



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse naturali,
Animale e Ambiente**

Corso di Laurea triennale in
Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche

LE CONSOCIAZIONI IN UN CONTESTO DI AGRICOLTURA SOSTENIBILE

Relatore
Prof. Carmelo Maucieri
Correlatore
Dott.ssa Vittoria Giannini

Laureanda/o
Simone Giacomini
Matricola n. 2000036

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

1) DEFINIZIONE E STORIA DELLE CONSOCIAZIONI.....	6
2) TIPI DI CONSOCIAZIONI.....	7
2.1 MIXED INTRERCROPPING.....	7
2.2 STRIP INTERCROPPING.....	8
2.3 ROW INTERCROPPING.....	10
2.4 RELAY INTERCROPPING.....	11
3) INTERAZIONI DIRETTE ED INDIRETTE.....	11
3.1 INTERAZIONI DIRETTE (ATTIVE)	12
3.2 INTERAZIONI INDIRETTE (PASSIVE)	13
3.3 INSIEME DI INTERAZIONI ATTIVE E PASSIVE	16
4) SERVIZI ECOSISTEMICI E BENEFICI ALL'AMBIENTE	18
4.1 SUOLO	18
4.2 ACQUA	21
4.3 NUTRIENTI	22
4.4 ENTOMOFAUNA	23
5) CONSOCIAZIONI IN VIGNETO	25
5.1 EFFETTI SULLA RESA	25
5.2 EFFETTI SULLA QUALITÀ	28
5.3 EFFETTI SULL'AGROECOSISTEMA VIGNETO	31
6) CONCLUSIONI	33

RIASSUNTO

La pratica della consociazione esiste sin dai tempi della nascita dell'agricoltura stessa. Da decenni però questa pratica è stata abbandonata e sostituita dalle monocolture, specialmente nelle nazioni sviluppate, relegando questo approccio alle nazioni in via di sviluppo. L'incremento delle rese ottenuto con le monocolture è stato raggiunto aumentando sempre più gli input di natura antropica, compromettendo così la salute dei suoli, la qualità delle acque e dell'aria, a causa del massiccio utilizzo di fertilizzanti, pesticidi di sintesi ed emissioni di gas serra.

È evidente la necessità di ricorrere a pratiche agricole più sostenibili.

L'utilizzo di pratiche di consociazione ben progettate può portare ad una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse naturali, un incremento della biodiversità, incrementi in termini di rese per unità di superficie e ad una diminuzione sostanziale degli input da parte dell'uomo.

La presente tesi, dopo un'introduzione generale riguardante le consociazioni, la loro storia, i metodi di applicazione, i pro e i contro, approfondisce le tecniche di consociazione in viticoltura facendo una disamina della letteratura scientifica esistente per capire quali possono essere i benefici dell'adozione di queste pratiche agricole in termini di resa, qualità organolettiche dell'uva e benefici nei confronti dell'ambiente nel suo complesso (servizi ecosistemici).

ABSTRACT

Intercropping existed since the birth of agriculture itself. For decades, however, this practice has been abandoned and supplanted by monocultures, especially in developed nations, relegating this approach to developing nations.

Intensified monoculture production requires increased anthropic inputs to maximize productivity; this has resulted in compromised soil health, water and air quality issues, due to the massive use of fertilizers, synthetic pesticides and greenhouse gas emissions.

There is clearly a need for more sustainable farming practices.

Well-designed intercropping operations efficiently use natural resources, increase biodiversity, enhance crop yield per unit area, with reduced consumption of off-farm inputs.

The present dissertation, after a general introduction concerning intercropping practices, their history, practical methods of application and their pros and cons, deepens intercropping techniques in viticulture, reviewing the existing scientific literature to understand what can be the benefits of adopting these agricultural practices in terms of yield, organoleptic qualities of grapes and benefits to the environment as a whole (ecosystem services).

1. DEFINIZIONE E STORIA DELLE CONSOCIAZIONI

La consociazione (in inglese *intercropping*) è la coltivazione di due o più colture (specie o cultivar) insieme nello stesso campo per un periodo di tempo. Essa sfrutta le relazioni mutualistiche tra le colture e le differenti nicchie ecologiche occupate nel tempo e nello spazio (Francis, 1986), che spesso determinano un aumento della produttività per ettaro e un incremento dei servizi ecosistemici (Zhi et al., 2007). La consociazione è utilizzata a livello globale in diverse condizioni ambientali, diversi tipi di suoli e varie combinazioni di colture. L'utilizzo di questo approccio, oltre a comportare un aumento delle rese a parità di superficie coltivata, rispetto alle monocolture riduce anche il rischio di perdita del raccolto e aumenta la resilienza nei confronti delle fluttuazioni del mercato (Andrews e Kassam, 1976; Cowell et al., 1989; Lesoing e Francis, 1999; Machado, 2009; Mandal et al., 1990).

La consociazione è una pratica agronomica impiegata da moltissimo tempo. Infatti, in alcune delle prime pubblicazioni disponibili in cui è presente il termine "*intercropping*", esso viene descritto come una strategia frequentemente utilizzata (Castle, 1906). Alcuni esperimenti condotti alla fine del 1800 avevano già verificato la superiorità dei foraggi consociati rispetto alle monocolture (Hays, 1892).

Si pensa che questa pratica agronomica coincida con la nascita dell'agricoltura stessa, e che la sua applicazione preceda quindi di gran lunga l'uso della sua terminologia moderna (Baker, 1970). La consociazione, infatti, è la disposizione primaria delle piante presenti in natura; questo si può notare semplicemente osservando gli ecosistemi naturali come le foreste e le praterie.

Tuttavia, l'avvento della meccanizzazione in agricoltura, assieme alla crescente disponibilità di combustibili fossili a basso costo, ha comportato un graduale abbandono di questa pratica a metà del ventesimo secolo. Attratti da benefici su breve periodo e dalla moderna industria meccanica, le nazioni industrializzate si sono sempre più allontanate dall'utilizzo della consociazione in agricoltura, favorendo sempre più gli agrosistemi semplificati (monocoltura) e facilmente meccanizzabili (Anders et al., 1996).

L'agricoltura moderna si basa principalmente su input di natura chimica come fertilizzanti di sintesi, pesticidi, erbicidi e fungicidi. L'obiettivo è massimizzare la produttività incrementando gli input esterni. Questo approccio ormai consolidato da oltre

un secolo, ha comportato alcuni effetti negativi sui suoli, sulle acque e più in generale sull'ambiente nel suo complesso (lisciviazione dei nitrati, rilascio nell'ambiente circostante di fosfati, pesticidi e gas climalteranti - CO₂, N₂O, CH₄). Tutto ciò ha messo in evidenza la ridotta sostenibilità ambientale (Dell et al., 2014; Ketterings et al., 2013; Kleinman et al., 2002; Sadeghpour et al., 2015; Tilman et al., 2002) rinnovando l'interesse per le pratiche di consociazione, come alternativa più sostenibile rispetto alla monocoltura.

Mentre la quantità di raccolto globalmente è di molto aumentata, il tasso di crescita delle rese globali è rallentato considerevolmente negli ultimi 50 anni. L'adozione delle pratiche di consociazione può creare nuove opportunità per sfruttare meglio il potenziale attualmente non utilizzato dei terreni agricoli esistenti.

Le ricerche effettuate a partire dagli anni 70' fino agli anni 90' hanno ricostruito le basi agronomiche su cui poggiano oggi le moderne tecniche di consociazione. Recenti e rapidi progressi nelle tecniche di ricerca, in particolar modo il sopravvento dell'analisi molecolare, la scoperta del microbioma vegetale, delle colture di copertura (*cover crop*), e il concetto di "salute del suolo", hanno sia aumentato la nostra comprensione sulla materia, sia creato i presupposti per ulteriori ricerche sui sistemi di coltivazione basati sulla consociazione inter e intraspecifica.

2. TIPI DI CONSOCIAZIONI

Secondo la letteratura scientifica (Andrews and Kassam, 1976; Trenbath, 1976), esistono quattro tipi di consociazione, ovvero mista (*mixed*), a strisce (*strip*), a file (*row*) e temporanea (*relay*). Ogni forma di consociazione presenta considerazioni uniche in termini di disposizione delle piante, gestione, raccolta ed ecologia del sistema. È di fondamentale importanza selezionare colture compatibili per limitare al minimo fenomeni come l'inibizione competitiva, consentire una facile gestione del campo e aumentare il profitto per unità di terreno rispetto alle monocolture.

2.1 MIXED INTERCROPPING

La consociazione mista è caratterizzata dalla crescita simultanea di due o più colture nelle immediate vicinanze senza una precisa disposizione spaziale. Le colture miste

vengono infatti seminate assieme; vengono raccolte nello stesso momento ma possono successivamente essere separate dopo il raccolto, come nel caso di cereali o leguminose da granella (Cowell et al., 1989). Questo tipo di consociazione viene utilizzato per:

- a) pascoli temporanei e foraggi annuali come parte di una rotazione (Caballero et al., 1995, 1996; Chen et al., 2004; Dordas et al., 2012; Lithourgidis et al., 2006);
- b) pascoli perenni (Skinner e Dell, 2016; Tessema e Baars, 2006);
- c) estensione della stagione produttiva (Barry, 2013; Kilcher e Lawrence, 1979; Tessema e Baars, 2006);
- d) produzione di cereali e legumi da granella (Agegnehu et al., 2006; Valentine, 1982);
- e) sistemi integrati di “coltura-allevamento” (Crusciol et al., 2012, 2013).

La consociazione mista è probabilmente la forma più difficile per quanto riguarda lo sviluppo di opportuni rapporti di semina e di pratiche di gestione. Ciò è dovuto al maggiore potenziale di interazioni interspecifiche e ai conseguenti effetti competitivi dovuti alla mescolanza di radici, foglie e fitomassa, nonché alla variazione delle caratteristiche desiderate dal coltivatore nella composizione finale del raccolto.

L'uso principale della consociazione mista è per l'alimentazione animale. Le colture annuali miste producono in modo rapido foraggi più equilibrati dal punto di vista nutrizionale (Kilcher e Lawrence, 1979). Le miscele annuali permettono di estendere il periodo produttivo delle colture nella stagione secca nelle regioni aride (Tessema e Baars, 2006) e in inverno nei climi temperati (Barry, 2013).

Le dosi di semina e le combinazioni di colture devono essere accuratamente selezionati per massimizzare il potenziale rendimento ed evitare cali della resa causati dall'inibizione competitiva. La competizione e altri meccanismi che influenzano (positivamente o negativamente) le rese, sono il risultato dell'aggressività delle colture, che varia a seconda delle specie e delle cultivar (Caballero et al., 1995; Dordas et al., 2012; McGilchrist, 1965), così come della densità d'impianto (Caballero et al., 1995; Vandermeer, 1990).

2.2 STRIP INTERCROPPING

La “consociazione a strisce” consiste nella semina di colture in strisce parallele, ciascuna costituita da più file; le piante consociate possono essere di specie diverse o possono essere cultivar della stessa specie. Le strisce devono essere abbastanza larghe da

consentire la coltivazione, incluse le operazioni di raccolta, ma abbastanza strette da consentire interazioni interspecifiche.

Questa tipologia di consociazione è utilizzata principalmente per la produzione di cereali e legumi (Biabani et al., 2012; Fortin et al., 1994; Ghaffarzadeh et al., 1994; Hu et al., 2016a; Iragavarapu e Randall, 1996; Li et al., 2001; West e Griffith, 1992), nonché per la produzione di foraggio (Putnam et al., 1985, 1986).

Le “strisce” possono essere raccolte insieme, ad esempio, se due cultivar della stessa specie raggiungono la maturità quasi contemporaneamente o se colture diverse, come l'insilato di mais e la soia, vengono utilizzate per razioni di foraggio miste. Al contrario, le strisce possono essere raccolte separatamente, ad esempio nel caso di cereali e di legumi. Tradizionalmente, le strisce vengono ruotate la successiva stagione colturale per massimizzare il beneficio dello “*strip cropping*”.

In questo tipo di consociazione, due aree sono influenzate in maniera differente: righe di confine e righe interne. Il più grande potenziale di interazione interspecifica si verifica sotto terra nelle file di confine, dove una coltura incontra la successiva; gli effetti diretti si verificano nel “mescolamento delle radici”, delle loro rispettive rizosfere e dell'area di dispersione degli essudati radicali (Zhang et al., 2004). È importante notare che l'estensione dell'apparato radicale è influenzato dalla spaziatura tra le strisce e dalle specie utilizzate, e, in alcuni casi, si estende oltre l'immediata riga di confine (Gao et al., 2010a). Le interazioni in superficie si manifestano principalmente come effetti di ombreggiamento e di “schermatura” del vento (Biabani et al., 2012; Bouws e Finckh, 2008; Jurik e Van, 2004; Radke e Burrows, 1970; Yang et al., 2014); è possibile quindi che tutto ciò abbia un impatto positivo tangibile sul limitare la dispersione di agenti patogeni mediata dal vento (Bouws e Finckh, 2008).

Poiché le interazioni interspecifiche sono relativamente limitate “ai margini”, ci sono meno fenomeni di interazione e competizione a livello del sottosuolo nella consociazione a strisce rispetto alla consociazione mista o a file. Tuttavia, le interazioni aeree, principalmente l'ombreggiatura, possono generare una competizione non trascurabile (Biabani et al., 2012; Iragavarapu e Randall, 1996; Yang et al., 2014).

In sostanza quindi è fondamentale tenere conto di diversi parametri per incrementare le rese: densità di impianto (sia in termini di piante totali sia di vicinanza tra le “strisce”), rapporto d'impianto tra le varie specie selezionate e compatibilità tra di esse. Tuttavia,

pochi studi affrontano sperimentalmente tutti questi parametri tra loro interconnessi, probabilmente a causa della complessità e “della scala” che tali studi richiedono.

2.3 ROW INTERCROPPING

La consociazione a file è simile a quella a strisce, ma almeno una delle colture consociate è piantata in una fila singola o doppia. Questa forma di consociazione consente interazioni interspecifiche sostanziali, come l'ombreggiatura, intreccio radicale e competizione per acqua e sostanze nutrienti. Oltre alla competizione appena descritta, le interazioni aeree (a livello della chioma) possono contribuire positivamente alla soppressione delle malattie “air borne” (Fininsa, 1996; Sharaiha et al., 1989).

La consociazione “a file” è utilizzata nella produzione di cereali e leguminose (Fininsa, 1997; Sadeghpour et al., 2014; Sharaiha et al., 1989), “colture di base” (Sharaiha et al., 1989), specie foraggere (Chen et al., 2004; Jahanzad et al., 2015), e canna da zucchero (*Saccharum officinarum*) (Al-Azad e Alam, 2004; Li et al., 2013; Luo et al., 2016; Yang et al., 2013), ed è anche una prassi comune nella produzione vegetale su piccola scala.

Questa forma di consociazione è paragonabile allo *strip cropping*, ma è stata particolarmente adattata per la semina e la raccolta non meccanizzata. Rimane tutt’ora in uso nelle aziende agricole più piccole dei paesi in via di sviluppo (Fininsa, 1997). Spesso non è compatibile con l'attuale produzione meccanizzata nei sistemi agricoli industrializzati.

2.4 RELAY INTERCROPPING

La consociazione temporanea (*relay intercropping*) può comprendere tutte le altre disposizioni di impianto precedenti: comporta la coltivazione di due o più specie o cultivar diverse nello stesso campo contemporaneamente per almeno una parte della stagione di crescita, ma differisce nel fatto che le colture sono seminate/piantate e raccolte in tempi diversi.

Le consociazioni temporanee possono essere seminate/piantate sia in strisce che in file secondo i requisiti di gestione. Questa tipologia, rispetto alle altre precedentemente descritte, permette: 1) l'opportunità di coordinare meglio i cicli di vita delle diverse colture per ridurre l'inibizione competitiva e migliorare l'allocazione delle risorse; 2) di allungare il periodo di crescita individuale sia per la prima che per la seconda coltura; 3) concedere

un periodo di recupero per la seconda coltura dopo la raccolta della prima. È cruciale in questo tipo di consociazione identificare il momento più adatto per seminare/piantare le varie colture, così come affrontare le conseguenti considerazioni di gestione pratica.

La consociazione temporanea è maggiormente utilizzata nella produzione di cereali, legumi e cotone (*Gossypium hirsutum*) (Knorzer et al., 2011; Su et al., 2014; Yan et al., 2010; Yang et al., 2014; Zhang et al., 2008a,b). Può essere anche implementata per evitare un ritardo nella semina in un sistema a “doppia coltura”. Ciò può essere di particolare interesse per i coltivatori in regioni caratterizzate da brevi stagioni di crescita e temperature autunnali fresche che possono impedire alle colture di raggiungere la piena maturità (Zhang et al., 2008a; Moss et al., 2017). La consociazione temporanea può anche essere utilizzata per sfruttare meglio le risorse idriche durante una stagione piovosa, per migliorare lo stoccaggio dell'acqua in condizioni di siccità o per massimizzare lo sfruttamento dell'acqua irrigua (Hu et al., 2016b; Mao et al., 2012).

3. INTERAZIONI DIRETTE ED INDIRETTE

Gli ecologi suddividono le interazioni tra le specie in dirette e indirette. Nelle interazioni dirette, una specie agisce “immediatamente” su un'altra; nelle interazioni indirette, una specie agisce sull'altra attraverso “cause secondarie” (essudati radicali, alterazione microbioma ecc...) (Abrams, 1987). Tuttavia, come affermato da Miller (1994), le interazioni tra le piante sono difficili da classificare in maniera netta tramite queste definizioni perché, “le interazioni dirette tra le piante sono di solito 'indirette', nel senso che si verificano attraverso la condivisione di risorse come luce, acqua e azoto” e “generalmente non coinvolgono un terzo organismo vivente necessario per rientrare nella definizione di interazione indiretta”. Inoltre, in molte forme di consociazione, potrebbe non esserci una terza specie di coltura, che limiterebbe il concetto di interazione indiretta agli effetti che coinvolgono infestanti, insetti, nematodi, funghi e batteri. Sebbene queste interazioni siano importanti, tali definizioni limitano la discussione sulle interazioni tra piante e su importanti cambiamenti abiotici che avvengono nelle colture consociate.

Le interazioni possono essere analizzate come **attive** e **passive**, sia sopra che sotto terra. Le interazioni attive ricordano le interazioni dirette, mentre le interazioni passive sono equiparabili alle interazioni indirette. Queste interazioni di fondamentale

importanza sono responsabili dei risultati che si osservano consociando tra loro diverse specie vegetali.

3.1 INTERAZIONI DIRETTE (ATTIVE)

Seguendo la descrizione di Miller (1994) le interazioni attive comprendono: la competizione per le risorse sotterranee (nutrienti) da parte delle radici, gli essudati radicali (che funzionano come molecole di segnalazione) e la competizione al di sopra del suolo (chioma) per la radiazione luminosa, che a sua volta interessa l'assorbimento dell'acqua. Tuttavia, le interazioni tra acqua, luce e chioma sono un mix inseparabile di interazioni sia passive che attive.

Nutrienti.

È ben noto che le radici crescono seguendo la disponibilità di nutrienti presenti nel suolo, sebbene la risposta spaziale e temporale sia soggetta a variazioni a seconda di specie e genotipo (David et al., 1999; Fitter, 1994; Jackson et al., 1990; Li et al., 2018). Si può quindi suggerire che le radici siano spinte ad “allontanarsi” dalle aree di impoverimento nel suolo, come per esempio l’area radicale occupata da un'altra pianta (Schmid et al., 2015). Se le radici di due piante diverse “esplorano” contemporaneamente la stessa zona, sussiste competizione.

Le carenze di nutrienti, comprese quelle dovute alla competizione, inducono cambiamenti nella morfologia delle radici che possono essere metabolicamente costosi quando le piante vanno alla ricerca dei nutrienti necessari. Questi cambiamenti comprendono l'aumento nello sviluppo dei peli radicali, l’aumento della massa delle radici e comportando una maggiore esplorazione delle radici laterali e verticali (Lynch, 2013; Zhang e Forde, 1998).

Se le piante non sono in grado di costruire un apparato radicale efficiente e competitivo per acquisire nutrienti e sostenere lo sviluppo di biomassa in superficie per catturare la luce, o se vengono assegnate maggiori “quantità” di carbonio per sostenere la crescita delle radici, (rallentando così la produzione di biomassa in superficie) potrebbero verificarsi perdite in termini di resa (Cahill, 1999; Nielsen et al., 2001).

Al contrario, questa competizione può stimolare la formazione di sistemi radicali più vigorosi che si traducono in una maggiore cattura delle risorse (Liu et al., 2015a). Pertanto,

gli studi sulle consociazioni dovrebbero considerare sia la plasticità fisiologica che morfologica delle colture in gioco.

Essudati radicali

Al di là dei classici effetti di simbiosi, gli essudati radicali possono stimolare risposte fisiologiche uniche nelle piantagioni “consociate”. Li et al. (2016) hanno osservato che gli essudati della radice di mais provocano direttamente un aumento della nodulazione rizobica della fava rispetto a quando la fava è esposta agli essudati radicali di altri cereali, avena e grano specificamente, o coltivata da sola. Tuttavia, i principali meccanismi a livello molecolare, in particolare il ruolo delle molecole di segnalazione dei flavonoidi che sono “emesse” dal mais e che sono importanti nello sviluppo dei noduli, necessitano ancora di ulteriori studi (Jiao et al., 2017). Il risultato è stato infatti contraddetto da Liu et al. (2017) che hanno riscontrato come essudati di grano potrebbero provocare un aumento della nodulazione delle radici della fava attraverso le stesse molecole di segnalazione. Questo interessante esempio dimostra la profonda complessità di questi sistemi e le lacune ancora da colmare in questo ambito.

3.2 INTERAZIONI INDIRETTE (PASSIVE)

Le interazioni passive si verificano quando nessuna coltura è specificamente responsabile di un cambiamento in un'altra anche se condividono la stessa nicchia, o quando il design della sistemazione di allevamento provoca cambiamenti ambientali che hanno poi un impatto su una o più specie di colture.

Essudati radicali e nutrienti

In contrasto con le interazioni competitive interspecifiche dirette che possono scoraggiare la sovrapposizione delle radici tra piante consociate, la consociazione può anche essere causa dell'effetto opposto. Specie con essudati radicali che aumentano la disponibilità di nutrienti, come fosforo o ferro (Giles et al., 2018; Guo et al., 2014; Inal et al., 2007; Tadano e Sakai, 1991), possono favorire l'interazione interspecifica. Il “mescolamento” delle radici consente alle specie di piante che non hanno la capacità di solubilizzazione dei nutrienti di acquisirli nella zona “alterata” dalle radici di un'altra pianta (Li et al., 2004a, b; Nicol, 1935; Zhang et al., 2016). Mentre le specie responsabili

“dell'alterazione” della zona radicale “comune” non offrono direttamente nutrienti alle altre specie consociate, il pool di nutrienti disponibili è indiscriminatamente aumentato per qualsiasi radice presente. L'entità dell'influenza degli essudati radicali sulla disponibilità di nutrienti è variabile e specie-specifica (Li et al., 1997; Saxena, 1964; Tadano e Sakai, 1991).

Essudati radicali e soppressione delle infestanti

Gli essudati radicali possono anche avere effetti di soppressione delle infestanti nei confronti un'ampia varietà di piante. L'allelopatia¹ è associata a molte colture tra le quali riso (*Oryza sativa*) (Chou e Lin, 1976), sorgo (Cheema e Khaliq, 2000), grano (Zuo et al., 2014), avena (Fenandez-Aparicio et al., 2007, 2013), segale (*Secale cereale*) (Cimmino et al., 2015), patate dolci (*Ipomoea batatas*) (Xuan et al., 2016) e brassicacee (Bialy et al., 1990).

L'allelopatia può essere vantaggiosa per le colture quando sono coltivate in sistemi dove sono presenti infestanti aggressive o in agroecosistemi gestiti con un basso o nullo utilizzo di diserbanti. Altre specie consociate che non sono allelopatiche beneficiano indirettamente dell'“effetto diserbante”, ma bisogna sempre tenere in considerazione che la coltura da reddito non deve essere influenzata negativamente (Bialy et al., 1990; Han et al., 2008).

¹*L'allelopatia (detta anche competizione chimica, o antagonismo radiale) è un fenomeno che interviene molto frequentemente nella competizione interspecifica e intraspecifica tra le piante dell'agroecosistema, per cui una pianta rilascia nel terreno, a seguito del metabolismo della stessa, sostanze (per esempio metaboliti secondari) che inibiscono la crescita e lo sviluppo di piante concorrenti vicine. Tali sostanze si comportano perciò come fitotossine radicali.*

La ricerca negli anni '70 e nei primi anni 2000 ha in gran parte identificato allelopatia “positiva” in campo, e la ricerca negli ultimi 15-20 anni ha fatto grandi progressi nell'identificare i composti allelopatici responsabili così come i loro pathway di sintesi. Tuttavia, alcuni studi suggeriscono che nel selezionare piante con prestazioni agronomiche sempre superiori, possiamo aver selezionato indirettamente e inavvertitamente contro le proprietà allelopatiche. Può essere quindi utile valorizzare i programmi di miglioramento genetico che selezionano genotipi destinati alla consociazione e caratterizzati da effetti allelopatici associati, proprio come le brassicacee che sono impiegate per l'efficace biofumigazione².

Essudati radicali e comunità microbica

La consociazione può anche avere effetti tangibili sull'ecologia microbica e sulla sua diversità. Le interazioni microbiche associate alle piante si osservano sia nella fillosfera³ che nella rizosfera⁴. L'estensione completa dell'impatto sulle colture e sulla comunità microbica rimane sconosciuto, a causa della carenza di ricerca sul microbioma delle piante. L'estensione della variabilità del microbioma è esponenziale, ciò a causa delle molte combinazioni possibili di essudati radicali delle piante, dei tipi di suolo, delle condizioni climatiche e del microbioma locale.

²*La biofumigazione è un metodo di controllo dei parassiti in agricoltura, una variante della fumigazione in cui la sostanza attiva gassosa (fumigante) viene prodotta dalla decomposizione di materiale vegetale appena tritato e sepolto nel terreno per questo scopo.*

³*In microbiologia, la fillosfera è l'insieme di parti di piante situate sopra al livello del suolo e considerate come habitat per i microrganismi.*

⁴*La rizosfera è la porzione di suolo che circonda le radici delle piante; oltre alle radici sono presenti ulteriori componenti biotiche come microrganismi (batteri, funghi ecc...)*

Composizione della chioma

Le modifiche alla struttura epigea della pianta possono influenzare l'intercettazione della luce (interazione diretta). I cambiamenti della chioma possono a loro volta portare ad effetti indiretti attraverso variazioni della temperatura del suolo e dell'umidità, nonché della temperatura delle foglie (Eskandari e Kazemi, 2011).

Tuttavia, questi cambiamenti passivi del microclima, comprese le variazioni di temperatura, umidità del suolo e flussi d'aria (Ghanbari et al., 2010; Jurik and Van, 2004; Ong et al., 1991) possono anche provocare delle interazioni indirette come una diminuzione (o aumento) delle infezioni da agenti patogeni batterici e fungini (Sharaiha et al., 1989). Inoltre, una maggiore intercettazione della luce nelle piante consociate, a causa della maggiore copertura aerea, può ridurre la luce disponibile per le infestanti riducendo il loro impatto negativo (Bilalis et al., 2010).

3.3 INSIEME DI INTERAZIONI ATTIVE E PASSIVE

La disponibilità di acqua è il principale fattore responsabile del trasporto di nutrienti e influisce sulla capacità di una pianta di traspirare, assimilare il carbonio e sostenere la fotosintesi (Vandermeer, 1990). Di conseguenza, l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua e l'efficienza nell'intercettazione della radiazione luminosa sono strettamente collegate (Caviglia et al., 2004). Le interazioni tra la composizione della chioma e l'umidità del suolo, e la competizione per luce e acqua, sono un mix inseparabile di effetti attivi e passivi tra le colture consociate.

Le colture competono direttamente per l'umidità presente nel suolo (Mao et al., 2012; Zegada-Lizarazu et al., 2006) e la competizione tra le radici che avviene in fase iniziale di crescita può influenzare successivamente la capacità delle piante di catturare efficacemente la luce (Cahill, 1999). La consociazione può consentire un'intercettazione maggiore della luce per unità di superficie (Ghanbari et al., 2010; Gou et al., 2017; Wang et al., 2015). Tuttavia, la consociazione comporta anche un ombreggiamento passivo che influisce sull'intercettazione della luce, e quindi anche i tassi di traspirazione vengono influenzati (Mao et al., 2012; Mushagalusa et al., 2008). Questo a sua volta influenzerà il fabbisogno idrico e la competizione diretta per l'umidità del suolo (Mao et al., 2012; Zegada-Lizarazu et al., 2006). Inoltre, l'ombreggiatura passiva e una maggiore intercettazione della luce, in particolare un aumento dell'indice dell'area fogliare (LAI⁵),

possono alterare la disponibilità di acqua nel suolo (riduzione della sua temperatura e minore evaporazione) (Ghanbari et al., 2010; Hu et al., 2016a,b; Mushagalusa et al., 2008).

In uno studio biennale che combinava la consociazione con il *no-tillage* (terreno non lavorato) e la pacciamatura, si è osservato che la consociazione da sola è stata responsabile del 31% dell'incremento di umidità del suolo mentre si arrivava a valori del 57% se le tre pratiche allo studio venivano considerate insieme (Hu et al., 2016a,b). L'acqua non "persa" per evaporazione può tradursi in una maggiore disponibilità di acqua per le colture consociate (Hu et al., 2016a, b; Mushagalusa et al., 2008).

Per conciliare le implicazioni complessive della concorrenza al di sopra e al di sotto del suolo, Nathan et al. (2016) hanno sviluppato un modello che suggerisce che nei casi in cui l'acqua è il fattore limitante, la concorrenza a livello delle radici è predominante, quindi le specie che investono nello sviluppo radicale avranno più successo. Al contrario, quando l'acqua non è un fattore limitante, le specie che investono nello sviluppo di germogli e della chioma avranno più successo. Questo modello mette in luce uno dei principali vantaggi nel diversificare le colture consociandole: la riduzione del rischio di perdita del raccolto in condizioni ambientali avverse come la siccità. Le strategie di consociazione in condizioni di scarsità idrica dovrebbero concentrarsi sul massimizzare l'efficienza nell'uso dell'acqua e la produttività per unità di acqua, oltre a ridurre al minimo la competizione radicale. Di conseguenza, gli studi incentrati sulla dinamica dell'intercettazione della luce negli agroecosistemi con consociazione dovrebbero prestare attenzione alla competizione al di sotto del suolo, alla disponibilità di acqua e sull'utilizzo della stessa.

⁵*LAI (Leaf Area Index): l'indice di area fogliare è una misura della superficie foglie per unità per unità di superficie del suolo ed è un parametro essenziale per lo studio delle coperture forestali e agrarie.*

4. SERVIZI ECOSISTEMICI E BENEFICI ALL'AMBIENTE

4.1 SUOLO

La salute del suolo è il risultato di una complessa interazione tra le sue componenti fisiche, chimiche e biologiche (Zarea et al., 2009). La gestione del suolo e le pratiche agronomiche influenzano notevolmente le sue componenti "qualitative" (Suman et al., 2006). La pratica della consociazione è vista come un'alternativa più sostenibile rispetto alla monocoltura; comporta una migliore conservazione della salute del suolo, e in alcuni casi un incremento della sua "qualità" e fertilità (Chapagain e Riseman, 2014; Dyer et al., 2012; Oelbermann et al., 2015). Gli impatti positivi delle consociazioni sulle caratteristiche di qualità del suolo includono: l'aumento e il mantenimento della sostanza organica, la fissazione dell'azoto in presenza di leguminose, l'aumento della disponibilità di fosforo e la riduzione dell'erosione.

Nonostante l'importanza degli effetti della consociazione sulla qualità del suolo, sono stati condotti ancora pochi studi che integrano tutti e tre gli elementi che influenzano la salute del suolo. Il contenuto di carbonio e azoto svolge un ruolo fondamentale (Magdoff e Weil, 2004).

Cong et al. (2014) hanno studiato i livelli di carbonio organico (SOC) e azoto organico (SON) nel suolo comparando colture consociate e monocoltura. Le colture consociate hanno accumulato quantità più elevate di SOC e SON rispetto alle colture "singole" al termine del periodo di studio durato 7 anni. Il contenuto di carbonio nei primi 20 cm del profilo del suolo era aumentato del 4%, con un tasso medio di $184 \pm 86 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ dal 2003 al 2010, e del 3% nei primi 40 cm. Inoltre, la massa delle radici nei sistemi di consociazione a strisce è stata sostanzialmente maggiore (in media del 23%) di quanto ci si aspetterebbe se la massa delle radici per pianta fosse la stessa dei sistemi gestiti con monocoltura. Nel corso del tempo, i sistemi colturali basati sulla consociazione hanno sequestrato non solo più carbonio organico nel suolo, ma anche più azoto organico rispetto ai sistemi colturali basati sulle colture singole (+11% di stock di N nei primi 20 cm del suolo dopo 7 anni, equivalente a una divergenza tra gli stock di N tra consociazione e colture singole pari a $45 \pm 10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). Ross et al. (2004) hanno notato una riduzione delle concimazioni azotate nel terreno agricolo consociando tra loro trifoglio e cereali. Sharma e Banik (2015) hanno riferito che la consociazione di varie leguminose con

il mais ha migliorato la salute del suolo in termini di disponibilità di azoto, fosforo e potassio, carbonio organico, capacità di scambio cationico, presenza di enzimi nel suolo, respirazione microbica e carbonio da biomassa microbica.

Attività biologica del suolo

In molti studi sono stati documentati gli effetti benefici della consociazione sulle comunità microbiche del suolo (Acosta-Martínez et al., 2010; Marschner et al., 2002; Sharma and Banik, 2015) e le attività enzimatiche (Sharma and Banik, 2015; Xie et al., 2007; Zhang et al., 2007; Zhou et al., 2011). Ciò avviene a causa di un incremento nella quantità e nel tipo di essudati radicali che possono stimolare spostamenti specie-specifici delle comunità microbiche del suolo (Singh et al., 2007; Welbaum et al., 2004; Xu et al., 2009). Zhou et al. (2011) hanno riportato aumenti dell'attività enzimatica del suolo per ureasi, polifenolo ossidasi e catalasi nelle colture consociate. Gli autori hanno inoltre osservato che questo aumento dell'attività enzimatica, come indicatore di una maggiore attività microbica, non svanisce a fine stagione ma dura per un periodo prolungato, da due a tre stagioni successive.

Sostanza organica del suolo

Mantenere e/o incrementare la quantità di sostanza organica del suolo (SOM) è fondamentale per la sua salute e produttività (Schnitzer e Khan, 1975). Tuttavia, l'adozione di sistemi basati sulle monocolture di solito coincide con il rapido esaurimento della materia organica del suolo (Stavi e Lal, 2012). Gli effetti positivi della consociazione sulla SOM si manifestano dopo un'adozione relativamente a lungo termine. In alcuni studi sono stati riportati effetti benefici dell'*intercropping* sulla conservazione e/o il miglioramento della SOM (Chapagain e Riseman, 2014; Dyer et al., 2012; Oelbermann et al., 2015); l'ipotesi più fondata è che un utilizzo più efficace delle risorse e un incremento delle rese a parità di superficie (sia nel tempo che nello spazio) (Trenbath, 1976), porti alla produzione di più biomassa nei sistemi consociati (Miyazawa et al., 2014; Tilman et al., 2006). Ne segue un apporto maggiore di residui colturali e un aumento della SOM. Inoltre, se si produce più biomassa in superficie a causa di un migliore utilizzo delle risorse nei sistemi consociati, si prevede anche di produrre una maggiore biomassa nel suolo (Cong et al., 2015; Ghosh et al., 2006; Li et al., 2011; Yan et al., 2010).

A sostegno di questa ipotesi, in uno studio condotto da Chapagain e Riseman (2014) emerge come l'orzo e il pisello (*Pisum sativum*) consociati, hanno sequestrato più carbonio nel suolo rispetto alla coltivazione di solo orzo. Allo stesso modo, Dyer et al. (2012) hanno riportato un aumento della concentrazione di carbonio organico nel suolo, che è correlato alla SOM, nella consociazione di mais e soia rispetto alla coltivazione singola di entrambe le colture; risultati comparabili sono stati osservati da Oelbermann et al. (2015).

pH del suolo

Il pH del suolo influenza fortemente la biodisponibilità dei nutrienti tra cui il fosforo. Fino al 90% del fosforo applicato tramite fertilizzazione non è disponibile per le piante perché si lega nel terreno al ferro, all'alluminio e al calcio (Turan et al., 2006). Queste sostanze possiedono diverse capacità di legare il fosforo in funzione del pH del suolo. La possibilità di influenzare il pH del suolo nella rizosfera delle piante tramite la consociazione è una prospettiva interessante (Alkama et al., 2009; Betencourt et al., 2012; Latati et al., 2014).

Nella consociazione tra cereali e leguminose si prevede un'acidificazione della rizosfera causata dal rilascio di protoni da parte delle radici dei legumi che fissano N₂ (Alkama et al., 2009; Betencourt et al., 2012; Cu et al., 2005). Infatti, i legumi che fissano N₂ generalmente assorbono più cationi che anioni e quindi estrudono proporzionalmente più H⁺ rispetto agli OH⁻ nell'interfaccia radice-suolo, per compensare le cariche elettriche positive e la regolazione del pH nelle cellule vegetali (Tang et al., 1997).

Al contrario, l'alcalinizzazione del suolo può aumentare la disponibilità di fosforo in terreni non calcarei (Devau et al., 2011; Hinsinger et al., 2003). Latati et al. (2014) hanno osservato che nella consociazione tra fagioli e mais, il fagiolo ha aumentato la disponibilità complessiva di fosforo attraverso modificazioni del pH della rizosfera. Allo stesso modo, la consociazione con i cereali può migliorare la disponibilità di fosforo rizosferico attraverso l'alcalizzazione indotta dalla radice (Devau et al., 2010) e quindi, facilitare l'acquisizione del fosforo del legume consociato. La portata di questi effetti dipende dalle specie e dalle condizioni del suolo.

4.2 ACQUA

Runoff ed erosione

La consociazione può ridurre il fenomeno del ruscellamento dell'acqua diminuendo i fenomeni erosivi. Questi effetti possono essere attribuiti ad una maggiore quantità di copertura vegetale sulla superficie del suolo (Ali et al., 2007), ad apparati radicali più robusti (Laloy e Bielanders, 2008; Pinheiro et al., 2013) e a tassi di infiltrazione idrica migliori rispetto alla monocoltura (Rusinamhodzi et al., 2012; Thierfelder and Wall, 2009). Una migliore copertura del suolo può proteggere il terreno, oltre che dagli impatti diretti con gocce di pioggia, dall'erosione del vento forte (Chen et al., 2010).

Su terreni in pendenza, il deflusso dell'acqua è diminuito fino al 74% quando il mais è stato consociato con la patata rispetto alla coltivazione singola di mais. In questo caso, la riduzione della perdita di acqua per ruscellamento superficiale è stata attribuita principalmente al maggiore LAI e alla presenza di tuberi di patata (Fan et al., 2016).

Lisciviazione dell'azoto

Alti livelli di azoto minerale dopo il raccolto, assieme ad elevate precipitazioni e terreni permeabili, aumentano la possibilità di perdita di azoto per lisciviazione (Manevski et al., 2014). La consociazione riduce la di perdita di azoto per lisciviazione rispetto alle monocolture, migliorando quindi l'efficienza dell'uso dei fertilizzanti e riducendo l'inquinamento ambientale. Questo risultato è attribuito a un maggiore "accumulo" di azoto nella biomassa prodotta e quindi a minori quantità di azoto minerale residuo nel suolo a fine ciclo (Doltra e Olesen, 2013; Torstensson e Aronsson, 2000).

In particolare, la coltivazione di legumi è spesso associata alla lisciviazione di azoto in aree con elevate precipitazioni, ma la consociazione con graminacee riduce questo fenomeno (Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2001; Neumann et al., 2007). Neumann et al. (2007) hanno evidenziato una minore lisciviazione di azoto nel terreno consociando una leguminosa (*Pisum sativum* L.) con una graminacea (*Avena sativa* L.), ciò a causa della competizione a livello radicale che ha portato le radici a "esplorare" strati di terreno più profondi. Tuttavia, questi risultati non sono ancora comprovati e ben documentati. Hauggaard-Nielsen et al. (2003) hanno infatti rilevato solo una piccola riduzione della lisciviazione dei nitrati consociando orzo e pisello rispetto alle colture singole, e la differenza non era statisticamente o biologicamente significativa.

Whitmore e Schroeder (2007) hanno sviluppato un modello rappresentante la dinamica dell'azoto del suolo nei sistemi con consociazione. Il modello suggerisce che la semina di una graminacea tra le file di una coltura di mais può ridurre la concentrazione di nitrati nell'acqua di drenaggio del suolo durante l'inverno di 15 mg L⁻¹ rispetto a una coltura convenzionale e di oltre 20 mg L⁻¹ rispetto al terreno incolto. Le conclusioni dello studio hanno evidenziato come la consociazione può essere un mezzo utile per ridurre la contaminazione da nutrienti causata da un'eccessiva fertilizzazione. In accordo con questo modello, Manevski et al. (2014) hanno determinato sperimentalmente che nel mais consociato si ha una riduzione delle perdite di azoto variabile dal 15% al 37% rispetto al solo mais. Pappa et al. (2011) hanno valutato le emissioni di protossido d'azoto (N₂O) e la lisciviazione dei nitrati nella coltivazione di cereali in monocoltura o consociati con leguminose, riscontrando sempre una minore perdita di azoto nel secondo caso.

4.3 NUTRIENTI

È ormai ampiamente documentato che le risorse, tra cui l'acqua, la luce e i nutrienti, sono utilizzate in modo più efficiente nei sistemi consociati rispetto alle monocolture (Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2001; Inal et al., 2007; Li et al., 2004a, b; Zhang et al., 2008a, b). La complementarità tra due colture può essere temporale (esigenze nutritive in momenti diversi), oppure di tipo spaziale (differenze strutturali della chioma o delle radici) (Bedoussac and Justes, 2010). Una migliore acquisizione di nutrienti in presenza di consociazione può verificarsi a causa di una maggiore concentrazione di radici o di una esplorazione maggiore del profilo del suolo. Per esempio, Li et al. (2005) hanno riscontrato che le radici del frumento si sono "sparse" al di sotto delle piante di mais risultando con una maggiore densità a tutte le profondità analizzate, rispetto al frumento da solo.

I nutrienti che non sono disponibili dal punto di vista spaziale in monocoltura, possono diventare disponibili nei sistemi consociati. Ciò si verifica quando la consociazione favorisce il radicamento più profondo o più ampio, aumentando così l'accesso fisico ai nutrienti (Miyazawa et al., 2010). Infatti, le dinamiche di crescita della radice delle piante consociate possono differire da quelle delle piante coltivate "da sole", a causa dei diversi livelli di interazione e di competizione tra le radici (Wilson, 1988). La radicazione più profonda dei legumi è stata osservata quando è stata consociata con il mais (Dube et al., 2014). Tuttavia, alcune specie di piante hanno effetti negativi sulla crescita delle radici

delle colture “accompagnate”. Ad esempio, gli effetti negativi del frumento sulle radici di mais sono stati segnalati da Li et al. (2005) a causa di una maggiore aggressività degli apparati radicali del grano rispetto a quelli del mais.

Disponibilità di azoto

Attualmente, il vantaggio più riconosciuto, e forse il più facile da implementare, della consociazione si verifica quando i legumi vengono consociati con colture non leguminose. In questo sistema, la coltura non leguminosa beneficia della capacità dei legumi di fissare biologicamente l'azoto atmosferico. Ciò può ridurre la quantità di fertilizzanti azotati (Exner et al., 1999) e aumentare la sostenibilità dell'agroecosistema. La simbiosi con i rizobi, la nodulazione e la fissazione dell'azoto atmosferico dei legumi aumentano quando allevati con altre piante rispetto alla monocoltura (Li et al., 2003a,b; Neumann et al., 2007; Xiao et al., 2004).

Si ipotizza che parte dell'azoto fissato dalle radici dei legumi diventi disponibile per la coltura “compagna” sia tramite essudati radicali che tramite decadimento delle radici e dei noduli (Fustec et al., 2010). Tuttavia, due temi rimangono ancora aperti: (1) quale parte del fabbisogno di azoto di una coltura non leguminosa può essere fornita dalla leguminosa che la accompagna nella consociazione e (2) la via del trasferimento di azoto dalla leguminosa alla non leguminosa (Af Geijersstam e Martensson, 2006; Ikram et al., 1994; Li et al., 2009; Martins and Cruz, 1998).

4.4 ENTOMOFAUNA

La consociazione può essere effettuata anche tra specie molto differenti tra loro quali ad esempio specie erbacee e specie arboree. È il tipico esempio dei frutteti e dei vigneti inerbiti o nei quali si utilizzano colture di copertura.

Le cosiddette colture di copertura (*service crop* o *cover crop*), molto frequentemente utilizzate in sistemi con monocoltura, influenzano l'abbondanza e la biodiversità della fauna presente nel suolo (Coll et al., 2009). Rahman et al. (2009) hanno osservato che la vegetazione permanente incrementa la presenza di “nematodi benefici”, cioè le “popolazioni libere viventi”, e tende a diminuire le popolazioni parassite. Le colture di copertura e la ridotta lavorazione del suolo contribuiscono a mantenere livelli trofici più elevati nei suoli (Sánchez-Moreno et al., 2009). Inoltre, rispetto a suoli lavorati,

l'introduzione di colture di copertura e di pacciamature ha un impatto positivo sull'attività e sul numero di lombrichi presenti (Coll et al., 2011; Peigné et al., 2009; Vrsic, 2011). Schreck et al. (2012) ha anche sottolineato che il diserbo chimico può favorire l'abbondanza complessiva dei lombrichi (in suoli non perturbati) ma può anche diminuire il numero di popolazioni specifiche (vermi epianecici o lombrico comune) e causare stress da tossicità, disfunzioni cellulari o apoptosi per i lombrichi.

Le colture di copertura possono anche favorire lo sviluppo di micorrize arbuscolari che possono formare una simbiosi mutualistica con molte piante, tra cui la vite (Cheng e Baum-Gartner, 2006), e possono avere un impatto positivo sulla biomassa micro-biologica e sull'attività biologica del suolo (Ingels et al., 2005; Steenwerth e Belina, 2008a, b). Le "colture di servizio" possono favorire l'abbondanza e l'attività di microrganismi nei terreni contaminati dal rame (situazione comune nei vigneti in regime biologico) incrementando la materia organica del suolo (Mackie et al., 2014). Tuttavia, in alcuni casi le colture di copertura possono favorire l'immobilizzazione dell'azoto inorganico a causa della domanda da parte dei microrganismi (Peregrina et al., 2012; Thorup-Kristensen et al., 2003).

Smallwood (1996) ha riscontrato la presenza di diverse specie di vertebrati predatori in sistemi consociati con *cover crop*, che potrebbero aiutare a controllare le popolazioni di parassiti vertebrati, mantenendo i loro danni ad un livello economicamente accettabile. Gurr et al. (2003) sottolineano che molti uccelli e piccoli mammiferi usano i margini dei campi erbosi per vivere e trovare risorse alimentari. Nella ricerca scientifica sulla biodiversità e sulla sua conservazione, le pratiche come l'inerbimento o la coltivazione di specifiche *cover crop* sembrano essere la soluzione più efficace per fornire fonti di cibo alla fauna selvatica durante il periodo invernale (Kinross et al., 2002).

5. CONSOCIAZIONE IN VIGNETO

5.1 EFFETTI SULLA RESA

Mercenaro et al. (2014) hanno fornito utili indicazioni sulla gestione sostenibile dei vigneti gestiti in irriguo in una regione dal clima caldo e secco. Hanno infatti condotto uno studio quinquennale nella Sardegna nord-occidentale, in un vigneto di Carignano di 8 anni di età. Per valutare le interazioni tra vite, coltura di copertura e impatto economico, la lavorazione del terreno (T1) è stata confrontata con 4 trattamenti interfilari: copertura naturale (T2), complessa miscela commerciale graminacee-leguminose (T3), semplice miscela sperimentale graminacee-leguminose (T4) e copertura perenne con *Dactylis glomerata* (cultivar Currie) (T5).

Tabella 1. Valori medi di resa della vite in relazione all'annata e al trattamento di consociazione. * = significatività con $p < 0,05$. Fonte: Mercenaro et al. (2014) modificata.

PARAMETRI	ANNO	TRATTAMENTO					P
		T1	T2	T3	T4	T5	
Legno di potatura (Kg)	2006	1.09a	0.83b	0.89b	0.65c	0.81b	*
	2007	1.09a	1.04a	0.95a	0.92b	0.85b	*
	2008	0.92a	0.81ab	0.80ab	0.87ab	0.71b	*
	2009	1.01	1.08	0.94	1	0.92	ns
	2010	0.94a	0.91a	0.78b	1.02a	0.66b	*
RAVAZ INDEX (Kg resa / Kg legno di potatura)	2006	3.9b	6a	5.2a	6.20a	5.7a	*
	2007	3.7b	4.5ab	3.8b	3.76b	5.3a	*
	2008	4.6b	6.5a	5.7ab	4.72b	7.1a	*
	2009	4.9	5.5	5.64	4.08	5.4	ns
	2010	4.5b	6.1ab	5.8ab	4.0b	7.5a	*

La diminuzione del peso del legno di potatura osservato nelle viti con copertura di erba perenne nell'interfila, è stato determinato principalmente dal peso medio inferiore dei loro germogli, suggerendo un diametro ridotto dei tralci. Questo risultato, come precedentemente riportato da altri autori (Colugnati et al., 2003), ha confermato che le specie perenni competono maggiormente rispetto ad altre specie, soprattutto per quanto

riguarda l'acqua. Inoltre, la competizione durante la stagione estiva per l'acqua tra le erbe e le viti dipende non solo dalla specie, ma anche dalle cultivar. Volaire e Lelievre (2010) hanno concluso che la migliore consociazione corrispondeva alla cultivar meno competitiva: *D. glomerata* cv. Kasbah, a causa della sua bassa produzione di biomassa e completa dormienza estiva. Al contrario, *Festuca arundinacea* cv. Centurion era la più competitiva a causa del suo profondo sistema radicale e della dormienza estiva incompleta. I vigneti in cui era presente *D. glomerata* hanno evidenziato un rapporto tra la produzione di uva per vite e il peso del legno potato (indice di Ravaz) pari ad un valore compreso tra 5,04 e 7,50; ottimale secondo la letteratura per un corretto bilancio tra vigoria e produzione per l'equilibrio della vite. In T1 un indice inferiore di equilibrio vegeto-produttivo è stato registrato per l'intero periodo di 5 anni, indice di uno squilibrio dovuto alla maggior vigoria del vigneto. Dal terzo anno si è verificato un ulteriore fenomeno da segnalare, ovvero la sostituzione delle leguminose da parte delle graminacee, soprattutto ad opera di *D. glomerata*, che negli ultimi due anni è diventata praticamente l'unica pianta a crescere nelle parcelle. Questa evoluzione ha chiaramente dimostrato le risposte agronomiche osservate sulle viti negli ultimi 2 anni di esperimento, confermando la maggiore capacità di competizione delle erbe perenni.

Questi risultati sono in accordo con gli studi di Colugnati et al. (2004) che hanno riportato la notevole aggressività del *D. glomerata* utilizzata per la copertura in vigneto, suggerendo di evitare di usarla in copertura totale e in combinazione con altre specie, in quanto tende a prevalere nel corso degli anni. Nello studio di Mercenaro et al. (2014), l'accresciuta competizione idrica esercitata da *D. glomerata* ha certamente influenzato alcune componenti della pianta ma non la riproduzione. Infatti, il peso del grappolo e delle bacche non è mai variato a seconda del trattamento.

Dittrich et al. (2021) hanno indagato sugli effetti della consociazione della vite con le piante aromatiche. Le piante aromatiche non sono ancora state considerate come opzione tra le possibili pratiche di consociazione in vigneto, anche se alcuni tratti caratteristici (ad esempio: piante perenni, a crescita "piatta", ombra tolleranti e adattate a condizioni pedoclimatiche con forti caldi e scarse precipitazioni) e la crescente domanda economica di prodotti derivati da piante aromatiche, le rende adatte alla possibilità sia di rendimenti a breve termine sia di benefici ambientali (EIP-AGRI Focus Group Plant-based medicinal and cosmetic products, 2020). Come la vite, le piante aromatiche sono

responsabili della sintesi di notevoli quantità di metaboliti secondari (in risposta allo stress abiotico e biotico) e i materiali vegetali raccolti, sia grezzi che trasformati, forniscono varie possibilità di applicazione nelle industrie alimentari, farmaceutiche e cosmetiche (EIP-AGRI Focus Group Plant-based medicinal and cosmetic products, 2020; Rao et al., 2025) e possono fungere da agenti fitosanitari (Campos et al., 2019). Alcune specie di piante aromatiche sono anche in grado di tollerare condizioni ambientali avverse e possono essere adatte alla coltivazione su terreni “marginali” (cioè contaminati, erosi e carenti di umidità) (Rao et al. 2012; Pandey et al. 2019). Queste caratteristiche ben si applicano a diversi tipi di viticoltura attualmente presenti in tutto il mondo, in quanto si trovano spesso su pendii medio-ripidi, dove una gestione intensiva ha portato a una grave erosione e degradamento in termini di salute dei suoli (ad esempio, con fungicidi a base di rame) (Costantini et al. 2018; Komárek et al. 2010; Ballabio et al. 2018). L’interfilare è quindi una possibile zona di produzione preziosa, dove la coltivazione permanente di “colture aggiuntive commerciabili” e la concomitante riduzione della lavorazione dei terreni possono avere profondi effetti sulla produttività complessiva del vigneto, fornire servizi ecosistemici e aumentare la biodiversità al di sopra e al di sotto del suolo.

Nello specifico, la prova condotta da Dittrich et al. (2021) ha confrontato:

- Controllo (*Vitis vinifera* L. cv. ‘Riesling’)
- Origano (*Vitis vinifera* L. cv. ‘Riesling’ consociate con *Origanum vulgare*)
- Timo (*Vitis vinifera* L. cv. ‘Riesling’ consociate con *Thymus vulgaris*).

Una densità d’impianto pari a quattro (origano) e cinque (timo) piantine tra due viti è stato scelto per ottenere una corretta copertura del suolo ai fini dell’esperimento.

Lo studio ha concluso che la variabilità climatica tra gli anni è stato il fattore più importante che ha determinato i rendimenti, ed eventi meteorologici estremi possono indurre una significativa riduzione della produttività. Inoltre, sono state osservate perdite di rendimento non significative nelle viti consociate. Per quanto riguarda la competizione per l’acqua, il timo sembra essere meno competitivo a causa di una data di raccolta più precoce e di una inferiore richiesta di acqua durante il ciclo colturale. Generalmente, la competizione per l’acqua sarà meno pronunciata in terreni con una maggiore capacità di campo. L’irrigazione è un’opzione per ridurre la concorrenza tra viti e piante aromatiche e quindi garantire la produttività del vigneto a lungo termine.

Tabella 2. Valori medi di resa della vite (\pm deviazione standard) in relazione all'annata e al trattamento di consociazione. La riga totale considera tutte le osservazioni del rispettivo anno. I numeri seguiti da lettere maiuscole indicano differenze significative tra gli anni, mentre i numeri seguiti da lettere minuscole indicano differenze significative entro un anno tra i trattamenti sperimentali. Significatività con $p < 0,05$. Fonte: Dittrich et al. (2021) modificata.

PARAMETRI	ANNO	TRATTAMENTO			
		CONTROLLO	ORIGANO	TIMO	TOTALE
RESA (Kg/pianta)	2018	1.6 (± 0.5)a	1.8 (± 0.4)a	1.4 (± 0.4)a	1.6 (± 0.5)A
	2019	1.2 (± 0.3)a	1.3 (± 0.4)a	1.4 (± 0.7)a	1.3 (± 0.5)A
	2020	1.8 (± 0.9)a	1.3 (± 0.6)a	1.6 (± 1.0)a	1.6 (± 0.8)A
RESA (kg/ettaro)	2018	6632 (± 327)a	7113 (± 802)a	6501 (± 297)a	6749 (± 536)A
	2019	5059 (± 1108)a	5329 (± 244)a	5791 (± 498)a	5393 (± 698)B
	2020	7249 (± 1105)a	5952 (± 1236)a	7501 (± 426)a	6901 (± 1118)A

Nei siti soggetti a erosione, i tempi di semina della specie consociata devono essere attentamente tenuti in considerazione (preferibilmente quando il terreno è umido, per una migliore infiltrazione e un rapido sviluppo iniziale delle piantine). Sono inoltre auspicabili studi sugli effetti a lungo termine dell'intercropping sulla crescita della vite.

5.2 EFFETTI SULLA QUALITA'

Alcuni autori (Afonso et al., 2003, Ingels et al., 2005, Tesic et al., 2007) hanno dimostrato che la diversa gestione del suolo non influenza in maniera tangibile la qualità dei mosti, suggerendo che l'effetto dei trattamenti del suolo sulla composizione dei frutti è minore rispetto a quelli sulle rese.

L'unica variazione riscontrata tra i parametri qualitativi della bacca è stato un aumento della quantità di antociani totali. Ciò è stato attribuito ad un migliore microclima in termini

di luce solare. Un incremento simile è stato notato anche da Smart et al. (1988), Spayd et al. (2002) e Fernandes de Oliveira e Nieddu (2013).

Concentrandosi sulla composizione delle bacche, nessun parametro ha mostrato differenze statistiche significative ad eccezione delle antocianine totali (Tabella 3).

Dittrich et al. (2021) hanno rilevato che la concorrenza interspecifica non è necessariamente dannosa, ma anzi sono stati riscontrati effetti benefici sulla qualità del mosto dovuti alla consociazione con piante aromatiche. Soprattutto in presenza di elevati regimi di umidità durante l'invaiaitura, la competizione aggiuntiva e l'assorbimento di nutrienti da parte delle colture erbacee consociate possono migliorare la qualità finale del mosto e del vino.

Tabella 3. Valori medi del contenuto di antociani nelle uve, espresso in mg/l, in relazione all'annata e al tipo di trattamento consociativo. * = significatività con $p < 0,05$. Fonte: Mercenaro et al. (2014) modificata

PARAMETRI	ANNO	TRATTAMENTO					P
		T1	T2	T3	T4	T5	
ANTOCIANI TOTALI (mg/l)	2006	-	-	-	-	-	-
	2007	288.1b	266.5b	340.5ab	461.7a	462.5a	*
	2008	577.4b	698.4ab	626.4ab	543.9b	715.5a	*
	2009	306.7b	300.2b	262.7b	261.5c	390.7a	*
	2010	497.8	542.3	452.3	420.2	547.6	ns

Come è possibile notare dai dati riportati in tabella 4, le differenze maggiori tra i parametri monitorati sono in larga parte da attribuire all'annata piuttosto che al trattamento applicato. Le caratteristiche della stagione (come le temperature medie diurne e notturne, la quantità delle precipitazioni e il periodo in cui si sono verificate, ecc...) hanno un impatto notevolmente maggiore sullo sviluppo e la maturazione delle bacche, ciò rende difficile uno studio nel lungo periodo riguardante l'impatto delle colture consociate alla vite sulle caratteristiche qualitative dell'uva.

In generale comunque è possibile affermare che una diminuzione delle rese dovuta alla competizione per l'acqua con le colture consociate, può portare ad un incremento in alcuni parametri qualitativi dell'uva come l'acidità totale, la concentrazione totale di solidi solubili e a pH più bassi.

Tabella 4. Valori medi di resa per pianta (in termini di numero di grappoli prodotti e peso medio del grappolo) e di caratteristiche chimiche associate alla qualità del mosto (pH, acidità titolabile e concentrazione di solidi solubili) (\pm deviazione standard). Le lettere maiuscole indicano differenze significative tra gli anni, le lettere minuscole indicano differenze significative nello stesso anno tra i diversi trattamenti, significatività con $p < 0,05$. Fonte: Dittrich et al. (2021) modificata

PARAMETRI	ANNO	TRATTAMENTO			
		CONTROLLO	ORIGANO	TIMO	TOTALE
GRAPPOLI PRODOTTI (N°/pianta)	2018	22.2 (± 5.3)a	22.4 (± 3.7)a	18.1 (± 4.2)a	20.9 (± 4.8)AB
	2019	23.7 (± 5.2)a	25.1 (± 7.0)a	24.7 (± 5.9)a	24.5 (± 5.8)A
	2020	20.0 (± 5.2)a	13.5 (± 6.7)a	19.6 (± 9.9)a	18.2 (± 7.8)B
PESO GRAPPOLI (g)	2018	89 (± 22)a	96 (± 23)a	96 (± 15)a	94 (± 20)B
	2019	77 (± 22)a	72 (± 21)a	75 (± 21)a	75 (± 21)C
	2020	107 (± 36)a	114 (± 18)a	112 (± 41)a	111 (± 32)A
pH MOSTO	2018	2.8 (± 0.06)a	2.9 (± 0.05)a	2.9 (± 0.04)a	2.9 (± 0.05)C
	2019	3.3 (± 0.20)a	3.2 (± 0.05)a	3.2 (± 0.04)a	3.3 (± 0.12)A
	2020	3.1 (± 0.10)a	3.1 (± 0.09)a	3.2 (± 0.11)a	3.2 (± 0.10)B
ACIDITA' TITOLABILE (g/l)	2018	9.3 (± 0.7)a	9.0 (± 0.6)a	8.6 (± 0.5)a	9.0 (± 0.7)A
	2019	7.3 (± 0.2)b	8.0 (± 0.4)a	8.0 (± 0.4)a	7.8 (± 0.5)B
	2020	9.5 (± 1.9)a	8.7 (± 0.7)a	9.4 (± 1.3)a	9.2 (± 1.4)A
TSS (°Brix)	2018	20.9 (± 1.7)a	21.7 (± 1.1)a	21.5 (± 1.2)a	21.4 (± 1.3)A
	2019	22.2 (± 1.2)a	22.3 (± 2.2)a	21.9 (± 0.9)a	22.1 (± 1.5)A
	2020	18.7 (± 1.2)a	20.1 (± 2.2)a	19.2 (± 1.0)a	19.3 (± 1.6)B

Guerra et al. (2012) hanno valutato l'impatto delle colture di copertura nel lungo periodo sulle caratteristiche qualitative dei mosti. In generale, l'effetto delle *cover crop* sulla qualità dei mosti si manifesta a causa della competizione per l'acqua e per i nutrienti

tra la vite e le colture consociate. Uno studio svolto nell'area viticola di Bordeaux ha riscontrato un incremento nella quantità di solidi solubili e composti fenolici, assieme ad una diminuzione dell'acidità titolabile e del pH (Carsouille 1995). Uno studio condotto da Nazrala et al. (2008) ha osservato un aumento dell'acidità titolabile e contemporaneamente una diminuzione del pH nelle viti in cui era presente una copertura vegetale perenne rispetto al suolo lavorato; la possibile spiegazione a questo risultato è stata data alla riduzione della radiazione riflessa dal terreno (170 vs $370 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e alla minore temperatura massima media raggiunta nella chioma (26.7 vs $30.8 \text{ } ^\circ\text{C}$), che ha comportato una minore degradazione dell'acido malico nei grappoli. Un altro effetto della copertura vegetale permanente in vigneto è un incremento di tannini e antociani, sia nei mosti che nei vini (Agulhon 1998, Bourde et al. 1999, Morlat and Jacquet 2003, Wheeler et al. 2005, Nazrala 2008).

5.3 EFETTI SULL'AGROECOSISTEMA VIGNETO

Sebbene i sistemi agroforestali dei vigneti siano ancora relativamente rari, la letteratura esistente ha dimostrato che gli alberi svolgono un ruolo positivo nella gestione degli insetti nocivi. La biodiversità della vegetazione boschiva può avere un'influenza sui vigneti sia sotto forma di biodiversità circostante (ad es. foreste o zone di riparo adiacenti), sia sotto forma di biodiversità pianificata (i.e. l'incorporazione intenzionale di alberi nei vigneti stessi attraverso l'agrosilvicoltura) (Altieri et al., 2005). In entrambi i casi, l'effetto risultante è un aumento della biodiversità associata (es. predatori e parassitoidi), che aiuta a regolare i parassiti dei vigneti e a mantenere l'agro-ecosistema "in equilibrio".

Wilson et al. (2017a) hanno confrontato i vigneti con diversi gradienti di diversità paesaggistica e hanno scoperto che i vigneti che avevano una percentuale più alta di "habitat naturale" ("costituiti o ripari o aree boschive di querce") entro un raggio di $0,5$ km sono stati associati a un maggiore controllo biologico della cicalina della vite occidentale, *Erythroneura elegantula*, a causa della maggiore presenza dei parassitoidi naturali *Anagrus erythroneurae* e *Anagrus daanei*. In questo studio, i ricercatori hanno riportato che la vicinanza dei vigneti agli alberi circostanti era un prerequisito ancora più importante per il controllo degli insetti nocivi rispetto alla presenza di colture di copertura in fiore all'interno dei vigneti stessi.

Questi risultati sottolineano l'importanza della presenza di vegetazione perenne nel contesto di un'agricoltura sostenibile e come strumento di miglioramento della resilienza nei vigneti. In un altro studio, Kido et al. (1984) hanno notato come gli alberi di prugna francese (*Prunus domestica* L.) che circondavano i vigneti, fungevano da habitat per lo svernamento di importanti nemici naturali delle cicaline, le vespe parassite del genere *Anagrus*; ciò ha portato a tassi di parassitismo potenziati e conseguente controllo biologico di *E. elegantula* Osborn nei vigneti. Questo fenomeno è stato osservato anche da altri ricercatori (Corbett e Rosenheim 1996; Murphy et al. 1996). I ricercatori ipotizzano che il controllo biologico di *E. elegantula* Osborn osservato in questi vigneti era dovuto alla capacità degli alberi di fungere da siti di svernamento, che ha permesso alle popolazioni di *Anagrus*, all'inizio della stagione, di proliferare prima di *E. elegantula* Osborn. Un altro effetto positivo nel controllo dei parassiti è anche la capacità degli alberi di fornire un effetto frangivento, che ha aiutato gli insetti *Anagrus* a colonizzare i vigneti con un tasso più elevato.

Altieri e Nicholls (2002) hanno confrontato 30 sistemi agroforestali a vigneto (costituiti da viti consociate in varie modalità con *Quercus lusitanica*, *Ulmus* sp., *Populus* sp., e *Prunus* sp.) a 20 vigneti in monocoltura nella regione del Minho in Portogallo osservando maggiore diversità (in termini di numero di specie di insetti) nei sistemi agroforestali rispetto ai vigneti in monocoltura, con un incremento nella presenza sia di insetti parassiti che di insetti predatori (parassitoidi). Di conseguenza, i sistemi agroforestali a vigneto avevano anche tassi più elevati di parassitismo.

L'agrosilvicoltura può anche promuovere il controllo degli insetti nei vigneti fornendo habitat per gli animali insettivori come i pipistrelli. Baroja et al. (2019) hanno scoperto che il pipistrello *Rhinolophus hipposideros* controllava efficacemente *Lobesia botrana*, *Sparganothis pilleriana* e *Drosophila suzukii*, insieme ad altri 52 insetti nocivi, nei vigneti della regione vinicola della Rioja in Spagna. Un altro studio (Baroja et al., 2019) ha esaminato l'influenza dei pipistrelli sulla lotta contro i parassiti nei vigneti, impedendo l'ingresso di pipistrelli nei vigneti durante la notte, e quindi confrontando i danni dei parassiti in questi vigneti rispetto ai danni da parassiti nei vigneti di controllo. I ricercatori hanno scoperto che i pipistrelli effettuano un controllo significativo dei parassiti nei vigneti, abbastanza da riscontrare una diminuzione pari al 7% nelle perdite del raccolto causate da insetti nei vigneti dove erano presenti i pipistrelli.

Nonostante le prove che dimostrano gli effetti positivi dell'agrosilvicoltura sul controllo degli insetti nei vigneti, altri studi hanno dimostrato che i frangivento possono aumentare la concentrazione di insetti nocivi nelle zone sottovento, a causa del fatto che gli insetti "volanti" preferiscono stabilirsi in aree dove le velocità del vento sono inferiori alla loro velocità di volo (Pasek, 1988). Le stesse condizioni favorevoli che consentono la proliferazione di insetti predatori benefici - come riparo, diversità vegetazionale, abbondanti fonti di cibo e alterazioni microclimatiche - consentono anche la proliferazione di parassiti (Altieri e Nicholls, 2008). Tuttavia, sembra che, poiché l'aumento degli insetti nocivi è accompagnato da un aumento dei predatori di insetti insieme ad altri fattori che regolano i parassiti, i sistemi agroforestali dei vigneti raggiungono un equilibrio auto-regolandosi, e i benefici di incorporare gli alberi sembrano superare i loro svantaggi (Altieri e Nicholls, 2008).

6. CONCLUSIONI

Diversificare i sistemi di coltivazione attraverso le tecniche di consociazione può fornire benefici ecologici ed economici significativi e quindi migliorare la sostenibilità dell'agricoltura moderna. Tuttavia, le complessità di gestione associate ai sistemi di *intercropping* devono essere minimizzate per incoraggiare l'adozione diffusa da parte dei soggetti interessati.

Rispetto ai sistemi in monocoltura, la diversificazione delle colture mediante consociazioni può comportare alcuni costi economici a breve termine per l'agricoltore, costi che però vanno visti come investimenti di cui è possibile rientrare grazie ad una maggiore stabilità dei rendimenti e della redditività a lungo termine.

Le interazioni attive e passive tra le specie possono stimolare risposte fisiologiche uniche nei sistemi di coltivazione diversificati. La ricerca può migliorare la comprensione e la gestione di questi sistemi continuando a esplorare i meccanismi di base, identificando ulteriormente il ruolo del microbioma della pianta e progettando studi olistici e a lungo termine, con l'obiettivo ultimo di diminuire il più possibile l'impatto ambientale dell'agricoltura sulla terra, incrementando le rese a parità di superficie e allo stesso tempo minimizzando gli input esterni di fertilizzanti di sintesi, pesticidi, fungicidi ed erbicidi.

Bibliografia

- Abrams, P. A. (1987). On classifying interactions between populations. *Oecologia*, 73, 272-281.
- Acosta-Martínez, V., Burow, G., Zobeck, T. M., & Allen, V. G. (2010). Soil microbial communities and function in alternative systems to continuous cotton. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), 1181-1192.
- Af Geijersstam, L., & Mårtensson, A. (2006). Nitrogen fixation and residual effects of field pea intercropped with oats. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 56(3), 186-196.
- Agegehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of agronomy*, 25(3), 202-207.
- Agulbon, O. (1998). Enherbement permanent, ENM et mulch, comparés à la non culture: Incidences oenologiques. *Phytoma, la défense des végétaux*, (511), 46-48.
- Al-Azad, M. A. K., & Alam, M. J. (2004). Popularizing of sugarcane based intercropping systems in non mill-zone [Bangladesh]. *Journal of Agronomy (Pakistan)*.
- Afonso, J. M., Monteiro, A. M., Lopes, C. M., & Lourenço, J. (2003). Enrelvamento do solo em vinha na região dos vinhos verdes. Três anos de estudo na casta Alvarinho. *Ciência e Técnica Vitivinícola*.
- Alkama, N., Bolou, E. B. B., Vailhe, H., Roger, L., Ounane, S. M., & Drevon, J. J. (2009). Genotypic variability in P use efficiency for symbiotic nitrogen fixation is associated with variation of proton efflux in cowpea rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1814-1823.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2002). The simplification of traditional vineyard based agroforests in northwestern Portugal: some ecological implications. *Agroforestry Systems*, 56, 185-191.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2008). Ecologically based pest management in agroforestry systems. *Ecological Basis of Agroforestry*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Altieri, M. A., Ponti, L., & Nicholls, C. I. (2005). Manipulating vineyard biodiversity for improved insect pest management: case studies from northern California. *The International Journal of Biodiversity Science and Management*, 1(4), 191-203.
- Andrews, D. J., & Kassam, A. H. (1976). The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. *Multiple cropping*, 27, 1-10.
- Anders, M. M., Potdar, M. V., & Francis, C. S. (1995). Significance of intercropping in cropping systems. *Series on International Agricultural Research*, 3, 1-18.
- Baker, H. G. (1978). *Plants and civilization*.
- Ballabio, C., Panagos, P., Lugato, E., Huang, J. H., Orgiazzi, A., Jones, A., ... & Montanarella, L. (2018). Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey. *Science of the Total Environment*, 636, 282-298.

- Baroja, U., Garin, I., Aihartza, J., Arrizabalaga-Escudero, A., Vallejo, N., Aldasoro, M., & Goiti, U. (2019). Pest consumption in a vineyard system by the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*). *PLoS One*, 14(7), e0219265.
- Barry, T. N. (2013). The feeding value of forage brassica plants for grazing ruminant livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 181(1-4), 15-25.
- Bedoussac, L., & Justes, E. (2010). Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and soil*, 330, 37-54.
- Betencourt, E., Duputel, M., Colomb, B., Desclaux, D., & Hinsinger, P. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil biology and Biochemistry*, 46, 181-190.
- Biabani, A., Hashemi, M., & Herbert, S. J. (2012). Agronomic performance of two intercropped soybean cultivars. *International Journal of Plant Production*, 2(3), 215-222.
- Bialy, Z., Oleszek, W., Lewis, J., & Fenwick, G. R. (1990). Allelopathic potential of glucosinolates (mustard oil glycosides) and their degradation products against wheat. *Plant and Soil*, 129, 277-281.
- Bilalis, D., Papastylianou, P., Konstantas, A., Patsiali, S., Karkanis, A., & Efthimiadou, A. (2010). Weed-suppressive effects of maize–legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management*, 56(2), 173-181.
- Bourde, L., Bagard, A., Salva, G., Uscidda, N., Vallee, D., & Lavergne, C. (1999). Intérêt de l'enherbement naturel maîtrisé et influence d'une concurrence limitée de l'herbe sur la production et la qualité des vins. *Revue française d'oenologie*, (179), 16-19.
- Bouws, H., & Finckh, M. R. (2008). Effects of strip intercropping of potatoes with non-hosts on late blight severity and tuber yield in organic production. *Plant Pathology*, 57(5), 916-927.
- Caballero, R., Goicoechea, E. L., & Hernaiz, P. J. (1995). Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field crops research*, 41(2), 135-140.
- Caballero, R., Rebolé, A., Barro, C., Alzueta, C., Trevino, J., & Garcia, C. (1996). Farming practices and chemical bases for a proposed quality standard of vetch-cereal hays. *Field Crops Research*, 47(2-3), 181-189.
- Cahill Jr, J. F. (1999). Fertilization effects on interactions between above-and belowground competition in an old field. *Ecology*, 80(2), 466-480.
- Campos, E. V., Proença, P. L., Oliveira, J. L., Bakshi, M., Abhilash, P. C., & Fraceto, L. F. (2019). Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators*, 105, 483-495.
- Castle, R. L. (1906). *Book of Market Gardening (Vol. 27)*. John Lane.
- Caviglia, O. P., Sadras, V. O., & Andrade, F. H. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Research*, 87(2-3), 117-129.

- Chapagain, T., & Riseman, A. (2014). Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166, 18-25.
- Cheema, Z., Khaliq, A., 2000. Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79, 105–112.
- Chen, C., Westcott, M., Neill, K., Wichman, D., & Knox, M. (2004). Row configuration and nitrogen application for barley–pea intercropping in Montana. *Agronomy Journal*, 96(6), 1730-1738.
- Chen, Z., Cui, H., Wu, P., Zhao, Y., & Sun, Y. (2010). Study on the optimal intercropping width to control wind erosion in North China. *Soil and Tillage Research*, 110(2), 230-235.
- Cheng, X., & Baumgartner, K. (2006). Effects of mycorrhizal roots and extraradical hyphae on 15N uptake from vineyard cover crop litter and the soil microbial community. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2665-2675.
- Chetty, C. R., & Reddy, M. N. (1984). Analysis of intercrop experiments in dryland agriculture. *Experimental Agriculture*, 20(1), 31-40.
- Chou, C. H., & Lin, H. J. (1976). Autointoxication mechanism of *Oryza sativa* L. Phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. *Journal of Chemical Ecology*, 2(3), 353-367.
- Cimmino, A., Fernández-Aparicio, M., Avolio, F., Yoneyama, K., Rubiales, D., & Evidente, A. (2015). Ryecyanatines A and B and ryecarbonitrilines A and B, substituted cyanatophenol, cyanatobenzo [1, 3] dioxole, and benzo [1, 3] dioxolecarbonitriles from rye (*Secale cereale* L.) root exudates: Novel metabolites with allelopathic activity on *Orobanche* seed germination and radicle growth. *Phytochemistry*, 109, 57-65.
- Coll, P., Arnal, D., Blanchart, E., Hinsinger, P., Cadre, E. L., Souche, G., & Villenave, C. (2009). Viticultural soils quality: benefits of permanent grass cover on soil chemical characteristics and soil biological indicators. *Progrès Agricole et Viticole*, 126(22), 527-531.
- Coll, P., Le Cadre, E., Blanchart, E., Hinsinger, P., & Villenave, C. (2011). Organic viticulture and soil quality: A long-term study in Southern France. *Applied Soil Ecology*, 50, 37-44.
- Colugnati, G. (2003). Comportamento di diverse essenze per l'inerbimento del vigneto. *INFORMATORE AGRARIO*, 59(13), 55-60.
- Cong, W. F., Hoffland, E., Li, L., Janssen, B. H., & van der Werf, W. (2015). Intercropping affects the rate of decomposition of soil organic matter and root litter. *Plant and Soil*, 391, 399-411.
- Cong, W. F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Sun, J. H., Bao, X. G., ... & Van Der Werf, W. (2014). Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global change biology*, 21(4), 1715-1726.
- Corbett, A. N. D. R. E. W., & Rosenheim, J. A. (1996). Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology*, 21(2), 155-164.
- Costantini, E. A., Castaldini, M., Diago, M. P., Giffard, B., Lagomarsino, A., Schroers, H. J., ... & Zombardo, A. (2018). Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil

functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards. *Journal of environmental management*, 223, 614-624.

Cowell, L. E., Bremer, E., & Kessel, C. V. (1989). Yield and N₂ fixation of pea and lentil as affected by intercropping and N application. *Canadian Journal of Soil Science*, 69(2), 243-251.

Crusciol, C. A. C., Mateus, G. P., Nascente, A. S., Martins, P. O., Borghi, E., & Pariz, C. M. (2012). An innovative crop–forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. *Agronomy journal*, 104(4), 1085-1095.

Crusciol, C. A. C., Nascente, A. S., Mateus, G. P., Borghi, E., Leles, E. P., & Santos, N. D. (2013). Effect of intercropping on yields of corn with different relative maturities and palisadegrass. *Agronomy Journal*, 105(3), 599-606.

Cu, S. T., Hutson, J., & Schuller, K. A. (2005). Mixed culture of wheat (*Triticum aestivum* L.) with white lupin (*Lupinus albus* L.) improves the growth and phosphorus nutrition of the wheat. *Plant and Soil*, 272, 143-151.

Dell, C. J., Han, K., Bryant, R. B., & Schmidt, J. P. (2014). Nitrous oxide emissions with enhanced efficiency nitrogen fertilizers in a rainfed system. *Agronomy Journal*, 106(2), 723-731.

Delory, B. M., Delaplace, P., Fauconnier, M. L., & Du Jardin, P. (2016). Root-emitted volatile organic compounds: can they mediate belowground plant-plant interactions?. *Plant and Soil*, 402, 1-26.

de Oliveira, A. F., Mameli, M. G., De Pau, L., Satta, D., & Nieddu, G. (2013). Deficit irrigation strategies in *Vitis vinifera* L. cv. cannonau under mediterranean climate. part I- physiological responses, growth, yield and berry composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 34(2), 170-183.

Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, P., & Gérard, F. (2010). A mechanistic model for understanding root-induced chemical changes controlling phosphorus availability. *Annals of Botany*, 105(7), 1183-1197.

Devau, N., Hinsinger, P., Le Cadre, E., Colomb, B., & Gérard, F. (2011). Fertilization and pH effects on processes and mechanisms controlling dissolved inorganic phosphorus in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(10), 2980-2996.

Doltra, J., & Olesen, J. E. (2013). The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. *European Journal of Agronomy*, 44, 98-108.

Dordas, C. A., Vlachostergios, D. N., & Lithourgidis, A. S. (2012). Growth dynamics and agronomic-economic benefits of pea–oat and pea–barley intercrops. *Crop and Pasture Science*, 63(1), 45-52.

Dube, E. D. N., Madanzi, T., Kapenzi, A., & Masvaya, E. (2014). Root length density in maize/cowpea intercropping under a basin tillage system in a semi-arid area of Zimbabwe. *American Journal of Plant Sciences*, 5(11), 1499-1507.

Dyer, L., Oelbermann, M., & Echarte, L. (2012). Soil carbon dioxide and nitrous oxide emissions during the growing season from temperate maize-soybean intercrops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 394-400.

- Eskandari, H., & Kazemi, K. (2011). Weed control in maize-cowpea intercropping system related to environmental resources consumption. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(1), 57-60.
- Exner, D. N., Davidson, D. G., Ghaffarzadeh, M., & Cruse, R. M. (1999). Yields and returns from strip intercropping on six Iowa farms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 14(2), 69-77.
- Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., ... & Wu, B. (2016). Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. *Agricultural Water Management*, 166, 9-16.
- Fernandez-Aparicio, M., Sillero, J. C., & Rubiales, D. (2007). Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop protection*, 26(8), 1166-1172.
- Fernández-Aparicio, M., Cimmino, A., Evidente, A., & Rubiales, D. (2013). Inhibition of *Orobanche crenata* seed germination and radicle growth by allelochemicals identified in cereals. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(41), 9797-9803.
- Fininsa, C. (1996). Effect of intercropping bean with maize on bean common bacterial blight and rust diseases. *International Journal of Pest Management*, 42(1), 51-54.
- Fininsa, C. (1997). Effects of planting pattern, relative planting date and intra-row spacing on a haricot bean/maize intercrop. *African Crop Science Journal*, 5(1), 15-22.
- Fitter, A. H., Caldwell, M. M., & Pearcy, R. W. (1994). Architecture and biomass allocation as components of the plastic response of root systems to soil heterogeneity. Exploitation of environmental heterogeneity by plants: ecophysiological processes above-and belowground, 305-323.
- Fortin, M. C., Culley, J., & Edwards, M. (1994). Soil water, plant growth, and yield of strip-intercropped corn. *Journal of production agriculture*, 7(1), 63-69.
- Francis, C. A. (1986). Multiple cropping systems.
- Fustec, J., Lesuffleur, F., Mahieu, S., & Cliquet, J. B. (2010). Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30, 57-66.
- Gao, Y., Duan, A., Qiu, X., Liu, Z., Sun, J., Zhang, J., & Wang, H. (2010). Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. *Agricultural water management*, 98(1), 199-212.
- Ghaffarzadeh, M., Préchac, F. G., & Cruse, R. M. (1994). Grain yield response of corn, soybean, and oat grown in a strip intercropping system. *American Journal of Alternative Agriculture*, 9(4), 171-177.
- Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siahshar, B. A., & Ramroudi, M. (2010). Effect of maize (*Zea mays* L.)-cowpea (*Vigna unguiculata* L.) intercropping on light distribution, soil temperature and soil moisture in arid environment. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1), 102-108.
- Ghosh, P. K., Mohanty, M., Bandyopadhyay, K. K., Painuli, D. K., & Misra, A. K. (2006). Growth, competition, yields advantage and economics in soybean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India: II. Effect of nutrient management. *Field Crops Research*, 96(1), 90-97.

- Giles, C. D., Richardson, A. E., Cade-Menun, B. J., Mezeli, M. M., Brown, L. K., Menezes-Blackburn, D., ... & George, T. S. (2018). Phosphorus acquisition by citrate- and phytase-exuding *Nicotiana tabacum* plant mixtures depends on soil phosphorus availability and root intermingling. *Physiologia Plantarum*, 163(3), 356-371.
- Gou, F., van Ittersum, M. K., Simon, E., Leffelaar, P. A., van der Putten, P. E., Zhang, L., & van der Werf, W. (2017). Intercropping wheat and maize increases total radiation interception and wheat RUE but lowers maize RUE. *European Journal of Agronomy*, 84, 125-139.
- Guerra, B., & Steenwerth, K. (2012). Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(2), 149-164.
- Guo, X., Xiong, H., Shen, H., Qiu, W., Ji, C., Zhang, Z., & Zuo, Y. (2014). Dynamics in the rhizosphere and iron-uptake gene expression in peanut induced by intercropping with maize: role in improving iron nutrition in peanut. *Plant Physiology and Biochemistry*, 76, 36-43.
- Gurr, G., Wratten, S. D., & Altieri, M. A. (Eds.). (2004). *Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods*. CSIRO publishing.
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Luna, J. M. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4(2), 107-116.
- Han, C. M., Pan, K. W., Wu, N., Wang, J. C., & Li, W. (2008). Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 330-336.
- Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2001). Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research*, 72(3), 185-196.
- Hays, W. M. (1892). *Oats sown with field peas* (Vol. 20). University of Minnesota, Agricultural Experiment Station, Agricultural Division.
- Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., & Jaillard, B. (2003). Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and soil*, 248, 43-59.
- Hu, F., Gan, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., Yu, A., ... & Zhang, Y. (2016). Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize/pea strip intercropping. *Field Crops Research*, 198, 50-60.
- Hu, F., Gan, Y., Cui, H., Zhao, C., Feng, F., Yin, W., & Chai, Q. (2016). Intercropping maize and wheat with conservation agriculture principles improves water harvesting and reduces carbon emissions in dry areas. *European Journal of Agronomy*, 74, 9-17.
- Ikram, A., Jensen, E. S., & Jakobsen, I. (1994). No significant transfer of N and P from *Pueraria phaseoloides* to *Hevea brasiliensis* via hyphal links of arbuscular mycorrhiza. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(11), 1541-1547.
- Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., & Cakmak, I. (2007). Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant physiology and biochemistry*, 45(5), 350-356.

- Ingels, C. A., Scow, K. M., Whisson, D. A., & Drenovsky, R. E. (2005). Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *American journal of enology and viticulture*, 56(1), 19-29.
- Ingels, C. A., Scow, K. M., Whisson, D. A., & Drenovsky, R. E. (2005). Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. *American journal of enology and viticulture*, 56(1), 19-29.
- Iragavarapu, T. K., & Randall, G. W. (1996). Border effects on yields in a strip-intercropped soybean, corn, and wheat production system. *Journal of Production Agriculture*, 9(1), 101-107.
- Jackson, R. B., Manwaring, J. H., & Caldwell, M. M. (1990). Rapid physiological adjustment of roots to localized soil enrichment. *Nature*, 344(6261), 58-60.
- Jahanzad, E., Sadeghpour, A., Hoseini, M. B., Barker, A. V., Hashemi, M., & Keshavarz Afshar, R. (2015). Competition, nitrogen use efficiency, and productivity of millet–soybean intercropping in semiarid conditions. *Crop Science*, 55(6), 2842-2851.
- Jiao, Y., Wang, E., Chen, W., & Smith, D. L. (2017). Complex interactions in legume/cereal intercropping system: role of root exudates in root-to-root communication. *BioRxiv*, 097584.
- Jurik, T. W., & Van, K. (2004). Microenvironment of a corn–soybean–oat strip intercrop system. *Field Crops Research*, 90(2-3), 335-349.
- Ketterings, Q. M., Godwin, G., Barney, P., Lawrence, J. R., Aldrich, B., Kilcer, T., ... & Gloy, B. (2013). Shallow mixing of surface soil and liquid dairy manure conserves nitrogen while retaining surface residue. *Agronomy for sustainable development*, 33, 507-517.
- Kido, H., Flaherty, D. L., Bosch, D. F., & Valero, K. A. (1984). French prune trees as overwintering sites for the grape leafhopper egg parasite. *American Journal of Enology and viticulture*, 35(3), 156-160.
- Kilcher, M. R., & Lawrence, T. (1979). Spring and summer pastures for southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(2), 339-342.
- Kinross, C., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2004). Pest management and wildlife conservation: compatible goals for ecological engineering. *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*. Cornell University Press, Ithaca, NY, 199-218.
- Kleinman, P. J., Sharpley, A. N., Moyer, B. G., & Elwinger, G. F. (2002). Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 2026-2033.
- Knörzer, H., Grözinger, H., Graeff-Hönninger, S., Hartung, K., Piepho, H. P., & Claupein, W. (2011). Integrating a simple shading algorithm into CERES-wheat and CERES-maize with particular regard to a changing microclimate within a relay-intercropping system. *Field Crops Research*, 121(2), 274-285.
- Komárek, M., Čadková, E., Chrastný, V., Bordas, F., & Bollinger, J. C. (2010). Contamination of vineyard soils with fungicides: a review of environmental and toxicological aspects. *Environment international*, 36(1), 138-151.

- Laloy, E., & Biielders, C. L. (2008). Plot scale continuous modelling of runoff in a maize cropping system with dynamic soil surface properties. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 455-469.
- Latati, M., Blavet, D., Alkama, N., Laoufi, H., Drevon, J. J., Gerard, F., ... & Ounane, S. M. (2014). The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant and Soil*, 385, 181-191.
- Lesoing, G. W., & Francis, C. A. (1999). Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean. *Agronomy Journal*, 91(5), 807-813.
- Li, M., Osaki, M., Madhusudana Rao, I., & Tadano, T. (1997). Secretion of phytase from the roots of several plant species under phosphorus-deficient conditions. *Plant and soil*, 195, 161-169.
- Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Yang, S., & Rengel, Z. (2001). Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field crops research*, 71(2), 123-137.
- Li, L., Tang, C., Rengel, Z., & Zhang, F. (2003). Chickpea facilitates phosphorus uptake by intercropped wheat from an organic phosphorus source. *Plant and Soil*, 248, 297-303.
- Li, L., Zhang, F., Li, X., Christie, P., Sun, J., Yang, S., & Tang, C. (2003). Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 65, 61-71.
- Li, S. M., Li, L., Zhang, F. S., & Tang, C. (2004). Acid phosphatase role in chickpea/maize intercropping. *Annals of Botany*, 94(2), 297-303.
- Li, L., Tang, C., Rengel, Z., & Zhang, F. S. (2004). Calcium, magnesium and microelement uptake as affected by phosphorus sources and interspecific root interactions between wheat and chickpea. *Plant and Soil*, 261(1-2), 29-37.
- Li, L., Sun, J., Zhang, F., Guo, T., Bao, X., Smith, F. A., & Smith, S. E. (2006). Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*, 147, 280-290.
- Li, Y., Ran, W., Zhang, R., Sun, S., & Xu, G. (2009). Facilitated legume nodulation, phosphate uptake and nitrogen transfer by arbuscular inoculation in an upland rice and mung bean intercropping system. *Plant and Soil*, 315, 285-296.
- Li, Q. Z., Sun, J. H., Wei, X. J., Christie, P., Zhang, F. S., & Li, L. (2011). Overyielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley. *Plant and soil*, 339, 147-161.
- Li, X., Mu, Y., Cheng, Y., Liu, X., & Nian, H. (2013). Effects of intercropping sugarcane and soybean on growth, rhizosphere soil microbes, nitrogen and phosphorus availability. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 1113-1119.
- Li, B., Li, Y. Y., Wu, H. M., Zhang, F. F., Li, C. J., Li, X. X., ... & Li, L. (2016). Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N₂ fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(23), 6496-6501.
- Li, H., Zhang, D., Wang, X., Li, H., Rengel, Z., & Shen, J. (2019). Competition between *Zea mays* genotypes with different root morphological and physiological traits is dependent on phosphorus forms and supply patterns. *Plant and Soil*, 434, 125-137.

- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113.
- Liu, Y. X., Zhang, W. P., Sun, J. H., Li, X. F., Christie, P., & Li, L. (2015). High morphological and physiological plasticity of wheat roots is conducive to higher competitive ability of wheat than maize in intercropping systems. *Plant and Soil*, 397, 387-399.
- Liu, Y. C., Qin, X. M., Xiao, J. X., Tang, L., Wei, C. Z., Wei, J. J., & Zheng, Y. (2017). Intercropping influences component and content change of flavonoids in root exudates and nodulation of Faba bean. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 187-192.
- Ijaz, A., Khan, F., & Bhatti, A. U. (2007). Soil and nutrient losses by water erosion under mono-cropping and legume inter-cropping on sloping land. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 20(3/4), 161-166.
- Luo, S., Yu, L., Liu, Y., Zhang, Y., Yang, W., Li, Z., & Wang, J. (2016). Effects of reduced nitrogen input on productivity and N₂O emissions in a sugarcane/soybean intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 81, 78-85.
- Lynch, J. P. (2013). Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of botany*, 112(2), 347-357.
- Machado, S. (2009). Does intercropping have a role in modern agriculture?. *Journal of soil and water conservation*, 64(2), 55A-57A.
- Mackie, K. A., Schmidt, H. P., Müller, T., & Kandeler, E. (2014). Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard. *Science of the Total Environment*, 500, 34-43.
- Mandal, B. K., Dhara, M. C., Mandal, B. B., Das, S. K., & Nandy, R. (1990). Rice, mungbean, soybean, peanut, ricebean, and blackgram yields under different intercropping systems. *Agronomy Journal*, 82(6), 1063-1066.
- Manevski, K., Børgesen, C. D., Andersen, M. N., & Kristensen, I. S. (2015). Reduced nitrogen leaching by intercropping maize with red fescue on sandy soils in North Europe: a combined field and modeling study. *Plant and soil*, 388, 67-85.
- Mao, L., Zhang, L., Li, W., van der Werf, W., Sun, J., Spiertz, H., & Li, L. (2012). Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. *Field Crops Research*, 138, 11-20.
- Marschner, P., Neumann, G., Kania, A., Weiskopf, L., & Lieberei, R. (2002). Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant and Soil*, 246, 167-174.
- Martins, M. A., & Cruz, A. F. (1998). The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal fungi: III. A study of nitrogen transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Revista de microbiologia*, 29, 289-294.
- Mercenaro, L., Nieddu, G., Pulina, P., & Porqueddu, C. (2014). Sustainable management of an intercropped Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 192, 95-104.
- Miller, T. E. (1994). Direct and indirect species interactions in an early old-field plant community. *The American Naturalist*, 143(6), 1007-1025.

- Miyazawa, K., Murakami, T., Takeda, M., & Murayama, T. (2010). Intercropping green manure crops—effects on rooting patterns. *Plant and Soil*, 331, 231-239.
- Miyazawa, K., Takeda, M., Murakami, T., & Murayama, T. (2014). Dual and triple intercropping: potential benefits for annual green manure production. *Plant Production Science*, 17(2), 194-201.
- Morlat, R., & Jacquet, A. (2003). Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(1), 1-7.
- Moss, J. W., Tubbs, R. S., Grey, T. L., Smith, N. B., & Johnson, J. W. (2017). Assessment of Double-Crop and Relay-Intercropping Systems of Peanut with Soft Red Winter Wheat and Residual Herbicides. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 3(1), 1-8.
- Murphy, B. C., Rosenheim, J. A., & Granett, J. (1996). Habitat diversification for improving biological control: abundance of *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae) in grape vineyards. *Environmental Entomology*, 25(2), 495-504.
- Mushagalusa, G. N., Ledent, J. F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 180-188.
- Nathan, J., Osem, Y., Shachak, M., & Meron, E. (2016). Linking functional diversity to resource availability and disturbance: a mechanistic approach for water-limited plant communities. *Journal of Ecology*, 104(2), 419-429.
- Nazrala, J. J. B. (2008). Influencia del manejo del suelo y las coberturas vegetales en el microclima de la canopia de la vid, la composición de la uva y el vino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 40(1), 85-104.
- Neumann, A., Schmidtke, K., & Rauber, R. (2007). Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research*, 100(2-3), 285-293.
- Nicol, H. (1935). Mixed cropping in primitive agriculture. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 3, 189-195.
- Nielsen, K. L., Eshel, A., & Lynch, J. P. (2001). The effect of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of experimental botany*, 52(355), 329-339.
- Ong, C. K., Subrahmanyam, P., & Khan, A. A. H. (1991). The microclimate and productivity of a groundnut/millet intercrop during the rainy season. *Agricultural and forest meteorology*, 56(1-2), 49-66.
- Pandey, J., Verma, R. K., & Singh, S. (2019). Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review. *International journal of phytoremediation*, 21(5), 405-418.
- Pappa, V. A., Rees, R. M., Walker, R. L., Baddeley, J. A., & Watson, C. A. (2011). Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(1-2), 153-161.

- Pasek, J. E. (1988). 30. Influence of wind and windbreaks on local dispersal of insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22, 539-554.
- Peigné, J., Cannavaciolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J. L., & Cluzeau, D. (2009). Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 207-214.
- Peregrina, F., Pérez-Álvarez, E. P., Colina, M., & García-Escudero, E. (2012). Cover crops and tillage influence soil organic matter and nitrogen availability in a semi-arid vineyard. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(sup1), SS95-SS102.
- Pinheiro, E. A., Costa, C. A. G., & De Araújo, J. C. (2013). Effective root depth of the Caatinga biome. *Journal of Arid Environments*, 89, 1-4.
- Putnam, D. H., Herbert, S. J., & Vargas, A. (1985). Intercropped corn–soyabean density studies. I. Yield complementarity. *Experimental Agriculture*, 21(1), 41-51.
- Putnam, D. H., Herbert, S. J., & Vargas, A. (1986). Intercropped corn-soyabean density studies. II. Yield composition and protein. *Experimental Agriculture*, 22(4), 373-381.
- Radke, J. K., & Burrows, W. C. (1970). Soybean Plant Response to Temporary Field Windbreaks 1. *Agronomy Journal*, 62(3), 424-429.
- Rahman, L., Whitelaw-Weckert, M. A., Hutton, R. J., & Orchard, B. (2009). Impact of floor vegetation on the abundance of nematode trophic groups in vineyards. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 96-106.
- Rao, E. P. (2015). Economic and ecological aspects of aromatic-plant-based cropping systems. *CABI Reviews*, (2015), 1-8.
- Rao, E. P. (2013). Aromatic plant species in agricultural production systems based on marginal soils. *CABI Reviews*, (2012), 1-10.
- Robinson, D., Hodge, A., Griffiths, B. S., & Fitter, A. H. (1999). Plant root proliferation in nitrogen-rich patches confers competitive advantage. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1418), 431-435.
- Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2012). Maize–grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. *Field crops research*, 136, 12-22.
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Lithourgidis, A. S., Hashemi, M., Esmaili, A., & Hosseini, M. B. (2014). Forage yield and quality of barley-annual medic intercrops in semi-arid environments. *International Journal of Plant Production*, 8(1), 77-89.
- Sadeghpour, A., Hashemi, M., Weis, S. A., Spargo, J. T., Mehrvarz, S., & Herbert, S. J. (2015). Assessing tillage systems for reducing ammonia volatilization from spring-applied slurry manure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(6), 724-735.
- Sánchez-Moreno, S., Nicola, N. L., Ferris, H., & Zalom, F. G. (2009). Effects of agricultural management on nematode–mite assemblages: Soil food web indices as predictors of mite community composition. *Applied soil ecology*, 41(1), 107-117.
- Saxena, S. N. (1964). Phytase activity of plant roots. *Journal of Experimental Botany*, 15(3), 654-658.

- Schimmelpfennig, D. (2016). Farm profits and adoption of precision agriculture (No. 1477-2016-121190).
- Schmid, C., Bauer, S., & Bartelheimer, M. (2015). Should I stay or should I go? Roots segregate in response to competition intensity. *Plant and Soil*, 391, 283-291.
- Schnitzer, M., & Khan, S. U. (Eds.). (1975). *Soil organic matter*. Elsevier.
- Schreck, E., Gontier, L., Dumat, C., & Geret, F. (2012). Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards. *European Journal of Soil Biology*, 52, 8-15.
- Sharaiha, R., Haddad, N., & Blan, H. A. (1989). Potential of row intercropping of faba bean, potato, and corn on the incidence and severity of *Alternaria* leaf spot, late blight and rust under the Jordan Valley conditions. *Phytopathologia mediterranea*, 105-112.
- Sharma, R. C., & Banik, P. (2015). Baby corn-legumes intercropping systems: I. Yields, resource utilization efficiency, and soil health. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(1), 41-61.
- Singh, B. K., Munro, S., Potts, J. M., & Millard, P. (2007). Influence of grass species and soil type on rhizosphere microbial community structure in grassland soils. *Applied Soil Ecology*, 36(2-3), 147-155.
- Skinner, R. H., & Dell, C. J. (2016). Yield and soil carbon sequestration in grazed pastures sown with two or five forage species. *Crop Science*, 56(4), 2035-2044.
- Smallwood, K. S. (1996). Managing vertebrates in cover crops: A first study. *American journal of alternative agriculture*, 11(4), 155-160.
- Smart, R. E., Smith, S. M., & Winchester, R. V. (1988). Light quality and quantity effects on fruit ripening for Cabernet Sauvignon. *American journal of enology and viticulture*, 39(3), 250-258.
- Smith, M. A., & Carter, P. R. (1998). Strip intercropping corn and alfalfa. *Journal of production agriculture*, 11(3), 345-353.
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., & Ferguson, J. C. (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American journal of enology and viticulture*, 53(3), 171-182.
- Steenwerth, K. L., & Belina, K. M. (2010). Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Agriculture, ecosystems & environment*, 138(1-2), 127-131.
- Su, B. Y., Song, Y. X., Song, C., Cui, L., Yong, T. W., & Yang, W. Y. (2014). Growth and photosynthetic responses of soybean seedlings to maize shading in relay intercropping system in Southwest China. *Photosynthetica*, 52(3), 332-340.
- Tahir, M., Malik, M. A., Tanveer, A., & Ahmad, R. (2003). Competition functions of different canola-based intercropping systems. *Asian Journal of Plant Sciences (Pakistan)*.
- Tesic, D., Keller, M., & Hutton, R. J. (2007). Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(1), 1-11.

- Tessema, Z., & Baars, R. M. T. (2006). Chemical composition, dry matter production and yield dynamics of tropical grasses mixed with perennial forage legumes. *Tropical grasslands*, 40(3), 150.
- Thierfelder, C., & Wall, P. C. (2009). Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil and tillage research*, 105(2), 217-227.
- Tilman, D., Reich, P. B., & Knops, J. M. (2006). Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 441(7093), 629-632.
- Torstensson, G., & Aronsson, H. (2000). Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems in Sweden. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 56, 139-152.
- Tourte, L., Smith, R., Bettiga, L., Bensen, T., Smith, J., & Salm, D. (2008). Post-emergence herbicides are cost effective for vineyard floor management on the Central Coast. *California Agriculture*, 62(1), 19-23.
- Trenbath, B. R. (1976). Plant interactions in mixed crop communities. *Multiple cropping*, 27, 129-169.
- Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2001). Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, 71(1), 17-29.
- Valentine, J. (1982). Variation in monoculture and in mixture for grain yield and other characters in spring barley. *Annals of Applied Biology*, 101(1), 127-141.
- Vandermeer, J. H. (1990). Intercropping'in *Agroecology*, eds CR Carroll, JH Vandermeer & P. Rosset.
- Volaire, F., & Lelièvre, F. (2010). Role of summer dormant perennial grasses as intercrops in rainfed Mediterranean vineyards. *Crop science*, 50(5), 2046-2054.
- Vršič, S. (2011). Soil erosion and earthworm population responses to soil management systems in steep-slope vineyards. *Plant, soil and Environment*, 57(6), 258-263.
- Wang, Z., Zhao, X., Wu, P., He, J., Chen, X., Gao, Y., & Cao, X. (2015). Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. *Agricultural and forest meteorology*, 204, 58-66.
- Welbaum, G. E., Sturz, A. V., Dong, Z., & Nowak, J. (2004). Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(2), 175-193.
- Wheeler, S. J., Black, A. S., & Pickering, G. J. (2005). Vineyard floor management improves wine quality in highly vigorous *Vitis vinifera* 'Cabernet Sauvignon' in New Zealand.
- Whitmore, A. P., & Schröder, J. J. (2007). Intercropping reduces nitrate leaching from under field crops without loss of yield: a modelling study. *European Journal of Agronomy*, 27(1), 81-88.
- Wilson, J. B. (1988). Shoot competition and root competition. *Journal of applied ecology*, 27, 279-296.

- Wilson, H., Miles, A. F., Daane, K. M., & Altieri, M. A. (2017). Landscape diversity and crop vigor outweigh influence of local diversification on biological control of a vineyard pest. *Ecosphere*, 8(4), e01736.
- Xiao, Y., Li, L., & Zhang, F. (2004). Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and fababean using direct and indirect ^{15}N techniques. *Plant and Soil*, 262, 45-54.
- Xie, H., Wang, X. X., Dai, C. C., Chen, J. X., & Zhang, T. L. (2007). Effects of intercropping peanut with medicinal plants on soil microbial community. *The Journal of Applied Ecology*, 18(3), 693-696.
- Xu, Y., Wang, G., Jin, J., Liu, J., Zhang, Q., Liu, X., 2009. Bacterial communities in soybean rhizosphere in response to soil type, soybean genotype their growth stage. *Soil Biol. Biochem.* 41 (5), 919–925.
- Xuan, T. D., Minh, T. N., Trung, K. H., & Khanh, T. D. (2016). Allelopathic potential of sweet potato varieties to control weeds: *Imperata cylindrica*, *Bidens pilosa* and *Ageratum conyzoides*. *Allelopathy J*, 38, 41-54.
- Yan, Y., Gong, W., Yang, W., Wan, Y., Chen, X., Chen, Z., & Wang, L. (2010). Seed treatment with uniconazole powder improves soybean seedling growth under shading by corn in relay strip intercropping system. *Plant production science*, 13(4), 367-374.
- Yang, W., Li, Z., Wang, J., Wu, P., & Zhang, Y. (2013). Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected by interspecific competition and nitrogen application. *Field Crops Research*, 146, 44-50.
- Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., ... & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. *Field Crops Research*, 155, 245-253.
- Zarea, M. J., Ghalavand, A., Goltapeh, E. M., Rejali, F., & Zamaniyan, M. (2009). Effects of mixed cropping, earthworms (*Pheretima* sp.), and arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*) on plant yield, mycorrhizal colonization rate, soil microbial biomass, and nitrogenase activity of free-living rhizosphere bacteria. *Pedobiologia*, 52(4), 223-235.
- Zegada-Lizarazu, W., Izumi, Y., & Iijima, M. (2006). Water Competition of Intercropped Pearl Millet with Cowpea under Drought and Soil Compaction Stresses. *Plant Production Science*, 9(2), 123-132.
- Zhang, H., & Forde, B. G. (1998). An Arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, 279(5349), 407-409.
- Zhang, F., Shen, J., Li, L., & Liu, X. (2004). An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. *Plant and Soil*, 260, 89-99.
- Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Zhang, S. P., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2007). Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research*, 103(3), 178-188.
- Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2008b). Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*, 107(1), 29-42.

Zhang, L., Van der Werf, W., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2008a). Temperature-mediated developmental delay may limit yield of cotton in relay intercrops with wheat. *Field Crops Research*, 106(3), 258-268.

Zhang, D., Zhang, C., Tang, X., Li, H., Zhang, F., Rengel, Z., ... & Shen, J. (2016). Increased soil phosphorus availability induced by faba bean root exudation stimulates root growth and phosphorus uptake in neighbouring maize. *New Phytologist*, 209(2), 823-831.

Chen, Z., Ma, S. S., Fan, G. S., & Zhao, Y. L. (2007). Effect of wind erosion resistance of soil for wheat and potato strip intercropping farmland. *Transactions of the CSAE*, 23(3), 51-54.

Zhou, X., Yu, G., & Wu, F. (2011). Effects of intercropping cucumber with onion or garlic on soil enzyme activities, microbial communities and cucumber yield. *European Journal of Soil Biology*, 47(5), 279-287.

Zuo, S., Li, X., Ma, Y., & Yang, S. (2014). Soil microbes are linked to the allelopathic potential of different wheat genotypes. *Plant and soil*, 378, 49-58.

EIP-AGRI Focus Group. Plant-Based Medicinal and Cosmetic Products—EIP-AGRI—European Commission. Available online: [Ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-focus-group-plant-based-medicinal-and](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/publications/eip-agri-focus-group-plant-based-medicinal-and) (accessed on 11 August 2020).