



3 SEC L1
72 DAC L1
46 LOP E2
67 SEC E2
75 SA L2
50 CIP E2
63 LU L1
64 SOL E2
82 LES E2
57 SER L2
56 SER E2
55 SER E2
78 VO L1
71 DAC
48 LOP L2
49 CIP E2
83 LAS L1 E2
61 LU E2
65 SOL E2
74 SA E2
80 LOM E2
59 AKO E2
58 AKO E2
79 LOM E2
66 SOL L2
53 URD E2
69

Zijn Mars- en maanbodem geschikt voor plantenteelt?

Mars
maan
zware metalen
kieming

Als ruimtevaarders in de toekomst langere tijd op de maan en op Mars willen verblijven, dan zullen ze daar voedsel moeten gaan verbouwen. Maar kan dat wel? Is plantengroei mogelijk op de bodems van die hemellichamen? Om dat te onderzoeken hebben we een experiment opgezet met kunstmatige Mars- en maanbodems waarop zaden van verschillende plantensoorten te kiemen zijn gelegd en gevolgd in hun groei.

Er zijn veertien plantensoorten geselecteerd, onderverdeeld in drie groepen: voedselgewassen (tomaat, rogge, wortel en tuinkers), stikstofbinders (citroengele honingklaver, moerasrolklaver, lupine en voederwikke) en wilde planten (kale jonker, grote brandnetel, tripmadam, valkruid, herik en rood zwenkgras). Herik en rood zwenkgras zijn ook als groenbemester te gebruiken, brandnetel en lupine ook eetbaar. Stikstofbinders zijn gekozen om de stikstofvoorraad op de maan en Mars aan te kunnen vullen. De wilde soorten vertegenwoordigen verschillende groepen en kunnen, op valkruid na, moeilijke omstandigheden aan.

De bodems

Voor het experiment zijn een Marsbodem, maanbodem en aardse bodem (controle) geselecteerd, respectievelijk JSC Mars 1a regolith (Carlton *et al.*, ongedateerd), JSC 1a Moon regolith (Rickman *et al.*, 2007) en rivierzand. Uit de analyse van de echte maanbodem en metingen met *remote sensing*-technieken en met kleine robotlaboratoria van de *Pathfinder*- en *Curiosity*-missies is goed bekend wat de minerale samenstelling is van zowel de Mars- als maanbodem (Carlton *et al.*, ongedateerd; Foley *et al.*, 2003; Rickman *et al.*, 2007; Ferl & Paul, 2010; Leshin *et al.*, 2013). Op basis daarvan zijn bodemsoorten op aarde gezocht die zo goed mogelijk overeenkomen in minerale samenstelling en gewoon bij Nasa gekocht kunnen worden (orbitec.com). De kunstmatige Mars- en maanbodems zijn vulkanisch zand van Hawaii en woestijnzand uit Arizona. Van de Marsbodem is bekend dat die voor ongeveer 10% magnetisch is, terwijl de hier gebruikte

bodem dat voor 25% is. Dat is een van de belangrijkste bekende verschillen tussen de echte Mars- en maanbodems en de gebruikte bodems in dit experiment. Verder was onbekend welke mineralen en metalen voor plantengroei beschikbaar zijn in zowel de echte maan- en Marsbodem als voor hun vervangers. Daarom is een beperkte analyse uitgevoerd naar de in water oplosbare voedingsstoffen en metalen (tabel 1).

Analyse van de bodems

De bodemanalyses laten zien dat de nagebootste Marsbodem stikstof in reactieve vorm bevat. Op Mars zelf is deze voedingsstof mogelijk afkomstig uit drie bronnen: zonnewind, bliksem en vulkanische activiteit. De pH is wat hoog voor landbouw, maar niet onoverkomelijk; de pH van het aardse rivierzand is hoger. De kunstmatige Marsbodem lijkt ook wat voedselrijker dan het aardse rivierzand en houdt het beste vocht vast. De kunstmatige maanbodem houdt relatief slecht vocht vast en heeft een pH die te hoog is voor veel plantensoorten om optimaal te kunnen groeien. Er zit bovendien vrij aluminium in deze bodem. Bij langdurig landbouwkundig gebruik zal de pH wat dalen, wat kan leiden tot meer vrij aluminium en mogelijk ook chroom en andere metalen in oplossing kan brengen. Hierdoor zouden in de toekomst problemen kunnen ontstaan met de eetbaarheid van de geteelde gewassen.

Het experiment

Het experiment is uitgevoerd in een kas met standaardverlichting en vochtregulatie. De kas werd over-

WIEGER WAMELINK,
JOEP FRISSEL,
WILFRED KRIJNEN,
RINIE VERWOERT &
PAUL GOEDHART

Dr. Ir. G.W.W. Wamelink
Biodiversiteit en beleid,
Alterra Wageningen UR,
Postbus 47, 6700 AA
Wageningen
wieger.wamelink@wur.nl
Ing. J.Y. Frissel
Biodiversiteit en beleid,
Alterra Wageningen UR
W.H.J. Krijnen Unifarm,
Wageningen UR
M. Verwoert Unifarm,
Wageningen UR
Drs. P.W. Goedhart
Biometris, Plant Research
International, Wageningen
UR

Foto Joep Frissel. Wiegier Wamelink beoordeelt de plantengroei op de gesimuleerde Mars- en maanbodems.

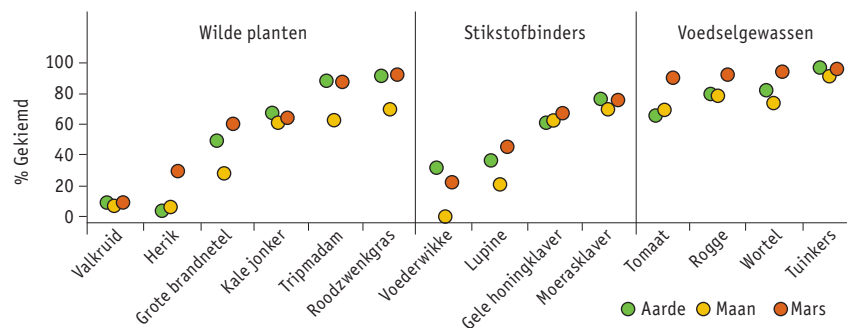
Element Eenheid	Nt (g/kg)	Pt (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	K (mg/kg)	Cr (µg/kg)	N-NH ⁴ (mg/kg)	N-(NO ₃ +N) (mg/kg)	P-PO (mg/kg)	pH-H ₂ O -	C-elementair (g/kg)	N-elementair (g/kg)	Scheibler (%)
Detectielimiet	0.3	100.0	0.5	3.0	3.0	5.0	1.0	0.5	0.4	-	3.0	0.3	
Gemiddelde													
Aarde	0.0	57.3	0.0	0.0	4.7	2.0	0.5	4.2	0.0	8.3	3.2	0.0	
Maan	0.0	1003.0	0.5	0.0	27.0	0.0	0.3	4.2	0.2	9.6	3.0	0.0	
Mars	2.6	2487.7	0.0	0.0	138.0	0.0	3.9	2.1	0.0	7.3	30.1	2.5	0.2
S.e													
Aarde	0.2	1.5	0.2	0.0	0.6	3.5	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	
Maan	0.2	11.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	
Mars	0.1	28.4	0.2	0.0	1.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0

Tabel 1 analyse van de kunstmatige Mars- en maanbodem (Nt: N totaal; Pt: P totaal).

Table 1 analyses of the artificial Mars and moon soil (Nt: N total; Pt: P total).

Figuur 1 percentage kieming van de veertien plantensoorten op kunstmatige Mars- en maanbodem en aards rivierzand.

Figure 1 percentage germination of the fourteen plant species on artificial Mars and moon soil and the control earth river Rhine sand.



dag eventueel bijgelicht als de lichtintensiteit beneden 150 watt/m² kwam. De temperatuur in de kas was 21.1 ± 3.02 °C en de luchtvochtigheid 65.0 ± 15.5%. De daglichtperiode duurde 16 uur. Dit zijn geen omstandigheden zoals aanwezig op de maan of op Mars. Wij gaan er echter vanuit dat teelt in volledig gecontroleerde omstandigheden plaats zal vinden, dus in een kamer (waarschijnlijk onder de grond vanwege de straling) waar de luchtdruk is als op aarde en temperatuur en licht geregeld worden onafhankelijk van de buitenwereld. In potjes met één van de drie bodems werden 5 zaadjes van dezelfde plantensoort gelegd. Voor elke bodemsoort-plant combinatie zijn 20 potjes gebruikt. Water werd een- of tweemaal per dag gegeven afhankelijk van de verdamping. De potten kregen gedeminera-

liseerd water om te voorkomen dat nutriënten met het kraanwater in de bodem zouden komen.

Goede groei op Mars

Op de kunstmatige Marsbodem kiemden de planten goed, de landbouwgewassen het beste (figuur 1). Valkruid kiemde slecht. Veel planten groeiden ook door. Rogge, herik en tuinkers vormden zelfs bloemen en na handmatige bevruchting vormden herik en tuinkers ook zaden. Tripmadam, een vetplant met in principe de goede eigenschappen voor groei op de voedselarme bodems deed het opvallend goed. Na de oogst vertoonden veel planten goed ontwikkelde wortelstelsels en hadden de eetbare wortels de eerste verdikkingen. De groei op de kunstmatige Marsbodem was zelfs iets beter dan de groei op het aardse rivierzand. Een deel van dit succes wordt waarschijnlijk verklaard doordat de kunstmatige Marsbodem goed vocht vast kan houden en dat er nitraat en ammonium in de bodem aanwezig is.

Minder op de maan

Op de kunstmatige maanbodem bleef de kieming duidelijk achter bij de planten op Marszand en aards rivierzand (figuur 1). Het grote verschil zat echter in de door-groei. Veel planten op de kunstmatige maanbodem (alle soorten) stierven binnen de proefperiode van 50 dagen.



Foto links **Wieger Wamelink**. Tripmadam op kunstmatige Marsbodem.

Foto rechts **Jerry vanDijk** jerryvandijk.com.

Slechts één herik vormde een bloemknop zonder echt te bloeien. Ook de biomassa opbrengst bleef fors achter en de planten hadden een minimaal ontwikkeld wortelstelsel. Tripmadam bleef vaak wel in leven, maar groeide niet, de twee kiembladen bleven klein en veel planten

werden niet groter dan een paar millimeter. De relatief slechte (door)groei wordt waarschijnlijk, mede, veroorzaakt door de hoge pH, het slechte vochtvasthoudend vermogen en de aanwezige aluminium.

Summary

Are Mars and moon soil suitable for plant growth?

Wieger Wamelink, Joep Frissel, Wilfred Krijnen,

Rinie Verwoert & Paul Goedhart

Mars, moon, heavy metals, germination

If astronauts want to live for a longer period on either Mars or the Moon, the production of local food is a necessity. We show that plants are able to germinate and grow on both Martian and moon soil simulants for a period of 50 days without any addition of nutrients. Growth and flowering on Mars simulant was much better than on moon simulant and even slightly better than on our control of nutrient poor river sand. Reflexed Stonecrop (a wild plant), and crops such as tomato, wheat and cress

and the nitrogen-fixing field mustard performed particularly well; with the latter three flowering and cress and field mustard both producing seeds.

Literatuur

Carlton C.A., R.V. Morris, D.J. Lindstrom, M.M. Lindstrom & J.P. Lockwood, ongedateerd. JSC MARS-1: Martian regolith simulant. www.orbitec.com/store/JSC_Mars_1_Characterization.pdf.

Ferl, R.J. & A.L. Paul, 2010. Lunar Plant Biology - A Review of the Apollo Era. *Astrobiology*10: 261-274.

Foley, C.N., T. Economou & R.N. Clayton, 2003. Final chemical results from the Mars Pathfinder alpha proton X-ray spectrometer. *Journal of Geophysical Research* 108: 37-1 – 37-21.

Leshin, L.A. et al., 2013. Volatile, isotope, and organic analysis of Martian fines with the Mars Curiosity Rover. *Science* 341: 1238937-1-1238937-9.

Rickman, D., C.A. McLemore & J. Fikes, 2007. Characterization summary of JSC-1a bulk lunar mare regolith simulant. www.orbitec.com/store/JSC-1A_Bulk_Data_Characterization.pdf.