

トマト栄養診断技術のための 葉柄汁液試料の調整法の検討

何 毅清・寺林 敏・並木 隆和

Extraction and preparation of petiole sap of tomato for diagnosis on nutrient status

YI-QING HE · SATOSHI TERABAYASHI and TAKAKAZU NAMIKI

要旨：わが国の養液栽培における栄養診断技術の確立と普及を目的に、簡易で迅速な無機養分の汁液分析法の試料の抽出、調整法について検討した。

葉柄組織の磨砕による汁液の抽出方法として、作業が楽で、迅速でしかも磨砕程度の再現性が高いホモジナイザーが優れていると判断した。葉1枚から採取する葉柄重量が3 g程度のみで測定できることがわかった。汁液の脱色のために使用する活性炭については、種類も添加時期も汁液中の無機養分濃度の測定値に及ぼす影響が認められなかった。原子吸光法による汁液中のCa濃度の測定では、塩化ストロンチウム無添加では栄養診断上、支障となる程度の濃度低下がおこることがわかった。

キーワード：水耕，トマト，汁液分析

Abstract : The quick and easy technique of petiole sap analysis of tomato grown in hydroponics was discussed.

Extraction by homogenizer was better than by mortar in that homogenizer method was less laborious and constant results were obtained. Three grams tissue of main petiole of tomato leaf was enough for nutrient analysis. Addition of activated carbon powder for the purpose of discoloration was not necessary for phosphate measurement by photometer. The value of Ca concentration measured by atomic absorption spectrometer without SrCl₂ was apparently lower than that with addition of SrCl₂.

Key words : hydroponic, tomato, sap analysis

緒 言

現在では、野菜や花の養液栽培面積が着実に増加しており、養液栽培は施設園芸において重要な地位を占めるようになった²⁰⁾。養液栽培をより安定した平易な技術として普及させるためには、植物の生育

不良や異常を早い段階で把握し、適切な栽培管理を行えるような栄養診断技術の確立が必要である。

植物汁液分析法は、測定時点における植物体に存在し、汁液の形で移動している可溶性の無機成分を測り、植物が現在の養分施与にどのように反応しているかを示す、直接的、現時点的な技術である。この分析法は、植物の栄養状態を診断し、細かく対策

を立てていくために、非常に有効な手法である¹⁹⁾。汁液分析法による野菜の栄養診断に関する研究は非常に多く、その方法も様々なものがある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾²¹⁾。それぞれの結果を比較検討するためには、各人が様々な方法で分析を行うのではなくて、基準化された汁液分析の方法に従い、同一の方法で分析の作業を進めることが必要である。

本研究は、わが国での養液栽培における栽培技術の普及と生産の安定をはかることを目的に行われたものであり、試料の抽出、調整法について検討を加え、基準的な方法を提示しようとした。

材料及び方法

実験 1：汁液抽出法の影響

1991年、トマト品種‘桃太郎’をバーミキュライトと園芸培土を1：1の割合で混合した播種床に播種した。3～4葉期に水耕果菜用クボタ式ベッドに移植し、園試処方1/2単位濃度培養液で育苗した。8～9葉期に同型のベッドに定植し、湛液方式で栽培した。培養液への通気はエアープンプにより連続的に行った。

第1花房開花期に、2株から第1花房下の第3葉の葉身と葉柄をそれぞれ5gずつ採取し、細断したものを乳鉢あるいは18,000回転/分のホモジナイザーで磨砕した。

乳鉢での磨砕方法は、細断した葉身(葉柄)と硅砂を混合し、蒸留水50mlを少しずつ加えながら磨砕し、よく混ぜあわせて静置した後、上澄み液を採取した。

ホモジナイザーでの磨砕方法は、葉身(葉柄)を細断して蒸留水を30ml(20ml)加え、ホモジナイザーで1分(2分)間ホモジナイズした。その後、蒸留水を20ml(30ml)を加え(全部で50ml)、よく混ぜ合わせて静置した後、上澄み液を採取した。

両方法で得た上澄み液をNo. 2の濾紙で1回濾過した。濾液を15ml取って、2M硫酸アンモニウム溶液(イオン強度調整剤)を1.5ml加え、蒸留水を加え、30mlの原液を作った。硝酸イオン電極(イオンメーター：オリオンモデル901)で硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度を測定した。

実験 2：葉柄汁液内 Ca 濃度測定値に及ぼす SrCl_2 の添加の影響

1993年、トマト品種‘桃太郎’を実験1と同様に播種した。5葉期にクボタ式ベッドに定植し、湛液方式で栽培した。培養液の硝酸態窒素濃度は16meq/lとし、他の養分は園試処方1/2単位濃度液とした。第1花房果実成熟期に、6株から第1花房の直下葉の葉柄5gを採取し、細断した。試料に対して、重量で5倍量の蒸留水を添加し、ホモジナイザーで磨砕し、No. 2の濾紙で濾過した。1mlの濾液に、10mlの5,000ppm SrCl_2 の添加と無添加の2処理を設け、50倍に希釈し、原子吸光光度計(島津AA630-01)でCa濃度を測定した。

実験 3：葉柄採取量、活性炭の種類及び添加時期の影響

1993年、トマト品種‘桃太郎’を実験1と同様に栽培した。第6花房開花期に、数株から同一節位の葉

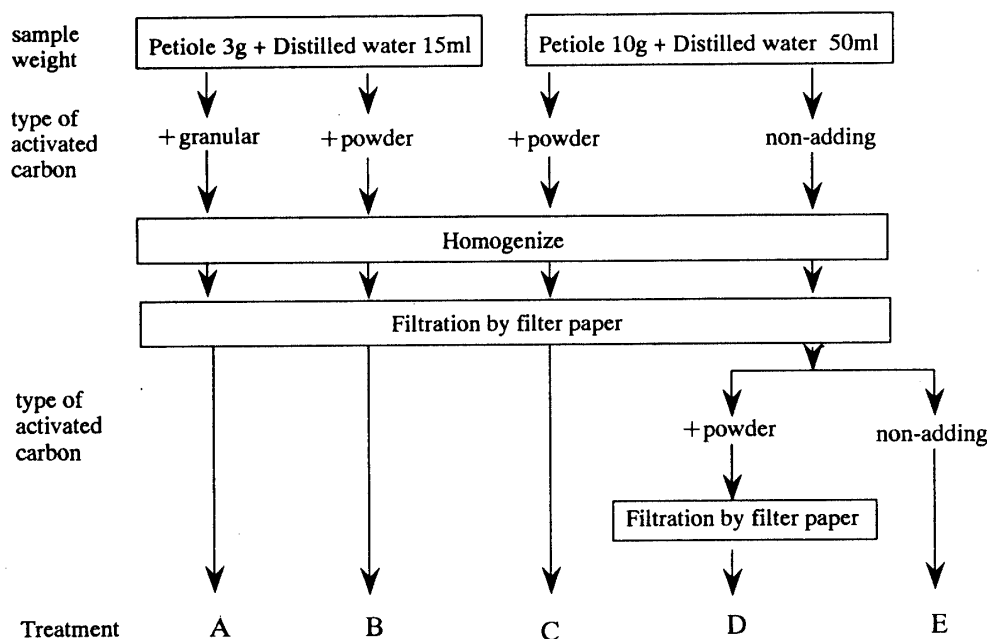


Fig. 1 Extraction and preparation of petiole sap of tomato

柄を採取し、細断したものをよく混合した。第1図に示したように異なる採取量(3gと10g)、活性炭の種類(顆粒状と粉状)及び活性炭の添加時期(ホモジナイズ前とホモジナイズ後)について分析を行い、分析値に及ぼす影響について調査した。各処理は6反復とした。処理した濾液0.1mlを500倍に希釈し、原子吸光光度計でK, Mgを測定し、分光光度計(紫外部吸光法:測定波長200nm)でNO₃-Nを測定した。1mlの濾液に10mlの5,000ppmSrCl₂を添加して50倍に希釈し、原子吸光光度計でCaを測定した。1mlの濾液に10mlのパナドモリブデン酸アンモニウム硝酸溶液を添加して50倍に希釈し、分光光度計により測定波長400nmの条件でPを測定した⁸⁾。

結果及び考察

実験1: 汁液抽出法の影響

汁液を抽出する方法として、ホモジナイザーによる方法と乳鉢を用いたすりつぶしによる方法を比較した。

ホモジナイザー及び乳鉢によって得た抽出液のNO₃-N濃度を第1表に示した。葉柄は組織がやや繊維質で硬いため、乳鉢の方が組織の磨砕を十分に行えるためか、測定値がやや高くなった。しかし、

葉身、葉柄ともに抽出法による違いはほとんどないといえる。乳鉢の場合、磨砕に要した時間は試料1点あたり10分以上で、それに対し、ホモジナイザーでは、葉身は約1分間、組織のやや硬い葉柄では約2分間であった。実際栽培で汁液分析によって栄養状態を定期的にモニターすることを考慮すると、測定頻度、測定試料数、測定試料量の多さから判断して、作業が楽で、迅速で、しかも磨砕程度の再現性が高いホモジナイザーが優れていると判断できる。なお、本実験で使用したものは理化学の実験で普通に使用されているもので、特殊なものではないので、普及上の問題はないと判断される。

実験2: 葉柄汁液内Ca濃度測定値に及ぼすSrCl₂の添加の影響

原子吸光光度計でCaを測定する場合、共存するイオンにより干渉を受ける。これらの干渉は多量のストロンチウムの添加によって抑制することができる¹¹⁾。本実験では、汁液分析法を簡便にするために、SrCl₂の添加と無添加の区を設け、両処理によってCaの測定値に差があるかどうかを検討した。

実験結果を第2表に示した。SrCl₂を添加しない処理区は、SrCl₂を添加した処理区よりCa濃度の測定値が低く、有意差が認められた。SrCl₂の添加を省略することは汁液中Ca濃度の測定値に大きく影

Table 1. Effect of extracting way on NO₃-N concentration in petiole and leaf blade of tomato

Extracting way	NO ₃ -N concn (ppm)	
	Leaf blade	Petiole
Homogenizer	840	1,680
Grind by mortar	840	1,820

Table 2. Effect of SrCl₂ on Ca concentration in petiole sap of tomato measured by atomic absorption photometer

Treatment	Ca concn (ppm)
Adding SrCl ₂	495 ± 62 a
Non-adding SrCl ₂	348 ± 40 b

Mean ± 95% confidence interval

Different letters are significantly different at P=0.05 by Duncan's multiple range test

響することがわかった。実際栽培で調査されたトマトの葉柄汁液の Ca 濃度の下限値は300-400ppmのあたりにあり⁹⁾、測定法の違いによる100ppm程度の測定値の違いは無視できない。葉柄汁液分析においても、Ca濃度を正確に測定するためには、SrCl₂の添加を省略することは好ましくないと思われる。

実験3：葉柄採取量、活性炭の種類及び添加時期の影響

植物体サンプルを採取する際、採取量が多いほど分析値の精度は高くなるが、一方、その後の生育に与える影響も大きくなる。花房直下の葉と直上の果

実の間には強いソース、シンクの関係があり、花房直下の葉の採取がその後の果実の肥大に及ぼす影響は少なくない。実際、花房直下の葉柄の硝酸態窒素濃度の変動と果実肥大との間に関連が認められることから（未発表）、花房直下の葉の採取による栄養診断が必要となる。それゆえ、できるだけ少ない採取量で分析できることが望ましい。ここでは、実際に応用するために、分析可能な最少採取量の検討を行った。

第3表に、粉状活性炭をホモジナイズ前に入れた場合に、葉柄汁液中の無機養分濃度に及ぼす採取量の影響を示した。3g採取量で測定した葉柄汁液中

Table 3. Effect of sample weight on nutrient status in petiole sap of tomato

Treatment	Sample weight (g)	Nutrient concn (ppm)				
		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
B	3	2,375 ± 270	611 ± 106	5,250 ± 363	422 ± 33	584 ± 49
C	10	2,496 ± 576	591 ± 43	5,113 ± 144	416 ± 47	590 ± 121

Mean ± 95% confidence interval

Alphabets of treatment are given in Fig. 1

Table 4. Effect of type of activated carbon on nutrient status in petiole sap of tomato

Treatment	Type of activated carbon	Nutrient concn (ppm)				
		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
A	Granular	2,361 ± 300	658 ± 101	5,304 ± 247	474 ± 90	645 ± 149
B	Powder	2,375 ± 270	611 ± 106	5,250 ± 363	422 ± 33	584 ± 49
E	non-adding	1,903 ± 247	627 ± 34	5,057 ± 189	411 ± 37	548 ± 75

Mean ± 95% confidence interval

Alphabets of treatment are given in Fig. 1

Table 5. Effect of adding-time of activated carbon powder on nutrient status in petiole sap of tomato

Treatment	Adding-time of activated carbon	Nutrient concn (ppm)				
		NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
C	Before homogenizing	2,496 ± 576	591 ± 43	5,113 ± 144	416 ± 47	590 ± 121
D	After homogenizing	1,951 ± 111	587 ± 30	5,182 ± 124	415 ± 31	554 ± 71
E	non-adding	1,903 ± 247	627 ± 34	5,057 ± 189	411 ± 37	548 ± 75

Mean ± 95% confidence interval

Alphabets of treatment are given in Fig. 1

の無機養分濃度の分析値は、10g採取量で測定した分析値とほぼ同じであった。Ca以外の養分で個体のばらつきが認められるものの、測定値のばらつきの幅が適性濃度の上限値あるいは下限値を超えるようなスケールではない¹⁹⁾。したがって、同一条件で栽培されているトマト植物体の同一部位の葉柄汁液の無機養分濃度の分析において、3g程度のわずかな量でも測定することが可能であることがわかった。ただし、実際栽培では、施設内の位置によって、光条件や根圏水分条件などの違いから個体間のばらつきが大きく現れることが報告されている⁹⁾。1個体から採取する採取量の多少よりも、採取場所の検討がより重要になると考えられる。

リンは比色計による測定を行う上で、抽出試料の着色の問題があり、脱色などの試料調整が必要とされる。活性炭には、粉状あるいは顆粒状のものがあ、いずれも吸着性が強く、液体と混合して溶液の脱色、精製などに使用される。ここでは、汁液を調整する際に脱色の目的で活性炭を添加した。異なる活性炭の種類、添加時期によって、分析結果に差が生じるかどうかを検討した。

第4表に、採取量3g、ホモジナイズ前に入れた活性炭の種類を異にした処理区（A：顆粒状、B：粉状）と対照区（E：無添加）のトマト葉柄汁液中の無機養分濃度を示した。

顆粒状活性炭で処理した汁液は脱色効果が弱く、対照区と同じであったが、いずれの養分においても、濃度の測定値は対照区より高かった。粉状活性炭で処理した汁液は脱色効果が強く、透明になった。汁液中のK、CaとMg濃度の測定値は対照区よりやや高かったが、P濃度の測定値では、対照区より低かった。しかし、いずれの養分においても各処理区の間には差は認められなかった。

第5表に、採取量10g、粉状活性炭の添加時期を異にした処理区（C：ホモジナイズ、濾過前、D：ホモジナイズ、濾過後）と対照区（E：無添加）のトマト葉柄汁液中の無機養分濃度を示した。

ホモジナイズ前あるいはホモジナイズ後に粉状活性炭を入れると、NO₃-N、K、CaとMg濃度の測定値は対照区よりやや高かったが、P濃度の測定値では、対照区よりやや低かった。しかし、いずれの養分においても、各処理区の間には差は認められなかった。

以上の結果から、トマト葉柄汁液の分析においては活性炭の添加の必要性を認めなかった。汁液の脱色の際に使用する活性炭については、種類も添加時期も特に注意は不要と判断される。ただし、汁液試料中には水可溶性のフラボノイド系色素が溶出して

くる。トマトの葉柄には通常の栽培ではフラボノイド系色素であるアントシアニンの発生は少ないが、栽培気温やリン栄養状態等により含量が増加する。フラボノイド系色素の多くは400nmあたりに特に高い吸収波長域を持たないが、各種野菜類や花卉類に広く存在することから、わが国での共通のマニュアルを作成する場合を考えると、試料の種類に関わらず、活性炭処理を行っておくことが安全と思われる。

本実験では、硝酸イオン電極の代わりに、測定波長200nmの分光光度計でNO₃-N濃度を測定した。硝酸イオン電極の測定では、電極の安定を得るのが難しい場合があり、測定に要した時間は、試料1点あたり2分間以上であった。また、少なくとも15ml程度の抽出濾過液が必要であった。分光光度計の測定では、硝酸イオン電極よりはるかに安定しており、測定に要した時間は試料1点あたり約1分間であった。また、0.1mlの抽出濾過液から作成した調整液でNO₃-N、KとMg濃度の測定が可能である。

測定時間、測定値の安定性などの理由から、NO₃-N濃度の測定には、紫外外部吸光法による分析がよいと思われる。

以上の検討から、葉柄汁液の抽出、調整及び分析の手順をまとめると次のようになる。生の葉柄を3g採取し、小さく切り、試料に対して重量で5倍量の蒸留水を添加し、少量の粉状活性炭を加え、ホモジナイザーで磨砕し、No. 2の濾紙で濾過する。0.1mlの濾液を500倍に希釈し、原子吸光光度計でK、Mgを測定し、分光光度計（紫外外部吸光法：測定波長200nm）でNO₃-Nを測定する。1mlの濾液に10mlの5,000ppm SrCl₂を添加し、50倍に希釈し、原子吸光光度計でCaを測定する。1mlの濾液に10mlのパナドモリブデン酸アンモニウム硝酸溶液を添加し、50倍に希釈し、分光光度計でPを測定する。

引用文献

- 1) Burns, I. G. and W. Hutsby. 1984. Development and evaluation of rapid tests for the estimation of phosphate and potassium in plant sap. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **15**: 1463-1480.
- 2) Coltman, R. R. 1987a. Sampling considerations for nitrate quick tests of greenhouse-grown tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **112**: 922-927.

- 3) Coltman, R. R. 1987b. Yield and sap nitrate responses of fresh market field tomatoes to simulated fertigation with nitrogen. *J. Plant Nutr.* **10** : 1699-1704.
- 4) Coltman, R. R. 1988. Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience.* **23** : 148-151.
- 5) Coltman, R. R. and S. A. Riede. 1992. Monitoring the potassium status of greenhouse tomatoes using quick petiole sap tests. *HortScience.* **27** : 361-364.
- 6) Hartz, T. K., R. F. Smith, M. LeStrange and K. F. Schulbach. 1993. On-farm monitoring of soil and crop nitrogen status by nitrate selective electrode. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **24** : 2607-2615.
- 7) Hochmuth, G. J., R. C. Hochmuth, M. E. Donley and E. A. Hanlon. 1993. Egg plant yield in response to potassium fertilization on sandy soil. *HortScience.* **28** : 1002-1005.
- 8) 池田英男. 1994. 省力化・自動化をめざした養液栽培とそのための管理支援システム '94 施設園芸新技術シンポジウム要旨 植物工場と養液栽培, S6-3-1, 11
- 9) 池田英男, 1995. 園芸作物の新しい栄養診断法の開発. 平成4-6年度科学研究費補助金 [試験研究 (B)] 研究成績報告書
- 10) Jemison, J. M. and R. H. Fox. 1988. A quickest procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **19** : 1569-1582.
- 11) 武者宗一郎・下村 滋. 1972 : 原子吸光分析, 共立出版, 東京
- 12) Prasad, M. and T. M. Spiers. 1982. Evaluation of a simple sap nitrate test for some ornamental crops. *Proc. 9th Intl. Plant Nutr. Colloq., Warwick Univ., England.* PP. 474-479.
- 13) Prasad, M. and T. M. Spiers. 1984. Evaluation of a rapid method for plant sap nitrate analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **15** : 673-679.
- 14) Prasad, M. and T. M. Spiers. 1995. A rapid nitrate test for outdoor tomatoes. *Scientia Hort.* **25** : 211-215.
- 15) Raushkolb, R. S., A. L. Brown, J. Quick, J. D. Prato, R. E. Pelton and F. R. Kegel. 1974. Rapid tissue testing for evaluating nitrogen nutritional status of corn and sorghum. *California Agr.* **28** : 10-13.
- 16) Scaife, M. A. and B. G. Bray. 1977. Quick sap tests for improved control of crop nutrient status. *Agr. Dev. Adv. Serv. Quarterly Rev.* **27** : 137-145.
- 17) Scaife, A. and K. L. Stevens. 1977. Two-minute sap test takes guesswork out of N levels. *The Grower.* **88** : 1223-1227.
- 18) Scaife, A. and K. L. Stevens. 1983. Monitoring sap nitrate in vegetable crops: comparison of test strips with electrode methods, and effects of time of day and leaf position. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **14** : 761-771.
- 19) Smith, D. L. 1987. *Rockwool in horticulture* PP86-96. Grower books, London.
- 20) 高島友三, 1992. 養液栽培研究会千葉総会研究会資料. PP. 23-32
- 21) Vitosh, M. I. and G. H. Silva. 1994. A rapid petiole sap nitrate-nitrogen test for potatoes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **25** : 183-190.