

Beziehung zwischen der Eisenversorgung von Weinreben und dem pH-Verlauf in der Nährlösung

von

H. MARSCHNER

Relation between iron supply to grapevine and pH pattern in the nutrient solution

Summary. — In water culture experiments the effects of iron deficiency (—Fe) and iron supply as FeEDTA (control) or Fe(OH)₃ on the pH pattern in the nutrient solution in the harvest composition, the wine pH and the level of free SO₂ are also significant have been studied.

With sufficient iron (FeEDTA), the pH of the nutrient solution increased from 6 to approximately 7 during the experiment. However, the pH decreased under iron stress (—Fe or Fe(OH)₃) to as low as 4. Simultaneously with this decrease in pH, chlorosis occurred on the young leaves; with Fe(OH)₃-supply, however, the pH rose again after some days, accompanied by greening of the leaves. At harvest, the young leaves of the Fe(OH)₃ treatment contained more iron and the chlorophyll content was at least as high as in the control (FeEDTA). Nevertheless, with Fe(OH)₃ the shoot growth was depressed as much as in plants without iron supply (—Fe).

The results indicate that like other dicotyledonous plant species, grapevine is also able to lower the pH of the growth medium under iron stress and utilize inorganic Fe-III compounds even in well aerated systems. This regulation mechanism is probably of considerable importance for the iron uptake from soils low in iron availability.

Einleitung

Pflanzenarten unterscheiden sich bekanntlich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Eisenmangel, insbesondere auf Kalkstandorten („Kalkchlorose“); auch innerhalb einer Art bestehen beachtliche Sortenunterschiede, z. B. bei Weinreben (STELLWAAG und KNICKMANN 1955, SAGLIO 1969), *Citrus* (WUTSCHER und OLSON 1970) oder Erdnuß (HARTZOOK, *et al.* 1974). Geringere Empfindlichkeit gegenüber Eisenmangel bzw. besondere Fähigkeit zur Aufnahme und Verwertung von Eisen im Stoffwechsel wird als „Eisen-Effizienz“ bezeichnet (BROWN *et al.* 1967). Verantwortlich für erhöhte „Eisen-Effizienz“ können verschiedene Faktoren sein, z. B. geringere Hemmwirkung von Phosphat auf Aufnahme und Verlagerung von Eisen (BROWN und AMBLER 1970) oder stärkere pH-Absenkung im Substrat bei Eisenmangel (OERTLI und JACOBSON 1960). Unter diesem letzteren Gesichtspunkt wurden in den vergangenen Jahren eingehendere Untersuchungen angestellt (VENKAT RAJU und MARSCHNER 1972, VENKAT RAJU *et al.* 1972). Dabei zeigte sich, daß nur bestimmte Pflanzenarten zur pH-Absenkung im Substrat bei Eisenmangel in der Lage sind (MARSCHNER *et al.* 1974).

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, festzustellen, ob Weinreben zu den Pflanzenarten gehören, die bei Eisenmangel den pH-Wert des Substrates absenken und damit auch anorganische Eisen-III-Verbindungen besser verwerten können und ob hierbei sortenspezifische Reaktionsunterschiede auftreten.

Material und Methoden

Bewurzelung und Vorkultur der Stecklinge (Sorten Gf. I-25-4 und Silvaner) erfolgten für 5 Wochen in vollständiger Nährlösung mit 0,5 ppm Fe als FeEDTA. Die Nährlösung (Ausgangs-pH 5,7) hatte folgende Zusammensetzung in mM: 2,0 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,1 KH_2PO_4 ; 0,65 MgSO_4 ; 0,50 K_2SO_4 ; 2×10^{-2} H_3BO_3 ; 2×10^{-3} MnSO_4 ; 1×10^{-4} ZnSO_4 ; 2×10^{-4} CuSO_4 ; 4×10^{-4} $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

Zu Versuchsbeginn betrug die Trieblänge ca. 45 cm; die Pflanzen waren normalgrün. Die Reben wurden einzeln in schwarzen Plastikdosen mit jeweils 1 l Nährlösung gehalten. Nach erneutem Nährlösungswechsel und Einstellen des pH-Wertes mit KOH auf 6,5 wurde das Eisenangebot variiert:

- Variante I = —Fe
 Variante II = FeEDTA
 Variante III = $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Jede Variante hatte 5 Wiederholungen. Beim ersten Versuch wurden zunächst den Varianten II und III je 5 ppm Fe angeboten. Da auch bei der Variante mit FeEDTA-Angebot der Verdacht auf leichten Eisenmangel bestand, wurde nach 3 Wochen Versuchsdauer bei den Varianten II und III das Eisenangebot jeweils auf 10 ppm Fe erhöht.

Beim Versuch 2 (Vergleich Gf. I-25-4 mit Silvaner) erfolgte von Versuchsbeginn an das Eisenangebot als FeEDTA bzw. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ jeweils in Höhe von 10 ppm Fe.

Die pH-Werte wurden täglich gemessen, die Nährlösungen ständig belüftet und im Abstand von ca. 1 Woche vollständig gewechselt. Die neue Nährlösung wurde dabei mit KOH oder H_2SO_4 auf den jeweiligen pH-Wert der ausgewechselten Nährlösung eingestellt. Das $\text{Fe}(\text{OH})_3$ wurde immer einen Tag vor dem Nährlösungswechsel frisch hergestellt (Fällung von FeCl_3 mit NaOH).

Der erste Versuch mit der Sorte Gf. I-25-4 fand in den Monaten Februar/März im Gewächshaus (22—26 °C) mit Zusatzbeleuchtung (Leuchtstoffröhren) statt, der zweite Versuch mit beiden Sorten in den Monaten Juli—September unter Freilandbedingungen in einer Vegetationshalle.

Am Versuchsende erfolgte Ermittlung von Frisch- und Trockengewicht (Gefrier-trocknung). Für die Bestimmungen von Chlorophyll sowie Fe und P wurden nur die Blätter der obersten 50 cm des Haupttriebes verwendet, da hier der Effekt der unterschiedlichen Eisenbehandlung am deutlichsten ausgeprägt war. Die Chlorophyllbestimmung erfolgte in 80 %igem Acetonextrakt, P wurde kolorimetrisch und Fe mit dem Atomabsorptionsspektrophotometer bestimmt.

Ergebnisse

Wie Abb. 1 zeigt, schwankte in den ersten 14 Tagen unabhängig von der Behandlung der pH-Wert der Nährlösung zwischen 6,0 und 7,5. 14 Tage nach Versuchsbeginn trat bei den Varianten —Fe und $\text{Fe}(\text{OH})_3$ leichte und 4 Tage später starke Chlorose an den jüngsten Blättern auf. Der Beginn der Chlorose war mit auffälligem pH-Abfall verbunden. Nach vorübergehendem Wiederanstieg fiel der pH-Wert ca. 3 Wochen nach Versuchsbeginn bei den Varianten —Fe und $\text{Fe}(\text{OH})_3$ drastisch ab und verblieb bei —Fe bis zum Versuchsende zwischen 4,5 und 4,0; bei $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kam es dagegen, verbunden mit Wiederergrünen, zum erneuten Anstieg des pH-Wertes.

Überraschenderweise traten auch bei den Kontrollen mit FeEDTA, insbesondere mit zunehmender Versuchsdauer, starke Schwankungen im pH-Wert auf. Latenter

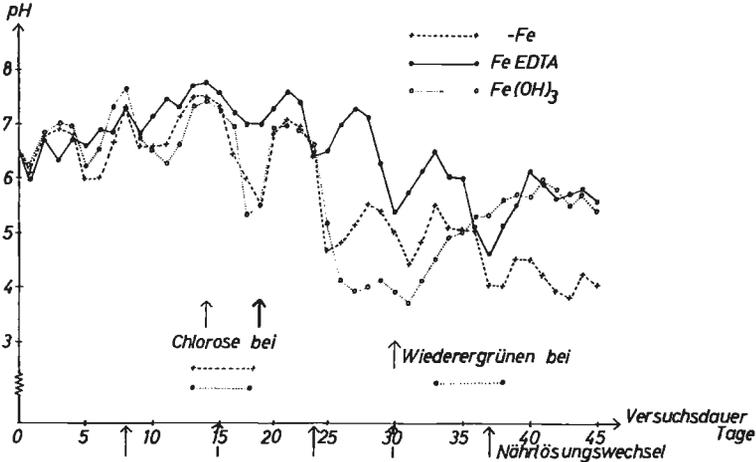


Abb. 1: pH-Verlauf in der Nährlösung in Abhängigkeit vom Eisenangebot bei der Sorte Gf. I-25-4.

Effect of iron supply on the pH pattern of the nutrient solution (variety „Gf I-25-4“).

Eisenmangel war wenig wahrscheinlich, da das Eisenangebot bereits nach 3 Wochen von 5 auf 10 ppm Fe erhöht worden war und in der Nährlösung beim wöchentlichen Wechsel die FeEDTA-Konzentration in der Regel noch bei 90 % der Ausgangskonzentration lag. Die pH-Schwankungen bei der Kontrolle wurden vermutlich primär durch unterschiedlich rasche Verarmung der Nährlösung an Nährstoffen (Kationen > Anionen) verursacht, da nach dem Nährlösungswechsel der pH-Wert bei den Kontrollen (FeEDTA) immer wieder deutlich anstieg (Abb. 1).

Am Versuchsende bestanden zwischen den Behandlungen kaum Unterschiede im Längenwachstum der Sprosse, wohl aber im Trockengewicht der Wurzeln und Sprosse (Tabelle 1). Die gleichmäßigere Eisenversorgung bei FeEDTA spiegelte sich deutlich in den höheren Trockengewichten wider. Überraschend war das geringe Trockengewicht vor allem der Sprosse bei den inzwischen wieder völlig ergrüntem Pflanzen der Variante mit Fe(OH)₃. Die Blätter dieser Pflanzen waren besonders dunkelgrün und hatten den höchsten Chlorophyllgehalt. Der unterschiedliche Chlorophyllgehalt bei den 3 Varianten stimmt gut mit den jeweiligen Eisengehalten überein, die bei Fe(OH)₃-Angebot außerordentlich hoch sind.

Wegen der dunkelgrünen Blattfarbe sowie der angebotenen Eisenform bestand bei der Fe(OH)₃-Variante der Verdacht eines Zusammenhanges zwischen Hemmung des Sproßwachstums und induziertem Phosphormangel (Ausfällung bzw. Sorption von Phosphaten in der Nährlösung?). Zumindest die Gehalte an P in der Trockensubstanz sprechen aber gegen diese Deutung.

Das ausgeprägte Längenwachstum der Sprosse sowie das sehr weite Sproß/Wurzel-Verhältnis bei allen 3 Varianten (Tabelle 1) zeigten, daß bei diesem Versuch vor allem die Lichtintensität im Verhältnis zur Temperatur zu niedrig war. Daher wurde dieser Versuch nochmals unter Freilandbedingungen im Sommer wiederholt und dabei neben der Sorte Gf. I-25-4 auch die Sorte Silvaner untersucht. Wie Abb. 2 (oben) zeigt, traten bei Gf. I-25-4 in Abhängigkeit von der Eisenversorgung mit den Ergebnissen in Abb. 1 vergleichbare pH-Veränderungen auf, wobei aber die Differenzierungen klarer zum Ausdruck kamen, nämlich weitgehend konstant hoher pH-

Tabelle 1

Wachstum, Chlorophyll-, Fe- und P-Gehalt bei der Sorte Gf. I-25-4 in Abhängigkeit von der Eisenversorgung

Effects of iron supply on growth and on chlorophyll, Fe and P contents of the leaves of the terminal 50 cm of the shoots. Variety „Gf. I-25-4“

Behandlung	Sproßlänge cm	Trockensubstanz		Blätter der oberen 50 cm des Sprosses		P mg/g TS	
		Wurzel g	Sproß g	Farbe	Chlorophyll mg/g TS		Fe mg/g TS
—Fe	176	3,8	14,9	chlorotisch	4,33	96,8	2,39
FeEDTA	160	4,5	21,0	grün	6,01	120,9	1,53
Fe(OH) ₃	162	3,0	12,1	dunkelgrün	8,05	295,7	1,95
GD 5 %	30	1,0	4,9	—	1,4	38	0,53

Wert bei ausreichender Eisenversorgung (FeEDTA) bzw. Einpendeln auf einen pH-Wert um 4 bei —Fe.

Bei Fe(OH)₃ sank das pH rasch ab, es trat auch schon nach wenigen Tagen Chlorose auf (wie bei —Fe), die Pflanzen ergrünten aber nach ca. 14 Tagen wieder, die späteren pH-Schwankungen erfolgten bei dieser Variante ohne sichtbare Veränderungen im Chlorophyllgehalt, nach 5 Wochen stieg das pH sogar wie bei den Kontrollen auf Werte über 7 an; der erneute pH-Abfall am Versuchsende ist aber bei Fe(OH)₃ offensichtlich.

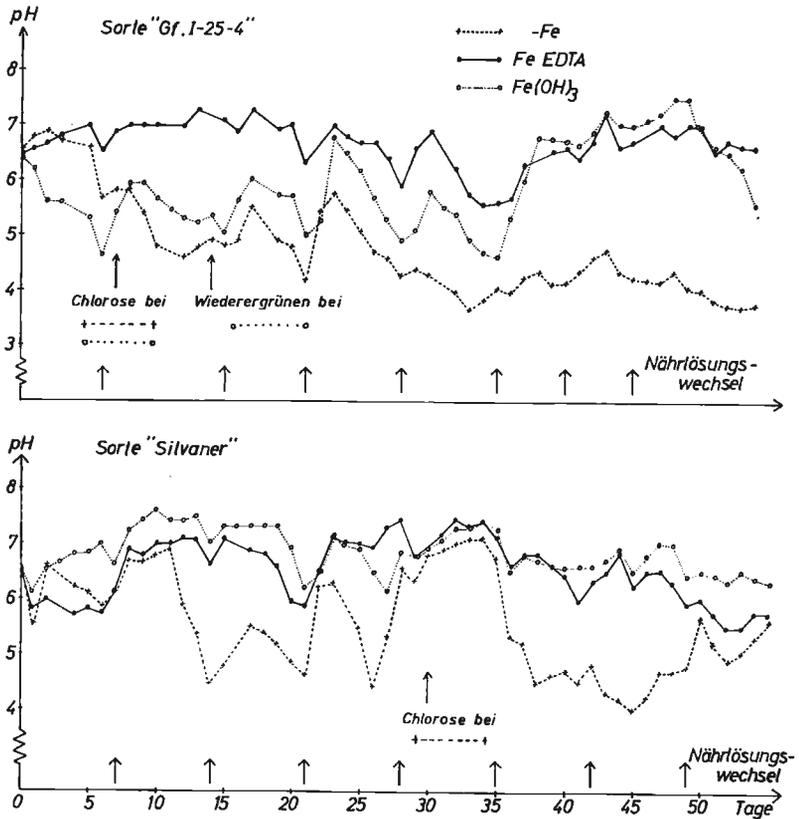


Abb. 2: pH-Verlauf in der Nährlösung in Abhängigkeit vom Eisenangebot. Oben: Sorte Gf. I-25-4; unten: Sorte Silvaner.

Effect of iron supply to two grapevine varieties on the pH pattern in the nutrient solution. Upper: "Gf. I-25-4"; lower: "Silvaner".

Tabelle 2

Einfluß der Eisenversorgung auf Wachstum und Chlorophyllgehalt von zwei Rebsorten
Effects of iron supply on growth and chlorophyll content of two grapevine varieties

Behandlung	Sproßlänge cm	Trockensubstanz		Blattfarbe ¹⁾	Chlorophyll ¹⁾ mg/g TS
		Wurzel g	Sproß g		
Gf. I-25-4					
—Fe	85	17,8	13,1	chlorotisch	3,23
FeEDTA	140	13,2	21,1	grün	4,86
Fe(OH) ₃	91	14,5	15,3	grün	4,92
GD 5 %	16	1,9	3,1	—	0,58
Silvaner					
—Fe	95	14,4	15,7	chlorotisch	1,97
FeEDTA	129	13,9	20,8	grün	4,58
Fe(OH) ₃	94	11,1	13,6	grün	4,76
GD 5 %	30	3,0	3,5	—	0,82

¹⁾ oberste 50 cm des Sprosses.

Bei der Sorte Silvaner waren die Beziehungen zwischen pH-Verlauf und Eisenversorgung in der Tendenz ähnlich wie bei Gf. I-25-4, aber weniger klar bzw. erst mit zeitlicher Verzögerung ausgeprägt (Abb. 2 unten). Der pH-Wert der Kontrollen (FeEDTA) schwankte zwischen 6 und 7, bei —Fe traten pH-Schwankungen zwischen 7 und 4 auf, deutliche Chlorose entwickelte sich erst nach ca. 5 Wochen. Bei Fe(OH)₃-Angebot lag der pH-Wert ständig über 6, überraschenderweise kam es aber trotzdem nicht zur Ausbildung von Chlorose. Allerdings blieben die Pflanzen mit dem Fe(OH)₃-Angebot besonders in den ersten Wochen sehr stark im Wachstum zurück.

Wie Tabelle 2 zeigt, waren in diesem Versuch bei beiden Sorten Sproßlänge und Sproßgewicht bei FeEDTA-Angebot signifikant höher als bei den anderen beiden Varianten. Überraschend war auch im zweiten Versuch, daß trotz der eindeutig guten Verwertung von Fe(OH)₃ für die Chlorophyllbildung das Sproßwachstum wesentlich schlechter war als bei FeEDTA, vor allem bei Silvaner. Gegenüber dem ersten Versuch mit den ungünstigen Lichtverhältnissen im Gewächshaus (Tabelle 1) war bei diesem Versuch unter Freilandbedingungen (Tabelle 2) während der Sommermonate vermutlich vor allem wegen der viel höheren Lichtintensitäten das Wurzelwachstum wesentlich intensiver. Auffallend war bei beiden Sorten das höhere Wurzelgewicht der Pflanze ohne Eisenangebot, vor allem bei Gf. I-25-4 (vgl. Wurzel/Sproß-Verhältnis > 1).

Diskussion

Ähnlich wie andere dikotyle Pflanzenarten, z. B. Tabak (WALLACE *et al.* 1968), Soja (BROWN *et al.* 1967) oder Sonnenblumen (OERTLI und JACOBSON 1960) sind somit auch Weinreben in der Lage, bei Eisenmangel den pH-Wert des Substrates abzusinken. Diese pH-Absenkung dürfte auch bei Weinreben, vergleichbar mit Sonnenblumen (VENKAT RAJU *et al.* 1972), von einer bei Eisenmangel relativ stärkeren Hemmung der Anionenaufnahme gegenüber der Kationenaufnahme herrühren, wodurch zum Ladungsausgleich von den Wurzeln verstärkt H⁺ an das umgebende Substrat abgegeben werden.

Diese pH-Absenkung bei Eisenmangel ermöglicht dann den Pflanzen auch in gut durchlüfteten Substraten mit hohem Redoxpotential die Verwertung von anorganischen Fe-III-Verbindungen, so wie es hier bei Weinreben bzw. an anderer Stelle für Sonnenblumen (VENKAT RAJU und MARSCHNER 1972) nachgewiesen wurde. Vermutlich ist auch bei Weinreben die pH-Absenkung bei Eisenmangel verbunden mit einer Erhöhung der Reduktionskapazität der Wurzeln, wie z. B. bei Soja (BROWN *et al.* 1967) oder Tomaten (BROWN und JONES 1974) bzw. verstärkter Abscheidung von reduzierend wirkenden Verbindungen an das Substrat bei Sonnenblumen (MARSCHNER *et al.* 1974). Die außerordentlich hohen Eisengehalte der Blätter bei Fe(OH)₃-Angebot nach Wiederergrünen (Tabelle 1) sprechen für eine solche Deutung.

In Verbindung mit dieser nach pH-Absenkung verstärkten Eisenaufnahme und Überwindung des Eisenmangels kommt es zur „Normalisierung“ der Kationen/Anionen-Aufnahme, d. h. bei NO₃-Ernährung zum pH-Anstieg über 7,0. Bei diesem pH-Wert ist jedoch die Verfügbarkeit von Fe(OH)₃ im Substrat außerordentlich niedrig, nach einer „Mobilisierung“ interner Eisenreserven müssen daher wieder Eisenmangel und pH-Abfall einsetzen, so wie es in Abb. 2 am Versuchsende bei der Sorte Gf. I-25-4 angedeutet ist. Starke pH-Schwankungen im Substrat bei Fe(OH)₃-Angebot sind für diese Eisenquelle typisch (VENKAT RAJU und MARSCHNER 1972) und Ausdruck eines wirksamen Regulierungsmechanismus der Pflanzen. Auch sind die starken pH-Schwankungen bei der Variante —Fe auf diesen Regulierungsmechanismus

zurückzuführen; offenbar wurde in Verbindung mit den pH-Absenkungen zunächst noch Eisen innerhalb der Pflanzen, vermutlich vor allem in den Wurzeln, mobilisiert und die Eisenversorgung vorübergehend sichergestellt. Allerdings zeigen auch die Ergebnisse bei den Kontrollen mit ausreichender Eisenversorgung (insbesondere Abb. 1), daß nicht jeder pH-Abfall in der Nährlösung auf Eisenmangel zurückgeführt werden kann. Unterschiedliche Raten der Kationen/Anionen-Aufnahme sind auch bei normaler Eisenversorgung die Regel, und damit auch pH-Verschiebungen im Substrat. Bei stärkerer Verarmung der Nährlösung an Kationen und/oder Anionen zwischen dem Wechsel der Nährlösung können dadurch pH-Verschiebungen eintreten. Diese pH-Verschiebungen sind dann aber — im Gegensatz zu den durch Eisenmangel verursachten — bei Nährlösungswechsel kurzfristig rückgängig zu machen.

Obwohl beide Sorten als Reaktion auf Eisenmangel zur pH-Absenkung in der Lage sind, so ist bei der Sorte *Gf. I-25-4* die Reaktion ausgeprägter als bei *Silvaner*. Überraschend war bei *Silvaner* die Verwertung von $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ohne wesentliche pH-Absenkung; allerdings trat bei dieser Sorte der Eisenmangel erst sehr spät auf, und das Wachstum war bei dieser Eisenform besonders schlecht. Eine gegenüber *Gf. I-25-4* geringere „Eiseneffizienz“ von *Silvaner* könnte somit zumindest in der Tendenz aus diesen Ergebnissen abgeleitet werden, was auch mit der besonders hohen Empfindlichkeit von *Silvaner* gegenüber Eisenmangelchlorose (STELLWAAG und KNICKMANN 1955) übereinstimmt.

Die Verwertung von anorganischen Fe-III-Verbindungen wird durch Phosphat stark behindert (CHRIST 1974, AZARABADI 1977). Diese Hemmwirkung wird neben der Bildung von schwerlöslichen Fe-III-Phosphaten wahrscheinlich auch durch die Pufferwirkung von Phosphat gegenüber pH-Verschiebungen im Substrat (hier speziell gegen pH-Verschiebungen bei Eisenmangel) verursacht. Weiterhin wird durch Phosphat vermutlich die Reduktion von Fe-III an der Wurzeloberfläche beeinträchtigt, da Phosphat das Gleichgewicht Fe-III/Fe-II zugunsten von Fe-III verschiebt (CHER und DAVIDSON 1955, BROWN 1972). Damit stimmt überein, daß in Abwesenheit von Phosphat auch bei hohem pH und hohem Redoxpotential anorganisches Fe-III eine gute Eisenquelle für die Pflanzen darstellt (AZARABADI 1977).

Unklar ist, warum bei Weinreben trotz vergleichbarer Verwertung von Eisen aus FeEDTA und $\text{Fe}(\text{OH})_3$ für die Chlorophyllbildung das Sproßwachstum bei $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Angebot so stark beeinträchtigt war. Vermutlich verursacht der drastische Wechsel zwischen Eisenmangel und nachfolgend sehr hoher Eisenaufnahme (latenter Eisenüberschuß?) doch starke Stoffwechselbeeinträchtigungen (extreme Verhältnisse $\text{Fe}/\text{Mn} + \text{Zn} + \text{Cu}$ bzw. Fe/P), die ohne sichtbare Symptome von induziertem Mangel doch stärkere Wachstumshemmungen bewirken.

Der hier beschriebene Regulierungsmechanismus bei der Eisenaufnahme spielt bei Weinreben vermutlich auch unter Freilandbedingungen eine Rolle für die Eisenernährung. Insbesondere auf Kalkböden mit guter Durchlüftung und niedrigem Gehalt an organischer Substanz wird anorganisches Fe-III die Hauptquelle für die Eisenversorgung darstellen. Die Möglichkeit der Eisenaufnahme aus diesen Verbindungen aus Kalkböden bzw. anderen festen Substraten konnte von CHARLEY und JENNY (1961) bzw. JENNY (1965) eindrucksvoll demonstriert und auf die besonderen Bedingungen in der Grenzzone Wurzel/Fe-III- bzw. Bodenkolloid zurückgeführt werden.

Bei Pflanzenarten wie Weinreben wird als zusätzlicher Faktor bei der Verwertung von anorganischen Fe-III-Verbindungen in Böden noch eine bei beginnendem Eisenmangel einsetzende, zumindest lokale pH-Absenkung (z. B. an der Grenzfläche Wurzel/Fe-III-Partikel) zu berücksichtigen sein, die auch in gut gepufferten Systeme-

men wie Böden kurzfristig auf engstem Raum möglich sein sollte. Ausgeprägtere Fähigkeit einzelner Sorten zu dieser pH-Absenkung bei Eisenmangel (z. B. bei Gf. I-25-4) könnte damit auch einer jener Faktoren sein, die für erhöhte „Eiseneffizienz“ bzw. geringere Anfälligkeit gegenüber „Kalkchlorose“ eine wichtige Rolle spielen.

Zusammenfassung

In Wasserkultur wurde die Wirkung von Eisenmangel ($-Fe$) bzw. Eisenangebot als $FeEDTA$ oder $Fe(OH)_3$ auf pH-Verlauf in der Nährlösung, Wachstum und Chlorophyllgehalt bei den Sorten Gf. I-25-4 und Silvaner untersucht.

Während bei normaler Eisenversorgung ($FeEDTA$) der pH-Wert der Nährlösung im Laufe des Versuchs von 6 auf etwa 7 anstieg, fiel er bei $-Fe$ und $Fe(OH)_3$ -Angebot z. T. bis unter 4; in Verbindung mit diesem pH-Abfall trat Eisenmangelchlorose auf. Bei $Fe(OH)_3$ -Angebot kam es jedoch zum Wiederanstieg des pH-Wertes und zum Ergrünen der Pflanzen. Am Versuchsende lag der Chlorophyllgehalt in den jüngsten Blättern bei $Fe(OH)_3$ -Angebot z. T. höher als bei $FeEDTA$ -Angebot. Trotzdem war das Sproßwachstum bei $Fe(OH)_3$ -Angebot ähnlich stark gehemmt wie bei $-Fe$.

Ähnlich wie andere dikotyle Pflanzenarten können somit auch Weinreben bei Eisenmangel den pH-Wert des Substrates absenken und damit auch Eisen aus anorganischen Fe-III-Verbindungen besser aufnehmen. Diesem Regulierungsmechanismus kommt vermutlich auch größere Bedeutung bei der Eisenaufnahme aus Böden mit geringerer Eisenverfügbarkeit zu.

Herrn Prof. Dr. G. ALLEWELDT wird für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Fräulein S. RECKLING für die gewissenhafte Versuchsdurchführung gedankt.

Literatur

- AZARABADI, S., 1977: Bedeutung der Rhizosphäre für die Eisenernährung von Maispflanzen. Dissertation TU Berlin, D 83.
- BROWN, J. C., 1972: Competition between phosphate and the plant for Fe from Fe^{2+} ferrozine. *Agronomy J.* 64, 240—243.
- — and AMBLER, J. E., 1970: Further characterization of iron uptake in two genotypes of corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34, 249—251.
- — and JONES, W. E., 1974: pH changes associated with iron-stress response. *Physiol. Plant.* 30, 148—152.
- —, WEBER, C. R. and CALDWELL, B. E., 1976: Efficient and inefficient use of iron by two soybean genotypes and their isolines. *Agronomy J.* 59, 459—462.
- CHARLEY, J. L. ad JENNY, H., 1961: Two-phase studies on availability of iron in calcareous soils. IV. Decomposition of iron oxyde by roots and Fe-diffusion in roots. *Agrochimica (Pisa)* 5, 99—107.
- CHER, M. and DAVIDSON, N., 1955: The kinetics of the oxygenation of ferrous iron in phosphatic acid solution. *J. Amer. Chem. Soc.* 77, 793—798.
- CHRIST, R. A., 1974: A method to compare the effect of ionic iron and iron chelates in nutrient solution culture. *Plant Physiol.* 54, 579—581.
- HARTZOOK, A., KARSTADT, D., NAVEH, M. and SANDER, N., 1974: Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars for cultivation on calcareous soils. *Plant and Soil* 41, 685—688.
- JENNY, H., 1965: Die Grenzzone von Wurzel und Boden in ihrer Bedeutung für die Aufnahme von Eisen aus kalkhaltigen Böden. *Wein-Wiss.* 20, 49—61.
- KASHIRAD, A., MARSCHNER, H. and RICHTER, Ch., 1973: Absorption and translocation of ^{59}Fe from various parts of the corn root. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk.* 134, 136—147.
- MARSCHNER, H., KALISCH, A. and RÜMHELD, V., 1974: Mechanism of iron uptake in different plant species. *Proc. 7th Internat. Coll. Plant Analysis and Fertilizer Problems, Hannover*, 273—282.

- OERTLI, J. J. and JACOBSON, L., 1960: Some quantitative considerations in Fe-nutrition of higher plants. *Plant Physiol.* 35, 683—689.
- SAGLIO, P., 1969: Nutrition en fer de la vigne. *Physiol. Veg.* 11, 27—35.
- STELLWAAG, F. und KNICKMANN, E., 1955: Die Ernährungsstörungen der Rebe, ihre Diagnose und Beseitigung. Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- VENKAT RAJU, K. and MARSCHNER, H., 1972: Regulation of iron uptake from relatively insoluble iron compounds by sunflower plants. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk.* 133, 227—241.
- — — and RÖMHELD, V., 1972: Studies on the effect of iron supply on iron uptake, substrate pH and production and release of organic acids and riboflavin in sunflower plants. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk.* 132, 177—190.
- WALLACE, A., FROHLICH, E. T. and ELGAZZAR, A., 1968: Root excretions in iron-deficient tobacco plants and possible effects on iron nutrition. *Proc. Symp. IAEA/FAO, Wien*, 385—395.
- WUTSCHER, H. K. and OLSON, F. D., 1970: Leaf nutrient levels, chlorosis, and growth of young grapefruit trees on 16 rootstocks grown on calcareous soil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95, 259—261.

Eingegangen am 30. 11. 1977

Prof. Dr. H. MARSCHNER
Institut für Pflanzenernährung
Universität Hohenheim
Postfach 106
7000 Stuttgart 70