

ホウ素に関する作物栄養学的研究

山内益夫*

昭和53年8月31日受付

Boron Nutrition in Crop Plants

Masuo YAMANOUCHI *

Twenty six crops were grown in a nutrient solution with the five boron treatments (5×10^{-4} , 5×10^{-3} , 0.5, 5 and 10 ppm B).

The characteristics of the boron adaptability of these crops were classified into 4 types and 10 groups, by the comparison of the relative growth with boron treatments. It was shown that the absorption and/or translocation of the other elements and the translocation of sugar were not affected by the boron treatments.

It was suggested that the main factor of over-liming inducing boron deficiency in upland crops was the increase of the soil fixation of boron with the increase of soil pH, but boron deficiency was not dependent on the repression of boron absorption and/or translocation by the higher pH or the higher calcium concentration in media.

The over-liming effect on the repression of boron absorption differed remarkably from the tested soils.

If it is expected that the rainfall will be more than 1100 mm within the crop season, it is concluded that there will be nothing to worry about boron toxicity in fertilizing boron to next crops. It was necessary to apply the boron every year in the fields, when the crops, requiring the boron application, were planted every year.

結 言

わが国における作物のホウ素（以下Bと称す）欠乏症は、1950年代にナタネ、ブドウ、ダイコンその他の野菜、根菜類、果樹など多数の作物で実際圃場において広範に確認され²³⁾B欠乏土壌は13.5万haに及ぶとされた⁵⁾が、各地の農業試験場を中心として対策がたてられ、その後、全国的な規模でB欠乏が問題とされることはなくなった。しかし、昭和49年度のBを含む肥料の製造はホウ砂換算で約4000t前後と考えられ、仮に年間その8割が使用され、10a当たり1kgの施肥を行うとすれば、32万ha分のB質肥料が使用されていることとなり、B施与を必要とする土壌は増加しつつあるものと考えられる。

一方、Bの生理作用は充分解明されておらず、また、

B欠乏あるいは過剰に伴う代謝変動についても研究者によって相反する知見が多く出されており、Bの肥培管理技術を考える上での障害となっている。

そこで、著者は培地条件の変動に伴う作物のB栄養生理の変化に関して、比較栄養生理学的な面に重点を置いて研究を行い、これまでの相反する種々の結果を整理し、合わせて、土壌中のBの動態を追跡することによって作物のB肥培管理技術を考えようとした。

以下に、この課題と関連する既往の知見の概要を紹介しつつ、検討すべき問題点を指摘する。

1) 培地ホウ素適応性：植物体のB含有率には大きな種間差のあることが広く知られている。そして、一般に、同一土壌に生育している植物体のB含有率の高低とその植物のB要求度の大小は一致する傾向にあるといわ

* 鳥取大学農学部農芸化学科作物栄養学研究室

Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University

れる。¹⁾ 田中⁴⁵⁾は、各種作物の根のB吸着容量の大小と要求度の大小とがよく一致すると報告した。また、植物が正常に生育することができる培地B濃度の幅は非常に狭く、⁵¹⁾ 一般に必要な量の少ない作物(イネ科)は過剰になりやすく、多い作物(アブラナ科)は欠乏しやすい^{21,40)}といわれている。高下ら¹⁷⁾はこの指摘を支持し、高濃度B耐性が強い植物(要求度の大きい植物)の方が弱い植物より高B濃度培地における根のB含有率が低いことを指摘した。これらの報告では要求度あるいは必要量の定義はかならずしもあきらかにされていないが、培地適応性も要求度と同一の概念で律することができる可能性を示唆している。

Eaton⁷⁾は葉へのBの集積と高濃度培地耐性とは必ずしも関係がないことを示した。すなわち培地中のB濃度が高い場合、マスクメロンでは葉のB含有率が高くなっても、標準区に比べ生長の減少は少なく、耐性は強いと考えられるが、ヒヤクニチソウではB含有率が高くなると生長が減少し、耐性が弱いことを示した。しかし、Oertliら²⁵⁾は、種々の植物を10ppmBを含む培養液で砂耕し、過剰症を呈した葉をネクロシス部、クロロシス部、正常部の三部に分けてそれぞれの部分を分析した結果、本質的なB感受性の種間差は存在しないことを示し、みかけ上の過剰症発現の難易は葉へのBの蓄積速度に依存するとした。

2) 他の無機要素の吸収調節 : 培地中のある要素の濃度変化に伴い、そこに生育する作物のその要素の含有率が変動する。それが、直接、間接に他の無機要素の吸収・移動に影響をおよぼす。しかも、Bの場合は主要な生理作用の一つとして、他の無機要素の吸収調節²⁸⁾が挙げられていた。それにもかかわらず、現在でも他の無機要素の吸収・移動に及ぼすBの影響については定説が得られていない。わが国においてもBの添加は陰イオンの吸収を抑制し、塩基の吸収を促進するという報告が多い³⁹⁾。Parks²⁸⁾がトマトを用いて行った実験では、培地B濃度の上昇に伴い、葉の含有率が上昇する要素としてチッ素(以下Nと称す)、リン(P)、マンガン(Mn)、鉄(Fe)を挙げ、あるB濃度に極大を有する要素として、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、イオウ(S)、モリブデン(Mo)、極小を有する要素として、亜鉛(Zn)、銅(Cu)を挙げている。そして、B濃度の変化に伴うこれらの要素含有率の変動は、それぞれの要素の電荷あるいは乾物生産量には無関係であるとした。Reealde³⁰⁾はトマトを用いた試験で、培地B濃度の増加により、N、P、K、S、Ca、Mg含有率は上昇すると報告した。一方、最近B欠乏でP

の吸収が抑制されることがサイトウ³²⁾オオムギ、ミドリマメ、エンドウ¹⁸⁾で報告されている。若いトウモロコシで培地B濃度が0.5~5ppmBの範囲で上昇するとCa含有率が上昇するという報告があり¹⁶⁾、Minarikら²⁰⁾は古く、ダイズでは0~10ppmBの培地B濃度範囲で低B濃度でも高B濃度でも、生育が抑制される培地B濃度ではCaの吸収が抑制されることを報告している。また、棉のMn過剰限界濃度は培地B濃度によって影響されないことが指摘されている。²⁶⁾ Berger¹⁾の綜説には、B欠乏では植物体中の蛋白態-N/可溶性-N比が低く、Bの供給の増加に伴って、この比が上昇したという多くの研究が紹介されている。また、山本⁵¹⁾もナタネで同様の結果を報告した。一方、Shiralipourら³⁵⁾は、B欠乏のラッカセイの葉では、正常葉に比べ全アミノ酸と全チッ素含有率は上昇し、蛋白態-Nは変化がないことを示した。以上のように、多くの報告がなされているが、各種の植物を同一条件で栽培し、無機要素の吸収に及ぼすBの影響を検討した例は少ない。

3) 炭水化物代謝 : GauchとDugger⁹⁾はBの主要な役割は糖の移動調節作用であり、半透膜に局在するBが糖と結合して糖の半透膜を通しての移動を促進するという仮説を提唱した。そしてこの仮説によりB欠乏植物の葉に糖あるいは他の炭水化物が蓄積する現象を説明できるとした。しかし、この説に対しては反論があり^{24,38,50)}さらにB欠乏の葉に糖やでん粉が蓄積するという現象がすべての植物において統一的に認められるわけではないようである。¹³⁾

4) 石灰過剰施与によるホウ素欠乏の発生 : 古くBrenchey & Warrington⁴⁾は吸収におけるBとCa間の関連を示した。Reeve & Shive³¹⁾はトマトにおいて培地にCaが多い場合は、少ない場合に比べて、B欠乏症がでやすく、B過剰症がでにくいと報告した。また、Jones & Scarseth¹⁵⁾は正常な生育には適切なCa/B比が必要であることを種々の植物について示した。Tanaka⁴⁹⁾はダイコンを用いた水耕でCaはBの吸収を阻害することを示唆し、また、ヒマワリではCaの体内蓄積量の増加につれて、Bの葉への移動が阻害されると述べた。さらに、彼は⁴⁵⁾ヒマワリで培地pHの上昇は根部におけるBの吸着量を増加し、地上部への移動をさまたげるとを示し、CaとBの上述の関係を支持した。

一方、土壌によるBの吸着がpHの上昇により増加することに関する初期の研究はBerger¹⁾の綜説に詳しく述べられている。Sims & Bingham^{36,37)}やBinghamら^{2,3)}は一連の実験で土壌中の三二酸化物、特にアルミナが高

pHで沈澱する際に大きなB吸着能をあらわすことを示し、その機構についての仮説を提唱した。また、Hatcherら¹²⁾も水酸化アルミニウムによるBの吸着に注目している。しかし、土壌のB吸着の主因がアルミニウムであるという定説は得られていない。⁴⁸⁾ わが国においても、Hara-da & Tamai¹¹⁾ は23種の土壌を用いBの吸着に關係する土壌の性質につき検討し、遊離のアルミナ含量、遊離鉄含量、有機物含量、リン酸吸収係数及びアニオン置換容量と土壌のB吸着量の間の相関係数はそれぞれ0.811 (P<0.001), 0.362 (P<0.1), 0.535 (P<0.01), 0.817 (P<0.001) 及び0.701 (P<0.001) であったと報告した。また、火山性土壌では有機物を分解除去することでBの吸着量は増加すると報告した。

田中^{46,47)} は土壌に吸着されたBが作物に対して不可給態であるか否かをイネを用いて検討し、吸着態のBは非吸着態のBよりかなり吸収され難いが、いずれ吸収されるとした。また、Gupta¹⁰⁾ は、pH上昇によりオオムギに対する可給態のBは減少することを示した。

以上の研究報告を綜括すると、Bの要求度は作物によって異なり、至適濃度範囲が狭いことにより、要求度の低い作物は高濃度培地耐性が弱く、それが高い作物は低濃度培地耐性が弱い可能性が論ぜられている。また、他の無機要素の吸収あるいは炭水化物代謝に対するBの影響については研究報告間に相違がみられ、その差異は栽培法の違いによるものか供試作物の差によるものかはあきらかではない。いずれにしても、多くの作物を同一条件で栽培し比較栄養生理学的な観点で再検討する必要がある。

さらに、培地条件、特に石灰過剰施与でもたらされるB欠乏発生の助長の原因については、作物的要因(1. 培地pHの上昇が作物のBの吸収・移動を抑制する。2. 培地Caの富化が作物のBの吸収・移動を抑制する。3. 培地の高pHと高Caが組み合わさった時にBの吸収・移動を抑制する。4. 作物体中のCa含有率の上昇によってBの活性が減少する。)と土壌的要因(1. 土壌pHの上昇がBの固定を促進する。2. 土壌中でCaが富化されるとBの固定を促進する。)とが挙げられ、いずれも重要な要因であるとされている。しかし、上記の作物的要因を検討したところ、既往の研究報告とはかならずしも一致しない結果を得、また、土壌的要因についても、石灰施与に伴うBの固定量増加は、カルシウムメタボレート⁵⁾の形成によるのではなく、⁶⁾ 三酸化物等との結合量の増加によるものとするれば、遊離の鉄あるいは遊離のアルミナいずれが主因であるにしても、石灰施与によるB固

定量の増加には土壌間差が存在することが予測されるが、その点についても明確な論議はなされておらず、さらに検討を加える必要がある。

本研究は培地のB濃度が変わった場合、作物の生育、養分吸収、炭水化物代謝などがどのような変化を受けるか、また、培地のpHあるいはCa濃度が変わった場合、Bの吸収・移動が如何に影響されるか等について、作物種間の反応性の差を軸に検討することにより、これまでの錯雑した実験結果を整理し、さらに、土壌中でのBの動態も合わせあきらかにすることにより、作物のB肥培管理のための基礎資料とすることを目的として行ったものである。

培地ホウ素濃度の変化に対する反応性の作物種間差異

実験1 ホウ素欠乏症あるいは過剰症発現時の葉中ホウ素含有率

実験方法

10科26種の作物(第1表)を、無施肥の苗床(砂丘地

第1表 供試作物

科名	試料No.	作物名	品 種 名	栽培期間
マメ	1	ダイズ	新 四 号	1/20~1/30
	2	アズキ	宝 小 豆	1/20~1/30
	3	サイトウ	大 正 金 時	1/20~1/30
キク	4	ゴボウ	常盤ゴボウ	1/20~1/30
	5	シュンギク	大 葉 新 菊	1/20~1/30
	6	レタス	グレートレークス366	1/20~1/30
	7	ヒマワリ	ロシヤ大輪	1/20~1/30
アカザ	8	テンサイ	モ ノ ヒ ル	1/20~1/30
	9	フダンソウ	ふ だ ん 草	1/20~1/30
ナス	10	ナ ス	長 岡 長 ナス	1/20~1/30
	11	ピーマン	キングピーマン	1/20~1/30
	12	トマト	大 型 福 寿	1/20~1/30
タテ	13	ソ バ	在 来 種	1/20~1/30
ユリ	14	ネ ギ	細 葱	1/20~1/30
	15	タマネギ	貝 塚 早 生	1/20~1/30
セリ	16	ニンジン	新大型五寸人参	1/20~1/30
	17	パセリ	中里パセリ	1/20~1/30
ウリ	18	カボチャ	日 向 十 四 号	1/20~1/30
	19	スイカ	乙 女 西 瓜	1/20~1/30
	20	キウリ	四 葉 胡 瓜	1/20~1/30
アブラナ	21	キャベツ	野 崎 中 生	1/20~1/30
	22	ハクサイ	野 崎 二 号	1/20~1/30
	23	ダイコン	早 太 花 不 知	1/20~1/30
イネ	24	イ ネ	ヤ マ ビ コ	1/20~1/30
	25	オオムギ	ダイセンゴールド	1/20~1/30
	26	トウモロコシ	ホホワイトデント	1/20~1/30

の未耕砂土)で適宜育苗し、6~9個体の苗をa/5000ポリエチレン製ワグネルポットに移して水耕した。マメ科、ウリ科、イネ科の各作物は移植と同時にB処理を開始し、その他の作物は適当な大きさになるまで0.3ppm Bを含む基本培養液(第2表)の1/2濃度の培養液で栽培後、B処理を開始した。B処理(ホウ酸使用)は 5×10^{-4} 、 5×10^{-3} 、0.5、5および10ppm Bの5段階で、各2反復として、連続通気を行い、ガラス室で栽培した。培養液は約7日毎に更新した。更新時にpHを6.8に調整し、栽培期間中pH5以下にならぬように留意した。栽培は1974年の5~10月に盛夏を除いて実施し、栽培日数(第1表)は原則として地上部にB欠乏症(低B濃度区)と過剰症(高B濃度区)の両方が発現するのを基準としたため、作物によって異なる。そして、これらの症状が早く出現する作物は分析試料が確保できるまで栽培期間を延長し、発現の遅い作物では最高1カ月(ネギ)で栽培を打ち切った。

第2表 基本培養液組成

要素	濃度 ppm	使用塩
NH ₄ -N	10	NH ₄ NO ₃
NO ₃ -N	66	NH ₄ NO ₃ Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
P	10	K ₂ HPO ₄
K	65	K ₂ HPO ₄ KCl
Ca	80	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
Mg	48	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Fe	2	EDTA·Fe
Mn	1	MnSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.075	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Cu	0.02	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Mo	0.005	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O

収穫後、葉、茎と根に分割し、常法により乾燥、秤量後、粉碎して分析に供した。

Bの分析は吉田ら⁵²⁾の方法を若干改変して用いた。碎粉試料0.2gを乳鉢で蒸留水を用いて充分磨砕し、15ccポリエチレン製遠沈管に洗い込み、0.5ppm B以下のB処理区では2時間振とう、また、5ppm B以上の区では1時間づつ2回振とうし、さらに1回すすぎ、いずれも各操作後遠心分離して得られた上澄液を合し、その液中のBをクルクミン法で定量して、水溶性Bとした。残渣に0.5N塩酸10mlを添加して2時間振とう抽出し、遠心分離後、同様にBを定量し、水不溶-0.5N塩酸可溶性B(以下水不溶性Bと称す)とし、さらに合計B量をもって全B量

とした(なお、全B量を用いて算出した含有率を単にB含有率と表現した)。

実験結果

欠乏症 : イネとトウモロコシ以外の作物では、B欠乏症はまず根に発生する。一般的に、根の生育停滞からはじまるが、典型的な症状の伸展状況をみると、まず主根の生長が停止し、側根の発生が主根の先端付近まで認められ、多数発生した側根もほとんど伸長しない。一方、正常根では伸長域には側根の発生が認められないことから、欠乏根ではあたかも伸長域が消失したような外観を呈した。イネとトウモロコシでは地上部にB欠乏症の発現を認めた場合にも、根はあまり影響を受けなかった。

本実験の範囲では地上部の典型的なB欠乏症は全て最も若い葉で認められた。シュンギク、レタス、テンサイ、フダンソウは類似した症状で、新葉の発生が止まり、若い葉は褐変して肥大せず、葉柄の基部に黒色の横しまが認められた。マメ科、ヒマワリ、ウリ科の作物は生長点付近が萎縮し、頂葉は伸展せずクロロシスを呈し、まもなく生長点にネクロシスがあらわれ、節間の伸長が停止した。その結果、上部節間が著しく短縮した。これらの症状を呈する作物のうち、マメ科の三作物は欠乏症の現われない下葉は、対照区に比べ多少肉厚、大型となり下向きにカップリングを起こした。イネ、トウモロコシの欠乏症は双子葉植物の場合とやや趣を異にし、若い葉身の先端と基部の中間にクロロシスを発現し、その部分の葉肉が薄くなった。さらに激しい症状の場合は新葉が緑化せず、また展開出来ず、巻いたままの状態となった。

過剰症 : 本実験のB処理の濃度範囲では、マメ科、シュンギク、スイカ、ハクサイ、オオムギなどで高B濃度培地で根長がやや長くなる傾向を示したが、典型的な過剰症は地上部にあらわれた。マメ科の作物は下葉の周辺部がわずかにクロロシスを呈した後、短期間でその部分に褐色斑点を生じ、それが葉身全体へと拡がって行った。さらに激しい過剰症がアズキで認められたが、葉は小形となり、上向きのカップリングを起こし、周辺から枯れ上った。イネ科もネクロシス斑点を生ずるが、それは下葉の頂端から葉脈間に拡がった。ニンジン、ソバ、ウリ科は下位葉の周辺部が鮮やかな黄色を呈し、レタス、ダイコンなどは白化し、トマト、ヒマワリなどは両者の中間色のクロロシスを呈した。また、ナス、ピーマン、ネギなどは他の作物と異なり、本実験の範囲では低B・高B両濃度培地において、地上部にはB欠乏症、過剰症が現れず、生育のみが著しく劣った。

以上のような症状の進展状況から、地上部の欠乏およ

第3表 ホウ素欠乏症及び過剰症発現状態

科名	作物名	欠乏症状				過剰症状						
		培地 B 濃度 (ppmB)				培地 B 濃度 (ppmB)						
		5×10^{-4}	5×10^{-3}	5	10	5×10^{-4}	5×10^{-3}	5	10			
マ	ダイズ	強	ナシ	中	強	ユ	ネ	ギ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ
	アズキ	強	中	強	激	リ	タマ	ネギ	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ
メ	サイトウ	強	少	中	激	セ	ニン	ジン	ナシ	ナシ	中	強
	ゴボウ	少	ナシ	少	中	リ	パ	セリ	中	ナシ	ナシ	ナシ
キ	シュンギク	少	ナシ	ナシ	中	ウ	カ	ボチャ	強	少	中	強
	レタス	少	極少	極少	少	リ	ス	イカ	強	ナシ	ナシ	強
ク	ヒマワリ	強	少	ナシ	中	リ	キ	ウリ	強	ナシ	中	強
	アカザ	テンサイ	激	中	ナシ	ナシ	ア	キャ	ベツ	少	ナシ	ナシ
ナ	フダンソウ	強	ナシ	ナシ	ナシ	ラ	ハ	クサイ	少	ナシ	ナシ	ナシ
	ナス	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	ナ	ダイ	コン	ナシ	ナシ	ナシ	少
ス	ピーマン	ナシ	ナシ	ナシ	ナシ	イ	イ	ネ	少	ナシ	極少	少
	トマト	—	激	—	少	ネ	オ	オムギ	ナシ	ナシ	中	激
タデ	ソ	少	ナシ	少	中	ネ	ト	ウモロコシ	ナシ	ナシ	極少	少

第4表 ホウ素の欠乏あるいは過剰段階における葉の各形態ホウ素含有率 (ppmB)

科名	作物名	水溶性 B				0.5NHCl 可溶性 B				分折該当葉数枚		
		典型的	潜在的	正常	潜在的	典型的	典型的	潜在的	正常		潜在的	典型的
		欠乏*	欠乏*		過剰*	過剰*	欠乏	欠乏			過剰	過剰
マ	ダイズ	4		26		323	6		41		362	2.5~3.7
	アズキ	3		35		461	8		58		481	2.0~4.0
メ	サイトウ	3		27		460	8		41		497	1.2~2.5
	ゴボウ	5		5~18		153	10		11~35		181	5.0~6.0
キ	シュンギク	9		9~10		414	13		17~23		446	10.0~16.2
	レタス	3		19		245	9		32		261	7.9~10.3
ク	ヒマワリ	7		9~248		583	11		40~268		596	4.7~11.0
	アカザ	テンサイ	10		20~519		14		29~543			9.0~11.3
ナ	フダンソウ	7		8~247	371		15		20~260	390		7.1~8.7
	ナス		5	12	98~250			14	25	114~273		5.2~7.4
ス	ピーマン		3~5	13~160				7~9	22~182	388		6.8~16.0
	トマト	8		37~491			14		42~515			5.5~10.0
タデ	ソ	5	6	19		328	18	20	42		402	4.8~6.3
ユ	ネ	ギ	4	23	107~236			7	33	127~260		4.1~4.5
	タマ	ネギ	1~10	14~109	199			11	14~126	216		3.8~4.0
セ	ニン	ジン	4	23		355		11	36		380	6.1~7.4
	パ	セリ	3	10	92		10		24	110		8.5~11.5
ウ	カ	ボチャ	8	20		243		17	41		268	4.4~6.3
	ス	イカ	5	20~248		411	14		39~273		440	5.2~6.1
リ	キ	ウリ	8	8~32		330	20		21~54		382	3.3~5.3
	ア	ブラ	ナ	9	17~176			13	17~196			9.8~11.0
イ	キャ	ベツ	4	11~243			10		16~260			7.7~8.7
	ハ	クサイ	4	11~283		632			12~303		657	9.2~10.5
ネ	ダイ	ネ	4	20	218	432	8		25	228	445	11.6~13.3**
	オ	オムギ		6~13		197			11~21		207	1.9~3.5**
ネ	ト	ウモロコシ	10	13~115		260		12	14~124		273	6.0~6.5

* 特徴的な欠乏症あるいは過剰症が認められる状態を典型的と表現し、症状は認められないが生育の低下を示す場合を潜在的と表現した。

** 分けっ数

び過剰症状の相対的な強弱を第3表に示した。マメ科、ヒマワリ、ウリ科の各作物では欠乏、過剰の両症状が強くあらわれ、アカザ科は強い欠乏症を発現したが、過剰症は認められず、逆にオオムギは欠乏症が発現しなかった。一方、ナス、ピーマン、ユリ科、アブラナ科、イネ科（オオムギを除く）の作物は欠乏、過剰のいずれの症状の発現も認めないか、極く弱い症状であった。

これらの作物のB欠乏あるいは過剰段階にある葉（葉柄を含む）のB含有率のうち（第4表）、典型的な欠乏症の発現をみた作物の水溶性B含有率は3（パセリ）～10（テンサイ）ppm Bの範囲にあり、全B含有率は6（ダイズ）～20（キウリ）ppm Bの範囲にあった。しかし、

その範囲の含有率でも、ナス、ピーマン、ニンジン、ダイコン、オオムギ、トウモロコシおよびユリ科の作物は欠乏症を示さなかった。典型的な過剰症の発現を認めた作物の水溶性B含有率は153（ゴボウ）～632（ダイコン）ppm B、全B含有率は181（ゴボウ）～657（ダイコン）ppm Bの範囲であり、一方、トマトは水溶性B491ppm Bで、テンサイは519ppm Bで過剰症の発現を認めなかった。また、典型的な症状を呈さないが、生育が著しく抑制された場合は、潜在的欠乏あるいは過剰として表示した。潜在的過剰を示す作物群のB含有率は、いずれもあまり高くなかった。また、アカザ科、ピーマン、トマト、タマネギ、スイカ、アブラナ科、トウモロコシなどは非

第5表 生育調査結果

科名	作物名	草 丈 (cm)						葉 数 (枚)					
		培地B濃度 (ppm B)					L S D	培地B濃度 (ppm B)					L S D
		5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	10		5 %	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	
マ メ	ダイズ	11	15	19	17	15	2	3	4	4	4	4	0.5
	アズキ	9	11	14	13	12	1	2	3	4	4	4	0.3
	サイトウ	9	11	13	12	10	1	1	2	2	2	3	0.3
キ ク	ゴボウ	17	20	25	21	23	3	5	5	6	6	6	0.4
	シュンギク	9	11	11	11	12	2	10	14	16	15	15	2.2
	レタス	11	14	17	16	18	3	8	9	10	9	10	1.5
ア カ ザ	ヒマワリ	11	18	29	26	23	4	5	9	12	11	11	1.8
	テンサイ	15	15	24	22	24	4	9	9	11	11	10	N.S.
	フダンソウ	9	12	14	14	13	2	7	9	9	8	9	N.S.
ナ ス	ナス	5	6	10	9	7	1	5	5	7	7	6	0.3
	ピーマン	6	11	14	13	8	4	7	11	16	14	10	1.4
	トマト	—	11	24	—	27	6	—	6	9	—	10	1.1
タ テ	ソバ	20	22	28	29	14	6	5	5	6	6	5	0.3
ユ リ	ネギ	30	39	43	39	33	11	5	4	5	4	4	N.S.
	タマネギ	20	28	27	31	27	5	4	4	4	4	4	N.S.
セ リ	ニンジン	16	18	23	20	13	4	6	7	7	7	6	1.0
	パセリ	9	8	16	16	11	3	9	10	12	11	9	N.S.
ウ リ	カボチャ	6	9	15	15	14	2	4	5	6	6	6	0.7
	スイカ	7	11	21	27	26	4	5	6	6	6	6	0.4
	キウリ	12	17	20	20	18	3	3	5	5	5	5	0.7
ア ブ ラ ナ	キャベツ	19	22	22	23	—	4	10	11	11	12	—	1.4
	ハクサイ	12	18	18	15	17	2	8	9	9	8	8	N.S.
	ダイコン	24	24	24	22	22	N.S.	10	9	11	10	9	N.S.
イ ネ	イネ*	35	37	42	41	40	3	13	13	13	12	12	1.0
	オオムギ*	37	39	38	39	38	N.S.	3	4	3	2	2	0.9
	トウモロコシ	41	51	50	49	46	7	6	7	7	6	7	N.S.

* 葉数の代りに分けっ数を用いた。

常に広範なB含有率で正常な状態を保っていた。

実験2 培地中ホウ素濃に対する生育反応

実験方法

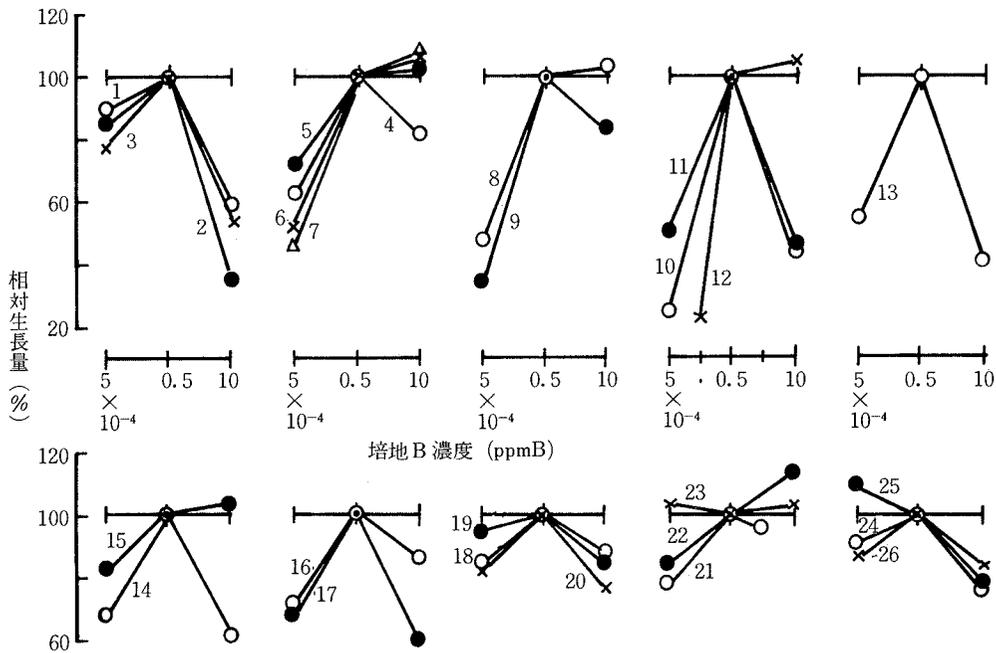
供試材料は実験1と同一試料であり、分析方法も同一である。

実験結果

草丈はダイコンとオオムギ以外の作物で 5×10^{-4} ppm B区で低下した(第5表)。すなわち、部分ロゼット型作物(ゴボウ、レタス、テンサイ、フダンソウ、ニンジン、パセリ、キャベツ、ハクサイ、ダイコン)以外の作物で

第6表 0.5ppm区の個体当り乾物重 (mg/個体)

科名	作物名	試料No.	葉	莖	根	個体
マメ	ダイズ	1	987	270	370	1627
	アズキ	2	821	180	317	1318
	サイトウ	3	1093	272	378	1743
キク	ゴボウ	4	722		175	897
	シュンギク	5	618		198	816
	レタス	6	918		113	1031
	ヒマワリ	7	1250	257	343	2360
アカザ	テンサイ	8	2724		1345	4069
	フダンソウ	9	370		107	477
ナス	ナス	10	1045	210	222	1477
	ピーマン	11	731	217	250	1198
	トマト	12	1480	600	310	2390
タデ	ソバ	13	199	128	58	385
	ユネギ	14	1859		120	1979
	タマネギ	15	131		19	150
	セリ	ニンジン	16	488	109	127
ウリ	パセリ	17	872		241	1113
	カボチャ	18	984	168	210	1362
	スイカ	19	1372	340	166	1878
アブラナ	キウリ	20	700	184	148	1032
	キャベツ	21	2420	245	330	2995
	ハクサイ	22	734		73	807
イネ	ダイコン	23	1371		332	1703
	イネ	24	1566		475	2041
	オオムギ	25	335		120	455
	トウモロコシ	26	818		369	1187



第1図 葉の生長におよぼすホウ素の影響
図中の番号は第6表に準ず。

は、B欠乏により生長点の壊死を伴い、草丈が低下し、また、部分ロゼット型の作物では最大葉長が減少して草丈が低下した。なお、本実験の栽培期間では、高B濃度(5, 10 ppm B区)処理によって草丈が低下した作物は供試作物中約1/2に過ぎなかった。葉数または分けっ数もB処理により草丈とほぼ類似の影響を受けた。

各作物の標準区(0.5 ppm B区)の乾物重(第6表)は150(タマネギ)~4069(テンサイ) mg/個体であり、タマネギ、ソバ、フダンソウが個体当たり500mg以下と小さく、イネ、ヒマワリ、トマト、キャベツ、テンサイが2000 mg以上と大きかった。

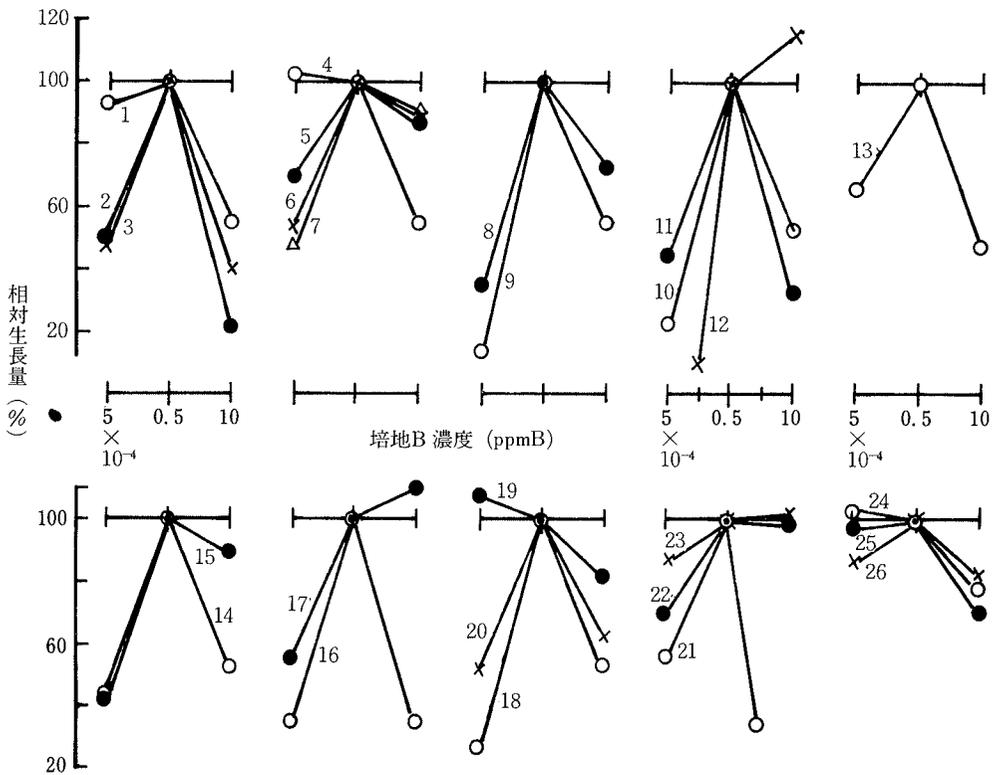
そこで、各作物の標準区の乾物重を基準とした 5×10^{-4} と10 ppm B区の葉と根の乾物重の相対値(%標示)(以下相対生長量と称す)を第1, 2図に示した。相対生長量が75%以下の場合、生育が処理の影響を強く受けたと考

えて、B処理の葉の生育に対する影響を下記の4つの型に類別した。

- a型：過剰の影響が早く、強く現れる型(マメ科)
- b型：欠乏の影響が早く、強く現れる型(キク科, アカザ科, トマト, タマネギ*, パセリ)
- c型：欠乏・過剰両方の影響が早く、強く現れる型(ナス, ピーマン, ソバ, ニンジン, ネギ)
- d型：欠乏・過剰いずれの影響も弱い型(ウリ科, アブラナ科, イネ科)

この類別により、ナス科のトマト、セリ科、ユリ科を除いた各作物の科内変動は小さく、全て同一型に入った。

一方、培地B濃度に対する感受性の最も強い根では、アズキ、サイトウ、シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、フダンソウ、ナス、ピーマン、ソバ、ネギ、ニンジン、カボチャ、キウリ、キャベツの14作物が欠乏・過剰の両



第2図 根の生長におよぼすホウ素の影響
図中の番号は第6表に準ず。

* 基準とややはずれるが総合的に判断してここに入れた。

第7表 各種作物のホウ素含有率 (ppm B)

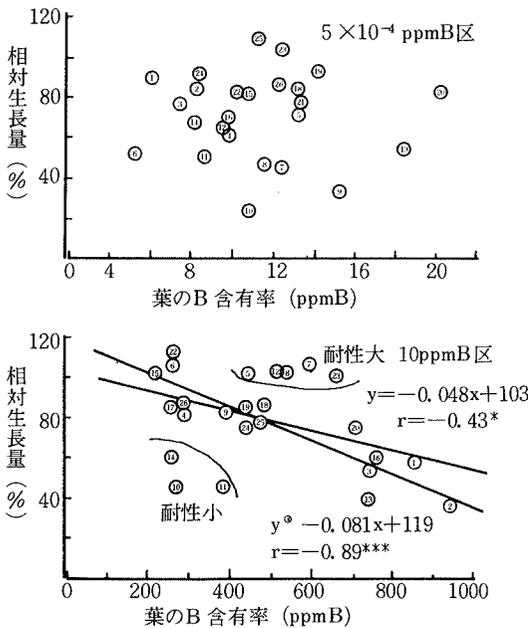
科 名	培地 作物名	器 官 濃度	葉					莖					根					全 体				
			5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	10	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	10	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	10	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	0.5	5	10
マ	ダイズ		6.1	9.8	41.0	362	854	9.4	10.5	14.4	25.6	47.2	8.7	11.0	27.0	35.4	185	7.2	10.2	33.4	242	604
	アズキ		8.3	8.6	57.6	481	940	6.7	5.7	19.4	39.2	93.8	13.2	10.2	24.2	82.3	141	8.8	10.0	44.4	354	687
メ	サイトウ		7.5	7.6	37.6	337	749	10.7	9.6	11.8	42.6	69.4	12.7	11.9	20.6	108	180	8.7	8.4	28.0	246	710
キ	ゴボウ		9.9	11.2	34.8	181	295						8.9	11.1	25.7	133	195	9.6	11.1	33.0	173	281
	シュンギク		13.2	16.8	23.3	168	446						13.0	18.8	25.2	71.9	85.2	13.2	17.2	23.8	147	368
ク	レタス		5.2	9.4	31.9	108	261						9.8	10.2	27.4	39.0	179	5.7	9.5	31.4	100	251
	ヒマラリ		12.4	10.7	40.2	268	596	19.7	19.1	21.9	73.8	74.9	12.2	12.0	16.6	37.7	154	14.2	13.0	30.9	176	383
アカザ	テンサイ		11.6	13.7	29.4	283	543						9.1	11.6	16.1	47.6	109	11.3	13.2	25.0	235	454
	フダンソウ		15.3	19.8	53.8	260	392						20.0	21.6	30.7	85.4	114	16.1	20.2	48.6	224	336
ナ	ナス		10.8	13.5	24.7	114	273	15.0	25.9	27.6	42.4	59.3	9.6	12.9	22.9	54.1	114	11.4	15.7	24.8	95.8	212
	ピーマン		8.6	7.4	21.8	182	388	10.9	18.4	17.1	20.7	52.6	11.6	10.7	25.2	71.1	156	9.5	9.8	21.6	133	289
ス	トマト		-	13.7	41.8	-	515	-	19.0	24.0	-	74.1	-	23.7	32.8	-	241	-	13.0	36.8	-	369
タデ	ソバ		18.3	20.1	41.9	402	740	20.2	23.1	27.3	44.9	153	22.6	22.3	40.0	58.7	100	19.7	21.4	36.7	229	457
ユ	ネギ		8.1	6.9	33.0	127	260						13.5	10.1	57.1	185	258	8.3	7.1	34.5	130	260
	タマネギ		10.7	14.4	26.7	126	216						10.1	11.2	20.0	40.1	98	10.6	13.9	25.9	115	202
セ	ニンジン		9.8	11.0	35.5	380	760	13.0	14.1	28.4	134	204	6.8	12.3	13.4	66.7	79	10.0	11.8	30.5	295	565
	パセリ		9.5	10.0	24.3	110	261						12.8	16.0	22.4	93.8	239	10.0	11.3	23.9	106	256
ウ	カボチャ		13.1	16.6	41.0	268	486	17.7	22.7	22.0	69.1	149	21.2	20.0	21.9	61.6	132	13.9	17.7	35.7	212	403
	スイカ		14.2	12.7	39.1	273	440	18.3	22.6	31.5	45.4	60.8	8.5	9.8	18.1	136	137	14.2	13.8	34.2	220	344
リ	キウリ		20.1	21.2	54.0	382	704	17.1	16.9	27.1	47.9	166	15.4	16.3	26.4	81.9	231	19.2	19.9	45.3	280	544
ア プ ラ ナ	キャベツ		13.3	16.9	30.1	196	-	14.9	14.0	26.9	40.5	-	13.5	17.7	32.7	104	-	13.4	16.7	30.2	174	-
	ハクサイ		10.6	16.1	21.1	243	260						13.7	20.4	22.6	53.5	133	10.8	16.5	21.3	228	250
ナ	ダイコン		12.4	15.0	56.2	303	657						8.1	16.8	29.8	73.6	102	11.7	15.3	51.0	257	551
イ	イネ		8.3	8.7	24.9	228	445						11.7	13.4	14.5	53.2	110	9.2	9.9	22.5	186	366
	オオムギ		11.2	11.5	21.2	207	471						9.3	8.7	10.2	24.1	94.0	10.7	10.9	18.3	159	379
ネ	トウモロコシ		12.2	13.6	16.3	124	273						8.4	11.0	12.7	28.1	120	11.0	12.9	15.2	94.7	226
相関係数			-0.87**					-0.75**					-0.94**									
* 1%水準で有意			0.24					0.32					0.34									
** 0.1% "			-0.68**					0.43					-0.60**									
			0.93**					0.56*					0.85**									
			-0.31					-0.43					-0.39									
			0.62**					-0.51*					-0.46									

方に敏感なc型を示した(第2図)が、アブラナ科(b型)とイネ科(d型)の作物は根においてもc型を示さぬものが多かった。

培地B濃度の上昇に伴い、各部位のB含有率は上昇するが(第7表)、その上昇程度は茎で小さく、葉で大きかった。

5×10^{-4} と 5×10^{-3} ppm B区あるいは5と10ppm B区のB含有率は葉、根、個体全体いずれにおいても高い正の相関関係にあり、各B濃度における作物間のB含有率の高・低は同一の要因に支配されているものと考えられる。また、葉のB含有率は0.5ppm B区と5および10ppm B区の間に弱い正の相関関係が認められた(第7表)。

5×10^{-4} ppm B区の葉のB含有率と相対生長量の間には有意な相関関係はなかったが、10ppm B区では統計的に有意な負の相関関係が認められた(第3図)。ここで、B含有率が比較的高いにもかかわらず大きな相対生長量を示すシュンギク(図中番号5)、ヒマワリ(7)、テンサイ(8)、トマト(12)、ダイコン(23)は、高B含有率耐性が強い作物であるとし、また、低いB含有率で相対生長量が小さいナス(10)、ピーマン(11)、ネギ(14)を高B



第3図 葉のB含有率と相対生長量の関係

図中の番号は第7表に準ずる。

* 5%水準, *** 0.1%水準でそれぞれ有意。

◎ 耐性の大きな作物(5, 7, 8, 12, 23)と小さな作物(10, 11, 14)を除外した場合の回帰直線。

含有率耐性が弱い作物であるとして除外すると、残り16作物については、相対生長量とB含有率の間に高い負の相関関係($r = -0.89$)が認められた。

田中⁴⁾の定義に従い、根によって、溶質が水よりも早く吸収される場合を積極的吸収が行われているとし、遅い場合に積極的排除が行われているとして作物のB吸収特性を比較した(第8表)。 5×10^{-3} ppm B以下の培地濃度では各作物とも、実際のB吸収量が水と等速度で吸収されるとした場合の吸収量より著しく多く、積極的吸収が行われている。しかし、B処理前に試料採取をしておらず、さらに前処理にBを含む培地で栽培した作物もあり、また、種子のB保有量も異なっているためにこれら積極的吸収能を数値で示すことはできない。一方、積極的排除は本実験の範囲では0.5ppm B以上の区で認められたが、ここでは10ppm B区の値を示した(第8表)。こ

第8表 積極的吸収の確認と排除能の算定

試料 No.	作物名	水と等速で吸収されるとした時のB吸収推定量*		実際のB吸収量	排除能	
		(a) 5×10^{-3} ppm区	(b) 10 ppm区			
1	ダイズ	2.0	2882	16	538	81.3
2	アズキ	1.6	1440	13	297	79.3
4	ゴボウ	0.7	1399	10	193	86.2
5	シュンギク	1.2	2484	16	299	88.0
6	レタス	1.8	3285	8	222	93.2
7	ヒマワリ	1.9	5200	21	911	82.0
8	テンサイ	2.4	7360	26	1623	77.9
9	フダンソウ	0.5	940	9	130	86.1
10	ナス	0.5	1284	7	151	88.2
11	ピーマン	0.9	1524	8	149	90.2
13	ソバ	0.8	315	5	70	77.8
14	ネギ	2.3	2948	13	310	89.4
15	タマネギ	0.3	393	2	31	92.1
16	ニンジン	1.0	1428	6	247	82.7
17	パセリ	0.5	2640	7	258	90.2
18	カボチャ	1.0	2002	20	462	76.9
19	スイカ	1.8	3710	23	556	85.0
20	キウリ	1.3	2442	23	427	82.5
21	キャベツ	3.5	-	30	-	-
22	ハクサイ	1.4	2970	14	223	92.5
23	ダイコン	2.5	5082	26	976	80.8
24	イネ	2.4	4644	19	574	87.6
25	オオムギ	1.0	1330	5	131	90.2
26	トウモロコシ	1.1	1690	17	223	86.8

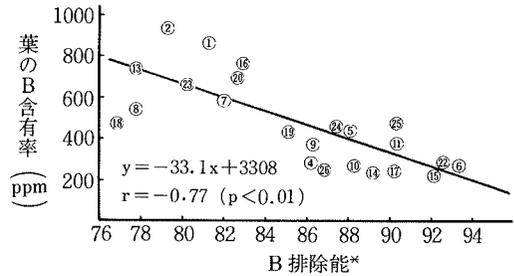
* 吸水量 (ml) \times (5×10^{-3} or $10 \mu\text{g B/ml}$)

の場合処理後の吸収量が非常に多いので、処理前のB保有量は無視し得るものと考え、次式で示す値をB排除能の強さを示す相対的な尺度とした。

$$\frac{\text{水と等速で吸収されたとした時のB吸収量} - \text{実際に吸収されたB吸収量}}{\text{水と等速で吸収されたとした時のB吸収量}} \times 100$$

そして、この値と葉のB含有率との関係（第4図）をみると、両者間には高い負の相関関係（ $r = -0.77$ ）が認められた。

実験3 無機要素の吸収・移動に及ぼすホウ素の影響
実験方法



第4図 ホウ素排除能と葉のホウ素含有率
* 第8表に準ず。

第9表 各種作物の葉の全チッ素と蛋白態チッ素含有率におよぼすホウ素の影響 (%)

項目	培地B濃度 (ppm B)	ダイズ	アズキ	サイトウ	ゴボウ	シュンギク	レタス	ヒマワリ	テンサイ	フダンソウ	ナス	ネギ
全N (%)	5×10^{-4}	4.95	4.76	5.10	4.73	3.77	3.93	4.66	3.74	4.62	3.82	3.55
	5×10^{-3}	4.90	4.29	5.17	4.00	4.34	3.49	4.84	3.70	4.87	3.55	3.82
	0.5	4.75	5.22	4.75	4.18	5.05	3.75	5.31	4.14	4.70	4.42	4.24
	5	5.18	5.41	5.40	4.27	4.82	4.53	5.47	3.74	4.74	4.46	4.33
	10	5.48	5.55	5.36	4.39	4.99	4.21	5.32	3.62	4.92	4.07	4.36
蛋白N (%)	5×10^{-4}	3.34	3.15	3.50	—	2.73	2.57	3.06	2.54	3.37	2.71	1.18
	5×10^{-3}	3.36	3.26	3.39	2.87	2.74	2.87	3.55	2.05	3.53	2.60	1.51
	0.5	3.56	3.90	3.13	3.24	3.07	2.99	4.20	2.32	3.66	3.25	2.13
	5	3.84	3.63	3.32	3.02	3.27	3.08	4.43	2.32	3.51	3.32	2.03
	10	3.92	3.15	3.46	3.18	3.24	3.01	4.35	2.29	3.69	2.90	1.91
蛋白N/全N (×10)	5×10^{-4}	6.75	6.62	6.86	—	7.24	6.54	6.57	6.79	7.29	7.09	3.32
	5×10^{-3}	6.86	7.60	6.56	7.00	6.31	8.22	7.33	5.54	7.25	7.32	3.95
	0.5	7.49	7.47	6.59	8.10	6.08	7.97	7.91	7.17	7.79	7.35	5.02
	5	7.41	6.71	6.15	7.07	6.78	6.80	8.10	6.20	7.41	7.44	4.69
	10	7.15	5.68	6.46	7.24	6.49	7.15	8.18	6.32	7.50	7.12	4.38

項目	培地B濃度 (ppm B)	パセリ	カボチャ	スイカ	キウリ	ハウサイ	ダイコン	イネ	トウモロコシ	トウモロコシ	平均標準偏差	LSD (5%)
全N (%)	5×10^{-4}	3.29	3.62	4.11	5.74	5.75	3.07	3.40	6.00	3.70	4.31±0.87	0.23
	5×10^{-3}	3.14	3.81	4.12	5.59	6.10	3.20	3.32	5.87	3.93	4.30±0.89	
	0.5	3.80	5.42	3.47	5.50	6.84	3.54	3.36	5.74	4.11	4.61±0.89	
	5	3.81	4.90	3.96	6.00	6.61	3.68	3.54	5.51	4.09	4.72±0.84	
	10	3.39	4.22	4.21	6.27	6.91	3.00	3.53	5.82	3.93	4.68±1.02	
蛋白N (%)	5×10^{-4}	1.87	2.35	2.11	3.53	3.09	2.68	2.62	3.27	2.85	2.76±0.60	0.33
	5×10^{-3}	2.10	2.50	2.39	3.77	3.83	2.52	2.55	3.18	2.68	2.86±0.62	
	0.5	2.76	3.43	2.97	3.87	3.44	2.90	2.46	3.22	3.16	3.22±0.49	
	5	2.64	3.63	2.52	4.06	3.58	2.92	2.73	3.15	2.73	3.19±0.60	
	10	2.57	4.00	2.50	3.78	3.29	2.43	2.88	3.26	2.84	3.13±0.62	
蛋白N/全N (×10)	5×10^{-4}	5.68	6.49	5.13	6.15	5.37	8.73	7.71	5.45	7.70	6.50±1.18	N.S.
	5×10^{-3}	6.69	6.56	5.80	6.74	6.28	7.88	7.68	5.42	6.82	6.69±1.01	
	0.5	7.26	6.31	8.56	7.03	5.03	8.19	7.69	5.61	7.69	7.10±1.02	
	5	6.93	7.41	6.36	6.77	5.41	7.93	7.73	5.72	6.67	6.78±0.86	
	10	7.58	9.48	5.93	6.03	4.76	8.10	8.16	5.60	7.23	6.82±1.23	

実験1と同じ試料につき、全-Nはガンニング変法によるケルダール分解液についてネスラー法で比色定量した。蛋白態-Nはトリクロル酢酸の不溶部をケルダール分解し、分解液のNをネスラー法で比色定量した。P, K, Ca, Mgは砕粉試料を湿式分解後、Pは比色法、Kは炎光法(HITACHI-508使用)、Ca, Mgは原子吸光法(HITACHI-508使用)で定量した。

実験結果

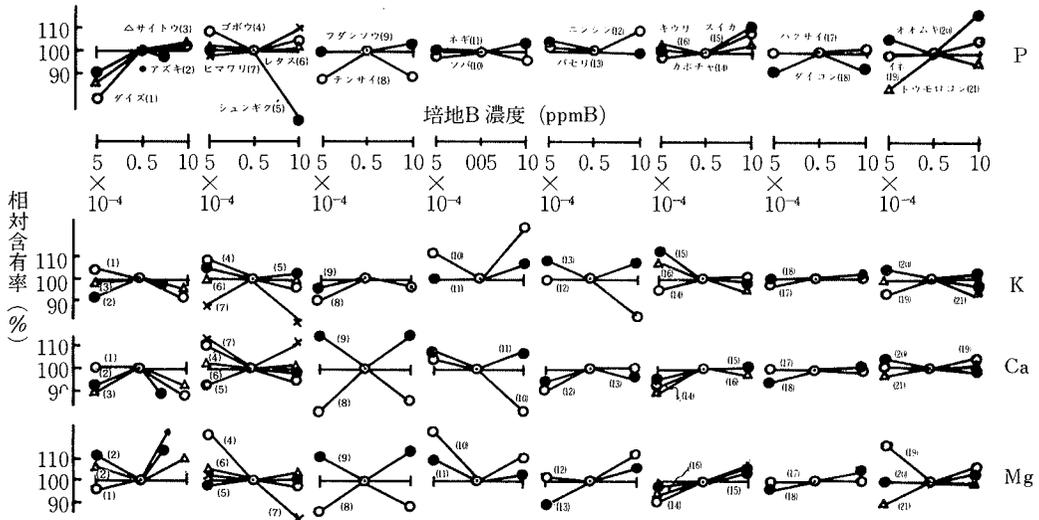
第1表の供試作物中、ピーマン、トマト、ソバ、タマネギ、ニンジン、キャベツを除く20作物の葉の全-Nおよび蛋白態-N含有率のB処理による変動は(第9表)、平均値でみると、いずれも低B濃度区(5×10⁻⁴と5×10⁻³ppmB区)で低かったが、個々の作物間には反応性に大きな差異が認められた。例えば、ダイズ、サイトウ、スイカ、キュウリの全-N含有率は0.5ppmB区に、アズキ、ゴボウ、レタス、ナス、パセリは5×10⁻³ppmB区に極小値を示し、フダンソウは5×10⁻³ppmB区で、テンサイ、カボチャ、ハクサイは0.5ppmB区で、ダイコンは5ppmB区で逆に極大を示すなど、平均値で認められた変動とは異なった変動を示す作物も多かった。蛋白態-N/全-N比は、平均値では有意な差はなかったが、個々の作物でみた場合は、上記全-Nの場合と同様、その反応性には大きな作物間差が認められた。

一方、23作物の葉のP, K, Ca, Mg含有率のB処理による変動は(第10表)、平均値でみると、PとK含有率は高B濃度区で低B濃度区より高い値を示し、CaとMgは0.5~5ppmB区で他区より有意に高い値を示した。しかし、いずれの要素でも、全-Nで示したと同様に、個々の作物間には、その反応性に大きな差異が認められた。

個体当たりのP, K, Ca, Mg含有率(ナス、ピーマンを除く21作物)のB処理による変動は(第11表)、多くの場合、葉の含有率の変動と類似した傾向を示すが、葉と異なる変動を示すものもあった。葉の含有率の変動と個体当たりの含有率の変動の差異の相対的な比較値として、以下に示す値をとり、

$$\left(\frac{\text{葉の含有率}}{\text{個体当たりの含有率}}\right) \times 100 \text{ (注)}$$

この値を移動の難易を示す尺度として用いた。そして、そのようにして得られた5×10⁻⁴と10ppmB区の値を、さらに0.5ppmB区の値に対する相対値(%で標示)で第5図に示した。110%を越えた場合に標準区より移動が促進されたとみなし、90%未満で抑制されたとみなすと、5×10⁻⁴ppmB区で標準区より移動が促進されたものに、ソバ、スイカのK、ヒマワリ、フダンソウのCa、イネのMgがあり、抑制されたものには、ダイズ、サイトウ、テンサイ、トウモロコシのP、ヒマワリのK、テンサイのCa, Mgがあった。一方、10ppmB区で促進さ



第5図 各要素の移動におよぼす培地ホウ素濃度の影響

$$\text{相対含有率} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ あるいは } 10 \text{ ppm B 区の葉中要素含有率} / 5 \times 10^{-4} \text{ あるいは } 10 \text{ ppm B 区の個体当り要素含有率}}{0.5 \text{ ppm B 区の葉中要素含有率} / 0.5 \text{ ppm B 区の個体当り要素含有率}}$$

脚注) この値は(要素の葉への蓄積割合/個体重に対する葉重割合)×100と同意である。

第10表 各種作物の葉の無機要素含有率におよぼすホウ素処理の影響 (%)

要素	培地B	ダイズ	アズキ	サイトウ	ゴボウ	シュン ギク	レタス	ヒマワリ	テンサイ	フダン ソウ	ナス	ピーマン	ソバ	ネギ
	濃度 ppmB													
P	5×10 ⁻⁴	0.53	0.60	0.63	0.46	0.50	0.35	0.87	0.46	0.33	0.22	0.77	0.34	0.39
	5×10 ⁻³	0.50	0.62	0.62	0.39	0.37	0.30	0.76	0.75	0.41	0.24	0.83	0.45	0.41
	0.5	0.52	0.64	0.50	0.54	0.52	0.31	0.70	0.42	0.38	0.44	0.84	0.50	0.33
	5	0.69	0.99	0.72	0.58	0.61	0.42	0.79	0.32	0.43	0.34	0.81	0.58	0.50
	10	0.83	1.14	1.00	0.68	0.64	0.40	0.73	0.42	0.52	0.27	0.80	0.49	0.52
K	5×10 ⁻⁴	3.50	2.73	3.77	3.70	4.97	3.45	6.38	4.16	5.64	2.94	3.07	3.06	2.84
	5×10 ⁻³	3.27	2.93	4.05	3.22	5.33	3.63	4.94	3.77	6.16	2.96	4.44	3.78	3.08
	0.5	2.96	3.17	2.59	4.60	6.07	3.59	4.03	3.86	6.55	4.75	3.39	3.77	2.46
	5	3.83	4.10	3.96	5.03	6.95	4.44	4.22	3.45	5.54	4.28	3.80	4.00	3.59
	10	3.78	4.03	3.89	5.19	6.44	4.50	4.37	3.93	7.12	3.73	3.71	4.22	3.84
Ca	5×10 ⁻⁴	1.19	1.13	1.22	1.14	0.75	0.62	1.28	0.63	0.64	1.16	1.11	1.60	0.67
	5×10 ⁻³	1.21	1.14	1.60	0.95	0.69	0.49	0.87	0.67	0.61	1.12	1.22	1.70	0.76
	0.5	1.37	1.38	1.40	1.30	0.86	0.43	1.64	0.71	0.64	1.36	1.37	1.70	0.65
	5	1.17	1.26	1.48	1.28	0.81	0.50	1.36	0.61	0.66	1.28	1.29	1.49	0.61
	10	0.71	1.13	1.59	1.24	0.95	0.47	1.24	0.57	0.65	1.08	0.91	1.23	0.77
Mg	5×10 ⁻⁴	0.49	0.66	0.84	0.63	0.47	0.47	0.76	1.02	0.84	0.61	0.64	1.27	0.38
	5×10 ⁻³	0.48	0.59	0.96	0.38	0.44	0.40	0.84	1.07	0.90	0.62	0.72	1.24	0.46
	0.5	0.57	0.74	0.84	0.64	0.50	0.35	1.19	1.07	0.93	0.69	0.93	1.26	0.38
	5	0.50	0.59	0.59	0.62	0.45	0.47	0.93	0.88	1.02	0.64	0.83	1.42	0.39
	10	0.47	0.57	0.59	0.65	0.51	0.42	0.88	0.91	0.92	0.60	0.65	1.17	0.45

要素	培地B	ニンジン	パセリ	カボチャ	スイカ	キウリ	ハウサイ	ダイコン	イネ	オオムギ	トウモ ロコシ	平均 標準偏差	L. S. D. (5% 水準)
	濃度 ppmB												
P	5×10 ⁻⁴	0.47	0.43	0.45	0.38	0.79	0.54	0.28	0.45	0.65	0.80	0.51±0.18	0.06
	5×10 ⁻³	0.43	0.44	0.47	0.38	0.71	0.59	0.32	0.44	0.68	0.57	0.51±0.16	
	0.5	0.57	0.54	0.61	0.32	0.61	0.57	0.36	0.47	0.57	1.00	0.53±0.16	
	5	0.51	0.39	0.54	0.43	0.62	0.54	0.41	0.55	0.73	0.67	0.57±0.17	
	10	0.38	0.34	0.50	0.48	0.70	0.54	0.29	0.58	0.73	0.77	0.60±0.22	
K	5×10 ⁻⁴	3.08	2.75	3.19	3.25	4.94	4.77	2.79	2.60	6.17	4.44	3.83±1.14	0.34
	5×10 ⁻³	2.53	3.44	3.69	3.10	3.74	6.06	2.88	2.60	6.90	3.66	3.92±1.19	
	0.5	4.58	4.22	4.24	2.30	3.90	6.35	3.24	2.83	5.37	4.04	4.04±1.19	
	5	4.06	4.40	4.14	2.82	3.99	5.98	3.31	3.06	6.86	3.65	4.32±1.08	
	10	3.02	3.84	3.59	2.98	3.98	7.52	2.85	3.15	7.10	3.91	4.38±1.38	
Ca	5×10 ⁻⁴	1.27	0.53	1.04	1.44	1.58	1.72	1.45	0.36	0.46	0.72	1.03±0.40	0.09
	5×10 ⁻³	1.08	0.45	1.21	1.64	2.41	2.02	1.48	0.36	0.49	0.57	1.08±0.54	
	0.5	1.41	0.43	1.81	1.42	2.05	1.94	1.66	0.39	0.45	0.63	1.17±0.53	
	5	1.36	0.44	1.30	2.24	1.99	1.93	1.56	0.49	0.46	0.72	1.14±0.52	
	10	1.17	0.30	1.19	1.71	1.73	1.83	1.31	0.37	0.45	0.70	1.01±0.45	
Mg	5×10 ⁻⁴	0.84	0.33	0.54	0.71	0.98	0.94	0.75	0.48	0.31	0.68	0.68±0.24	0.06
	5×10 ⁻³	0.71	0.26	0.71	0.72	1.36	0.88	0.69	0.42	0.33	0.59	0.69±0.29	
	0.5	0.95	0.32	1.16	0.62	1.22	0.84	0.83	0.48	0.30	0.70	0.76±0.30	
	5	0.83	0.30	0.93	0.94	1.25	0.84	0.74	0.49	0.33	0.72	0.73±0.29	
	10	0.84	0.29	0.79	0.82	1.16	0.78	0.69	0.45	0.33	0.60	0.68±0.23	

第11表 各種作物の個体当り無機要素含有率におよぼすホウ素処理の影響 (%)

要素	培地B 濃度 ppmB	ダイズ	アズキ	サイトウ	ゴボウ	シュン ギク	レタス	ヒマワリ	テンサイ	フダン ソウ	ソバ	ネギ	ニンジン
		P	5×10^{-4}	0.72	0.73	0.72	0.46	0.55	0.41	0.93	0.44	0.37	0.33
	5×10^{-3}	0.63	0.67	0.62	0.44	0.43	0.32	0.77	0.63	0.45	0.42	0.43	0.47
	0.5	0.55	0.71	0.49	0.58	0.58	0.35	—	0.35	0.42	0.47	0.35	0.62
	5	0.80	1.13	0.71	0.61	0.68	0.47	0.76	0.29	0.45	0.60	0.52	0.55
	10	0.86	—	0.95	0.70	1.21	0.45	0.66	0.39	0.55	0.49	0.54	0.45
K	5×10^{-4}	3.45	3.31	3.96	3.32	4.59	3.37	6.76	4.00	5.27	3.72	2.89	3.05
	5×10^{-3}	3.30	3.37	4.11	3.27	4.86	3.40	4.63	3.44	5.68	4.64	3.14	2.60
	0.5	3.03	3.57	2.85	4.39	5.85	3.49	—	3.37	5.78	5.15	2.54	4.50
	5	4.11	4.65	4.35	5.11	6.64	4.71	5.02	3.17	4.99	6.11	3.59	3.75
	10	4.19	—	4.49	5.17	6.10	4.34	5.12	3.60	6.54	4.68	3.71	2.71
Ca	5×10^{-4}	0.91	0.96	1.00	0.87	0.71	0.59	0.96	0.58	0.60	1.11	0.70	1.07
	5×10^{-3}	0.95	0.95	1.33	0.76	0.62	0.45	0.74	0.56	0.66	1.23	0.80	0.85
	0.5	1.04	1.06	1.04	1.07	0.75	0.41	—	0.53	0.69	1.23	0.73	1.07
	5	0.94	1.08	1.15	1.09	0.71	0.46	1.06	0.54	0.62	1.35	0.63	1.04
	10	0.61	—	1.29	1.09	0.84	0.45	0.95	0.50	0.59	1.10	0.80	0.89
Mg	5×10^{-4}	0.66	0.63	0.79	0.50	0.41	0.44	0.63	0.95	0.78	0.84	0.40	0.76
	5×10^{-3}	0.62	0.58	0.90	0.34	0.38	0.37	0.72	0.90	0.82	0.93	0.48	0.65
	0.5	0.73	0.78	0.84	0.59	0.43	0.34	—	0.85	0.94	1.02	0.43	0.88
	5	0.59	0.54	0.60	0.59	0.37	0.43	0.99	0.80	0.93	1.23	0.42	0.76
	10	0.45	—	0.53	0.61	0.43	0.40	0.91	0.82	0.85	0.86	0.49	0.69

要素	培地B 濃度 ppmB	パセリ	カボチャ	スイカ	キウリ	ハウサイ	ダイコン	イネ	オオムギ	トウモ ロコシ	平 均 標準偏差	L.S.D. (5%)
		P	5×10^{-4}	0.43	0.52	0.43	0.79	0.53	0.29	0.42	0.64	0.80
	5×10^{-3}	0.47	0.54	0.43	0.70	0.57	0.33	0.41	0.67	0.56	0.52±0.13	
	0.5	0.57	—	0.37	0.62	0.56	0.34	0.44	0.59	0.84	0.52±0.14	0.08
	5	0.43	0.56	0.45	0.62	0.53	0.40	0.50	0.69	0.61	0.59±0.77	
	10	0.36	0.52	0.49	0.69	0.52	0.30	0.51	0.70	0.67	0.60±0.22	
K	5×10^{-3}	2.88	3.46	3.21	5.66	4.68	2.96	2.59	5.46	3.68	3.92±1.09	
	5×10^{-3}	3.46	3.79	3.14	4.53	5.90	2.96	2.59	6.35	3.18	3.92±1.09	
	0.5	4.00	—	2.54	4.78	6.16	3.35	2.59	4.94	3.34	4.01±1.17	0.48
	5	4.08	4.28	3.13	4.90	5.88	3.43	2.91	6.12	3.13	4.48±1.87	
	10	3.46	3.67	3.39	5.02	7.19	2.91	3.03	6.40	3.37	4.45±1.27	
Ca	5×10^{-4}	0.46	0.98	1.26	1.35	1.63	1.34	0.35	0.39	0.63	0.87±0.34	
	5×10^{-3}	0.39	1.04	1.40	1.87	1.89	1.34	0.34	0.45	0.52	0.91±0.45	
	0.5	0.37	—	1.19	1.59	1.82	1.47	0.38	0.40	0.55	0.91±0.43	N.S
	5	0.36	1.07	1.83	1.55	1.81	1.38	0.43	0.40	0.62	0.96±0.47	
	10	0.26	1.01	1.42	1.36	1.73	1.17	0.34	0.41	0.58	0.87±0.40	
Mg	5×10^{-4}	0.35	0.56	0.69	0.93	0.90	0.73	0.42	0.31	0.82	0.64±0.20	
	5×10^{-3}	0.28	0.67	0.66	1.33	0.83	0.66	0.41	0.34	0.64	0.64±0.26	
	0.5	0.32	—	0.60	1.13	0.79	0.79	0.48	0.31	0.77	0.69±0.25	N.S
	5	0.30	0.80	0.88	1.13	0.79	0.67	0.47	0.34	0.75	0.68±0.26	
	10	0.31	0.70	0.75	1.03	0.74	0.63	0.43	0.33	0.65	0.63±0.20	

れたのは、ヒマワリ、オオムギのP、ソバのK、ヒマワリ、フダンソウのCa、ダイズ、フダンソウ、ニンジン
のMgであり、抑制されたのは、シュンギク、テンサイ
のP、ヒマワリ、ニンジン、ダイズ、アズキ、テン
サイ、ソバのCa、ヒマワリ、テンサイのMgなどであ
った。

実験4 炭水化物代謝におよぼすホウ素の影響

実験方法

実験1の試料約0.2gを80%エタノールで煮沸抽出し、
抽出液のアルコールを除き、一定容とした後、その一部
につき除蛋白し酸加水分解後ソモギー・ネルソン法³³⁾で
還元糖(グルコースを標準とした)を測定し、全糖を求
めた。また、アルコール抽出残渣を0.7N塩酸で煮沸加水
分解し、同様に糖量を測定し、粗でん粉量とし、全糖量
と合して全炭水化物量とした。

実験結果

器官別(葉は23作物、うち根は15作物)全炭水化物お
よび全糖含有率を第6図に示した。マメ科、パセリの葉
の全炭水化物含有率はB濃度の上昇に伴い低下した。ゴ
ボウ、シュンギク、レタス、ネギ、カボチャは低B濃度
区で高く、トマト、スイカ、ダイコンは0.5あるいは5
ppm B区に極大を示した。フダンソウは10ppm B区で、
タマネギは5と10ppm B区で、ニンジン、イネは0.5と
5 ppm B区で低かった。ヒマワリ、テンサイ、キウリ、
キャベツ、ハクサイ、オオムギ、トウモロコシはB処理
による差は小さかった。全糖含有率のB処理による変動
は、多くの場合、全炭水化物含有率の変動と類似してい
たが、二三の作物では著しい差異を示した。たとえば、
全糖含有率はサイトウ(3)では 5×10^{-3} ppm B区で低い
値を示し、テンサイ(8)、パセリ(17)は0.5 ppm B区に
極少を示した。茎では、キャベツ(21)を除き全炭水化物
と、全糖含有率とは類似の変動を示し、マメ科(1~3)、
トマト(12)、スイカ(19)は0.5 ppm B区で極大を示し、
キウリ(20)は低B濃度区で低く、ヒマワリ(7)は 5×10^{-3}
と0.5 ppm B区で低かった。キャベツ(21)は全炭水化物
の処理間差は小さかったが、全糖は低B濃度区で低かつ
た。根でも全炭水化物と全糖含有率は比較的類似した変
動をしており、ゴボウ(4)はB処理濃度の上昇に伴い急
激に低下し、シュンギク(5)はゆるやかに低下したがヒ
マワリ(7)は逆に上昇した。テンサイ(8)は5 ppm B区
で低くなるが、0.5 ppm B区までは上昇を示し、トマト
(12)は高B濃度区で急激に上昇した。その他の作物では
B処理による差異は前記の作物ほど大きくないが、アズ
キ(3)、イネ(24)、トウモロコシ(25)は 5×10^{-3} ppm B

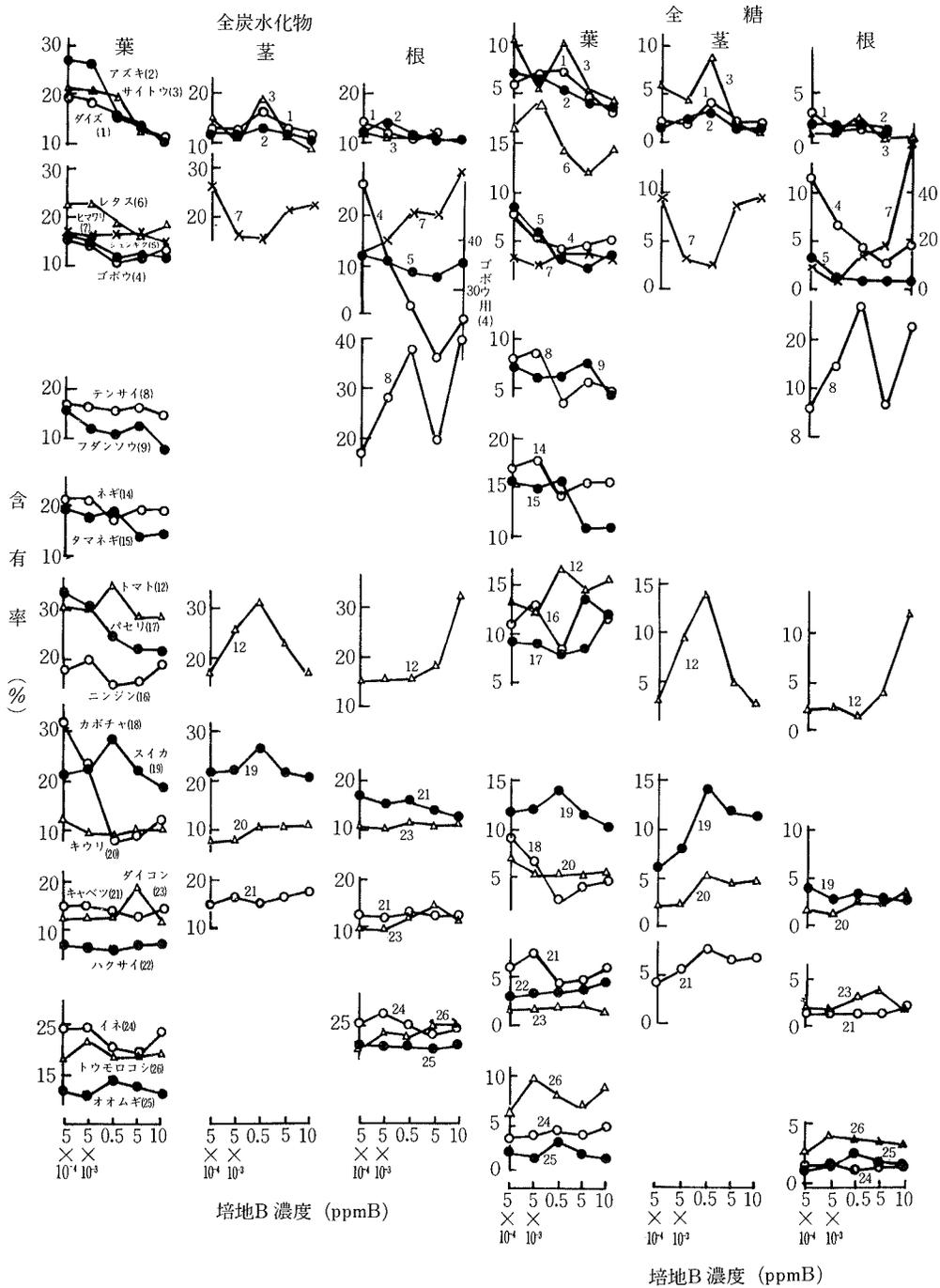
区に極大を有し、ダイズ(1)、サイトウ(3)、スイカ(19)
では 5×10^{-4} ppm B区で高く、さらにスイカ(19)は高B
濃度区で低かった。ダイコン(23)は5 ppm B区で極大を
示した。キウリ(20)、キャベツ(21)、オオムギ(25)では
B処理間差は小さかった。

考 察

B欠乏症あるいは過剰症が発現する限界B含有率を定
めることは、生育段階、分析対象部位によって含有率が
異なることから困難な場合が多い。第4表に示した値は
ごく幼植物段階のものについて得られた値であるから、
より生育の進んだ作物を対象とする場合は、欠乏段階の
値はその作物の比較的若い葉、過剰段階の値は比較的
古い葉の含有率に対応した一つの目安となる値と考えら
れる。この点を考慮すると、比較的若い葉の水溶性B含有
率が10 ppm B以下になると多くの作物でB欠乏症発現の
危険があると考えられる。そして、4 ppm BでB欠乏症
が軽微(第3表)で相対生長量も大きい(第1図)イネは
低B含有率耐性の強い作物の一つと考えられる。一方、
過剰症の発現についてみるとOertliら²⁵⁾の指摘とは異
なり、オオムギのように全B含有率が207 ppm Bで強い過
剰症(第3表)を示す作物(オオムギ)から543 ppm Bでも
過剰症を示さない作物(テンサイ)まであり、症状の強さ
(第3表)とB含有率(第4表)の間にも、かならずしも直
接的な関連を認めることは出来なかった。また、欠乏、
過剰の両症状の発現(第3表)と相対生長量(第1図)の間
にも平行的な関連性はみられなかった。

0.5 ppm B区を標準区と考え、その区の生育に比べ、
低B濃度培地または高B濃度培地での生育量の低下が小
さい場合に、田中・但野ら⁴³⁾の方法にならぬ低B濃度培
地耐性または高B濃度培地耐性が強いと呼ぶこととする。
また、低B濃度培地耐性は低B含有率耐性の強弱と積極
的吸収能の強弱によって左右され、高B濃度培地耐性は
高B含有率耐性の強弱と排除能の強弱によって左右され
ると考えて以下論を進める。

5×10^{-4} ppm B区ではオオムギとダイコンを除き、各
作物は特徴的なB欠乏症あるいは生育の停滞を示し(第
3, 5表, 第1図)、また、多くの作物で 5×10^{-3} ppm B区
のB含有率は 5×10^{-4} ppm B区のそれとあまり差がない
(第7表)にもかかわらず、B欠乏症を現す作物は少なく
(第3表)、生育量も 5×10^{-4} ppm B区より著しく大き
くなる(第5表)。これらのことから、 5×10^{-4} ppm B区
のB含有率をもって生育を維持するための最低必要B含有
率と考えた。そして、(1)最低必要B含有率が低い(11
ppm B未満)にもかかわらず相対生長量が大きい作物は



第6図 全炭水化物と全糖含有率におよぼす培地ホウ素濃度の影響

低B含有率耐性が強く、(2)最低必要B含有率が高く(11 ppm以上) 相対生長量が大きい作物は積極的吸収能が強く、(3)最低必要B含有率が低く、相対生長量も小さい作物は積極的吸収能が弱く、(4)最低必要B含有率が高く、相対生長量が小さい作物は低B含有率耐性が弱いと考えられる。

この類別法を用いると、低B含有率耐性の強い作物のグループには、マメ科、ハクサイとイネが、また、小さい作物のグループには、シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、フダンソウ、トマト、ソバが入る。一方、積極的吸収能が強い作物として、ウリ科の作物とキャベツ、ダイコン、オオムギ、トウモロコシが弱い作物として、ゴボウ、レタス、ナス、ピーマン、ユリ科、セリ科の作物が入る。高B含有率耐性と排除能の作物間の強弱については第3、4図に示したが、両者の相対的な比較からウリ科の作物は一応高B含有率耐性の大きい作物群に入れた。

以上のような基準により、各作物の培地B濃度適応性を第12表のように類別した。高B濃度適応性の作物(b型)のうち、低B含有率耐性の弱い作物はさらに排除能の強い作物(フダンソウ)と高B含有率耐性の強い作物(シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、トマト)に分かれ、狭域B濃度適応性の作物(c型)のうち、積極的吸収能の弱い作物は、排除能の弱い作物(ニンジン)と高B含有率耐性の弱い作物(ナス、ピーマン、ネギ)に分かれる。また、広域B濃度適応性の作物(d型)のうち、積極的吸収能の強い作物は、排除能の強い作物(オオムギ、トウモロコシ)と高B含有率耐性の強い作物(ウリ科、キャベツ、ダイコン)に分かれ、4つの培地B濃度適応性

の型が、その適応性の機作要因により10群に類別された。

生長に直接的にかかわっている炭水化物代謝に対しては、Bが不足することにより、その移動が阻害されること⁹⁾が強調されている。しかし、全炭水化物の葉への蓄積割合を乾物重のそれと比較することで、糖の移動に対するB処理の影響をみると(第13表)、アズキ、テンサイ、キュウリの3作物のみ(全糖の場合はトマト、テンサイ、キュウリの3作物)が、低B濃度区で110%以上を示し、移動が抑制されていると考えられる。その外の12作物では低B濃度区で糖の移動の抑制を認めることはできず、B欠乏による早い段階の異常現象の一つとして糖の移動阻害を挙げることはできない。

さて、葉の相対生長量、全炭水化物含有率、無機要素含有率のB処理による変動を一括して第7図に模式的に示した。マメ科の三種作物間では、生育、全炭水化物および無機要素含有率いずれも酷似したBの影響を受け、高B濃度適応性のゴボウ~テンサイの7作物では全炭水化物含有率のみが類似している(但しゴボウを除く)が、無機要素含有率は類似せず、また、狭域B濃度適応性の作物間(ニンジン~ソバ)でも、広域B濃度適応性の作物間(オオムギ~イネ)でも、同様に無機要素含有率には一定の傾向を示す反応を認めることはできなかった。前者では炭水化物含有率については分析件数が少ないためはっきりした傾向はわからないが、分析を行った二作物間(ネギ、ニンジン)では類似的傾向を示したが、後者では一定の傾向を示す反応は認められなかった。

以上のように、全炭水化物含有率、無機要素含有率のB処理による変動は、マメ科作物間以外では、B適応性

第12表 培地ホウ素濃度適応性による作物の類別

a [低B濃度適応]		
低B含有率耐性強	積極的排除能弱	(マメ科)
b [高B濃度適応]		
積極的吸収能弱	積極的排除能強	(ゴボウ、レタス、タマネギ、パセリ)
低B含有率耐性弱	積極的排除能強	(フダンソウ)
	高B含有率耐性強	(シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、トマト)
c [狭域B濃度適応]		
積極的吸収能弱	積極的排除能弱	(ニンジン)
	高B含有率耐性弱	(ナス、ピーマン、ネギ)
低B含有率耐性弱	積極的排除能弱	(ソバ)
d [広域B濃度適応]		
積極的吸収能強	積極的排除能強	(オオムギ、トウモロコシ)
	高B含有率耐性強	(ウリ科、キャベツ、ダイコン)
低B含有率耐性強	積極的排除能強	(ハクサイ、イネ)

第13表 糖の移動に及ぼすホウ素の影響

作物名	全炭水化物の葉への蓄積割合(%) (1)					個体重当たり葉重割合(%) (2)				
	培地 B 濃度 (ppm B)					培地 B 濃度 (ppm B)				
	5×10^{-4}	5×10^{-3}	0.5	5	10	5×10^{-4}	5×10^{-3}	0.5	5	10
ダイズ	71	73	65	64	—	62	64	61	64	—
アズキ	83	81	66	65	—	69	68	63	69	—
サイトウ	77	86	69	69	68	70	76	63	65	66
ゴボウ	44	58	61	76	77	62	78	81	83	86
シュンギク	80	84	81	84	80	76	77	76	78	78
ヒマワリ	44	44	43	38	36	58	57	53	53	58
テンサイ	68	69	50	74	57	76	78	70	77	79
トマト	87	74	72	74	77	72	63	61	59	65
スイカ	79	81	77	75	73	78	78	73	74	73
キウリ	79	73	65	68	67	73	72	68	68	69
キャベツ	85	82	80	79	—	84	81	81	81	—
ダイコン	87	89	81	86	87	85	87	82	83	85
イネ	75	73	73	75	78	76	75	77	78	77
オオムギ	65	64	65	65	63	76	77	74	74	76
トウモロコシ	67	70	65	64	64	69	72	69	69	69
	[(1)÷(2)] × 100 = (3)					(3)の値の0.5ppm区に対する割合(%)*				
ダイズ	115	114	107	100	—	107	107	100	93	—
アズキ	120	119	105	94	—	114	113	100	90	—
サイトウ	110	113	110	106	103	100	103	100	96	94
ゴボウ	71	74	75	92	90	95	99	100	123	120
シュンギク	105	109	107	108	103	98	102	100	101	96
ヒマワリ	76	77	81	72	62	94	95	100	89	77
テンサイ	89	88	71	96	72	125	124	100	135	101
トマト	121	117	118	125	118	103	99	100	106	100
スイカ	101	104	105	101	100	96	99	100	96	95
キウリ	108	101	96	100	97	113	105	100	104	101
キャベツ	101	101	99	98	—	102	102	100	99	—
ダイコン	102	102	99	104	102	103	103	100	105	103
イネ	99	97	95	96	101	104	102	100	101	106
オオムギ	86	83	88	88	83	98	94	100	100	94
トウモロコシ	97	97	94	93	93	103	103	100	99	99

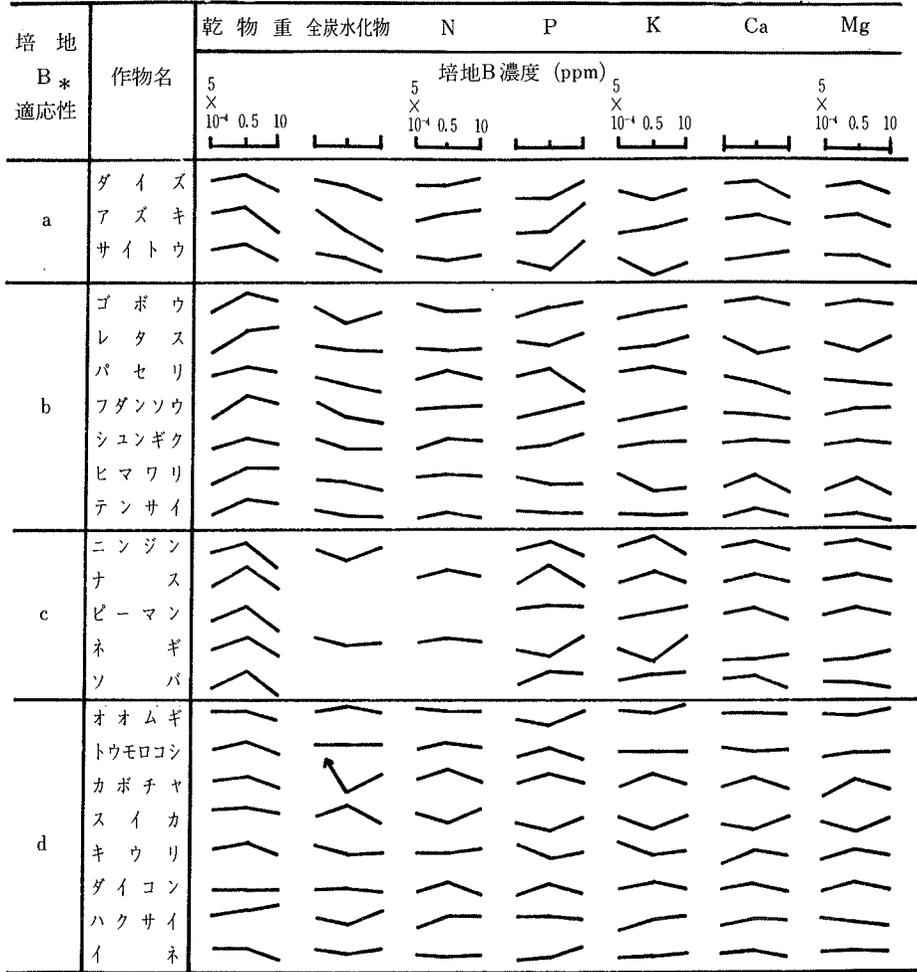
* この欄の数値の小さい程移動は促進されていることを示す。

による類別群内でも一定の傾向を示さない場合が多く、作物により、要素によって一見無秩序に変動し、これら含有率の変動にBが直接的に係わっているのではないことが示唆される。

また、Nを除く無機要素含有率のうちで、 5×10^{-4} あるいは10ppm B区の含有率が標準区のそれより低く(第7図)、移動も抑制されているのは(第5図)、トウモロコシの 5×10^{-4} ppm B区のP、10ppm B区のニンジンK、テンサイ、ソバのCa、ヒマワリ、テンサイのMgなどであった。一方、 5×10^{-4} あるいは10ppm B区の含有率が標準区のそれより高く(第7図)、移動も促進されている

のは(第5図)、ソバの10ppm B区のK、スイカの 5×10^{-4} ppm B区のKのみであった。さらに、これら作物の葉以外での含有率が標準区と同じであるとして、移動の影響を消去し、葉の含有率を計算しなおして、標準区の含有率と比較した結果、トウモロコシの 5×10^{-4} ppm B区のP、とソバの10ppm B区のKでのみ、第7図に示した模式図の型を変える必要が認められた。その他の場合は、葉の要素含有率に及ぼす移動の効果は小さく、一般にP、K、Ca、Mg等の移動に対しても、Bは強い影響力を示さないものと考えられる。

第7図 乾物重と体内成分含有率におよぼす培地ホウ素濃度の影響の模式図



* 第12表の類別に準ず。

石灰質資材過剰施用によるホウ素欠乏誘発の原因

実験1 ホウ素の吸収・移動に及ぼす培地pHの影響
実験方法

トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、キュウリ、イネ、トウモロコシ、ダイズ、アズキ等9作物の幼苗を、0.05ppm B および0.5ppm B (ヒマワリ、キュウリ、ダイズ3作物のみ)を含む培養液(第2表)で水耕栽培し、それぞれのB濃度区について培養液のpHが4, 6, 7.5の処理区を設けた。なお、培養液のpHは1N塩酸あるいは1N苛性ソーダで1日3回所定の値に調整し(日立掘場M-5

pHメーター使用)、約2週間ガラス室内で栽培した。栽培法、収穫その他の操作は、前章、実験1に準じた。

実験結果

低B濃度の場合：供試9作物のうちテンサイ、ダイコン、キュウリは低pHで、ヒマワリ、イネ、トウモロコシは高pHで生育が悪く、ダイズ、アズキはpHの影響が小さく、トマトは低くても高くても生育が悪かった(第14表)。ダイズの根において、pHの上昇に伴ってB含有率がわずかに低下する以外、いずれの作物、いずれの器官においても、培地pHの上昇によってB含有率が特に低下する作物は認められなかった。キュウリ、トウモロコシ、

第14表 ホウ素の吸収・移動に及ぼす pH の影響 (I) (培地 B 濃度 0.05ppmB)

作物名	培地 pH	草丈 (cm)	葉数 (枚)	乾物重 (mg/個体)			B含有率 (ppmB)			葉占有割合*** (%)	栽培 月/日
				葉	莖	根	葉	莖	根		
トマト	4	17	8	725	125	310	33	31	19	71	%
	6	17	8	900	163	340	34	28	17	75	%
	7.5	15	8	600	138	220	33	32	17	70	%
ヒマワリ	4	17	7	209	76	62	40	24	30	70	%
	6	19	8	232	93	51	51	39	28	70	%
	7.5	16	6	142	56	56	42	40	24	62	%
テンサイ	4	13	7	375		134	39		23	82	%
	6	16	8	535		98	45		19	92	%
	7.5	20	8	725		226	37		23	84	%
ダイコン	4	19	9	525		206	35		36	72	%
	6	19	9	1000		174	38		35	87	%
	7.5	17	9	750		152	36		32	85	%
キウリ	4	8	2	132	27	26	32	31	21	76	%
	6	10	3	176	32	32	40	43	24	77	%
	7.5	13	3	254	46	45	40	29	24	81	%
イネ	4	36	9*	1000		475	16		7	83	%
	6	32	14*	975		350	13		7	85	%
	7.5	33	8*	650		300	17		9	81	%
トウモロコシ	4	49	6	424		108	21		17	83	%
	6	45	6	376		124	28		19	82	%
	7.5	47	6	344		119	34		17	86	%
ダイズ	4	13	2	228	68	69	46	24	27	75	%
	6	17	2	260	101	78	53	23	24	76	%
	7.5	15	2	218	88	84	56	29	20	75	%
アズキ	4	15	4	725	200	300	28	17	16	71	%
	6	14	4	700	200	325	30	16	17	70	%
	7.5	13	3	700	125	375	31	17	20	70	%

* 分げつ数 ** 葉の B 蓄積量(μg)×100/B 吸収量(μg)

第15表 ホウ素の吸収・移動に及ぼす pH の影響 (II) (培地 B 濃度 0.5ppmB)

作物名	培地 pH	草丈 (cm)	葉数 (枚)	乾物重 (mg/個体)			B含有率 (ppmB)			葉占有割合* (%)	栽培 月/日
				葉	莖	根	葉	莖	根		
ヒマワリ	4	18	7	194	78	58	86	49	30	76	%
	6	21	8	248	102	51	66	35	35	76	%
	7.5	19	7	240	100	45	56	47	24	70	%
キウリ	4	8	3	162	26	49	54	51	29	76	%
	6	11	4	303	48	42	38	27	36	81	%
	7.5	12	3	276	50	41	46	29	30	83	%
ダイズ	4	13	2	216	70	55	64	28	26	77	%
	6	17	2	250	96	72	67	26	30	74	%
	7.5	18	2	266	87	63	61	24	19	73	%

* 葉の B の蓄積量(μg)×100/B 吸収量(μg)

ダイズ、アズキの葉のB含有率は培地pHの上昇でむしろ高まる傾向を示した。また、吸収されたBの葉への蓄積割合が、pHの上昇で特に低下する傾向は認められなかった。ただ、ヒマワリではpH7.5においてやや低下したが、これは葉重がそのpHで特に小さいことが原因で、根あるいは茎からのB移動が阻害された結果とは考えられない。

高B濃度の場合：積極的排除が行われるような培地B濃度では(第15表)、pH4で生育が著しく阻害され、この条件下ではヒマワリ、キュウリの葉のB含有率がやや高くなった。しかし、この上昇は低pHで吸収が促進されたためではなく、吸収速度はあまり変わらないが、乾物生産速度が低下した結果と考えられる。その点を考慮すると、0.5ppm Bの場合も低B濃度の場合と同様、Bの吸収・移動が培地pHによってほとんど影響されないとすることができる。

実験2 ホウ素の吸収・移動に及ぼす培地カルシウム濃度の影響

実験方法

トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、キュウリ、イネの6作物を供試した。第2表の基本培養液中硝酸カルシウムを硝酸ナトリウムにおきかえたものを基本培養液とし、B処理として 5×10^{-4} 、 5×10^{-3} 、0.5、5、10ppm Bの5段階を作り、さらにカルシウム(Ca)処理(CaCl_2 -Ca : CaSO_4 -Ca比を10:1)として5、20、100、500、1000ppm Caの5段階を組み合わせ25処理区を設け前章、実験1の方法に準じて水耕栽培した。作物のBは吉田ら⁵²⁾の方法に準じて定量し、Caは同じ0.5N塩酸抽出液を用いて原子吸光法で定量した。なお、イネは1000ppm Ca区ではいずれのBレベルでも生育できなかった。

また、トウモロコシとダイズはそれぞれ第16表と第17

表の培養液に、B処理として前述の5段階(ただしダイズは10ppm B区を除く4段階)とCa処理(CaCl_2 単独)として5、20、100および500ppm Caの4段階(ただし、トウモロコシでは20ppm Ca区を除く)の組み合わせ処理区を設けた。BとCaの分析方法は、太田ら²⁷⁾のCa分別法に準じた抽出を行い、Bはクルクミン法、CaはEDTA滴定法で定量し、各画分の合計量をもって全Bまたは全Ca含有量とした。この場合、特に低B培地で栽培した作物体のB含有率は希釈度の高い低濃度測定を余儀なくされたため大きな誤差をともなった可能性があり、他の実験の場合より(第7表)高い値となっている。しかし、同一B処理内の相対的比較は可能と考えられるので結果の項にはそのまま示した。

いずれの栽培においても栽培期間は原則としてB欠乏症および過剰症の両方が充分発現するまでとしたが、ダイコン、イネ、トウモロコシでは欠乏症の発現が遅く、それを認める前に栽培を打ち切った。

実験結果

生育状況：Bの欠乏あるいは過剰の症状については既に述べたとおりであり(P.40)、ダイコン、イネ、トウモロコシ以外の作物で 5×10^{-3} ppm B以下のB濃度区で認められた。B欠乏症の発現葉位は(第18表)トマトでは頂葉から $1.6 (5 \times 10^{-4} \text{ B} - 5 \text{ Ca区}) \sim 6.5 (5 \times 10^{-3} \text{ B} - 20 \text{ Ca区})$ 枚目まで、ヒマワリでは $1.2 (5 \times 10^{-4} \text{ B} - 1000 \text{ Ca区}) \sim 6.6 (5 \times 10^{-4} \text{ B} - 100 \text{ Ca区})$ 枚目までとCa処理によって差異があったが、培地Ca濃度の上昇に伴って欠乏症発現葉位が下位になる傾向は認められなかった。ダイズでは 5×10^{-3} ppm B以下のB濃度区でCa処理濃度にかかわらず最上位葉にのみ欠乏症(クロロシス)を認めた。キュウリでは 5×10^{-4} ppm B処理区で500と1000ppm Ca区に欠乏症の発現がなく、 5×10^{-3} ppm B処

第16表 トウモロコシの基本培養液組成

要素	濃度 ppm	使用塩
NH ₄ -N	14	NH ₄ NO ₃
NO ₃ -N	114	NH ₄ NO ₃ NaNO ₃
P	39	KH ₂ PO ₄
K	130	KH ₂ PO ₄ KCl
Mg	48	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Mo	0.007	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O
Mn	0.1	MnSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.05	ZnSO ₄ ·5H ₂ O
Cu	0.035	CuSO ₄ ·5H ₂ O

Fe：クエン酸鉄45mg/3ℓ

第17表 ダイズの基本培養液組成

要素	濃度 ppm	使用塩
NH ₄ -N	10	NH ₄ NO ₃
NO ₃ -N	30	NH ₄ NO ₃ NaNO ₃
P	9	KH ₂ PO ₄
K	33	KH ₂ PO ₄ KCl
Mg	24	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Mo	0.0025	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O
Mn	0.075	MnSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.075	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Cu	0.075	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Fe	2	EDTA·Fe

第18表 ホウ素欠乏症と過剰症の発現葉位

培地濃度		トマト		ヒマワリ		ダイコン		キウリ		トウモロコシ		ダイズ	
B	Ca	全葉数	症状発	全葉数	症状発	全葉数	症状発	全葉数	症状発	全葉数	症状発	全葉数	症状発
		(枚)	現葉位	(枚)	現葉位	(枚)	現葉位	(枚)	現葉位	(枚)	現葉位	(枚)	現葉位
5×10 ⁻⁴	5	5.6	4.0	8.3	2.0	8.3	なし	1.2	1.0	5.0	なし	3.0	3.0
	20	8.8	5.0	8.2	2.8	8.0	なし	2.0	1.0	—	なし	3.0	3.0
	100	9.4	6.0	12.0	5.4	9.1	なし	2.0	1.0	5.7	なし	3.0	3.0
	500	8.4	6.2	11.0	5.4	9.3	なし	3.0	なし	6.0	なし	3.0	3.0
	1000	9.4	5.2	11.2	10.0	8.2	なし	4.0	なし	—	なし	—	—
5×10 ⁻³	5	7.2	4.0	11.6	なし	8.5	なし	4.0	なし	6.8	なし	3.0	3.0
	20	10.5	4.0	11.0	6.8	9.3	なし	3.8	2.2	—	なし	3.0	3.0
	100	10.2	6.5	13.0	11.6	8.8	なし	4.0	3.6	7.1	なし	3.0	3.0
	500	9.8	8.0	9.2	なし	9.4	なし	4.8	なし	7.2	なし	3.0	3.0
	1000	9.8	4.8	10.4	なし	7.8	なし	3.0	なし	—	なし	—	—
5	5	7.8	3.9	11.8	10.2	8.2	なし	4.2	2.0	6.6	1.2	3.0	1.0
	20	9.0	4.0	13.2	7.0	7.7	2.2	5.0	2.2	—	—	3.0	2.0
	100	9.0	3.8	13.8	4.6	8.7	3.2	5.4	2.0	6.8	1.6	3.0	2.0
	500	9.4	3.8	12.0	4.4	7.9	2.0	4.5	1.3	6.2	2.2	3.0	2.0
	1000	9.8	2.6	10.6	1.8	8.2	1.8	2.8	0.8	—	—	—	—
10	5	8.2	6.4	12.6	12.2	8.5	なし	3.8	2.0	6.3	3.3		
	20	11.0	5.8	12.6	7.0	7.3	5.2	4.8	2.0	—	—		
	100	10.6	5.5	12.4	7.0	7.7	3.2	4.8	2.0	6.0	2.3		
	500	9.6	5.2	12.0	5.6	8.0	3.8	4.8	2.0	6.0	2.8		
	1000	10.5	4.9	10.8	5.8	8.0	3.2	3.5	1.5	—	—		

B欠乏症は5×10⁻³ppm B以下のB濃度区で発現し、B過剰症は5 ppm B以上のB濃度区で発現した。欠乏発現葉位は症状を呈した葉のうち最下位葉を示し、過剰症発現葉位は症状を呈した葉のうちの最上位葉を示した。

理区では20と100ppm Ca区に欠乏症の発現を認めた。テンサイは葉数の調査をしていないが5×10⁻³ppm B以下のB濃度区でCa処理濃度にかかわらず最上位葉に強い欠乏症(ネクロシス)を認めた。

B過剰症はテンサイでは認められず、イネは10ppm B処理区で認められ、他の作物では5ppm B以上のB濃度区で認められた。そのうち、トマト、ヒマワリの二作物では培地Ca濃度の上昇に伴って過剰症の発現は抑制され、その発現葉位は下位葉位にとどまった。その他の作物では培地Ca濃度の上昇に伴って、特に過剰症の発現が抑制されることはなかった。

Ca欠乏症はB欠乏症と同様若い葉に発現する場合が多く、本実験の栽培期間ではトマト、ヒマワリ、キウリの地上部に強い欠乏症状が認められ(5ppm Ca区)、他の作物では明瞭な症状の発現はなかった。

Ca過剰症はイネの1000ppm Ca区で枯死、ヒマワリとキウリの1000ppm Ca区で強いクロロシスの発現を認めたが、他の作物では生育停滞以外の症状の発現はなかった。

収穫物の葉の乾物重は(第19表)、キウリ(87~482mg/個体)、ダイズ(327~856mg/個体)、ヒマワリ(239~1163mg/個体)で小さく、他の作物では大部分1g/個体以上であった。また、ヒマワリの5×10⁻⁴B-5Ca区とテンサイの10B-5Ca区、ダイコンの5ppm Ca処理区、キウリの5×10⁻⁴B-5Ca区と10B-5Ca区、イネの500ppm Ca処理区はいずれも生育が悪かった。各部位別乾物重のB濃度処理区の平均値の処理間差をみると(第20表)、イネ、トウモロコシ以外で統計的に有意な差が認められ、トマト、テンサイ、ダイコン、ダイズ(根を除く)、ヒマワリ、キウリの根で低B濃度区において小さく、ヒマワリ(根を除く)、キウリ(根を除く)とダイズの根では低B、高B両濃度区で小さかった。

一方、Ca処理区間では、テンサイでは差がなく、トマト、ヒマワリ(葉を除く)、ダイズでは低Ca濃度区で、また、ヒマワリの葉、キウリでは低Ca、高Ca両濃度区で生育が悪く、イネでは高Ca濃度区で生育が悪く、トウモロコシでは低Ca濃度区(5ppm Ca区)の乾物重が大きかった。

第19表 乾物重 (mg/個体)

培地濃度 ppm		トマト			ヒマワリ			テンサイ		ダイコン		キウリ			イネ		トウモロコシ		ダイズ		
B	Ca	葉	莖	根	葉	莖	根	葉	根	葉	根	葉	莖	根	葉	根	葉	根	葉	莖	根
5×10 ⁻⁴	5	1566	606	271	239	79	98	1767	570	560	89	87	15	16	1050	282	920	346	421	169	177
	20	1922	655	343	508	172	144	1534	517	611	78	163	26	29	1013	314	—	—	559	213	205
	100	2938	696	424	721	290	236	1855	584	1057	191	120	25	21	1000	312	820	278	593	213	199
	500	2521	709	336	679	296	274	1744	420	824	104	249	44	41	633	136	995	299	602	193	195
	1000	2362	818	447	634	247	230	1620	509	1020	167	194	41	32	—	—	—	—	—	—	—
5×10 ⁻³	5	1659	646	272	696	197	147	2000	681	587	109	285	49	35	1004	293	1230	345	327	148	169
	20	2599	912	409	860	341	247	2339	1091	1297	228	418	64	71	1013	333	—	—	611	202	218
	100	3196	1028	407	976	434	290	2387	674	1305	203	482	69	76	1013	332	894	275	758	276	266
	500	2870	1073	460	790	340	252	1423	389	1190	200	372	64	76	1081	358	1230	364	727	250	232
	1000	3563	1330	474	641	339	247	2325	618	1035	224	146	21	18	—	—	—	—	—	—	—
0.5	5	2860	1031	544	876	232	169	2895	1372	722	123	369	70	65	1092	300	994	300	570	203	209
	20	2786	1524	500	1125	624	461	3247	1142	1156	269	479	102	124	1100	322	—	—	759	262	241
	100	3658	1606	713	958	519	322	3340	1433	1148	248	482	111	129	1054	314	884	264	856	309	256
	500	4513	1963	928	892	375	292	2585	912	1101	279	372	70	67	575	145	899	244	733	257	202
	1000	2966	1131	486	806	377	263	2936	713	1387	283	183	34	28	—	—	—	—	—	—	—
5	5	2560	973	491	767	173	120	2365	699	785	136	209	37	26	1108	281	1281	406	415	167	126
	20	2452	1317	420	1163	603	399	2981	889	1116	238	397	89	61	1100	316	—	—	579	216	154
	100	2381	1261	408	1001	518	358	3340	998	1272	263	482	102	77	1125	316	850	237	816	313	211
	500	3406	1460	661	1057	488	403	3336	675	1202	230	314	56	53	667	206	754	266	681	240	162
	1000	3973	1395	848	844	442	298	3425	791	1374	260	157	26	30	—	—	—	—	—	—	—
10	5	2547	930	467	527	114	76	409	81	674	118	104	21	15	954	253	1209	478	—	—	—
	20	2680	1258	480	1002	385	280	3059	1023	834	137	259	59	29	888	243	—	—	—	—	—
	100	3944	1438	716	975	417	294	2207	602	840	146	287	53	39	1054	311	879	331	—	—	—
	500	3013	1360	629	815	344	231	3709	997	1390	252	259	51	37	304	76	937	316	—	—	—
	1000	4003	1404	789	638	317	219	3255	698	1304	246	91	16	14	—	—	—	—	—	—	—

第20表 乾物重の処理別平均値 (mg/個体)

作物名	器官	培地B濃度 (ppm B)					LSD 5%
		5×10^{-4}	5×10^{-3}	0.5	5	10	
トマト	葉	2262	2777	2357	2954	3237	806
	莖	697	998	1451	1281	1278	286
	根	364	404	634	566	616	196
ヒマワリ	葉	556	792	931	966	791	173
	莖	217	330	426	445	315	107
	根	196	237	301	316	220	86
テンサイ	葉	1704	2094	3000	3089	2528	1026
	根	520	691	1114	810	680	405
ダイコン	葉	814	1083	1103	1150	1008	268
	根	126	193	240	225	180	59
キュウリ	葉	163	341	377	312	200	36
	莖	30	53	77	62	40	9
	根	28	55	83	49	27	30
イネ	葉	924	1028	955	1000	800	N.S.
	根	261	329	270	280	221	N.S.
トウモロコシ	葉	912	1118	926	962	1015	N.S.
	根	308	328	269	303	375	N.S.
ダイズ	葉	544	606	730	623	—	70
	莖	197	219	258	234	—	26
	根	194	221	227	165	—	21

作物名	器官	培地Ca濃度 (ppm Ca)					LSD 5%
		5	20	100	500	1000	
トマト	葉	2238	2488	3223	3265	3373	806
	莖	837	1133	1206	1313	1216	286
	根	409	430	534	603	609	196
ヒマワリ	葉	621	932	926	846	713	173
	莖	159	425	436	369	344	105
	根	122	306	300	290	251	86
テンサイ	葉	1887	2631	2626	2559	2712	N.S.
	根	681	932	858	629	666	N.S.
ダイコン	葉	666	1003	1124	1141	1224	268
	根	115	190	210	213	236	59
キュウリ	葉	211	343	371	313	154	36
	莖	38	68	72	57	28	9
	根	31	63	68	55	24	30
イネ	葉	1042	1022	1049	652	—	231
	根	282	306	317	184	—	74
トウモロコシ	葉	1127	—	870	963	—	137
	根	375	—	277	300	—	43
ダイズ	葉	433	627	756	686	—	70
	莖	172	223	298	235	—	26
	根	170	206	233	198	—	21

B含有率：葉のB含有率は 5×10^{-3} ppm B以下の低B濃度区では、培地Ca濃度の影響をほとんど受けなかった(第21表, 第8図), ただし, ヒマワリ(5×10^{-4} B-5 Ca区), ダイコン(5×10^{-3} B-5 Ca区), キウリ(5×10^{-4} B-5 Ca区), ダイズ(5×10^{-3} B-5 Ca区)では, 強いCa欠乏により乾物生産が抑制(第19表)されたため, 葉のB含有率が上昇したり, イネ(5×10^{-4} B-500 Ca区)およびキュウリ(5×10^{-3} B-1000 Ca区)ではCa過剰のため生育が停滞(第19表)してB含有率が上昇する例外もあった。

0.5 ppm B以上の培地B濃度では, トマト(0.5 ppm B以上), ヒマワリ(5 ppm B以上), テンサイ(5 ppm B以上)とダイコン(10 ppm B)の葉のB含有率は, 培地Ca濃度の上昇に伴って低下する傾向を示した(第8図)。ただし, トマトを除き, Ca欠乏により生育の著しい抑制を受けた5 ppm Ca区のB含有率は20 ppm Ca区のそれより低かった。その他の作物では培地Ca濃度の影響をほとんど受けなかった。

莖のB含有率(第21表)はキュウリ5B-100 Caと1000 Ca区で他区に比べ著しく高くなっており, ダイズの5 ppm B区で100 Ca区と500 Ca区が高くなっている点が葉のB含有率のCa処理区による変動と異なるが, それ以外では葉の場合と類似の傾向を示した。

根のB含有率(第21表)はテンサイ10B-100 Ca区が低く, ダイコンの10 ppm B区で培地Ca濃度の影響が認められず, イネの10 ppm B区で培地Ca濃度の上昇に伴い低下を示し, トウモロコシの10B-5 Ca区がやや高い値を示す点が葉の場合と異なったが, その他は葉または莖のB含有率のCa濃度処理による変動とほぼ類似していた。

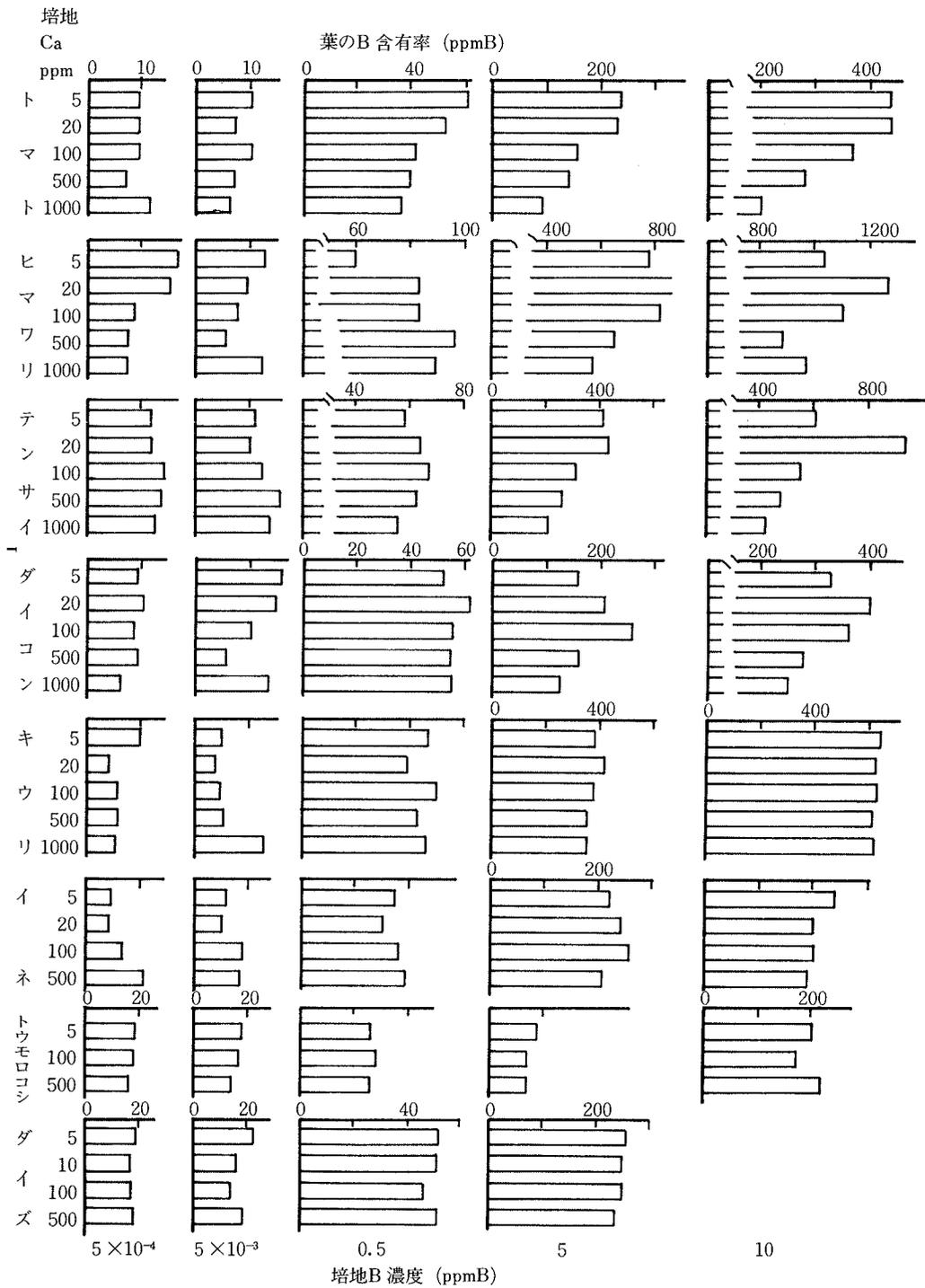
Bの移動：全吸収Bの葉への蓄積割合は(第22表), 低B濃度区(5×10^{-3} ppm B以下)では55(ヒマワリ 5×10^{-3} B-500 Ca区)~99(イネ 5×10^{-3} B-100 Ca区)%の範囲にあり, 高B濃度区(5 ppm B以上)では74(トウモロコシ5B-500 Ca区)~96(キュウリ10B-20 Ca区)%の範囲で, イネ, トウモロコシ以外の作物では培地B濃度の上昇に伴い葉への蓄積割合が増加する傾向にあった。しかし, 各B濃度区でCa濃度処理により葉への移動が特に影響を受ける作物はなかった。

Ca含有率：トマト(5×10^{-4} ppm Bと10 ppm B区)とキュウリ(5×10^{-4} ppm B以外のB濃度区)の1000 Ca区の葉のCa含有率が(第23表)500 Ca区のそれより低くなったが, その他の器官あるいはその他の作物では何れのB濃度区においても培地Ca濃度の上昇に伴ってCa含有率は上昇した。その上昇程度は各作物とも葉>莖>根の順で

第21表 器官別ホウ素含有率 (ppm B)

培地濃度 ppm B	Ca	トマト			ヒマワリ			テンサイ		ダイコン		キウリ			イネ		トウモロコシ		ダイズ					
		葉	莖	根	葉	莖	根	葉	根	葉	根	葉	莖	根	葉	根	葉	根	葉	莖	根			
5×10 ⁻⁴	5	9.7	12.0	14.5	16.9	13.5	12.3	12.2	4.0	9.5	13.2	10.6	35.3	14.1	4.9	0.6	19.4	18.2	19.0	13.6	12.4			
	20	9.5	11.2	11.1	15.6	12.5	9.0	12.4	3.6	10.8	12.6	4.7	11.7	12.4	4.4	0.6	-	-	17.2	10.8	6.8			
	100	9.6	13.1	10.8	9.1	8.2	2.8	14.8	4.0	8.8	13.5	5.9	12.8	7.1	6.7	0.6	17.8	15.8	17.9	13.6	10.5			
	500	7.5	12.2	10.6	8.1	4.3	3.2	14.0	2.7	9.7	12.3	6.0	10.9	5.3	10.9	1.5	16.8	12.7	18.1	12.9	8.7			
	1000	11.7	10.8	13.6	7.8	4.8	4.5	13.1	9.0	6.4	12.8	5.4	11.5	6.4	-	-	-	-	-	-	-			
5×10 ⁻³	5	10.8	10.5	16.3	13.2	10.0	13.8	11.6	9.0	16.5	17.8	5.2	11.2	8.4	6.2	2.2	19.6	13.3	22.6	14.2	13.0			
	20	7.9	5.4	12.4	9.9	8.1	8.2	10.5	5.7	15.3	13.8	4.2	10.5	8.8	5.4	0.2	-	-	16.8	16.9	13.8			
	100	10.4	11.9	19.5	7.8	9.9	7.3	12.9	7.6	10.5	13.1	5.3	9.3	11.8	9.2	0.4	16.8	17.0	14.2	7.6	9.4			
	500	7.4	5.9	13.0	6.1	6.8	6.2	16.0	3.9	6.3	12.4	5.9	11.6	6.8	9.0	1.9	14.9	14.0	19.0	11.6	10.0			
	1000	6.8	8.8	14.8	12.5	10.2	8.1	14.3	5.2	14.0	24.6	13.1	17.4	10.1	-	-	-	-	-	-	-			
0.5	5	61.7	16.1	29.3	60.2	12.9	13.9	58.5	28.7	53.0	38.3	46.8	30.1	22.9	34.6	13.3	27.0	22.6	52.2	18.7	19.5			
	20	53.7	10.2	21.6	83.0	21.2	29.2	64.9	24.3	62.6	47.0	39.5	37.9	27.6	31.4	8.7	-	-	50.7	20.2	15.7			
	100	42.4	15.5	16.2	83.6	15.3	19.8	67.1	27.5	56.6	43.2	50.4	37.6	31.5	37.7	8.9	28.4	23.0	46.3	20.1	17.6			
	500	40.5	10.3	17.7	96.5	13.3	16.4	62.6	17.2	55.5	39.4	43.6	38.1	24.1	39.6	7.6	26.9	24.2	51.4	21.4	20.3			
	1000	36.8	10.2	13.6	89.8	18.7	16.3	56.0	18.9	56.0	42.2	46.6	35.6	30.0	-	-	-	-	-	-	-			
5	5	238	33.8	94.8	691	52.5	108	423	101	161	82.1	390	34.1	93.9	223	88.6	90.2	82.6	257	27.6	50.8			
	20	236	25.4	93.5	773	67.8	213	440	93.5	215	148	419	46.1	145	247	76.0	-	-	250	28.2	32.1			
	100	162	18.2	56.0	721	67.4	178	319	75.4	261	134	380	118	135	259	76.0	72.7	61.1	251	39.6	56.0			
	500	148	13.3	45.1	556	46.5	113	260	62.2	161	94.4	362	52.3	108	211	46.1	69.8	69.6	237	55.0	44.0			
	1000	94.1	11.9	46.1	474	42.9	98.8	217	59.3	133	68.6	360	98.9	91.0	-	-	-	-	-	-	-			
10	5	438	58.0	177	939	65.2	157	513	98.5	329	140	646	121	191	487	191	206	164	/					
	20	441	37.0	231	1176	102	303	842	151	407	163	630	49.8	121	407	157	-	-						
	100	371	33.8	202	1045	85.4	307	458	84.2	366	174	635	50.2	138	417	145	176	128						
	500	280	24.6	75.7	788	61.5	152	383	81.3	283	174	620	72.6	114	396	96.1	223	130						
	1000	199	14.4	73.0	868	54.9	171	333	73.1	252	120	623	157	191	-	-	-	-						

ホウ素に関する作物栄養学的研究



第8図 葉のホウ素含有率

第22表 吸収ホウ素の葉への蓄積割合 (%)

培地濃度 ppm B	Ca	ト	ヒ	テ	ダ	キ	イ	ト	ダ
		マ	マ	ン	イ	ウ	ウ	コ	ダ
		ワ	ワ	サイ	コン	リ	ネ	モ	シ
		リ	リ					ロ	ズ
5×10 ⁻⁴	5	58	64	90	82	56	96	74	64
	20	62	69	91	87	53	96	—	72
	100	67	68	92	78	58	97	77	68
	500	61	71	96	86	68	97	81	72
	1000	65	69	82	76	59	—	—	—
5×10 ⁻³	5	63	70	79	84	65	91	84	55
	20	67	64	80	87	58	98	—	62
	100	62	60	86	84	63	99	81	70
	500	63	55	98	75	67	93	78	73
	1000	56	59	91	86	76	—	—	—
0.5	5	85	91	81	89	83	90	80	79
	20	85	78	88	85	72	93	—	81
	100	81	85	85	86	75	93	80	79
	500	83	90	91	85	79	95	80	80
	1000	86	87	92	87	81	—	—	—
5	5	88	96	94	92	96	91	78	91
	20	89	88	94	87	93	92	—	93
	100	89	88	93	90	89	92	81	89
	500	91	90	95	90	93	94	74	89
	1000	87	89	94	92	91	—	—	—
10	5	89	96	96	93	93	91	76	—
	20	88	90	94	94	96	91	—	—
	100	88	89	95	92	96	91	79	—
	500	91	92	95	90	95	94	84	—
	1000	91	91	96	91	92	—	—	—

あり、また、作物間ではキウリ>ダイコン>ヒマワリ>ダイズ>イネ>トウモロコシの順であった。

Ca/B比：葉のCa/B比は(第24表)テンサイ、イネ科、ダイズで小さく約4~1700の範囲にあり、トマト、ヒマワリは4~5000、ダイコンは14~7000でキウリは6~11100の範囲にあった。

実験3 ダイズにおけるホウ素の吸収・移動に及ぼす高pH条件下での培地カルシウム濃度の影響

実験方法

低・高両B濃度区のいずれにおいても、Bの吸収・移動が培地のCa濃度によって影響を受けなかった作物のうち、ダイズ(新四号)を用い、培地pHを0.1N苛性ソーダ溶液で7.5に朝夕2回調整し、B処理とCa処理として5, 20, 100および500ppm Caの4処理を組み合わせた16区を設定し、実験2と同様な方法で栽培し(24日間)、収穫物について分析を行った。

実験結果

生育状況：移植後8~9日目に5ppmCa区においてCa欠乏症が発現した。その症状は根の褐色化、本葉の緑色の退色に次いで、葉脈間のモザイク状のクロロシスの発現などである。また、11日目頃に5ppmB処理の各区で培地Ca濃度の如何にかかわらず葉に過剰症(前章実験1参照)が認められ、数日後に同様な症状が第1葉にも認められた。17日目頃、5×10⁻⁴ppmB区において、Ca処理濃度の如何にかかわらず、各区一斉に典型的なB欠乏症(前章、実験1参照)が発現した。

乾物重(第25, 26表)は、B処理区間では欠乏症(5×10⁻⁴ppmB区)あるいは過剰症(5ppmB区)を示した処理区で他区より低かったが、欠乏区の生育抑制は過剰区のそれより著しく、また、草丈、根の伸長は欠乏区でのみ抑制された。一方、Ca処理区間ではCa欠乏症を示した5ppmCa区の乾物重が他区より有意に低かった。

BとCa含有率：各部位のB含有率は培地のB濃度上昇に伴って上昇した(第27表)が、Ca処理濃度による有意な差はなかった。しかし、低B濃度の5×10⁻⁴と5×10⁻³ppmB区に限ってみた場合、5ppmCa区の葉のB含有率が他のCa処理区に比べ高かった。また、個体全体(第9図)では低B濃度区でやはりCa濃度上昇に伴うB含有率の低下を認めたが、統計的に有意な差ではなく、0.5ppmB以上のB濃度区ではCa処理濃度の変化に伴うB含有率の特徴的な変化は認められなかった。しかし、いずれのB濃度区においてもCa含有率は培地Ca濃度の上昇により急激に上昇した。

Bの移動：培地B濃度の上昇に伴い吸収されたBの葉への分布割合は増加する傾向にあった(第28表)が、Ca濃度処理による有意な差はなかった。しかし、Bの欠乏症あるいは過剰症を示さない5×10⁻³と0.5ppmB区に限ると根へのB分布割合は、低Ca濃度区(5, 20ppmCa区)で高Ca濃度区(100, 500Ca区)より高く、逆に葉への分布割合は高Ca濃度区で低Ca濃度区より高かった。いずれにしても、葉へのBの移動が培地Ca濃度の上昇によって抑制されることはなかった。

Ca/B比：葉のCa/B比(第29表)は全区B欠乏症を呈した5×10⁻⁴ppmB区で561~5125の範囲にあり、欠乏症を全く認めなかった5×10⁻³ppmBでは449~2900の範囲にあり、両者の値は重なりをみせ、さらに0.5ppmB区にも5×10⁻⁴B-5Ca区より大きいCa/B比を示す区(100, 500Ca区)もあり、Ca/B比が大きいほど、欠乏症がでやすく、過剰症がでにくいという傾向はなかった。

実験4 アズキのホウ素吸収抑制に対する炭酸苦土石

第23表 器官別カルシウム含有率(%)

培地B濃度 ppm B	Ca	ト マ ト			ヒ マ ワ リ			テンサイ		ダイコン		キ ウ リ			イ ネ		トウモロコシ		ダ イ ズ		
		葉	茎	根	葉	茎	根	葉	根	葉	茎	根	葉	根	葉	根	葉	茎	根		
5×10 ⁻⁴	5	0.59	0.26	0.15	0.43	0.23	0.23	0.32	0.11	0.43	0.18	0.40	0.52	0.34	0.16	0.05	0.11	0.05	0.77	0.71	0.14
	20	0.58	0.52	0.36	0.71	0.42	0.30	0.34	0.16	0.79	0.31	0.83	0.60	0.40	0.26	0.08	-	-	0.67	0.59	0.22
	100	1.76	1.00	0.48	1.61	0.88	0.52	0.72	0.50	2.13	0.47	2.19	2.04	0.62	0.41	0.30	0.57	0.33	0.50	0.58	0.24
	500	2.37	1.62	0.63	2.91	2.36	0.73	1.45	1.16	3.48	0.78	4.81	3.63	1.16	1.82	0.40	0.91	0.93	1.27	0.30	0.70
	1000	2.32	1.93	1.03	3.85	2.72	0.77	1.92	1.28	4.49	0.89	5.72	4.41	1.70	-	-	-	-	-	-	-
5×10 ⁻³	5	0.75	0.26	0.20	0.39	0.29	0.15	0.26	0.07	0.47	0.19	0.67	0.37	0.30	0.18	0.08	0.10	0.03	0.32	0.22	0.29
	20	0.83	0.43	0.24	0.78	0.41	0.30	0.39	0.14	0.78	0.25	1.22	0.55	0.43	0.27	0.08	-	-	1.22	0.91	0.28
	100	1.61	0.79	0.42	1.63	0.91	0.46	0.51	0.33	2.09	0.49	4.73	2.65	0.61	0.47	0.24	0.56	0.31	1.03	0.99	0.33
	500	2.68	1.60	0.79	3.12	2.27	0.76	1.30	0.95	3.88	0.77	5.94	3.32	1.56	0.64	0.33	0.81	1.07	1.36	1.31	0.58
	1000	2.70	1.55	0.85	4.23	3.08	0.90	1.90	1.24	4.58	0.66	5.80	7.06	1.90	-	-	-	-	-	-	-
0.5	5	0.33	0.12	0.11	0.34	0.25	0.20	0.16	0.10	0.46	0.21	0.23	0.30	0.36	0.21	0.08	0.03	0.02	0.34	0.21	0.06
	20	0.76	0.19	0.19	0.82	0.33	0.23	0.25	0.13	0.80	0.21	0.57	0.46	0.30	0.33	0.08	-	-	0.60	0.46	0.23
	100	1.35	0.51	0.61	1.80	1.17	0.42	0.60	0.42	0.28	0.41	1.59	1.58	0.51	0.52	0.24	0.38	0.43	1.05	0.90	0.31
	500	2.17	0.87	0.69	2.76	2.65	0.60	1.39	0.59	3.17	0.73	3.14	2.18	2.31	1.67	0.33	0.97	0.84	1.46	1.42	0.51
	1000	2.56	1.24	0.99	3.06	2.85	0.69	1.67	0.65	4.09	0.70	2.84	2.34	2.63	-	-	-	-	-	-	-
5	5	0.36	0.17	0.13	0.37	0.28	0.24	0.22	0.12	0.37	0.15	0.33	0.37	0.32	0.16	0.05	0.03	0.01	0.29	0.16	0.10
	20	0.55	0.25	0.18	0.76	0.36	0.33	0.23	0.16	0.74	0.23	0.68	0.55	0.43	0.26	0.06	-	-	0.53	0.45	0.12
	100	1.86	0.56	0.45	1.96	1.34	0.53	0.62	0.34	2.05	0.39	1.67	1.63	0.63	0.43	0.38	0.67	0.55	0.99	0.85	0.25
	500	1.95	1.26	0.81	2.69	2.55	0.83	1.44	0.57	3.40	0.64	3.03	2.19	1.59	1.19	0.32	0.80	0.58	1.29	1.25	0.42
	1000	2.79	1.64	0.90	3.74	3.10	1.03	2.12	0.68	3.86	0.66	2.58	3.00	2.80	-	-	-	-	-	-	-
10	5	0.43	0.19	0.17	0.42	0.28	0.26	0.30	0.18	0.46	0.22	0.37	0.36	0.47	0.17	0.04	0.09	tr	/		
	20	0.76	0.22	0.21	0.73	0.44	0.35	0.32	0.16	0.65	0.29	0.70	0.56	0.45	0.25	0.06	-	-			
	100	1.71	0.78	0.50	1.78	1.13	0.56	0.70	0.34	1.86	0.48	1.82	2.21	0.68	0.43	0.32	0.68	0.20			
	500	2.97	1.27	0.96	2.26	1.89	0.72	1.14	0.57	2.94	0.72	2.71	2.48	1.55	1.86	0.31	0.96	0.78			
	1000	2.85	1.56	1.01	3.39	2.71	1.14	2.10	0.58	3.59	0.71	2.32	5.60	1.56	-	-	-	-			

第24表 葉におけるCa/B比

培地濃度 ppm B	濃度 Ca	トマト	ヒマワリ	テンサイ	ダイコン	キュウリ	イネ	トウモロコシ	ダイズ
		5	608	254	262	453	444	333	57
5 × 10 ⁻⁴	20	611	455	274	731	1750	578	—	390
	100	1833	1769	486	2420	3714	597	320	279
	500	3160	3593	1036	3588	8000	1667	541	702
	1000	1983	4936	1466	7016	11100	—	—	—
5 × 10 ⁻³	5	694	295	224	284	1207	290	51	141
	20	1051	788	371	510	2833	490	—	726
	100	1548	2090	395	1990	8769	516	333	725
	500	3622	5115	813	6258	10045	711	544	716
0.5	1000	3971	3384	1329	3271	4474	—	—	—
	5	53	56	21	63	46	61	11	65
	20	142	99	39	146	143	104	—	118
	100	318	215	89	401	317	136	133	227
5	500	536	286	222	571	722	421	361	284
	1000	697	341	298	730	612	—	—	—
	5	15	5.3	4.9	23	8.6	6.9	3.3	11
	20	23	9.8	5.3	34	16	10	—	21
10	100	115	27	19	79	44	17	92	39
	500	132	48	57	211	84	56	115	54
	1000	296	79	98	291	72	—	—	—
	5	9.8	4.4	5.8	14	6.0	3.5	4.3	/
5	20	17	6.2	3.8	16	11	6.1	—	/
	100	46	17	15	51	29	10	39	/
	500	106	29	30	104	44	47	43	/
	1000	143	39	63	143	37	—	—	/

第25表 ダイズの収穫物調査

培地濃度 ppm B	濃度 Ca	草丈 (cm)	葉数 (枚)	乾物重 (mg/個体)					症状
				根	莖	下位葉*	上位葉*	全体	
5 × 10 ⁻⁴	5	8	3	167	210	610	—	987	欠乏
	20	10	4	230	270	990	—	1490	欠乏
	100	9	3	260	290	1070	—	1620	欠乏
	500	12	4	260	360	1120	—	1740	欠乏
5 × 10 ⁻³	5	13	4	360	310	450	330	1450	
	20	16	4	440	470	690	620	2220	
	100	16	5	410	480	720	770	2380	
	500	17	5	390	500	710	840	2440	
0.5	5	13	4	360	270	440	290	1360	
	20	17	5	450	410	540	530	1930	
	100	18	5	520	520	960	460	2460	
	500	19	5	540	560	1010	420	2530	
5	5	15	4	320	300	510	320	1450	過剰
	20	19	5	360	470	830	370	2030	過剰
	100	19	5	360	470	880	400	2110	過剰
	500	19	5	350	430	800	380	1960	過剰

* 上位葉とは本葉第3葉位より上の葉を示す。ただし5 × 10⁻⁴ ppmB区のみは全ての葉を下位葉に入れた。

第26表 ダイズの各調査項目の処理別平均値

項目	培地 B 濃度 (ppmB)				L. S. D.
	5×10^{-4}	5×10^{-3}	0.5	5	5 %
葉数 (枚)	3.5	4.6	4.7	4.7	0.3
草丈 (cm)	9.5	15.5	17.0	18.2	1.5
根長 (cm)	22.5	27.2	28.8	28.8	2.0
全重 (mg/本)	1459	2123	2070	1888	224
根重 (mg/本)	229	400	468	348	55
莖重 (mg/本)	283	440	440	418	71
葉重 (mg/本)	948	1283	1163	1123	154

項目	培地 Ca 濃度 (ppmCa)				L. S. D.
	5	20	100	500	5 %
葉数 (枚)	3.9	4.3	4.5	4.7	0.3
草丈 (cm)	12.2	15.6	15.5	16.8	1.5
根長 (cm)	23.9	26.3	28.5	28.5	2.0
全重 (mg/本)	1312	1918	2143	2168	224
根重 (mg/本)	302	370	388	385	55
莖重 (mg/本)	273	405	440	463	71
葉重 (mg/本)	738	1143	1315	1320	154

第28表 ダイズに於るホウ素の器官別分布割合 (%)

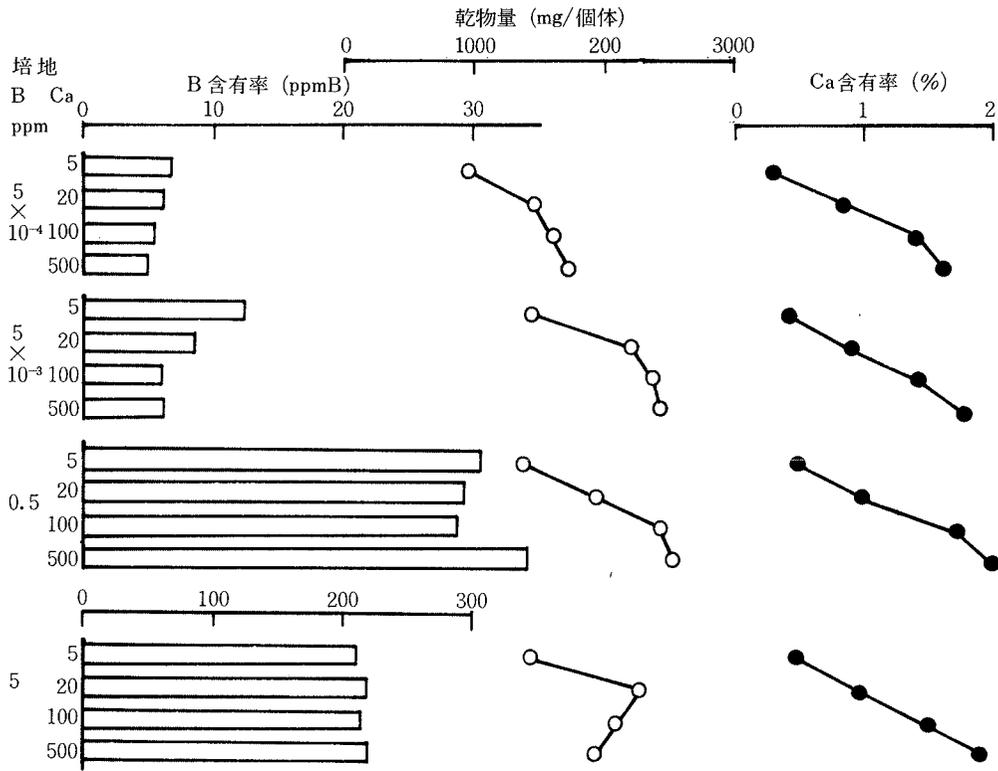
培地濃度 ppm	B	Ca	根	莖	全葉	下位葉*
5×10^{-4}	20	39	7	55		
	100	44	7	49		
	500	25	10	65		
5×10^{-3}	5	26	10	64	40	
	20	27	9	64	44	
	100	13	11	76	50	
	500	10	10	80	54	
0.5	5	21	8	71	47	
	20	15	10	75	41	
	100	10	10	80	60	
	500	10	8	82	65	
5	5	4	2	94	76	
	20	4	3	93	81	
	100	4	3	93	80	
	500	4	3	93	80	

* 下位葉の区分については第25表に準ず

第27表 各器官のホウ素とカルシウム含有率

培地濃度 (ppm)	B	Ca	B 含有率 (ppm)				Ca 含有率 (%)					
			上位葉	下位葉	葉*	莖	根	上位葉	下位葉	葉*	莖	根
5×10^{-4}	5				6.6	3.5	9.7			0.37	0.22	0.17
	20				5.2	2.6	15.9			1.11	0.44	0.26
	100				4.1	2.0	15.2			1.81	0.81	0.47
	500				4.0	2.0	6.7			2.05	1.00	0.64
5×10^{-3}	5	12.9	16.1	14.7	6.1	13.3	0.54	0.74	0.66	0.17	0.12	
	20	6.2	12.1	9.3	3.7	11.4	0.79	1.73	1.28	0.39	0.26	
	100	5.1	10.5	7.7	3.5	4.8	1.17	2.80	1.96	0.76	0.39	
	500	4.7	11.8	8.0	3.2	4.1	1.33	3.50	2.32	1.00	0.68	
0.5	5	35.7	45.2	41.5	13.3	24.2	0.55	1.01	0.83	0.19	0.16	
	20	36.0	43.1	39.6	14.0	19.2	0.91	2.13	1.52	0.43	0.22	
	100	31.3	44.4	40.1	13.7	14.2	1.08	2.95	2.34	0.82	0.39	
	500	33.9	56.1	49.5	13.0	16.3	1.30	3.49	2.84	1.09	0.61	
5	5	174	473	359	24.2	40.6	0.58	0.86	0.76	0.18	0.14	
	20	141	435	344	26.1	54.6	0.77	1.72	1.43	0.47	0.24	
	100	145	412	328	27.6	55.0	1.01	2.64	2.13	0.75	0.35	
	500	153	425	338	26.3	47.8	1.15	3.28	2.59	1.20	0.69	

* 上位葉と下位葉を合せたもの。上位葉と下位葉の区分は第25表に準ず。



第9図 ダイズの乾物量とホウ素およびカルシウム含有率

第29表 ダイズの葉におけるCa/B比

培地濃度 (ppm)	Ca/B 比		全葉	下位葉*	上位葉*
	B	Ca			
5 × 10 ⁻⁴	5	561			
	20	2135			
	100	4415			
	500	5125			
5 × 10 ⁻³	5	449	460	419	
	20	1376	1430	1274	
	100	2545	2667	2294	
	500	2900	2966	2830	
0.5	5	200	223	154	
	20	389	494	253	
	100	593	664	345	
	500	574	622	383	
5	5	21	18	33	
	20	42	40	55	
	100	65	64	70	
	500	77	77	75	

*上, 下位葉の区分は第25表に準ず。

灰の効果

実験方法

未耕砂丘地の砂質土壌(以下砂丘土壌と称す), 2種の沖積土壌および鳥取大学構内に分布する腐植質火山灰土壌(以下黒ボクと称す)の4種の土壌を実験に用いた(第30表)。なお, 沖積土壌Iは鳥取大学附属農場の水田土壌で, 砂質土壌に沖積土壌を客土混入したものであり(以下沖積Iと称す), 沖積土壌IIは旧鳥取農業試験場の畑圃場から採取した土壌で(以下沖積IIと称す), 土性はそれぞれ細砂壤土と植壤土である。これらの土壌に後述のようなB処理と石灰処理(炭酸苦土石灰使用)を行い, 共通基肥として砂丘土壌以外の土壌には, リン酸吸収係数の5%相当量の“ようりん”を, また, 全ての土壌にポット当たり1.3gの燐硝安加里(552号)を加えて充分混和し, それぞれ砂丘土壌は1kg, 沖積I, IIは700g, 黒ボクは500gを素焼の鉢に充填した。これらの土壌に高B濃度培地耐性の最も弱いアズキ(品種・栄)を供試し, 各ポット当たり3粒播種し, 適宜灌水してガラス室で約半月間栽培

第30表 供試土壤の理化学性

土 壤	pH		C.E.C.	置 換 性 (m.e.)				可溶性	可給態	熱水可溶性	P 吸収 係 数	土 性
	H ₂ O	KCl	m.e.	Ca	Mg	K	Na	Al*	Fe**	B		
砂 丘	6.8	5.7	0.8	0.2	0.2	0.1	0.03	0.1	2.8	0.20	74	S
沖 積 I	6.4	6.1	12.8	7.0	2.0	0.8	0.4	7.1	3.5	0.41	888	FSL
沖 積 II	5.9	5.1	14.4	7.6	2.9	0.5	0.5	10.2	5.0	0.42	810	CL
黒 ボク	5.9	5.2	28.4	12.0	1.0	0.8	0.5	27.8	12.3	0.43	2034	LiC

me は風乾土100g当り

* pH4.8 酢酸ナトリウム液可溶性アルミニウム

** pH4.8 酢酸ナトリウム液可溶性鉄

した。実験はいずれも各区3反復で行った。

栽培期間中の落葉は全て採取し、葉身のみを分析の対象とし、乾燥、秤量、粉碎後、0.5N塩酸可溶のBとCaを測定した。沖積I、里ボク土壤については収穫後、跡土壤のBとCaを定量した。

土壤中のBとCaは約15ml容カラムに10mlの蒸留水を入れ、10gの風乾細土を静かに充填し、上部から水を滴下し透過流出液12ml(毎分約0.4ml滴下)を採取し、その溶出液中のBとCaを定量し、この量を易動性Bおよび易動性Ca量とした。また、砂丘土壤については、別に20日間室内でインキュベーションした土壤の易動性Bおよび易動性Ca量を測定した。

第31表 ホウ素の吸収に及ぼす炭酸苦土石灰の効果(砂丘土壤)

B 処理 濃度 ppm B	炭・苦* 施与量 g/kg	土 壤 pH (H ₂ O)	葉 身			症 状
			乾物重 mg/個体	含 有 率 ppm B	Ca % Ca	
0	0	6.82	234	33	0.79	
	0.1	6.80	268	46	0.95	
	1.0	7.40	293	37	1.38	
	5.0	7.90	169	39	1.61	
0.5	0		225	74	0.85	
	0.1		241	66	0.95	
	1.0		193	73	1.46	
	5.0		182	73	1.62	
1.0	0		216	104	0.96	稍過*
	0.1		230	102	1.05	〃
	1.0		226	104	1.45	〃
	5.0		143	97	1.48	〃
2.0	0	6.82	208	141	0.88	過 剩
	0.1	6.80	175	134	0.86	〃
	1.0	7.40	165	153	1.31	〃
	5.0	7.90	152	150	1.68	〃

* 炭酸苦土石灰

* 軽度の過剰症

栽培期間 1/6~1/2

実験結果

砂丘土壤では(第31表)、風乾土当たり0, 0.5, 1.0, 2.0 ppm Bに相当するホウ砂施与処理に炭酸苦土石灰0, 0.1, 1, 5g/kgの施与処理を組み合わせた16試験区を設けた。土壤pHはホウ砂施与量には影響されず、炭酸苦土石灰施与量の増加に伴い6.80(炭酸苦土石灰0.1g/kg施与区)から7.90(同5g/kg施与区)まで急激に上昇し、葉身のCa含有率も上昇した。しかし、いずれのB濃度区においても葉身中のB含有率は炭酸苦土石灰施与処理によってほとんど影響を受けなかった。また、易動性Caは(第32表)炭酸苦土石灰1.0g/kg以上の施与区で急激に増加したが易動性Bはほとんど影響を受けなかった。

沖積Iでは風乾土当たり5と10ppm Bに相当するホウ砂施与処理に炭酸苦土石灰0~96g/kg施与まで6段階の施与処理を合せた12試験区を設けた(第33表)。両B処理区間では高B処理区の方がやや高pHであり、いずれのB処理濃度区においても炭酸苦土石灰施与量の増加に伴い培地pHはゆるやかに上昇した(6.3から7.95)。5ppm B区

第32表 易動性ホウ素及びカルシウム量に及ぼす炭酸苦土石灰の効果(砂丘土壤)

B 処理濃度 ppm B	炭・苦* 施与量 g/kg	易 動 性 (10g土壤)	
		B (μg)	Ca (mg)
0	0	3.2	6.1
	0.1	3.6	7.6
	1.0	3.5	17.3
	10.0	3.2	23.6
0.5	0	6.8	11.9
	0.1	7.8	7.6
	1.0	6.2	21.8
	10.0	7.2	72.5
2.0	0	6.8	11.9
	0.1	7.8	7.6
	1.0	6.2	21.8
	10.0	7.2	72.5

* 炭酸苦土石灰

第33表 ホウ素の吸収に及ぼす炭酸苦土石灰の効果 (沖積Ⅰ 土壤)

B 処理濃度 ppm B	炭・苦* 施与量 g/kg	pH (H ₂ O)	葉 身			易 動 性 (/10g)		症 状
			乾 物 重 mg/個体	B 含有率 ppm B	Ca 含有率 % Ca	B (μg)	Ca (mg)	
5	0	6.30	46	466	1.52	14.3	1.39	落 葉
	3.2	7.05	44	403	1.22	11.9	0.76	〃
	16	7.55	61	284	1.45	8.6	1.09	過 剩
	32	7.85	59	230	1.74	8.6	1.02	症 軽
	64	7.95	47	245	1.67	8.7	1.29	減
	96	7.95	64	219	1.55	9.2	1.44	〃
10	0	6.50	32	853	1.41	18.0	1.30	落 葉
	3.2	7.05	25	751	1.00	18.3	1.09	〃
	16	7.65	44	721	1.80	15.8	1.12	過 剩
	32	7.85	47	708	1.58	16.0	1.54	〃
	64	7.95	54	517	1.51	15.7	1.14	〃
	96	7.95	35	451	1.64	16.2	2.02	〃

* 炭酸苦土石灰 栽培期間 %~%

の易動性B量は14.3μg/10g(炭酸苦土石灰無施与区)から8.6μg/10g(炭酸苦土石灰16g/kg施与区)へと炭酸苦土石灰施与量の増加に伴い減少したが、それ以上の施与量ではほとんど変わらず、また、10ppmB区では炭酸苦土石灰3.2g/kg施与までは易動性B量は約18μg/10gで16g/kgの施与により16μg/10gに減少したが、それ以上の施与量ではほとんど変わらなかった。いずれのB処理区でも炭酸苦土石灰3.2gまではBの強い過剰障害により落葉し、それ以上の炭酸苦土石灰施与区でも過剰症は認められたが落葉はなく、炭酸苦土石灰施与量の増加に伴い過剰症の程度はわずかながら軽減される傾向が認められた。B含有率は5ppmB区では炭酸苦土石灰施与量32g/kgまで、10ppmB区では96g/kgまで、施与量の増加に伴って低下した。易動性CaおよびCa含有率は炭酸苦土石灰施与量の増加によって必ずしも上昇しなかった。

沖積Ⅱでは風乾土当たり5と10ppmB相当量のホウ砂施与処理と炭酸苦土石灰3.2, 16, 32g/kg施与の3段階の施与処理を組み合わせた6試験区を設けた(第34表)。5ppmB区ではB含有率は炭酸苦土石灰の施与によってほとんど影響されず、10ppmB区では炭酸苦土石灰16g施与区(392ppmB)で3.2g施与区(503ppmB)よりB含有率が低下し過剰症の発現程度も軽減された。

黒ボクでは、風乾土当たり10, 20, 50ppmB相当量のホウ砂施与処理に炭酸苦土石灰0~42.8g/kg施与までの8段階(10ppmB区のみ7段階)の施与処理を組み合わせた23試験区を設けた(第35表)。土壌pHは50ppmB区で10ppmB区よりも全般的に高かった。いずれのB濃度区に

おいても炭酸苦土石灰施与量の増加に伴って易動性B、葉身のB含有率ともに低下し、10ppmB区では炭酸苦土石灰12.8g/kg以上、また、20ppmB区では25.6g/kg以上の施与によって易動性Bは6.4μg/10g以下となり、B過剰症の発現もみられなかった。易動性Caと葉身のCa含有率は炭酸苦土石灰の施与量を増加させても顕著な影響を受けなかった。

実験5 アズキのホウ素吸収抑制に対する炭酸石灰と石こうの効果の比較

実験方法

前記の黒ボク(第30表)に、風乾土当たり50ppmBとなるようにホウ砂を施与し、それに炭酸石灰を10.7gまたは53.5g/kgを施与した区と、これらと等量のCaを含む石こうを施与した区と対照区の5処理区をもうけ、前

第34表 ホウ素の吸収に及ぼす炭酸苦土石灰の効果 (沖積Ⅱ 土壤)

B 処理濃度 ppm B	炭 酸 苦 土 石灰施与量 g/kg	葉 身		症 状
		乾 物 重 mg/個体	B 含有率 ppm B	
5	3.2	176	233	過 剩
	16	207	227	〃
	32	205	218	〃
10	3.2	81	503	落 葉
	16	114	392	過 剩
	32	264	360	〃

栽培期間 %~%

第35表 ホウ素の吸収に及ぼす炭酸苦土石灰の効果 (黒ボク)

B処理濃度 ppm B	炭酸苦土 石灰施与量 g/kg	土 壤 pH (H ₂ O)	葉 身			易 動 性 (/10g)		症 状
			乾 物 重 mg/個体	B含有率 ppm B	Ca含有率 % Ca	B (μg)	Ca (mg)	
10	0	5.91	103	335	0.98	11.2	0.65	初葉過剰
	1.06	5.10	100	293	0.95	11.5	0.79	〃
	2.14	6.40	101	213	1.10	8.4	1.02	〃
	4.28	6.50	113	207	0.94	8.6	0.90	〃
	12.8	6.95	97	131	1.01	6.1	1.23	〃
	25.6	7.30	108	90	1.04	3.8	0.87	〃
	42.8	7.50	82	86	1.11	3.3	1.15	〃
20	0		66	816	1.07	16.0	0.56	第1黄色
	1.06		69	574	0.81	15.8	0.51	〃
	2.14		91	529	0.89	15.9	0.74	〃
	4.28		93	422	0.95	13.2	1.06	〃
	10.8		75	285	0.84	9.5	0.98	〃
	12.8		100	262	1.04	8.0	0.96	〃
	25.6		89	99	0.91	5.3	1.07	〃
42.8		92	101	1.25	6.4	1.46	〃	
50	0	6.15	11	1649	0.83	41.8	0.75	葉伸展せず
	1.06	6.25	28	1289	0.91	39.2	0.51	〃
	2.14	6.40	23	1655	0.50	43.8	0.90	〃
	4.28	6.55	24	1642	0.82	31.6	0.97	〃
	10.8	7.05	60	777	0.94	30.2	0.97	〃
	12.8	7.25	50	705	0.81	20.1	1.16	全葉黄色
	25.6	7.50	35	806	0.81	18.6	1.44	〃
42.8	7.70	53	627	0.89	16.9	1.26	〃	

栽培期間 %~%

記実験に準じてアズキ(栄)の栽培試験を行った。

実験結果

炭酸石灰の施与量を増加することにより、土壌pHは上昇し(5.60から6.95)、易動性Bは減少した(57.4から26.4 μg/10g)(第36表)。その結果、葉身のB含有率は対照区に比べ、著しく低下し(1294から551ppmB)、Bの過剰症は炭酸石灰施与量の増加と共に軽減され、葉身重は増大し(40.1から103.9g/個体)、顕著なB吸収抑制効果を認め

た。一方、石こうの施与は土壌pHを5.60から5.30(石こう90.5g/kg添加区)へとわずかながら低下させ、易動性Caを著しく増加させたが(1.02から7.37mg/10g)、同時に葉身のB含有率も上昇させ(1294から1727ppmB)、Bの吸収抑制効果は全く示さなかった。

考 察

B濃度以外の培地諸条件の変化によって、Bの吸収・移動が影響されたか否かをまず葉のB含有率を用い、以

第36表 ホウ素の吸収に及ぼす炭酸石灰と石こうの効果の比較

培地B 濃 度 ppm B	炭酸石灰 施 与 量 g/kg	石こう 施与量 g/kg	土 壤 pH (H ₂ O)	葉 身			易 動 性 (/10g)		症 状
				乾物重 mg/個体	B含有率 ppm B	Ca含有率 % Ca	B (μg)	Ca (mg)	
50	0		5.60	40	1294	0.97	57.4	1.02	落葉
	10.7		6.25	76	889	1.25	44.6	1.18	過剰
	53.5		6.95	104	551	1.49	26.4	1.52	〃
		18.1	5.40	39	1375	1.49	65.1	7.04	落葉
		90.5	5.30	40	1727	1.49	71.0	7.37	〃

下に示す規準によって判断した。

1) 培地のpH変化あるいはCa処理などによって生育が著しく停滞した時、B含有率が高くなる場合があった。しかし、これはBの吸収・移動が促進されたためとはみなし得ない。

2) 培地条件の変化によって生育の著しい停滞は起こらず、葉のB含有率が変化した場合、Bの吸収あるいは移動のどちらか、またはその両方が影響されたと考える。

3) 2)が認められた場合、全吸収量に対する葉の蓄積量の割合を比較して、その値に変動がなければ吸収が影響を受け、それが特に大きくなったり、あるいは小さくなった場合は移動が影響を受けたと判断する。

4) もし葉のB含有率の変化の割合を、移動量の変化ということで、量的に説明できない場合は吸収と移動の両方が影響されているとみなす。

以上の基準に従えば、作物によるBの吸収・移動は培地pH4~7.5の範囲では、培地pHの影響を受けず(第14, 15表)、また、培地Ca濃度が5~1000ppmの間では、少なくともBが積極的吸収を受ける低B濃度においては、Ca濃度の影響を受けないと判断される(第21, 22表, 第8図)。なお、ダイズでは高pH(7.5)条件でCa処理濃度を種々変化させてもBの吸収・移動は影響を受けなかった。

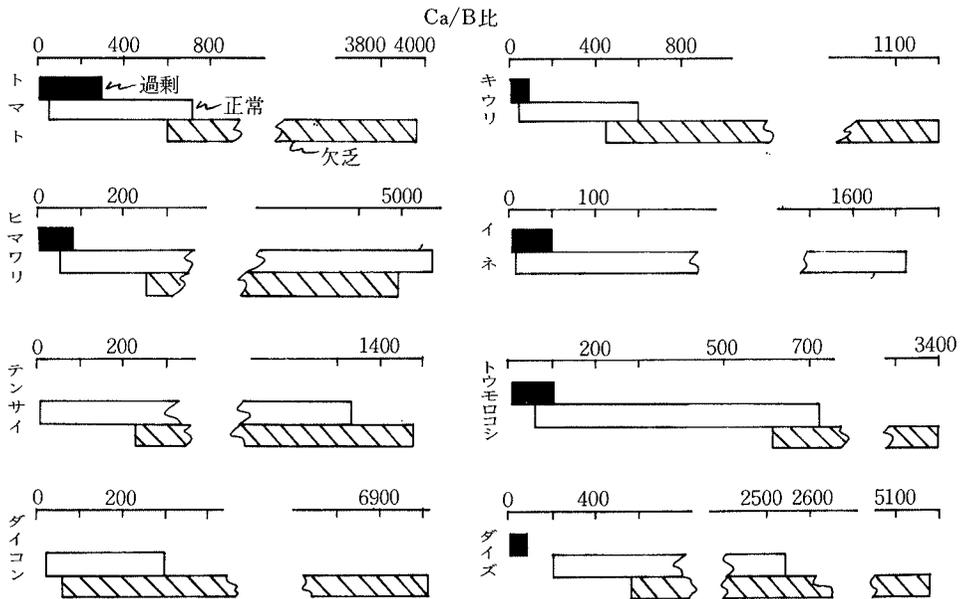
さらに、植物体内におけるBの生理的活性はCaによ

て強く影響を受けるので、適切なCa/B比を保つ必要があるといわれているが¹⁵⁾各種作物のB欠乏・正常・過剰それぞれの段階にある葉のCa/B比(第10図, 第24表より作成)をみると、いずれの作物においても、それぞれの栄養状態におけるCa/B比には非常に大きな巾があり、かつ欠乏-正常間、あるいは正常-過剰間でCa/B比が重なり合っており、Bの活性の指標として、Ca/B比が重要な意味を持つとは考えられない。

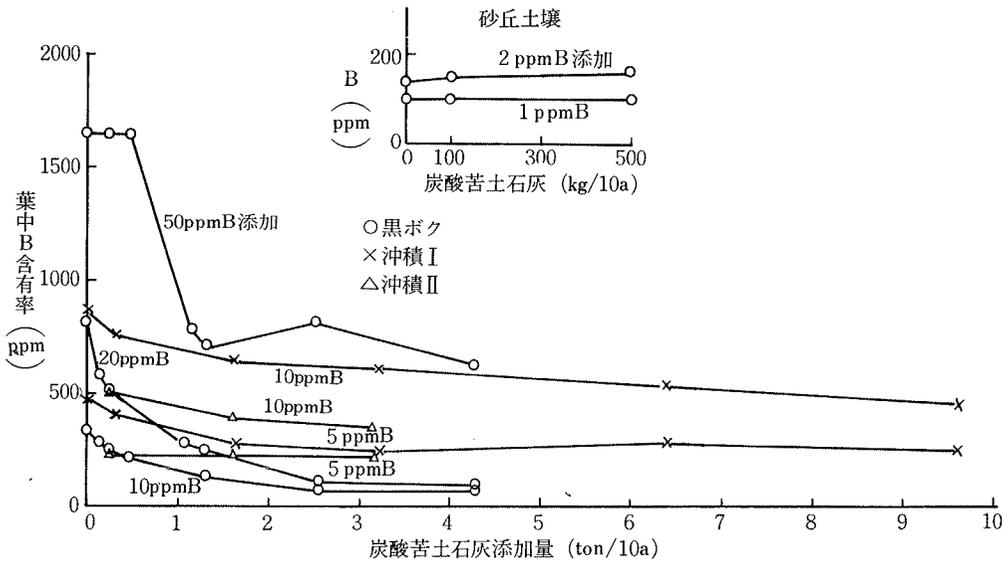
実際の圃場条件においても、B欠乏が問題となる状況では、培地B濃度は低く、作物がBを積極的に吸収すると考えられるので、B欠乏症の発現が、石灰質資材の過剰施与によって誘発される主因は、さきに挙げた作物的要因(P.39)ではなく、石灰質資材施与に伴う土壌のB固定量の増加にあると考えられる。

4種の土壌を供試してアズキを栽培し、B吸収に対する炭酸苦土石灰施与の影響を調べた結果(第31, 33~35表)をまとめる(第11図)と、炭酸苦土石灰施与によるアズキのB吸収に対する抑制効果に大きな土壌間差があり、その効果は黒ボク>>沖積Ⅰ、沖積Ⅱ>砂丘土壌の順であった。

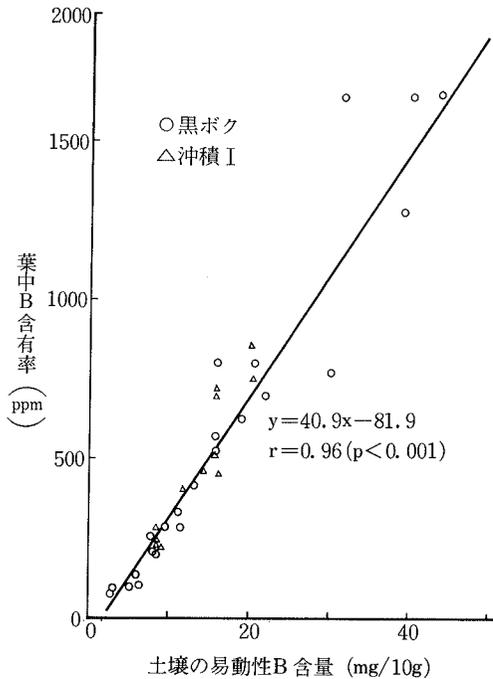
また、土壌中の易動性Bと葉身のB含有率の間には極めて高い正の相関関係があり(第12図)、石灰質資材施与により引きおこされるアズキのB吸収抑制は易動性Bの



第10図 各種作物のホウ素欠乏-正常-過剰段階でのCa/B比



第11図 炭酸苦土石灰のホウ素吸収抑制効果の土壌間差異



第12図 土壌中易動性ホウ素とアズキ葉身のホウ素含有率の関係

減少、いいかえると土壌によるB固定量の増加に起因していることがうかがわれる。

pH上昇に伴う土壌のB固定量の増加の原因については、

現在定説は得られてはいない。しかし、本実験結果からも施与された石灰とBとが直接反応するのではないと推定される。そのためにB固定量に対する石灰質資材施与効果には土壌間差が存在すると思われる。土壌のB固定の要因として、土壌粒子の表面積、リン酸吸収係数、有機物含有率、活性アルミナ、活性鉄などがあげられているが¹¹⁾ これらのうち最後の二つが特にpHの影響を受けやすいと考えられ、両者間のB固定に対する重要さの程度は、土壌によって異なると考えられる。

いずれにしても本実験の範囲では、炭酸苦土石灰施与によるB固定量の増加割合(第31, 33~35表)は、三酸化物の含有率の高い土壌(第30表)ほど大きかった。従って、石灰質資材施与により可給態Bが減少する土壌では、石灰質資材施与により作物体のCa含有率は上昇しB含有率は低下し、その結果、Ca/B比が上昇する可能性が高く、B欠乏発現可能性の有無を判定する際に、B含有率と共にCa/B比も考慮することは、全く無意味とはいえない。

土壌に施与したホウ素の動態

実験1 水不溶性ホウ素質肥料の土壌中における溶解性

実験方法

沖積I土壌と黒ボク土壌(第30表)を用い、低pH区(石灰, ようりん無施与)と高pH区〔炭酸苦土石灰(沖積I 4.3g/kg, 黒ボク9.78g/kg), ようりん(沖積I 2.3g/kg,

第37表 施与ホウ素の土壤中における溶解の経時変化

経過日数		7	14	21	35	49	63	77	91	105	平均	77	
土壌	pH	B質肥*		易動性B量 (μg B/10g 土壌)								土標準偏差	pH
沖積I	低pH	FTE	23.5	20.3	26.7	29.7	19.7	22.1	29.0	30.5	29.1	25.6±4.3	4.7
		BM**	20.8	23.1	34.7	34.7	29.1	30.2	35.6	41.7	35.1	31.7±6.6	6.4
		ホウ砂	58.9	62.3	44.6	55.2	49.4	53.6	45.5	47.3	48.2	51.7±6.2	4.7
沖積I	高pH	FTE	10.5	19.6	17.8	19.8	21.2	22.6	17.5	22.3	18.2	18.8±3.6	6.6
		BM**	12.3	26.1	31.4	32.8	30.6	32.9	27.6	31.7	27.3	28.1±6.4	6.9
		ホウ砂	47.5	56.2	53.6	48.7	45.1	51.2	43.9	45.2	46.7	48.1±4.2	6.6
黒ボク	低pH	FTE	12.6	12.2	13.6	19.9	21.4	17.5	19.0	19.8	19.7	17.3±3.5	4.9
		BM**	13.7	14.7	19.6	34.0	29.4	33.4	32.3	32.8	28.6	36.5±8.3	5.6
		ホウ砂	20.7	22.6	27.0	30.3	30.5	28.2	29.9	28.3	30.6	27.6±3.6	5.0
黒ボク	高pH	FTE	7.2	4.3	5.5	5.2	6.6	8.2	9.9	11.9	11.7	7.8±2.8	6.4
		BM**	7.8	5.7	11.3	12.6	10.0	19.1	20.1	19.3	20.2	14.9±5.7	6.7
		ホウ砂	11.7	12.8	16.0	17.8	14.9	15.5	18.8	20.2	22.1	16.6±3.4	6.6

* B質肥料 ** BMようりん

黒ボク5.4g/kg)施与]を設け、共通肥料として燐硝安加里(552号)2g/kgを加え、B処理としていずれも20ppmB相当量のFTE^(注)(0.72g/kg)、BMようりん^(注)(12.98g/kg)、ホウ砂(0.182g/kg)を施与し、十分に混和し、ポリエチレン製ポットに充填した。通気用の穴をあけたビニールシートでふたをし、畑状態の水分を保つように時々蒸溜水を加え、13~15週間室内に放置し、その間1~2週間毎に試料を採取して易動性Bの分析に供した。

実験結果

易動性B量は土壌別にみると(第37表平均値)、いずれの処理でも沖積I土壌が黒ボク土壌より多かった。沖積I土壌の易動性B量は低pH区で高pH区よりわずかに多かった。一方、黒ボク土壌では高pH区の易動性B量は低pH区より著しく少なかった。

易動性B量の経時的な変動をみると、沖積I土壌ではFTEあるいはホウ砂区は各回の変動が大きく経時的な変動は明瞭ではないが、BMようりん区では21日目まで経時的に増加した。一方、黒ボク土壌では、低pH区ではいずれのB処理においても35日目まで経時的な増加傾向を示し、高pH・FTE区は7日目が14日目よりわずかに高い値を示したが、14日目以降91日目まで漸増を示し、高pH・BMようりん区は14~21日目で49~63日目の間で急激に易動性B量を増加した。高pH・ホウ砂区では35日目

まで経時的な増加を示した。

以上のように、培地pH、使用B質肥料によって、細かな相違はあるが、水不溶性B質肥料の施与による易動性B量の増加は、沖積I土壌の方が黒ボク土壌よりもすみやかで、黒ボク土壌では徐々に増加するとみなすことができる。また、B質肥料別の易動性B量を平均値でみると、沖積Iではホウ砂区>BMようりん区>FTE区の順に大きく、黒ボクではホウ砂区≒BMようりん区>FTE区の順であった。

実験2 各種ホウ素質肥料の土壤中における動態

実験方法

沖積II土壌と黒ボク土壌(第30表)を用い、底に多数の小穴を有する15ℓ容のプラスチックバケツの底部に厚さ3cmに石英砂を敷きつめ、この上に第38表に示したような肥料を混和した土壌を沖積IIでは7kg、黒ボクでは6kg充填した。この土壌層の上部に、上記肥料混和土壌に10ppmB相当量のホウ砂、FTEあるいはBMようりんをそれぞれ施与混和した土壌またはB質肥料無施与の対照土壌を沖積II土壌では6kg、黒ボク土壌では5kgを上乗せし、計16の処理区を設けた。それらを溶脱水を捕集するためにa/2000ポリエチレン製ポットの上に設置し、屋外に放置した。6月10日ダイコン(赤丸二十日大根)を各4個体づつ播種し、7月13日まで適宜水道水を灌水

脚注) FTE : <溶性(マンガン19.0%,ホウ素9.0%)

BMようりん : <溶性(マンガン1.0%,ホウ素0.5%,りん酸20.0%,苦土13.0%)
可溶性ケイ酸20.0%

して栽培した。その間6月29日に硫酸カリ(K₂O1.2g/ポット)を、7月1日には燐硝安加里552号(N1g相当量)を追肥した。ダイコン収穫後は裸地のまま放置し、6月10日～11月20日にわたって時々捕水用のa/2000ポットにたまった溶脱水を採取し、液量を測定し、Bを定量した。また、ダイコン収穫後(7月27日)と11月20日に上層(B施与層)と下層(B無施与層)に分けて土壌を採取し、風乾細土とした後、常法により熱水可溶性B³⁾を測定した。

第38表 施肥設計 (g/ポット)

土 壤	土 壤 pH	燐硝安加里	炭酸苦土石灰*	ようりん**
沖積Ⅱ	低	13	—	—
	高	13	501	274
黒ボク	低	13	—	—
	高	13	968	532

* 土壌pHを約7にするに必要な量

** リン酸吸収係数の5%相当量

実験結果

栽培したダイコンの収量(第39表)は沖積Ⅱ・高pH・FTE区、沖積Ⅱ・高pH・BM区と黒ボク・低pH・ホウ砂区が対照区より低かった外は、B質肥料施与区で増加した。Bの吸収量は209(黒ボク・高pH・対照区)～660

(沖積Ⅱ・低pH・BM区)μg/ポットで、最大451μg/ポットの区間差が認められたが、その差は施与B量(沖積Ⅱ60mg、黒ボク50mg)の0.9%以下に過ぎなかった。

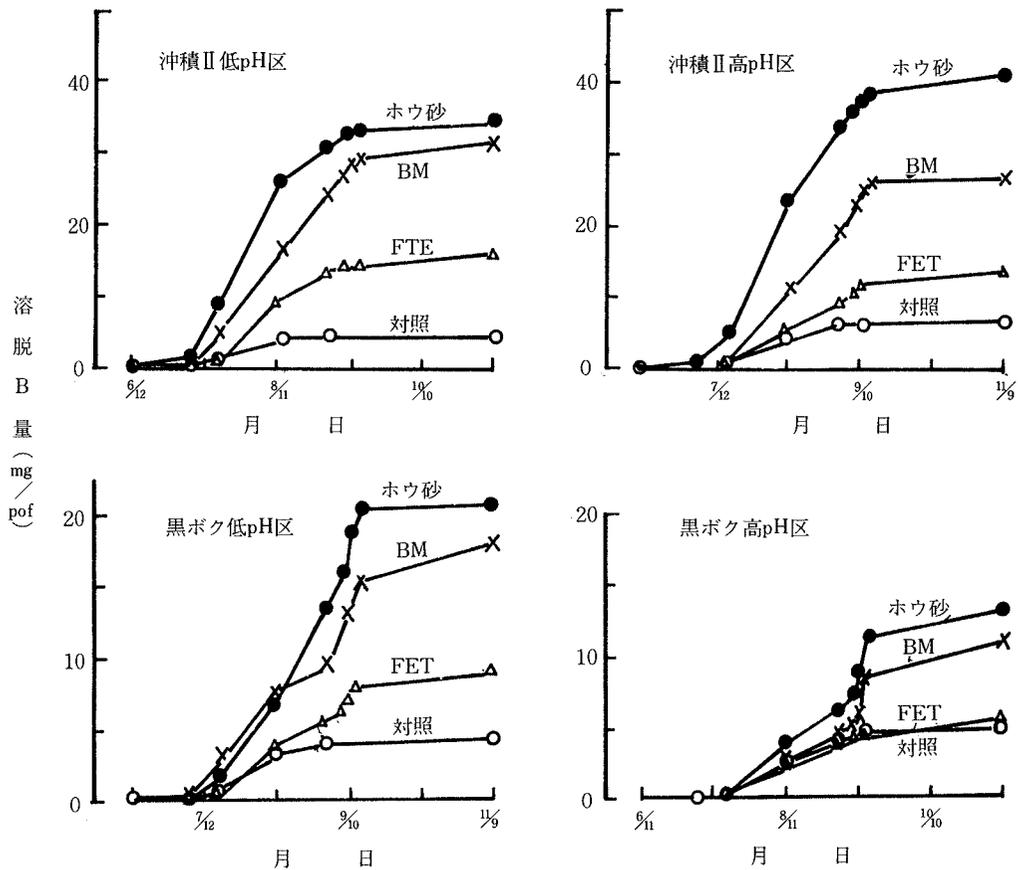
全実験期間は150日間であり、その中、最初の1カ月間はダイコンが栽培されており、この期間は適宜灌水した外114mmの降水があり、その後の降水も加えると全降水量は1100mmであった。その間のBの溶脱量(第13図)の処理間差はホウ砂区を除き、各B質肥料施与区で共通の傾向を示し、沖積Ⅱ・低pH区>沖積Ⅱ・高pH区>黒ボク・低pH区>黒ボク・高pH区の順であった。しかし、ホウ砂区では沖積Ⅱ・高pH区が沖積Ⅱ・低pH区より溶脱量は多かった。また、B質肥料別ではホウ砂区>BMようりん区>>FTE区の順で、黒ボク・高pH・FTE区は対照区とほぼ同量の溶脱を示したに過ぎなかった。

ダイコン栽培跡土壌のB無施与層(下層)の熱水可溶性B含有率(第40表)は、沖積Ⅱ土壌ではいずれのB質肥料施与区でも対照区に比べ著しく高くなったが、黒ボク土壌ではホウ砂区を除いて、その増加割合は小さかった。しかし、11月20日には黒ボク土壌でもいずれのB質肥料施与区でも、対照区に比べ高いB含有率を示すようになった。また、150日間放置後の黒ボク土壌の易動性B含有率は各区で差が小さく(0.25～0.57ppmB)、移動しやすい形のは少なくなっていることがうかがわれる。

第39表 ダイコンの収量とホウ素吸収量

土 壤	pH	B質肥料	全乾物重 g/ポット	B含有率 ppm B	B吸収量 μg/ポット	土壌pH (H ₂ O)
沖 積 Ⅱ	低	対 照	14.2	27	383	5.6
		F T E	17.2	26	447	5.4
		B M*	17.7	37	660	6.8
		ホウ砂	15.7	36	568	5.6
	高	対 照	14.8	28	414	7.3
		F T E	11.0	29	319	7.3
		B M*	11.6	43	499	7.5
		ホウ砂	15.0	33	500	7.1
黒 ボ ク	低	対 照	12.6	28	352	5.4
		F T E	15.5	33	512	5.4
		B M*	17.3	25	432	5.8
		ホウ砂	12.2	33	403	5.5
	高	対 照	11.6	18	209	6.9
		F T E	16.4	26	426	6.9
		B M*	15.0	24	360	7.0
		ホウ砂	13.5	26	351	6.8

* BMようりん



第13図 各種ホウ素質肥料添加土壌からのホウ素溶脱

第40表 土壌のホウ素含有率 (ppm B)

採取位置	使用B質肥料	沖積II土壌				黒ボク土壌					
		熱水可溶性B				熱水可溶性B				易動性B	
		7月27日		11月20日		7月27日		11月20日		11月20日	
		低pH区	高pH区								
上*	対照	0.18	0.41	0.29	0.58	0.20	0.48	0.54	1.22	0.45	0.35
	FTE	1.65	1.67	0.95	0.71	2.28	1.68	1.84	2.42	0.44	0.45
	BM	2.70	2.40	1.45	1.82	2.85	2.70	2.41	3.52	0.57	0.46
	ホウ砂	1.68	2.84	0.60	0.88	2.12	2.95	1.50	3.54	0.31	0.41
下	対照	0.54	0.32	0.33	0.57	0.20	0.46	0.70	0.93	0.33	0.25
	FTE	0.83	1.17	0.97	0.76	0.36	0.57	1.08	2.00	0.32	0.26
	BM	1.65	1.17	1.52	1.75	0.54	0.67	2.18	2.46	0.41	0.64
	ホウ砂	1.41	4.08	0.96	1.08	2.00	1.32	1.80	3.36	0.29	0.64

* B施肥層

実験3 施肥ホウ素の跡作への影響

実験方法

ホウ素吸着容量の小さい土壌として、前記沖積土壌（以下沖積と称す）とそれの大きい土壌として、腐植質火山灰土壌（以下黒ボクと称す）の二種（第30表）を供試し、それぞれの土壌に、高B濃度培地耐性の強い作物としてダイコン（赤丸二十日大根）、耐性の弱い作物としてアズキ（栄あるいは美甘大納言）を用い、a/5000ポットを使用してB用量試験を行った。

共通基肥として、置換容量の60%相当量の炭酸苦土石灰とリン酸吸収係数の5%相当量のようにんおよび1gN/ポット相当量の燐硝安加里（552号）を施与し、B処理として風乾土壌当たり0, 2, 5, 10, 20, 50, 100と500ppmB相当量のホウ砂あるいはFTEを施与した区を設けた。上記処理に従い肥料と充分混和した土壌をポットに充填し、屋外に放置して実験を行った。なお、各処理区は3反復とした。

ダイコンを栽培する場合は、6月9日ポット当たり10粒播種し、発芽後4株とした。灌水は適宜水道水を用いて行い、また、虫害の防除も適宜行い、7月9日に収穫した。その間6月29日に硫酸カリ（0.6gK₂O/ポット）を7月1日に燐硝安加里（552号）（0.5gN/ポット相当量）を追肥した。ダイコン収穫跡に、アズキ美甘大納言（7月中旬播の晩播に適応するといわれる）を栽培した（以下跡アズキと称す）。すなわち、7月10日に播種し10月25日試験を打ち切ったが、その間8月21日に沖積土壌の場合のみ0.5gN/ポット相当量の燐硝安加里（552号）を追肥した。施肥以外は、下記アズキの場合と同様にして栽培を行った。なお、本品種は本実験では充分な開花をみるにいたらなかったため、途中の生育結果のみを示した。

アズキ（栄）を栽培する場合は6月11日にポット当たり4粒播種し、発芽後2本立てとした。6月29日硫酸カリ（0.6gK₂O/ポット）と硫安（0.5N/ポット）を追肥し、沖積土壌の場合のみ、さらに8月3日に0.5N/ポット相当量の燐硝安加里（552号）を施与し10月12日に収穫した。栽培期間中適宜灌水（水道水）し、病虫害防除も適宜行った。なお、3反復中1区については排水口からの滲透溶脱水を捕集し（8月12日まで）Bの分析を行った。また、開花期（8月7日）に2個体中1個体を採取し調査分析した。

各作物は収穫後生育調査を行い、ダイコンは地上部と根部に分け、アズキは葉、莖、莢等に分けて乾燥秤量後、分析に供した。また、栽培前後にそれぞれの土壌を採取し、風乾細土とした後、分析に供した。

作物のBの分析は吉田ら⁵²⁾の方法に準じ、土壌中の易動性Bは実験4(P.68)で示した方法に準じ、熱水可溶性Bは常法⁸⁾によって測定した。なお、1年後の土壌のうち、沖積の2, 500ppmB両区については易動性Bの溶出と同様にして、溶出し、溶出液をフラクションコレクターを用い、各画分7.2mlで14画分捕集後、引き続き0.5N塩酸でBを溶出し、水溶出と同様14画分捕集した。そして、それら各画分中のBを定量した。この場合、塩酸画分はB定量前にアンバーライトIR120を約1g/画分添加し、鉄等を除去し、上澄液中のBをクルクミン法で測定した。

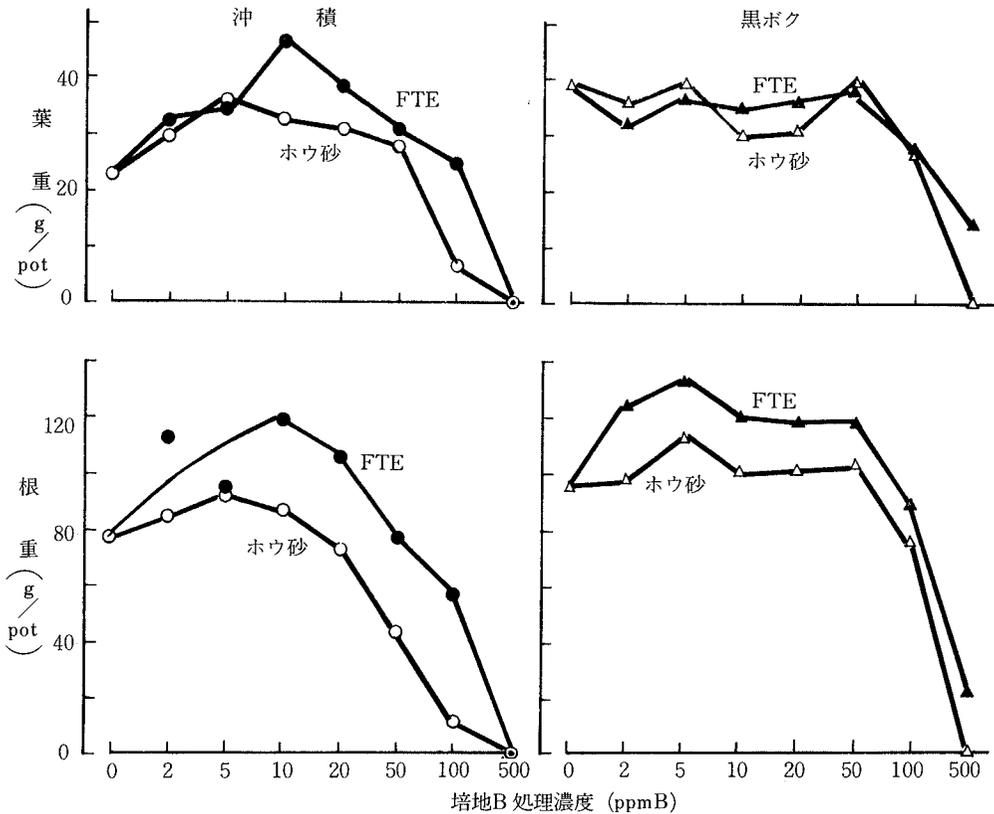
実験結果

ダイコン：播種後6日目に全区発芽をみたが、沖積、黒ボク両土壌ともホウ砂100ppmB以上施用の区で強いクロロシスおよびカップリングの過剰症を呈し、2日後には沖積・FTE・500ppmB区（以下沖積・FTE・500区と称す）も同様の症状を呈した。沖積・ホウ砂、沖積・FTE、黒ボク・ホウ砂の各500ppmB区ではまもなく枯死し、黒ボク・FTE・500区のみその後もわずかながら生育した。日数の経過と共に、沖積・FTE・100区、沖積・ホウ砂・500区、沖積・FTE・50区、沖積・ホウ砂・20区、黒ボク・FTE・100区の順に過剰症の発現を認めたと、沖積・ホウ砂・50区以外は軽度であつた。

葉数（第41表）は沖積土壌では10ppmB区がやや多く（8枚）、ホウ砂・100区が著しく少なかった（5枚）外は、B処理による差はなく、黒ボク土壌ではFTE・500区のみやや少ない（6枚）以外は、大きな差はなかった。草丈も葉数とほぼ類似の傾向を示した。沖積・ホウ砂区の葉重（第14図）は2~50ppmBまでのB施与区でほとんど差異がなく（28~38g）、0ppmB区でやや低く（24g）、100ppmB区は著しく低かった（7g）。沖積・FTE区では10ppmB区が高く（46g）、それを除いて2~50ppmBの処理区間でほとんど差異がなく（31~39g）、100ppmB区で25gとやや減少した。黒ボク土壌での葉重のB処理間差はさらに小さく、ホウ砂、FTEとも0~100ppmB区で27~39gの範囲にあり、黒ボク・FTE・500区でも14gの生育を示した。一方、可食部の大根重は（第14図）葉重より処理間差は大きく、両土壌とも同一B濃度処理ではFTE施与区の方が高収であった。沖積土壌ではホウ砂施与区は5ppmB区で、FTE施与区は10ppmB区で最大の収量を示し、それ以上の施与区では施与量の増加に伴って急激に減収した。黒ボク土壌では両B質肥料とも5ppmB区で最大値を示し、10~50ppmB区間にはほとんど収量差がなく、100ppmB以上の施与区で急激に減収した。

第41表 ダイコンのホウ素吸収量

B 質 肥 料	B 処 理 濃 度 ppm B	沖 積 土 壤									黒 ボ ク 土 壤								
		草 葉		乾 物 重		B 含有率		B 吸収量			草 葉		乾 物 重		B 含有率		B 吸収量		
		丈 数	枚	(g/pot)	(g/pot)	(ppm B)	(ppm B)	葉	根	葉	根	全 体	丈 数	枚	(g/pot)	(g/pot)	(ppm B)	(ppm B)	葉
ホ	0	14	7	2.16	3.68	35	34	76	126	202	15	8	2.72	4.64	29	41	79	190	269
	2	14	7	2.76	4.20	41	43	113	181	294	16	7	3.04	4.60	44	46	134	212	346
	5	17	7	3.00	4.48	40	42	120	188	308	17	8	3.36	5.32	35	47	118	250	368
ウ	10	17	8	2.88	3.68	156	39	449	144	598	16	7	2.36	4.36	40	47	94	205	299
	20	16	7	2.76	3.44	263	61	726	210	936	17	8	2.64	4.44	76	47	201	209	410
	50	16	7	2.80	2.32	1000	154	2800	357	3157	18	7	3.12	4.28	224	63	699	270	969
砂	100	9	5	0.76	0.36	1957	579	1487	208	1695	15	7	2.52	3.64	416	83	1049	302	1351
	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	2	17	7	3.00	5.16	37	36	111	186	297	16	8	3.16	5.48	35	45	111	247
T	5	16	7	3.44	4.72	38	42	131	198	329	16	8	3.12	5.32	35	52	109	277	386
	10	19	8	4.12	5.44	40	40	165	218	383	17	8	3.00	5.40	44	48	132	259	391
E	20	18	8	3.64	5.36	93	41	339	218	557	17	7	3.00	5.52	41	44	121	243	364
	50	16	7	3.16	3.96	310	51	980	202	1182	17	8	3.44	5.48	58	51	200	279	479
	100	15	7	2.72	3.04	657	113	1787	344	2131	15	7	2.48	4.20	151	49	374	206	580
	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	6	1.36	0.56	1295	242	1761	135	1896



第14図 ダイコンの収量におよぼす培地ホウ素濃度の影響

葉のB含有率(第41表)は、沖積・ハウ砂区では0~5 ppmB区、沖積・FTE区で0~10ppmB区間でほとんど変わらず35~40ppmBを示し、黒ボク土壌ではハウ砂0~10ppmB、FTE0~20ppmB施与の各区で30~45ppmBを示し、B施与量の増加によるB含有率の上昇は顕著でなかった。しかし、それ以上の施与区では両土壌の場合とも施与量の増加に伴い葉のB含有率は顕著な上昇を示した。その上昇の度合は沖積・ハウ砂区>沖積・FTE区>黒ボク・ハウ砂区>黒ボク・FTE区の順であった。一

方、B施与量の増加に伴う根部のB含有率の上昇は葉よりも小さく、沖積・ハウ砂の50ppmB以上の区と、黒ボク・FTE・500区で急激な上昇を示し、沖積・FTE・100区、黒ボク・ハウ砂・50と100区でわずかに高くなる以外、ほとんど処理間差はなかった。

アズキ：播種後6~8日目に沖積・ハウ砂・500区、黒ボク・ハウ砂・500区を除いて、一応発芽を認めたが、沖積・ハウ砂区の場合50ppmB以上、沖積・FTE区で100 ppmB以上、黒ボク・ハウ砂区で100 ppmB以上、黒ボク

第42表 ホウ素過剰症発現葉位

B処理濃度 (ppm B)		0	2	5	10	20	50	100	500
沖 積	ハウ砂区	0/7	初/7	2/7	3/6	4/5	—	—	—
	FTE区		0/7	0/7	2/7	3/7	4/4	—	—
黒ボク	ハウ砂区	0/6	0/6	初/7	1/6	3/6	2/3	—	—
	FTE区		0/6	0/6	初/6	1/6	3/7	4/6	—

過剰症発現葉位の上限/全葉数 —は枯死

第43表 アズキの生育調査結果とホウ素含有率

土 壤	B 質 肥 料	B 処理 濃 度 ppm B	開 花 期 (8月7日)								収穫期 (10月12日)						
			草 丈 (cm)	主 茎 節 (節)	枝 数 (本)	莢 数 (ヶ)	落 葉 数 (枚)	過 剰 症 位	乾 物 重* (g/個 体)			B 含有率 (ppm B)					
沖 積	ホ ウ 砂	0	33	15	1	16	1	—	4.3	4.7	1.5	49	24	25	55	19	3
		2	42	15	2	17	2	6	5.0	5.4	1.7	104	27	31	50	16	3
		5	32	14	2	21	4	9	3.4	3.6	2.6	187	27	29	48	17	1
		10	32	15	1	13	4	10	1.8	1.5	1.0	227	28	43	28	12	1
		20	18	13	0	13	2	10	0.9	0.5	0.1	332	34	61	16	10	0
沖 積	F T E	2	33	13	1	11	3	6	3.3	3.9	1.1	73	30	29	59	18	2
		5	34	14	1	10	3	7	3.4	3.9	1.2	93	32	30	59	16	2
		10	33	13	2	11	3	7	4.0	4.3	2.2	120	28	34	50	16	2
		20	38	17	0	18	3	11	4.2	4.3	2.4	237	24	37	38	15	2
		50	14	13	0	1	5	10	0.4	0.3	—	445	42	—	—	—	—
黒 ボ ク	ホ ウ 砂	0	47	17	1	31	0	—	7.0	6.5	1.9	61	25	27	55	16	3
		2	45	16	2	23	2	5	6.3	6.7	1.8	68	29	27	59	18	2
		5	48	17	2	27	2	7	7.3	7.3	3.0	79	28	28	62	15	2
		10	42	16	2	24	2	9	5.6	5.6	2.0	161	28	35	54	16	2
		20	38	17	1	23	2	11	4.8	4.7	1.7	288	31	40	47	16	3
	F T E	2	43	16	3	27	1	—	7.5	7.5	2.4	65	25	31	52	19	3
		5	48	16	2	28	1	4	5.9	5.9	2.5	73	24	31	49	16	2
		10	45	16	2	27	1	7	6.4	6.9	2.3	89	28	33	53	18	2
		20	43	17	2	31	2	10	6.3	6.3	2.3	133	28	43	58	18	1
		50	30	17	2	22	1	11	5.4	4.9	2.0	323	35	51	52	17	1
100	34	15	1	14	4	12	2.6	2.0	1.4	380	39	55	25	12	1		

* 葉は葉身のみ 茎には葉柄も含む

・FTE区で500ppmBの各区で出葉した葉が展開不能のまま落葉し、発芽後10日前後で枯死した。発芽1ヵ月後(開花始)の過剰症(葉辺のネクロシス)はB施与量の増加に伴って、より上位葉にまで発現した(第42表)。ほぼ開花盛期と考えられる8月7日の抜き取り調査の結果(第43表)、何れのB質肥料でも沖積土壌では2ppmB以上、黒ボク土壌ではホウ砂は5ppmB以上、FTEは10ppmB以上の施与区で、約40%の葉が過剰症を示した。しかし、著しい生育阻害を示した区は上記の枯死した区を別にすると、沖積・ホウ砂・10,20区、沖積・FTE・50区、黒ボク・FTE・100区の4区のみであった。

葉身のB含有率は(第43表)、ダイコンの場合とは異なり、いずれの土壌、いずれのB質肥料においてもB施与量の増加に伴って上昇した。その上昇程度は沖積・ホウ砂区>沖積・FTE区=黒ボク・ホウ砂区>黒ボク・FTE区の順で、沖積・ホウ砂区では2ppmB以上、黒ボク・ホウ砂区では5ppmB以上、黒ボク・FTE区では20ppmB以上の施与区でいずれも急激な上昇を示した。しかし、茎(葉柄を含む)のB含有率はB施与量にかかわらず24

~42ppmBの範囲にあり、莢(子実を含む)では沖積・ホウ砂区で20ppmB以上、黒ボク・FTE区で50ppmB以上の施与区で50~60ppmBとやや高くなった外は、茎とはほぼ同じ25~43ppmBの範囲であった。

収穫物調査結果は第44表に示した。本品種は7月17日から開花を始め、順次結莢してゆき、8月下旬に開花が経続しているにもかかわらず、一方では子実が充実し、裂開する危険が生じたので充実莢から順次収穫した。10月12日の収穫期までには大部分の葉は落葉した。子実重は、沖積土壌ではB施与量の増加に伴って減少し、全てのB施与レベルで、FTE区の方がホウ砂施与区よりも収量が高かった。黒ボクでは10ppmB区まではホウ砂区が高収で、20ppmB以上の施与区ではFTE区の収量が高くなった。そして、無施与区の収量が最も高く、ホウ砂区では2~10ppmB、FTE区は2~50ppmBまでの施与区ではほぼ類似の収量を示し、それ以上の施与区で収量は急激に減少した。収量構成要素に及ぼすB施与の影響は供試土壌あるいは供試B質肥料でかならずしも一様でなく(第44表)、沖積・ホウ砂区、黒ボク・ホウ砂区ではB施与量

第44表 収穫物調査結果

土 壌	B 質肥料	B 処理濃度 (ppmB)	8月30日		10月12日		計		全 体 を 対 象					
			充 実 莢 数	不 稔 莢 数	充 実 莢 数	不 稔 莢 数	充 実 莢 数	不 稔 莢 数	粒 数		子 実 重 (g/個 体)		百 粒 重 (g)	
									充 実	ク ズ	充 実	ク ズ		
沖 積		0	20	10	28	23	48	33	183	55	5.0	13.5	0.7	7.4
	ホ ウ 砂	2	25	2	7	12	32	14	122	61	5.7	7.7	1.1	6.3
		5	15	4	4	4	19	8	79	25	5.5	4.6	0.2	5.8
		10	18	0	3	1	21	1	85	13	4.7	4.3	0.1	4.4
		20	2	0	2	0	4	0	18	16	8.5	0.8	0.1	4.4
積	F T E	2	34	4	20	12	54	16	187	100	5.3	11.8	1.8	6.3
		5	23	0	8	16	31	16	134	48	5.9	9.4	1.2	7.0
		10	26	4	10	1	36	5	146	70	6.0	9.8	1.1	6.7
		20	25	1	2	1	27	2	103	32	5.0	6.3	0.5	6.1
黒 ボ ク		0	39	3	24	11	63	14	268	93	5.7	20.2	1.9	7.5
	ホ ウ 砂	2	35	1	12	16	47	17	202	81	6.0	14.1	2.0	7.0
		5	31	2	15	9	46	11	216	45	5.7	15.8	1.2	7.3
		10	38	2	11	5	49	7	244	45	5.9	16.2	0.7	6.6
		20	27	1	9	4	36	5	175	30	5.7	11.4	0.7	6.5
50	0	0	2	0	2	0	12	0	6.0	0.7	0	5.8		
ク	F T E	2	24	3	16	17	40	20	167	62	5.7	13.6	2.4	8.1
		5	28	2	11	5	39	7	157	32	4.8	11.3	0.9	7.2
		10	26	6	12	4	38	10	167	49	5.7	13.8	1.2	8.3
		20	33	1	17	9	50	10	225	79	6.0	15.4	1.6	6.8
		50	28	1	15	3	43	4	215	47	6.1	12.2	1.2	5.7
	100	12	1	6	2	18	3	84	10	5.1	4.5	0.1	5.4	

の増加に伴い着莢数、100粒重の減少をみせ、沖積・FTE区では着莢数の減少が減収の主因をなすようであった。

跡アズキ： 播種後1週間で沖積・ホウ砂・100, 500区、沖積・FTE・500区、黒ボク土壌の500ppmB両B質肥料施与区を除いて各区整一に発芽をみた。発芽当初から沖積・ホウ砂区で10ppmB以上、沖積・FTE区で20ppmB以上、黒ボク・ホウ砂区で20ppmB以上と黒ボク・FTE区では50ppmB以上のB施与区で過剰症が認められた。その症状は前記のアズキ(栄)の場合より激しく、これは、高温によって蒸発散量が増加し、土壌上層でのBの濃度が上昇すると共に、Bの吸収が促進されたためと考えられる。開花盛期頃(8月27日)の生育状態(第45表)から判断したBの影響は前期のアズキの場合と類似しており、強い過剰症の発現をみた沖積・ホウ砂・5区、沖積・FTE・100区、黒ボク・ホウ砂・5,10区、黒ボク・FTE・10,20区でも症状の割には葉身乾物重は減少しなかった。各部位のB含有率も前記アズキの場合と類似の傾向を示した。

なお、葉のB含有率がダイコン(第41表)に比べてアズキであまり高くないのは、強い過剰症を示した葉

がすでに脱落したためである。

Bの溶脱： アズキ栽培途中のポットからのBの溶脱状態は第46表に示すとおりであった。その間の降水量は267mmで20mm以上の降水日が5回あった。沖積土壌では10ppmB施与区まではFTE区の方がホウ砂区よりやや溶脱量が多く、20ppmB以上ではホウ砂区で急激に溶脱量が増加したのに比べ、FTE区の溶脱量の増加は小さく、ホウ砂区の1/2前後であった。黒ボク土壌ではいずれのB濃度においてもホウ砂区の溶脱量が多く、施与量の増加に伴いFTE区との溶脱量の差は増大した。Bの施与量が少ない場合(10ppmB以下)には、土壌間あるいは使用資材間の差にはっきりした傾向は認められないが、たとえば500ppmB施与区では各区のB溶脱率は沖積・ホウ砂区(添加量の87%)>黒ボク・ホウ砂区(32%)>沖積・FTE区(27%)>黒ボク・FTE区(5%)となり、土壌により、また、使用資材によって明確な差異が認められた(第46表)。

土壌のB含有率： アズキの施肥3日後の土壌中の熱水可溶性B含有率(第47表)は沖積・ホウ砂区で50ppmB以上のB施与区でダイコン跡土壌のそれより著しく低か

第45表 アズキ(ダイコン跡)の生育調査結果

土壌	B質肥料	B濃度 ppmB	草丈 (cm)	主茎節 (節)	枝数 (本)	枝節 (節)	莢数 (ヶ)	落葉数 (枚)	過発葉位 [Ⓢ]	乾物重 (g/個体)			B含有率 (ppmB)				
										葉	莖	莢	葉	莖	莢		
沖積	ホウ砂	0	29	13	2	4	2	0	0	4.5	4.5	0.1	57	22	33		
		2	24	12	1	2	5	0	5	3.3	3.0	0.3	94	27	43		
		5	28	13	2	8	12	初	10	5.7	5.7	0.7	172	29	37		
		10	15	11	0	0	2	3	10	1.3	1.1	—	298	28	45		
沖積	FTE	2	22	12	3	10	8	初	3	4.7	5.5	0.8	70	23	34		
		5	20	12	1	3	7	1	5	2.7	2.6	0.5	96	26	35		
		10	34	15	2	11	17	1	10	6.6	6.7	0.6	152	25	47		
		20	22	13	3	7	6	3	10	2.9	2.7	0.3	303	31	45		
黒ボク	ホウ砂	50	10	11	0	0	0	4	10	0.7	0.2	—	601	37	—		
		0	28	13	3	13	12	0	0	6.0	5.9	1.1	70	19	36		
		2	35	15	3	9	24	0	初	6.7	6.5	2.1	77	17	39		
		5	39	16	2	9	14	0	5	6.0	5.9	0.6	101	26	40		
黒ボク	砂	10	33	14	3	8	16	0	7	5.1	5.2	1.0	191	29	38		
		20	27	13	1	2	7	初	9	2.4	2.3	0.5	343	32	44		
		ダイコン	FTE	2	29	14	2	7	8	0	0	4.9	3.2	—	71	28	28
				5	34	14	3	10	15	0	2	6.8	6.0	0.7	57	26	38
10	35			15	3	12	10	0	5	6.9	6.3	0.6	82	26	31		
20	35			15	3	6	9	0	9	6.0	3.7	0.3	145	31	47		
ダイコン	E	50	20	12	0	0	3	4	9	1.5	1.4	0.3	363	33	55		
		100	11	10	0	0	0	3	9	0.6	0.3	—	568	39	—		

Ⓢ 過剰症発現最上位葉位

第46表 アズキ栽培中のホウ素溶脱量

土壌	B質肥料	培地B濃度 ppm B	7月5日			7月19日			8月9日			8月12日			B溶脱 合計量 mg/ポット	B施与量 mg/ポット
			流出量 ml	B含有率 ppm B	B溶脱量 μg/ポット											
沖	ホ	0	170	0.63	0.11	300	0.28	0.08	600	0.17	0.10	1430	0.41	0.59	0.88	0
		2	80	tr	tr	110	0.63	0.06	580	0.98	0.57	310	1.83	0.57	1.20	5
	ウ	5	320	0.75	0.24	520	0.68	0.35	—	—	—	230	2.78	0.64	1.23	12.5
		10	340	0.94	0.32	280	0.94	0.26	—	—	—	—	—	—	0.58	25
		20	390	3.87	1.51	530	11.0	5.83	940	9.75	9.17	1880	5.75	10.8	27.3	50
		50	475	3.7	1.84	660	48.3	31.9	530	32.0	17.0	1350	1.50	20.3	71.0	125
		100	425	136	57.8	780	100	78.0	320	76.0	24.3	1170	45.2	52.9	213	250
		500	390	398	155	680	525	357	240	255	61.2	1110	465	516	1089	1250
積	F	2	235	2.26	0.53	300	1.18	0.35	1125	0.47	0.53	1900	0.26	0.49	1.55	5
		5	425	0.95	0.40	640	1.30	0.83	2060	0.50	1.29	1900	0.72	1.37	3.89	12.5
	T	10	345	0.93	0.32	170	0.21	0.04	1500	0.60	0.90	1100	1.77	1.95	3.21	25
		20	370	1.21	0.45	350	1.24	0.43	—	—	—	1300	3.60	4.68	5.56	50
		50	300	5.45	1.64	620	9.30	5.77	—	—	—	1400	12.2	16.8	24.2	125
	E	100	300	33.9	10.2	580	43.5	25.2	—	—	—	1900	17.5	33.3	68.7	250
		500	1430	87.0	124	1850	81.3	150	—	—	—	1900	32.5	61.8	337	1250
黒	ホ	0	—	—	—	175	0.24	0.04	—	—	—	—	—	—	0.04	0
		2	78	0.55	0.04	150	0.32	0.05	—	—	—	1900	1.23	2.34	2.43	4.4
	ウ	5	30	0.68	0.02	190	0.39	0.07	—	—	—	1900	2.80	5.32	5.41	11
		10	—	—	—	170	0.36	0.06	680	2.42	1.65	1900	2.58	4.90	6.61	22
		20	150	1.90	0.29	200	0.36	0.06	960	4.17	4.00	1900	3.33	6.33	10.7	44
		50	340	9.25	3.15	790	0.93	0.73	890	8.95	7.97	1700	7.90	13.4	25.3	110
		100	380	16.0	6.08	510	25.0	12.8	670	21.8	14.6	1400	17.5	24.5	58.0	220
500	300	12.5	37.5	480	173	83.3	630	140	88.2	1300	112	145	354	1100		
ク	F	2	100	2.02	0.20	130	0.23	0.03	—	—	—	1580	0.57	0.91	1.14	4.4
		5	960	0.66	0.63	570	0.14	0.08	1170	0.90	1.05	1250	1.09	1.36	3.12	11
	T	10	250	0.68	0.17	145	0.44	0.06	550	1.70	0.90	1900	1.90	3.61	4.74	22
		20	320	0.65	0.21	150	0.15	0.02	720	3.20	2.30	1900	2.40	4.56	7.09	44
		50	350	1.74	0.61	180	2.95	0.53	1200	4.80	5.80	1900	3.20	6.08	13.0	110
	E	100	310	4.40	1.36	280	6.00	1.68	1720	7.60	13.1	2000	3.50	7.00	23.1	220
		500	50	tr	tr	230	25.0	5.75	300	43.6	13.1	1150	30.2	347	53.6	1100

ホウ素に関する作物栄養学的研究

第47表 作物栽培前後の土壤中ホウ素含有率 (ppmB)

土 壌	B 質 肥 料	B 処 理 濃 度 ppmB	施 肥 3 日 後		ア ズ キ 跡		ダ イ コ ン 跡		ダイコン-	ダイコン-	ダイコン-
			熱水B*	易動B [Ⓢ]	熱水B*	易動B [Ⓢ]	熱 水 可 溶 性 B			易 動 性 B	
							上層 [※]	上層 [※]	全層 [※]	全層 [※]	上層 [※]
沖 砂		0	0.60	0.40	0.41	0.30	0.80	0.66	0.43	0.76	0.55
		2	1.60	0.67	0.48	0.26	1.57	1.08	0.63	1.00	0.55
	ホ	5	2.68	1.33	0.54	0.25	3.09	3.15	0.69	1.39	0.53
	ウ	10	5.38	2.06	0.75	0.34	7.40	7.70	0.86	2.41	0.56
		20	12.8	4.29	1.39	0.46	11.9	11.0	1.88	3.78	0.71
		50	21.2	—	2.56	0.66	40.8	34.6	3.17	14.5	1.02
		100	80.2	—	6.36	1.04	72.5	66.4	7.84	28.4	2.09
	500	145	—	18.8	4.54	333	294	12.4	193	3.65	
積		2	0.76	0.49	0.40	0.16	1.57	1.20	0.63	0.93	0.45
		5	1.34	0.44	0.55	0.13	1.89	1.45	0.95	1.26	0.52
	F	10	1.64	0.69	0.65	0.18	2.68	2.50	1.16	1.60	0.57
	T	20	4.90	1.62	1.09	0.34	7.50	6.02	1.26	2.10	0.49
	E	50	9.40	6.00	1.96	0.56	17.8	15.4	2.60	6.81	0.75
		100	21.0	—	3.57	0.61	28.5	20.2	5.74	13.6	0.97
		500	72.0	—	19.7	4.03	111	107	16.7	58.0	5.19
黒 ボ		0	0.52	0.31	0.49	0.31	0.54	0.54	0.67	0.30	0.54
		2	1.64	0.31	0.64	0.38	1.42	1.60	1.14	0.51	0.63
	ホ	5	3.00	0.70	0.90	0.34	2.65	3.33	1.44	0.63	0.57
	ウ	10	5.40	1.20	1.36	0.40	4.90	5.06	1.85	1.27	0.62
		20	11.4	1.55	1.82	0.43	10.7	10.1	3.10	2.34	0.69
	砂	50	17.2	4.06	8.05	1.08	27.6	32.2	9.60	6.26	1.17
		100	55.5	—	16.8	1.82	64.5	57.8	15.7	16.3	2.09
	500	260	—	54.4	10.8	300	321	79.3	89.9	12.4	
ク		2	1.32	0.24	0.64	0.22	1.44	1.26	1.27	0.70	0.63
		5	1.41	0.32	0.64	0.29	1.81	1.56	1.53	0.83	0.69
	F	10	2.50	0.53	0.95	0.34	2.70	2.08	1.85	1.10	0.71
	T	20	3.80	0.97	1.82	0.50	6.60	4.90	2.60	1.30	0.58
	E	50	7.00	1.20	4.85	0.63	13.9	9.12	7.75	2.90	0.91
		100	20.0	2.10	20.6	0.81	27.5	17.2	14.0	5.00	1.24
		500	98.0	—	38.8	5.18	148	120	35.5	32.7	6.06

* 熱水可溶性B Ⓢ 易動性B ※ ポット充填土壌中上半分からの採取土を上層、下半分からの採取土を下層、両層を攪はん混和した場合を全層と表示した。

った。これは施肥3日後に上層から土壌を採取したため、この時には、50ppmB以上のB施与区のような易動性Bの多い区では、灌水によってかなりの量のBが下層に移動した状態にあり、一方、ダイコン跡では灌水による下方移動と、蒸散に伴う上方移動のくり返しにより、均一化していたことによる差と考えられる。その他の区では、施与Bの増加に伴い熱水可溶性B、易動性B含有率ともに、アズキ跡、ダイコンアズキ跡でほぼ同じ傾向で増加した。大局的にみると、熱水可溶性B含有率は沖積・

ホウ砂区≒黒ボク・ホウ砂区>沖積・FTE区≒黒ボク・FTE区の順であったが、易動性B含有率は沖積・ホウ砂区>沖積・FTE区≒黒ボク・ホウ砂区>黒ボク・FTE区の順で両抽出法の間に差異を認めた。なお、施肥後約100日でダイコンアズキ系ポットの場合、500ppmB区の易動性Bは施肥直後の沖積・ホウ砂・20区、沖積・FTE・50区、黒ボク・ホウ砂・100区、あるいは黒ボク・FTE・100区の易動性B量に相当するまで減少した。

1年後の跡土のB含有率：ダイコンアズキ系ポッ

トを秋、アズキ収穫後に屋外に放置し、翌年5月11日に土壌を採取すると同時に、再びアズキ(栄)を播種栽培した。その間、冬期にはポットの上、最高約3mの積雪をみた。

5月に測定した易動性B含有率はアズキ収穫後の前年11月よりさらに低下し、特に易動性B量の多かった黒ボク500ppmBの両区では $\frac{1}{4.3}$ ~ $\frac{1}{2.5}$ まで減少した(第48表)。

第48表 ホウ素施与1年後の易動性ホウ素含有率とアズキ葉身のホウ素含有率

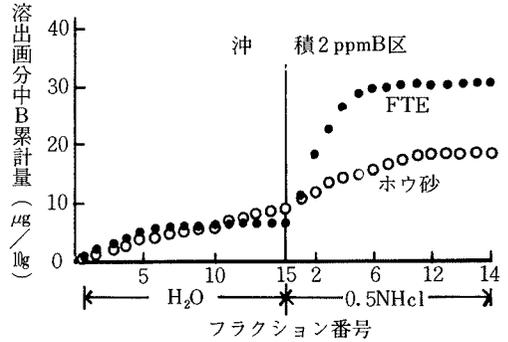
B 質 肥 料	培 地 B 濃 度 ppm B	沖 積			黒 ボク		
		易 動 性 ppm B	葉 身 有 率 ppm B	過* 剩 症	易 動 性 ppm B	葉 身 有 率 ppm B	過* 剩 症
	0	0.15	35		0.19	38	
	2	0.14	40		0.18	48	
ホ	5	0.17	48		0.20	50	
ウ	10	0.17	32		0.24	46	
砂	20	0.23	50		0.21	51	
	50	0.47	79		0.98	164	弱
	100	0.90	138	弱	1.34	281	強
	500	2.23	533	強	2.81	889	激
F	2	0.16	37		0.18	52	
	5	0.19	35		0.21	40	
	10	0.20	42		0.21	50	
T	20	0.29	45		0.21	47	
E	50	0.59	86		0.28	63	
	100	1.14	167	弱	0.88	118	弱
	500	2.93	978	激	2.45	666	強

* 症状の相対的な比較

第4葉展開時に収穫したアズキ葉身のB含有率は、易動性B含有率の上昇と並行して上昇し、黒ボク・ホウ砂区では50ppmB以上、他の処理区では100ppmB以上のB施与区で過剰症の発現を認めた。なお、ホウ砂区で10ppmBまで、また、FTE区では20ppmBまでの施与区では、いずれの土壌でも1年後にはすでにBの残存効果がほとんど消失していた。

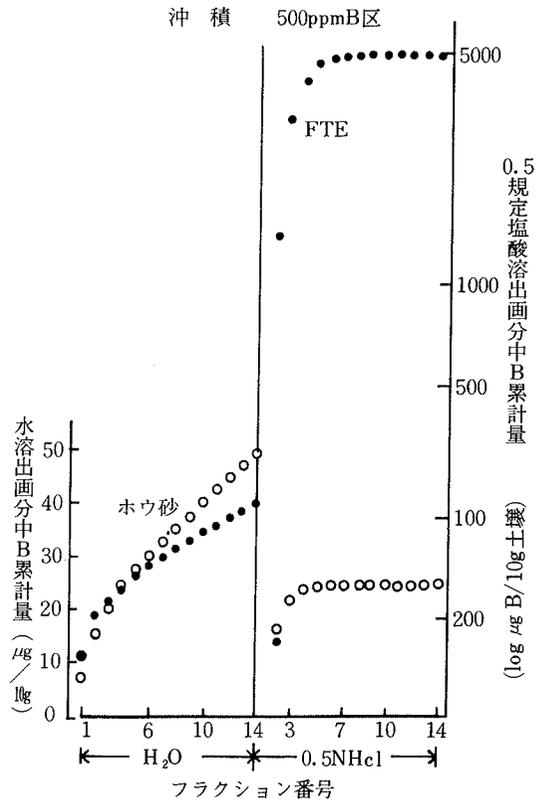
沖積土壌の2と500ppmB区を用い、ホウ砂とFTE施与区の残存Bの溶出状態を比較した結果(第15, 16図)をみると、ホウ砂区の水溶性Bはフラクション番号10(2ppmB区)あるいは5(500ppmB区)以後で、FTE区を上まわり高濃度で溶出を継続するが、FTE区では溶出液中のB濃度はその頃より急激に低下を示した。一方、浸出液が0.5N塩酸に替わるとFTE区では急激にB濃度が

高まり、Bは水不溶のまま残存していたことを示す。沖積・ホウ砂・2区以外の区では溶出B累計量は塩酸のフラ



第15図 沖積2 ppmB区土壌中のホウ素の水および0.5N塩酸による連続溶出曲線

7 ml/画分



第16図 沖積500ppmB区土壌中のホウ素の水および0.5N塩酸による連続溶出曲線

クシオン番号5～6で最高となり、それ以後の溶出はほとんどなかったが、沖積・ホウ砂・2区は10番までBの溶出を継続した。

実験4 ダイコン連作畑土壤中のホウ素残存量

供試材料及び実験方法

吉森地区土壌：岡山県八束村一帯は大山由来の黒ボク土壌でダイコン連作地帯であり、ダイコン栽培は6～10月の出荷に合わせて、植付を適宜ずらして調節し、早期栽培においてはビニールマルチを用いている。いずれの植付時の場合も発芽後約50日間の栽培を行った後、1年間休閑放置されている。収量は10a当たり約4トンである。B質肥料はFTE (4kg/10a) を中心に種々の資材が使われているが、詳しいことはあきらかでない。

この地帯で7年間FTE (4kg/10a) を使用してダイコンを連作してきたといわれている吉森地区の一圃場を選び、ダイコンが播種(5月上旬)されたが、まだマルチをしていない畦から作土層の土壌を5月30日に播取した。

広留野地区土壌：鳥取県若桜町広留野地区は、由来不明の黒ボクにおおわれ、夏ダイコンの連作地帯である。

小谷氏の圃場は、ダイコンの生育途中にホウ砂2kg/10aを葉面散布する栽培法を7年間継続してきたものである。また、山根氏の圃場はホウ酸1.5kg/10aを基肥に施用する栽培法を3年間継続している。この2圃場から土壌を採取したのであるが、採取の時点では、小谷圃場は本年の施肥をまだ行っておらず、山根圃場は施肥10日後に当たっていた。

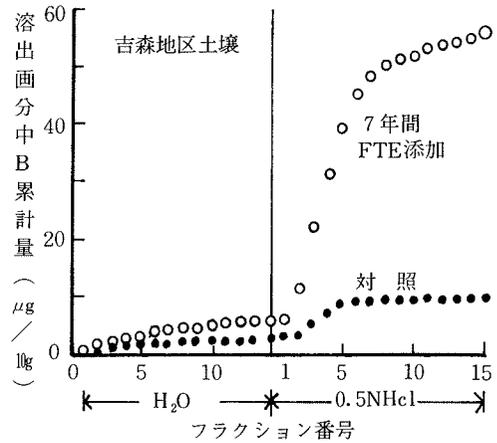
いずれの場合も対照土壌として試料採取圃場に隣接する未耕土も採取した。

土壌中の溶出Bは前記実験のカラム溶出法によった。

実験結果

吉森地区土壌：フラクシオン1,2に相当する易動性B量(第17図)は連作区と対照区でほとんど変わらなかったが、対照区はNo.5でBの溶出がみられなくなったのに対し、連作区はNo.11までは徐々に溶出を続けた。水110mlで溶出したB累計量の両区間の差は2.5μg/10gであった。しかし、浸出液を0.5N塩酸に替えると急激に両区間の差が大きくなり、塩酸110mlで溶出した後ではその差は46μg/10gとなり、上記FTE添加試験(第15,16図)の結果と類似の傾向を示した。

広留野地区土壌：葉面散布を行っている小谷氏の圃場では毎年ホウ砂2kg/10aの散布を7年間継続しているにもかかわらず、水溶性B(第18図)は対照区に比べほとんど増加していなかった。0.5N塩酸可溶部はNo.5から差異が出はじめ、110mlの溶出後では約11μg/10gの差と

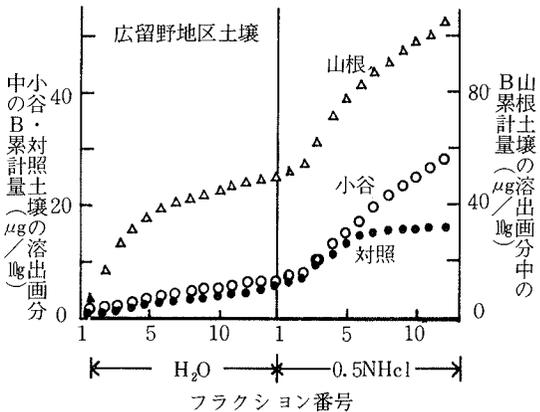


第17図 ダイコン連作畑のホウ素残存量 (I)
各フラクシオンは7.2ml/回

なった。一方、ホウ酸1.5kg/10a基肥施与の山根氏の圃場では施肥後日がたっていないこともあり、易動性B (No. 1, 2), 水溶性Bともに小谷氏の圃場より多く(第18図), 110mlの水の溶出後、両圃場では37μg/10gの差があったが、0.5N塩酸110mlによる溶出後はその差は48μg/10gとなり、塩酸可溶部のみ差は11μg/10gとあまり大きくなかった。これら土壌の熱水可溶性B(第49表)は、山根>>小谷>吉森地区の順で、特に施肥直後のために山根氏の圃場では8.2ppmBと高かった。

考察

現在市販されている水不溶性のB質肥料の代表と考え



第18図 ダイコン連作畑のホウ素残存量 (II)
7.2ml/画分

第49表 ダイコン連作畑の熱水可溶性ホウ素含有率 (ppmB)

吉森地区土壤		広留野地区土壤		
B施与区*	対照区	B施与区		対照区
		小谷*	山根®	
0.98	0.59	1.13	8.20	0.59

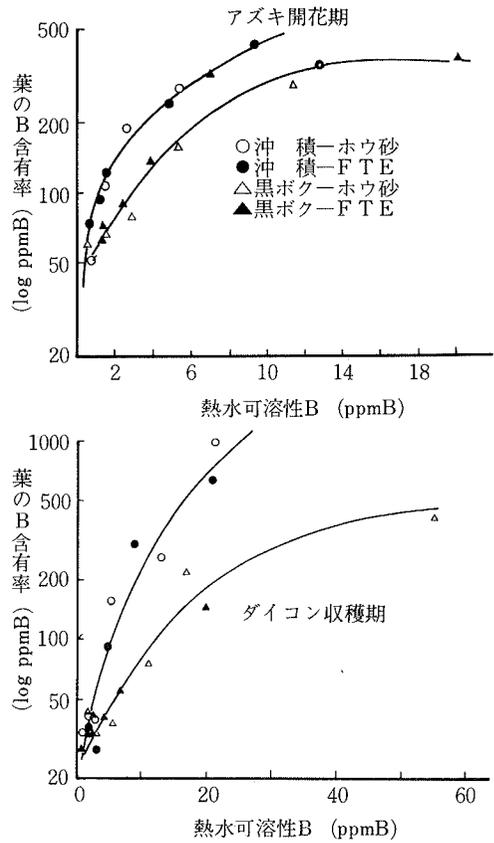
* FTE (4kg/10a) 7年間基肥施与
 * 小谷 (2kg/10a) 7年間葉面散布
 ® ホウ酸 (1.5kg/10a) 3年間基肥施与

られるFTEとBMよりりんを比較すると、BMよりりん中のBが著しく可溶化しやすい(第13図)。保証成分はいずれも可溶性Bで、その溶解性は資材としては類似していると考えられる。しかし、土壤中での可溶化には上記の如き差異がある。このことは、BMよりりんはFTEよりB含有率が低いため、同一分量の添加では現物量が多く、それだけ土壤粒子との接触面積が大きいことも一因と考えられる。

資材の種類を問わず、土壤に施与されたBはその一部が水の移動に伴って移動し(第13図, 第46表)、その移動速度はNO₃⁻、Cl⁻などより遅く、H₂PO₄⁻よりは著しく速い³⁾といわれている。

熱水可溶性B含有率は土壤中の可給態Bの測定法として採用されているが、この値とアズキあるいはダイコンの葉のB含有率との間には、同一土壤ではホウ砂、FTEの使用肥料に無関係に、一つの有意な正の相関関係が認められた(第19図)。しかし、土壤が異なる場合には、別の回帰曲線をとる。すなわち、作物体のB含有率を同じ値に保つために必要な土壤の熱水可溶性B含有率は、B吸着容量の大きい土壤(黒ボク)では、その小さい土壤(沖積)よりも高い。アズキは100ppmB以上のB含有率で過剰症が発現し(第43・45表)、それに対応する熱水可溶性B含有率は沖積土壤では1.2ppmB、黒ボク土壤では3.2ppmB(第19図)となる。一方、ダイコンでは250ppmB以上のB含有率で過剰症が発現し(第41表)、その際の熱水可溶性B含有率は沖積土壤で11ppmB、黒ボク土壤で30ppmB以上となる。

熱水抽出よりさらに弱い条件で溶出した易動性Bと作物体のB含有率との関係を見ると(第20図)、熱水可溶性Bの場合に認められた土壤間差はなくなり、一つの有意な正の相関関係が得られた。この場合、いずれの土壤においても易動性B含有率が0.7ppmBおよび3ppmB以上で、アズキおよび、ダイコンにそれぞれB過剰症が発現



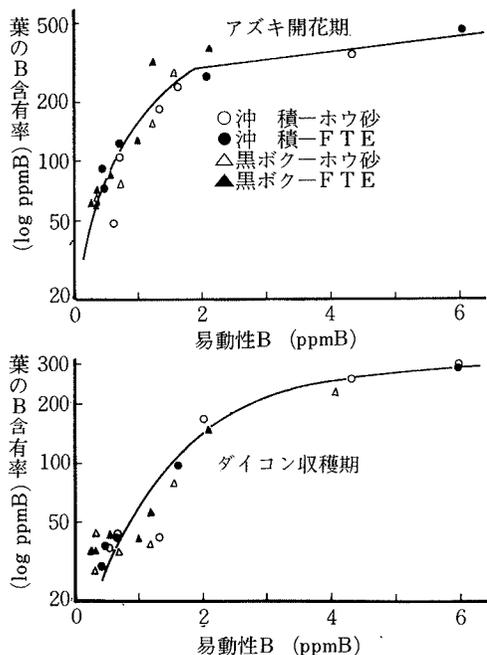
第19図 土壤の熱水可溶性ホウ素と葉のホウ素含有率の関係

した。

さて、6月11日から10月下旬までの栽培期間の後、耕地土壤の易動性B含有率を測定した結果によると(第47表)、アズキ系とダイコン-アズキ系ではやや異なり、後者の方がやや易動性B含有率が高い傾向にあった。しかし、この差は使用ポットの形状に由来する排水の難易に原因するものと思われる。

ここでは、ダイコン-アズキ系のポットにおける作物栽培後の残存B含有率について検討してみる。アズキでは0.7ppmB以上の易動性B含有率で過剰症が現れる。約100日の栽培後においても0.7ppmB以上が残存するB施与区は、沖積・ホウ砂区では20ppmB以上、沖積・FTE区では50ppmB以上、黒ボク・ホウ砂区では20ppmB以上、黒ボク・FTE区では50ppmB以上のB施与区となっている。

現在、Bの施肥基準は作物別に定められているとは限らないが、一般に欠乏が懸念される作物については、基



第20図 土壤の易動性ホウ素と葉のホウ素含有率の関係

肥でホウ砂1kg/10aの施与が妥当とされており、これが全面上層5cmの土壤に混和されると仮定すると約2.2ppm Bに相当し、畦巾75cmで播き溝15cmに作条施与され同様に5cmの土壤と混和されたとすると約11ppm Bに相当する。作物栽培期間中の降水量が約1100mmで、やや多雨の年であったとはいえ本実験では、20ppm B (ホウ砂) あるいは50ppm B (FTE) 以上の施与区 (第47表) で初めて高B濃度培地耐性の最も弱いアズキにとって危険培地濃度といえる0.7ppm B以上に達している。

それ故、仮に夏作物に高B濃度培地耐性の強い作物を栽培し、秋あるいは冬作物に耐性の弱い作物が入る場合でも、かなりの降水が期待される地帯では、跡作に対する懸念なしに、夏作物に対し適量のB施与が可能である。これが、1年後になると、さらに安全度は高まり黒ボク・ホウ砂区を除き50ppm Bまでの施与区で、アズキに過剰症発現をもたらすほど土壤中にBを残留した区はなかった (第48表)。

施与したBの一部は植物に吸収され、一部は落脱して、残りは作土層に水溶性あるいは水不溶性の形でとどまる (第15-18図) が、水不溶性Bの植物に対する影響は畑作では一作、あるいは二作という短期間ではほとんどないと考えられる (第12, 15図, 第48表) が、長い年月での

再溶出の可能性についてはあきらかでない。また、水溶性Bを施与しても、水に溶け難い形のBの増加が認められ (第15, 16図)、一部は土壤に固定されてゆくことがうかがわれる。この種のBも湛水状態ではいずれ、イネに吸収されるとされている⁴⁶⁾が、畑状態ではさらに利用が困難の如くである (第48表, 第15図)。

総合考察

ホウ素が不足あるいは過剰となった場合でも、作物体における同化産物 (第13表) や無機養分 (第5図) の移動はほとんど影響を受けず、それらの移動の阻害あるいは促進がB欠乏あるいは過剰の初期反応となることはないと考えられる。したがって、炭水化物の蓄積や養分吸収に対するBの影響は、葉の全炭水化物や無機要素の含有率から、以下に示すような基準で判定することができる。

(1) 乾物重が標準区 (0.5ppm B区) とほぼ等しく、無機要素や全炭水化物の含有率が高い場合、要素吸収や炭水化物の蓄積が促進されたとみなして (+) で示す。

(2) 乾物重が標準区より小さく、含有率が高い場合、蓄積量から判断して特に全炭水化物の蓄積や無機要素の吸収が促進されていると見ることが出来ない場合は、乾物重の変動がなく含有率の変動もない場合と同様、影響がないとして (±) で示す。

(3) 乾物重は標準区より小さく含有率が変わらないか低い場合は、乾物重の変動がなく含有率が低い場合と同様、炭水化物の蓄積はB処理によって減少し、要素の吸収は抑制されるとみなして (-) で示す。

以上の判断基準によってBの欠乏と過剰の影響をまとめると第50表のとおりである。すなわち、この表は第12表に示した培地B濃度適応性による類別法により、作物を配列し、各作物の炭水化物の蓄積および無機要素の吸収に対するB欠乏または過剰の影響を上記の+, ±, -の表現法で示したものである。

B欠乏の影響: 全炭水化物の葉での蓄積量は、マメ科作物、ゴボウとカボチャで増加し、ヒマワリ、テンサイ、オオムギ、トウモロコシ、スイカでは減少し、その他の作物ではほとんど影響を受けなかった。以上のように、培地B濃度適応性が等しい群内でもマメ科以外では異なった影響を受けるものが混在する。

低B濃度培地耐性の弱い作物 (b, c) では、多量要素の吸収がB欠乏によって促進される例はなく、抑制される場合が多かった (66要素例中48要素)。低B濃度培地耐性の強い作物 (a, d) については、Bの直接的影響は明瞭ではなかった。

第50表 各種作物に対する全炭水化物の蓄積及び無機要素の吸収に及ぼすホウ素の影響

培地B 適応性*	培地B適応性 の機作要因*	作物名	B 欠 乏 の 影 響					B 過 剰 の 影 響						
			炭*	N	P	K	Ca	Mg	炭	N	P	K	Ca	Mg
a	低B含有 率耐性強 排除能弱	ダイズ	+	±	±	+	-	-	-	±	±	±	-	-
		アズキ	+	±	±	-	-	-	-	±	±	±	-	-
		サイトウ	+	±	±	+	-	-	-	±	±	±	±	-
b	積能的吸 収能弱 排除能強	ゴボウ	+	±	-	-	-	-	+	±	+	±	-	±
		レタス	±	-	±	-	±	±	±	±	+	+	±	±
		パセリ	±	-	-	-	±	±	-	±	-	±	-	±
	低B含有 率耐性弱 高B含有 率耐性強	フダンソウ	±	-	-	-	-	-	-	±	+	±	±	±
		シュンギク	±	-	-	-	-	-	±	±	+	±	±	±
		ヒマワリ	-	-	±	±	-	-	±	±	±	±	-	-
c	積能的吸 収能弱 高B含有 率耐性弱	ニンジン	±	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-	-
		ナス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	低耐弱 排弱	ピーマン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-
		ネギ	±	-	±	±	-	-	±	-	±	±	-	-
d	積能的吸 収能強 高B含有 率耐性強	ソバ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		オオムギ	-	±	±	±	±	±	-	±	±	+	-	±
		トウモロコシ	-	-	-	±	±	±	±	±	±	-	±	±
d	積能的吸 収能強 高B含有 率耐性強	カボチャ	+	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-	-
		スイカ	-	±	+	+	±	+	-	+	+	+	+	+
		キウリ	±	±	+	+	-	-	±	±	±	±	-	-
		ダイコン	±	-	-	±	-	-	±	-	-	-	-	-
	積吸強 排強	ハクサイ	±	-	±	-	-	+	+	±	±	+	-	-
イネ	±	±	-	±	-	±	+	±	±	+	±	-	-	

*第12表の類別に準ず。 *全炭水化物, +促進, ±影響なし, -抑制を示す。

B過剰の影響：全炭水化物の蓄積は高B濃度処理により、ゴボウ、ハクサイ、イネでは促進され、マメ科、パセリ、フダンソウ、オオムギ、スイカで抑制された。また、養分吸収に及ぼす影響はB欠乏の場合より小さく、(±)の符号が多いが、高B濃度培地耐性の弱い作物(a, c)と広域B適応作物(d)ではCaとMgの吸収が抑制される例が多いのが特徴的であった。

以上の結果を既往の研究結果と比べると、ダイズで低B濃度培地でも高B濃度培地でもCa吸収が抑制されるというMinarikら²⁰⁾の報告と同様の結果が、23作物中15作物で認められ、この現象はMgでも認められた。しかし、その外の要素については多くの作物に共通なこの種の傾向は認められなかった。ただB処理により生育が停滞した作物で、要素の吸収が抑制される場合が多かった。すなわち、他要素の吸収に及ぼすBの影響は、Bの過・不足が生育に及ぼす影響を通じてあらわれるものと考えら

れる。

植物間のB要求度の種間差は、同一土壌に生育した場合の植物体のB含有率の種間差によって判定されている¹⁾しかし、この要求度という概念には、作物体の低B濃度培地あるいは高B濃度培地に対する耐性の種間差という考え方は含まれていない。それ故、比較的要求度の高いマメ科作物(第7表)が高B濃度培地耐性が弱かったり(第1図)、要求度の低いイネ科作物(第7表)が低・高両B濃度培地耐性が比較的強い(第1図)といったように、要求度と培地適応性とはかならずしも一致しないという事実にはあまり注意がむけられていない。

第II章実験2(PP.43~47)はB適応性の作物種間差を知るために、低Bあるいは高B培地における各種作物の生育反応を比較したものである。しかし、農業的には培地B濃度の影響があらわれる速度などはかならずしも意味をもち、目的部位の収穫量あるいはその品質がどうなるか

ということが問題となる。したがって、第12表のB適応性の分類表からBの肥培管理を考えるにあたっては次の点に注意を要する必要がある。

一般的に、欠乏および過剰症状が著しい作物(第3表)では、本実験の実験打ち切り時点では相対生長量があまり低くなくても、栽培期間をさらに延長すると、その相対生長量は低下すると考えられる。したがって、少なくともマメ科はa型→c型、ウリ科はd型→c型へ変わると考えねばならない。また、アブラナ科の作物は一般に茎葉の生長量にはほとんど差異がみられなくても、子実の生産が阻害されたり(ナタネ)、あるいは褐色心腐(ダイコン、ハクサイ)やサメ肌(ダイコン、カブ)が発生し、商品価値をなくするという形でB欠乏症が現れるので、このような場合は相対生長量の比較だけでは、その農業的な低B濃度培地耐性を規定することができず、別途考慮の必要がある。

なお、本研究では作物の正常な生育を可能とする下限あるいは上限の培地B濃度を生育全期間にわたって詳細に検討していないので、細かい比較は困難であるが、既述の知見とも合わせ、B肥培管理の上で留意すべき特性によって作物を類別すると下記の如くである。

I B過剰が問題となりやすい作物〔マメ科(ダイズ、アズキ、サイトウ)、オオムギなど〕

マメ科はいずれもa型(第1図)に属し、また、オオムギは強い過剰症を呈する(第3表)。特にアズキが高B濃度耐性が弱く、土壤中の易動性Bが0.7ppmB以上では過剰障害の発生の危険性がある。

II B欠乏が問題となりやすい作物〔アカザ科(テンサイ、フダンソウ)、アブラナ科(ダイコン、ハクサイ、ナタネなど)、ナス科(トマト)、セリ科(ニンジン、パセリ、セロリ)、マメ科(アルファルファ)など〕

アカザ、ナス、セリの三科は低B培地耐性弱く(第1図)、アブラナ科は前記した特殊な例として別途考慮する必要があることからここに入れた。ここに示したアカザ科、ナス科、セリ科は大部分耐酸性が弱い作物でもあり⁴⁴⁾また、アブラナ科の大部分の種は高Ca培地適応性の作物といわれており⁴²⁾その栽培にあたっては石灰が施与される機会が多い。したがって、石灰施与により土壌のB固定が促進され(第11図)、これらの作物には、土壌からのBの供給が低下する可能性も高い。さらにダイコン等は吸収根量が少ないためB含有率を上昇させるには多量のB施肥を必要とする(第12, 41表)。したがって、それらの栽培に当たってはBの施与を考慮する必要がある。

III B欠乏が問題となる可能性のある作物〔キク科(ゴ

ボウ、シュンギク、レタス)、ユリ科(チューリップ、ネギ、タマネギ)、ウリ科(カボチャ、スイカ、キウリ)、イネ科(トウモロコシ、オオムギ)、マメ科(ダイズ、アズキ、サイトウ)など〕

キク科およびユリ科の作物はともに低B濃度培地耐性弱く、耐酸性も弱い⁴⁴⁾などアカザ科と類似しているが、 5×10^{-3} ppmB区の相対生長量が比較的大きく、ヒマワリ、チューリップ以外欠乏症発現の例を聞かない。また、ウリ科は低・高両B濃度培地耐性は強い(第1図)が、欠乏あるいは過剰症の程度も強い(第3表)。しかし、B欠乏あるいは過剰症発生の例をあまり聞かない。いずれも耐酸性の弱い作物⁴⁴⁾で、石灰施与を受ける可能性が大きく、集約的に栽培される場合はB欠乏が顕在化する可能性が指摘できる。トウモロコシはd型に属し低・高両B濃度培地耐性は比較強い作物であるが、個体当たりの生長量が大きく、Bの必要量は比較的多い。わが国ではその欠乏は問題とされていないが、子実の不整がB欠乏症であるとの指摘もなされており³⁴⁾オオムギは欠乏(不稔)発生の例が認められている。また、マメ科作物ではアルファルファ以外B欠乏発生の例は聞かないが欠乏症の程度は強い(第3表)。

IV 当面問題の少ない作物(イネ)

低・高両B濃度培地耐性強く、症状も軽微であり、これまで特殊な例を除き²⁹⁾あまり問題とされていない。ただし、河川水を流入利用するため、わが国でも工場排水の汚染による過剰害は散見されている^{19, 22)}

さらに、B施肥にあたっては、高B濃度培地耐性の強い作物の跡に、その弱い作物が入る場合、B施与による跡作への過剰の影響が推論されていたが、本研究から、この問題はそれ程重要ではないことがあきらかになった(P.86)。しかし、多くの作物でB欠乏は比較的生育後期に発生することが多いことから、後期に対処療法的にBの追肥が行われる場や、ダイコンのように生育日数の短い場合など、残存の易動性Bが溶脱する時間的余裕のない場合は跡作に対する十分な配慮が必要なのは、また、当然である。

要 約

培地のホウ素(以下Bと称す)濃度が変わった場合、作物の生育、養分吸収あるいは炭水化物代謝がいかに影響されるか。また、培地pHあるいはカルシウム濃度が変わった場合、Bの吸収・移動がいかに影響されるか等につき、比較栄養生理学的検討を行うと共に、土壌中のBの動態をあきらかにし、作物のB肥培管理を考えるため

の資料に供すべく実験を行い下記の結果を得た。

1 ハクサイ、イネなどの低B含有率耐性の強い作物を除き、多くの作物で、若い葉の水溶性Bが10ppmB以下となるとB欠乏発現の危険が高まる。一方、シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、トマト、ダイコンなど比較的高B含有率耐性の強い作物を除き、古い葉の水溶性B含有率が100ppmB以上で過剰症発現を認める作物が多い。

2 供試26作物を培地B濃度を変えて栽培し、B処理による相対生長量を比較し、培地B濃度適応性を4型に分類した。そして、その適応性を示す機作要因により、さらに下記の如く26作物を10群に類別した。

a 低B濃度適応

1 低B含有率耐性強 積極的排除能弱 (マメ科)

b 高B濃度適応

2 積極的吸収能弱 積極的排除能強 (ゴボウ、レタス、タマネギ、パセリ)

3 低B含有率耐性弱 積極的排除能強 (フダンソウ)

4 低B含有率耐性弱 高B含有率耐性強 (シュンギク、ヒマワリ、テンサイ、トマト)

c 狭域B濃度適応

5 積極的吸収能弱 積極的排除能弱 (ニンジン)

6 積極的吸収能弱 高B含有率耐性弱 (ナス、ピーマン、ネギ)

7 低B含有率耐性弱 積極的排除能弱 (ソバ)

d 広域B濃度適応

8 積極的吸収能強 積極的排除能強 (オムギ、トウモロコシ)

9 積極的吸収能強 高B含有率耐性強 (ウリ科、キャベツ、ダイコン)

10 低B含有率耐性強 積極的排除能強 (ハクサイ、イネ)

3 供試23作物にわたってBの低濃度あるいは高濃度処理が、他の要素の吸収移動に対して同一の影響を示す要素はなかった。しかし、低B濃度培地や高B濃度培地で生育が著しく抑制された場合に吸収が促進される要素はなく、あまり影響を受けないか抑制されるかのいずれかであった。生育が影響を受けない作物では、それぞれの作物により、要素によって、促進、無影響、抑制を示す要素が一見無秩序に存在した。全炭水化物の蓄積量はマメ科作物において、B欠乏で多くなり、過剰で少なくなる以外、科内あるいは上記適応性類別群内で共通の影響を受けるものはなかった。また、アズキ、テンサイ、キウリを除き糖の移動がB欠乏によって特に抑制される

作物もなかった。これらから無機要素の吸収・移動、全炭水化物の蓄積・移動などに対するBの効果は、生育に対する影響を通しての二次的な影響が強いものと考えられた。

4 トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、キウリ、イネ、トウモロコシ、ダイズの8作物を用い、B欠乏が問題となる培地Bレベルでは、培地のpHの上昇あるいはCa濃度の上昇がBの吸収・移動を抑制しないことを示した。また、Ca/B比の上昇が体内のBの活性を特に抑えているとは考えられないことも示した。そして、石灰過剰施与によるB欠乏誘発の主因は、培地pHの上昇に伴う土壌によるB固定量の増加にあることを示した。

5 炭酸苦土石灰添加のB吸収抑制効果には大きな土壌間差があり、その効果は腐植質火山灰土壌(黒ボク) >>沖積土壌 >砂質土壌(砂丘)の順であった。

6 土壌の熱水可溶性B含有率と作物体のB含有率の間には、使用B質肥料の種類には無関係に、正の相関関係が認められたが、土壌が異なるとその関係は異なるものとなった。しかし、易動性B(10gの土壌カラムから約12mlの水で溶出されるB)含有率と作物体のB含有率の間には土壌・使用B質肥料の種類を問わず一つの相関関係で律することができる関係を認めた。

7 BMよりりん、FTE中のBの土壌中での可溶化は、土壌によりまた土壌pHによって異なるが、一般にBMよりりんの方が早いことを認めた。さらに比較的水に溶け易い部分のBは、一年間の栽培期間(約1100mmの降雨)で容易に溶脱し、高B濃度培地耐性の弱いアズキに対しての過剰限界濃度である易動性B0.7ppmB以上を一年後に維持するためには、保持容量の大きい黒ボク土壌でも50ppmB以上の添加(ホウ砂あるいはFTE使用)が必要であった。このことより、B施肥を行う場合、跡作に対する懸念なしに当該作物に必要な量の施与が可能であることを指摘した。

8 ホウ素を連年施与(ダイコンを対象に7年)した場合、ホウ酸、ホウ砂、FTEなどいずれのB質肥料を用いても、易動性Bはほとんど増加せず、また、土壌量の約10倍の水で溶出されるBも若干の増加をみせるに過ぎない。しかし、ホウ砂、ホウ酸などの水溶性Bを施与しても、より溶解し難い形のBの増加を示す。そして、その画分のBはFTEを使用した場合は著しく増加する。この水に溶けづらい画分のBは特に土壌pHの低下が起こるなどの変化がない限り、当面の作物(畑)に影響をおよぼすとは考え難く、B施肥を必要とする作物に対しては連年のB質肥料の施与が必要と考えられる。

9) 以上の諸点をふまえ、さらに耐酸性が弱い作物(アカザ科, ナス科, セリ科)や高Ca適応性の作物(アブラナ科)など石灰施用を受ける機会の多い作物では、土壌によってはBの固定が促進され、作物に対するB供給力が低下するという面も考慮して、肥培管理上留意すべき特性によって各種作物を下記の如く類別した。

I 過剰が問題となりやすい作物(アズキ, サイトウ, ダイズ, オオムギなど)

II 欠乏が問題となりやすい作物(テンサイ, ダイコン, ハクサイ, ナタネ, トマト, ナス, ピーマン, ニンジン, パセリ, セロリ, ヒマワリ, アルファルファなど)

III 欠乏が問題となる可能性のある作物(ゴボウ, シュンギク, レタス, チューリップ, ネギ, タマネギ, カボチャ, スイカ, キウリ, トウモロコシ, オオムギ, マメ科作物など)

IV 当面問題の少ない作物(イネなど)

謝 辞

本研究遂行の途次および取まとめについて、北海道大学農学部田中明教授には終始御懇切なる御指導を頂き、御校閲を賜わった。また、北海道大学農学部岡島秀夫教授、同岡沢養三教授には本論文の御校閲を頂き、有益な御助言を賜わった。

さらに、北海道大学農学部石塚喜明名誉教授、鳥取大学農学部故山崎伝教授、前藤堂誠教授、同長井武雄教授には、本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり、終始変らぬ激励と御指導を賜わった。

以上の諸氏に対して衷心より感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Berger, K.C. : *Adv. in Agr.* **1** 321-348 (1949)
- 2) Bingham, F.T., A.L. Page, N.T. Colmand and K. Flach : *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, **35** 546-550 (1971)
- 3) ——— and ——— : ———, **36** 892-893 (1972)
- 4) Brenchey, W.E., and K. Warrington : *Ann. Bot.*, **41** 167-187 (1927)
- 5) 馬場 昂 : 植物栄養土壌肥料大辞典, 養覧堂, 東京 (1976) pp. 123
- 6) Colwell, W.E., and R.W. Cummings : *Soil Sci.*, **57** 37-49 (1944)
- 7) Eaton, F.M., : *Jour. Agr. Reseach*, **69** 237-279 (1944)

- 8) 般引真吾・青峰重範 : 土壌実験法, 養覧堂, 東京, (1957) pp. 106
- 9) Gauch, H.G., and E.M. Dugger, JR., : *Plant Physiol.*, **28** 457-465 (1953)
- 10) Gupta, U.C. : *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **36** 323-334 (1972)
- 11) Harada, T., and M. Tamai : *Soil Sci. & Plant Nut.*, **14** 215-224 (1968)
- 12) Hacher, J.T., C.A. Bower and M. Clark : *Soil Sci.*, **104** 422-426 (1967)
- 13) Hewitt, F.J. : *Plant Physiology by Steward* Vol. III, Acad. Press, New York and London (1963) pp. 263-266
- 14) 五十嵐太郎・馬場 昂 : 土肥誌, **41** 369-376 (1970)
- 15) Jones, H.E., and G.D. Scarseth : *Soil Sci.*, **57** 15-24 (1944)
- 16) Kastori, P. : *Field Crop*, **28** Abs. No. 3426 (1975)
- 17) 高下正則・高橋英一 : 土肥講演要旨集, **20** p. 80 (48年度支部)
- 18) Loughman, B.C., and G.A. Rogerston : *C. A.*, **79** Abs. No. 104167 (1973)
- 19) 増島 博・日高 伸・紫 英雄 : 土肥講演要旨集, **23** p. 155 (1976)
- 20) Minarik, C.E., and J.N. Shive : *Amer. Jour. Bot.*, **26** 827-831 (1939)
- 21) 三井進午 : 最新土壌・肥料植物栄養事典, 博友社, 東京 (1971) pp. 201
- 22) 村上英行・沢田真之輔 : 中国農業研究, **42** 9-10 (1971)
- 23) 農林省振興局研究部監修 : 新撰土壌肥料全編, 養覧堂, 東京 (1964) pp. 394-397
- 24) Neales, T.E. : *Nature*, **183** 483 (1959)
- 25) Oertli, J.J., and H.C. Kohl : *Soil Sci.*, **92** 243-247 (1961)
- 26) Ohki, K., : *Agr. Jour.*, **66** 572-575 (1974)
- 27) 太田安定・山本和子・出口正夫 : 土肥誌, **41** 19-26 (1970)
- 28) Parks, P.Q., C.B. Lyon and S.L. Hood : *Plant Physiol.*, **19** 404-419 (1944)
- 29) Ponnampuruma, F.N., and W.L. Yuan : *Nature*, **211** 780-781 (1966)
- 30) Reealde, L., and G. Ortega : *Soils and Fert.*,

- 34 No.4, 460 (1971)
- 31) Reeve, E., and J.W. Shive : *Soil Sci.*, **57** 1-14 (1944)
- 32) Robertson, G.A., and B.C. Longham : *New Phytologist*, **73** 291-298 (1974)
- 33) 作物分析法委員会：栄養診断のための栽培植物分析測定法，養覽堂，東京（1975）pp.286
- 34) Shorrocks M.A. : *Boron deficiency its prevention and cure*, Borax Consolidated Limited London (1974) pp.46
- 35) Shiralipour, A., H.C. Harris and S.H. West : *Crop Sci.*, **9** 455-456 (1969)
- 36) Sims, J.R., and F.T. Bingham : *Soil Sci. Amer. Proc.*, **31** 728-732 (1967)
- 37) ——— and ——— : ———, **32** 364-369 (1968)
- 38) Skok, J., : *Trace Elements by Lamb, C.A., et al.*, p.227-244 (1955) Academic Press New York and London
- 39) 杉山直儀：野菜の栄養生理と施肥技術，誠文堂新光社，東京（1975）pp.29
- 40) 高橋英一：関西土壤肥料協議会講演要旨集，**30** p. 29-34 (1968)
- 41) 田中 明：土肥誌，**41** 457-460 (1971)
- 42) ———・但野利秋・山田三樹夫：土肥誌，**46** 425-430 (1975)
- 43) ———・———・藤山英保：土肥誌，**46** 425-430 (1975)
- 44) ———・早川嘉彦：土肥誌，**46** 26-32 (1975)
- 45) 田中啓文：土肥誌，**41** 27-30 (1970)
- 46) ———：土肥誌，**43** 297-301 (1972)
- 47) ———：土肥誌，**44** 59-62 (1973)
- 48) ———：土肥講演要旨集，**23** p.191-192
- 49) Tanaka, H., : *Soil Sci. & Plant Nut.*, **13** 41-44 (1967)
- 50) Wittington, W.J., : *Jour. Exptl. Bot.*, **8** 354-367 (1957)
- 51) 山本満二郎：滋賀農試特別報告（1960）
- 52) 吉田よし子・吉田昌一：土肥誌，**36** 45-48 (1965)