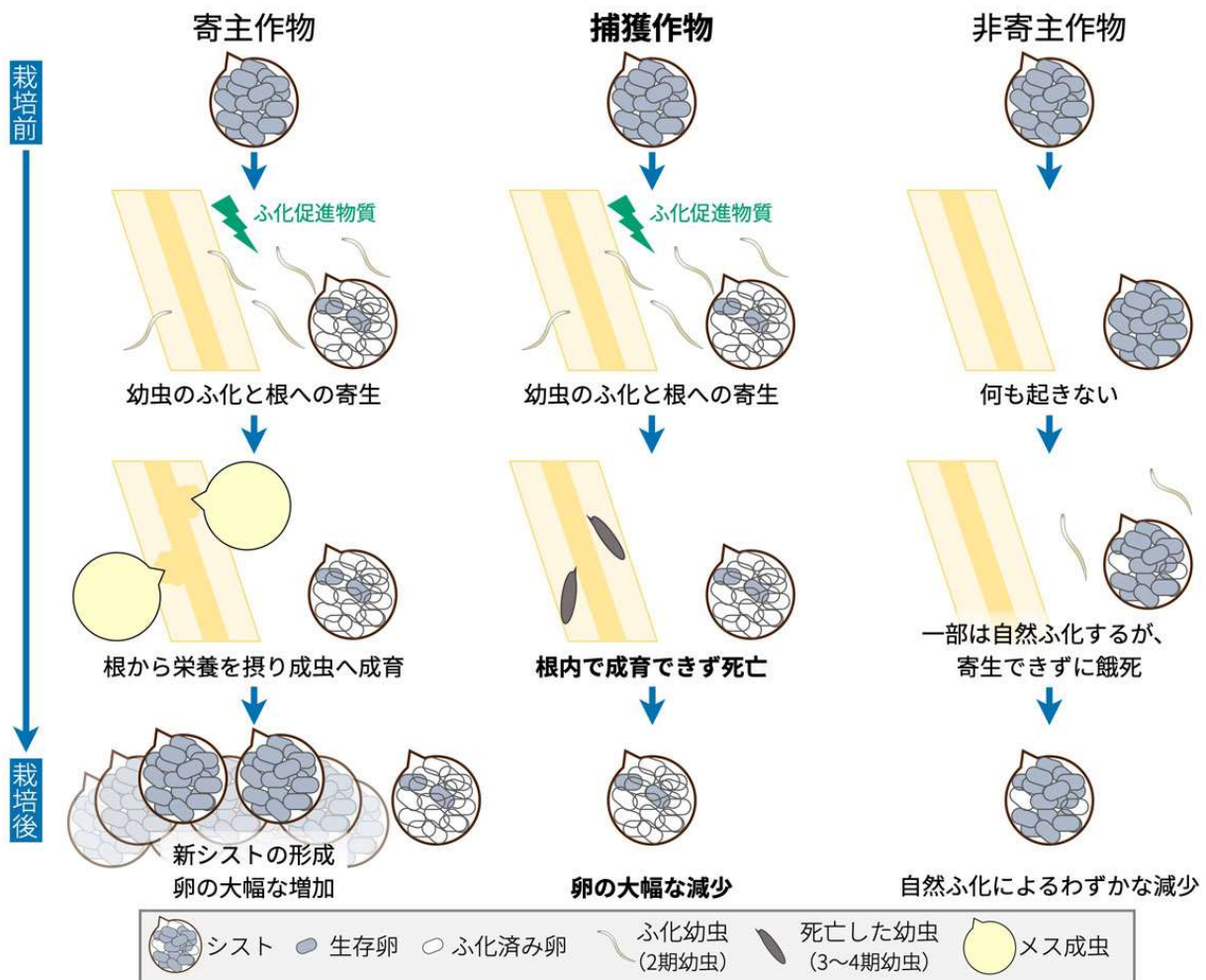
土壌消毒処理の概略を表 II -1 に、その詳細は「Ⅲ. 土壌消毒によるジャガイモシロシトセンチュウ防除」に示します。なお、農薬登録内容は変更されることがありますので、最新の使用方法等については、農薬のラベルや販売メーカーのホームページなども合わせて確認してください。

表 II -1 D-D 剤処理の作業手順

作業	時期	作業内容
処理前の整地	処理の直前	予め、ロータリーハローにより耕起し、整地する。
土壌消毒	6 月～9 月の温暖な時期	トラクターでけん引した土壌消毒機により薬液を 40 L/10 a の処理量で地中 15～20 cm の深さに注入し、消毒機の直後に接続したローラーにより土壌表面を鎮圧し、ガス化した薬液を地中にとどめる。
ガス抜き	処理約 10 日後	直後の栽培作物に薬害が生じないよう、ロータリーハローにより耕起し、土壌中のガスを抜く。

2. 捕獲作物

捕獲作物²は、バレイショなどの寄主作物と同様に根から線虫の卵のふ化を促す物質（ふ化促進物質）を放出して線虫卵をふ化させる効果を持つと同時に、線虫に対して高い抵抗性を有する植物のことを指します。これを栽培すると土壤中のシスト内卵がほとんどふ化するものの、ふ化した幼虫は根に寄生しても成長できずにほとんどが死滅するため（寄生しなかった幼虫も1ヶ月程度で餓死します）、結果として土壤中のGpを大幅に減少させることができます（図Ⅱ-2）。ふ化促進作用によって卵を積極的にふ化させ、根内



図Ⅱ-2 捕獲作物栽培によるGp卵の減少

² Gp 緊急防除現場では「対抗植物」と呼ばれている。

に捕獲して殺してしまうことから、捕獲作物と呼ばれます。Gp に対する捕獲作物としてはペルビアナム (*Solanum peruvianum*、雪印種苗「ポテモン」) やハリナスビ (*S. sisymbriifolium*) があります (図Ⅱ-3)。ハリナスビは、ヨーロッパでは種子が市販化され、Gr、Gp の防除に活用されています。**ペルビアナム**は日本で見出された捕獲作物で、トマトの野生種の一つです (ただし在来種ではありません)。高い Gp 密度低減効果も確認され、これを **6 月中下旬からおよそ 2 ヶ月間栽培すると、土壌中の Gp 密度を 80% 以上低減できます**。なお、Gp 発生圃場では緊急防除の措置によりナス科植物の作付けが禁止されますが、これら 2 種類のナス科植物については Gp を増やさないことが確認されているため、作付け禁止植物から除外されています (ジャガイモシロシストセンチュウの緊急防除に関する農林水産省令 第三条)。



ペルビアナム



ハリナスビ

図Ⅱ-3 Gp に対する捕獲作物

2016 年から始まった緊急防除ではハリナスビも使用される予定でしたが、種子の入手が困難だったため、ペルビアナムが主に用いられました。ハリナスビについては効果の検証や技術の最適化が現時点では不十分であるため、本書で紹介する技術はペルビアナム栽培に基づくものとしています。Gp 防除のためのペルビアナムの栽培概要は表Ⅱ-2 のとおりです。詳細は「Ⅳ. 捕獲作物ペルビアナム栽培によるジャガイモシロシストセンチュウ防除」に示します。

表Ⅱ-2 捕獲作物（ペルビアンム）の栽培概要

作業	時期	作業内容・備考
耕起・整地	播種前	必要に応じて機械除草を行った後、ロータリーハローで浅めに整地。
施肥・播種、 鎮圧	6月中旬～下 旬	化成肥料（NPK 各 5～8 kg/10 a 相当）を施肥した圃場に種子 320 g/10 a をエアシーダー等で播種（ドリルシーダーで代用する場合は肥料と種子を混和して同時に播種）、鎮圧。 播種後出芽までに除草剤を散布。
栽培終了	8月中旬～9月 上旬	播種 2 ヶ月後にチョッパーで細断してすき込み。後作作業付けまで腐熟期間（2～3 週間）が必要。

3. 防除を成功させるための防除組み合わせ

低密度の圃場を除いて、1 回の防除で発生圃場の Gp 密度をごく低密度に低下させることは難しく、防除を複数回重ねる必要があります。多数の防除事例を追跡調査した結果、「D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回」を組み合わせた防除が 2、3 年の短期間に Gp 密度をごく低密度に低減させるための防除の目安になり得ることが分かりました。図Ⅱ-4 に示した防除実施体系は、北海道オホーツク地域における代表的な輪作体系において、これらを組み合わせた場合の一例です。Gp の発生が確認された場合、このように「D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回」の処理を行う防除スケジュールを各地の輪作体系に合わせて組み立てて防除を実施します。毎年度の防除終了後に植物防疫所によって実施される「防除効果確認調査」の結果に応じて次年度以降の防除継続の要否が決まり、効率的な Gp 防除が可能です。詳細は「V. 防除を成功させるための防除組み合わせ」に示します。なお、この防除組み合わせや体系例は「短期間で防除成功を期待できる例」として示したものであり、防除を成功させるための必須条件ではありません。防除手段や防除スケジュールはその地域の輪作体系や実情に応じて選択し、組み立てていく必要があります。

防除 体系	1年目				...	2年目				...	3年目			
	6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月
A	捕獲作物		DD		秋まき小麦				DD		非寄主作物			
B	秋まき小麦				DD		捕獲作物		DD		非寄主作物			
C	秋まき小麦				DD	非寄主作物					捕獲作物		DD	

図Ⅱ-4 Gp 密度をごく低密度へ低下させるための防除実施体系例

図中の A、B、C は、オホーツク地域における代表的な輪作体系（ただし、バレイシヨの栽培は禁止）に D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回を組み込んだ場合の体系例を示す。通常は体系 A を実施し、Gp 検出時（図中 1 年目の前年。一般的に秋から冬に検査実施）に秋まき小麦がすでに作付けされている圃場では、体系 B または C を実施する。図中の「DD」（茶色地）は D-D 剤による土壌消毒を示す。「非寄主作物」はてん菜、春まき小麦、二条大麦、豆類、野菜（ナス科を除く）などであるが、当地域ではほとんどの場合「てん菜」が該当する。

4. 防除完了とバレイシヨ栽培の再開

防除を実施した年は毎年、その年の防除終了後に**植物防疫所による土壌検診（防除効果確認検査）**が行われます。防除回数が 3 回に満たなくても、この検査で **Gp が検出されなかった場合には防除事業は終了し、翌年からバレイシヨ栽培の再開が可能となります**。ただし、バレイシヨの栽培再開にあたっては Gp の再発を防ぐため、Gp 抵抗性品種の利用が推奨されています。2022 年時点で利用可能な Gp 抵抗性品種は「フリア」です。「フリア」はでん粉原料用品種で、その栽培・収量に関する特性等は農研機構成果情報「ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性品種「フリア」の特性」https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/harc/2019/harc_19_s14.html を参照ください。

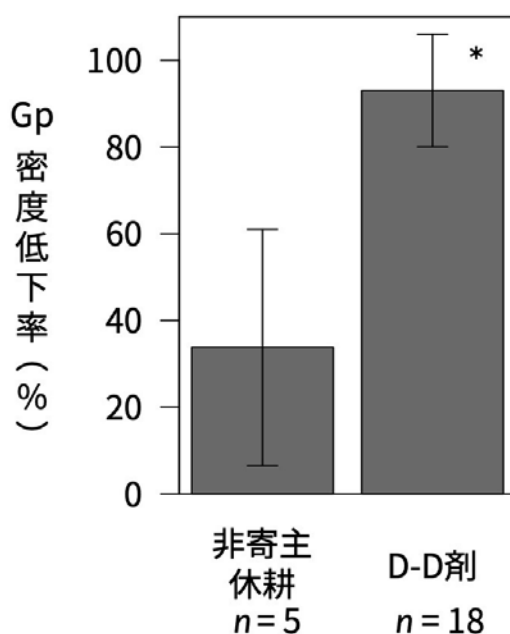
Ⅲ. 土壌消毒によるジャガイモシロシストセンチュウ防除

土壌くん蒸剤（D-D 剤）による土壌消毒処理で、土壌中の Gp 密度を大幅に低下させることができます。整地した圃場に土壌消毒機を使用して D-D 剤を 40 L/10 a で処理し、一定期間経過後に耕起して地中のガスを抜き、作物の作付けに備えます。

以下に示す調査結果は、オホーツク地域の Gp 発生ほ場において 2016～2018 年に実施された緊急防除において行った調査により得られたものです。

1. 土壌消毒によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果

2016～2018 年に D-D 剤（40 L/10 a）で土壌消毒処理を実施した計 18 圃場において、土壌中の Gp 密度低減効果を調査した結果、Gp 密度は処理前に比べて平均 93.0%低下し、D-D 剤処理には高い Gp 防除効果があることが確認されました（図Ⅲ-1）。

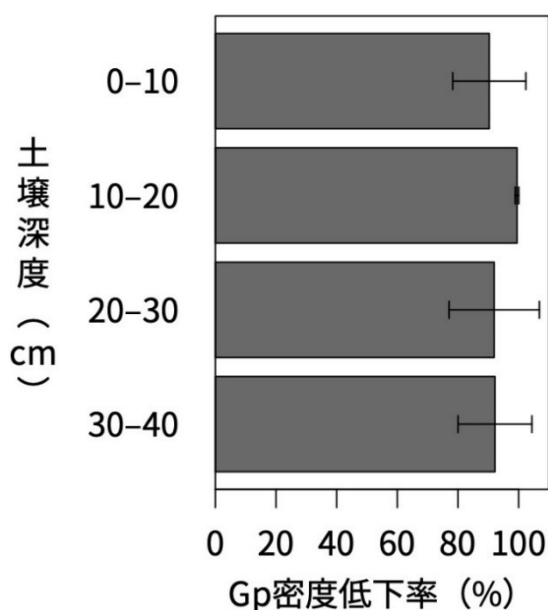


図Ⅲ-1 D-D 剤処理による Gp 密度低減効果

Gp 密度低下率は、各調査圃場の平均密度低下率の平均値±標準偏差を示す。n は調査圃場数（2016～2018 年）。非寄主作物は秋まき小麦または緑肥。アスタリスク（*）を付したデータは「非寄主・休耕」に対して有意差あり（ $P < 0.05$ 、Welch の t 検定）。

これらの圃場における D-D 剤の処理時期は、6 月上～中旬に実施した場合（7 圃場）と、捕獲作物を栽培（6 月中旬～8 月中旬）したあとの 8 月下旬に実施した場合（6 圃場）、麦類（小麦または大麦）を栽培（前年秋または 4 月～8 月上旬）したあとの 9 月～10 月上旬に実施した場合（5 圃場）の 3 通りがありました。各処理時期の Gp 密度低下率に有意な差はなく、いずれも高い低減効果（平均 88～98%）を示しました。捕獲作物栽培後および麦収穫後処理では効果がやや低い圃場が一部認められましたが、その要因については 21～22 ページで考察します。

また、D-D 剤処理は土壌の深い層の Gp 防除にも高い効果を示しました。4 圃場において、10 cm ごとに地表下 40 cm まで Gp 密度を調査した結果、D-D 剤が注入される深度 15～20 cm よりも深い 20～40 cm の土層においても Gp 密度低下率が 90%以上になっており、**D-D 剤処理は深い土層の Gp 防除にも有効**であることが確認できました（図Ⅲ-2）。Gp や Gr は、バレイショの根が多く分布する 0～25 cm の深さに最も多く分布し、深くなるほど密度は少なくなる傾向があります。Gr を対象に深さ 50 cm までの分布を調査した過去の例では、40 cm 以深からもシストが認められましたが、その割合は 40～45 cm が全体の 1.7%、45～50 cm が全体の 0.3%と僅かでした。これらはプラウ耕によって上層のシストが拡がった可能性が高いと考えられ、プラウ耕が届かない 50 cm 以深にはシストは分布しないと推察されます。今回の調査結果からは、40～50 cm の深さに分布するシストに対して D-D 剤処理が有効なのか不明ですが、少なくとも土壌中に分布するほとんどの Gp に対して高い低減効果を期待できる非常に有効な防除法であると言えます。



図Ⅲ-2 D-D 剤処理による土壌深度別 Gp 密度低減効果

D-D 剤処理後の土壌深度別 Gp 密度低下率の平均値±標準偏差。4 圃場調査平均。

本試験で調査した 18 圃場のうち、ほとんどの圃場（15 圃場）で Gp 密度が 92.9～99.3%低下し、非常に高い Gp 密度低減効果が認められましたが、3 圃場では密度低下率が 57.8～77.8%と、効果がやや低くなりました。これらの 3 圃場はいずれも麦または捕獲作物の栽培直後に D-D 剤を処理した圃場でした。D-D 剤の効果は深度 0～40 cm の広い範囲で Gp 密度低下率が 90%以上となりましたが（図Ⅲ-2）、小麦収穫後の D-D 剤処理では表層での防除効果が低くなる傾向がみられました（伊藤ら 2017）。捕獲作物の栽培後あるいは小麦収穫後の圃場では、多くの作物残さが土壌表層にすき込まれた状態で D-D 剤を処理することになります。D-D 剤の防除効果は、土壌条件およびガス化した D-D 剤が地表面から抜ける速度に影響を受けます。緊急防除における土壌消毒処理では、ローラーを用いた土壌の鎮圧は実施しているものの、ビニールシート等による被覆は実施していないため、ガスが土壌表面から抜けやすくなります。加えて、圃場表層に大量の作物残さがある条件では、鎮圧が不完全となり、さらにガスが抜けやすかったものと推測さ

れます。また、未熟な有機物や作物残さがガスを吸着するため、これらが多く含まれる土壌では防除効果が低下することも知られています（Whitehead & Turner 1998）。本試験では、これらの要因が効果不足に関与していた可能性があります。作物残さが多く残る圃場において D-D 剤処理を実施する場合には、事前にプラウ耕を実施して残さを地中深くすき込み、D-D 剤の注入処理直後には土壌面をしっかりと鎮圧することにより、効果が安定すると考えられます。

2. 実施計画策定、作業委託・管理

防除実施者（Gp の発生が確認された地域が属する都道府県）は、本書および過去の実施状況等を参考にしつつ、防除対象圃場の薬剤処理計画・スケジュール等を組み立て、必要な作業委託等を行った上、実際の防除作業を管理・監督します。北海道が実施した 2016 年からの緊急防除では、対象圃場の事前耕起・整地およびガス抜きのための耕起は各生産者に、D-D 剤の注入処理は農業公社に委託されました。以下に具体的な手順を示しますので、これを参考に作業を指導・管理し、的確な防除実施を図ります。

3. 作業手順

(1) 圃場の事前耕起・整地

注入した D-D 剤のガスが地中深くまで拡散するようにするため、土壌消毒処理の前にロータリーハローにより圃場を耕起します。土壌消毒機の薬液の注入刀（図Ⅲ-3 右）は地中 20 cm 程度の深さまで刺さるため、注入刀が損傷しないよう、ロータリーの深度はできるだけ深くします。なお、秋まき小麦や捕獲作物の栽培直後に処理を行う場合には、残さが多く残っているとガスが抜けやすくなります。麦かんはあらかじめ圃場外へ持ち出すとともに、プラウにより深めに耕起を行い、作物残さが土壌表層に残らないようすき込んでおきます。

(2) 土壌への薬液注入処理

1) 土壌消毒機

多くの地域において土壌消毒機は一般的ではありませんので、その実施にあたっては消毒機を実施者（都道府県）が用意する必要があります。2016年からの緊急防除では、みのる産業株式会社のIDM-80P（図Ⅲ-3）またはアグリテクノサーチ株式会社のDAX-621MSが使用されました（表Ⅲ-1）。これらを80馬力以上のトラクターによりけん引し、圃場内を一定速度で移動しながら薬液の処理と地表の鎮圧をしていきます。薬液は、消毒機に積んだ薬液缶あるいは貯留タンクからポンプにより吸い上げられ、地中に差し込んだ注入刀（図Ⅲ-3右）から吐出されます。

2) 処理時期および処理条件

D-D剤の殺線虫効果発揮には、処理したD-D剤がガス化して土壌中に拡散することが重要です。地温が低い時期に処理をすると、ガス化が不十分となり、防除効果が低くなるので、平均気温が15℃を超える6～9月頃が処理を行う適期です。やむをえず、それよりも気温が低い早春や晩秋に処理する場合には、土壌注入からガス抜き耕起までの処理期間を5日間程度延長します。



図Ⅲ-3 土壌消毒機 IDM-80P 改良型（左）とその注入刀（右）

右図赤矢印部分に薬液の吐出口がある。

表Ⅲ-1 土壤消毒機の諸元

型式	アグリテクノサーチ DAX-621MS	みのる産業 IDM-80P (改良型)
条数	6	8
条間	30 cm	30 cm
処理幅	180 cm	240 cm
注入ピッチ	30 cm (速度連動)	30 cm (速度連動)
標準作業速度	0.7 m/s	0.7 m/s
処理能率	45 a/h	60 a/h
搭載薬液缶数	20 L×4 缶	貯留タンク 200 L×2 基
薬液補充間隔(目安)	1 km (18 a)	3.8 km (90 a)

それぞれ緊急防除に最適化して調整・改造してあるため、メーカーのカタログ値と異なる場合があります。

3) 処理にあたっての留意事項：人畜への危害防止

D-D 剤は劇物に指定されているので取り扱いには注意します。本剤の液体は目や皮膚に対して強い刺激性があり、ガス化すると周囲へ拡散します。

処理にあたっては、人畜へ危害が及ばないように配慮し、作業の場所や内容を近隣の地域にあらかじめ知らせておくことが推奨されます。処理圃場と周辺施設等との位置関係に注意し、風向きによっては実施を延期する判断も必要です。処理の際は、作業を行っている圃場に関係者以外が立ち入らないよう規制します。また、本剤は水産動植物に悪影響を及ぼす可能性があるため、河川等の水域に流出しないよう慎重に管理します。

作業者は、防護服、ゴーグル、手袋および防毒マスクを着用し、自身への危害の防止に努めなければなりません。本剤はゴムやポリ塩化ビニルに対して腐食性があるため、保護具は有機溶剤に耐性のある素材のものを用います。参考として 2017～2019 年の緊急防除で使用された保護具類を表Ⅲ-2 に示します。

表Ⅲ-2 2017～2019年の緊急防除で使用された保護具類

保護具	品名・型番など	メーカー
防護服	プロシールド 10	旭・デュポン フラッシュスパン プロダクツ (株)
マスク	直結式小型防毒マスク GM30S	重松製作所
吸収缶	CA-1P1/OV (有機ガス用)	重松製作所
ゴーグル	YG-700 (有機溶剤対応)	山本光学 (株)
手袋	ダイローブ 5000	ダイヤゴム (株)

4) 土壌注入処理の実施

薬液の土壌注入処理は大雨の前や降雨直後を避けて実施します。消毒機の直後に鎮圧ローラー（図Ⅲ-3 左）を接続し、注入処理を行います。ローラーにより地表面をしっかりと鎮圧することで、ガス化したD-D剤が地表面から容易に抜けることを防ぎます。

薬液の注入刀を条間 30 cm、吐出口が地中 15～20 cm となるよう調整します。薬液の注入ピッチは 30 cm に設定し、隣り合った注入刀からの吐出タイミングを 15 cm ずらすことにより、千鳥状に薬液を注入します。薬液の吐出量は 40 L/10 a とします。トラクターの走行速度を 2.5 km/h に保ち、薬液を注入していきます。

なお、作業機械にはシストを含んだ土塊が付着します。処理が終了して圃場から移動する前には、高圧洗浄機を使用してしっかり洗浄します。圃場入り口にトラクターのタイヤが載るサイズのゴムシートなどを仮設すると、洗浄後のタイヤに土壌が再付着するのを防ぐことができます。仮設したゴムシートは最後に洗浄して回収します。

また、薬剤の空き缶は、産廃業者が残液処理も行う場合はふたを閉めてそのまま業者に引き渡します。残液の処理を引き受けてもらえない場合は、関係者以外が立ち入らないよう規制をしたうえで、圃場の端の土面にふたを開けた空き缶を逆さに伏せて浅く埋め込み（図Ⅲ-4）、薬液が完全になくなってから廃棄します。



図Ⅲ-4 使用済みの空き缶の処理例

(3) ガス抜き作業

土壌消毒処理を実施してから 7～12 日間程度経過したら、ロータリーハローにより圃場を耕起し、ガス抜きを行います。先に述べたように、気温が低い時期に処理した場合には、処理からガス抜きまでの期間を 5 日間程度長くし、12～17 日間程度とします。なお、ガス抜き作業を実施する場合も処理時と同様に防毒マスクの着用が必要です。

ガス抜き作業を行っても、土壌中の D-D 剤が十分に抜け切っていないと、後作の作物に薬害を引き起こす恐れがあります。したがって、ガス抜き作業を行ってから次の作物を植え付けるまで十分な間隔を空けます。ガス抜きに必要な日数は、温度条件（地温）により異なり、地温が 10～20℃では 15 日間程度、地温がそれ以下の場合は 20 日間程度とされています（詳しくは、各メーカーのホームページを参照ください）。2017～2019 年の緊急防除では、8～9 月に D-D 剤処理する場合、ガス抜きから次作（秋まき小麦）の播種までに 15 日間以上空けました。また、粘土質の圃場や処理後に大雨が降った場合はガスが抜けにくいので、ガス抜きを特に念入りに行う必要があります。

IV. 捕獲作物ペルビアナム栽培によるジャガイモシロシト センチュウ防除

Gp 捕獲作物であるペルビアナムを約 2 ヶ月間栽培することにより、Gp 密度を大幅に低下させることができます。6 月中下旬に 10 a あたり 320 g の種子を蒔き、60 日間栽培してから圃場にすき込みます。この時の草高は約 60 cm、地上部乾物重は約 460 g/m²となります。

以下に示す調査結果は、オホーツク地域の Gp 発生ほ場において 2017～2018 年に実施された緊急防除において行った調査により得られたものです。

1. オホーツク地域におけるペルビアナムの栽培適性

ペルビアナムは生育に温度を必要とするトマトの近縁種ですが、夏期が冷涼なオホーツク地域でも、北海道の他地域と同程度に生育します。

2017 年に網走市の Gp 発生 7 圃場において、ペルビアナムを 6 月中旬から 60 日間栽培した際の生育量を調査しました。栽培期間中の積算気温（6/14～8/12）は 1056℃日で、平年（1024℃日）とほぼ同程度でした。平均株立ち数は、100 本以上/m²、平均草高は 61.7 cm、地上部の平均乾物重は 462 g/m² であり（表IV-1）、Gr 防除で効果のあった試験例（乾物重：道南 310 g/m²、道東 520～560 g/m²、伊藤ら 2015）とほぼ同等の生育量でした。乾物重が平均 272 g/m² とやや少なかった圃場もありましたが、十分な Gp 密度低減効果（90.3%低減）が得られていました。これらから、この地域でのペルビアナムの栽培適性は問題ないと考えられました。

表IV-1 試験圃場におけるペルビアナム栽培概要と生育量

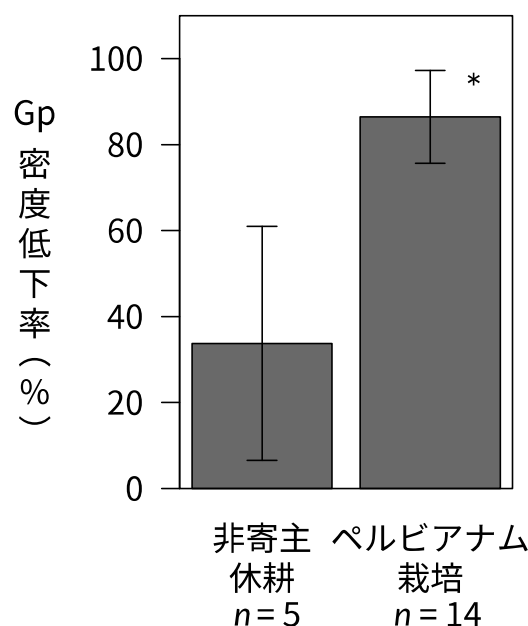
栽培年	圃場 記号	播種日	栽培期間 (日)	株数 ^{a)} (本/m ²)	草高 ^{a)} (cm)	地上部 ^{a)} 乾物重 (g/m ²)
2017	A	6/19	60	100 以上	69.9± 6.6	652±125
	B	6/18	60	100 以上	60.3±13.6	488±168
	C	6/14	60	100 以上	61.7± 2.9	514± 59
	D	6/16	60	156±7	52.4±11.5	414± 88
	E	6/17	60	100 以上	57.0± 5.7	506±107
	F	6/16	60	100 以上	58.1± 2.8	272± 13
	G	6/14	60	100 以上	72.6±12.0	391±134

a) 株数と地上部重は圃場内 3 か所で 1×1 m を坪刈りして調査。ただし株数は一部の圃場を除いて 100 本で計数を打ち切った。草高は坪刈り区画内の 3 か所を刈り取り前に計測し、平均値を各坪刈り区画のデータとした。乾物重は現地で計量した生草重からの推定値。数値は平均値±標準偏差。

b) 播種量は 320 g/10 a。

2. 捕獲作物ペルビアナム栽培によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果

2017～2018 年に計 14 圃場において、1 圃場につき 4 か所の調査地点を設置し、ペルビアナム栽培（播種量 320 g/10 a、栽培期間約 60 日）による Gp 密度低減効果を調査しました。その結果、Gp 密度は栽培前に比べて平均 86.4%減少しました（図IV-1）。これは非寄主栽培または休耕条件での同期間の平均密度低下率 33.8%に対して有意に高く、ペルビアナム栽培は Gp 密度低減に有効であることが確認できました。これまで Gr に対しては、ペルビアナムを 60～80 日間栽培することにより、その密度を約 90%低減させる効果を確認していましたが（伊藤ら 2015）、Gp に対しても同程度の防除効果を得られることが分かりました。

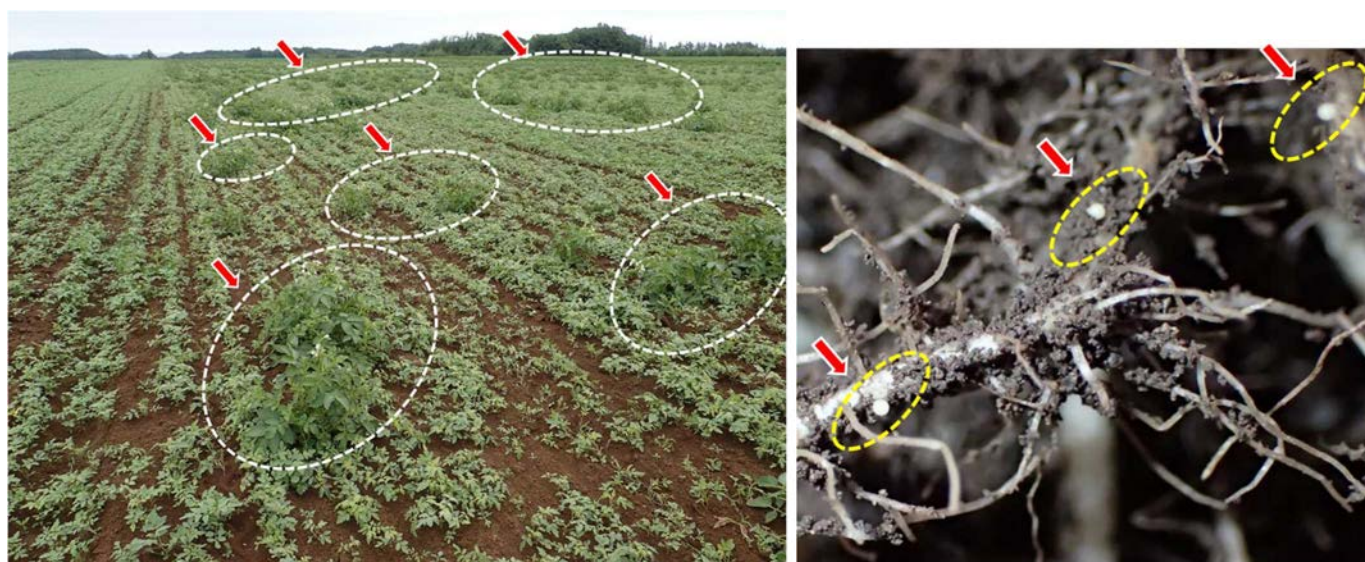


図IV-1 ペルビアナム栽培による Gp 密度低減効果

Gp 密度低下率は、各調査圃場の平均密度低下率の平均値±標準偏差を示す。*n* は調査圃場数。非寄主作物は秋まき小麦または緑肥。アスタリスクを付したデータは「非寄主・休耕」に対して有意差あり ($P < 0.05$ 、Welch の *t* 検定)。

一方、調査した 14 圃場のうち 4 圃場では Gp 密度低下率が 75%以下となり、防除効果がやや劣る場合もありました。これら 4 圃場のうち 3 圃場は 2018 年の調査圃場でした。2018 年は生育不良圃場が散見されましたが、これはペルビアナムの生育盛期である 7 月上旬～中旬の気温が低かったため（網走気象台で平年比 -1.1°C ）、ペルビアナムの生育不良が生じ、その結果、防除効果が低下した可能性があります。

また、調査圃場の中には図IV-2 左側の写真のように野良イモ（バレイショの収穫時に収穫漏れ等によって収穫されずに圃場に残ったイモが、翌年以降に出芽・雑草化したもの）が多発している圃場も認められ、その根では図IV-2 右側の写真のように成育した Gp の雌成虫が観察されました。したがって、野良イモが多く生えている地点・圃場では、野良イモで Gp が増殖するため、ペルビアナムによる低減効果が減衰する可能性があります。したがって、Gp 密度低減効果を十分に発揮させるにはペルビアナムの生育量の確保と野良イモ対策が重要であると考えられます。



図IV-2 ペルビアンム栽培圃場に発生した野良イモ（左、矢印）と野良イモの根に寄生・成育した Gp 雌成虫（右、矢印）

3. 実施計画策定、作業委託・管理

防除実施者（都道府県）は、本書および過去の実施状況等を参考にしつつ、防除対象圃場の捕獲作物栽培計画等を組み立て、必要な捕獲作物の種子や農薬の手配、作業委託等を行った上、播種作業等を管理・監督します。2016年からの緊急防除では、対象圃場の事前耕起・整地および各種農薬散布作業、捕獲作物の細断、すき込み作業は各生産者に、捕獲作物の播種作業は農業公社に委託されました。以下に具体的な手順を示しますので、これを参考に作業を指導・管理し、的確な防除実施を図ります。

4. 作業手順

（1）圃場の事前準備

雑草が多い圃場では機械除草や除草剤を散布して雑草防除をしておきます。播種前には整地が必要ですが、細かく深く耕起すると播種深度が深くなり出芽不良の原因になりますので、**ロータリーは浅めにかける**ようにします。ディスクハローが付属した播種機を使用する場合は、事前の整地は粗めでも問題ありません。

エアシーダーなどの同時施肥ができない播種機を使用する場合は、耕起の前にブロードキャスター等で化成肥料（NPK 各 5～8 kg/10 a 相当）を散布して混和しておきます（播種機にディスクハロー等が装着されている場合は混和作業を省略できます）。

(2) ペルビアナムの播種

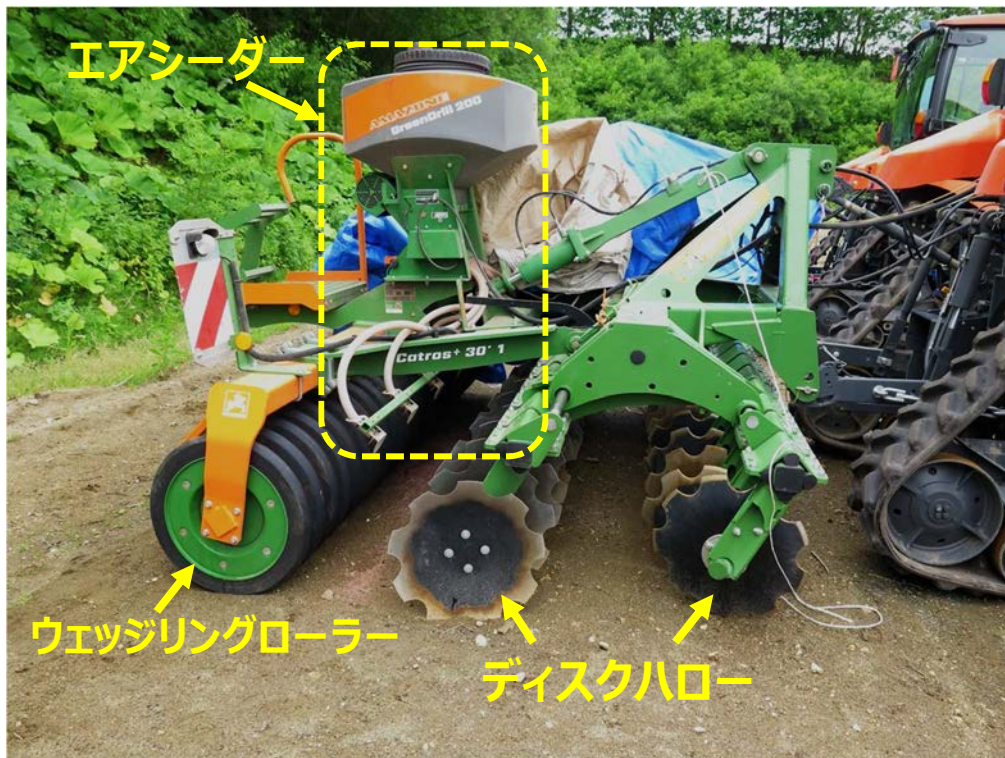
1) 種子の調達

ペルビアナムの種子は、雪印種苗株式会社から「ポテモン」の商品名で販売されています。必要量を事前に見積もり、購入します。

2) 播種機

ペルビアナムの種子は非常に小さいため、圃場に均一に播種するにはエアシーダーによる播種が推奨されます。しかし、エアシーダーは汎用・普及機械ではありませんので防除実施主体（都道府県）が用意・提供する必要があります。網走市の緊急防除ではエアシーダー（Amazone GreenDrill 200）を搭載したディスクハロー（Amazone Catros+ 3001）が用いられました（図IV-3）。ディスクハローでの碎土、エアシーダーによる種子散布、ウェッジリングローラーによる鎮圧がひとつの工程で実施できます。

この他にも鎮圧ローラーが付属しているグラスシーダーであれば使用可能です。ドリルシーダーでも代用可能ですが、あらかじめ肥料と混和して肥料ホッパーに入れる必要があるため、作業が煩雑になります。また、肥料と種子を均一に混和することが難しいため、播種精度が低くなります。



図IV-3 播種機の例

3) 播種時期

ペルビアナムの播種は、霜の恐れが無くなった時期に行います。オホーツク地域では 6 月中下旬が適しています。

4) 播種

播種量は 10 a あたり種子 320 g、播種深度は 1 cm 以内となるように調整します。ドリルシーダーでは、規定の播種量と施肥量になるように種子と肥料と混和して、施肥ホッパーに充てんします。粒径が大きい肥料の場合は、混和しすぎると種子が下に偏っていく可能性が高いので混ぜすぎないようにします。

5) 鎮圧

通常は播種機後部に接続した鎮圧ローラーで十分です。播種機に鎮圧ローラーが付属しない場合は、播種後にケンブリッジローラー、タイヤローラーなどで鎮圧してください。

6) 除草剤散布

ペルビアナムは一般の緑肥作物に比べて初期生育が緩慢です。雑草が多発すると生育が抑制されてしまい、期待した Gp 密度低減効果が得られない場合もあります。そのため、ペルビアナムの生育を確保するには、播種直後に土壌処理の除草剤を処理することが必要です。最も適した除草剤はメトリブジン水和剤（センコル水和剤）です。播種直後に 10 a あたり 100 g/100 L を全面土壌散布します。

なお、ペルビアナムに対して登録のある農薬は、下記の病害虫防除剤を含めてありません。これらの農薬を緊急防除で使用する場合には、農薬取締法に基づく遵守すべき基準の適用を除外されています。使用する農薬や処理濃度、散布時期・回数等は、本書および過去の緊急防除事例等を参考に選定します。

(3) 栽培管理

ペルビアナムは出芽が遅く初期生育が緩慢です。播種から出芽まで 1～2 週間程度かかることがあり、播種後 1 ヶ月ぐらいまでは草丈 10～20 cm 程度にしかならず、地表面の露出が目立ちます。しかし、その後の 1 ヶ月で草丈 50～70 cm まで生長します。最終的に圃場の地面が見えない程度に繁茂すれば、十分な Gp 密度低減効果が期待できます。

1) 野良イモ対策

捕獲作物を栽培している際に野良イモが発生すると、Gp がそれに寄生して増殖するため（図IV-3）、結果として捕獲作物による Gp 低減効果が小さくなる懸念があります。したがって、野良イモは株が小さなうちに除去する必要があります。除草剤を使用する場合は、残ったイモから再生しないように浸透移行性のある除草剤（たとえば、グリホサートカリウム塩液剤 [ラウンドアップマックスロード]）の使用が推奨されます。除草剤を処理する際は、周囲のペルビアナムに付着しないように刷毛などを用いて一株ずつ薬液を塗布するか、背負の噴霧器等を用いてスポット散布します。

また、冬期間に雪踏みを実施しておくこと、圃場に残っているイモが凍結して出芽しなくな

るため、翌年の野良イモ発生を抑制することができます。詳しくは「土壌凍結深制御技術標準作業手順書」(https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/136935.html) を参照ください。

2) 病害虫対策

ペルビアナムは疫病にかかりやすいので注意が必要です（図IV-4）。疫病の発生が懸念される場合は殺菌剤を生育中に 1～2 回散布します。生育に影響するような虫害の発生はありませんが、アブラムシが増えて他の作物への影響が危惧される場合は防除が必要になります。これまでの緊急防除では疫病対策としてオキサチアピプロリン・ファモキサドン水和剤（ゾーベックエンカンティア SE、2000 倍）、シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤（エキナイン顆粒水和剤、2000 倍）、ジアゾファミド水和剤（ランマンフロアブル、1000 倍）、フルオピコリド・プロパモカルブ塩酸塩水和剤（リライアブルフロアブル、800 倍）、マンジプロパミド水和剤（レーバスフロアブル、1500 倍）、ベンチアバリカルブイソプロピル・TPN 水和剤（プロポーズ顆粒水和剤、750 倍）といった薬剤が使用されました（年によって使用された薬剤が異なります）。アブラムシ対策としてはフロニカミド水和剤（ウララ DF、2000 倍）が使用されました。



図IV-4 疫病に罹病したペルビアンナム

疫病により黒変した葉と茎（矢印）

3) 雑草対策

栽培中の雑草防除は基本的に不可能であるため、播種時の除草剤による防除が必須です。播種後 60 日より前に雑草が繁茂してきた場合は、雑草の結実を回避するため、早めに栽培を終了することが推奨されます。ペルビアンナムの草丈が 50 cm 程度確保されていれば栽培を終了して問題ありません。ペルビアンナムの生育がこれより大幅に劣る場合には防除効果が低くなる可能性があります。雑草の生育の方が速いため 60 日以前での栽培終了を積極的に検討してください。

(4) 栽培終了

1) 細断・すき込み

播種後約 60 日が栽培終了時期となります。栽培終了時は、チョッパー等で地上部を細断してからプラウですき込みます。捕獲作物栽培に続けて D-D 剤を処理する場合

は、捕獲作物の残さの影響で D-D 剤の効果が低くなることがあります。チョッパーで細断した地上部はなるべく深くすき込むように注意します。

2) 腐熟期間

すき込み後は通常の緑肥作物と同様に、2～3 週間の腐熟期間を必要とします。また、後作では窒素肥料を成分量で 2～3 kg/10 a 程度削減します。特にペルビアナムに続けて秋まき小麦を栽培する場合は、窒素供給過多で倒伏が懸念されますので、生育を考慮しながら起生期以降の施肥量をコントロールします。

V. 防除を成功させるための防除組み合わせ

D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回を組み合わせた防除を実施することにより、ほとんどの Gp 発生圃場でその密度をごく低密度に低減できます。これを目安として既存輪作体系に組み込んで実施することで、効果的な防除が期待できます。

1. 複数回防除によるジャガイモシロシストセンチュウ密度低減効果

Gp 密度が非常に低い圃場を除いて、1 回の防除で Gp をごく低密度に抑え込むことは難しく、一般的には防除を複数回重ねる必要があります。そこで、Gp をごく低密度に抑え込むのに必要十分な防除回数、防除の組み合わせを明らかにするため、2018 年に緊急防除により Gp 防除が実施された圃場 149 筆（Gp の初期密度は不明）を対象に、それまでの防除内容と Gp 残存の関係について調査しました。この調査は卵密度調査ではなく³、カップ検定法（10、11 ページ）またはふ化促進物質法（下記）により**生きている Gp が検出されるかどうか**で判定しました（生きている Gp が検出されなければ「ごく低密度」と判定）。カップ検定法による調査では 250 mL の大きさのカップを使用し、2018 年の防除終了後に各圃場から採取した土壌を 125 mL ずつ詰めて Gr 抵抗性品種を植え付け（3 連ずつ）、雌成虫またはシストの形成を調査しました。

ふ化促進物質法：シストから取り出した卵にふ化促進物質ソラノエクレピン A を作用させて、幼虫がふ化するかを調査することによって生きた Gp が残っているかを評価します。ふるい分けシスト流し法で土壌 100 g から分離したシストを実体顕微鏡下で全て拾い出し、破碎して内部の卵を取り出します。この卵を Gp・Gr のふ化促進物質であるソラノエクレピン A の 10 ppb 溶液（ソラノエクレピン A は北海道大学と北農研との共同研究により人工合成

³ 顕微鏡観察による卵の調査では、生きている卵と僅かに混ざる死亡卵やふ化活性が無い卵との正確な見分けが難しいので（特に低密度条件）、「ごく低密度」の判定には向かない。

に成功し、その合成物を使用)、またはバレイショ水耕排液の 2 倍希釈液 (ソラノエクレピンAが含まれる) に7日間浸漬処理して、**ふ化した幼虫数**を計数しました (2~3 反復)。なお、幼虫は Gp と Gr の判別がつかないため、ふ化した幼虫からまとめて DNA を抽出し、種特異的プライマーを用いた PCR 法 (標準作業手順書「ジャガイモシストセンチュウ類 2 種の同時判別技術」) によって Gp の存否の判定をしました。

その結果、1 回の防除 (D-D 剤処理または捕獲作物栽培) だけでも、多くの圃場で生きた Gp が検出されなくなり、「ごく低密度」への抑え込みに成功していました (表 V-1)。これらの圃場は初期密度が元々低かったと推察されます。一方、およそ 30~50% の圃場では生きた Gp が検出されたことから、防除 1 回だけでは不十分な場合も多くあることが確認できます。防除が 2 回 (D-D 剤 1 回 + 捕獲作物 1 回、または捕獲作物 2 回) の場合でも同様のことが言えます。一方、**防除を「D-D 剤 2 回 + 捕獲作物 1 回」の計 3 回実施した場合には、ほとんどの圃場 (96%) で生きた Gp が検出されなくなりました。**今回の調査では、「D-D 剤 2 回」の組み合わせがありませんでしたので (実施されなかった)、これに「捕獲作物 1 回」を足した 3 回防除が、高い防除成功率を得るのに必須かどうかを

表 V-1 2018 年防除終了後の 149 圃場の生存 Gp 検出状況

防除回数	防除内容 ^{a)}	該当圃場数	生存 Gp 非検出圃場数 ^{b)}	生存 Gp 非検出圃場率 ^{c)}
1 回防除	D-D 剤 1 回	7	5	71%
1 回防除	捕獲作物 1 回	64	30	47%
2 回防除	D-D 剤 1 回、捕獲作物 1 回	50	25	50%
2 回防除	捕獲作物 2 回	3	1	33%
3 回防除	D-D 剤 2 回、捕獲作物 1 回	25	24	96%
計		149	85	57%

a) 2016~2018 年の 3 年間で実施された防除内容

b) カップ検診法・ふ化促進物質法の両方で Gp が検出されなかった圃場数

c) Gp 非検出の圃場数 / 調査圃場数

科学的に結論づけることはできませんが、「D-D 剤 2 回、捕獲作物 1 回」の組み合わせ防除は、**防除を成功に導くための一つの目安**になると判断されます。

2. 防除を成功させるための防除実施体系例

上記のように「D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回」による防除は、Gp 密度をごく低密度へ低減させるための目安になります。これを北海道オホーツク地域における代表的な輪作体系において、短期間での防除終了を目指して組み合わせた場合の一例を図 V-1（図 II-3 の再掲）に示しました。なお、D-D 剤処理を 1 年で 2 回実施する（D-D→D-D または D-D→捕獲作物→D-D）ことは推奨しません。防除効果を判定するための植物防疫所による検査は、個々の防除終了時に実施されるのではなく、その年の防除が全て終わった後に実施されます。D-D 剤処理は防除効果が高いため、1 回目の処理で防除が成功する（Gp が検出されなくなる）場合も少なくありません。その場合、2 回目の D-D 剤処理は「過剰な防除」となってしまいます。D-D 剤は環境への負荷が指摘されている薬剤ですので、環境に配慮し、過剰な施用は避ける必要があります。

防除体系	1年目				...	2年目				...	3年目			
	6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月		6月	7月	8月	9月
A	捕獲作物		DD	秋まき小麦				DD	非寄主作物					
B	秋まき小麦		DD	捕獲作物		DD	非寄主作物							
C	秋まき小麦		DD	非寄主作物				捕獲作物		DD				

図 V-1 Gp 密度をごく低密度へ低下させるための防除実施体系例

図中の A、B、C は、オホーツク地域における代表的な輪作体系（ただし、バレイシヨの栽培は禁止）に組み込んだ場合の体系例を示す。通常は体系 A を実施し、Gp 検出時に秋まき小麦がすでに作付けされていた圃場では体系 B または C を実施する。茶色枠内の DD は D-D 剤による土壌消毒を示す。図中の非寄主作物はてん菜、春まき小麦、二条大麦、豆類、野菜（ナス科を除く）などだが、当地域ではほとんどの場合「てん菜」が該当する。

Gp の発生圃場が確認されたら、最初に防除計画を立てます。Gp 密度によっては 1 回の防除でごく低密度に抑え込める可能性もありますが、Gp の密度調査は容易ではなく、一般的には行われません。つまり、密度情報が不明な状態で防除計画を立てなくてはなりません。そこで **Gp の発生が確認されたらまず、当該地域の既存輪作体系下で図 V-1 のように「D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回」の処理を行う防除スケジュールを組み立て、防除を実施していきます。**毎年度の防除終了後に植物防疫所によって実施される「防除効果確認調査」の結果に応じて、次年度以降の防除継続を判断します。密度が低い圃場は 1 年目の防除で防除完了になることもあります。このようにすることで、効率的かつ確実な防除が可能です。

なお、上記の防除組み合わせや体系例は「短期間で防除成功を期待できる例」として示したものであり、防除を成功させるための必須条件ではありません。防除手段や防除スケジュールはその地域の輪作体系や実情に応じて選択し、組み立てていく必要があります。

3. ジャガイモシロシストセンチュウの恒常的な封じ込めに向けて

上記のように、防除実施年の秋に植物防疫所によって行われる検査で Gp が検出されなければ、「防除完了」となり、バレイショの栽培再開が可能になります。しかし、一般的に検査の検出感度には限界があるため、Gp が検出されなかった圃場にも Gp がごくわずかに残存している可能性があります。バレイショ栽培再開時に Gp 感受性のバレイショ品種を作付けしてしまうと、残っていた Gp が少しずつ増殖していずれ再検出される恐れがあります。再増殖・再検出を防ぐためには、Gp の増殖を抑える効果がある抵抗性品種の活用が不可欠です。農林水産省消費・安全局長通知「ジャガイモシロシストセンチュウ再発防止対策指導要領」では、バレイショ栽培再開時には Gp 抵抗性品種を栽培するよう指導することが求められています。

しかし、2022 年時点で活用できる Gp 抵抗性バレイショ品種は、「**フリア**」（でん粉原料用）1 品種だけです。これまでに Gp が発生したオホーツク地域は、でん粉原料バレイショ

の生産が多い地域ですので、この用途の品種が優先的に検討されました。当地域の防除が完了した圃場においては、「フリア」の活用と輪作の徹底により、Gp 封じ込めを恒常的に維持するよう図ります。一方、都府県などでん粉原料用バレイショ品種の栽培が向かない地域で Gp が発生した場合に備えて、生食や加工用途の Gp 抵抗性品種の育成も急ピッチで進められており、早期の品種登録、実用化が望まれます。

VI. 防除対策にかかる労力と経費

D-D 剤処理および捕獲作物栽培による防除にかかる労力と経費を表VI-1 と表VI-2 に示します。これらは 2018 年に網走市において実施された緊急防除の実績から算出し、調査圃場数は D-D 剤処理が 120、捕獲物栽培が 127 圃場でした。なお、緊急防除にかかる防除経費は、国（農林水産省）から手当てされます。

表VI-1 D-D 剤による土壌消毒処理にかかる労力と経費

区分	労力 (分/10 a)
処理前整地	9.0
薬剤処理	10.0
処理作業補助 ^{a)}	4.0
ガス抜き	9.0
計	32.0

区分	経費 (円/10 a)
薬剤費	29,900
作業人件費	13,400
関連資材費 ^{b)}	600
計	43,900

a) 薬液補給、器具洗浄を含む（2名配置）。

b) 防毒マスク、吸収缶、防護服、防護手袋等。

表VI-2 捕獲作物の栽培にかかる労力と経費

区分	労力 (分/10 a)
播種前整地・施肥	18.0
播種	2.5
農薬散布 (2回)	2.4
すき込み	9.0

計	31.9

区分	経費 (円/10 a)
種子代	12,200
作業人件費	15,500
関連資材費 ^{a)}	5,100

計	32,800

a) 肥料、除草剤、疫病防除薬剤等。

D-D 剤の処理および捕獲作物の栽培にかかる労力は、ともに 10 a あたり 32 分 です。D-D 剤の処理にかかる経費は、10 a あたり 43,900 円であり、捕獲作物の栽培にかかる経費は 10 a あたり 32,800 円です。

Ⅶ. 補足情報

1. ふるい分けシスト流し法

土壌中のシストセンチウ類のシストを分離する方法です。乾燥したシストが水に浮く性質を利用して土壌から分離します。作業の大まかな流れは以下の通りです。

- ① 圃場から採取した土壌を風乾します（十分に乾燥させる）。
- ② 2～3 Lの手付きポリビーカーに風乾土壌を入れ（一般的な調査での供試量は100 gです）、さじでかき混ぜながら目盛りいっぱいまで水を注いで懸濁します（図Ⅶ-1 上段左）。
- ③ 10秒程度静置し（図Ⅶ-1 上段真ん中。シストは水面に浮きます）、2段重ねにしたふるい（上：目開き850 μm のふるい、下：目開き212 μm のふるい）に水面の浮遊物を注ぎ入れます（図Ⅶ-1 上段右。土壌残渣はビーカーに残すようにします）。シストは上のふるいは通りますが、下のふるいは通らないので、下のふるい上に集まります。
- ④ ビーカー内の土に対してさらに②～③を2回繰り返します。
- ⑤ 下のふるいの残渣を水流で集め、ロートにセットしたろ紙上に流し込みます（図Ⅶ-1 下段右と真ん中）。
- ⑥ 水が引いたろ紙を回収します（図Ⅶ-1 下段左）。



図Ⅶ-1 ふるい分けシスト流し法

乾燥シストが水に浮く性質を利用して、重い土壌粒子と分けてふるいに集め、ろ紙に回収します。

参考資料

1. 伊藤賢治, 奈良部孝, 佐久間太, 臼木一英, 相場聡, 小野寺鶴将 (2015) ナス科対抗植物の短期間栽培によるジャガイモシストセンチュウ密度低減, 北農, 82, 399-406.
2. 伊藤賢治, 奈良部孝, 小野寺鶴将, 相場聡, 串田篤彦, 村松康一, 相場勝 (2017), 下層土におけるジャガイモシロシストセンチュウの存在および D-D 剤の効果, 北日本病害虫研究会報, 68, 160-163.
3. 伊藤賢治, 小野寺鶴将, 奈良部孝 (2020) ジャガイモシロシストセンチュウの緊急防除対策技術, 北農, 87, 281-289.
4. 奈良部孝, 伊藤賢治, 相場聡 (2017) ジャガイモシストセンチュウ発生圃場における有機リン系殺線虫剤の線虫密度抑制およびバレイシヨの減収回避効果, 北日本病害虫研究会報, 68, 155-159.
5. 小野寺鶴将, 古川勝弘, 奥山昌隆, 真鍋照彦, 伊藤舞, 斉藤克史 (2017) ジャガイモシストセンチュウ発生圃場における密度推定のための省力的な土壌サンプリング法, 北農, 84, 31-35.
<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010910446.pdf>
6. Sakai H., Kushida A. and Narabu T. (2019) Identification of the potato cyst nematodes based on two-step multiplex endpoint PCR with the dUTP/UNG system for carry-over prevention, Nematological Research, 49, 19-27.
7. Whitehead A. G. and Turner S. J. (1998) Management and regulatory control strategies for potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*), Potato Cyst Nematodes Biology, distribution and Control (eds Marks R. J. and Brodie B. B.), p135-152, CAB International, Wallingford, UK.
8. 山田英一 (1987) ジャガイモシストセンチュウの生態と防除に関する研究, 北海

道立農業試験場報告, 61, p1-98.

9. 標準作業手順書：土壌凍結深制御技術（農研機構 標準作業手順書 2020 年）
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/136935.html
10. 標準作業手順書：ジャガイモシロシトセンチュウ類 2 種の同時判別技術（農研機構 標準作業手順書 2022 年）
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/151619.html
11. 成果情報：プラスチックカップを用いたジャガイモシロシトセンチュウの簡易検出・密度推定法（農研機構 技術・普及 共通基盤・病害虫（虫害） 2007 年）
<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/harc/2007/cryo07-07.html>
12. 成果情報：ジャガイモシロシトセンチュウ抵抗性品種「フリア」の特性（農研機構 研究成果情報 北海道農業研究センター 2019 年）
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/harc/2019/harc19_s14.html
13. 成果情報：ジャガイモシロシトセンチュウの緊急防除技術（農研機構 普及成果情報 病害虫・鳥獣害 2020 年）
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/harc/2020/20_045.html
14. 植物防疫法：<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=325AC000000151>
15. 農林水産省 ジャガイモシロシトセンチュウに関する情報, https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/gp/gp.html（2022 年 4 月 22 日現在）

16. 農林水産省消費・安全局長通知（2 消安第 401 号）ジャガイモシロシトセンチュウ再発防止対策指導要領, https://www.maff.go.jp/pps/j/law/houki/yoko/yoko_200423.html
17. 北海道ジャガイモシトセンチュウ類防除対策基本方針（北海道農政部, 2016 年改訂）
http://www.agri.hro.or.jp/boujoshou/shishuto_kihonhoushin.pdf

担当窓口、連絡先

外部からの受付窓口：

農研機構 北海道農業研究センター 事業化推進室 011-859-9212



「農研機構」は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構の通称です。