

## BIOERBICIDI PER IL CONTROLLO DELLE MALERBE NELL'ECOSISTEMA URBANO

S. BENVENUTI<sup>1</sup>, M.E. GRASSIA<sup>1</sup>, G. FLAMINI<sup>2</sup>, P.L. CIONI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie Università di Pisa  
Viale delle Piagge, 23, 56124 Pisa

<sup>2</sup> Dipartimento di Chimica Bioorganica e Biofarmacia, Università di Pisa  
Via Bonanno, 33, 56126 Pisa  
Sbenve@agr.unipi.it

### RIASSUNTO

Lo scopo della presente sperimentazione è stato quello di testare alcune specie spontanee (talvolta vere e proprie malerbe) come possibile fonte di oli essenziali potenzialmente sostenibili in termini di costi economici. A tal fine è stata scelta la famiglia delle *Asteraceae* dal momento che pregressi studi hanno messo in luce che tali specie, definite “colonizzatrici”, possiedono al contempo sia scarse esigenze di crescita che la presenza di quegli oli essenziali che garantiscono loro attività allelopatica. Nell'estate 2007 sono state raccolte sommità fiorite di 20 specie prelevate sia da ecosistemi naturali che da agroecosistemi. Dopo averne valutato la biomassa su superfici note si è proceduto alla idrodistillazione degli oli essenziali in corrente di vapore. Dopo averne valutato le concentrazioni sono state testate le rispettive attività biologiche su 2 diverse malerbe (*Portulaca oleracea* e *Digitaria sanguinalis*) sia simulandone un impiego in pre- che in post-emergenza. Alcune specie sono risultate molto promettenti (in particolare *Artemisia annua*) sia in termini di potenziale resa in oli essenziali che in termini di attività erbicida. L'applicazione in post-emergenza è risultata la strada più percorribile sia per la sua spiccata efficacia che per l'estrema volatilità di queste sostanze che rende poco proponibile un loro impiego in pre-emergenza.

**Parole chiave:** bioerbicidi, ecosistema urbano, flora spontanea, oli essenziali, allelopatia

### SUMMARY

#### BIOHERBICIDES FOR WEED CONTROL IN THE URBAN ECOSYSTEM

The aim of this experiment was to test some wild species (sometimes typical agro-ecosystem's weeds) as potential economic source of essential oils. In this background the botanic family of *Asteraceae* was selected for our trials in order of the preliminary evidence of these so called “colonizing” species grow even without any agronomic inputs. Indeed they evident allelopathic activity is mediated by essential oils. In the summer 2007 apical portion of twenty *Asteraceae* were collected during their flowering phenological stage. The twenty species were selected by both: natural ecosystems and agroecosystems. Biomass of the collected plant material was calculated while other samples were destined to the essential oils extraction. After the evaluation of the respective essential oils yield, these phytochemicals were tested against weed (*Portulaca oleracea* e *Digitaria sanguinalis*) in two different applications: pre-emergence and post-emergence. Some species showed good performances (in particular *Artemisia annua*) in both: essential oil yield and phytotoxic activity against weeds. The practical application as post-emergence herbicide appears to be the opportune application strategy since in post-emergence essential oils go towards a rapid dissipation.

**Keywords:** bioherbicides, urban ecosystem, weeds, essential oils, allelopathy

## INTRODUZIONE

La crescente esigenza di conciliare la produttività agricola con la compatibilità ambientale ha stimolato diversi settori scientifici verso la ricerca di una gestione “non chimica” delle malerbe. Tale esigenza di eco-compatibilità ambientale risulta di ancor maggiore importanza nell’ecosistema urbano dal momento che tale ambiente risulta strettamente a contatto con l’uomo e la sua contaminazione può comportare rischi per la sua salute. Ciò ha stimolato la ricerca verso lo studio di alternative ai metodi convenzionali ed oltre a quelle di tipo fisico-meccanico (Benvenuti, 2004) sono sempre maggiori le esperienze con sostanze naturali (Mohan Babu *et al.*, 2003). I bioerbicidi testati sia in aree urbane che nell’agroecosistema appartengono a 3 categorie diversificate (Hallett, 2006) e riconducibili a: 1) agenti patogeni attivi “*in vivo*”; 2) tossine estratte da microrganismi e 3) fitochimici estratti da piante. In questo ultimo caso risulta promettente l’attività fitocida dimostrata dagli oli essenziali in quanto essi tendono ad ostacolare la germinazione (Grassia *et al.*, 2008) e la crescita (Dudai *et al.*, 1999) di molte malerbe. Hanno inoltre destato interesse per la difesa delle colture sia per la loro attività antifungina (Kurita *et al.*, 1981) che insetticida (Murray, 2000). L’utilizzo di queste sostanze appare una delle più promettenti strategie agronomiche percorribili dal momento che esse risultano sostanze innocue per l’uomo a basse concentrazioni, talvolta persino curative, in quanto in alcuni casi utilizzate come rimedi medicinali per le infezioni batteriche. Viene persino ipotizzato un loro impiego come ingredienti di comuni alimenti destinati al diretto consumo umano (Burt, 2004). La loro completa biodegradabilità assicura inoltre una loro assoluta compatibilità per l’ecosistema circostante al sito di applicazione. Va inoltre sottolineato che le alternative sopraccitate possono comportare rischi ambientali nel caso di bioerbicidi costituiti da spore di microrganismi in quanto il loro impatto nell’ecosistema non risulta sufficientemente studiato e quindi ancora poco prevedibile (Houglan *et al.*, 2007). Al momento, l’affermazione agronomica dei bioerbicidi è limitata dai costi (Hoagland, 1996) ma sono possibili formulati che prevedono l’uso di sostanze in grado di esaltarne l’azione fitotossica (Houglan, 1996). Purtroppo non sono ancora disponibili bioerbicidi registrati estratti da piante e gli unici in commercio (ad esempio Biomal<sup>®</sup>, VeVine<sup>®</sup> e Collego<sup>®</sup>) sono costituiti da microrganismi patogeni (Ahluwalia, 2007) la cui attività è circoscritta solamente ad un determinato raggruppamento botanico. Risulta quindi di particolare importanza testare l’efficacia agronomica (Auld e Morin, 1995) di oli essenziali concepiti per la gestione delle malerbe nell’ecosistema urbano analogamente a quanto effettuato con successo utilizzando sostanze naturali per il controllo delle malerbe dei bordi stradali (Young, 2004). E’ ben noto che molte *Asteracee* risultano una fonte importante di allelochimici tanto da aver già destato un notevole interesse sia per l’estrazione degli oli essenziali che per la loro utilizzazione come bioerbicidi (Chon *et al.*, 2003). Lo scopo di questa sperimentazione è stato quello di testare l’attività “*in vitro*” ed “*in vivo*” di oli essenziali utilizzando come fonte di bioerbicidi alcune *Asteraceae* mediterranee caratterizzate da una resa in biomassa spesso elevata e quindi promettenti per una ipotetica filiera produttiva dedicata alla produzione di oli essenziali per il controllo delle malerbe nell’ecosistema urbano.

## MATERIALI E METODI

Durante il periodo primaverile-estivo 2007 sono state raccolte 20 diverse specie di *Asteraceae* allo stadio fenologico di fine fioritura. Le piante raccolte (sommità fiorite) per la valutazione della biomassa sono state essiccate in stufa ventilata (regolata a 50°C) per 1 settimana. Analoghi campioni di sommità fiorite sono stati invece seccati all’aria a temperatura ambiente (circa 25°C) in modo da non alterare il contenuto in componenti volatili. Una volta raggiunto il completo disseccamento (circa 1 mese dalla raccolta) i campioni sono

stati trasferiti in laboratorio per l'estrazione degli oli essenziali in corrente di vapore secondo una metodologia già utilizzata (Flamini *et al.*, 2002). Si è quindi proceduto sia alla valutazione della resa negli oli essenziali estratti che del potenziale produttivo per unità di superficie ( $m^2$ ) utilizzando i valori di biomassa (sostanza secca) ottenuti dopo l'essiccazione in stufa delle piante raccolte. I test di valutazione "in vitro" dell'inibizione germinativa hanno preso in esame solamente 9 delle 20 tipologie di oli essenziali dal momento che le basse rese di alcune specie hanno impedito di poter disporre di un quantitativo di oli sufficiente. Le malerbe selezionate per tale test sono state una specie dicotiledone (*Portulaca oleracea*) ed una monocotiledone (*Digitaria sanguinalis*) in virtù della loro ampia diffusione nell'ecosistema urbano (Benvenuti, 2004). I test di germinazione sono stati effettuati in Capsula Petri del diametro di 15 cm (2 cm di altezza) opportunamente dotate di carta da filtro (Whatman n. 1) per il mantenimento dell'umidità. Gli oli essenziali sono stati inseriti nelle Capsule Petri (mediante micropipette) sulla superficie di contenitori di vetro di piccole dimensioni (3 cm) a forma concava e prive di copertura superiore in modo da evitare il contatto diretto con i semi. Le capsule sono state quindi accuratamente sigillate mediante parafilm. In questo modo è stato possibile ottenere la saturazione dei componenti volatili nell'atmosfera gassosa dell'ambiente di incubazione dei semi. Le dosi testate sono state di  $1\mu l/L$  e  $10\mu l/L$  oltre che un controllo (acqua distillata). I semi sono stati quindi incubati a  $25^\circ C$  in armadi climatici equipaggiati di neon fluorescenti (Philips THL 20W/33) in grado di produrre luce bianca (circa  $100\mu mol/m^2sec$ ) con fotoperiodo di 12 h. La conta dei semi germinati è stata effettuata ogni 2 giorni ed è stata interrotta dopo 2 settimane dalla cessazione di ulteriori eventi germinativi. I test "in vivo" sono stati effettuati su plantule germinate su piccoli vasi di 5 cm di diametro e di altezza di 7 cm utilizzando un comune substrato a base di torba diffusamente impiegato per la semina nell'attività vivaistica. Dopo la semina delle 2 malerbe sopraccitate i vasi sono stati collocati nelle medesime condizioni climatiche dei test di germinazione ed irrigati per sub-irrigazione mediante sottovasi. Alla comparsa delle prime "foglie vere" le plantule sono state irrorate con una soluzione acquosa di oli essenziali utilizzando un tensioattivo (Tween<sup>®</sup> 80, alla dose di 1% v/v) come emulsionante. Le dosi distribuite sulle piante (mediante un microaerografo) hanno in pratica simulato una ipotetica distribuzione in post-emergenza del bioerbicida. Le concentrazioni testate sono state di 0 (solo tensioattivo), 50, 100 e 500 mg di oli essenziali. La dose distribuita è stata di  $1\text{ g}/m^2$ . In questo esperimento sono stati testati solamente 5 oli essenziali in funzione del sufficiente quantitativo ottenuto mediante distillazione precedentemente descritta. Dopo 1 settimana dalla distribuzione dei vari "bioerbicidi" sono stati effettuati dei test visivi per descrivere l'effetto agronomico esercitato sulle plantule. I criteri descrittivi sono stati i seguenti: 1) nessun effetto apprezzabile, 2) attività fitotossica con riduzione di crescita, 3) attività fitocida con disseccamento completo delle plantule.

Ogni test è stato replicato 3 volte utilizzando come schema sperimentale la randomizzazione completa. Per quanto riguarda i test di germinazione i dati sono stati trasformati in valori angolari prima di sottoporli all'analisi della varianza (Anova) utilizzando poi il test di Fisher per la separazione delle medie.

## RISULTATI

La tabella 1 mostra le potenzialità produttive in oli essenziali delle 20 specie testate. Come si può osservare 8 specie (*Carlina corymbosa*, *Centaurea cyanus*, *Centaurea solstitialis*, *Cirsium arvense*, *Coleostephus myconis*, *Picris echioides*, *Scolymus hispanicus* e *Senecio vulgaris*) hanno mostrato solamente trascurabili tracce di tali sostanze. Al contrario, *Artemisia annua* ne è risultata decisamente ricca avendo raggiunto una percentuale di resa dell'1,43%. Quantitativi minori, ma comunque potenzialmente promettenti, sono stati rilevati in ordine

decescente da *Artemisia verlotorum* (0,40%), *Otanthus maritimus* (0,37%), *Achillea millefolium* (0,35%) ed *Helicrysum italicum* (0,11%). Risultati intermedi sono stati mostrati dalle altre specie che hanno mostrato rese in oli essenziali al di sotto dello 0,1% come *Anthemis cotula* (0,07%), *Inula viscosa* (0,06%), *Helianthus tuberosus* (0,05%), *Pulicaria dysenterica* (0,03%), *Bidens tripartita* (0,02%) e *Conyza canadensis* (0,02%). Tali quantitativi esprimono però solo in parte il potenziale produttivo in quanto solo mediante il confronto con la biomassa prodotta si può risalire alle effettive potenzialità delle varie specie. Infatti, quelle caratterizzate da scarsa resa ma elevata biomassa possono risultare una valida sorgente di oli essenziali come nel caso di *Xanthium strumarium*. Tale specie ha infatti mostrato una elevata biomassa per unità di superficie (quasi 300 g di sostanza secca al m<sup>2</sup>) raggiungendo una produttività potenziale per unità di superficie di 0,36 g di oli essenziali (riferita a m<sup>2</sup>). Nel caso di *A. annua* la contemporanea presenza di elevata biomassa ed elevata resa in oli essenziali ha mostrato una produttività potenziale decisamente promettente dal momento che è risultata di ben 2,55 g per m<sup>2</sup>. Risultati positivi sono stati mostrati dall'altra specie appartenente allo stesso genere (*A. verlotorum*) il cui potenziale produttivo è stato di 0,87 g al m<sup>2</sup>. Da non trascurare sono risultate inoltre le rese potenziali di *O. maritimus* (0,25 g), *I. viscosa* (0,1 g), *H. tuberosus* (0,08 g) ed *A. cotula* (0,07 g). Decisamente scarsi sono stati i quantitativi previsti per le altre specie dal momento che sono risultati in ogni caso ben al di sotto dei valori mostrati da questa ultima specie.

Tabella 1. Componenti di resa in oli essenziali delle Asteracee testate

Specie	Oli essenziali (% sulla biomassa pianta) %	Biomassa sommità fiorite (g/m <sup>2</sup> )	Resa in oli essenziali (g/m <sup>2</sup> )
<i>Achillea millefolium</i>	0,35	93	0,32
<i>Anthemis cotula</i>	0,07	108	0,07
<i>Artemisia annua</i>	1,43	179	2,55
<i>Artemisia verlotorum</i>	0,40	219	0,87
<i>Bidens tripartita</i>	0,02	165	0,03
<i>Carlina corymbosa</i>	tracce	63	-
<i>Centaurea cyanus</i>	tracce	76	-
<i>Centaurea solstitialis</i>	tracce	64	-
<i>Cirsium arvense</i>	tracce	124	-
<i>Coleostephus myconis</i>	tracce	81	-
<i>Conyza canadensis</i>	0,02	85	0,02
<i>Helianthus tuberosus</i>	0,05	159	0,08
<i>Helicrysum italicum</i>	0,11	44	0,05
<i>Inula viscosa</i>	0,06	175	0,10
<i>Othantus maritimus</i>	0,37	68	0,25
<i>Picris echioides</i>	tracce	69	-
<i>Pulicaria dysenterica</i>	0,03	56	0,01
<i>Scolymus hispanicus</i>	tracce	68	-
<i>Senecio vulgaris</i>	tracce	79	-
<i>Xanthium strumarium</i>	0,13	278	0,36

Un ulteriore, e fondamentale parametro di valutazione dell' idoneità delle varie *Asteraceae* sperimentate come fonte di fitochimici di interesse agronomico è dato, ovviamente, dalla loro attività biologica nei confronti delle malerbe. Nella tabella 2 è riportata l' inibizione della germinazione delle 2 malerbe selezionate in presenza degli oli essenziali delle 9 specie che hanno mostrato le migliori "performances" nei termini quantitativi sopracitati. Come si può osservare la dose massima testata (10 µl/L) ha mostrato una inibizione decisamente marcata ed in ogni caso statisticamente significativa (p<0,01 o p <0,05). Alla dose minore (1µl/L) la *P. oleracea* è risultata decisamente inibita dalla presenza dei vari oli essenziali dal momento che in ogni caso sono state osservate consistenti, e statisticamente significative (p<0,01 o p<0,05), riduzioni della germinazione. Al contrario la graminacea testata è risultata meno sensibile in quanto alla dose minore sono state rilevate inibizioni contenute e mai statisticamente significative. L'elaborazione statistica dei dati complessivi ha confermato differenze nella sensibilità agli oli essenziali altamente significative (p<0,01) tra le 2 malerbe (dati non mostrati). Tuttavia, il gradiente di efficacia evidenziato, sia in funzione del dosaggio che della specie considerata, ha consentito di attribuire una efficacia biologica comparativa. Le maggiori attività biologiche sono state mostrate da *X. strumarium*, *A. annua* e *A. millefolium* dal momento che sono le specie i cui oli essenziali hanno mostrato alla dose massima una inibizione completa per entrambe le malerbe testate. Una minore ma comunque apprezzabile efficacia è stata mostrata anche da *O. maritimus* e *A. verlotorum* che hanno consistentemente ridotto la germinazione anche della *D. sanguinalis* (14 e 22% di germinazione rispettivamente) specie che, come già sottolineato, è risultata decisamente più tollerante. Gli oli essenziali delle altre *Asteraceae* testate, pur avendo mostrato una totale inibizione della *P. oleracea* sono risultate meno efficaci nei confronti della graminacea testata.

Tabella 2. Inibizione germinativa "in vitro" mostrata dagli oli essenziali su *Portulaca oleracea* e *Digitaria sanguinalis*. Le medie contrassegnate da uno o due asterischi sono risultati significativamente diversi (p<0,05 e 0,01 rispettivamente) rispetto al controllo

Malerba	Specie fonte di oli essenziali	Germinazione %			Malerba	Specie fonte di oli essenziali	Germinazione %		
		Concentrazione					Concentrazione		
		0 µl	1 µl	10 µl			0 µl	1 µl	10 µl
portulaca	<i>A. millefolium</i>	64	6 **	0 **	digitaria	<i>A. millefolium</i>	90	88 n.s.	0 **
	<i>A. cotula</i>		2 **	0 **		<i>A. cotula</i>		82 n.s.	62 *
	<i>A. annua</i>		4 **	0 **		<i>A. annua</i>		88 n.s.	0 **
	<i>A. verlotorum</i>		0 **	0 **		<i>A. verlotorum</i>		86 n.s.	22 **
	<i>C. canadensis</i>		4 **	0 **		<i>C. canadensis</i>		84 n.s.	70 *
	<i>H. tuberosus</i>		6 **	0 **		<i>H. tuberosus</i>		88 n.s.	68 *
	<i>H. italicum</i>		6 **	2 **		<i>H. italicum</i>		86 n.s.	72 *
	<i>O. maritimus</i>		20 **	2 **		<i>O. maritimus</i>		80 n.s.	14 **
	<i>X. strumarium</i>		14 **	0 **		<i>X. strumarium</i>		84 n.s.	0 **
	Media		6,9	0,4		Media		85,1	34,2

Resta da verificare l'attività biologica dei fitochimici sperimentati mediante test "in vivo" mediante una loro distribuzione sulle plantule emerse simulando una loro pratica utilizzazione in post-emergenza. La tabella 3 mostra i parametri di valutazione dell'impatto delle sostanze distribuite sulle 2 malerbe. Risulta opportuno sottolineare che il solo disperdente (Tween 80) non ha mostrato alcun effetto rispetto al controllo non irrorato a testimonianza che tale sostanza ha agito esclusivamente come disperdente e risulta priva di attività fitostatica e/o fitocida (dati non mostrati). Al contrario, la presenza degli oli essenziali ha esercitato marcati effetti sulle malerbe eccezion fatta per il dosaggio minore (50 mg/m<sup>2</sup>) che non ha mostrato apprezzabili differenze rispetto al controllo. Già alla dose di 100 mg/m<sup>2</sup> sono risultati ben evidenti l'attività fitostatica rappresentata da riduzione di crescita e un evidente ingiallimento fogliare. Contrariamente a quanto visto nel precedente test "in vitro" è la malerba graminacea che è risultata più sensibile, rispetto alla dicotiledone. Infatti solamente nel caso degli oli essenziali di *X. strumarium* sono stati osservati effetti fitostatici. Al contrario, tutti gli oli essenziali (ad eccezione di quelli derivanti da *O. maritimus*) hanno mostrato attività nei confronti della *D. sanguinalis* a questa dose intermedia. Alla dose massima (500 mg/m<sup>2</sup>) questa ultima malerba è risultata completamente devitalizzata dopo la distribuzione degli oli essenziali di *A. millefolium*, *A. annua* e *X. strumarium*. Quelli delle altre 2 *Asteraceae* (*A. verlotorum* e *O. maritimus*) hanno mostrato evidenti inibizioni di crescita. Nel caso della *P. oleracea* i bioerbicidi testati sono risultati meno efficaci ad eccezione di quelli costituiti dagli oli essenziali di *X. strumarium*, formulazione che è risultata completamente fitocida. Tuttavia una evidente fitostaticità è stata osservata per questa malerba anche nei casi delle sostanze estratte da *A. millefolium* e *A. annua*.

Tabella 3. Effetto fitostatico (●●) o fitocida (●●●) mostrato "in vivo" dagli oli essenziali estratti dalle varie specie di *Asteraceae* su *Portulaca oleracea* e *Digitaria sanguinalis*. Sul controllo (nessun sintomo = ●) è stato distribuito la sola sostanza disperdente (Tween 80)

Malerba	Specie fonte di oli essenziali	Controllo	Concentrazione (mg/m <sup>2</sup> )		
			50	100	500
portulaca	<i>Achillea millefolium</i>	●	●	●	●●
	<i>Artemisia annua</i>	●	●	●	●●
	<i>Artemisia verlotorum</i>	●	●	●	●
	<i>Othantus maritimus</i>	●	●	●	●
	<i>Xanthium strumarium</i>	●	●	●●	●●●
digitaria	<i>Achillea millefolium</i>	●	●	●●	●●●
	<i>Artemisia annua</i>	●	●	●●	●●●
	<i>Artemisia verlotorum</i>	●	●	●●	●●
	<i>Othantus maritimus</i>	●	●	●	●●
	<i>Xanthium strumarium</i>	●	●	●●	●●●

## DISCUSSIONE

Alcune delle *Asteraceae* testate sono risultate promettenti sia per la produzione di biomassa sia per la resa in oli essenziali (simile o persino superiore alle comuni erbe aromatiche comunemente utilizzate a tal scopo, Lucchesi *et al.*, 2004) nonché in termini di efficacia biologica (analoga a quella risultata promettente per fini erbicidi, Singh *et al.*, 2005). La sovrapposizione di tutti questi fattori evidenzia come *A. annua* sia risultata decisamente promettente in quanto l'elevata resa in oli essenziali è risultata affiancata sia da una elevata produttività potenziale che, soprattutto, da un marcato effetto sulle malerbe. L'unica performance sub-ottimale riguarda l'effetto sulla *P. oleracea* che alla dose massima saggiata ( $500 \text{ mg/m}^2$ ) non ha mostrato un'azione letale ma solamente fitostatica. Sotto questo profilo gli oli essenziali estratti da *X. strumarium* hanno mostrato la maggiore efficacia dal momento che alla dose massima saggiata hanno evidenziato una azione biocida nei confronti di entrambe le malerbe. Purtroppo, l'inconveniente di questa specie è rappresentato dalla scarsa resa in oli essenziali (0,13%). Tuttavia questa carenza è parzialmente compensata dall'elevata produttività in biomassa. Decisamente promettente è risultata anche *A. millefolium* che oltre ad una apprezzabile efficacia nei confronti delle malerbe ha mostrato rese potenziali in oli essenziali ( $0,32 \text{ mg/m}^2$ ) simili a quelli della precedente specie ( $0,36 \text{ mg/m}^2$ ). Tale potenzialità produttiva è risultata ancor più elevata in *A. verlotorum* ( $0,87 \text{ mg/m}^2$ ) anche se la sua azione biologica nei confronti della specie graminacea, potrebbe risultare accettabile solamente a dosaggi maggiori. Il motivo della minore efficacia degli oli essenziali nei confronti della specie dicotiledone è difficile da dimostrare ma risulta probabilmente dovuta alle ben note sostanze cerose presenti sull'epidermide (Tulloch, 1974). Il meccanismo di azione dell'attività biocida non è stato completamente chiarito ma le ipotesi più accreditate focalizzano l'attenzione su danni arrecati nell'integrità della membrana cellulare (Lambert *et al.*, 2001) ed all'inibizione dell'attività enzimatica necessaria per diversi "pathway" biosintetici (Duke *et al.*, 2000). Tale ostacolo al metabolismo enzimatico risulta probabilmente la causa principale dell'inibizione germinativa osservata "in vitro".

L'utilizzo agronomico di queste sostanze appare quello di post-emergenza in quanto, seppur essendo interessante l'inibizione della germinazione, un ipotetico trattamento in pre-emergenza sarebbe poco efficace nel tempo per la loro estrema volatilità.

## CONCLUSIONI

I risultati ottenuti appaiono promettenti per poter ipotizzare una filiera agronomica dedicata alla produzione di specie per la produzione di bioerbicidi. I primi passi in questa direzione potrebbero intanto essere circoscritti, al presente, verso una attività di raccolta spontanea dal momento che molte delle specie risultate interessanti (ad esempio *X. strumarium*) sono ampiamente diffuse in molti agroecosistemi. Il passo successivo, nel medio e nel lungo periodo, potrebbe prevedere persino la coltivazione di queste specie in modo da poter garantire una produzione annua in grado di soddisfare l'ipotetica domanda di bioerbicidi. D'altra parte la spiccata rusticità di queste specie garantisce una relativamente facile produttività anche a bassi inputs contrariamente a quanto accade per le più esigenti colture aromatiche solitamente utilizzate come fonte di oli essenziali. In conclusione la vasta gamma di informazioni sui meccanismi di allelopatia, scientificamente molto interessanti ma spesso scarsamente seguiti da efficaci applicazioni pratiche, trova nello studio dei bioerbicidi una concreta opportunità di innovazione agronomica dedicata alla gestione della flora spontanea all'interno dell'ecosistema urbano.

## LAVORI CITATI

- Ahluwalia A.D., 2007. Bioherbicides: an eco-friendly approach to weed management. *Current Science*, 1, 10-11.
- Auld B.A., Morin L., 1995. Constraints in the development of bioherbicides. *Weed Technology*, 9, 638-652.
- Benvenuti S., 2004. Weed dynamics in the Mediterranean urban ecosystem: ecology, biodiversity and management. *Weed Research*, 5, 341-354.
- Burt S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253.
- Chon S.U., Kim Y.M., Lee J.C., 2003. Herbicidal potential and quantification of causative allelochemicals from several Compositae weeds. *Weed Research*, 43, 444-450.
- Dudai N., Poljakoff-Mayber A., Mayer A.M., Putievsky E., Lerner H.R., 1999. Essential Oils as Allelochemicals and their potential use as bioherbicides. *Journal of Chemical Ecology*, 25, 1079-1089.
- Duke S.O., Romagni J.G., Dayan F.E., 2000. Natural products as sources for new mechanisms of herbicidal action. *Crop Protection*, 19, 583-589.
- Flamini G., Cioni P.L., Morelli I., 2003. Differences in the fragrances of pollen, leaves, and floral parts of garland (*Chrysanthemum coronarium*) and composition of the essential oils from flowerheads and leaves. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, 2267-2271.
- Grassia M.E., Benvenuti S., Cioni P.L., Flamini G., Bacci D., 2008. Asteraceae mediterranee: estrazione di fitochimici naturali utilizzabili come bioerbicidi. *Atti VIII Congresso Annuale Biodiversità*, Università del Salento, Lecce, 21-23 Aprile 2008, in corso di stampa.
- Hallett S.G., 2006 Where are the Bioherbicides?. *Weed Science*, 53, 404-415.
- Hoagland R.E., 1996. Chemical Interactions with bioherbicides to improve efficacy. *Weed Technology* 10, 651-674.
- Hoagland R.E., Boyette C.D., Weaver M.A., Abbas H.K., 2007. Bioherbicides; research and risk. *Toxin Reviews*, 26, 313-342.
- Kurita N., Miyaji M., Kurane R., Takahara Y., 1981. Antifungal activity of components of essential oils. *Agricultural Biological Chemistry*, 45, 945-952.
- Lambert R.J.W., Skandamis P.N., Coote P.J., Nychas G.JE., 2001. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 91, 453-462
- Lucchesi M.E., Chemat F., Smadja J., 2004. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography*, 1043, 323-327.
- Mohan Babu R., Sajeena A., Seetharaman K., Vidhyasekeran P., Rangasamy P., Som Prakash M., Senthil R., Biji K.R., 2003. Advances in bioherbicides development - an overview. *Crop Protection*, 22, 253-260.
- Murray B.I., 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19, 603-608.
- Singh H.P., Bratish D.R., Setia N., Kohli R.K., 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. *Annals of Applied Biology*, 146, 89-94.
- Tulloch A.P., 1974. Leaf wax of *Portulaca oleracea*. *Lipids*, 9, 664-668
- Young S.L., 2004. Natural product herbicides for control of annual vegetation along road sides. *Weed Tecnology*, 18, 580-587.