

ポーラスカップを用いた土壌診断技術の開発について

古山 賢治・宗林 正・伊藤 純雄*・荒木 浩一*

Development for Soil Diagnosis using the Suction Method.

Kenji KOYAMA, Tadasu SORIN, Sumio ITOH and Koichi ARAKI

結 言

作物に対する施肥量は各作物の養分吸収量を基に、土壌診断により前作の肥料残存量を求め、さらに肥料の利用効率を考慮してその算出がなされている。しかし、このように算出された施肥量はあくまでも作物生育期間中の施肥総量にすぎないから、作物の生育に応じた適正な施肥管理についての指針は別に求めなければならない。

伊藤¹⁾は現在実施されている土壌診断に基づいて基肥の有効化の状況や、追肥の必要性の有無を正確に判定することは、実用上、困難であるとしている。また、木下⁴⁾らは土壌の有効態養分としては、従来より塩基については置換態のものを指し、他の養分のリン酸や微量元素などは酸またはアルカリ溶媒で溶出するものを指しているすう勢にあるが、これらの養分が作物の養分吸収からみてより直接的関係にあるかは、検討の余地があり、土壌中において作物の養分吸収に対して有効度の最も高い形態の養分は、土壌溶液に存在するものであるとしている。筆者も上記同様、作物の生育は土壌溶液の濃度、組成と関係が深く、栽培現場土壌の土壌溶液の実態を把握することにより、より適正な施肥管理指針が作成されるものとする。

土壌溶液に関する研究については従来よりかなり行われており、溶液採取法の総説としては山崎¹⁰⁾らの報告がある。一般によく用いられる採取法は圧膜法、遠心法であり、圧膜法では嶋田⁷⁾の報告が、遠心法では東海近畿農業試験場⁹⁾の報告がある。しかし、両方とも畝からの採土を必要とするため、根部環境の破壊を

きたし、施肥と作物生育との関連を連続して試みる事ができない。

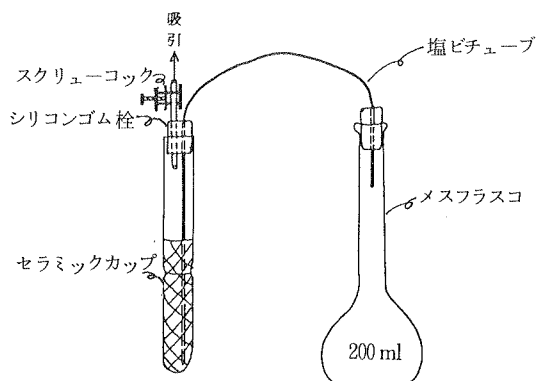
そのため本試験では非破壊法として、テンシオメーターに使用するポーラスカップを用いた吸引法について、遠心法および土壌診断法の重量(1:5)浸出との比較を行った。さらに、吸引法で採取した土壌溶液の濃度、組成の変動に対するコマツナの生育応答について調査した。以上の成果を下記にとりまとめ報告する。

材料および方法

実験Ⅰ 吸引法および遠心法による採取液濃度の比較

現在のところ吸引法の使用例が数少ないため、吸引法による採取液と遠心法による採取液とが一致するかどうか検討した。

本試験に用いた吸引装置は第1図のとおりである。



第1図 溶液採取装置

* 野菜試験場・施設栽培部

土壌は奈良農試水田心土(清武統・灰色低地土)を用いた。土壌はCEC 10.0me/100 g、Ca 4.6me/100 g、Mg 0.9me/100 g、K 0.1me/100 gである。土壌溶液採取にあたり希硝酸液の土壌処理を次のように行った。すなわち、風乾土 1kgに対し希硝酸 350 ml (飽和容水量の70%相当)を添加し、よく混和した後、5℃定温で一昼夜放置した。なお、添加した希硝酸液の濃度は1ℓ当たり、0me、0.1me、0.3me、1.0me、3.0me、10.0me、30.0me、100.0meである。溶液採取は吸引法および遠心法で行った。吸引法は上記調整土 1kgをビニール袋に詰め、ポーラスカップを土塊中央にそう入した後、電動吸引ポンプにより2分間、吸引を行い、6時間後、約200 ml/kg土の溶液を採取した。遠心法は調整土をコアーに充てんし、pF 1.5～pF 3.6の土壌溶液、約200 ml/kg土を採取した。採取液は直ちに分析に供し、pH、電気伝導度(EC値)の測定を行った。

実験II 含水比を異にする土壌溶液の濃度、組成比較

飽和容水量以下の土壌溶液と現在、実施されている重量(1:5)浸出による浸出液の濃度、組成との相関について検討した。

土壌は実験Iと同様、奈良農試水田心土を用いた。含水比をかえるため、風乾土(水分4%含有)1kg当たり、脱塩水を200 ml、250 ml、300 ml、350 ml、400 ml、500 ml、2000 ml、2500 ml、5000 ml添加した。なお、脱塩水添加量200 ml区は吸引限界含水量に、同500 ml区は飽和容水量に、同5000 ml区は重量(1:5)浸出含水量に相当する。水分調整済み土壌を室温で6時間放置し、吸引法で溶液採取を行った。採取液は直に下記のごとく分析に供した。

- EC : 東亜電波(CM-6A) ECメーター
- NO₃-N : フェノール硫酸法
- Ca・Mg : 原子吸光光度法
- K・Na : 炎光光度法

また、供試土のカリ供給能についてはカリの石灰・苦土に対する活動度比(AR^K)で表わした。AR^Kについては次式により求めた。

$$a = -\log \frac{Z^2 \cdot 0.509 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \quad (25^\circ\text{C})$$

Z = イオンの原子価

μ = イオン強度

$\frac{aK}{\sqrt{a(Ca + Mg)}}$ を負の対数Pでおきかえ

$$AR^K \rightarrow pK - \frac{1}{2} P (Ca + Mg)$$

一方、溶液中の硝酸イオンおよび陽イオン総量については山崎¹⁾の提唱する算出法に基づいて求めた。すなわち、各イオン総量は土壌の水分含量と土壌溶液中の各イオン濃度の積で表わした。

実験III ポーラスカップのリン酸吸着について

吸引法に用いるポーラスカップは材質により、リン酸吸着がみられ、カップのリン酸吸着が採取液のリン酸濃度に及ぼす影響について検討した。また栽培現場において溶液採取を繰り返すことにより、カップに鉄および塩基類が付着してリン酸吸着すると考えられるため、あらかじめ希塩酸処理をしたカップについて上記同様、リン酸吸着について検討した。

市販されているDIKカップとCCカップについてリン酸吸着量を調べた。カップのリン酸吸着量については、リン酸濃度既知液に両カップを浸漬し、吸引を繰り返して行い、リン酸濃度既知液の濃度低下度合より求めた。吸引方法は1回吸引液量を4～10mlとし、計5回実施し、約50mlのリン酸液を採取した。採取液は直ちにリン酸の分析に供した。リン酸の分析についてはモリブディックブルー、アスコルビン酸比色法で行った。またカップの希塩酸処理としては1:10塩酸液にカップを24時間浸した後、脱塩水で塩素反応がなくなるまでカップの洗浄を行った。

実験IV 土壌溶液濃度に対するコマツナの生育応答

吸引法による土壌溶液診断法の有効性をみるためコマツナの栽培試験を行った。施用液肥の濃度変化に伴う土壌溶液の濃度・組成変動を調査し、同時にコマツナの生育および養分吸収に及ぼす影響をみた。

発泡スチロール箱(たて35cm・よこ42cm・深さ19cm)に用土20ℓを詰め、丸葉コマツナを5月18日に180粒/箱、播種した。さらに液肥をかん水しつつコマツナの栽培を行い、6月14日に最後の収穫をした。土壌は野菜試験場、武豊土壌(矢田統・黄色土)を用いた。土壌はCEC 7.4me/100 g、Ca 2.4me/100 g、Mg 0.4me/100 g、K 0.4me/100 gである。栽培に際し土壌を次のように調整した。すなわち、原土に対し鎌田³⁾の提唱する塩基バランス(塩基飽和80%、うちCa50%、Mg20%、K10%の比率)に適合するように、原土100g当りCaO 36mg、MgO 20mg、K₂O 17mgをそれぞれ不

足分を炭酸塩で添加した。リン酸は $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ で P_2O_5 20mg/100 g 添加した。

コマツナに対する施用液肥の濃度・組成は、コマツナの成分吸収量および吸収割合より山崎¹²⁾の算出法に基づき次の様に求めた。N : K : Ca : Mg = 14 : 7 : 5 : 2、とし濃度はNについて1 l 当たり14meであり、使用肥料はすべて硝酸塩である。また液肥の施用方法としては、コマツナの本葉2枚展開まで、全区ともN 14me/l とし、本葉3~4枚展開以降、液肥濃度をNO me/l、N14me/l、N28me/l の3レベルに変化させた。試験区はI区：N14me/l - N14me/l、II区：N14me/l - N28me/l、III区：N14me/l - NOme/l の3区を設け、3反復とした。なお施用液肥量は前日の蒸散減量より求め、毎日かん水代わりに施用した。

コマツナの生育調査は、2日毎に間引きを行い、草丈、展開葉数、地上部生体重、同乾物重を調査した。土壌溶液採取については、箱中央にポーラスカップを埋設し、3日毎に電動吸引ポンプにより吸引を行い、採取液は直ちに分析に供した。分析項目および方法は実験IIと同様である。コマツナの養分吸収量については主に地上部窒素吸収量を調べた。植物体全窒素の分

析はトーマス法により窒素分解を行い、インドフェノール法により窒素定量を行った。

結 果

実験I 吸引法および遠心法による採取液のEC値は第1表に示したとおり、硝酸濃度を変えてもほぼ同一の値を示した。また、添加硝酸液と採取液のpH、EC値は大きくずれる傾向にあった。

実験II 含水比を異にした溶液のEC値、硝酸イオンおよび全陽イオンの濃度と総量は第2表に示したとおりである。脱塩水500 ml 添加(飽和容水量相当)の場合、脱塩水5,000 ml (重量1 : 5 浸出液相当)の場合に比べ、EC値で5.8倍、硝酸イオン濃度で7.5倍、全陽イオン濃度で8.1倍とそれぞれ高い値を示した。また、硝酸イオン総量および全陽イオン総量は含水比が増すほど、増加する傾向がみられた。溶液のカチオン・アニオンバランスについては含水比を変化させた場合、ほぼ1 : 1 に保たれていた。一方、供試土壌のAR^hについては第2図に示したとおり含水比を変化させた場合、一定値を示した。

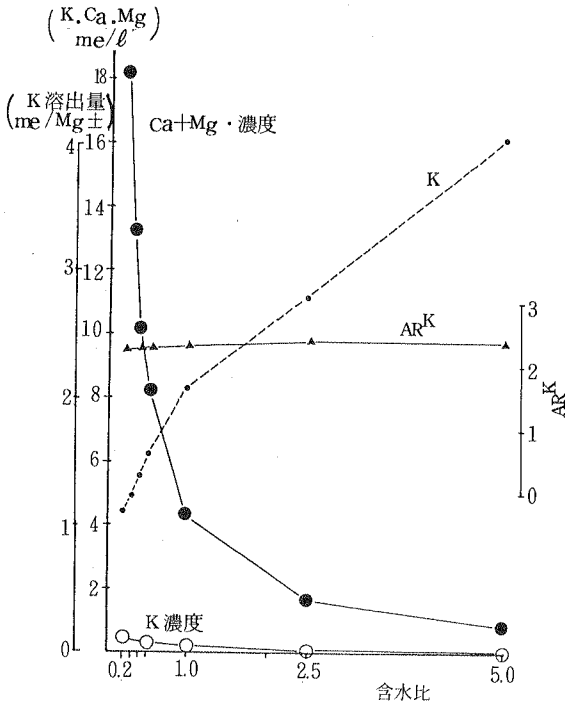
第1表 吸引法および遠心法による採取溶液のEC、pH

	HNO ₃ me/l	0	0.1	0.3	1	3	10	30	100
溶 液 EC ms/cm	添加硝酸液	0	0.05	0.15	0.47	1.20	3.80	11.50	35.00
	吸引法採取液	1.89	1.87	1.85	1.94	2.07	2.58	4.20	8.90
	遠心法採取液	1.89	1.78	1.82	2.00	2.05	2.60	4.05	8.90
溶 液 pH	添加硝酸液	—	3.6	3.2	2.9	2.6	2.3	1.9	1.3
	吸引法採取液	5.2	5.2	5.2	5.2	4.9	4.5	4.0	3.1

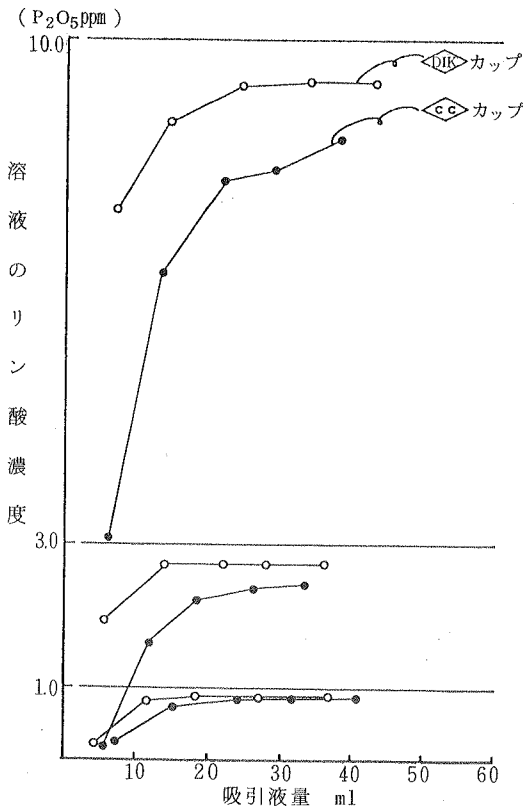
第2表 吸引法および重量浸出法による採取液の濃度・組成比較

水/土	EC ms/cm	ΣCa. Mg. K. Na. me/l	NO ₃ -N me/l	ΣCa. Mg. K. Na. 溶存me/kg土	NO ₃ -N 溶存me/kg土
5.0	0.20	1.21	1.26	6098 (116)	6350 (124)
2.5	0.34	2.23	2.26	5664 (108)	5740 (112)
1.0	0.68	5.32	5.16	5533 (105)	5366 (105)
0.5 (飽和容水量)	1.16	9.75	9.48	5265 (100)	5119 (100)
0.4	1.40	12.01	11.06	5284 (100)	4866 (95)
0.35	1.53	13.62	12.39	5312 (101)	4832 (94)
0.3	1.70	15.37	13.80	5226 (99)	4692 (92)
0.25	1.90	17.33	16.01	5026 (95)	4642 (91)
0.2 (吸引限界量)	2.23	20.79	19.55	4990 (95)	4668 (91)

() 飽和容水量に対する比率

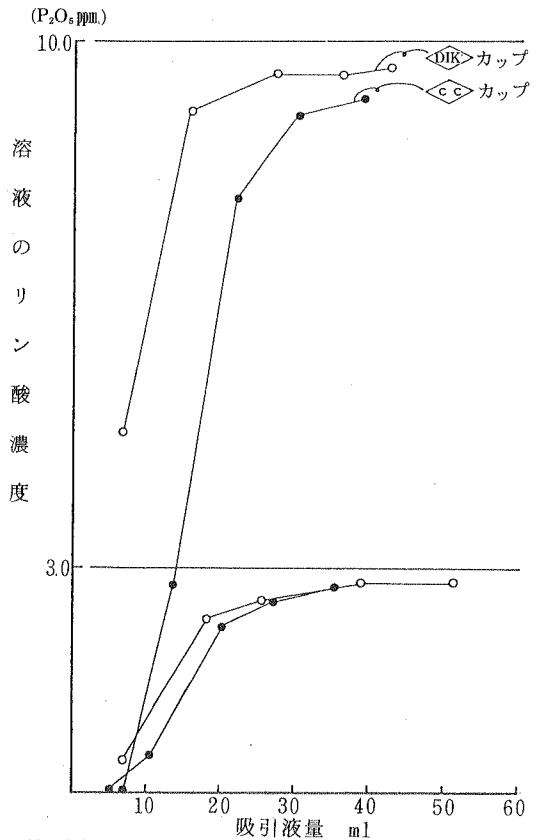


第2図 Kの供給量および活動度係数AR^K



第3図 ポーラスカップによる吸引溶液中のリン酸濃度の変化

実験III ポーラスカップのリン酸吸着による採取液のリン酸濃度に及ぼす影響については第3図に示すとおり、採取液のリン酸濃度はDIKカップに比べCCカップの場合、常に低い値を示した。とくにリン酸濃度を1ppmから10ppmへと濃くするほど、CCカップの場合採取液のリン酸濃度が著しく低下した。一方、希塩酸処理をしたカップのリン酸吸着による採取液のリン酸濃度に及ぼす影響については第4図に示すとおり、CCカップの場合、希塩酸処理前に比べ希塩酸処理により採取液のリン酸濃度が高まる傾向にあった。

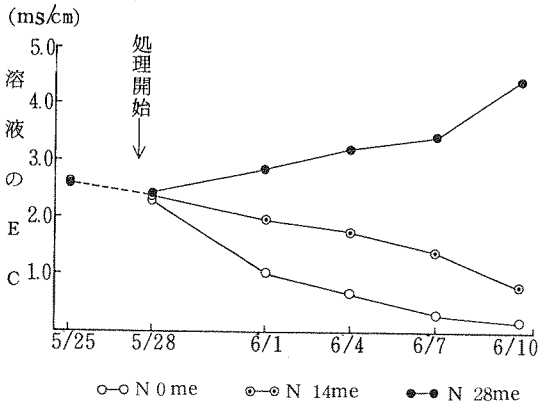


第4図 ポーラスカップ(HCl処理)による吸引溶液中のリン酸濃度の変化

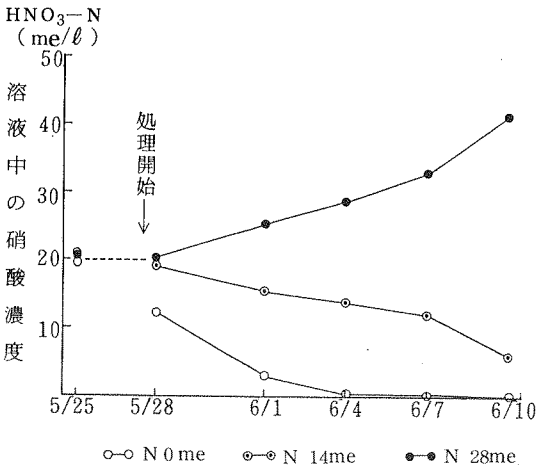
実験IV 液肥施用に伴う土壤溶液のEC値および硝酸イオン濃度の変動を第5図、第6図に示した。EC値の変動については液肥濃度切替え直後より各処理区の差が明らかに認められた。I区(N14me/l - N14me/l)およびIII区(N14me/l - NOme/l)では液肥濃度切替え直後より溶液のEC値の低下がみられ、とくにIII区では液肥濃度切替え後、1週間でEC値が急激に低下した。一方、II区(N14me/l - N28me/l)では、I区、III区とは逆に溶液のEC値が上昇しており、液肥濃度

切替え後2週間で約1 ms/cm高くなっていた。

溶液の硝酸イオン濃度の変動については、3区とも溶液のEC値変動と酷似のパターンを示した。

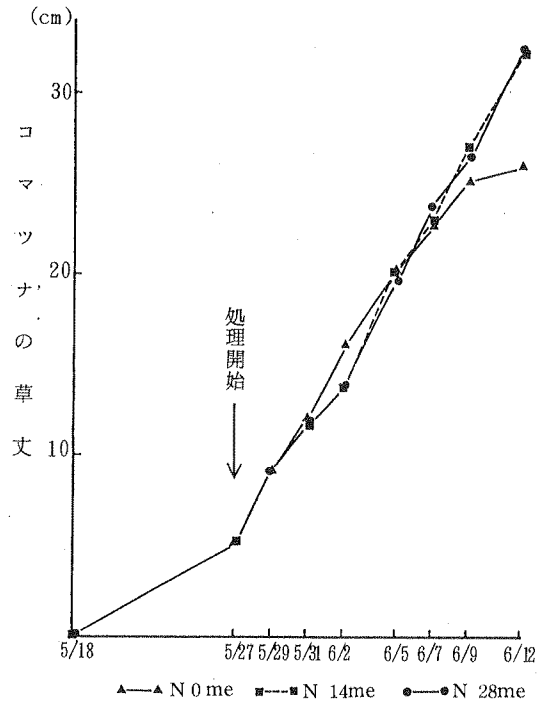


第5図 液肥濃度の切り替えに伴う土壌溶液のEC変化

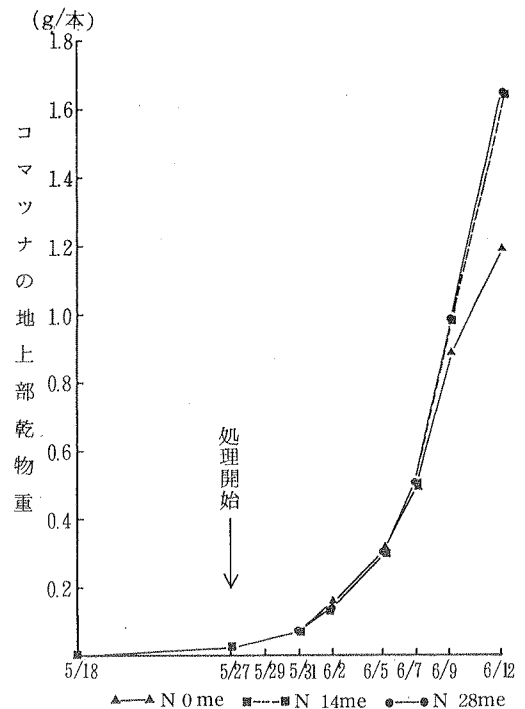


第6図 液肥濃度の切り替えに伴う土壌溶液の硝酸濃度の変化

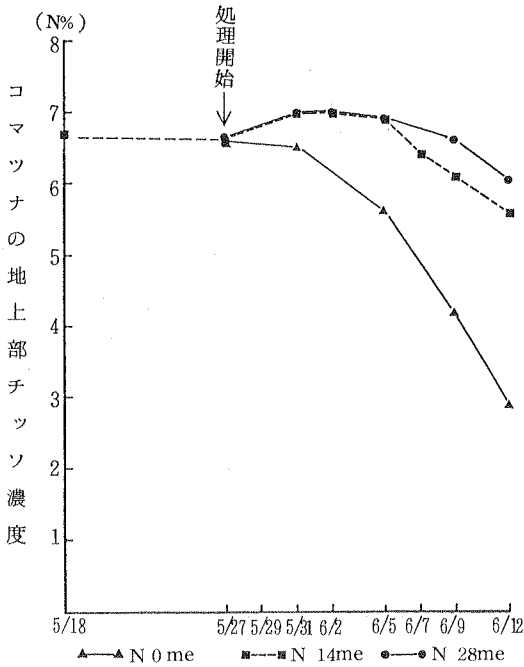
液肥濃度切替えに伴うコマツナの生育(草丈、地上部乾物重)については第7図、第8図に示したとおり、液肥濃度切替え後の数日間は、各処理区の差が判然とせず、10日以降において、I区、II区とIII区との生育差がみられた。しかし、I区とII区との生育差は液肥濃度切替え後、2週間以降においても判然としなかった。一方、肉眼観察による葉色の相違については生育調査結果と異なり、I区、II区とIII区との葉色の濃度差が観察できたのは液肥濃度切替え後、2週間目であった。



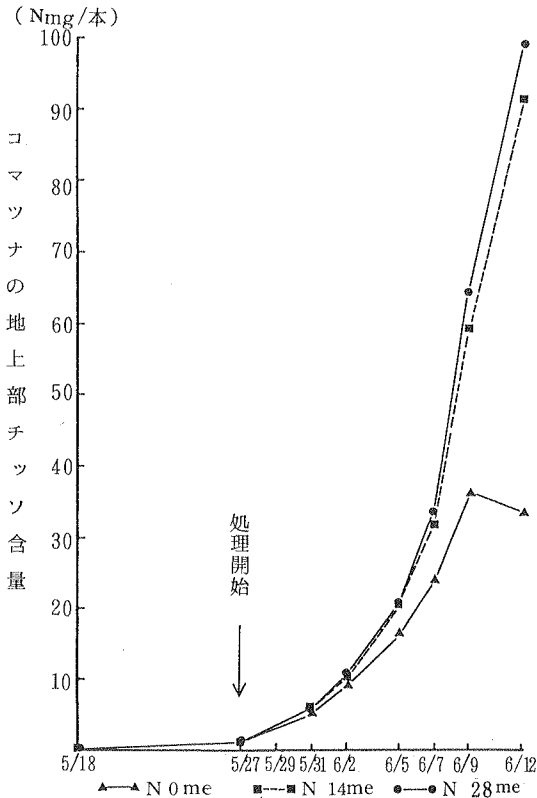
第7図 溶液の濃度変化に伴うコマツナの草丈の変化



第8図 溶液の濃度変化に伴うコマツナの地上部乾物重の変化



第9図 溶液の濃度変化に伴うコマツナの地上部チッソ濃度変化



第10図 溶液の濃度変化に伴うコマツナの地上部チッソ含量の変化

液肥濃度切替えに伴うコマツナの地上部窒素濃度および含量の変化については第9図、第10図に示したとおりであり、液肥濃度切替えによりⅢ区では切替え直後より地上部窒素濃度および吸収量が明らかに低下するのがみられた。一方、Ⅰ区とⅡ区の地上部窒素濃度および吸収量の差がみられたのは液肥濃度切替え後、10日以降においてであり、しかも両者の差はわずかであった。

考 察

ポラスカップにより吸引採取した土壤溶液と遠心法により採取した土壤溶液のEC値、pHがほぼ一致しており、鈴木⁸⁾も磁製フィルター管法と遠心法を用い同様の試験を行い、その結果、採取液の硝酸イオン濃度が両方ともほぼ同一の値を得ていることなどから、吸引法による採取液と遠心法による採取液は同一のものであると考えられる。吸引法は通常、pF 3.0以下に水分管理されている栽培圃場の土壤溶液を連続して採取できるが、伊藤⁹⁾の開発したECセンサーを吸引法と併用することにより、栽培現場土壤の土壤溶液の濃度・組成をより迅速に測定することが可能である。

土壤溶液の濃度と土壤の水分含量との間には反比例の関係が成立すると山崎¹¹⁾は報告しているが、本試験の結果では脱塩水添加 200 ml (吸引限界含水量) から同添加 500 ml (飽和含水量) 間の含水比の小さい場合に、溶液濃度と含水量との間に反比例の関係がみられ、同添加 5,000 ml の含水比の大きい場合には同様の関係が認められなかった。また、溶液中の硝酸イオンおよび全陽イオン総量は含水比が大きくなるほど、増加する傾向がみられ、従って、土壤診断による重量(1:5)浸出の場合、栽培現場の土壤溶液に溶存する硝酸イオンおよび全陽イオン総量に比べ多く見積ることになる。

岡島⁵⁾は一般に土壤溶液中のカチオン・アニオンバランスが1:1に保たれており、さらに畑状態においては施与窒素に由来する硝酸イオンがアニオンの大半を占め、この硝酸イオン濃度により固相養分であるカチオンの放出濃度が規制されていると報告している。本試験においても含水比を変化させた場合に、採取液のカチオン・アニオンバランスがほぼ1:1に保たれており、しかもアニオンの主体が硝酸イオンであることを確認した。

土壤の溶出カリと石灰・苦土との関係については、岡島⁶⁾は降雨または乾燥によって土壤溶液中のカリが

希釈されたり、濃縮されたりしてもカリの行動は AR^k 値に律せられて変化するとしている。含水比を変化させた場合に、奈良農試水田心土の AR^k はほぼ一定値を示し、岡島の報告と同様の結果を得た。

一方、吸引法は吸引カップの材質により、リン酸吸着がみられ採取液のリン酸濃度の低下が考えられる。本試験ではDIKカップおよびCCカップともにリン酸吸着がみられ、採取液のリン酸濃度が低下することを確認した。鈴木⁹⁾もポリエチレン製と磁製のフィルター管について、リン酸吸着の試験を行っており、その結果、磁製フィルター管について、カップのリン酸吸着による吸引液のリン酸濃度が低下することを認めている。以上のことから吸引カップの材質により、リン酸吸着がみられ採取液のリン酸濃度が明らかに低下する。とくに採取初期の液においてその影響が大きい。従って、ポーラスカップを用いた吸引法を栽培現場で使用する場合、採取初期の液を数10ml程度棄てた後、再び溶液採取を行うほうがよいと考えられる。また、希塩酸処理をしたカップの場合、吸引液のリン酸濃度が無処理カップに比べ明らかに高まっており、従って現場で数回使用したカップについてはカップに付着している鉄および塩基類の塩酸洗浄効果が十分期待できる。

吸引法による土壌溶液診断法の有効性をみるため、施用液肥の濃度を変化させ、それに伴う土壌溶液の濃度・組成の変動とコマツナの生育および養分吸収量の違いについて調査した結果、液肥濃度の変化に伴う土壌溶液の濃度・組成の変動は比較的速やかに現われ、しかも液肥濃度の差が土壌溶液濃度の差として明確に反映していたのに対し、コマツナの生育応答が液肥濃度切替え後、10日以上遅れることが認められた。従って施肥による作物の生育コントロールを行うにあたり、地上部生育診断よりも土壌溶液診断のほうが先行する指標になるものと考えられる。以上のことから吸引法による土壌溶液診断法の有効性が十分認められる。しかし、土壌溶液管理を適正に行うためには問題点も多い。伊藤¹⁾が指摘しているように通常、土壌は水耕液に比べ不均一な状態にあるのが特徴である。従って畝よりポーラスカップを用いて土壌溶液の採取を行う場合、作物生育に最も影響を及ぼす根圏域にカップを埋設する必要がある。今後、その適正なカップの埋設位置の設定をどう検討するか、また管理の異なる露地、マルチ被覆、ハウス内等土壌やかん水管理を異にした作畝土壌に対する適正な土壌溶液管理のあり方などが問題点としてあげられる。

摘 要

ポーラスカップを用いた吸引法について溶液採取法の検討を行い、また、吸引法による土壌溶液診断の有効性をみるため土壌溶液濃度に対するコマツナの生育応答をみた。

1. 吸引法と遠心法による土壌溶液の比較を行ったが、採取液の濃度がほぼ一致することを認めた。

2. 含水比を変えた場合、含水量が多いほど溶存イオンの総量が多い傾向があった。

3. 採取液のカチオン・アニオンバランスがほぼ1:1に保たれており、アニオンの主体は硝酸イオンであった。

4. 含水比を変えると溶液中の陽イオンの存在割合が大きく変化したが AR^k はほぼ一定に保たれた。

5. ポーラスカップのリン酸吸着による採取液のリン酸濃度低下がみられ、とくに採取初期の数mlにその影響が大きかった。吸引法の現場使用においては、安全性をみて採取初期の液数10mlを破棄した後、再び溶液採取を行うほうが望ましい。

6. 土壌溶液濃度の変化に対しコマツナの生育応答が10日以上遅れることが認められた。施肥による作物の生育コントロールをする場合の指標としては地上部生育診断よりも土壌溶液管理のほうが先行すると思われる。

引 用 文 献

1. 伊藤純雄 1982: 土壌溶液組成の動態測定法と野菜の養分管理. 野菜試研報 A10: 169 - 184.
2. 伊藤純雄・湯村義男 1977: ECセンサーによる電気伝導の現場連続測定法. 土肥誌 48: 59 - 60.
3. 鎌田春海 1982: 野菜栽培土壌の診断基準. 土肥誌 53(1): 66.
4. 木下彰・小浜節雄 1965: 畑土壌の養分有効性に関する土壌溶液論的研究(第1報). 土壌溶液の濃度・組成に対するアンモニア態窒素肥料の化学形態の影響. 土肥誌 36(5): 125 - 129.
5. 岡島秀夫・今井弘樹・牧田規子 1974: 土壌の養分供給能に関する研究(第3報). 硝酸化成にともなう固相養分の放出について. 土肥誌 45(8): 389 - 394.

6. 岡島秀夫・松中照夫 1972: 土壌のカリウム供給力測定としての AR^k 、 PBC^k の評価(その1)、 AR^k について. 土肥誌 43(11): 409 - 416.
7. 嶋田永生・武井昭夫 1964: そ菜類の窒素施肥に関する基礎的研究(第1報). そ菜畑の土壌溶液について. 愛知園試研報 3: 49 - 65.
8. 鈴木大助 1983: 土壌中の水および空気採取用フィルター管の開発. 土肥誌 54(3): 253 - 254.
9. 東海近畿農業試験場 1972: 土壌溶液に関する研究. 東海近畿農業試験場試験研究成績書、昭和47年2月 111 - 128.
10. 山崎慎一・木下彰 1970: 土壌溶液に関する研究. 総説. 北海道農業試験場報告 96: 54 - 96.
11. 山崎慎一 1971: 毛管水領域(土壌溶液中)における養分の挙動. 土壌の物理性 24: 7 - 13.
12. 山崎青哉 1982: 養液栽培全編 34 - 42. 博友社.

Summary

Collecting method of soil solution with the ceramic cup, and growing responses of 'Komatsuna' to the several concentrations of solution were studied.

1. Electric conductivity of soil solution of the suction method was almost the same as that of the centrifuging method.

2. Total dissolved ions in soil solution showed a tendency to increase in proportion to soil water contents.

3. Anion-cation balance in soil solution was equally kept and the main portion of anion was nitrate.

4. Cation balance in soil solution changed according to soil water contents but AR^k was kept almost changeless.

5. Because of phosphate absorption by ceramic cup, decrease of phosphate concentration was observed in soil solution. In practical use, it is desirable that initial several tens ml of collected solution is discarded.

6. Soil solution diagnosis is very suitable for fertilizer control on crop growth, because the changes in the growth of 'Komatsuna' appeared over 10 days later than those of soil solution concentration.