

LA BIOFUMIGACIÓ, MÈTODE BIOLÒGIC DE CONTROL DE PATÒGENS DEL SÒL

FITXA TÈCNICA 42

INTRODUCCIÓ

La biofumigació és una tècnica biològica per al control de patògens del sòl (nematodes, fongs, bacteris...) que consisteix en la incorporació al sòl de grans quantitats de matèria orgànica fresca (principalment fens o bràssiques -família de les Brassicàcies: naps, cols...) juntament amb l'aportació de grans quantitats d'aigua per arribar a condicions d'anaerobiosi. El resultat és una millora de les característiques generals del sòl i de la nutrició dels cultius, a un cost mínim. La seva eficàcia com a desinfectant del sòl és similar a la dels fumigants químics convencionals, si bé mitjançant uns processos diferents, per a qual cosa se'l considera una alternativa a l'ús d'aquests en agricultura convencional, també útil en agricultura ecològica.

EL SÒL I LA SEVA SANITAT

El sòl, en la seva concepció actual, és la capa superficial de la Terra formada per elements minerals d'origen divers i per organismes vius (plantes, micro i macroorganismes, animals, etc.), que són els encarregats de mantenir una estructura edàfica estable.

Aquests organismes vius presents en el sòl conformen una xarxa de cadenes tròfiques on els individus que moren, juntament amb les restes dels vegetals, passen a formar part de la matèria orgànica (morta) del sòl encarregada juntament amb la d'origen extern de la fertilització dels sòls agrícoles. Però a la matèria orgànica aplicada al sòl, ja sigui en forma d'adob orgànic o esmena, se li ha de reconèixer una altra qualitat que va més enllà de la seva funció essencial com estructurant del sòl i de la fertilització química (A. Bello *et al.*): controlar les plagues i malalties del sòl. Efectivament, el manteniment tradicional de la fertilitat del sòl mitjançant la fertilització orgànica, que li dona condicions físiques ideals, introdueix en el sòl materials quitinosos que estimulen l'activitat de certs organismes antagonistes dels fongs fitopatògens, al mateix temps que genera amoníac, que actua com a nematicida.

Malauradament, la introducció dels adobs químics propicià l'oblit de la importància que té la fertilitat del sòl i la seva fertilització orgànica en l'autogestió de la sanitat dels agrosistemes. I així és com avui dia els patògens del sòl han esdevingut un dels problemes principals en la productivitat dels cultius, la qual cosa causa pèrdues milionàries any rere any, i obliga en agricultura convencional a l'aplicació de cada vegada més quantitat de desinfectants químics del sòl per poder-hi fer front. Un d'aquests desinfectants químics, el més conegut, és el bromur de metil (BM), prohibit des de l'any 2005. Les raons principals de la seva prohibició foren que entre el 50 i el 95% del BM aplicat a terra passava en forma d'emissions gasoses a l'estratosfera, on allibera àtoms de brom que reaccionen amb l'ozó i altres molècules estables que contenen clor, que dona lloc a una reacció en cadena que contribueix a la disminució de la capa d'ozó (Thomas 1997, en A. Bello *et al.*). Gràcies a la prohibició d'ús d'aquest producte químic, la recerca d'alternatives per a la desinfecció dels sòls s'ha accelerat enormement.



Foto 1: Cultiu de nap farratger per biofumigació.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

La manca de fertilització orgànica del sòl en l'agricultura intensiva ha portat al que es coneix com a fatiga del sòl. Com ho indica l'expert en patologia vegetal Javier Tello (2010), la fatiga del sòl pot ser, com a mínim, de tres tipus: fatiga física deguda a una defectuosa estructura del sòl, fatiga química deguda a l'acció d'acumulació d'una fitotoxina o substància alelopàtica, i fatiga biològica deguda al parasitisme de debilitat, és a dir, que la baixa població de microorganismes antagonistes dels patògens del sòl provoca una afectació greu i repetida en la sanitat dels cultius.

Per a la correcció de la fatiga física i biològica del sòl, la matèria orgànica hi juga un paper corrector de primer ordre: genera estructura mitjançant la unió amb les partícules d'argila del sòl i activa els microorganismes antagonistes dels patògens del sòl. Per a la correcció de la fatiga química, resulta imprescindible l'ús de rotacions de cultius. Aquests són, sens dubte, els principals mètodes preventius per al manteniment de la sanitat dels cultius amb què compten els pagesos ecològics.

Però en agricultura ecològica també resulta necessari disposar no només de mètodes preventius sinó també de mètodes

correctors. Efectivament, hi ha dins de l'agricultura ecològica diferents tipologies d'explotacions, algunes de les quals, com a conseqüència de la tria i maneig dels cultius, no sempre aconsegueixen implementar els mètodes preventius citats. Per altra

PATÒGENS EN QUÈ L'EFFECTE DELS BIOFUMIGANTS HA ESTAT CONTRASTAT

Fusarium oxysporum

Verticillium dahliae

Rhizoctonia solani

Sclerotinia sp.

Phytium sp.

Phytophthora sp.

Nematodes (*Pratylenchus*)

Taula 1: Patògens en què l'efecte dels biofumigants ha estat contrastat.
Font: Andreu Vila.

banda, aquestes tècniques correctores resulten encara més necessàries en el procés de reconversió d'explotacions convencionals a ecològiques, on l'assoliment d'un major equilibri en l'agrosistema és un requisit indispensable per a l'èxit de la reconversió. És aquesta una de les raons fonamentals per les quals la biofumigació resulta interessant en agricultura ecològica. De totes maneres, cap mètode de desinfecció biològica del sòl no ha de ser considerat com la solució a les causes dels problemes. La millor opció és el maneig integral dels cultius i de l'agrosistema en general. Encara que la biofumigació pot ser una eina que pot permetre tornar a trobar un cert equilibri en el sistema, després resulta totalment ineludible de mantenir-lo.

LA BIOFUMIGACIÓ

La biofumigació es fonamenta en l'acció fumigant de les substàncies volàtils resultants de la biodescomposició de la matèria orgànica fresca per al control dels organismes patògens del sòl (A. Bello *et al.*). Es parla d'una sèrie d'efectes directes de la biofumigació sobre el sòl, a més d'altres efectes indirectes:

- en la degradació de la matèria orgànica incorporada intervenen un gran nombre de microorganismes, que es veuen afavorits per l'augment de matèria orgànica, i que actuen com a antagonistes (*Aspergillus*, *Trichoderma*...) dels patògens del sòl, que ocupen l'espai i entren en competència amb els patògens.
- les substàncies volàtils (com els isotiocianats, en endavant ITCs), amoni i fenols produïts en la biodegradació (fermentació, etc.) de la matèria orgànica aplicada afavoreixen el control de patògens del sòl i incrementen l'eficàcia de la tècnica quan s'inclou en un sistema integrat de producció de cultius.
- les condicions d'anaerobiosi (falta d'oxigen) creades en el terreny durant l'aplicació de la tècnica degut a la inundació del terreny amb aigua de reg també tenen un efecte inhibitor sobre el desenvolupament dels patògens del sòl.
- l'augment, en el sòl, de matèria orgànica en les seves diferents formes (fresca, madura, humus, etc.) té un efecte millorant (al contrari de degradant) del sòl que fa augmentar la seva fertili-

tat general (física, química i biològica) i, per tant, permet al sòl la recuperació de la seva sanitat i del seu equilibri.

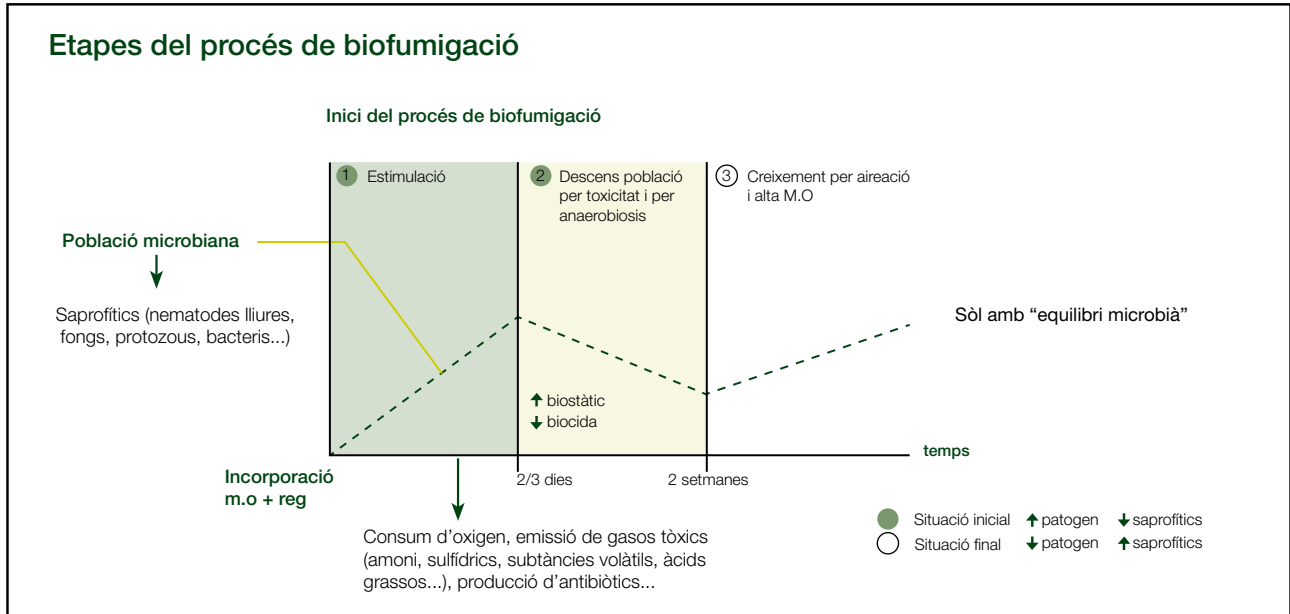
Per tal que l'aplicació de matèria orgànica biofumigant tingui els efectes indicats, resulta necessari retenir en el sòl els gasos produïts durant la descomposició almenys durant dues setmanes. La retenció dels gasos s'aconsegueix segellant el sòl mitjançant aigua de reg, que es pot acompanyar amb una coberta suplementària de plàstic. Aquest tipus de maneig, el segellat, junt amb les quantitats de matèria orgànica aportades (fins a 50 t/ha quan s'apliquen fems o altres residus agroindustrials (A. Bello *et al.*)), són el que diferencia principalment la biofumigació de l'adobat orgànic.

Pel que fa a les matèries orgàniques útils per a la biofumigació del sòl, s'ha trobat que generalment qualsevol matèria orgànica pot actuar com a biofumigant. La seva eficàcia depèn principalment del tipus de matèria orgànica aportada, de la dosi i del mètode d'aplicació. En aquest sentit, hi ha tres grups principals de matèries orgàniques biofumigants: fems frescos, residus d'indústries agràries transformadores i cultius de bràssiques, que s'acaben incorporant al sòl al final del cultiu.



Foto 2: Cultiu de bràssiques en cultiu de fruiters.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

Pel que fa a les dosis, en els cultius de bràssiques les plantes han d'arribar necessàriament a un mínim de biomassa produïda (entre 4 i 8 kg/m², o 40-80 t/ha) per tal que la tècnica resulti eficaç. Els cultius de bràssiques presenten com avantatge respecte als altres materials biofumigants un menor cost econòmic, eviten desajustar la fertilitat del sòl per un excés d'aplicació, alhora que impedeixen sobrepassar el límit màxim de 170 kg de N/ha establert per les aplicacions fertilitzants (Decret 136/2009). En contrapartida, els cultius de bràssiques requereixen d'una ocupació temporal del sòl major que en l'aplicació d'altres restes orgàniques a causa del període de cultiu necessari. Quant a les dosis d'aplicació de fems o altres residus per a la biofumigació, s'ha de tenir en compte que les aplicacions de grans quantitats de residus que es proposen en alguns treballs (fins a 100 t/ha!) no s'ajusten a les restriccions abans mencionades per a una correcta fertilització química del sòl i poden comportar pèrdues per lixiviació i la conseqüent contaminació dels freàtics.



Font: Andreu Vila

MOTIVACIONS PER AL SEU ÚS

- La biofumigació resulta necessària en tant que molts dels patògens del sòl afecten més d'una espècie, com per exemple la verticilosis en cultius hortícoles, cosa que dificulta la lluita contra aquests patògens del sòl únicament mitjançant la rotació de cultius.
- La biofumigació té capacitat de control sobre fongs, bacteris, insectes i nematodes, a més de reduir els problemes de replantació (marres, manca de vigor, etc.), sobretot en fructicultura.
- La seva activitat fumigant és selectiva, ja que la quantitat d'ITCs dels gasos volàtils necessària per eradicar patògens com *Sclerotinia* o *Pythium* és trenta vegades menor que la necessària per afectar fongs antagonistes dels patògens com *Trichoderma* (Kierkegaard i Matthiessen, 2004, en V. Michel *et al.*, 2007).
- La seva aplicació està especialment indicada en terres que han patit una sobreexplotació (aplicació de tècniques de conreu inadequades en la gestió de la fertilitat i de la vida al sòl). També es pot aplicar a terres que no hagin patit maneigs inadequats, ja que té un efecte beneficiós en les propietats físiques del sòl, particularment respecte a la correcció de la seva compactació (A. Bello *et al.*).
- A diferència de la solarització, en la biofumigació no són necessàries temperatures ambientals superiors a 30 graus, per la qual cosa es pot aplicar en qualsevol època de l'any, en àrees de baixes temperatures i en cultius extensius. Sempre tenint en compte que com major sigui la temperatura del sòl, més ràpida serà la degradació de la matèria orgànica incorporada.
- No té limitacions d'ús en els reglaments de producció integrada o ecològica, sempre que es respectin les aplicacions màximes de 170 kg de N/ha (Decret 136/2009).

- No se li atribueixen efectes nocius ni sobre el medi ambient ni sobre les persones (A. Bello *et al.*), sempre que es faci seguint els criteris agronòmics recomanats en les aplicacions de matèria orgànica al sòl.
- Permet resoldre els problemes d'impacte ambiental que generen certs residus (fems, residus urbans, subproductes agroindustrials, etc.)¹, al mateix temps que millora les propietats físiques, químiques i biològiques del sòl.
- Incrementa el rendiment dels cultius, ja que disminueix les despeses d'inversió en productes comercials, i dona lloc a sistemes de cultiu la gestió dels quals es basa en l'ús de recursos locals.
- Permet superar les limitacions comercials i/o de rendiment d'algunes de les varietats resistents utilitzades com a mètode de lluita contra certs patògens del sòl.

EN QUÈ CONSISTEIX

Tal i com s'indica en el gràfic superior el procés de biofumigació segueix les següents etapes:

Etapa 1. L'efecte biocida de les substàncies volàtils (ITCs), i d'altres com l'amoni, sobre les poblacions de patògens només es dona en aquesta etapa que dura uns 2 o 3 dies (A. Bello *et al.*). Al mateix temps, la població de fongs saprofítics, antagonistes dels patògens del sòl, es veu afavorida per la presència de la matèria orgànica. Quant al nivell de contingut d'oxigen en el sòl, aquest va disminuint constantment pel consum que en fan les creixents poblacions de microorganismes, que per altra banda no es veu renovat degut al segellat del sòl, que ha de ser complet per tal d'assegurar l'efectivitat de la tècnica. Aquesta primera etapa de la biofumigació és la més important, ja que és on s'assoleix un màxim de població microbiana, un màxim contingut de substàncies volàtils nocives pels patògens del sòl

¹En producció ecològica per a poder utilitzar aquests residus cal complir els requisits de l'Annex 1 del Reglament CE 889/2008.

i un mínim contingut d'oxigen en el sòl, principals efectes sobre els quals es basa la tècnica.

Etapa 2. Un cop passats els efectes nocius immediats de les substàncies generades anteriorment, s'inicia una segona etapa caracteritzada per la normalització de la situació, amb una disminució general de les poblacions de microorganismes presents en el sòl, on la presència de matèria orgànica afavoreix la supervivència dels microorganismes saprofítics (consumidors de matèria orgànica: *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*...). Aquests tenen poder fungistàtic (de desplaçament d'uns fongs per competència d'uns altres) sobre les poblacions de fongs patògens. Per altra banda, a causa de la normal pèrdua d'aigua el segellat del sòl disminueix, augmenta el contingut en oxigen i s'allibera part de les substàncies biocides generades en l'etapa 1.

Etapa 3. Després de les dues o tres setmanes que duren aquestes dues etapes, els microorganismes del sòl s'estabilitzen en funció de la situació deixada en les etapes anteriors, és a dir, amb preeminència de les colònies de microorganismes saprofítics i antagonistes sobre les de patògens. A partir d'aquí es considera acabada l'aplicació de la tècnica, podent implantar els nous cultius a partir dels 2-3 dies següents.

ORIGEN DE LA TÈCNICA

L'**origen** de la tècnica es remunta a la utilització de bràssiques com a substitut del metam-sodi, desinfectant químic del sòl, en tractaments de cultius de patata a Austràlia (Matthiessen i Kierkegard, 1993, en A. Bello *et al.*). Segons aquests investigadors, l'ampli espectre d'activitat del metam-sodi posava en dubte la sostenibilitat a llarg termini dels tractaments químics de desinfecció. Durant la recerca de solucions, van assenyalar que el principi actiu del metam-sodi és el metil-isotiocianat (ITC), un compost volàtil que es produeix sintèticament a la indústria química, però que existeixen altres formes d'isotiocianats principalment presents en diferents espècies i varietats de bràssiques, entre elles les cols, les coliflors, les mostasses i els naps.

Posteriorment, el 1997, la biofumigació va ser inclosa com alternativa no química al BM pel *Methyl Bromide Technical Comité (Comité Tècnic pel Bromur de Metil)*, alhora que s'ampliava a totes les matèries orgàniques i residus agroindustrials el concepte de biofumigant que s'aplicava anteriorment només als processos de descomposició de les bràssiques i al seu efecte fungicida i insecticida.

Avui dia, les investigacions es centren principalment en la biofumigació amb bràssiques i en la reducció de les dosis d'aplicació de fems o altres matèries orgàniques. Així, la recerca de varietats de bràssiques amb alts continguts d'ITCs, o fins i tot la seva elaboració i presentació en forma de pellets (Lazzeri *et al.*, 1997, en V. Michel, 2007) centren alguns dels estudis més recents.

Pel que fa a les dosis d'aplicació, segons J. Tello (2010, *com. pers.*) els canvis en els valors de referència utilitzats evidencien l'evolució de la tècnica quant a la seva aplicabilitat a la realitat

del camp, passant, en biofumigacions amb fems, de recomanacions d'aplicació de 100 t/ha a 20+5 tn/ha (les 5 t suplementàries indiquen una aplicació de gallinassa), i en biofumigacions amb bràssiques, de necessitats de producció de biomassa de 10 kg/m² (equivalent a 100 t/ha) a 2,5-4 kg /m² (25-40 t/ha).

De totes formes, no s'ha d'oblidar que la biofumigació ja existia històricament com a tal a l'horta de València, on anualment s'incorporaven els fems que no s'havien gastat alhora que s'inundava el camp, i al delta del Llobregat, on any rere any s'anegava el camp per tal de fer front a possibles malalties del sòl i a les habituals acumulacions de sals en superfície. Evidentment, el nom de la tècnica no era el de biofumigació, però el procediment tècnic i els objectius assolits eren molt similars.

TIPUS DE BIOFUMIGACIONS I DOSIS D'APLICACIÓ

La biofumigació pot ser de dos tipus: amb fems o altres restes orgàniques, o amb bràssiques. Cada una d'elles requereix un maneig diferent.

Biofumigació amb fems o altres restes orgàniques: perquè un material orgànic tingui funció biofumigant ha d'estar en les primeres fases de descomposició, la qual cosa no succeeix amb la matèria orgànica aportada normalment com adob (A. Bello *et al.*), que es tracta de matèria orgànica estabilitzada. Així, resulta necessària una relació C/N d'entre 8 i 20 perquè l'aplicació d'aquesta matèria orgànica tingui efecte biofumigant (producció d'amoni i nitrats i afavoriment d'enzims amb activitat biocida). Les **dosis d'aplicació** oscil·len entre les 25-50 t/ha, tot segons el tipus de material utilitzat i de la pressió de patògens en el sòl a biofumigar. A elevades pressions de patògens les dosis poden ésser màximes (50 t/ha), si bé es poden reduir aplicant la matèria orgànica per solcs. Quan les pressions de patògens no són tan elevades i l'objectiu principal de la biofumigació és contrarestar la fatiga del sòl, les dosis es poden reduir a valors al voltant de les 20-25 tn/ha.

Entre les matèries orgàniques en què s'han estudiat els efectes biofumigants trobem: fems de cabra, ovella, vaca i gallina, residus de cultius d'arròs, d'indústries forestals i de paper, residus d'indústries de peix i marisc, nombrosos subproductes agrícoles (fins i tot de jardí), així com els residus procedents de plantes que presenten compostos amb efectes al·lelopàtics (A. Bello *et al.*). Pels fems, s'ha de procurar que durant el seu transport i emmagatzematge no es perdin els gasos produïts en la biodegradació, cobrint-los amb plàstics o altres materials fins el moment de l'aplicació. El biofumigant s'ha d'escampar uniformement perquè no apareguin focus de patògens que puguin recolonitzar l'espai, i s'ha d'incorporar com més aviat millor.

Biofumigació amb bràssiques: La utilització de bràssiques com a font de matèria orgànica fresca per a la biofumigació és una de les alternatives a la no utilització de fems que resulta més barata i no presenta dificultats tècniques en el maneig.

Les bràssiques contenen uns compostos anomenats glucosinolats (Kjaer, 1976, en A. Bello *et al.*) que quan s'hidrolitzen per l'acció de l'enzim mirosinasa donen lloc als isotiocianats (ITCs). Els glucosinolats són inactius contra microorganismes, però els productes resultants de la hidròlisi són biocides molt eficaços contra nematodes, bacteris, fongs, insectes i la germinació de llavors (A. Bello *et al.*).

L'eficàcia de la biofumigació amb bràssiques depèn de diversos factors, però fonamentalment de la bràssica utilitzada, de la seva correcta incorporació al sòl, de l'activitat enzimàtica de la mirosinasa que és la responsable de la hidròlisi dels glucosinolats, de les pèrdues per volatilització, de l'absorció de l'argila, de la pèrdua per percolació i de la degradació microbiana (Brown i Morra, 1997, en A. Bello *et al.*).

Entre les espècies útils de la família de les brassicàcies trobem el nap farratger, que dona una gran biomassa radical i foliar, assajat en diferents moments al Parc Agrari del Baix Llobregat per l'ADV Fruita del Baix Llobregat en el control d'*Armillaria* i *Rosellinia* en plantacions noves de fruiters i pel control d'altres patògens (*Pythium*, *Phytophthora*, *Rizoctonia*) en cultius hortícoles. Dins de la família de les brassicàcies, ens són útils, en general, qualsevol espècie que s'adapti a les condicions de cultiu específiques d'una determinada zona geogràfica (segons el tipus de sòl, clima i meteorologia, antecedents culturals, etc). Una altra planta d'interès, de la família de les gramínies, és el sorgo (*Sorghum bicolor* o *S. sudanense*), que conté compostos cianhídrics.



Foto 3: Nap farratger.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

Com en les biofumigacions amb fems o altres restes orgàniques, la quantitat de biomassa a assolir amb el cultiu de bràssiques depèn de la situació del sòl (pressió de patògens, antecedents en la gestió integral de l'agrosistema, etc.). En les experiències conduïdes al Parc Agrari del Baix Llobregat, les dosis de sembra del nap farratger oscil·len entre els 8 i 12 kg/ha, amb produccions finals de biomassa que van dels 4 als 6 kg/m² (equivalent a 40 i 60 t/ha, respectivament). De totes maneres, resulta evident que la dosi de sembra per assolir una determinada biomassa dependrà essencialment de l'espècie i varietat escollides.

Finalment, cal dir que resulta recomanable alternar la utilització de residus agraris (fems o altres) amb bràssiques, i d'aquesta manera aconseguir diversificar els mètodes de control de patògens del sòl. Per altra banda, la utilització de lleguminoses i gramínies (com el sorgo) com a alternativa a l'ús de bràssiques també apareix citada en la bibliografia referent a la biofumigació.

MANEIG TÈCNIC

Trinxat i enterrament: el trinxat es fa, evidentment, únicament en el cas d'utilitzar bràssiques. En aquest cas, el procés és de gran importància, ja que com més finament es trinxi el cultiu, millor i més ràpidament es produirà l'alliberament d'ITCs i la degradació de la matèria orgànica provinent del cultiu. A tal efecte, la maquinària normalment utilitzada és la fresadora, que permet realitzar tant el trinxat o picat com l'enterrament en una sola passada de tractor. Per tal d'acomplir un trinxat més fi, resulta recomanable fer una passada prèvia a l'enterrament amb un arreu trinxador, que serà més eficaç si l'arreu romp les plantes (picadora de martells) enlloc de tallar-les (picadora de discos) (V. Michel *et al.*, 2007).

El moment del trinxat en la biofumigació amb bràssiques correspon al moment de la **plena floració** del cultiu (Sawar i Kierkegard, 1998), corresponent a la meitat del període de floració, moment en què el contingut de glucosinolats (precursors dels ITCs) en les plantes és màxim, sense que es presentin diferències significatives de contingut entre l'arrel i la part aèria. Un dels paràmetres més importants a l'hora d'escollir la varietat de bràssica a utilitzar és el temps que triga el cultiu en arribar a la floració, ja que necessitem adaptar-lo a la disponibilitat d'espai de la nostra alternativa de cultius, essent mínima (1 mes) en el cultiu de mostassa com a material biofumigant. Per altra banda, la quantitat d'ITCs produïts per planta és un altre dels



Foto 4: Trinxat i enterrament amb fresadora.
Font: Núria Cuch Arguimbau.



Foto 5: Trinxat de bràssiques en els carrers d'una plantació de fruiters.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

paràmetres interessants a tenir en compte a l'hora d'escollir les varietats de bràssiques biofumigants.

Pel que fa a l'enterrament, procés a aplicar en ambdós tipus de biofumigacions, la **profunditat** recomanada tendeix a ser relativament elevada, indicant J. Tello (2006) unes profunditats de 25-30 cm, mentre que d'altres (V. Michel *et al.*, 2007) proposen la màxima profunditat assolible pels arrels. Si bé la biofumigació és una tècnica que, com ja hem dit, permet ser aplicada en qualsevol **època de l'any** i àrea geogràfica (contràriament a la solarització), s'ha de pensar que com més fred es trobi el sòl en el moment de l'aplicació, les quantitats d'ITCs alliberades poden ser insuficients i l'efecte biofumigant menor. Igualment, per tal d'assolir uns efectes màxims en el cas de la biofumigació amb fens, aquests s'han d'aplicar al més aviat possible després del seu transport a camp, sense deixar temps que s'iniciï el seu compostatge damunt el sòl.

Segellat: aquesta és l'etapa del procés que permet mantenir retingudes en el sòl les substàncies volàtils que es produiran durant la descomposició de la matèria orgànica, ja que sense el segellat del sòl aquestes substàncies es perdrien per volatilització. Per altra banda, permet la reducció del contingut d'oxigen present en el sòl, un altre dels efectes principals de la biofumigació en el control de patògens del sòl.

Una de les claus del segellat del sòl, que repercuteix directament i fortament sobre l'efectivitat de la biofumigació, és que es faci immediatament després de l'enterrament de la matèria orgànica, siguin bràssiques, fens o altres residus. En cas contrari, l'inici de la descomposició de la matèria orgànica per via aeròbica (amb oxigen) faria perdre part de les propietats biofumigants del material. Aquesta etapa del procés biofumigant dura dues setmanes, encara que es pot considerar necessari d'allargar-la uns dies si la pressió de patògens en el sòl és molt alta, o si la temperatura del sòl és massa baixa i ralenteix la degradació de la matèria orgànica.



Foto 6: Segellat amb aigua dins hivernacle.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

Hi ha **dos tipus de mètodes** possibles per tal de mantenir el sòl ben segellat: regant fins a capacitat de camp o cobrint el sòl, després de regar, mitjançant un plàstic. Si s'escull aquesta darrera opció i la biofumigació es fa durant l'estiu, amb plàstic transparent, i mantenint el plàstic durant 45 dies o més, la tècnica es veurà lleugerament modificada donant pas a allò que s'anomena biosolarització (mescla de biofumigació i solarització). El gruix del plàstic útil per al segellat hauria de ser d'aproximadament 400 galgues (100 micres).

Per al segellat mitjançant aigua es pot utilitzar qualsevol tipus de reg, en funció principalment de les característiques del sòl: a manta, principalment per a sòls francs, argilosos i llimosos, on també es pot utilitzar el gota a gota, doblant el nombre de goters per metre quadrat; i per aspersió, útil en sòls sorrencs i de poca profunditat (<30 cm), on la utilització de plàstic pot resultar supèrflua, i on pot ser necessari realitzar regs freqüents per tal de mantenir uns nivells d'humitat adequats.

Per tal de facilitar el segellat i assegurar l'efectivitat de la biofumigació, es recomana fer una passada de corró o de l'alomadora del rotovàtor prèvia al reg. Una vegada passades les dues setmanes corresponents a les dues primeres etapes del procés de biofumigació, el sòl ja estarà en condicions de ser cultivat de nou, prèvia passada de cultivador.

MOMENT I PERIODICITAT DE L'APLICACIÓ

Alguns casos d'aplicació anual de la tècnica responen a situacions sanitàries del sòl molt negatives, on la gestió integral de la fertilitat del sòl mitjançant rotacions i aportacions periòdiques d'adobs orgànics no es realitza correctament. En aquests casos, la periodicitat de l'aplicació de la biofumigació pot seguir l'ordre del descens de la productivitat.

Les situacions més habituals són aquelles en què la tècnica s'aplica només una sola vegada a la parcel·la en qüestió, ja sigui per afavorir una correcta reconversió del sòl cap a l'agricultura

ecològica, per assegurar l'èxit d'una nova plantació de fruiters, etc. La biofumigació és concebuda, doncs, com una tècnica d'una sola aplicació, principalment pel seu caràcter agressiu, o de xoc, que té sobre el sòl i els seus habitants (fongs, cucs de terra, bacteris...).

S'ha comentat anteriorment que la no necessitat d'altres temperatures per a la seva aplicació permet de fer-ne ús en qualsevol època de l'any i en àrees de baixes temperatures. Tanmateix, si es preveuen temperatures del sòl massa baixes per a una correcta activitat dels microorganismes saprofítics (<15 °C), que es troben a la base de l'èxit de la biofumigació, pot convenir ajornar la seva aplicació a un altre període de l'any, en previsió d'una insuficient producció d'ITCs i d'una lenta degradació de la matèria orgànica.



Foto 7: Aplicació de fems en biofumigació per solcs en fruiters.
Font: Núria Cuch Arguimbau.

Segons quin sigui el cultiu i el sòl on realitzar la biofumigació, el moment de la seva aplicació pot ser un o altre:

- **en horta:** sota hivernacle, en producció intensiva, la biofumigació pot esdevenir un element més en la rotació de cultius, altament necessari per al manteniment d'un mínim equilibri biològic i sanitari en el sòl. A l'aire lliure, en l'any o anys en què faci falta realitzar la biofumigació, aquesta hauria de ser el precedent cultural de cultius molt exigents en nutrients (tomàquet, cogombre, etc.), ja que el seu paper fertilitzant no és negligible. I sobretot, en biofumigacions amb bràssiques, escollir la varietat que menys temps de cultiu necessiti abans d'assolir la plena floració, i que millor s'adapti a la rotació de cultius establerta.
- **en fructicultura:** les dues aplicacions possibles són abans de plantació i durant el cultiu. Abans del cultiu, de cara a noves plantacions de fruiters, únicament s'ha de tenir en compte la durada de l'aplicació de la tècnica, per tal que els fruiters es puguin plantar en el moment desitjat. En aplicacions durant el cultiu de fruiters, evidentment es farà entre els carrers de plantació, amb la necessitat de vigilar les dosis de sembra i que la incorporació no pugui tenir efectes negatius sobre els arbres i la seva producció. Pot resultar interessant per a la germinació de les llavors del cultiu de bràssiques biofumigants aprofitar el final del període de pluges.
- **en extensius:** com en les noves plantacions de fruiters, el

moment de l'aplicació dependrà de la data d'establiment del nou cultiu, tenint en compte així mateix l'efecte fertilitzant de la biofumigació sobre els cultius posteriors, que haurien de ser, com en horta, exigents en nutrients.

EFFECTES SOBRE ELS CULTIUS, EL SÒL I LA DISPONIBILITAT DE NUTRIENTS

En els efectes sobre els cultius, s'ha trobat que en tomàquet (var. Marmande) la biofumigació comporta un increment en l'alçada de la planta i en la biomassa dels fruits (L. Gómez *et al.*, 2010). En producció de pastanaga a Andalusia, la màxima producció es dona després de tractaments amb nap farratger, seguit de fems d'ovella, millorant els resultats productius obtinguts amb desinfectants químics. Pel que feia a la qualitat de la pastanaga, el major nombre de pastanagues grans (>20 cm) es donava després de la biofumigació amb nap farratger (A. Bello *et al.*, 2003). Així doncs, el vigor de les plantes del cultiu posterior i la seva producció comercial són equiparables als resultats obtinguts sobre els cultius tractats amb fumigants químics (J. Tello *et al.*, 2010).

Si bé l'objectiu principal de la biofumigació és el control de patògens del sòl, els efectes que indueix en el sòl i en la disponibilitat de nutrients pel cultiu posterior han de ser tinguts en compte per a un correcte pla de fertilització dels cultius. De totes maneres, resulta remarcable la importància d'establir programes de fertilització que considerin les característiques no només del biofumigant, sinó també del sòl on s'aplica.



Foto 8: Camp d'assaig on s'ha realitzat una comparativa entre una biofumigació o una biosolarització (biofumigació + solarització).
Font: Núria Cuch Arguimbau.

A continuació, es presenten alguns resultats en relació a la modificació d'alguns paràmetres del sòl després de la biofumigació (J. Tello *et al.*, 2010):

- es millora la densitat aparent del sòl, incrementant així la porositat i, per tant, la velocitat d'infiltració de l'aigua de reg i de pluja.
- la conductivitat elèctrica del sòl, i en conseqüència la concentració salina, no es veu significativament modificada per l'addició de fems.
- el pH en sòl calcaris (pH>8) disminueix lleugerament al final del cultiu.
- s'incrementa la matèria orgànica.

- el sodi i els clorurs no es veuen modificats en aquells sòls que tenen una major concentració d'ambdós ions. En canvi, sí que es modifiquen en els sòls que tenen menor concentració de sals.
- s'incrementa la concentració de potassi en el sòl, així com la de magnesi.
- l'increment de nitrogen depèn de la relació C/N de la matèria orgànica biofumigant.
- els tractaments amb matèria orgànica (fems o altres residus orgànics) afavoreixen l'increment de ferro soluble en el sòl.
- s'incrementa considerablement la forma manganosa (Mn^{2+}) soluble en aplicar els tractaments, però disminueix al final del cultiu.
- s'incrementa considerablement el fòsfor soluble i per tant assimilable, possiblement en forma de fosfats orgànics (activitat fòstasa) que impedeixen la seva precipitació com fosfat tricàlcic. En aquest fenomen no són aliens els microorganismes associats a la matèria orgànica.
- el bor no es veu afectat.

Per acabar, no s'ha de deixar de mencionar la influència que té la biofumigació en el control d'herbes adventícies: per una banda, l'activitat supressora sobre aquestes herbes per part dels cultius de bràssiques biofumigants és similar a la ja coneguda en els adobs en verd, ja que segueixen una metodologia de cultiu similar; per l'altra, el procediment tècnic seguit en la realització de la tècnica (augment de temperatura del sòl, inundació, etc.) té com a resultat sobre les llavors de les herbes adventícies una disminució de la seva viabilitat.

BIBLIOGRAFIA

- A. Bello, J.A. López-Pérez, L. Díaz. *Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo*. CSIC [en línia: <http://www.geoscopio.com/empresas/aecientificos/>].
- A. Bello, J.A. López-Pérez, A. García. *Biofumigación en agricultura extensiva de regadío*. Fundación Ruralcaja Alicante i ed. Mundi-Prensa. 2003.
- Biofumigación. Control de patògens del sòl*. Resultats del Programa Específic d'Actuacions 2007 de l'ADV Fruita del Baix Llobregat. 2007.
- J.C.Tello, D. Palmero, A. García, M. de Cara. *Biodesinfección del suelo para el control de micosis de origen edáfico, corrección de la "fatiga" y efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo*. En: *Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible*. Coord: J.C. Tello y F. Camacho. Fundació Cajamar. 2010.
- J.C.Tello. *El suelo como "ente vivo" y su relación con las enfermedades de las plantas*. Dins: I Jornades d'agricultura ecològica i agroecologia a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. 13 i 14 de maig de 2010. Organitza: Grup d'AgroEcologia de l'ESAB i ICEA. [en línia: <http://www.esab.upc.edu/desab/>]. 2010.
- J.C.Tello. *Principios para el manejo integrado de enfermedades de hortalizas*. Consecuencias prácticas. Universitat d'Almeria, Departament de producció. Decembre 2006.
- L. Gómez, M.G. Rodríguez, L. Díaz-Viruliche, E. González, F. Wagner. *Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita**. [en línia: <http://www.agrytec.com/agricola>]. 2010.
- M. Sawar and J.A. Kirkegaard. *Biofumigation potential of brassicas*. Kluwer Academic Publishers. 1998.
- V. Michel, H. Ahmed, A. Dutheil. *La biofumigation, une méthode de lutte contre les maladies du sol*. Station de recherche Agroscope Changins, Wädenswil, Suissa. 2007.

CRÈDITS

Autor: Àngel Igelmo Segura i ADV Fruita del Baix Llobregat

Revisió: Unitat de Producció Agrària Ecològica (DAR)

Correcció lingüística: Joan-Ignasi Elias (DAR)