



# Biofumigatie



# Biofumigatie

Vanaf het jaar 2000 is de biofumigatie-methode in opkomst voor de bestrijding van bodemgebonden ziekten en plagen. Gewassen uit de familie van de kruisbloemigen produceren stoffen die omgezet kunnen worden in giftige verbindingen, de isothiocyannaten. Deze verbindingen zijn verwant aan de actieve stof van het chemische grondontsmettingsmiddel metamnatrium.

## Effecten in het kort

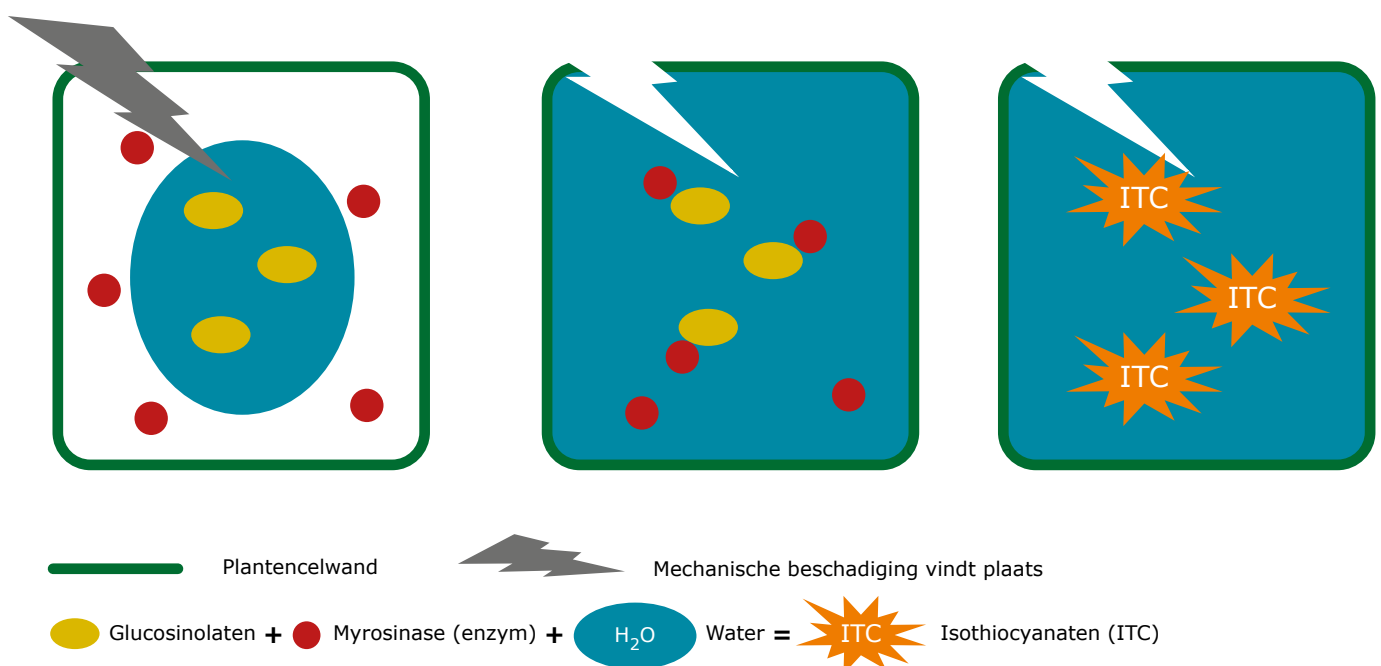
"Na biofumigatie krijg je een hogere opbrengst vanwege het ontsmettingseffect."

"Het telen en onderwerken van een mosterdgewas geeft een groenbemestingseffect. Dat zie je terug in de opbrengst."

In de praktijk worden regelmatig positieve effecten gevonden van de teelt en het onderwerken van de zogenaamde biofumigatiegewassen. Dit manifesteert zich over het algemeen in een verhoging van de opbrengst. Dat is niet verwonderlijk. De positieve effecten op de gewasontwikkeling zijn toe te rekenen

aan effecten die algemeen voorkomen bij groenbemesters, zoals verbetering van de bodemstructuur, verhoging van het organisch stofgehalte en het vrijkomen van nutriënten.

Op grond van de bestaande onderzoeksresultaten is het niet realistisch om bij de teelt en het onderwerken van een glucosinolaathoudend gewas te rekenen op een extra biofumigatie-effect bovenop het groenbemestingseffect. Door de lage concentratie isothiocyannaten die vrijkomt en de korte tijd dat deze stoffen aanwezig zijn in de grond, heeft biofumigatie géén effect van betekenis op de besmetting met ziekteverwekkers. De kosten voor het uitvoeren van biofumigatie bedraagt circa €660 per ha. Dit is inclusief de teelt van een biofumigatiegewas. De kosten zijn daarmee circa €300 per ha hoger dan bij de teelt van een normale groenbemester.



**Figuur 1** Schematische weergave van het principe van biofumigatie: het vrijkomen van giftige verbindingen (ITC) uit een plantencel van kruisbloemigen bij mechanische beschadiging.

## Wat is biofumigatie?

*"Biofumigatie is een vorm van anaerobe grondontsmetting."* ❌

*"Het werkingsmechanisme van beide methoden is compleet verschillend."* ✅

Bij biofumigatie komen de giftige gassen vrij na het hakselen en inwerken van glucosinolaat-houdende gewassen in de bodem. Glucosinolaten zijn zwavelverbindingen die in veel gewassen voorkomen. De hoogste concentraties worden gevonden in plantensoorten die behoren tot de familie van de kruisbloemigen (Brassicaceën), zoals bladrammenas, zwaardherik, mosterd- en koolsoorten.

## Chemische omzetting

*"De giftige stoffen komen vrij door de microbiologische afbraak van de gewasresten."* ❌

*"Het vrijkomen van de giftige stoffen vereist een fysisch en een chemisch proces. Daar zijn geen micro-organismen bij nodig."* ✅

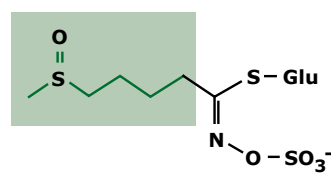
Glucosinolaten zijn verbindingen die van nature in planten voorkomen en waarschijnlijk een rol spelen bij de afweer tegen insecten en andere planteneters. Glucosinolaten zelf zijn niet giftig, maar zodra ze in contact komen met het enzym myrosinase, worden ze omgezet in o.a. het giftige isothiocyanaat (zie figuur 1). In plantencellen zijn de glucosinolaten opgeslagen in de vacuole, een met water gevuld blaasje, en zo fysiek gescheiden van het enzym myrosinase. Wanneer de plantencellen en de vacuolen kapot gaan door mechanische beschadiging, komen de glucosinolaten in contact met het enzym en vindt de omzettingsreactie plaats. Hierbij is ook water nodig.

De omzetting van glucosinolaten in isothiocyanaaten in de grond is afhankelijk van:

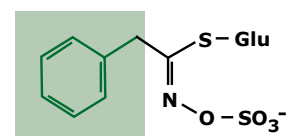
- Concentraties: beschikbare glucosinolaten en myrosinase in de plant
- Zuurgraad van de bodem: bij een pH lager dan 4 wordt voornamelijk nitril gevormd, dat veel minder giftig is dan isothiocyanaat. Bij een pH tussen 5 en 7 worden voornamelijk isothiocyanaaten gevormd.
- Bodemtemperatuur: een lage bodemtemperatuur remt de enzymactiviteit en daarmee de omzetting van glucosinolaten
- Vochtgehalte: vrij water is nodig voor de chemische omzetting
- Grondsoort en organisch stof gehalte: isothiocyanaaten worden gebonden door kleideeltjes en organische stof en verliezen daarmee hun effectiviteit.

## Glucosinolaten

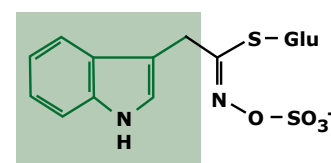
Momenteel zijn er meer dan 130 verschillende glucosinolaten beschreven, verdeeld in drie groepen met verschillende chemische opbouw: aromatisch, alifatisch en indol (zie figuur 2). Afhankelijk van deze opbouw en de omstandigheden bij de omzetting worden verschillende producten gevormd (zie tabel 1). De verschillende typen isothiocyanaaten verschillen in giftigheid voor ziekteverwekkers.



Alifatisch glucosinolaat



Aromatisch glucosinolaat



Indol glucosinolaat

**Figuur 2** Chemische structuurformule van glucosinolaten met verschillende zijketens.

Veel kruisbloemigen bevatten een mengsel van verschillende glucosinolaten. De samenstelling en de gehalten zijn sterk afhankelijk van:

- Gewassoort en ras
- Plantendelen, zoals wortel, blad of zaad (hoogste concentratie wordt gevonden in zaad)
- Groeiomstandigheden, zoals temperatuur, pH en nutriëntenbeschikbaarheid (o.a. zwavel)
- Groeistadium (hoogste concentratie bij zaadzetting)

**Tabel 1** Enkele kruisbloemige gewassen met hun dominante type glucosinolaat en het isothiocyanaat dat na omzetting wordt gevormd.

Gewas	Dominant glucosinolaat	Isothiocyanaat
Sarepta mosterd ( <i>Brassica juncea</i> )	Sinirgin (alifatisch)	2-propenyl
Bladkool ( <i>Brassica napus</i> )	Glucanapin (alifatisch)	3-butenyl
Ethiopische mosterd ( <i>Brassica carinata</i> )	Sinirgin (alifatisch)	2-propenyl
Zwaardherik ( <i>Eruca sativa</i> )	Glucoraphenin (alifatisch)	4-methylsulfinyl-3-butenyl
Gele mosterd ( <i>Sinapis alba</i> )	Glucosinalbin (aromatisch)	4-hydroxybenzyl
Bladrammenas ( <i>Raphanus sativus</i> )	Glucorucin (alifatisch)	4-methylthiobutenyl

## De uitvoering

Tijdens de bloeifase en de zaadzetting is de concentratie glucosinolaten in het gewas het hoogst. Voor een maximale dosering isothiocyanaaten in de bodem moet het gewas op dat moment zeer fijn verhakseld worden om de plantencellen te beschadigen en vervolgens direct gemengd worden door de bouwvoor. Hoe meer biomassa des te groter de hoeveelheid werkzame stof. Om een snelle vervluchtiging van de werkzame stof naar de lucht zoveel mogelijk te beperken, kan de grond worden dichtgerold. Beregening zorgt voor het benodigde water voor de chemische omzetting en zorgt er bovendien voor dat de bovenlaag van de grond enigszins dichtslaat.

**Tabel 2** Overzicht van de kosten per hectare voor biofumigatie en een reguliere groenbemester.

Kostenpost	Biofumigatie-gewas	Reguliere groenbemester
Aanschaf zaaizaad	€ 60-130	€ 40-100
<i>Loonwerk:</i>		
Spitten en zaaien	€ 125	€ 125
Bemesting (50 kg N) + strooien	€ 65	€ 65
Klepelen, inwerken en dichtrollen	€ 300	
Inwerken		€ 75
Beregening	€ 70	
<b>Totaal</b>	<b>€ 620-690</b>	<b>€ 305-365</b>

## ITC in de bodem

Het effect van een bestrijdingsmiddel is altijd afhankelijk van de concentratie en de tijd dat de werkzame stof aanwezig is. Dit geldt voor chemische bestrijdingsmiddelen en ook voor biologische bestrijdingsmiddelen zoals de isothiocyanaaten (ITC) die ontstaan bij biofumigatie.

### Concentratie

Bij biofumigatie komt minder dan 20% werkzame stof vrij in vergelijking met chemische grondontsmetting. De hoogste concentratie isothiocyanaaten die ooit in de bodem is gemeten na het inwerken van een biofumigatiegewas bedroeg 100 nanomol per gram grond (1 nanomol = 1 miljardste mol =  $1 \times 10^{-9}$  mol). Bij de toepassing van metamnatrium wordt meer dan 500 nanomol per gram grond aangetroffen. De concentratie isothiocyanaaten die vrijkomt bij biofumigatie wordt beperkt door de lage hoeveelheid glucosinolaten in het gewas, en vooral door de geringe omzetting; in de praktijk wordt slechts 1% tot maximaal 50% van de glucosinolaten omgezet in isothiocyanaaten. De grote hoeveelheid biomassa die nodig is (advies 110 ton/ha) en het verhakselen van het gewas zijn belangrijke, beperkende factoren. Slechts een klein deel van de cellen wordt kapot geslagen. Omdat de glucosinolaten en het enzym in de plantencellen gescheiden van elkaar zijn opgeslagen, is de mate waarin het gewas wordt fijngemaakt (cellen kapot maken) sterk bepalend voor de omzetting in isothiocyanaaten.

### Tijd

De hoogste concentratie isothiocyanaaten wordt circa drie uur na inwerken van het biofumigatiegewas waargenomen. Daarna neemt de concentratie snel af, met circa 50% in de volgende drie uur. Na 24 uur is meer dan 90% van de isothiocyanaaten uit de bodem verdwenen. De belangrijkste oorzaken voor de snelle afname zijn vervluchtiging, adsorptie, biologische en chemische omzetting.

#### Soedangras

Soedangras wordt ook gebruikt voor biofumigatie. Dit gewas bevat cyanogene glucosideverbindingen. Als soedangras wordt ingewerkt, worden deze verbindingen omgezet in blauwzuurgas (waterstof cyanide) met een biocidewerking. In veldproeven onder Nederlandse omstandigheden zijn echter nooit ziekte bestrijdende effecten aangetoond na de teelt en het onderwerken van soedangras. Het gewas is echter een goede waardplant voor wortellessieaaltjes. Het inzetten van Soedangras is riskant in geval van een besmetting met wortellessieaaltjes.

# Effect op bodempathogenen

"Als aaltjes een biofumigatie-gewas parasiteren, dan gaan ze dood."

"Bij het aanprikken van de wortels door aaltjes komen géén giftige stoffen vrij. In tegendeel, sommige biofumigatiegewassen zijn uitstekende waardplanten voor aaltjes."

In veel laboratorium- en kasproeven onder geconditioneerde omstandigheden is de toxiciteit van verschillende isothiocyanaten aangetoond voor diverse ziekteverwekkers, zoals schimmels en plant-parasitaire aaltjes. Deze proeven laten vaak een sterke doding en/of remming zien van de ziekteverwekkers. De positieve berichten over de ziektebestrijding door biofumigatie zijn voor een groot deel gebaseerd op dit soort proeven onder geconditioneerde omstandigheden. Resultaten van veldproeven zijn veel minder eenduidig. Veelal is er geen of een zeer gering effect van het biofumigatiegewas op de besmetting en/of de aantasting van een volggewas. Veel Brassicaceën zijn een goede waardplant voor het wortellessieaaltje, waardoor deze besmetting toeneemt tijdens de teelt van het gewas, terwijl er géén bestrijding optreedt wegens te lage concentratie isothiocyanaten (zie [www.aaltjes-schema.nl](http://www.aaltjes-schema.nl)). Vergelijkbare voorbeelden zijn er voor *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* en *Plasmodiophora brassicae* (veroorzaker van knolvoet).

## Effect op bodemleven

Recent onderzoek (Vervoort et al, 2015) heeft aangetoond dat het onderwerken van biofumigatiegewassen kortstondig (1 dag) leidt tot een geringe afname van het aantal aaltjes als gevolg van de grondbewerking, gevolgd door een verdrievoudiging van het totale aantal aaltjes door een overmaat aan voedsel (gewasresten). Van aaltjesbestrijding is geen sprake.

### Zaadmeel als alternatief?

In plaats van de teelt van een biofumigatiegewas kan ook zaadmeel worden toegepast voor biofumigatie. Zaadmeel is een restproduct dat ontstaat bij de verwerking van Brassica zaad voor de extractie van olie (biodiesel). Zaadmeel van *B. carinata* en *B. juncea* bevat naast een hoog glucosinolaatgehalte ook het enzym myrosinase. Bij het inwerken wordt echter slechts een klein deel van de glucosinolaten omgezet, maximaal 20%. Hierdoor is een relatief hoge dosering nodig (tot 7 ton/ha) voor een bestrijdende werking.

In Nederlandse veldproeven is bij een dosering van 7 ton zaadmeel per ha, een afname gevonden van *Verticillium dahliae* met 35% tot 80%, maar er was géén effect op de besmetting met wortellessieaaltjes. Het is dan ook niet met zekerheid te zeggen of de behandeling feitelijk leidt tot een biofumigatie-effect of dat andere processen een rol spelen.

De toepassing van zaadmeel heeft een aantal voordelen ten opzichte van de teelt van een biofumigatiegewas. Het is makkelijk in te passen binnen de gewasrotatie en er is geen risico op vermeerdering van ziekteverwekkende aaltjes. Zaadmeel is vrij kostbaar: circa €1.250 per ton. Bij een zaadmeeltoepassing wordt veel extra stikstof aangevoerd: circa 60 kg N per ton zaadmeel. Dit is een hoeveelheid die bij de huidige gebruiksnormen moeilijk is in te passen binnen de bedrijfsvoering.

De stimulering van het bodemleven kan direct en indirect effect hebben op de bodemweerbaarheid en de onderdrukking van ziekteverwekkers. Biofumigatiegewassen verschillen daarin niet van de gangbare groenbemesters.

## Perspectief voor biofumigatie?

Om het perspectief voor biofumigatie te verbeteren zou aan de volgende voorwaarden voldaan moeten worden:

- Glucosinolaat-houdende gewassen/rassen die resistent zijn tegen aaltjes
- Veel hogere gehalten van glucosinolaten en myrosinase in het gewas
- Grotere groeikracht van het gewas voor meer biomassa onder Nederlandse omstandigheden
- Betere omzettingsefficiëntie door volledige celdisruptie (betere technieken om te klepelen en in te werken)





## Colofon

**Samenstelling uitgave:** Johnny Visser en Gera van Os

**Uitgever:** Wageningen UR, in het kader van PPS Duurzame Bodem.

**Beeld:** Wageningen UR en Shutterstock.

**Ontwerp en vormgeving:**  
Wageningen UR, Communication Services.  
© 2016, Wageningen UR

### Contact

Wageningen UR  
Gera van Os, gera.vanos@wur.nl

## Beter Bodembeheer

De PPS Duurzame Bodem wil door een integrale aanpak de kennis van bodem en bodemprocessen vergroten. Dit project is mede tot stand gekomen met financiële steun van het ministerie van Economische Zaken en TKI Agri & Food.

Meer over onderzoek binnen de PPS Duurzame Bodem, achtergronden bij dit onderwerp en onderbouwende literatuur is te vinden op [www.beterbodembeheer.nl](http://www.beterbodembeheer.nl).