

RIJKSLANDBOUWPROEFSTATION TE GRONINGEN.

DE INVLOED VAN TEMPERATUUR EN VOCHTGEHALTE OP DE
ONTLEDING VAN PLANTENRESTEN DOOR MICRO-ORGANISMEN,

DOOR

S. A. WAKSMAN EN F. CH. GERRETSEN. ¹⁾

(Ingezonden 5 November 1931.)

Inleiding.

Het is een verkeerde veronderstelling dat „humus” omdat het donker van kleur is en in de grond gevonden wordt altijd zou bestaan uit dezelfde bestanddeelen of zelfs wel uit bepaalde chemische verbindingen. De chemische natuur van de humus zal afhangen van: 1°. de chemische natuur van de plantenresten waaruit zij ontstaan is; 2°. de omstandigheden in den bodem, zooals reactie, aeratie, overvloed van opneembare mineralen, enz., welke allen hun invloed doen gelden op de ontwikkeling der microben, die de ontledingsprocessen tot stand brengen; 3°. de klimatologische omstandigheden, in het bijzonder de temperatuur en waterverhoudingen, die niet alleen de aard der micro-organismen beïnvloeden, maar vooral ook de snelheid der ontledingsprocessen; 4°. tenslotte de aard der micro-organismen die actief aan de ontleding van de plantenresten deelnemen en door de boven genoemde factoren worden beïnvloed. De problemen waaraan in het algemeen bij de studie van de ontleding van de plantenresten de meeste aandacht wordt besteed, omvatten o.a.: 1°. de ontleding der organische resten in hun geheel, benevens die van de verschillende chemische bestanddeelen; 2°. de vorming en ophoping van de z.g.n. „humus” die meer weerstand

¹⁾ Zooals bekend is Prof. WAKSMAN een van de meest vooraanstaande bodembacteriologen van onzen tijd en hebben vooral zijn onderzoekingen betreffende de samenstelling, microbiologische ontleding en vorming van organische stoffen in den bodem er zeer veel toe bijgedragen om de vroegere inzichten betreffende „humus” en ongedefinieerde „humuscomplexen” geheel te wijzigen.

Ten einde mij van zijn nieuwe werkwijzen op de hoogte te kunnen stellen en vooral om door persoonlijk contact en gedachteswisseling met een dergelijk vooraanstaand onderzoeker mijn inzichten in verschillende bodembacteriologische problemen te kunnen verdiepen, werd mij door de Nederlandsche Regeering toegestaan om in 1929, buiten bezwaar van de schatkist, gedurende een half jaar in het laboratorium van Prof. WAKSMAN aan het New Jersey Experiment-Station te New Brunswick te gaan werken.

Zowel aan Prof. Dr. LIPMAN, directeur van het genoemde Proefstation en in het bijzonder aan Prof. WAKSMAN en zijn medewerkers breng ik hierbij mijn dank voor de gastvrijheid en faciliteiten in hun laboratorium genoten en voor de medewerking van hen bij dit onderzoek ondervonden. F. C. G.

biedt aan verdere ontleding van de versche planten-overblijfselen en 3°. de snelheid waarmede de planten voedingsstoffen weer voor verder gebruik worden vrijgemaakt. Volgens MOHR (1922) zou in goed geaereerde gronden bij een gemiddelde temperatuur van 25° C. en hooger geen organische stof worden opgehoopt. Zoodra de gemiddelde temperatuur beneden 25° C. ligt neemt zelfs in goed geaereerde gronden het organische stofgehalte toe. Hoe lager de temperatuur is des te grooter zal de opeenhoping van de organische stof in den grond zijn, althans binnen zekere grenzen; dit verklaart hij door de relatieve invloed van de temperatuur op de groei van hoogere planten en op de ontwikkeling van de micro-organismen die de plantenresten ontleden. De lagere temperaturen vertragen de groei van de microben meer dan de groei van de planten wat ten gevolge heeft dat organische stof in den vorm van plantenresten sneller geproduceerd wordt dan zij door de micro-organismen kan worden verder ontleed. In gronden die voortdurend onder water staan kunnen aerobe schimmels en bacteriën zich niet ontwikkelen, terwijl meerdere hoogere planten aan deze omstandigheden zijn aangepast. De anaerobe organismen die onder deze omstandigheden kunnen leven zijn niet in staat om de plantenresten even snel te ontleden als ze worden gevormd, zoodat zelfs in gebieden met overheerschend hooger temperaturen veenlagen gevormd kunnen worden. Deze wijze van voorstelling is later door SENSTIUS (1925) nog nader uitgewerkt.

JENNY (1928a) vond dat er een verband bestaat tusschen de gemiddelde jaartemperaturen en het stikstof gehalte van den grond in dien zin dat de logarithme van het stikstofgehalte evenredig is met de temperatuur. Een daling van 10° C. in de gemiddelde jaartemperatuur doet het gemiddelde stikstofgehalte van den grond tot het twee à drievoudige stijgen. De koolstofstikstof-verhouding in de organische stof van den bodem wordt eveneens zeer door de temperatuur beïnvloed in dien zin dat die verhouding ruimer wordt naarmate de temperatuur afneemt. Het hooge gehalte aan organische stof van gronden uit hooggelegen gebieden (Alpengronden) bleek te worden veroorzaakt door de vertraagde werking der micro-organismen als een gevolg van de lage jaartemperatuur JENNY (1926). Volgens HESSELMAN (1926) en LANG (1926) zou het feit dat het organische stofgehalte van boschgronden in de Noordelijke gebieden hooger is dan dat der meer zuidelijk gelegen bosschen veroorzaakt worden door de invloed der klimatologische omstandigheden van temperatuur en regenval op de groei der hoogere vegetatie aan de eene kant en op die der micro-organismen, welke de gevormde organische stof weer ontleden, aan de andere kant. Speciaal voor onze zandgronden heeft een diepere kennis van de omstandigheden waaronder de organische stoffen die in den vorm van mest en plantenresten in de bodem komen, ontleed worden, groote

beteekenis. Welk gedeelte dezer stoffen ten slotte als humus achter blijft en de vraag op welke wijze eventueel de microbiologische ontleding dezer stoffen beïnvloed kan worden om de grootst mogelijke humusvermeerdering in de grond te geven is juist voor deze gronden van belang. Ten einde met de studie dezer vrij ingewikkelde processen een aanvang te kunnen maken werden de volgende onderzoekingen ingesteld, waarbij er naar gestreefd werd om de omstandigheden zoo eenvoudig mogelijk te maken. De proeven betreffen in de eerste plaats de invloed van de twee belangrijkste factoren, temperatuur en watergehalte op de ontleding van plantenresten in hun geheel en van een aantal hunner chemische bestanddeelen in het bijzonder.

Door WAKSMAN en medewerkers zijn in de laatste jaren (WAKSMAN en STEVENS 1928 en 1930) methoden uitgewerkt die ons in staat stellen de bacteriologische ontleding dezer plantenresten te vervolgen en de veranderingen in chemische samenstelling quantitatief te bepalen.

Het onderzoek.

Chemische samenstelling van het verse haverstroo.

Het plantenmateriaal dat ons het meest geschikt leek om er de microbiologische ontleding van te bestudeeren was haverstroo. In een aantal verglaasde porseleinen potten werd 130 gr luchtdroog stroo afgewogen hetgeen overeen kwam met 120 gr droog materiaal. Een aantal potten ontvingen geen verdere minerale voedingsstoffen, terwijl aan elk der andere werd toegevoegd: 5 gr $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 1 gr KCl, 0,5 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 gr CaCO_3 en daar het de bedoeling was ook de invloed van het watergehalte na te gaan werd aan de helft van de op deze wijze gemaakte compost 200 % water toegevoegd (berekend op de droge stof) en aan de andere helft 400 %, waardoor twee series werden gevormd die resp. 66,6 % en 80 % vocht bevatten berekend op het totale gewicht. Het stroo zonder minerale voedingszouten werd op een watergehalte van 66 % gebracht. Alle potten werden met glazen platen afgedekt en bij vier verschillende temperaturen weggezet: 1°. bij 6—8° C., in een elektrische koelkast (gemiddeld 7° C.); 2°. bij kamertemperatuur tusschen 15° en 21° C. met een gemiddelde van 18° C.; 3°. in een broedstoof bij een temperatuur van 25—28° C. (gemiddeld 27° C.); 4°. in een broedstoof tusschen 35° en 40° C. (gemiddeld 37° C.). Alle potten werden met eenige cc van dezelfde grondsuspensie geënt. Op verschillende tijden werd de inhoud der potten goed gemengd en aliquote deelen voor de chemische analyse er uit genomen. Het vochtgehalte werd dan weer op 66,6 % of 80 % gebracht in overeenstemming met de opzet van de proeven. De meeste analyses werden direct gemaakt van het verse monster. In enkele gevallen echter moest het materiaal eerst gedroogd worden, daar

het te nat was om geanalyseerd te worden. De resultaten werden omgerekend op de basis van de totale hoeveelheid materiaal die oorspronkelijk in de potten aanwezig was, terwijl bij elke volgende monstername rekening werd gehouden met de hoeveelheden die bij de vorige monsternamen waren verwijderd. In de gevallen waarin de chemische samenstelling van het ontleede materiaal is opgegeven, zijn de resultaten zoowel vermeld met betrekking tot dat materiaal zelf op het oogenblik der monstername als in procenten van de totale hoeveelheden zooals die bij den aanvang van de proeven aanwezig waren.

TABEL I.

Chemische samenstelling van het versche haverstroo.

Bestanddeelen.	Procentische samenstelling van het stroo zonder toevoeging van voedingszouten.	Procentische samenstelling van het stroo na toevoeging der voedingszouten.	Totale hoeveelheid bestanddeelen in grammen.
Totale hoeveelheid stroo	100	100	120,25 ¹⁾
In aether oplosb. fractie	1,93	1,75	2,30
In koud water oplosbare organische stof	8,05	7,34	9,66
In heet water oplosbare organische stof	3,46	3,16	4,15
In alcohol oplosb. fractie	1,76	1,60	2,11
Hemicellulose	19,50	17,80	23,40
Cellulose	34,91	31,84	41,89
Lignine	12,98	11,82	15,58
Totale stikstof	0,492	—	0,592 ²⁾
Asch	5,55	10,49	6,66 ²⁾

¹⁾ Is zonder de toegevoegde zouten; met de zouten 11,5 gr meer.

²⁾ N en asch gehalte van het origineele stroo.

Tabel I geeft de chemische samenstelling van het versche haverstroo. Aangezien aan 120 gr droge stof 11,5 gr van verschillende anorganische zouten is toegevoegd is het asch en stikstofgehalte van het stroo in die gevallen belangrijk toegenomen.

De ontledings snelheid.

De eerste analyse werd 16 dagen na den aanvang der proeven verricht. Het materiaal dat bij de laagste temperatuur bewaard was, werd niet ge-

analyseerd daar het op het oog nog geheel onveranderd was. Ditzelfde geldt ook voor de composten waaraan geen organische zouten werden toegevoegd. Voor elke analyse werd het overgebleven materiaal nauwkeurig gewogen, aliquote porties eruit genomen en het watergehalte bepaald. Tabel II geeft het percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid materiaal, dat op de verschillende achtereenvolgende tijdstippen van de proefneming na de ontleding bij de aangegeven temperaturen en watergehalten is overgebleven.

TABEL II.

Percentage van het oorspronkelijke materiaal overgebleven op achtereenvolgende tijdstippen na de ontleding van het haverstroo bij verschillende temperaturen.

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. 1)	66	—	—	99,4	76,4
7° C.	66	—	—	73,7	64,3
7° C.	80	—	—	77,8	63,7
18° C.	66	—	63,3	53,2	49,5
18° C.	80	81,7	60,2	46,7	39,2
27° C. 1)	66	—	72,0	56,0	36,4
27° C.	66	66,7	51,2	44,1	35,3
27° C.	80	67,5	46,4	37,6	29,9
37° C. 1)	66	—	72,1	51,8	40,1
37° C.	66	64,2	48,6	39,8	30,0
37° C.	80	61,0	39,4	32,0	23,6

1) Compost zonder voedingszouten.

Reeds 16 dagen na den aanvang der ontleding vertoonde de inhoud van de potten groote verschillen al naar gelang van de temperatuur en de toegevoegde voedingsstoffen. Het materiaal bij 37° en met 80 % watergehalte was zwartbruin bovenaan en geel op den bodem waar een weinig water stond. De geheele massa was met schimmels overgroeid en wel zoo sterk dat het leek alsof na twee weken minstens 50 % van het plantenmateriaal door schimmelmycelium was vervangen. Het microscopische onderzoek wees uit dat het materiaal overal met schimmeldraden was doorgroeid; het celverband was grotendeels verbroken en de celwandstoffen reeds zóó ver ontleed, dat het stroo gemakkelijk uiteen viel. De compost met 60 % watergehalte maakte wat uiterlijk en reuk aangaat geheel den indruk van stalmeest; ook hier was de massa met schimmeldraden overdekt, hoewel microscopisch groote hoeveel-

heden bacteriën te zien waren. Bij 27° C. was de ontleding veel minder intensief, de kleur lichter bij 18° en 7° C. was de ontleding nog maar net begonnen. Bij afwezigheid van anorganische voedingszouten was de ontleding vertraagd, de groei van de schimmels zoowel als die van de bacteriën was veel minder overvloedig dan bij aanwezigheid dezer voedingszouten. Dit wijst er op dat in het stroo een tekort is aan dergelijke voedingsstoffen, waardoor de betrekkelijke bestendigheid van stroo tegen microbiologische ontleding gemakkelijk verklaard wordt.

Een tweede reeks monsters werd 48 dagen na den aanvang der proeven onderzocht. Ditmaal werd ook de compost waaraan geen voedingszouten waren toegevoegd geanalyseerd; het materiaal dat bij 7° was bewaard, vertoonde nog zoo weinig aantasting, dat besloten werd de analyse tot de volgende monsternamen uit te stellen. Bij 27° en 37° C. vertoonde het gedeeltelijk vergane stroo reeds een frappante gelijkenis met echte „humus”. Opmerkelijk was ook dat bij alle temperaturen boven 7° er een zeer duidelijke afname van het volume had plaats gehad. De compost die bij 18° was bewaard zag lichtbruin terwijl die van 27° beduidend verder ontleed was en den indruk maakte van losse turf. De inhoud van de potten bij 27° en 66,6 % watergehalte zag donkerbruin, bij zwart af, terwijl die met het hoogste watergehalte van 80 % in hoofdzaak bestond uit een slijmerige massa, die bij microscopisch onderzoek grotendeels bleek te bestaan uit bacteriën en ontledingsproducten. Na verloop van 48 dagen bleek dat bij 18° gemiddeld 30,3 % van het oorspronkelijke materiaal verdwenen was, bij 27° 57,4 % (zonder voedingszouten was dit ongeveer de helft minder n.l. 28 %), terwijl bij 37° C. 56 % was omgezet bij aanwezigheid van voedingszouten en 27,9 % zonder voedingszouten. Wanneer bij 37° 44 % van het oorspronkelijke materiaal is overgebleven, dan moet men daarbij echter bedenken dat deze rest voor 23,5 % uit minerale bestanddeelen bestaat, die zich ophopen in tegenstelling met de koolstofhoudende verbindingen die geleidelijk in koolzuur en water worden omgezet. In werkelijkheid is dus de ontleding verder voortgeschreden als door deze getallen wordt aangegeven. De invloed van het hooger watergehalte was minder sprekend dan die van de temperatuur, de omzetting bleek alleen iets verder te zijn voortgeschreden. Bij afwezigheid van anorganische voedingszouten bleek ook nu dat de omzetting beperkt was zelfs bij 18° en 27° C. en niet tegenstaande het feit dat het origineele haverstroo een vrij groote hoeveelheid stikstof bevatte. Dat het materiaal zonder voedingsstoffen bij 37° betrekkelijk goed was omgezet vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit dat bij deze temperatuur ook het bacteriën- en schimmelmateriaal, dat zich uit de oorspronkelijke organische stof vormde, op hun beurt eveneens sneller worden ontleed waardoor de voedingsstoffen die daarin werden vastgelegd weer voor verdere ontleding

disponibel komen. De derde reeks monsters werd 105 dagen na den aanvang der proeven genomen. Alle composten werden nu geanalyseerd. Daarbij bleek allereerst dat bij 7° C. en bij afwezigheid van anorganische voedingszouten er practisch nog steeds geen noemenswaardige ontledingen hadden plaats gehad, terwijl bij toevoeging van voedingszouten 24 % van het materiaal verdwenen was. Het materiaal bij 7° C. begon er iets donkerder uit te zien, dan dat waaraan geen voedingszouten waren toegevoegd en hoewel het laatste geen noemenswaardige veranderingen had ondergaan, was het geheel met een wit schimmelmycelium doorgroeid. De composten die bij hooger temperatuur hadden gestaan bleken nu veel langzamer te ontleden, terwijl die zonder voedingszouten nog steeds verder ontleed werden ten gevolge van het feit dat zij nog overmaat cellulose en hemicellulose bevatten. Dat de compost bij 37° gereduceerd was tot 44 % van de oorspronkelijke hoeveelheid binnen 48 dagen, terwijl na 105 dagen er nog 36 % van de oorspronkelijke hoeveelheid over was, wijst er op dat het materiaal al is omgezet in meer bestendiger bestanddeelen en dientengevolge verdere ontleding slechts zeer langzaam zal geschieden. De gemakkelijk aantastbare bestanddeelen, in het bijzonder de cellulose en de hemicellulose zijn gedurende de eerste periode van 48 dagen snel verdwenen. De ligninen worden bij deze hooge temperatuur merkbaar en zeer geleidelijk omgezet. Opmerkelijk is de groote toename van de organische stikstofhoudende complexen, wat wordt veroorzaakt doordat de micro-organismen zich voor de opbouw van de eiwitstoffen van hun lichamen van de aanwezige anorganische stikstof die in den vorm van ammonium is toegevoegd meester maken. De laatste complete analyse werd verricht nadat het materiaal 273 dagen bij de verschillende temperaturen had gestaan. Enkele composten, in het bijzonder die welke bij 27° en 37° waren bewaard geworden en waaraan organische zouten waren toegevoegd, waren in een toestand gekomen die men in het algemeen met de benaming „volkomen gehumificeerd” zou betitelen. Het materiaal, in het bijzonder dat met het hooger vochtgehalte, was grootendeels colloidaal en kon voor zuivere „humus” doorgaan. Bij 37° was gemiddeld 26,8 % van het origineele materiaal overgebleven en 32,6 % bij 27°.

Opmerkelijk is het buitengewoon hooge aschgehalte van dit residu dat respectievelijk 33,0 % en 28,6 % bedroeg. Deze overblijvende „humus” bevatte zoo goed als geen cellulose meer en een kleine hoeveelheid hemicellulosen, maar was daarentegen rijk aan ligninen en stikstofhoudende organische verbindingen (berekend als proteïnen). Deze laatste twee groepen van verbindingen maakten samen met de asch ongeveer 75 % van het overblijvende materiaal uit. De composten bij 18° en de beide composten zonder voedingszouten die bij 27° en 37° hadden gestaan, waren nu vrij goed omgezet, maar in minder mate dan die waaraan wel voedingszouten waren toegevoegd bij hogere tem-

peratuur. Die bij 7° waren nog steeds belangrijk achter gebleven en in 273 dagen even ver ontleed als de overeenkomende composten bij 27° en 37° in 16 dagen.

TABEL III.

Invloed van temperatuur op de omzettingen van de stikstof tijdens de ontleding van het haverstroo.

Duur der ontleding in dagen.	Temperatuur in ° C.	Geen anorganische stikstof toegevoegd.		Anorg. stikstof en andere voedingszouten toegevoegd.	
		Totaal N in gr.	Ruw eiwit in gr.	Totaal N in gr.	Ruw eiwit ¹⁾ in gr.
0.....	—	0,590	2,472	— ²⁾	2,472
16.....	18	—	—	—	3,715
16.....	27	—	—	1,478	6,350
16.....	37	—	—	1,462	6,455
48.....	18	—	—	1,344	6,580
48.....	27	0,508	1,930	1,286	6,580
48.....	37	0,655	2,920	1,292	6,530
105.....	7	0,660	2,110	1,630	8,005
105.....	18	—	—	1,490	7,660
105.....	27	0,642	1,810	1,217	6,715
105.....	37	0,600	2,950	1,416	7,100
273.....	7	0,633	3,260	1,473	7,733
273.....	18	—	—	1,198	6,813
273.....	27	0,594	3,044	1,024	5,920
273.....	37	0,590	3,006	1,148	6,171

¹⁾ Totale in water oplosbare N \times 6,25.

²⁾ Deze totaal N bevatten de N in het stroo en die welke in den vorm van ammonium-phosphaat was toegevoegd.

Dergelijke verschillen kon men ook waarnemen bij de composten zonder anorganische zouten. De resultaten van de stikstofomzettingen zijn in tabel III vereenigd. De snelle ontleding van de organische stof in de composten die bij hooger temperatuur bewaard werden gaat gepaard met een even snelle opbouw van organische stikstofverbindingen. Deze vormen n.l. een der hoofd-

bestanddeelen van de micro-organismen die zich ten koste van de koolstof- en stikstofverbindingen gevoed hebben. Zoodra deze organismen afsterven, wat betrekkelijk gauw geschiedt, ondergaan zij weer op hun beurt een snelle ontleding, zoodat de vastgelegde stikstof geleidelijk weer vrij komt in anorganische vorm of in bepaalde gevallen als vrije stikstof of als ammoniak de lucht in gaat. Bij lager temperatuur blijven de micro-organismen langer intact en dienengevolge blijft de stikstof ook langer bewaard dan bij hooger temperaturen. Deze resultaten zijn een steun voor de door JENNY (l.c.) naar voren gebrachte bijzonderheid dat het totale stikstofgehalte van de gronden in warmer streken lager is dan in de landen met een koeler klimaat, terwijl in de laatsten de verhouding van de koolstof tot de stikstof in de z.g.n. humus meer in de richting van de koolstof verschoven is. Dit komt doordat bij lager temperatuur de omzetting van de organische stof en van de ligninen met hun hoog C-gehalte in het bijzonder, aanmerkelijk vertraagd is.

TABEL IV.

Invloed van de temperatuur op de koolstof-stikstof-verhouding in haverstroo-compost na ontleding bij verschillende temperaturen gedurende 300 dagen.

Temperatuur.	Vochtgehalte van de compost.	Geen anorganische N toegevoegd.	Anorganische N toegevoegd als $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.
	In %	C/N	C/N
7° C.	66,6	90,0	22,5
	80,0	—	36,6
18° C.	66,6	—	14,7
	80,0	—	18,4
27° C.	66,6	36,9	16,4
	80,0	—	15,7
37° C.	66,6	39,3	11,8
	80,0	—	10,8

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat de verhouding van C.N. die oorspronkelijk in het stroo ongeveer 100 bedroeg bij lage temperatuur nagenoeg onveranderd is gebleven (90) terwijl 25 % van het materiaal verdwenen is.

Bij aanwezigheid van voedingszouten zien wij dat een groote hoeveelheid koolstof als CO_2 de lucht in gaat, wat ten gevolge heeft dat het materiaal procentsgewijze rijker aan stikstof wordt en de C.N.-verhouding dus kleiner wordt en ten slotte tot een waarde te dalen ($\pm 11,3$) die practisch met die

welke men voor de „humus” in normale gronden vindt, overeenkomt. Naarmate de temperatuur lager is geweest tijdens de omzetting, stijgt deze C.N.-factor. Waar deze verhouding zoo geleidelijk verandert is het duidelijk dat de verschillende opvattingen die men in de literatuur aantreft aangaande z.g.n. „gehumificeerde” en „niet gehumificeerde” deelen van de organische stof in den grond practisch zonder beteekenis zijn. Bij lagere temperaturen vertonen de composten met het grootste vochtgehalte een grootere C.N.-factor dan die met minder water, daarentegen is het omgekeerde waar te nemen bij de beide hoogere temperaturen. Dit kan veroorzaakt worden door het feit, dat de schimmels, die juist bij de lagere temperaturen op den voorgrond kwamen, door het hooger watergehalte ongunstig worden beïnvloed, terwijl de bacteriën, die bij hoogere temperatuur de overhand hadden, niet noemenswaard door het hoogere watergehalte zijn beïnvloed.

Bij het bestudeeren van de resultaten der proefnemingen moet men er om denken dat de veranderingen, welke het haverstroo ondergaan heeft, het

TABEL V.

*Procentische samenstelling der composten**In procenten van het totale overblijvende materiaal. De cijfers tusschen haakjes geven*

Temperatuur.	Watergehalte.	Aether oplosbare bestanddeelen (1,9).				Water oplosb. bestanddeelen (11,6).			Alcohol oplosb. bestanddeelen (1,8).			Hemicellulosen (19,5).			
		Duur der ontleding in dagen.				Duur der ontleding in dagen.			Duur der ontleding in dagen.			Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.	16.	48.	105.	16.	48.	105.	16.	48.	105.	273.
7° C.	66,6	—	—	1,6	2,0	—	—	7,8	—	—	1,8	—	—	21,6	21,4
7° C.	66,6	—	—	2,2	2,2	—	—	8,7	—	—	2,7	—	—	20,8	26,8
7° C.	80,0	—	—	1,6	1,7	—	—	7,1	—	—	2,3	—	—	16,1	16,3
18° C.	66,6	2,1	2,5	1,1	0,7	11,4	8,9	7,6	2,8	2,3	2,2	18,4	14,2	10,9	9,0
18° C.	80,0	2,1	2,3	0,9	0,7	9,0	9,6	7,9	2,5	2,1	2,1	18,4	15,4	10,4	11,1
27° C. ¹⁾	66,6	—	1,7	1,2	1,1	—	13,8	8,7	—	1,9	2,0	—	20,6	18,8	15,3
27° C.	66,6	2,4	—	0,8	0,7	9,9	9,2	6,0	3,1	2,6	2,2	14,5	12,2	9,7	9,6
37° C.	80,0	2,0	0,7	0,5	0,3	9,1	10,1	7,5	2,5	1,6	2,2	15,0	13,4	9,0	6,0
37° C. ¹⁾	66,6	—	0,9	0,7	0,5	—	9,1	7,2	—	1,2	1,4	—	20,1	18,5	15,1
37° C.	66,6	0,9	0,6	0,4	0,4	10,8	10,8	6,8	1,8	1,5	2,2	14,7	12,5	7,3	4,1
27° C.	80,0	1,1	1,4	0,3	0,3	12,2	12,4	9,5	2,4	1,6	1,9	15,1	8,3	6,7	4,1

1) Compost zonder voedingszouten.

gevolg zijn van de samenwerking van een aantal geheel verschillende factoren waarvan er vier meer of minder onder contrôle gehouden worden n.l. de temperatuur, beschikbare voedingsstoffen, vochtgehalte en duur van de ontleding. Hoewel alle potten met een even groote hoeveelheid van dezelfde grondsuspensie zijn geënt, houdt dit geenendeels in dat in alle gevallen de ontleding door dezelfde organismen tot stand werd gebracht. Welke bepaalde organismen speciaal op den voorgrond kwamen en deze ontleding bewerkstelligden, hing juist voor een groot deel af van deze 4 reeds genoemde factoren.

Van de belangrijkste verkregen resultaten werden grafieken gemaakt. In fig. I en II ziet men welk percentage van de verschillende bestanddeelen na 273 dagen is overgebleven; fig. 5—10 geven het percentage aan van de verschillende chemische complexen dat in de opeenvolgende stadia der proeven ontleed is geworden. In deze krommen is de helling ten opzichte van de horizontale as een maatstaf voor de snelheid der ontleding, terwijl de hoek tusschen twee opeenvolgende krommen bij 2 verschillende temperaturen een

op achtereenvolgende tijdstippen der ontleding.

het percentage van het betreffende bestanddeel aan in het oorspronkelijke haverstroo.

Cellulose (34,9).				Lignine (13,0).				Proteïne (2,1).				Asch (5,6—10,5).			
Duur der ontleding in dagen.				Duur der ontleding in dagen.				Duur der ontleding in dagen.				Duur der ontleding in dagen.			
16.	48.	104.	273.	16.	48.	105.	273.	16.	48.	105.	273.	16.	48.	105.	273.
—	—	29,6	28,6	—	—	14,1	16,9	—	—	1,8	3,6	—	—	5,6	7,0
—	—	27,2	19,3	—	—	17,3	18,9	—	—	9,6	9,2	—	—	12,4	14,4
—	—	20,6	16,8	—	—	14,4	19,5	—	—	7,4	9,2	—	—	13,8	14,5
24,4	13,2	10,9	5,6	15,6	18,5	21,8	27,0	3,6	8,8	12,3	13,5	13,0	15,8	19,9	24,6
26,0	13,6	10,0	10,2	16,0	19,6	19,7	26,2	3,4	9,6	10,8	13,5	12,4	15,4	21,5	23,3
—	23,0	23,5	16,2	—	15,0	19,3	25,5	—	2,2	3,9	7,0	—	7,4	10,2	13,7
18,3	10,9	9,2	9,3	18,3	21,6	24,5	29,6	6,8	11,5	13,4	13,9	15,9	19,0	22,5	24,9
19,4	9,9	6,2	2,9	17,9	21,8	25,9	31,0	7,3	12,1	11,5	13,9	15,5	21,3	25,9	30,6
—	26,4	26,2	22,7	—	16,0	18,4	22,3	—	3,4	4,8	6,3	—	7,6	10,7	12,3
23,2	14,1	9,3	7,4	18,6	20,9	20,5	21,5	8,1	11,7	14,7	17,6	16,7	20,9	25,4	31,3
20,9	5,4	5,3	2,3	16,8	22,9	18,3	21,0	7,4	14,8	14,9	17,6	17,1	26,1	31,8	34,8

indruk geeft van de invloed van de temperatuursverandering op het ontledingsproces. In die gevallen, waar materiaal is opgebouwd in plaats van ontleed, loopen de krommen beneden de horizontale as, zooals in de fig. 9 en 10 te zien is.

Chemische samenstelling van de compost op verschillende tijden.

Bij de beschouwing van de hier volgende gegevens betreffende de chemische samenstelling van het ontleede materiaal der composten op achtereenvolgende tijdstippen moet men in het oog houden dat het percentage van een of ander bestanddeel omhoog kan gaan, niettegenstaande de werkelijke hoeveelheid afgenomen is. Dit wordt veroorzaakt doordat andere bestanddeelen in dezelfde tijd sneller ontleed zijn geworden, wat een verhooging van het percentage der langzaamst ontledende bestanddeelen ten gevolge heeft.

Het meest sprekende voorbeeld hiervan is het aschgehalte; de werkelijke hoeveelheid aschbestanddeelen in de potten aanwezig blijft onveranderd, doch het percentage berekend op het overblijvend materiaal neemt gestadig toe. In dit geval kan het aschgehalte van het residu dienen als een indirecte maatstof voor de ontledingssnelheid van het plantenmateriaal in zijn geheel. Het hoogste percentage asch, n.l. 34,8 % (24,4 % meer dan in het origineele materiaal) vinden wij in de compost die bij 37° werd gehouden en met 80% vochtgehalte na 273 dagen ontleding. De kleinste toename in het aschpercentage vinden we zooals te verwachten is, bij de compost van 7° zonder voedingszouten, n.l. 7 % na 273 dagen tegen 5,6 % bij het begin van de proef.

Van bijzonder belang is de toename van het gehalte aan ruw eiwit; men ziet hier duidelijk gedemonstreerd hoe tengevolge van de activiteit der microorganismen een groot deel der beschikbare oplosbare stikstofverbindingen wordt gebruikt tot opbouw van het microbenmateriaal en in eiwitachtige stoffen wordt omgezet, die voorloopig voor de plant onbereikbaar zijn. Eerst wanneer deze microben weer afsterven en op hun beurt door andere bacteriën en schimmels verder ontleed worden, komt een gedeelte dezer stikstof weer vrij. Hierop wordt nog uitvoerig teruggekomen.

Uit fig. I ziet men enkele bijzonderheden duidelijk naar voren komen:

1°. het snelle verdwijnen van de cellulose en hemicellulosen, waarbij de snelheid waarmee cellulose wordt omgezet bij hogere temperatuur blijkbaar zoo goed als niet wordt beïnvloed door de toevoeging van N-verbindingen in tegenstelling van de hemicellulosen.

2°. de omzetting der ligninen geschiedt het langzaamst; er wordt zelfs lignine bij gevormd, wat van belang is omdat deze stof een van de voornaamste

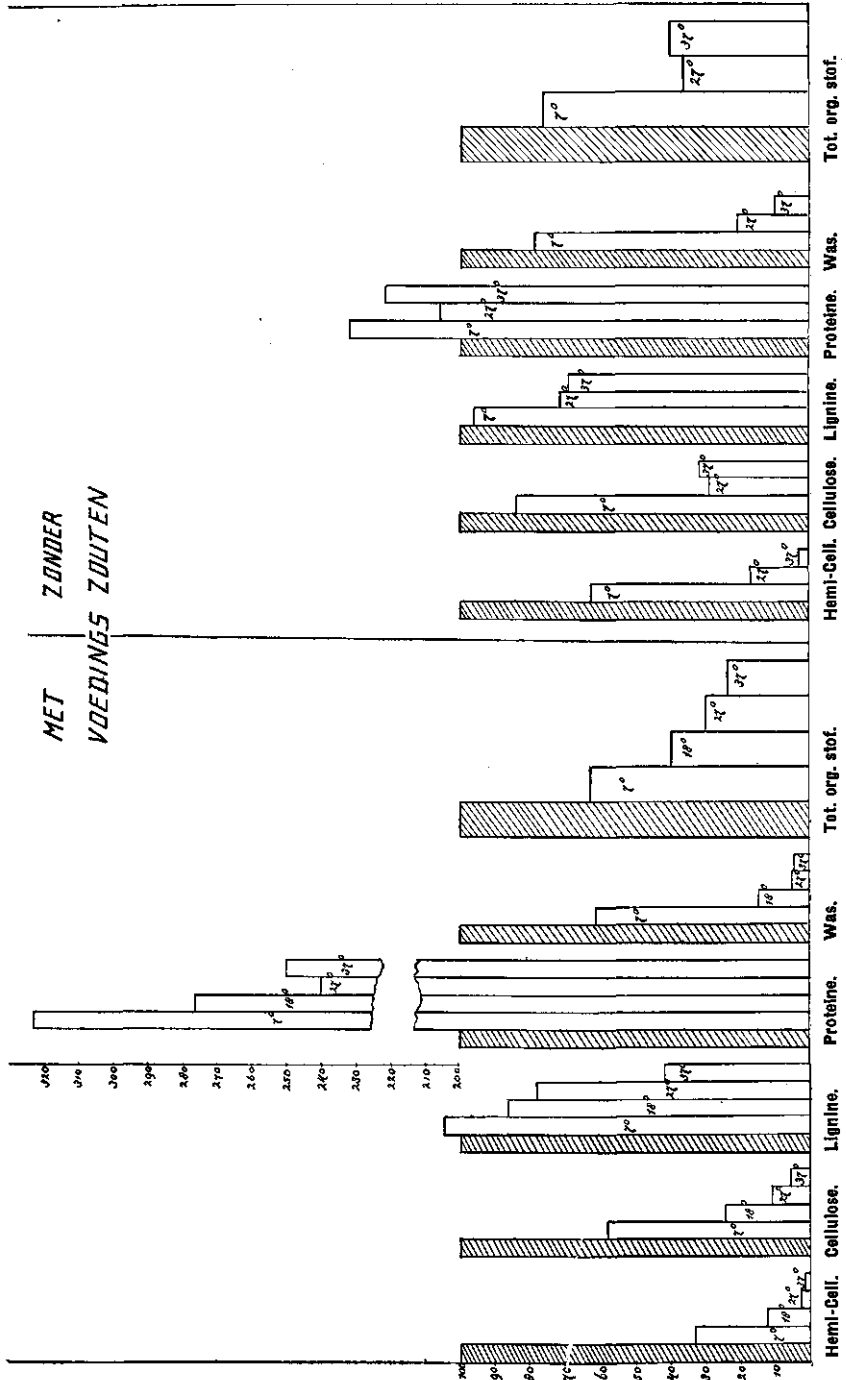


Fig. 1. De microbiologische ontleding van haverstroo in zijn geheel en van de voornaamste chemische bestanddeelen bij verschillende temperaturen, met en zonder voedingszouten, na verloop van 273 dagen. In elk figuurtje is aangegeven de oorspronkelijke hoeveelheid (gearceerd) met daarnaast wat er bij de verschillende temperaturen van overgebleven is.

bestanddeelen is der overblijvende „humuscomplexen”, zooals uit fig. 2 duidelijk te zien is;

3°. de enorme toename van het gehalte aan eiwitstoffen, bij toevoeging van stikstofhoudende voedingsstoffen, die zooals vanzelf spreekt niet kan plaats hebben bij afwezigheid daarvan. Dat in het laatste geval toch een geringe toename heeft plaats gehad komt doordat het origineele stroo een kleine hoeveelheid oplosbare N-verbindingen bevatte. Opmerkelijk is dat van alle bestanddeelen de eiwitstoffen na 273 dagen niet alleen nog volledig aanwezig zijn, doch in alle gevallen in absolute hoeveelheid zijn toegenomen. Dit wijst er op dat wanneer men dergelijk materiaal als stroo in de grond brengt, er weinig kans is, dat de in dat stroo aanwezige stikstof binnen 273 dagen ter beschikking van de plant zou komen en dat ingeval men meststoffen aan de grond heeft toegevoegd, een niet onbelangrijke hoeveelheid stikstof door de microben wordt vastgelegd en voorloopig aan de plant wordt onttrokken.

4°. dat de ontleding van het haverstroo ook bij afwezigheid van minerale voedingsstoffen, plaats heeft en niet eens zooveel langzamer is als in tegenwoordigheid van die voedingsstoffen.

Bij beschouwing van fig. 2 welke figuur eigenlijk een samenstelling der resultaten van fig. 1 voor de temperatuur van 37° is, ziet men duidelijk welke veranderingen er na verloop van 273 dagen in de chemische samenstelling van het materiaal is gekomen.

Opgemerkt dient dat dit materiaal op het oog er uit ziet als echte „humus”. Toegenomen is het gehalte aan eiwitstoffen en ligninen. De hoeveelheid wateroplosbare stoffen bleef vrijwel onveranderd, terwijl de cellulosen en hemicellulosen in sommige gevallen wel tot 1/14 van de oorspronkelijke hoeveelheid zijn teruggebracht.

De wasachtige stoffen die men aan de buitenkant van de stengels van vele gramineeën aantreft en zelfs in zulke hoeveelheden dat zij een niet te verwaarloozen bestanddeel van het oorspronkelijke materiaal uitmaken, blijken vooral bij hooger temperatuur grootendeels ontleed te zijn.

In fig. 3 ziet men duidelijk wat bij verschillende temperaturen van een zelfde hoeveelheid stroo na 102 dagen is overgebleven.

Aantal bacterien, schimmels en actinomyceten in de verschillende composten aanwezig na 14 weken.

Teneinde een indruk te krijgen van de organismen die een werkzaam aandeel in de ontleding van het stroo bij verschillende temperaturen hebben, werd na 14 weken van elk der composten een zelfde hoeveelheid afgewogen, in steriel water gesuspenseerd en hiervan op de gebruikelijke wijze verdunnin-

gen gemaakt. Hiervan werd telkens 1 cc door 10 cc albumine agar gemengd en uitgegoten (alcalisch voor bacteriën en actinomyceten en zuur voor de schimmels). Tabel V geeft het aantal kolonies dezer verschillende micro-organismen per gram materiaal (berekend op droog) en het gemiddelde van 3 à 4 tellingen.

TABEL VI.

Aantal micro-organismen in enkele stroo-composten na 14 weken.

Temperatuur.	Voedingszouten.	Bacteriën.	Actinomyceten.	Schimmels.
27° C.	+	95 000 000	145 000 000	50 000 000
27° C.	—	1 118 000 000	0	10 000 000
37° C.	+	137 000 000	243 000 000	44 000 000
37° C.	—	108 000 000	47 000 000	30 000 000

Bij de beschouwing van deze tabel moet men allereerst in het oog houden dat men hierdoor alleen een indruk krijgen kan van den toestand op een bepaald oogenblik en de bepalingen voornamelijk verricht werden om hetgeen microscopisch was waargenomen te controleren. Het feit dat bijv. bij 27° C. zonder voedingszouten belangrijk meer bacteriën aanwezig zijn dan met voedingszouten mag niet tot de conclusie leiden dat „dus” de toevoeging van de voedingszouten de ontwikkeling der bacteriën tegenwerkt, het tegenovergestelde is natuurlijk het meest voor de hand liggende. Wanneer men echter microscopisch de ontleding der composten vervolgt, dan ziet men eerst de schimmels sterk actief op de voorgrond treden, het heele materiaal is met schimmeldraden door- en overgroeid en het is hierdoor dat de hechte samenhang van het oorspronkelijke materiaal verbroken wordt. Hierna komen de bacteriën in groote getale opzetten en het meest waarschijnlijk is dat in de tabel bij 27° C. zonder voedingszouten juist dit tijdstip getroffen is en hier later ligt dan bij aanwezigheid van voedingszouten. Daarna ziet men dat een deel der bacteriën weer afsterft om plaats te maken voor de actinomyceten. Het donkerbruine materiaal is dan bedekt met talloze krijtachtig uitzijnde actinomyceten kolonies. In dit stadium verkeert vooral het materiaal bij 37° met voedingszouten, doch ook het feit dat in n°. 2 zelfs niet één actinomyceet wordt aangetroffen tegen 145 000 bij aanwezigheid van voedingszouten wijst er op dat in het eerste geval de ontleding zooveel langzamer is verlopen, dat het „actinomycetenstadium” nog niet bereikt is.

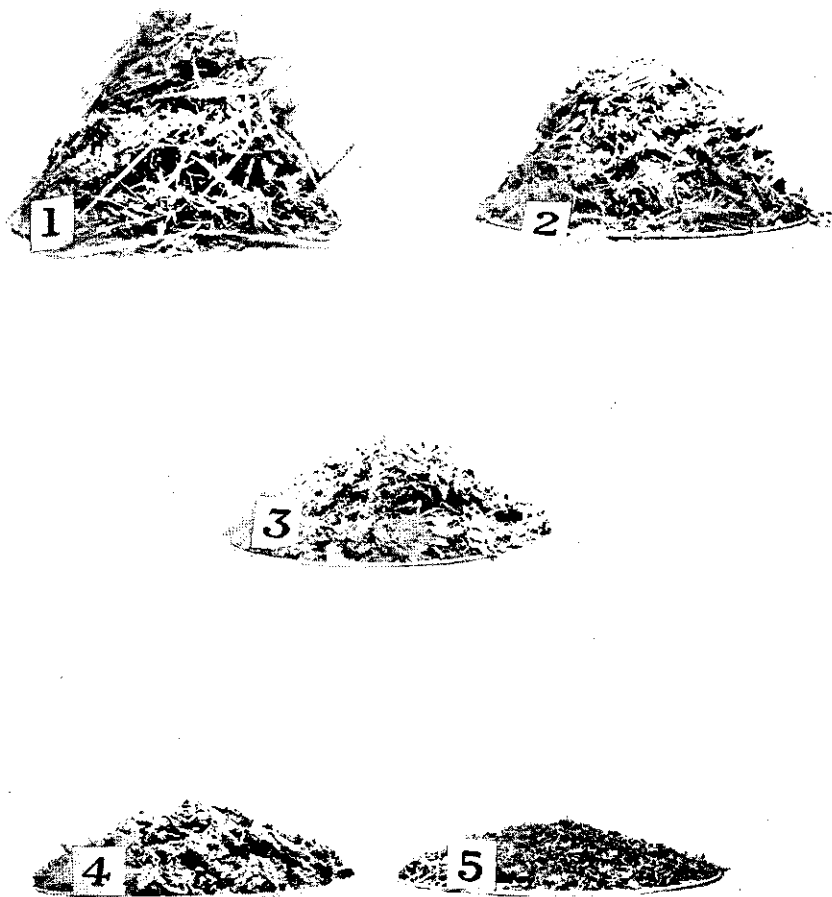


Fig. 3. Hoe de composten er na 102 dagen bij verschillende temperaturen bewaard te zijn, uitzien:

1.	geen voedingszouten	bij	7° C.	(99,4 %	van het oorspronkelijk gewicht).
2.	met	"	7° C.	(73,4 %	" " " ").
3.	"	"	18° C.	(53,2 %	" " " ").
4.	"	"	27° C.	(44,1 %	" " " ").
5.	"	"	37° C.	(39,8 %	" " " ").

Dat in twee gevallen het aantal der actinomyceten dat der bacteriën overtreft wijst er wel op dat deze micro-organismen bij de ontleding der organische stof een uiterst belangrijke rol spelen. Niettegenstaande het een bekend feit is, dat de z.g.n. „aardlucht” van pas omgeploegde grond door actinomyceten wordt veroorzaakt en de activiteit dezer organismen ook in den grond een zeer belangrijke moet zijn, heeft men tot nog toe weinig aandacht hieraan besteed.

Een nader onderzoek naar de werkzaamheid dezer micro-organismen en naar de aard der omzettingen die zij tot stand brengen is dan ook zeer gewenscht en voor een juist inzicht in het verloop der microbiologische processen in den bodem onontbeerlijk.

De koolzuurontwikkeling.

Ten einde meer inzicht te krijgen in de invloed van de temperatuur op de activiteit der microben, vooral in het eerste stadium der ontledingsprocessen, werd gedurende 3 weken de hoeveelheid CO_2 gemeten die gevormd werd. De proef werd niet verricht aan het materiaal uit de potten, doch op eenigzins andere wijze ingericht. In een aantal kolfjes van 250 cc werd 100 gr kwartszand gedaan en goed gemengd met 2 gr haverstroo benevens 20 cc van een oplossing, die per liter bevatte 5 gr $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 1 gr KCl en 0,5 gr MgSO_4 . Een aantal kolfjes kregen 20 cc water zonder voedingszouten, terwijl aan een 4-tal kolfjes behalve voedingszouten nog 0,5 gr CaCO_3 werd toegevoegd.

Het aldus toebeide materiaal werd geënt met een cc van een suspensie van een der composten van de groote proef. De kolven werden met een dubbel doorboorde gummistop afgesloten en de toe- en afvoerbuisjes met klemkraantjes gesloten gehouden. De koolzuurontwikkeling werd gemeten door elke dag gedurende een uur door het kolfje lucht te leiden en het koolzuur in $\text{Ba}(\text{OH})_2$ op te vangen, hetwelk met oxaalzuur werd teruggetitreerd.

De invloed van de temperatuur is het grootste heel in den beginne, wat blijkt uit het feit dat daar de helling van de krommen t.o. van de horizontale as het grootst is. Na 4 tot 5 dagen vertoonen de krommen van de composten zonder voedingsstoffen de neiging om parallel te gaan loopen, *onafhankelijk* van de temperatuur. Dit wijst er op dat hier voor alle composten een bepaalde factor in het minimum is, de omzettingen verlopen alle met gelijke snelheid doordat de voor de ontwikkeling der microben noodige stikstof vrijwel geheel ontbreekt.

Wat betreft de composten met voedingszouten zien wij dat bij een toename van de temperatuur van 7—18° C. en van 18—27° C. de koolzuurontwikkeling

ontstaan tijdens de eerste twee weken der ontleding: de hoeveelheden koolzuur tusschen de 16de en de 105de dag bij 7°, 18°, 27° en 37° C. geproduceerd zijn respectievelijk 400, 520, 460 en 430 milligram, of wel gemiddeld 466 mgr in 89 dagen voor 2 gr haverstroo. De koolzuurontwikkeling gedurende de laatste periode van 168 dagen bedroeg 188 mgr bij 37° en 178 mgr bij 7° C. of resp. 1,12 en 1,06 mgr CO₂ per dag. Deze resultaten voeren geheel onverwachts

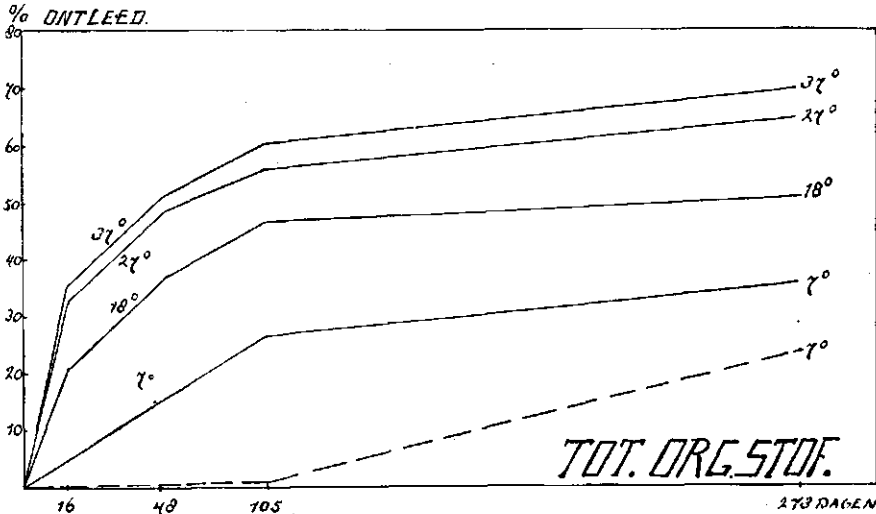


Fig. 5. De invloed van de temperatuur op de ontleding van haverstroo in zijn geheel. Aangegeven is het percentage van de oorspronkelijke hoeveelheid dat in den vorm van koolzuur verdwenen is.

tot de belangrijke conclusie dat onder de gegeven omstandigheden binnen wijde grenzen de snelheid waarmee de organische stof door de microben ontleed wordt, onafhankelijk is van de temperatuur enkele weken na den aanvang van het proces.

De toevoeging van voedingszouten heeft in alle gevallen de ontleding versneld. Uit fig. 4 blijkt dit duidelijk, wanneer men twee corresponderende krommen van composten, die bij dezelfde temperatuur met en zonder voedingszouten bewaard zijn geworden, met elkaar vergelijkt.

Ook heeft de toevoeging van CaCO₃ in alle gevallen de koolzuur productie vergroot, in het bijzonder bij 37°, bij welke temperatuur 26 tot 30 % meer CO₂ is ontwikkeld dan bij afwezigheid van voedingszouten. Dit wijst er op dat de ontleding van organische stof in kalkrijke gronden sneller zal verlopen dan in kalkarme gronden.

Het ammoniakgehalte van de composten der CO₂-serie werd na verloop van 3 weken bepaald toen het experiment werd afgebroken. Bij 7° werd meer

dan 60 % van de toegevoegde ammonia onveranderd teruggevonden, bij hooger temperatuur was het grootste gedeelte van de toegevoegde ammoniumzouten in organische verbindingen overgevoerd en slechts een klein gedeelte nog als ammoniak terug te vinden. Daar waar CaCO_3 was toegevoegd was ten gevolge van de grootere assimilatie nog meer ammoniak stikstof vastgelegd.

Deze stikstof is zooals vanzelf spreekt tijdelijk voor de plant ontoegankelijk geworden, iets waarmee men terdege rekening moet houden wanneer men een anorganische stikstofhoudende meststof combineert met een stikstofarme organische meststof zooals stroo, turf e.d. Hoe hooger de temperatuur, des

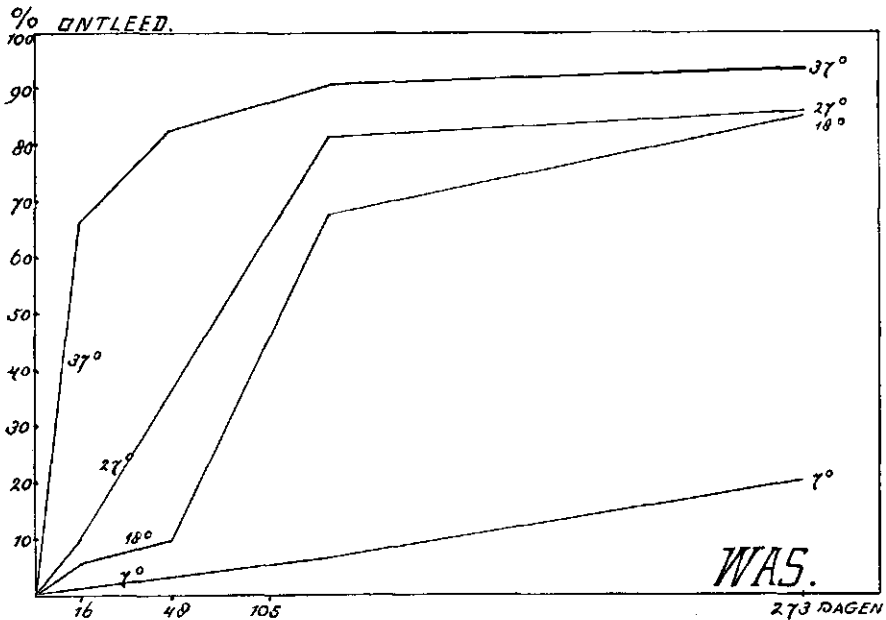


Fig. 6. De invloed van de temperatuur op de omzetting van in aether oplosbare stoffen (vet- en wasachtige) van het haverstroo.

te sneller gaat de ontleding der gevormde eiwitachtige verbindingen weer verder; bij 37° zonder toegevoegde N-verbindingen was dan ook 6 maal zoo-veel ammoniak teruggevonden dan bij 27° (t.w. op 2 gr materiaal 4,88 mgr bij 37° tegen 0,76 mgr bij 27°).

Ten einde een beter overzicht te krijgen van de tamelijk ingewikkelde veranderingen die het plantenmateriaal tengevolge van de micro-biologische omzettingen ondergaan heeft vindt men hieronder een meer gedetailleerde opgaf van de omzettingen der verschillende chemische bestanddeelen van het haverstroo op opeenvolgende tijdstippen bij verschillende temperaturen en in de tegenwoordigheid of afwezigheid van voedingszouten.

De invloed van de temperatuur op de microbiologische ontleding van de chemische bestanddeelen van het haverstroo.

De omzetting der aether-oplosbare (vet- en wasachtige) stoffen.

Zooals bekend bevinden zich op de buitenkant der stengels en bladeren der gramineeën wasachtige stoffen, die bij het haverstroo ongeveer 2 % van het totale materiaal uitmaken. Deze stoffen vormen een beschermende laag rond de buitenste cellagen en vertragen daardoor de ontleding. Toch blijkt dat deze stoffen door de micro-organismen worden aangegrepen en dat hun ontleding vooral door hoogere temperaturen zeer bevorderd wordt. Bij 37° was bijna 2 maal zooveel ontleed als bij 18°, terwijl bij 7° na 273 dagen nog ongeveer 80 % van de oorspronkelijke hoeveelheid werd teruggevonden.

TABEL VIII.

Invloed van de temperatuur op de ontleding der aetheroplosbare (vet- en wasachtige) stoffen.

Percentage der overgebleven bestanddeelen.¹⁾

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. ²⁾	66,6	—	—	80,6	78,9
7° C.	66,6	—	—	93,6	79,4
7° C.	80,0	—	—	71,5	61,1
18° C.	66,6	94,6	90,3	32,1	14,8
18° C.	80,0	96,7	77,3	23,0	14,8
27° C. ²⁾	66,6	—	62,5	35,2	20,8
27° C.	66,6	90,2	—	18,7	13,9
27° C.	80,0	78,6	18,7	10,4	4,8
37° C. ²⁾	66,6	—	33,6	17,8	10,0
37° C.	66,6	33,9	17,4	9,6	6,5
37° C.	80,0	40,0	31,7	4,8	4,3

¹⁾ Op de basis van de in het oorspronkelijke materiaal aanwezige hoeveelheid.

²⁾ Compost zonder voedingszouten.

Fig. 6 toont duidelijk enkele bijzonderheden betreffende de ontleding dezer stoffen.

Allereerst blijkt dat bij geen der bestanddeelen van het stroo de temperatuur zoo'n belangrijke invloed uitoefent als juist bij deze wasachtige stoffen.

De ontleding bij 7° heeft zeer gelijkmatig en langzaam plaats, bij 18° gaat aanvankelijk de ontleding ook nog langzaam om na verloop van 48 dagen snel toe te nemen. Dit wijst er op dat de hier werkzame micro-organismen oorspronkelijk wel in het entmateriaal aanwezig waren doch in geringe getale; zij vermeederen zich bij deze temperatuur blijkbaar eerst langzaam om naderhand met groote intensiteit deze bestanddeelen van het stroo aan te tasten.

Bij 27° en 37° daarentegen is reeds van den aanvang af de ontledings-snelheid groot, bij 37° is zelfs na 16 dagen bijna 70 % dezer stoffen verdwenen wat bij 18° 105 dagen duurt. Bij 37° is na 105 dagen de omzetting vrijwel tot stilstand gekomen, terwijl nog 10 % over is, die verder uiterst langzaam wordt omgezet. Daaruit kan men besluiten dat er onder deze in aether oplosbare bestanddeelen enkele uiterst bestendige lichamen voorkomen, die zelfs aan de ontleding onder optimale condities weerstand kunnen bieden. Een ander merkwaardige bijzonderheid bij de ontleding dezer stoffen is dat de invloed van de temperatuur belangrijker is dan de invloed van de toevoeging van voedingsstoffen. Zoo is bij 18° met voedingszouten en bij 66,8 % watergehalte na 48 dagen slechts 9,7 % der etheroplosbare stoffen verdwenen, tegen 37,5 % bij 27° zonder voedingszouten.

Verhooging van het watergehalte had in het algemeen een gunstige invloed op de omzettingen.

De ontleding der in water oplosbare stoffen.

Daar micro-organismen onophoudelijk onoplosbare organische stoffen in oplossing brengen en tenslotte een groot deel hiervan in koolzuur en water wordt overgevoerd is het duidelijk dat de hoeveelheid in water oplosbare stoffen die men na 105 dagen terugvindt slechts voor een deel bestaat uit stoffen, die oorspronkelijk in het stroo aanwezig waren en overigens uit geheel nieuw gevormde bestanddeelen. De hoeveelheid dezer oplosbare stoffen kan dus toenemen ten koste van de onoplosbare en zoo zien wij ook dat bij 27° na 16 dagen 120,5 % in heet water oplosbare stoffen gevormd worden en bij 37° 112,1 %, welke bedragen een maand later al reeds gedaald zijn tot resp. 68,8 en 94,6 %. De in koud water oplosbare stoffen vertoonen geen enkele toename, waarschijnlijk doordat zij sneller worden omgezet. Ook is de invloed van de temperatuur veel minder uitgesproken dan bij de andere bestanddeelen. Bij 18° wordt na 16 dagen 62,2 % teruggevonden van de oorspronkelijke hoeveelheid en bij 37°, 63,4 %.

TABEL IX.

Invloed van de temperatuur op de ontleding van de in koud en heet water oplosbare bestanddeelen van het haverstroo.

Percentage der overgebleven bestanddeelen ¹⁾.

A. In koud water oplosbaar.

Temperatuur.	Vochtgehalte.	Duur der ontleding in dagen.		
		16.	48.	105.
7° C. ²⁾	66,6	—	—	62,0
7° C.	66,6	—	—	53,1
7° C.	80,0	—	—	45,1
18° C.	66,6	83,5	41,9	36,4
18° C.	80,0	62,2	44,6	33,2
27° C. ²⁾	66,6	—	80,5	36,4
27° C.	66,6	46,2	35,0	22,0
27° C.	80,0	47,5	38,7	28,1
37° C. ²⁾	66,6	—	53,6	30,4
37° C.	66,6	46,1	31,4	23,9
37° C.	80,0	63,4	34,9	28,1

B. In heet water oplosbaar.

7° C. ²⁾	66,6	—	—	66,5
7° C.	66,6	—	—	33,0
7° C.	80,0	—	—	66,9
18° C.	66,6	90,0	80,1	62,9
19° C.	80,0	87,6	79,1	65,4
27° C. ²⁾	66,6	—	103,9	84,8
27° C.	66,6	120,5	68,8	55,6
27° C.	80,0	83,4	59,1	47,7
37° C. ²⁾	66,6	—	65,0	61,0
37° C.	66,6	112,1	94,6	58,1
37° C.	80,0	88,7	74,1	71,7

¹⁾ Op de basis van de in het oorspronkelijk materiaal aanwezige hoeveelheid.

²⁾ Compost zonder voedingszouten.

Duidelijk blijkt echter dat er een merkbaar verschil in aantastbaarheid bestaat tusschen de in heet en in koud water oplosbare bestanddeelen. Na 105 dagen is de hoeveelheid die van de eerste over is in de meeste gevallen 2 maal zoo groot als die van de laatsten, zoodat de in heet water oplosbare stoffen bestendiger zijn.

Daar onder natuurlijke omstandigheden deze in water oplosbare stoffen door de grond heen zakken en door het drainwater worden meegevoerd, kan men de hier verkregen resultaten niet zonder meer op de grond overbrengen.

Invloed van de temperatuur op de ontleding van de in alcohol oplosbare bestanddeelen.

Haverstroo bevat een beperkte doch zeer duidelijk aantoonbare hoeveelheid stoffen, die niet in aether of water, doch wel in kokende alcohol oplossen; in totaal 1,76 % van het oorspronkelijke materiaal.

Uit tabel X blijkt dat bij de gematigde temperaturen belangrijke hoeveelheden in alcohol oplosbare bestanddeelen geproduceerd worden, tengevolge van synthetische werkzaamheid der microben of wel in vrijheid gezet worden doordat de celwanden worden afgebroken.

TABEL X.

Invloed van de temperatuur op de ontleding der in alcohol oplosbare bestanddeelen.

Percentage der overgebleven bestanddeelen. ¹⁾

Temperatuur.	Vochtgehalte.	Duur der ontleding in dagen.		
		16.	48.	105.
7° C. ²⁾	66,6	—	—	102,2
7° C.	66,6	—	—	126,0
7° C.	80,0	—	—	109,4
18° C.	66,6	135,2	92,5	74,0
18° C.	80,0	127,6	77,3	62,1
27° C. ²⁾	66,6	—	78,1	64,4
27° C.	66,6	130,4	83,4	61,1
27° C.	80,0	104,0	45,1	50,2
37° C. ²⁾	66,6	—	50,7	40,3
37° C.	66,6	73,4	47,0	54,0
37° C.	80,0	85,7	39,8	37,0

¹⁾ Op de basis van de in het oorspronkelijk materiaal aanwezige hoeveelheid.

²⁾ Compost zonder voedingszouten.

Opmerkelijk is dat deze stoffen slechts langzaam ontleed worden; in 9 van de 11 gevallen werd na 105 dagen nog meer dan 50 % van de oorspronkelijke hoeveelheid teruggevonden. Een hoger vochtgehalte versnelt de ontleding

slechts matig terwijl de aan- of afwezigheid van voedingszouten hier evenmin een waarneembare invloed uitoefent.

De invloed van de temperatuur op de ontleding van de cellulose en hemicellulosen.

Aangezien de cellulosen en hemicellulosen gezamenlijk meer dan 50 % van het oorspronkelijke haverstroo ritmaken en in het algemeen het hoofdbestanddeel vormen van alle plantenmaterialen, vraagt de wijze waarop deze stoffen ontleed worden, onze bijzondere aandacht. (Zie tabellen XI en XII).

De invloed van de temperatuur is zeer uitgesproken op beide groepen van bestanddeelen; bij 7° ontleeden de hemicellulosen aanzienlijk langzamer dan de cellulosen, zoodat van de eersten na 273 dagen 20 % meer is overgebleven dan van de laatsten.

TABEL XI.

Invloed van de temperatuur op de ontleding der hemicellulosen in haverstroo.

Percentage der overgebleven bestanddeelen. 1)

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. 2)	66,6	—	—	110,0	83,8
7° C.	66,6	—	—	89,4	60,5
7° C.	80,0	—	—	70,0	58,0
18° C.	66,6	81,6	50,4	32,4	19,1
18° C.	80,0	84,4	52,2	27,2	24,5
27° C. 2)	66,6	—	70,8	54,0	28,5
27° C.	66,6	54,5	35,3	23,8	19,2
27° C.	80,0	56,9	29,6	18,9	11,0
37° C. 2)	66,6	—	74,5	49,1	31,2
37° C.	66,6	52,8	34,2	16,2	8,2
37° C.	80,0	51,8	18,3	12,1	5,7

1) Op de basis van de in het oorspronkelijke materiaal aanwezige hoeveelheid.

2) Compost zonder voedingszouten.

TABEL XII.

*Invloed van de temperatuur op de ontleding der cellulosen
in haverstroo.*

Percentage der overgebleven bestanddeelen.¹⁾

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. ²⁾	66,6	—	—	86,8	62,7
7° C.	66,6	—	—	62,8	38,8
7° C.	80,0	—	—	50,2	33,1
18° C.	66,6	60,4	26,2	18,0	6,6
18° C.	80,0	68,5	25,7	14,5	12,5
27° C. ²⁾	66,6	—	49,9	34,5	16,9
27° C.	66,6	38,8	17,5	12,6	10,3
27° C.	80,0	41,1	14,4	7,2	2,7
37° C. ²⁾	66,6	—	54,7	38,8	26,0
37° C.	66,6	46,7	21,6	11,6	7,0
37° C.	80,0	40,1	6,6	5,4	1,7

¹⁾ Op de basis van de in het oorspronkelijk materiaal aanwezige hoeveelheid.

²⁾ Compost zonder voedingszouten.

Wij wijzen er op dat klaarblijkelijk bij 7° C. zonder voedingszouten er een kleine toename te constateeren valt van het hemicellulose-gehalte, wat zeer waarschijnlijk veroorzaakt is geworden ten gevolge van de vorming van schimmelmycelium, dat zooals bekend, juist rijk is aan hemicellulosen.

Een temperatuursverhoging van 11° deed de snelheid der ontledingsprocessen belangrijk toenemen. Speciaal van de cellulosen, na 105 dagen is er 2 maal zooveel hemicellulose overgebleven als cellulose.

Tusschen 18° en 37° is de ontledingssnelheid het grootst gedurende de eerste 48 dagen, in welke tijd minstens 50 % van de hemicellulose en 74 % van de cellulose verdwenen is.

Bij nadere beschouwing van de fig. 7 en 8 zien wij dat de krommen voor de hemicellulose en cellulose-ontleding groote overeenkomst met elkaar vertoonen, alleen is de ontledingssnelheid van de eersten iets geringer dan van de laatsten, terwijl de optimum temperatuur voor de cellulose lager ligt. Duidelijk blijkt dit uit het feit dat de krommen van 7° en van 18° C. stijler loopen in fig. 8 dan in fig. 7 en dat de krommen voor 37° in fig. 8 binnen die van 27° C. valt, hetgeen zeggen wil dat, bij hooger temperatuur de ontleding *langzamer* is verlopen. De toevoeging van voedingszouten heeft een groote invloed ge-

had op de ontleding van de hemicellulosen wat vooral uitkomt bij 37°, waar na 273 dagen 31,2 % is overgebleven zonder voedingszouten tegen 8,2 % met voedingszouten.

De cellulose gedroeg zich op analoge wijze. Beschouwt men de laatste kolom van tabel XII dan krijgt men den indruk dat de invloed van de toevoeging van voedingszouten bij lager temperatuur grooter is dan bij hooger; immers bij 7° is dientengevolge na 273 dagen 23,9 % meer omgezet en bij 27° slechts 6,3 %. Dit is echter slechts gedeeltelijk juist, daar bijv. na 48 dagen

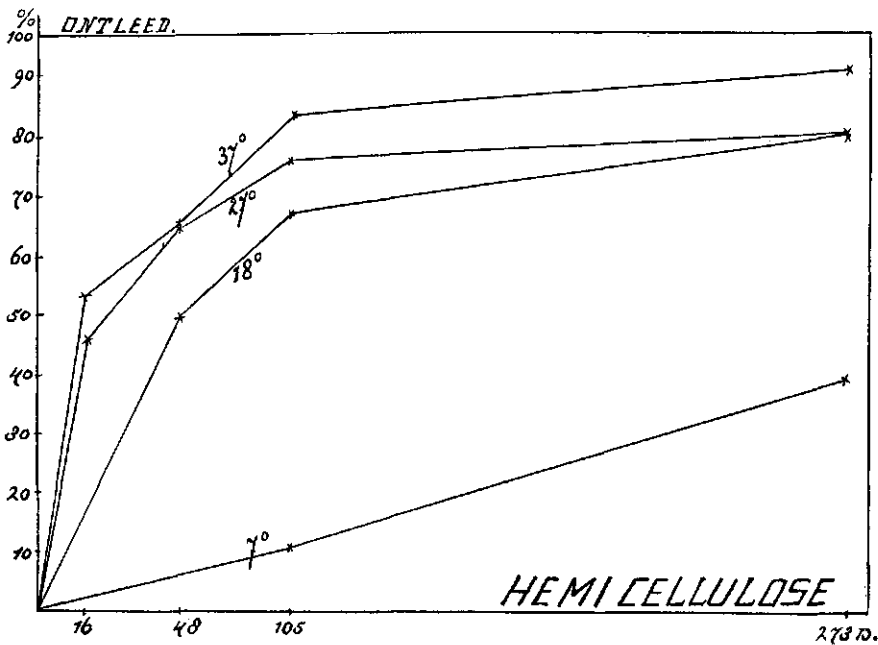


Fig. 7. De invloed van de temperatuur op de ontleding der hemicellulosen in haverstroo. De hoeveelheden die verdwenen zijn, uitgedrukt in % van hetgeen oorspronkelijk aanwezig was.

de toevoeging van voedingszouten bij 27° een omzettingsvermeerdering van 32,4 % te voorschijn roept.

Dit verschil is na 273 dagen tot 6,9 % teruggebracht omdat bij die hogere temperaturen de micro-organismen veel sneller leven, sterven en op hun beurt weer ontleed worden dan bij lager temperatuur en dientengevolge de stikstof sneller binnen de microbiologische kringloop roteert.

Dit beteekent dat men bij hogere temperatuur met dezelfde of zelfs met minder stikstof grootere hoeveelheden cellulose kan doen omzetten dan bij lager temperatuur of met a. w.:

De koolstof-stikstof-verhouding voor optimale ontleding van de cellulose neemt toe naarmate de temperatuur stijgt.

Dat sommige hemicellulosen ook in de natuur moeilijk ontleed worden wordt bevestigd door analyses van organische stof die onder natuurlijke condities in den grond ontleed is geworden. Een analyse van organische stof in gronden van 6 verschillende plaatsen van herkomst gaf een cellulose gehalte tusschen 2,8 en 5,2 % of gemiddeld 3,8 % van de totale hoeveelheid organische stof. Het gemiddelde van het hemicellulosen-gehalte was 7,8 % (WAKSMAN

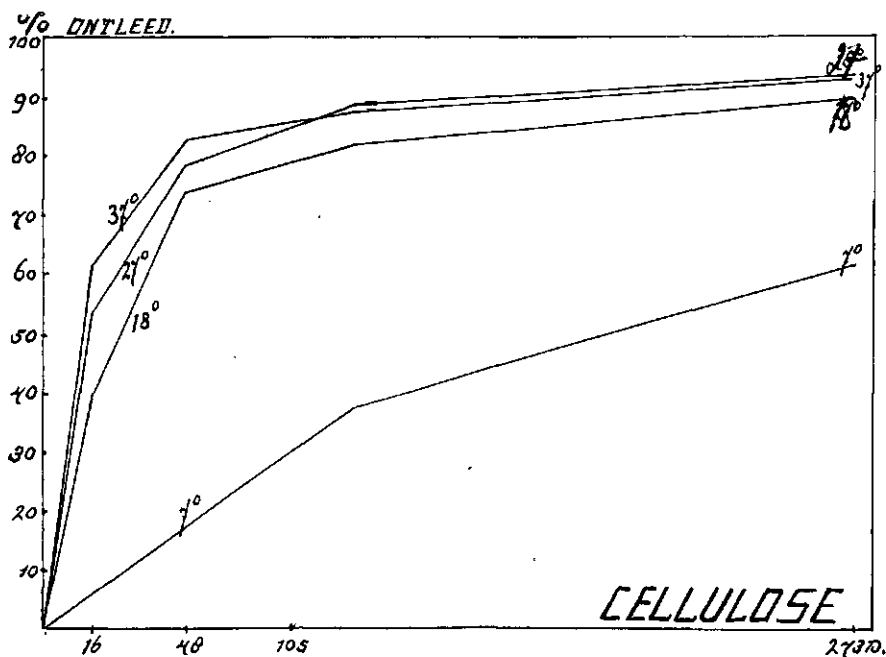


Fig. 8. De ontleding van de cellulose uit het haverstroo bij verschillende temperaturen.

1929). Wanneer men daarnaast zet de chemische samenstelling van een aantal onontleede plantenmaterialen van verschillende oorsprong dan ziet men dat aanvankelijk het gemiddelde cellulose-gehalte 24,9 % en dat der hemicellulose 17,1 % bedraagt. (WAKSMAN en TENNY, 1927).

Zoowel hieruit als uit de bij dit onderzoek verkregen resultaten kan de conclusie getrokken worden dat alhoewel de oorspronkelijke verse materialen in het algemeen meer cellulose dan hemicellulose bevatten, na de microbiologische omzettingen in den grond de verhouding omgekeerd is.

Invloed van de temperatuur op de ontleding der ligninen.

Vanuit het standpunt van praktische landbouw verdienen die componenten de grootste belangstelling, welke de grootste weerstand bieden aan ontleding en de vruchtbaarheid van de grond verhoogen doordat zij het organische stofgehalte („humus”) van de grond verhoogen. Het is bekend dat van alle chemische bestanddeelen van planten resten de ligninen het meest tegen ontleding bestand zijn. Zij vormen ten slotte, zij het ook in eenigszins gewijzigde toestand, het belangrijkste bestanddeel van de organische stoffen („humus-complexen”) in den bodem.

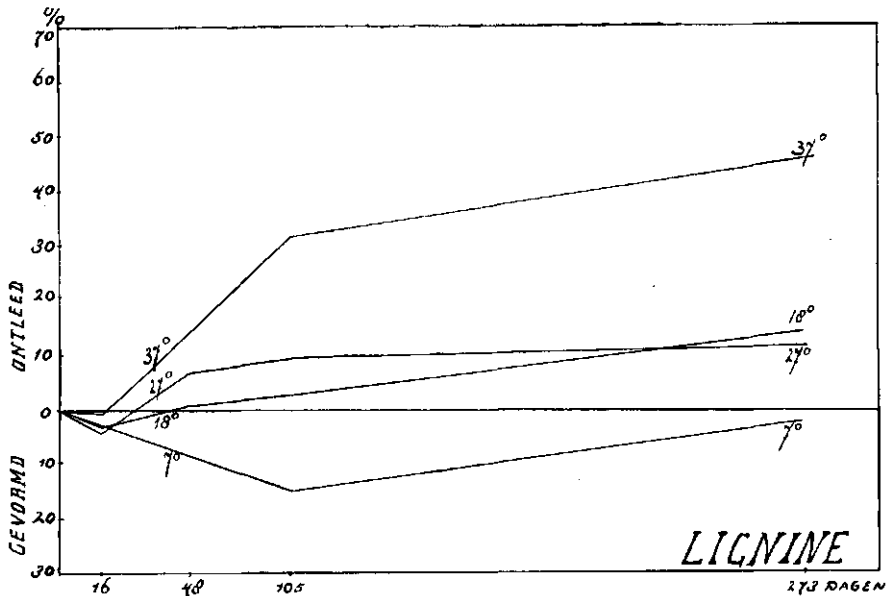


Fig. 9. De vorming en ontleding der ligninen tijdens de microbiologische omzetting van het haverstroo. De punten beneden de nullijn geven aan hoeveel er gevormd is geworden, die boven de nullijn hoeveel er ontleed werd, alles in % van het oorspronkelijke materiaal.

Als zoodanig verdienen zij onze speciale belangstelling niettegenstaande hun chemische samenstelling nog steeds niet voldoende is opgehelderd. Zij worden gekarakteriseerd door hun onoplosbaarheid in geconcentreerde minerale zuren, oplosbaarheid in alcaliën, hoog koolstofgehalte, etc.

In het onderhavige geval zien wij dat bij verschillende temperaturen tijdens de ontleding van het haverstroo het lignine-gehalte daadwerkelijk is toegenomen speciaal bij lage temperatuur (bij 7° na 105 dagen zelfs met 15,1 %). Dat hier sprake is van werkelijke synthese van lignine-complexen onder in-

vloed van het microben-leven is waarschijnlijk, doch moet nog nader onderzocht worden.

Tusschen de resultaten, verkregen bij 18° en 27° (tabel XIII) is weinig verschil te zien, de ontleding verloopt bij deze temperaturen betrekkelijk langzaam (fig. 9) na 9 maanden is bij 18° nog slechts 14 % van de ligninen verdwenen. Bij 37° daarentegen is de ontleding belangrijk sneller, 30—50 % van de oorspronkelijke hoeveelheid is binnen 3,5 maanden verdwenen; daarna blijkt de ontleding aanmerkelijk langzamer te gaan, hetgeen er tevens op wijst dat deze complexen een veel grooter bestendigheid tegenover microbiologische ontleding hebben dan de cellulose en hemicellulosen.

TABEL XIII.

Invloed van de temperatuur op de ontleding van ligninen in haverstroo.
Percentage der overgebleven bestanddeelen. 1)

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. 2)	66,6	—	—	108,2	96,0
7 C.	66,6	—	—	115,1	102,0
7° C.	80,0	—	—	94,0	104,4
18° C.	66,6	103,0	99,2	97,5	85,7
18° C.	80,0	110,0	99,5	72,5	86,5
27° C. 2)	66,6	—	84,5	83,2	71,6
27° C.	66,6	103,9	93,5	90,7	88,2
27° C.	80,0	101,9	85,3	82,9	78,0
37° C. 2)	66,6	—	89,1	62,1	69,0
37° C.	66,6	100,9	85,9	68,6	54,0
37° C.	80,0	86,5	76,4	49,7	41,6

1) Op de basis van de in het oorspronkelijk materiaal aanwezige hoeveelheid.

2) Compost zonder voedingszouten.

Bijzonder opmerkelijk is dat de invloed van de toevoeging van voedingszouten op de ontleding der ligninen minimaal is vergeleken bij die der polysacchariden. Bij afwezigheid van voedingszouten was zowel bij 7° als bij 27° meer lignine verdwenen dan daar waar voedingszouten waren toegevoegd.

Het meest waarschijnlijke is dat tengevolge van de toevoeging van voedingszouten door de microben zelf lignine-complexen gevormd zijn geworden (wat uit enkele analyses ook blijkt), wat de indruk geeft alsof er minder is omgezet.

Dat bij fig. 9 alle lijnen aanvankelijk beneden de nullijn loopen wil dan ook zeggen dat overal lignine geproduceerd is geworden. Bij beschouwing

van deze figuur moet men echter bedenken dat zij inderdaad de resultaten aangeeft van twee naast elkaar loopende processen, de *opbouw* en de *afbraak* der ligninen.

Aanvankelijk overtrof de opbouw de afbraak bij alle temperaturen, welke voorsprong echter het spoedigst verviel bij 37° en het langst aanhield bij 7°. Bij 18°, welke temperatuur hooger is dan het gemiddelde van onze luchtstreken is na 9 maanden nog geen 15 % van de lignine verdwenen, bij 37° is daarentegen 62 % ontleed.

Alhoewel men deze in het laboratorium verkregen resultaten niet zonder meer op den grond kan overbrengen, kan men uit bovenstaande onder zeker voorbehoud concluderen:

1°. dat ook in ons klimaat tengevolge van microbiologische ontleding, de lignine-complexen langzaam uit den grond zullen verdwijnen. Het peil waarop het „humusgehalte” van een grond zich kan handhaven hangt in de eerste plaats af van de verhouding tusschen lignineproductie en ontleding, welke verhouding in de gematigde luchtstreken voor „humus-vorming” gunstig is;

2°. dat gezien de veel grootere ontledingssnelheid der ligninen bij hooger temperatuur het peil, waarop het „humus”-gehalte van tropische gronden zich zal kunnen handhaven belangrijk lager zal liggen dan dat in gematigde luchtstreken, waarop ook reeds door MOHR gewezen is.

Een meer diepgaande studie van de vorming en ontleding van lignine en de mogelijke opbouw van lignine-complexen uit plantenresten is uit een practisch oogpunt van groot belang, omdat wij hierdoor beter in staat zouden zijn om de processen, die zich bij de ontleding van organische afvalstoffen afspelen te controleeren en wellicht zoo te leiden dat een maximale hoeveelheid van deze resistente lignine-„humus”-complexen in den grond achterblijft.

Invloed van de temperatuur op de vorming en ontleding van stikstofhoudende verbindingen.

De organische stikstofhoudende verbindingen, in het bijzonder de eiwitachtige stoffen, vormen een tweede groep bodembestanddeelen die uit een practisch oogpunt van het allergrootste belang zijn. Zij vormen immers de stikstofvoorraad voor de plant en zijn voor de plant alleen beschikbaar nadat zij door de microben in eenvoudiger bestanddeelen zijn overgevoerd.

Zooals hierboven is aangetoond gaat de microbiologische ontleding van organische stoffen steeds gepaard met den opbouw van microben-materiaal. Hierbij wordt anorganische stikstof in eiwitstoffen overgevoerd, wat in vele

gevallen een enorme toename van het proteïne gehalte van het overblijvende materiaal ten gevolge heeft. De economische beteekenis hiervan is dat gemakkelijk uitspoelbare stikstofverbindingen op die wijze worden vastgelegd en op deze wijze voor de plant bewaard blijven.

Bij de hier verrichte analyses (niet vermeld in tabel XIV), bleek dat de hoeveelheid ammoniakstikstof even snel afnam als er proteïne gevormd werd. In de meeste gevallen was binnen 16 dagen na den aanvang der ontleding reeds meer dan 90 % van de 1060 mgr N die als $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ aan de composten waren toegevoegd, verdwenen.

TABEL XIV.

Invloed van de temperatuur op de omzetting van organische stikstofverbindingen (proteïnen) bij de ontleding van haverstroo.

Percentage der overgebleven bestanddeelen. ¹⁾

Temperatuur.	Vochtgehalte in %.	Duur der ontleding in dagen.			
		16.	48.	105.	273.
7° C. ²⁾	66,6	—	—	85,1	131,9
7° C.	66,6	—	—	375,6	313,0
7° C.	80,0	—	—	331,0	
18° C.	66,6	151,9	296,4	347,0	276,0
18° C.	80,0	149,4	309,0	267,8	
27° C. ²⁾	66,6	—	78,5	105,1	106,0
27° C.	66,6	250,6	314,2	313,8	240,0
27° C.	80,0	264,0	298,8	229,0	
37° C. ²⁾	66,6	—	118,1	119,1	121,8
37° C.	66,6	279,0	304,6	309,8	250,0
37° C.	80,0	240,0	310,0	256,0	

¹⁾ Op de basis van de in het oorspronkelijke materiaal aanwezige hoeveelheid.

²⁾ Compost zonder voedingszouten.

Zoo kon in één geval n.l. bij 37° en met 80 % vochtgehalte slechts 3 % van de oorspronkelijk aanwezige ammoniak stikstof na 48 dagen worden teruggevonden; 57 dagen later echter begonnen de proteïnen te verminderen, terwijl het ammoniakgehalte weer steeg tot 7,9 %.

In de compost bij 18° en met 80 % vocht verdween vrijwel alle ammonia zeer snel, slechts 1,2 % werd na 48 dagen teruggevonden. Weldra begonnen de eiwitachtige stoffen, in hoofdzaak afgestorven schimmel- en bacteriën-materiaal op hun beurt te ontleden, van 309,0 % tot 257,8 %, afnemende

terwijl het ammoniakgehalte steeg tot 7,9 %.

De proteïne-krommen, waarvan de verticale schaal het drievoudige aangeeft van de overige figuren, brengen enkele interessante punten naar voren (fig. 10).

De snelste proteïne-vorming heeft plaats gehad bij 37° (de helling van deze kromme met de horizontale as is hier het grootste) welke snelheid slechts even verschilt van die bij 27°. Bijzonder opmerkelijk is het feit, dat de grootste hoeveelheid proteïne bij 7° werd gevormd, een maximum bereikend van 275,2 %

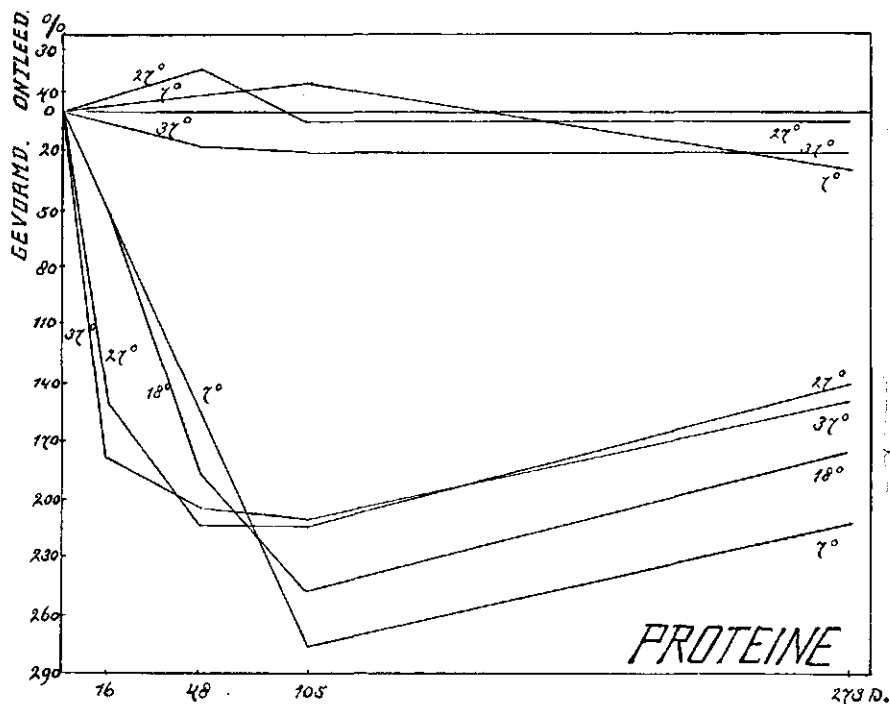


Fig. 10. De vorming en ontleding der organische stikstofhoudende bestanddeelen (proteïnen) bij verschillende temperaturen. De verticale schaal geeft in dit geval het drievoudige aan van hetgeen in de vorige fig. wordt aangegeven. De punten beneden de nullijn geven aan hoeveel proteïne er gevormd is geworden, daarboven hoeveel er ontleed is geworden, alles uitgedrukt in % van het oorspronkelijke materiaal.

van de oorspronkelijke hoeveelheid, niettegenstaande zooals uit de helling van de kromme blijkt, de vormingsnelheid het kleinste was.

Het is duidelijk dat dit alleen mogelijk is, doordat bij lagere temperatuur de proteïne synthese het van proteïne-ontleding wint, gedurende de eerste 3½ maand, terwijl bij hooger temperatuur reeds na enkele weken de ontleding zulke afmetingen gaat aannemen dat de synthese op den achtergrond raakt.

Een ander merkwaardig verschijnsel treedt na 105 dagen op den voor-

grond, n.l. dat de krommen voor alle temperaturen vrijwel parallel verlopen, hetgeen beteekent dat onafhankelijk van de temperatuur de snelheid waarmee de proteïnen in de verschillende composten ontleed worden, even groot is. (Deze snelheid is feitelijk de resultante van proteïne-vorming en -ontleding).

Ook zien wij dat hier het gevolg van de toevoeging van voedingszouten veel grooter is dan bij de andere bestanddeelen, zoo zelfs dat in sommige gevallen wel 3 maal zooveel proteïne is gevormd dan bij afwezigheid van voedingszouten. Een nadere beschouwing van de krommen aangaande de composten die geen voedingszouten ontvingen toont aan dat zoowel bij 27° als bij 7° aanvankelijk het proteïne-gehalte daalde om na 28 dagen resp. 105 dagen voor een duidelijk waarneembare stijging plaats te maken.

Het oorspronkelijke materiaal bevatte kleine hoeveelheden in water oplosbare stikstofhoudende bestanddeelen en het schijnt dat deze eerst ontleed moesten worden en hun stikstof gemineraliseerd alvorens eenige waarneembare proteïne-vorming kon plaats vinden.

Dat bij 37° deze daling aanvankelijk niet kan worden aangetoond, komt doordat zoowel ontleding als opbouw bij deze temperatuur belangrijk versneld zijn geworden; duidelijk blijkt dit ook uit het feit dat de top van de 27° kromme naar rechts is verschoven. De top van de 37° kromme moet tusschen 0 en 48 dagen in liggen, doch is niet waargenomen omdat in dien tusschentijd geen bepalingen verricht zijn.

Een ander opmerkelijk feit is dat de krommen voor 27° en 37° na 105 dagen evenwijdig aan de as loopen, hetgeen bewijst dat in dien tijd geen proteïne-stikstof in vrijheid gezet is. Zoodra de krommen zich naar de horizontale as toe bewegen zooals die waarbij voedingszouten zijn toegevoegd na 105 dagen, dan wijst dit er op dat proteïnen ontleed zijn geworden en de stikstof in oplosbare aminoverbindingen en ammoniak is overgevoerd.

Deze resultaten leiden tot de conclusie dat hoe grooter de koolstof-stikstof-verhouding is, des te langer zal het duren alvorens de stikstof die oorspronkelijk in het materiaal aanwezig was, buiten de microbiologische kringloop beschikbaar komt.

Deze proeven leggen de nadruk op het welbekende feit dat bij toevoeging van onvergeane organische stof aan den grond, de beschikbare stikstof in den grond vrijwel geheel uit het bodemvocht verdwijnt, zelfs bij tropische temperaturen, om eerst na vele maanden, soms zelfs na 1 of meer jaren, weer ter beschikking van de planten te komen.

Hierin ligt het gevaar van het onderbrengen van slecht vergane mest of stroo, wat ten gevolge kan hebben dat op een dergelijke grond, zelfs na een behoorlijke stikstofbemesting, het gewas door stikstofgebrek achterblijft

omdat het grootste deel der oplosbare stikstofverbindingen door de microben is vastgelegd.

Anderzijds geven deze feiten ons een middel aan de hand om stikstofverliezen door uitlooting te voorkomen, in die gevallen waarin de grond meer oplosbare stikstof bevat dan de planten op zeker oogenblik gebruiken kunnen. Een enkele maal is dit het geval bij onderploegen van leguminosen voor groenbemesting, waarbij vooral in warme streken in korten tijd zooveel stikstof in oplosbare vorm in het bodemwater kan komen, dat het gewas te geil gaat staan en een gedeelte van de stikstof in het drainwater verloren gaat.

Dit nu kan men voorkomen door tegelijk met de leguminosen een beperkte hoeveelheid gehakt stroo onder te ploegen, waardoor niet alleen tegengegaan wordt dat de planten te veel stikstof krijgen, maar tevens bereikt wordt dat het surplus wordt vastgelegd als onoplosbare proteïnen, die straks na hun ontleding de stikstof voor de volgende oogst leveren.

Deze werkwijze is het eerst met succes toegepast door SIEVERS en HOLTZ (1928).

Samenvatting.

De resultaten van de hier verrichte onderzoekingen betreffen de ontleding van plantenmateriaal in den vorm van haverstroo en van de voornaamste groepen der daarin aanwezige chemische bestanddeelen, bij verschillende temperaturen en bij aan- zoowel als afwezigheid van voedingszouten.

De versnellende invloed van de temperatuursverhooging van 7—37° op de microbiologische ontleding van compost als geheel, doet zich het sterkst gelden voor de eerste 10°, en in de eerste drie maanden van de omzetting: bij 18° is in 105 dagen 1,9 maal zooveel omgezet als bij 7°, bij 37° 2,3 maal.

In de volgende periode van 6 maanden is de omzettingssnelheid bij *alle temperaturen ongeveer even groot*; van de oorspronkelijke hoeveelheid verdwijnt 9,4 % bij 7° en 9,8 % bij 37°.

De ontleding van de in aether oplosbare (vet- en wasachtige) stoffen ondergaat de grootste invloed van de temperatuursverhooging (de hoek tusschen de ontledingskrommen voor 7—37° is maximaal); bij 37° is na 48 dagen ongeveer 27 maal zooveel omgezet als bij 7°.

Naarmate de compost verder „gehumificeerd” is, komen cellulose en hemicellulosen op den achtergrond, terwijl het lignine en proteïnegehalte aanmerkelijk stijgen.

In de verst ontleede compost is het cellulose + hemicellulosegehalte gedaald van 54,4 % tot 6,6 %.

Het ligninegehalte gestegen van 13 % tot 21 %.

Het proteïnegehalte gestegen van 2,1 % tot 17,6 %.

De toevoeging van voedingszouten en in het bijzonder van assimileerbare stikstofverbindingen versnelt de humificering; vooral de cellulose- en hemicellulosen worden vlugger omgezet, de lignineomzetting daarentegen wordt veel minder beïnvloed.

De ontleding wordt door schimmels, bacteriën en actinomyceten tot stand gebracht; het aandeel van de actinomyceten kan in de laatste stadia der ontleding dat der bacteriën verre overtreffen. Bij de ontleding van plantenmateriaal vindt zoowel afbraak als opbouw van bepaalde chemische verbindingen plaats. De opbouw van eiwitachtige stoffen ten koste van de anorganische stikstof kan dusdanige afmetingen aannemen dat op enkele procenten na alle oplosbare stikstof wordt vastgelegd en dus voor de plant onbereikbaar is.

Het blijkt dat door de micro-organismen ook *lignine* kan worden opgebouwd zoowel als afgebroken.

Het evenwicht tusschen opbouw en afbraak zoowel van de proteïne als van de lignine wordt bij verlaging van temperatuur in de richting van de opbouw verschoven.

De koolstof-stikstofverhouding in het ontleede materiaal daalt gedurende de ontleding (van 100 tot $\pm 11,3$) en wordt kleiner naarmate bij hooger temperatuur is omgezet; in het verst ontleede materiaal komt het na ongeveer 1 jaar vrijwel overeen met dat van gewone „humus” uit den grond.

Dat de C.N.-verhouding in de humus afkomstig van gronden uit de gematigde luchtstreken hooger ligt dan in tropische gronden, is hiermede geheel in overeenstemming.

De laatste reeks analyses is door den heer H. W. REUZER verricht, waarvoor wij hem onzen dank betuigen.

Literatuur opgave.

- HESSELMAN, H. 1926. Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit vom Waldbau. *Meddel. Stat. Skogsförsök.*, H., 22, 169—552.
- JENNY, H. 1926. Die Alpenen Böden. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. *Denkschr. Schweiz. Naturf. Gesell.*, 63, 295—340.
- . 1928a. Relation of climatic factors to the amount of nitrogen in soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, 20, 900—912.
- . 1928b. Relation of temperature to the amount of nitrogen in soils. *Soil Science*, 27, 169—188.
- LANG, R. 1926. *Handb. Forstwiss.*, 1.
- MOHR, E. C. J. 1922. The soils of Java and Sumatra. Amsterdam, J. H. de Bussy.
- SENSTIUS, M. W. 1925. *Jour. Amer. Soil Survey Assn. Rpt. Bul.* 6, 149—161.

- SIEVERS, F. J. and HOLTZ, H. F. 1928. The significance of nitrogen in soil organic matter relationships. *Proc. First Intern. Congr. Soil*, Washington, 3, 423—436, 1927.
- WAKSMAN, S. A. 1926. The origin and the nature of the soil organic matter or soil „humus”. V. The rôle of microorganisms in the formation of „humus” in the soil. *Soil Science*, 22, 421—436.
- . 1927. Cellulose als eine Quelle des „Humus” im Erdboden. *Cellulosechemie*, 8, H. 9/10.
- . 1929. Chemical nature of soil organic matter, methods of analysis, and the rôle of microorganisms in its formation and decomposition. Trans. 2d Comm. *Intern. Soc. Soil Sci.*, Budapest, Part A.
- WAKSMAN, S. A. and STEVENS, K. R. 1928. Contribution to the chemical composition of peat. I. Chemical nature of organic complexes in peat and methods of analysis. *Soil Science*, 26, 113—137.
- . 1930. A system of proximate chemical analysis of plant materials. *Jour. Ind. Engin. Chem. Anal.*, Ed. 2, 167—173.
- WAKSMAN, S. A. and TENNY, F. G. 1927. The composition of natural organic materials and their decomposition in the soil. I. Methods of quantitative analysis of plant materials. *Soil Science*, 24, 275—283.