



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse
naturali e Ambiente

Corso di laurea in scienze tecnologie agrarie

L'impiego del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.)
Moench) per contrastare i nematodi

Relatore

Prof. Stefano Macolino

Laureando

Ilario

Nardi

Matricola n

1220827

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

Riassunto	5
Abstract	7
1.Introduzione	8
2.Il Sorgo	9
2.1 Storia del sorgo.....	9
2.1.1 Classificazione botanica	10
2.1.2 Morfologia.....	11
2.1.3 Tecnica colturale.....	12
3.Nematodi	13
3.1 la Storia.....	13
3.1.1 Morfologia.....	13
3.1.2 Riproduzione e ciclo di sviluppo.....	14
3.2 Azione del nematode sulla pianta da reddito.....	15
3.2.1 Sintomatologia.....	17
3.3 I fattori ecologici che influenzano la vita del nematode.....	17
3.3.1 Metodi di controllo.....	17
3.3.2 La resistenza delle piante	20
4.Le cover crop	21
4.1 Storia e generalità sulle cover crop.....	21
4.1.1 Pratiche agronomiche alternative alle cover crop	22
4.2 Cover crop biofumiganti	23
4.2.1 Effetti positivi indiretti della biofumigazione.....	24
4.2.2 Ruolo delle fitoanticipine nelle cover crop biofumiganti.....	24
4.3 Processo chimico di biofumigazione	25
4.3.1 Variabili che influenzano l'efficienza di biofumigazione	27
5. Il sorgo nematocida	28
5.1 La durrina	28
5.1.1 Azione del sorgo contro i nematodi	30

6. Conclusione	37
Bibliografia	38
Sitografia.....	39
Ringraziamenti.....	40

Riassunto

L'impatto di fitofagi e patogeni incide negli anni in maniera più o meno importante sulle coltivazioni a livello mondiale. Molto dipende dal clima del paese, dallo stato di sviluppo del paese e quindi dalle metodologie di lotta messe in atto per contrastarli.

I nematodi sono fitofagi polifagi che negli anni hanno portato all'abbandono delle terre coltivate.

Essi causano sia un danno diretto a carico della struttura epigea ed ipogea della pianta, sia un danno indiretto fungendo da vettori di virus.

Per contrastarli sono state utilizzate in passato diverse sostanze di sintesi ad oggi revocate.

Sono ancora disponibili dei prodotti chimici che presentano, tuttavia, un alto rischio tossicologico i quali non sempre sono efficienti e favoriscono l'insorgere di razze resistenti.

Guardando alle richieste dell'Unione Europea, di ridurre l'utilizzo dei prodotti fitosanitari ed incentivare l'applicazione di nuovi metodi di lotta più sostenibili, le cover crop hanno preso piede come mezzo per contrastare i nematodi attraverso l'impiego di specie con proprietà nematocide e biofumiganti. Tra le specie vegetali che presentano proprietà nematocide vi è anche il sorgo, il cui impiego è in costante crescita.

Nell'elaborato vengono descritti inizialmente la pianta del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in tutte le sue caratteristiche botaniche e i nematodi, in modo particolare, la loro modalità d'azione sulla pianta da reddito.

La sezione centrale dell'elaborato tratta la possibilità di utilizzo e l'efficacia della specie *Sorghum bicolor* come cover crop nematocida, con un occhio di riguardo alla durrina, una delle molteplici molecole presenti nella pianta del sorgo.

Questa molecola è un glicoside cianogenetico contenuto nelle cellule del mesofillo fogliare. Grazie all'enzima *B-glucosidasi* essa può liberamente trasformarsi in acido prussico (chiamato acido cianidrico), il quale è tossico per gli animali. Esso tende a legarsi alle molecole di ferro contenute nel citocromo delle cellule ossidasi causando l'arresto della respirazione cellulare. Si ipotizza che lo stesso effetto si manifesti anche nei confronti dei nematodi.

Da un punto di vista agronomico si è constatato che la concentrazione della durrina nel sorgo varia a seconda dell'età in cui viene terminata la cover e a seconda della specie di sorgo impiegata.

La durrina è presente soprattutto nel *Sorghum bicolor*, nel *Sorghum Sudanense* e in ibridi derivanti dall'incrocio di queste due sottospecie.

Abstract

Pests and pathogens affect global crops in different ways. Most depends on the weather condition of the country, the state of development and which methods are applied to control pests and pathogens.

Nematodes are pests that attack different crops and during many years have caused the abandoned of the lands. They produce on the epigeal and hypogeal section of the crop a direct damage and they could also provoke an indirect damage like virus carriers. Chemical substances have been used to destroy nematodes in the past but then have been avoided.

Other chemical products are available nowadays but they present a high risk for human health, they not always working well and the extreme use induces pests species to become stronger. Looking for Europe requests to decrease the use of chemical products and encourage sustainable pests control methods, cover crops are employed a lot against nematode, especially biofumigation and nematocidal plants.

The first part of the composition talks about sorghum with his botanical characteristics and the nematodes, especially their way to assault crops.

The middle of the composition talks about use and efficiency of *Sorghum bicolor* like cover crop against nematodes, especially regard dhurrin, one of the natural molecules naturally present in the plant.

This molecule is a glycoside cyanogenic which is into the leaf cells.

Dhurrin thanks to the enzyme *B glucosidasi* can turn into prussic acid (also call acid hydrocyanic), which is toxic for animals. Acid tend to connect with iron molecules contained in citocromo cells and this arrest cell respiration. The same effect we think is showing against nematodes.

From an agronomic point of view it is proved that dhurrin concentration in sorghum depends on the plant age when it is minced and on the species of sorghum used.

Sorghum bicolor, *Sorghum Sudanense* and crossbreeds of these two subspecies are the ones with the highest concentration of dhurrin.

1. Introduzione

Nei decenni a venire si stima un costante aumento demografico a livello mondiale e per far fronte a questo negli ultimi decenni si sta cercando di aumentare la resa produttiva ad ettaro delle colture implicate nella catena alimentare, grazie a numerosi studi e al miglioramento genetico.

I patogeni e gli insetti che colpiscono le varie colture sono un fattore che incide in maniera notevole sulla perdita di resa ed economica.

Infatti, è molto difficile standardizzare quantitativamente le perdite di resa associate a molti paesi, ed è per questo che analizzando 67 paesi si è ottenuta un'elevata variabilità di dati.

Le maggiori perdite di resa sono state rilevate soprattutto nei paesi con alto tasso demografico, in via di sviluppo e con un frequente sviluppo o ritorno di malattie e insetti.

Considerando le cinque colture più diffuse a livello mondiale possiamo considerare questi i valori complessivi riportati nella seguente tabella.

Tabella 1.1: Perdite a livello mondiale su diverse colture (Savary et al., 2019).

coltura	perdita in % sulla resa ideale
riso	30,0 %
patata	17,2 %
mais	22,5 %
soia	21,4 %
grano	21,5 %

I miglioramenti apportati in agricoltura nel corso degli anni, hanno coinvolto anche i patogeni e gli insetti. Essi vengono riconosciuti come parte integrante del sistema agroalimentare e la

loro evoluzione segue l'intero sistema. Questa coevoluzione riguarda, da una parte lo studio per migliorare e selezionare piante con meccanismi di difesa innovativi e funzionali, dall'altra i patogeni e gli insetti che hanno incrementato la loro aggressività, la loro capacità riproduttiva e anch'essi si sono evoluti per contrastare i vari prodotti chimici creati negli anni.

Sono state introdotte nuove tecniche agronomiche per cercare di contrastare possibili patogeni e mantenere un equilibrio tra l'ecosistema attuale e l'agroecosistema, cercando di ridurre l'impatto ambientale (Savary et al., 2019).

L'utilizzo delle cover crop fa parte di queste pratiche agronomiche, riprende in parte la tecnica del sovescio ma allo stesso tempo permette di apportare al terreno altri benefici. Generalmente l'obiettivo principale è quello di incrementare la sostanza organica e migliorare la struttura del suolo ma alcune specie possono apportare ulteriori benefici.

2. Il Sorgo

Per coltura erbacea si intende una pianta con fusto non lignificato, coltivata su terreno classificato nel catasto italiano come seminativo e dall'ISTAT come arativo.

A livello mondiale i seminativi rappresentano appena il 10% dell'intera terraferma (Giardini et al., 1989).

Le piante erbacee coltivate nel mondo sono molte, complessivamente 2500 specie, ma solo alcune occupano superfici di un'ampiezza rilevante.

Le colture che a livello globale interessano più di quattro milioni di ettari sono una trentina (Giardini et al., 1989).

2.1 Storia del sorgo

Il sorgo è una coltura erbacea appartenente alla famiglia delle Poaceae ed appartiene ai cereali microtermi (Giardini et al., 1989).

Riguardo la sua origine ci sono stati lunghi dibattiti e le prime prove della sua esistenza sono state ritrovate nel Sahara attorno all'8000 AC (Venkateswaran et al., 2018).

A livello italiano viene coltivato prevalentemente in Emilia-Romagna, Marche, Abruzzo e Molise, annualmente si contano circa 46 mila ettari.

India, Nigeria, Mexico, Stati Uniti, Argentina ed Etiopia sono i maggiori produttori a livello mondiale.

L'immensa diversità morfologica del sorgo è data dalle diverse situazioni climatiche e dall'esposizione geografica nelle zone d'origine delle varietà antiche; il tutto ampliato con la selezione imposta dall'addomesticamento dell'uomo.

La granella di sorgo rappresenta la base alimentare di intere popolazioni in paesi in via di sviluppo con clima arido, nei quali è difficile coltivare sia riso che mais. In alcuni paesi avanzati (Stati Uniti e sud Europa) viene impiegato per l'uso zootecnico sfruttando cultivar a ciclo breve (Giardini et al., 1989).

Ad oggi ci sono 22 specie registrate ma solo una è coltivata: *Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *bicolor*, le altre 21 specie sono spontanee e a volte infestanti.

2.1.1 Classificazione botanica

Esistono diversi tipi di sorgo ma sono tutti appartenenti ad un'unica specie *Sorghum bicolor* (L.) Moench (tabella 2.1.)

Tabella 2.1: tabella raffigurante le varietà di *Sorgo Bicolor* e le loro caratteristiche fenologiche e utilizzo (Giardini et al., 1989).

varietà	caratteristiche fenologiche	utilizzo
var. durra, var. caudatum, var. caffrorum	piante basse con granella nuda. Troviamo anche ibridi.	granella
var. sudanense, ibridi di sudangrass	Piante con capacità di accestimento, facile allettamento	raccolta della pianta intera subito dopo la fioritura
var. saccharatum	simili alla canna da zucchero, culmo con internodi ingrossati dove si	utilizzo zootecnico

	accumulano zuccheri semplici	
var. technicum	fusto ricco di lignina e molto tenace	quasi scomparso
ibridi tra var. a granella e foraggio	accumulo di zucchero in internodi e altezze elevate ma con discreta robustezza	biomassa e per l'estrazione di etanolo

2.1.2 Morfologia

Morfologicamente il sorgo, come tutte le specie appartenenti alla famiglia delle poaceae, è costituito da un fusto chiamato culmo, formato da nodi e internodi.

A differenza del mais ha conservato la capacità di accestimento, che non viene vista come una caratteristica benefica nelle nostre zone per le varietà da granella, perché implica un'elevata scalarità nella fioritura con epoche diverse di maturazione della granella che comporta difficoltà nella raccolta.

L'infiorescenza è formata da una pannocchia apicale costituita da fiori ermafroditi e la fecondazione è prevalentemente autogama.

I vantaggi agronomici del sorgo sono:

- l'alta tolleranza alla siccità con basso coefficiente idrico grazie anche agli stomi infossati e le foglie rivestite di cere che riducono l'evapotraspirazione (250 kg di acqua/kg di biomassa)
- capacità di sopportare lunghi periodi di aridità, in caso di stress idrico la pianta entra in stasi vegetativa
- a seconda della varietà negli apici meristemati è presente un alcaloide cianogenetico chiamato "durrina", a seconda dell'utilizzo finale della cultura può essere più o meno utile
- la granella ha buoni risvolti per quanto riguarda il consumo e gli apporti nutrizionali.

Gli svantaggi agronomici del sorgo sono:

- i semi per hanno bisogno di temperature elevate per germinare e, rispetto al ciclo del mais, questa esigenza porta ad un mese di ritardo nella semina. Di conseguenza si ottengono rese inferiori sulla granella
- la crescita iniziale è molto veloce

(Hossain et al., 2022).

2.1.3 Tecnica colturale

Le semine partono da fine maggio e le raccolte iniziano da fine agosto. La semina prevede una distanza tra le file di 45cm con un investimento di circa 15/25 piante al metro quadro. Nella fase di germinazione un grosso problema è rappresentato dai volatili; le varietà a granella rossa hanno un sapore amaro, perché ricche in tannini e quindi meno soggette alla predazione degli uccelli.

Grazie alle sue caratteristiche xerofitiche non è una pianta che soffre problematiche di micotossine, in generale non necessita di elevate cure agronomiche.

Il peso di mille semi si aggira tra i 20-30 g e il suo fabbisogno ad ha si aggira attorno ai 120/150 kg N (dipende dalla resa che si vuole ottenere e non solo).

Per i sorghi da granella la raccolta avviene con mietitrebbia munita di testata per la raccolta del grano, se il sorgo ha altre destinazioni d'uso, come ad esempio la produzione di biomassa o insilato, viene raccolto con la falcia-trincia caricatrice.

3. I Nematodi

3.1 Storia

I nematodi vennero a lungo ignorati a causa delle loro dimensioni molto ridotte ma i primi studi si effettuarono attorno al 1743, quando venne scoperto un parassita specifico del grano, successivamente, studi più approfonditi vennero effettuati nel 1920-45. Questo perché con l'innovazione agricola dell'800 e l'intensificazione degli scambi commerciali cominciarono a verificarsi i primi cali di resa causati dai nematodi.

Ad oggi si conoscono circa 1500 specie di nematodi fitoparassiti che producono un danno diretto a spese dell'apparato ipogeo della pianta ed anche un danno indiretto perché molti virus vengono trasmessi attraverso i nematodi (Zangheri e Pellizzari Scaltriti, 2000).

3.1.1 Morfologia

I nematodi sono generalmente vermiformi e le loro dimensioni variano a seconda della specie, solitamente dai 0.2 ai 2 mm di lunghezza. La parete del loro corpo è costituita da un unico sacco muscolo - cutaneo e il tutto è rivestito da una cuticola.

La cuticola è costituita da sette strati di varia composizione, funge da esoscheletro, protegge il corpo dall'esterno e non permette la penetrazione di sostanze tossiche, allo stesso tempo però permette la respirazione.

Riguardo quest'ultima funzione è indispensabile che attorno al nematode vi sia sempre un velo d'acqua per permettere gli scambi gassosi e il movimento.

L'apertura boccale è circondata da 3 o 6 labbra fornite di papille e setole sensitive; essa contiene anche lo stiletto, un organo estroflessibile e cavo che permette al nematode di pungere i tessuti vegetali, di aspirare per depressione i liquidi cellulari e di iniettare allo stesso tempo la saliva.

Lo stiletto è costituito da una parte anteriore conica e da una parte terminale con tre bottoni basali ai quali si agganciano i muscoli protrattori.

L'intestino è costituito da un unico tubo rettilineo che termina con l'apertura anale.

Gli organi sensoriali del nematode sono rappresentati dagli anfidri, posti anteriormente e dai fasmidi posti, invece, posteriormente.

Gli anfidri permettono al nematode di percepire i secreti radicali emessi dalle piante i quali non vengono recepiti ad una distanza maggiore di 2-3 centimetri dalla fonte di emissione (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

Fare clic o toccare qui per immettere il testo.

3.1.2 Riproduzione e ciclo di sviluppo

La riproduzione solitamente è anfigonica ma è frequente anche la partenogenesi. In media vengono deposte 500/600 uova e a seconda della specie parassitaria cambiano le modalità di deposizione.

Gli endoparassiti depositano le uova all'interno dei tessuti vegetali o in galle; in alcuni casi le femmine trattengono le uova fungendo da protezione e quando esse schiudono la femmina muore.

Gli ectoparassiti invece depositano le uova all'esterno delle radici o nella rizosfera della pianta. Spesso le uova emesse sono rivestite da una sostanza protettiva.

Il ciclo di sviluppo in condizioni ottimali dura 4 settimane ed è costituito dalle seguenti fasi:

- uovo
- quattro stadi larvali
- adulto

La deposizione di uova può avere periodi variabili a seconda della relazione tra nematode e la presenza della pianta ospite.

I nematodi possono presentare due sistemi durante il ciclo di sviluppo per rallentare il loro metabolismo: la quiescenza e la criptobiosi. La prima è un processo nel quale il nematode rallenta il proprio metabolismo per sopravvivere in periodi avversi limitati. La criptobiosi è un processo derivante da prolungata quiescenza e il nematode blocca apparentemente ogni processo metabolico. Inoltre viene anche bloccato il processo di invecchiamento.

La quiescenza può distinguersi in:

- quiescenza obbligata: è poco frequente, riguarda i nematodi specifici di un ospite che entrano in quiescenza quando l'ospite termina la sua fase vegetativa
- quiescenza occasionale: è molto frequente e dipende dalle condizioni atmosferiche e dalle condizioni idriche del terreno.

Più precisamente l'anidrobiosi è indotta da bassa umidità, l'anossibiosi è data da carenza di ossigeno e la criobiosi è indotta da temperature troppo basse.

La quiescenza occasionale comprende solo le larve di seconda e terza età, le quali sono le uniche che riescono a sopravvivere. Le larve quiescenti sono chiamate cisti larvati e l'esuvia larvale funge da involucro protettivo.

Alcune specie di nematodi possono contrastare le difficili condizioni ambientali raggruppandosi tra larve di quarta età, creando così aggregazioni visibili come gocce biancastre (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

3.2 Azione del nematode sulla pianta da reddito

I nematodi nei confronti della pianta si distinguono in ectoparassiti, quando si sviluppano fuori dalla cellula ospite inserendo in essa solo lo stiletto e in endoparassiti, quando si sviluppano internamente alla cellula.

Ogni categoria inoltre, a seconda degli spostamenti, si definisce sedentaria o migratoria.

Il danno diretto che essi causano alla pianta è dato dalle numerose punture attraverso le quali assorbono i contenuti cellulari. Riescono ad effettuare 3-4 punture al secondo e l'area interessata dalla puntura diventerà necrotica.

Il danno più importante però rimane quello indiretto a carico del contenuto di secrezioni salivari. Spesso la saliva contiene auxine che causano un'anomala moltiplicazione delle cellule radicali portando alla formazione di galle, altre volte possono essere presenti enzimi che scindono le pareti delle cellule e si formano le "cellule giganti", cavità dove si nutre il nematode.

Un altro tipo di danno indiretto è dato dal fatto che fungono da vettori di virus, batteri o funghi i quali riescono a penetrare nella pianta causando sintomatologie secondarie.

Nel caso dei funghi, per esempio, il *Fusarium* riesce ad insediarsi in una pianta resistente ad esso se questa prima viene attaccata dal nematode *Meloidogyne*.

Nel caso dei batteri, le associazioni più famose sono dell'*Agrobacterium tumefaciens* e *Pseudomonas* spp. con il nematode *Meloidogyne* che vengono trasportati da quest'ultimo, perchè si attaccano alla cuticola.

Coi virus ci sono due famiglie di Nematodi che fungono da vettori: *Longidoridae* e *Trichodoridae* (Tabella 3.1).

Tabella 3.1: tabella riguardo le famiglie di nematodi che fungono da vettori di virus (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

Famiglia	Sintomo
<i>Longidoridae</i>	colpisce sia erbacee sia arboree, causa arricciamento fogliare, nanismo e maculature
<i>Trichodoridae</i>	colpisce solo le erbacee e causa maculature

Inoltre questi nematodi se si nutrono di cellule virosate possono assorbire le particelle virali e diventare vettori per periodi più o meno lunghi

(Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

3.2.1 Sintomatologia

I sintomi si riscontrano su organi ipogei ed epigei della pianta. A livello epigeo riscontriamo frequenti sintomi aspecifici come: appassimenti, arricciamenti, distorsioni, striature e ingiallimenti i quali provocano una diminuzione della vigoria.

A livello ipogeo riscontriamo, invece, galle radicali createsi per eccessiva moltiplicazione cellulare, troncamenti, proliferazione di radichette, lesioni e necrosi.

Un sintomo comune dei Nematodi del genere *Meloidogyne* (nematodi galligeni) sono le galle (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

3.3 I fattori ecologici che influenzano la vita del nematode

Prima di valutare i diversi meccanismi di difesa verso i nematodi è importante conoscere il ciclo di sviluppo e le condizioni climatiche ideali per favorirlo.

In particolare, vi sono due fattori climatici che influiscono molto sullo sviluppo dei nematodi: la temperatura e la presenza costante di un film di acqua nel terreno. L'acqua, come descritto precedentemente, garantisce loro il movimento e la sopravvivenza; contestualmente il tipo di terreno influenza il movimento e, in base alla tessitura, anche la singola capacità idrica.

Anche la selettività del singolo nematode nei confronti della pianta ospite può limitare la sua sopravvivenza (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

3.3.1 metodi di controllo

La loro aspecificità sintomatologica e la loro permanenza negli strati profondi del terreno creano grosse difficoltà nel controllo. L'obiettivo è quello di diminuire la concentrazione della popolazione sotto soglie di tolleranza che vengono identificate solo tramite analisi di campioni di terreno.

Le soglie di tolleranza variano a seconda delle condizioni climatiche, della specie di nematode e della coltura considerata (tabella 3.2).

Tabella 3.2: tabella riguardo le soglie d'intervento di varie specie di nematode su diverse colture (Zangheri & Pellizzari Scaltriti,2000).

nematode	coltura	densità limite
<i>Meloidogyne incognita</i>	tabacco, pomodoro	25-50 su 500 cm ³ di terreno
<i>Meloidogyne hapla</i>	fragola	25 su 500 cm ³ di terreno
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	cipolla	1-5 su 500 gr di terreno
<i>Globodera rostochinensis</i>	patata	31 cisti vitali su 100 gr terreno

Le metodologie di controllo si dividono in due categorie:

le metodologie indirette che cercano in maniera preventiva di mantenere bassa la concentrazione della popolazione.

Esse possono essere applicate nei seguenti modi:

1. Attuare le rotazioni colturali per contrastare nematodi specifici per un'ospite; conoscendo la concentrazione attuale di nematodi e il loro tasso di decremento spontaneo si possono calcolare quanti giorni sono necessari per abbassare la soglia della popolazione (la rotazione non si addice contro i nematodi galligeni, perché sono polifagi).
2. Evitare lavorazioni che comportano lo spostamento di terreno in altri appezzamenti.
3. Utilizzare piante antagoniste nella rotazione colturale.
4. Apportare sostanza organica, poiché, i terreni con alto contenuto di sostanza organica inducono al rilascio durante la fermentazione di sostanze tossiche per i nematodi e la stessa sostanza organica favorisce la proliferazione di funghi predatori.
5. Attuare la lotta biologica che prevede l'utilizzo di funghi o altri nematodi predatori.

I funghi predatori e quelli parassiti si distinguono poiché i primi non sono presenti ad alte concentrazioni nei terreni lavorati e sono muniti di un organo di cattura costituito da ife (contro il nematode galligeno è disponibile il *Arthrobotrys irregularis*). I funghi parassiti invece presentano delle ife che germinano sul corpo del nematode, si sviluppano all'interno del suo corpo e alla fine del ciclo evadono sotto forma di spore riprendendo il ciclo.

Le metodologie di controllo dirette prevedono invece un intervento con mezzi fisici, come vapore e acqua calda, o con mezzi chimici, per abbassare la concentrazione della popolazione una volta raggiunta la soglia di intervento.

Nei mezzi chimici troviamo prodotti nematocidi che possono presentare diversi gradi di fitotossicità nei confronti della pianta ospite (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

Storico prodotti chimici utilizzati

- Bromuro di metile revocato nel 2008
- 1-3 dicloropropene revocato nel 2010

Ad oggi ci sono una decina di sostanze attive in uso di cui alcune di derivazione vegetale consentite in agricoltura biologica. Tutte le sostanze di sintesi chimica disponibili sono però fortemente pericolose sia per l'impatto tossicologico sia per l'impatto ambientale che presentano.

Abamectina, Metam sodio, Fostiazate, Dazomet sono solo alcune delle sostanze attive di sintesi chimica, ad oggi disponibili. Possono essere distribuite sulla pianta dove raggiungono le radici grazie alla loro mobilità sistemica oppure vengono impiegate su terreno nudo, quest'ultima pratica comporta però tempi di sospensione culturale molto lunghi.

Estratto di Aglio, Geraniolo e Timolo invece sono sostanze attive di origine naturale autorizzate anche in agricoltura biologica.

<https://fitogest.imagelinenetwork.com/it/agrofarmaci/> consultato il 24/06, ho ricercato direttamente le sostanze attive.

3.3.2 La resistenza delle piante

La resistenza delle piante è data da meccanismi biochimici e fisiologici e si esplica con meccanismi diversi e può manifestarsi in momenti diversi.

La pianta può impedire il rilascio di essudati utili per il nematode e quest'ultimo non avverte la presenza della pianta, oppure può non formare sincizi impedendo al nematode di nutrirsi.

Il principale effetto delle piante resistenti riguarda la facilità di riproduzione del nematode a carico della pianta ospite. A riguardo le piante vengono classificate in:

- Sensibili
- Leggermente resistenti
- Moderatamente resistenti (tasso di riproduzione 10-25%)
- Molto resistenti (tasso di riproduzione 1-10%)
- Fortemente resistenti (tasso minore dell'1%)
- Immuni

Solitamente la resistenza genetica è trasmessa da un gene dominante (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

Negli ultimi anni per far fronte alla revoca sempre più frequente dei prodotti fitosanitari si sta riponendo molta fiducia nell'utilizzo e lo studio di cover crop antagoniste ai nematodi.

Sono specie che cercano di ridurre la continuità delle popolazioni contrastando le femmine.

L'essudato radicale di alcune piante, infatti, da un lato funge da segnale per la schiusa delle uova di nematode e dall'altro attira le femmine di nematode sulla radice. Le femmine però, una volta insediate sulla radice non possono più spostarsi e la pianta fa morire le cellule circostanti la zona dove si è collocata la femmina di nematode (Zangheri & Pellizzari Scaltriti, 2000).

4. Le cover crop

4.1 Storia e generalità sulle cover crop

Un cambiamento nel settore agricolo e dell'allevamento rivolto alla sostenibilità è necessario per proteggere e mantenere il suolo e ridurre la dipendenza da fertilizzanti ed erbicidi.

La vecchia tendenza nell'agricoltura intensiva era di lasciare scoperti durante i periodi invernali i terreni e coltivarli solo tra la primavera e fine estate. I terreni nudi, in realtà, possono essere coperti da un ampio gruppo di specie, conosciuto come cover crop. Un terreno sempre coltivato durante l'anno permette di mantenere i processi ecologici inalterati che altrimenti sarebbero irregolari, in quanto seguono il ciclo delle coltivazioni.

Le cover crop sono utilizzate innanzitutto per mantenere funzionale l'ecosistema nel terreno e non necessariamente devono dare un ritorno economico o in termini di raccolto.

Gran parte delle specie impiegate come cover crop appartengono alle poaceae, brassicaceae e fabaceae. Sono tutte specie a rapido accrescimento.

Ogni famiglia presenta caratteristiche morfologiche diverse e, di conseguenza, le specie apportano benefici diversi.

L'efficacia delle cover crop richiede la selezione di specie a seconda dell'obiettivo che si vuole raggiungere da un punto di vista ecosistemico e in base al piano di coltivazione dell'anno. Spesso al primo anno le rese tendono ad essere ridotte, per questo i benefici sul terreno non si osservano immediatamente.

A seconda dell'apparato radicale, per esempio, le poaceae riescono ad assorbire molti nutrienti grazie alle loro radici fibrose ed espanse, mentre le brassicaceae e le fabaceae migliorano la struttura del terreno grazie alle radici fittonanti. Le fabacee, inoltre, soddisfano il loro fabbisogno di N grazie alla simbiosi che si instaura con il batterio *Bradyrhizobium japonicum*, il quale durante la nitrogenasi fissa in grandi quantità nel terreno dell'azoto atmosferico.

Introdurre le cover crop nelle rotazioni di un sistema di agricoltura convenzionale permette benefici ecologici ed anche economici per molteplici anni. In particolare, all'interno dei

benefici ecologici troviamo l'aumento della biodiversità, l'aumento nel numero di insetti impollinatori e l'aumento della concentrazione di carbonio organico nel terreno e della sua fertilità. Inoltre diminuisce l'erosione e il dilavamento dei nutrienti durante i periodi “fermi” (Griffiths et al., 2022).

4.1.1 Pratiche agronomiche alternative alle cover crop

Facendo un passo indietro, le cover crop al netto della loro risaputa efficienza sotto diversi aspetti sono comunque un investimento a perdere che l'azienda agricola deve sostenere.

Per poter contenere la diffusione di patogeni e di fitofagi si deve, prima di tutto, cercare di attuare pratiche agronomiche che non incidano a livello economico sull'azienda e che, allo stesso tempo, conferiscono prevenzione da patogeni o fitofagi.

La rotazione colturale è una pratica agronomica preventiva, semplice da attuare, non economicamente dispendiosa ma che non sempre è possibile realizzare, in particolare, nei sistemi arborei o in aziende intensive. Per queste tipologie di aziende si è visto che l'inserimento di colture specifiche aiuta a rigenerare la biodiversità microbica del suolo e anche le relative caratteristiche pedologiche. Si riesce a rigenerare il suolo anche grazie all'apporto di sostanza organica attraverso compost o altri ammendanti organici.

Con la sola rotazione colturale però non si riescono a controllare i fitofagi presenti nel terreno. Un'altra soluzione, che però prevede un costo in termini economici, è data dalla disinfezione del suolo attraverso la tecnica della solarizzazione, la quale richiede la copertura del suolo con film plastico per diverso tempo. Purtroppo per molteplici ragioni ad oggi non viene attuata in quanto essa è molto onerosa per l'azienda, richiede tempi eccessivamente lunghi durante i quali l'appezzamento trattato è improduttivo e perché tramite il calore vengono uccisi anche i rizobatteri promotori della crescita delle plantule.

Un'altra pratica di risanamento del suolo prevede l'uso del fuoco ma non è applicabile su ampie superfici, perché impatta molto a livello economico e non è ecologicamente sostenibile.

Si pensava di attuare anche una lotta biologica contro eventuali fitofagi terricoli ma i parassiti obbligati sono molto sensibili allo sviluppo in vitro e questo ne ha limitato di molto il numero di lanci (Dutta et al., 2019; Hanschen & Winkelmann, 2020).

4.2 Cover crop biofumiganti

Il termine biofumigazione è stato coniato da J. A. Kirkegaard nel 1993. I primi studi si osservarono nella creazione di un anti-erbicida usando prodotti volatili derivanti dall'idrolizzazione del glucosinolato.

La biofumigazione è una pratica agronomica ben vista negli ultimi anni, perché è sostenibile e non prevede l'impiego di prodotti di sintesi chimica, riducendo fortemente il loro impiego.

Alcune brassicaceae con azione biofumigante sono *Brassica oleracea* (broccoli, cavolo verza, cavolfiore, cavoletti di Bruxelles), *B. napus* (colza e canola), *B. rapa* (rapa), *Raphanus sativus* (rafano), *B. campestris* (senape selvatica), *B. juncea* (senape indiana), *Sinapis alba* (senape bianca e gialla), *B. nigra* (senape nera), *B. carinata* (senape dell'Etiopia), *Eruca sativa* (rucola). La Senape Indiana, molto ricca in alcool allilico glucosinolato, un precursore dell'alcool allilico isotiocianato, è molto efficace nel biosaggio delle varie specie di brassicacee e presenta di conseguenza, un'alta efficienza in biofumigazione.

Nelle brassicaceae i glucosinolati sono presenti in tutte le parti della pianta ma il loro profilo e i livelli variano di molto a seconda dell'organo considerato, dello stadio ontogenetico della specie e della varietà (Dutta et al., 2019; Fourie et al., 2016).

La biodiversità microbica del suolo è molto importante per un corretto sviluppo delle piante. Lo stress e i patogeni alterano in primis l'accrescimento delle piante ed anche la biodiversità microbica del suolo e causano un accumulo di microrganismi patogeni; inoltre l'assenza di fattori promotori di crescita favorisce l'ascesa di fitofagi virulenti nei confronti di più varietà. La biofumigazione permette l'alterazione della flora microbica, in particolare contro microrganismi dannosi, cercando così di ripristinare una corretta biodiversità nel suolo migliorandone le caratteristiche stesse.

Pertanto, sembra che attraverso la biofumigazione i prodotti derivanti dall'idrolisi dei glucosinolati favoriscano la presenza di microbi benefici; tuttavia si è anche constatato che i trattamenti a base di sodio hanno portato ad un decremento dell'attività microbica.

La biofumigazione porta ad un aumento in quantità e biodiversità delle varie colonie microbiche e ad una decrescita in concentrazione di funghi (Hanschen & Winkelmann, 2020).

4.2.1 Effetti positivi indiretti della biofumigazione

Attraverso la pratica agronomica della biofumigazione vengono integrate periodicamente nel suolo grosse quantità di biomassa. Queste migliorano la struttura del suolo e apportano vari nutrienti. Diversi studi hanno osservato che nel suolo, dopo essere stato sottoposto a biofumigazione, aumentano la stabilità degli aggregati e la percolazione dell'acqua.

Si ottiene così un terreno più sciolto, meno compatto e che tende a prestarsi meglio a lavorazioni. Oltre tutto mantenendo sempre il terreno coltivato insorgono meno infestanti durante il ciclo colturale effettivo (Hanschen & Winkelmann, 2020).

4.2.2 Ruolo delle fitoanticipine nelle cover crop biofumiganti

Le brassicacee sono la specie più conosciuta per l'impiego nelle cover crop con azione biofumigante, perché esse contengono fitoanticipine, nello specifico i glucosinolati. Le fitoanticipine sono sostanze preformate che vengono liberate solo a morte cellulare e costituiscono in buona parte, assieme alle proteine preformate, i sistemi chimici di difesa pre-infezionali riguardo la resistenza non-ospite. Per questo esse contrastano molto bene i patogeni necrotrofi o altri fitofagi.

La morte cellulare nel caso delle cover crop viene intesa quando avviene la distruzione meccanica della cover crop.

Per ottenere alte concentrazioni di glucosinolati nel terreno bisogna miscelare due o più specie di brassicacee (per esempio *Brassica juncea*: glucosinolato sinigrina; *Sinapis alba*: glucosinolato sinalbina), portando nel terreno indicativamente tra le 1,5 e 8,5 t/ha (Hanschen & Winkelmann, 2020).

Il contenuto di glucosinolato varia in funzione di fattori abiotici e biotici come lo stadio di sviluppo della pianta, l'organo considerato e la specie.

Anche la quantità e la qualità di glucosinolati incidono sulla suscettibilità della pianta a insetti dannosi e questo indice diventa importante nel momento in cui si considerano coltivazioni di brassicacee nelle aree a clima temperato le quali sono soggette a numerosi attacchi di insetti patogeni.

Le piante generalmente tendono a proteggersi in due modi, attraverso barriere fisiche oppure tramite sostanze chimiche (metaboliti secondari).

Le brassicaceae si proteggono maggiormente attraverso metaboliti secondari; infatti è stato osservato che le piante selvatiche della stessa famiglia delle piante agronomiche presentano un maggior contenuto di metaboliti secondari per difendersi rispetto alle piante coltivate per scopi agronomici (Bohinc et al., 2012).

4.3 Processo chimico di biofumigazione

Le fitoanticipine nelle brassicaceae sono i glucosinolati.

Quando la cellula viene uccisa meccanicamente dal fitofago o dal patogeno necrotofo, il glucosinolato (stoccato nel vacuolo) reagisce con l'enzima mirosinasi (contenuto inizialmente nella parete) e si creano per idrogenazione dei composti biologici volatili, alcuni dei quali hanno azione biocida nei confronti di fitofagi. (figura 4.1)

Questi sono:

- isotiocianato (ad alte concentrazioni)
- acetonitrile
- tiocianato (a basse concentrazioni)

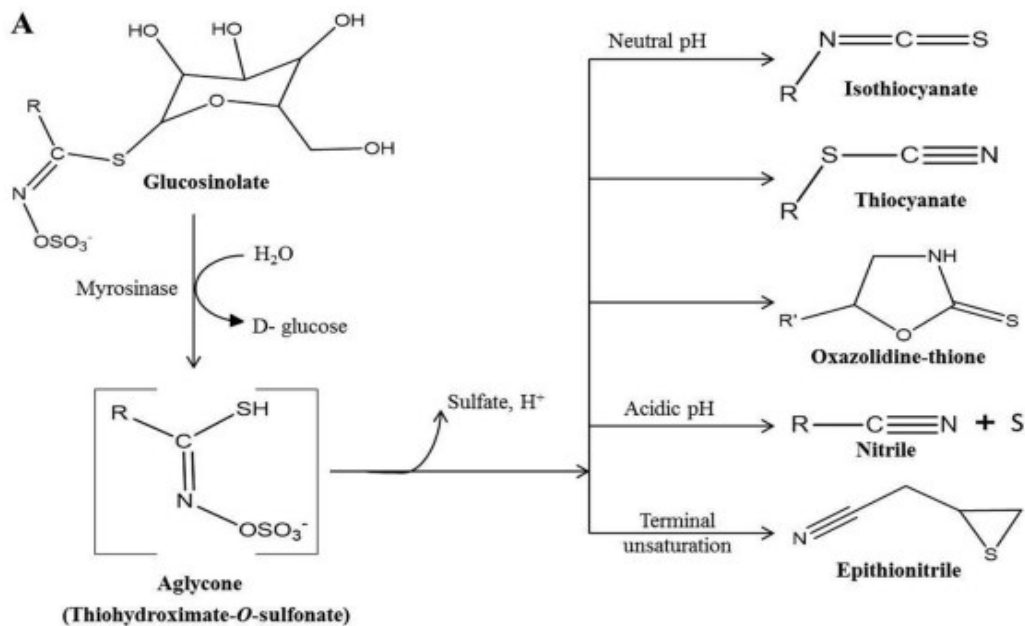


Figura 4.1. Reazione chimica nel processo di biofumigazione (Dutta et al., 2019).

Brassica juncea presenta la miglior capacità biofumigante in fioritura, in quanto durante questa fase fenologica vi è la maggiore concentrazione di glucosinolati.

I glucosinolati sono anche prodotti da altre specie appartenenti a tredici famiglie botaniche. Sono costituiti da un gruppo B-D-glucosio, un gruppo funzionale solfato e da una catena variabile laterale. Durante la reazione con l'enzima la catena variabile si lega all'isotiocianato e in funzione del tipo di catena variabile il composto può essere classificato in modo differente come riportato nella tabella 4.1 (Dutta et al., 2019; Hanschen & Winkelmann, 2020).

Tabella 4.1. Tipi di glucosinolato in funzione dell'amminoacido cui deriva la catena laterale (Dutta et al., 2019).

Classificazione glucosinolato in funzione della catena variabile	Amminoacido da cui deriva il glucosinolato
Alifatico	Alanina, Leucina, Metionina, Sinigrina
Aromatico	Fenilalanina e Tirosina
Indolico	Triptofano

È risaputo che il glucosinolato potrebbe variare nuovamente in seguito a nuove reazioni a carico della catena variabile. Inoltre, tendenzialmente i gruppi alifatici e aromatici sono i predominanti nelle foglie e radici delle crucifere, in particolare tra gli alifatici la sinigrina.

I glucosinolati colpiscono sia insetti dannosi specializzati sia generalisti e a seconda del metabolita secondario questi possono stimolare o dissuadere la loro capacità nutritiva.

L'isotiocianato e il nitrile neutralizzano i fitofagi specializzati mentre hanno un effetto repellente nei confronti dei fitofagi generalisti.

L'isotiocianato ha un'alta azione insetticida a differenza del nitrile che attrae parassitoidi (Bohinc et al., 2012).

Inoltre, l'isotiocianato derivante dal glucosinolato è simile chimicamente al metile ditiocarbammato che è la sostanza attiva più comune che troviamo nei fumiganti ad oggi disponibili in commercio (Waisen et al., 2020).

Dalla decomposizione della biomassa nel suolo si liberano anche altre tossine di zolfo sempre volatili le quali possono avere un ruolo più o meno rilevante nel processo di biofumigazione quali il solfuro, il dimetilsolfuro e il dimetil disolfuro.

La biofumigazione può essere effettuata anche attraverso la distribuzione dei semi pressati dopo l'estrazione dell'olio. Questi semi presentano alta facilità di distribuzione e facile interramento, sono ricchi in sinigrina e portano ad una veloce ed alta produzione in allile di tiocianato. Il problema ad oggi è rappresentato dalla loro limitata disponibilità sul mercato e di conseguenza presentano un alto costo di accesso (Dutta et al., 2019; Zasada et al., 2009).

4.3.1 Variabili che influenzano l'efficienza di biofumigazione

Diverse variabili possono influire sull'efficienza della biofumigazione, sia biotiche che abiotiche.

- quantità di biomassa interrata
- stadio fenologico cui è stata abbattuta la cover crop
- concentrazione dei glucosinolati nei tessuti che influiscono sulla produzione di isotiocianato
- umidità del suolo per permettere che avvenga la reazione di idrolisi
- pH del suolo
- presenza dello ione ferro che interferisce con la produzione di isotiocianato
- sensibilità del nematode all'isotiocianato in funzione del suo stadio di sviluppo
- metodo d'abbattimento della coltura biofumigante

(Morra & Kirkegaard, 2002; Uda et al., 1986; Vervoort et al., 2014; Waisen et al., 2020).

Anche la genetica della specie coltivata influisce sulla produzione e sul tipo di isotiocianato prodotto. Per esempio la senape bianca contiene i glucosinolati in concentrazione moderata rispetto alla senape indiana. Oltretutto durante lo sviluppo della cover è importante che nel terreno siano disponibili azoto e zolfo (Dutta et al., 2019).

5. Il Sorgo nematocida

Introducendo della sostanza organica nel terreno aumenta la diversità di microrganismi favorendo la competitività tra i fitofagi nel suolo e gli antagonisti.

Tuttavia, l'attività dei microrganismi antagonisti e la loro concentrazione nel suolo decresce man mano che la sostanza organica viene mineralizzata, rendendoli così poco competitivi nei confronti dei fitofagi.

Questo tipo di soppressione “meccanica” si adatta a colture in sito poiché l'effetto soppressivo è influenzato anche dalle condizioni climatiche del suolo come l'umidità e la disponibilità di nutrienti per permettere lo sviluppo e la diffusione dei microrganismi antagonisti.

La soppressione tramite sostanze chimiche, invece, supera le problematiche legate alla sito-specificità della soppressione meccanica, perché le sostanze emanate riescono a diffondersi nel terreno e si degradano nel suolo stesso. La maggiore problematica nell'utilizzo di questa tecnica riguarda la bassa persistenza nel suolo delle sostanze, perché esse sono volatili e facilmente degradabili sia chimicamente sia biologicamente. Pertanto per mantenere la bassa concentrazione dei fitofagi nel suolo bisogna eseguire queste pratiche in maniera costante e ripetitiva (Widmer & Abawi, 2000).

5.1 La durrina

Attualmente ci sono 25 specie riconosciute con i geni del sorgo, distinte morfologicamente in cinque sub-generi quali:

Eusorghum, *Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Parasorghum* e *Stiposorghum*.

Tutte le specie appartenenti al sub-genere *Eusorghum* sono in grado di produrre durrina a simili concentrazioni (Ananda et al., 2021; S Ananda et al., n.d., Cowan et al., 2022).

Quando le cellule si danneggiano, l'enzima β -glucosidasi contenuto nel mesofillo e nell'epidermide della foglia idrolizza la durrina, producendo p-idrossimandelonitrile che successivamente si dissocia in acido cianidrico (HCN) e p-idrossibenzaldeide (figura 5.1) (Widmer & Abawi, 2000).

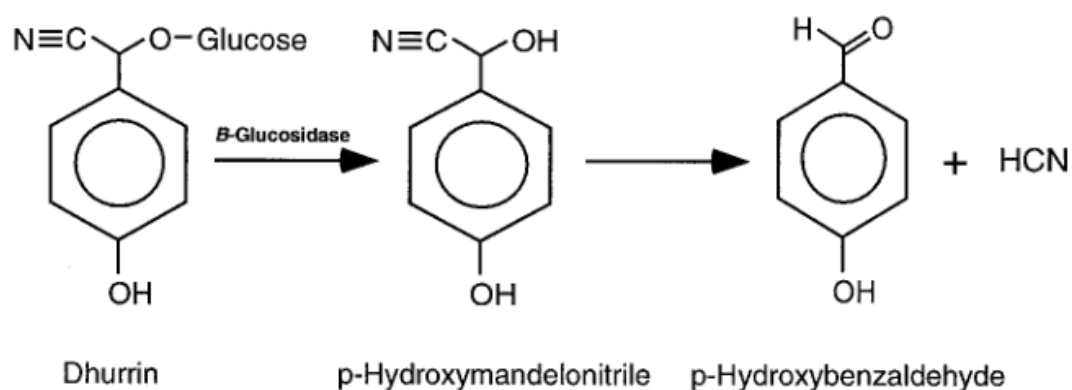


Figura 5.1. Reazione di trasformazione dalla durrina in acido cianidrico e p-idrossibenzaldeide (Widmer & Abawi, 2000).

La produzione di sostanze specifiche come i glucosidi cianogenetici rappresenta un vero e proprio costo di produzione per la pianta. La loro sintesi comporta un consumo maggiore di metaboliti i quali potrebbero essere investiti nello sviluppo della pianta o in altre funzioni.

Ad oggi il costo energetico per produrre i glucosidi cianogenetici nei sistemi colturali odierni, in cui le condizioni climatiche sono controllate in maniera più o meno accentuata, è compensato dalla costante disponibilità di nutrienti e dall'acqua fornita nel terreno.

Tuttavia, in condizioni naturali di sviluppo, questi costi di produzione per sintetizzare metaboliti secondari verrebbero gestiti con maggiore accortezza dalla pianta. Infatti nei subgeneri di sorgo selvatici (*Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Parasorghum* e *Stiposorghum*) sono state rilevate concentrazioni minori di glucosidi cianogenetici.

Riprendendo quanto appena citato sul sorgo selvatico, sono state fatte in laboratorio alcune misurazioni della concentrazione media di durrina nei tessuti delle foglie e sono stati ottenuti valori inferiori a 1 ppm; valori così bassi portano a basse produzioni di acido cianidrico nel suolo.

Nel *Sorghum bicolor* la produzione di durrina varia in funzione della crescita della pianta e le concentrazioni più elevate si rilevano solitamente nelle foglie più giovani in fase di sviluppo. Concentrando la durrina negli organi che contengono tutto il necessario per far sì che avvenga fotosintesi, la pianta riesce a difendersi in natura dagli erbivori.

Negli ambienti naturali poveri in nutrienti, le specie selvatiche di sorgo per potersi difendere dagli erbivori hanno attuato altri meccanismi di difesa evitando così l'onerosa produzione di

durrina. Ad esempio, nei *Sorghum rachypodum* e *macrospermum* sono stati rilevati composti del carbonio, i tricomi, i quali aumentano la resistenza strutturale della pianta e hanno un minor costo di produzione (M. F. Cowan et al., 2021, Cowan et al., 2022).

5.1.1 Azione del sorgo contro i nematodi

Sebbene il termine “biofumigazione” sia sempre stato associato alle cover crop di brassicaceae e al loro rilascio di sostanze volatili con azione biocida, negli ultimi anni vengono associate al termine “biofumigazione” anche le cover crop di *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Il sorgo e le sue sottospecie contengono nei tessuti fogliari la durrina, un metabolita che può essere convertito in una sostanza tossica e volatile, che come descritto precedentemente si dissocia in p-idrossibenzaldeide e in acido cianidrico chiamato anche acido prussico.

La funzione tossica dell’acido prussico si manifesta, perché lo ione cianidrico e il ferro della molecola citocromo ossidasi si legano, bloccando così la respirazione cellulare.

Un simile meccanismo si verifica nell’inibizione dei nematodi.

Alcune volte però il sorgo ha anche manifestato delle reazioni incoerenti contro i nematodi, questo può essere dovuto alla varietà coltivata, al metodo di coltivazione impiegato e alle condizioni ambientali (Curto et al., 2012; Khanal & Harshman, 2022).

Una volta che il nematode è penetrato nelle radici completa il suo ciclo di sviluppo all’interno di esse finché le femmine di nematode non depongono le uova sulla superficie esterna della radice, avvolte da un involucro gelatinoso. Come tutte le uova anche quelle di nematode subiscono un processo di sviluppo partendo da una singola cellula embrionale, arrivando fino ad una juvenilia completa ed è proprio durante questo processo che la durrina sembra avere la massima efficacia. Tuttavia questa vulnerabilità varia in rapporto alla sottospecie di nematode. L’azione degli estratti del *Sorghum bicolor* e delle sue sottospecie sulle uova non è ad oggi ancora chiara.

È stato osservato che l’acido cianidrico riesce ad inibire meglio le uova ad un stadio di sviluppo minore rispetto a quelle più sviluppate o vicine alla schiusa. Molto dipende dal contenuto di acido nei tessuti fogliari delle varietà impiegate in quanto alcune varietà usate negli esperimenti presentavano un valore in durrina inferiore a 1.0 ppm; avendo così poca efficacia di soppressione, soprattutto nei confronti delle juvenilia di secondo grado.

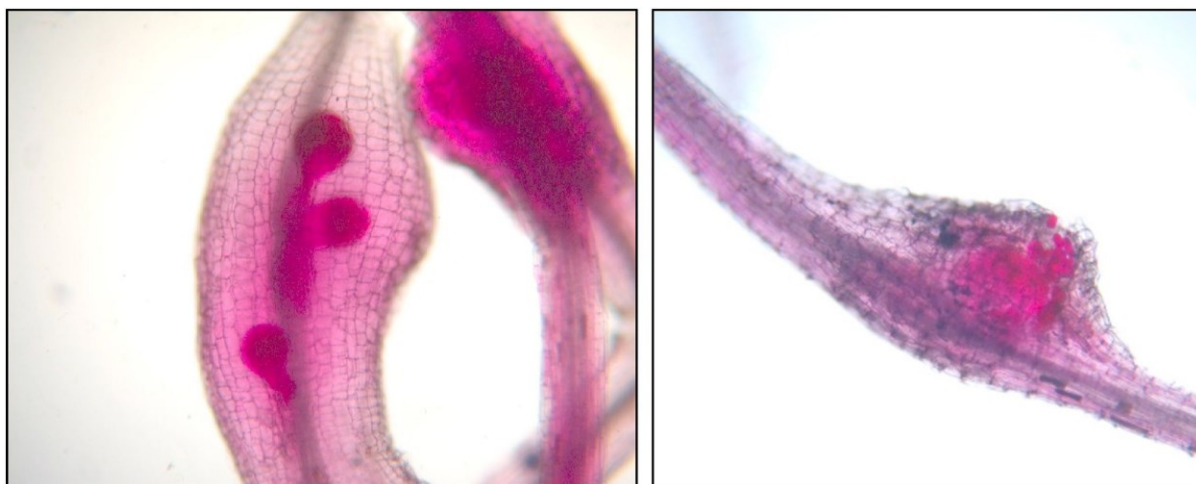


Figura 5.2. Radici di pomodoro dopo 45 giorni dall'inoculo di ventimila uova di nematode. Femmine adulte di nematode ben sviluppate a sinistra e a destra uova di nematode (Khanal & Harshman, 2022).



Figura 5.3 Juvenilia di secondo e terzo stadio presenti sulle radici di sorgo da granella a sinistra, miglio al centro e sorgo sudanense (dopo 45 giorni dall'inoculazione nel terreno di ventimila uova di nematode).

Non è stata rilevata nessuna juvenilia di quarto stadio (Khanal & Harshman, 2022).

Si può supporre quindi che esiste una correlazione direttamente proporzionale tra il contenuto di durrina misurata nelle foglie (quindi la quantità di acido cianidrico in grado di essere sprigionata nel terreno) e la capacità soppressiva della pianta (Widmer & Abawi, 2000).

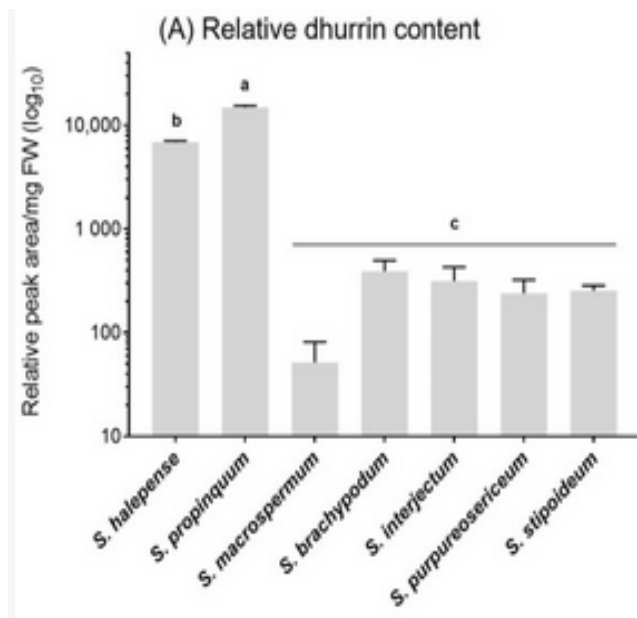


Grafico 5.4 Contenuto di durrina nelle specie selvatiche di sorgo (Cowan et al., 2022).

Nel grafico 5.4 vengono paragonate a seconda del loro contenuto di durrina le specie selvatiche di sorgo. Tra le specie ad oggi coltivate che presentano un alto contenuto in durrina troviamo il *Sorghum bicolor* (L.) Moench, il *Sorghum bicolor* var. *sudanense* e i loro ibridi.

Con un altro esperimento, sono state confrontate le capacità nematocide di due specie di *Sorghum bicolor*, una con alto contenuto di durrina e un'altra con basso contenuto.

In contrasto alla relazione che ci dovrebbe essere tra la quantità di durrina e la capacità nematocida della pianta è risultato che entrambe le specie hanno manifestato la stessa capacità di soppressione contro i nematodi.

Entrambe le specie sono state gestite agronomicamente nella stessa maniera ed hanno abbassato la concentrazione di nematodi nel suolo prima del trapianto del 70%. Inoltre, le colture estive in corrispondenza della seconda rotazione colturale hanno manifestato poche galle radicali (grafico 5.1). Si può notare dalle due linee del grafico la spiccata differenza sulla quantità di durrina rilevata tra le due varietà. Quest'ultima è misurata in mg/ g di sostanza secca (Djian-Caporalino et al., 2019).

I sorghi sono stati coltivati soltanto un mese, perché c'erano sospetti che stessero favorendo la moltiplicazione di alcuni nematodi a livello radicale.

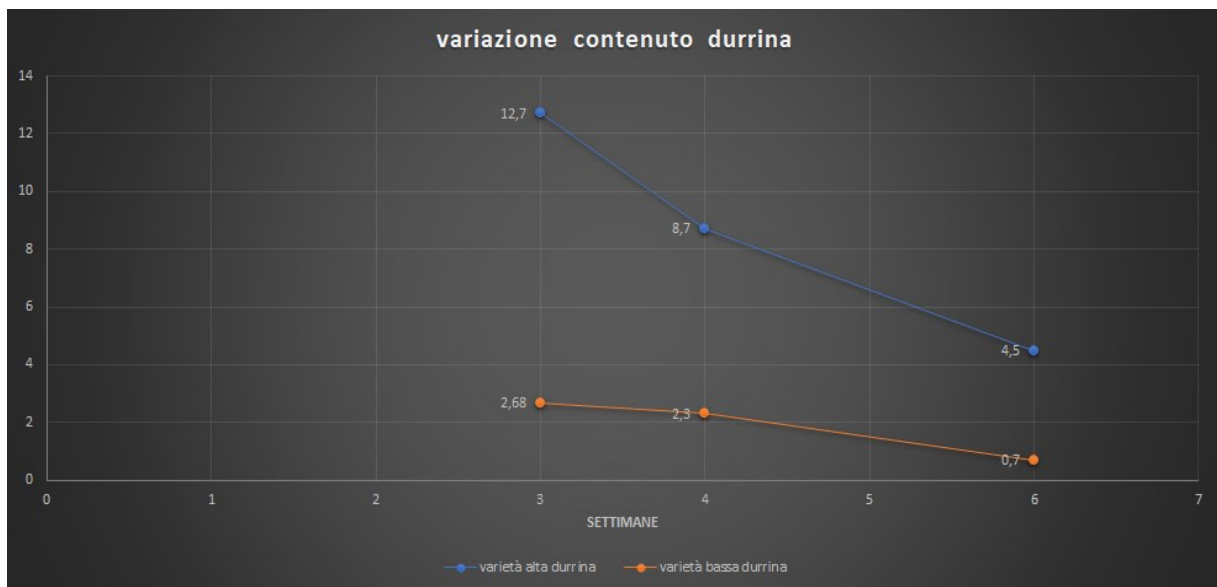


Grafico 5.1. Differenza tra due varietà di sorgo sul contenuto e conseguentemente sul rilascio nel suolo di durrina.

Sia il terreno sia la temperatura influenzano la degradazione del materiale e il tempo di degradazione dovrebbe essere stabilito in funzione dello stadio di sviluppo della cover.

Considerando i risultati ottenuti da questo esperimento l'efficienza del sorgo per contrastare i nematodi dipende principalmente dalle strategie adottate per gestire la cover stessa.

In particolare è importante:

- interrare il sorgo prima che il nematode concluda il suo ciclo di sviluppo
- la coltivazione del sorgo dura un mese o poco meno
- lasciare per un mese il terreno incolto ad umidità costante per permettere il processo di biofumigazione

(Djian-Caporalino et al., 2019).

È buona pratica colturale cercare di far passare meno tempo possibile tra l'abbattimento della cover e l'interramento nel suolo, oltretutto è molto importante cercare di ridurre la cover a pezzatura fine per velocizzare la decomposizione. Il sorgo inoltre presenta un alto rapporto C:N

e questo implica tempi abbastanza lunghi per permettere la completa degradazione della biomassa da parte dei microrganismi (Dover et al., n.d.).

Molta importanza viene attribuita anche alla durata del periodo di coltivazione; in alcuni studi è stato osservato che se la cover viene abbattuta dopo i 75 giorni di coltivazione la concentrazione di nematodi tende ad aumentare, mentre diminuisce se l'abbattimento avviene intorno ai 30 giorni di coltivazione. Questa diminuzione avviene, perché il ciclo di sviluppo dei nematodi sulla pianta è interrotto grazie all'abbattimento della cover nel terreno (Djian-Caporalino et al., 2019).

Infatti, per ottenere il massimo effetto la cover di sorgo dovrebbe essere abbattuta al massimo tra le sei e le otto settimane di età (Widmer & Abawi, 2000).

Inoltre si è sperimentato che interrando cover più vecchie sono necessari tempi maggiori di degradazione, perché i loro tessuti vegetali hanno un contenuto di cellulosa e lignina elevato (Viaene & Abawi, 1998).

Un'altra pratica colturale riguarda il tempo da far intercorrere tra l'interramento della cover e la coltivazione della coltura da reddito. È stato osservato che l'effetto di fitotossicità dato dal sorgo comincia a manifestarsi anche se la decomposizione della biomassa non è avvenuta in maniera completa. Per massimizzare tale effetto e avere un buon controllo dei nematodi è consigliato di non aspettare più di un mese per coltivare, poiché è stato osservato che aspettando 2-3 mesi la fitotossicità diminuisce (Dover et al., n.d.; Viaene & Abawi, 1998).

Alcuni studi hanno dimostrato che dopo 6 settimane dall'interramento tutto l'acido cianidrico è stato sprigionato e la capacità biofumigante comincia a perdere di efficacia (Widmer & Abawi, 2000). A riguardo si è visto che le alte temperature (superiori a 25°C), l'alto contenuto in sostanza organica e l'umidità del terreno incidono in maniera negativa sulla persistenza dell'isotiocianato nel suolo. Nello specifico la sostanza organica presente nei terreni tende a svolgere un'azione assorbente, invece l'elevata concentrazione d'acqua ne favorisce il dilavamento. Infatti è opportuno mantenere il terreno ad un'umidità costante dopo l'interramento, ma è sconsigliato eseguire irrigazioni abbondanti che tendono a dilavare l'acido cianidrico (Gimsing et al., 2009).

Bisogna anche considerare che con l'incorporazione della cover crop nel suolo si verifica un incremento di CO₂ nel suolo stesso ed anche un aumento di biodiversità microbologica (Grafico 5.2).

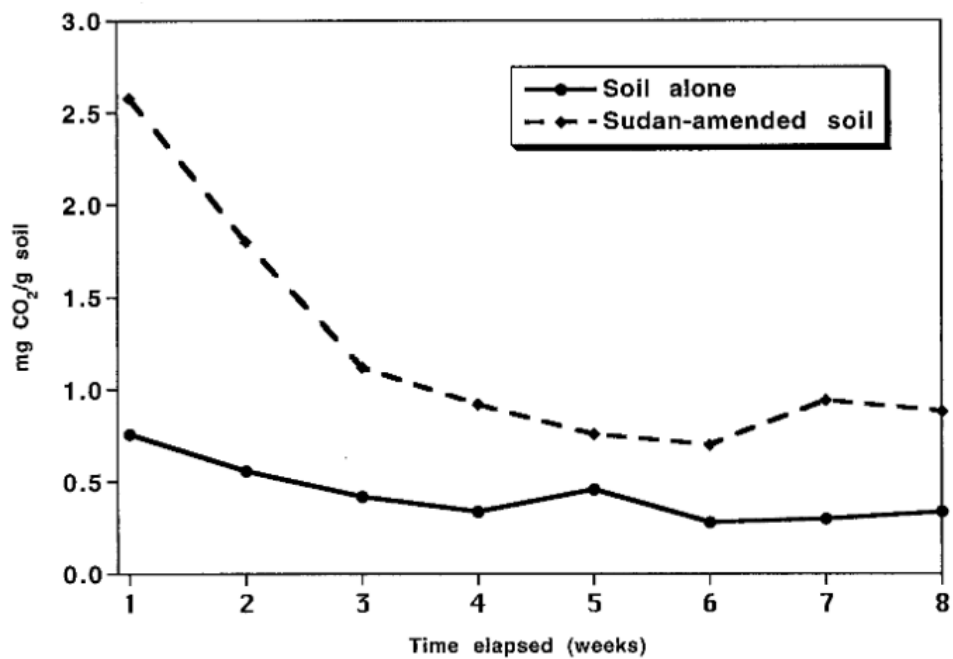


Grafico 5.2 Concentrazione di CO₂ rilasciata dopo l'interramento della cover (Widmer & Abawi, 2000).

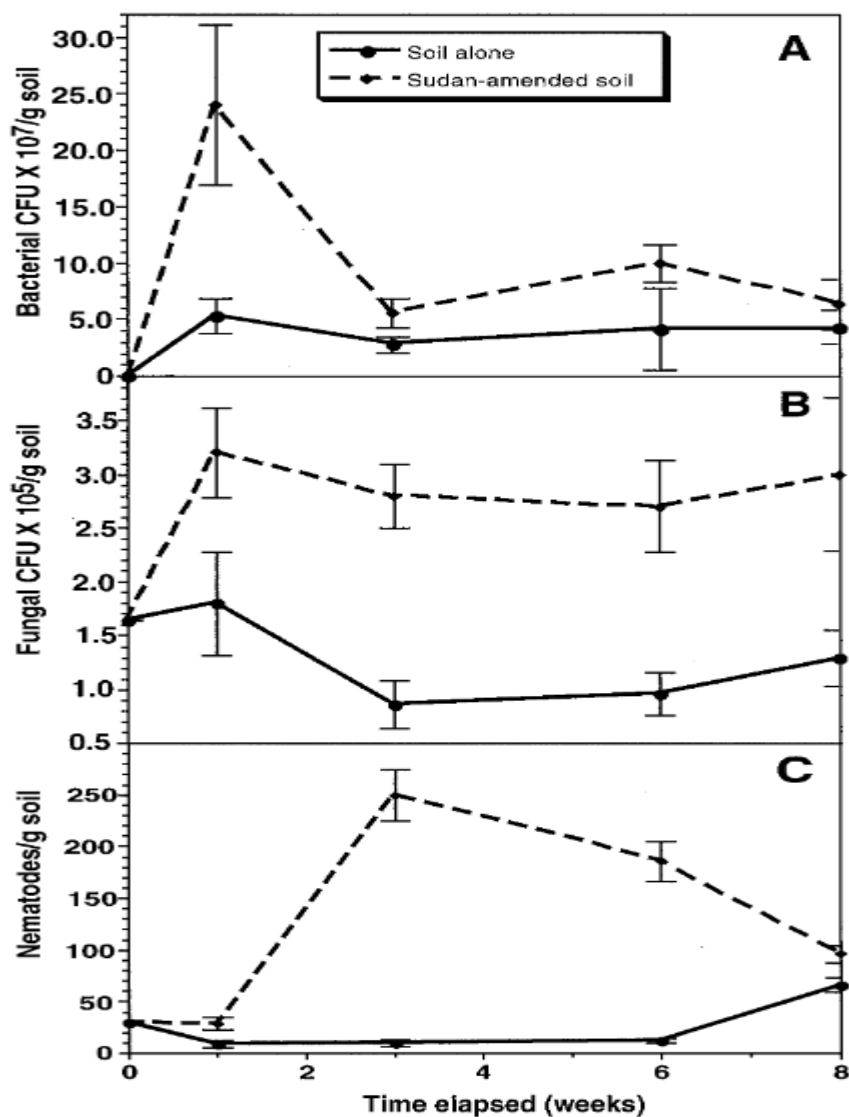


Grafico 5.3 Grafici raffiguranti variazioni nel suolo di batteri, funghi e nematodi in seguito all'incorporazione della cover crop (Widmer & Abawi, 2000).

Come riportato nel grafico 5.3 si può notare:

- l'incremento elevato della popolazione batterica dopo una settimana dall'interramento seguito da una decrescita.
- l'incremento della concentrazione totale di funghi
- l'incremento repentino dei nematodi tre settimane dopo l'interramento seguito poi da una decrescita costante favorita anche dall'azione biofumigante

(Widmer & Abawi, 2000).

6 Conclusione

Sulla base delle ricerche effettuate il sorgo impiegato come cover crop contro i nematodi presenta una buona capacità biofumigante.

A tal riguardo, gli agricoltori facendo fronte alle continue limitazioni sull'uso di pesticidi sono sempre più orientati ad alternative più sostenibili che possano incrementare la biodiversità microbica del terreno e il contenuto di sostanza organica.

Ritengo che il sovescio con sorgo è perfettamente in linea con gli ambiziosi obiettivi strategici 2030 fissati dal Green Deal europeo, tra cui la riduzione del 50% dell'uso dei pesticidi chimici e la diminuzione del 50% della perdita di nutrienti, per il recupero della fertilità dei suoli.

Reputo che sia molto importante ad oggi conoscere in primis il fitofago che si vuole contrastare ed anche le tecniche e gli strumenti a disposizione per farlo.

Perciò bisogna scegliere la corretta specie di sorgo e soprattutto gestire l'abbattimento della cover nel migliore dei modi; inoltre bisognerebbe eseguire delle analisi a livello radicale per essere certi che l'abbattimento avvenga prima che il nematode concluda il suo ciclo di sviluppo. Personalmente introdurrei il sorgo nelle rotazioni colturali associandolo a delle brassicaceae cercando così di massimizzare l'effetto, oppure alternare le successioni tra queste due cover crop se la consociazione è difficile. Vengono consigliate anche consociazioni di cover crop con delle leguminose da granella o da foraggio ma bisogna fare attenzione, perchè quest'ultime potrebbero essere delle buone piante ospite per favorire la riproduzione dei nematodi.

Un limite dato dall'impiego di cover crop biofumiganti è rappresentato dalla breve persistenza e dalla facile volatilità dei composti derivanti dalle reazioni che avvengono nel terreno.

Alla luce di queste conoscenze sull'utilizzo del *Sorghum bicolor* (L.) Moench e delle sue sottospecie come cover crop contro i nematodi, si potrebbero approfondire con ricerche e ulteriori studi nuove tecniche agronomiche per diminuire la volatilità dei composti biocidi aumentando così l'azione biofumigante.

Bibliografia

- Ananda, G., Norton, S., Blomstedt, C., Furtado, A., Møller, B., Gleadow, R., Henry, R., & Robert Henry, C. J. (2021). *Phylogenetic relationships in the Sorghum genus based on sequencing of the chloroplast and nuclear genes*. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20123>
- Bohinc, T., Ban, S. G., Ban, D., & Trdan, S. (2012). Glucosinolates in plant protection strategies: A review. *Archives of Biological Sciences*, *64*(3), 821–828. <https://doi.org/10.2298/ABS1203821B>
- Cowan, M. F., Blomstedt, C. K., Møller, B. L., Henry, R. J., & Gleadow, R. M. (2021). Variation in production of cyanogenic glucosides during early plant development: A comparison of wild and domesticated sorghum. *Phytochemistry*, *184*, 112645. <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2020.112645>
- Cowan, M., Møller, B. L., Norton, S., Knudsen, C., Crocoll, C., Furtado, A., Henry, R., Blomstedt, C., & Gleadow, R. M. (2022). Cyanogenesis in the Sorghum Genus: From Genotype to Phenotype. *Genes*, *13*(1). <https://doi.org/10.3390/genes13010140>
- Curto, G., Dallavalle, E., de Nicola, G. R., & Lazzeri, L. (2012). Evaluation of the activity of dhurrin and sorghum towards *Meloidogyne incognita*. *Nematology*, *16*(PART6), 759–769. <https://doi.org/10.1163/156854112X627291>
- Djian-Caporalino, C., Mateille, T., Bailly-Bechet, M., Marteu, N., Fazari, A., Bautheac, P., Raptopoulo, A., van Duong, L., Tavoillot, J., Martiny, B., Goillon, C., & Castagnone-Sereno, P. (2019). Evaluating sorghums as green manure against root-knot nematodes. *Crop Protection*, *122*, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.002>
- Dover, K., Wang, K.-H., Grabau, Z. J., & Mcsorley, R. (n.d.). *Nematode Management Using Sorghum and Its Relatives 1*. <https://edis.ifas.ufl.edu>
- Dutta, T. K., Khan, M. R., & Phani, V. (2019). Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. *Current Plant Biology*, *17*, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>
- Fourie, H., Ahuja, P., Lammers, J., & Daneel, M. (2016). Brassicacea-based management strategies as an alternative to combat nematode pests: A synopsis. *Crop Protection*, *80*, 21–41. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.10.026>
- Giardini Luigi, Amaducci maria teresa, & Baldoni Remigo. (1989). *Coltivazioni erbacee: Vol. 2 edizione ampliata*.
- Gimsing, A. L., Strobel, B. W., & Hansen, H. C. B. (2009). DEGRADATION AND SORPTION OF 2-PROPENYL AND BENZYL ISOTHIOCYANATE IN SOIL. In *Environmental Toxicology and Chemistry* (Vol. 28, Issue 6).
- Griffiths, M., Delory, B. M., Jawahir, V., Wong, K. M., Bagnall, G. C., Dowd, T. G., Nusinow, D. A., Miller, A. J., & Topp, C. N. (2022). Optimisation of root traits to provide enhanced ecosystem services in agricultural systems: A focus on cover crops. *Plant Cell and Environment*, *45*(3), 751–770. <https://doi.org/10.1111/pce.14247>
- Hanschen, F. S., & Winkelmann, T. (2020). Biofumigation for fighting replant disease-a review. *Agronomy*, *10*(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy10030425>
- Hossain, M. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Mostofa, M. G., & Khan, M. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, *8*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>

- Khanal, C., & Harshman, D. (2022). Evaluation of summer cover crops for host suitability of *Meloidogyne enterolobii*. *Crop Protection*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105821>
- Morra, M. J., & Kirkegaard, J. A. (2002). Isothiocyanate release from soil-incorporated Brassica tissues. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1683–1690. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00153-0)
- S Ananda, G. K., Myrans, H., Norton, S. L., Gleadow, R., Furtado, A., & Henry, R. J. (n.d.). *Wild Sorghum as a Promising Resource for Crop Improvement*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01108>
- Savary, S., Willcoquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology and Evolution*, 3(3), 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- S.Zangheri, & G.Pellizzari Scaltriti. (2000). *PARASSITOLOGIA ANIMALE DEI VEGETALI* (Quinta edizione). Cleup editore .
- Uda, Y., Kurata, T., & Arakawa, N. (1986). Effects of pH and Ferrous Ion on the Degradation of Glucosinolates by Myrosinase. *Agricultural and Biological Chemistry*, 50(11), 2735–2740. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.50.2735>
- Venkateswaran, K., Elangovan, M., & Sivaraj, N. (2018). Origin, domestication and diffusion of *Sorghum bicolor*. In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00002-4>
- Vervoort, M. T. W., Vonk, J. A., Broksma, K. M., Schütze, W., Quist, C. W., de Goede, R. G. M., Hoffland, E., Bakker, J., Mulder, C., Hallmann, J., Hallmann, J., & Helder, J. (2014). Release of isothiocyanates does not explain the effects of biofumigation with Indian mustard cultivars on nematode assemblages. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.008>
- Viaene, N. M., & Abawi, G. S. (1998). *Management of Meloidogyne hapla on Lettuce in Organic Soil with Sudangrass as a Cover Crop*.
- Waisen, P., Cheng, Z., Sipes, B. S., DeFrank, J., Marahatta, S. P., & Wang, K.-H. (2020). Effects of biofumigant crop termination methods on suppression of plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103595>
- Widmer, T. L., & Abawi, G. S. (2000). Mechanism of suppression of *Meloidogyne hapla* and its damage by a green manure of sudan grass. *Plant Disease*, 84(5), 562–568. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.5.562>
- Zasada, I. A., Meyer, S. L. F., & Morra, M. J. (2009). Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 41(3), 221–227.

Sitografia

- <https://fitogest.imagelinenetwork.com/it/agrofarmaci/> consultato il 24/06

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento al Dott. Stefano Macolino per il supporto e la disponibilità fornitami durante la preparazione e la stesura di questa tesi, alla mia famiglia e a tutti coloro che mi hanno sostenuto durante questo percorso.