

Minerale voeding van de champignon

Gerben Straatsma, Tineke Olijnsma, Istvan Paradi en Jacqueline Baar

© 2006 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Productschap Tuinbouw,
Louis Pasteurlaan 6, 2719 EE Zoetermeer. Tel. 079-3470707



Projectnummer: 620086

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Paddestoelen

Adres : Peelheideweg 1, 5966 PJ America

: Postbus 6042, 5960 AA Horst

Tel. : 077 - 4647575

Fax : 077 - 4641567

E-mail : infopaddestoelen@ppo.wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING	5
1.1 Probleemstelling	5
1.2 Doelstelling en afbakening	6
2 MATERIAAL EN METHODEN	7
2.1 Inventariserend onderzoek.....	7
2.1.1 Waarnemingen.....	7
2.1.2 Bemonstering, voorbereiding, chemische analyse	7
2.1.3 Verzamelen en bewerken van gegevens.....	7
2.2 Literatuuronderzoek fosfaat.....	8
2.3 Experimenteel onderzoek fosfaat	8
2.3.1 Teeltproeven	8
2.3.2 Bemonstering, voorbereiding, chemische analyse	9
2.4 Statistische analyse	10
3 RESULTATEN	11
3.1 Inventariserend onderzoek.....	11
3.1.1 Champignons	11
3.1.2 Substraat	13
3.1.3 Relatie tussen champignonopbrengst en substraatsamenstelling	14
3.1.4 Onttrekking uit compost en dekaarde; opname door champignons	16
3.2 Literatuuronderzoek fosfaat.....	17
3.3 Experimenteel onderzoek fosfaat	20
3.3.1 Opbrengst champignons	20
3.3.2 Samenstelling champignons	22
3.3.3 Samenstelling substraat	22
4 DISCUSSIE	23
4.1 Inventariserend onderzoek.....	23
4.1.1 Champignons	23
4.1.2 Substraat.....	24
4.1.3 Fosfaat als mogelijk knelpunt	24
4.2 Literatuuronderzoek fosfaat.....	24
4.3 Experimenteel onderzoek fosfaat	25
4.4 Synthese inventariserend en experimenteel onderzoek	25
5 CONCLUSIES	26
6 SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK	27
LITERATUUR.....	28
BIJLAGE 1.....	31
BIJLAGE 2.....	32
BIJLAGE 3.....	33

Samenvatting

Slechte of matige groei, kwaliteit en opbrengst van champignons kunnen veroorzaakt worden door een tekort aan één of meerdere essentiële voedingsstoffen. De vraag is in hoeverre de voorziening met voedingsstoffen voldoende is om de behoefte van de champignon te dekken. Aanwijzingen voor eventuele tekorten zijn op verschillende manieren af te leiden uit een inventariserend onderzoek. Aan de samenstelling van champignons: - als het gehalte van een mineraal tijdens de ontwikkeling van de eerste vlucht afneemt, - als het gehalte van een mineraal tijdens de ontwikkeling sneller achteruitgaat dan van een ander mineraal, - als het gehalte van een mineraal in champignons van de tweede vlucht lager is dan die van champignons van de eerste vlucht. Mogelijke tekorten kunnen ook blijken uit de samenstelling van compost en dekaarde: - bijvoorbeeld als het totaal of het beschikbaarheidsgehalte van een mineraal aan het einde van de teelt lager is dan aan het begin. Ook uit de champignonopbrengst zijn mogelijke tekorten af te leiden: - als er een correlatie gevonden wordt tussen de opbrengst en het gehalte van een mineraal in compost of dekaarde. Het uitgevoerde onderzoek richtte zich op de macronutriënten stikstof, fosfor, kalium, zwavel, magnesium, calcium, en natrium en op de micronutriënten zink, ijzer, koper, en mangaan.

Vijf teelten bij een praktijkbedrijf en vijf teelten bij het proefbedrijf van PPO-Paddestoelen werden onderzocht. De teelten hadden betrekking op in totaal 22 partijen compost. Bij de ontwikkeling van de eerste vlucht, in de laatste vier dagen voor de oogst, namen de gehalten van bijna alle geanalyseerde voedingsstoffen in champignons af. De elektrolytisch actieve mineralen K en Na vormden hierop een uitzondering. De P en Mg gehalten vertoonden een sterke samenhang. De gehalten van andere mineralen vertoonden, min of meer onafhankelijk van de P en Mg gehalten, een sterke daling tijdens de vluchtontwikkeling. Vooral het Ca gehalte daalde sterk. Vergelijking van compost aan het begin en aan het eind van de teelt liet zien dat de gehalten van bijna alle voedingsstoffen toenamen. Ook in de dekaarde namen de gehalten van bijna alle voedingsstoffen toe. Tijdens de uitgroeiperiode werden in korte tijd relatief grote hoeveelheden voedingsstoffen uit het substraat onttrokken. Voedingsstoffen die over de gehele periode genomen in voldoende mate beschikbaar waren zouden tijdelijk knelpunten hebben kunnen veroorzaken. De hoeveelheden N, K en P in de geogoste champignons, inclusief voetjes, waren ongeveer zo groot als de hoeveelheden van deze bestanddelen die uit de compost verdwenen.

Uit een literatuuronderzoek bleek dat het verrijken van compost met P, in het bijzonder met natuurfosfaat, in een aantal gevallen wel en in een aantal andere gevallen niet tot verhoging van de champignonopbrengst leidde.

De mogelijkheid om met P-toevoeging de teelt op de huidige substraten in Nederland te verbeteren werd experimenteel onderzocht. Er werden twee teeltproeven uitgevoerd met toevoegingen van natuurfosfaat, tripelsuperfosfaat en kaliumfosfaat aan compost en dekaarde. De hypothese dat P-toevoeging tot teeltverbetering kan leiden werd in zijn algemeenheid niet bevestigd. Toevoegingen veroorzaakten over het geheel genomen opbrengstverlagingen. Het negatieve effect van de toevoeging van tripelsuperfosfaat aan compost was gekoppeld met het effect van tripelsuperfosfaat op de pH van de compost. Aan het einde van de teelt werd bij de toevoeging van tripelsuperfosfaat een pH daling tot pH 5.6 en een stijging van het ammonium-stikstofgehalte tot boven 0.8 g per kg drogestof compost vastgesteld.

De kans om met P-toevoeging de teelt te verbeteren kan mogelijk gerealiseerd worden door een manier te vinden om de negatieve bijwerking van de toevoeging te vermijden. Door in te spelen op de dynamiek in de uitgroEIFase van een vlucht champignons en door in te spelen op de negatieve neveneffecten van compost afbraak tijdens de teelt, zoals pH daling en stijging van het ammonium-stikstof gehalte, ontstaan nieuwe kansen voor teeltverbetering.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Slechte of matige groei, kwaliteit en opbrengst van champignons kunnen veroorzaakt worden door een tekort aan één of meerdere essentiële voedingsstoffen. Praktijkbedrijven stellen vragen over de relatie tussen de opname van voedingsstoffen door de champignon en de beschikbaarheid van diezelfde voedingsstoffen in het substraat. Hierbij wordt veelal een vergelijking getrokken met de beschikbaarheid van voedingsstoffen voor plantenwortels in grond- en substraatteelten. Ondanks vele jaren onderzoek van toeleverende bedrijven en kennisinstellingen in binnen- en buitenland is de behoefte van de champignon aan voedingsstoffen tijdens de teelt grotendeels een 'black box'. Door de beperkte kennis is de samenstelling van het substraat en de beschikbaarheid van voedingsstoffen daarin niet in detail afgestemd op de behoefte van de champignon. Een verbetering van de kennis over de minerale voeding levert inzicht in de mogelijkheden om te komen tot meer duurzame en hightech teeltsystemen. Een geheel ander aspect is dat suboptimale champignonopbrengsten zijn gekoppeld aan een lage benutting van compost en met het ontstaan van meer restproduct, champost, dan bij optimale opbrengsten. Dit kan op termijn gevolgen hebben voor het hergebruik van champost als meststof binnen BOOM, MINAS en EU-regelgeving.

Champignons bestaan voor ruim 90 % uit water. De droge stof van champignons bestaat voor bijna 90 % uit organische stof en voor ruim 10 % uit as (mineralen). Over de minerale samenstelling van champignons is relatief veel bekend (Varo et al. 1980, Bakowski et al. 1986, Vetter 1989, Toaso et al. 1994, Gerrits 1996, Desrumeaux et al. 2000a en de voedingsmiddelentabel van de USDA; Bijlage 1). Schimmels bestaan vooral uit de mineralen stikstof, fosfor, kalium, zwavel, magnesium, en calcium, zogenaamde macronutriënten. Daarnaast komen in geringere hoeveelheden zink, ijzer, koper, en mangaan voor, zogenaamde micronutriënten. De genoemde nutriënten zijn onderdelen van bouwstoffen van levende cellen, zoals nucleïnezuren en eiwitten, of spelen een rol bij de activiteit van enzymen (Griffin 1994). Het is denkbaar dat er mineralen door de champignon worden opgenomen die niet noodzakelijk zijn voor een goede groei of zelfs een negatief effect hebben. Zo is bekend dat paddestoelen zware metalen kunnen ophopen, zonder dat deze opname een directe functie lijkt te hebben (Stijve & Besson 1976, Amsing 1983, Kalac & Svoboda 2000).

De aandacht voor voedingsstoffen was in het verleden vooral gericht op de organische stof uit compost. In tegenstelling tot groene planten kan de champignon geen organische stof vormen uit koolzuur uit de atmosfeer. De champignon is een saprotroof organisme dat voor organische stof aangewezen is op het voedingssubstraat. Compost bestaat voor een groot deel uit dode organische stof met een complexe samenstelling bestaande uit plantaardige celwanden opgebouwd uit lignine, cellulose en hemicellulose. Lignine, cellulose en hemicellulose worden door uitgescheiden enzymen van het mycelium afgebroken tot hun bouwstenen zoals glucose en xylose. Deze bouwstenen worden door het mycelium opgenomen en staan centraal in de voeding met organische stof (Waksman & Nissen 1932, Lindeberg 1950, Gerrits 1969, Turner et al. 1975, Wood & Goodenough 1977, Iiyama et al. 1994, Ohga et al. 1999, Sharma & Kilpatrick 2000, Wannet et al. 2000a, Chefetz & Hatcher 2004). Door de complexiteit van de samenstelling van de organische stof, van de manier waarop organische stof wordt afgebroken en wordt opgenomen, is, ondanks het vele onderzoek, de voeding met organische stof nog niet volledig opgehelderd.

In de jaren zestig van de vorige eeuw kwam het gebruik van kuikenmest in compost, in combinatie met een juiste hoeveelheid gips, op en werd afgezien van het toevoegen van preparaten bestaande uit mineralen. Met het gebruik van kuikenmest leken er geen knelpunten te bestaan met betrekking tot de minerale voeding van champignons (Gerrits 1968). Op deze aanname bleek een uitzondering te bestaan voor stikstof. In onderzoek naar bijvoedmiddelen werd door Gerrits (1987a) vastgesteld dat producten afgeleid van sojameel en andere grondstoffen tot opbrengstverhogingen leiden die evenredig zijn met het N-gehalte van de producten. Gerrits & Amsing (1994) lieten zien dat de opbrengstverhoging die met bijvoeden wordt bereikt afhangt van het N-gehalte van doorgroeide compost; het effect is het grootst op N-arme

compost, er ontstaat opbrengstderving op N-rijke compost. In de samenstelling van champignons op al dan niet bijgevoede compost werden geen duidelijke verschillen vastgesteld zodat Gerrits (1987a) meende: 'Dit zou er op kunnen wijzen dat de aanwezigheid van mineralen geen beperkende factor is in de voeding van de champignon'. De minerale samenstelling van compost en dekaarde wordt in een klein aantal studies vermeld (Bakowski et al. 1986, Gerrits 1987a, Desrumaux et al. 2000a). Deze studies geven echter geen inzicht in de betekenis van de verschillende grondstoffen voor de samenstelling van compost en dekaarde. Ook geven ze geen specifiek inzicht in de betekenis van de samenstelling van de compost voor de voeding dan Gerrits (1968, zie hierboven).

Sinds de jaren zestig zijn de champignonopbrengsten per ton compost gestegen met ongeveer een factor twee. De hoeveelheid droge stof die per ton compost afgebroken wordt is toegenomen; de hoeveelheid droge stof die per kg geproduceerde champignons wordt afgebroken lijkt over de jaren gelijk gebleven te zijn en bedraagt ongeveer 200 g (Tschierpe & Sinden 1962, Gerrits et al. 1967, Loeffen et al. 1998). Door de hoge champignonproducties per ton compost, kan niet meer uitgesloten worden, zoals Gerrits (1968) nog deed, dat er knelpunten zijn met betrekking tot de minerale voeding.

Aanwijzingen voor knelpunten in de minerale voeding zijn op verschillende manieren af te leiden uit een inventariserend onderzoek. Aan de samenstelling van champignons: - als het gehalte van een mineraal tijdens de ontwikkeling van de eerste vlucht afneemt, - als het gehalte van een mineraal tijdens de ontwikkeling sneller achteruitgaat dan van een ander mineraal,- als het gehalte van een mineraal in champignons van de tweede vlucht lager is dan die van champignons van de eerste vlucht. Aan de samenstelling van compost en dekaarde: - als het totaal of het beschikbaarheidsgehalte van een mineraal aan het einde van de teelt lager is dan aan het begin. Aan de champignonopbrengst: - als er een correlatie gevonden wordt tussen de opbrengst en het gehalte van een mineraal in compost of dekaarde.

Het is onbekend of en eventueel hoe de samenstelling van champignons verandert tijdens hun uitgroei, of er verschillen zijn in de samenstelling in opeenvolgende vluchten en of het aanbod van (opneembare) voedingsstoffen in de gebruikte substraten verandert tijdens de teelt. Onbekend is welke voedingsaspecten verbeterd dienen te worden om tot optimalisatie van de champignonteelt te komen.

1.2 Doelstelling en afbakening

Het doel van het onderzoek was om:

- i) inzicht te verkrijgen in het verloop van de voedingsbehoefte van de champignon en in het aanbod van (opneembare) voedingsstoffen in de gebruikte substraten
- ii) met behulp van de verkregen kennis te komen tot optimalisatie van de champignonteelt.

Het onderzoek werd gefaseerd. De eerste fase bestond uit een inventariserend onderzoek dat zich richtte op de macronutriënten stikstof, fosfor, kalium, zwavel, magnesium, calcium, en natrium en op de micronutriënten zink, ijzer, koper, en mangaan. De resultaten van deze fase wezen op een mogelijk knelpunt in de voeding met fosfaat. Aansluitend werd als tweede fase een literatuuronderzoek uitgevoerd over fosfaatvoeding. De derde fase bestond uit een experimenteel onderzoek met teeltproeven met fosfaattoevoegingen aan compost en dekaarde om de mogelijkheden voor de optimalisatie van de fosfaatvoeding van de champignon vast te stellen.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Inventariserend onderzoek

2.1.1 Waarnemingen

In de periode 2002 t/m 2004 werden gegevens verzameld in vijf teelten bij het bedrijf Carpe Diem in Baarlo en in vijf teelten bij het proefbedrijf van PPO-Paddestoelen. Bij Carpe Diem werd voor elke teelt één partij compost gebruikt, afkomstig van telkens dezelfde producent. Bij PPO-Paddestoelen ging het om in totaal 17 verschillende partijen compost van negen producenten. Teelten 9 en 10 bij PPO-Paddestoelen werden uitgevoerd in verband met een experimenteel onderzoek over de fosfaatvoeding van de champignon (§ 2.3); de onbehandelde controles in die teelten werden als gewone teelten aangemerkt waarvan de gegevens in de resultaten van het inventariserende onderzoek werden meegenomen. De teelten varieerden met betrekking tot het gebruikte champignonras, het bijvoeden, de dekaardeherkomst en het 'cac'-cen van de dekaarde. Een overzicht van de onderzochte teelten wordt gegeven in Tabel 1.

In een aantal teelten werd aandacht besteed aan de ontwikkeling van de eerste vlucht. Vanaf de derde dag vóór de (mechanische) oogst, tot en met de oogstdag, werd de uitgroeiende vlucht dagelijks bemonsterd.

2.1.2 Bemonstering, voorbereiding, chemische analyse

De hoeveelheden compost en dekaarde voor en na de teelt en de hoeveelheden geogoste champignons werden bepaald. Bij de champignons ging het om het gewicht van de gehele vruchtlichamen, inclusief voetjes. Compost, dekaarde en champignons werden bemonsterd en de minerale gehalten van de monsters werden chemisch geanalyseerd.

Vochtgehalten werden bepaald door PPO. De monstervoorbereiding voor de chemische analyse, bestaande uit het drogen en malen van de monsters, werd door PPO uitgevoerd. Monsters werden gedroogd in aluminiumbakjes; contaminatie tijdens het drogen met andere mineralen dan Al was uitgesloten. Gedroogde monsters werden gemalen met een 'Schneidmühle' (Retsch GmbH & Co. KG, Haan, Duitsland). Gezien de slijtvastheid van de molen en de grote hoeveelheden materiaal die gemalen werden was contaminatie met metalen bij het malen niet aannemelijk.

De voorbereikte monsters werden voor chemische analyse verstuurd naar het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem, Wageningen-UR (CBLB). Het ging om zowel 'totaal'-bepalingen als om 'beschikbaarheids'-bepalingen. Voor totaalbepalingen werd het monster volledig in oplossing gebracht door destructie in een mengsel van geconcentreerde sterke zuren. Voor beschikbaarheidsbepalingen, ontwikkeld voor beschikbaarheidsmeting van mineralen voor opname door planten, werd het monster geëxtraheerd in een 0.01 M CaCl₂ oplossing. Pas in de verkregen oplossingen werden de mineralen geanalyseerd. Voor de analyse werd de zogenaamde ICP-AES methode gebruikt. Totaalgehalten van de mineralen N, P en K werden in alle 22 compostpartijen bepaald. Totaalgehalten van Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, S en Zn werden in 14 partijen bepaald (zie ook Tabel 1). Beschikbaarheden van P en K werden in 21 partijen bepaald; beschikbaarheden van N (in de vormen NO₃, NH₄ en Nts) in slechts acht partijen. Beschikbaarheden van Cu, Fe, Mg, Mn, Na, S en Zn werden in 13 partijen bepaald. De beschikbaarheid van Ca kon met de gebruikte methode, extractie in een oplossing met Ca, niet geanalyseerd worden.

2.1.3 Verzamelen en bewerken van gegevens

De hoeveelheden compost, dekaarde en champignons en de gehalten van droge stof en mineralen in compost, dekaarde en champignons werden als de primaire gegevens beschouwd. Uit de primaire gegevens werden de hoeveelheden droge stof en mineralen berekend in compost, dekaarde en champignons. Uit de hoeveelheden mineralen in compost en dekaarde voor en na de teelt werden de uit deze substraten onttrokken hoeveelheden berekend. De uit de substraten onttrokken hoeveelheden werden vergeleken met de in de geogoste champignons aanwezige hoeveelheden.

Tabel 1. Overzicht van de tien teelten in het inventariserende onderzoek op 22 partijen compost. In de kolom 'product' staat 'EC' voor entbare compost en 'DC' voor doorgroeide compost.

teelt nr	teelt bedrijf	jaar	compost producent	product	champignon ras	bijvoeden	dekaarde producent	'cac'-cing	geanalyseerd aantal mineralen	analyse ontwikkeling vlucht 1
1	Carpe Diem	2002	1	DC	S512	+	1	+	11	+
2	Carpe Diem	2002	1	DC	S512	+	1	+	11	+
3	Carpe Diem	2002	1	DC	S512	+	1	+	11	+
4	Carpe Diem	2002	1	DC	S512	+	1	+	11	+
5	Carpe Diem	2002	1	DC	S512	+	1	+	11	+
6	PPO	2002	2	DC	U1	-			11	+
7a	PPO	2003	1	DC	S512	-	2	+	11	+
7b	PPO	2003	3	DC	S512	-	2	+	11	-
7c	PPO	2003	4	DC	S512	-	2	+	11	-
7d	PPO	2003	5	DC	S512	-	2	+	11	-
8a	PPO	2003	2	EC	S512	-	2	-	11	+
8b	PPO	2003	4	EC	S512	-	2	-	11	+
8c	PPO	2003	6	EC	S512	-	2	-	11	+
8d	PPO	2003	1	EC	S512	-	2	-	11	+
9a	PPO	2004	6	DC	S737	+	?	+	3	-
9b	PPO	2004	2	DC	A15	+		+	3	-
9c	PPO	2004	7	DC	A15	+		+	3	-
9d	PPO	2004	8	DC	A15	+		+	3	-
10a	PPO	2004	6	DC	S737	+	?	+	3	-
10b	PPO	2004	1	DC	A15	+		+	3	-
10c	PPO	2004	3	DC	A15	+		+	3	-
10d	PPO	2004	9	DC	A15	+		+	3	-

2.2 Literatuuronderzoek fosfaat

Tijdens het inventariserende onderzoek werden aanwijzingen verkregen dat er knelpunten bestonden bij de fosfaatvoeding van champignons. Er werd een literatuuronderzoek uitgevoerd naar het effect van fosfaatgehalten en fosfaattoevoegingen aan compost op de champignonopbrengst. Tevens werd aandacht besteed aan plantenvoeding met fosfaathoudende stoffen in de bodem en in meststoffen en aan de beschikbaarheid van fosfaat in deze hulpstoffen.

Nationale en internationale databases over wetenschappelijke literatuur werden geraadpleegd. Bovendien werden de eigen gespecialiseerde collectie literatuur en bestanden met eigen proefresultaten van PPO-Paddestoelen gebruikt.

2.3 Experimenteel onderzoek fosfaat

2.3.1 Teeltproeven

Er werden twee teeltproeven uitgevoerd gericht op de fosfaatvoeding van champignons. Het effect van toevoegingen van natuurfosfaat, tripelsuperfosfaat en kaliumfosfaat aan compost en dekaarde werd onderzocht in aansluiting op het onderzoek van Bretzloff & Fluegel (1962), Watson (1973), Yeo & Hayes (1981) en Beyer & Muthersbaugh (1996). De genoemde auteurs gebruikten natuurfosfaat in een range van 0.4 – 4, tripelsuperfosfaat in een range van 1.25 – 3.75 en kaliumfosfaat in een range van 0.17 – 0.61; alle ranges uitgedrukt in g P per kg compost versgewicht. Van de toevoegingen is natuurfosfaat relatief slecht oplosbaar in water en zal relatief slecht beschikbaar zijn voor de champignons. Tripelsuperfosfaat is beter oplosbaar dan natuurfosfaat en kaliumfosfaat is relatief goed oplosbaar. De chemische formule voor

natuurfosfaat is $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, het P-gehalte is ongeveer 20 %. De formule voor tripelsuperfosfaat is $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, het P-gehalte is 24.6 %. De formule voor kaliumfosfaat is KH_2PO_4 , het P-gehalte is 22.8 %.

Natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat werden aan compost en aan dekaarde toegevoegd. Kaliumfosfaat werd toegediend via het gietwater. De verschillende fosfaatvormen werden in drie niveaus toegediend en vergeleken met controles. Natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat werden in hoeveelheden van 1 g, 5 g en 15 g P per kg droge stof totaal substraat toegepast. Voor het goed oplosbare kaliumfosfaat werd uitgegaan van lagere giften van 1 g, 2 g en 5 g P per kg droge stof totaal substraat. De toevoegingen werden gedaan aan substraat in kleine teeltkisten met 3.8 kg doorgroeide compost en 2 l dekaarde. Uitgaande van vochtgehalten van 66 en 78 % van compost en dekaarde bevatten de kleine teeltkisten 1.29 en 0.44 kg droge stof, samen 1.73 kg droge stof. Op basis van voorgaande uitgangspunten en gegevens werden de toe te dienen hoeveelheden per teeltkist berekend (Tabel 2).

Tabel 2. Verschillende hoeveelheden van natuurfosfaat, tripelsuperfosfaat en kaliumfosfaat toegevoegd in de experimenten bij PPO in 2004.

toevoeging	niveau	P gift	product gift	product gift indien gegeven aan	
		g/kg DS totaal	g/kg DS totaal	compost g/kg	dekaarde g/l
natuurfosfaat, 20.0 % P	1	1	5.0	2.3	4.3
	2	5	25.0	11.4	21.7
	3	15	75.1	34.2	65.0
tripelsuperfosfaat, 24.6 % P	1	1	4.1	1.9	3.5
	2	5	20.3	9.3	17.6
	3	15	61.0	27.8	52.8
kaliumfosfaat, 22.8 % P	1	1	4.4	2.0	3.8
	2	2	8.8	4.0	7.6
	3	5	22.0	10.0	19.0

In elke teeltproef werden vier partijen compost van verschillende leveranciers en één partij dekaarde gebruikt. Omdat in een proef dekaarde van slechts één leverancier werd gebruikt, werden toevoegingen aan dekaarde uitgevoerd in combinaties met slechts twee van de vier compostpartijen. Er werden géén combinaties van toevoegingen en/of niveaus aangelegd. Het aantal uitgevoerde behandelingen bedroeg 52 (Tabel 3, deze tabel is volledig uitgewerkt in Bijlage 2). De behandelingen werden in viervoud ingezet. De champignonopbrengst werd op alle ingezette teeltkisten bepaald. Aan het einde van de teelt werden slechts twee van de vier ingezette teeltkisten bemonsterd voor chemische analyses.

Tabel 3. Opzet van teeltproeven met fosfaat toevoegingen (de volledige uitwerking wordt gegeven in Bijlage 2).

toevoeging			compost			A			B			C			D		
			herkomst			niveau			1	2	3	1	2	3	1	2	3
vorm	aan	niveau				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
natuurfosfaat	compost		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
tripelsuperfosfaat	compost		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
natuurfosfaat	dekaarde		+	+	+	+	+	+									
tripelsuperfosfaat	dekaarde		+	+	+	+	+	+									
kaliumfosfaat	gietwater		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
controle						+			+			+			+		

2.3.2 Bemonstering, voorbereiding, chemische analyse

In beginsel werden dezelfde methoden gebruikt als in het inventariserende onderzoek (§ 2.1.2). In verband met kostenoverwegingen werd het aantal analyses beperkt tot de controle behandelingen zonder toevoegingen (behandelingen 1 t/m 4; zie Bijlage 2), de behandelingen met toevoegingen op het hoogste niveau aan de compost met natuurfosfaat (behandelingen 7, 10, 13 en 16) en tripelsuperfosfaat

(behandelingen 25, 28, 31 en 34).

2.4 Statistische analyse

Om verschillen van behandelingseffecten te beoordelen werden variantieanalyses, ANOVA's, en Student t-testen uitgevoerd die zogenaamde p-waarden opleverden. Een p-waarde kleiner dan 0.001 geeft aan dat een effect statistisch gezien zeer sterk betrouwbaar is, aangeduid met ***, een waarde tussen 0.001 en 0.01 is zeer betrouwbaar: **, een waarde tussen 0.01 en 0.05 is betrouwbaar: *, een p-waarde groter dan 0.05 wijst op het ontbreken van een statistisch betrouwbaar effect of verschil: N.S.

Om verbanden tussen variabelen te beoordelen werden lineaire en polynome regressieanalyses uitgevoerd. Ook deze analyses zijn zover door te voeren dat p-waarden gevonden worden die de significantie van verbanden aangeven.

3 Resultaten

3.1 Inventariserend onderzoek

3.1.1 Champignons

De mineralen N, K en P waren, in deze volgorde, de kwantitatief belangrijkste minerale bestanddelen van champignons. Dit gold zowel voor champignons van de eerste als van de tweede vlucht (Tabel 4). Het droge stofgehalte van champignons was in de eerste vlucht hoger dan in de tweede vlucht zoals ook in ander onderzoek is gevonden (persoonlijke mededelingen van JGM Amsing en PCC van Loon). Met uitzondering van Ca en Fe waren de mineralengehalten in de tweede vlucht hoger dan in de eerste vlucht.

Tabel 4. Champignonopbrengsten inclusief voetjes en samenstelling in vluchten 1 en 2. n: aantal partijen compost; significantie van verschillen tussen vluchten: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, N.S. niet significant (tweezijdige, gepaarde t-testen met n paren).

parameter	eenheid	vlucht		n	signifi- cantie
		1	2		
hoeveelheid	kg/ton	307	158	21	***
gehalten					
droge stof	g/kg	64.8	60.2	21	**
N	g/kg ds	37.9	56.9	21	***
K	"	46.9	57.3	21	***
P	"	10.3	13.7	21	***
S	"	2.1	3.1	13	***
Mg	"	1.22	1.52	13	***
Ca	"	0.76	0.72	12	N.S.
Na	"	0.68	0.79	13	*
Zn	mg/kg ds	46.9	79.1	13	***
Fe	"	31.6	33.7	13	N.S.
Cu	"	22.1	38.2	13	***
Mn	"	5.2	6.5	13	*
mineralen tot.	g/kg ds	98	133	20	***

3.1.1.1 Ontwikkeling eerste vlucht

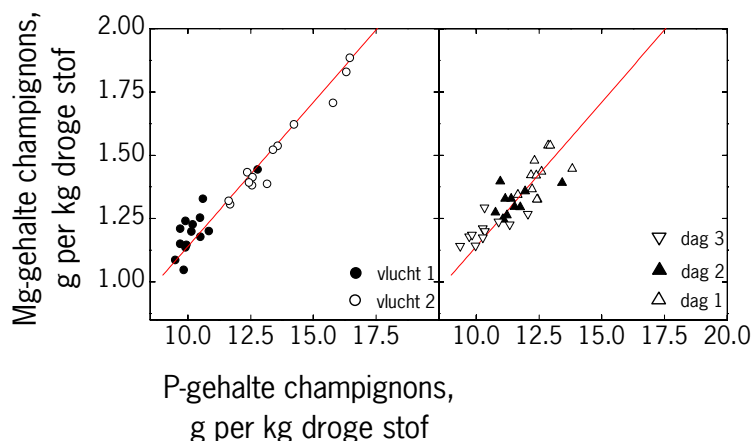
Het gewicht op het teeltbed van alle champignons samen nam snel toe in de twee laatste dagen voor de oogst, gemiddeld met 85.5 kg per dag per ton compost. Tijdens de ontwikkeling van de eerste vlucht tot aan de oogstdag, dag 4, namen de gehalten van bijna alle geanalyseerde bestanddelen af. Uitzonderingen waren de K- en Na-gehalten (Tabel 5). Ook het totaal van de geanalyseerde mineralen nam af.

Tabel 5. Champignonhoeveelheid inclusief voetjes en samenstelling tijdens de ontwikkeling van vlucht 1 (gemiddelden over 11 partijen compost). Dag 1 is drie dagen voor de oogst, dag 4 is oogstdag. Significantie van het effect van de factor ontwikkelingsdag: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, N.S. niet significant (ANOVA met factoren ontwikkelingsdag en proefnummer ($n=11$); k.b.v. is kleinste betrouwbare verschil op een niveau van $p=0.05$; parameterwaarden in een rij die statistisch gezien niet verschillen op een niveau van $p=0.05$ zijn voorzien van overeenkomende letters).

parameter	eenheid	ontwikkelingsdag				signifi- cantie	k.b.v.
		1	2	3	4		
hoeveelheid	kg/ton	41 a	102 b	187 c	272 d	***	26
gehalten							
droge stof	g/kg	82.3 a	73.4 b	67.1 c	67.0 c	***	4.0
N	g/kg ds	63.1 a	51.7 b	42.7 c	37.6 d	***	3.2
K	"	45.5 a	45.5 a	45.5 a	45.0 a	N.S.	2.0
P	"	12.5 a	11.5 b	10.4 c	10.0 c	***	0.4
S	"	3.5 a	2.8 b	2.3 c	2.0 d	***	0.2
Mg	"	1.42 a	1.31 b	1.21 c	1.17 c	***	0.04
Ca	"	1.82 a	1.22 b	0.85 c	0.57 d	***	0.21
Na	"	0.66 a	0.64 a	0.65 a	0.64 a	N.S.	0.05
Zn	mg/kg ds	68.9 a	56.4 b	45.6 c	45.5 c	***	7.1
Fe	"	50.2 a	31.9 b	33.7 b	28.6 b	***	8.8
Cu	"	45.2 a	32.6 b	23.7 c	21.7 c	***	4.5
Mn	"	6.9 a	5.9 b	5.1 c	4.9 c	***	0.6
mineralen tot.	g/kg ds	129 a	115 b	104 c	98 d	***	4

De gehalten van een aantal mineralen in champignons hing onderling samen. De relatie tussen de P en Mg gehalten in vluchten 1 en 2 en tijdens de drie ontwikkelingsdagen voorafgaande aan de eerste vlucht worden getoond in Fig1. Het S-gehalte hing samen met zowel de Mg als de P gehalten, bijna zo sterk als Mg en P (niet getoond). Tijdens de ontwikkeling van de eerste vlucht namen de gehalten van N, S en Ca op elke dag sterker af dan die van P en Mg (zie Tabel 5, statistiek niet getoond).

Fig 1. P en Mg gehalten in champignons in vluchten 1 en 2 (A), en tijdens de drie ontwikkelingsdagen voorafgaande aan de eerste vlucht (B). In A en B zijn dezelfde lijnen door de oorsprong getrokken: $y = 0.114 * x$; $p < 0.001$, *** (er werd gebruik gemaakt van dezelfde primaire data als bij Tabellen 4 en 5).



3.1.2 Substraat

3.1.2.1 Compost

In compost kwam relatief meer S, Ca, Fe en Mn voor dan in champignons. Vergelijking van de gehalten aan het begin en aan het eind van de teelt lieten zien dat de gehalten van bijna alle mineralen in de compost toenamen. De beschikbaarheid van de kwantitatief belangrijke mineralen N en P was laag. De beschikbaarheden van de kwantitatief minder belangrijke mineralen Zn, Fe, Cu en Mn waren ook laag. Vergelijking van de beschikbaarheden aan het begin en aan het eind van de teelt lieten zien dat de beschikbaarheden van bijna alle mineralen in de compost toenamen. De samenstelling van compost is weergegeven in Tabel 6.

Opvallend aan de P-gehalten was dat de onderzochte partijen compost in twee groepen uiteen leken te vallen. Vier partijen van twee leveranciers vertoonden hoge P-gehalten met relatief gezien lage P-beschikbaarheden (Fig 2). De gemiddelde champignonopbrengst op deze vier partijen was 420 kg per ton compost en op de overige 17 partijen was de gemiddelde opbrengst 477 kg per ton (inclusief voetjes). Een t-test gaf aan dat de verschillen significant waren ($p=0.009$, **).

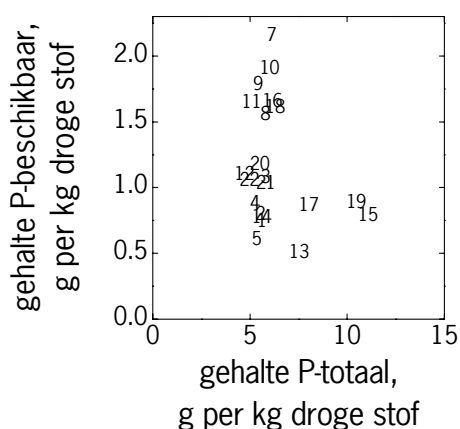
Tabel 6. Hoeveelheid en samenstelling van compost, totaal- en beschikbaarheidsgehalten, voor en na de teelt. n: geanalyseerd aantal partijen compost; significantie van verschillen tussen teeltfasen: *** $p<0.001$, ** $p<0.01$, * $p<0.05$, N.S. niet significant (tweezijdige, gepaarde t-testen met n paren).

parameter	eenheid	teeltfase		n	signifi- cantie	teeltfase		n	signifi- cantie
		vullen	einde			vullen	einde		
hoeveelheid	kg/ton	1000	865	17	***	-	-	0	-
gehalten		totaal				beschikbaar			
droge stof	g/kg	341	337	21	N.S.	-	-	0	-
N	g/kg ds	22.4	22.5	18	N.S.	2.8	4.1	8	***
K	"	30.0	30.8	22	*	28.2	29.2	16	*
P	"	6.3	6.7	22	***	1.3	1.3	16	N.S.
S	"	22.5	28.3	14	***	21.1	27.2	8	***
Mg	"	4.3	5.3	14	***	2.3	3.3	8	***
Ca	"	38.9	50.4	14	***	-	-	0	-
Na	"	2.9	3.5	14	***	2.5	2.9	8	***
Zn	mg/kg ds	141	177	14	***	6.0	13.9	8	***
Fe	"	1788	2392	14	***	29.6	26.2	8	N.S.
Cu	"	38	46	14	***	2.3	4.7	8	*
Mn	"	236	312	14	***	58.4	99.2	8	***

3.1.2.2 Dekaarde

In dekaarde kwam relatief meer Ca, Fe en Mn voor dan in champignons. Vergelijking van de gehalten aan het begin en aan het eind van de teelt lieten zien dat de gehalten van bijna alle mineralen in de dekaarde toenamen. De samenstelling van dekaarde wordt gegeven in Tabel 7.

Fig 2. De relatie tussen de gehalten P-beschikbaar en P-totaal. De gegevens hebben betrekking op 21 partijen compost. De compostpartijen 8c, 9a, 10a van leverancier 6 en 9c van leverancier 7 (nummers 13, 15, 19 en 17 in de figuur) vormen een afwijkende groep met relatief hoge P-totaal en lage P-beschikbaarheidsgehalten.



Tabel 7. Hoeveelheid en samenstelling dekaarde, totaalgehalten, voor en na de teelt. n: geanalyseerd aantal partijen; significantie van verschillen tussen teeltfasen: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, N.S. niet significant (tweezijdige, gepaarde t-testen met n paren).

parameter	eenheid	teeltfase		n	signifi- cantie
		vullen	einde		
hoeveelheid	kg/ton	454	322	17	***
gehalten					
droge stof	g/kg	221	322	17	***
N	g/kg ds	7.0	9.5	16	***
K	"	1.6	4.2	17	***
P	"	2.5	3.0	17	***
S	"	2.5	3.8	9	***
Mg	"	3.0	2.9	9	N.S.
Ca	"	118.3	119.2	9	N.S.
Na	"	0.4	0.6	9	***
Zn	mg/kg ds	32	34	9	N.S.
Fe	"	1713	1761	9	N.S.
Cu	"	-	-	0	-
Mn	"	85	90	9	*

3.1.3 Relatie tussen champignonopbrengst en substraatsamenstelling

Doordat champignons inclusief voetjes werden geoogst kwamen de opbrengsten op een hoger niveau uit dan gebruikelijk. De meeropbrengst door de voetjes bedraagt ongeveer 15 % (Gerrits 1987b). De champignonopbrengsten waren positief gecorreleerd met het gehalte P-beschikbaar in compost (Fig 3) en in mindere mate met de beschikbaarheidsgehalten Mg, Mn en Zn in compost. De correlatie van de champignonopbrengst met de vier parameters P-beschikbaar, Mg, Mn en Zn samen was niet beter dan de correlatie met P-beschikbaar alleen. De vier parameters waren onderling gecorreleerd en ook nog gecorreleerd met het gehalte S-totaal. De champignonopbrengsten vertoonden geen duidelijke correlatie met de vocht- en N-gehalten van de composten die bij de analyse van grotere aantallen teelten wel gevonden werden door Gerrits (Gerrits & Amsing 1994, 1987c, 1997; ook Seaby 1995).

Het N-gehalte van champignons van de eerste vlucht hing samen met het N-gehalte van de compost waarop de champignons geteeld waren. Een vergelijkbare samenhang werd gevonden voor Mn (Fig 4).

Fig 3. Het verband tussen de champignonopbrengst van 2 vluchten gezamenlijk inclusief voetjes en het gehalte P-beschikbaar in compost. De regressie heeft betrekking op 21 partijen compost ($p=0.008$, **). Compost partijen 13, 15, 17 en 19, met een afwijkende verhouding P-totaal : P-beschikbaar, zijn weergegeven met donkere punten. Ter vergelijking is de relatie tussen opbrengst en het gehalte P-totaal gegeven ($p=0.045$, *).

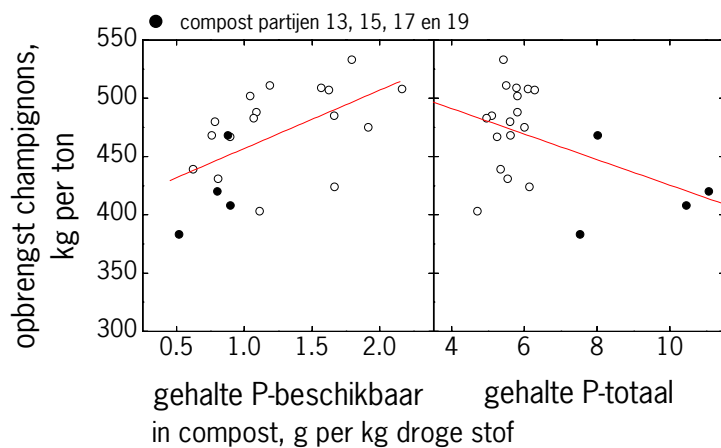
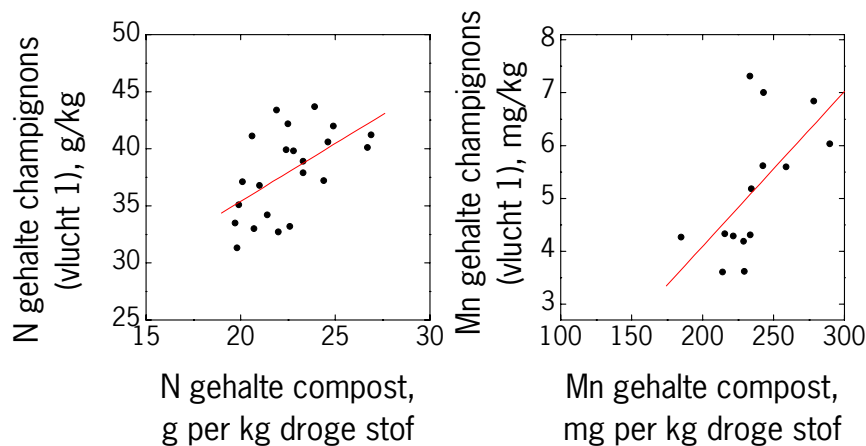


Fig 4. Verbanden tussen gehalten van N en Mn van compost en van champignons van de eerste vlucht. De gegevens hebben betrekking op respectievelijk 22 en 14 partijen compost ($p=0.007$, **; $p=0.02$, *)



3.1.4 Onttrekking uit compost en dekaarde; opname door champignons

Er traden tijdens de teelt verliezen op in de compost van de totale massa, de droge stof, en de hoeveelheden N, K en P. De hoeveelheden S, Mg, Ca, Fe en Mn in de compost namen toe. De dekaarde verloor tijdens de teelt aan totaal gewicht, maar van de afzonderlijke bestanddelen werden geen verliezen vastgesteld. De hoeveelheden N, K, P, S en Na in de dekaarde namen toe. Het verlies aan droge stof uit de compost was groter dan de hoeveelheid droge stof in de geoogste champignons. Per kg geoogste champignons, na correctie naar beneden met 15 % in verband met het oogsten van voetjes, verdween 160 gram droge stof uit de compost. Dit verlies aan droge stof lijkt op die uit ander onderzoek (Tschierpe & Sinden 1962, Gerrits et al. 1967, Loeffen et al. 1998). De hoeveelheden N, K en P in champignons waren ongeveer zo groot als de hoeveelheden van deze bestanddelen die uit de compost verdwenen (Tabel 8).

Tabel 8. Verliezen uit compost en dekaarde; opname door champignons inclusief voetjes. Na twee vluchten, uitgedrukt in hoeveelheden per ton doorgroeide compost bij het vullen. n: geanalyseerd aantal partijen; significantie van verliezen: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, N.S. niet significant (t-testen voor enkelvoudige steekproeven met toetswaarde 0).

parameter	eenheid	compost				dekaarde				champignons	
		verlies gewicht	%	n	signifi- cantie	verlies gewicht	%	n	signifi- cantie	(opname) gewicht	n
totale massa	kg/ton	135	13	17	***	133	30	17	***	465	21
droge stof	"	56	16	16	***	-0.2	-0.2	17	N.S.	29	21
N	g/ton	1165	15	15	***	-252	-35	16	***	1282	21
K	"	1379	13	16	***	-265	-269	17	***	1464	21
P	"	241	11	16	***	-46	-18	17	***	333	21
S	"	-668	-10	9	*	-116	-54	9	***	70	13
Mg	"	-109	-9.3	9	*	8.7	2.4	9	N.S.	38	13
Ca	"	-1856	-16	9	**	22	0.0	9	N.S.	21	12
Na	"	-22	-3.0	9	N.S.	-21	-61	9	***	21	13
Zn	"	-3.5	-8.6	9	N.S.	-0.2	-6.3	9	N.S.	1.6	13
Fe	"	-118	-23	9	*	-3.1	-1.7	9	N.S.	0.9	13
Cu	"	-0.9	-5.0	9	N.S.	-	-	0	-	0.8	13
Mn	"	-10	-15	9	*	-0.4	-8.1	9	N.S.	0.2	13

3.2 Literatuuronderzoek fosfaat

In het inventariserende onderzoek werden een aantal bijzonderheden vastgesteld rond het mineraal P die besproken worden in § 4.1.3. Op basis van de vaststellingen en in overleg met de begeleidingscommissie die bij het onderzoek betrokken was, werd het onderzoek gericht op de P-voeding. Eerst werd een literatuuronderzoek uitgevoerd.

Een aantal publicaties gaf aan dat het verrijken van compost met P tot verhoging van de champignonopbrengst kan leiden (Bretzloff & Fluegel 1962, Watson 1973, Yeo & Hayes 1981). Schisler en Beyer beschreven proeven over bijvoeden met SpawnMate in combinatie met de toevoeging van veen of van natuurfosfaat. Het ging om tien proeven met 'Bonaparte hypnum peat moss', een andere veensoort dan 'sphagnum peat moss', en twee proeven met 'North Carolina rock phosphate', een natuurfosfaat (Schisler 1990, Beyer & Muthersbaugh 1996, Beyer 1997, Beyer 1998). Veen en natuurfosfaat, in combinatie met het bijvoeden met SpawnMate, hadden een positief effect op de opbrengst van de latere vluchten. Op de eerste plaats concludeerden ze dat extra toevoegingen alleen positief effect hadden als de voeding voor de champignon bijna optimaal was door het gebruik van SpawnMate. Dat is een illustratie van de wet van Liebig, de wet van het minimum, dat de opbrengst bepaald wordt door de voedingsstof die in het minimum is. Als voorzien is in de voeding met stikstof wordt een volgende voedingsstof opbrengstbeperkend. Schisler en Beyer wezen de positieve resultaten met veen toe aan de adsorberende eigenschappen. Beyer (1997, 1998) stelde dat het veen calcium absorbeert, dat calcium daardoor minder fosfaat bindt, dat de beschikbaarheid van fosfaat relatief hoog blijft en dat dit de opbrengst van champignons in de laatste vluchten verhoogt. De proeven hadden betrekking op bijvoeden bij het enten. De toegepaste hoeveelheid SpawnMate bedroeg ruim 30 kg per ton entbare compost, ruim het dubbele van de hoeveelheid bijvoedmiddel die in Nederland wordt toegepast in doorgroeide compost. In de proeven werd een zeer lange oogstperiode van 7 weken aangehouden. Door bijvoeden met SpawnMate nam de opbrengst toe met ruim 40 %, een bijzonder grote toename. Door naast SpawnMate ook nog natuurfosfaat toe te voegen nam de opbrengst met nog eens 6 % toe. De opbrengstverbetering met natuurfosfaat werd in de laatste plukweken bereikt. Beyer (1998) presenteerde gegevens over de beschikbaarheid van P tijdens het teeltverloop in met SpawnMate bijgevoede compost. Van enten tot afdekken nam de beschikbaarheid met ongeveer 800 % toe. Tussen afdekken en de eerste vlucht nam de beschikbaarheid nogmaals toe met ongeveer 15 %. Na de eerste vlucht nam de beschikbaarheid af, ten opzichte van het moment van afdekken met ongeveer 30 %. De sterke toename van de beschikbaarheid van P voor het afdekken liep parallel met een sterke daling van de pH. Toevoeging van natuurfosfaat leidde niet tot een hogere fosfaatbeschikbaarheid.

Natuurfosfaat is een slecht oplosbare delfstof die door de kunstmestindustrie gebruikt wordt voor de productie van het beter oplosbare superfosfaat. Natuurfosfaat kan in grond en in compost oplosbaar gemaakt worden door de activiteit van micro-organismen (Fig 5). Door de afscheiding van organische zuren maar in het bijzonder door de afscheiding van het enzym zuur-fosfatase kunnen micro-organismen fosfaat deels oplossen, waarna opname kan volgen. Ook *A. bisporus* kan zuur-fosfatase produceren (Wannet et al. 2000b). Onduidelijk is echter of het enzym door het mycelium in de compost, buiten de levende cellen, wordt afgescheiden en actief betrokken is bij het vrijmaken en opnemen van fosfaat.

In grond en compost kan fosfaat ook organisch gebonden en slecht oplosbaar zijn (Fig 5). Met het enzym fytase kunnen micro-organismen deze vorm van fosfaat oplossen. Fytase productie door *A. bisporus* is beschreven (Collopy & Royse 2004). Onduidelijk is echter of het enzym in de compost wordt afgescheiden en actief is.

Bij de teelt van plantaardige gewassen kan het behandelen van grond, of van een meststof zoals compost, met micro-organismen de fosfaatvoeding verbeteren. Dit geldt in het bijzonder voor suboptimale omstandigheden waar P-totaal aanwezig is maar de P-beschikbaarheid laag. Er bestaan tamelijk veel publicaties over het effect van micro-organismen op het beschikbaar maken van fosfaat voor planten (Bijlage 3). Voor grond en compost behandeling worden microbiële preparaten vermarkt (Agriton, Noordwolde-Zuid, Nederland; Phylaxia-Pharma Boedapest, Hongarije; EMRO USA Effective Microorganisms, Tucson, USA; EM Research Organization (EMRO), Okinawa, Japan; Aureus Biotech(S) Pte., Singapore). In

analogie met de teelt van planten onder suboptimale omstandigheden kan overwogen worden om relevante micro-organismen of preparaten aan compost voor champignons toe te voegen om de beschikbaarheid van P te verhogen. Dit lijkt echter geen eerste keus omdat het immers eenvoudiger is om P in een goed beschikbare vorm, zoals superfosfaat, toe te dienen. Microbiële bijsturing van een substraat dat al specifieke microbiële processen op grote schaal ondergaat, zoals compostering gevolgd door afbraak door champignonmycelium, is bovendien niet eenvoudig (Golueke et al. 1954, De la Lande Cremer 1984, Fang & Wong 2001, Schloss et al. 2003).

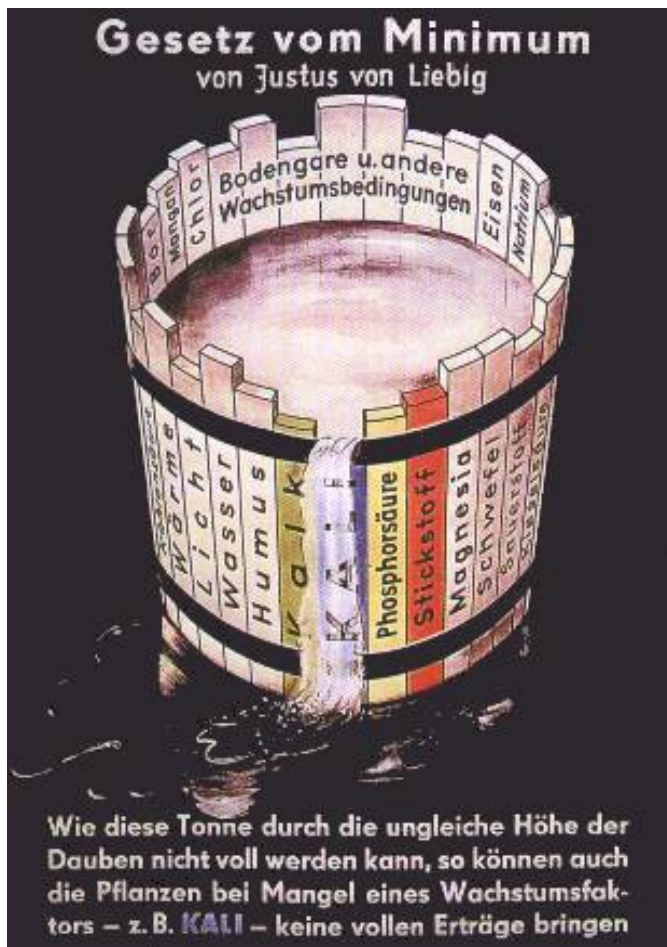
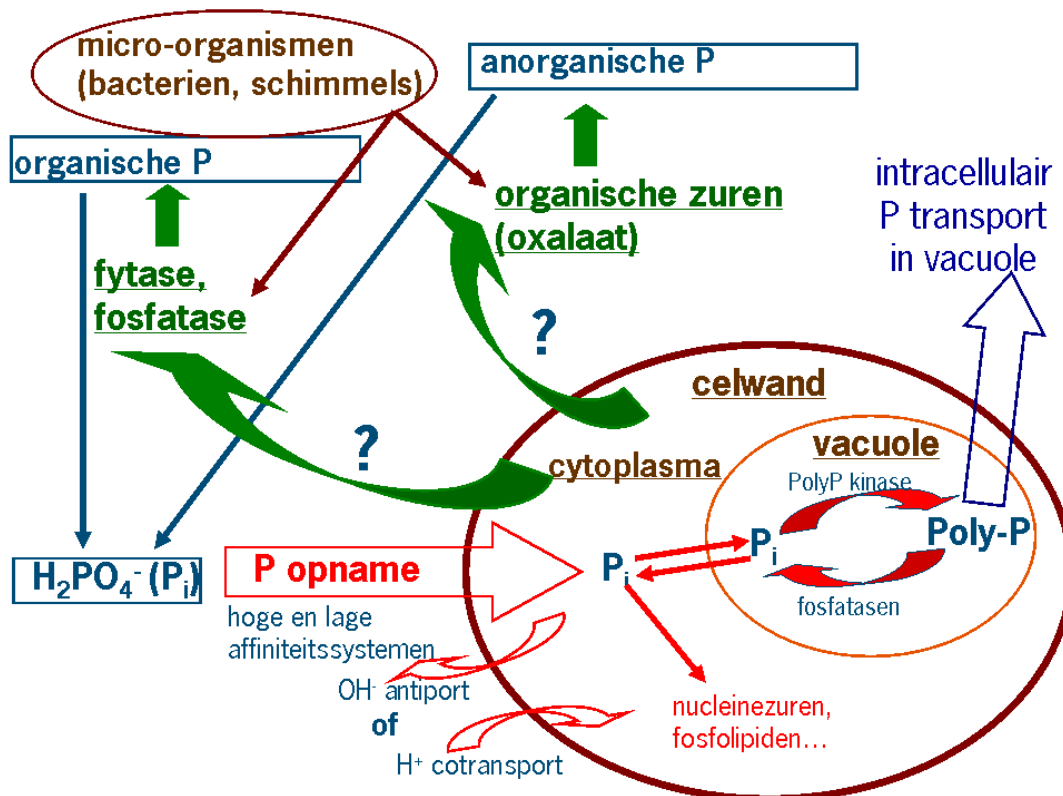
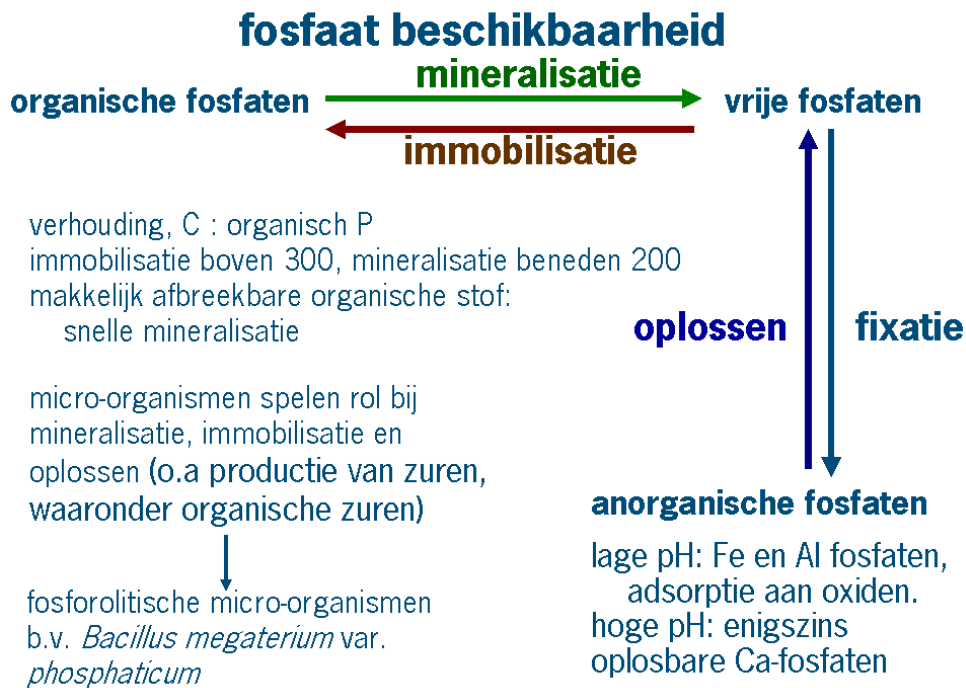


Fig 5. Schematische weergave van de verschillende fosfaatvormen, over de reacties die de vormen in elkaar doen overgaan en over opname mechanismen.

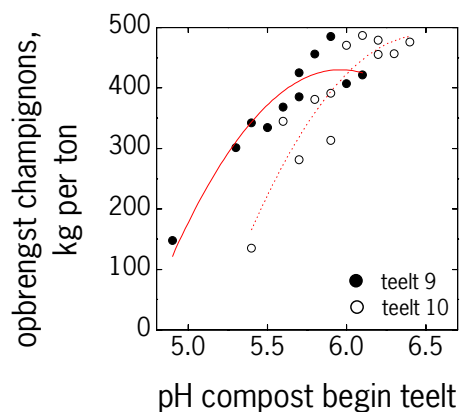


3.3 Experimenteel onderzoek fosfaat

3.3.1 Opbrengst champignons

Een hoge dosering van tripelsuperfosfaat in compost leidde in beide proeven, bij alle acht partijen compost, tot opbrengstreducties in vergelijking met de controle behandelingen zonder toevoeging (Tabel 9). Composten 9a, 9c en 10a reageerden het sterkst. Ook de één na hoogste dosering tripelsuperfosfaat leidde in deze composten tot opbrengstreducties. Composten 9a en 10a waren afkomstig van compostbedrijf 6, dat de speciale aandacht had getrokken in het inventariserende onderzoek (§ 3.1.2, Fig 2). De champignonopbrengsten in de tweede vlucht waren op compostherkomsten 9a en 10a relatief lager dan op de andere compostherkomsten. Het effect van tripelsuperfosfaat was gecorreleerd met het effect van de toevoegingen op de pH van de compost bij het vullen. Gerealiseerde pH's beneden de 6 waren gekoppeld met lage tot zeer lage opbrengsten (Fig 6). Aan het einde van de teelt was de pH in de compost bij de hoogste dosering tripelsuperfosfaat gedaald tot pH 5.6 en was het ammonium-stikstof gehalte gestegen tot boven 0.83 g per kg drogestof compost. Voor de controles zonder toevoegingen waren de waarden voor pH en ammonium-stikstof aan het einde van de teelt respectievelijk 6.0 en 0.36.

Fig 6. Samenhang van de pH van de compost bij het vullen en de champignonopbrengst in proeven met tripelsuperfosfaat toevoegingen aan de compost (teeltnummers 9 en 10; polynome regressies, respectievelijk $p < 0.0001$, *** en $p = 0.0002$, ***).



De effecten van de andere toevoegingen waren minder duidelijk dan van de toevoeging van tripelsuperfosfaat aan compost. Geen van de toevoegingen had echter een duidelijk positief effect op de champignonopbrengst. Het negatieve effect van de toevoegingen van kaliumfosfaat in het gietwater was gekoppeld met een verminderde ingroei van het mycelium in de dekaarde bij het afventileren en met een pH stijging in de dekaarde tot pH 7.7 aan het einde van de teelt.

Tabel 9. Champignonopbrengsten in kg per ton doorgroeide compost in experimentele teelten 9 en 10. Natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat werden toegepast in hoeveelheden van 1 g, 5 g en 15 g P per kg droge stof totaal substraat. Het goed oplosbare kaliumfosfaat werd toegepast in lagere hoeveelheden van 1 g, 2 g en 5 g P per kg droge stof totaal substraat.

toevoeging		teelt- nummer	9a			9b			9c			9d			10a			10b			10c			10d		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
natuurfosfaat	compost		414	397	393	406	409	416	442	441	416	465	485	448	413	412	380	417	437	455	485	448	447	487	510	487
tripelsuperfosfaat	compost		385	334	-	407	425	301	421	368	148	485	456	342	381	281	135	479	470	391	476	455	345	456	487	313
natuurfosfaat	dekaarde		394	355	354	406	429	348	-	-	-	-	-	-	401	337	360	448	467	377	-	-	-	-	-	-
tripelsuperfosfaat	dekaarde		391	-	-	401	416	383	-	-	-	-	-	-	414	387	366	432	447	470	-	-	-	-	-	-
kaliumfosfaat	gietwater		375	398	-	411	422	328	426	416	375	467	458	397	381	374	300	426	418	424	464	445	475	506	479	403
controle			410			416			448			494			421			464			496			476		

Tabel 10. Effecten van toevoegingen van natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat in de hoogste doseringen aan compost op de samenstelling van compost en dekaarde. ANOVA's met factoren 'compostpartij' en 'toevoeging'; significanties van effect 'toevoeging': *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, N.S. niet significant; k.b.v. is kleinst betrouwbare verschil op een niveau van p=0.05; parameterwaarden in een rij die statistisch gezien niet verschillen op een niveau van p=0.05 zijn voorzien van overeenkomende letters.

parameter	eenheid	vullen compost					einde teelt compost					dekaarde													
		toevoeging	geen	natuur fosfaat	tripel-S fosfaat	signifi- cantie	k.b.v.	geen	natuur fosfaat	tripel-S fosfaat	signifi- cantie	k.b.v.	geen	natuur fosfaat	tripel-S fosfaat	signifi- cantie	k.b.v.								
gewicht	kg/ton	1000	1000	1000	-	-	897	a	919	a	1009	b	***	25	285	a	283	a	327	b	***	11			
pH		6.2	a	6.3	a	5.5	b	***	0.3	6.0	a	6.1	b	5.6	c	7.5	a	7.5	a	7.4	a	*	0.1		
gehalten																									
droge stof	g/kg	367	a	399	b	391	b	***	14	326	a	351	b	316	a	***	14	360	a	365	a	318	b	***	15
N-totaal	g/kg ds	24.0	a	21.6	b	22.5	b	**	1.5	24.3	a	21.2	c	22.7	b	***	0.5	10.2	a	10.4	a	9.9	b	**	0.2
K-totaal	"	30.2	a	27.4	b	28.4	ab	N.S.	2.2	31.7	a	28.4	c	30.0	b	***	0.8	4.7	a	5.0	b	5.6	c	***	0.2
P-totaal	"	7.3	a	21.3	b	23.8	b	***	3.1	7.7	a	20.5	b	25.1	c	***	1.3	3.5	a	4.2	b	5.0	c	***	0.3
NO3-N-beschikbaar	"	0.00	a	0.00	a	0.00	a	N.S.	0.00	0.03	a	0.03	a	0.03	a	N.S.	0.01	0.51	a	0.64	b	0.47	a	***	0.07
NH4-N-beschikbaar	"	0.24	a	0.43	a	0.74	b	**	0.26	0.35	a	0.44	b	0.83	c	***	0.06	0.03	ab	0.03	a	0.02	b	N.S.	0.00
N-beschikbaar	"	2.8	a	3.1	ab	3.2	b	*	0.3	4.1	a	4.0	b	4.1	a	*	0.1	0.8	a	1.0	a	0.7	c	***	0.1
K-beschikbaar	"	28.3	a	25.9	b	26.7	ab	N.S.	2.2	30.3	a	27.4	c	28.3	b	***	1.0	3.4	a	3.8	b	4.2	c	***	0.2
P-beschikbaar	"	1.1	a	1.1	a	11.9	b	***	0.7	1.0	a	0.8	a	9.2	b	***	0.5	0.1	a	0.0	a	0.1	b	***	0.0

3.3.2 Samenstelling champignons

De samenstelling van de champignons was afhankelijk van de toevoegingen. Ten opzichte van de controle hadden de champignons op compost met de hoogste dosering tripelsuperfosfaat een lager droge stofgehalte en hogere N, K en P gehalten (Tabel 11).

Tabel 11. Samenstelling van geoogste champignons op composten met toevoegingen van natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat in de hoogste doseringen. ANOVA's met factoren 'compostpartij' en 'toevoeging'; significanties van effect 'toevoeging': *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, N.S. niet significant; k.b.v. is kleinst betrouwbare verschil op een niveau van p=0.05; parameterwaarden in een rij die statistisch gezien niet verschillen op een niveau van p=0.05 zijn voorzien van overeenkomende letters.

parameter	eenheid	toevoeging	geen	natuur fosfaat	tripel-S fosfaat	significantie	k.b.v.
hoeveelheid	kg/ton		453 a	430 a	282 b	***	30
gehalten							
droge stof	g/kg		65.0 a	65.7 a	62.1 b	***	1.8
N	g/kg ds		46.6 a	47.6 b	48.9 c	***	0.9
K	"		50.0 a	49.1 a	53.2 b	***	1.2
P	"		11.5 a	11.3 a	12.9 b	***	0.3

3.3.3 Samenstelling substraat

De fosfaattoevoegingen aan compost en dekaarde hadden, zoals verwacht, effect op de samenstelling van beide substraten. De toevoegingen van natuurfosfaat en tripelsuperfosfaat aan de compost leidden tot een lager vochtgehalte van de compost, een verhoging van het P-gehalte en tot verlagingen van de N- en K-gehalten. Met beide toevoegingen namen de beschikbaarheden van N en van NH₄-N toe en daalde de beschikbaarheid van K. De toevoeging van tripelsuperfosfaat leidde tot een verhoging van de beschikbaarheid van P, en bij het hoogste toedieningsniveau, tot een pH daling naar 5.5. De toevoeging van natuurfosfaat had geen effect op de beschikbaarheid van P of op de pH (Tabel 10). Aan het einde van de teelt waren in de compost de beschikbaarheden van NO₃-N en N hoger geworden, de beschikbaarheid van NH₄-N was niet duidelijk toegenomen (Tabel 10).

De toedieningen aan de compost leidden tot hogere gehalten aan P en K in de dekaarde aan het einde van de teelt. De toevoeging van natuurfosfaat leidde tot hogere N-beschikbaarheden in dekaarde. De toevoeging van tripelsuperfosfaat leidde tot een verlaging van de pH in de dekaarde.

4 Discussie

4.1 Inventariserend onderzoek

4.1.1 Champignons

De mineralen gehalten van champignons waren in vlucht 2 hoger dan in vlucht 1 (Tabel 4). Dit wijst niet op het ontstaan van tekorten aan mineralen tijdens de teelt. De afname van de mineralen gehalten tijdens de ontwikkeling van de eerste vlucht 1 (Tabel 5) kan echter wijzen op tekorten tijdens de vluchtontwikkeling. Alleen de gehalten van de elektrolytisch en osmotisch actieve mineralen K en Na bleven op niveau of namen iets toe (Tabel 5). Al op de tweede (van vier) ontwikkelingsdagen van de eerste vlucht waren de mineralengehalten lager dan op de eerste dag. In deze periode nam het gewicht van de champignons nog 'exponentieel', of 'ongelimiteerd' toe met een verdubbelingstijd van ongeveer 18 uur. De daling van het mineralengehalte zette in voordat er groeibelemmeringen waarneembaar waren. De P en Mg gehalten, die onderling sterk gecorreleerd waren (Fig 1), lieten een beperkte daling tijdens de vier daagse ontwikkeling zien van ongeveer 20%. De dalingen van de gehalten van Mn, Zn, N-totaal, S, Fe, Cu en Ca waren, in deze volgorde toenemend, hoger (zie Tabel 5). De daling van het Ca gehalte bedroeg bijna 70%. In tuinbouwgewassen zijn 'gebreksziekten' bekend die veroorzaakt worden door gebrek aan een bepaalde voedingsstof. De hoeveelheid geoogst product hoeft niet altijd negatief beïnvloedt te worden, soms alleen de kwaliteit van het product. Een voorbeeld hiervan is neusrot bij tomaat, veroorzaakt door een gebrekkige Ca voeding die zich uit in lage Ca gehalten in het product (Heuvelink & Kierkels 2004). Gebreksziekten bij champignons zijn onbekend maar niet uit te sluiten. Voor de tuinbouw zijn tabellen en rekenregels opgesteld om de voedingstoestand van een gewas af te leiden uit de samenstelling ervan (Bates 1971, Parent & Dafir 1992). Mogelijk dat het ontwikkelingsstadium, de 'fysiologische leeftijd', van champignons afgeleid kan worden uit de samenstelling. De P en Mg gehalten zouden hierbij wellicht als referentie kunnen dienen. Het is niet uit te sluiten dat een afwijking in de samenstelling gekoppeld is met een kwaliteitsprobleem bij champignons zoals bewaarbaarheid of slinkverlies.

Bij de ontwikkeling van de eerste vlucht nam het gewicht aan champignons in de twee laatste dagen voor de oogst toe met gemiddeld 85.5 kg per dag per ton compost. Deze gewichtstoename is veel hoger dan de gemiddelde gewichtstoename over de hele teeltperiode waarbij in ongeveer 35 dagen 470 kg champignons per ton compost geoogst werden met een gemiddelde toename van 13.4 kg per dag per ton. De 'vraag' naar voeding door uitgroeiende champignons wisselt sterk; de verzorging met voeding verloopt zeer dynamisch. Tijdelijke tekorten bij de uitgroei zijn niet uit te sluiten.

Dat de droge stof van champignons van vlucht 1 een afnemend mineralengehalte tijdens de ontwikkeling laat zien (Tabel 5) betekent dat het gehalte organische stof toeneemt tijdens de ontwikkeling. Organische stof in champignons kan voorkomen in opgeloste vorm in het celvocht maar ook in niet opgeloste vorm in celwanden. Een kwantitatief belangrijke, in het celvocht opgeloste stof, is het koolhydraat mannitol. Het mannitolgehalte kan tot 50 % van de droge stof van champignons uitmaken (Rast 1965, Kalberer 1990, Stoop & Mooibroek 1998, Beecher et al. 2000). Het mannitolgehalte in champignons neemt toe tijdens de uitgroei (Hammond & Nichols 1976, Wannet et al. 2000a). De vorming van mannitol is niet geheel duidelijk. In het mycelium, dat voor de opname en de eerste stap in het transport van organische stof naar uitgroeiende vruchtlichamen zorgt, komt trehalose en niet mannitol voor als kwantitatief belangrijkste koolhydraat. Ook de vorming van trehalose is niet geheel duidelijk. Trehalose is geen bouwsteen van de organische stof in compost en het kan pas gevormd worden als er reeds organische stof uit de compost is opgenomen in het mycelium. Tijdens het transport van trehalose uit het mycelium naar uitgroeiende vruchtlichamen moet trehalose omgezet worden in mannitol. Mogelijk van belang hierbij is dat de osmotische waarde van de vloeistof waarin de omzetting plaats vindt zal stijgen. Deze stijging wordt veroorzaakt doordat uit één molecuul trehalose twee moleculen mannitol ontstaan. De stijging van de osmotische waarde kan bijdragen aan het transport van vloeistof naar de plaats van omzetting (Cairney 1992, Wannet et al. 2000c). Het niet opgeloste celwandmateriaal van de champignon (Dikeman et al. 2005)

bestaat voor een groot deel uit koolstofhoudende stoffen en een toename van het gehalte celwandmateriaal kan het dalend gehalte mineralen verklaren.

Door het relatief grote verlies van organische stof uit de compost nemen tijdens de teelt de gehalten van mineralen in de compost toe (Tabel 6). Hogere mineralengehalten in vlucht 2 (Tabel 4) kunnen als een gevolg gezien worden van het ontstaan van een betere beschikbaarheid van mineralen in de compost. Het valt echter niet uit te sluiten dat de champignons van vlucht 2 in een vroeger ontwikkelingsstadium werden geoogst dan champignons in vlucht 1. Als de ontwikkeling van het mineralengehalte tijdens vlucht 2 vergelijkbaar verloopt met die in vlucht 1 (Tabel 5), dan is een vroeg ontwikkelingsstadium in vlucht 2 gekoppeld met hogere gehalten.

4.1.2 Substraat

Van de kwantitatief belangrijke mineralen waren N en P in de compost relatief slecht beschikbaar (Tabel 6). Toch waren de beschikbaarheden van N en P aan het einde van de teelt hoger dan aan het begin. Over de hele teeltperiode gezien waren N en P blijkbaar niet beperkend voor de groei van champignons. Dit sluit niet uit dat er op enig moment, bijvoorbeeld in de periode van zeer snelle uitgroei vlak voor de oogst, tijdelijke tekorten bestaan. In de compost nam de hoeveelheid Ca toe. Dit kan verklaard worden door uitspoeling van Ca uit de dekaarde waarin schuimaarde, CaCO_3 , aanwezig was. De verliezen van de hoeveelheden N, K en P uit de compost kwamen overeen met de hoeveelheden N, K en P in de geoogste champignons (Tabel 8). De balansen waren niet volledig sluitend, maar er zijn geen aanwijzingen voor onvoorziene verliesposten. Het niet sluitend zijn van de balansen kan verklaard worden door de variatie in de gemeten parameters. Voor het uitrekenen van bijvoorbeeld het N verlies uit compost zijn de totaalgewichten van de compost voor en na de teelt nodig, de vochtgehalten van de compost voor en na de teelt en de N-gehalten van de droge stof voor en na de teelt. In totaal zijn er zes waarnemingen voor de berekening nodig. In de verliesberekening worden variaties 'opgeteld', ook 'error propagation' genoemd.

4.1.3 Fosfaat als mogelijk knelpunt

Een aantal bijzonderheden rond fosfaat vielen op:

- P was kwantitatief een belangrijke voedingsstof (Tabel 4). Er was een relatief groot verschil tussen het totaal en het beschikbaarheidsgehalte in compost (Tabel 6).
- er werd een verband vastgesteld tussen de champignonopbrengst en het beschikbaarheidsgehalte van P in compost (Fig 3).
- het verschil tussen het totaal en het beschikbaarheidsgehalte van P in compost hing samen met de herkomst van de compost (Fig 2). Op vier partijen compost met grote verschillen tussen totaalgehalte en beschikbaarheidsgehalte werden lagere opbrengsten gerealiseerd dan op de overige partijen compost.

Mogelijke knelpunten met andere mineralen konden niet direct uit de inventarisatie worden afgeleid. Empirisch is echter onderzoek gedaan naar het effect van bijvoeden van compost met mineralen. Rinker & Alm (1987) experimenteerden met het 'slow release' middel Nutricote 16:10:10 (NPK). Zij rapporteerden een positief effect op de opbrengst maar gaven geen details. Desrumaux et al. (2000a, b, c) voegden MicroMax, een mix van de micronutriënten B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, S en Zn, toe aan reeds met MilliChamp 3000 bijgevoede doorgroeide compost. Zij realiseerden een opbrengststijging van 6 %. Het bleef onduidelijk aan welk nutriënt de opbrengststijging kon worden toegeschreven. Racz (1998) concludeerde dat toevoeging van Mn aan compost tot een opbrengststijging leidde.

4.2 Literatuuronderzoek fosfaat

De resultaten van het literatuuronderzoek vormden een bevestiging van de resultaten van het inventariserende onderzoek dat de voeding met fosfaat mogelijk een knelpunt is in de teelt van champignons. Dit was reden om experimenten te doen met toevoegingen van natuurfosfaat, superfosfaat en kaliumfosfaat.

4.3 Experimenteel onderzoek fosfaat

Effecten van P-toedieningen aan compost en dekaarde op de champignonopbrengst waren afwezig of negatief (Tabel 9). Het negatieve effect van tripelsuperfosfaattoevoeging op het hoogste niveau was gekoppeld met een pH-daling (Fig 5) en een $\text{NH}_4\text{-N}$ -stijging in de compost aan het eind van de teelt. Een negatief effect van een verhoogd $\text{NH}_4\text{-N}$ -niveau in compost aan het einde van de teelt werd ook gevonden door Straatsma et al. (2004) en is ook bekend in de praktijk. Voor het beoordelen van $\text{NH}_4\text{-N}$ waarden is het noodzakelijk om te weten op welke methode de $\text{NH}_4\text{-N}$ bepaling berust. In het hier beschreven onderzoek werd $\text{NH}_4\text{-N}$ gemeten als een onderdeel van de N-beschikbaarheidsbepaling waarbij een gedroogd monster met een 0.01 M CaCl_2 oplossing werd geëxtraheerd. In het onderzoek van Straatsma et al. (2004) werden bepalingen uitgevoerd door aan verse monsters MgO toe te voegen, gevolgd door stoomdestillatie. Het ontstaan van $\text{NH}_4\text{-N}$ tijdens de teelt kan misschien met bestaande rekenmodellen (Van Veen et al. 1984, Liang et al. 2004) onderzocht worden.

De manier waarop en het niveau waarbij de pH en het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte een knelpunt vormen is niet duidelijk. De stikstofhuishouding van compost, en meer algemeen van organische stof in grond, is complex (Liang et al. 2004).

Het negatieve effect van de kaliumfosfaattoevoeging aan het gietwater is niet direct duidelijk. Een negatief effect door de verhoging van het zoutgehalte in de dekaarde kan een rol spelen. De toediening van CaCl_2 aan de dekaarde in een hoeveelheid van 100 g per m^2 kan al een negatief effect hebben op de champignonopbrengst (van Loon 2002). De molariteit van deze gift komt overeen met die van een gift van 123 g per m^2 KH_2PO_4 . De gift met KH_2PO_4 op het laagste niveau van 3.8 g per l dekaarde overschreed deze hoeveelheid.

De resultaten waren geen bevestiging voor de conclusies die Schisler en Beyer trokken uit hun proeven over bijvoeden met SpawnMate in combinatie met de toevoeging van veen of van natuurfosfaat (Schisler 1990, Beyer & Muthersbaugh 1996, Beyer 1997, Beyer 1998). In een kritische beoordeling van hun werk vormden wij de mening dat andere dan de door hen genoemde factoren de oorzaak van de opbrengststijging konden zijn. Zo kan niet uitgesloten worden dat de menging van veen in de compost bijgedragen heeft aan een verbetering van de vocht huishouding. Het veen kan eventueel ook de structuur van het substraat hebben gestabiliseerd met een verbetering van de teeltomstandigheden later in de teelt tot gevolg.

Van het pH verlagend effect van tripelsuperfosfaat kan gebruik gemaakt worden bij de teelt van de akkerchampignon (Fritsche et al 1989) en bij de teelt van de paarse ridderzwam (Fritsche et al 1991).

4.4 Synthese inventariserend en experimenteel onderzoek

Belangrijke resultaten uit het inventariserende en het experimentele onderzoek, de positieve relatie tussen het gehalte van beschikbaar P in compost en de champignonopbrengst (Fig 3) en het ontbrekende of negatieve effect van P-toevoegingen op de champignonopbrengst (Tabel 9), lijken niet in overeenstemming. Bij beide resultaten zijn echter meerdere factoren betrokken zoals hierboven beschreven is. Het ontbreken van een positief effect van P-toevoegingen op de opbrengst sluit niet uit dat er toch een knelpunt is in de P-voeding. Het verband tussen P beschikbaarheid en de opbrengst kan enerzijds oorzakelijk zijn, anderzijds kan het verband veroorzaakt worden door onderliggende factoren, eventueel door veranderingen in pH en in het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte. Een verdere inventarisatie om een bevestiging te verkrijgen van het gevonden verband is wenselijk. De beschikbaarheid van P tijdens de teelt kan misschien met bestaande rekenmodellen (Gressel & McColl 1997, McGechan & Lewis 2002) onderzocht worden.

5 Conclusies

Uit het onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- Onder de omstandigheden van het inventariserende onderzoek bestond een verband tussen de beschikbaarheid van fosfaat in de compost en de champignonopbrengst.
- Onder de omstandigheden van het experimentele onderzoek met compost en dekaarde van Nederlandse herkomst kon geen positief effect van P-toedieningen aan compost en dekaarde op de champignonopbrengst vastgesteld worden.
- Het negatief effect op de champignonopbrengst van de toevoeging van een hoge dosis triplesuperfosfaat werd waarschijnlijk veroorzaakt door het neveneffect van de toevoeging op de pH en het ammonium-stikstof gehalte in de compost. Het vinden van een manier om deze neveneffecten te vermijden is een kans om tot teeltverbetering te komen door fosfaattoevoeging.
- Al in een vroeg stadium van de ontwikkeling van champignons nam het mineralengehalte af en het gehalte organische stof toe. Deze verandering begon voordat de fase van exponentiële en ongelimiteerde groei afloopt. De sterkste afname trad op bij Ca. Dit wijst op een mogelijk knelpunt.
- Doordat de afbraak van organische stof in de compost in verhouding groter was dan de onttrekking van mineralen door de groeiende champignons, nam het mineralengehalte in de compost toe.
- De toename van de mineralengehalten in de compost tijdens de teelt, en ook die van hun beschikbaarheden, wijzen niet direct op knelpunten in de mineralenvoorziening.
- Als meest dynamische tijdstip in de teelt kan de korte periode rond de oogst aangemerkt worden. Voedingsstoffen, die over het geheel van de teeltperiode genomen in voldoende mate beschikbaar zijn, zouden, in een periode van grote vraag, voor knelpunten in de voeding kunnen zorgen.
- De veranderingen die optreden in compost en dekaarde tijdens de teelt, zoals pH verlaging en toename van het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, zijn van belang voor het teeltresultaat. Bij de fysisch-chemische karakterisering van compost en dekaarde aan het begin van de teelt zou ook de gevoeligheid van compost en dekaarde voor dergelijke veranderingen tijdens de teelt vastgesteld dienen te worden.
- De hoeveelheid macromineralen, N, P en K, in champignons komt in grootte orde overeen met de verliezen uit de compost. Of balansen voor individuele mineralen sluitend zijn kon niet vastgesteld worden.

6 Suggesties voor verder onderzoek

Op basis van het onderzoek worden de volgende suggesties voor vervolgonderzoek gedaan:

- De relatie tussen de beschikbaarheid van P in compost en de champignonopbrengst verdient verder onderzoek. Enerzijds kan het verband bevestigd worden in een voortgezet inventariserend onderzoek. Anderzijds kunnen de omstandigheden waaronder het verband optreedt onderzocht worden waarbij waarschijnlijk de factoren pH en het ammonium-stikstof gehalte betrokken zijn.
- Uit een inventarisatie van de productiewijze bij de compostproducenten kan meer duidelijkheid ontstaan over de verschillen in samenstelling van partijen compost, in het bijzonder van het P-beschikbaarheidsgehalte.
- De aandacht in verder onderzoek dient minder op de begintoestand van een teelt gericht te zijn maar op de gehele teeltperiode en in het bijzonder op de korte dynamische periode voor de oogst waarbij uitgroeiende champignons een grote 'vraag' naar voedingsstoffen hebben, waardoor tijdelijke knelpunten zouden kunnen ontstaan.
- In een onderzoek naar de dynamische veranderingen in de compost rond de oogst dient aandacht besteed te worden aan parameters waarvan al bekend is dat ze effect hebben op de champignonopbrengst: vocht, N-huishouding, pH. Het monitoren van veranderingen in compost en het onderzoeken van de 'bufferende' vermogens van compost in praktijkteelten kan hierbij een eerste stap zijn.
- De ontwikkeling en het functioneren van het transportsysteem, ontstaan door anastomose van hyfen en vorming van myceliumstrengen, van compost naar uitgroeiende champignons, verdient nader onderzoek.
- De mogelijkheid dat uit de samenstelling van champignons het ontwikkelingsstadium en eventueel kwaliteitsaspecten zoals gebreksziekten kunnen worden afgeleid verdient nader onderzoek.
- Onder de dynamische omstandigheden in compost is voedingsonderzoek moeilijk uit te voeren. Voor voedingsonderzoek is teelt op een continue verversende oplossing wenselijk. Zo een teeltsysteem verdient ontwikkeling.

Literatuur

- Amsing JGM. 1983. Inventarisatie van lood, cadmium, kwik, arseen en zink in geteelde champignons (*Agaricus bisporus*) en compost. *Champignoncultuur* 27, 275-285.
- Bakowski J, Szudyga K, Horbowicz M & Czapski J. 1986. The influence of compost on carbohydrates and minerals content in the mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Acta Agrobotanica* 39, 85-97.
- Bates TE. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation : a review. *Soil Science* 112, 116-130.
- Beecher TM, Magan N & Burton KS. 2001. Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissues of freshly harvested and stored mushrooms (*A. bisporus*). *Postharvest Biology and Technology* 22, 121-131.
- Beyer DM & Muthersbaugh H. 1996. Nutrient supplements that influence later break yield of *Agaricus bisporus*. *Canadian journal of Plant Science* 76, 835-840.
- Beyer DM. 1997. The effect of chelating agents on the later break yields of *Agaricus bisporus*. *Canadian Journal of Botany* 75, 402-407.
- Beyer DM 1998. The use of ion exchange resins to assess the changes in mineral element availability during the production of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. *Canadian Journal of Botany* 76, 2084-2092.
- Bretzloff CW & Fluegel MS. 1963. Chemical composition of mushroom compost during composting and cropping. *Mushroom Science* 5, 46-60.
- Cairney JWG. 1992. Translocation of solutes in ectomycorrhizal and saprotrophic rhizomorphs. *Mycological research* 96, 135-141.
- Chefetz B & Hatcher PG. 2004. Organic matter transformations in compost during mushroom cropping and postcrop weathering. *Mushroom Science* 16, 17-24.
- Collopy PD & Royse DJ. 2004. Characterization of phytase activity from cultivated edible mushrooms and their production substrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 7518-7524.
- De la Lande Cremer LCN. 1984. Toevoegmiddelen aan mest en compost. *Landbouwmecanisatie* 35, 812-817.
- Desrumeaux B, Sedeyn P, Desmet H, Werbrouck A & Lannoy P. 2000a. De invloed van mineralen, sporenelementen en bijvoeddosis op teeltverloop en opbrengst van champignons (*Agaricus bisporus*) serie I. *Champignonberichten* 178, 6-19. / In: Champignons Oesterzwammen. Wetenschappelijk verslag van het onderzoek 1995-1999. pp 209-224
- Desrumeaux B, Calus A & Sedeyn P. 2000b. Minerals and microelements in the mushroom substrate: a production-limiting factor? *Mushroom Science* 15, 327-334.
- Desrumeaux B, Sedeyn P, Overstijns A, Desmet H, Werbrouck A & Lannoy P. 2000c. De voorziening van mineralen en sporenelementen voor champignons (*Agaricus bisporus*) via het klassieke champignonsubstraat: een beperkende factor voor de productie? In: Champignons Oesterzwammen. Wetenschappelijk verslag van het onderzoek 1995-1999; pp 225-239
- Dikeman CL, Bauer LL, Flickinger EA & Fahey GC. 2005. Effects of stage of maturity and cooking on the chemical composition of select mushroom varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 1130-1138.
- Fang M & Wong JWC. 2001. Seeding effect on cocomposting wastewater biosolids with coal fly ash. *Water Environment Research* 73, 633-638.
- Fritsche G, Gerrits JPG, Pompen TGM & Visscher HR. 1989. De teeltwijze van de akkerchampignon, ras R20. *Champignoncultuur* 33, 15.
- Fritsche G, Jenniskens FW & Peeters GJ. 1991. De teeltwijze van *Lepista nuda*, de rassen HES-12 en HES-14. *Champignoncultuur* 35, 127.
- Gerrits JPG, Bels-Koning HC & Muller FD. 1967. Changes in compost constituents during composting, pasteurization and cropping. *Mushroom Science* 6, 225-243.
- Gerrits JPG. 1968. De anorganische voeding van de champignon. *Champignoncultuur* 12, 111-115.
- Gerrits JPG. 1969. Organic compost constituents and water utilized by the cultivated mushroom during spawn run and cropping. *Mushroom Science* 7, 111-126.

- Gerrits JPG. 1987a. Bijvoeden met speciale aandacht voor de opname van mineralen en aminozuren. *Champignoncultuur* 31, 415-425.
- Gerrits JPG. 1987b. Voeding en compost. In: *De Teelt van Champignons* (ed Van Griensven), 29-73.
- Gerrits JPG. 1987c. Optimaal vochtgehalte voor doorgroeide compost. *Groente en Fruit* 12 juni, 58-60.
- Gerrits JPG & Amsing JGM. 1994. Bijvoeden en plastic in relatie tot het stikstof- en vochtgehalte van doorgroeide compost. *Champignoncultuur* 38, 381-385.
- Gerrits JPG. 1996. Ringonderzoek met champignons van eerste en tweede vlucht. *Champignoncultuur* 40, 385-387.
- Gerrits JPG. 1997. Vochtgehalte en volumegewicht van indoor compost. *Champignoncultuur* 41, 179-183.
- Gerrits JPG. 1998. Bijvoedadvies per teelt nog niet in zicht. *Groenten en fruit, Vakdeel Paddestoelen* 28, 26-27.
- Golueke CG, Card BJ & McGauhey PH. 1954. A critical evaluation of inoculums in composting. *Applied Microbiology* 2, 45-53.
- Gressel N & McColl JG. 1997. Phosphorus mineralization and organic matter decomposition: a critical review. In: Cadisch G & Giller KE. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. pp 297-309.
- Griffin DH. 1994. *Fungal physiology*, 2nd ed. Wiley.
- Hammond JBW & Nichols R. 1976. Carbohydrate metabolism in *Agaricus bisporus*: changes in soluble carbohydrates during growth of mycelium and sporophore. *Journal of General Microbiology* 93, 309-320.
- Heuvelink E & Kierkels T. 2004. Calcium werkt als een soort cement in de celwanden : sturing calcium gecompliceerde zaak. *Onder glas* 1(8), 12-13.
- Iiyama K, Stone BA & Macauley BJ. 1994. Compositional changes in compost during composting and growth of *Agaricus bisporus*. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 1538-1546.
- Kalac P & Svoboda L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chemistry* 69, 273-281.
- Kalberer PP. 1990. Influence of the water potential of the casing soil on crop yield and on dry-matter content, osmotic potential and mannitol content of the fruit bodies of *Agaricus bisporus*. *Journal of Horticultural Science* 65, 573-581.
- Lambers H, Chapin FT & Pons TL. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer.
- Liang Y, Leonard JJ, Feddes JJ & McGill WB. 2004. A simulation model of ammonia volatilization in composting. *Transactions of the ASAE* 47, 1667-1680.
- Lindeberg G. 1950. Phenol oxidases of the cultivated mushroom *Psalliota bispora* f. *albida*. *Nature* 166, 739.
- Loeffen H, Bakker JC & Gerrits JPG. 1998. Meetmethode voor CO₂-productie van compost: meetmethode voor het bepalen van de CO₂-productie van compost als maat voor de opbrengst en opbrengstcapaciteit van compost. IMAG-DLO 97-13. 79pp. ISBN 90-5406-169-3.
- McGechan MB & Lewis D R. 2002. Sorption of phosphorus by soil, Part 1: Principles, equations and models. *Biosystems Engineering* 82, 1-24.
- Ohga S, Smith M, Thurston CF & Wood DA. 1999. Transcriptional regulation of laccase and cellulase genes in the mycelium of *Agaricus bisporus* during fruit body development on a solid substrate. *Mycological Research* 103: 1557-1560
- Parent LE & Dafir M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117, 239-242.
- Racz L. 1998. Wirkung von Mangan nach Zufuegung zum Substrat für die Champignonzucht (*Agaricus bisporus*). *Der Champignon* 403 142-144.
- Rast D. 1965. Zur Stoffwechselfysiologischen Bedeutung von Mannit und Trehalose in *Agaricus bisporus*. *Planta* 64, 81-93.
- Rinker DL & Alm G. 1987. Response of *Agaricus brunnescens* to supplementation at spawning with nutricote. *Canadian bulletin, Mushroom research report* 1986.
- Seaby DA. 1995. Mushroom (*Agaricus bisporus*) yield modelling for the bag method of mushroom production using commercial yields and from micro plots. *Mushroom Science* 14, 409-416.
- Schisler LC. 1990. Why Mushroom Production Declines with each Successive Break, and, the Production of a Second Crop of *Agaricus* Mushroom "Spent" Compost. *Applied Agricultural Research* 5, 44-47.

- Schloss PD, Hay AG, Wilson DB & Walker LP. Molecular assessment of inoculum efficacy and process reproducibility in composting using ARISA. *Transactions of the ASEA* 46, 919-927.
- Sharma HS & Kilpatrick M. 2000. Mushroom (*Agaricus bisporus*) compost quality factors for predicting potential yield of fruiting bodies. *Canadian Journal of Microbiology* 46.
- Stijve T & Besson R. 1976. Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*. *Chemosphere* 2, 151-158.
- Stoop JMH & Mooibroek H. 1998. Cloning and characterization of NADP mannitol dehydrogenase cDNA from the button mushroom, *Agaricus bisporus*, and its expression in response to NaCl stress. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 4689-4696.
- Straatsma G, Olijnsma T, Swinkels H & Baar J. 2004. Seizoensinvloed op de kwaliteit van stro en op het stro in paardenmest; Oplossingen voor procesvoering en compost-kwaliteit. PPO-Paddestoelen 2004-8.
- Toaso G, Schmidt R & Fodor P. 1994. Mineralstoffgehalt und Selenanreicherung. *Der Champignon* 378, 76-77.
- Tschierpe HJ & Sinden JW. 1962. Studies on the composition of horse manure compost from beginning of Phase II through mushroom cropping as related to CO₂ evolution. *Mushroom Science* 5, 61-80.
- Turner EM, Wright M, Ward T, Osborne DJ & Self R. 1975. Production of ethylene and other volatiles and changes in cellulase and laccase activities during the life cycle of the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Journal of General Microbiology* 91, 167-176.
- USDA. 2004. National nutrient database for standard reference. Release 17. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/>
- Van Loon PCC. 2002. Verbetering van de champignonkwaliteit door toediening van calciumchloride (CaCl₂). Rapport PPO-Paddestoelen 2002-23.
- Van Veen JA, Ladd JN & Frissel MJ. 1984. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant and Soil* 76, 257-274.
- Varo P, Lahelma O, Nuortamo M, Saari M & Koivistoinen P. 1980. Mineral element composition of Finnish foods. VII. Potato, vegetables, fruits, berries, nuts and mushrooms. *Acta Agriculturae Scandinavica*, supp, 22, 107-113. (In Manning K. 1985. Food value and chemical composition. In *The Biology and Technology of the Cultivated Mushroom*. Pp 211-230. Eds Flegg PB, Spencer DM, Wood DA. Wiley).
- Vetter J. 1989. Vergleichende Untersuchung des Mineralstoffgehaltes der Gattungen *Agaricus* (Champignon) und *Pleurotus* (Austernseitling). *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 189, 346-350.
- Waksman SA, Nissen W. 1932. On the nutrition of the cultivated mushroom, *Agaricus campestris*, and the chemical changes brought about by this organism in the manure compost. *American Journal of Botany* 19, 514-537.
- Wannet WJB, Hermans JHM, van der Drift C, & Op den Camp HJM. 2000a. HPLC detection of soluble carbohydrates involved in mannitol and trehalose metabolism in the edible mushroom *Agaricus bisporus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 287-291.
- Wannet WJB, Wassenaar RW, Jorissen HJMM, van der Drift C & Op den Camp HJM. 2000b. Purification and characterization of an acid phosphatase from the commercial mushroom *Agaricus bisporus*. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology* 77, 215-222.
- Wannet WJB, van der Drift C, Op den Camp HJM & Van Griensven LJLD. 2000c. Trehalose and mannitol metabolism in *Agaricus bisporus*. *Mushroom Science* 15, 63-70.
- Watson JM. 1973. The beneficial effects of certain phosphate sources on commercial mushroom yields. *Mushroom Journal* 10, 462-463, 466-468.
- Wood DA & Goodenough PW. 1977. Fruiting of *Agaricus bisporus*; changes in extracellular enzyme activities during growth and fruiting. *Archives of Microbiology* 114, 161-165.
- Yeo SG & Hayes WA. 1981. Solubilisation and utilisation of phosphorus by *Agaricus bisporus* (Lange) Pilat. *Mushroom Science* 11, 73-91.

Bijlage 1.

Samenstelling van champignons afgeleid uit literatuurgegevens (Varo et al. 1980, Bakowski et al. 1986, Vetter 1989, Toaso et al. 1994, Gerrits 1996, Desrumeaux et al. 2000, USDA).

bestanddeel	eenheid	gehalte
N	g/kg ds	39
P		11
K		41
S		2.1
Mg		1.19
Ca		0.73
Na		0.6
Zn	mg/kg ds	61
Fe		75
Cu		35
Mn		8.0
Al		28
B		5.9
Cr		4.9
Cd		0.15

Bijlage 2.

Behandelingen in de teeltproeven in het experimentele onderzoek; uitwerking van Tabel 2.

behandeling nummer	toevoeging	aan		leverancier	
		aan	niveau	proef 9	proef 10
1	geen	0	0	a	a
2	geen	0	0	b	b
3	geen	0	0	c	c
4	geen	0	0	d	d
5	natuurfosfaat	compost	1	a	a
6	natuurfosfaat	compost	2	a	a
7	natuurfosfaat	compost	3	a	a
8	natuurfosfaat	compost	1	b	b
9	natuurfosfaat	compost	2	b	b
10	natuurfosfaat	compost	3	b	b
11	natuurfosfaat	compost	1	c	c
12	natuurfosfaat	compost	2	c	c
13	natuurfosfaat	compost	3	c	c
14	natuurfosfaat	compost	1	d	d
15	natuurfosfaat	compost	2	d	d
16	natuurfosfaat	compost	3	d	d
17	natuurfosfaat	dekaarde	1	a	a
18	natuurfosfaat	dekaarde	2	a	a
19	natuurfosfaat	dekaarde	3	a	a
20	natuurfosfaat	dekaarde	1	b	b
21	natuurfosfaat	dekaarde	2	b	b
22	natuurfosfaat	dekaarde	3	b	b
23	tripelsuperfosfaat	compost	1	a	a
24	tripelsuperfosfaat	compost	2	a	a
25	tripelsuperfosfaat	compost	3	a	a
26	tripelsuperfosfaat	compost	1	b	b
27	tripelsuperfosfaat	compost	2	b	b
28	tripelsuperfosfaat	compost	3	b	b
29	tripelsuperfosfaat	compost	1	c	c
30	tripelsuperfosfaat	compost	2	c	c
31	tripelsuperfosfaat	compost	3	c	c
32	tripelsuperfosfaat	compost	1	d	d
33	tripelsuperfosfaat	compost	2	d	d
34	tripelsuperfosfaat	compost	3	d	d
35	tripelsuperfosfaat	dekaarde	1	a	a
36	tripelsuperfosfaat	dekaarde	2	a	a
37	tripelsuperfosfaat	dekaarde	3	a	a
38	tripelsuperfosfaat	dekaarde	1	b	b
39	tripelsuperfosfaat	dekaarde	2	b	b
40	tripelsuperfosfaat	dekaarde	3	b	b
41	kaliumfosfaat	gietwater	1	a	a
42	kaliumfosfaat	gietwater	2	a	a
43	kaliumfosfaat	gietwater	3	a	a
44	kaliumfosfaat	gietwater	1	b	b
45	kaliumfosfaat	gietwater	2	b	b
46	kaliumfosfaat	gietwater	3	b	b
47	kaliumfosfaat	gietwater	1	c	c
48	kaliumfosfaat	gietwater	2	c	c
49	kaliumfosfaat	gietwater	3	c	c
50	kaliumfosfaat	gietwater	1	d	d
51	kaliumfosfaat	gietwater	2	d	d
52	kaliumfosfaat	gietwater	3	d	d

Bijlage 3.

Micro-organismen die in bodems en composten fosfaat in oplossing kunnen brengen.

micro-organisme	referentie(s)
bacteriën	
<i>Bacillus megatherium</i>	Kucey 1988
<i>Bacillus megatherium</i> var. <i>phosphaticum</i>	Çakmakçi et al. 1999, Sundara et al. 2002
<i>Bacillus polymyxa</i>	Manna et al. 2001, Gaiind & Gaur 2003
<i>Enterobacter</i> sp.	Barea et al. 2002
<i>Enterobacter aerogenes</i>	Thakkar et al. 1993
<i>Pseudomonas striata</i>	Tiwari et al. 1993, Kumar & Singh 2001, Manna et al. 2001, Singh & Rai 2002
<i>Pseudomonas cepacia</i>	Nahas 1996
<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar. <i>phaseoli</i>	Chabot et al. 1996
actinomyceten	Mba 1994
schimmels	
<i>Aspergillus niger</i>	Nahas et al. 1990, Shankaranand & Lonsane 1994, Vassilev(a) et al. 1995, 1997, 1998, Rodriguez et al. 1999
<i>Aspergillus awamori</i>	Narsian et al. 1996, Sharma & Sharma 1997, Tiwari et al. 1988, Singh et al. 2002, Singh & Rai 2002
<i>Penicillium bilaji</i>	Kucey 1987, Asea et al. 1988
<i>Penicillium purpurogenum</i>	Nahas 1996
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Vassileva et al. 1998
<i>Rhizoctonia solani</i>	Jacobs et al. 2002