

## Bicarbonat als auslösender Faktor der Eisenchlorose bei der Weinrebe (*Vitis vinifera*)

von

K. MENGEL und N. MALISSIOVAS

### Bicarbonat as a factor inducing iron chlorosis in grapevine (*Vitis vinifera*)

**S u m m a r y .** — The effect of  $\text{HCO}_3^-$  on the occurrence of iron chlorosis in grapevine has been studied in a solution culture experiment and in a quartz sand experiment. In both experiments,  $\text{HCO}_3^-$  in the nutrient medium induced typical Fe chlorotic symptoms in the younger leaves, although Fe was present in the nutrient medium. In the quartz sand experiment, absence of Fe and  $\text{HCO}_3^-$  in the nutrient medium did not result in Fe deficiency symptoms. In the solution culture experiment, the Fe deficiency symptoms were less marked in the treatment "without Fe" as compared with the treatments which contained Fe +  $\text{HCO}_3^-$  in the nutrient solution. Iron chlorosis was more heavily induced by nutrition with  $\text{NO}_3^- + \text{HCO}_3^-$  than with  $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$ .

In the treatments with carbonate and an additional supply of  $\text{CO}_2$  to the nutrient solution,  $\text{HCO}_3^-$  concentrations higher than  $10 \times 10^{-3} \text{ M}$  were measured, which were toxic to the plants. In these treatments no Fe chlorosis occurred, and the plants died before the end of the experiment. The Fe content of the leaves was not related to the occurrence of Fe chlorosis.

### Einleitung

Eisenchlorose an Kultur- und Wildpflanzen ist auf Carbonatböden weitverbreitet. Ihre Auslösung ist noch nicht restlos geklärt. Man nimmt an, daß es auf Carbonatböden besonders unter staunassen Bedingungen zu einer  $\text{HCO}_3^-$ -Anreicherung im Nährmedium kommt und daß  $\text{HCO}_3^-$  direkt oder indirekt die Fe-Chlorose auslöst (GÄRTEL 1965, SCHRADER 1970). Versuchsergebnisse von RUTLAND (1971) an Azaleen, von RUTLAND und BUKOVAC (1971) an Chrysanthenen, von BOXMA (1972) an Rosen und von SAGLIO (1969) an der Weinrebe stützen die Annahme, daß  $\text{HCO}_3^-$  die Chlorose induziert. Da nach GÄRTEL (1974) die Fe-Chlorose im Weinbau beachtliche Ertragsausfälle verursachen kann, sollte unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden, ob eine Anreicherung von  $\text{HCO}_3^-$  im Nährmedium zur Fe-Chlorose bei der Rebe führt. Hierzu wurden im Rahmen einer Promotionsarbeit (MALISSIOVAS 1980) die unterschiedlichsten Untersuchungen, u. a. auch Hydrokulturversuche und Quarzsandkulturversuche, durchgeführt. Typische Versuchsergebnisse einer Hydrokultur und einer Quarzsandkultur werden nachstehend mitgeteilt.

### Material und Methoden

#### Hydrokulturversuch mit Pfropfreben der Sorte Grüner Veltliner, Unterlage 5BB

Jeweils 2 Pflanzen mit einer Trieblänge von 5—10 cm und 4—6 Blättern wurden in eine Wasserkultur (10 l Nährlösung) mit nachstehenden Konzentrationen eingepflanzt:

##### Makronährstoffe (mm)

3,5  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 2,5  $\text{KNO}_3$ ; 1,5  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ; 3,0  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 0,5  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; 2,5  $\text{CaCl}_2$ .

##### Mikronährstoffe ( $\mu\text{M}$ )

3,4  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; 1,8  $\text{CuSO}_4$ ; 6,3  $\text{MnSO}_4$ ; 2,0  $\text{ZnSO}_4$ ; 0,043  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ , 44,7 Fe-Chelat (EDTA).

Zu Beginn der Anzucht wurden die Pflanzen nur einem Viertel, nach 2 d der halben und nach weiteren 4 d der vollen Nährlösungskonzentration ausgesetzt. Die Nährlösung wurde täglich 2 h belüftet und alle 4 d gewechselt. Der pH-Wert der Nährlösung betrug anfangs 5,7. Er stieg innerhalb von 4 d auf 6,0 bis 6,4 an. Die Pflanzenwurzeln wurden, um Pilzbefall zu bekämpfen, täglich 5 min in eine 0,05%ige Chinosollösung eingetaucht. Um ein besseres Wurzelwachstum zu erreichen, wurden 2 Wochen nach Anzuchtbeginn der Wasserkultur 10 g  $\text{CaCO}_3$ /Gefäß zugesetzt. Der pH-Wert der Nährlösung erhöhte sich dadurch auf 7 bis 7,2.

Nach 4 Wochen Anzucht wurden die gleichmäßigsten und am besten entwickelten Pflanzen für den eigentlichen Versuch ausgewählt. Dieser Versuch umfaßte nachstehende Varianten:

1. Kontrolle (die Nährlösung war die gleiche wie bei der Anzucht)
2. Ohne Fe (die Nährlösung entsprach der Anzucht-Nährlösung, enthielt aber kein Fe)
3. Stickstoff in Form von  $\text{NH}_4^+$  + Carbonatzusatz
4. Stickstoff in Form von  $\text{NO}_3^-$  + Carbonatzusatz
5. Stickstoff in Form von  $\text{NH}_4^+$  + Carbonatzusatz + Einleiten von  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung
6. Stickstoff in Form von  $\text{NO}_3^-$  + Carbonatzusatz + Einleiten von  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung

Der Carbonatzusatz der Varianten 3 bis 6 bestand aus 20 g  $\text{CaCO}_3$  + 2 g  $\text{MgCO}_3$ /Gefäß. Bei den Varianten 1 und 2 wurden die Nährlösungen täglich 2 h belüftet. Bei den Varianten mit Carbonatzusatz wurden die Kulturgefäße mit Deckel gasdicht verschlossen, so daß sich im Wurzelraum  $\text{HCO}_3^-$  anreichern konnte. Bei den Varianten 5 und 6 wurde zusätzlich täglich  $\text{CO}_2$  10 min lang aus einer Druckflasche in die Nährlösungen eingeleitet. Die  $\text{NH}_4^+$ -Varianten erhielten N ausschließlich in Form von  $\text{NH}_4^+$  (12,5 mVal N/Gefäß als  $\text{NH}_4$ -Sulfat); die  $\text{NO}_3^-$ -Varianten erhielten ausschließlich  $\text{NO}_3^-$ -N (12,5 mVal N/Gefäß in Form von Ca-, Mg- und K-Nitrat). Alle anderen Makro- und Mikronährstoffe entsprachen in ihrer Konzentration der Anzuchtlösung.

Da die Anzahl an gleichmäßigen Pflanzen begrenzt war, umfaßte jede Variante nur 3 Pflanzen, bei den Varianten mit  $\text{CO}_2$ -Einleitung nur 2 Pflanzen.

Die Pflanzen wurden 20 d lang in diesen verschiedenen Nährlösungen angezogen und dann geerntet. Es wurde die Frisch- und Trockenmasse der Blätter bestimmt und in ihnen der Fe-Gehalt ermittelt. pH-Wert und  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration der Nährlösungen wurden täglich bestimmt.

### Quarzsandkulturversuch mit wurzelechten Rebenstecklingen der Sorte Gf. 1-25-4

Von gesundem Rebenholz wurden etwa 10 cm lange Einaugenstecklinge geschnitten und in Plastikbecher (0,4 l Volumen) in einem Torf-Quarzsandgemisch bis zu einer Trieblänge von 5–10 cm kultiviert. Danach wurden die Pflanzen in Plastikgefäße (2 l Volumen) umgetopft. Als Nährmedium enthielten diese Gefäße nur Quarzsand, dem Makro- und Mikronährstoffe einschließlich Fe in ausreichender Menge zugemischt worden waren.

Nach 5 Wochen Anzucht in diesem Medium wurden die gleichmäßigsten Pflanzen für den eigentlichen Versuch ausgewählt und in Kick-Brauckmann-Gefäße (1 Pflanze/Gefäß) umgetopft. Die Pflanzen hatten zu diesem Zeitpunkt eine Trieblänge von etwa 30 cm. Jedes Gefäß enthielt 10 kg Quarzsand, dem Makro- und Mikronährstoffe in nachstehender Menge zugesetzt worden waren:

0,9 g N als  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 0,4 g P als  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,4 g K als  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 0,4 g Mg als  $\text{MgCl}_2 + \text{MgSO}_4$  (3:1); 0,3 g Ca als  $\text{CaSO}_4$ ; 3 mg B als  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 7 mg Zn als  $\text{ZnSO}_4$ , 7 mg Cu als  $\text{CuSO}_4$ ; 14 mg Mn als  $\text{MnSO}_4$ ; 0,7 mg Mo als  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ .

Der Versuch umfaßte nachstehende Varianten:

1. Kontrolle (mit Fe, ohne Carbonat)
2. Ohne Fe (ohne Fe, ohne Carbonat)
3. Mit Carbonat (mit Fe + Carbonat)

Jede Variante bestand aus 12 Wiederholungen mit jeweils 1 Pflanze/Gefäß.

Bei den Varianten „mit Fe“ waren dem Quarzsand 25 mg Fe-EDTA/Gefäß zugemischt worden. Bei der Variante „mit Carbonat“ wurden dem Quarzsand neben 25 mg Fe-EDTA 2,9 kg granulierter Marmor + 90 g  $\text{CaCO}_3$  + 10 g  $\text{MgCO}_3$ /Gefäß in pulveriger Form zugesetzt. Aufgrund der Marmorzugabe wurde hier die Quarzsandmenge/Gefäß auf 7 kg reduziert. Die mit Carbonatzusatz versehenen Gefäße wurden mit einer Plastikfolie abgedeckt, um so einen  $\text{CO}_2$ -Stau im Nährmedium und damit eine  $\text{HCO}_3^-$ -Bildung zu erreichen.

Das Quarzsandmedium wurde täglich durch Wasserzugabe auf einen Wassergehalt von 90 % der maximalen Wasserkapazität eingestellt. Wöchentlich wurden pH-Wert und  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration des Nährmediums bestimmt. Hierbei wurde der Quarzsand auf 100 % der maximalen Wasserkapazität eingestellt. Anschließend wurden nochmals 100 ml Wasser auf das Gefäße aufgebracht; der Durchlauf wurde aufgefangen und auf die Oberfläche des Gefäßes zurückgegossen. Diese Prozedur wurde 3- bis 5mal wiederholt. In dem danach aufgefangenen Effluat wurden pH-Wert und  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration bestimmt.

Die Pflanzen wurden 5 Wochen in diesen Nährmedien kultiviert. Danach wurden jüngere und ältere Blätter getrennt geerntet, ihre Frisch- und Trockenmasse bestimmt und ihr Fe-Gehalt ermittelt.

### Analytik

$\text{HCO}_3^-$ -Analyse: Die Analyse erfolgte sofort nach der Probenahme. Die Nährlösung wurde durch Blaubandfilter filtriert und anschließend mit 0,1 n HCl und mit Methylrot als Indikator titriert.

Fe-Analyse: Das Blattmaterial wurde bei 100 °C im Umlufttrockenschrank getrocknet. 1 g der gemörserten und getrockneten Pflanzensubstanz wurde mit 10 ml eines Veraschungsgemisches ( $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 40 : 4 : 1$ ) in Kölbchen auf

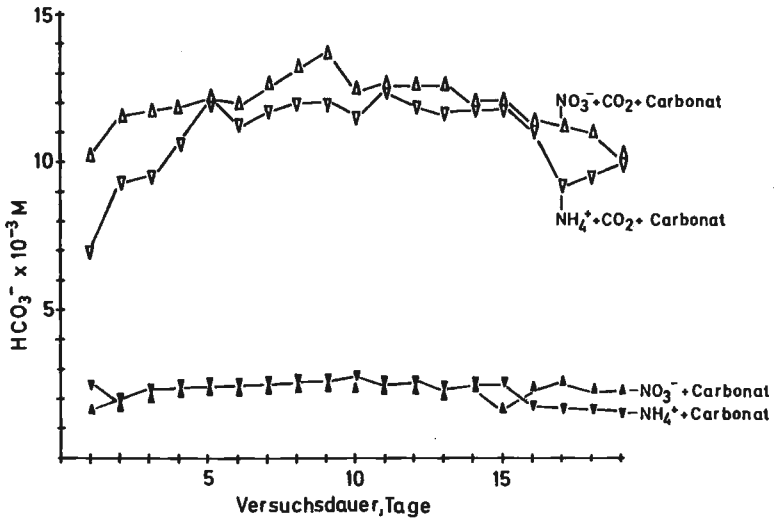


Abb. 1: Einfluß von Carbonat, Carbonat + CO<sub>2</sub> und Stickstoffform auf die HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentration der Nährlösung.

Effect of carbonate, carbonate + CO<sub>2</sub> and the nitrogen form on the HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the nutrient solution.

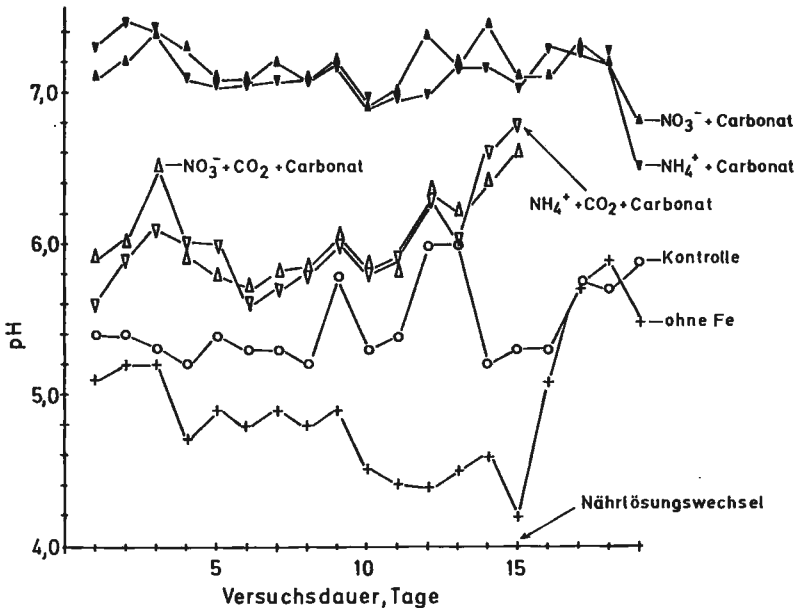


Abb. 2: Einfluß von Carbonat, Carbonat + CO<sub>2</sub>, Stickstoffform und Fe auf den pH-Wert in der Nährlösung. In den Varianten mit CO<sub>2</sub>-Einleitung wurde der pH-Wert nach dem 15. d nicht mehr bestimmt, da hier die Pflanzen abgestorben waren.

Effect of carbonate, carbonate + CO<sub>2</sub>, nitrogen form, and Fe on the pH in the nutrient solution. In the treatments with CO<sub>2</sub> infusion, the pH was not measured after the 15th d, as the plants had already died.

dem Sandbad naß verascht. Nach Abrauchen der Säure wurde der Rückstand mit 2 ml 5 n  $\text{HNO}_3$  aufgenommen, die Lösung über dem Bunsenbrenner eingetrocknet und der Rückstand mit heißem Aqua dest. gelöst. In dieser auf 50 ml aufgefüllten Lösung wurde das Fe mittels atomarer Absorption bestimmt.

### Ergebnisse

#### Hydrokulturversuch

In Abb. 1 sind die Gehalte an  $\text{HCO}_3^-$  in der Nährlösung dargestellt. Das Einleiten von  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung bewirkte einen beachtlichen Anstieg an  $\text{HCO}_3^-$ , der bei den meisten Proben in der Nitratvariante deutlich höher war als in der Variante mit  $\text{NH}_4^+$ -Düngung. Auch in den Varianten mit Zugabe von  $\text{CaCO}_3$ , aber ohne  $\text{CO}_2$ -Zusatz, war  $\text{HCO}_3^-$  in der Nährlösung nachweisbar. Die Konzentration lag jedoch wesentlich niedriger als in den Varianten, bei denen zusätzlich  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung eingeleitet worden war. Verständlicherweise war in den Varianten ohne Carbonatzusatz zur Nährlösung kein  $\text{HCO}_3^-$  in der Nährlösung vorhanden.

Der pH-Wert der Nährlösung wurde von den einzelnen Maßnahmen stark beeinflusst (s. Abb. 2). In den Varianten mit  $\text{CaCO}_3$ -Zusatz, aber ohne Einleiten von  $\text{CO}_2$ , war er am höchsten. Im Vergleich hierzu hatte das Einleiten von  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung den pH-Wert deutlich abgesenkt. Die Form des zugeführten  $\text{N}^-$  —  $\text{NH}_4^+$  oder  $\text{NO}_3^-$  — hatte keinen nennenswerten Einfluß auf den pH-Wert. Der pH-Wert in der Kontrollvariante war aufgrund des fehlenden Carbonatzusatzes niedriger als in den Varianten mit Carbonatzusatz. Bemerkenswert ist die beachtliche pH-Absenkung in der Nährlösung ohne Fe. Der in dieser Variante am 15. d der Versuchsperiode registrierte pH-Anstieg geht auf einen Nährlösungswechsel zurück.

Entwicklung und Wachstum der Pflanzen waren in den einzelnen Varianten unterschiedlich. Alle Pflanzen, die einer hohen  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration ausgesetzt waren (Varianten mit  $\text{CO}_2$ -Einleitung in die Nährlösung), zeigten einen kümmerlichen Wuchs. Die Wurzeln verloren ihren Turgor. Die älteren Blätter zeigten Aufhellungen entlang den Blattadern. Diese Symptome glichen eher einem N-Mangel.

Tabelle 1

Einfluß von Carbonat, Fe und Stickstoff-Form im Nährmedium auf den Fe-Gehalt der älteren und jüngeren Blätter · Hydrokulturversuch

Effect of carbonate, Fe, and the form of nitrogen in the nutrient medium on the Fe content in older and younger leaves · Solution culture experiment

Behandlung	Blattmasse (g Tr.Sub.)	Fe-Gehalt (ppm in der Tr.Sub.)	
		Ältere Blätter	Jüngere Blätter
Kontrolle (mit Fe)	7,0	260	213
Ohne Fe	7,3	160	160
Carbonat + $\text{NH}_4^+$ + Fe	8,3	207	152 <sup>1)</sup>
Carbonat + $\text{NO}_3^-$ + Fe	10,0	145	132 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Schwach chlorotisch.

<sup>2)</sup> Chlorotisch.

Tabelle 2

Einfluß von Fe und Carbonat im Nährmedium auf den Blattertrag, den Fe-Gehalt in jüngeren und älteren Blättern sowie auf den pH-Wert und die  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration im Nährmedium · Quarzsandkulturversuch

Effect of Fe and carbonate on the yield of leaves, the Fe content in younger and older leaves as well as on the pH and the  $\text{HCO}_3^-$  concentration in the nutrient medium · Quartz sand culture experiment

Behandlung	Blattmasse (g Tr.Sub.)	Fe-Gehalt (ppm in der Tr.Sub.)		Nährmedium	
		Jüngere Blätter	Ältere Blätter	pH	$\text{HCO}_3^-$ ( $10^{-3}$ M)
Kontrolle (mit Fe, ohne Carbonat)	6,6	106	223	5,2	—
Ohne Fe, ohne Carbonat	6,0	82	196	5,0	—
Mit Carbonat + Fe	3,0**	215 184 <sup>1)</sup>	250	8,5	15,7

<sup>1)</sup> Chlorotische Blätter.

\*\* = Hoch signifikanter Unterschied zu den beiden anderen Varianten.

Auf keinen Fall können sie als Fe-Mangel gedeutet werden. Die Pflanzen der Varianten „Carbonat +  $\text{CO}_2$ “ starben vorzeitig ab (etwa 14 d nach Versuchsbeginn).

Typische Fe-Mangelsymptome wurden am 11. d der Versuchsdauer zuerst in der Variante „Nitrat + Carbonatzusatz“ festgestellt. Die Interkostalfelder der jüngsten Blätter zeigten deutliche Aufhellungen, während die Blattnervatur noch grün war. Gleiche Symptome zeigten sich am 14. d der Versuchsperiode in der Variante „ $\text{NH}_4^+$  + Carbonatzusatz“. Bei Versuchsende war die Fe-Chlorose in der Variante mit Nitraternahrung wesentlich stärker ausgeprägt als in der Variante mit  $\text{NH}_4^+$ -Ernährung. Bei der Variante „ohne Fe“ wurden am 18. d nach der Versuchsanstellung erste schwache Symptome einer Fe-Chlorose an den jüngsten Blättern registriert.

Tabelle 1 zeigt das Gewicht an Blatttrockenmasse und die Fe-Gehalte der Blätter. Da die Pflanzen der Variante mit  $\text{CO}_2$ -Einleitung in die Nährlösung bei Versuchsende abgestorben waren, blieben sie in der Aufstellung unberücksichtigt. Der Tabelle kann entnommen werden, daß die Blattmassen der einzelnen Varianten unterschiedlich waren. Dieser Befund sollte jedoch nicht überbewertet werden, da die Blattmassenerträge nur Mittelwerte von 3 Pflanzen je Variante sind. Die Unterschiede in den Blattmassen sind dementsprechend statistisch nicht gesichert. Die Fe-Gehalte der Blätter sind als mittel bis hoch zu bezeichnen. Bemerkenswert ist, daß die Blätter mit Fe-Chlorose die niedrigsten Fe-Gehalte aufwiesen. Da nur wenig Blattmaterial vorhanden war, konnte in den Blättern keine fraktionierte Fe-Analyse durchgeführt werden.

#### Quarzsandkulturversuch

Dieser 3 Varianten umfassende Versuch zeigte bei den Pflanzen, die mit „Quarzsand + Carbonat + Fe“ angezogen wurden, schon bald deutliche Wachstumsdepressionen. Die Pflanzen der beiden übrigen Varianten (ohne Carbonatzusatz) wuchsen dagegen üppig. Etwa 3 Wochen nach Versuchsbeginn zeigten sich an den jüngsten Blättern bei allen 12 Pflanzen der „Carbonatvariante“ deutliche Fe-Mangel-

symptome, deren Ausprägung im Verlaufe der Versuchsdauer zunahm. Demgegenüber wurden an den Pflanzen der Variante „ohne Fe“ keine Symptome von Fe-Chlorose festgestellt.

Die chlorotischen Pflanzen wiesen signifikant niedrigere Blatterträge auf als die gesunden Pflanzen (s. Tab. 2). Die Zahlen zeigen weiterhin, daß der Carbonatzusatz zum Nährmedium pH-Wert und  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration beachtlich angehoben hatte. Bemerkenswert ist, daß der Fe-Gehalt der chlorotischen Blätter höher war als der Fe-Gehalt der vergleichbaren jüngeren Blätter ohne Chlorose (184 ppm Fe in der Variante „Carbonat + Fe“ und 82 ppm Fe in der Variante „ohne Carbonat, ohne Fe“).

### Diskussion

Hydrokulturversuch und Quarzsandversuch haben gezeigt, daß bei Pflanzen, die mehrere Wochen einer  $\text{HCO}_3^-$ -haltigen Nährlösung ausgesetzt waren, typische Fe-Chlorosesymptome auftraten. Dieser Befund entspricht den von RUTLAND (1971) an Azaleen, von RUTLAND und BUKOVAC (1971) an Chrysanthemen und von BOXMA (1972) an Rosen ermittelten Ergebnissen. Beim Quarzsandversuch wurde stauende Nässe simuliert, indem die Oberfläche des Quarzsandmediums mit einer Plastikfolie abgedeckt wurde. Das hauptsächlich durch Wurzelatmung produzierte  $\text{CO}_2$  reagierte mit dem im Nährmedium vorhandenen Carbonat zu  $\text{HCO}_3^-$ , dessen Konzentration in der „Bodenlösung“ bei Versuchsende annähernd 16 mM war. Es ist wahrscheinlich, daß es auch im Freiland bei staunassen Bedingungen in Anwesenheit von Carbonat und intensiver Wurzelatmung zur Anreicherung von  $\text{HCO}_3^-$  im Boden kommt, welches dann Chlorose auslöst. Für diese Vermutung sprechen zahlreiche im Freiland durchgeführte Untersuchungen (ZECH 1970, KOVANJI *et al.* 1978, CARTER 1980, MORLAT *et al.* 1980).

Bei dem Hydrokulturversuch traten jedoch in den Varianten mit  $\text{CO}_2$ -Einleitungen in die Nährlösung keine Fe-Mangelsymptome an den Rebpflanzen auf. Das Einleiten von  $\text{CO}_2$  hatte hier sehr hohe  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen in der Nährlösung hervorgerufen (Abb. 1), die bereits toxisch auf die Pflanzen wirkten. Nach MILLER (1960) soll  $\text{HCO}_3^-$  die Cytochromsysteme der Atmung inhibieren. Es wird deshalb angenommen, daß es in den Varianten mit  $\text{CO}_2$ -Einleitung zu einer starken Schädigung der Wurzelatmung kam, welche Ionenaufnahme und Wasseraufnahme beeinträchtigte und dementsprechend den Wurzelurgor auf ein schon unphysiologisches Niveau absinken ließ.

In dem Quarzsandversuch wurde bei Versuchsende auch eine sehr hohe  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration im Nährmedium festgestellt, die noch höher war als in den Varianten „Carbonat +  $\text{CO}_2$ -Einleitung“ der Hydrokultur (Abb. 1). Die Konzentration einer Hydrokultur und die einer Sandwasserkultur lassen sich jedoch nur bedingt vergleichen. Im ersteren Fall war das gesamte Wurzelsystem permanent der hohen  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration ausgesetzt; bei der Sandwasserkultur waren es jedoch nur geringe Anteile der Wurzel, die im direkten Kontakt mit der Nährlösung standen. Darüber hinaus muß hier auch mit einem Rhizosphäreneffekt gerechnet werden, d. h. es können in der Rhizosphäre andere  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen vorliegen als in der übrigen von der Wurzel unbeeinflussten Lösung. Besonders bei einer  $\text{H}^+$ -Abscheidung der Wurzel muß mit einem starken Absinken der  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration in der Rhizosphäre gerechnet werden (MALISSIOVAS 1980).

Die Versuchsergebnisse zeigten weiterhin, daß bei einem Überschuß von Carbonat im Nährmedium ein hoher pH-Wert des Nährmediums vorliegt (pH 7 bis 8,5),

und daß dieser durch eine physiologisch saure Ernährung ( $\text{NH}_4^+$  als N-Quelle) nur unwesentlich verändert wird. Carbonate stellen also einen beachtlichen Puffer dar. Erwähnenswert ist, daß es beim Hydrokulturversuch in der Variante „ohne Fe“ zu einem deutlichen Abfall des pH-Wertes in der Nährlösung kam (s. Abb. 2). Dieser Befund ist charakteristisch für Fe-Mangel (VENKAT RAJU und MARSCHNER 1972). Trotzdem trat in dieser Variante der Fe-Mangel später auf als in den „ $\text{HCO}_3^-$ -Varianten“. Bei dem Quarzsandversuch wurde in der Variante „ohne Fe“ überhaupt kein Fe-Mangel festgestellt. Die Pflanzen dieser Variante gediehen genau so gut wie die Pflanzen, die Fe erhalten hatten (Tabelle 2), während in der „ $\text{HCO}_3^-$ -Variante“ selbst bei Anwesenheit von Fe im Nährmedium Fe-Chlorose auftrat. Dieser Befund macht deutlich, daß die Fe-Chlorose mit der Fe-Verfügbarkeit im Nährmedium nicht ursächlich zusammenhängt. Es muß vielmehr angenommen werden, daß  $\text{HCO}_3^-$  im Nährmedium die physiologische Verfügbarkeit des Fe in der Pflanze beeinträchtigte. Wie diese Beeinträchtigung zustande kommt, ist noch unklar.  $\text{HCO}_3^-$  wird von der Pflanze aufgenommen (BEDRI *et al.* 1960) und kann als Anion einer schwachen Säure im Gewebe alkalinisierend wirken. Auch  $\text{NO}_3^-$  hat in der Pflanze eine alkalinisierende Wirkung (KIRKBY und MENGEL 1967). Unsere Versuche, aber auch Untersuchungen von MACHOLD (1967) an Tomaten zeigten, daß Nitraternährung im Vergleich zu  $\text{NH}_4^+$ -Ernährung das Auftreten von Chlorose förderte. Es ist deshalb erlaubt anzunehmen, daß eine Alkalinisierung im Gewebe die physiologische Verfügbarkeit des Fe vermindert. Dieser Annahme entspricht der Befund, daß in chlorotischen Reblättern der Gehalt des in 0,5 n HCl löslichen Fe deutlich erniedrigt war, während im Gesamt-Fe-Gehalt keine Unterschiede zwischen chlorotischen und grünen Blättern gefunden wurden (MALISSIOVAS 1980). Alkalinisierende Bedingungen im Gewebe fördern die Synthese organischer Anionen (BEDRI *et al.* 1960, KIRKBY und MENGEL 1967, HIATT 1967). Übereinstimmend mit diesem Befund findet man in Fe-chlorotischen Geweben erhöhte Gehalte an organischen Anionen (CARTER 1980). Ob diese organischen Anionen die Fe-Verfügbarkeit beeinflussen, ist noch ungeklärt. Unveröffentlichte, in unserem Institut von BÜBL durchgeführte Untersuchungen an Rebpflanzen lassen erkennen, daß bei Chlorose der Transport von Fe aus dem vaskulären Gewebe in den inneren Bereich der Interkostalfelder behindert ist.

### Zusammenfassung

In einem Hydrokulturversuch und in einem Quarzsandversuch wurde der Einfluß von  $\text{HCO}_3^-$  auf das Auftreten von Fe-Chlorose bei der Weinrebe untersucht.  $\text{HCO}_3^-$  im Nährmedium induzierte bei beiden Versuchen typische Fe-Mangelsymptome an den jüngeren Blättern, obgleich im Nährmedium Fe vorhanden war. Demgegenüber traten im Quarzsandversuch bei Abwesenheit von Fe und  $\text{HCO}_3^-$  im Nährmedium keine Fe-Mangelsymptome auf. Im Hydrokulturversuch waren in der Variante „ohne Fe“ die Fe-Mangelsymptome wesentlich schwächer ausgeprägt als in den Varianten, die in der Nährlösung Fe +  $\text{HCO}_3^-$  enthielten. Ernährung mit  $\text{NO}_3^- + \text{HCO}_3^-$  wirkte stärker Chlorose auslösend als Ernährung mit  $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$ .

In den Varianten mit Carbonat + Einleitung von  $\text{CO}_2$  in die Nährlösung traten  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentrationen von mehr als  $10 \times 10^{-3}\text{M}$  auf. Sie wirkten toxisch auf die



Pflanzen. Hier wurden keine Fe-Chlorosen beobachtet. Vielmehr starben die Pflanzen dieser Variante im Verlaufe der Versuchsperiode ab. Der Gehalt der Blätter an Fe stand in keiner Beziehung zum Auftreten der Fe-Chlorose.

### Danksagung

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

### Literatur

- BEDRI, A. A., WALLACE, A. and RHOADS, W. A., 1960: Assimilation of bicarbonate by roots of different plant species. *Soil Sci.* 89, 257—263.
- BOXMA, R., 1972: Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil* 37, 233—243.
- CARTER, M. R., 1980: Association of cation and organic anion accumulation with iron chlorosis of Scots pine on prairie soils. *Plant and Soil* 56, 293—300.
- GÄRTEL, W., 1965: Über die Ursache der Chlorose auf verdichteten Kalkböden. *Weinberg u. Keller* 12, 143—164.
- — —, 1974: Die Mikronährstoffe — ihre Bedeutung für die Rebenernährung unter besonderer Berücksichtigung der Mangel- und Überschußerscheinungen. *Weinberg u. Keller* 21, 435—508.
- HIATT, A. J., 1967: Relationship of cell sap pH to organic acid change during ion uptake. *Plant Physiol.* 42, 294—299.
- KIRKBY, E. A. and MENGEL, K., 1967: Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate urea or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42, 6—14.
- KOVANCI, I., HAKERLERLER, H. und HÖFNER, W., 1978: Ursachen der Chlorosen an Mandarinen (*Citrus reticulata* blanco) der ägäischen Region. *Plant and Soil* 50, 193—205.
- MACHOLD, O., 1967: Untersuchungen an stoffwechseldefekten Mutanten der Kulturtomate — III. Die Wirkung von Ammonium- und Nitratstickstoff auf den Chlorophyllgehalt. *Flora, Abt. A*, 157, 536—551.
- MALISSIOVAS, N., 1980: Eisen-Chlorose bei der Weinrebe, kausale Zusammenhänge der sie auslösenden Faktoren und Prozesse. Diss. Fachber. 19, Ernährungswiss., Justus-Liebig-Univ. Gießen.
- MILLER, G. W., 1960: Carbon dioxide-bicarbonate absorption, accumulation, effects on various plant metabolic reactions, and possible relations to lime-induced chlorosis. *Soil Sci.* 89, 241—245.
- MORLAT, R., DUPONT, J. and SALETTE, J., 1980: Aspects écologiques de la manifestation de la chlorose ferrique en année sèche, chez la vigne, dans les sols calcaires de la moyenne vallée de la Loire. *Ann. Agron.* 31, 219—238.
- RUTLAND, R. B., 1971: Radioisotopic evidence of immobilization of iron in *Azalea* by excess calcium bicarbonate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96, 653—655.
- — — and BUKOVAC, M. J., 1971: The effect of calcium bicarbonate on iron absorption and distribution by *Chrysanthemum morifolium* (RAM.). *Plant and Soil* 35, 225—236.
- SAGLIO, P., 1969: Nutrition en fer de la vigne. I. Essai d'induction d'une chlorose ferrique par l'action combinée du bicarbonate et de l'orthophosphate sur deux variétés: L'une sensible et l'autre résistante. *Ann. Physiol. Vég.* 11, 27—35.
- SCHRADER, L., 1970: Eine kritische Betrachtung der Rebenchlorose unter besonderer Berücksichtigung bodenkundlicher und pflanzenphysiologischer Gesichtspunkte. *Weinberg u. Keller* 17, 113—130.
- VENKAT RAJU, K. and MARSCHNER, H., 1972: Regulation of iron uptake from relatively insoluble iron compounds by sunflower plants. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 133, 227—241.
- ZECH, W., 1970: Nadelanalytische Untersuchungen über die Kalkchlorose der Waldkiefer (*Pinus silvestris*). *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 125, 1—16.

Eingegangen am 25. 5. 1981

Prof. Dr. K. MENGEL  
 Institut für Pflanzenernährung  
 Justus-Liebig-Universität  
 Südanlage 6  
 D 6300 Gießen