

野菜の品質評価の現状と展望

堀江 秀樹

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

The Present and the Future of the Quality Evaluation on Vegetables

Hideki HORIE

National Agriculture and Bio-oriented Research Organization

National Institute of Vegetable and Tea Science

キーワード：野菜，アミノ酸，糖，有機酸，食感，味，分析法

1 はじめに

新しい食材を紹介する健康番組がテレビ報道を賑わし、逆にいわゆる健康食品による健康の被害も後をたたない現代社会においては、国民の食と健康に対する異常なまでの関心の高さがみられる。一方で「健康のため野菜を多く摂取しよう」というキャンペーンを官民あげて実施してはいるものの、野菜の消費量はここ20年間減少傾向にあり、目標とする1日350gの摂取にははるかに及ばない状況にある。こうした状況のもとで、健康機能という新たな光をあてて、野菜にも消費者の注目を向けようというのも消費量増加に向けたひとつの方向ではある。しかしながら、野菜の健康効果については栄養ドリンクやポパイのハウレンソウのように食べればたちどころに元気が出るというものではなく、何十年か食べ続ければガンや生活習慣病のリスクが低下するといった効果なので、「健康のために野菜を食べよう」と聞かされ続けている国民に対して、機能性に関する新しい情報の呈示だけで、野菜への消費意欲を大幅に向上させるのは困難かもしれない。

一方で、食生活の中での野菜の位置づけを考えれば、肉や魚の添え物のように扱われているのが実情であり、野菜本来の香味や食感についての研究やPR活動が不十分であったように思われる。主菜にもなりうるおいしい野菜を提供できれば、肉類に奪われていた食の主役の座を奪い返し大幅な需要拡大が期待できる。また、脂肪や塩分の過剰摂取が問題となっているが、野菜本来の味がよければ、ドレッシングや調味料の使用を控えることにより、これらの摂取量が低減され国民の健康増進に寄与できる。

これらのことから、高品質でおいしい野菜の供給が

望まれるところであるが、従来野菜品質に絡む研究は主に外観や流通適性を中心に行われてきた。そこで、内質の研究が比較的進んでいる茶での品質研究と比較しながら、野菜の内質研究の問題点について整理し、おいしさを評価するための取り組みと方向性について述べる。

2 野菜と茶の内質評価の比較

茶については品質が価格に反映されてきたため、品質成分に関する科学的研究は盛んに行われてきた。さらに、品質を評価するための官能評価法も確立されている。これに対して、野菜の品質研究には多くの困難さが伴う。野菜と茶の品質研究について表1にまとめた。

茶について、例えば「二番茶と秋冬番茶とではどちらがおいしいか？」という問題があったとする。これに答えるには、同じ茶の樹から二番茶と秋冬番茶を製茶し、標準的な官能審査法に従い比較すればよい。茶は乾燥しているので、低温保存可能である。秋冬番茶が採れるまで二番茶を低温保存しておいて、あとは官能審査の要領で飲み比べればよい。審査員には100点満点の茶についてのイメージが共有できているので、複数の審査員で行っても審査結果は揃うものと考えられる。これを確認するために成分を比較するとすれば、アミノ酸の分析を行えばよい。品質のよい茶にはテアニンやアルギニンが多く含まれる¹⁾。

野菜について、例えば「夏のナスと秋のナスとどちらがおいしいか」という一見簡単そうな問題を解決しようとしても、実際はかなり難しい。ナスを夏と秋に収穫できるように、同一条件で栽培して品質を比較すればよいということになるが、品種や栽培方法が全く同じで、収穫時期のみが異なる栽培など容易ではない。また、夏に

表1 野菜と茶の品質研究の比較

	野菜	茶
摂取部位	根・茎・葉・花・果実等多様	新芽
種	多様	<i>Camellia sinensis</i>
家庭での主な摂取方法	生食（調味料使用）・多様な調理素材	主に浸出液の飲用
加工用ニーズ	漬物・総菜・冷凍食品・加工食品など多様	ドリンク・食品素材（茶ソバなど）・工業原料（カテキン入りフィルターなど）
官能評価パネル	品目や調理法等が多様なため専門パネルの育成や確保が困難	
官能評価用試料の均一性	個体や部位間の差をキャンセルすることが困難	試料を混合し均一化可能
官能評価の繰り返し	辛味やえぐ味の強い試料では繰り返しができない	比較的疲労は少ない
試料の保存	そのままの状態での保存は困難	窒素充填すれば低温で長期保存可能
品質指標	一部の果菜類では糖度や滴定酸度が用いられるが、品質と成分の関係が明らかでない野菜が多い	遊離アミノ酸（テアニン・アルギニン）・全窒素
特殊成分の入手	野菜の辛味等に関連する成分のうち市販されているものは少ない。ポリフェノール類についても配糖体として存在する 경우가多く、標準品の入手が困難	カテキン類なども安価ではないが購入可
香味成分	野菜に内在する以外に、切断等により酵素作用で生成するものも多い	葉に内在
物理性	食感は重要な品質構成要素であるが、数値化が遅れている。口腔内でのフレーバーリリースに関与する	上級茶の「とろみ」については未解明

収穫したナスと秋に収穫したナスを食べ比べようにも、夏に収穫したナスを秋まで保存できない。そこで、記憶に残った夏のナスの味を、現在食べている秋のナスの味と比較することになる。しなしながら、おいしさには食べる人の生理的条件も関与し、例えば夏場に食べるかき氷はおいしいが、同じかき氷を冬に食べたらおいしくない。同様に、全く同品質のナスでも、食欲の秋に食べれば夏バテした時よりもおいしく感じるかもしれない。あるいは、新米といしょに食べれば、どんなおかずもおいしく感じられるかもしれない。

仮に夏のナスと秋のナスの食べ比べができるとしても、生で食べるのではなく、どのように前処理（調理）するかが問題となる。漬物にする場合と、焼く時と、マーボーナスにする時とでは求められる品質要因は異なると考えられる。また味つけしなければ旨くないナスでも、醤油などを少し加えれば、味が格段によくなるかもしれないし、生では硬すぎるナスも煮れば美味かもしれない。

さらに官能評価する際にも、おいしいナスについてのイメージは各パネル毎に異なり、統計的に有意な審査結果を出すのは困難と思われる。その上、果実や部位ごとに性質は異なるため、仮に全く嗜好性が同じ（あるいはよく訓練された）パネルがいたとしても、たまたま口に入れた試料の特性によっては異なる結果が出される可能性もある。ジュサー等を用いてナスジュースの形に調製して比較すれば、比較する試料のばらつきはキャンセルされるかもしれないが、果実を噛むことによって果肉から放出されるエキスの味を味わうのと、ジュースを飲むのでは、感覚的に異なるものと考えられる。さらに当然のことであるが、ジュースでは食感の評価ができ

ない。

夏のナスと秋のナスを直接官能比較できないとすれば理化学的な評価をして数値を統計処理することになる。アミノ酸分析など行えば数値は出るが、どのアミノ酸が多い（少ない）のがおいしいのか解明されていない。さらにナスの場合食感も重要な要素であるが、物性の測定法として決まった方法はない。

このように「おいしさ」を評価する上では、茶は野菜よりも系として極めて単純であり、それ故食品産業をリードする先導的な研究が期待できる。野菜関係では、今後も香味については茶における先進的な手法を取り入れつつ、これに加えて物理性を中心に独自の評価手法の開発を続ける必要がある。

3 各種野菜のおいしさに関連する品質要素

野菜の品質指標として糖度が用いられることが多い。トマトやイチゴ、メロンなどの果菜類の一部では糖度が甘さの指標として一定の機能を果たしている。しかしながら、糖以外の成分を総体的に多く含む葉菜類については、糖度を官能的な甘さの指標にするには無理な場合もあり得る（例えばネギの甘味は糖度とは関係の低いことが示されている²⁾）。還元糖や全糖として糖含量を測定する必要があるが、前者ではショ糖が評価されない。果糖>ショ糖>ブドウ糖の順に甘味が低下することを考慮すれば、高速液体クロマトグラフィーなどを用いて糖組成として評価することが望ましい。

また、うま味（あるいは旨味）の指標としてアミノ酸の定量が行われる場合がある。研究例としてはトマト等

特定の野菜では比較的多いものの、他の野菜において公表されている個別アミノ酸の測定例は少なく、分析法等も一定ではない。アミノ酸の中でもグルタミン酸はうま味が強いので、多くの食品において重要視されるが、トマト以外の多くの野菜では味の弱いグルタミンの方が含量が高い。市販のアミノ酸分析計を用いる場合にはこれら2成分のピークが近接するため、分離に注意を要する。また、多くの報告では遊離アミノ酸含量が高いことが品質のよさと関連するよう期待して書かれているように思われるが、例えば、キュウリは貯蔵するにつれてうま味のあるグルタミン酸や甘味のあるアラニンが増加する。一方で、味の好ましさは当然低下することが官能的に評価されている³⁾。

有機酸については、トマト、イチゴなど一部の野菜では酸味との関係で重要と考えられる。一方、シュウ酸は腎結石の原因物質ともされ、またカルシウムの吸収も阻害するため含量は低い方が望ましい。サトイモではシュウ酸カルシウムの針状結晶がえぐみと関係するとされる⁴⁾が、ホウレンソウについては、針状結晶は観察されず⁵⁾、シュウ酸とえぐみの関係については多くの研究がなされているものの、えぐみのメカニズムや味とシュウ酸含量の関係について未だ十分に解明されているとはいえない⁶⁾。

野菜には糖や有機酸、アミノ酸以外にも特有の成分が含まれ、香味に大きな影響を与えている。ネギやタマネギには *alk(en)yl cysteine sulphoxide* が含まれ、組織が破壊されると、酵素の作用でこれらの成分から特有の辛み成分や香気成分を生成する。アブラナ科野菜の場合も、それぞれ特有の *glucosinolate* を含み、組織の破壊によって、辛味成分 *isothiocyanate* を生成する。辛味や香気の評価の上で *alk(en)yl cysteine sulphoxide* や *glucosinolate* の定量は必須であるが、一部を除きこれらの標品の入手は困難である。ただし、タマネギの場合には、酵素反応により生成する *pyruvate* を定量することにより、辛味や *alk(en)yl cysteine sulphoxides* のおおよその推定ができる⁷⁾。

キュウリの苦味成分として *cucurbitacin C* やレタスの苦味成分として *sesquiterpene lactones* が知られている。これらの成分含量の品種間差や栽培条件との関係について解析が求められるところであるが、標品の入手が困難で、分析法が確立されていないため研究は進んでいない。

野菜において、香りも重要な要素である。すでに多様な香気成分が同定されており、ニンジンにおいてはテルペン類、イチゴにおいてはエステル類などが重要とされる。ネギなどのアリウム属では、前述の *alk(en)yl cysteine sulphoxide* に酵素が作用することで、*disulfide* 類を生じ、これが特有のニオイを示す。ニンニクのニオイ成分 *diallyl disulfide* は *allicin* と呼ばれるが、それ以外のアリウム属野菜では *allicin* の生成量は少なく、多様な *disulfide* 組成を示す(ネギ、タマネギ等のニオイも *allicin* によるものと多く的一般書に記載されているが、野菜成分に関してはこういった誤解が多く、啓蒙活動

をしながら研究に理解を求めることも必要と思われる)。*alk(en)yl cysteine sulphoxide* の組成が野菜によって異なるためである。

上述のような野菜の化学成分研究については大きな困難はあるものの、分析機器の高度化に伴い今後高精度で省力的な手法の導入が期待される。一方で、杉山らが大学生を対象に野菜の嗜好イメージについてアンケート調査した結果、第1位にイメージした嗜好特性は、テクスチャー、味、香り、色が、生の場合それぞれ、35.6%、25.4%、10.4%、27.8%とされ、加熱の場合では、36.7%、29.4%、10.9%、24.2%と、野菜の嗜好特性のうちテクスチャーが最も重要とされる⁸⁾。しかしながら、テクスチャーあるいは食感に関する野菜の物理的な特性についてはここ数十年、手法的に大きな進展がみられない。多くの野菜で、円柱形のプランジャーを突き刺すことにより「硬さ」に関するデータを得ているのみである。野菜にとって食感是非常に重要であり、「硬い」か「柔らかい」かのような単純には表現できない部分が大きい。官能評価において、各野菜に適切な食感の評価用語を当てはめるとともに、このような評価項目を物理化学的に表現できるような手法を開発しなければならない。

4 野菜の品質評価法に関する展望

野菜を対象とする研究者が扱わねばならない野菜品目は多様であり、さらに地域特産野菜やスプラウト、ベビーリーフなど新しい利用形態の野菜や、いままでなじみのなかった外国野菜等に対する研究需要も拡大し続けている。その一方で、研究勢力の拡大は望めず、十分とはいえない国公立の試験研究体制のもとでは、品質に対しても精度測定など通り一遍の品質評価になりがちかと推測される。こうした中で、効率的に品質評価を行うには、優先的に評価すべき項目を定めることが重要である。例えば、レタスに含まれるカロテンはニンジンの数百分の1である。特殊な機能性を有するカロテノイドを発見しないかぎり、レタスのカロテン含量の品種間差を調べたとしても、研究のための研究にしかならないと思われる。抗酸化関連成分等についても近年分析例が増加しつつあるが、他の野菜や食品との比較や、摂取量を勘案した上で、どのような項目を優先的に評価すべきかランクづけが必要である。

おいしさの理化学的評価に関しても、単に分析のための分析を行うのではなく、官能評価結果をいかに数値化するかが重要と思われる。最近神田らは山口県の伝統野菜「田屋」ナスを「筑陽」ナスとの間で官能比較し、その結果を化学分析によって解釈している⁹⁾。野菜のおいしさを評価するうえで、ひとつの方向性を示すものといえる。

先にも述べたように、糖類は個別に分析することが望ましいが、有機酸の組成についても同様であり、例えば、

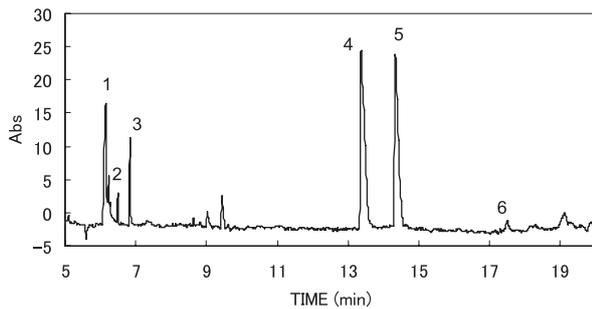


図1 キャピラリー電気泳動法によるトマト抽出液の測定
1: citric acid, 2: aspartic acid, 3: glutamic acid, 4: fructose,
5: glucose, 6: sucrose.

多くの野菜ではリンゴ酸が多いのに対し、トマトなど一部の野菜ではクエン酸が主になるなど、野菜の種類によって特徴があるからである。また、トマトのうま味にはグルタミン酸の関与が考えられる。このように糖、アミノ酸、有機酸について、可能なら個別に求めたいが、従来の方法ではそれぞれの分析に時間と労力を要する。堀江らは、キャピラリー電気泳動法を用いた成分分析を行い(図1)¹⁰⁾、1試料当たり40分あれば、有機酸、アミノ酸、糖についておおよその定量が可能であることを報告している。分析結果からは各成分の閾値なども考慮しながら、重要と思われる成分をピックアップできる。試料は、野菜ジュースを水で希釈し、メンブレンフィルターを通すだけなので、収穫・貯蔵あるいは調理したそのままの野菜について、一方で味見をしながら、その成分を分析できる。従来の研究方法では、試料は凍結乾燥や冷凍しておき、まとめて分析するという場合が多いが、この場合には、個々の試料の微妙な呈味特性については、記憶に残っていない。ここに示したような方法で試料を味わいながら分析できれば、味と成分の対応関係について明確化しやすいものと期待される。

キャピラリー電気泳動法は野菜の味評価において有力な手法とは考えられるが、糖度計のような手軽さがなく、糖度計に代わって現場でも使えるような手法の開発も期待される。堀江らは、キャピラリー電気泳動法などによる分析の結果、甘くておいしいキュウリについては糖含量が高いことを、またキュウリには果糖とブドウ糖が等量含まれていることを認めている。キュウリの甘味には果糖の寄与が大きいと推測されるが、ブドウ糖を定量できれば、果糖量は推定できる。そこで、糖尿病患者が血糖値をモニターするためのセンサーの利用による迅速・簡便な測定を試み、キュウリ果汁中のブドウ糖の定量に成功している¹¹⁾。このようにおいしさの指標となるような重要成分が解明できれば、それを簡便・迅速に評価できる手法の開発に繋げることが重要である。

無機イオン、有機酸、アミノ酸、糖類など標品が入手しやすいものについては、高速液体クロマトグラフィーが普及した今日において、分析は簡便・容易になりつつ

あり、さらに前述のキャピラリー電気泳動法等新しい分析法の導入により、分析のさらなる簡便化が期待できる。しかしながら、野菜の辛味成分や苦味成分の多くは、試薬として入手困難である。そこで、堀江らはキュウリ葉から苦味成分 cucurbitacin C を精製し、高速液体クロマトグラフィーにより、品種や果実の部位間差異について解析を開始した¹²⁾。他の特殊成分についても、分析法が確立され、標準品が入手できれば研究が飛躍的に進展するものと期待される。このような成分については、大学も含めて全国的に組織的に分業体制をとることによって、標準品と標準的な分析法の共有化が望まれる。

野菜の香りの評価については、イチゴ¹³⁾やメロンの香気成分なら、ヘッドスペースガスを濃縮すれば、比較的簡単に分析・評価できるかもしれない。一方で、キュウリでは、(E,Z)-2,6-nonadienal と (E)-2-nonenal を主要な香気成分とするが、これらは組織が破壊されたときに linoleic acid と linolenic acid が急速に分解されて生じる¹⁴⁾。ネギやタマネギの disulfide 類にしても、組織の破壊によって生成する。従って香気の品種間差等を評価する場合には、破碎して発生する香気成分を収集し分析することになり、おいしさを品種間や栽培条件間で比較するには、定量性や再現性をいかに高めるかが問題である。

さらに野菜では、食感あるいはテクスチャーに対する要望も香味と同等かそれ以上に大きい。テクスチャーの評価法として、ヒトに噛ませて筋電図等で計測する手法もある¹⁶⁾が、被験者間で歯型や咀嚼の仕方が異なるため、品種間差の評価等に用いるには限界がある。当面の間は従来の咀嚼を模した機器を利用した方法が、食感評価の主力となる場面が多いと考えられる。成分分析法については、野菜品目間で共通の手法が使用できるが、テクスチャーについては品目毎にあるいは調理・加工等に依りて、官能的な食感を表現するのに最適な方法を選択する必要がある。プランジャーを突き刺す時の最大応力を測定する方法が多くの野菜で採られてきたが、品種間の微妙な食感の相違を表すにはこれでは十分ではない。堀江らは、キュウリを噛むとき、最初に歯がくい込む時よりも、それに続いて果肉部が破壊される時の方が、歯切れ感に関連するように考えた。そこで、プランジャーが果肉中に突き刺さる間にかかる力の変化を Crispness Index (CI) として表現することを試みた¹⁷⁾。CIがある程度高いキュウリの方がパリパリという歯切れ感が楽しめる。一方トマトにとっては粘粉質が重要な品質要素である。完熟トマトのジューシーさを表現するのに、伊達らは Cellular Integrity Test¹⁸⁾ を提案しているが、物性測定機器を用いない点で興味深い方法である。このように、各野菜やその利用目的毎に要求される食感を数値表現するための手段を、それぞれの野菜について考案する必要がある。

先に述べたように野菜は個体間や部位間で均一ではないため、体系的な官能評価には大きな困難を伴う。従っ

て細かいデータの積み上げは物理化学的な数値を統計処理することによりなされる場合が多いと予想される。しかしながら、得られた数値は単なる指標のひとつであり、おいしさとして総合的に評価できるのはヒト以外にない。おいしさの指標の設定から品種毎のおいしさの比較などの各段階で適切な官能評価は必須となる。それぞれの野菜についておいしさを客観的に評価できる分析型パネルの育成も今後必要になるものと考えられる。

以上のことから限られた予算・労力のもとでおいしい野菜を開発するには、まず研究機関の分業により、1種類の野菜について研究者が集中的に研究できる環境を設けることが必要であろう。各研究者は、各種野菜の特性に応じた官能評価試験を設定し、その結果を数値化するための理化学評価法を選定することになる。選定された手法は、他の研究者や関係者との議論の中から標準化され、他の研究者も使えるような形でマニュアル化される必要がある。また、野菜の呈味成分のなかには市販されていないものも多く、これらについても全国的な分業体制のもとで成分を精製あるいは合成し、必要とされる機関に供給できる体制が望まれる。このような共通の手法によって得られた指標を元に、全国的な規模で育種や栽培試験が展開されれば、切磋琢磨の中から香味や食感に特徴のある野菜の誕生が促進されるものと期待される。

摘要

野菜のおいしさに関する研究は非常に困難が多い。茶の品質研究とも比較しながら、野菜のおいしさに関連する研究の現状と問題点を総括し、さらにおいしさを評価するための新しい手法を紹介した。限られた労力と予算の中でおいしい野菜を開発するには、まず各野菜毎においしさの評価法の標準化に取り組む必要がある。

引用文献

- 1) 向井俊博・堀江秀樹・後藤哲久, 1992. 煎茶の遊離アミノ酸と全窒素の含量と価格との関係について. 茶研報, 76: 45-50
- 2) 本居総子, 2005. 分析型パネルによるネギの食味スコアと機器分析値との関係. 農流技研会報, 263: 14-16
- 3) 中町敦子・吉川光子・香西みどり・畑江敏子, 2002. キュウリ呈味成分の分布と貯蔵変化および味との関係. 日調科誌, 35: 234-241
- 4) 田中正信・中島寿亀・森 欣也, サトイモ組織内におけるシュウ酸カルシウム結晶の形成及びその分布, 2003. 園学雑, 72: 162-168
- 5) 藤原 勲, 1990. ホウレンソウおよびその近縁種におけるシュウ酸カルシウム結晶の外観と所在. 永原学園西九州大学佐賀短期大学紀要, 20: 145-152
- 6) Horie, H. and H. Ito, 2004. Oxalate in tea and spinach. Proceedings of 2004 International Conference on O-Cha (tea) Culture and Science, 274-275, Shizioka
- 7) Crowther, T., H. A. Collin, B. A. Smith, B. Tomsett, D. O'Connor and M. G. Jones, 2005. Assessment of the flavour of fresh uncooked onions by taste-panels and analysis of flavour precursors, pyruvate and sugars. J. Sci. Food Agric, 85: 112-120
- 8) 杉山法子・鈴野弘子・三好恵真子・澤山 茂・川端晶子, 1993. 野菜の官能特性の評価. 調理科学, 26: 315-326
- 9) 神田知子・高橋須真子・重藤祐司・内藤雅浩・刀祢茂弘・安藤真美・足立蓉子・島田和子, 2005. 山口県伝統野菜「田屋」ナスの嗜好特性. 日調科誌, 38: 410-416
- 10) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐勇, 2002. キャピラリー電気泳動法を用いた野菜呈味成分の同時分析法. 第22回キャピラリー電気泳動シンポジウム要旨集, 83-84
- 11) 堀江秀樹・伊藤秀和・坂田好輝, 2005. キュウリのおいしさ評価法の開発. 3. おいしさの簡易評価. 園学雑, 74(別2): 568
- 12) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・坂田好輝・五十嵐 勇, 2004. キュウリのおいしさ評価法の開発. 2. 苦味成分. 園学雑, 73(別2): 519
- 13) Azodamlou R.C., C. Darbellay, J.-L. Luisier, J.-C. Villettaz and R. Amado, 2003. Quality assesment of strawberries (Fragaria Soecies). J. Agric. Food Chem, 51: 715-721
- 14) 畑中顕和, 1975. においの発現, 青葉アルコールに関する研究. 香料, 111: 37-44
- 15) Palma-Harris C., R. F. McFeeters and H. P. Fleming, 2001. Solid-phase microextraction (SPME) technique for measurement of generation of fresh flavoe compounds. J. Agric. Food Chem, 49: 4203-4207
- 16) 神山かおる・中山裕子・福田節子・檀 はるか・佐々木朋子, 2003. 薄切りキュウリにおける咀嚼量の増加. 食科工, 50: 339-343
- 17) 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐 勇, 2004. キュウリ果肉部の物理性評価方法の開発. 園学研, 3: 425-428
- 18) 伊達修一・山崎亜希・並木隆和, 1997. cellular integrity test を応用したトマト果肉における紛質性の簡易測定法. 園学雑, 66(別2): 736-737