



AGRICOLTORI ITALIANI



LA CRAMBE ABBYSSINICA



COLTURA OLEAGINOSA PER L'AGROINDUSTRIA

**ATTIVITA' REALIZZATA CON IL CONTRIBUTO DEL PROGRAMMA DI SVILUPPO RURALE
DELLA REGIONE MARCHE 2014/2020 - MISURA 16.1 PROGETTO ID 52087**



Unione Europea / Regione Marche
PROGRAMMA DI SVILUPPO RURALE 2014-2020

FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI



**La crambe abbyssinica, coltura oleaginosa per
l'agroindustria**



1. Mercato dell'acido erucico: una panoramica	7
Alternative alla colza ad alto contenuto di acido erucico	Error! No bookmark name given.
Usi industriali	Error! No bookmark name given.
Descrizione morfologica	Error! No bookmark name given.
Potenziale di resa delle sementi	Error! No bookmark name given.
Gestione agronomica	Error! No bookmark name given.
Istituzione	17
Concimazione	20
Parassiti, malattie e gestione delle infestanti	22
Raccolta, post-raccolta e conservazione	24
Impatto ambientale della coltivazione di Crambe	26
Progressi della ricerca e prospettive future	Error! No bookmark name given.
Usi del pasto Crambe	29
Allevamento di Crambe e modificazione genetica della qualità dell'olio	32
Bestiame	Error! No bookmark name given.
Bovini da latte	Error! No bookmark name given.
Manzi	Error! No bookmark name given.
Pecore	Error! No bookmark name given.
Gestione agronomica	39
Servizi ecosistemici forniti dalla coltivazione di Crambe	41

La Crambe (*Crambe abyssinica*) è una coltura di semi oleosi della famiglia *delle Brassicaceae*. La capacità di Crambe di sopravvivere in diverse condizioni ambientali, la sua composizione unica dell'olio, l'alto contenuto di olio, l'idoneità per la produzione di agenti scivolanti per plastificanti, la capacità di essere facilmente incluso nelle rotazioni comuni delle colture e la sua adattabilità alle attrezzature utilizzate per la coltivazione di piccoli cereali hanno rinnovato l'interesse per questa coltura emergente. Crambe è considerata una delle principali fonti di acido erucico, che può essere fino al 60% del suo contenuto di olio di semi. L'acido erucico (C22:1) è un acido grasso di importanza industriale viene utilizzato per produrre erucamamide, ingrediente chiave nell'industria della plastica. L'inclusione del crambe nelle rotazioni delle colture può essere utile a causa del suo breve ciclo di vita, dei bassi requisiti di fertilità, della resistenza ai parassiti e alle malattie e della relativa tolleranza alla siccità. La Colza attualmente ad alto contenuto di acido erucico (*Brassica napus*L.) è la

principale fonte di acido erucico. Tuttavia, il rischio di contaminare la colza di qualità alimentare (cioè la colza) mediante impollinazione incrociata e l'impatto negativo sul clima, a causa degli elevati input, sono potenziali limitazioni per espandere la coltivazione HEAR. Crambe ha quindi un grande potenziale per, almeno in parte, sostituire HEAR come fonte di acido erucico, se l'attuale divario di conoscenze nella gestione agronomica e nel miglioramento delle colture (resa e qualità delle sementi) può essere riscontrato.

1. Mercato dell'acido erucico: una panoramica

A causa dell'importanza attribuita alla biodegradabilità e alla rinnovabilità, vi è una tendenza al rialzo nella produzione di composti chimici per varie industrie che utilizzano materie prime a base vegetale. L'acido erucico (acidocis-13-docosenoico) (C22:1) è un ingrediente utilizzato chimico nelle industrie per produrre materie plastiche, inchiostri da stampa, alimenti, prodotti per la cura personale, prodotti farmaceutici e altri prodotti [1]. L'acido erucico si trova solo nell'olio di semi di piante appartenenti alle famiglie Brassicaceae e Tropaeolaceae. Commercialmente, il mercato globale dell'acido erucico è classificato in base alla fonte, all'industria di uso finale, alla regione prodotta, all'applicazione e al grado. In base al grado, le fonti di acido erucico sono segmentate in due categorie: contenuto di acido erucico del 43-50% e contenuto di acido erucico >50%. Attualmente, l'acido erucico deriva principalmente dalla colza ad alto contenuto erucico (HEAR).

Secondo le statistiche del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti-Foreign Agriculture Service (USDA-FAS), la produzione globale di HEAR è aumentata da 37,4 a 75,0 milioni di Mg, tra il 2010 e il 2019. I principali produttori di HEAR sono Canada, Cina, UE e India. La produzione di sementi Canada HEAR ha rappresentato il 22,3% della produzione globale nel 2019. Il Canada è anche il più grande esportatore di HEAR con 8,9 milioni di Mg nel 2020, mentre l'UE è considerata il più grande importatore, seguita dalla Cina. Il prezzo del petrolio HEAR è diminuito da 647 nel 2010 a \$ 428 mg nel 2019. La produzione di plastica ha rappresentato il 49,5% del consumo di petrolio HEAR nel 2017. Si prevede che il mercato dell'olio HEAR (principalmente dell'acido erucico) crescerà a un tasso superiore al 7% entro i prossimi cinque anni, principalmente a causa della crescente domanda da parte dei paesi dell'Asia orientale.

Alternative alla colza ad alto contenuto di acido erucico

A causa di queste rigide restrizioni, la coltivazione, il trasporto, la lavorazione, lo stoccaggio e la tracciabilità possono richiedere molto tempo e denaro.

Pertanto, è necessario trovare fonti alternative e possibilmente più economiche di acido erucico. Fonti alternative di acido erucico, come il crambe, possono aiutare a risolvere gli attuali rischi della crescita di HEAR. I principali vantaggi del crambe rispetto all'HEAR includono:

- la morfologia della pianta e del seme del crambe è distintamente diversa da quella del seme di colza, quindi il rischio di contaminazione da parte dell'acido erucico è minimo;
- il crambe non si incrocia con HEAR o colza;
- il crambe ha un contenuto di acido erucico più elevato rispetto a HEAR;
- il contenuto di acidi grassi polinsaturi (PUFA) è inferiore nell'olio di crambe rispetto all'olio

HEAR. Inoltre, la coltivazione di HEAR comporta maggiori quantità di input agronomici (vale a dire, fertilizzanti e prodotti chimici per la protezione delle colture), con conseguenti impatti ambientali negativi rispetto a colture con input inferiori, come il crambe. La valutazione del ciclo di vita (LCA) che confronta crambe con HEAR ha portato quest'ultimo ad avere il peggior impatto ambientale in nove delle dieci categorie di impatto testate, tra cui il potenziale di riscaldamento globale, l'esaurimento abiotico, l'acidificazione e l'eutrofizzazione

Usi industriali

Il Crambe è considerato una coltura industriale dedicata poiché il suo alto contenuto di acido erucico nell'olio e la grande quantità di glucosinolati nella farina limitano ogni possibile uso alimentare/mangime. L'acido erucico è il principale acido grasso presente nell'olio di crambe, che varia tra il 50% e il 65%. L'acido erucico è un acido grasso monoinsaturo a catena lunga, non commestibile e con usi industriali specifici.

L'acido erucico ha attirato ampi interessi come materia prima per fluidi idraulici, oleochimici, lubrificanti, additivi e come materiale di partenza per nuove fibre, resine, plastiche, lacche e altri prodotti. La farina di Crambe ha un alto contenuto di proteine e fibre. Ma la presenza di alti livelli di glucosinolati, che sono tossici per gli animali monogastrici, richiede ulteriori passaggi per rimuovere/inattivare i glucosinolati prima di utilizzare la farina di crambe come mangime per animali. Altrimenti, i sottoprodotti del crambe (cioè la farina di semi compresi gli scafi (= silique)), avrebbero solo usi industriali, come un materiale adsorbente per

rimuovere i composti tossici dall'acqua contaminata. Gli usi più recenti dell'olio di crambe e della farina di semi sono riassunti nella **Tabella 1** .

Descrizione morfologica

Il Crambe ha un ciclo di crescita breve e la raccolta avviene solitamente 90-110 giorni dopo la semina. Il ciclo di crescita si accumula tra 1300 e 1500 gradi giorno di crescita (GDD), con una temperatura base di 5 °C. Nella regione mediterranea, la durata del ciclo potrebbe essere maggiore se seminata in autunno come coltura annuale invernale, raggiungendo fino a 180 giorni. Crambe è una specie erbacea annuale, che normalmente cresce ad un'altezza compresa tra 1 e 1,20 m. L'altezza delle piante dipende dalle condizioni di crescita come la stagione, la densità delle piante e la fertilità del suolo. La pianta è caratterizzata da un portamento eretto e dalla presenza di numerosi rami.

Questa specie ha una radice fittonante che può raggiungere profondità del suolo superiori a 1 m. Il robusto apparato radicale conferisce al crambe un'ampia adattabilità alla siccità e alla salinità del suolo. I cotiledoni di crambe sono a forma di cuore



mentre ha foglie di forma ovale con una superficie liscia di colore verde chiaro. Crambe è una pianta autoimpollinata; tuttavia, può verificarsi un attraversamento naturale. La fioritura è indeterminata e può durare oltre due mesi. I fiori sono piccoli; possono essere di colore bianco o giallo chiaro e disposti in un racemo.

I semi di Crambe sono prodotti in piccole siliques a forma di sfera che sono inizialmente verdi ma diventano giallo-marroni man mano che maturano con un singolo seme per silique, noto anche come baccello. I semi maturi sono di colore

bruno-verdastro con un diametro da 0,8 a 2,6 mm. Le siliques sono indeiscenti, prevenendo la frantumazione e la perdita di semi durante il raccolto. Il pericarpo rappresenta dal 25% al 30% del volume silique e dall'11% al 40% del peso silique. Il peso del crambe decorticato da 1000 semi varia tra 6 e 10 g.

Potenziale di resa delle sementi

La resa dei semi di Crambe varia a seconda della cultivar, del clima, delle caratteristiche del suolo e delle pratiche di gestione. Diversi studi che riportano la resa dei semi di crambe e il contenuto di olio di semi in diversi ambienti e pratiche di coltivazione. Tra i diversi climi, la resa dei semi era più alta con la semina primaverile rispetto alla semina autunnale. Sono necessari nuovi studi sul crambe testando diverse cultivar in nuove località per valutare meglio l'ambiente in base all'interazione del genotipo sul potenziale di resa dei semi.



Gestione agronomica

Istituzione

Un semenzaio solido e ben confezionato è fondamentale per la creazione di crambe a causa delle sue piccole dimensioni del seme. Crambe preferisce un terreno da moderatamente grossolano a tessitura fine e terreno ben drenato con un pH compreso tra 5 e 7,8. È meno tollerante ai terreni pesanti, incline al ristagno. Nelle regioni tropicali, la compattazione del suolo causata dalla mancanza di rotazione delle colture e dal traffico di macchine deve essere considerata nello stabilimento di crambe. Inoltre, l'uso di una coltura di copertura può migliorare la fertilità del suolo con conseguente maggiore resa del grano di crambe. Crambe mostra una moderata tolleranza ai terreni salini ; Tuttavia, il contenuto di olio di semi è diminuito con l'aumento della salinità nell'acqua di irrigazione.

Crambe richiede un ambiente fresco durante la germinazione e l'insediamento. La semina precoce si traduce in una maggiore resa dei semi, in una scomparsa dei giorni

dalla semina alla fioritura e alla maturità fisiologica e in una riduzione della pressione delle erbe infestanti. La semina viene solitamente effettuata in primavera, passato il periodo in cui il gelo può danneggiare le piantine emergenti nei climi settentrionali. In ambienti da un inverno mite (es. bacino del Mediterraneo meridionale), l'insediamento nel tardo autunno/inizio inverno permette di ottenere rese di seme superiori a quelle seminate in primavera evitando il caldo estivo e la siccità durante la fase di riempimento dei mezzi. Nel Midwest degli Stati Uniti, le date di semina variavano da fine marzo a inizio maggio a seconda della località e dell'anno. Dall'inizio di marzo alla prima settimana di aprile è preferito in Nebraska, da metà a fine aprile nel Wisconsin e nel Minnesota meridionale, e l'inizio di maggio è raccomandato nel Nord Dakota. Piantare dopo queste date riduce la resa dei semi, il contenuto di olio di semi e aumenta la pressione delle erbe infestanti. La riduzione della resa dei semi nelle date di semina successive può essere attribuita a condizioni calde e secche, dove le condizioni di stress idrico possono ridurre la germinazione e il vigore dei semi.

Crambe può essere a seme solido o in file. La semina solida Crambe può essere effettuata in un campo con bassa pressione delle infestanti, utilizzando attrezzature come una piccola seminatrice per cereali o una seminatrice cultipacker. La semina a file può migliorare la maturità uniforme, ridurre le perdite dovute alla formazione di croste nel suolo e ridurre il costo dei semi. La distanza tra le file in crambe varia tra 0,12 e 0,90 m di larghezza. Una distanza tra le file ridotta inferiore a 0,30 m ha migliorato la resa dei semi aumentando la competizione delle infestanti, diminuendo la ramificazione e promuovendo una maturità uniforme. Una maggiore distanza tra le file ha aumentato l'alloggio, ma potrebbe essere interessante in ambienti più asciutti. La seminatrice dotata di piastre di mais o soia può essere utilizzata per piantare crambe in file di 50 e 76 cm. In Brasile, la distanza tra le file varia tra 17 e 50 cm, principalmente a seconda della disponibilità di attrezzature per la semina.

La profondità di impianto è un altro fattore critico per ottenere una buona posizione. In un semenzaio ben preparato

con un'adeguata umidità del suolo, la profondità di impianto raccomandata per il crambe variava tra 0,6 e 1,9 cm tuttavia, in terreni con meno umidità, il crambe può essere seminato a 2,5 cm di profondità.

L'uso di sementi di alta qualità per la semina può essere una delle migliori pratiche per ridurre i costi di produzione. Per il crambe, si consiglia di seminare semi con un tasso di germinazione non inferiore all'80%. Il pericarpo della silique rimane attaccato al seme dopo il raccolto, il che protegge il seme da agenti patogeni e insetti ma allo stesso tempo ostacola la germinazione dei semi. Per analizzare la vitalità dei semi di crambe si raccomanda di eseguire un test del tetrazolio, immergendo i semi in una soluzione di tetrazolio allo 0,075% per 18 o 24 ore.

Concimazione

C'è una quantità limitata di informazioni disponibili per quanto riguarda le indicazioni specifiche sui fertilizzanti per il crambe, anche se questa coltura di semi oleosi è generalmente considerata come un basso input. I requisiti nutrizionali del

crambe sono simili a quelli della colza. Raccomandazioni su fosforo e potassio per piccole colture di cereali con circa 50 e 89 kg di ettari, rispettivamente dovrebbero essere adeguati per la produzione di crambe.

Studi hanno determinato l'effetto del fosforo (0, 15, 30, 50 e 90 kg ha⁻¹ P₂O₅) sulla resa delle sementi di crambe che riporta una resa delle sementi più elevata con tassi di fosforo aumentati; Tuttavia, il contenuto di olio di semi non è stato influenzato. Al contrario, sulla resa dei semi aumentare i tassi di fosforo fino a 80 kg ha⁻¹ P₂O₅, ha favorito lo sviluppo di radici e germogli nel crambe con conseguente aumento della resa dei semi, ma anche del contenuto di olio.

Crambe ha anche risposto positivamente al fertilizzante N da circa 89 a 150 kg ha⁻¹ di N. Analogamente alla colza, si prevede che il crambe possa rispondere ai fertilizzanti a base di zolfo, specialmente su terreni sabbiosi. L'aumento del livello di saturazione della base del suolo al 47-48% può aumentare

la resa dei semi, il contenuto di olio e la resa della biomassa del crambe.

Parassiti, malattie e gestione delle infestanti

Crambe è altamente suscettibile al virus del mosaico giallo rapa (TYMV). I sintomi includono mosaico e ingiallimento dei bordi esterni delle foglie. I coleotteri delle pulci e le cavallette sono i vettori noti di TYMV. La rotazione delle colture insieme all'eradicazione dei volontari crambe è considerato il metodo più efficace per gestire il TYMV. La macchia nera causata da *Alternaria brassicae* è un'altra malattia devastante a cui il crambe è suscettibile. Le piante sono infettate da spore, che svernano in piante o detriti infetti. Le misure di controllo includono l'utilizzo di una rotazione a lungo termine, l'utilizzo di semi esenti da malattie e il controllo dei volontari e delle erbe infestanti nella famiglia delle *Brassicaceae*. I semi possono essere trattati con un fungicida o immersi in acqua calda (60 °C) per circa 20 minuti. La muffa bianca o il marciume dello stelo causato da *Sclerotinia sclerotiorum* Lib de Bary colpisce il crambe. Uno sclerozio è uno stadio di svernamento

dormiente del fungo. La sclerotinia può sopravvivere nel terreno per lunghi periodi di tempo. Elevate densità di piante, aumento dell'umidità, livelli di inoculo più elevati e tassi di fertilizzanti N eccessivi possono creare condizioni favorevoli per un'infezione. La rotazione con colture non ospiti e l'utilizzo di sementi certificate sono considerati i metodi di controllo più efficaci di questa malattia. I trattamenti fungicidi non sono raccomandati per nessuna delle malattie fungine del crambe. Tuttavia, agenti di controllo biologico come *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* stanno promettendo di controllare le malattie fungine nel crambe.

Le piantine di Crambe non sono molto competitive contro le erbacce. Questo è il risultato di una lenta crescita iniziale fino a quattro settimane dopo l'emergenza. Gli effetti negativi della concorrenza delle infestanti si manifestano generalmente da 60 a 70 giorni dopo l'emergenza. Pertanto, è fondamentale mantenere un ambiente privo di erbacce chiudendo la chioma. Il supporto spesso e uniforme è efficace nel controllo delle erbacce. L'uso di sementi di alta qualità, una distanza

ottimale tra le file, una semina precoce e tassi di semina adeguati sono alcuni dei metodi che possono essere utilizzati per ridurre la concorrenza delle infestanti.

Il Crambe è considerato più tollerante alla salinità, al freddo, al caldo e allo stress da umidità rispetto ad altre colture di semi oleosi.

Raccolta, post-raccolta e conservazione

I semi di Crambe maturano rapidamente dopo la fioritura, di solito entro due o cinque settimane, a seconda della data di semina e delle condizioni ambientali. La raccolta alla corretta maturità è importante per ridurre al minimo le elevate perdite per frantumazione. La maturità fisiologica nel crambe viene raggiunta quando il 50% dei semi è diventato marrone. La raccolta dovrebbe essere effettuata non appena l'ultimo dei rami portatori di semi raggiunge la maturità, evidente dai baccelli del seme che diventano di colore marrone chiaro. A quel punto il livello di umidità dei semi sarà di circa il 10%.

La mietitrebbia con le attrezzature disponibili per i cereali può facilmente raccogliere il crambe. Il costo del raccolto del

crambe è il più significativo tra tutti gli altri semi oleosi, a causa del supporto non uniforme e delle difficoltà nella raccolta e nella pulizia del seme. Questo può essere evitato utilizzando un essiccante prima della raccolta con l'uso dell'erbicida glifosato [N- (fosfonometil) glicina] come essiccante a 2,0 lt/ha quando il 90% dei semi diventava marrone, senza influenzare negativamente la germinazione o il vigore dei semi.

Crambe ha una bassa densità apparente, che è di circa 340 kg m⁻³. Poiché i semi di crambe sono piccoli e leggeri, le strutture di trasporto e stoccaggio devono essere strette per evitare perdite di semi. Gli impianti di stoccaggio devono trovarsi nelle immediate vicinanze dei campi per ridurre i costi di trasporto. Prima dell'essiccazione e dello stoccaggio, i semi devono essere puliti per evitare materiale estraneo, che può causare problemi di riscaldamento e aumento dei costi di essiccazione. Per la conservazione dei semi sono preferiti contenitori puliti e privi di insetti con pavimenti perforati e ventole. Le condizioni di essiccazione e conservazione influiscono direttamente sulla qualità dei semi e sulle proprietà

dell'olio di semi di crambe. Lo stoccaggio prolungato può influire negativamente sulla qualità fisiologica del seme. I semi di Crambe devono essere conservati con un contenuto di umidità del seme inferiore al 10% e la temperatura massima di essiccazione deve essere inferiore a 43,3 °C. I semi di Crambe essiccati nella pianta prima del raccolto avevano la migliore qualità dell'olio di semi rispetto all'essiccazione artificiale con aria riscaldata, è interessante notare che il metodo di essiccazione non ha influenzato la qualità del biodiesel prodotto dall'olio di Crambe.

Impatto ambientale della coltivazione di Crambe

Negli ultimi anni, la coltivazione del crambe ha attirato l'interesse di molti ricercatori e industrie in tutto il mondo a causa del suo minore fabbisogno di input rispetto ad altre colture oleaginose, come la colza. Come è già stato menzionato, l'olio di semi di crambe può essere utilizzato per produrre biodiesel, carburanti per aerei, fluidi idraulici e biolubrificanti. Ma prima di promuovere il crambe come alternativa all'HEAR, è importante stimare gli impatti ambientali

associati alla coltivazione di crambe, poiché le attività agricole e gli input sono responsabili del 70-80% delle emissioni di gas serra nella maggior parte delle colture. La valutazione del ciclo di vita e gli indici di efficienza energetica nella coltivazione di crambe hanno rivelato che gli impatti ambientali negativi sono principalmente legati al consumo di diesel ed elettricità utilizzata per la semina, la coltivazione e la raccolta della coltura, in uno scenario di bassa fertilizzazione azotata. La sostituzione del diesel minerale con il biodiesel potrebbe essere una soluzione per migliorare le prestazioni ambientali del sistema consentendo la riduzione degli impatti sui cambiamenti climatici e sull'eutrofizzazione. Nel complesso, la coltivazione di crambe presenta un impatto ambientale inferiore rispetto ad altre colture come la colza o il mais.

Progressi della ricerca e prospettive future

Anche se in passato il crambe era coltivato in alcuni paesi, non è ancora ampiamente prodotto. Attualmente, il crambe può essere considerato una coltura di nicchia specializzata. L'olio di Crambe ha un mercato come ingrediente in specifici prodotti per la cura personale. L'industria cosmetica paga un prezzo più alto per l'olio di crambe, rispetto al prezzo dell'olio HEAR.

Da un punto di vista economico, il costo di produzione più elevato per kg di olio e la minore resa dei semi sono i principali svantaggi del crambe rispetto all'HEAR. Inoltre, il crambe ha un contenuto di olio inferiore di circa il 10%, un contenuto di zolfo fino a quattro volte superiore nell'olio, una proporzione farina-seme più elevata e livelli più elevati di fibre e glucosinolati nella farina (che possono essere sette volte superiori).

A causa degli inconvenienti sopra menzionati, c'è un grande bisogno di innovazione e miglioramento nella produzione e nell'utilizzo di crambe, da considerare una valida

alternativa a HEAR. Esistono diverse aree che trarrebbero vantaggio da ulteriori ricerche sulla produzione e la lavorazione del crambe, come l'aggiunta di valore alla farina di crambe, il miglioramento della resa dei semi, il contenuto di acido erucico e l'abbassamento del contenuto di zolfo nell'olio e nei glucosinolati nella farina.

Usi del pasto Crambe

La farina di crambe, che è il prodotto rimanente dopo l'estrazione dell'olio, è una risorsa importante, che deve essere utilizzata in modo efficace. La farina di crambe decorticato può contenere fino al 50% di proteine grezze, con un livello di digeribilità simile alla farina di soia, ma a un terzo del costo di quest'ultima. Il contenuto di fibre dipende dalla proporzione di scafi presenti nel pasto. Il contenuto di fibre può variare tra il 6,5% (totalmente decorticato) e il 22% (con scafo). Tuttavia, l'alto contenuto di glucosinolati nel pasto può causare effetti dannosi per il bestiame. I glucosinolati causano problemi di tossicità negli animali monogastrici come suini e pollame

Nuove tecnologie per la disintossicazione da glucosinolati, come trattamenti chimici e fisici, riducendo la quantità a 450 mg/kg sulla farina di crambe, potrebbero consentire la completa sostituzione della farina di soia nelle diete dei ruminanti. Studi recenti hanno riportato che la farina di crambe può essere preziosamente inclusa nelle diete a base di pesce come sostituto sostenibile della farina di pesce.

L'odore e il sapore della farina di crambe riducono l'appetibilità e alcuni animali tendono a selezionare la farina di crambe quando possibile. Tuttavia, il prezzo potenzialmente più basso e l'elevato contenuto proteico della farina di crambe, rispetto alle farine di semi oleosi alternativi, hanno portato a un aumento della ricerca per studi sui livelli ottimali di farina di crambe che possono essere miscelati con altri componenti. C'è ancora opportunità per ulteriori sviluppi e ricerche, per trovare metodi efficaci ed economici per rimuovere i gusci dai semi, poiché la qualità della farina migliora con la decorticazione.

È stato segnalato che la farina di semi di Crambe ha attività insetticida. Si è valutato che la farina di semi di crambe come un efficace ammendante del suolo per ridurre al minimo i patogeni del suolo e la banca dei semi delle piante infestanti. Hanno identificato un composto chimico fitotossico (1-ciano-2-idrossi-3-butano) apparentemente responsabile dell'attività segnalata. Inoltre si segnala un effetto nematocida della farina di crambe. Infatti, si sono riscontrati risultati soddisfacenti contro *Meloydogine incognita* nel pomodoro (*Lycopersicon esculentum* L.).

Un altro possibile modo di valorizzare la farina di semi di crambe è l'estrazione di proteine, che possono essere utilizzate per sviluppare prodotti a base biologica come plastificanti e adesivi. Sfortunatamente, i primi tentativi di utilizzare la farina di crambe hanno portato a prodotti con scarse prestazioni. Ciò indica che le tecnologie di conversione applicate ai concentrati proteici di crambe nel prossimo futuro devono migliorare per aumentare le prestazioni proteiche per la produzione di film plastici stampati.

Allevamento di Crambe e modificazione genetica della qualità dell'olio

Aumentare la variabilità genetica e scoprire genotipi più adatti alle diverse condizioni ambientali può essere utile, poiché l'agricoltura futura deve adattarsi ai cambiamenti climatici. Bassa resa dei semi, scarsa germinazione dei semi, resistenza alle malattie, alto contenuto di zolfo nell'olio di semi e alto contenuto di glucosinolati e fibre nel pasto sono alcune delle aree critiche che devono essere affrontate attraverso l'allevamento e il miglioramento. Un recente studio in Brasile ha riportato un guadagno genetico dal 10% al 49% nella resa dei semi nelle linee di crambe testate dopo la selezione e la valutazione di 82 progenie della cultivar FMS Brilhante. Uno studio di screening, condotto in Polonia con 10 genotipi di crambe, è stato in grado di identificare tre linee di allevamento, dal programma di ricerca dell'Università di Wageningen (Paesi Bassi), caratterizzate da frutti più grandi (siliques) e aumento del vigore dei semi, che ha portato a una maggiore vitalità dei semi e a una rapida germinazione.

La modificazione genetica potrebbe integrare l'allevamento convenzionale per migliorare i tratti delle piante di crambe, ma il successo di questi approcci dipende, tra gli altri fattori, dall'efficienza di rigenerazione degli espianti e dall'integrazione transgenica. Sfortunatamente finora, mancano protocolli di rigenerazione per il crambe. Utilizzando diverse combinazioni di regolatori di crescita delle piante su crambe. In uno studio separato utilizzando crambe cv. gli espianti hanno ottenuto frequenze di trasformazione tra il 6,7% e l'8,3% con una frequenza di rigenerazione fino al 70%.

Bestiame

Bovini da latte

Quando inclusi al 30% nei concentrati, i sottoprodotti del crambe hanno comportato una riduzione dell'assunzione di concentrati nelle vacche da latte. La produzione di latte è diminuita di conseguenza. Uno studio precedente aveva dimostrato che le vacche da latte alimentate *ad libitum* con insilati di erba avevano ridotto l'assunzione di mangime e una

minore produzione di latte quando la farina di crambe o i pellet di crambe erano inclusi al 30% della dieta. I pellet di Crambe hanno avuto effetti deleteri sul livello di grasso del latte e hanno prodotto il 2% di acido erucico nel grasso del latte

Manzi

Nei manzi meticci a cui sono state somministrate diverse combinazioni di farina di soia e farina di crambe (100:0, 67:33, 33:67, 0:100) nelle diete di base o finali, la farina di crambe ha prodotto prestazioni animali simili a quelle della farina di soia senza alcuna differenza in aumento di peso (complessivo da 1,41 a 1,46 kg/giorno), nessuna differenza sulle efficienze di conversione del mangime e altre efficienze medie e nessuna differenza sulle caratteristiche della carcassa.

Pecore

La farina di crambe è una preziosa fonte proteica per i ruminanti che è stata valutata per sostituire la farina di soia nelle diete degli agnelli. La farina di crambe ad alto contenuto di grassi (29%) ha sostituito la farina di soia allo 0, 22, 44 e

64% nelle diete per agnelli senza influire sulla salute degli animali. L'inclusione della farina di Crambe, tuttavia, ha comportato una personalità lineare di DM, OM, EE, energia lorda, ADF, NDF, digeribilità della cellulosa e della percentuale di nutrienti digeribili totali, che ha comportato una conoscenza dell'assunzione giornaliera di DM. Tuttavia, l'elevato contenuto di grassi e proteine della farina di crambe ha consentito un elevato apporto energetico e proteico. L'alto contenuto di grassi ha ridotto le emissioni di metano negli agnelli

Negli agnelli nutriti con farina di crambe estratta contenente meno del 5% di grassi a livelli di inclusione compresi tra il 6% e il 19%, è stato riportato un aumento dell'assunzione di DM mentre la digeribilità e il peso degli agnelli non sono stati influenzati dall'inclusione della farina di crambe. L'efficienza dell'alimentazione è stata così ridotta. La somministrazione di farina di crambe non ha avuto alcun effetto sulla resa della carcassa, sulla qualità della carcassa o sulla succosità della carne. L'inclusione della farina di crambe potrebbe ridurre gli

acidi grassi saturi e aumentare gli acidi grassi insaturi nella carne di agnello.

Maiali

La farina di crambe non è adatta ai maiali. Il contenuto energetico del pannello pressato e della farina d'olio estratta è stato analizzato in 10,6 o 9,3 MJ ME/kg per i suini. Bassi livelli dietetici (10%) di farina di crambe nelle diete dei suini hanno ridotto significativamente l'aumento di peso vivo da 782 g/giorno nei controlli a 742 g/giorno nel gruppo sperimentale.

Pollame

La farina cruda di crambe è tossica per il pollame e non può essere utilizzata come mangime per animali. Diversi trattamenti di disintossicazione sono stati proposti per la farina di crambe. La performance degli animali alimentati con farina di crambe disintossicata è legata al livello di glucosinolati e nitrili residui. L'ammoniaca e il trattamento termico hanno migliorato l'appetibilità e limitato la tossicità,

ma la crescita e l'assunzione di mangime erano ancora compromessi. Anche il trattamento con carbonato di sodio (Na_2CO_3) non è riuscito a ripristinare completamente le prestazioni, che sono rimaste inferiori al 75% rispetto alla dieta di controllo. La combinazione di carbonato di sodio, cottura a vapore ed estrazione di acqua ha portato a un'elevata riduzione dei fattori antinutrizionali e a prestazioni di crescita soddisfacenti, ma a scapito di una distruzione del 40% del contenuto di lisina. Sono stati testati altri esperimenti di disintossicazione, ma solo i trattamenti più forti sono riusciti a ripristinare le prestazioni, che erano comunque degradate a livelli di inclusione superiori al 10%.

Conigli

Nessuna informazione sull'uso della farina di *Crambe abyssinica* nell'alimentazione dei conigli sembra disponibile nella letteratura internazionale , poiché la farina di olio di crambe, una volta disintossicata, può essere utilizzata per nutrire ruminanti, maiali o polli, potrebbe essere considerata

una potenziale fonte di proteine per l'alimentazione del coniglio. Tuttavia, sono necessari alcuni esperimenti preliminari diretti prima dell'uso commerciale. La proteina Crambe ha un alto contenuto di lisina (circa il 105% del fabbisogno del coniglio) ed è ricca di aminoacidi contenenti zolfo (115% del fabbisogno). La presenza di glucosinolati non dovrebbe costituire un problema poiché i conigli sono resistenti ai glucosinolati presenti nella farina di colza o farina di senape.

Gestione agronomica

La mancanza di studi recenti sulla gestione agronomica del crambe, rispetto ad altre colture oleaginose emergenti, come la camelina [Camelina sativa(L.), il pennycress (*Thlaspi arvense* L.) e la carinata (Brassica carinataL.) può essere facilmente osservata dalla letteratura. Gli studi per identificare i tassi di fertilizzazione, le strategie di gestione delle erbe infestanti, la gestione dei parassiti e delle malattie per ottimizzare la resa dei semi sono alcune delle aree critiche che devono essere affrontate nella produzione di crambe.

La principale limitazione per il crambe di raggiungere una maggiore produttività è stata attribuita al suo uso inefficiente della radiazione solare durante lo sviluppo delle sementi. Le siliques sottoposte a riempimento dei semi attivi sono state in grado di intercettare solo una minore quantità di radiazioni, rispetto agli steli e alle foglie senscenti, che hanno intercettato una percentuale maggiore della radiazione.

I semi di Crambe possono andare incontro a dormienza post-raccolto, con conseguenti bassi tassi di germinazione, a

volte fino al 42%. La dormienza dei semi potrebbe anche essere il risultato di stress abiotici o carenze nutrizionali durante lo sviluppo del seme, che è controllato dagli ormoni. L'applicazione fogliare di acido butirrico indolo e acido gibberellico durante le fasi di fioritura tardiva vegetativa-precoce del crambe ha portato ad un aumento della percentuale di germinazione dei semi. Anche se i semi non vengono decorticati prima della semina, la presenza degli scafi può creare problemi, in particolare quando si utilizzano seminatrici pneumatiche di precisione. Gli scafi dei semi possono rompersi esponendo il seme agli agenti patogeni nel terreno riducendo la densità finale del popolamento.

Infine, la possibilità di impostare una gestione agronomica biologica a basso input per il crambe rivelerà il valore dell'olio di semi, in particolare per i prodotti per la cura personale e cosmetici, ma ad oggi questo non è stato segnalato.

Servizi ecosistemici forniti dalla coltivazione di Crambe

Sebbene non ampiamente studiato, il crambe può essere utilizzato come coltura di copertura annuale. Può fornire benefici ai sistemi colturali come il ciclo dei nutrienti, il miglioramento della struttura del suolo, la riduzione dell'erosione del suolo e il controllo delle erbe infestanti, simile ad altre colture annuali della famiglia.

Studi recenti hanno riportato l'uso di crambe per la gestione del nematode a cisti della soia (SCN) (*Heterodera glycinivorens* Ichinohe). Quando il crambe è stato coltivato in terreno infestato da SCN, è stata osservata una significativa riduzione del numero di femmine SCN adulte e di cisti durante il periodo di 90 giorni dell'esperimento. Dopo l'incorporazione dei residui di crambe, l'attività nematocida è proseguita fino alla stagione successiva.



A – semina fino all'allungamento del fusto, B – allungamento dello stelo all'inizio della fioritura, C – inizio della fioritura fino alla fine della fioritura, D – fine della fioritura fino alla piena maturazione