

# 蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究 XVIII

ホウレンソウの生育, 収量におよぼす培養液濃度, pH の影響

並木 隆和・小池田英子・高嶋 四郎

TAKAKAZU NAMIKI, EIKO KOIKEDA and SHIRO TAKASHIMA

Studies on production of vegetable crops in water culture XVIII

Effect of concentration and pH of nutrient solution on growth and yield of spinach

要旨: ホウレンソウ品種, 次郎丸およびキング・オブ・デンマークを水耕栽培し, 培養液濃度 (園試処方<sup>1)</sup>の200~12.5%) と pH(7.5~5.0) が生育, 収量におよぼす影響を調査した。

次郎丸では液濃度 200~50%, キング・オブ・デンマークでは 100~50%で収量および培養液からの養分吸収が多かった。両品種とも, 植物体の N, P, K 含有率は液濃度の高い場合に高かった。Ca, Fe 含有率は液濃度にあまり影響されず, Mg 含有率は液濃度の高い場合に茎葉で高く, 根で低かった。

収量の特に低かった pH5 を除き, 液 pH が生育, 収量, N, P, K 吸収量におよぼす影響は小さかった。液 pH が低い場合, Ca, Mg, Fe 吸収量が少なかった。植物体の無機養分含有率は液 pH によりほとんど影響されなかった。

生体内硝酸塩含有率は液濃度 50%以上の場合に著しく高くなった。液 pH 6.5 前後の場合に最も低く, その他の pH ではやや高かった。

## 緒 言

水耕栽培は施肥管理, 温度調節, 病虫害対策, 収穫調整などが容易なので, ホウレンソウの周年栽培に適していると思われる。しかしその実用化にあたっては, 夏期高温時の栽培が困難であるため, 播種法, 温度管理, 培養液管理, 抽苔防止などの問題が解決されねばならない。

本研究では培養液の問題を取り上げた。れき耕用園試処方培養液を用いて, その濃度と pH がホウレンソウの生育, 収量, 養水分吸収量におよぼす影響を調べた。また最近, 食品衛生の面から関心が高まっている, 生体内硝酸塩含有率についても調査した。

## 材料および方法

供試品種は生育, 抽苔の早い次郎丸と生育, 抽苔のおそいキング・オブ・デンマーク (以下 KD と略す), 培養液はれき耕用園試処方<sup>1)</sup>を用いた。砂床で発芽させた後, 培養液 30l を満した水耕ベット上の発泡ポリスチレン板に12本植えつけて栽培した。培養液の攪拌, 通気はエアリフトにより行った<sup>2)</sup>。

培養液の濃度を比較した実験では, 多量要素の濃度を園試処方<sup>1)</sup>の 200, 100, 50, 25, 12.5%とした5区を設け, Fe および微量元素は園試処方<sup>1)</sup>のまま全区同じ濃度とした。2月4日播種, 3月24日本葉4枚展開時に水耕ベットに定植, 4月24日収穫を行った。

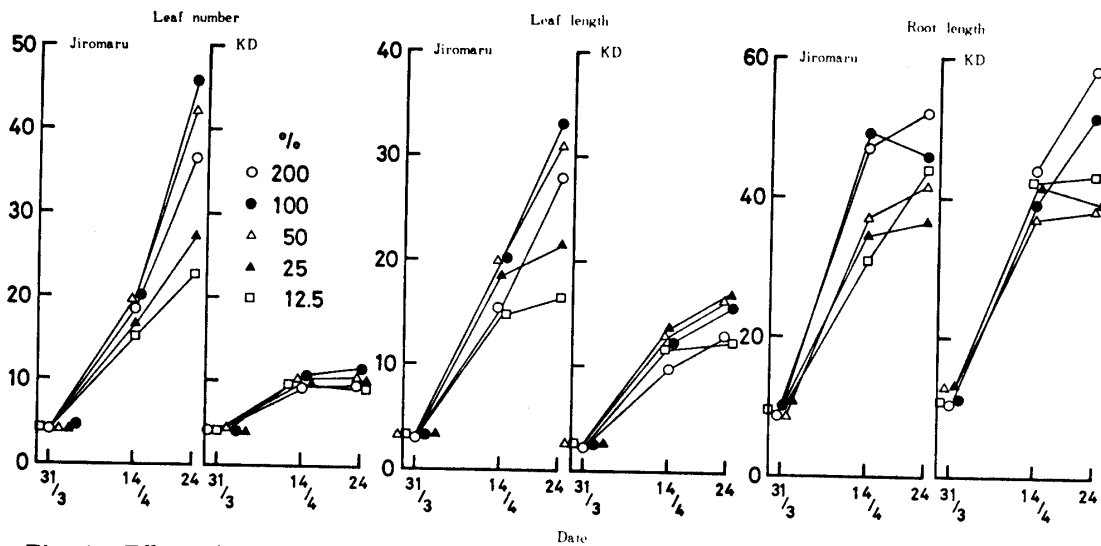


Fig. 1. Effect of solution concentration on number of leaves, length of the largest leaf (cm) and length of the longest root (cm) of spinach

培養液の pH を比較した実験では、園試処方50%液を用い、pH 7.5, 7.0, 6.5, 6.0, 5.5, 5.0 の6区を設けた。pH 値は原則として毎日ガラス電極で測定し、1 規定の硫酸と水酸化ナトリウム溶液で所定の値に調整した。10月9日播種、11月9日水耕ベッドに定植、12月26日収穫を行った。

水耕ベッドに供給した培養液と、栽培終了時の残液の量と濃度の差より、栽培中にホウレンソウが吸収した NO<sub>3</sub>-N, P, K, Ca, Mg, Fe, 水の量を算出した。栽培終了時の植物体につき、全 N, NO<sub>3</sub>-N, P, K, Ca, Mg, Fe の含有率を分析した。培養液の分析は、NO<sub>3</sub>-N : 硝酸イオン電極, P : パナドモリブデンイエロー法, K, Ca, Mg, Fe : 原子吸光法によった。植物体の分析は、全 N : ケールダール分解後アンモニア電極により, P, K, Ca, Mg, Fe : 硫硝酸法で湿式灰化後、培養液と同様に行った。NO<sub>3</sub>-N 含有率測定には、午前10時半に収穫したものをを用いた。最外葉を除き、十分伸長した葉約3枚の葉柄と葉身とにわけ、Cl による妨害を除去するために 0.0122M の Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液<sup>3)</sup>を加えてホモジナイズした後、硝酸イオン電極で測定した。

結 果

1 培養液濃度の影響

葉数、最大葉長、最長根長の経過を第1図に示す。次郎丸では播種後65日頃から分枝が盛んになり、それに伴い葉数は急激に増加した。栽培終了時には培養液濃度により大きな差を生じ、100%区で最も多く、25, 12.5%区では少なかった。KD は生育が遅く、葉数は

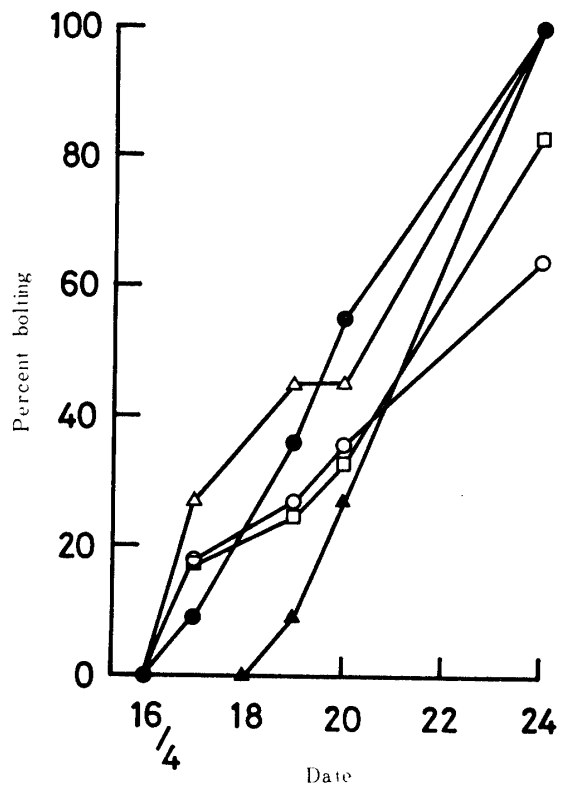


Fig. 2. Effect of solution concentration on bolting of Jiromaru spinach (symbols are same as in fig. 1)

10枚前後からあまり増加せず、栽培終了時にも、次郎丸に比し非常に少なかった。液濃度による差はほとんどなかった。

最大葉長は葉数と同じような傾向を示した。

最長根長は200, 100%区で長く、50, 25%区で短かった。両品種はほとんど同じ値を示した。

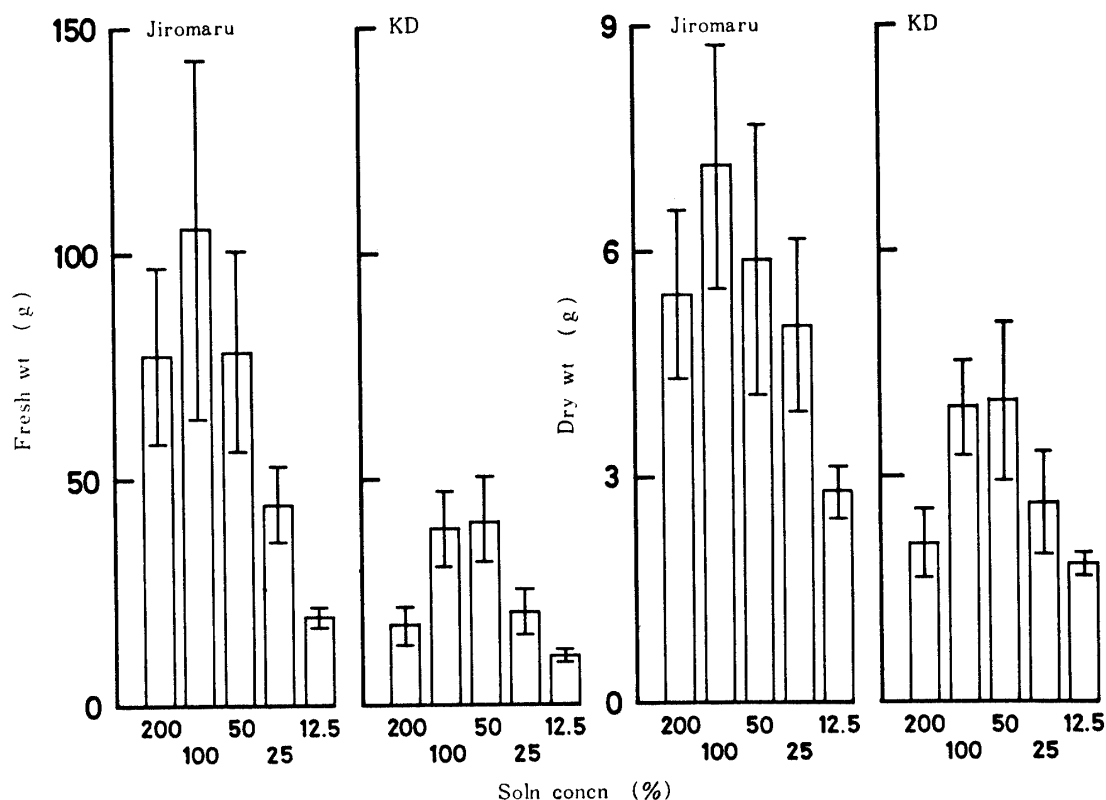


Fig. 3. Effect of solution concentration on fresh and dry weights of spinach (vertical bars represent 95% confidence limit)

抽苔は次郎丸では4月17日頃より始まり、栽培終了時には100, 50, 25%区の全株にみられた。200%区は生育が早いにもかかわらず抽苔が遅かった(第2図)。KDでは抽苔は認められなかった。

栽培終了時の茎葉部生体重および乾燥重は、次郎丸では100%区が最も高かったが、200, 100, 50%区で有意差がなかった。KDでは100, 50%区が最も高かった(第3図)。

茎葉部の乾物率は、次郎丸では200, 100, 50%区はそれぞれ7.0, 6.8, 7.5%と低く、あまり差がなかった。25, 12.5%区ではそれぞれ11.3, 14.4%と高かった。KDでは100, 50%区はそれぞれ10.0, 9.7%と低く、あまり差がなかった。200, 25, 12.5%区はそれぞれ11.9, 12.8, 16.8%と高かった。根の乾物率も同様の傾向を示した。

茎葉部と根部の、乾燥重あたりの全N, P, K, Ca, Mg, Fe含有率を分析した結果を第4図に示す。N含有率は両品種の両部位とも200, 100%区で高く、液濃度が低くなるとともに含有率も低くなった。P含有率は200, 100, 50%区で高く、25, 12.5%区で低い傾向がみられた。K含有率は次郎丸では200, 100%区で高く、KDでは200, 100, 50%区で高かった。Ca含有率は両品種の両部位とも液濃度の影響をほとんど受け

なかった。Mg含有率は両品種とも茎葉部では液濃度の高い区で高くなった。根部では液濃度の高い区で低い場合がみられた。茎葉部のFe含有率は両品種とも液濃度の影響をほとんど受けなかった。根部では100,

Table 1. Effect of solution concentration and pH on nitrate content of fresh spinach leaves (ppm)

soln concn	Jiromaru		King of Denmark	
	petiole	blade	petiole	blade
200%	7812	508	6294	3125
100	7161	924	3646	1823
50	4948	92.4	5468	1953
25	48.2	65.1	286	148
12.5	100.8	35.1	99.0	48.2
soln pH				
7.5	4726	1406	4127	1151
7.0	4232	963	4388	958
6.5	2812	535	2591	181
6.0	5494	212	3672	571
5.5	4492	419	2161	510
5.0	4114	1471	2135	1184

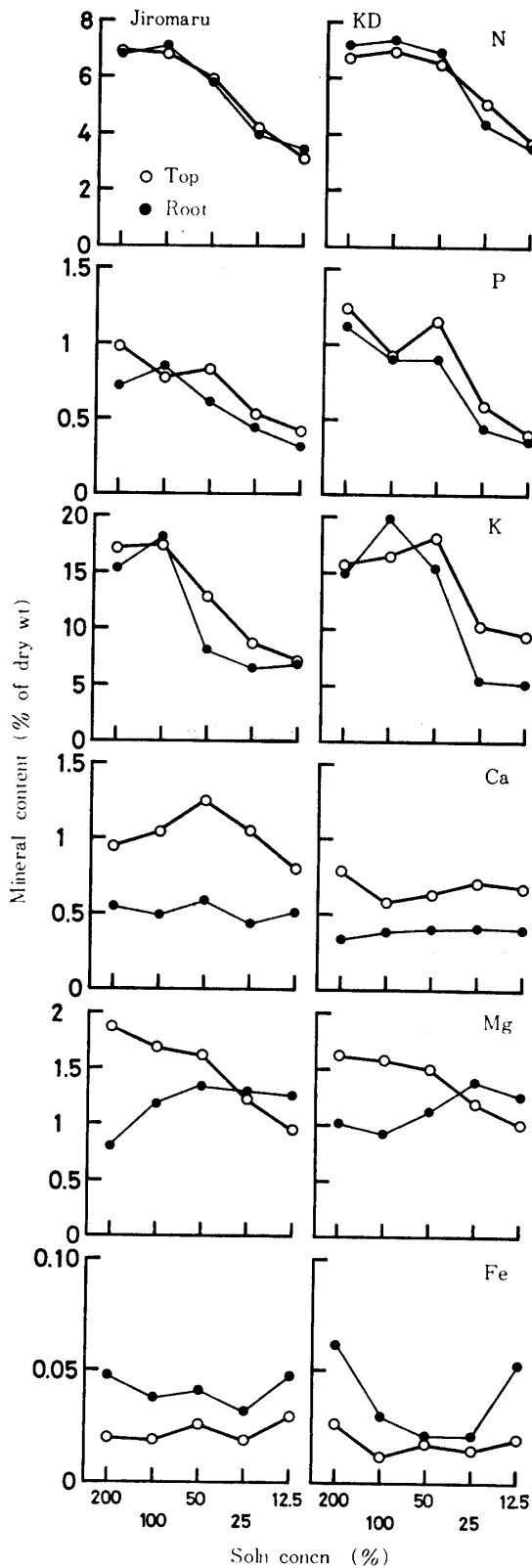


Fig. 4. Effect of solution concentration on mineral contents of spinach

50, 25%区で低かった。

生体中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含有率は第1表に示したように、液濃度の高い区で高かった。含有率の高い液濃度 200, 100, 50% 区と、含有率の低い 25, 12.5% 区との差は大きかった。葉柄は葉身より高い含有率を示した。葉柄の含有率は品種間に大きな差がなかったのに対し、葉身では KD の含有率が次郎丸より高かった。

培養液分析による1株あたりの養水分吸収量を第5図に示す。各区の養水分供給量が異なるため、培養液として与えた量を白棒グラフで、その内ホウレンソウの吸収した量を黒棒グラフで示している。次郎丸では100% 区が最も多くの養分を吸収し、液濃度がそれより高くても低くても吸収量は少なくなった。KD では50% 区が最も多く吸収した。吸水量はこれとはやや異なり、次郎丸では100, 50% 区が最も多く、KD の場合、液濃度の低い場合に多く吸収された。

2 培養液 pH の影響

葉数、最大葉長、最長根長の経過を第6図に示す。両品種とも栽培終了時まで葉数の増加は続いたが、培養液 pH による差はほとんど認められなかった。

最大葉長は次郎丸では pH 5.5 区で大きく、両品種とも pH 5.0 区で小さかった。次郎丸では KD より大きかった。

最長根長は次郎丸では pH 6.0 区で大きく、5.0 区は栽培の初期から他区より小さかった。KD では pH 5.0 区がやや小さかった。

栽培終了時の茎葉部生体重は次郎丸では95%信頼度で各区間に有意差がなく、KD では pH 7.0, 6.0 区に対して5.5 区が低かった。pH 6.0 区以外のいずれの区においても、次郎丸は KD より高かった。

乾燥重は両品種とも pH 5.5 区で低かった。品種間の差はみられなかった(第7図)。

茎葉部の乾物率は次郎丸では pH 6.5 区は10.9%と高かったが、他は8.7~10.1%で差は小さかった。KD では11.6~12.5%の範囲にあり差は小さかった。根部の乾物率には液 pH による一定の影響は認められなかった。両部位とも KD は次郎丸より乾物率が高かった。

茎葉部と根部の、乾燥重あたりの全 N, P, K, Ca, Mg, Fe 含有率を分析した結果を第8図に示す。液 pH が低くなるとともに、茎葉部の Ca, Mg 含有率はわずかに減少し、根部の Fe 含有率は大きく増加した。その他には液 pH の影響は認められなかった。

生体中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  含有率は、次郎丸では葉柄は pH 6.5 区、葉身は6.0 区が、KD では葉柄、葉身ともに6.5 区が最も低く、液 pH がそれより高くても低くても

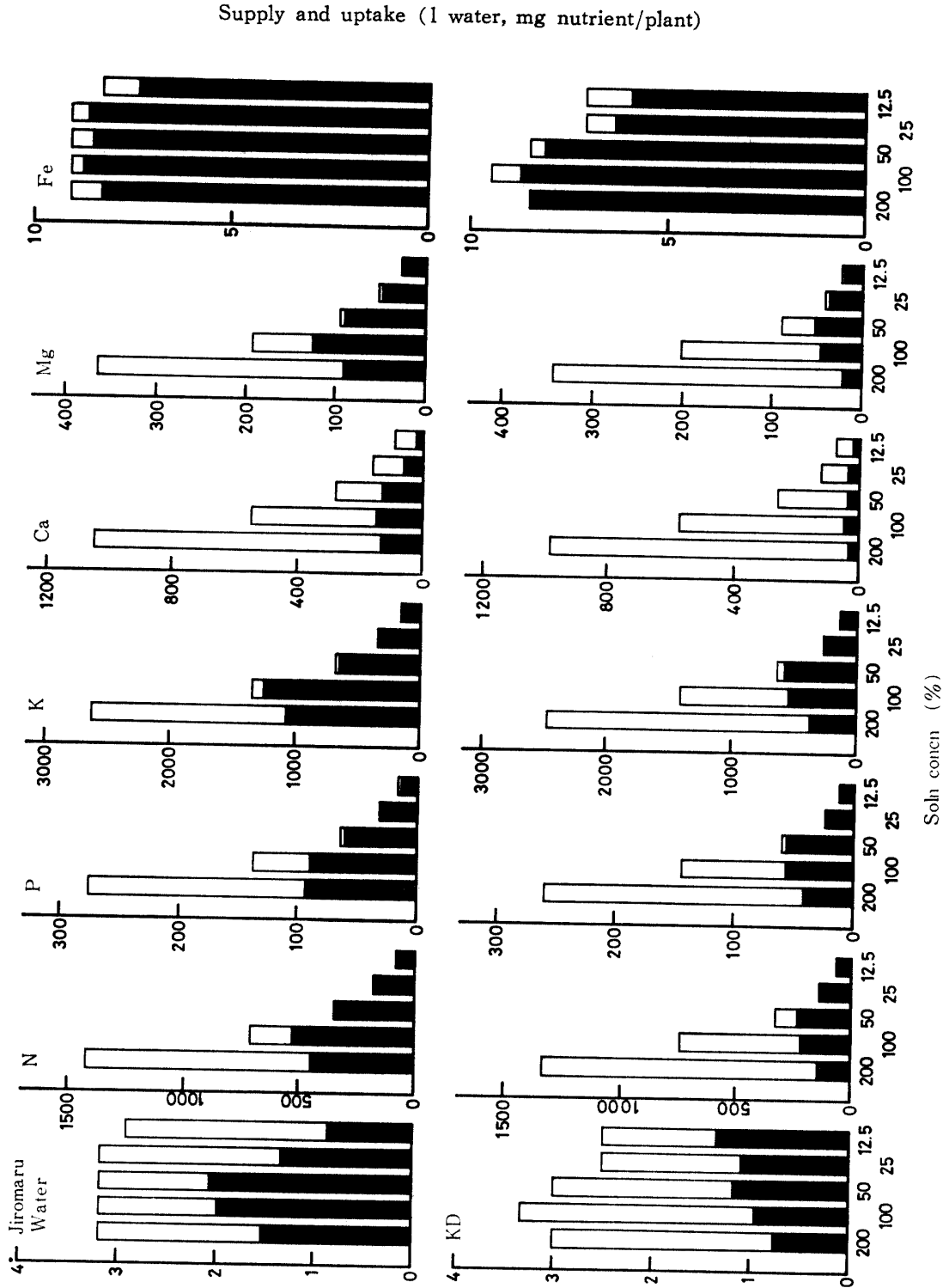


Fig. 5. Effect of solution concentration on water and nutrient uptake by spinach (open histograms represent amount of nutrient supplied, and solid histograms amount absorbed by plants)

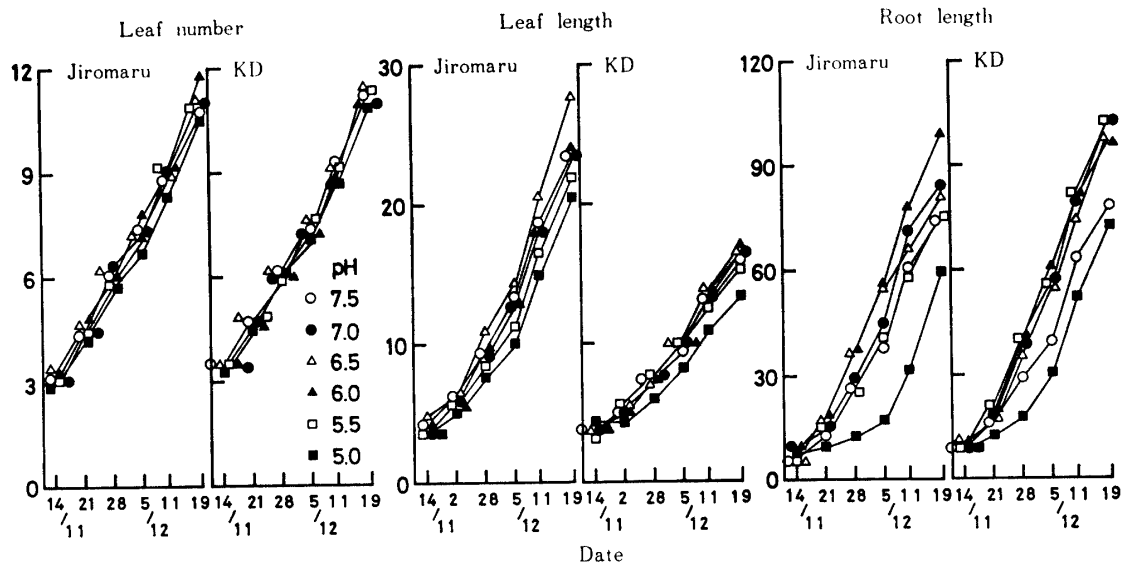


Fig. 6. Effect of solution pH on number of leaves, length of the largest leaf (cm) and length of the longest root (cm) of spinach

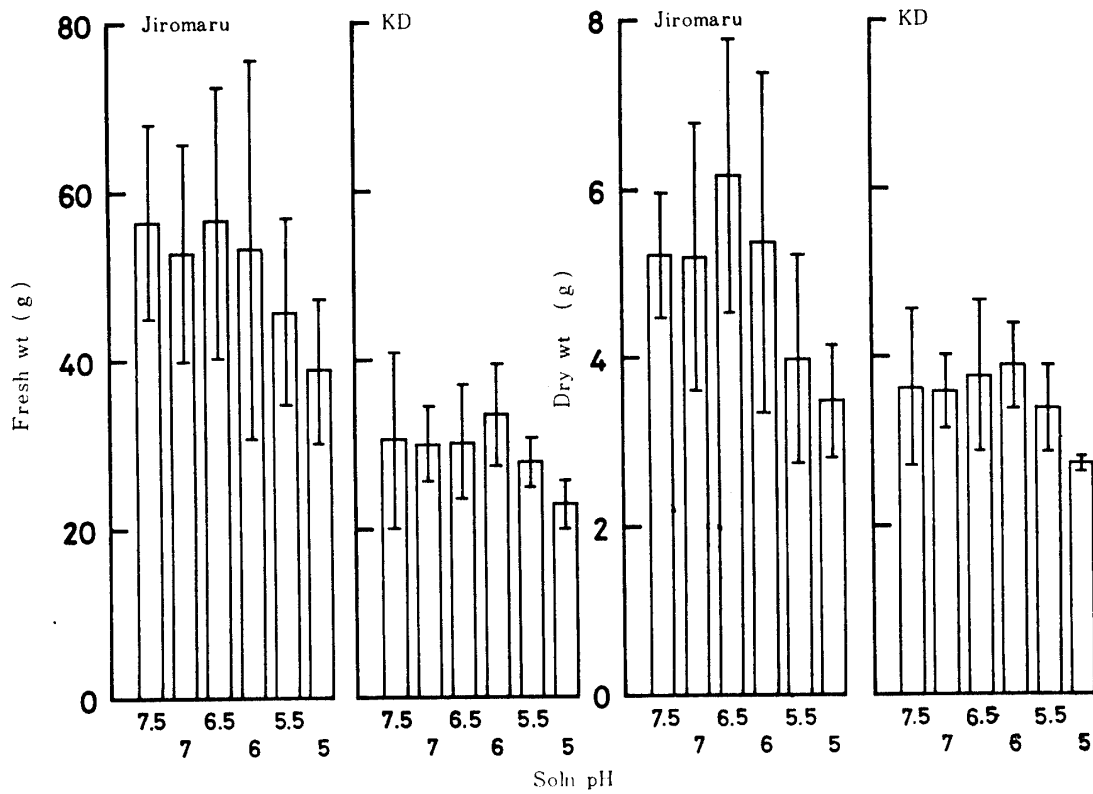


Fig. 7. Effect of solution pH on fresh and dry weights of spinach (vertical bars represent 95% confidence limit)

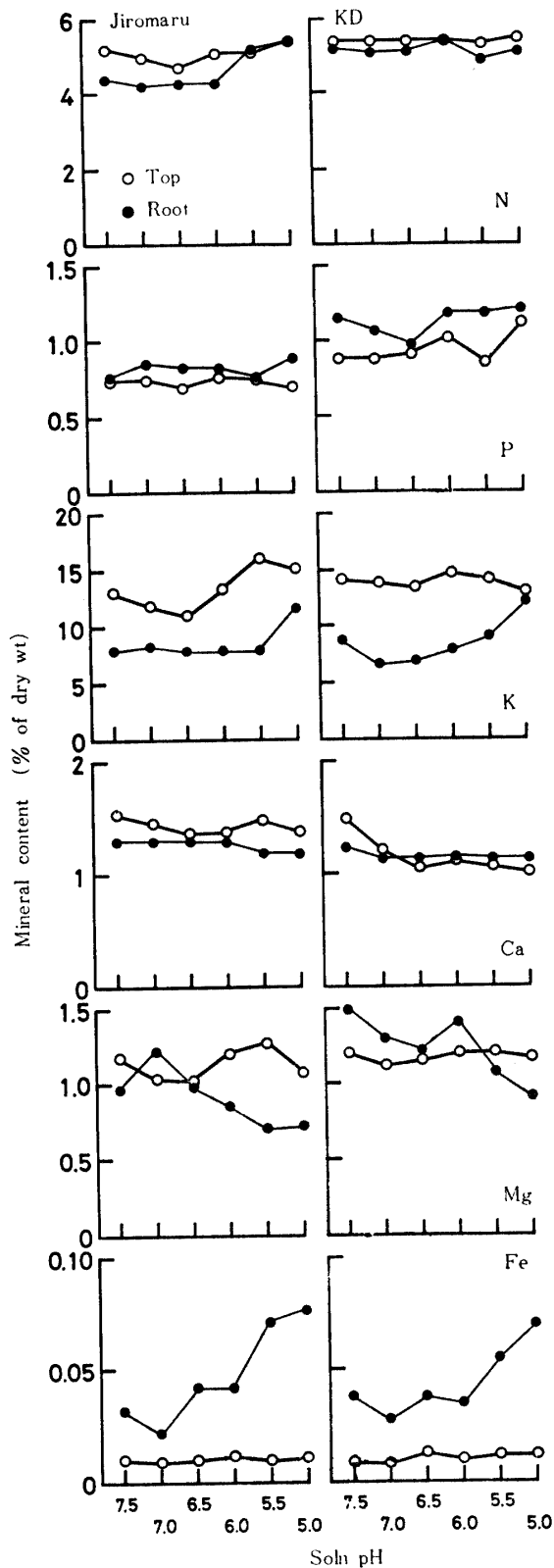


Fig. 8. Effect of solution pH on mineral contents of spinach

も含有率は高くなった。葉柄の含有率は高くて区間の差異は小さく、葉身の含有率は低くて区間に大きな差がみられた (第1表)。

培養液分析による1株あたりの養水分吸収量を第9図に示す。次郎丸ではpH 5.5, 5.0区で特に吸収量の少ない場合が多かった。pH 7.5~6.0の区ではほとんど差がなかった。KDでは液pHが低くなるとともに、Ca, Mg, Fe吸収量が少なくなったが、その他に大きな差異は認められなかった。

栽培中ひんばんに液pHを測定し、所定の値に調整したにもかかわらず、大きな変動がみられた (第10図)。栽培初期よりpH 7.0以上の区では所定のpH値より低く、6.0以下の区では所定の値より高くなる傾向がみられた。栽培の後半には液pHはいったん下降した後、大きく上昇した。

考 察

培養液濃度は次郎丸では園試処方の200~50%が、KDでは100~50%が適当であった。この品種間差異は生育の早さによるところが大きいと考えられ、実際の栽培では季節、培養液の量、培養液追加の方法などによっても多少の違いはあろう。辻ら<sup>4)</sup>は園試処方の50%より100%液で生育が優ったことを報告している。ハウレンソウは生育後期の短時間に多量の養分を吸収し、速やかに生育することが報告されている<sup>5)6)7)8)</sup>。生育段階によって培養液濃度を調節することにより生育を早められるかもしれないし、少なくとも生育後期に培養液濃度が著しく下っていることは避けなければならない。

本実験において植物体無機養分含有率は、液濃度が高くなるとともに高くなることが多く、既報の結果<sup>5)8)9)10)</sup>と一致する値を示すことが多かったが、Maynard<sup>6)</sup>とは異なることが多かった。ハウレンソウは他の軟弱野菜に比し、他の無機養分含有率は高いがCa含有率は特に低いとされている。本実験においてCa吸収量は少なく、栽培終了時、培養液中にCaが多量に残っていた。これらのことより、培養液中のCa濃度を園試処方より低くすることが考えられる。辻ら<sup>4)</sup>によると、園試処方培養液よりも、それからK, Mgを増やし、Caを減らした大阪農技センター処方培養液で栽培した方がハウレンソウの生育は優った。

培養液濃度に関する実験は春に行ったため次郎丸ではほとんどの株に抽苔がみられた。液濃度200~50%の区では生育が早く、抽苔がめだつようになるまでに収穫可能な大きさになっていた。200%区では抽苔は最もおそかった。培養液濃度により生育を早くして、

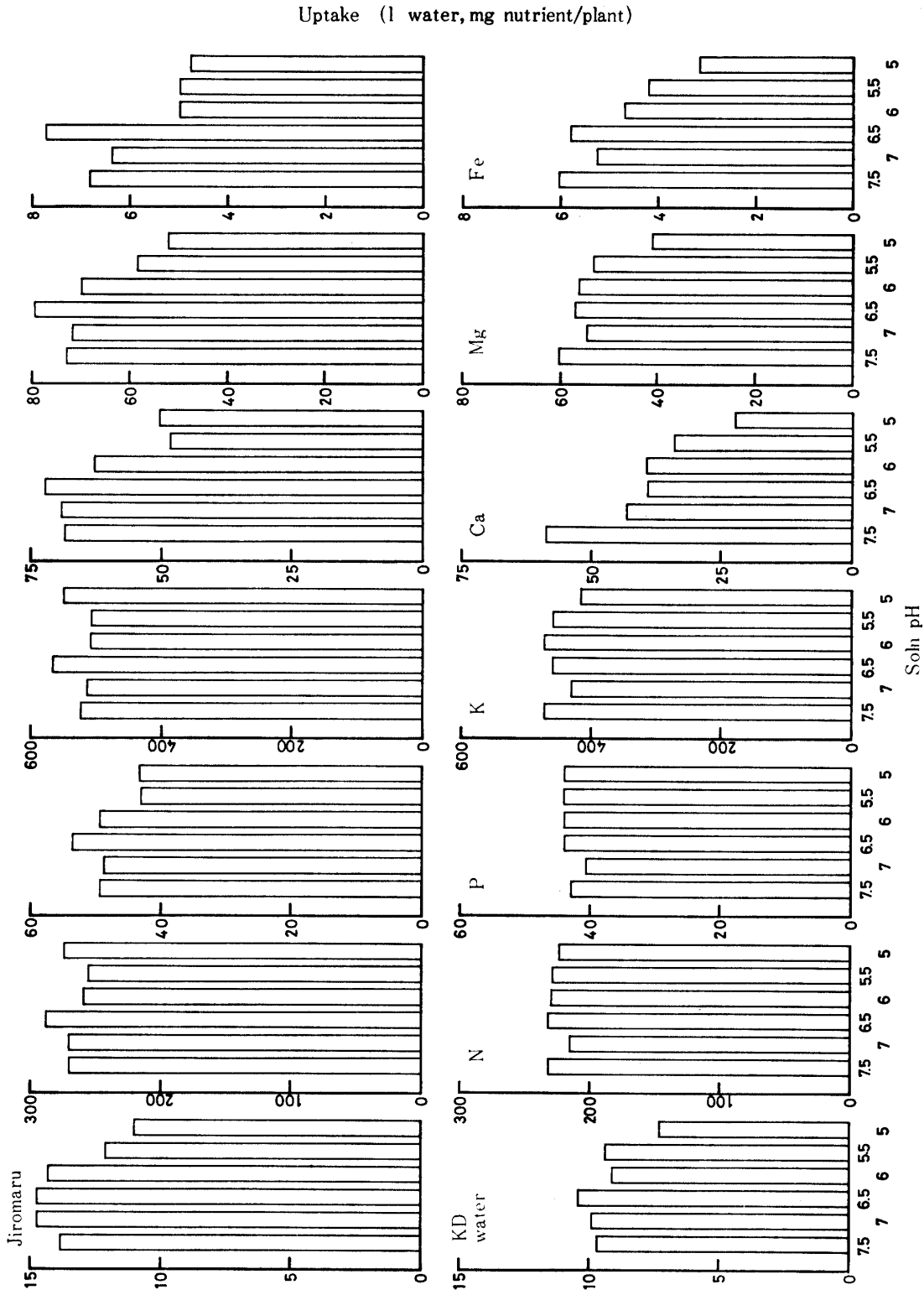


Fig. 9. Effect of solution pH on water and nutrient uptake by spinach



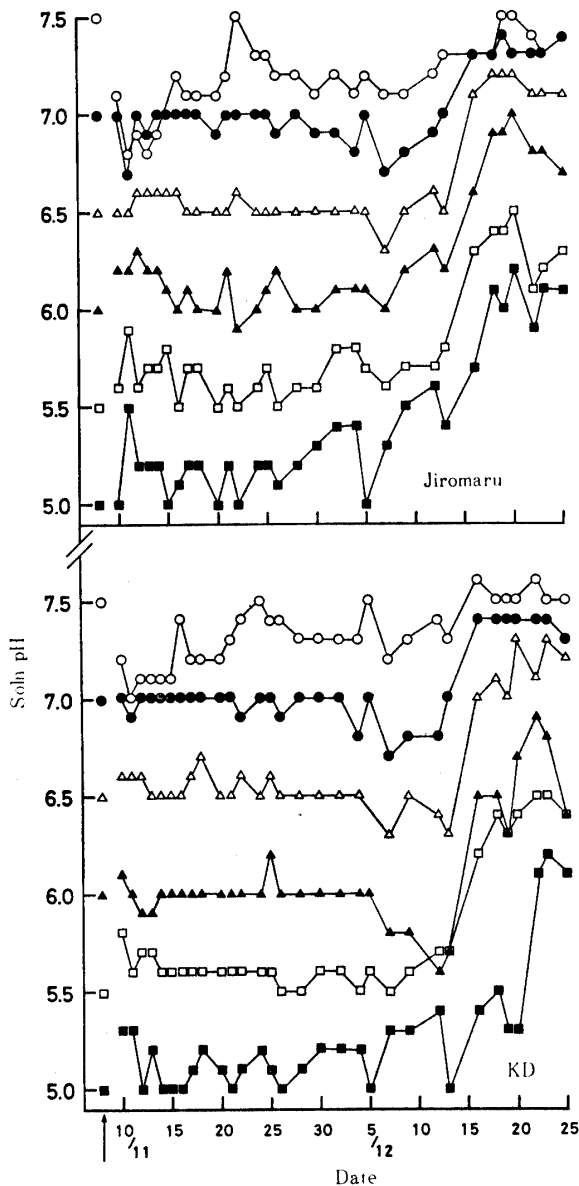


Fig. 10. Changes in solution pH as measured prior to each pH readjustment during growth of spinach (pH was readjusted to the values pointed by the arrow; symbols are same as in fig. 6)

抽苔を避ける試みは、なお種々の環境条件下で調査する必要があり、実験を続行中である。

水耕栽培では広い pH 範囲でそ菜が良好な生育をすることは古くより知られている<sup>11)12)</sup>。ホウレンソウについても、酸性を嫌う土壌栽培の場合と異なり、水耕培養液の pH が 7～5 の間で生育に差のないことが報告されている<sup>4)13)</sup>。植物体無機養分含有率におよぼす液 pH の影響は明確でない場合もあったが、培養液からの養水分吸収量ではそれは明らかであった。即ち、N, P, K の吸収量は液 pH により差がなく、水、

Ca, Mg, Fe 吸収量は液 pH が低い場合に少なくなった。これは広保ら<sup>13)</sup>の結果と一致していた。辻ら<sup>4)</sup>は pH 7 で、広保ら<sup>13)</sup>は pH 8 で Mn 欠乏と思われる葉の黄緑化を認めたが、本実験ではみられなかった。

ホウレンソウは硝酸塩含有率の比較的高いそ菜とされている<sup>14)15)16)</sup>。そ菜中の硝酸塩は多量に蓄積された場合、罐詰のスズ溶出をひき起したり、第二級アミンと結合して発ガン性のニトロソアミンを生成する<sup>17)28)19)</sup>。そのほか、亜硝酸に還元されて大量に摂取された場合、乳児のメトヘモグロビン症をひき起すことがホウレンソウで知られており<sup>20)</sup>、多大の関心が寄せられている。

ホウレンソウの部位による硝酸塩含有率の違いが報告されており<sup>10)17)20)</sup>、著者らの丸葉小松菜についての結果をも参考として分析試料の採取方法を決定した。

水耕栽培による本実験の結果は、土耕のホウレンソウの場合<sup>10)14)16)21)23)24)</sup>に比し高い値を示した。これは、水耕栽培では肥料が常に十分供給され、N 源として硝酸塩を用いていることから当然のことと思われる、栽培に際しては注意を要する問題である。

圃場の N 施肥量がある限度以上にするとホウレンソウの硝酸塩含有率が急激に増加することが報告されている<sup>23)25)26)</sup>。水耕栽培における本実験の結果では、ホウレンソウの硝酸塩含有率が急激に高くなる限界は圃試処方培養液の 50%と 25%の間 ( $\text{NO}_3\text{-N}$  として 8-4 me/l) にあった。第 5 図にみられるように、液濃度の低い区ではベッドに水は多量に残っているにもかかわらず、N は吸収されてしまって残っていない時期があったはずである。したがって、培養液の濃度よりむしろ培養液中に N の存在しないことが、ホウレンソウの硝酸塩含有率を低くしたとも考えられる。いずれにしても、培養液中の硝酸塩の量を制限することにより、ホウレンソウの生育を抑えずに硝酸塩含有率を低くすることは可能だと考えられ、実験を続行中である。

ホウレンソウの硝酸塩含有率は、生育に最も適していると考えられる培養液 pH 6.5～6.0 周辺で栽培した場合に最も低かった。極端に高い pH や低い pH でない限り、培養液 pH の影響は小さいと考えられる。

#### 引用文献

- 1) 堀 裕 (1966) : 蔬菜・花卉のれき耕栽培, 養賢堂。
- 2) 並木隆和・西 新也・小田雅行・高嶋四郎 (1974) : 京府大学報・農, **26**, 37-43.
- 3) McCaslin, B. D., W. T. Franklin and M. A.

- Dillon (1970) : J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol. **16**, 64, 速水昭彦 (1977) : 野菜試研究資料, **3**, 36-49より引用.
- 4) 辻 博美・山田貴義 (1978) : 大阪農技セ研報, **15**, 17-23.
- 5) Zink, F. W. (1965) : Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **87**, 380-386.
- 6) Maynard, D. N. (1970) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **95**, 598-600.
- 7) 岩田正利 (1971) : 農及園, **46**, 1351-1352.
- 8) 平野隆生・前田正男 (1976) : 大阪農技セ研報, **13**, 1-8.
- 9) Greig, J. K., J. E. Motes and A. S. Al-Tikriti (1968) : Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **92**, 508-515.
- 10) 岩井 巖・原 徹夫・園田洋次 (1974) : 土肥誌, **45**, 447-452.
- 11) Arnon, D. I., W. E. Fratzke and C. M. Johnson (1942) : Plant Physiol. **17**, 515-524.
- 12) ——— and C. M. Johnson (1942) : Ibid. **17**, 525-539.
- 13) 広保 正・森田 弘 (1972) : 園学雑, **41**, 287-289.
- 14) 杉山直儀・高橋和彦 (1958) : Ibid. **27**, 161-170.
- 15) Jackson, W. A., J. S. Steel and V. R. Boswell (1967) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **91**, 349-352.
- 16) 岩本喜伴・宮崎正則・国里進三・前田琇子・堀尾嘉友 (1968) : 栄養と食糧, **21**, 47-49.
- 17) Wright, M. J. and K. L. Davison (1964) : Adv. Agron. **16**, 197-247.
- 18) Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minotti and N. H. Peck (1976) : Ibid. **28**, 71-118.
- 19) 安田 環 (1977) : 野菜試研究資料, **3**, 1-35.
- 20) Anonymous (1966) : Brit. Med. Jour. 1966, 250-251.
- 21) 畑 明美・緒方邦安 (1969) : 栄養と食糧, **22**, 644-648.
- 22) 矢沢 進・田中寛幸・並木隆和・小島洋一・高嶋四郎 (1978) : 園芸学会昭和53年秋研究要旨, 236-237.
- 23) Barker, A. V., N. H. Peck and G. E. MacDonald (1971) : Agron. J. **63**, 126-129.
- 24) ———, D. N. Maynard and H. A. Mills (1974) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **99**, 132-134.
- 25) Regan, W. S., V. N. Lambeth, J. R. Brown and D. G. Blevins (1968) : Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **93**, 485-492.
- 26) Cantleffe, D. J. (1972) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. **97**, 152-154.

### Summary

Spinach cvs Jiromaru and King of Denmark were watercultured with the modified Hoagland soln of varying concn ranging 12.5 through 200%, or of varying pH ranging 5.0 through 7.5, and the growth and the yield were determined.

Soln concns of 50-200 and 50-100% resulted in high yield and nutrient uptake of Jiromaru and King of Denmark, respectively. For both cvs, N, P and K contents of the plant parts were high with high soln concns. Ca and Fe contents did not respond to soln concn. Mg content was high in the top and low in the root, with high soln concns.

Soln pH did not affect growth nor yield significantly, except for pH 5.0 with which yield was poor. While N, P and K uptake was not affected by soln pH, Ca, Mg and Fe uptake was restricted by low soln pH. It did not affect mineral contents of the plant parts appreciably.

Nitrate content of the leaf was considerably high with soln concns above 50%, in contrast to the low content with soln concn below 25%. It was lowest with soln pH around 6.5, but higher with other soln pH.