

# キュウリ幼植物におけるナトリウムとカリウムイオンの選択吸収と輸送

誌名	名城大学農学部学術報告
ISSN	09103376
巻/号	30
掲載ページ	p. 9-14
発行年月	1994年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## キュウリ幼植物におけるナトリウムと カリウムイオンの選択吸収と輸送\*

田中啓文\*\*・加藤晴彦・加藤寿人

---

### Selective Absorption and Translocation of Potassium and Sodium Ions in Cucumber Seedlings

Hirofumi TANAKA, Haruhiko KATO and Hisato KATO

---

#### Summary

Xylem transport and leaf accumulation of several elements with special reference to selectivity of potassium and sodium ions were analysed. Cucumber seedlings were raised with modified aerated Arnon's culture solution using tapwater. Magnesium chloride was used instead of  $MgSO_4$ . Sodium sulfate was added to the solution so as to get five concentrations. Consequently, the sodium ion concentrations of the solution were 15, 50, 90, 132 and  $186 \times 10^{-6} \text{ kgkg}^{-1}$ . Nutrient solutions were renewed once a week.

Bleeding saps were collected by detopping just under the cotyledons at 5th week of the culture and analysed for the concentration of  $SO_4\text{-S}$ ,  $H_2PO_4\text{-P}$ ,  $NO_3\text{-N}$ , Cl, Na and K. The contents of P, Na and K of the stems and leaves were also determined.

On the ratio of the ion concentration between the culture solution and bleeding sap, the values more than one were obtained for  $H_2PO_4\text{-P}$  and K, indicating the faster absorption of the ions than water. The absorption of Cl,  $SO_4\text{-S}$  and Na was slower than that of water.

Clear competitive nature between Na and K was observed in the influx into xylem sap and in the further translocation to stems and leaves.

Ratios between sodium and potassium concentration, Na/K were calculated for the nutrient solutions, bleeding saps, stem tissues and leaf tissues for the analysis of the selectivity in translocation of the ions. The value decreased along the path of the ions ; from nutrient solution, to bleeding sap, stem and leaves, indicating the increase of potassium and decrease of sodium in leaves.

**Key words :** cucumber seedling, potassium, selective absorption, sodium, transport.

#### 1. ま え が き

前報<sup>1)</sup>において、トマト幼植物茎葉部への吸収で、ナトリウムとカリウムは相互に拮抗作用を示し、また、これらイオンの相互作用を各イオンの吸収当量で比較すると、NaのK吸収に対する効果が、K

のNa吸収に対する効果より大であることを報告した。

イオン吸収における、植物組織の選択能については、古く海藻 *Valonia* の細胞汁液のイオン組成で示されたのは有名であり、特にNaとKについては、多くの書物に引用され、周知の事実となっている<sup>2)</sup>。

---

\*養分の相互作用に関する研究 (第4報)

受理: 1993年10月30日

肥料学研究室 (\*\*現環境化学研究室)

上述のトマト葉部における、Na 濃度の上昇による K 濃度の大きな低下は、根により選択的に吸収された両イオンが茎部を経て葉部へ輸送される過程において、更に選択され、少量の Na の変化に対し、K 濃度が大きく変化することによる、拡大された結果であると考えられる。

根部から茎葉部への輸送は、木部周辺組織や篩部組織の影響を度外視すれば、主として切断茎部より採取した木部溢泌液の分析により解析される<sup>3)</sup>。

本報では、キュウリ幼植物を供試して、培養液中の硫酸ナトリウム濃度を変化させつつ、溢泌液中のカチオン(K, Na)およびアニオン( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )を測定し、根部より道管への流入時におけるイオン相互の関係を調べ、ついで、この関係が明確になった K, Na および P について、茎葉部への移行を各組織中濃度を測定することにより解析した。

## 2. 実験材料と方法

供試植物および培養法：キュウリ(品種：加賀節成)種子をガーゼで包み、水道水流水に一夜浸漬し、パーミキュライトに播種した(1992年5月8日)。水道水にて育て、約3cmに成長した幼植物を、次に述べる培養液を1/5000アール・ワグネルポットに各3Lづつ入れ、各ポットに5本移植した。植物はポット上の塩化ビニル製板の小孔にスポンジ片で固定し、通気水耕栽培とした。蒸散等による液量の減少は、毎日水道水で補い、毎週一回全量を更新した。

培養液の組成：使用した培養液は、おおそ ARNON の組成<sup>4)</sup>に準じたが、Mg を塩化物に、Fe をクエン酸塩( $\text{Fe} : 5 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ )に変更し、水道水をそのまま使用したので、微量元素の添加を省略した。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を5種類の濃度になるように加え、pHは5.5に

調整した。5週間目、更新時、調製した培養液について、後述の溢泌液の分析法と同じ方法で測定した各元素の濃度を表1に示した。SI単位の導入により、濃度単位が変更されたが、文献値との比較のため旧単位も併記した。

1区にはNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>は添加していないが、SO<sub>4</sub>-S :  $2 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ , Na  $15.3 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ を検出した。水道水使用のためであろう。これら各元素とも、5区まで順次増加している。他の元素については、測定誤差の範囲で全区一定である。使用した化合物種を付記した。

溢泌液の採取法：培養5週間目、培養液更新5時間後、1ポットから2本を選び、子葉直下で切断し、先端を曲げて、1本づつ25mL試験管に差しこみ、溢泌液を採取した。茎と試験管はビニルテープで固定し、また、茎の切り口は、培養液の水面より高く維持した。茎部がサイフォン状になるための流出を避け、根圧による溢泌液を採取するよう配慮した。採取時間は17時から翌朝11時までとした。

茎葉部分析試料：溢泌液採取のため切断した茎葉部は、葉部(葉柄を含む)と茎部に分け、80℃で熱風乾燥し、秤量後、粉碎し分析に供した。

分析方法：溢泌液中の陰イオン( $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -P,  $\text{SO}_4$ -S, Cl)は測定可能な濃度に蒸留水で希釈した後、10mLテルモシリレンジにDISMIC-13cp Cellulose Acetate  $0.45 \mu\text{m}$  フィルター(ADVANTEC TOYO製)を装着して、ろ過し、ろ液  $50 \mu\text{L}$  について、Shodex IC I-524A カラムによるイオンクロマトグラフィーにより測定した。測定条件は、溶離液：pH 4.2,  $2.5 \text{mmolL}^{-1}$  フタル酸、流速： $1.5 \text{mLmin}^{-1}$ 、カラム温度  $40^\circ\text{C}$  である。

陽イオン(K, Na)については、炎光度計により測定した。

乾燥組織粉末中の K, Na, P は、硫酸・硝酸混液

表1 培養液の元素濃度

元素	区 番 号					使用化合物
	1	2	3	4	5	
SO <sub>4</sub> -S	2.0	39.0	74.2	108.5	145.7	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
NO <sub>3</sub> -N	397.0	383.0	380.0	384.0	380.5	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , KNO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> -P	28.3	29.5	27.5	28.9	29.1	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
Cl	198.5	190.5	189.0	192.0	191.0	MgCl <sub>2</sub>
Na	15.3	50.0	89.9	132.2	185.9	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
K	240.2	241.0	238.0	238.8	239.8	KNO <sub>3</sub>

( $10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ ; ppm)

にて加熱分解後、炎光度法およびモリブデン青比色法により測定した。

表2 溢泌液採取量

区番号	1	2	3	4	5
①	15.0	4.8	32.0	21.1	7.0
②	10.7	2.6	28.7	4.2	4.9

(18時間当り mL)

### 3. 実験結果

溢泌液採取量：18時間にわたって採取した溢泌液量を表2に示した。1ポットから植物2本を選び、各植物別に採取したので、各植物についての採取量を①②に示してある。溢泌速度は組織内と培養液の浸透圧の差、すなわち塩類濃度差や光合成産物の濃度差によると考えられるが、区間に一定の傾向はみ

られていない。①と②を元素濃度について比較すると（個別のデータは示していない）、 $\text{SO}_4\text{-S}$ については、採取量の少ない1, 2, 4区の②で高濃度を示したが、他の元素については明確な関係はみられなかった。

溢泌液の元素濃度：溢泌液の元素濃度を図1に示した。2本の植物についての測定値をそのまま図中に示し、平均値を結んだ。元素によっては、測定値の間にかんがりの幅を示した。 $\text{SO}_4\text{-S}$ は $10\sim 50\times 10^{-6}\text{ kgkg}^{-1}$ の間に分布し、2区から5区へと上昇していた。1区は $\text{Na}_2\text{SO}_4$ を添加してないにもかかわらず、平均 $35\times 10^{-6}\text{ kgkg}^{-1}$ を示した。硫黄源としては種子以外には考えられないが、詳細は不明である。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{Cl}$ については、区間に一定の変化はみられず、前者は $300\sim 400\times 10^{-6}\text{ kgkg}^{-1}$ 、後者は $40\sim 100\times 10^{-6}\text{ kgkg}^{-1}$ の間を変動した。 $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$ については、 $100\sim 200\times 10^{-6}\text{ kgkg}^{-1}$ の間を変動し、平均値に関しては、 $\text{SO}_4\text{-S}$ 濃度と逆の関係を示しており、陰イオン間の拮抗作用の可能性もあるが、固体間の差が大

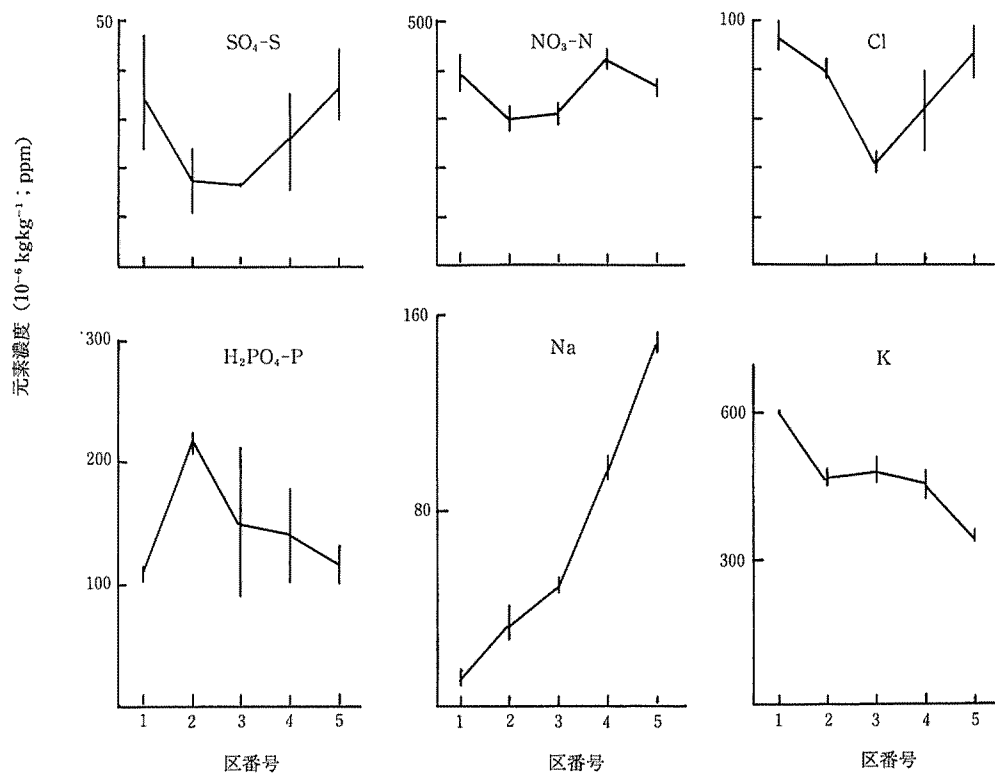


図1 溢泌液の元素濃度  
(図中縦棒は測定値の幅を示す)

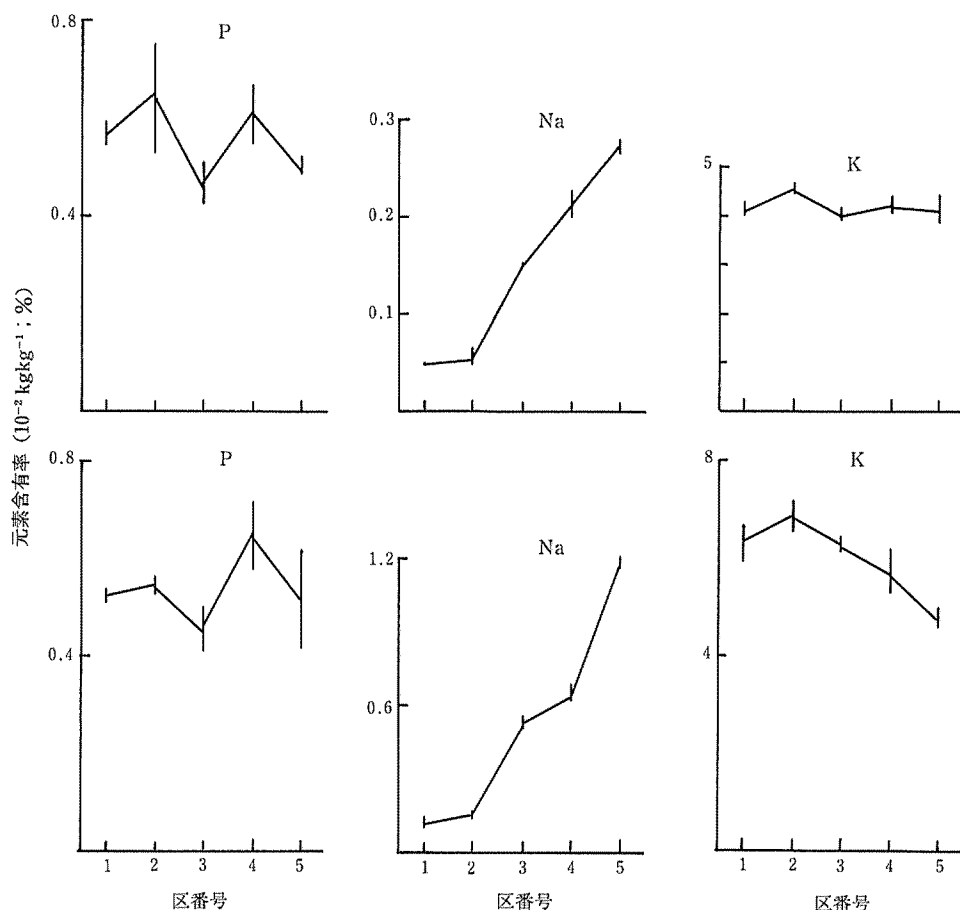


図2 茎葉部のP, NaおよびK含有率  
(上図:葉部, 下図:茎部, 縦棒は図1と同じ)

きく、明確には結論づけられない。

Naについては、1区の $10 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ から5区の $150 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ まで、培養液の $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 濃度の上昇に伴って、順次上昇していた。KはNaの場合の逆に、1区の $600 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ から5区の $350 \times 10^{-6} \text{kgkg}^{-1}$ へと低下していた。培養液から道管へ取り込む際の拮抗作用と解される。

**茎葉部の元素含有率:** 溢泌液を採取するため、子葉直下で切断した2本の植物について、茎部と葉部を別に、P, NaおよびKの乾燥重量当たり含有率を求め図2に示した。溢泌液の場合と同様に、2本の植物に対する測定値をそのまま図中に示した。

Pについては、各区において、茎部、葉部とも $0.55 \times 10^{-2} \text{kgkg}^{-1}$ 程度の含有率を示したが、固体間の差が大きかった。Naの含有率は、茎部、葉部とも、

1区から5区へと上昇しており、葉部に比べ茎部の含有率が高かった。Kは茎部では1区から5区へ、Na含有率の上昇に伴って低下しているが、葉部では、各区ほぼ一定であった。

#### 4. 論 議

根毛を含めた表皮組織に吸収された養分元素は皮層を経て道管に流入し、茎部、葉部へ輸送される。葉部間の再配分には篩管輸送が関与するが、本報では、再配分については、検討せず、道管輸送を中心に考察した。

茎部を子葉直下で切断して、溢泌液を採取した。道管を通る水分の輸送は根圧および蒸散により支配されるので、茎葉部を切断した場合、蒸散による引

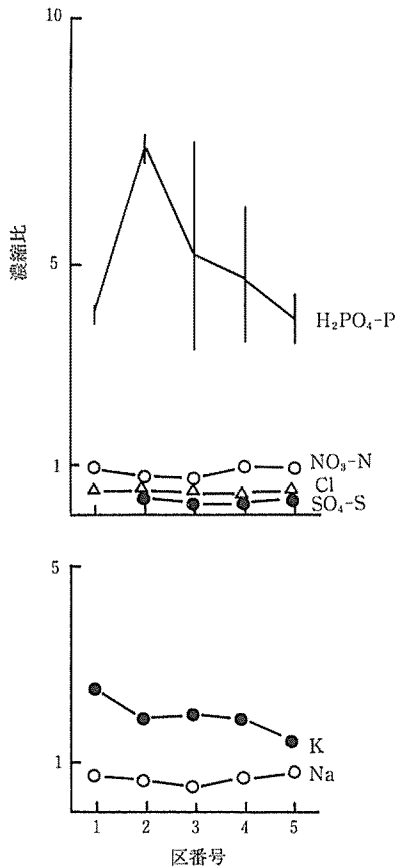


図3 溢泌液中各元素の濃縮度、溢泌液濃度/培養液濃度 (図中縦棒は図1と同じ)

圧の関与がなくなるので、溢泌液量と道管液量には差異が予想されるが BIELESKI<sup>5)</sup> は総説の中で、溢泌液と道管液は内容的に十分対応できることを述べている。したがって、本報では溢泌液の組成は道管液の組成を示しているものと解釈した。

道管液中各元素の濃縮度：測定した溢泌液中の各元素濃度（図1）に対する培養液の濃度（表1）の比を求めて図3に示した。この比が1より大きい元素は道管液中に濃縮されたものであり、1より小さい場合は、水の吸収が元素の吸収より速く、その結果希釈されたことを示している。 $NO_3-N$  はほぼ1を示し、 $Na$ 、 $SO_4-S$ 、 $Cl$  は1より小さい。 $H_2PO_4-P$  と  $K$  は1より大きく、道管液中に濃縮されてゆくことが明らかである。佐々木ら<sup>6)</sup> は、トウモロコシ溢泌液中のリン酸を測定し、大部分が正リン酸の形態で

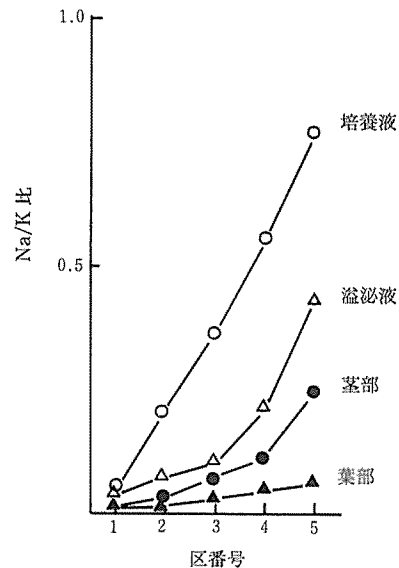


図4 培養液、溢泌液、茎部および葉部の Na/K 比

存在し、培養液濃度の14~42倍に濃縮されていることを示した。本報の測定はイオンクロマトグラフィーによっているので、有機化合物は測定されないが、リン酸イオンが5倍程度に濃縮されている。 $K$  は2倍前後にとどまっているが、これに対し、 $Na$  は希釈されており、 $K$  と  $Na$  の選択性が明確である。1区の  $SO_4-S$  については、極めて高い濃縮を示したが、この理由は前述の通り不明であるので、図中省略した。

培養液、溢泌液、茎部および葉部の Na/K 比：前報<sup>1)</sup> または森下<sup>7)</sup> らが示したように、トマト、キュウリ、ホウレンソウ等で、葉中の  $Na$  濃度が上昇すると  $K$  濃度が減少する。吸収時における拮抗作用を示すものである。また、前節において述べたように、 $K$  と  $Na$  については選択吸収性も明らかであり、 $Na$  にくらべ  $K$  の濃度が高い。両イオンの選択が、植物体内のどの部位において行われるかを知るため、培養液、溢泌液、茎部、葉部について、それぞれの Na/K 比を求め、図4に示した。図から明らかなように、培養液、溢泌液、茎部、葉部の順に Na/K 比が低下し、各元素の輸送経路に沿って選択が行われ、 $Na$  にくらべ  $K$  含有率が上昇してゆく。このことは、 $Na$  濃度の高い4または5区において顕著である。

## 5. 要 約

道管から茎葉部へのイオンの輸送に際し、イオンの選択と濃縮がどのように行われるかを解析する目的で、ARNON に準じた培養液に  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を段階的に添加し、キュウリ幼植物を通気水耕栽培した。5 週間目に、子葉直下で茎部を切断して、溢泌液を採取し、 $\text{SO}_4\text{-S}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{Na}$  および  $\text{K}$  濃度を測定した。切断した茎部および葉部について、 $\text{P}$ 、 $\text{Na}$  および  $\text{K}$  含有率を測定した。

培養液の元素濃度と溢泌液中濃度の比は、 $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-P}$  と  $\text{K}$  について 1 より大きく、各イオンが濃縮されてゆくことを、また、 $\text{Cl}$ 、 $\text{SO}_4\text{-S}$ 、 $\text{Na}$  については、1 より小さく、これらイオンの吸収が水の吸収より遅く、希釈されてゆくことを示した。

培養液中の  $\text{Na}$  濃度を上昇させると、溢泌液、茎部および葉部の  $\text{Na}$  濃度が上昇し、 $\text{K}$  濃度は低下し、拮抗性を示した。

$\text{K}$  と  $\text{Na}$  の選択性について、体内輸送との関係を解析するため、 $\text{Na}/\text{K}$  比を算出し、培養液、溢泌液（道管液）、茎部、葉部の数値を比較した。この値は、培養液で最大となり、溢泌液、茎部、葉部の順で小さくなった。すなわち、各イオンの輸送方向に向かって小さくなり、 $\text{Na}$  濃度が減少し、 $\text{K}$  濃度が上昇し、輸送経路に沿って、 $\text{K}$  の選択が行われることが明らかになった。

## 文 献

- 1) 田中啓文・岩城弥生 (1991) トマト幼植物によるカリウムとナトリウム取込みの相互作用. 名城大農学報, 27, 7-11.
- 2) 熊沢喜久雄 (1974) 植物栄養学大要, 養賢堂, 東京.
- 3) MARSCHNER, H. (1983) General Introduction to the Mineral Nutrition of Plants, in Encyclopedia of Plant Physiology 15A, p. 18, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- 4) 京都大学農芸化学教室 (1965) 農芸化学実験書, 3, 1050, 産業図書, 東京.
- 5) BIELESKI, R. L. (1973) Phosphate Pools, Phosphate Transport, and Phosphate Availability. Ann. Rev. Plant Physiol. 24, 225-52.
- 6) 佐々木泰子・有馬泰紘・熊沢喜久雄 (1981) トウモロコシ溢泌液中のリン酸の形態と経時変化. 土肥誌, 52, 490-496.
- 7) 森下豊昭・瀬川雅裕・岩橋誠・香川邦雄・太田安定 (1984) キュウリ・トウモロコシ・ハウレンソウにおけるカチオン吸収の生育時期別変化と塩分抵抗性との関係. 土肥誌, 55, 263-268.