



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti

Risorse Naturali e Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

**CARATTERIZZAZIONE E POTENZIALITÀ
AGRONOMICHE DELLA LEGUMINOSA
*CROTALARIA JUNCEA L.***

Relatore: prof. *Teofilo Vamerli*

Correlatore: Dott.ssa *Anna Panozzo*

Laureando: *Francesco Molena*

Matricola n. 2034693

A mio nonno Giovanni

RINGRAZIAMENTI

Questo traguardo posso considerarlo la partenza, il primo mattoncino, della mia crescita professionale, la parte di un percorso che spero mi porterà a diventare un professionista affermato del settore come sempre ho sognato.

Insicurezze, paure, timore di sbagliare non mi hanno mai lasciato solo, anzi più volte son stati gli ostacoli maggiori da superare; la volontà di migliorarmi e imparare hanno compensato in parte queste debolezze. Lezioni ed esami hanno suscitato in me nuovi interessi, hanno risposto in parte a molte domande che da piccolo mi ponevo osservando, ascoltando persone del settore.

Al raggiungimento di questo traguardo ha contribuito il mio relatore Prof. Teofilo Vamerli, al quale va il mio ringraziamento per la dedizione e la professionalità con cui mi ha seguito nella stesura della tesi, contagiandomi, se fosse possibile, ancor di più con il suo entusiasmo per la materia. Un particolare ringraziamento è per me doveroso nei confronti dei dottori Roberto Matteo e Nerio Casadei del CREA di Bologna, i quali con estrema disponibilità e cortesia mi hanno fornito informazioni indispensabili per la redazione di questo elaborato.

Se sono riuscito ad arrivare fin qui, in primis il merito deve essere attribuito ai miei genitori, ai quali va il mio profondo grazie dato che non mi hanno mai fatto mancare né il supporto morale né quello materiale, e mi hanno sempre sostenuto nelle mie scelte; supporto che non è mancato nemmeno da parte di mio fratello, il quale con la sua allegria e spensieratezza ha riempito le monotone giornate di studio.

Un ringraziamento speciale va a mia zia Cristina che nei momenti di difficoltà si è sempre resa disponibile ad aiutarmi.

Infine, ma non per importanza, un pensiero e ringraziamento particolare va ai miei nonni. che mi hanno fornito le basi per crescere e diventare la persona che sono. Ai miei nonni materni con cui ho trascorso la mia infanzia. La nonna mi ha accudito e il nonno mi ha trasmesso l'amore per la terra, purtroppo non c'è più ma so per certo che veglierà su di me e che oggi sarebbe orgoglioso di ciò che ho fatto e sto facendo. Ai miei nonni paterni perché anche se non vivevano così vicini da poterli frequentare tutti i giorni hanno sempre gioito dei miei successi e ho sentito e sento il loro calore e sostegno, anche quello del nonno da lassù.

INDICE

1. RIASSUNTO	3
2. ABSTRACT	4
3. INTRODUZIONE.....	5
4. CROTALARIA JUNCEA L.	7
4.1 Origine e diffusione	7
4.2 Caratteristiche botaniche e morfologiche	8
4.3 Esigenze ambientali e climatiche	11
4.4 Miglioramento genetico	11
4.5 Produzione sementiera e varietà	14
4.6 <i>Crotalaria juncea</i>: aspetti agronomici per l'utilizzo come <i>cover crop</i>	18
4.7 Benefici agroambientali	20
4.8 Parametri chimici	22
4.9 Usi alternativi di <i>Crotalaria juncea L.</i>	24
4.10 Sperimentazione in Italia	25
5. CONCLUSIONI.....	27
6. BIBLIOGRAFIA.....	29

1. RIASSUNTO

Crotalaria juncea L. è una leguminosa di origine subtropicale, in Italia da pochi anni, è coltivata soprattutto nei Paesi asiatici per molteplici funzioni tra cui, l'alimentazione animale, produzione di fibre tessili e carta, negli ultimi tempi, nei Paesi più sviluppati, principalmente come *cover crop*. Quest'ultimo impiego sfrutta la capacità di fissazione dell'azoto per arricchire il terreno rendendo maggiormente ospitale per le colture in successione. Si tratta di una leguminosa che alle nostre latitudini può essere seminata a fine primavera e completa il ciclo vegetativo tra fine estate e inizio autunno, risultando una *cover crops* estiva ideale da succedere ad un cereale autunno-vernino.

A causa dell'aumento dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici questa leguminosa sta suscitando un interesse via via crescente in quanto può contribuire alla riduzione dell'uso dei fertilizzanti chimici e dei prodotti di sintesi per il controllo di insetti ed erbe infestanti. Va altresì sottolineato l'importanza del ruolo come coltura miglioratrice sotto l'aspetto chimico-fisico e biologico del terreno, contrastando l'erosione e la lisciviazione dei nitrati.

A fronte di tutto ciò *Crotalaria juncea L.* appare una coltura interessante da introdurre anche in Italia nelle rotazioni agronomiche come *cover crop*. Attualmente gli studi si stanno orientando per trovare anche usi alternativi.

2. ABSTRACT

Characterization and agronomic potential of the leguminous species *Crotalaria juncea* L.

Crotalaria juncea L. is a subtropical legume, introduced into Italy a few years ago. It is cultivated mainly in Asian Countries for multiple functions, including animal feed, production of textile fibres and paper, and recently, in more developed countries, mainly as a cover crop. The latter use exploits the nitrogen fixation capacity to enrich the soil, making it more hospitable for crops in succession. It is a legume that in our latitudes can be sown at the end of spring and completes the vegetative cycle between the end of summer and the beginning of autumn, making it an ideal summer cover crop to succeed a winter cereal.

Due to the increase in pollution and climate change, this legume is arousing growing interest as it can contribute to the reduction of the use of chemical fertilizers and synthetic products for the control of insects and weeds. The importance of its role as an improving crop from the chemical-physical and biological aspect of the soil, counteracting erosion and nitrate leaching, should also be underlined.

In this framework, *Crotalaria juncea* L. appears to be an interesting crop to introduce into agronomic rotations as a cover crop in Italy as well. Studies are currently moving towards finding alternative uses.

3. INTRODUZIONE

Le leguminose sono piante coltivate dall'uomo per molteplici funzioni tra cui l'alimentazione umana e quella animale, per il loro tenore proteico elevato ed ottimale per le diete, e soprattutto negli ultimi anni come *cover crops*. Quest'ultimo impiego sfrutta la loro capacità di fissazione dell'azoto e la produzione di biomassa che aiuta ad integrare il contenuto di sostanza organica nel terreno, caratteristiche essenziali per ottimizzare le produzioni delle principali colture da reddito. Le *cover crops* venivano spesso impiegate dagli agricoltori prima della rivoluzione verde. Tra gli anni '40 e '50 del 900 si è sviluppata una agricoltura diversa, più redditizia, dove il miglioramento genetico, l'introduzione di tecniche agronomiche migliorate e l'impiego via via crescente dei fertilizzanti chimici portò ad un notevole aumento delle rese delle principali colture destinate all'alimentazione umana e non solo. Questa rivoluzione cambiò gli scenari economici mondiali spingendo i Paesi che ancora non si servivano di queste tecniche a sfruttare le innovazioni portate dalla ricerca scientifica, al fine di raggiungere la competitività.

L'aumento della redditività e della produzione nel mondo agrario, con l'avanzare degli anni, portò ad indubbi benefici. Va sottolineato che, come conseguenze dirette dell'aumento della produzione, si possono riscontrare, altresì alcune criticità tra cui: perdita di biodiversità, dipendenza sempre maggiore dall'utilizzo di prodotti chimici oltre che un'alterazione delle caratteristiche chimico fisiche del suolo. Al fine di limitare i possibili effetti negativi derivanti da un'agricoltura "industrializzata", nell'ultimo ventennio, si è assistito ad un ritorno all'impiego in agricoltura delle *cover crops*. Vale la pena evidenziare che la reintroduzione di tali colture, a differenza del passato in cui si utilizzavano solo poche specie, grazie alla ricerca scientifica si è potuto sopperire ad esigenze emergenti quali il contrasto ai cambiamenti climatici che impattano notevolmente sulle produzioni agricole. La cultura agricola di vecchio stampo allo stato attuale non concepisce un utilizzo dei terreni agrari se non a scopo economico. Per tale motivo le colture da sovescio non riscontrano ancora il successo che meriterebbero.

Alla luce di questo, la *Crotalaria juncea L.*, sulla base degli studi e delle ricerche effettuate prevalentemente in Asia e America Latina, ha dimostrato di poter essere introdotta in Italia nelle rotazioni agronomiche come *cover crops* grazie sia al miglioramento che può apportare al terreno, e grazie alle modeste esigenze idriche. La *Crotalaria juncea L.*, infatti, ha un adattamento migliore al nostro territorio attualmente soggetto ai mutamenti derivanti dal cambiamento climatico.

Considerando gli elevati costi dei prodotti chimici per l'agricoltura, la crescente sensibilità per le questioni ambientali che rendono la normativa sempre più stringente, i mutamenti climatici e la limitata disponibilità idrica, solo per citarne alcuni, l'obiettivo che ci si è prefissi nell'affrontare lo studio di questa leguminosa, pressoché sconosciuta alle nostre latitudini, è stato quello di conoscere le caratteristiche, le potenzialità e le prospettive che può offrire la coltivazione di *Crotalaria juncea*.

4. CROTALARIA JUNCEA L.

4.1 Origine e diffusione

Crotalaria juncea L., volgarmente chiamata “canapa del Bengala” e internazionalmente nota come *Sunn hemp*, è una specie botanica appartenente alla famiglia botanica delle Leguminose o *Fabacee*. È originaria delle zone tropicali e subtropicali dell’Asia, precisamente, dell’India e del Pakistan. È una pianta che si adatta bene a molti terreni, anche se predilige quelli leggeri; è resistente all’aridità, ma molto sensibile al freddo e non sopporta eccessi di umidità, per questo motivo è una pianta che completa il proprio ciclo nel periodo estivo, e si configura come una specie che sviluppa rapidamente una quantità importante di biomassa. I principali produttori sono: India, Brasile, Bangladesh, Pakistan, Cina e Corea.

Di *Crotalaria juncea* L. si hanno notizie nella Sacra Scrittura dal 400 a.C. (Sarkar et al., 2015). Grazie a ritrovamenti archeologici si hanno prove che l’uso di questa pianta si sia sviluppato nel periodo di civilizzazione degli Indù (Good, 2007). La letteratura la cita nel XVI secolo con il nome “Shanapushpika”. Era usata principalmente come fonte di fibre naturali per la produzione di corde, reti da pesca, tappeti e molti altri oggetti un tempo indispensabili per le attività quotidiane delle popolazioni. Pare opportuno sottolineare che solo la specie *C. juncea* può essere coltivata a tale scopo. Attraverso la lavorazione delle fibre si produceva, altresì, carta per banconote e per sigarette. In anni più recenti, con l’avanzamento tecnologico e delle necessità umane, si è scoperta la capacità migliorativa del terreno di questa specie (Tripathi et al., 2013); essa infatti, fu introdotta nelle rotazioni colturali per apportare al terreno sostanza organica e sfruttarne la capacità di fissazione dell’azoto rendendolo disponibile alle colture successive. Questa tecnica veniva utilizzata tra una coltura cerealicola e l’altra anche per l’azione nematocida (Wang et al., 2012), al fine di limitare i problemi derivanti da una continua successione di cereali. Alla luce del fatto che un tempo non esistevano metodi di controllo dei patogeni, questo beneficio portò un utilizzo sempre maggiore di questa tecnica.

A causa della situazione critica derivante dalla fine della seconda guerra mondiale, la coltivazione di *Crotalaria juncea* L. aumentò nelle zone povere tropicali asiatiche e sud americane allo scopo di provvedere in modo autonomo al cibo e alla produzione di fibre tessili per la produzione di equipaggiamenti e oggetti per la quotidianità. La coltivazione di questa specie subì un’importante riduzione nella seconda metà del ‘900, con l’avvento delle fibre sintetiche più facili ed economiche da realizzare. Le fibre naturali, infatti, risultavano più

difficili da produrre sia in termini pratici che economici. Si pensi che in questo periodo gli ettari coltivati in India passarono da duecentomila a trentunomila ettari nel 2008 (Sarkar. et al., 2015). Nell'ultimo ventennio, la coltivazione di tale leguminosa è ritornata in auge, non solo nelle zone asiatiche, ma anche in Brasile, nelle regioni temperate del centro e nord America e nel centro sud Africa, sfruttandola come *cover crop*. Inoltre, ne risulta interessante l'utilizzo per contrastare alcune problematiche riguardanti l'inquinamento (Cook et al., 2005). *Crotalaria juncea*, negli anni più recenti sta suscitando un particolare interesse tra gli agronomi europei i quali iniziano a scoprirne e studiarne le caratteristiche, ancora poco note, al fine di introdurla nelle rotazioni. A ciò si aggiunga il fatto che le modifiche apportate dal cambiamento climatico ad ambiente e clima avvantaggiano specie di origine tropicale come *Crotalaria juncea L.*

4.2 Caratteristiche botaniche e morfologiche

Crotalaria juncea L. è una pianta erbacea classificata tra le *Fabaceae*, sottofamiglia delle *Papilionoideae*, tribù *Crotalarieae* (Van Wyk e Schutte, 1995). Ha un ciclo annuale primaverile-estivo, nelle nostre zone può essere seminata da fine giugno ad inizio agosto. È brevidiurna e presenta un metabolismo fotosintetico di tipo C₃ (Kamireddy et al., 2013). Dal punto di vista morfologico, la pianta presenta un apparato radicale principale fittonante profondo, con funzione strutturante, e presenta una serie di radici avventizie con funzione di assorbimento; quest'ultime sono indispensabili per la simbiosi mutualistica con batteri azotofissatori (Sellitto, 2020). La parte epigea si presenta con un fusto eretto che può svilupparsi fino a 3 metri di altezza, anche se mediamente l'altezza è compresa tra 150 e 200 cm e un diametro che varia dai 2 ai 3 centimetri (Fig. 1). Nel fusto sono inserite, con fillotassi a spirale, foglie semplici di forma ellittica e oblunga di colore verde brillante, con lunghezza che varia da 4 a 14 centimetri in base allo stadio vegetativo e una larghezza compresa tra 0,5 e 3 centimetri; le stesse presentano un picciolo corto pari a 5 millimetri, e alla base è possibile notare la presenza di stipole appuntite (Al-Snafi, 2016).



Fig. 1: Pianta di Crotalaria juncea

Tutte le parti vegetative della pianta si presentano con una leggera pubescenza. L'inflorescenza di *Crotalaria juncea* L. è un racemo terminale lungo circa 25 centimetri che porta vistosi fiori ermafroditi di tipo papilionaceo di colore giallo intenso con piccole brattee e peduncolo ricurvo (Fig. 2). Presenta un calice gamosepalo con 5 sepali lanosi uniti alla base con lobi appuntiti, 3 sepali sono uniti nella parte apicale risultando separati successivamente nel frutto. I petali sono 5 di colore giallo intenso e possono presentare delle striature violacee nella parte dorsale (Rotar e Joy, 1983), specificamente ogni petalo si suddivide in: vessillo, petalo superiore - molto ampio, carena - una struttura formata da 2 petali inseriti isolatamente



Fig. 2: Inflorescenza di Crotalaria juncea

sul talamo, ma uniti tra loro per i bordi a formare una tasca in cui sono collocati e protetti gli organi riproduttivi, e le ali - due petali posti ai lati della carena (FAO, 2017). Il numero di fiori nel racemo è direttamente proporzionale alla disponibilità di acqua ed elementi nutritivi, alle temperature elevate e alla lunghezza del giorno. L'impollinazione avviene prevalentemente nel pomeriggio da parte di numerose specie di api, dai bombi e da piccoli uccelli tra cui i colibrì (Nogueira-Couto et al., 1992). La parte riproduttiva è formata dall'androceo e dal gineceo. La parte maschile è formata da 10 stami, 5 a filamento lungo e piccole antere arrotondate e 5 a filamento corto con antere lunghe e strette. La parte femminile è composta da un unico pistillo con ovario unicarpellare (Fig. 3).



Fig. 3: Fiore di *Crotalaria juncea*

Il frutto è un legume, detto anche baccello, lungo 3 centimetri che a maturità risulta secco e deiscente, di colore marrone chiaro; quando si apre forma due valve corrispondenti alle due metà della lamina della foglia carpellare (FAO, 2017). All'interno del baccello troviamo i semi, una decina, di colore marrone scuro, che ricordano la forma di una mezza luna appiattita formata da due cotiledoni posti specularmente rispetto al piano di simmetria (fig. 4 e Fig. 5). Il peso di mille semi è pari a 40 g.



Fig. 4: Semi di *Crotalaria juncea*

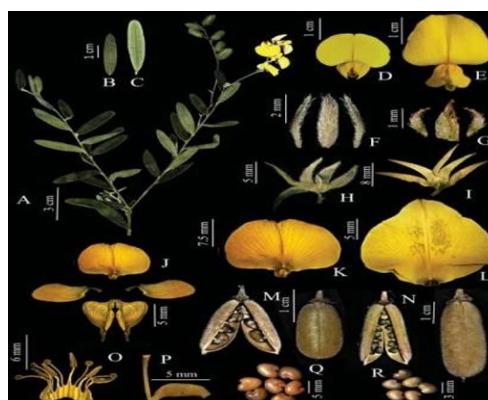


Fig. 5: Parti vegetative e riproduttive di *C. juncea*

4.3 Esigenze ambientali e climatiche

In base alla zona d'origine e alle condizioni climatico-ambientali della stessa, è possibile individuare e analizzare le caratteristiche che deve avere il terreno per la coltivazione di *Crotalaria juncea L.* Essa, infatti, pur adattandosi a crescere in terreni con tessitura differente, è indispensabile che siano ben drenati dato che trattasi di pianta sensibile al ristagno idrico; i terreni argillosi sono sconsigliati. Non sono richiesti terreni particolarmente fertili, ovviamente in terreni con buona fertilità la produzione di biomassa sarà maggiore, fattore essenziale per le colture da sovescio. Considerando il PH, essa predilige terreni tendenzialmente neutri, cresce in condizioni di PH compreso tra 5 e 8,5 (Cook et al., 2005). Dal punto di vista idrico, *Crotalaria juncea L.* è resistente alla siccità. Se al momento della semina il terreno è in tempera, la germinazione è normalmente ottimale. Escluse le prime settimane di sviluppo ed il periodo di fioritura, questa pianta riesce a crescere senza problemi anche in presenza di scarse precipitazioni, adattandosi a zone dove le precipitazioni annuali sono inferiori a 200 millimetri. Oltre ad essere resistente alla siccità, per la coltivazione di questa leguminosa le temperature richieste sono comprese tra i 4 e i 40 °C; è comunque indispensabile che le temperature non scendano sotto 0 °C per evitare danni irreversibili. Temperature superiori ai 40 °C, per periodi non troppo lunghi, non creano danni alla pianta, ma ne diminuiranno l'attività fotosintetica e la capacità di fissazione dell'azoto, che riprenderanno non appena le temperature ritornano ideali. Il *range* ottimale nel quale lo sviluppo della pianta è costante è compreso tra i 15 e 27 °C. Infine, va precisato che la tolleranza alla salinità da parte di *Crotalaria juncea L.* è moderata (Orwa et al., 2009).

4.4 Miglioramento genetico

Crotalaria juncea L. cresce prevalentemente in aree tropicali e subtropicali (Polhill, 1981), ed è la principale specie del genere *Crotalaria* tra cui si contano approssimativamente 600 specie. *Crotalaria* possiede due numeri di base cromosomiche differenti, specificamente $\times=8$ e $\times=7$. I primi studi indicavano un numero di cromosomi monosomici pari a 8 su quasi l'87% delle specie studiate. Le specie con base cromosomica pari a 7 si presume si siano sviluppate da quelle con base cromosomica 8 in seguito ad una riduzione aneuploide o dovute ad una perdita di un cromosoma metacentrico. Le specie con cariotipo modificato mostrano variazioni nella distribuzione spaziale o nella morfologia. Il mutamento del numero cromosomico si suppone possa essere dovuto alla produzione di gameti funzionali ottenuti da processi meiotici anomali (Ferreira et al., 2009). In numerose specie è stata rilevata una quota

superiore di anomalie meiotiche, le quali sono causate dalla citomixis cioè la migrazione dei nuclei da una cellula vegetale all'altra attraverso degli speciali canali intercellulari. La maggioranza delle specie sono diploidi, ad eccezione di alcune poliploidi. Queste differenze nel numero del corredo cromosomico sono state trovate in molte specie di *Crotalaria* rappresentando un'ampia variazione morfologica e risultando di facile adattamento in zone tropicali e subtropicali (Palomino e Ricardo, 1991).

Crotalaria juncea L. è una specie diploide ($2n = 2x = 16$) (Purseglove J.M., 1981). Come la maggior parte delle specie di *Crotalaria*, la specie *C. juncea* presenta 8 coppie di cromosomi. La descrizione del cariotipo condotta da Mondin et al. (2007) ha evidenziato, attraverso la reazione di Feulgen, che i cromosomi identificati durante la metafase presentano delle piccole differenze nella loro morfologia. Nel cromosoma più grande si individua una restrizione corrispondente ad una NOR (regione organizzatrice del nucleolo) ossia una regione particolare del cromosoma contenente i geni codificanti per diversi RNA ribosomiali, la quale successivamente andrà a formare, in interfase, il nucleolo. Tuttavia, nel cromosoma 4 può avvenire un'attività nucleolare in alcuni stadi del ciclo cellulare, la quale è indispensabile per la sintesi ribosomiale (Mondin et al., 2007).

A causa della mancanza di risorse genomiche come i marcatori di DNA, e funzioni note di geni, appare difficoltoso l'avanzamento degli studi genetici e la creazione di mappe fisiche e geniche nel genere *Crotalaria*. L'identificazione delle variazioni del numero di cromosomi base tra specie all'interno di *Crotalaria* può aiutare a capire e a spiegare il processo di evoluzione e le differenze. Lo studio genetico su *Crotalaria juncea* ha interessato anche i comportamenti di impollinazione, ci sono, infatti, alcuni rapporti scientifici che parlano di piante allogame obbligate. Al contrario altre ricerche parlano di piante prevalentemente autogame. Con l'avanzare del tempo gli studiosi hanno analizzato, per capire se si trattava di autoimpollinazione o impollinazione incrociata, il comportamento degli insetti che frequentavano le piante di *Crotalaria*. Chaudhari nel 2000 ha riportato che api e insetti pronubi frequentano le inflorescenze attratti dai colori sgargianti dei petali contribuendo alla fecondazione incrociata, fecondazione a cui contribuiscono con le api anche i bombici (Bhandari, et al., 2014). A rafforzare e, successivamente, a confermare che si tratta di una pianta ad impollinazione incrociata è stato Mohan (1971). Egli concluse che la morfologia del fiore e la scalarità di fioritura inducono ad un'incompatibilità di tipo morfologico. Si aggiunsero qualche anno dopo le ricerche di Miranda (1989) che evidenziarono una incompatibilità di tipo gametofitica dovuta alla presenza di una membrana sulla superficie stigmatica.

L'esistenza di variabilità genetica è di estrema importanza per il miglioramento genetico di alcune colture. Va evidenziato che, nel genere *Crotalaria* la mancanza di variabilità genetica nei tratti fenotipici, particolarmente a livello intraspecifico ha ostacolato finora il miglioramento genetico di questa coltura; sostanzialmente la mancanza di studi e strumenti tecnologicamente avanzati non ha consentito di cogliere le differenze morfologiche tanto da ritenere, per lungo tempo, non sussistessero diversità tra le specie di *Crotalaria*. La sola differenza che si era riusciti ad osservare riguardava la colorazione del seme distinguendo tra giallo e nero.

Le diversità valutate attraverso differenti tecniche hanno accertato una limitata variabilità genetica a livello intraspecifico e una moderata diversità genetica a livello interspecifico.

Il modello ereditario dei pigmenti antociani nei fiori e nell'ipocotile in *Crotalaria juncea* è stato rilevato essere controllato da un singolo gene, il quale se presente in forma dominante le parti risultano pigmentate, al contrario se in forma recessiva non presentano pigmentazioni. Si è evidenziato, inoltre, il fenomeno della pleiotropia - fenomeno genetico per il quale un unico gene determina effetti fenotipici multipli - in riferimento al controllo cromatico dei semi, petali e dell'ipocotile.

Studi relativi a *Crotalaria juncea* come *cover crop* hanno individuato significative relazioni tra caratteri della pianta quali altezza, *stay green*, quantità di biomassa e noduli radicali (Viridi et al., 2004).

L'innovazione genetica in *Crotalaria juncea* ha trovato una spinta maggiore grazie alla mutagenesi. Si tratta di serie di processi chimico-fisici che danno origine ad una modifica della sequenza nucleotidica del genoma, può interessare un singolo gene, la struttura o il numero di cromosomi, che permettono di introdurre nuove linee genetiche con caratteristiche migliorate.

Un'altra tecnica utilizzata, allo scopo di apportare un miglioramento genetico in *Crotalaria*, come avviene in altre specie vegetali, è quella dell'eterosi, essa consiste nell'esplosione di vigore che si osserva nelle progenie di particolari incroci tra linee *inbred*, manifestando un valore fenotipico dei genotipi ibridi superiore rispetto ai genotipi parentali. Questi valori superiori possono riguardare: la velocità di sviluppo, la produzione di biomassa, la qualità del prodotto, la resistenza ad agenti biotici e stress abiotici o qualsiasi altra caratteristica agronomicamente utile (Barcaccia. et al., 2006). Condizione dirimente affinché avvenga l'eterosi è l'utilizzo di piante maschio-sterili allo scopo di ottenere semi ibridi con le caratteristiche desiderate. La maschio-sterilità in *Crotalaria juncea* si è ottenuta utilizzando dei prodotti chimici che neutralizzano i gameti maschili. Si è rilevato, però, che oltre all'effetto desiderato causavano, altresì, effetti dannosi quali per esempio: danni ai gameti

femminili e ridotte dimensioni dei baccelli (Kaul e Singh, 1967). La ricerca è impegnata quindi al fine di trovare dei sistemi per contrastare questi possibili effetti indesiderati.

Di recente interesse per il miglioramento genetico di *Crotalaria juncea* è la transgenesi, ossia un processo che consiste nell'inserimento nel corredo genetico di uno o più geni derivati da un organismo di specie diversa, apportando caratteri che rendono più efficienti le prestazioni della specie di interesse (Rao et al., 2012). La tecnica della transgenesi, tuttavia, presenta dei limiti; in alcuni Paesi, infatti, non è consentita per legge, di conseguenza si riducono le possibilità di ottenere varietà geneticamente migliori e più performanti.

Le ricerche per il miglioramento genetico di *Crotalaria juncea*, come accennato, sono sempre state limitate, principalmente a causa del poco interesse come coltura da reddito dato che, soprattutto nei Paesi più sviluppati, gli studi si sono focalizzati su altre colture più redditizie e che garantiscono materie prime di maggior qualità. La coltivazione di questa specie si è così limitata ai Paesi poveri. L'interesse come coltura da copertura ha sicuramente stimolato ad ampliare le conoscenze e a focalizzare gli studi per analizzare e selezionare le varietà di *Crotalaria juncea* con caratteristiche ideali per il territorio europeo.

4.5 Produzione sementiera e varietà

L'inizio del ciclo colturale di una qualsiasi specie vegetale coltivata ha come punto di partenza la semina e affinché questa operazione abbia successo è importante che la tecnica agronomica sia eseguita correttamente e che le sementi utilizzate siano di ottima qualità. Uno degli ostacoli per la coltivazione di *Crotalaria juncea* è la scarsa disponibilità di seme di qualità. Considerando che tale leguminosa è utilizzata come *cover crop* non risulta conveniente per gli agricoltori la coltivazione di questa specie al fine di commercializzarne il seme (Kappes et al., 2012). Tuttavia, questa tendenza sta subendo, anche se lentamente, un'inversione di tendenza dato che *Crotalaria juncea* L. sta suscitando sempre maggiore interesse, spingendo le ditte sementiere, con il contributo degli agricoltori, a produrre sementi certificati e di buona qualità, garantendo una germinazione e uno sviluppo soddisfacente delle piante.

In Italia, attualmente, si occupano dell'importazione e della commercializzazione delle sementi: Padana Sementi (Tombolo, Padova) e Zanandrea sementi srl (Bolzano Vicentino, Vicenza).

La coltivazione di *Crotalaria juncea* L. per la produzione di semente inizia con la semina a file su terreno ben preparato. Si attende il normale evolversi del ciclo vegetativo, e seppure questa specie tolleri periodi di scarsa piovosità, in condizioni idriche sfavorevoli può essere

necessario effettuare delle irrigazioni soprattutto se in prossimità della fioritura, questo per garantire un'efficiente fecondazione e produzione del seme. Affinché la pianta sia indotta a fiore, trattandosi di una pianta brevidiurna, il ciclo vegeto-riproduttivo deve compiersi nel periodo in cui le ore di luce diminuiscono. È perciò indispensabile considerare preventivamente questa condizione in quanto, per esempio, in molti Stati degli U.S.A. il periodo ideale di coltivazione secondo le esigenze climatiche non porta la pianta a produrre seme, risultando inadatte alla produzione sementiera (Wang et al., 2022). Al termine del ciclo vegetativo, una volta completata la maturazione del seme, i baccelli dissecano e i semi all'interno si staccano dalle pareti del frutto rappresentando il momento ideale per la raccolta; è importante non tardare la mietitura in quanto il legume deisce e con l'apertura del baccello i semi cadono a terra perdendo il raccolto. La procedura di raccolta un tempo era effettuata manualmente, prelevando dal campo l'intera pianta e separando, solo in un secondo momento i baccelli i quali venivano in seguito sgranati a mano. Attualmente la raccolta viene effettuata con l'ausilio delle mietitrebbiatrici, settate in modo tale da attuare una corretta separazione dei semi dal baccello riducendo al minimo le perdite, oltreché assicurando un'ottima pulizia della granella. Premesso che se la raccolta viene eseguita a fine estate, quando la pianta ha tra l'80% e 100% dei baccelli maturi (secchi), non ci dovrebbero essere problemi per ottenere un prodotto con umidità inferiore al 13/14 %. Nell'ipotesi in cui le condizioni climatico-ambientali non garantiscano quanto precedentemente indicato è indispensabile procedere all'essiccazione, che può essere eseguita sfruttando la ventilazione naturale in appositi magazzini arieggiati, anche se ciò richiede spazio e tempo maggiori rispetto all'utilizzo dell'essiccatoio. L'utilizzo di quest'ultimo fa sì che l'essiccazione si completi nell'arco di qualche ora e la granella raggiunga un'umidità del 10%, valore ottimale per la conservazione. Il processo di essiccazione non può durare per un periodo troppo prolungato, poiché trattandosi di granella destinata al commercio come semente un prolungato tempo di essiccazione può compromettere la germinabilità. Contemporaneamente all'essiccazione può essere eseguita la pulizia della granella grazie a dei ventilatori appositi settati in modo tale da allontanare le impurità e lasciare la granella pulita, pronta per essere stoccata (Pacheco e Silva-Lopez, 2010). La conservazione e lo stoccaggio della granella per circa otto mesi riduce la dormienza fisica dei semi e di conseguenza si riscontra un aumento della germinazione. La promozione della dormienza durante la maturazione è dovuta dall'ormone ABA (acido abscissico), la cui quantità diminuisce con l'avanzare della maturità, per questo è importante non effettuare la raccolta quando i legumi non hanno completato la maturazione (Blochl et al., 2005). La granella ripulita ed essiccata può essere trattata con una concia fungicida (1.5 g di N-triclorometiltio-4-cicloesano-1.2-dicarboximide per chilo di semente), per garantire un

maggior tasso di germinabilità evitando possibili attacchi patogeni che la comprometterebbero.

Per la commercializzazione del seme di *Crotalaria juncea* L. la germinabilità dev'essere superiore al 60%, anche se secondo degli esperimenti si raggiunge senza problemi il 75%. La resa di questa leguminosa è bassa, varia da 600 a 800 kg/ha in zone meno fertili, mentre in zone migliori può raggiungere i 1.000/1.200 kg/ha; per la semina di un ettaro, quindi, è necessaria una superficie a seme di 700 m² (Florentin et al., 2010).

Le rese in seme non sono elevatissime però, considerando che per la semina di *Crotalaria juncea* L. come *cover crop* sono necessari circa 25/35 kg/ha, dose per ottenere circa 70 piante al m², in un ettaro possiamo raccogliere un quantitativo di seme tale per eseguire la semina di una ventina di ettari; in tal senso il mercato della semente di *Crotalaria* si satura velocemente e, secondo le richieste attuali, è sufficiente un numero limitato di ditte impegnate in questo settore. Queste sono situate nella fascia tropicale del continente grazie alla stagionalità ottimale (Wang et al., 2022). Seppur il mercato delle sementi di *Crotalaria* si satura velocemente, c'è comunque un problema di approvvigionamento dovuto al fatto che in molti Paesi non è possibile produrre la semente a causa dei motivi climatiche precedentemente descritti. È per questo che i semi vengono importata quasi totalmente da India, Sudafrica, Colombia e altri paesi sudamericani (Wang et al., 2022).

Lo sviluppo varietale in *Crotalaria juncea* L. risulta difficile in quanto trattasi di una pianta ermafrodita ad impollinazione incrociata, attuata prevalentemente da insetti pronubi (impollinazione entomofila); a queste condizioni si aggiunga l'elevata frequenza di impollinazione e la presenza di autoincompatibilità, che hanno ostacolato il lavoro dei selezionatori, per migliorare e selezionare le sementi di varietà superiori. Molta poca attenzione è stata prestata nei confronti di efficienti incroci di varietà di *Crotalaria*, la maggior parte delle varietà finora distribuite sono prevalentemente selezioni di germoplasma. Lo sviluppo varietale è attuato soprattutto in India, dove c'è un interesse maggiore per questa specie dovuto all'utilizzo ancora attuale come fonte di fibre.

La prima varietà di *Crotalaria juncea* è stata distribuita nel 1926 dal Prof. T. Subbins, del gruppo di ricerca dell'ICAR-Central Research Institute (Bengala Occidentale), questa varietà è chiamata "K 12 black". In tempi più recenti, sempre il gruppo di ricerca sopra citato, ha sviluppato altre quattro varietà: "K 12 yellow", "SH 4 (Shailesh)", "Swastik" e "Ankur". La "K 12 yellow" è stata selezionata a partire dalla "K 12 black" e presenta una colorazione gialla della semente. Entrambe sono state varietà di riferimento per un lungo periodo fino a quando è stata scoperta una suscettibilità alle infezioni virali soprattutto nelle "K 12 yellow". Le restanti tre varietà sono state sviluppate e introdotte grazie ad una selezione di massa

attuata nell'ultimo ventennio (Chaudhary et al., 2015). Studi attuati sempre dall'Istituto di ricerca ICAR hanno portato allo sviluppo di altre varietà tra cui la "M-18", la "M-35" e la "ST-112" con l'inserimento di nuovi caratteri come resistenza ad alcune patologie, rese più elevate e precocità nella maturazione. In Pakistan invece, tra le varietà di *C. juncea* più utilizzate troviamo la "Madaripur" e "Serajgnaj"; la prima offre *performance* migliori soprattutto dal punto di vista della qualità e della resistenza delle fibre, che si presentano di colore bianco e risultano ottime per la produzione della carta. Sempre in questa zona asiatica sono state sviluppate una serie di varietà che differiscono per l'adattamento alla crescita in condizioni climatiche differenti, infatti, troviamo la varietà "Bhadai san" che viene coltivata nel periodo da maggio-giugno a ottobre-novembre e la *cultivar* "Rabi san" che completa il suo ciclo da ottobre-novembre a febbraio. In Rhodesia (attuale Stato Zimbabwe) si è sviluppata la varietà "Somerset". Nella penisola indiana si possono rinvenire altre varietà tra cui: "T6" e "Cawnpore 12" sviluppata a partire dalla varietà "Kharif sunn". La varietà "Cawnpore 12" è la più coltivata in India seppur presenti un ciclo più lungo di addirittura due mesi rispetto alla varietà "Beldanga Early", e presenta una certa resistenza alle malattie che possono attaccare il fusto. La varietà migliore per qualità e resa in fibre è la "Ullapora". Infine, una varietà maggiormente indicata per essere impiegata come *cover crop* è la "Tropic sun", della quale risulta interessante il suo utilizzo per il controllo di nematodi, erbe infestanti e insetti (Chaudhary, 2015).

Le varietà studiate per la produzione di fibre possono venire, e vengono, impiegate come *cover crop*; però per ottenere benefici maggiori, il miglioramento ha portato sul mercato varietà con caratteristiche maggiormente indicate per la tecnica di sovescio. Una di queste è la varietà *Crescent Sunn* la quale ha un ciclo breve, richiede bassi quantitativi di acqua, si decompone rapidamente fornendo materiale organico al suolo ed infine, ha un ottimo effetto nematocida. *Crescent Sunn* è molto adatta per l'uso in orticoltura grazie al fatto che fissa un quantitativo importante di azoto per ettaro, fino a circa 100 kg, apporta una buona quota di sostanza organica che stimola l'attività biologica del terreno, ed infine è consigliata in orticoltura per il controllo contro i parassiti terricoli; questi aspetti benefici fanno sì che il terreno per la coltura successiva si presenti, dal punto di vista chimico-fisico-biologico, in condizioni ideali. Questa varietà può essere utilizzata come foraggio per gli animali risultando gustosa, apportando un buon quantitativo di sostanza secca e di proteine. La somministrazione può avvenire sotto forma di insilato, solitamente insieme ad una graminacea, o di foraggio affienato.

Un'altra varietà utilizzata come *cover crops* o foraggio è la *Blue Leaf* che, a differenza della precedente fissa un quantitativo minore d'azoto, circa un 40% in meno, produce un

quantitativo di biomassa minore, mentre dal punto di vista proteico ha un quantitativo leggermente maggiore di proteina grezza nei semi, i.e., 18,8% rispetto a 17,6% di *Crescent Sunn*, risultando, quindi, una varietà più adatta per l'alimentazione animale, anche se ha una digeribilità leggermente inferiore. Non si sono riscontrate differenze dal punto di vista della durata del ciclo e di velocità di degradazione della biomassa (Dubeux et al.; 2019). Una varietà di recente selezione è la *Madras*, più precoce delle precedenti, infatti la semina può essere effettuata ad aprile, può apportare al terreno fino a 250 kg ad ettaro di azoto. Risultano disponibili altre due varietà neutrodiurne che ovviano al problema dell'induzione a seme con regime brevediurno; pur se queste hanno dimostrato di essere in grado di completare il ciclo riproduttivo negli Stati Uniti, non è ancora possibile dimostrare l'adattabilità ai nostri ambienti poiché non state ancora importate e mancano gli studi specifici (comunicazione personale CREA-CI, 2024).

In Italia, la ditta sementiera Padana Sementi commercializza la varietà *Crescent Sunn* importando le sementi dagli Stati Uniti dall'azienda Tropical Seed "Gruppo Papalotla", dato che nel nostro Paese gli studi hanno dimostrato che le piante coltivate non vanno a fiore e di conseguenza non si riproducono (comunicazione personale CREA-CI, 2024).

4.6 *Crotalaria juncea*: aspetti agronomici per l'utilizzo come *cover crop*

La coltivazione di *Crotalaria juncea* L. per la produzione di fibre è oggi ormai abbandonata, sostituita da fibre di origine sintetica; tuttavia, ciò non ha eliminato dal contesto agronomico questa specie, il cui utilizzo come *cover crops* sta suscitando un interesse sempre maggiore.

Le *cover crops* sono colture di copertura che vengono impiegate in successione tra una coltura principale e la successiva, la cui introduzione nel ciclo colturale ha lo scopo di sfruttare i loro molteplici benefici agro-ambientali. La principale funzione riguarda il miglioramento della qualità fisica, chimica e biologica del suolo. La copertura del terreno da parte della biomassa riduce l'erosione del suolo, l'azione dell'apparato ipogeo, invece, riduce il compattamento migliorandone la struttura, equilibrando macro- e micro-porosità, riducendo il ristagno idrico in terreni soggetti a tale fenomeno. Queste caratteristiche sono fondamentali per la qualità di un terreno (Bechini et al., 2020). L'utilizzo delle leguminose, inoltre, garantisce la fissazione dell'azoto atmosferico grazie alla simbiosi con i batteri rizobi.

Al termine del ciclo vegetativo, in prossimità della fioritura, si esegue la terminazione della *cover crop*, fase che consiste nella trinciatura della pianta rendendola substrato ottimale per l'attacco dei microorganismi del suolo, che trasformano la biomassa in sostanze umiche

incrementando la sostanza organica nel terreno (Mantovani et al., 2020). Il ciclo della *cover crop* inizia con la semina della varietà individuata; questa operazione può essere eseguita direttamente su sodo con apposite seminatrici, oppure su terreno preventivamente lavorato. La terminazione della *cover crop* è l'operazione che conclude il ciclo colturale, questa dev'essere eseguita nei periodi appropriati in base allo stadio vegetativo della pianta per ottenere il risultato migliore. Errori in questa fase possono compromettere la germinazione e lo sviluppo della coltura da reddito successiva, per esempio si possono avere dei ricacci se la terminazione non è completa. La terminazione può essere eseguita in vari modi: terminazione per gelo, terminazione tramite diserbo e terminazione meccanica (Furlan et al., 2023).

Della *Crotalaria juncea L.* è preferibile eseguirne la semina su terreno lavorato, con seminatrice meccanica a file, predisponendo i semi ad una profondità di 2-3 cm e ad una distanza tra le file variabile dai 10 ai 20 centimetri in base alla seminatrice disponibile. La quantità di semente utilizzata varia dai 20 ai 50 Kg/ha, e più frequentemente 25-35 kg; la dose dovrà essere più elevata sui terreni in cui le condizioni sfavorevoli possono compromettere in parte la germinazione; invece, dosi minori vanno impiegate su terreni con buona fertilità e caratteristiche ottimali, già descritte in precedenza. Trattandosi di una coltura estiva per le nostre zone, la semina può essere eseguita tra aprile ed agosto, solitamente in successione a cereali autunno-vernini; viene eseguita su terreno umido velocizzando così il tempo di germinazione che si completa in 2-3 giorni (FAO, 2017) (info da CREA-CI, 2024). La rapida crescita e sviluppo di biomassa porta a eseguire la terminazione di *Crotalaria juncea L.* dopo circa 60-90 giorni dalla semina, è consigliato intervenire con la distruzione utilizzando dei rulli allettatori, *roller crimper* (Frasconi e Antichi, 2019) in prossimità della fioritura, ma prima della maturazione dei semi per evitare la loro disseminazione nel terreno, problema che non si pone in Italia considerando che la pianta non è in grado di riprodursi (FAO, 2010). La terminazione può essere eseguita anche attuando una trinciatura e successivo interrimento (Calcante et al., 2020). È inoltre importante non tardare la terminazione considerato che le fibre con l'avanzare della maturazione tendono a diventare dure e legnose, di conseguenza risultano di difficile degradazione da parte dei microrganismi. L'interrimento di *Crotalaria* in tempi sbagliati fa sì che l'azoto anziché essere disponibile per la coltivazione successiva sia immobilizzato (Hooks et al., 2006).

È inoltre consigliato far trascorrere almeno due settimane dalla terminazione alla semina della coltura successiva per correggere eventuali ricacci, ma soprattutto per permettere ad eventuali insetti dannosi, presenti nella biomassa della *cover crop*, di allontanarsi e quindi non creare problemi alla coltivazione da reddito (Moretti, 2017).

4.7 Benefici agroambientali

Ci si chiede quali siano i motivi per cui *Crotalaria juncea L.* stia suscitando così rinnovato interesse. Una prima risposta si può rinvenire nel ruolo ricoperto da tale pianta nell'azione di controllo delle erbe infestanti. Essa, infatti, può ridurre l'infestazione fino al 93%. Il raggiungimento di questa percentuale così elevata è dato dall'azione delle sostanze allelopatiche prodotte a livello radicale e rilasciate nel terreno, che inibiscono la germinazione dei semi delle infestanti; si aggiunge poi la competizione per spazio, radiazione e sostanze nutritive. La rapida crescita di *Crotalaria juncea L.*, infatti, garantisce una veloce copertura del terreno provocando il soffocamento delle giovani piante infestanti (Borsy et al., 2013).

Va evidenziato che è necessario porre attenzione alla coltura che si intende seminare in successione, in quanto questo beneficio può risultare dannoso, potendo impedire la germinazione, se tale coltura è suscettibile alle sostanze allelopatiche rilasciate da *Crotalaria juncea*. Un'ulteriore funzione, interessante per l'agricoltura, è la fissazione dell'azoto grazie alla simbiosi con batteri azotofissatori, *Bradyrhizobium e Methylobacterium* (Furlan et al., 2019), in modo particolare batteri della specie *Bradyrhizobium japonicum* (Kasper et al., 2019). Questo batterio appartiene ai comuni rizobi, è un gram-negativo a forma di bastoncino nodulare che si insedia nelle radici della pianta e fissa l'azoto atmosferico grazie al complesso enzimatico, chiamato nitrogenasi, che converte l'azoto atmosferico in ammoniaca (Biavati e Sorlini, 2008). Gli studi effettuati in aree asiatiche parrebbero non fornire dati concordi per quanto riguarda il quantitativo di azoto fissato; presumibilmente, questo è dovuto a differenze climatiche, ambientali e pedologiche delle aree di sperimentazione. Secondo alcuni studi si è potuto riscontrare un quantitativo d'azoto fissato di circa 135 kg di ha⁻¹ in zone tropicali del sud America e dell'Asia (Balkcom e Reeves, 2005). Altri studi, specificamente in Asia, hanno accertato un quantitativo di azoto fissato pari a 60-80 kg di ha⁻¹ (Bhandari et al., 2016).

Altre ricerche condotte dal "CREA-CI" in centro Italia hanno evidenziato produzioni di biomassa variabili da un minimo di 120 q/ha ad un massimo di oltre 400 q/ha; le rese più elevate sono state ottenute in coltivazioni inoculate con rizobi e micorrize. Per quanto riguarda i quantitativi di azoto totale apportati al terreno, invece, sono stati misurati valori molto variabili. In base alle condizioni trovate dalla pianta, infatti, essi spaziano da un minimo di 120 kg di N organico ha⁻¹ ad un massimo di oltre 400 kg di N organico ha⁻¹; quanto di questo azoto rimanga nel terreno e si trasformi in azoto disponibile per la coltura successiva non è ancora noto; parrebbe tuttavia risultare addirittura eccessivo per la coltura in successione, con possibile effetto fitotossico (comunicazione personale CREA-CI, 2024). L'azoto disponibile alle piante coltivate in successione permette la riduzione delle

concimazioni e di conseguenza del potenziale dilavamento/denitrificazione. L'abbondante biomassa una volta interrata concorrerà all'aumento della sostanza organica migliorando così le proprietà fisiche e biologiche del terreno. È necessario però porre attenzione al rapporto C/N di tale biomassa. Nel caso in cui il C/N fosse superiore a 20 può portare all'immobilizzazione dell'azoto rendendolo non assorbibile dalle piante (Busari et al., 2013). Grazie all'elevata attività fotosintetica, questa specie è in grado di intrappolare l'anidride carbonica atmosferica, contribuendo alla riduzione dell'effetto serra.

Interessante è altresì, l'effetto di controllo nei confronti dei nematodi, grazie ad alcaloidi, nello specifico *dehydropyrrolizidina* (Colgate et al., 2012). Sulla base di alcuni studi, si può ottenere un controllo ottimale dei nematodi galligeni (*Meloidogyne spp.*), parassiti che colpiscono l'apparato radicale di molti ortaggi, e nematodi del genere *Paratrichodorus*, vettori di virus problematici. Attraverso esperimenti effettuati in serra si è potuto osservare che dopo circa 48 ore dalla terminazione, la biomassa di radici e foglie sviluppa sostanze allelopatiche che sopprimono il nematode *Rotylenchulus reniformis* (Wang et al., 2001). Studi svolti in provincia di Bologna hanno rilevato il controllo da parte di *Crotalaria juncea L.* nei confronti di *Meloidogyne incognita*, nematode che infesta le radici del pomodoro (Curto et al., 2015), mentre studi relativi alla coltivazione della patata hanno rilevato che l'impiego di *Crotalaria juncea* come *cover* prima della coltivazione, riesce a ridurre le infezioni batteriche di *Ralstonia solanacearum*, patogeno che attacca la pianta causando i sintomi del marciume bruno della patata o avvizzimento batterico. Si è notata anche una riduzione della presenza di elateridi (Kakuhenzire et al., 2013). Si è rilevato, inoltre, che questa leguminosa garantisce anche il controllo nei confronti di *Meloidogyne javanica*, nematode di origine tropicale, parassita che attacca più di 700 specie di piante (Germani et. al., 2004). L'azione di controllo contro i nematodi può essere attuata in *primis* dalla produzione di sostanze tossiche che inibiscono la moltiplicazione cellulare portando, nella migliore delle ipotesi alla morte dei parassiti terricoli, oppure impedendone crescita, sviluppo e riproduzione. *Crotalaria juncea* inoltre, può essere impiegata come coltura trappola: seminata in prossimità di una coltivazione suscettibile ai nematodi, svolge una funzione di barriera naturale che impedisce agli organismi terricoli di attaccare la coltura suscettibile.

Riassumendo quindi, *Crotalaria juncea L.* potrebbe configurarsi come un valido aiuto al controllo delle infestanti e dei nematodi, con benefici interessanti in orticoltura dove le infestazioni di tali parassiti terricoli risultano di difficile gestione.

Un altro aspetto positivo della pratica del sovescio consiste nell'evitare che i terreni restino nudi in estate con conseguente beneficio di mantenimento della sostanza organica. Infine, non è da sottovalutare l'azione dovuta all'interazione con i batteri azotofissatori che insieme

all'azoto accumulato dalla biomassa costituisce una riserva di nutrienti disponibile per la coltura successiva limitando le concimazioni, e riducendo i costi di gestione agronomico-aziendali.

4.8 Parametri chimici

L'utilizzo di *Crotalaria juncea* L. come alimento umano e animale, come fonte di fibre o come sovescio è presumibilmente dovuto alle sue caratteristiche chimiche. Nella pianta la cellulosa è il componente di maggior interesse per l'uso come alimento zootecnico e per la produzione di fibre; il contenuto di cellulosa è del 75,6%, mentre 10,05% delle fibre è composto da emicellulose (7,03% emicellulose A e 3,02% emicellulose B), 10,32% di lignina, 3,6% di umidità ed infine, 0,43% di ceneri. Questa composizione è stata ottenuta analizzando la pianta a maturità e sulla sostanza secca (Paul e Chakraborty, 2018) (Tab. 1).

Tabella 1. Composizione chimica di *Crotalaria juncea*

	Umidità	Cellulosa	Emicellulose	Lignina	Ceneri
Composizione chimica	3,6%	75,6%	A 7,03% B 3,02%	10,32%	0,43%

Cellulosa ed emicellulose sono indispensabili per la produzione di biocarburanti. Questo rappresenta un ulteriore utilizzo seppur ancora in fase di sviluppo. Avviene attraverso la fermentazione della cellulosa; partendo da 1 Kg di fibre si riescono ad ottenere circa 595 g di glucosio e 203 g di idrossimetilfurfurale. Quest'ultimo è il precursore del furano, un biocombustibile. Un ulteriore degradazione del glucosio porta alla produzione di bioetanolo (Paul e Chakraborty, 2018).

Dalla composizione generale di *Crotalaria juncea* è possibile entrare più nel dettaglio; la pianta in campo presenta un'umidità variabile da un 65% ad un 80%. Escluse radici e frutti, a seguito di essiccazione (in campo), il fusto ha la seguente composizione: 9,4% d'acqua igroscopica, 0,61% di ceneri, 0,55% di lipidi e cere, 63,34% di cellulosa, 6,4% di pectine e 18,7% di proteine.

Il seme invece contiene 8,6% di acqua, 34,3% di proteine grezze, 4,3% di lipidi, 41,1% di amido, 8,1% di fibra e 3,3% di ceneri. Il contenuto di lipidi è suddiviso in 46,8% di acido linoleico, 28,3% di acido oleico, 4,6% di acido linolenico, e infine 20,3 % di acidi saturi (Al-Snafi, 2016).

Tabella 2: Composizione di pianta e seme di *Crotalaria juncea*

	Composizione pianta	Composizione seme
Acqua	9,4%	8,6%
Lipidi	0,55%	4,3%
Amido	---	41,1%
Pectine	6,4%	---
Proteine	18,7%	34,3%
Cellulosa	64,34%	8,1%
Ceneri	0,61%	3,3%

In riferimento a *Crotalaria juncea* come alimento zootecnico, quindi come foraggio essiccato, le analisi effettuate a fini nutrizionali hanno rilevato un'umidità di conservazione pari a 14,4%, 1,1% di estratto etereo, 11,3% di albumina (composto proteico), 35,8% di carboidrati (zuccheri importanti per la dieta animale), 27,4% di lignina e infine il 6,4% sostanze minerali solubili (Al-Snafi, 2016).

Tabella 3: Composizione del foraggio essiccato di *Crotalaria juncea*

Composizione foraggio	
Umidità	14,4%
Estratto etereo	1,1%
Albumina	11,3%
Carboidrati	35,8%
Lignina	27,4%
Sostanze minerali solubili	6,4%

Da analisi effettuate sulla biomassa dell'intera pianta si è potuto conoscere come è distribuito il contenuto di carbonio e azoto nelle varie parti della pianta. Nello specifico considerando un quantitativo totale (parti epigee + ipogee) di sostanza secca pari a 19,2 t/ha, queste sono ripartite in $6,3 \pm 0,7$ t/ha di foglie (33%), lo stelo rappresenta $10,9 \pm 0,5$ t/ha (56,9%) ed infine la biomassa radicale è pari a $1,9 \pm 1,1$ t/ha (10,1%).

Il contenuto di azoto sulla sostanza secca in foglie, stelo e radici rispettivamente è 4,1%, 1,5% e 1,3% s.s.. In riferimento al carbonio sulla sostanza secca totale, invece, si ha: 41,3% nelle foglie, 42,9% nel fusto e 40,8% nelle radici (Curto et al., 2015). Da queste analisi è possibile

dedurre che le foglie rappresentano circa un 30% della biomassa totale e sono la parte della pianta con il più alto tenore di azoto e quindi proteico.

Crotalaria juncea L. è una pianta allelopatica che contiene diversi composti fitotossici tra cui l'amminoacido idrossinorleucina nelle foglie, l'acido 2-ammino-5-idrossiesanoico e alcuni flavonoidi come genisteine e quercetina nei semi. Nelle radici, nel fusto e nei semi troviamo, inoltre, l'alcaloide diidropirrolizidina sostanza molto tossica appartenente al gruppo degli alcaloidi pirrolizidinici (Colgate et al., 2012; Javaid et al., 2015). *Crotalaria juncea L.* possiede anche altre sostanze allelopatiche efficaci nella soppressione delle infestanti, quali: riddelline, senecionine e senecifillina (Morris et. al., 2015). La maggior parte di queste sostanze allelopatiche sono contenute soprattutto nelle foglie e nei semi mentre nel fusto sono presenti in quantità minori. Secondo altri studi attraverso il metodo HPTLC, tecnica cromatografica utilizzata per valutazioni qualitative o semi-qualitative dei componenti di un composto preso in esame, è stata rilevata la presenza di flavonoidi, glicosidi e saponine attraverso l'analisi di un estratto acquoso prelevato dalla pianta (Ahmadnia e Mokhtari, 2023).

4.9 Usi alternativi di *Crotalaria juncea L.*

Crotalaria juncea L. non si configura esclusivamente specie da *cover crop*; veniva, infatti, coltivata allo scopo di ottenere fibre destinate all'industria per la produzione di corde, reti da pesca, teli, vestiario, carta fatta a mano (Tripathi et al., 2013) e per scopi medicinali (Chopra et al., 1956, Oruganti et al., 2014). È stata ed è usata come alimento zootecnico e le sue foglie persino come alimento umano; l'uso alimentare delle foglie è esclusivo di alcune zone asiatiche e africane in cui per motivi etico-religiosi o per carenza di fonte proteica animale, si sfrutta questa leguminosa per sopperire a tale mancanza nella dieta. L'utilizzo come alimento umano però, deve avvenire solo a seguito della cottura di *Crotalaria juncea* in quanto il trattamento termico annulla l'effetto tossico delle sostanze contenute, la cui nocività è tale da creare grossi problemi all'uomo fino a condurre alla morte.

Il problema degli alcaloidi non si presenta nell'alimentazione animale in quanto l'uso come foraggio essiccato prevede lo sfalcio prima che la pianta vada a fiore e di conseguenza la sintesi delle sostanze tossiche non sarà ancora avvenuta o al massimo potranno presentarsi alcune tracce che non creeranno alcun problema metabolico agli animali.

In tempi recenti su questa specie botanica si sono avviate le sperimentazioni al fine di utilizzarla come biocarburante grazie alla sua capacità di produrre un elevato quantitativo di biomassa ricca di cellulosa e dal basso quantitativo di lignina (Kumar e Dwivedi, 2014).

Grazie alla capacità di fissazione dell'azoto di *Crotalaria juncea*, può essere coltivata in consociazione con colture da reddito, le quali trarranno i benefici assorbendo l'azoto che trovano nel terreno, risultato del lavoro dei batteri azotofissatori in simbiosi con la leguminosa; sfruttando questa tecnica si potranno ridurre le concimazioni. Solitamente questa strategia agronomica viene utilizzata con colture ad alto fabbisogno d'azoto come mais e sorgo. Pare opportuno evidenziare che tale tecnica non è molto diffusa nelle aree in cui l'agricoltura è fortemente meccanizzata in quanto tecnologia e strategie agronomiche moderne offrono sistemi più pratici e veloci di gestione; inoltre a causa della consociazione alcune operazioni risultano difficoltose se non impossibili. Contrariamente, nei Paesi in cui l'agricoltura è prevalentemente manuale tale tecnica riscuote ancora successo. *Crotalaria juncea* L. può anche essere utilizzata in sistemi di fitodepurazione, questo grazie alla capacità di assorbire metalli pesanti e altri inquinanti (Atangana et al., 2014).

Considerando le caratteristiche di *Crotalaria juncea*, nello specifico la presenza di sostanze allelopatiche nelle parti verdi, potrebbe essere interessante effettuare degli studi per valutare la possibilità di estrarre tali sostanze al fine di utilizzarle per creare dei prodotti naturali per il controllo della flora infestante.

4.10 Sperimentazione in Italia

Gli studi italiani su *Crotalaria juncea* L. sono numericamente limitati e più recenti, si concentrano infatti nell'ultimo decennio, rispetto a quelli asiatici a causa del recente interesse nei confronti di colture alternative a minor impatto ambientale. Le zone interessate dalle sperimentazioni sono quelle del centro-nord Italia, nello specifico le aree del bolognese, e si sono concentrate nell'introdurre questa leguminosa nelle rotazioni delle colture da reddito tra cui ortaggi, come patate e carote in quanto piante maggiormente suscettibili a nematodi fitopatogeni oltretutto tipiche di quella zona. Le sperimentazioni condotte dai ricercatori del CREA-CI avevano lo scopo di introdurre nel periodo in cui il terreno rimane nudo tra una coltivazione di patata e la seguente una coltura che, oltre a tenere coperto il terreno, apportasse allo stesso dei benefici. Le sperimentazioni sono iniziate con la semina ad agosto 2018 su terreno con elevata infestazione larvale di elateridi; nell'ottobre dello stesso anno si è provveduto alla terminazione attraverso trinciatura e successiva aratura. L'anno seguente si è potuto riscontrare una notevole riduzione di danni da elateridi nei tuberi.

Gli stessi ricercatori hanno ampliato i loro studi concentrandosi sul comportamento di questa specie botanica nelle zone costiere del livornese. Dalla coltivazione si è potuto notare una suscettibilità della coltura alla salinità. Infatti, la pianta in questi terreni si sviluppa lentamente

e raggiunge una bassa vigoria, non paragonabile con le produzioni ottenute nelle aree della pianura bolognese.

Come già accennato in precedenza *Crotalaria juncea L.* alle nostre latitudini non si riproduce in quanto pur avvenendo la fioritura non avviene il riempimento dei baccelli. Secondo un report USDA non riesce a fruttificare in modo consistente sopra il 28° parallelo; tuttavia alla luce del cambiamento climatico degli ultimi tempi sarebbe opportuno attuare nuove sperimentazioni per verificare tale particolare. Questo è uno svantaggio per la produzione del seme, ma risulta un vantaggio per l'utilizzo come *cover crop* perché se si sbagliano i tempi di terminazione non si rischia che la pianta diventi una specie infestante o invasiva a causa della disseminazione.

Dalla coltivazione negli areali italiani di *Crotalaria juncea L.*, si è avuta la conferma che è una pianta che produce una quantità di biomassa importante, infatti si è arrivati ad ottenere rese di biomassa verde comprese tra i 300 e 600 q/ha. Considerando un contenuto d'azoto della parte aerea di circa 1,5%-2, con le quantità di biomassa sopra citate si apportano al terreno quote d'azoto comprese tra i 130 e 280 kg/ha. Le quantità di azoto inoltre possono aumentare se al momento della semina i semi vengono inoculati con batteri azotofissatori, integrando la flora batterica del terreno, aumentando così l'attività azotofissatrice (comunicazione personale CREA-CI, 2024).

Appare evidente che gli studi hanno dimostrato che, se da una parte si è avuta conferma dei risultati ottenuti dalle ricerche effettuate nei Paesi tropicali, dall'altra la diversità di latitudine, di clima e della composizione del suolo hanno dimostrato che *Crotalaria juncea L.* nelle zone a clima temperato ha potenzialità maggiori. Si pensi che in termini di resa si parla di un incremento considerevole anche più di 100 q/ha di biomassa. Queste maggiori potenzialità sono da attribuire alle caratteristiche migliori dei nostri terreni e alle condizioni climatiche generalmente più indicate ed ospitali per lo sviluppo. A ciò va aggiunta la tecnologia agro-meccanica che permette di gestire in maniera più performante la fase finale del ciclo colturale. Visti i lusinghieri risultati ottenuti in merito a questa leguminosa, parrebbe persistere negli studiosi un interesse al fine di approfondire l'esistenza di ulteriori potenzialità.

5. CONCLUSIONI

Sulla base degli studi fin qui condotti su *Crotalaria juncea L.*, si può affermare che si tratta di una pianta che, nonostante sia nota da tempo, solo nei Paesi asiatici ha avuto il suo maggior sviluppo e utilizzo, mentre alle nostre latitudini (Italia) nonostante sia adatta ad una serie di usi che vanno dall'agricoltura e all'industria è rimasta poco conosciuta. Per tale motivo anche le ricerche nel nostro Paese sono limitate e solo negli ultimi decenni, con l'aumentare della sensibilità nei confronti dell'ambiente e quindi, la lotta all'inquinamento e la crescente avversione della popolazione per l'utilizzo di prodotti chimici, si sono intrapresi degli studi su *Crotalaria juncea L.*, scoprendo che si tratta di una pianta con numerose potenzialità tra cui: la capacità di controllo dei nematodi e altri parassiti terricoli – scoperta che ha incoraggiato, tra l'altro a proseguire le ricerche su questa leguminosa – e la capacità di bloccare lo sviluppo o addirittura bloccare per via allelopatica la germinazione delle erbe infestanti. La scelta di utilizzare leguminose come specie di copertura è inoltre spinta dalla caratteristica principale di queste piante, cioè la capacità di creare simbiosi con batteri azotofissatori, arricchendo il terreno di questo importante elemento.

Va sottolineato che la coltivazione di tale pianta presenta anche alcuni aspetti sfavorevoli. Considerate colture a perdere, le *cover crops* in generale, pertanto anche *Crotalaria juncea L.*, presentano un primo svantaggio riguardante i costi. L'intervento agronomico infatti, comprende l'acquisto delle sementi, le spese per una minima lavorazione del terreno se non viene eseguita una semina diretta, i costi di semina e di distruzione della *cover crop*.

Ulteriori svantaggi si possono riscontrare se non viene eseguita correttamente la terminazione o se eseguita in epoca sbagliata.

Infine, ma non meno importante, va evidenziato che per ottimizzare le potenzialità di *Crotalaria juncea L.* sono necessarie competenze agronomiche che purtroppo, se non si ha una preparazione tecnica adeguata, non consentono di ottenere risultati soddisfacenti, per cui gli imprenditori agricoli sono scoraggiati dall'impegnare risorse economiche e tempo senza certezza di ottenere dei benefici.

Effettuando un bilancio complessivo, sembrerebbe che i benefici possano essere superiori agli svantaggi. Andrebbe pertanto attuata una campagna di diffusione delle potenzialità, oltre ad avviare studi relativi ad impieghi alternativi di *Crotalaria juncea L.* quali: la possibilità di estrarre le sostanze allelopatiche che inibiscono la germinazione delle erbe infestanti per la produzione di prodotti naturali utilizzabili in agricoltura per il controllo delle stesse, ciò anche in prospettiva delle nuove direttive europee in ambito agricolo che presumibilmente, secondo l'attuale trend, diverranno sempre più restrittive, e poter quindi sviluppare il settore della chimica verde.

Infine, un altro possibile uso potrebbe essere quello di sfruttare la capacità di assorbire metalli pesanti, introducendo *Crotalaria juncea* L. nelle aree di fitodepurazione già esistenti.

6. BIBLIOGRAFIA

- Ahmadnia F., Mokhtari A.M., 2023. Allelopathic effects of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea*), Conference Paper August 2023.
- Al-Snafi Ali Esmail, 2016, The contents and pharmacology of *Crotalaria juncea*, IOSR Journal of Pharmacy, 6: 77-86.
- Antangana A., Khasa D., Chang S., Degrande A., 2014. Phytoremediation in Tropical Agroforestry. *Tropical Agroforestry*, 343-351.
- Balkcom K.S., Reeves W.D., 2005. Sunn-Hemp utilized as a legume cover crop for corn production. *Agronomy Journal*, 97: 26-31.
- Barcaccia G., Lorenzetti S., Falcinelli M., 2006. L'eterosi nelle piante: dall'ipotesi genetica di Jones all'era genomica., 32-38, in www.dalseme.it.
- Bechini L., Marino Gallina P., Michelon L., Tadiello T., 2020. Cover crop: scheda tecnica per la coltivazione, in www.air.unimi.it.
- Bhandari H.R., Maruthi R.T., Pandey S.K., Chaudhary B., Tripathi M.K., 2014. Floral biology and floral phenology of sunnhemp (*Crotalaria Juncea* L.). *In* International conference on Natural fibres, 189.
- Biavati B., Solini C. (a cura di), 2008. *Microbiologia agroambientale*, 258.
- Bloch A., March G.G., Sourdioux M., Peterbauer T., Richter A., giugno 2005, Indication of raffinose oligosaccharide biosynthesis by abscisic in somatic embryos of alfalfa. *Plant Science*, 168: 1075-1082.
- Borsy P., Gadea R., Sosa E.V., 2013. *Forest Management and Conservation Agriculture. Integrated Crop Management*, 18: 49.
- Busari M. A., Kukal S. S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A. A., 2013. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3: 119-129.
- Calcante A., Manenti D., Torrente M., Reginelli D., Oberti R., 2022. Terminazione meccanica della cover crop. *L'informatore agrario*, 40: 66-68.
- Cantrell K.B., Bauer P.J., Ro K.S., 2010. Utilization of summer legume as bioenergy feedstocks. *Biomass bioenergy*, 34: 1961-1967.

- Chaudhary B., Tripathi M.K., Bhandari H.R., Pandey S.K., Meena D.R., Prajapati S.P., 2015. Evolution of sunn hemp (*Crotalaria juncea*) genotypes for high fibre yield. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86: 106-109.
- Chopra R.N., Nayar S.L., Chopra I.C., 1956. Glossary of Indian Medicinal Plant. Council of Scientific and Industrial Research, 33: 156.
- Colgate S.M., Gardner D.R., Joy L.J., Brtz J.M., Panter K.E., 2012. Dehydropyrrolizidine alkaloids, including monoesters with an unusual esterifying acid, from cultivated *Crotalaria juncea* (sunn hemp cv. Tropic Sun). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 3541-3550.
- Cook B.G., Pengelly B.C., Brown S.D., Donnelly J.L., Eagles D.A., Franco M.A., Hanson J., Mullen B.F., Partridge I.J., Peters M., Schultze-Kraft R., 2005. Tropical forages. CSIRO DPI&F, CIAT and ILRI, Brisbane.
- CREA – *Centro di ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali*, Bologna, 2024.
- Crusciol C.A.C., Soratto R.P., 2009. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. *Agronomy Journal*, 101: 40-46.
- Curto G., Dallavalle E., Santi R., Casadei N., D'Avino L., Lazzari L., 2015. The potential of *Crotalaria juncea* L. as a summer green manure crop in comparison to *Brassicacea* catch crops for management of *Meloidogyne incognita* in the Mediterranean area. *European Journal of Plant Pathology*, 142: 830-841.
- Dubeux J., Vendramini J., Garcia L., Jaramillo D., Santos E., Van Cleef F., 2019. Sunn hemp: a fast growing annual forage legume. UF/IFAS Agronomy Department, www.nwdistrict.ifas.ufl.edu.
- FAO, 2010. Green manure/cover crops and crop rotation in Conservation Agriculture on small farms. *Integrated Crop Management*, n. volume: 25-26.
- Ferreira K., Torres G., De Carvalho A., Vilela I., Lisete Chamma D., 2009. Abnormal meiotic behavior in three species of *Crotalaria*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44: 641-646.
- Florentin M.A., Penalva M., Calegari A., Derpsch R., 2010. Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms. *Integrated Crop Management*, 12: 25-26.
- Frasconi C., Antichi D., 2019. Impiego del cut-roller dondi come roller crimper, Prova sperimentale in Europa edizione. venetoagricoltura.org, 42-44.

- Furlan L., Benvegnù I., Casadei N., Matteo R., Lazzari L., Parisi B., 2019. *Strategie di difesa integrata dagli elateridi della patata. L'Informatore Agrario* 45: 50-56.
- Furlan L., Chiarini F., Converso R., Benvenuti L., 2023. Colture di copertura autunno-vernine, attività formativa intervento 2.3.1 “Formazione dei consulenti” Programma di Sviluppo Rurale per il Veneto 2014-2020. *venetoagricoltura.org*.
- Germani G., Plenchette C., 2004. Potential of *Crotalaria* specie as green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 266: 333-342.
- Good I., 2007. Invisible exports in Aratta: Enmerkar and the three tasks. *Ancient Textiles: Production, Craft and Society*, 69: 168-173.
- Hooks C.R., Wang K., Fallon D., 2006. An Ally in the War Against Nematode Pests: Using Sunn Hemp as a Cover Crop to Suppress Root-Knot Nematodes. *Cooperative Extension Service*, 32: 1-3.
- Javaid M.M., Bhan M., Johnson J.V., Rathinasabapathi B., Chase C.A., 2015. Biological and chemical characterizations of allelopathic potential of diverse accessions of the cover crop sunn hemp. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140: 532-541.
- Kakuhenzire R., Lemaga B., Kashaija I., Ortiz O., Mateeka B., 2013. Effect of *Crotalaria falcata* in crop rotation and fallowing on potato bacterial wilt incidence, disease severity and latent infection in tubers and field soil. *Biopesticides International*, 9: 182-194.
- Kamireddy, S. R., Li J., Abbina S., Berti M., Tucker M., Ji Y., 2013. Converting forage sorghum and sunn hemp into biofuels through dilute acid pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 49: 598-609.
- Kasper S., Christoffersen B., Soti P., Racelis A., 2019. Abiotic and biotic limitations to nodulation in leguminous cover crops in South Texas. *Agriculture*, 9(10): 209. <https://doi.org/10.3390/agriculture9100209>.
- Kaul C.L., Singh S.P., 1967. Staminal and functional male sterility induced in *Papilionaceous* plants by chemical treatment. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86: 264-269.
- Kumar G., Dwivedi S., 2014. Impact of gamma irradiation on growth response of *Crotalaria juncea*. *International Journal of Agricultural Research*, 142: 99-105.
- Mantovani P., Ruozzi R., Tabaglio V., Boselli R., Guareschi M., Pignedoli S., 2020. I tanti vantaggi agroecologici delle cover crop. *L'Informatore Agrario*, 17: 36-39.

- Mohan K.V.J., 1971, Out-crossing in sunn hemp (*Crotalaria juncea*). Indian Journal of Genetics, 86: 395-396.
- Mondin M., Santos-Serejo J.A., Aguiar-Pereci M.L.R., 2007. Karyotype characterization of *Crotalaria juncea* (L.) by chromosome banding and physical mapping of 18S-5.8S-26S and 5S rRNA gene sites. Genet Mol Biol, 30: 65-72.
- Moretti B., 2017. Le colture di copertura (cover crop). OATA, 26 ottobre 2017, www.oataitalia.it.
- Morris J.B., Chase C., Treadwell D., Koenig R., Cho A., Morales Payan J.P., Murphy T., Antonious G.F., 2015. Effect of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) cutting date and planting density on weed suppression in Georgia. Journal of Environmental Science and Health, 52: 614-621.
- Nogueira-Couto R.H.N., Costa J.A., Silveira R.C.M., Couto L.A., 1992. Polinizacao de *Crotalaria juncea* por abelhas nativas. Ecosistema, 17: 12-16.
- Oruganti R., Venisetty R., Puligilla S., 2014. Anti-obesity and hypoglycemi effect of ethanol extract of *Crotalaria juncea* in high fat diet induced hyperlipidemic and hyperlipidemic rats. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science, 6: 739-742.
- Orwa C., A. Mutua, R. Jamnadass, S. Anthony, 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. www.worldagroforestry.org.
- Pacheco J.S., Silvia-Lopez R.E.S., 2010. Genus *Crotalaria* L. (*Leguminosae*). Revista Fitos, 5: 43-52.
- Palomino G., Ricardo V., 1991. Cytogenetic studies in Mexican populations of species of *Crotalaria* L. (*Leguminosae-Papilionoideae*). Cytologia, 56: 343-351.
- Paul S.K., Chakraborty S., 2018. Microwave-assisted ionic liquid-mediated rapid catalytic conversion of non-edible lignocellulosic Sunn hemp fibres to biofuels. Bioresource Technology, 253: 85-93.
- Polhill R.M., 1981. *Crotalarieae*. Advances in Leguminosae Systematics Part 1: 399-402.
- Purseglove J.M., 1981. Leguminosae. Purseglove JM Tropical crops: dicotyledons: 399-402.
- Roa J.P., Agrawal P., Mahmood R., Sreevathsa R., Rao K.S., Reddy G.R., Suryanarayana V.V., 2012. Tissue culture independent transformation of the forage crop sunn hemp

(*Crotalaria juncea* L.): An easy method towards generation of transgenic. *Physiological and Molecular Biological Plants*, 18: 51-57.

Rotar Peter P., Joy Robert J., novembre 1983. 'Tropic sun' sunn hemp *Crotalaria juncea* L. Research Extension Series 036.

Sarkar S.K., Hazra S.K., Sen H.S., Karmakar P.G., Tripathi M.K., 2015. Sunn hemp in India. ICAR-Central Research Institute for Jute and Allied Fibres.

Sellitto V.M., 2020. La simbiosi tra rizobi e leguminose. I microrganismi utili in agricoltura: 93-120.

Tripathi M.K., Chaudhary B., Sarkar S.K., Singh R.S., Bhandari H.R., Mahapatra B.S., 2013. Performance of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as a summer season (pre-monsoon) crop for fibre. *Journal of Agricultural Science*, 5 (3): 236-242.

Tripathi M.K., Chaudhary B., Singh S.R., Bhandari H.R., 2013. Growth and yield of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as influenced by spacing and topping practices, in *African Journal Agricultural Research*, 86: 744-749.

Van Wyk B.E., Schutte A.L., 1995. Phylogenetic relationships in the tribes *Podalyrieae*, *Liparieae* and *Crotalarieae*. *Advances in Legume Systematics*, 3: 283-308.

Virdi N.S., Neha K., Joshi S., Singh S., Singh P., 2004. Studies on variability associations and genetic divergence for green manuring traits in sunnhemp (*Crotalaria* spp.). *Journal of Res, Punjab Agricultural University*, 86: 417-424.

Wang K. H., Sipes B.S., Schmitt D.P., 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. *Nematropica*, 32: 32-57.

Wang K., Sipes B.S., Schmitt D.P., 2001. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus* and *Tagetes erecta*. *Nematropica*, 31: 235-249.

Wang Q., Li Y., Klassen W., Edward A., Hanlon Jr., 2022. Sunn hemp a promising cover crop in Florida. IFAS Extension University of Florida, 1-4, www.journals.flvc.org.