

Wirkung steigender Thallium-Konzentrationen auf Stoffproduktion und Aufnahme von Thallium und anderen Mineralstoffen durch Buschbohnen und Grünraps in Nährlösungsversuchen

H. MAKRIDIS¹⁾ und A. AMBERGER²⁾

Eingegangen am 22. 5. 1989 / 8. 1. 1990

Einleitung

Thallium ist nach verschiedenen toxikologischen und medizinischen Studien als toxisches Element einzuordnen (ACHENBACH et al., 1979; HECKT, 1982). Umweltkontamination bzw. Anreicherung von Thallium in Böden kommen fast ausschließlich durch anthropogene Aktivitäten zustande, da Tl-Verunreinigungen aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes und Vorkommen in zahlreichen industriellen Prozessen zu starken Emissionen führen können (PIELOW, 1979; PRINZ et al., 1979). Das pflanzliche Wachstum wird durch Thallium beeinträchtigt (SMITH and CARSON, 1977; SIEGEL, 1977; CARLSON et al., 1975; SCHWEIGER und HOFFMAN, 1983).

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, weitere Daten über Aufnahme und Anreicherung vom Thallium in den Pflanzen zu sammeln; insbesondere sollten phytotoxisch wirkende Grenzwerte der Tl-Konzentrationen ermittelt werden. Darüber hinaus galt es, die Wirkung steigender Tl-Konzentrationen auf die Aufnahme essentieller Mineralstoffe zu untersuchen. Hierfür erschienen Nährlösungsversuche als besonders geeignet, da der Boden als Nährstofflieferant oder -sorber ausgeschaltet ist und sich daher spezifische Mangel- oder Toxizitätserscheinungen gezielt induzieren lassen.

Methodik

Versuchspflanzen:	Sorte:
Buschbohnen	Marona
Grünraps	Akela

Nährlösung: nach Hoagland modifiziert.

Hauptnährstoffe	ml/l	Spurennährstoffe	mg/l
1 M KNO ₃	10	Fe-Chelat	100
1 M Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O	3	Mn als MnCl ₂ · 4 H ₂ O	0,5
1 M MgSO ₄ · 7 H ₂ O	2	Cu als CuSO ₄ · 5 H ₂ O	0,02
1 M NH ₄ H ₂ PO ₄	2	Zn als ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0,05
		B als H ₃ BO ₃	0,5
		Mo als Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	0,01

¹⁾ Dr. H. MAKRIDIS, Pigassu 11, GR-41335 Larissa, Griechenland

²⁾ Prof. Dr. A. AMBERGER, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU-München, D-8050 Freising-Weihenstephan

Nährlösungskultur:

Anzucht der Pflanzen in Blähton (2 mm bis 4 mm); Einsetzen in 4 l Kunststoffgefäße; Buschbohnen 4 Pfl./Gef.; Grünraps 6 Pfl./Gef.; bis zum Differenzieren der Nährlösung nach 11 Tagen (Buschbohnen) bzw. 16 Tagen (Grünraps) nur halbe Hoagland-Konzentration; für Grünraps zusätzliche Gabe von 1 ml 1 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ /l Nährlösung; Ernte 21 Tage (Buschbohnen) bzw. 34 Tage (Grünraps) nach dem Einsetzen.

Tl-Steigerung:

0 mg, 1 mg, 2 mg, 5 mg, 10 mg, 15 mg, 20 mg Tl/l Nährlösung als $\text{TlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Da Grünraps im Gegensatz zu Buschbohnen innerhalb der ersten Woche nach Tl-Zugabe keinerlei Wachstumsreaktion zeigte, wurden mit dem Nährlösungswechsel höhere Tl-Mengen zugegeben.

Bestimmung von Thallium:

Photometrisch mit Brillantgrün nach Aufschluß mit konz. HNO_3 (SCHOLL, 1981).

Bestimmung der Mineralstoffe:

Nach Aufschluß mit einem Säuregemisch aus $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 40 : 5 : 2$ v/v (für die Cu-Bestimmung erfolgte der Aufschluß ohne H_2SO_4). K, Ca mittels Flammenphotometer, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu mittels Atomabsorptionsspektrometer.

Ergebnisse

1 Erträge

Buschbohnen

Nach 10tägiger Einwirkungszeit führten schon geringere, vor allem aber höhere Tl-Konzentrationen in der Nährlösung zu einem signifikanten Rückgang des Sproß- und Wurzelwachstums (Abb. 1); ab 2 mg Tl/l Nährlösung waren die Erträge um 11 % (bezogen auf TS) geringer.

Mit steigendem Tl-Angebot bis 20 mg/l nahmen die Erträge (Trockensubstanz) gegenüber der Kontrolle um 30 % (Sproß) bzw. um 40 % (Wurzeln) ab.

Aus Abbildung 1 ist zu entnehmen, daß ein steigendes Tl-Angebot in der Nährlösung das Wachstum der Wurzeln stärker beeinträchtigt als das des Sprosses (Blätter + Stengel). Neben einer unmittelbaren Tl-Wirkung dürften die Mindererträge z. T. auch auf die starke pH-Absenkung (bis unter 4,0) in der Nährlösung durch TlCl_3 -Zugaben zurückzuführen sein.

Das Wachstum der Blattspreiten reagierte empfindlicher als das der Stengel. Erst ab 10 mg Tl/l Nährlösung wurde der Stengelertrag leicht verringert.

Grünraps

Da sich an Grünraps nach 10tägiger Versuchsdauer noch keinerlei Symptome einer Tl-Toxizität zeigten, wurden die Pflanzen nach Erneuerung der Nährlösung für weitere 8 Tage mit teilweise höherem Tl-Angebot kultiviert. 2 mg Tl/l Nährlösung bewirkten eine signifikante Abnahme der Sproß- und Wurzelerträge um 22 % bzw. 23 % (bezogen auf die TS) (Abb. 2). Der stärkste Ertragsrückgang war bereits durch 5 mg Tl/l Nährlösung bei 18tägiger Einwirkungszeit erreicht (Abb. 2): Sproß und Wurzeln reagierten gleich empfindlich.

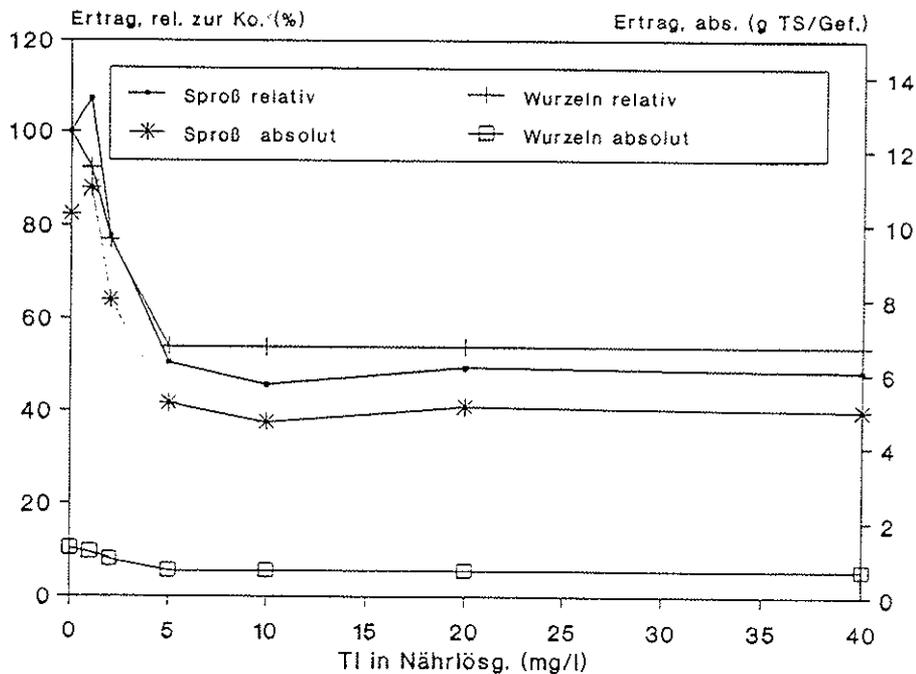


Abb. 1

Wirkung steigender Thallium-Konzentrationen in der Nährlösung auf den Ertrag von Buschbohnen.
 Relativer Ertrag Kontrolle (= 100): durchgezogene Linien; TS-Ertrag pro Gefäß: punktierte Linien

Effect of increasing Thallium levels in nutrient solution on yields of bush beans.
 Yield relative to control (= 100): solid lines; dry matter yield per pot: dashed lines

2 Thallium-Gehalte und -Entzüge der Pflanzen

Ein steigendes Tl-Angebot über die Nährlösung bewirkte einen deutlichen Anstieg der Tl-Gehalte und -Entzüge von Buschbohnen (Tab. 1) und Grünraps (Tab. 2); in sämtlichen Pflanzenorganen (Wurzeln, Sproß = Stengel und Blätter) wurden steigende Tl-Mengen eingelagert. Bis etwa 1 mg Tl/l Nährlösung wurde der Anstieg der Tl-Gehalte allein durch höhere Tl-Aufnahme erreicht; ab 2 mg Tl/l führte ein vermindertes Wachstum über einen Konzentrationseffekt zu hohen Tl-Gehalten (siehe Abb. 3).

Ein Tl-Angebot von 1 mg Tl/l führte in Buschbohnen bereits zu einem starken Anstieg der Tl-Gehalte der Wurzeln (742 ppm gegenüber 62 ppm im Sproß), im Grünraps hingegen zu einer sehr starken Zunahme des Tl-Gehaltes des Sprosses (244 ppm gegenüber 57 ppm in den Wurzeln). Entsprechendes gilt auch für die Tl-Entzüge.

Buschbohnen können demnach das über die Wurzeln aufgenommene Thallium nicht im gleichen Ausmaß wie Grünraps in den Sproß weiterleiten (Wurzel/Sproß-Barriere). Die Grünrapswurzeln wiesen erst ab 5 mg Tl/l Nährlösung höhere Tl-Gehalte auf als der Sproß. Ab 2 mg Tl/l Nährlösung zeigten die Wurzeln beider Pflanzen Tl-Gehalte gleicher Größenordnung; da die Pflanzen insbesondere in den Varianten mit hoher Tl-Versorgung bereits eine starke Wachstumshemmung zeigten, dürfte es sich hier größtenteils nicht um eine echte Tl-Aufnahme, sondern mehr um eine Tl-Sorption handeln.

Bemerkenswert ist ferner, daß in der Variante 1 mg Tl/l Nährlösung Grünrapspflanzen (18 Tage alt) mit insgesamt 2749 mg bereits 69 %, Buschbohnen (10 Tage alt) mit 945 mg dagegen nur etwa 24 % des gesamten Tl-Angebotes aufgenommen haben.

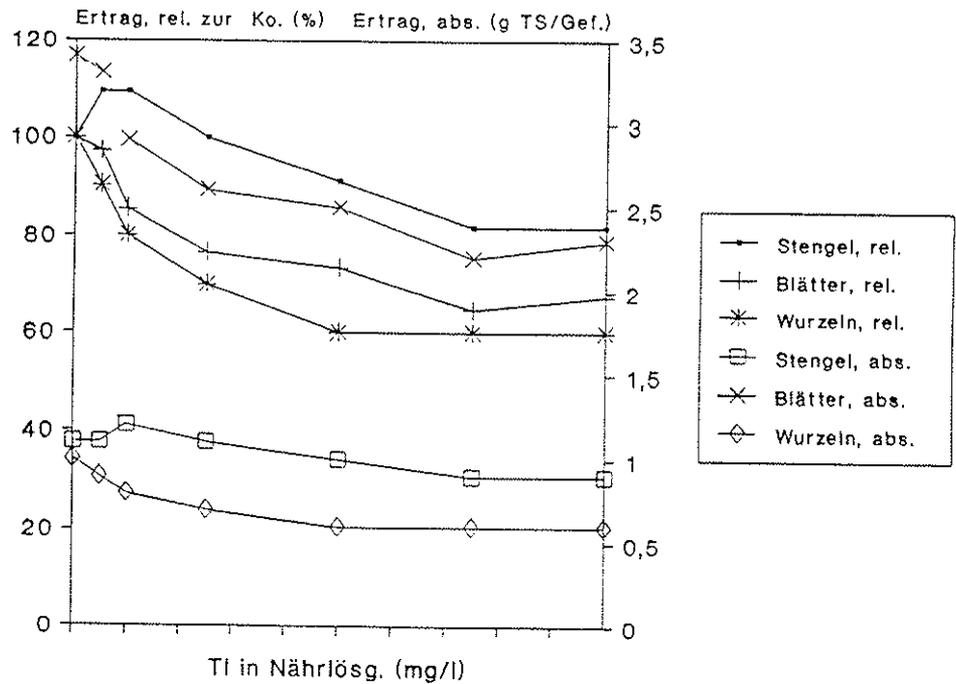


Abb. 2

Wirkung steigender Thallium-Konzentrationen in der Nährlösung auf den Ertrag von Grünrapen.
 Relativertrag Kontrolle (= 100): durchgezogene Linien; TS-Ertrag pro Gefäß: punktierte Linien

Effect of increasing Thallium levels in nutrient solution on yields of green rape.
 Yield relative to control (= 100): solid lines; dry matter yield per pot: dashed lines

3 Toxizitätssymptome

Buschbohnen erwiesen sich als wesentlich empfindlicher gegenüber Thallium als Grünrapen. Bereits nach 3 Tagen zeigten erstere ab 2 mg Tl/l Nährlösung eine deutliche Wachstumsbeeinträchtigung, die mit der Versuchsdauer stärker wurde. Die Tl-Zugabe zur Nährlösung wirkte sich vor allem auf das Wachstum der Wurzeln nachteilig aus und führte zu Verbräunungen. Die Blattadern waren zunächst gelblich verfärbt, später erfaßte diese Chlorose die gesamten Interkostalfelder mit teilweisem Übergang zu Nekrosen.

Grünrapen reagierte erstmals nach ca. 8 Tagen ab einem Tl-Angebot von 5 mg/l in der Nährlösung mit gehemmtem Wachstum. Toxizitätssymptome waren erst nach Erhöhung der Tl-Konzentration auf mindestens 10 mg Tl/l Nährlösung gut zu erkennen: Verbräunung der Wurzeln nach anfänglicher Wachstumshemmung. Auf die gesamte Blattfläche verteilt traten kleinere chlorotische Flecken in den Interkostalfeldern auf, die sich mit längerer Tl-Einwirkung vergrößerten und nekrotisierten; zum Teil wurden auch Blattrandnekrosen beobachtet.

4 Mineralstoffaufnahme

In den Abbildungen 4 und 5 wurde der Einfluß eines steigenden Tl-Angebotes und einer deutlichen Zunahme der Tl-Gehalte und -Entzüge der Pflanzen auf andere Mineralstoffgehalte relativ dargestellt (ohne Tl = 100).

Tab. 1

Thallium-Gehalte und -Entzüge von Buschbohnen nach unterschiedlicher Thallium-Gabe in der Nährlösung
Thallium concentrations and uptake of bush beans at varied Thallium levels in nutrient solution

Tl-Gabe mg Tl/l NL	Tl-Entzüge			
	Blätter	Stengel	Sproß	Wurzeln
	µg/Gef.			
Ko	< 1	4	4	3
1	102	175	277	668
2	137	281	418	895
5	235	548	783	1618
10	338	842	1181	2001
15	347	992	1339	2492
20	390	1668	1558	3124
GD ₅ x	---	----	175	----

Tab. 2

Thallium-Gehalte und -Entzüge von Grünrapen nach unterschiedlicher Thallium-Gabe in der Nährlösung
Thallium concentrations and uptake of green rape at varied Thallium levels in nutrient solution

Tl-Gabe mg Tl/l NL	Tl-Entzüge	
	Sproß	Wurzeln
	µg/Gef.	
Ko	11	10
1	2681	68
2	9047	991
5	15510	2462
10	19067	4076
20	21230	4691
40	20614	6854
GD ₅ x	3820	----

Buschbohnen reagierten sehr empfindlich auf steigende Tl-Konzentrationen mit einer Verringerung der Gehalte an Kalium (auf 84 %) sowie an Kupfer, Zink und Eisen; geringer war der Einfluß auf Magnesium und Mangan. Ein höheres Tl-Angebot führte als Folge eines Konzentrationseffektes wieder zu einem geringen Anstieg der Gehalte.

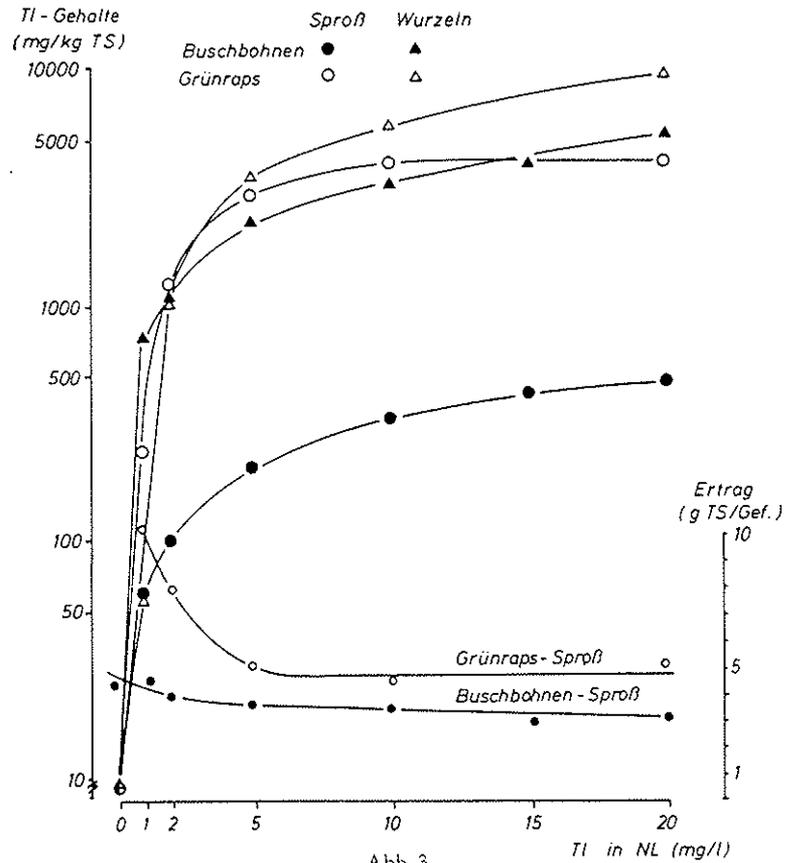


Abb. 3
Thallium-Gehalte und -Erträge von Buschbohnen und Grünraps in Abhängigkeit vom Thallium-Angebot der Nährlösung
Thallium contents and yields of bush beans and green rape as dependent on Thallium supply in nutrient solution

Ca-Gehalte und -Ertrag wurden durch 1 mg Tl/l Nährlösung um etwa 19 % erhöht (Abb. 4).

Grünraps erwies sich als weitgehend unempfindlich: Ein steigendes Tl-Angebot führte lediglich zu einem nennenswerten Rückgang der Cu- und z. T. auch der K-Gehalte (Abb. 5). Während die Zunahme der Ca-, Mg-, Mn- und Fe-Gehalte auf das durch Thallium verminderte Wachstum zurückzuführen war, wurden die Zn-Gehalte über das aus dem Konzentrationseffekt zu erwartende Ausmaß hinaus gefördert.

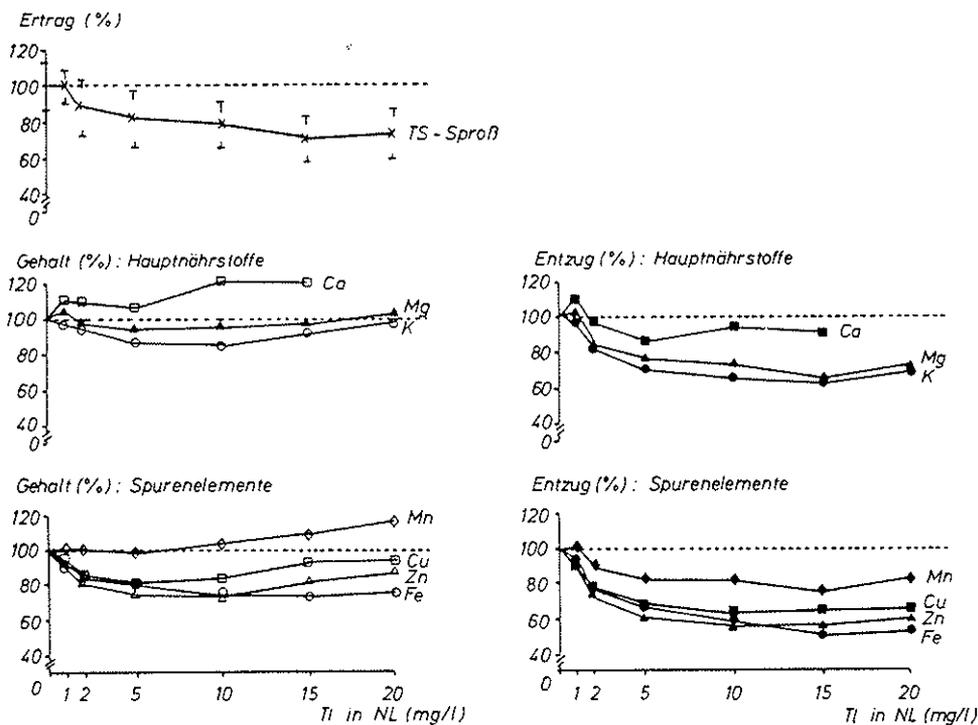


Abb. 4

Veränderungen der Erträge sowie Mineralstoffgehalte und -entzüge von Buschbohnen in Abhängigkeit vom Thallium-Angebot über die Nährlösung (Kontrolle ohne Tl = 100)

Relative changes of yields, contents and uptake of minerals in bush beans as dependent on Thallium supply in nutrient solution (control without Tl = 100)

Diskussion

Phytotoxische Grenzwerte

Nach DAVIS et al. (1978) kann die Mindestkonzentration eines Elements, die zu Ertrags-einbußen von mindestens 10 % führt, in pflanzenphysiologischer Hinsicht als Toxizitätsschwellenwert angenommen werden. Auf dieser Grundlage lassen sich aus den vorliegenden Ergebnissen folgende Tl-Grenzwerte (gesamter Sproß) ermitteln:

Buschbohnen (4 Wochen alt, 10 d Tl-Einwirkung) 130 mg Tl/kg TS,

Grünraps (5 Wochen alt, 18 d Tl-Einwirkung) 800 mg Tl/kg TS.

Nimmt man dagegen den phytotoxischen Grenzwert erst für einen Ertragsrückgang von mindestens 25 % an, dann liegen die entsprechenden Tl-Gehalte der Pflanzen bei 340 mg Tl/kg TS (Buschbohnen) bzw. 1900 mg Tl/kg TS (Grünraps).

Buschbohnenpflanzen erwiesen sich damit als sehr viel empfindlicher gegenüber Thallium als Grünraps. In der Literatur werden ähnlich große Unterschiede in den Toxizitätsgrenzwerten je nach Pflanzenart gefunden. DAVIS et al. (1978) stellten für Sommergerste (5-Blatt-Stadium) in Sandkultur 20 mg Tl/kg TS als kritischen Wert fest (10 % Ertragseinbuße). Nach SCHWEIGER und HOFFMANN (1983) wurden deutlich sichtbare Schäden an Sonnenblumen, Mais und Kopfsalat ab 100 mg Tl/kg TS, an Spinat und Grünkohl erst ab

280 mg Tl/kg TS bzw. 500 mg Tl/kg TS beobachtet. Nach $TlNO_3$ -Zufuhr über den Boden wurden Ertragseinbußen von Salat bereits ab 30 mg Tl/kg TS festgestellt, von Grünkraut und Rosenkohl dagegen erst ab 1000 mg/kg (HOFFMANN et al., 1982).

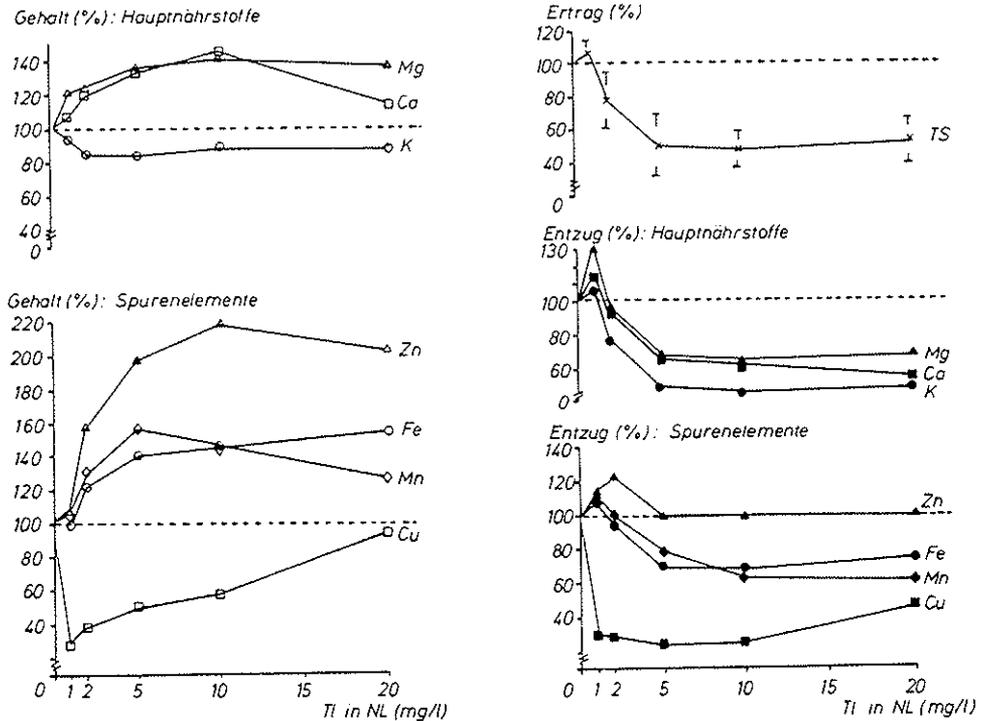


Abb. 5

Veränderungen der Erträge sowie Mineralstoffgehalte und -entzüge von Grünkraut in Abhängigkeit vom Thallium-Angebot über die Nährlösung (Kontrolle ohne Tl = 100)
 Relative changes of yields, contents and uptake of minerals in green rapeseed as dependent on Thallium supply in nutrient solution (control without Tl = 100)

Aufnahme und Verlagerung von Thallium

Die relative Tl-Toleranz von Grünkraut beruht nach den vorliegenden Ergebnissen nicht auf einer geringeren Tl-Aufnahme, im Gegenteil, Grünkraut zeigte ein sehr viel höheres Anreicherungsvermögen für Thallium als Buschbohnen. Die besonders starke Anreicherung im Sproß bei niedrigen Gehalten in den Wurzeln deutet auf eine hohe Beweglichkeit von Thallium hin. Im Gegensatz dazu nahmen die Tl-Gehalte von Buschbohnen in der Reihenfolge Wurzel > Stengel > Blatt ab, d. h., es lag ein schlechteres Transportvermögen (Wurzel/Sproß-Barriere?) vor. Möglicherweise ist die unterschiedliche Ausprägung von Toxizitätssymptomen auf die unterschiedliche Mobilität des Thalliums in den einzelnen Pflanzenarten zurückzuführen. So zeigten Buschbohnen vorwiegend Aufhellungen der Blattnervatur, während Grünkraut hauptsächlich die Blätter und Internodien geschädigt wurde, so daß im letzteren Fall auf einen Abtransport von Thallium aus dem Bereich des Leitgewebes geschlossen werden kann. Es ist denkbar, daß hierin der Grund für die höhere Tl-Toleranz von Cruciferen liegt. Nach PIEPER und AUSTENFELD

(1985) reichert sich Thallium in Erbsen (*Pisum sativum*) und Ackerbohnen (*Vicia Faba*) bevorzugt in den Stengeln an; Ackerbohnen wiesen ein schlechteres Tl-Transportvermögen auf. Bisher wurden nur verhältnismäßig wenige Pflanzenarten hinsichtlich der Verlagerung von Thallium untersucht, obwohl dies zu einem besseren Verständnis der Toleranz gegenüber Tl-Toxizität führen könnte. Möglicherweise spielt auch das unterschiedliche Verhalten von Tl^{3+} sowie Tl^+ und Tl^{3+} -Komplexen eine Rolle. PÖRSCH und AUSTENFELD (1985) sowie PIEPER und AUSTENFELD (1985) stellten an Erbsen (*Pisum sativum*) eine stärkere Aufnahme von mit EDTA komplexiertem Tl^+ und Tl^{3+} fest, während Ackerbohnen (*Vicia Faba*) nach Angebot von Tl-EDTA eher niedrige Tl-Gehalte aufwiesen.

Wechselwirkung mit anderen Mineralstoffen

Verschiedentlich wird von einem Ionenantagonismus in der Aufnahme zwischen Thallium und Kalium berichtet (BANGE und VAN IREN, 1970; SIEGEL und SIEGEL, 1975, 1976a, 1976b; SCHWEIGER und HOFFMANN, 1983). Auch in unseren Versuchen führte bereits ein geringes Tl-Angebot (z. B. 1 mg Tl/l Nährlösung für Buschbohnen und 2 mg Tl/l Nährlösung für Grünraps) zu einem meßbaren Rückgang der K-Gehalte im Pflanzenmaterial. Offensichtlich bedingt durch den Rückgang der K-Aufnahme erhöhte sich dadurch zumindest relativ die Aufnahme anderer Kationen (Ca^{++} und Mg^{++}).

Thallium hemmt die K-Aufnahme vermutlich sehr spezifisch, da bereits bei einem molaren Verhältnis von $Tl^+/K^+ = 10^{-4} - 10^{-3}$ eine deutliche Wirkung gegeben war. Sicher ist, daß Tl^+ ähnlich dem K^+ aktiv gegen ein Konzentrationsgefälle aufgenommen wird, wahrscheinlich sogar durch den gleichen Aufnahmemechanismus. In tierischen Geweben ist Tl^+ als Aktivator der (Na- und K-spezifischen) ATPase bekannt und kann K^+ in seiner Wirkung vollkommen ersetzen (BRITTON und BLANK, 1968). Der Antagonismus zwischen K^+ und Tl^+ dürfte sehr wesentlich auf den gleichen Ionendurchmesser ($K^+ = 3,31 \text{ \AA}$ und $Tl^+ = 3,30 \text{ \AA}$) zurückzuführen sein.

Unsicher ist, ob Tl^{3+} in gleicher Weise wirkt oder erst nach der Reduktion zum Tl^+ . Letzteres könnte für unsere Nährlösung zutreffen, da der pH-Wert im Nährmedium stark abgefallen war. Ein tiefer pH-Wert kann u. a. eine Erhöhung der Plasmalemmadurchlässigkeit bewirken (siehe MARSCHNER, 1986, und hierin zitierte Literatur).

Die Ursache für die toxische Wirkung des Tl^+ in der Pflanze dürfte vermutlich in seinem spezifischen Antagonismus gegenüber K^+ liegen. BANGE und VAN IREN (1970) vermuten eine Verdrängung des K^+ von spezifischen Sorptionsstellen durch Tl^+ . Möglicherweise ist die Bindung des Tl^+ im Unterschied von K^+ nicht reversibel, so daß es zur Blockierung durch K^+ geförderter Vorgänge kommt (wie z. B. der Stomatabewegung (BAZZAZ et al., 1974). Dafür sprechen auch Ergebnisse von SIEGEL und SIEGEL, (1975, 1976a, 1976b), wonach eine Tl-Toxizität in K-Mangelkulturen im Falle von *Aspergillus* sp., Hefe und Gurkenkeimpflanzen wesentlich stärker auftrat als bei guter K-Versorgung. Ähnliches fanden auch SCHWEIGER und HOFFMANN (1983). Allerdings konnten wir die von ihnen berichtete gleichzeitige Hemmung der Aufnahme von Zink, Kupfer und Mangan an Grünraps nur für Kupfer bestätigen. Für Buschbohnen ließ sich auch in der vorliegenden Arbeit ein schwacher Rückgang der Cu-, Zn- und Fe-Gehalte und -Entzüge (und geringere Erträge) feststellen, während die Mn-Aufnahme ebenso wie bei Grünraps gefördert wurde.

Es bedarf weiterer eingehender Untersuchungen, um zu klären, ob die Tl-Toxizität auf einer mehr oder weniger irreversiblen Bindung an K-Sorptionsstellen beruht und ob Unterschiede in der Tl-Toleranz auf eine mehr oder weniger starke Bindung von Thallium und/oder unterschiedliche Regeneration der K-Träger bzw. K-Sorptionsstellen zurückgehen.

Zusammenfassung

Das *Wachstum* beider Pflanzen wurde ab Tl-Konzentrationen von 2 mg Tl/l Nährlösung als $\text{TlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ deutlich gehemmt.

Grünraps zeigte eine höhere Tl-Aufnahme als Buschbohnen und eine höhere Mobilität des Thallium in der Pflanze (Anreicherung im Sproß). In Buschbohnen waren dagegen die Tl-Gehalte in der Wurzel am höchsten.

Buschbohnen erwiesen sich als wesentlich empfindlicher gegenüber Thallium als Grünraps. Die phytotoxischen *Grenzwerte* für eine Ertragsminderung von 10 % bzw. 25 % betragen für erstere 130 mg bzw. 340 mg, für letztere 800 mg bzw. 1900 mg Tl/kg TS.

Ein zunehmendes Tl-Angebot über die Nährlösung führte in Buschbohnen zu einer Abnahme der K-, Cu-, Zn- sowie Fe-Aufnahme bis zu 20 %, die Beeinflussung der Ca-, Mg- und Mn-Aufnahme war nur gering. In Grünraps ging die Aufnahme von K und Cu zurück, die von Ca, Mg, Mn, Fe und Zn wurde geringfügig gefördert.

Danksagung

Wir danken Frau Dr. Amann für die gründliche Überarbeitung des Manuskriptes.

Summary

MAKRIDIS, H. und AMBERGER, A.: *Wirkung steigender Thallium-Konzentrationen auf Stoffproduktion und Aufnahme von Thallium und anderen Mineralstoffen durch Buschbohnen und Grünraps in Nährlösungsversuchen (Effect of increasing levels of Thallium on yield and uptake of Thallium and further mineral nutrients by bush beans and green rape grown in nutrient solution)*.

Landwirtsch. Forsch. 42, 1989

Growth of both plant species was clearly inhibited with concentrations of 2 mg Tl/l nutrient solution (as $\text{TlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) and higher.

Green rape showed a higher Thallium uptake than bush beans and a greater mobility of Thallium in the plant (enrichment in shoots). In contrary, bush beans had higher concentration of Thallium in roots than in shoots.

Bush beans were more sensitive to Thallium than green rape. Phytotoxic levels which reduced yields by 10 % or 25 % were found at Thallium concentrations of 130 mg or 340 mg Tl/kg dry matter in bush beans, and at Thallium concentrations of 800 mg or 1900 mg Tl/kg dry matter in green rape, respectively.

An increasing Thallium supply in nutrient solution to bush beans resulted in a decrease of K-, Cu-, Zn- as well as Fe-uptake up to 20 %, the effects on Ca-, Mg- and Mn-uptake were inferior. In green rape the uptake of K and Cu decreased, while uptake of Ca, Mg, Mn, Fe and Zn was slightly enhanced by the increased Thallium supply.

Literatur

- ACHENBACH, C. O., HAUSWIRT, C., HEIDRICH, R., ZISKOVEN, F., KÖHLER, J., SMEND, J. und KOWALEWSKI, S., 1979: Toxizität und Teratogenität von Thallium. *Dt. Ärztebl.* 48, 3189-3192
- BANGE, G. G. J. and VAN IREN, F., 1970: The absorption of Thallium ions by excised barley roots. *Acta Bot. Netherl.* 19 (5), 646-658
- BAZZAZ, F. A., CARLSON, R. W. and ROLFE, G. L., 1974: The effect of heavy metals on plants. Part I: Inhibition of gas exchange in Sunflower by Pb, Cd, Ni and Tl. *Environ. Pollut.* 7, 241-246
- BRITTON, J. S. and BLANK, N., 1968: Thallium activation of the $(\text{Na}^+ - \text{K}^+)$ -activated ATPase of rabbit kidney. *Biochim. Biophys. acta* 159, 160-166

- CARLSON, R. W., BAZZAZ, F. A. and ROLFE, G. L., 1975: The effect of heavy metals on plants. Part II: Net photosynthesis and transpiration of the whole, corn and sunflower plants treated with Pb, Cd, Ni and Tl. *Environ. Res.* 10, 113-120
- DAVIS, R. D., BECKETT, P. H. and WOLLAN, E., 1978: Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant Soil* 49, 395-408
- HECKT, H., 1982: Die verschiedenen Wege und Möglichkeiten des Eintrags von Schwermetallen in die Futtermittel und die dabei zu beachtenden Belastungsgrenzen. *Landwirtsch. Forsch.* 39, 94-107
- HOFFMANN, G., SCHWEIGER, P. und SCHOOL, W., 1982: Aufnahme von Thallium durch landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzpflanzen. *Landwirtsch. Forsch.* 35, 45-54
- MARSCHNER, H., 1986: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London
- PIELOW, E., 1979: Umweltschäden durch Thallium in der Umgebung eines Zementwerkes. *Umwelt* 5, 394-396
- PIEPER, B. und AUSTENFELD, F. A., 1985: Phytotoxizität von Thallium in Hydrokultur. Teil 2: Einfluß von Tl (III) auf das Wachstum und die Schwermetallgehalte von Erbsen- und Ackerbohnenpflanzen. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde.* 148, 83-91
- PÖTSCH, K. und AUSTENFELD, F. A., 1985: Phytotoxizität von Thallium in Hydrokultur. Teil 1: Einfluß von Tl (I) auf das Wachstum und die Schwermetallgehalte von Erbsen- und Ackerbohnenpflanzen. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde.* 148, 73-82
- PRINZ, B. G., KRAUSE, G. H. und STRATMANN, H., 1979: Thalliumschäden in der Umgebung der Dyckerhoff-Zementwerke AG in Lengerich, Westfalen. *Staub-Reinhalt, Luft* 39, 457-462
- SCHOLL, W., 1981: Bestimmung von Thallium in verschiedenen anorganischen und organischen Matrices - ein einfaches photometrisches Routineverfahren mit Brillantgrün. *Landwirtsch. Forsch.* 34, 275-286
- SCHWEIGER, P. und HOFFMANN, G., 1983: Thallium-Aufnahme verschiedener Pflanzen in Hydrokultur. *Kali-Briefe* 16, 391-398
- SIEGEL, B. Z. and SIEGEL, S. M., 1975: Selective role for potassium in the phytotoxicity of thallium. *Bioinorg. chem.* 4, 93-97
- SIEGEL, B. Z. and SIEGEL, S. M., 1976a: Thallium antagonism toward potassium dependent system. *Bioinorg. chem.* 6, 229-232
- SIEGEL, B. Z. and SIEGEL, S. M., 1976b: Effect of potassium on thallium toxicity in Cucumber seedlings: Further evidence for potassium-thallium ion antagonism. *Bioinorg. chem.* 6, 341-345
- SIEGEL, S. M., 1977: The cytotoxic response of "Nicotiana" protoplasts to metal ions: A survey of the chemical elements. *Water Air Soil Pollut.* 8, 293-304
- SMITH, I. C. and CARSON, B. L., 1977: *Trace metals in the environment*. Vol. 1. Thallium. Ann. Arbor. Science Pub. Inc., Michigan