

cb

→ bibl

Bibliotheek
Proefstation
Naaldwijk

A
2
G
55

52/mvm

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK

Aluminium, een toxisch element voor de plant.

Berend J. v. Goor

(Gestationeerd door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren)

December 1989

Intern verslag nr. 52

2217379

A
2
5
55

Inleiding

Het element aluminium heeft als drie-waardig element mogelijkheden om zich te binden aan negatieve groepen. Evenals het element silicium, dat naast aluminium staat in het periodiek systeem, vormt het ketens en netwerken. In de bodemchemie maken aluminiumsilicaten een belangrijk deel uit van het minerale deel van de grond. Ook met bepaalde organische stoffen als citroenzuur en oxaalzuur kunnen complexen gevormd worden.

Aluminium speelt in tegenstelling tot het ook drie-waardige ijzer geen positieve rol in de plantevoeding, maar is giftig. Bij verzuring van gronden speelt aluminium een rol. In de bodem komt het als het kation Al^{3+} voor, maar ook als minder giftige en minder opneembare anionen.

Aluminium hoopt zich vaak op in de wortels van planten.

Het element aluminium is waarschijnlijk giftig, omdat het concurreert met noodzakelijke ionen als Ca^{2+} . Zo is dat het geval in de celwanden waar calcium een belangrijke rol heeft. Door aluminium wordt de wortelvorming sterk geremd.

Het is moeilijk een indicatie voor grenswaarden te geven. Zo zijn totaalgehalten in de bodemoplossing niet maatgevend, omdat complexering van aluminium mogelijk is. Een indicatie voor aluminium is wel de Ca:Al verhouding in de grond.

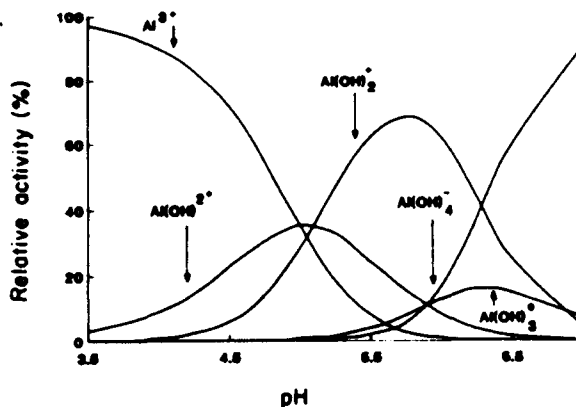
Middelen om aluminiumtoxiciteit te bestrijden zijn verhoging van calcium-niveau (pH), fosfaatbemesting en variatie van soort en hoeveelheid organische stof.

Aluminium in de grond

Men kan het aluminium in de grond onderscheiden in de volgende vormen:

- Oplosbaar aluminium: colloïdaal aluminium
aluminium polymeren
aluminium complexen met organische liganden
- Niet-reactief "mononuclear" aluminium (Al-organische complexen)
- Reactief "mononuclear" aluminium: Al^{3+}
hydroxy aluminiumverbindingen
aluminium anorganische complexen

Het optreden van de verschillende aluminiumionen is sterk pH afhankelijk zoals uit figuur 1 blijkt.



Figuur 1: Relatieve verdeling van de activiteit van Al^{3+} en "mononuclear" hydroxy-Al species als functie van de pH. (Uit Wright, 1989).

De totaalhoeveelheid aluminium in oplossing neemt bij lage pH toe, zo beschrijft Russell (1988) voor een onderzoek van vrij veel gronden van pH 4,5 naar pH 3,7 een toename van 0 - circa 1 mmol.l⁻¹.

Opname van aluminium via de wortel

Over de opname van aluminium en de relaties met gehalten in het bodemvocht zijn nog niet erg veel gegevens bekend. Uit tabel 1 blijkt dat aluminium in het gewas positief gecorreleerd is met Fe, maar negatief met Ca en Mg. Men hanteert wel (Al³⁺):(Ca²⁺) als maatstaf. In grond bleek aluminiumbemesting in de hier geciteerde proeven van Makus het aluminiumgehalte in deze Amaranthussoort merkwaardigerwijze niet te beïnvloeden.

Tabel 1: Linear correlations between leaf blade Al concentration and selected responses for three soil pH levels, Amaranthus spec. (Malus, 1989).

Response	Soil pH		
	4.4 (r)	6.6 (r)	7.3 (r)
Plant height	-0.76**	-0.78**	-0.78**
Plant dry wt	-0.66*	-0.84**	-0.86**
Leaf area	-0.16	-0.51*	-0.59*
Soil test P	-0.60*	-0.46 ^y	0.63**
Leaf blade P	-0.48*	-0.75**	-0.42 ^y
Leaf blade Ca	-0.24	-0.82**	-0.51*
Leaf blade Mg	-0.46 ^y	-0.54*	-0.59*
Leaf blade Fe	0.99**	0.99**	0.99**
Leaf blade B	0.64**	0.70**	0.65**
Leaf blade chlorophyll	-0.59*	-0.51*	-0.81**

Stem petiole, and leaf blade components (dry-weight basis) were all inversely correlated with leaf blade Al.

^y All correlations exceeding ± 0.40 were significant at the 10% level.

* and ** Significant at P = 0.05 or 0.01 respectively.

Fosfaatbemesting verlaagt wel het aluminiumgehalte in blad, hetgeen uit de lage oplosbaarheid van aluminiumfosfaat te verklaren is (figuur 2). In deze proeven bleek het aluminiumgehalte in blad bij pH 6 maximaal te zijn, wat op grond van andere ervaringen met hoge opname van aluminium bij lage pH niet verwacht zou worden. Het zou leiden tot de aanname, dat Al(OH)₂ en andere hydroxyde ionen ook opgenomen zouden worden. Waarschijnlijk is het in figuur 2 beschreven gedrag typisch voor de hier beschreven Amaranthus soort. Aluminium hoopt zich echter evenals ijzer ook op in de wortels van planten, zodat het bladgehalte niet maatgevend kan zijn. Aan de andere kant blijkt uit gegevens van Mengel en Kirkby (1978) dat de toxiciteit van aluminium sterk afneemt als de pH van 4 naar 5 verhoogd wordt. Men mag aannemen dat dit bij de meeste planten het geval is. Complexe binding van aluminium aan organische liganden zal de opname sterk kunnen beïnvloeden.

Een oplossing van 0,01 M CaCl₂ in water lijkt een goede extractiemiddel voor aluminium uit grond te zijn.

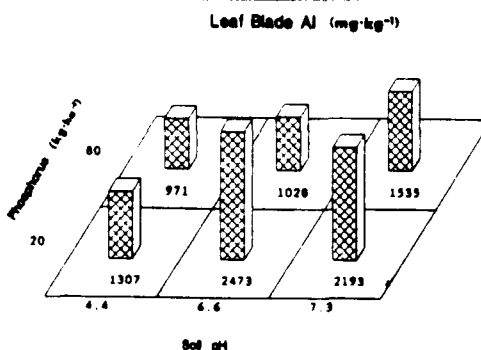


Fig. 2. Leaf blade Al concentration as affected by soil pH and fertilizer P. The LSO for the interaction was 461 mg kg⁻¹; P = 0.01.

Figuur 2: Makus (1989)

Verdeling en transport van aluminium in de plant

Hoewel over het transport van aluminium in de plant door ons nog niet veel informatie gevonden is, kan uit tabel 2 toch enigszins een idee verkregen worden hoe het transportgedrag van aluminium ongeveer is. Daar worden gehalten uit de praktijk gegeven van gewassen in Finland. Hierbij zou uit de hoge gehalten in sterk verdampende gewassen als spinazie en de lagere gehalten in vruchten een goed vervoer via het xyleem en een minder goed transport in de zeevaten geconcludeerd kunnen worden. Aluminium lijkt wat dat betreft op calcium.

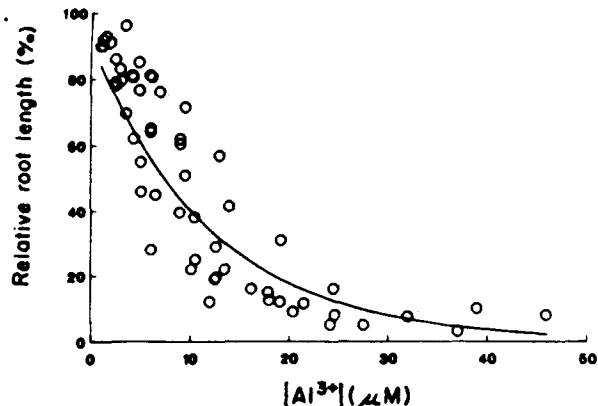
Tabel 2: Enige gegevens over de gehalten aan een aantal voedingselementen in een aantal Finse agrarische produkten. Koivistoinen, P. (1980). Acta Agriculturae Scandinavica Supplementum 22. (uitgedrukt per kg versgewicht).

	Kalium g	Calcium g	Mangaan mg	IJzer mg	Aluminium mg
Tarwe	4	0,3	40	40-70	2-18
Aardappel	5	0,05	2,2	6,7	3
Peen	4	0,3	3,6	4,8	3
Sla	3,5	0,6	5,2	6,7	3
Spinazie	4,7	0,9	17	13	13
Erwt	3,7	0,3	3,8	20	1
Tomaat	3	0,09	1,1	2,9	1
Komkommer	2,4	0,3	1,0	2,4	1
Appel	1,4	0,07	1,2	2,8	1

Toxiciteit van aluminium

Lage concentraties aluminium (kleiner dan 10⁻¹⁰ M) zijn al toxisch in het bodemvocht. Dit blijkt bijvoorbeeld uit figuur 3, waar de invloed op de wortelgroei weergegeven is. Soms heeft accumulatie in de wortel plaats (Mengel en Kirkby, 1978). Tolerantie hiertegen kan een combinatie van

exclusie en interne tolerantie zijn. Toxiciteit van aluminium zal sterk afhankelijk zijn van chelering aan organische verbindingen in de bodem, zoals door Tam (1987) beschreven is.



Figuur 3: Relative tap root length of soybean as a function of calculated (Al^{3+}) in dilute nutrient solutions (16). Tap root lengths were measured after 4 days of growth and compared to root elongation in zero Al treatments. Wright (1989).

Aanbeveling voor het aluminiumniveau in de bodemoplossing

Over de gehalten aan aluminium die in de bodemoplossing toelaatbaar zijn verschilt de literatuur nogal. Waarschijnlijk komt dit omdat deze afhankelijk is van plantesoort en zelfs van de cultivar. Verder zijn er andere factoren als pH, calcium en ionensterkte, die een rol spelen. Gehalten minder dan 1 μmol zijn soms nog groeiremmend, 50% remming van de wortelgroei werd in het gebied van 5-10 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ gevonden (Wright, 1989). Zeer lage concentraties zouden volgens Russell (1989) stimulerend werken. Belangrijk als maatstaf zou de Ca:Al verhouding in de bodemoplossing zijn. Bij een molaire verhouding van Ca:Al kleiner dan 0,2 zou bijvoorbeeld bij spar al ernstige schade optreden (Kazda en Zvacek, 1989). In het blad van planten zou normaal ongeveer 7 mmol.kg^{-1} op de droge massa voorkomen (Mengel en Kirkby, 1978).

Conclusies

- Aluminium is in hogere concentraties (in de orde van 10 μM in het bodemvocht) al giftig voor de plant en accumuleert in de wortels.
- De giftigheid uit zich in sterke remming van de wortelgroei.
- Het element is wat betreft wortelopname positief gecorreleerd met de ijzeropname.
- Calcium concurreert met aluminium, de Al:Ca verhouding is een goede maatstaf voor de toxiciteit.
- Naast het Al^{3+} , dat goed opgenomen wordt en zeer giftig voor de plant is, komen een aantal kationen, zoals $Al(OH)_2^+$ voor.
- Waarschijnlijk wordt het aluminium gemakkelijk vervoert in de transpiratiestroom en maar matig in de zeefvatenstroom. Sterke binding in de weefsels aan negatieve groepen is waarschijnlijk.
- Vermindering van de giftigheid kan onder andere door bekalking verkregen worden.

Literatuur

- Kazda, M. and L. Zvacek, 1989. Aluminium and manganese and their relation to calcium in soil solution and needles in three Norway spruce (*Picea abies*, L. Karst.) stands of Upper Austria. *Plant and Soil* 114: 257-267.
- Koivistoinen, P., 1980. Mineral Element Composition of Finnish Foods. *Acta Agriculturae Scandinavica Supplement* 22: 1-171.
- Makus, D.J., 1989. Aluminium accumulation in vegetable Amaranth grown in a soil with adjusted pH values. *Hort. Science* 24: 460-463.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby, 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, 593 pp.
- Tam, S-C., 1987. Simulated acid rain and the importance of organic ligands on the availability of aluminium in soil. *Water, Air and Soil Pollution* 36: 193-206.
- Wright, R.J., 1989. Soil aluminium toxicity and plant growth. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 20: 1479-1497.
- Russel, ed. by Wild, A., 1988. *Soil Conditions and Plant Growth*. Longman Scientific & Technical, Harlow, G. Br., 991 p.