

自然界中的微量元素与其 在農業中的作用

М. Я. 施科尔尼克等著
Б. Я. 罗 津

科学出版社

自然界中的微量元素与其 在農業中的作用

M. Я. 施科尔尼克等著

B. Я. 罗

津

書

張
方

陸
聖

德
杰

等譯

科 学 出 版 社

1956年7月

內 容 提 要

根据近代農業科学的研究，証明自然界中的好些微量的化学元素对植物和動物是很必需的。尤其是農作物中缺乏了这些微量元素，会引起農作物的病害，甚至遭受農作物減產的威脅，本書中的五篇論文是介紹了微量元素在農業上的重要性，並在施肥中適当地使用了微量元素可以增加農作物的收穫。

此書可作为農業工作者、生物学工作者的參考資料。

自然界中的微量元素与其 在農業中的作用

Микроэлементы в природе и роль
их в сельском хозяйстве

原著者 [苏联] 施科尔尼克 罗津等

(М. Я. Школьник
Б. Я. Розен и др.)

翻譯者 張 陸 德 方 聖 杰 等

出版者 科 学 出 版 社

北京东皇城根甲42号

北京市書刊出版業營業許可証出字第061号

印刷者 北 京 新 華 印 刷 厂

总經售 新 華 書 店

1956年7月第 二 版

書号：0476 印張：3 1/25

1956年7月第一次印刷

开本：787×1092 1/25

(京)0001—7,402

字数：61,000

定价：(9) 0.33元

目 錄

礦質元素在代謝作用中的相互作用

.....М. Я. 施科尔尼克 (1)

自然界中的微量元素与其在農業中的作用

.....Б. Я. 罗津 (31)

使用微量元素和生長刺激素來提高糖用甜菜的

种子產量.....Т. А. 达尼罗娃、В. М. 布林 (41)

硼素的生物学作用.....М. Я. 施科尔尼克 (45)

農業中的微量元素.....Я. В. 貝伊維 (53)

礦質元素在代謝作用中的相互作用

М. Я. 施科尔尼克

在植物有机体中已發現了 74 种化学元素，其中 65 种以上是微量元素。在動物有机体中則較少，已發現約 60—65 种化学元素。这些元素在進化过程中獲得了在代謝作用中的巨大作用，並且成为生活物質的不可缺少的組成部分。

微量元素在代謝作用中的作用的研究，其重大意义不僅在於有机体對於許多元素的众所周知的必需性，这早已毫無疑义，而主要的在於這項研究指出了有机界对絕大多數，或許是对全部在自然界所遇到的元素的依賴性是多麼巨大。在这方面所獲得的事实非常明顯地指出了在研究植物礦物質营养問題上歷史的方法的必要性。

歷史的方法是以關於微量元素的生物学作用的学說創始人——偉大的俄罗斯学者維尔納德斯基院士 (В. И. Вернадский) 的觀點为基础的。他發展了關於生物的化学組成与地殼的組成相联系的概念。В. И. 維尔納德斯基思想的繼承者維諾格拉多夫院士 (А. П. Виноградов) 的研究也是以歷史的方法为特徵的。他創造了關於生物地質化学區域的学說。这个学說使有可能了解植物、動物和人的許多地域性病害，这些病害是和一定地區或州份的土壤和水中化学元素的缺少或过量有關係的。

А. П. 維諾格拉多夫院士在 1935 年的著作中說到關於有机体的化学成分時指出：不僅所有化学元素之存在於生物中是首要結論，而且这些元素的生理意义的假定也是首要的結論。

在 А. П. 維諾格拉多夫發表了这一著作以後，在微量元素学說發展的二十年期間，証明了他所作的結論的正確性。当 А. П. 維諾格

拉多夫所作的論斷發表的時候，僅僅有硼、錳、鋅和銅四種微量元素對植物的必要性是已被証實的。不久以後，在1939年，鉬對植物的必要性被闡明了，最初只認為它僅為豆科植物所必需。現在已証明了，鉬對所有的植物都是必需的，不過各種植物對它需要的程度不同。

幾乎在與鉬的必需性被揭露的同時，在1939—1940年，矽對某些植物，特別是對甜菜的必需性被闡明了。就在這個時候A. A. 得羅布科夫(A. A. Дробков) (1939, 1940) 得到了放射性元素鐳和鈾對植物的必需性的最確切的証據。也就在這個時候獲得了關於鎳、鎢和銻對低等植物的意義的事實；現在証明了銻在一定條件下對低等植物也是必需的元素。也闡明了鈷對某些細菌、藻類和真菌是必需的。不久以前証明了鈣對植物的必需性；也証明了鎳對蚕豆、鋁對蕨類、硒對紫雲英屬中的某些種的必需性。可以毫不懷疑，隨着我們淨化培養液使不被極少量的微量元素所污染的方法的改進，還將証明更多的微量元素是為植物所必需的。

近來在酶和維生素化學領域中的巨大發現和無數的有機金屬絡合物有生理活性的新的事實，使我們了解為什麼在植物中所找到的礦質元素中，很多都起着重大的生理作用並為植物所必需。

礦質元素與組成原生質的有機物質形成無數的有機礦物化合物的能力，乃是決定着生物的動態性和生命現象之豐富多彩的重要因素之一。遠在70多年以前卓越的俄國化學家古斯塔夫松(Г. Г. Густавсон) 關於在植物有機體中有機礦物化合物的特殊的巨大的動態作用的意見，在科學發展的進程中被証實了。

為了說明複雜的有機礦物化合物在有機體中的特殊作用，指出大量元素磷與糖的複雜化合物——糖的磷酸酯就足够了。

如所周知，磷酸與糖形成酯——己糖磷酸酯，它作為中間產物而在呼吸和發酵過程中起着重大作用。磷酸與葡萄糖的化合(磷酸化)引起分子的極化，結果該分子較易於遭受變形、氧化或稀醇化作用。Б. Н. 斯切帕年科(Б. Н. Степаненко, 1945)指出，幾乎在所有的生物

學條件下的變化中，糖都是先變成磷酸酯的。他成功地證明了：己糖磷酸酯的不穩定性可由它在平衡溶液中向羥型方面的變動來解釋，這種形式比其他形式的糖較容易發生多種多樣的化學反應。這些材料証實了 Г. Г. 古斯塔夫松所早已發表的思想：有機礦物化合物是能夠參與那些反應，而這種反應是產生它的母體所不能或很難參加的。

營養物質的同化和變化，以及形成原生質與貯藏物的有機化合物的合成作用，都需要不斷的能量供應才能實現。克列托維奇 (В. Л. Кретьевич, 1952) 認為如果沒有特殊的儲藏自由能並輸送自由能以應合成反應中利用的特殊系統，生命就是不可能的。這種系統中最重要的就是三磷酸腺甙 $\rightarrow$ 二磷酸腺甙系統。此外，特別富於能量的高能鍵，也含於烯醇式磷酸丙酮酸和乙醯基磷酸中。

В. Л. 克列托維奇 (1952) 也指出這種情況是最重要的，即磷酸和維生素之參與新陳代謝是由於它們與在代謝作用中起着主導作用的蛋白質結合的結果而實現的。

微量元素——硼也能與糖、酯、羥酸形成很多有機礦物絡合物。現在已証實了硼與 α 和 d -葡萄糖， d -果糖， d -甘露醇，甘油，酒石酸，吡醇素（維生素 B_6 ）和其他有機化合物形成有機-硼絡合物。同時硼也正像參加到這些絡合物中的有機化合物一樣，本身的性質也發生了變化；例如硼與糖形成酸性的較易解離的化合物，並因而提高了其酸度；糖的光學性質發生了變化，並且尤為重要的是同時增加了它對氧化作用的抵抗性。

如果假定在植物有機體中可能有這樣的糖與硼酸的絡合物存在，那就可以提出：不同的糖與硼酸形成絡合物的不同能力，在碳水化合物化合物的合成和轉化過程中可能是有意義的。下列可能性並不被排斥，並且將得到證明，即硼糖絡合物在碳水化合物化合物的轉化方面雖然不起着像糖的磷酸酯那樣巨大的作用，但在某種情況下却起着相當大的作用。

當微量元素與蛋白質化合時產生具有顯明的生物活性的物質，甚至當這些所形成的化合物並不是酶時。例如，大家都知道，含銅的

絡合物血藍蛋白是許多無脊椎動物血液中主要的呼吸色素。血銅蛋白、氧化血銅蛋白和鉄-銅-核蛋白絡合物是参与高等動物和人的血紅蛋白、細胞色素和細胞色素氧化酶的合成过程的中間產物。

大家也都知道，鈷也在很大的程度上表現着常常与氨基酸和簡單蛋白質形成这种有机金屬絡合物的能力。鈷与組氨酸結合成絡合物。鈷-腺嘌呤的化合物是大家都知道的。半胱氨酸与 Co^{++} 所形成的絡合物較易氧化成含 Co^{+++} 的化合物。

鈷对酵母菌的生長上的一定的正作用，某些学者用它之与半胱氨酸形成絡合物的能力來解釋，这种絡合物大概消除了可逆的氧化还原过程。

这样的例子可以举出很多。但是微量元素与形成酶系統的蛋白質的化合物起着特別重要的作用。

在最近所作的傑出的發現指出了許多在細胞內的代謝过程中起着重要作用的酶是有机礦物絡合物——蛋白質与金屬的化合物。銅是多酚氧化酶、漆酶、抗坏血酸氧化酶的組成部分。根据米赫林和科列斯尼科夫 (Д. М. Михлин и П. А. Колесников, 1947) 的研究，多酚氧化酶在植物界具有主要的意义。鋅参与呼吸酶碳酸酐酶的組成。鋁参与醛氧化酶的組成。鉄，它也应该算作微量元素，参与細胞色素氧化酶，过氧化氢酶，过氧化物酶，綠过氧化物酶 (вердо-пероксидаза) 等等的組成。在錳、鈷、鉻方面也有同样的資料，業已証明它們是一定的酶的組成部分。也同样確切的知道鋁、鈮、錳、鋅、鈷、鎳和某些其他微量元素，以及鹼金屬和鹼土金屬乃是酶的必需的活化剂。它們是如此密切的和酶反应过程联系着，以至於沒有它們的存在这些反应一般是不可能發生的。

除此之外，知道許多种微量元素——鋁、鋅、鈷、砷、碘、鈷、鈮、鐳、鈹、氟和其他能加速或延緩一定的酶的活動。

大多數金屬在植物和動物的新陳代謝过程中總是与它們的酶系統的催化作用相联系着，这变得越來越清楚了。在某些金屬酶中的金屬是含有金屬的酶分子在催化作用上活潑的組成部分。但金屬也

可能不是酶的催化中心。例如在羧化酶的酶複體中所看到的那樣。在這種情況下金屬的作用在於將基質與在催化作用上活潑的蛋白質聯結起來以造成酶的基質。酶——蛋白質和基質通過金屬離子而相互作用，甚至也可把金屬看作是活化機制的組成部分。

某些金屬當與蛋白質或其他有機化合物結合時它們的催化活動性究竟增加多少，可以從下面的例子看出來。如所周知，銅在某種程度上能氧化抗壞血酸。但銅的這種作用與含有銅的抗壞血酸氧化酶的作用比較起來要小得多。沒有發現鋅有任何加速 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 反應的作用，但鋅的蛋白質化合物——碳酸酐酶卻催化着上述的可逆反應。 Mg^{++} ，葡萄糖磷酸變位酶的活化劑，在酶不存在時則不能表現任何催化作用。當鐵從簡單的鐵離子轉變成與特殊蛋白質相結合的複雜的血紅素絡合物時，催化能力增高 10^{10} 倍。這樣，正如奧巴林院士（А. И. Опарин）所指出的，總計起來，參加到過氧化氫酶複體中的 1 毫克鐵，能代替 10 噸無機鐵的作用。

大家也都知道，在有機絡合物維生素 B_{12} 中的鈷，比無機態鈷要活潑上萬倍。這種例子可以舉出很多。

作為生命現象的基質的蛋白質化合物，與金屬組成活動性非常大的金屬酶的能力，在地球上的生命的發生和發展上起了很大作用，並且用新的、有趣的事實豐富了唯物主義自然科學。

現在有把酶分成下列三類的可能性，像納沙爾（Najjar, 1951）所作的那樣。

1. 真正金屬酶——對一定的金屬具有明顯的和一定的特殊性。其中的金屬緊緊地與蛋白質結合並且不能與蛋白質分開。

2. 其它的金屬酶——具有不明顯的特殊性。其中金屬比較容易與蛋白質分開並且能被別的活潑的絡合物中的某種或某些種金屬所置換。

3. 不被金屬離子所活化的酶，它們大概或者在與蛋白質所形成的化合物中不含有金屬，或只含有極少量的金屬以致於不能被發現。

屬於第一組的有含銅的酶、含鐵的酶、含有鋅的碳酸酐酶和一些

其他的酶。不管金屬所實現的作用如何，金屬酶的這一組可有兩種特徵：一種是金屬結合得很緊並且不能脫掉的，它們的特殊性是絕對的。在這種情況下，金屬與酶的蛋白質載體結合得如此緊密，以致於正如科瓦里斯基 (В. В. Ковальский, 1952) 所指出的那樣，用與金屬形成牢固的特殊化合物的物質，也不能使這種金屬從酶的蛋白質載體中脫出來。例如，能與鋅形成絡合物的二磺踪，並不能與碳酸酐酶之中的鋅化合。甚至於當酶被鹽、酒精、丙酮沉澱時和在各種吸附劑的作用下，都不能從酶中把金屬分離出來。

金屬酶的第二組與第一組相反，具有很弱的特殊性，因為這組酶中的大多數是被一種以上的金屬所活化的。例如磷酸葡萄糖變位酶被 Mg^{++} , Co^{++} , Mn^{++} , Ni^{++} 所活化，烯醇化酶被 Mg^{++} , Mn^{++} 和 Zn^{++} 所活化。精氨酸酶被 Co^{++} , Mn^{++} , Ni^{++} , Fe^{++} 所活化。一種梭菌 (*Clostridium Welchii*) 中的卵磷脂酶被 Ca^{++} , Mg^{++} , Co^{++} , Zn^{++} , Mn^{++} 所活化，而多肽酶為 Zn^{++} 和 Co^{++} 所活化。根據 С. Е. 布列斯列爾和羅贊茨維格 (С. Е. Бреслер и Н. А. Розенцвейга, 1951) 的材料，鉻具有活化胰蛋白酶並參與其組成的能力。當透析時鉻被分離出來，可能是被鎂置換了；在這時催化的活動性仍保存着。羧化酶的金屬成分也不是特殊的。如所周知，羧化酶是由蛋白質，作為輔酶的磷酸硫胺素和金屬——鎂所組成的，但這一絡合物中的鎂在不同程度上可被 Mn^{++} , Co^{++} , Ca^{++} , Fe^{++} , Cd^{++} 和 Zn^{++} 所替代。在羧化酶中金屬的作用不是催化，它是保證酶與基質的聯系的。這些絡合物中的金屬不具有輔酶的作用，它僅加強磷酸硫胺素的功能。酵母菌的醇己醯酶 (зимогексаза) 與一系列兩價離子起反應，但不與三價離子起反應。在這種情況下金屬的化合價表現了比它們的性質更為顯著的作用。

其他事實也指出在這種情況下化合價的意義。如霍瑞克、斯托茨和霍格耐斯 (Horecker, Stotz and Hogness, 1939), 波特和施奈德 (Potter and Schneider, 1942) 証明了鋁參與琥珀酸去氫酶——細胞色素 C 系統，細胞色素 C 是哺乳類動物體內琥珀酸氧化的主要機制。

其它三價元素——鉻、釹、鐳、釷——能代替在这个系統中的鋁。這樣的為多數金屬所活化的作用的例子能够举出很多來。

在金屬的活化剂方面具有不顯著的特殊性的一大羣金屬酶的存在有着原則性的意义。这意味着在某些為酶所限制着的反应中，一种金屬可以被其它金屬所代替或者它的不足可以全部地或部分地为其它金屬所補償。这表明，除了在許多生理學过程方面的离子拮抗現象以外，由於各种离子對酶活動的相似影响，还可看到在它們的一系列生理學过程的作用上的某些相似之处。

例如鋅和鎘對酵母菌的酶的相似的作用，早在1913年便被科斯特切夫 (С. П. Костычев) 和謝洛烏莫夫 (А. Шелоуов) 所証明了，他們發現了鋅對酒石酸發酵过程有特殊的影响。當發酵時在鋅的影响下乙醛就累積起來。鎘鹽也引起了同樣的現象，和鋅鹽一樣，但在程度上還要更大得多。但鈷、鈣、鎂、鋇、汞和鋁不能引起相同的效应。

瓦灵和渥克曼 (Waring and Werkman, 1944) 揭露了有趣的事實。當研究缺鐵對固氮桿菌 (*Azotobacter* sp.) 的影响時，他們發現，當鐵虧缺時，細胞的細胞色素氧化酶系統仍是很活潑的，而這種酶中的鐵是不能被其他金屬所代替的；但是，鐵可以被其他金屬所代替的別的酶系統却破坏了。在這些酶系統中，施入能够代替鐵的金屬則會發生正的影响。

某種元素能够對一定的生理學过程表現出和某些別的元素的影响方向相類似的作用，不僅當它代替這種金屬而作為金屬酶的活化剂的時候，並且也當它以與該元素類似的形式增強或減弱某一種酶或某幾種酶的作用的時候。

這些事實使我們能够說在代謝作用中，包括微量元素在內的各种礦質元素之間是有相互联系的。這種相互联系在頗大的程度上是決定於它們以某種類似的方式影响於酶活動的能力的；而在离子拮抗作用的情況下，則決定於它們以相反的形式而影响於酶的活動的能力的。如果考慮到所有現在已知的在有机体中物質的轉化是在相

应的酶的参与下而实现的。並且植物生活活動的最重要的过程——呼吸作用就是酶促过程，而在生命活動的另一重要过程——光合作用中，暗反应也是靠酶來進行的，那麼礦質元素对酶活動的这种影响的巨大意义就很明顯了。

同時，任何礦質元素，包括微量元素在內，能够由於它們对原生質膠体化学性質的相同或相反的影响，而在新陈代谢的一定方面表現相同的，或者相反的影响，因为生理过程主要是依賴於原生質的膠体化学性質的。

某些相互拮抗的离子，例如鉀与鈣，对原生質的膠体化学特性——膨脹性和黏滯性的相反的作用老早就被証明了。最近在与納坦松（Н. Е. Натансон, 1953）的共同工作中，我們成功的發現了某些离子对原生質膠体化学特性的作用相同的事实。原來微量元素硼、錳、鋅和銅在低濃度時增高原生質的黏度，而在高濃度下則相反，減低原生質的黏度。

很可能，某些微量元素对酶的活動和对原生質的膠体化学特性的作用相同的能力，可用來解釋許多微量元素对植物生長有肯定的刺激性影响，而它們对植物的絕對必要性又沒有得到証明的事实。我們首先注意到人所熟知的保加利亞波波夫院士（М. Попов）和其他在种子的化学刺激方面的研究者們的有趣的工作——在这些工作中得到了砷、汞、鉛和其它元素对植物生長的正效应，以及楊恩（Young, 1935）所獲得的事实。楊恩研究了五种不同濃度的 35 种微量元素对貓尾草生長的影响。35 种被研究的微量元素中，只有鈷甚至於在低濃度時还表現毒害作用，而銀則沒有任何效应。其餘的 33 种元素，在不同的濃度下对貓尾草的生長都表現了正的作用。

酶化學的現代成就——一大類金屬酶的發現，以及在它們的活躍的絡合物中一种金屬可以被另一种金屬所代替，还有包括微量元素在內的某些元素对增强或減弱酶的活動性的影响相同的事实，解釋了在上一世紀末年已經出現的那些事实，即在低等植物方面一种元素能被另一种元素所代替，和在高等植物方面一种酶的不足可以

部分地被另外一種酶所補償。這種的代替或部分地補償可能僅是這些元素對新陳代謝的影響相同的結果。

關於離子對植物生長的相同作用，關於一種離子代替或部分地補償另一種離子的不足的問題，是具有其本身的歷史的。

最先被發現的是在低等植物方面，一種元素為另外一種多半是相近似的元素所代替的可能性。布依阿克 (Bouilhac, 1894) 證明了在低等植物中含碘的化合物能部分的代替磷。在本世紀的開始俄國學者康傑爾 (Р. М. Кантер, 1903) 證明了錳雖然不能完全代替鐵的功能，但當缺鐵時錳能大大地促進生長。

後來，別涅凱 (Benecke, 1912) 用鉀或甚至鈉代替鉀得到了一定程度的成功。這一點後來被皮爾遜 (Pitson, 1939) 所証實。薩波什尼科夫 (Д. И. Сапожников, 1937) 証實了在紫色硫細菌中硒能代替硫的事實。尼爾遜、阿爾和布爾斯苗姆 (Nillson, Alm and Burström, 1942) 發現了在低等植物中錳可以部分的代替鎂。霍夫曼 (Hoffman, 1943) 指出了：鈾作為催化劑參與黑麴黴 (*Aspergillus niger*) 的新陳代謝，並且為這種真菌生長所必需的鋅能夠成功地被鈾所代替。

著名的植物生理學家柳比明科 (В. Н. Любименко) 在他的“植物生物學”一書中，這樣敘述關於植物中的一種元素之被另一種元素所代替。

“試驗證明了，對於藍綠藻，鉀能夠全部被鉀和鈉所代替。這個事實與適應性隨着進化過程而被固定下來的概念完全一致。下等植物對灰分元素提出最低的要求，所以鉀能被性質上相似的金屬所代替。高等植物則由於適應過程，已經不能這樣替代了。” (1942, 216 頁)

В. Н. 柳比明科關於高等植物一種元素不可能完全被另一種元素所代替的這種意見直到現在仍然是正確的。但在他的時代已經有了在高等植物中一種元素部分地被另外一種元素所代替或者一種元素的不足可以部分地被其他元素所補償的材料。我們所指的是上世

紀末的斯托克拉薩(Stoklasa, 1897)的材料。这位作者在布依阿克从低等植物所得到的事实的影响下, 給自己提出了研究任务, 要研究在高等植物中用砷代替磷的可能性的問題, 並且得出了結論: 当磷酸不存在時, 砷酸有力地增加了植物的生長, 但不能完全代替磷。

我們現在从这一有趣的著作中引用一些資料。在他的一个試驗中玉蜀黍的乾重是: 对照等於 68.54 克, 施加砷酸的——67.32 克, 缺磷的——12.39, 缺磷而施加砷酸的——42.13。

亞丁和阿斯特魯格(Jadin and Astrug, 1916)認為这种磷部分地为砷代替的原因, 是後者在植物細胞中能够形成像磷所形成的功能相同的化合物的能力。

在我們这一世紀初發表了許多著作, 其中証明鈉能部分地代替鉀(Hartwell 和 Pember, 1908 和其他的学者)。以後, 在这个問題上累積了相当多的文献, 在哈邁尔和本內(Harmer and Benne, 1941)的著作中作了綜合論述。作者在这一著作中, 根据缺鉀時鈉对植物的良好影响而把植物分成兩類。

1. 第一類植物, 鈉对它們發生不大的影响或不發生任何的影响; 如玉米、黑麥、萵苣、洋葱、馬鈴薯、大豆、菠菜、醋栗、向日葵、蚕豆。

2. 第二類植物, 鈉对它們發生中常的良好的作用; 如天門冬、大麥、胡蘿蔔、棉花、亞麻、燕麥、豇豆、小麥、大巢菜、抱子甘藍、番茄。还有用鋁部分地代替鉀和用鉍部分地代替鎂的文献資料。最近又証明了, 鋁能減弱大麥缺鉀的不良作用, 減輕缺鐵所引起的病害。

我們實驗室中關於硼的生理作用的研究, 成功地發現了新的有趣的事实: 對於高等植物, 硼的不足能够部分地被其它元素所補償, 首先是鎂, 其次是鉀、鐵和鉍以及过氧化氫。

必須指出在植物的硼素营养方面, 和其它营养元素比較起來有許多不同的特點。我們(Школьник, 1939)已証明了硼为一切高等植物所必需, 但在程度上有顯著的不同。對於一些植物——双子葉植物(亞麻、大麻、向日葵、苜蓿等), 缺硼時在子葉開張後立即引起生長點的萎萎和植株的死亡; 可是另一些植物——禾本科(小麥、苏丹草

等)在這種情況下,營養器官生長方面或是完全看不到任何不正常現象或是它為害很微小。缺硼時所特有的生長點死亡的現象是沒有的,或只是當過渡到結實時,才觀察到某些異常現象,這種現象表現為果實產量的或多或少的低降。如已觀察到的,某些植物,例如蘇丹草在缺硼時,以同樣的營養部分的收穫量計,果實的產量降低到十分之一;而小麥則只減低 50%。其後科瓦列娃和施科爾尼克 (Н. В. Ковалевая и М. Я. Школьник, 1954) 的工作中判明了缺硼的大麥,其營養部分的收穫量和得到硼的植株比較起來相同或者還好一些,但一般地不產生任何子實的收穫——它們的穗完全是不孕的。

對硼需要上的鮮明的差異不僅為不同種的植物所固有,而且也為同一種中的不同品種所固有。庫茲明科和布斯洛娃 (А. А. Кузьменко и Е. Д. Буслова, 1934), 加芙莉洛娃 (Л. Т. Гаврилова, 1935) 指出了某一煙草品種沒有硼也能够結果實,可是另外的品種則看到生長點的萎縮並完全不結果實。

此外還闡明了,甚至於同一種強烈需硼的植物,如亞麻、煙草和其它雙子葉植物,視培養液中礦質元素的比例、pH 值、培養液中過氧化氫的施入而定,視溫度因素和光照強度而定,對硼的需要也會有顯著的區別。

Л. Т. 加芙莉洛娃 (1935) 用溶液培養研究磷和鉀的不同劑量對煙草生長的影响時,指出了當磷減低到完全營養液中劑量的 $\frac{1}{16}$ 時,鉀量的增加能够減低植物對硼的需求。在我與馬卡洛娃 (Н. А. Макарова) 共同用亞麻進行研究中 (1950) 指出了,當大大地減低氮的含量和當施入高量的鉀而減低磷和氮的劑量時,能够大大地減少植物對硼的需要。其後,布斯洛娃 (Е. Д. Буслова, 1952) 的工作闡明了從培養液中除去氮對亞麻和向日葵始終看不到像在含氮的缺硼培養液中那樣的病徵。

所有這些材料都與不同學者研究由土壤中缺硼所引起的生理病時所觀察到的事實相一致:希爾 (Hill, 1935) 指出了蘋果的病害“心木栓化”是與土壤中含氮量高,有效態的鉀含量低和 N:K 和 P:K 比

值高相联系的。为这种病所损害的树木,当用硼和硅化合物的溶液注射到小枝时即痊愈了。当注射氮盐时则病害加剧,而注射完全肥料则大大地减轻了这种病害。

在施米德特 (Schmidt, 1937) 的试验中阐明了以两倍量的氮培养而发育壮大的糖用甜菜植株,因没有施加硼而得“心乾腐病”并死亡。这种疾病永远不在氮素营养少的甜菜中发生。

彼伊茨 (Я. В. Пейве, 1938) 指出了防治由细菌感染和不施硼所引起的亚麻病害的可能性,例如,用各种矿质元素和各种因素的合理比例。这样的例子可以举出很多。

在我与 H. A. 瑪卡洛娃的共同工作中(1950)指明了在亚麻的发育初期,当培养在不高的温度和低的光照强度条件下时,高剂量的铁能部分地补偿硼的不足。在这个试验中,在沒有硼而增加了铁剂量的处理中,在减少了氮和磷的剂量并增加了钾量而無硼的处理中,也像在有硼的处理中一样,在幼小时沒有看到一株植物的生長点死亡。圖 1 表明,沒有得到硼的亚麻植株生長点死亡,而在发育初期当缺硼而得到高剂量铁时亚麻生長得相当正常。如所周知,当缺硼

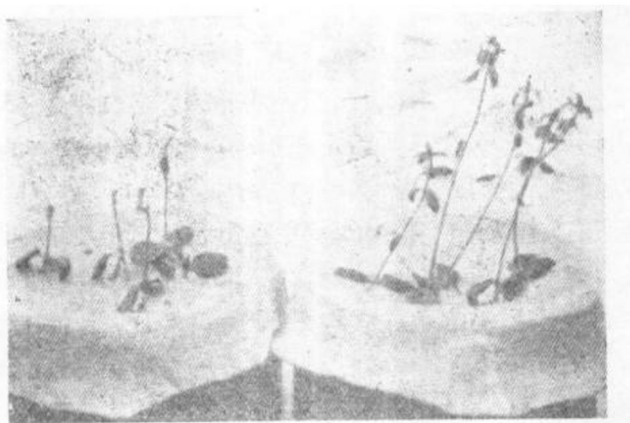


圖 1 当从培养液中除去硼时,铁的补充施入对亚麻生長的影响

左. 沒有铁的补充施入;

右. 按照克諾普增施鉄的三倍定額。

時發育起來的植株的特徵是完全沒有側根。缺硼時在高的鐵量下，正像培養液中有硼一樣，側根發育良好，這也表明了這兩種元素的某些相似的作用。

還有別的指明上述兩種元素的某些相同作用的證據。我們發現硼能部分地補償培養液中鐵的不足，圖2和表1很好地說明了這一點。這兩種元素彼此相互部分地補償的能力更加着重的說明了在它們的作用中有某些相似之處。

表1中所列數據表明在缺鐵時施加硼，葉片中葉綠素含量減低得比較少。

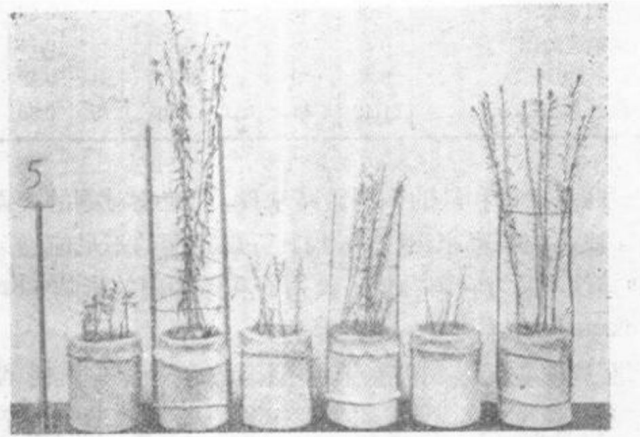


圖2 在培養液中鐵不存在時硼對亞麻生長的作用

1. 無硼； 2. 有硼； 3. 無鐵和硼； 4. 無鐵有硼； 5. 無鐵和硼； 6. 無鐵有硼。

我們所引用的材料說明礦質元素在新陳代謝的作用中，有着深刻的相互聯系。

在氮和磷的劑量高時——並因而在組織中 $N:K$ 和 $P:K$ 的比例破壞時，以及在石灰的劑量高時，植物對硼的大量需要，指明着在這種情況下硼能夠發生與這些元素的高劑量對新陳代謝的某些重要方面所發生的作用相反的（拮抗的）影響。這就使硼能夠消除它們對新陳代謝的單方面的不良影響（Ковалева, 1963; Ковалева 和 Школьник, 1964）。