

野菜の機能性成分

野菜・茶業試験場
生理生態部 品質解析研究室 東 敬子

はじめに

わが国では近年、生活習慣病の増加と若年層への広がりが大きな社会問題となっている。これは、われわれの食生活が従来の栄養バランスのとれた「日本型食生活」から逸脱し、欧米型に移行してきたことと密接に関係している。「医食同源」の思想は古く中国からきたものであるが、食由来の疾病の多い「飽食の時代」にこそ、この思想を考え直す必要がある。最近の研究により、食品による疾病の予防・治療が可能であるとするこの考えが科学的に裏付けられつつある。

われわれが日常的に摂取している野菜は、ビタミン、ミネラル等の栄養成分のみでなく、抗酸化性、発がん予防機能、生体防御性（免疫賦活性）、抗アレルギー性、血圧調節性などの生理的機能性（以下、生理機能）を有する多種多様な成分を含むことが明らかにされてきた¹⁾。ヒトの健康維持に関わるこれらの食品の機能は、従来から知られている栄養性（一次機能）や嗜好性（二次機能）に続く三次機能として注目を浴びている。

野菜の品質向上へのニーズに応えるために生産や流通に関する多くの技術が開発されてきたが、野菜の機能性成分への関心の高まりを背景に一層の高品質化が指向されている。ここでは、野菜の主要な生理機能および機能性成分につい

て述べる。

1. 抗酸化性

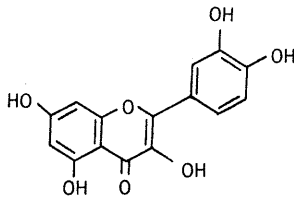
酸素はヒトの生命活動にとってなくてはならないものである。しかし、薬物、金属、食物、ストレスなどの引き金によって反応性の高い「活性酸素」（スーパーオキシド、ヒドロキシラジカル、過酸化水素、一重項酸素など）が過剰に生成すると、脂質、タンパク質、核酸のような生体成分に酸化傷害を与える。生体内には抗酸化防御機構が備わっているものの、その防御は完全なものではない。そのため、修復されない傷害が蓄積し限界に達するとがんをはじめとする種々の生活習慣病を引き起こすと考えられている。このような酸化傷害の蓄積を防ぐことが疾病予防につながるものと期待されるため、食品中の抗酸化成分が特に注目され、活発な研究が行われてきた^{2, 3)}。

(1) 野菜の抗酸化活性および抗酸化成分

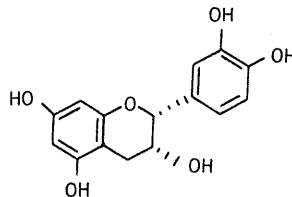
農産物には表-1に示すような抗酸化成分が含まれている。中でもアスコルビン酸（ビタミンC）、トコフェロール（ビタミンE）、カロテノイド、およびフラボノイドをはじめとするポリフェノール類は野菜や果実に広く分布している。代表的なフラボノイドとしてタマネギに多く含まれるケルセチンや緑茶に多いカテキン類がある（図-1）。

表-1 農産物に存在する主な抗酸化成分

1. アスコルビン酸, トコフェロールなどビタミン類
2. カロテノイド
3. フラボノイド
 - 1) フラボン, フラボノール
 - 2) フラボノン, カルコン
 - 3) イソフラボン
 - 4) カテキン, プロアントシアニン
 - 5) アントシアニン
4. フェノールカルボン酸及びフェノールプロパノイド類
5. クルクミン, ジンゲロール類縁体
6. カプサイシン類縁体
7. インドール化合物
8. グリコシノレート, イソチオシアネート類
9. 含硫化合物
10. SOD, カタラーゼ等のタンパク質



ケルセチン



(-)エピカテキン

図-1 ケルセチンと(-)エピカテキンの構造

トコフェロールは脂質相でラジカル捕捉作用を, またカロテノイドは脂質相で活性酸素の一種である一重項酸素を消去する作用を示す。一方, 水溶性であるアスコルビン酸は水相でラジカル捕捉作用およびトコフェロールの再生作用を発揮するとされている。フラボノイドの抗酸化機構については, 水相と脂質相の界面に存在してその部位で起こる活性酸素と脂質との反応を効果的に抑制するとともに, 活性酸素の生成に関わる金属イオンをキレートする作用を示すものと考えられている⁴⁾。

著者らによる野菜の抗酸化活性評価では, 表-2のように, アオシソ, モロヘイヤ, パセリ, コマツナ, シュンギクなどに高い活性を認めた⁵⁾。また, 野菜の抗酸化活性とアスコルビン酸・ポリフェノール総含量との間に比較的高い相

関性がみられ, それらの両成分が抗酸化活性に寄与していることが示唆された。

アオシソやモロヘイヤのようなポリフェノール含量が非常に高い野菜では, ポリフェノールの寄与が大きいと考えられる。アオシソからは9種のポリフェノール化合物が活性成分として単離され⁶⁾, シュンギクからは新規物質3,5-ジカフェオイル-4-スクシニルキナ酸を含む3種の抗酸化性コーヒー酸誘導体が単離されている⁷⁾。

著者らは, モロヘイヤに含まれる抗酸化成分として2種のコーヒー酸誘導体(クロロゲン酸, 3,5-ジカフェオイルキナ酸)および3種のケルセチン配糖体を見だしている。

そのほかに, ネギ類のメルカプタン類, サルファイ

表-2 リノール酸エマルジョン系における野菜抽出液の抗酸化活性

野菜	抗酸化活性*
キュウリ	13
ナス	56
ピーマン	54
トマト	42
カボチャ	22
オクラ	42
ニガウリ	56
ハウレンソウ	46
コマツナ	71
シュンギク	65
キャベツ	34
ブロッコリー	59
カリフラワー	43
レタス	18
ハクサイ	19
ネギ	31
アオシソ	90
パセリ	79
モロヘイヤ	89
ニンジン	10
ダイコン	20

*対照区に対する相対活性

ド類、トウガラシのカプサイシン類などの抗酸化成分も知られている。

(2) 抗酸化成分の動脈硬化予防機能

動脈硬化は、血管壁内で酸化LDL(低比重リポタンパク)がマクロファージに貪食され、それにより形成する泡沫細胞が血管壁に脂肪層として蓄積されることによって発症する。抗酸化物質は動脈硬化の引き金となるLDLの酸化を抑制する作用をもつことが明らかになっている。抗酸化成分を多く含む野菜の摂取と動脈硬化や心臓疾患の発症に関する疫学的調査が数多く行われ、総じてそのような野菜を多く摂取すると心臓疾患になりにくい傾向にあるとする結果が得られている。

最近、トコフェロールやアスコルビン酸のような代表的な抗酸化成分のみでなく、ポリフェノール類もLDL抗酸化能をもつものとして注目を集めている。カテキン類がヒトの腸管で吸収され、血中でLDLの酸化を抑えていることが確認されたことから、他の多くのポリフェノール類も体内でLDL抗酸化能を発揮しているものと推察される。

(3) 抗酸化成分の紫外線防護作用

オゾン層の破壊によって地表に到達する紫外線量が増加しており、皮膚がんや白内障等の発生が増加することが懸念される。このため、紫外線の害作用を防止するための安全な紫外線防護物質の検索が行われている。培養動物細胞の系を用いた検討の結果、タマネギの黄色色素に強い防護作用が認められ、その主たる機能性成分はケルセチン3,4'-ジグルコシドであることがわかった⁸⁾。フラボノイドは紫外線を吸収するとともに、紫外線によって発生するラジカルを消去する作用を併せ持つため、強い防護効果を示すものと推定されている。ケルセチン配糖

体はまた、動物が生産する唯一の紫外線防護物質であるメラニンの生産を活性化する作用を示すことも明らかにされている⁸⁾。

2. 発がん予防機能

ヒトのがんの大半は食物やタバコなどの環境因子に起因し、この化学発がんは大きく二つの過程を通して起こるものとされている。第一段階は、ある化学物質により細胞内の遺伝子が変異を受ける過程(イニシエーション)である。この突然変異を誘起する物質が変異原物質あるいは発がん物質と呼ばれるもので、亜硝酸とアミン化合物の反応生成物であるニトロソ化合物、アミノ酸やタンパク質の加熱分解物、自動車の排ガスやタバコの煙に含まれるベンズピレン等が知られている。第二段階は、変異を受けた細胞がある化学物質によりがん細胞に誘導される過程(プロモーション)である。

発がん予防のため、これらの過程を阻害する物質の検索が盛んに行われてきた。緑黄色野菜やアブラナ科野菜などは発がんのリスクを低減させることが疫学的研究により示されており、それが科学的に明らかにされてきた。

(1) 抗変異原性

多くの野菜が発がんのイニシエーション過程を阻害する活性(抗変異原活性)を示すことが見いだされている。Trp P-1を変異原物質として用いるサルモネラTA-100株によるエームズテストにより、アシタバ、シュンギク、パセリ、インゲン、エダマメ、ゴボウ、ニンニクに特に強い抗変異原性があること、またポリフェノール含量の高い野菜は抗変異原性も強いことが認められた(表-3)⁹⁾。

野菜全般に含まれる抗変異原成分としてアスコルビン酸、カロテノイド、トコフェロール、

表-3 各種野菜抽出液の抗変異原性の強さによる分類とフェノール成分含量

変異抑制率(%)	野 菜	フェノール成分 平均(mg/100g)
80%以上	アシタバ, シュンギク, パセリ, インゲン, エダマメ, ゴボウ, ニンニク	150.46
70%以上80%未満	カイワレナ, チンゲンサイ, ミツバ, シシトウ, ショウガ	100.51
60%以上70%未満	ブロッコリー, レタス, オクラ, キウリ, トウガラシ, トマト ピーマン, サトイモ, ニンジン, レンコン	81.49
50%以上60%未満	カリフラワー, キャベツ, エンドウ, ホウレンソウ, カボチャ	72.46
40%以上50%未満	セロリー, サツマイモ, ハツカダイコン	57.66
30%以上40%未満	ハクサイ	34.18
30%未満	モヤシ, ダイコン, カブ, ジャガイモ	

表-4 野菜・果物に含まれる抗変異原性成分

アスכולピン酸	野菜・果物全般
カロテノイド	緑黄色野菜
トコフェロール	植物油
アリル化合物	アリウム属 (ニンニク, タマネギなど)
イソチオシアネート類	アブラナ科野菜
インドール類	アブラナ科野菜
テルペン類	
D-リモネン	柑橘類
グルチルリチン	甘草
ロズマノール	ローズマリー
フラボノイド類	野菜・果物全般
ポリフェノール類	茶, 野菜・果物全般
EGCG	茶
桂皮酸誘導体	果物, 大豆
クロロフィル類	緑野菜類

フラボノイドおよびその他のポリフェノール類などが知られ(表-4), 抗酸化成分の多くが抗変異原性を示すことが明らかになっている。また, それらの成分の作用様式や構造と活性との関係もかなり解明されてきている^{9, 10)}。高分子の抗変異原性成分としてはペルオキシダーゼやリグニン様化合物のような食物繊維がある。さらに, ナス, ブロッコリー, コマツナ, ホウレンソウ, キュウリなどの水溶性高分子画分に顕著な活性が認められ, それらの画分は調理の際の加熱にも安定であることが示されている¹⁰⁾。

(2) 発がんプロモーション抑制活性

ビタミンAやレチノイドが発がんプロモーションを顕著に抑制することが見いだされたことから, 野菜をはじめとする食用植物に含まれる発がんプロモーション抑制活性成分の探索研究が活発に行われるようになった。各種野菜・果実のプロモーション抑制活性を評価した研究¹¹⁾を紹介すると, 121種のうち28%以上の野菜・果実のメタノール抽出液に活性がみられ, 中でもチリメンズシャ, ナタネ(花柄部), カリフラワー, パセリ, ズイキ等14種に高い活性が認められた。マイナスの評価が得られたものについても, 脂溶性部と水溶性部に分画すると, シュンギク, カボチャ, セロリ, サトイモ, ショウガ, タマネギ, レンコンなど27種中14種の脂溶性部にプロモーション抑制活性が現れたと報告されている。

抑制活性物質としては, アオシソからオレアノール酸, ゴボウからモッコラクトン, ショウガからジンジャオールが単離・同定された(図-2)。そのほかに, オレアノール酸と同族の各種トリテルペン植物成分, カロテノイド, ケ

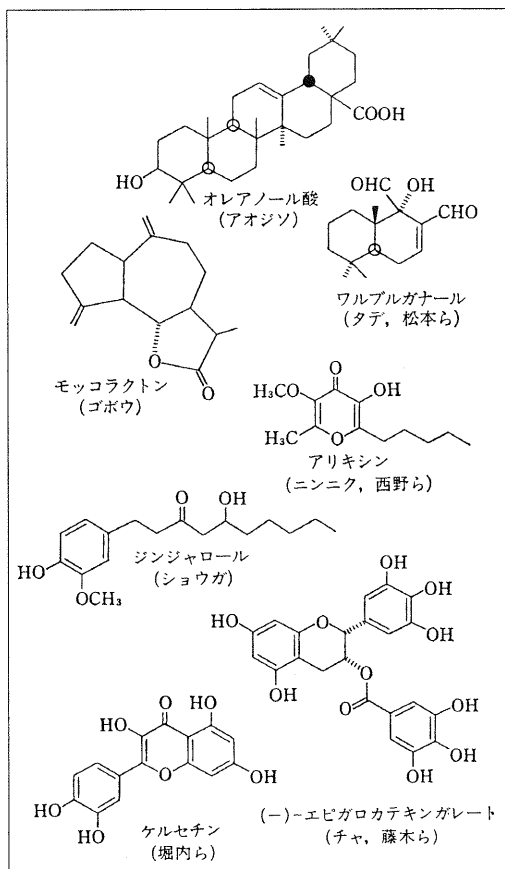


図-2 食用植物から単離された発ガンプロモーション抑制活性物質

ルセチンや(-)-エピガロカテキンガレート等のフラボノイド、クルクミン(ターメリックの黄色色素)等にもこの活性が認められた^{11,12)}。このように、植物界に一般的なテルペンやフェノールなどの成分はプロモーション抑制活性が期待できる化合物である。さらに、ネギ属野菜の多くが抑制活性を示し、ニンニクの成分であるアリキシンが活性物質として同定されるなど、多様な食用植物成分にこの活性が見いだされている。

3. 生体防御性(免疫賦活性)

ヒトは病原微生物やウイルスなどの異物を巧みに識別し、防御する機能(生体防御機能)を

備えており、これが疾病に対する抵抗力となっている。この機能には異物に対して非特異的なシステムと特異的なシステムがあり、後者が免疫作用といわれるものである。最近では、免疫機構を担うマクロファージ、T細胞等の白血球が感染症やがんのほかに動脈硬化、糖尿病等の種々の疾病と深く関わっていることが明らかになってきた。

現在、免疫賦活剤が薬として許可されているが、身近な野菜にも白血球の数を増やしたり活性化する成分が含まれることが見いだされている。ニンニク、キャベツ、ナガネギ等は白血球数を増加させる非常に強い活性を示し、ホウレンソウ、ニンジン、パセリ、ナス、ピーマン、キュウリ、ダイコン、カブ等にもこの活性が認められた。また、白血球活性化能はキャベツ、タマネギ、ナス、ダイコン等で強く、キュウリ、ニンジン、ホウレンソウも活性化することが報告されている¹³⁾。最近の研究ではリョクトウモヤシにマクロファージ様細胞を活性化する強い作用が見いだされた¹⁴⁾。免疫賦活性成分として明らかになっているのはフラボノイド類であり、アピン、ナリンギン等の一部の配糖体に活性が認められている。

このように、ビタミン類を多く含む緑黄色野菜は必ずしも免疫賦活性は高くなく、むしろ淡色野菜の方が高いことは非常に興味深い。野菜の生理機能の観点からは、淡色野菜の有用性を見直すべきであろう。

4. 抗アレルギー性

生体防御機能は生体にとって非常に重要なものであるが、この機能が高まり過ぎている状態、つまり白血球が必要以上に活性化している状態では炎症やアレルギーが起こる。健康な身体を

維持するには免疫システムのバランスがポイントになるのである。今日、日本人の3人に1人は何らかのアレルギー症に罹っているといわれている。炎症やアレルギーに対しては強力な抑制作用を示すステロイド剤がよく用いられるが、副作用が問題となっている。

生体防御機構に及ぼす野菜抽出液の影響を調べた研究で、シソやショウガは白血球の活性を抑制することが明らかにされた¹³⁾。シソからは活性成分としてフラボノイドの一種であるルテオリンが単離されている。これらの野菜の効果はステロイド剤よりもかなり弱いですが、食品由来物質によるマイルドな効果は生体にとってはむしろ望ましいといえる。

アレルギーには一部のアラキドン酸代謝産物が関与していることが知られている。生体内に存在する脂肪酸の一種であるアラキドン酸は、リポキシゲナーゼ、シクロオキシゲナーゼのようなアラキドン酸代謝酵素により代謝され、その代謝産物がアレルギーや動脈硬化あるいは血栓の原因となる。したがって、アラキドン酸代謝酵素を阻害する成分によりこれらの疾病を予防できるものと考えられる(図-3)¹⁵⁾。

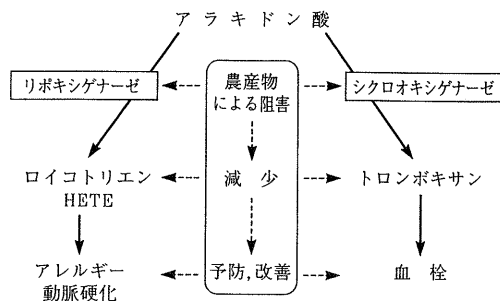


図-3 農産物によるアラキドン酸代謝阻害と健康機能発現

多くの農産物についてアラキドン酸代謝酵素阻害活性が検索された結果、ハウレンソウやタ

マネギに12-リポキシゲナーゼを阻害する強い活性が、またハクサイに強いシクロオキシゲナーゼ阻害活性がみられた¹⁵⁾。中程度の阻害活性は、シュンギク、シソ、ブロッコリー、ゴボウ、ナス、グリーンピース、ニンニクなど多くの野菜に認められた。ニンニクやタマネギの精油には抗血栓作用のあることが以前から報告されており、その活性成分としてメチルアリルスルフィドなどの硫化アリル化合物が考えられている。また、炎症を抑える作用をもつ生薬として古来より用いられてきたシソからは、活性成分の一つとしてロズマリン酸が単離された。

5. 血圧調節性

高血圧症はわが国で罹病率が最も高い疾患である。脳および心臓血管系障害の第一危険因子であるこの疾病は、食事との関連が特に強いことから、食品成分と血圧との関係がよく調べられてきた。血圧を上げる最強の因子は食塩である。逆に血圧を下げるミネラルはカリウム、カルシウム、マグネシウムであり、これらは野菜をはじめとする植物性食品に多い。また、水溶性食物繊維であるペクチンは胃の中でカリウムを放し、小腸で余分なナトリウムと結合して便中に排出することにより血圧を低下させる作用をもつことが明らかになった。不溶性食物繊維であるセルロースも弱いながらこの血圧低下作用を有している。

血圧上昇を抑制する成分の検索には腎血管性高血圧に關与するレニン・アンジオテンシン系を用いてよく行われてきた。この系の鍵酵素であるアンジオテンシン変換酵素(ACE)は血圧上昇作用を持つ物質を生成するため、この酵素の阻害成分は血圧上昇抑制作用を示すことが期待される。種々の野菜について検索が行われた結

果, アスパラガスやカラシナ, 次いでモヤシに強いACE阻害活性があり, ナス, ゴボウ, トマト, パセリ等にも阻害活性があることが見いだされた¹⁶⁾。これらの野菜の活性成分はポリフェノール類等の二次代謝産物である場合も多く, 例えばカテキン類に阻害作用が認められている。

6. 肥満・糖尿病予防機能

肥満や糖尿病も高血圧症とともに近年増加しており, やはり食事との関連が深いことから, 研究のターゲットになっている。肥満予防機能として, 線維芽細胞から脂肪細胞への分化を抑制する作用が検討され, これまでにシソ油などに含まれる α -リノレン酸のようなn-3系列の不飽和脂肪酸に分化を阻止する活性が認められた¹⁷⁾。全脂肪酸に占める α -リノレン酸の割合が高い野菜としてサラダ菜, ハクサイ, シュンギク, コマツナ, ホウレンソウ, 大根葉, シソなどがある。

糖尿病予防機能の研究では, タンニンやクロロゲン酸などのポリフェノール類が腸における糖の吸収を阻害するとともに消化酵素の活性も阻害することが見いだされている。インシュリンの分泌を制御する成分の検索も行われ, ケルセチンやカテキン類等のフラボノイドがインシュリンの分泌を促進することが知られている。

食物繊維は他の栄養素の消化・吸収を阻害したり糖や脂肪の吸収を遅らせ, 血中インスリン, グルコース, 中性脂肪レベルの上昇を抑えることにより, 体重増加の抑制や体脂肪の減少, 糖尿病予防効果をもたらす。このような食物繊維の生理機能は, 大腸がん予防機能, 血圧調節作用, コレステロール低下作用などとともに重要であり¹⁸⁾, 食物繊維の摂取量を増やすことが勧められている。

7. 機能性研究の展望

野菜の生理機能に関する研究は今後ますます進展し, 新たな生理機能や機能性成分が見いだされるであろう。これまでの研究のほとんどはin vitro系で行われてきたため, 実験動物やヒトの体内での機能性成分の動態や作用機構を明らかにすることが強く求められており, in vivo研究が徐々に増えつつある。

また, これまでの一素材一機能一成分型の要素還元型の研究から複数成分の複合作用の解明に向かうことも必要である。われわれが日常摂取する食品は多くの成分を含んでおり, それらの複合的な機能によって健康の維持・増強, 疾病予防が図られており, そこには成分間反応等による相乗効果や相殺効果などが存在するからである。たとえば, β -カロテンのがん予防効果は, β -カロテンを単独でとった場合と食品から他の成分とともにとった場合とでは大きく異なることが示唆されている。野菜そのものの生体内での作用, さらに野菜と他の食品を組み合わせた場合の総合的な生理機能の解明が待たれる。

おわりに

生鮮野菜の輸入が急増する中で国内産野菜の優位性を確保し, さらに産地間競争に勝ち抜くためには, 多様化する消費者ニーズ, 特に「高品質指向」に対応する技術開発が重要である。その一環として, 機能性成分を豊富に含有する品種の育成やそれらの含量を高める栽培技術の開発が進むことが望まれる。

若年層を中心に野菜離れが進み, 健康に歪みが生じている今日, 野菜の機能性研究の進展が野菜生産の活性化や消費拡大につながり, 豊かで健全な食生活の実現に寄与することを大いに

期待したい。

参 考 文 献

- 1) (社) 日本施設園芸協会編：野菜と健康の科学，養賢堂(1994)。
- 2) 中谷延二：蛋白質 核酸 酵素，38，1766-1777(1993)。
- 3) 大澤俊彦：食品工業，41 (14)，18-25 (1998)。
- 4) 寺尾純二：食品と開発，28 (10)，10-13 (1993)。
- 5) 東 敬子ら：野菜茶試生理生態部研究年報，10，104-105(1997)。
- 6) Tada, M. et al.: Biosci. Biotech. Biochem., 60, 1093-1095 (1996)。
- 7) Chuda, Y. et al.: J. Agric. Food Chem., 44, 2037-2039 (1996)。
- 8) 津志田藤二郎・篠原和毅：日本食品科学工学会誌，44，607-614 (1997)。
- 9) 津志田藤二郎：園芸学会平成8年度秋季大会シンポジウム講演要旨，151 (1996)。
- 10) 篠原和毅：食糧，31，19-44 (1993)。
- 11) 小清水弘一：化学と生物，29，598-603 (1991)。
- 12) Murakami, A. et al., Biosci. Biotech. Biochem., 60 (1)，1-8 (1996)。
- 13) 山崎正利：食品と生体制御 (村上浩紀・上野川修一・編)，講談社，126-137 (1992)。
- 14) 一法師克成ら：園学雑，66 (別2)，86 (1997)。
- 15) 関谷敬三：四国農試報告，61，31-37 (1997)。
- 16) 鈴木建夫ら：農化，57，1143-1146 (1983)。
- 17) 関谷敬三：農業および園芸，69，1049-1056 (1994)。
- 18) 辻 啓介：食品流通技術，20 (14)，11-16 (1991)。

新刊

SHIBUYA INDEX

—8th Edition—

1999年版

渋谷成美・ほか／編集 A4版 936頁 定価40,000円(税込)

1978年に第1版を発行して以来、簡便に使える農薬リストとして知られていた本書の第8版。世界の農薬すべてを網羅し、一般名、商品名、コードナンバー、メーカー名、構造式、適用場面、特性を記載。単剤3,600種を構造別に整理し、関連化合物の検索も容易にできる。また、混合剤で4,600余種も掲載。

呈内容見本

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 (植調会館) 電話/03-3833-1821 FAX/03-3833-1665