

カンキツ園の土壌改良における 有機物の利用に関する研究

石 井 孝 昭

(愛媛大学教育学部技術科)

(平成5年10月12日受理)

Studies on the Utilization of Organic Matter for Soil Improvement in Citrus Orchards

Takaaki ISHII

Department of Technology, Faculty of Education,

Ehime University

3 Bunkyo, Matsuyama, Ehime 790, Japan

(Received October 12, 1993)

Summary

Recently it has been claimed that the use of chemical fertilizers without addition of organic matter has a major deleterious effect on soil fertility, and that addition of organic matter is highly beneficial. In fruit growing, especially, the application of organic matter by deep tillage is considered to be an indispensable practice in order to obtain high soil productivity as well as high fruit quality. Application of organic matter, however, does not necessarily result in high soil productivity. Therefore, it is important that some effective methods of organic matter application are discussed. The purpose of this study is to investigate the utilization of organic matter for soil improvement in citrus orchards. The results are summarized as follows:

1. Effective or harmful influences of organic matter applied to soil: relationship between organic matter application and soil aeration

A waterproof version of zirconia oxygen sensor developed by the author is highly stable in the soil for a long time. This oxygen sensor has a very short response time and does not need any recalibration. Changes in soil oxygen concentration in citrus orchards as influenced by organic matter application were observed by using the oxygen sensor. A remarkably effective influence on the improvement of soil aeration due to well-fermented organic matter was observed in the rainy season. In particular, a complete recovery from anaerobic condition in the soil supplied with well-fermented organic matter was much faster than that in the

control (no organic matter application). In the soil supplied with unfermented organic matter, however, citrus trees were predisposed to such disorders as chlorosis and defoliation under chronic anaerobic conditions.

Evolution of gasses from waterlogging soils treated with organic matter was monitored by using a semiconductor gas sensor (type TGS823). This semiconductor gas sensor has high sensitivity to reducing gasses, such as gaseous hydrocarbons and H_2S . Output voltage of the gas sensor in soils supplied with unfermented organic matter markedly increased to near the maximum voltage (5V) of the gas sensor. No remarkable increase in the output voltage, however, was observed in the case of well-fermented organic matter or control (no organic matter application).

Gaseous hydrocarbons evolved from the soil treated with unfermented organic matter were mainly methane, ethane, ethylene, propane, propylene, iso-butane, and n-butane. Only ethylene in these hydrocarbons had very severe toxic effects on the growth of trifoliolate orange seedlings.

2. Ethylene evolution from organic matter applied to soil and the growth of citrus trees

Ethylene is produced in the soil. Therefore, the author investigated the relationship between soil ethylene and the growth of citrus trees, the relationship between ethylene production in the soil and organic matter application, ethylene-releasing substances in organic materials and soils, and changes in ethylene concentration in citrus soils.

a) Although elongation of citrus shoots was depressed even by 0.05 ppm ethylene in the soil, root growth at lower concentrations of ethylene was slightly stimulated compared with that in the control (without ethylene). Inhibition of photosynthesis was not observed at 0.05 ppm ethylene. At 0.5 ppm and above, however, tree growth and photosynthesis were inhibited. In particular, 5 and 50 ppm ethylene severely suppressed the growth of citrus trees. Ethylene application also affected the contents of N, P, K, Ca and Mg in the leaves, shoots, and roots.

b) In soils where unfermented organic matter has been applied, ethylene has often been detected at concentrations high enough to inhibit citrus growth. The application of well-fermented organic matter, however, neither stimulated evolution of ethylene in the soil nor inhibited the tree growth significantly.

c) The amount of ethylene evolved varied depending upon the characteristics of organic matter. Evolution of ethylene from the soil supplied with organic matter was markedly influenced by the degree of organic matter fermentation, soil temperature, soil moisture, and soil aeration.

d) The major ethylene-releasing substances in organic materials and soils were lipids such as glycerides and sterols as well as those bound to galactose or sucrose (glycolipids). Ethylene evolution from lipids may be caused by both microbial and non-microbial activities.

e) The concentration of soil ethylene in citrus orchards increased in the rainy season. In particular, the increase in ethylene concentration was great in soils which contained a great deal of lipids.

3. Problem of the compost containing sawdust or bark: the phytotoxic substances and citrus growth

The problem of the composts containing sawdust or bark was investigated. The author mainly used two kinds of bark: hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. ex Endl.) and cryptomeria (*Cryptomeria japonica* D. Don). In Japan, the afforestation area of these species is on the increase in recent years.

a) Inhibitory effects of the composts mixed with fowl faeces and sawdust may be caused by volatile substances such as ethylene evolved from the composts and/or phenolic substances in

the composts rather than by nitrogen deficiency in the growing trees. The NaCl content in the composts was about 1% by dry weight. The content of NaCl contained in the soil of 2% compost (by weight) inhibited the growth of trifoliate orange seedlings.

b) Phytotoxic effects of the bark and sawdust extracts from several woody forest species were examined. Extracts of *Chamaecyparis obtusa* sawdust and bark, Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) sawdust and bark, western spruce (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) sawdust and bark, Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) sawdust and apitong (*Dipterocarpus* spp.) bark inhibited the growth of rice plant seedlings. Particularly, inhibitory effects of *Chamaecyparis obtusa* sawdust and bark, Douglas fir sawdust and bark, *Pinus densiflora* sawdust were very severe. However, extracts of *Cryptomeria japonica* sawdust and bark, apitong sawdust and red lauan (*Shorea negrosensis* Foxw.) sawdust did not impede rice growth.

c) The major phytotoxic constituents in the water extract of *Chamaecyparis obtusa* bark were condensed tannins. The tannins severely inhibited the growth of trifoliate orange seedlings. Several phenolic acids, such as benzoic acid and gallic acid, were also detected in the the water extract of the bark.

e) Volatile substances from *Chamaecyparis obtusa* bark inhibited root elongation of trifoliate orange seedlings. *Cryptomeria japonica* bark, however, did not inhibit root growth. It may be caused that the concentrations of volatile terpenes such as pinene, and ethylene evolved from *Chamaecyparis obtusa* bark are higher than those from *Cryptomeria japonica* bark.

4. Utilization of sawdust and bark

By using several kinds of sawdust and bark, the fermentation methods of their composts mixed with fowl faeces were examined. When temperature for the fermentation of the composts was adjusted to 55°C at the beginning of fermentation (30 days), 50°C in the middle (30days) and 40°C at the end (40days), every compost was completely decomposed and no inhibitors were detected in the composts. In the field, however, it was difficult to control the temperature during fermentation and to decompose the composts completely for about 3 months.

In order to determine the quality of compost, the author has developed an apparatus for the detection of gaseous phytotoxic substances evolved from organic matter by using a semiconductor gas sensor as described above. The results showed that the apparatus equipped with the semiconductor gas sensor was useful for determination of the fermentation of organic matter. Since the structure of the apparatus is simple, it would be easy to improve it for the future use in the field.

Unfermented barks of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* were used as materials for citrus orchard mulch and as soil conditioners. *Cryptomeria japonica* bark, when used as a soil conditioner, inhibited the growth of citrus trees. The inhibition is attributed to the ethylene evolved in the soil as the bark decays. No inhibitory effect, however, was observed when the bark was applied on the soil surface as a mulch. The mulch kept the citrus trees vigorous, as compared with those in the clean cultivated plots where weeds were removed manually with hoes and herbicides. However, the amount of mulch applied annually should be kept below 4 tons per 10 ares. Otherwise fruit quality may be sacrificed.

Chamaecyparis obtusa bark contains a great deal of growth inhibiting substances. Therefore, it is difficult to make a high quality compost with it even though it is fermented and mixed with livestock manure. The bark also contains antibiotic substances, but heating and washing it with alkaline solutions effectively eliminated the growth inhibitors. Washing with acid solutions was less effective. Condensed tannins, which severely inhibit growth of trifoliate orange seedlings, were washed out with the alkaline solutions: 0.1% CaO and 0.1% Ca(OH)₂.

5. Utilization of organic matter as the form of charcoal

When organic matter containing a great deal of phytotoxic substances is used as the form of charcoal, the problem of growth inhibition due to them is solved. Therefore, the author examined the effects of several kinds of charcoal applied to the soil on the growth of citrus trees and vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) development in the root. Every charcoal application markedly stimulated VAM development and tree growth. Charcoal also reduced inhibitory effects of fresh organic matter applied to soils on citrus growth. This reduction may be closely connected to the fact that charcoal in the soil is functioning as a adsorbent of both phytotoxic substances in the fresh organic matter and ethylene evolved from the matter.

目 次

緒 言	107
第1章 有機物施用の効用と弊害、特に土壌通気との関係について	109
第1節 有機物施用がカンキツ園土壌の通気性の改善に及ぼす影響	109
第2節 未熟成の有機物施用土壌における酸素濃度の変化	112
第3節 腐熟度が異なる有機物施用土壌から発生するガスの様相	113
第4節 考 察	115
第5節 摘 要	116
第2章 有機物施用土壌から発生する低級炭化水素、特にエチレンと カンキツ樹の生育について	117
第1節 有機物施用土壌から発生する低級炭化水素	117
第2節 土壌中の低級炭化水素、特にエチレンがカンキツ樹の生育 および光合成に及ぼす影響	126
第3節 有機物施用土壌におけるエチレンの発生とカンキツ樹の生育	133
第4節 有機物および土壌中のエチレン発生物質の探索	135
第5節 カンキツ園土壌中のエチレン濃度の季節的变化	144
第6節 考 察	146
第7節 摘 要	150
第3章 おがくずおよび樹皮を用いた堆肥施用の問題点、特に生育 阻害物質の存在とカンキツ樹の生育について	152
第1節 市販の家畜ふん尿入りおがくず堆肥の問題点	152
第2節 塩分がカラタチ実生の生育に及ぼす影響	158
第3節 おがくずおよび樹皮中の生育阻害物質、特にフェノール 物質とイネ幼苗およびカラタチ実生の生育	160
第4節 ヒノキ樹皮中の生育阻害物質	162
第5節 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するガス、 特にテルペン類およびエチレン	167
第6節 テルペン類がカラタチ実生の生育に及ぼす影響	169
第7節 考 察	170
第8節 摘 要	171
第4章 おがくずおよび樹皮の利用について	173
第1節 おがくずおよび樹皮堆肥作製のための堆積期間と抑制物質の消失	173
第2節 腐熟度判定のための半導体ガスセンサの利用	174
第3節 ヒノキ樹皮中の生育阻害物質の除去方法	176

第4節 スギ樹皮のマルチ資材としての利用	179
第5節 考 察	185
第6節 摘 要	187
第5章 有機物の炭としての利用について	188
第1節 数種類の炭の化学的性質および形状	188
第2節 炭施用がカンキツ樹の生育および菌根形成に及ぼす影響	190
第3節 炭施用が有機物による生育阻害の軽減効果に及ぼす影響	194
第4節 考 察	197
第5節 摘 要	198
総合考察	199
総 摘 要	204
引用文献	207

緒 言

近年、化学肥料多投による土壌の劣化が問題になってきており、その改善方法として、有機物施用の必要性が唱えられている。有機物施用が土壌の物理性、化学性、生物性の改善に効果的であることはすでに明らかにされており（橋元, 1977; 熊田, 1981; 高井・三好, 1977）、カンキツ栽培においても、有機物施用は土壌を改善して、根の生育を助け、高品質の果実を毎年安定して得るために、必要不可欠な農作業の一つであることが知られている。松本（1975）は、土壌が深く根系のよく発達した外国のオレンジ園などでは有機物施用の効果を認めにくい、わが国の傾斜地カンキツ園のように土壌が浅いところでは搬入有機物の適度な量を踏まえて施すとその効果が顕著に見られることを述べている。

しかし、農地に搬入される有機物は多種多様で、その性状も資材ごとに著しく相違しており、また有機物の施用法、土壌条件なども極めて多様であることから、熊田（1981）は一般論としては、すべての有機物が、プラス、マイナス、ゼロの3通りの効果を示す可能性を持つことになる。現実には、有機物施用はプラスの効果だけでなく、施用による生育障害の事例も報告されている（石井・門屋, 1987; 岩切・松瀬, 1982; 岩切ら, 1986a, 1986b; 貞松・御厨, 1983）。これらの主な原因は未熟成あるいは生の有機物に存在する病原菌による害（貞松・御厨, 1983）、これらの有機物に由来する抑制物質による害（石井・門屋, 1987; 岩切・松瀬, 1982）、堆きゅう肥施用土壌におけるカリ含量などの増加による塩基組成不均衡の害（岩切・松瀬, 1982; 岩切ら, 1986a, 1986b）である。特に、最近使用されている有機物が、稲わらなどのような良質な資材から、堆肥資材としてはあまり好ましくないおがくずや樹皮などの木材片に替わってきていることにも起因している。おがくずや樹皮は、稲わらと比べて、炭素率（C/N 率）が高く、また樹種の違いにもよるが抑制物質を多量に含む傾向にある。さらに最近では、南洋材ではラワンに替わり、これと同じフトバガキ科の広葉樹で樹脂を多く含むアピトンが、北米材ではツガ、マツなどの針葉樹が、また日本材ではヒノキ、スギなどの針葉樹がおがくず堆肥や樹皮堆肥の主な給源になっている。一般に、これらの材は発酵腐熟しにくい。しかし、稲わらなどの資材が不足傾向にある現在、上述した樹種のおがくずや樹皮を積極的に利用する方法を探らなければならない。

本研究は、有機物施用の効用、特に土壌中の通気性改善への効果を酸素センサを用いて調査するとともに、有機物に由来するどのような物質が樹の生育に悪影響を及ぼしているのか、発酵腐熟しにくい有機物、特におがくずや樹皮をどのような方法で無害なものにして有効利用できるのかを、主にカンキツ園土壌について明らかにしたものである。

本論文を取りまとめるにあたり、懇篤なご指導とご校閲を賜った京都大学農学部教授杉浦明博士に衷心より感謝する。また、本研究の遂行にあたり、終始ご指導とご激励を賜った愛媛大学農学部教授門屋一臣博士、著者を果樹園の土壌改良についての研究へと導き、研究者としての心構えをご教授していただいた愛媛大学農学部前教授岩崎一男博士（故人）に深甚なる謝意を表す。さらに、有益なご助言をいただいた愛媛大学農学部名誉教授松本和夫博士、同大学教育学部宮内正義教授、同大学農学部助教授水谷房雄博士、京都大学農学部助教授米森敬三博士、並びにVA菌根菌の同定法についてご教示いただいた農林水産省森林総合研究所小川眞博

士（現：関西総合環境センター生物環境研究所）および山家義人氏に謝恩の意を呈する。

最後に、本実験の遂行の過程でご協力をいただいた愛媛大学農学部園芸研究室の方々，愛媛大学教育学部技術教室の方々に厚くお礼申し上げます。

第1章 有機物の効用と弊害、特に土壤通気との関係について

有機物施用が、①土壤の物理性の改善、②土壤の化学性の改善、③土壤の生物環境の改善に効果があることはよく知られていることである。特に果樹栽培において、深耕による有機物の施用は下層土への通気を良好にして根の伸長を促し、樹の生育や果実発育・品質に好影響を及ぼす。カンキツ樹では少なくとも大気中の10分の1の酸素（2% O_2 ）が絶えず供給されていなければ、根が著しいストレス状態に陥ることが明らかにされている（Iwasaki, 1972）。しかし、実際に有機物を施用した土壤の酸素濃度の変化を計測した報告は少なく、どの季節に有機物施用による土壤通気性改善の効果が現れるのか、また降雨などによってどのように酸素濃度変動するのか、など不明な点がある。そこで、筆者らは土壤中の酸素濃度が測定可能な酸素センサを開発し、これを用いて有機物施用土壤における酸素濃度の変化を連続的に計測することを試みた。

有機物の施用は土壤通気の改善などに効果がある反面、未熟成あるいは生の有機物や炭素率の高い有機物などを使用するときには作物の生育に悪影響が生じることが知られている（橋元, 1977；石井ら, 1986；石井・門屋, 1987；岩切・松瀬, 1982；岩切ら, 1986a, 1986b；河田, 1981；西尾ら, 1988；貞松・御厨, 1983；杉浦, 1991；高木, 1988）。

ここでは、有機物施用の効用と弊害、特に土壤通気との関係を酸素センサを用いて調査するとともに、腐熟度の異なる有機物施用下での湿害と半導体ガスセンサによる還元性ガスの発生様相を計測した。

第1節 有機物施用がカンキツ園土壤の通気性の改善に及ぼす影響

有機物施用が土壤の通気性改善に及ぼす効果を探るために、有機物施用土壤における酸素濃度の変化を、筆者らが開発した酸素センサを用いて連続的に計測した。

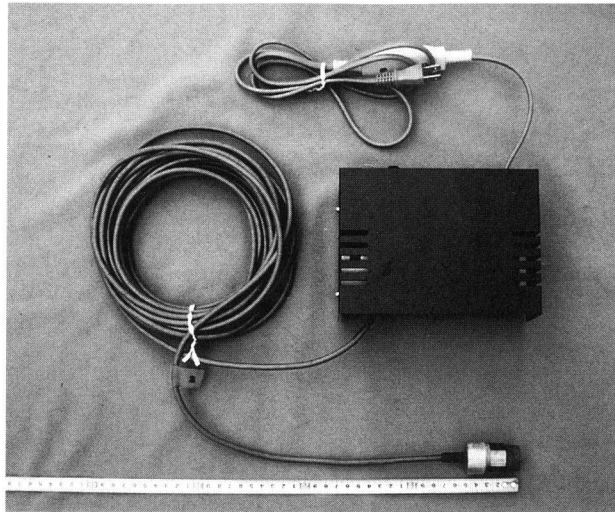
材料および方法

ジルコニア固体電解質方式によるセラミック酸素センサを土壤中で使用できるように改良した（第1図）。このセンサは、第2図に示すように、8 mol% Y_2O_3 安定化ジルコニア焼結体の両側に白金電極が取り付けられており、その片方に拡散孔を有するキャップが接合されている。また、キャップ上部には加熱用のヒーターも付いている。このセンサにある一定の電圧をかけたとき、酸素濃度の増加につれて限界電流が増加するので、この電流値から酸素濃度を求めることができる（浅田ら, 1988）。そこで、土壤での使用を可能にするために、酸素は通すけれども水分は通さないテフロン膜とセンサの保護のための金属焼結体をセンサに取り付けた。このセンサは以下に示す特性を有している。

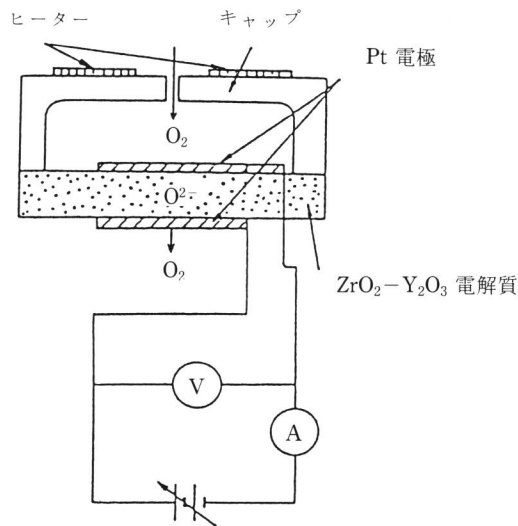
- 1) 使用時にはセンサ部を加熱させる必要があるが、センサから5 cm離れた地温の上昇はわずかであり（1～2℃）、30 cm離れると地温の上昇は観察されない。
- 2) テフロン膜に覆われた空間（2 ml）にわずかの酸素が含まれているので、実際の酸素濃度に対する応答に時間のずれを生じる。しかし、窒素ガスによる処理では1分以内にほぼ0%になる。

3) 土壌中や水中でも安定性がよい。

4) 2項で述べたように、センサ内部にわずかの空間が存在するので、水中の溶存酸素は測定できない。



第1図 本実験で用いたジルコニア酸素センサ



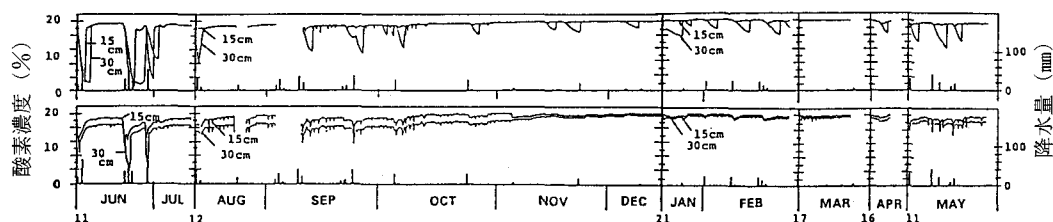
第2図 本実験で用いたジルコニア酸素センサの原理

土壌中の酸素濃度の計測実験には、愛媛大学教育学部圃場に植栽の4年生のイヨカン樹（カラタチ台）を用い、有機物施用区および有機物無施用（対照）区ともに4樹を供試した。1988年5月18日に幹から60cmのところに1樹当たり4か所に穴（穴幅40×30cm、深さ40cm）を掘り、有機物を1穴につき乾物重（DW）で1kg相当を施した。有機物には尿素を加えて約6か月間

腐熟させたケヤキ葉堆肥を用いた。酸素センサは、有機物を土壤と混合させ穴に埋め戻すときに、各処理区2樹を用い、1樹につき1穴を使用し地表下15cmと30cmのところに設置した。対照区でも有機物施用区の場合と同様な穴を掘り、有機物を施さずに酸素センサを土壤に埋設した。酸素センサの設置約1か月後、センサからの出力を30分間隔でA/Dコンバータ付きのコンピュータに取り込んだ。実験開始2年目の春、有機物施用区および対照区におけるイヨカン樹の新しょうの長さを1樹に付き10本測定した。降水量は松山気象協会の資料を用いた。なお、かん水は計測期間中は全く行わなかった。

結 果

土壤中の酸素濃度は、第3図に示すように、有機物施用区および対照区ともに、降水によって低下する傾向が観察された。しかし、酸素濃度の低下の程度は有機物の有無、土壤の深さ、季節によって著しく影響された。特に、6月11日からの降水量が多い期間は酸素濃度が本実験中で最も減少したときであり、2%近くまで低下した。しかし、低酸素状態にある時間は対照区よりも有機物施用区の方が極めて短かった。1日の降水量が35mm以上あった6月23日から25日において、対照区では地表下30cmの酸素濃度約2%の状態が3～4日続いたが、有機物施用区では2～3時間であった。一方、実験開始2年目の有機物施用区のイヨカン樹の新しょう伸長量は、対照区の場合と比べて、約2倍伸長していた(第1表)。このように、有機物施用による土壤通気性の改善効果は、雨が多く、またカンキツ根の伸長が旺盛な5～7月上旬や9月ごろにおいて顕著に現れることが明らかになった。



第3図 カンキツ(宮内イヨカン)園土壤中の酸素濃度の季節的变化

上図: 有機物無施用(対照)区

下図: 有機物(熟成ケヤキ葉堆肥)施用区

注) 1988年6月11日から1989年5月31日までの約1年間、防水型ジルコニア酸素センサを地表下15および30cmに埋設し、酸素濃度の変化を連続的に調査した。

第1表 酸素濃度計測圃場におけるカンキツ
(宮内イヨカン) 樹の新しょう伸長量

処 理 区	平均新しょう伸長量 (cm)
有機物無施用(対照)区	18.4 ^Z
有機物施用区 ^Y	36.0

Z) 5%レベルで有意差あり。

Y) 有機物には熟成ケヤキ葉堆肥を用いた。

第2節 未熟成の有機物施用土壌における酸素濃度の変化

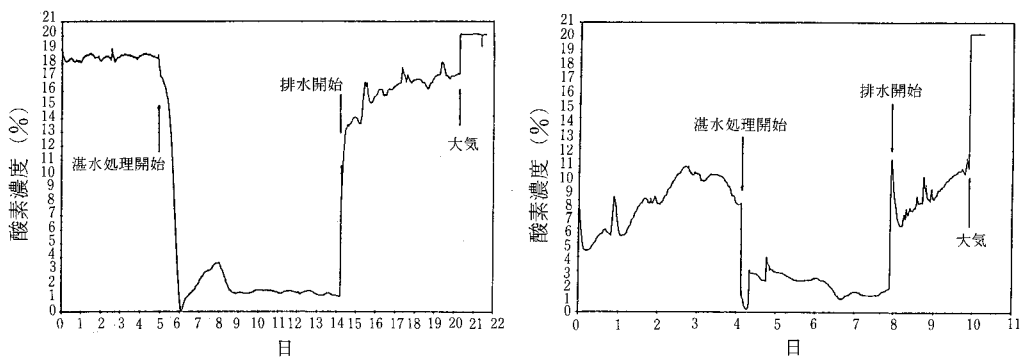
有機物施用は土壌の通気性改善に効果があることが前節の調査からも明らかになったが、有機物の種類によっては作物の生育に悪影響を及ぼすことが知られている。ここでは、未熟成の有機物を施用した土壌中の酸素濃度の変化を調査した。

材料および方法

前節の酸素センサを用いて、未熟成の有機物を施用した土壌中の酸素濃度の変化を有機物無施用の場合と比較して調査した。実験は1/2,000 a のワグナーポット下で行い、未熟成のカンキツせん定くず乾燥粉末(200 g)を花こう岩土壌(有機炭素含量:0.06%)と混合したものを用い、ナツダイダイ実生3年生樹を植え付けた。このとき、酸素センサ並びに地温測定のためにサーミスタを地表下15cmに設置した。なお、有機物無施用(対照)区は花こう岩土壌のみとした。移植5日後から調査を開始し、センサからの出力電圧を10分毎にA/Dコンバータ付きのパソコンに取り込んだ。排水は、湛水処理によって葉の黄化が激しくなり、落葉し始めた後に行った。

結 果

酸素センサによって有機物無施用(対照)土壌および未熟成の有機物(カンキツせん定くず)施用土壌中の酸素濃度の変化を調査したところ(第4図)、未熟成有機物を施用した土壌では酸素濃度が4.5-10%であり、有機物無施用区の土壌における濃度(およそ18%)と比べて低く、慢性的な嫌気状態にあることが明らかになった。一方、湛水処理によって、いずれの区でも酸素濃度の減少が見られたが、その減少速度は有機物無施用土壌よりも未熟成の有機物施用土壌の方が急速であった。特に、未熟成の有機物施用土壌では、湛水処理後20分以内に酸素濃度が1%になった。排水を行うと、いずれの区でも30分以内に湛水処理開始までの濃度に戻った。なお、調査期間中の地温はいずれの区も24-28℃の範囲にあった。



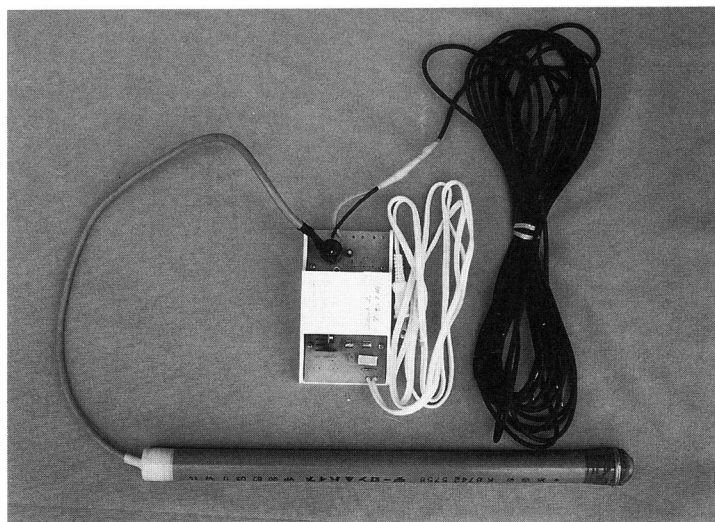
第4図 カンキツ樹植栽の有機物施用および無施用土壌における酸素濃度の変化
 左図：有機物無施用(対照)区
 右図：有機物(未熟成カンキツせん定くず)施用区

第3節 腐熟度が異なる有機物施用土壌から発生するガスの様相

排水不良な土壌からはメタン、硫化水素のような還元性のガスが発生することが知られている。しかし、施用有機物の腐熟度の違いによって、排水不良な土壌から発生する還元性ガスの様相も異なることが考えられる。そこで、低級炭化水素、エタノール、硫化水素のような還元性ガスの検知能力が高い半導体ガスセンサを用いて、未熟成および熟成の有機物施用土壌から発生するガスの様相を比較調査した。

材料および方法

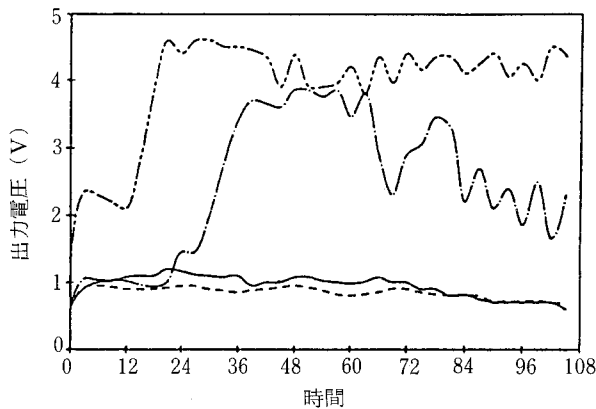
本実験に用いた半導体ガスセンサ（TGS823 型， SnO_2 焼結体で傍熱型）を第5図に示す。このセンサは還元性ガスの検知能力が高く，1 ppm 程度のエチレンを検出することが可能であるが，一般に①ガスの選択性が小さい，②温湿度の影響を受けやすい，という短所がある。ただし，本実験に用いたセンサはテフロン膜でセンサ部を覆い，湿度の影響を小さくした。有機物には，ケヤキ葉堆肥（尿素を加えて約6か月間腐熟させたもの），未熟成のカンキツせん定くずおよび未熟成のブドウ葉の乾燥粉末を用いた。これらの有機物と，風乾後1mmのふるいにかけた花こう岩土壌（有機炭素含量：0.06%）を混合したものを1ℓのビンに入れた後，ビンの空間が100 ml になるように水を加えて，湛水状態にした。供試有機物の施用量は熟成ケヤキ葉堆肥および未熟成カンキツせん定くずで10%（重量比），未熟成ブドウ葉で5%施用とした。なお，対照区は花こう岩土壌のみとした。湛水処理後，センサを取り付けた蓋（ふた）でビンを閉じ，28℃下で土壌から発生する発生するガスを調査した。また，このような条件下での土壌から発生するエチレンなどの低級炭化水素の変化を調査するために，蓋の小孔から注射器でビン気相部の空気2 ml を採取し，活性アルミナを充てん剤とした水素炎イオン化検出器（FID）付きガスクロマトグラフを用いて分析した（Ishii ら，1982）。



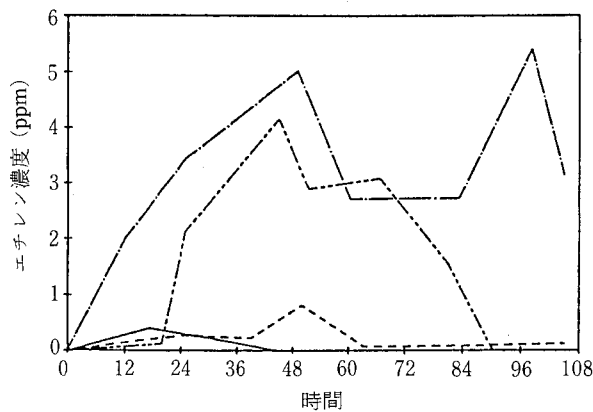
第5図 本実験に用いた半導体ガスセンサ

結 果

有機物を施用した湛水土壤から発生するガスを半導体ガスセンサで経時的に調査したところ(第6図), ケヤキ葉堆肥施用区や有機物をほとんど含まない花こう岩土壤のみの対照区では, センサからの出力電圧の変化が極めて小さかった. しかし, 未熟成有機物(ブドウ葉およびカンキツせん定くず)を施用した場合, センサ出力電圧はおおよそ1日でセンサの最大出力電圧(5V)近くまで急激に増大した. その後, 未熟成のブドウ葉施用区では実験開始後3日から出力電圧がわずかに減少する傾向が見られたが, 未熟成のカンキツせん定くず施用区では実験期間中出力電圧が4V付近であった.



第6図 有機物施用土壤に設置した半導体ガスセンサの出力電圧の変化
 有機物無施用区 ———— ;
 熟成ケヤキ葉堆肥施用区 ;
 未熟成ブドウ葉施用区 - - - - ;
 未熟成カンキツせん定くず施用区 - · - · -



第7図 有機物施用土壤から発生するエチレン濃度の変化
 有機物無施用区 ———— ;
 熟成ケヤキ葉堆肥施用区 ;
 未熟成ブドウ葉施用区 - - - - ;
 未熟成カンキツせん定くず施用区 - · - · -

このような条件下での有機物施用湛水土壌から発生するエチレンをガスクロマトグラフで調査したところ（第7図）、ケヤキ葉堆肥施用区や対照区におけるエチレンの発生は調査期間中極めてわずかであった。しかし、未熟成有機物を施用した土壌からは実験開始後1日目から多量のエチレンが発生していた。エチレン以外にも、メタン、エタン、プロピレン、プロパン、ブタンなどのガスが検出された。

第4節 考 察

永年作物である果樹の栽培において、良品多収を望むならば、土壌に肥料を年々適当に補給するとともに、土壌中に根を広く分布させることが重要である（岩崎ら，1981；小林，1972；丹原，1969）。そのために、古くから、堆肥などの有機物を入れる深耕方法によって、根の呼吸に必要な酸素が土壌の深部まで供給されるように土壌の通気性を改善することが行われてきた。土壌通気が不良であると、カンキツの樹体生長および養分吸収は劣り（岩崎・小林，1964；Iwasaki, 1972, 1975；Labanauskas ら，1972；森田，1955），また結実並びに果実発育・品質に著しい悪影響を及ぼすことが報告されている（Iwasaki, 1975）。

本研究で開発した酸素センサは土壌中の酸素濃度を連続的に計測可能であり、このセンサの利用によって、熟成した有機物の施用は土壌の通気性改善に効果があることを明らかにした。すなわち、有機物施用土壌では、雨が多く、樹の生育、特に根の伸長が旺盛な5～7月や9月において酸素欠乏の状態にある時間が短かった。筆者ら（1981）は、カンキツ成木園において、実際に梅雨期に圧縮空気深耕機を用いて通気処理を行ったとき、ウンシュウミカンおよびイヨカンともに、無機主要5要素の内特にCaの吸収が高まり、果汁の糖含量が増加する傾向があること、またイヨカンでは耐凍性が増大する傾向があることも明らかにしている。最近、果実の品質を高める栽培技術が検討されているが、果実品質向上のためには有機物施用によって、まず土壌の通気性を改善することが非常に重要であると考えられる。

しかし、有機物の種類によっては作物の生育に悪影響を及ぼす。未熟成有機物を用いた場合、発酵腐熟する過程で酸素が消費されることは周知の事実である。本実験で、実際にどの程度酸素消費があるのかを酸素センサで計測したところ、未熟成のカンキツせん定くずを施用した土壌（1%施用相当）中の酸素濃度は施用1週間後でおよそ5%であり、慢性的な嫌気状態にあった。このことは、未熟成あるいは生の有機物を施用したときには、酸素欠乏による悪影響とともに、これによって生成される還元性物質の影響も問題になってくることを示唆している。わが国のカンキツ主要産地は傾斜地園が多く、一般に排水が良好であるが、傾斜地園でも排水の不良な園が見られることがある（岩崎ら，1981）。また、水田転換園のカンキツ樹では過湿による害が深刻な問題となっている（佐々木，1982）。このような園では有機物を利用し排水性を改善することが行われているが、時には有機物施用によって樹の生育が有機物を用いなかった場合よりもかえって悪くなり、著しい湿害を被ることがあることはよく知られていることである。湿害は、特に未熟成有機物を施用した土壌において激しいことが明らかになっている（林・脇坂，1956；石井ら，1986）。これは、未熟成の有機物施用土壌における酸素消費が大であり、還元性物質が生成されやすい土壌条件になることが原因のように思われる。湛水土壌では、メタン、エチレンなどの低級炭化水素（Ponnamperuma, 1984；Russell, 1973；Smith・Russell, 1969）、硫化水素（林・脇坂，1956；陽ら，1981；Ponnamperuma, 1984；

Russell, 1973) のような生長阻害ガスや、亜酸化鉄 (林・脇坂, 1956 ; Ponnampetuma, 1984) のような生育阻害物質が生成されることがすでに明らかにされている。

第 5 節 摘 要

- (1) 有機物施用による土壌通気性の改善効果を酸素センサを用いて 1 年間野外調査したところ、有機物施用 (熟成ケヤキ葉堆肥) の効用は特に雨の多い時期において顕著であり、有機物施用区では有機物無施用区と比べて低酸素状態にある時間が非常に短く、通気状態が良好であった。
- (2) 酸素センサによって有機物無施用土壌および未熟成有機物 (カンキツせん定くず) 施用土壌中の酸素濃度の変化を調査したところ、未熟成有機物を施用した土壌では湛水処理前ですでに慢性的な嫌気状態にあり、湛水処理後における樹の生育障害を著しく助長させることが明らかになった。特に、湛水処理による土壌中の酸素濃度の低下は有機物無施用土壌の場合と比べて未熟成有機物施用土壌の方が激しく、湛水処理後 20 分以内に酸素濃度が 1 % になった。
- (3) 腐熟度の異なる有機物を施用した湛水土壌から発生するガスを半導体ガスセンサで経時的に調査したところ、熟成ケヤキ葉堆肥施用区や有機物をほとんど含まない花こう岩土壌のみの区では、センサからの出力電圧の変化が極めて小さかった。しかし、未熟成有機物 (ブドウ葉およびカンキツせん定くず) を施用した区ではセンサ出力電圧が約 1 日でセンサの最大出力電圧 (5 V) 近くまで急激に増大した。本センサは未熟成有機物から発生するエチレンなどの低級炭化水素や硫化水素を検出しているものと推察される。

第2章 有機物施用土壌から発生する低級炭化水素、特にエチレンとカンキツ樹の生育について

第1章の調査から、未熟成有機物を施用した土壌は、慢性的な低酸素濃度状態にあり、このような土壌からはエチレンなどの低級炭化水素が発生していることを明らかにした。これまでに、Smith・Russell (1969) は嫌気土壌では穀物、トマトおよびタバコの生育を阻害するほどの高濃度のエチレン (1–10 ppm) が発生していることを報告している。筆者ら (1982) もブドウ樹を栽植した土壌が嫌気状態になったとき、土壌中のエチレン濃度が高まり、低酸素による生育障害がエチレンによってさらに強められることを明らかにしている。

一方、エチレン発生は稲わら (中野・楯塚, 1979; 中山・太田, 1980 a), 麦わら (Goodlass・Smith, 1978 b), 干し草 (Goodlass・Smith, 1978 b), 並びにいくつかの植物葉 (中野・楯塚, 1979) を施用した湛水土壌で盛んであることが報告されている。しかし、エチレン発生に関与する有機物の種類や量あるいは土壌環境要因については不明な点が多く、また有機物施用土壌におけるエチレン生成とカンキツ樹の生育との関係についての研究例も見当たらない。

そこで、ここではこれらの点を調査し、未熟成あるいは生の有機物を施用した土壌における生育障害の一要因としてのエチレンの関与を検討した。また、有機物および土壌中のエチレン生成物質の探索を行うとともに、2年間にわたってカンキツ園土壌中のエチレン発生量を調査した。

第1節 有機物施用土壌から発生する低級炭化水素

いろいろな種類の有機物を土壌に施用し、低級炭化水素、特にエチレンの発生を調査した。また、エチレン発生に関係する要因についても検討した。なお、いずれの調査も少なくとも3反復で行った。

材料および方法

実験1 各種有機物加用土壌からの発生

第3表に示す有機物を、新鮮物については凍結乾燥機、また落ち葉やせん定後の枝葉については40℃に調節した通風乾燥機で乾燥させ粉碎した後、20メッシュのふるいにかけたものを実験に供試した。各有機物2gを、風乾後1mmのふるいにかけた花こう岩土壌 (pH 5.9, 有機炭素: 0.06%, 全窒素: 0.0053%) 20gと混合し、100 mlの褐色ビンに入れた。この後、蒸留水20 ml (稲わらの場合は30 ml) を加えて、湛水状態にし、テフロン製の蓋で密閉し30℃下で培養した。湛水处理後1日目または3日目にビン気相部のガスを採取し、ガス採取後はビン気相部に存在するガスを追い出し、再度密閉する方法をとった。低級炭化水素は第1章と同様に活性アルミナカラムを用いたFIDガスクロマトグラフを使用して分析した。

エチレンの同定は、本実験で最も多量のエチレンを発生したブドウ枯葉を用い、島津ガスクロマトグラフ質量分析装置 (9020-DF) で、エチレンのイオン特性、 m/z 28をモニターすることによって行った。分析条件は下記に示すとおりである。

活性アルミナ (60-80 mesh), 2 mm × 2 m ガラスカラム
キャリアーガス (ヘリウム) 圧力: 1.2 kg/cm², カラム温度: 100℃
注入温度: 170℃, 熱電子エネルギー: 30 eV, イオン加速電圧: 3 kV
イオン源温度: 300℃

実験 2 エチレン発生に関する要因

土壌におけるエチレン発生の要因を調査するために, 主にブドウ枯葉乾燥粉末を含む花こう岩土壌 (実験 1 と同様のもの) を用い, 下記の要因について実験 1 の方法に準じて実験を行った.

a) 土壌

風乾後 1 mm のふるいにかけた水田土壌 (pH 5.0, 有機炭素: 1.18%, 全窒素: 0.11%) も使用し, 花こう岩土壌からの発生と比較した.

b) 温度

4, 30 および 60℃ 下での発生を調査した.

c) 水分

風乾土壌に蒸留水を重量比で加え, 0, 15 および 100% (湛水状態) 区を作り, 30℃ 下で調査した.

d) 酸素

土壌水分を 15% (重量比) に調整し, 空気 (酸素約 21%) および窒素ガスを 0.1 l/min の流量で連続的に 3 日間通気処理し, ビン内に発生したエチレンを 0.25M の過塩素酸水銀溶液 20 ml にトラップした. この溶液に 4M 塩化リチウム溶液を加えて, エチレンを発生させた後, ガスクロマトグラフで分析した. なお, 培養温度は 30℃ とした.

e) オートクレイブ

土壌を湛水状態にし, 120℃ で 20 分間オートクレイブ処理した. 処理終了後, 直ちにビン気相部のガスを採取し, エチレンの分析も行った. また, オートクレイブ処理後クリーン・ベンチ内に培養ビン置き, ビン気相部のガスを殺菌空気と交換させた. その後, オートクレイブ無処理の花こう岩土壌を加え, 定期的にエチレンの分析を行い, 対照 (オートクレイブ無処理) 区の場合と比較調査した.

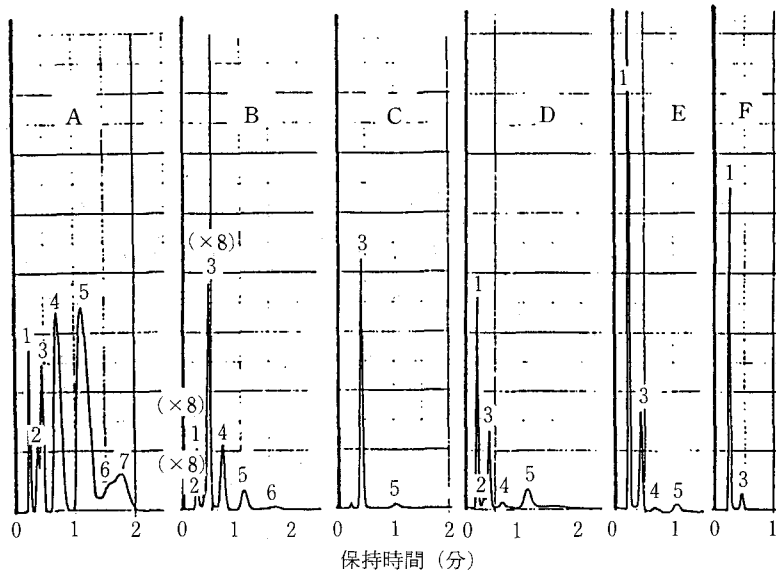
f) 熟成 (再乾燥あるいは堆積) 処理

ブドウ枯葉, カンキツ枯葉および稲わらの乾燥粉末を別々に蒸留水中に浸漬し, 30℃ 下で 2 週間腐らした後, 再乾燥させたものからのエチレン発生を熟成無処理のものと比較調査した. なお, 牛ふんを加えて堆積し腐熟させた稲わら乾燥粉末も供試した.

結 果

実験 1

有機物施用湛水土壌から発生する低級炭化水素を分析したところ, 発生した低級炭化水素は, 主としてメタン, エタン, エチレン, プロパン, プロピレン, iso-ブタンおよび n-ブタンであった. しかし, 施用有機物の種類によって, その組成は違っていた (第 8 図および第 2 表).



第8図 有機物施用土壌から発生するガス状炭化水素のガスクロマトグラム
(湛水条件下)
A: 純品 (1: メタン+空気, 2: エタン, 3: エチレン, 4: プロパン
5: プロピレン, 6: iso-ブタン, 7: n-ブタン), B: ブドウ枯葉
C: ブドウ枯葉 (0.25M過塩素酸水銀溶液に吸着させたエチレンとプロピレン), D: カンキツ枯枝, E: 稲わら, F: 鶏ふんおがくず堆肥

第2表 有機物施用湛水土壌からのガス状炭化水素の発生量

有機物 ^Z		ガス状の炭化水素 (nl/ 10g 土壌・日)				
		1	2	3	4	5 (日)
ブドウ枯葉	メタン	58.3	54.4	77.7	124.3	116.5
	エタン	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
	エチレン	1,151.5	1,741.8	2,557.9	3,318.9	4,757.6
	プロパン	7.8	9.4	12.5	9.4	6.3
	プロピレン	14.0	14.0	11.2	11.2	11.2
	iso-ブタン	tr. Y	tr.	tr.	tr.	tr.
カンキツ枯枝	メタン	58.3	40.8	35.0	63.1	62.1
	エタン	9.3	10.9	5.2	3.1	2.1
	エチレン	49.4	39.1	18.5	9.0	12.8
	プロパン	8.6	10.2	5.5	5.5	3.1
	プロピレン	7.0	11.2	11.2	16.8	19.6
	iso-ブタン	tr.	0	0	0	0
稲わら	メタン	38.8	62.1	106.8	155.4	143.7
	エタン	4.1	4.1	5.2	0	2.1
	エチレン	137.7	275.4	273.5	254.0	224.1
	プロパン	6.3	6.3	6.3	3.1	6.3
	プロピレン	11.2	11.2	16.8	8.4	22.4
	n-ブタン	0	tr.	tr.	tr.	tr.
鶏ふんおがくず堆肥	メタン	1.9	2.9	11.2	17.5	31.6
	エタン	0.2	0.1	0	0	0
	エチレン	6.4	8.3	7.4	5.9	4.0
	プロパン	2.0	1.6	0.4	0.3	0.6
	プロピレン	4.9	4.2	1.4	0.3	0.3

Z) 有機物を風乾土10g 当たり乾物重1g の割合で加用

Y) tr. : 微量

エチレンやメタンの発生は、他の低級炭化水素と比べて多く、特にエチレンの発生は、ブドウ枯葉および新鮮葉、カンキツ枯葉および新鮮根、ナシ枯葉、モモ枯葉、カキ枯葉、並びに稲わらを施用した土壌で高かった（第3表）。

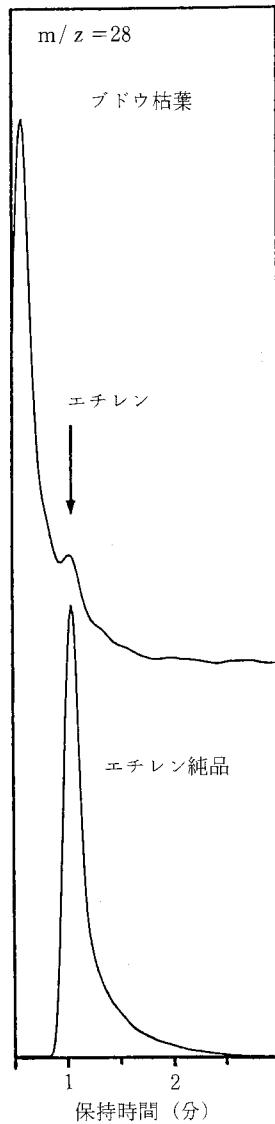
ブドウ枯葉施用土壌から発生したガスを、 m/z 28でモニタリングしたところ、既知のエチレンと同様の保持時間（1.05分）にピークが見られた（第9図）。このピークのフラグメント・イオン数から求められるエチレン濃度と前述の FID ガスクロマトグラフの分析で得られる濃度を比較調査したとき、前者で23.9 nl/ml，後者で23.8 nl/ml のエチレンが検出された。この結果は、FID ガスクロマトグラフによるエチレンの分析ピークがエチレンそのものであることを示している。

第3表 有機物施用湛水土壌からのエチレンの発生量

有機物 ^Z		エチレン (nl/ 10 g 土壌・日)				
		1	2	3	4	5 (H)
ブドウ (マスカット・オブ・アレキサンドリア)	枯葉	1,151.5	1,741.8	2,557.9	3,318.9	4,757.6
	新鮮葉 ^Y	2,315.6	2,661.8	2,120.6	2,618.4	1,476.0
	枯枝	3.7	3.7	17.6	9.0	9.0
	新鮮根	0	1.9	3.7	3.7	3.7
カンキツ (イヨカン)	枯葉	108.3	264.3	354.3	338.1	275.0
	枯枝	49.4	39.1	18.5	9.0	12.8
	新鮮根	109.6	129.9	132.7	112.4	182.7
ニオンナン (二十世紀)	枯葉	66.1	198.3	359.8	521.6	345.1
	新鮮葉	3.7	5.5	12.1	23.8	14.7
	枯枝	6.6	12.9	22.0	22.0	11.0
	新鮮枝	1.9	1.1	3.7	1.9	2.9
	新鮮根	3.7	2.9	1.9	1.9	2.9
モモ (大久保)	枯葉	90.0	186.5	403.8	262.5	161.5
	新鮮葉	8.5	42.2	31.2	18.3	14.7
	枯枝	5.5	9.2	8.5	9.2	9.2
	新鮮枝	0	0	3.7	1.9	1.9
	新鮮根	2.9	1.9	1.9	1.9	1.9
イチジク (榎井ドーフィン)	新鮮葉	3.7	9.2	16.5	12.9	9.2
	枯枝	9.2	9.2	12.1	16.5	20.2
	新鮮枝	3.7	7.4	11.1	14.7	18.3
	新鮮根	1.9	5.5	26.8	20.2	22.0
カキ (富有)	枯葉	98.7	104.2	162.3	143.4	67.6
	新鮮葉	10.8	17.6	13.5	10.8	10.8
	新鮮枝	1.1	1.1	1.9	1.9	1.9
	新鮮根	0	1.1	1.1	1.9	1.1
稲わら		137.7	275.4	273.5	254.0	224.1
牛ふん稲わら堆肥 (熟成)		3.7	14.4	22.6	24.0	21.4
モミガラ		4.4	12.1	18.3	—	16.5
鶏ふんおがくず堆肥		6.4	8.3	7.4	5.9	4.0
トウモロコシ茎		3.7	33.1	28.5	19.3	18.3
メヒシバ (新鮮物)		4.9	22.9	26.4	28.5	44.0
クローバー (新鮮物)		11.0	23.8	19.1	17.6	25.7

Z) 有機物を風乾土10 g 当たり乾物重1 g の割合で加用

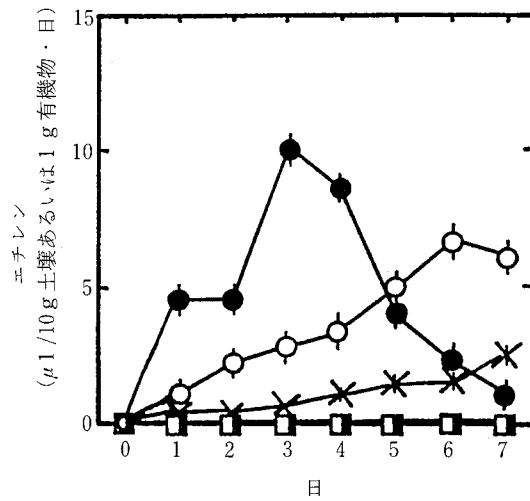
Y) デラウェア葉



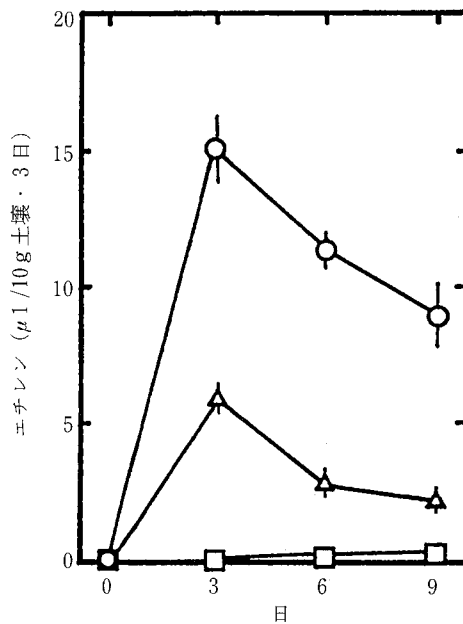
第9図 ガスクロマトグラフー質量分析計によるエチレンの同定
(m/z 28のモニタリング法)

実験 2

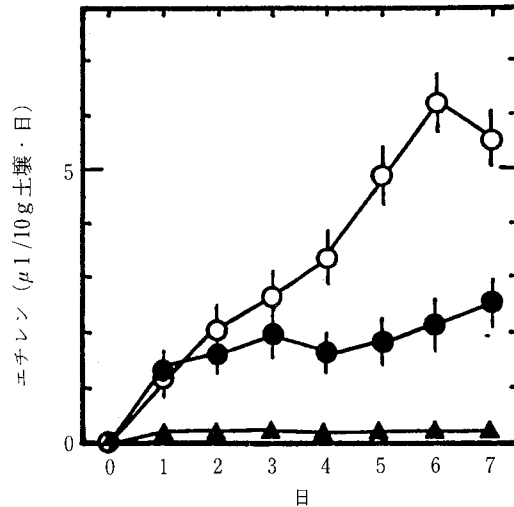
土壌からのエチレン発生に関係する要因について調査したところ、エチレンの発生量は土壌のみやブドウ枯葉のみの場合にはわずかであったが、ブドウ枯葉を混合させた花こう岩土壌および水田土壌では著しく多かった(第10図)。地温が60℃のとき、エチレンの発生量は30℃のときの3-4倍と多かったが、4℃ではほとんど発生が見られなかった(第11図)。土壌水分とエチレン発生との関係を調査した結果、土壌水分の増加に伴って発生が多くなり、特に湛水土壌では著しかった(第12図)。窒素ガスによる嫌気処理はエチレン発生を助長させ、好気処理(1.2 μ l/10g土壌・3日)のおよそ3倍も多かった(第4表)。オートクレイブ処理が土



第10図 土壌とブドウ枯葉の混合物の湛水条件下でのエチレン生成
 ○-○：花こう岩土（20 g）＋ブドウ枯葉（2 g DW）＋水（20 ml）
 □-□：花こう岩土（20 g）＋水（20 ml）
 ●-●：水田土壌（20 g）＋ブドウ枯葉（2 g DW）＋水（20 ml）
 ■-■：水田土壌（20 g）＋水（20 ml）
 ×-×：ブドウ枯葉（2 g DW）＋水（20 ml）
 図中の縦線は標準誤差を示す。



第11図 異なる温度条件下におけるブドウ枯葉施用湛水土壌からのエチレン発生
 （ブドウ枯葉を風乾土10 g 当たり乾物重1 g の割合で加用）
 □-□：4℃，△-△：30℃，○-○：60℃
 図中の縦線は標準誤差を示す。



第12図 異なる土壤水分条件下におけるブドウ枯葉施用土壤からのエチレン発生
(ブドウ枯葉を風乾土10g 当たり乾物重1gの割合で加用)
▲—▲: 風乾土, ●—●: 15%, ○—○: 100% (湛水状態)
図中の縦線は標準誤差を示す。

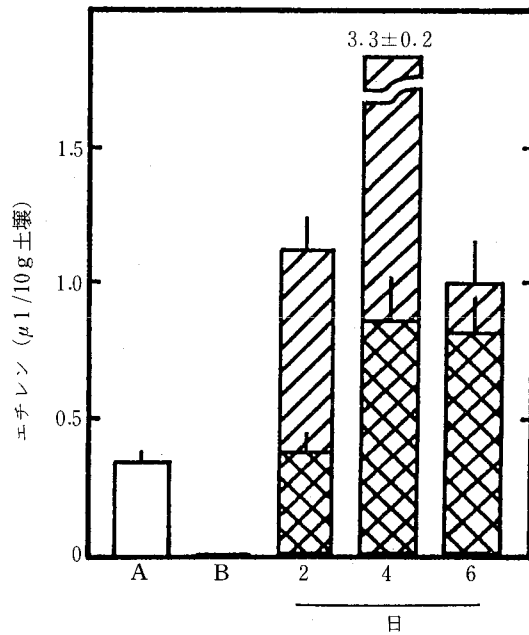
第4表 土壤中の酸素濃度がブドウ枯葉施用土壤からのエチレン発生に及ぼす影響^Y

	大気	窒素
エチレン ($\mu\text{l}/10\text{g 土壤} \cdot 3\text{日}$)	1.2 ± 0.1^Z	3.4 ± 0.3

Z) 平均値±標準誤差

Y) ブドウ枯葉 (1g DW) と風乾土 (10g) を混合し, 土壤水分が15%になるように蒸留水を加えて30℃下で培養した。

壤からのエチレン発生に及ぼす影響を調査した結果, 処理直後には $0.34\mu\text{l}$ のエチレンが検出されたが, クリーンベンチ内でビン気相内のガスをエチレンを含まない殺菌空気と交換させた後は実験期間中エチレンの発生が見られなかった。しかし, オートクレイブした土壤に無殺菌の土壤を加えるとエチレンが発生し, 対照 (オートクレイブ無処理) 区のおよそ3分の1まで増えた (第13図)。なお, 同様なことが稲わら, カンキツ枯枝および鶏ふんおがくず堆肥を使用した場合にも観察された。再乾燥あるいは堆積による熟成処理は有機物からのエチレン発生量を対照 (未熟成の有機物施用) 区の25分の1から40分の1まで減少させた (第14図)。



第13図 オートクレイブ処理がブドウ枯葉施用湛水土壌からのエチレン発生に及ぼす影響

(ブドウ枯葉を風乾土10g 当たり乾物重1gの割合で加用)

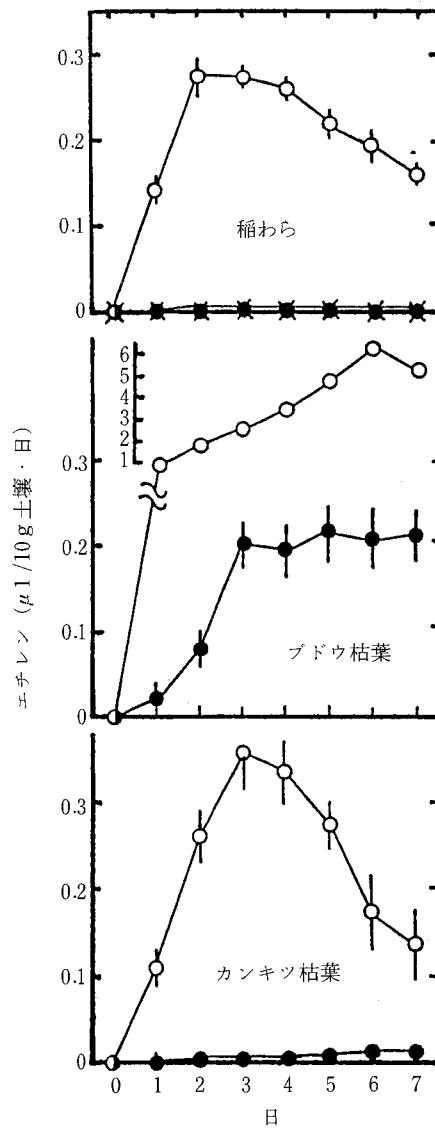
A: オートクレイブ直後

B: クリーンベンチ内で無菌の空気で交換した直後

▨: 対照区 (ブドウ枯葉混合土壌でオートクレイブしないもの)

▤: オートクレイブ処理区 (オートクレイブ処理した後、ビン内に発生した空気をエチレンを含まない空気に入れ替え、無消毒の土壌をオートクレイブした土壌に加えたもの)

なお、無菌空気と交換後は実験期間中エチレンの発生が見られなかった。図中の縦線は標準誤差を示す。



第14図 有機物の熟成（再乾燥あるいは堆積）処理が湛水条件下でのエチレン発生に及ぼす影響
 （有機物を風乾土10g 当たり乾物重1gの割合で加用）
 ○—○：対照（未熟成の有機物施用）区
 ●—●：再乾燥処理した有機物施用区
 ×—×：堆積処理した有機物施用区
 図中の縦線は標準誤差を示す。

第2節 土壤中の低級炭化水素，特にエチレンがカンキツ樹の生育および光合成に及ぼす影響

低級炭化水素，特にエチレンを土壤に通気処理し，樹の生育，養分吸収および光合成に及ぼす影響を調査した。

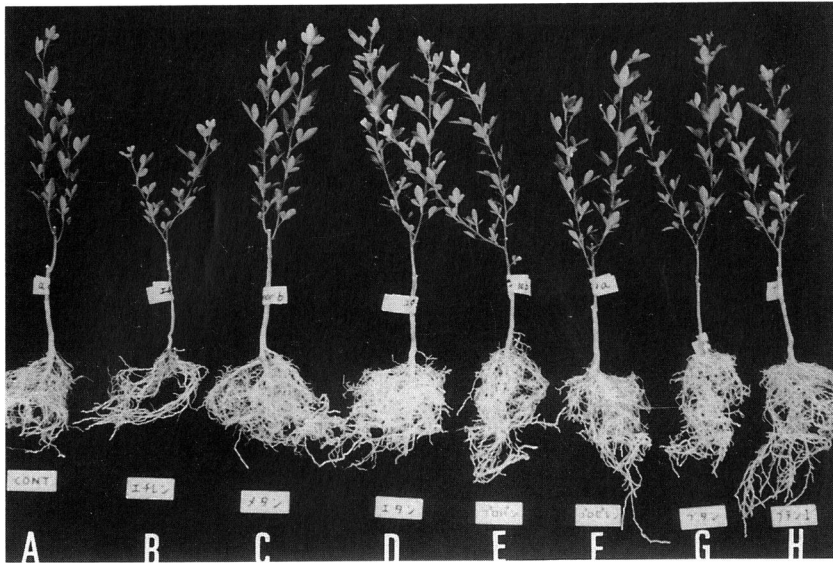
材料および方法

数種類の低級炭化水素が樹の生育に及ぼす影響を調査するために，カラタチ実生苗（2年生）を各処理区4樹で実験を行った。塩化ビニル製のポット（直径11.5cm，深さ24cm）に苗木を移植し，約2か月間養成した。その後，ポットの上部を排気口とかん水口を有した蓋で密閉し，ポット下部の通気孔から各低級炭化水素の濃度を10 ppm に調整した空気を水圧法（Ishii ら；1982）で処理した。使用した低級炭化水素はメタン，エタン，エチレン，プロパン，プロピレン，n-ブタンおよび α -ブチレンであった。培土にはバーミキュライトを用い，施肥には Hoagland と Synder の液肥を使用し，ポットの上部の排気口から与えた。

さらに，上記の実験結果を踏まえて，ウンシュウミカン接ぎ木苗（カラタチ台）を塩化ビニル製のポット（直径21cm，深さ40cm）に植え付け養成し，その後，ポットの上部を排気口を有した蓋で密閉し，ポット下部の通気孔から各濃度に調整したエチレンを前述と同様な方法で処理した。なお，実験は3反復とした。処理後，新しょう伸長量や光合成を定期的に調査した。また，4週間後解体調査を行い，全生体重，地下部重，根のコハク酸脱水素酵素活性などを調査した。また，走査型電子顕微鏡（SEM）で根の観察を行うとともに，樹体内の無機養分についても分析した。光合成の調査には3年生の青島温州を用いたが，他の調査には1年生の興津早生を使用した。培土には花こう岩土壌を用い，施肥には前述の液肥を用いた。根のコハク酸脱水素酵素活性は，根の先端部20mmの活性を既報の方法（Ishii ら，1982）に従って調査した。電子顕微鏡による根の観察は，各処理区における根先端から20mmのところを20切片採取し，数秒間蒸留水で洗浄した後，Karnovsky（1965）溶液に入れ，室温下で24時間固定し，固定した切片をエタノールとアセトンを用いた脱水系で脱水し，2時間酢酸イソアミル溶液に浸漬した後，臨界点乾燥した。その後，切片を金蒸着し，根，特に根毛の観察を行った。樹体内の無機主要5要素含量は，Nがケルダール法（木内，1980），Pがモリブデン青による比色法（岡部，1980），K，Ca および Mg が原子吸光分光分析器を用いた方法（伊藤，1980）で分析した。光合成の測定はアクリル製の同化箱（33×28×6.5cm）を用いた通気法で行った（天野ら，1972）。測定条件は，気温25–28℃，照度40–50 Klx，相対湿度85–95%，通気量3–5 l/minとした。二酸化炭素は堀場 ASSA-1600植物同化作用測定装置で計測した。

結 果

低級炭化水素（各10 ppm）処理がカラタチの生育に及ぼす影響を調査したところ，エチレンのみが新しょうや根の伸長を著しく阻害した。しかし，エチレン以外の低級炭化水素処理区では対照区と比べて有意差が見られなかった（第15図および第5表）。



第15図 土壌中のガス状炭化水素がカラタチの樹体生長に及ぼす影響
 A：対照区，B：エチレン，C：メタン，D：エタン，E：プロパン
 F：プロピレン，G：n-ブタン，H： α -ブチレン
 各々10 ppm の濃度を処理した。

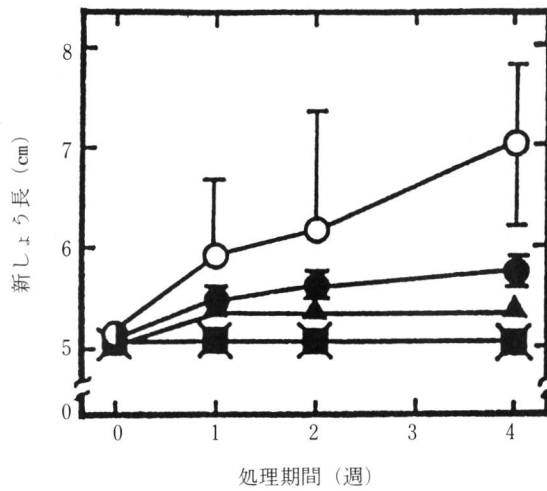
第5表 土壌中のガス状炭化水素がカラタチの樹体生長
 に及ぼす影響^Y

処 理 区	新しょう長(cm)
対照	14.2 a ^Z
メタン	15.2 a
エタン	13.8 a
エチレン	7.6 b
プロパン	15.0 a
プロピレン	13.5 a
n-ブタン	14.3 a
α -ブチレン	13.9 a

Z) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

Y) 各々10 ppm の濃度を処理した。

そこで、各濃度のエチレン (0, 0.05, 0.5, 5および50 ppm) を処理し、樹の生育や養分吸収に及ぼす影響をさらに詳細に調査した。その結果、根系へのエチレン処理は新しょう伸長量を阻害する傾向が見られ、特に5および50 ppm 区で顕著であった (第16図)。また、高濃度のエチレンは全生体重、地下部重および主根長を低下させ、根先端部 (5-30mm) を肥大させた (第6表および第17図)。さらに、処理によって、褐変した根が多く観察されたが、ブドウの場合 (Ishii ら, 1982) に見られた皮層部が裂けるような現象は50 ppm 区でも観察されなかった。根の呼吸と密接な関係があるコハク酸脱水素酵素活性は、0.5 ppm 以上のエチレン処理区で阻害されたが、濃度間での阻害程度には差異が見られなかった (第18図)。



第16図 土壌中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）の新しょう伸長に及ぼす影響

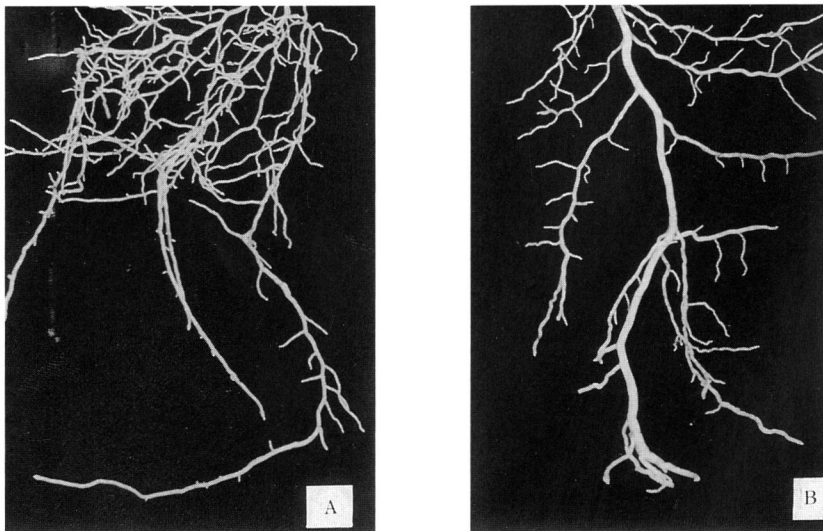
○—○：0 ppm エチレン (E.)
 ●—●：0.05 ppm E., ▲—▲：0.5 ppm E.
 ■—■：5 ppm E., ×—×：50 ppm E.
 図中の縦線は標準誤差を示す。

第6表 土壌中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）の樹体生長に及ぼす影響

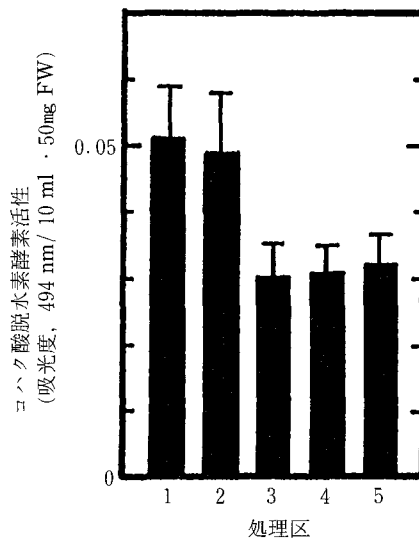
エチレン濃度 (ppm)	全 生 体 重 (g)	地 下 部 重 (g)	主 根 長 (cm)	根の太さ ^Z (mm)
0	154.1±20.5 ^Y	46.7±9.9	26.4±1.1	0.76±0.07
0.05	144.4±21.2	49.4±7.8	31.0±1.6	1.11±0.11
0.5	156.7±10.9	50.2±6.0	26.9±1.7	1.53±0.16
5	118.2±12.9	42.4±6.0	25.3±1.5	1.64±0.11
50	104.1± 7.0	35.2±5.3	21.3±0.9	1.55±0.13

Z) 根の直径は先端から5—30cmのところを測定した。

Y) 平均値±標準誤差



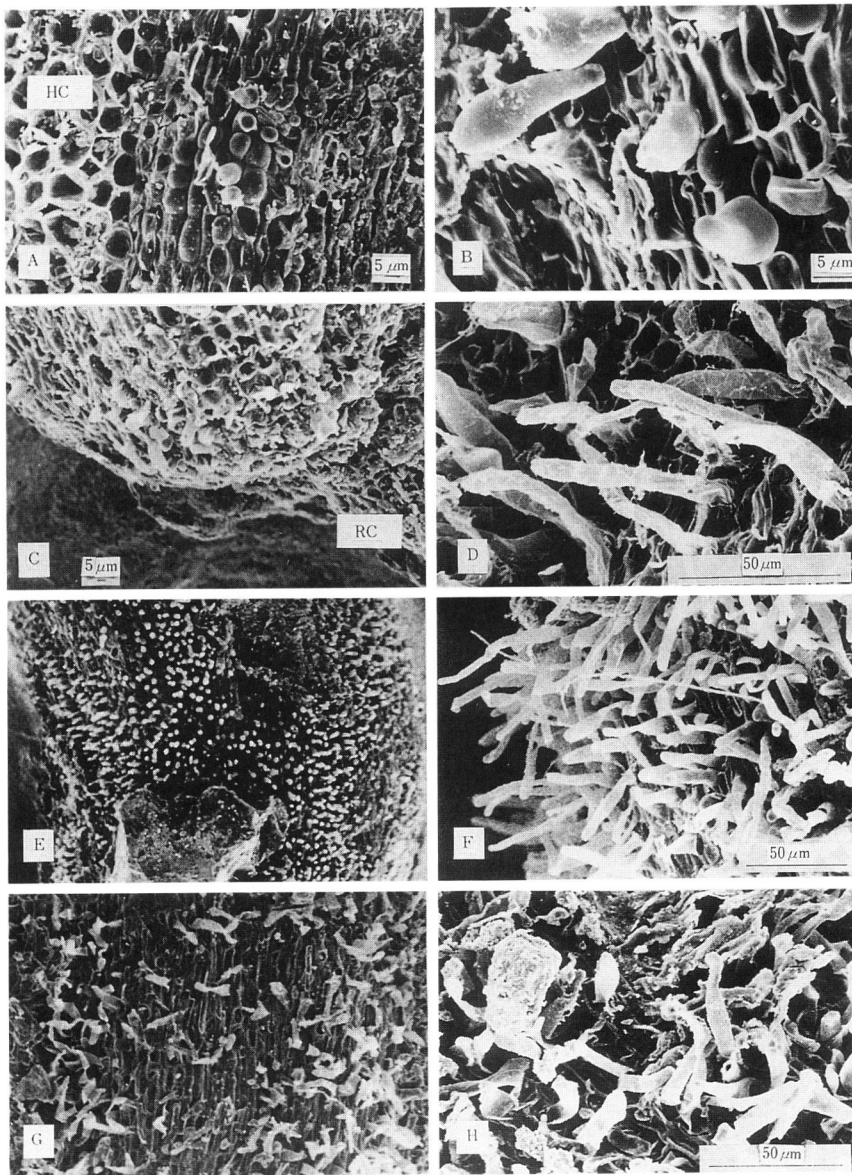
第17図 土壌中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）根の形態に及ぼす影響
 A：対照（0 ppm エチレン）区，B：50 ppm エチレン区



第18図 土壌中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）の根のコハク酸脱水素酵素活性に及ぼす影響
 1 : 0 ppm エチレン (E.)
 2 : 0.05 ppm E., 3 : 0.5 ppm E.
 4 : 5 ppm E., 5 : 50 ppm E.
 図中の縦線は標準誤差を示す。

根毛の大部分はいずれの処理区においても先端部 5—15mm の範囲に見られ、0, 0.05, 0.5 ppm 区ではこの範囲内に散在して見られた (第19図—AおよびB)。0.05および0.5 ppm 区では、根冠部周辺にも数多くの根毛が観察された (第19図—C)。しかし、5 ppm 以上になると、先端部 5—15mm の範囲一面に根毛が見られた (第19図—E)。根毛の形状を観察したところ、管状 (長さ 50—100 μm)、円錐状 (5—10 μm)、洋ナシ状 (5—10 μm) および乳頭状 (5 μm) に区別された。0および0.05 ppm 区では、根毛の形状は円錐状、洋ナシ状および乳頭状のものが多かったが、管状のものはほとんど観察されなかった (第19図—AおよびB)。0.5 ppm 区以上では、管状の根毛が増え (第19図—D)、特に5および50 ppm 区における根毛の形状はほとんどが管状であった (第19図—FおよびG)。しかし、50 ppm 区では大部分の根毛が萎縮していた (第19図—H)。

養分吸収に及ぼす影響を調査した結果、高濃度のエチレン処理は葉および新しょう内の N, P, K および Mg 含量を減少させた。特に、葉では P および Mg が、新しょうでは N, K および Mg の減少が大であった。根においては、エチレン濃度の増加につれて、N, P, K および Mg 含量が高まった。特に、50 ppm 区における K 含量の増加は著しかった。しかし、根の Ca 含量は5および50 ppm 区で著しく減少した (第7表)。



第19図 土壌中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）根毛の形態に及ぼす影響
 A, B : 0 ppm エチレン (E.), C : 0.05 ppm E. 根毛が根冠の近くに見られる.
 D : 0.5 ppm E., E, F : 5 ppm E., G, H : 50 ppm E.
 RC : 根冠, HC : 下皮細胞群

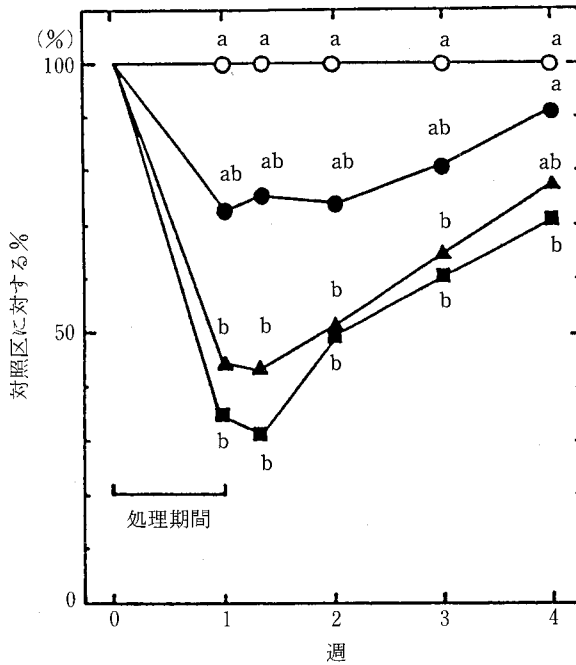
第7表 土壤中のエチレン濃度がウンシュウミカン（カラタチ台）樹の養分吸収に及ぼす影響

	エチレン濃度 (ppm)	主要無機5要素含量（乾物当たり）				
		N (%)	P (%)	K (%)	Ca(%)	Mg(%)
旧葉	0	1.97(100)	0.110(100)	0.85(100)	1.16(100)	0.60(100)
	0.05	1.86(94)	0.112(102)	0.97(114)	1.55(134)	0.43(72)
	0.5	1.90(96)	0.094(85)	0.99(116)	2.11(182)	0.41(68)
	5	1.85(94)	0.082(75)	0.81(95)	1.33(115)	0.40(67)
	50	1.61(82)	0.083(75)	0.83(98)	1.38(119)	0.30(50)
新葉	0	1.84(100)	0.151(100)	0.80(100)	1.29(100)	0.68(100)
	0.05	1.94(105)	0.141(93)	0.79(99)	1.30(112)	0.60(88)
	0.5	2.01(109)	0.121(80)	0.70(88)	1.10(95)	0.54(79)
	5	1.70(92)	0.114(76)	0.62(78)	1.06(91)	0.47(69)
	50	1.33(72)	0.111(74)	0.66(83)	1.09(94)	0.50(74)
新しょう	0	1.21(100)	0.110(100)	0.59(100)	1.05(100)	0.51(100)
	0.05	1.21(100)	0.110(100)	0.48(81)	1.43(136)	0.66(129)
	0.5	1.13(93)	0.110(100)	0.42(71)	1.24(118)	0.53(104)
	5	1.01(83)	0.105(95)	0.42(71)	1.19(113)	0.45(88)
	50	0.76(63)	0.094(85)	0.41(69)	0.94(90)	0.37(73)
根	0	1.35(100)	0.121(100)	0.68(100)	0.11(100)	0.34(100)
	0.05	1.49(110)	0.137(113)	0.84(124)	0.13(118)	0.39(115)
	0.5	1.53(113)	0.134(111)	0.75(110)	0.12(109)	0.41(121)
	5	1.56(116)	0.148(122)	0.82(121)	0.07(64)	0.41(121)
	50	1.61(119)	0.161(133)	1.02(150)	0.06(55)	0.49(144)

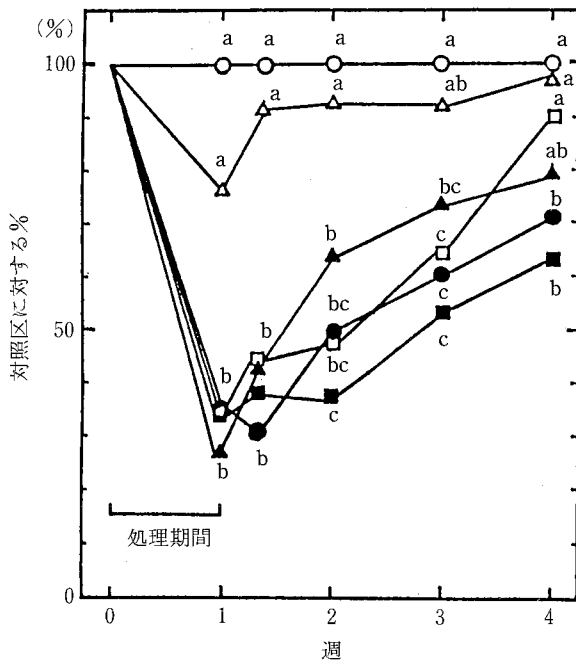
注) () 内の数値は比数を示す。

次に、各濃度のエチレンが光合成速度に及ぼす影響を調査した結果は第20図のとおりである。処理1週間目の光合成速度の低下は0.5および5 ppm区で著しく、対照区（0 ppm）の50%以下までに減少した。また、処理終了後ポットの蓋を取り除き、光合成の回復を調査したところ、これらの処理区では回復が遅く、蓋の開放後3週間目でも対照区の70-80%であった。0.05 ppm区では、わずかに光合成速度が低下する傾向が見られたが、対照区と比べて有意差がなかった。

また、エチレン、酸素および二酸化炭素濃度を調整したガスで土壤に1週間処理し、光合成速度に及ぼす影響を調査した結果は第21図のとおりである。エチレンを含むすべての処理区および0%酸素+20%二酸化炭素処理区では、光合成速度は著しく減少した。さらに、処理終了後の光合成の回復を調査したところ、いずれの処理区においても回復傾向が観察されたが、エチレンを含む処理区の回復は悪かった。



第20図 土壌中へのエチレン処理がウンシュウミカン（カラタチ台）の光合成に及ぼす影響
 ○—○：0 ppm エチレン (E.)
 ●—●：0.05 ppm E.
 ▲—▲：0.5 ppm E.
 ■—■：5 ppm E.
 図中の異なるアルファベットはダンカンの多重範囲検定（5%レベル）による有意差を示す。



第21図 エチレンを含む調整ガスの土壌への処理がウンシュウミカン（カラタチ台）の光合成に及ぼす影響
 ○—○：空気（0 ppm エチレン）
 ●—●：空気 + 5 ppm エチレン
 △—△：2% CO₂ + 18% O₂
 ▲—▲：2% CO₂ + 18% O₂ + 5 ppm エチレン
 □—□：20% CO₂ + 0% O₂
 ■—■：20% CO₂ + 0% O₂ + 5 ppm エチレン
 図中の異なるアルファベットはダンカンの多重範囲検定（5%レベル）による有意差を示す。

第3節 有機物施用土壤におけるエチレンの発生とカンキツ樹の生育

有機物を施用した土壤ではエチレンが生成され、カンキツ樹の生育に著しい影響を及ぼしていることが明らかになった。そこで、ここでは有機物施用土壤におけるエチレン発生と樹の生育との関係をさらに調査した。

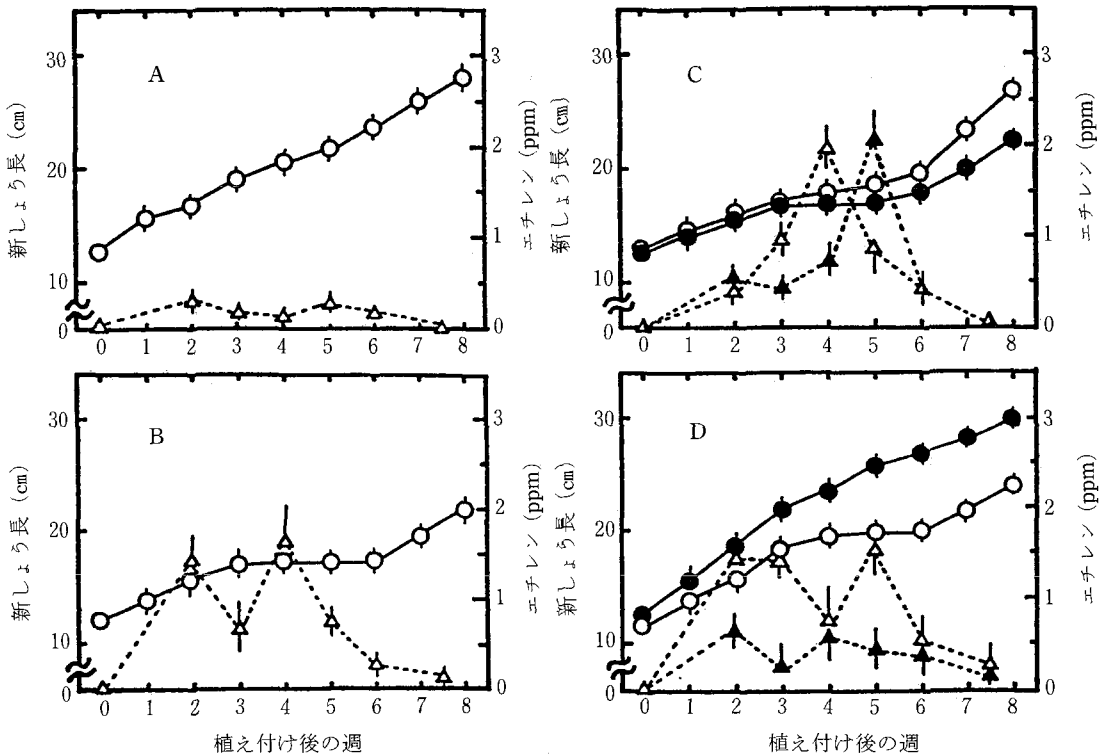
材料および方法

有機物として、未熟成の鶏ふんおがくず堆肥、並びに稲わらおよびカンキツ枝の未熟成のものと熟成処理したものをを用いた。稲わらおよびカンキツ枝は1-2cmの大きさに切断したものを使用した。熟成処理は蒸留水中に有機物を浸漬させて、30℃下で2週間腐らせた後、再乾燥する方法で行った。これらの有機物（乾物2g）をポット（直径18cm、深さ25cm）の下部に施用し、この上にナツダイダイ実生2年生樹を、根が有機物に直接当たらないように15cm離して植え付けた。土壤には有機物をほとんど含まない花こう岩土壤を用いた。対照区はこの土壤のみの区とした。なお、実験は3反復とした。土壤中のエチレン濃度の変化を調査するために、ポット下部にガス採取管を設置した後、定期的にガス（5ml）を採取し、活性アルミナカラムを用いたFIDガスクロマトグラフで分析した。なお、ガス採取管には内径3mm、長さ30cmのガラス管の片方に多孔質の陶器製ボール（内部の空間容量：約10ml）を、また一方の管口にはシリコンチューブを取り付けたものをを用いた。処理開始8週間後に解体調査を行い、全生体重、地下部重および主根長を測定した。また、根先端部20mmにおけるコハク酸脱水素酵素活性も上述と同様な方法で調査した。

結 果

有機物施用土壤におけるエチレン発生と樹の生育との関係を調査したところ（第22図）、熟成処理したカンキツ枝施用区を除く、有機物施用区では土壤中のエチレン濃度が高まったとき、新しょう伸長が阻害された。しかし、エチレン濃度が減少すると新しょう伸長は回復する傾向が見られた。一方、熟成処理したカンキツ枝施用区では、調査期間中のエチレン濃度が0.65ppm以下であり、新しょうは対照区とほぼ同様に阻害されることなく伸長した。

処理終了後、樹の生育を調査した結果は第8表である。全生体重および地下部重は、鶏ふんおがくず堆肥施用区では対照区と比べて有意差が見られなかったが、稲わらの未熟成なものおよび熟成処理したもの、並びに未熟成のカンキツ枝施用区では著しく劣った。熟成処理したカンキツ枝施用区では全生体重および地下部重が対照区の場合と比べて増加する傾向が見られた。ただし、主根長はいずれの有機物施用区でも減少した。



第22図 有機物施用土壌中のエチレン発生とカンキツ（ナツダイダイ実生）の生育との関係

A：対照（有機物無施用）区，B：鶏ふんおがくず堆肥施用区

C：稲わら施用区，D：カンキツ枯枝施用区

○—○，●—●：新しょう長，△—△，▲—▲：土壌中のエチレン濃度
ただし，CおよびDでは○，△の記号が未熟成の有機物，●，▲の記号が熟成（再乾燥）処理した有機物を示す。

図中の縦線は標準誤差を示す。

第8表 有機物施用カンキツ（ナツダイダイ実生）苗の樹体生長に及ぼす影響

有機物 (20 g DW/ pot)	全生体重 (g)	地下部重 (g)	主根長 (cm)
鶏ふんおがくず堆肥	7.53±0.98 ^z	4.60±0.67	27.0±1.8
稲わら（未熟成なもの）	6.00±0.35	3.42±0.24	20.3±0.9
稲わら（熟成処理したもの）	5.48±1.26	2.84±0.65	25.5±2.7
カンキツ枯枝（未熟成なもの）	5.55±0.59	2.85±0.33	17.3±4.7
カンキツ枯枝（熟成処理したもの）	9.62±0.42	5.43±0.48	18.5±4.0
対照（有機物無施用）	8.05±0.64	4.45±0.48	32.0±1.9

Z) 平均値±標準誤差

第4節 有機物および土壤中のエチレン発生物質の探索

前節において、未熟成の有機物を土壤に施用したとき、エチレンが多量に発生し、樹の生育を抑制していることが明らかとなった。そこで、エチレンを多量に発生するブドウ枯葉などの有機物や、脂質含量の異なる数種類のカンキツ園土壤を用い、これらに含まれるエチレン発生物質を探索した。

材料および方法

実験1 有機物中のエチレン発生物質

ブドウ枯葉乾燥粉末の80%メタノール抽出液を、そのまま2種のイオン交換樹脂（アンバーライトCG-120およびCG-400）を用いて分画した。カチオン分画は2Mのアンモニア溶液で、またアニオン分画は2Mの炭酸アンモニウム溶液で溶出した。その後、各分画区から発生するエチレンを調査した。

また、Folchら（1957）の方法によって、有機物（ブドウ枯葉、カンキツ枯葉および枯枝および稲わら；いずれも乾燥粉末を使用）から脂質をクロロホルム-メタノール（2:1, v/v）混合液で抽出し、脂質が含まれるクロロホルム相を分配法によって精製した。また、この精製した抽出物をケイ酸クロマトグラフィーにかけ、クロロホルム分画（単純脂質を含む）、アセトン分画（糖脂質を含む）およびメタノール分画（リン脂質を主に含む）を得た（Rouserら、1967）。さらに、多量のエチレンを発生したアセトン分画を、薄層クロマトグラフィー（TLC）（展開液：クロロホルム-メタノール-水=65:35:8, v/v）にかけ、ローダミン6Gで発色させピンク色に染色させたスポットをBligh-Dyer法（藤野、1978）で抽出・精製した。これをさらにTLC（ジイソブチルケトン-酢酸-水=40:25:4, v/v）にかけ、二、三の発色剤（藤野、1978；Kates, 1975）を用いて脂質の質的な調査をするとともに、エチレンの発生が見られたスポットをBligh-Dyer法で抽出し、弱アルカリ（KOH）で還流後、石油エーテル抽出物をメチル化し（藤野、1978）、ブドウ枯葉糖脂質の構成脂肪酸を、10% EGSS-Xをカラム（3mm×2m）としたFIDガスクロマトグラフで分析した。分析条件は以下のとおりである。

カラム温度：170℃， 注入および検出器温度：175℃

キャリアーガス（窒素）流量：16.7 ml/min

各分画の抽出物からのエチレンの発生法は、抽出物を入れたビンに風乾させた花こう岩土壤（1mmのふるいにかけたもの、pH: 6，有機炭素含量：0.06%，全窒素含量：0.0052%）を加え、蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で培養する方法を用いた。ビン内に発生したエチレンはFIDガスクロマトグラフで分析した。

実験2 土壤中のエチレン発生物質

カンキツ園において、地表下10cmのところの土壤を採取し風乾させた後、1mmのふるいにかけたものを本実験に供試した。これらの土壤からの80%メタノール抽出液を、実験1と同様に、2種のイオン交換樹脂（アンバーライトCG-120およびCG-400）を用いて分画した。カチオン分画は2Mのアンモニア溶液で、またアニオン分画は2Mの炭酸アンモニウム溶液で溶出

した。その後、各分画区から発生するエチレンを調査した。

さらに、実験1と同様に、Folch ら (1957) の方法によって土壌100 gから脂質を抽出し、その抽出液を分配法によって精製した後、精製抽出物をケイ酸クロマトグラフィーにかけ (Rouser ら, 1967)、クロロホルム、アセトンおよびメタノール分画を得、脂質の重量を測定した。また、多量のエチレンが発生したアセトン分画をさらに精製した後、TLC (ジイソブチルケトン-酢酸-水=40:25:4, v/v) にかけ、エチレンの発生するスポットを調査するとともに、二、三の発色剤 (藤野, 1978; Kates, 1975) を用いて脂質の質的な検討も行った。各分画の抽出物からのエチレンの発生法は実験1と同様に行った。

実験3 腐熟度の異なる有機物中の脂質並びにエチレン発生

熟成および未熟成のカンキツ枝の乾燥粉末を用い、実験1と同様な方法によって、それぞれの脂質重量を測定するとともに、それらの脂質からのエチレン発生を調査した。

実験4 各種の脂質標品からのエチレン発生

各種類の脂質標品と土壌 (4 g) を混合してビンに入れた後、脂質からのエチレン発生を促すために、ブドウ糖 (100 mM) 溶液 3 ml を入れ、湛水状態にして調査した。なお、脂質からのエチレン生成量はブドウ糖のみを加えた土壌から発生した量を差し引いて示した。

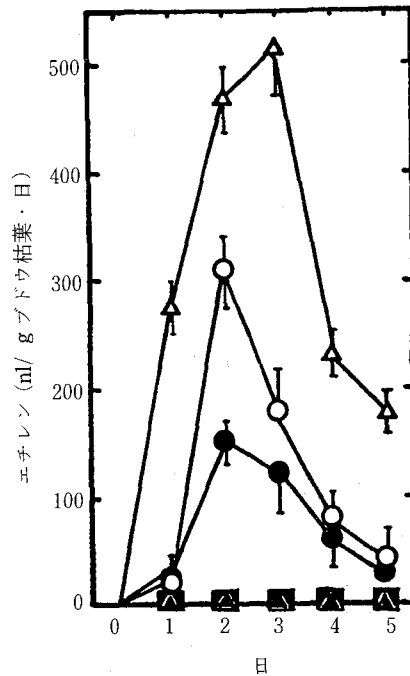
実験5 土壌から抽出した酵素による脂質からのエチレン発生

カンキツ園土壌中の酵素を Hayano (1977) の方法を用いて抽出し、濃縮した後、塩析法 (Shannon ら, 1966) で精製した。この粗酵素液 2 ml と 0.1M リン酸緩衝液 (pH 6) 2 ml を、カンキツ枯枝あるいは土壌から抽出した脂質を含むビンに入れ、ビン気相部を大気あるいは窒素で交換した後、30℃下でのエチレン発生を調査した。なお、培養液の pH、処理温度および培養時間についても検討した。

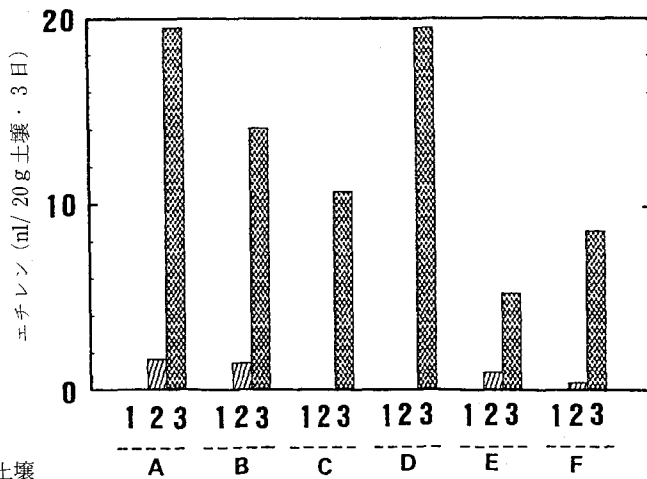
結 果

実験1

有機物あるいは土壌からの80%メタノール抽出物を各分画に分けて調査したところ、エチレンがよく発生した分画は有機物および土壌ともに中性分画であり、アミノ酸を含むカチオン分画や有機酸を含むアニオン分画からはほとんどエチレンを検出できなかった (第23図および第24図)。この中性分画には糖あるいは脂質が含まれることから、まず熱エタノール抽出法 (田村, 1980) によって糖を取り出し、エチレンの発生を調査したが、その発生はわずかであった。また、糖類 (果糖、ブドウ糖、D-マンニトール、D-マンノース、ショ糖、セルロース、デンプンおよびペクチン酸) を花こう岩土壌に加え、湛水条件下で調査したところ、エチレンはわずかしか検出されなかった。



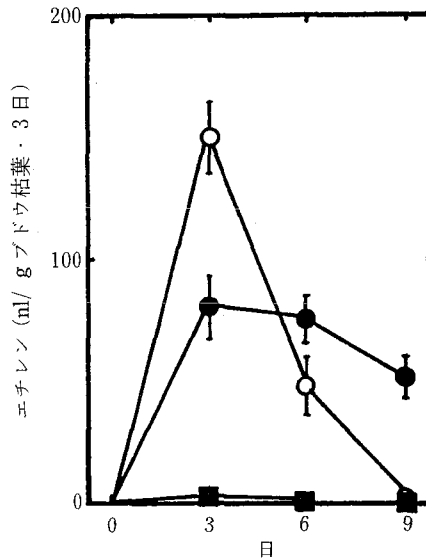
第23図 ブドウ枯葉の80%メタノール抽出物からのエチレン生成
 ○—○：80%メタノール抽出物 (ME)
 △—△：80%メタノール抽出残さ
 ▲—▲：MEのカチオン分画
 ■—■：MEのアニオン分画
 ●—●：MEの中性分画
 図中の縦線は標準誤差を示す。
 各分画の抽出物を入れたビンに花こう岩土壌 (20 g) を加え、20 ml の蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で調査した。



第24図 カンキツ園土壌の80%メタノール抽出物からのエチレン生成
 1：カチオン分画，2：アニオン分画，3：中性分画
 A, B, C, D, EおよびFは土壌を採取したカンキツ園を示す。
 各分画の抽出物を入れたビンに花こう岩土壌 (20 g) を加え、20 ml の蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で調査した。

実験 2

前述の結果より、Folch の方法で有機物あるいは土壌から脂質を抽出して検討した。その結果、脂質の存在するクロロホルム分画においてエチレンの発生が見られた（第25図および第9表）。特に、土壌を用いた調査において、脂質が多い土壌は一般に有機炭素含量が高い傾向にあったが、エチレンは脂質が少ない土壌、例えば土壌CおよびFにおいても、かなり発生していた（第9表）。



第25図 ブドウ枯葉から抽出した脂質からのエチレン生成
 ○—○：メタノール-クロロホルム (2:1, v/v) 抽出残さ
 ●—●：クロロホルム分画
 ■—■：メタノール分画
 図中の縦線は標準誤差を示す。
 各分画の抽出物を入れたビンに花こう岩土壌 (20 g) を加え、
 20 ml の蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で調査した。

第9表 異なるカンキツ園の土壌から抽出した脂質からのエチレン生成

	土 壌 ^X					
	A	B	C	D	E	F
脂質重量 (mg/100 g · 土壌)	233±43 ^Z	201±21	84±11	278±47	67±6	90±19
エチレン (nl/TL 4 ^Y · 3 日)	11.3±0.3	8.7±1.2	7.6±0.3	13.8±0.3	3.8±0.2	6.7±1.1

Z) 平均値±標準誤差

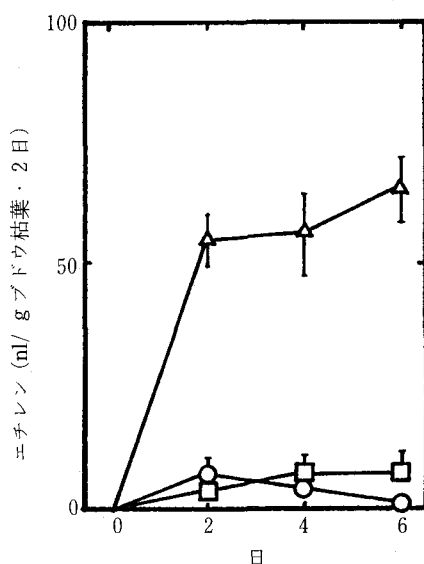
Y) TL 4: クロロホルムを用いて土壌 4 g から抽出した全脂質重量

X) A, B, C, D, E および F は土壌を採取したカンキツ園を示す。

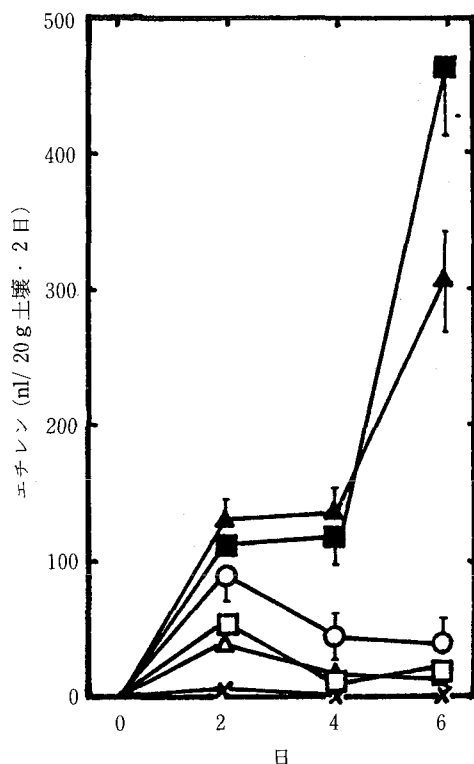
脂質の存在するクロロホルム抽出物を入れたビンに花こう岩土壌 (20 g) を加え、20mlの蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で調査した。

次いで、このクロロホルム分画をケイ酸クロマトグラフィーにかけ、各溶媒で溶出した区におけるエチレン発生は、アセトン溶出区で最もさかんであった（第26図）。しかしながら、単純脂質が含まれるクロロホルム溶出区やリン脂質が含まれるメタノール溶出区でも、糖を加えることによって、エチレンの発生は高まった（第27図および第28図）。この傾向はブドウ枯葉以外の有機物や土壌でも同様であった。なお、ブドウ枯葉の脂質重量比は、クロロホルム区、アセトン区、メタノール区につき、それぞれ32:67:1の比であったが、ブドウ枯葉以外の有機物や土壌でもほぼ同様な比率であり、アセトン区の重量が最も重かった。

さらに、エチレンを多量に発生する分画であるブドウ枯葉および土壌のアセトン区を TLC で展開したとき、 R_f 0.5—0.65のところではエチレンの発生があり、この部分で糖（アンズロン法）、ステロール（塩化第2鉄法）および隣接水酸基（過ヨウ素酸—Schiff 法）の反応が見られた（第29図および第30図）。すなわち、ブドウ枯葉および土壌中の主要なエチレン発生物質は糖が結合したステロールあるいはグリコール脂質であることを示唆している。なお、ブドウ枯葉におけるグリセロ糖脂質の構成脂肪酸を調査した結果、ミリスチン酸、パルミチン酸、パルミトレイン酸、ステアリン酸、オレイン酸などが検出された（第31図）。



第26図 ブドウ枯葉クロロホルム分画のケイ酸クロマトグラフィーによって分画された各溶出物からのエチレン生成
 ○—○：クロロホルム溶出物（単純脂質）
 △—△：アセトン溶出物（糖脂質）
 □—□：メタノール溶出物（リン脂質）
 図中の縦線は標準誤差を示す。
 各溶出物を入れたビンに花こう岩土壌（20 g）を加え、20 ml の蒸留水で湛水状態にした後、30℃下で調査した。



第27図 ブドウ枯葉からのクロロホルム溶出物（単純脂質）からのエチレン生成に及ぼす糖添加の効果

×-×：対照（土壌のみ）

○-○：単純脂質（500mg, LPL）のみ

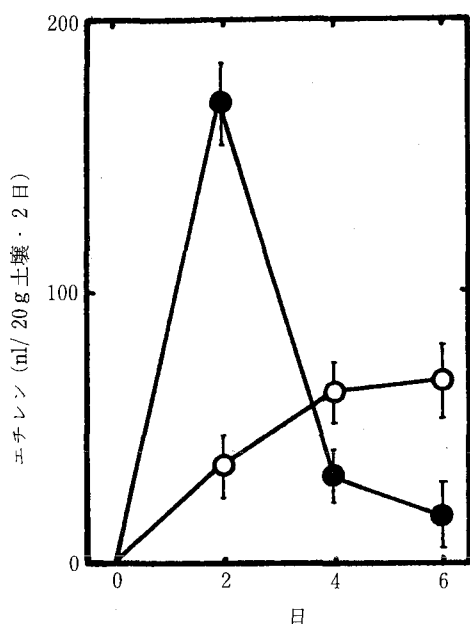
△-△：グルコース（100mM, GL）のみ

□-□：サッカロース（100mM, SU）のみ

▲-▲：LPL+GL, ■-■：LPL+SU

図中の縦線は標準誤差を示す。

各処理区のビンに花こう岩土壌（20g）を加え、20mlの蒸留水あるいは糖溶液で湛水状態にした後、30℃下で調査した。



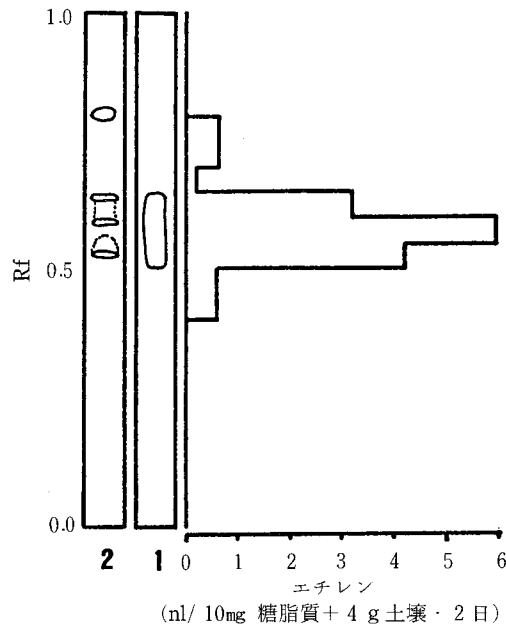
第28図 ブドウ枯葉からのメタノール溶出物（リン脂質）からのエチレン生成に及ぼす糖添加の効果

○-○：リン脂質（20mg）のみ

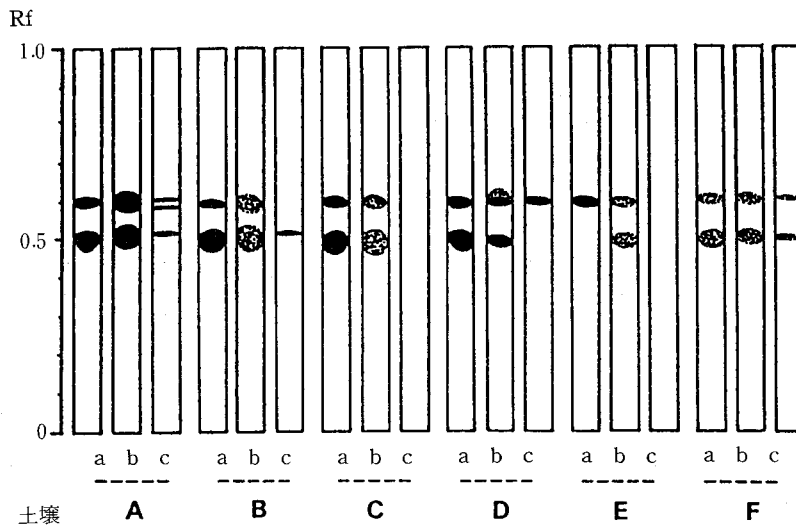
●-●：リン脂質（20mg）+グルコース（100 mM）

図中の縦線は標準誤差を示す。

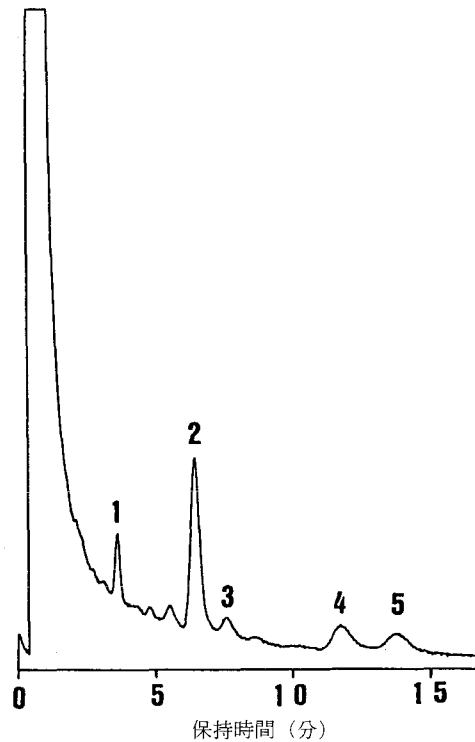
各処理区のビンに花こう岩土壌（20g）を加え、20mlの蒸留水あるいは糖溶液で湛水状態にした後、30℃下で調査した。



第29図 ブドウ枯葉からのアセトン溶出物（糖脂質）の薄層クロマトグラムとエチレン生成
展開液：ジイソブチルケトン-酢酸-水（40：25：4，v/v）
薄層：シリカゲル60
1：アンスロン試薬および過ヨウ素酸-Schiff 試薬によって発色したスポット
2：FeCl₃-H₂SO₄-酢酸試薬によって発色したスポット
エチレン生成の調査は各 Rf 値からのサンプルをビンに入れ、花こう岩土壌（4 g）を加えて 3 ml の蒸留水で湛水状態にした後、30℃で培養することによって行った。



第30図 カンキツ園土壌からのアセトン分画溶出物（糖脂質）の薄層クロマトグラム
展開液：ジイソブチルケトン-酢酸-水（40：25：4，v/v）
薄層：シリカゲル60
a：ローダミン 6 G 試薬によって発色したスポット
b：アンスロン試薬および過ヨウ素酸-Schiff 試薬によって発色したスポット
c：FeCl₃-H₂SO₄-酢酸試薬によって発色したスポット



第31図 ブドウ枝葉から得られた糖脂質の構成脂肪酸のガスクロマトグラム
 1：ミリスチン酸，2：パルミチン酸，3：パルミトレイン酸
 4：ステアリン酸，5：オレイン酸

実験 3

腐熟度の異なるカンキツ枝中の脂質重量並びにエチレン発生を調査したところ，未熟成のカンキツ枝から抽出した脂質重量は，熟成処理したカンキツ枝の場合と比べて，差異が見られなかった。しかし，未熟成のカンキツ枝中の脂質からのエチレン発生量は熟成カンキツ枝の場合のおよそ11倍も多かった（第10表）。

第10表 熟成あるいは未熟成のカンキツ枯枝から抽出した脂質重量並びに抽出脂質からのエチレン発生

	脂質重量 (g/10 g DW カンキツ枯枝)	エチレン発生量 ^Y (nl/ 10mg脂質+ 4 g 土壌・4 日)
熟成カンキツ枯枝	0.72±0.04 ^Z	1.0±0.1
未熟成カンキツ枯枝	0.78±0.05	11.1±0.7

Z) 平均値±標準誤差

Y) エチレンの発生は脂質（10mg）に花こう岩土壌（4 g）を加えて 3 ml の蒸留水で湛水状態にした後，30℃下で培養することによって調査した。

実験 4

各種の脂質標品から発生するエチレンを調査した結果，エチレンを発生する脂質が数多く見

られた(第11表)。特に、ブドウ枯葉におけるグリセロ糖脂質の構成脂肪酸であるミリスチン酸、パルミチン酸、ステアリン酸およびオレイン酸からの発生量も多かった。また、グリセロールあるいはステロイド(コレステロール、スチグマステロールおよび β -シトステロール)からもエチレンの発生が見られた。

第11表 各種の脂質標品からのエチレンの発生

脂質の種類		エチレン
		(nl/ 4 g 土壌・3 日)
酢酸	(40 μ l)	tr.
酪酸	(10 μ l)	tr.**
吉草酸	(10 μ l)	tr.
カプロン酸	(10 μ l)	3.84
エナント酸	(10 μ l)	26.46
カプリル酸	(10 μ l)	tr.
ペラルゴン酸	(10 μ l)	0.46
カプリン酸	(2 mg)	tr.
n-ウンデシル酸	(2 mg)	0.83
ラウリン酸	(2 mg)	tr.
n-トリデカン酸	(2 mg)	5.05
ミリスチン酸	(2 mg)	5.17
n-ペンタデカン酸	(2 mg)	8.51
パルミチン酸	(2 mg)	7.18
マルガリン酸	(2 mg)	7.77
ステアリン酸	(2 mg)	7.67
アラキジン酸	(2 mg)	7.09
ベヘン酸	(2 mg)	5.66
シクロプロパン		
カルボン酸	(10 μ l)	3.29
アクリル酸	(10 μ l)	3.56
trans-クロトン酸	(2 mg)	6.14
パルミトレイン酸	(2 mg)	0.35
オレイン酸	(2 mg)	5.67
エライジン酸	(2 mg)	9.06
リノール酸	(2 mg)	0.68
リノレン酸	(2 mg)	0.72*
アラキドン酸	(2 mg)	1.62
プロピオン酸	(10 μ l)	tr.
コレステロール	(2 mg)	7.79**
スチグマステロール	(2 mg)	1.78**
β -シトステロール	(2 mg)	1.50
スクアレン	(10 μ l)	3.23**
ビタミンE	(2 mg)	4.32
グリセロール	(2 mg)	9.97

* : C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 の発生が見られるが、特に C_2H_6 は多い。

** : C_3H_6 の発生が多い。

*** : C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 の発生が見られる。tr.: 微量

各脂質を入れたビンに花こう岩土壌(4 g)を加え、3 ml のグルコース(100 mM)溶液で湛水状態にした後、30℃下で調査した。

実験 5

土壌から抽出した酵素が脂質からのエチレン発生に及ぼす影響についても調査した結果、土壌や有機物から抽出した脂質に、土壌から抽出した粗酵素液を処理することによってエチレン生成が高まり、特に窒素ガス処理下ではエチレンの発生量が多かった（第12表）。土壌酵素抽出液による脂質からのエチレン発生は培養5時間後から見られ、時間を追うにつれて増加した。また、pH 5から6の範囲が最もよく発生し、4℃下では全くエチレンが検出されないことも明らかにしている（データ省略）。

第12表 脂質からのエチレン発生に及ぼす土壌酵素抽出物の効果^Y

処 理 区	エチレン (nl/ 日)	
	大 気	窒 素
L P L + E 1 + P B	1.17±0.08 ^Z	—
L P L + E 2 + P B	0.59±0.05	—
G L + E 2 + P B	0.52±0.08	1.20±0.03

L P L : カンキツ枯枝から抽出した単純脂質 (3.4mg)

G L : 土壌から抽出した糖脂質 (0.9mg)

E 1 と E 2 : 別種の土壌 (10 g F W) から抽出した土壌酵素液 (2 ml)

P B : 0.1Mリン酸緩衝液 (pH 6, 2 ml)

Z) 平均値±標準誤差

Y) 脂質のみの区 (L P L + P B, G L + P B) ではわずかにエチレン (<0.14 nl/day) が検出されたが、土壌酵素抽出液のみの区 (E 1 + P B, E 2 + P B) では全くエチレンを検出できなかった。

第 5 節 カンキツ園土壌中のエチレン濃度の季節的变化

農家のカンキツ園において、実際にどれほどのエチレンが土壌中に発生しているのかを調査した。

材料および方法

調査園には松山市周辺の農家のイヨカン園4か所を選んだ（第13表）。AおよびB園は花こう岩土壌で傾斜園、CおよびD園は水田転換園で、D園は山土（花こう岩土壌）を盛土した園であった。なお、第4節で用いた土壌はこれらの園からのものが含まれ、第9表で示す土壌A、B、CおよびEはそれぞれ本調査のA、B、CおよびD園に相当する。1983年2月3日、それぞれの園5か所にガス採取管を地表下15cmに埋設した。採取管埋設後2週間目から定期的に土壌ガス4 mlを採取し、酸素および二酸化炭素はWG-100カラムを用いた熱伝導度検出器 (TCD) 付きガスクロマトグラフで、エチレンは活性アルミナカラムを用いたFIDガスクロマトグラフで分析した。なお、ガス採取管は第2章第3節とほぼ同様であるが、ガラス管の代わりに内径1 mm、長さ30cmのステンレス管を用いた。各園の土壌pH、土壌中の有機炭素および全窒素含量を調査するために、1983年4月中旬に土壌を採取し、土壌pHはpH計、有機炭素はTyurin法（本田，1978）、全窒素はサリチル硫酸分解法（深山ら，1978）で分析した。土壌中の脂質含量は前節の方法で求めた。土壌通気速度は土壌通気測定器DIK-H-1型（大起理化製）を用いて測定した。すなわち、内径6.75cmのエスロンパイプを地表下30cmの深

さに打ち込み、一定圧の空気を流して単位時間当りに流れた空気容量を基にして通気係数を求めた（岩崎ら，1981）．調査期間中の降水量は松山気象協会の資料を用いた．地温はA園において自記地温計を用いて測定し，1日の最高地温で示した．

結 果

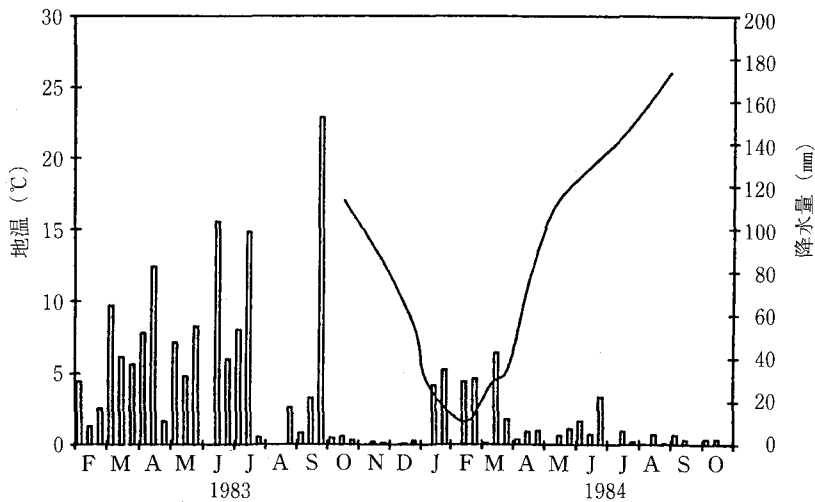
土壌 pH は5.3－6.4の範囲にあり，また土壌通気性はCおよびD園でわずかに劣るものの，いずれの園も比較的良好な土壌環境であった（第13表）．有機炭素含量はAおよびB園でそれぞれ1.9%，1.7％であり，ついでC園であり，D園ではAおよびB園のおよそ3分の1であった．脂質および窒素含量はAおよびB園で多かった（第13表）．調査期間中の降水量についてみると，1983年は特に雨が多く，反対に1984年は雨が極めて少ないという両極端な調査年であった（第32図）．地温は冬季の1日の最高地温が2～3℃，夏季が28℃程度であった．このような環境下で，土壌中のエチレン，酸素および二酸化炭素濃度の変化を調査した結果が第33図

第13表 土壌中のエチレン測定を行ったカンキツ園における土壌 pH，土壌通気係数（CAP），土壌中の有機炭素，全窒素および脂質含量

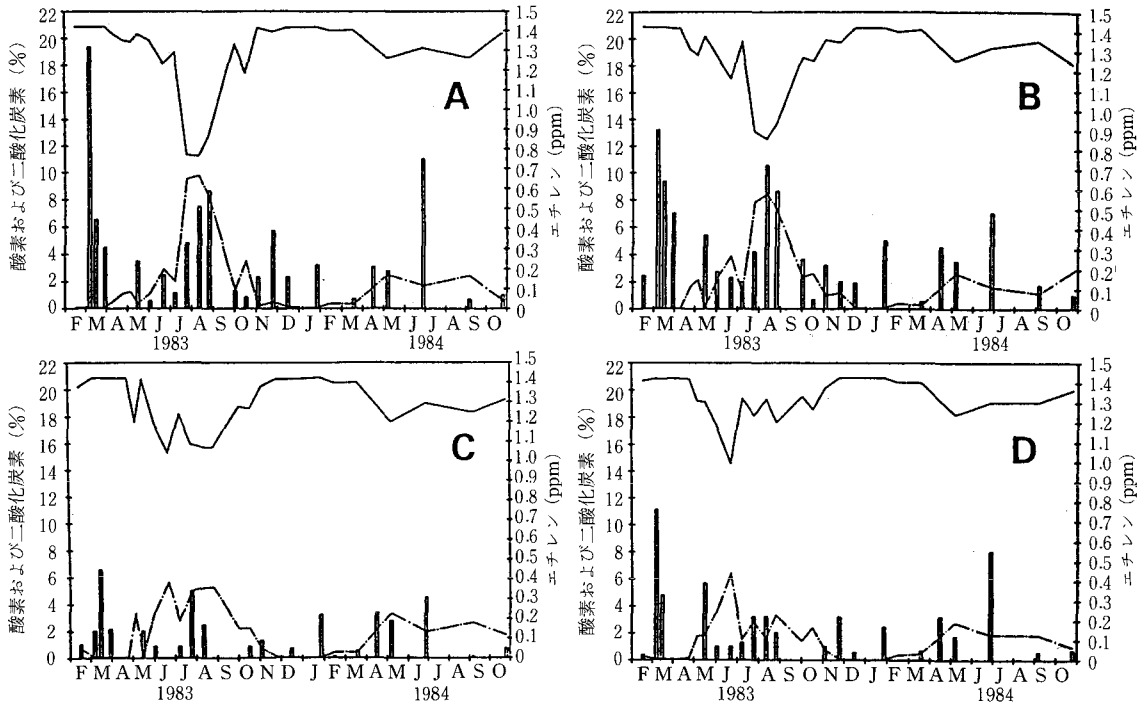
園 地	pH (H ₂ O)	CAP (μ^2)	C (%)	N (%)	脂 質 (ng/100 g)
A	5.3	60.8±18.0 ^Z	1.9 a ^Y	0.34 a	233 a
B	5.5	93.9±19.9	1.7 ab	0.30 ab	201 a
C	6.4	32.6±19.3	1.3 b	0.26 bc	84 b
D	5.4	49.4±14.7	0.6 c	0.18 c	67 b

Z) 平均値±標準偏差

Y) ダンカンの多重範囲検定（5％レベル）



第32図 土壌中のエチレン測定年次における降水量および地温
棒グラフは降水量，実線はカンキツ園（A）における地温（地表下15cm）を示す。



第33図 カンキツ園土壤中のエチレン濃度、酸素濃度および二酸化炭素濃度の季節的变化
棒はエチレン、実線は酸素、一点鎖線は二酸化炭素を示す。

である。すなわち、エチレンの発生量は年度による差異があり、雨の少なかった1984年と比べて、雨の多かった1983年で高い傾向が見られた。しかし、いずれの園でも1983年では3月および7～8月、1984年では6～7月の時期に多く、特にA、BおよびD園ではカンキツ樹の生育に悪影響を及ぼすほどの濃度（0.5 ppm 以上）になった。この時期には、1983年の3月を除き、酸素濃度が減少し、二酸化炭素濃度が増加した。園地間の差異を見たとき、有機炭素や脂質が多い園（AおよびB園）においてエチレンが多量に発生する傾向がみられた。しかし、これらが少ない園（D園）でもカンキツの生長に著しい悪影響を及ぼすほどの高濃度のエチレンが発生していた。

第6節 考 察

エチレンが有機物を施用した土壤から多量に発生することはこれまでに報告されている（Goodlass・Smith, 1978 b；中野・楯塚, 1979；中山・太田, 1980 a, 1980 c）。本実験においても使用した有機物の全てにおいて土壤への施用後にエチレンの発生が認められた。しかし、この発生量は有機物の種類によって著しく異なり、特にブドウ葉、カンキツ枯葉、カンキツ新鮮根、ナン枯葉、モモ枯葉、カキ枯葉および稲わらを施用した湛水土壤からの発生が著しいことを明らかにした。また、有機物の腐熟程度によっても差異が見られ、熟成処理した有機物からのエチレン発生は非常に少なかった。このことは、エチレンによる生育阻害を軽減させる方

法として、有機物を十分に腐熟させて施用することが効果的であることを示唆している。さらに、有機物施用土壌からのエチレン発生には土壌温度、土壌湿度および土壌の通気性が大きく関与していた。

樹の生長に対するエチレンの作用を調査するために、本実験は主として好氣的な土壌条件下で調査された。しかし、前章に示したように、土壌に施用された有機物、特に未熟成あるいは生の有機物を施用した土壌周辺では嫌気状態に陥ることが予想される。嫌気土壌では酸素濃度の低下とともに、二酸化炭素濃度も増加する。高濃度の二酸化炭素は植物に対するエチレンの生理作用を妨げることが知られている (Abeles, 1972; Burg・Burg; 1965)。しかしながら、20%以下の二酸化炭素濃度では植物の生育にかかわる土壌中のエチレンの作用が阻害されないという報告がある (Ishii ら, 1982; Smith・Russell; 1969)。特に、筆者ら (1982) は20% CO_2 + 0% O_2 の土壌条件下でのブドウ樹の生育阻害が高濃度のエチレン (5 ppm) によってさらに強められることを明らかにしている。本実験でもほぼ同様な傾向が見られ、光合成の阻害は20% CO_2 + 0% O_2 のみの処理区よりもこれに5 ppmのエチレンが含有されることによってより一層強まった。

このように、嫌気条件下においてもエチレンによる生育阻害の影響が見られる原因として興味ある報告がある。すなわち、 ^{14}C -エチレンをアサガオ (下川, 1969) およびトマト (Jackson・Campbell, 1975; Jackson, 1985) の根系に処理し、エチレンの動態を調査したところ、地上部の組織にも ^{14}C の放射活性が見られたということである。この事実は、カンキツ樹においても嫌気土壌で多量に発生したエチレンが根に容易に取り込まれた後拡散し、酸素の豊富な地上部の組織でエチレン作用が発現することを示唆している。それゆえ、未熟成あるいは生の有機物から発生する多量のエチレンが根に取り込まれ、地上部で著しい影響を及ぼしていることが考えられる。

未熟成あるいは生の有機物を施用した土壌ではエチレン発生量が1 ppmを越えることがあり、このときに新しょう伸長が阻害されることが明らかになった。また最近よく使用されている鶏ふんおがくず堆肥による生育阻害の原因にエチレンが密接に関与していることも考えられた。しかし、十分に腐熟させた有機物施用区ではエチレンの発生が少なく、樹の生育抑制がほとんど観察されなかった。なお、第22図における熟成処理した稲わら施用区で高濃度のエチレンが観察された原因には、第14図で使用したような稲わら粉末ではなくて、1-2 cmの切片を用いたことにより、2週間の水浸漬+再乾燥処理では十二分に熟成させることができなかったためと考えられる。

高濃度のエチレン (1-10 ppm) による根圏処理は、オオムギ (Crossett・Campbell, 1975; Smith・Robertson, 1971)、イネ (Konings・Jackson, 1979; Smith・Robertson, 1971)、タバコ (Smith・Robertson, 1971)、トマト (Konings・Jackson, 1979; 中山ら, 1973; Smith・Robertson, 1971)、ダイズ (中山ら, 1973)、エンドウ (Goodlass・Smith, 1979; Konings・Jackson, 1979) および白クローバ (Goodlass・Smith, 1979) の生長を著しく阻害することが報告されている。果樹においても、高濃度のエチレン処理によってブドウ樹の生育 (Ishii ら, 1982; Perret・Koblet, 1979) や養分吸収、特にN, P, K (Ishii ら, 1982) およびFe (Perret・Koblet, 1979) の吸収に悪影響が出ることが明らかにされている。さらに、筆者ら (1982) は1週間のエチレン根圏処理でブドウ樹の光合成や根の呼吸も阻害されることを報告している。本実験のカンキツ樹の場合においてもほぼ同様な傾向が見られ、0.5 ppm以上になると

光合成や根のコハク酸脱水素酵素活性が低下し、特に 5 および 50 ppm 処理区では地上部および地下部の生長が著しく抑制され、新葉中の N, P, K および Mg 含量が減少した。また、エチレン処理は根の生長を阻害するとともに、根の先端部を肥大させ、根を褐変させた。中山ら (1973) は、トマトおよびダイズ幼植物を用いた調査において、1–10 ppm のエチレン処理は主根長や側根長を低下させ、根を褐変させ、また根先端部を肥大あるいはねじれさせることを報告している。カンキツの根毛は、SEM 観察で根先端部から 0.3–15mm の範囲に散在することが知られている (Castle・Kretdorn, 1979; 門屋ら, 1980)。しかしながら、エチレン処理によってこの部分の根毛数は増加した。同様に、Smith・Robertson (1971) および Crossett・Campbell (1975) はエチレンが禾穀類の根毛形成を促すことを報告している。カンキツ根毛の形状を観察すると、普通はあまり見られない管状の根毛がエチレンの処理濃度の増加につれて多くなった。管状の根毛数が増加した原因は、エチレンによって根の伸長が阻害されたために、根毛を伸ばし、根の表面積を拡大させる必要があったのではないと思われる。

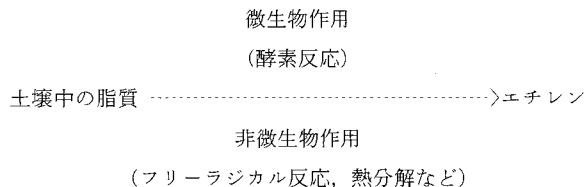
好気的な条件下での低濃度のエチレンは、植物の生長を良好にすることが知られている。Konings・Jackson (1979) は、イネ、トマトおよびカラシナの根系にエチレンを処理したところ、カラシナでは低濃度のエチレンによる根の伸長促進効果が見られなかったが、イネでは 0.15 ppm 以下、トマトでは 0.02 ppm で根の伸長が旺盛になることを報告している。カンキツ樹においては、新しょう伸長が 0.05 ppm 濃度のエチレン処理によってさえも抑制されたが、根の生長は対照 (エチレン無処理) 区よりもわずかに促進される傾向が見られた。一方、熟成 (再乾燥) 処理したカンキツ枯枝施用区における土壌中のエチレン濃度は試験期間中最高で 0.65 ppm であり、カンキツ主根は短くなった。しかし、この施用区の根重は対照区の場合と比較して増加した。エチレンは好気的な土壌環境においても生成されるようである (第 4 表)。つまり、よく腐熟させた有機物を施用したときに発生する微量のエチレンは地上部の生長をわずかに抑制させるかもしれないが、根の生長を促進させ、根系を拡大させる働きを有していることがうかがえる。事実、十分に腐熟させた有機物の周辺には細根がよく観察される。

有機物を施用した湛水土壌からは、エチレン以外にも、メタン、エタン、プロパン、プロピレン、iso- および n-ブタン、 α -ブチレンなどのさまざまな低級炭化水素が発生した。しかし、これらの中でカラタチの生長に著しい影響を及ぼしたのはエチレンのみであった。中山・太田 (1980b) も、メタン、エタン、エチレン、プロピレンの中で、エチレンがダイズやイネの根の生長を最も激しく阻害することを報告している。

有機物および土壌中のエチレン発生物質を調査したところ、脂質、特にグリコール脂質やステロール脂質が、それらに糖が結合した脂質がエチレン生成の重要な物質であること、またこれらの量あるいは質がエチレン発生量に関係することを明らかにした。特に、熟成処理による有機物からのエチレン発生量の低下は、脂質重量の減少よりも脂質の質的な影響、つまり、ある特定の脂質のみがエチレン発生に関与しているように推察された。これまでに、エタノール (Goodlass・Smith, 1978b)、酪酸 (Goodlass・Smith, 1978a)、メチオニン (Lynch・Happer, 1980; 中山・太田, 1980a)、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) (Frankenberger・Phelan, 1985a, 1985b) およびグルコース (Goodlass・Smith, 1978b; Lynch・Happer, 1980) を土壌に処理するとエチレンが発生することが報告されている。しかし、Lynch・Happer (1980) はエタノール処理はグルコースによるエチレン発生を阻害することを示している。筆者らの調査でも Lynch・Happer の場合と同様な結果であった。また、

酪酸処理の場合でもエチレン生成はほとんど見られなかった。さらに、Hunt ら (1980) は Norfolk 砂壤土においてメチオンによるエチレン生成が観察されなかったと述べている。本実験でも有機物および土壌抽出物のアミノ酸や有機酸分画からのエチレン発生がほとんど見られなかったことから、メチオンやACCのようなアミノ酸、並びに酪酸などのような有機酸は土壌からのエチレン発生における貢献度は極めて小さいことが考えられた。グルコースなどの糖類そのものからのエチレン発生はわずかであったが、それらは脂質を多量に含む土壌からの発生を助長していることを本調査は明らかにした。糖類は、微生物の活動を促し、脂質からのエチレン生成を高めているのであろう。なお、第23図における80%メタノール抽出残さからのエチレン発生量が多い原因は80%メタノールによる方法では脂質を十分に抽出できなかったためと考えられる。しかし、メタノール-クロロホルム抽出法では脂質をほぼ完全に抽出することができ、第25図に示すように、処理9日後にはエチレンをほとんど検出できなかった。

これまでに、土壌からのエチレン発生には微生物活性が密接に関係していることが報告されている (Babiker・Pepper, 1984; 福田, 1990; Lynch, 1983; 中野・楯塚, 1979; 中山・太田, 1980a; Pazout ら, 1981; Primrose, 1979; Smith, 1976a, 1976b)。本実験では土壌から抽出した粗酵素液によって脂質からエチレンが生成されることを示した。しかしながら、微生物の働きによらないエチレンの発生があることも知られている (Abeles, 1972; 中野・楯塚, 1979, Sutherland・Cook, 1980)。本実験でも微生物作用および非微生物作用のいずれによってもエチレンが発生することを確認した。不飽和脂肪酸の一つであるリノレン酸などでは、フリーラジカル反応で生じたフリーラジカルエタンなどから銅イオン、鉄イオンなどの金属イオンの存在下においてエチレンが生成することが知られている (Halliwell・Gutteridge, 1985; Lieberman, 1979)。有機物や土壌に含まれる不飽和脂肪酸の場合にもこのようなフリーラジカル反応によって非酵素的反応でエチレンが生成するものと推察される。第34図に示すように、土壌における脂質からのエチレン生成は微生物作用 (酵素的反応)、非微生物作用 (フリーラジカル反応、熱分解など) のいずれによっても起こることが考えられる。



第34図 土壌における脂質からのエチレン発生のメカニズム

エチレンはさまざまな土壌から発生することが知られており (Campbell・Moreau, 1979; Cook・Smith, 1977; Dowdell ら, 1972; Hunt ら, 1980, 1981, 1982; 岩崎ら, 1981; Pazout ら, 1981; Perret・Koblet, 1981; Russell, 1973; Sawada・Totsuka, 1986; Smith, 1976a; Smith・Russell, 1969; Smith・Restall, 1971; Smith・Dowdell, 1974; Sutherland・Cook, 1980; Van Cleemput・El-Sebaay, 1985), 実際に圃場で土壌中のエチレン濃度を分析した報告もある (Campbell・Moreau, 1979; Dowdell ら, 1972; Hunt ら, 1981; 岩崎ら, 1981; Perret・Koblet, 1981; Smith・Dowdell, 1974)。特に、筆者らは愛媛県八幡

浜市真穴地区のカンキツ園において、排水性が悪くて生産性が劣る園の土壌からのエチレン発生は、排水性がよくて生産性が高い園の場合よりも大であることを報告している（岩崎ら、1981）。同様なことが重粘土壌で排水不良なブドウ園においても確認されている（Perret・Koblet, 1981）。しかし、本調査のように、長期間にわたってエチレン濃度を調査した報告は少ない。2年間のカンキツ園土壌中のガス分析結果から、エチレン濃度が高かったときは、一般に雨が多く、酸素濃度が低下する時期であった。Dowdell ら（1972）も、イギリスの牧草や冬小麦栽植土壌において1月から5月までのエチレン発生を調査したところ、1月の多雨時期や4月下旬の湿潤な時期にエチレン濃度が高まることを報告している。しかし、エチレンの発生量は、傾斜地園で比較的排水が良好なイヨカン園（AおよびB園）でも、水が停滞しやすい水田転換園（CおよびD園）の場合と比べて高い傾向にあった。この原因は、AおよびB園土壌中の脂質含量がCおよびD園と比べて多いことに関係があるように思われた。ただし、脂質が少ない園（D園）でもカンキツの生長を阻害するほどのエチレンが発生していることから、土壌空気中のエチレン濃度の高まりは、土壌中の有機物、特に脂質による影響だけでなく、土壌環境の変化によるカンキツや雑草の根などのストレスや、これらの根が土壌を貫通するときに起こる物理的な刺激（Kays ら、1974；Kays・Nicklow, 1974）などによって発生するエチレンも関与していると考えられた。

第7節 摘 要

- (1) 有機物施用土壌から発生する低級炭化水素には、メタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、iso- および n-ブタンなどが検出された。これらの内でカラタチ実生苗の生育を著しく阻害したのはエチレンのみであった。
- (2) 土壌空気中のエチレンがカンキツ樹の生長や光合成に及ぼす影響を詳細に調査したところ、以下の結果が得られた。
 - a) 0.05 ppm 処理区では新しょうの伸長が劣ったが、根の生長は対照区と比べてやや促進される傾向が認められた。また、光合成もわずかに低下する程度であった。しかし、0.5 ppm 以上になると光合成や根のコハク酸脱水素酵素活性が低下し、特に5および50 ppm 処理区では地上部および地下部の生長が著しく抑制された。
 - b) 根の先端部が肥大し、褐変した根が多く観察された。また、根毛数は増加し、根毛の形態もエチレンの影響を著しく受けた。
 - c) エチレン処理は葉、新しょうおよび根内の無機5要素含量にも影響を及ぼした。
- (3) 数種類の有機物を土壌に施用し、エチレン発生とカンキツ樹の生育との関係を調査した。その結果、未熟成有機物を土壌に施用すると、土壌中のエチレン濃度はカンキツ樹の生長を阻害する程度まで高くなった。しかし、十分に腐熟させた有機物の場合には、エチレンの発生量が少なく、対照区と比べてむしろ根重を増加させる傾向が見られた。
- (4) 土壌からのエチレン発生の要因について調査したところ、その発生は有機物の施用によって高まった。しかし、エチレンの発生量は施用有機物の種類により異なった。特に、ブドウ葉、カンキツ、ニホンナシ、モモおよびカキ枯葉、カンキツの新鮮根、並びに稲わらの施用土壌からのエチレン発生が著しかった。また、有機物をあらかじめ熟成処理して施用するとエチレンの発生は少なくなった。さらに、エチレン発生には土壌温度、土壌水分および土壌

の通気性が大きく関与しており、土壤微生物が重要な働きを示していることが推察された。

- (5) 有機物および土壤中の主要なエチレン発生物質は脂質、特に糖脂質であり、この量や質がエチレン発生量に密接に関与していた。
- (6) カンキツ園土壤中のエチレン濃度の季節的变化を調査したところ、雨の多い時期に濃度が高まる傾向が見られ、脂質が多い園で顕著であった。しかし、脂質が少ない園でもかなりのエチレン発生が見られたことから、土壤中のエチレン濃度の高まりは脂質を含む有機物による影響だけでなく、土壤環境の変化によるカンキツや草の根などのストレスによって発生するエチレンも関与していると推察された。

第3章 おがくずおよび樹皮を用いた堆肥施用の問題点、特に生育阻害物質の存在とカンキツ樹の生育について

現在、園地に施用されている有機物には、稲わら不足のために、おがくず、樹皮などの木材片に家畜ふん尿を混入したものが多くなってきている。これらの有機物の積極的な利用例として、峯・小田(1984 a, 1984 b)は鶏ふんおがくず堆肥を5年間連続施用したウンシュウミカン園において、深耕+鶏ふんおがくず堆肥(4 ton/10 a)施用区では土壌の理化学性が改善され、樹の生育が良好となり収量が増大したと報告している。

しかし、一般におがくず、樹皮などの木材片は、稲わらと比べて、炭素率が高く、また樹種の違いにもよるが生育阻害物質を多く含んでいる傾向にある。そのために、これらの木材片を用いた堆肥を土壌に施用したときには、窒素飢餓の発生(河田, 1981; Lunt・Clark, 1959; 徳橋, 1978)や木材片に由来する生育阻害物質(Allison ら, 1963; 原田, 1983; 河田, 1981; 佐藤, 1976, 1978; 吉田, 1975)によって、一年生作物の生育が著しく抑制されることが明らかとなっている。特に、最近使用されているおがくずや樹皮は腐熟しにくいものに替わっており、堆積期間が短いものは上述のような生育阻害を起こすことが推察される。しかし、どのような樹種が生育阻害物質を多く含んでいるのか、その物質はどのようなものなのか、さらにはカンキツ樹への影響はどうか、など不明な点が多い。

本章ではこれらの点を明らかにするために、市販の家畜ふん尿入りおがくず堆肥や、今後わが国で使用量の増加が予想されるヒノキおよびスギを中心に、これらのおがくずや樹皮に含まれる生育阻害物質の探索を行った。

第1節 市販の家畜ふん尿入りおがくず堆肥の問題点

堆積期間の短い市販の家畜ふん尿入りおがくず堆肥を用いて、カンキツ樹の生育に及ぼす影響を調査し、その生育阻害の原因を検討した。

材料および方法

約4か月間堆積された市販の鶏ふんおがくず堆肥(本節では以下堆肥とする)3種類を用いて調査した。使用したおがくずの樹種名は不明であった。これらの堆肥の内容成分について、炭素の分析は第2章第5節、N、P、K、Ca および Mg の分析は第2章第2節と同様な方法で行った。堆肥中の NaCl は温水(60-70℃)で抽出した後、Volhard 法(川口・小島, 1965)で求めた。

1981年度は、第14表に示す堆肥AおよびBを花こう岩あるいは水田土壌と混和した土壌(重量%)を用いて、5月25日に1年生の久能ウンシュウ(カラタチ台)を10号素焼き鉢に植え付けた。1982年度は、前年とはほぼ同様に、堆肥Cを花こう岩土壌と混和した土壌に4月10日に青島ウンシュウ(カラタチ台)を植え付けた。施肥量は第14表から換算して堆肥10%施用区(1981年度は堆肥AとBの平均)の成分含量と同量にした。堆肥20%施用区では施肥は行わなかった。なお、いずれの処理区も3反復とした。1981年度は8月12日、1982年度は8月5日に樹を解体して、全生体重、地下部重、新しょう伸長量、主根長および根の太さ(根の先端より5-15mm

第14表 市販の鶏ふんおがくず堆肥の水分、無機養分および NaCl 含量、並びに炭素率

鶏ふんおがくず堆肥 ^Z	H ₂ O (%)	C (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	NaCl ^Y (%)
A	55.7	24.0	2.24	10.7	1.36	2.28	7.40	1.48	1.30
B	55.3	31.5	2.39	13.2	1.58	1.84	5.93	1.19	0.89
C	57.3	32.5	2.64	12.3	1.22	1.90	5.68	1.21	0.99

Z) 堆肥AおよびBは1981年度、堆肥Cは1982年度の実験に用いた。

Y) NaCl 含量は温水 (60-70℃) で抽出し、Volhard 法で分析した。

の部) を測定した。また、1982年度は、前章と同様な方法で、根の呼吸と密接な関係があるコハク酸脱水素酵素活性も調査した。葉 (新葉) 内の窒素含量は前述の堆肥の分析方法と同様に行った。堆肥中のおがくず観察は、第35図に示すように、藤原ら (1980) の方法で前処理し、SEM 法によって堆肥中のおがくずの腐熟程度を観察した。

鶏ふんおがくず堆肥 (5 g DW)
|
蒸留水 (100ml) 中で攪 (かく) はん
|
ガーゼを用いておがくずを採取
|
60℃で、30分間おがくずを乾燥
|
金蒸着
|
走査型電子顕微鏡で観察

第35図 鶏ふんおがくず堆肥内のおがくず観察のための
走査型電子顕微鏡用の試料作製法

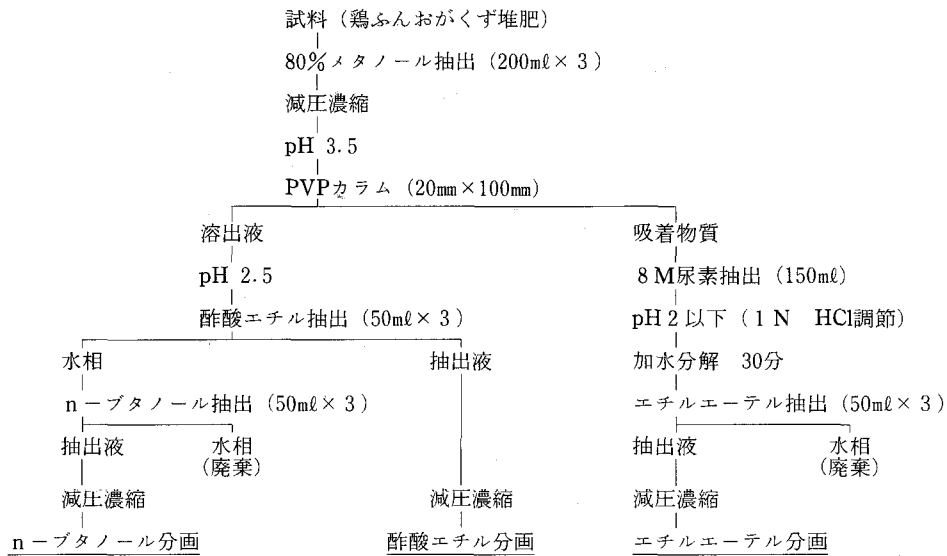
堆肥から発生するエチレンは、30℃下において、前章と同様にガスクロマトグラフィーによって測定した。

堆肥に含まれる抑制物質は、第36図に示す方法で抽出し分画した。各分画における抽出物を東洋ろ紙No.50にスポットし、イソプロピルアルコール:28%アンモニア水:水=10:1:1, v/v の展開液で分離した。その後、各区分をイネ (ニホンホマレ) の生物検定にかけ、第2子葉しょうの生育阻害の程度を調査した。また、イネの生物検定で生育阻害が見られた区分を用い、カラタチ実生の生育に及ぼす影響も調査した。カラタチでの検定法は次に示すとおりである。種皮を取り、3%次亜塩素酸ナトリウムおよびベンレート (2000倍希釈) 溶液で消毒後、無菌の寒天 (0.7%) 培地で発芽させ、根が5 mm程度伸びた個体を用い、2か月間24℃の光条件下で培養する方法を採った。一方、エチルエーテル分画では、生育阻害効果が見られた区分をアセトンで取り出し乾固させた後、ピリジン:ヘキサメチルジシラゼン:トリメチルクロロシラン (1:2:1) でTMS化し、FIDガスクロマトグラフで分析した。分析条件は下記に示すとおりである。

1.5% SE-30 Chromosorb WAWDMCS, 60-80 mesh, 3 mm×2 m ガラスカラム

キャリアーガス (窒素) 流量: 16 ml/min.

検出器温度: 260℃, 注入温度: 270℃, カラム温度: 100-250℃, 10℃/min.



第36図 鶏ふんおがくず堆肥内の抑制物質の抽出法

結 果

鶏ふんおがくず堆肥が樹体生長に及ぼす影響を調査した結果は第15表のとおりである。すなわち、全生体重、地下部重および新しょう伸長量は、1981年の水田土壌において樹の生育が抑制される傾向があったが、1981および1982年ともに花こう岩土壌の場合には、堆肥無施用（化学肥料単用）区と比べて大差が認められなかった。しかし、いずれの堆肥施用区においても、

第15表 鶏ふんおがくず堆肥がウンシュウミカン（カラタチ台）樹の生育並びに葉内窒素含量に及ぼす影響

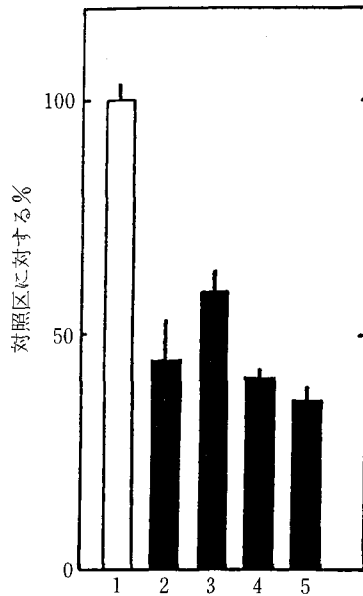
処 理 区			全生体重 (g)	地下部重 (g)	新しょう長 (cm)	主 根 長 (cm)	根の太さ ^Y (mm)	葉内窒素含量 ^X (%)
1981	水田土壌	対照 ^W	155.6±25.2 ^Z	42.3±7.3	18.2±2.6	28.0±1.8	0.90±0.07	2.51±0.21
		堆肥A 10%	69.7±17.2	14.0±0.3	5.8±0.9	17.5±1.4	1.39±0.07	2.07±0.18
		20	79.6±12.5	13.8±2.7	6.5±0.8	19.3±0.5	1.56±0.06	2.62±0.11
		堆肥B 10	139.9± 8.3	37.4±1.6	9.1±1.2	24.6±2.4	1.55±0.06	2.42±0.16
		20	92.0± 9.6	25.8±2.8	6.4±1.0	20.5±2.0	1.58±0.10	2.55±0.09
	花こう岩土壌	対照	135.8±10.1	41.7±5.6	16.4±3.0	31.9±2.1	0.98±0.05	1.98±0.20
		堆肥A 10%	102.9±15.9	33.6±3.1	10.4±0.5	30.9±1.9	1.48±0.09	1.88±0.18
		20	105.8± 6.9	28.8±0.6	5.6±0.9	25.0±1.4	1.46±0.08	2.26±0.11
		堆肥B 10	147.3± 9.5	48.8±0.3	11.2±0.8	30.0±1.8	1.42±0.10	2.08±0.20
		20	107.0± 6.3	32.0±3.7	13.7±1.6	33.0±2.1	1.60±0.07	1.93±0.30
1982	花こう岩土壌	堆肥C 0%	245.6±15.8	79.5±6.9	18.4±1.0	27.4±1.4	0.56±0.03	2.73±0.13
		1	205.9±15.2	51.8±9.8	18.2±1.1	17.3±2.3	0.95±0.06	2.75±0.20
		2	275.5± 5.5	84.7±4.1	16.1±2.0	28.5±1.3	1.06±0.05	3.08±0.09
		5	253.7±15.0	78.3±9.7	19.0±0.8	34.1±1.9	0.78±0.04	3.59±0.23
		10	231.1±16.3	69.5±7.1	11.8±1.0	29.1±1.0	0.93±0.04	3.30±0.03

Z) 平均値±標準誤差

Y) 根の直径は先端から5-15cmのところを測定した。

X) 新葉を用いた。W) 化学肥料単用

根の先端部は肥大し、褐変した根が観察された。特に、5%以上の施用区では、枯死した根が多く、細根が著しく少なかった。根のコハク酸脱水素酵素活性も堆肥施用によって低下した(第37図)。堆肥施用区における葉内の窒素含量は、5%以上の堆肥施用によって根の障害が観察された区でも、堆肥無施用区の場合と比べてほとんど差がなく、窒素欠乏の状態は観察されなかった(第15表)。

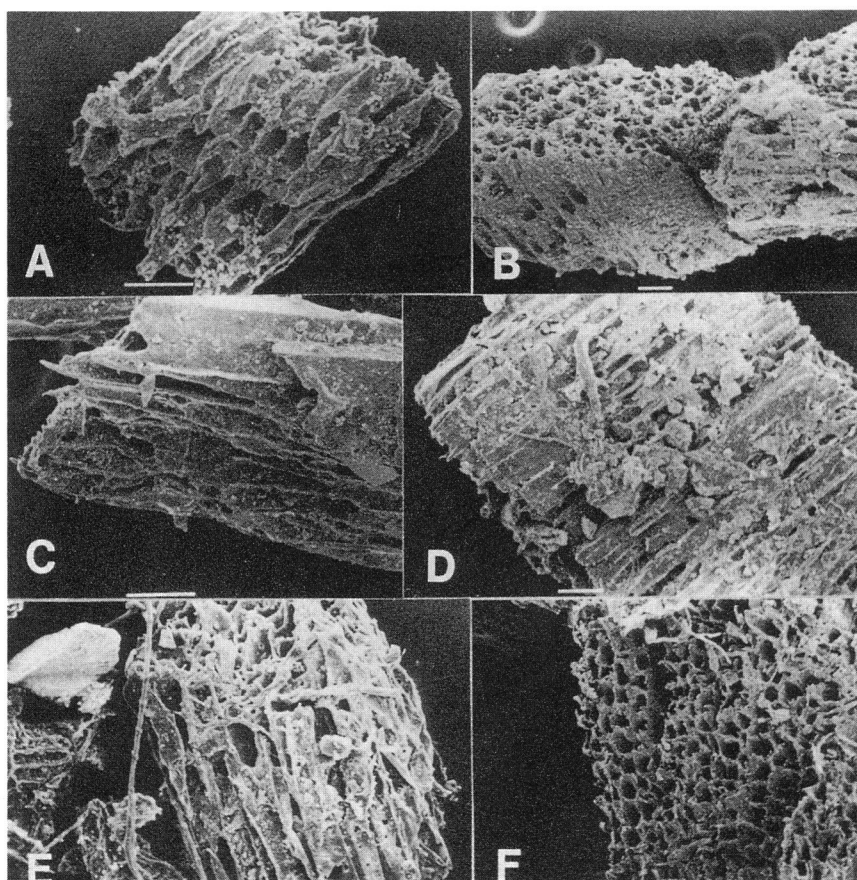


第37図 鶏ふんおがくず堆肥がウンシュウミカン(カラタチ台)根のコハク酸脱水素酵素活性に及ぼす影響(1982)
1:0%, 2:1%, 3:2%, 4:5%, 5:10%施用区
図中の縦線は標準誤差を示す。

走査型電子顕微鏡による堆肥中のおがくずを観察した結果、いずれの堆肥中のおがくずにおいても、その表面に微生物が付着していた。しかし、木質部の組織はほとんど分解されておらず、また鋭い断面を持ったものが多数観察された(第38図)。

堆肥から発生するエチレンは土壌水分の増加によって多くなる傾向が見られた(第16表)。なお、本実験に用いた土壌の圃場容水量近くの水分量(15%区)のときでさえも、エチレンは湛水状態下における発生量のおよそ70%まで高まった。

堆肥中の阻害物質をイネの生物検定で調査した結果、いずれの分画でもイネの第2葉しょうの生育を阻害する傾向が見られたが、特にフェノール物質が含まれるエチルエーテル分画のRf 0.4-0.5および0.7-1.0の区分において、その抑制効果が著しかった(第39図)。また、カラタチ実生を用いた場合でも同様の傾向が見られ、堆肥[5 g DW(乾物重)]からのエチルエーテル分画抽出物でも生育が著しく阻害された(第40図)。さらに、イネおよびカラタチ実生の生育を阻害したRf区分をガスクロマトグラフで分析したところ、Rf 0.4-0.5には安息香酸(1.7mg/100 g DW)、Rf 0.7-1.0にはシリング酸(0.7mg/100 g DW)が検出された(第41図)。なお、これら以外にも未同定の物質が数種存在していた。



第38図 鶏ふんおがくず堆肥内のおがくずの走査型電子顕微鏡像
 A ($\times 300$), B ($\times 150$):堆肥A, C ($\times 300$), D ($\times 200$):堆肥B
 E ($\times 300$), F ($\times 200$):堆肥C

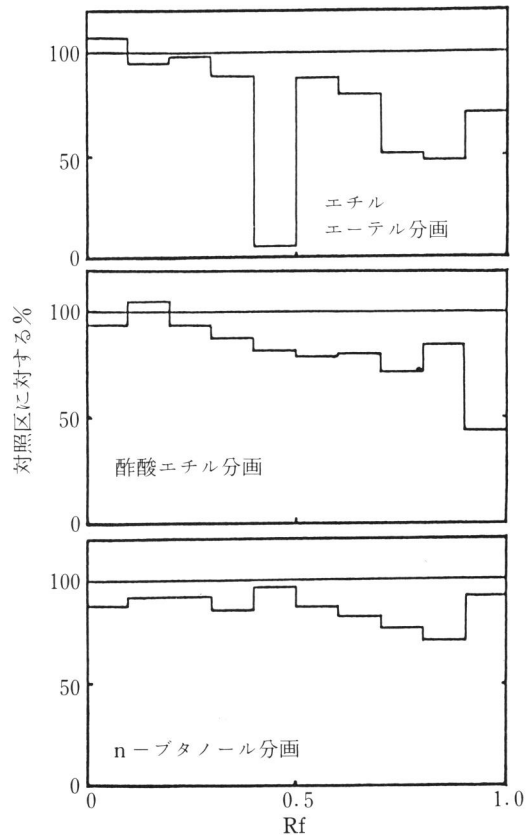
第16表 鶏ふんおがくず堆肥^Z施用土壌からのエチレン発生^X

土壌水分含量 (%)	エチレン (nl/ 0.4 g 堆肥 + 4 g 土壌・3日)
0	0.0 ± 0.0^Y
5	7.0 ± 0.4
10	5.9 ± 0.4
15	9.1 ± 0.3
湛水状態	12.2 ± 0.6

Z) 堆肥Cを用いた。

Y) 平均値 \pm 標準誤差

X) 堆肥と花こう岩土壌を混合したものをビンに入れ水分を調整した後、30℃下でのエチレンの発生を調査した。

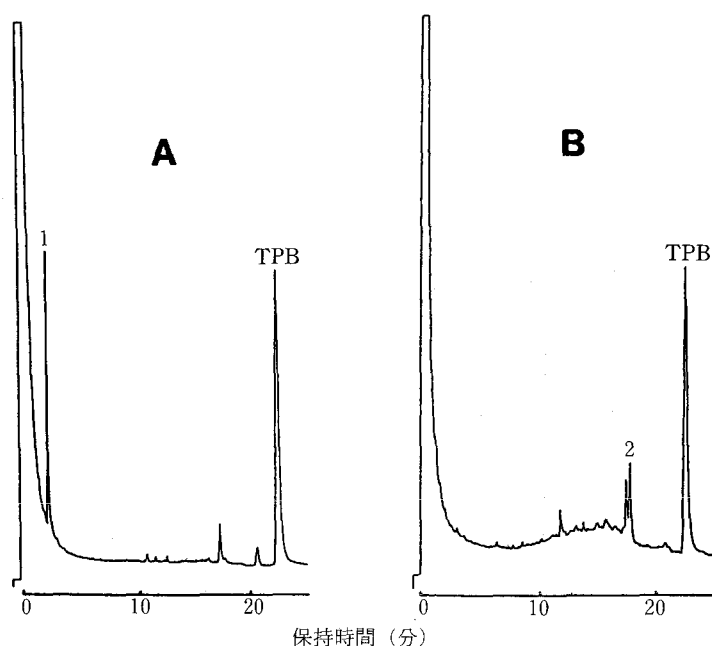


第39図 鶏ふんおがくず堆肥中の抑制物質
堆肥C (5 g DW) からの各分画中の抑制効果をイネの生物検定で調査した。なお、ペーパークロマトグラフィーの展開液はイソプロピルアルコール-28%アンモニア水-水 (10:1:1, v/v) を用いた。



5 g 10 g
対照 鶏ふんおがくず堆肥 (乾物当たり)

第40図 鶏ふんおがくず堆肥からのエチルエーテル抽出分画がカラタチ実生の生育に及ぼす影響
堆肥Cを用い、0.7%寒天培地上で調査した。



第41図 鶏ふんおがくず堆肥からのエチルエーテル抽出分画における抑制区分のガスクロマトグラム
 A:Rf0.4-0.5, B:Rf0.7-1.0, 1:安息香酸, 2:シリング酸
 内部標準として, TPB (1, 3, 5-トリフェニルベンゼン) を用いた。

第2節 塩分がカラタチ実生の生育に及ぼす影響

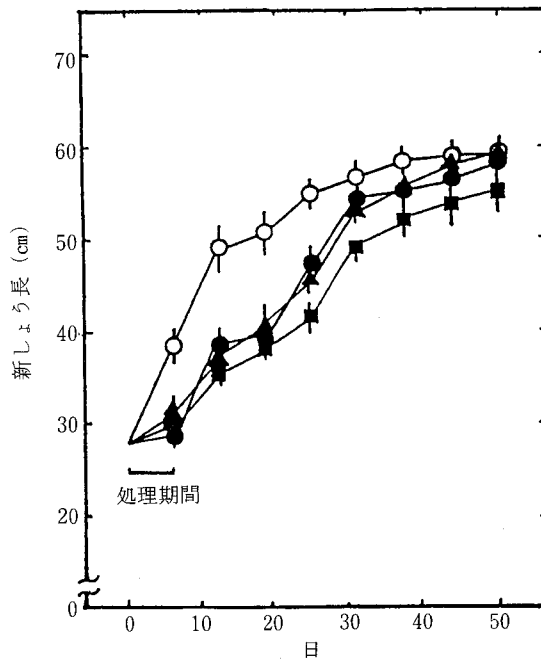
前節において、市販の家畜ふん尿入りおがくず堆肥には、乾物当たりおよそ1%のNaClが含まれていることを明らかにした。そこで、NaCl処理が樹の生育に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

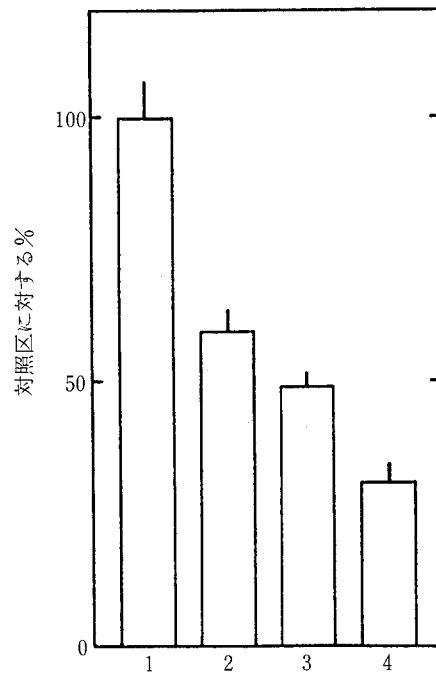
川砂を用い、7号鉢に植え付けたカラタチ2年生実生苗を各処理区6樹を供試し、NaClの影響を調査した。処理濃度は第42図に示すとおりで、対照区には蒸留水を用いた。0.5, 2および5 g NaCl/l処理は、前節の鶏ふんおがくず堆肥の調査において、それぞれ2, 8および20%施用区の濃度にほぼ相当する。処理方法は、8月1日から7日までの1週間、毎日午前9時に各濃度の溶液を処理し、午前6時に水で土壤中の塩分を洗い流す方法をとった。なお、前節において、土壤中のNaCl含量は堆肥多量施用区でも1週間後には堆肥無施用区とほとんど変わらない値まで減少するという結果を得ている。処理終了後、処理個体の半分を解体し、前章と同様に、根のコハク酸脱水素酵素活性を調査した。残りの個体は、処理後の樹の回復性を調査するために用いた。

結 果

カラタチ実生にNaCl処理したところ、第42図および第43図に示すように、いずれのNaCl処理区でも新しょう伸長量や根のコハク酸脱水素酵素活性が阻害された。しかし、処理終了後、樹は回復し始め、終了後約1か月目の新しょう伸長量は対照区と比べてほとんど差がなくなった。



第42図 NaCl処理がカラタチ実生の生育に及ぼす影響
○—○: 0 g NaCl/ℓ, ▲—▲: 0.5 g/ℓ, ■—■: 2 g/ℓ, ●—●: 5 g/ℓ
図中の縦線は標準誤差を示す。



第43図 NaCl処理がカラタチ実生の根のコハク酸脱水素酵素活性に及ぼす影響
1: 0 g NaCl/ℓ, 2: 0.5 g/ℓ, 3: 2 g/ℓ, 4: 5 g/ℓ
図中の縦線は標準誤差を示す。

第3節 おがくずおよび樹皮中の生育阻害物質、特にフェノール物質とイネ幼苗およびカラタチ実生の生育

第3章第1節の調査から、家畜ふん尿入り堆肥施用による樹の生育阻害は、おがくずに由来する生育阻害物質が主要な原因であることを明らかにした。ここでは数種類のおがくずや樹皮を用い、樹種の相違による生育阻害物質の多少を調査するとともに、安息香酸などのフェノール物質が樹の生育に及ぼす影響も調査した。

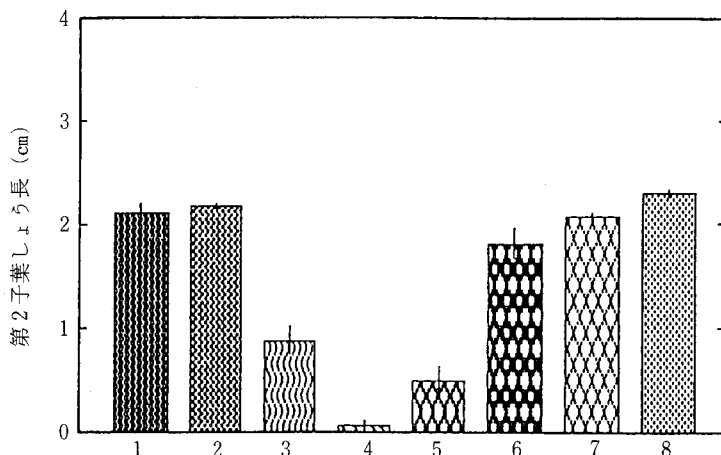
材料および方法

第44図および第45図に示すおがくずおよび樹皮を温水（60℃）に一昼夜浸漬させた後、東洋ろ紙No.5 Cでろ過した液の一定量をイネ（日本晴）の生物検定にかけた。樹皮は5 mm程度の大きさに切断して用いた。なお、これらの抽出液のpHは4-5程度になるので、pH 6.5に調整して用いた。また、生育阻害を及ぼした樹皮については、フェノール物質を吸着するポリビニルピロリドン（PVP）（Andersen・Sowers, 1968）を抽出液50 ml に対して1 gを加え、そのろ液についても検討した。

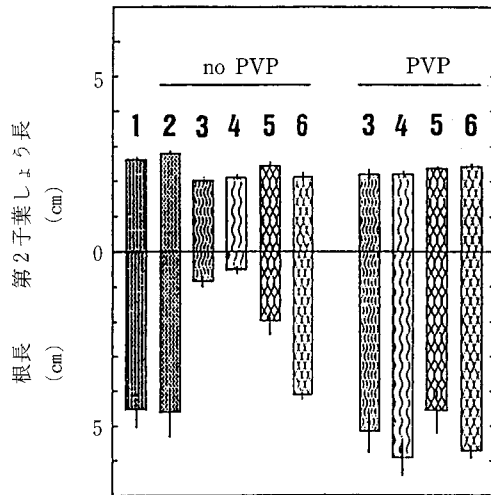
さらに、各種類のフェノール物質がカラタチ実生の生育に及ぼす影響を調査するために、第3章第1節に述べた寒天培地による方法で生育阻害の程度を観察した。

結 果

おがくずおよび樹皮温水抽出物がイネの生育に及ぼす影響について調査した結果は第44図および第45図のとおりである。生育阻害効果が見られた樹種はヒノキ、ベイマツ、ベイツガ、アカマツおよびアビトンであった。特に、ヒノキおがくずや樹皮、ベイマツおがくずや樹皮、並



第44図 おがくず温水抽出物がイネの生育に及ぼす影響
 1:対照区(水), 2:スギ, 3:ヒノキ, 4:アカマツ
 5:ベイマツ, 6:ベイツガ, 7:アビトン, 8:ラワン
 それぞれ、0.2 g DW のおがくずからの抽出物を用いた。
 図中の縦線は標準誤差を示す。



第45図 樹皮温水抽出物がイネの生育に及ぼす影響並びにポリビニルピロリドン (PVP) による抑制物質の除去効果
 1:対照区(水), 2:スギ, 3:ヒノキ, 4:ベイマツ
 5:ベイツガ, 6:アビトン
 それぞれ, 0.2 g DW の樹皮からの抽出物を用いた。
 図中の縦線は標準誤差を示す。

びにアカマツおがくずの阻害効果は著しかった。しかし、スギおがくずや樹皮、並びにラワンおがくずではイネの生長が全く阻害されなかった。一方、イネの生長を阻害した樹皮抽出液にPVPを加えたとき、阻害作用はほとんど観察されなくなった(第45図)。

次に、フェノール物質の生長抑制作用を調べたところ、第17表に示すように、第3章第1節の市販の鶏ふんおがくず堆肥中に検出された安息香酸やシリンガ酸はカラタチ根の伸長を阻害する傾向があった。特に、安息香酸は微量で著しい悪影響を及ぼした。これら以外にも、p-ヒドロキシ安息香酸、2, 4-ジヒドロキシ安息香酸、ホモバニリン酸、桂皮酸、フェルラ酸、クマリン、ウンベリフェロン、没食子酸およびタンニン酸による生育阻害効果は大きかった。

第17表 各種類のフェノール物質がカラタチ実生の生育に及ぼす影響

		対照区に対する%
安息香酸	0.5mM	79
	5	39**z
	10	30**
2, 4-ジヒドロキシ安息香酸	0.5	106
	10	41**
p-ヒドロキシ安息香酸	0.5	82
	10	62*
シリンガ酸	0.5	98
	10	70*
ホモバニリン酸	0.5	96
	10	74*
桂皮酸	0.5	79
	10	59*
3, 5-ジメトキシ-4-ヒドロキシ桂皮酸	0.5	81
	10	80
フェルラ酸	0.5	104
	10	70*
クマリン酸	0.5	76
	10	82
p-クマル酸	0.5	105
	10	110
クマリン	0.5	96
	10	54**
ウンベリフェロン	0.5	75*
	10	33**
没食子酸	0.5	100
	10	46**
タンニン酸	0.5	96
	10	29**

z) *: 5%レベルで有意差あり

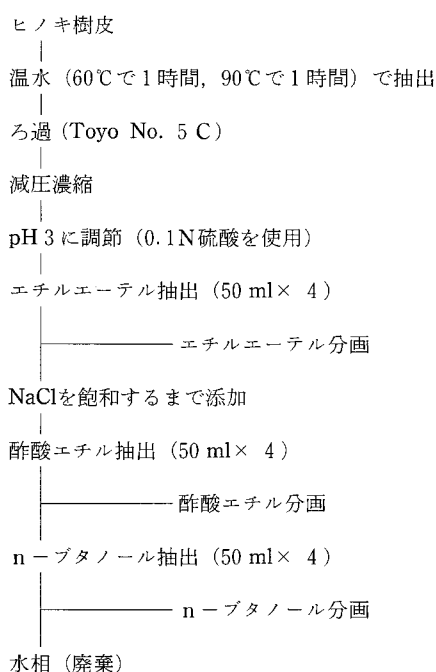
** : 1%レベルで有意差あり

第4節 ヒノキ樹皮中の生育阻害物質

前節において、ヒノキおがくずや樹皮中には多量の生育阻害物質が含まれていることが明らかとなった。ヒノキ材は今後増加することが予想されるので、これらの有効利用を考える上で、これらに含まれる抑制物質がいかなるものかを把握しておく必要がある。また、ヒノキ材木中の生育阻害物質についての研究はほとんど見当たらず、この物質がいかなるものかも不明である。そこで、ここではヒノキ樹皮中の主要な生育阻害物質の探索を行った。

材料および方法

第46図に示す方法で、ヒノキ樹皮（5 mm程度の大きさ）から生育阻害物質を抽出・分画し、



第46図 ヒノキ樹皮からの抑制物質の抽出および分画方法

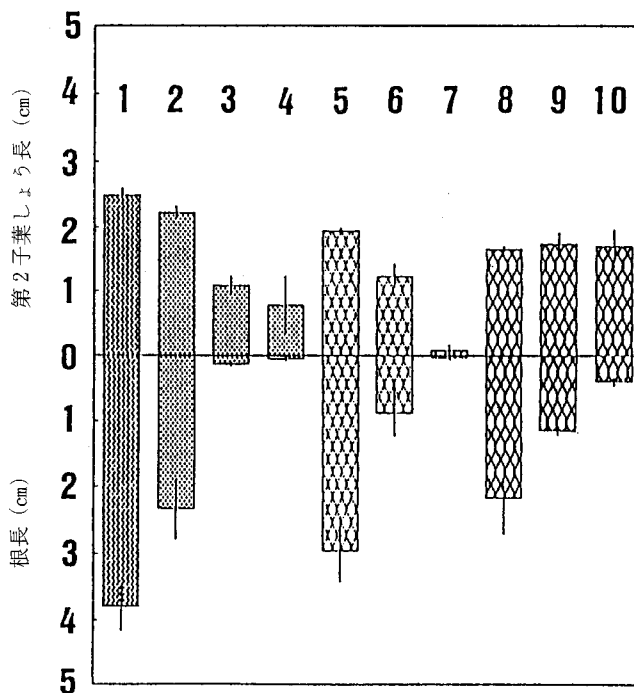
エチルエーテル分画、酢酸エチル分画およびn-ブタノール分画を得、さらにこれらの分画をケイ酸セライト（1：1）カラムクロマトグラフィーで分別した（水谷，1980）。その後、イネの生物検定で阻害効果が見られたフラクションをさらに薄層クロマトグラフィー（TLC）によって分け、各スポットを紫外線（366 nm）による方法あるいは50%硫酸液を噴霧し、加熱する方法で抑制物質の存在を調査した。なお、展開溶媒は、エチルエーテル分画ではベンゼン-メタノール-酢酸（45：8：4, v/v）を、酢酸エチルおよびn-ブタノール分画ではクロロホルム-アセトン-酢酸（50：50：1, v/v）を用いた。また、TLCにおける生育抑制スポットの中でイネの生育阻害の程度が大であったところを用い、第3章第1節に示す寒天培地上で、カタチ実生（根が1.5cm伸びたものを使用した）の生育に及ぼす影響も調査した。

生育阻害物質の探索は以下の方法で行った。

1. 予備調査でヒノキ水抽出液中にはタンニンが含まれていることが確認されたので、0.15%塩化第2鉄水溶液（井上・飯塚，1976）を各分画の TLC 後のスポットに噴霧して発色状態を検討した。また，縮合性タンニンが存在することが考えられたので，イネやカラタチの生育を著しく阻害した酢酸エチルおよびn-ブタノール分画の TLC のスポットから抑制物質を取り出し，2 N塩酸で30分間煮沸し，冷却した後，生成したアントシアニン様物質をイソアミルアルコールで抽出し，分光光度計にかけて調査した。
2. エチルエーテル分画の生育阻害物質は，TLC 後の生育抑制スポットから少量のアセトンを用いて溶出させた後，FID ガスクロマトグラフィー（第3章第1節と同様な条件下）によって探索した。

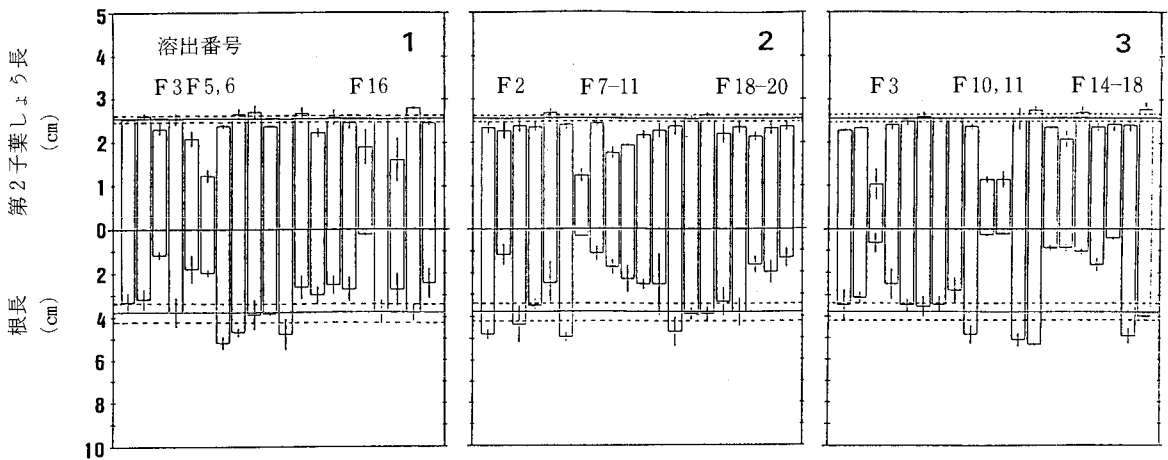
結 果

ヒノキ樹皮から生育阻害物質を抽出・分画したところ，エチルエーテル，酢酸エチルおよびn-ブタノール分画のいずれの分画においてもイネに対する生育阻害が観察された（第47図）。



第47図 ヒノキ樹皮（HCB）抽出物におけるエチルエーテル（EE）分画，酢酸エチル（EA）分画およびn-ブタノール（NB）分画がイネ幼苗の生育に及ぼす影響
 1:対照区，2:EE(0.2g DW HCB)，3:EE(0.4g DW HCB)，4:EE(0.8g DW HCB)
 5:EA(0.2g DW HCB)，6:EA(0.4g DW HCB)，7:EA(0.8g DW HCB)
 8:NB(0.2g DW HCB)，9:NB(0.4g DW HCB)，10:NB(0.8g DW HCB)
 図中の縦線は標準誤差を示す。

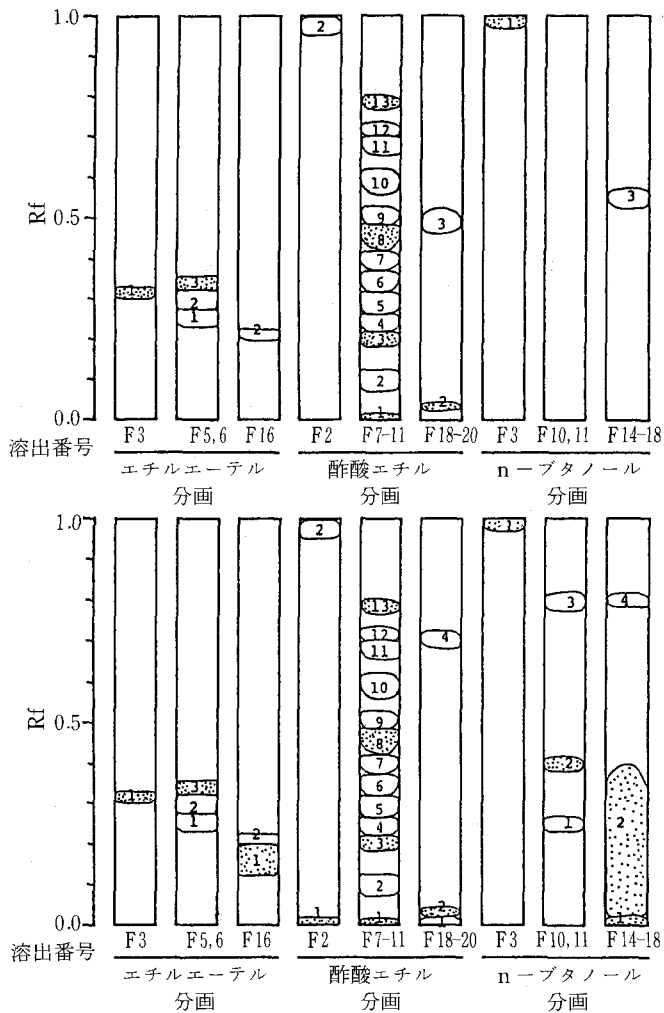
そこで、これらの分画をケイ酸セライトカラムクロマトグラフィーで分けた後、生育阻害物質の存在を検討したところ、エチルエーテル分画ではフラクション番号（以下Fとする）3, F5および6, 並びにF16に、酢酸エチル分画ではF2, F7-11, 並びにF18-20に、n-ブタノール分画ではF3, F10および11, 並びにF14-18に、抑制効果が観察された（第48図）。さらに、これらのフラクションを薄層クロマトグラフィーで分けたところ、第49図に示す点で表わしたスポット（以下Sとする）においてイネの生育阻害が観察された。



第48図 ケイ酸セライト（1：1）カラムクロマトグラフィーによって分画したヒノキ樹皮抽出物の各溶出区における抑制効果
 1:エチルエーテル分画, 2:酢酸エチル分画, 3:n-ブタノール分画
 (左から右の順に) アセトン/ベンゼン (0, 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%) からメタノール/酢酸エチル (10, 20, 30, 40, 50, 100%)
 各溶出物の抑制効果をイネの生物検定で調査した。
 図中の縦線は標準誤差を示す。なお、図中の点線は対照区（水）の標準誤差を表す。

阻害効果が見られたスポットを FID ガスクロマトグラフで分析したところ、エチルエーテル分画における F5 および 6 の S3 で安息香酸が、また F16 の S1 で没食子酸が検出された（第18表）。一方、酢酸エチルおよび n-ブタノール分画においてイネの生育を著しく阻害したスポットを 2 N 塩酸による加水分解法で縮合性タンニンの存在を調査したところ、酢酸エチル分画の F7-11 の S3 および n-ブタノール分画の F14-18 の S1 で存在が確認され、特に、アントシアニン様物質の生成は後者で多かった（第19表）。生成したアントシアニン様物質の吸光は、前者で 460 nm、後者で 460 および 545 nm でピークが見られた（第50図）。なお、没食子酸や縮合性タンニンが検出されたスポットでは塩化第2鉄水溶液による発色が観察された。

これらの縮合性タンニンが検出されたスポットは、イネに対してだけでなく、カラタチ実生に対する生育阻害効果も著しく大であった（第51図）。なお、これら以外の生育阻害効果が確認された TLC のスポットにおける抑制物質については同定できなかった。



第49図 ケイ酸-セライト (1:1) カラムクロマトグラフィーによって分画した
ヒノキ樹皮抽出物における各溶出区の薄層クロマトグラム

上図: 紫外線 (366 nm) 下でのスポット

下図: 50%硫酸を噴霧し加熱後のスポット

薄層クロマトグラフィーの展開液には, (1)がベンゼン-メタノール

-酢酸 (45:8:4, v/v), (2)および(3)がクロロホルム-アセトン

-酢酸 (50:50:1, v/v) を用いた。薄層はシリカゲル60を使用した。

点があるスポットはイネの生物検定で抑制効果が見られたスポットを示す。

第18表 ヒノキ樹皮抽出物のエチルエーテル分画中の安息香酸および
没食子酸含量

	ng/ 100 g DW ヒノキ樹皮
安息香酸	75.2
没食子酸	45.9

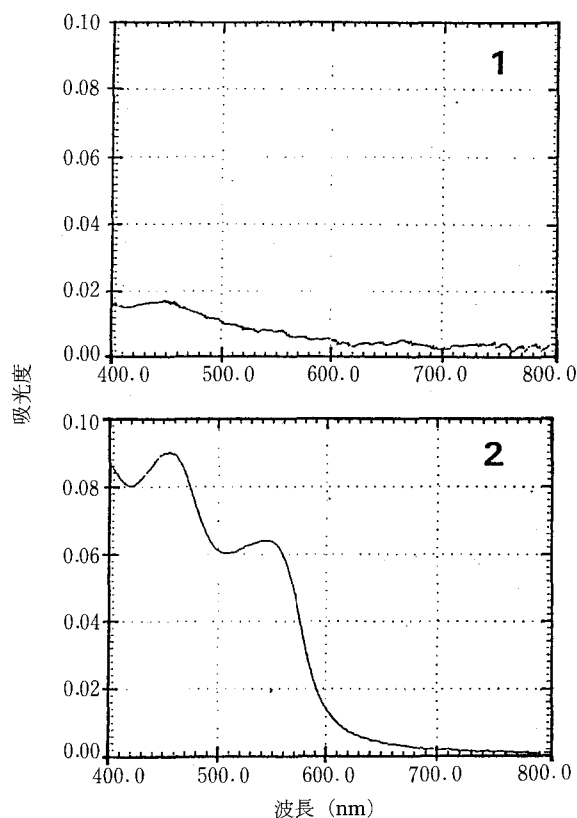
注) 安息香酸は第49図のエチルエーテル分画のフラクション (F) 5,
6のスポット (S) 3に, 没食子酸はエチルエーテル分画のF16の
S1に検出された。

第19表 ヒノキ樹皮抽出物の各分画における縮合性タンニンからのアントシアニン様物質の検出

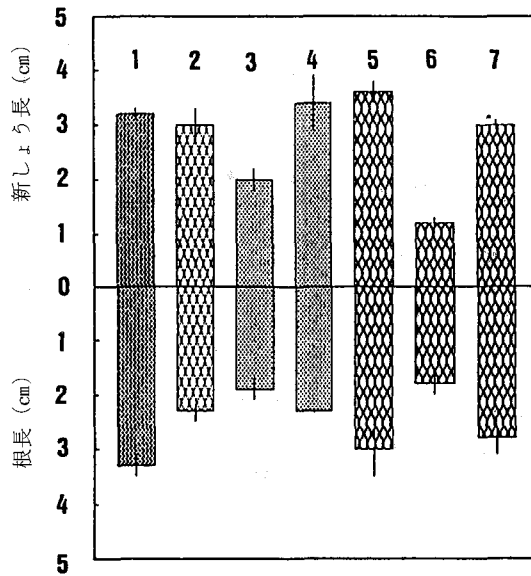
分 画 ^Z	460 nm における吸光度 ^Y	
	(10 ml イソアミルアルコール/g DW ヒノキ樹皮)	
酢酸エチル分画		
フラクション (F) 7-11, スポット (S) 1		0.004
F 7-11	S 3	0.018
F 7-11	S 8	0.005
F 7-11	S13	0.006
F 18-20	S 2	0.004
n-ブタノール分画		
F 14-18	S 1	0.371
F 14-18	S 2	0.004

Z) 酢酸エチルおよびn-ブタノール分画においてイネの生物検定で抑制効果が見られたスポットを示す。

Y) 各分画に2 Nの塩酸を加え、30分間沸騰させた後、生成したアントシアニン様物質をイソアミルアルコールで抽出した。



第50図 ヒノキ樹皮抽出物中の縮合性タンニンからのアントシアニン様物質の吸光度
第49図でアントシアニン様物質が見られた区分 [1: 酢酸エチル分画
(F7-11のS3), 2: n-ブタノール分画 (F14-18のS1)] の吸光を調査した。



第51図 薄層クロマトグラフィーにおけるヒノキ樹皮 (5 g DW)抽出物の各スポットがカラタチ実生の生育抑制に及ぼす影響
 1:水, 2:エチルエーテル分画F16のS1
 3:酢酸エチル分画F7-11のS3
 4:酢酸エチル分画F7-11のS13
 5:n-ブタノール分画F10, 11のS2
 6:n-ブタノール分画F14-18のS1
 7:n-ブタノール分画F14-18のS2
 図中の縦線は標準誤差を示す。

第5節 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するガス, 特にテルペン類およびエチレン

ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するガスがカラタチ実生の生育に及ぼす影響を調査するとともに, それらから発生するガスの同定を行った。

材料および方法

実験1 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するガスがカラタチ実生の生育に及ぼす影響

直径3 cm, 長さ20 cmの試験管の底に, ヒノキ樹皮およびスギ樹皮 (いずれも5 mm程度の大きさ)をそれぞれ2 g DWを置き, その上にバーミキュライトを詰めた。その後, それに根が10 mmになったカラタチ実生を植え付け, 蛍光灯付きの恒温器内で養成し, 実験開始2週間後に解体調査を行った。なお, 実験は4反復で行った。

実験2 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するテルペン類

ヒノキ樹皮やスギ樹皮 (いずれも5 mm程度の大きさ)を入れたビンに水を加え, 60℃下で2時間加温した後, ビンの気相部に発生したガスをFID ガスクロマトグラフで分析した。分析

条件は下記に示すとおりである。

3 % Silicone OV1, 60-80 mesh, 3 mm × 2 m ガラスカラム

キャリアーガス（窒素）流量：30 ml/min

検出器温度：110℃，注入温度：110℃，カラム温度：80℃

実験 3 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するエチレン

ヒノキ樹皮やスギ樹皮（いずれも 5 mm 程度の大きさ）を入れた小ビンに花こう岩土壌（風乾させ、1 mm のふるいにかけたもの）4 g を加え、湛水条件下でエチレンの発生を調査した。エチレンの分析は第 2 章で述べた FID ガスクロマトグラフィーによって行った。

結 果

スギ樹皮施用区におけるカラタチの生育は、対照区と比べて明らかな差異が見られなかったが、ヒノキ樹皮施用区では特に根の伸長が阻害された（第20表）。

第20表 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮を添加した培土でのカラタチ実生の生育

処 理 区 ^Y	新しょう長(cm)	根長(cm)
対照（有機物無施用）	5.4 a ^Z	9.3 a
ヒノキ樹皮	4.4 a	7.3 b
スギ樹皮	5.0 a	8.8 a

Z) ダンカンの多重範囲検定（5 % レベル）

Y) 各樹皮ともに 2 g DW を用いた。

ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するテルペン類を調査した結果、ヒノキ樹皮から発生する主要なテルペンは α -ピネンであった。これ以外に、 β -ピネン、D-リモネンなどが検出された。スギ樹皮でも α -ピネンが検出されたが、その発生量は少なかった（第21表）。

第21表 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するテルペン類

樹皮の種類	テルペン発生量 (nl/ 100 g FW 有機物)		
	α -ピネン	β -ピネン	D-リモネン
ヒノキ樹皮	215.4 ± 37.7 ^Z	57.7 ± 11.1	16.0 ± 2.3
スギ樹皮	62.2 ± 12.1	tr. ^Y	tr.

Z) 平均値 ± 標準誤差

Y) tr.: 微量

ヒノキ樹皮およびスギ樹皮施用土壌から発生するエチレンを調査した結果、エチレンの発生量は、いずれの樹皮でも施用量が増加するにつれて高まる傾向があった。しかし、ヒノキ樹皮施用区におけるエチレン発生量はスギ樹皮の場合と比べて約 2 倍であった（第22表）。

第22表 ヒノキ樹皮およびスギ樹皮から発生するエチレン

処 理 区	エチレン発生量 (nl/ 4 g 土壌・3 日)
対照（有機物無施用）	0.16 ± 0.01 ^Z
ヒノキ樹皮 100mg	0.82 ± 0.06
200mg	1.33 ± 0.06
スギ樹皮 100mg	0.40 ± 0.04
200mg	0.57 ± 0.02

Z) 平均値 ± 標準誤差

第6節 テルペン類がカラタチ実生の生育に及ぼす影響

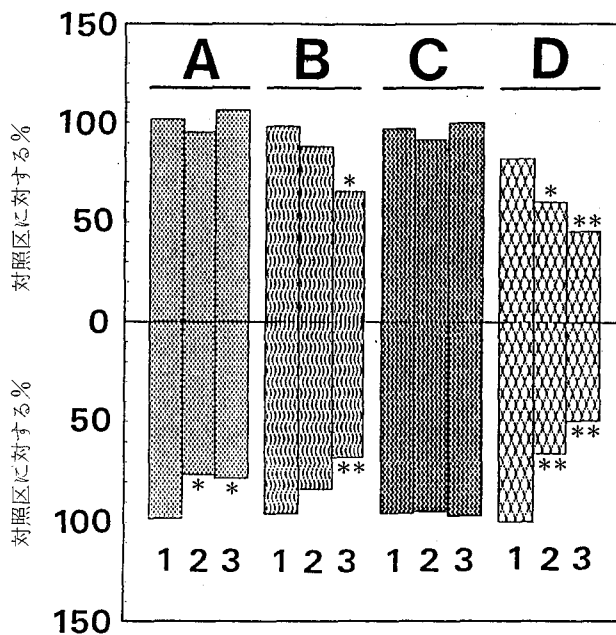
前節で、ヒノキ樹皮からは多量のテルペンが発生していることが明らかとなった。そこで、二、三のテルペンを用い、樹の生育に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

前節と同様な試験管にそれぞれ一定量のテルペンを入れ、パーミキュライトを詰め、その後、それに根が10mmになったカラタチ実生を植え付け、蛍光灯付きの恒温器内で養成し、実験開始2週間後に解体調査した。なお、実験は4反復で行った。

結 果

テルペン類がカラタチ実生の生育に及ぼす影響を調査した結果は第52図のとおりである。カラタチ実生の生育は、 α -ピネンでは $100\mu\text{l}$ 以上で、 β -ピネンでは $250\mu\text{l}$ の処理で阻害された。非環式モノテルペンの一つであるリナロールは、カラタチの生育に著しい悪影響を及ぼし、 $20\mu\text{l}$ 以上の濃度で阻害を起こした。しかし、D-リモネンでは $250\mu\text{l}$ でも抑制効果が見られなかった。



第52図 数種のテルペン類がカラタチ実生の生育に及ぼす影響

A: α -ピネン, B: β -ピネン
 C: D-リモネン, D: リナロール
 A, BおよびCの場合= 1: $50\mu\text{l}$, 2: $100\mu\text{l}$
 3: $250\mu\text{l}$
 Dの場合= 1: $10\mu\text{l}$, 2: $20\mu\text{l}$, 3: $50\mu\text{l}$
 *: 5%レベルで有意差あり
 **: 1%レベルで有意差あり

第7節 考察

炭素率が高いおがくずあるいは樹皮を土壌改良に用いた場合、窒素飢餓の問題がある（河田，1981；Lunt・Clark，1959；徳橋，1978）が，本実験のように家畜ふん尿を加えたおがくずあるいは樹皮堆肥では炭素率が10～14程度であり（第14表），樹に窒素欠乏の症状は見られなかった．むしろ現在の施肥体系での堆肥の施用は窒素の肥効を著しく増大させ，果実の着色遅延を誘発させる可能性がある（岩本，1985；岩切ら，1986c）．さらに，カリなどの塩類の増大によって土壌の塩基の不均衡が起こるという問題も生じる（岩切・松瀬，1982；岩切ら，1986b）．

一方，おがくずや樹皮中に含まれる抑制物質が作物の生育に悪影響を及ぼすという報告は数多くある（Allison ら，1963；河田，1981；Rice，1974；佐藤，1976，1978；Solbraa ら，1983；Still ら，1976；山尾，1985；吉田，1975）．本実験においても同様な傾向が認められた．しかし，抑制の程度は樹種の違いによって異なり，ヒノキ，ペイマツ，アカマツ，ペイツガなどの樹種では生育阻害効果が大であったが，スギでは全く抑制効果が見られなかった．このことは，生育阻害物質を多量に含む樹種を堆肥資材として用いる場合には，ただ単に尿素を加用し，窒素飢餓の回避を行うだけでは有効利用できないことを物語っている．今後，ヒノキおがくずや樹皮を用いた堆肥が増加することが予想されるが，短期間の堆積で出荷させている現状ではそれらの堆肥による生育障害が問題化するのではないかと心配される．

おがくずや樹皮中の抑制物質として，これまでにフェノール物質，タンニン，精油などが関与しているのではないかと考えられてきた（河田，1981；佐藤，1976）．Still ら（1976）は，ポプラ，エノキ，サトウカエデおよびスズカケノキの樹皮の中で，抑制効果が見られたのはサトウカエデ樹皮であり，その主要な抑制物質はタンニン酸であることを報告している．本実験に使用した鶏ふんおがくず堆肥では安息香酸，シリング酸などが，ヒノキ樹皮の場合には安息香酸，没食子酸などのフェノール物質や縮合性タンニンがカラタチの生育を阻害する物質であることを明らかにした．特に，縮合性タンニンによるカラタチの生育阻害効果は著しかった．これまでも縮合性タンニンが生育阻害作用を有することは Rice（1974）の著書に述べられている．また，水谷（1980）はモモのいや地に関与する物質として縮合性タンニンが関与していることを報告している．しかし，ヒノキ樹皮に含まれる縮合性タンニンは水谷が指摘したものとは異なるようであり，今後この物質の同定を行う必要がある．

テルペン類が作物の生育に及ぼす影響について調査した報告は極めて少ない．本実験ではヒノキ樹皮に含まれるテルペン類，特にピネンがカラタチ樹の生育を阻害する可能性が大であること，スギ樹皮の場合ではカラタチ樹に対する生長阻害の程度が小さいことを明らかにした．一方，岩波（1986）はレモンのにおいのもとになっている16種類の物質（テルペン類とアルデヒド類とアルコール類）それぞれ10mgを1ℓの容器の中に置き，ツバキ花粉の発芽阻害作用を調査したところ，CHOをもつ一群のもの，つまりオクタールアルデヒド，ノニールアルデヒド，デシルアルデヒド，シトロネラル，シトラールなどのアルデヒド類が著しい阻害作用を示したが，D-リモネンの抑制効果はわずかで，ピネンでは害作用がほとんどないことを報告している．また，この傾向はマメ苗の生長に対してもほぼ同様な結果が得られたとしている．しかし，レモンオイルに多量に含まれるものは阻害力に強いアルデヒド類ではなく，阻害力の弱い

D-リモネンであることから、岩波は阻害力の強い物質では自分自身も害を受けるために、副作用のないソフトな阻害剤で自分を防御しているのではないかと考えている。ヒノキ樹皮の場合でもアルデヒド類がほとんど検出されなかったのは、このようなことが関係しているのかもしれない。

また、ヒノキ樹皮やスギ樹皮を土壤に施用したときも前章と同様にエチレンが発生することが明らかとなった。特に、ヒノキ樹皮からの発生はスギ樹皮と比べて倍近く多い傾向にあり、ヒノキ樹皮を堆肥用資材として利用するときにはこのガスの発生の有無も検討する必要がある。

樹皮やおがくずには普通塩分が含まれない。しかし、外国から日本に輸入されている材の多くは海に浮かべて保管する方法が採られているために、樹皮やおがくずに塩分が残留することになる。本調査結果が示すように、わずか0.5 g NaCl/ℓの塩分処理でカラタチ根の呼吸作用に関与するコハク酸脱水素酵素活性が低下することから、今回用いた市販の鶏ふんおがくず堆肥に含まれるNaCl濃度（約1%含有）は樹の生育を抑制するのに十分な濃度といえる。それゆえ、堆肥作製前には樹皮やおがくずに含まれる塩分を洗い出しておくことが望まれる。また、塩分を含む樹皮あるいはおがくず堆肥を使用した場合にはかん水によって洗い流す方法が有効である。ただし、このような塩分を含む堆肥はハウス内で塩類集積を助長させるとされるので使用を慎む必要がある。

さらに、堆肥施用は土壤の微生物相を著しく変化させることが知られている（加藤ら、1980）。貞松・御厨（1983）は、最近佐賀県内の一部のカンキツ園で材質腐朽菌による被害が発生しているのを調査したところ、この原因は未熟成のチップかすやおがくずの投入によって起こっていることを報告している。また、氏らは腐朽病が発生すると防除は極めて困難であるため、よく熟成した有機物を用いて本病が発生しにくい環境を作る必要があることを指摘している。本実験ではこれらの菌の発生は見られなかったが、市販の木質堆肥の中には土壤中の菌を異常に発生させるものがあり、使用に当たっては注意が必要である。

第8節 摘 要

(1) 市販の鶏ふんおがくず堆肥の施用量を変えた土壤を用いて、鉢栽培でカンキツ樹の生育に及ぼす影響を調査し、その生育阻害の原因について検討した。いずれの堆肥施用区でも全生体重、地下部重および新しょう伸長量において大差が見られなかった。しかし、根の先端部は肥大し、根のコハク酸脱水素酵素活性は低下した。特に、堆肥5%以上の施用区では枯死した根が多く、細根が著しく少なかった。一方、葉内の窒素含量は、堆肥無施用（化学肥料単用）区と比べて、ほとんど変わらない値であった。これらの結果から、堆肥による生育障害は窒素欠乏による影響よりも、むしろ他の要因が関与していると推察された。

堆肥中の抑制物質を抽出し分画したところ、フェノール分画でイネ幼苗およびカラタチ幼樹の生育が著しく阻害された。また、阻害された区分には安息香酸、シリンガ酸などが存在していた。根の生長に著しい影響を及ぼすエチレンも堆肥から多量に発生していた。走査型電子顕微鏡による堆肥中のおがくずの観察では未熟成状態にあるものが多かった。

以上の結果、市販の堆肥の多くは堆積期間が短いことから未熟成な状態にあり、堆肥から発生する阻害ガスあるいはそれに含まれる抑制物質などによって根の生長が著しく阻害されたものと考えられる。

- (2) カラタチ樹に NaCl 処理した結果、わずか0.5 g / ℓ 処理区でも新しょう伸長や根のコハク酸脱水素酵素活性を阻害した。なお、0.5 g / ℓ 処理区は前述の鶏ふんおがくず堆肥 2 % 施用区に相当する。
- (3) 数種類のおがくずおよび樹皮からの水抽出物をイネの生物検定にかけたところ、生育阻害作用が大きい樹種はヒノキ、ベイマツ、アカマツであり、次いでベイツガであった。アビトンは樹皮でわずかに抑制効果が見られた。しかし、スギおがくずや樹皮、並びにラワンおがくずではイネ幼苗の生長が全く阻害されなかった。
- (4) 各種類のフェノール物質を用いて、カラタチ樹の生育に及ぼす影響を調査した。その結果、安息香酸、p-ヒドロキシ安息香酸、2,4-ジヒドロキシ安息香酸、シリンガ酸、ホモバニリン酸、桂皮酸、フェルラ酸、クマリン、ウンベリフェロン、没食子酸およびタンニン酸の抑制効果は大きかった。
- (5) ヒノキ樹皮の水抽出物中の抑制物質を分析したところ、エチルエーテル分画では安息香酸、没食子酸などのフェノール物質が、酢酸エチルおよびn-ブタノール分画では縮合性タンニンなどがイネ幼苗やカラタチ幼樹の生長を阻害した。特に、酢酸エチルおよびn-ブタノール分画の縮合性タンニンによるカラタチの生育阻害効果は著しかった。
- (6) ヒノキ樹皮から発生するガスでカラタチ根の生長が阻害されたが、スギ樹皮の場合には悪影響が見られなかった。そこで、ヒノキおよびスギ樹皮から発生するテルペン類およびエチレンを分析したところ、ヒノキ樹皮からは α -ピネン、 β -ピネン、D-リモネンなどが検出された。特に、 α -ピネンの発生量は多かった。スギ樹皮では主に α -ピネンが検出されたが、その発生量は少なかった。ヒノキ樹皮施用土壌からのエチレンの発生量はスギ樹皮の場合と比べておよそ2倍多かった。
- (7) 二、三のテルペンがカラタチ幼樹の生育に及ぼす影響を調査したところ、 α -および β -ピネンでは根の生長を阻害する効果が見られたが、D-リモネンでは明らかな阻害作用は認められなかった。

第4章 おがくずおよび樹皮の利用について

現在、わが国に土壤改良資材、堆肥などとして出回っているおがくずや樹皮を見ると、南洋材ではラワンと同じフトバガキ科の広葉樹で樹脂を多く含むアビトンが、北米材ではマツ、ツガなどの針葉樹が、また、日本材ではヒノキ、スギなどの針葉樹が主である。前章の調査結果は、これらの中で、ヒノキ、マツ、ベイツガには生育阻害物質が多量に含まれていること、さらに堆積を十分に行わなければ、堆肥中に抑制物質が残存し、作物の生育を著しく阻害することを明らかにした。また、ヒノキ材のように、材中に抗菌性物質を含むもの（今村ら、1983）は、材の腐朽が困難で、短期間の堆積では良質な堆肥作製が難しいことが考えられる。しかし、これら抑制物質を多く含む材は今後さらに増加することが予想され、それらの材からのおがくずや樹皮を積極的に利用していく方法を探らなければならない。

また、前章の家畜ふん尿入りおがくず堆肥の試験結果で見られたように、おがくずや樹皮堆肥の場合には、堆肥の色などで腐熟の程度を判別することが難しい。抑制物質を多量に含み、また腐熟が困難な材が出回っている現状において、簡便に堆肥の腐熟度を判定できる手法が開発される必要がある。

一方、スギのおがくずや樹皮においては、生育阻害物質の存在による問題が少ないことが明らかとなったので、この材はカンキツ園の土壤管理において有効な資材になることが考えられる。

本章では、①家畜ふん尿入りおがくずおよび樹皮堆肥の堆積期間と抑制物質の消失との関係、②腐熟度判定用機器の開発、③ヒノキ樹皮中の抑制物質の除去方法、④スギ樹皮の利用、について検討を行った。

第1節 おがくずおよび樹皮堆肥作製のための堆積期間と抑制物質の消失

市販の堆肥の堆積期間は一般に数か月といわれている。そこで、ここでは数種類のおがくずや樹皮を用いて、人為的に堆積期間中の温度を調整し、短期間に阻害効果のない堆肥を作製できるかどうかを調査した。

材料および方法

第23表に示すおがくずと樹皮を松山市内の製材所から入手し供試した。なお、樹皮は2 cm程度の大きさに切断して用いた。これらのおがくずおよび樹皮のそれぞれと乾燥鶏ふんを重量比で1:1に混合し、水を適量加えた後、恒温器に入れ調査を開始した。堆積期間中の温度は、佐藤（1978）の方法を参考にし、最初の30日間は55℃、次いで30日間は50℃で、最後の40日間は40℃で処理した。切り返しは処理後60日目に行った。処理終了後、各作製堆肥からの温水抽出液をコマツナの生物検定（藤原、1986）にかけた。

結 果

100日間の堆積期間終了後にはいずれのおがくずや樹皮においてもコマツナ種子の発芽や根の伸長に悪影響が観察されなかった（第23表）。このことは堆積期間中の温度を十分に管理す

ることによって生育阻害物質を除去することができることを示している。

第23表 温度をコントロールして作製した鶏ふん入り樹皮あるいはおがくず堆肥が
コマツナの生育と半導体ガスセンサの出力電圧に及ぼす影響

樹皮および おがくず堆肥 ^Z	発芽率 (%)	根 長 (cm)	出力電圧 ^X (V)
ヒノキ樹皮	100	6.1 a ^Y	0.066±0.003 ^W
スギ樹皮	100	8.4 a	0.020±0.002
ベイツガ樹皮	100	6.6 a	0.040±0.002
ペイマツ樹皮	100	6.3 a	0.040±0.002
アビトン樹皮	100	6.8 a	0.025±0.002
ヒノキおがくず	100	7.5 a	0.030±0.002
スギおがくず	100	7.1 a	0.039±0.001
アカマツおがくず	100	7.9 a	0.049±0.002
ベイツガおがくず	100	7.7 a	0.022±0.001
ペイマツおがくず	100	7.2 a	0.030±0.002
アビトンおがくず	100	7.9 a	0.031±0.002
ラワンおがくず	100	7.5 a	0.064±0.003
対照 (水)	100	7.3 a	—

Z) 堆積期間中の温度：30日間 (55℃) +30日間 (50℃) +40日間 (40℃)
切り返しは処理開始60日目に行った。樹皮あるいはおがくずと鶏ふんの混合割合
は1：1 (重量比) とした。

Y) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

X) センサの出力電圧は第54図におけるピーク時で表した。

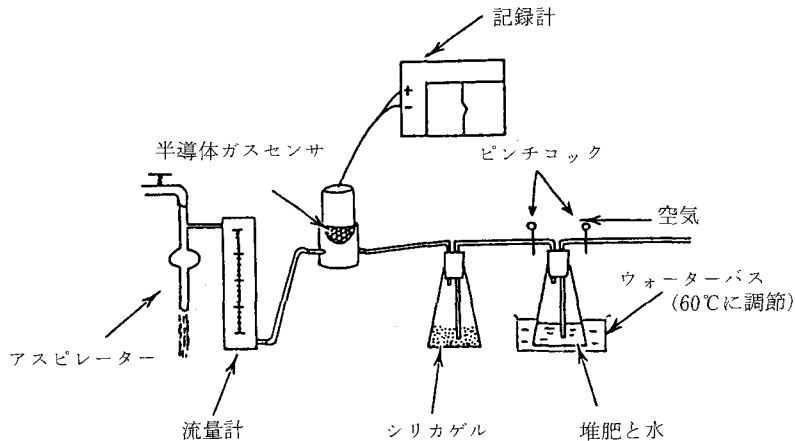
W) 平均値±標準誤差

第2節 腐熟度判定のための半導体ガスセンサの利用

堆肥を使用するにあたって、その腐熟度を把握することは重要である。特に、おがくずや樹皮を用いた堆肥では堆肥の色での判定が困難であり、幼植物を用いた生物検定が現在普及している。しかし、この方法は結果がでるのに1～2週間程度かかること、多量の試料を判定するのが難しいなどの問題がある。そこで本調査では、第1章で用いた半導体ガスセンサが堆肥から発生する低級炭化水素などのガスの検出にも有効であると考え、このセンサを利用した堆肥腐熟度判定装置を作製した。ここではこの装置がおがくず堆肥や樹皮堆肥の腐熟の程度を把握し、安全な堆肥であることを簡便に判定できるかどうかを調査した。

材料および方法

第53図に示す装置を作り、おがくずおよび樹皮堆肥からのガスの発生状態を調査した。各種類の堆肥10 g FW (新鮮重) を300 ml の三角フラスコに入れた後、100 ml の蒸留水を加え、L字管付きのシリコン栓フラスコを密閉した (最初はシリコンチューブをピンチコックで閉じておく)。その後、堆肥からのガスの発生を促進させるために60℃下で30分間加熱した。ガス発生後、ピンチコックを取り除き、500 ml/min の流量で外気を取り込み、発生したガスによるセンサからの出力電圧の変化をレコーダーで記録した。



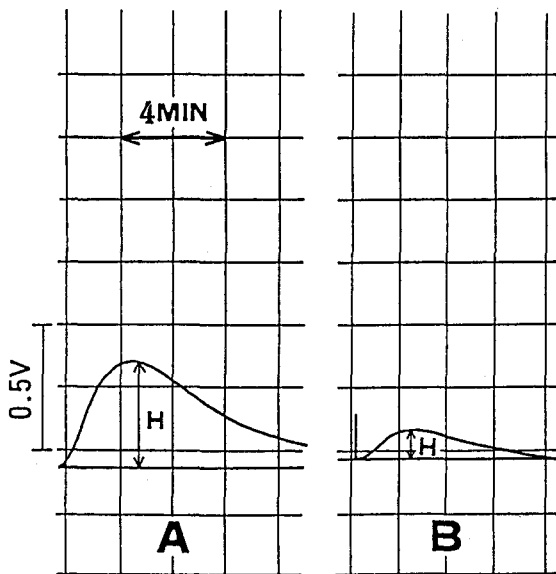
第53図 有機物の腐熟度判定装置

使用したおがくずおよび樹皮堆肥には前節の調査で用いたおがくずおよび樹皮堆肥、並びに腐熟の程度が異なるおがくず堆肥を用いた。腐熟の程度が異なるおがくず堆肥にはベイツガおがくず 1 ton に乾燥鶏ふん600kgを混合し、野外に堆積した後、定期的に採取したものを供試した。なお、切り返しは堆積3および6か月後の2回行った。

一方、前節と同様に、コマツナによる生物検定も行い、半導体ガスセンサから得られたデータと比較検討した。

結 果

半導体センサからの出力電圧は、第54図に示すように、ピーク時の高さを計ることによって求めた。この方法でおがくずおよび樹皮堆肥から発生するガスを調査した結果、並びにこれらの堆肥の阻害効果をコマツナによる生物検定で調べた結果は、第23表および第24表に示すとおりである。すなわち、野外で作製したベイツガおがくず堆肥において、センサからの出力電圧は堆積3か月後に最も高く、その後堆積期間が長くなるにつれて低下した。特に、堆積9および12か月後になると堆積開始前の電圧(0.26V)の半分以下になった。コマツナによる生物検定において、発芽率は腐熟度の異なるいずれの堆肥でも全く阻害作用が見られ



第54図 有機物の腐熟度判定装置における半導体ガスセンサからの出力電圧
A：堆肥（堆積期間3か月）
B：堆肥（堆積期間12か月）
センサからの最大出力電圧（H）を求めた。

なかったが、根の伸長は堆積開始 6 か月目までの堆肥で阻害された。堆積開始 9 か月目以降になると、根における伸長阻害効果は観察されなくなった（第24表）。また、前節で用い、コマツナによる生物検定で抑制効果が見られなかったおがくずおよび樹皮堆肥ではいずれもセンサからの出力電圧は0.1V以下であった（第23表）。以上の結果、本装置では出力電圧が0.13V以下であると無害な堆肥と判定できた。

第24表 腐熟の程度が異なるペイソがおがくず鶏ふん堆肥がコマツナの生育と半導体ガスセンサの出力電圧に及ぼす影響

堆積期間 (月)	発芽率 (%)	根 長 (cm)	出力電圧 ^Y (V)
0	100	2.4 b ^Z	0.26 c
3	100	3.1 b	0.46 d
6	100	2.6 b	0.16 b
9	100	5.1 a	0.13 a
12	100	5.3 a	0.12 a
対照(水)	100	5.0 a	—

Z) ダンカンの多重範囲検定（5％レベル）

Y) センサの出力電圧は第54図におけるピーク時で表した。

第3節 ヒノキ樹皮中の生育阻害物質の除去方法

ヒノキおがくずや樹皮を積極的に利用していく上で、この材の抑制物質の除去あるいは腐朽を検討しておくことが重要である。しかし、いくつかの木材腐朽菌〔トリコデルマ（*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma hamatum*）、カイガラタケ、カワラタケおよびスエヒロタケ〕を用いてヒノキおがくずや樹皮の腐朽を試みたが、腐朽が非常に困難であり、ヒノキ材の場合は木材腐朽菌接種による効果はあまり期待できないのではないかとされた。そこで、ここではヒノキ樹皮中の抑制物質を強制的に除去する方法として、①熱処理、②酸処理、③アルカリ処理を行い、これらの処理効果を調査・検討した。

材料および方法

実験1 熱分解による方法

ヒノキ樹皮（数cmの長さに切断）200 g DW（乾物重）を5 lのビーカーに入れ、樹皮が完全に浸かるまで蒸留水（あらかじめ加熱）4 lを加えた後、ホットプレート上で沸騰させた。この樹皮を一定時間おきに採取し、少量の蒸留水で洗浄した後、温水（60℃）中に1昼夜浸漬した。その後、抽出液を東洋ろ紙No. 5 Cでろ過し、この液をイネの生物検定（日本晴）にかけた。

実験2 酸処理による方法

ヒノキ樹皮（実験1と同様のもの）10 g DWを第26表に示す酸溶液あるいは温水（60℃）のそれぞれ100 mlに室温下で1昼夜浸漬させた後、東洋ろ紙No. 5 Cでろ過し、ろ液は廃棄し、残ったヒノキ樹皮を2 lの蒸留水で洗浄した。その後、この樹皮を、前述と同様に、温水（60℃）100 mlに1昼夜浸漬し、ろ液をイネの生物検定にかけた。なお、ユズ果汁のクエン酸含

量は5.7%であった。

実験3 アルカリ処理による方法

ヒノキ樹皮（実験1と同様のもの）10 g DW を第55図に示すアルカリ溶液あるいは温水（60℃）のそれぞれ100 ml に室温下で1昼夜浸漬させた後、東洋ろ紙No.5 Cでろ過し、ろ液は捨て、残ったヒノキ樹皮を2 l の蒸留水で洗浄した。その後、この樹皮を、前述と同様に、温水（60℃）100 ml に1昼夜浸漬し、ろ液をイネの生物検定にかけた。また、カラタチの生育を阻害する縮合性タンニンを第3章第4節と同様の方法で測定した。

さらに、ドラム缶（200 l）内でヒノキ樹皮（20cm程度の長さ）に切断）を先に用いたのと同様のアルカリ溶液あるいは水に1週間浸漬した後、水で洗浄し実験に供試した。この樹皮をカラタチ実生2年生を植え付けた10号鉢に10 a 当たり4 tonDW 相当をマルチ処理し、樹の生育に及ぼす影響を調査した。解体調査はマルチ処理開始約5か月後に行った。なお、実験は4反復とした。

結 果

沸騰処理したヒノキ樹皮からの水抽出液は、沸騰1時間後にはすでにイネに対する阻害効果を失っていた（第25表）。

第25表 沸とう水処理したヒノキ樹皮からの温水抽出液がイネの生育に及ぼす影響^Y

沸とう処理時間 (時間)	第2子葉しょう長 (cm)	根 長 (cm)
0	1.44±0.20 ^Z	0.99±0.16
1	2.25±0.11	4.45±0.41
2	2.48±0.10	4.82±0.43
3	2.47±0.08	4.57±0.06
4	2.78±0.06	4.90±0.30
対照（水）	2.34±0.11	4.46±0.31

Z) 平均値±標準誤差

Y) 熱処理したヒノキ樹皮中の抑制物質を温水（60℃）で抽出し検討した。なお、各抽出液（樹皮0.2 g DW 相当）の pH は6に調整した。

第26表 酸処理したヒノキ樹皮からの温水抽出液がイネの生育に及ぼす影響^Y

酸の種類	第2子葉しょう長 (cm)	根 長 (cm)
酢酸 6%	2.27 ab ^Z	3.87 bc
クエン酸 6%	2.50 a	3.95 b
乳酸 6%	2.00 b	3.80 bc
ユズ果汁	2.23 a	2.43 c
酸無処理	1.98 b	2.73 c
対照（水）	2.50 a	6.20 a

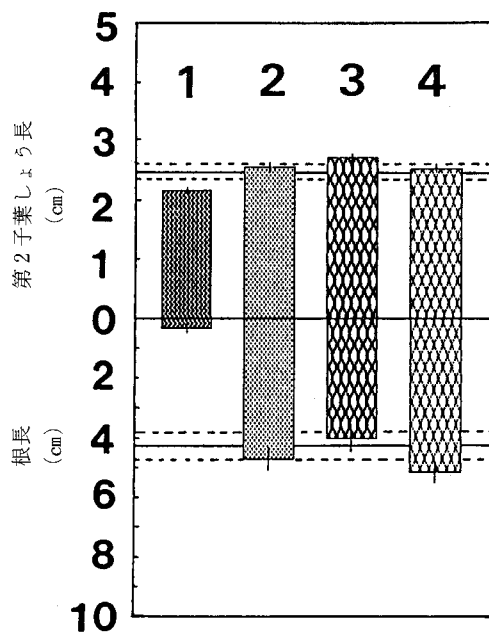
Z) ダンカンの多重範囲検定（5%レベル）

Y) 各酸溶液（100 ml）にヒノキ樹皮（10 g DW）を1日間浸漬した後、水で洗浄し、その残さを温水（60℃）で抽出し検討した。なお、各抽出液（樹皮0.2 g DW 相当）の pH は6に調整した。

酸溶液による効果を調査した結果、いずれの酸処理区においても、イネの生育は対照（酸無処理）区の場合とほぼ同程度の阻害効果が見られ、酸処理では抑制物質を除去できなかった（第26表）。

アルカリ溶液による効果を調査した結果、対照（アルカリ無処理）区ではイネの根の生長が著しく阻害されたが、生石灰、消石灰および水酸化ナトリウムのいずれのアルカリ処理区でも阻害効果が見られなくなった（第55図）。同様に、アルカリ溶液に浸漬処理したヒノキ樹皮を水で洗浄した後、カラタチ実生苗にマルチした結果、処理を施したヒノキ樹皮マルチ区では生育阻害が観察されなくなった。むしろ、これらのマルチ区では対照（樹皮無施用）区よりも生育が良好になった。しかし、アルカリ無処理（生の状態の樹皮）や水処理のヒノキ樹皮マルチ区では生育が悪く、特に細根重（根の太さ2 mm以下）が著しく低下した（第56図）。

アルカリ処理したヒノキ樹皮からの抽出液中のタンニン含量を調査したところ、いずれのアルカリ溶液浸漬区においても、タンニン含量は温水浸漬区の場合と比べて減少した。特に、カラタチ樹の生育を阻害する縮合性タンニン含量は、0.1%生石灰および0.1%消石灰溶液浸漬区で極めて少なくなった（第27表）。



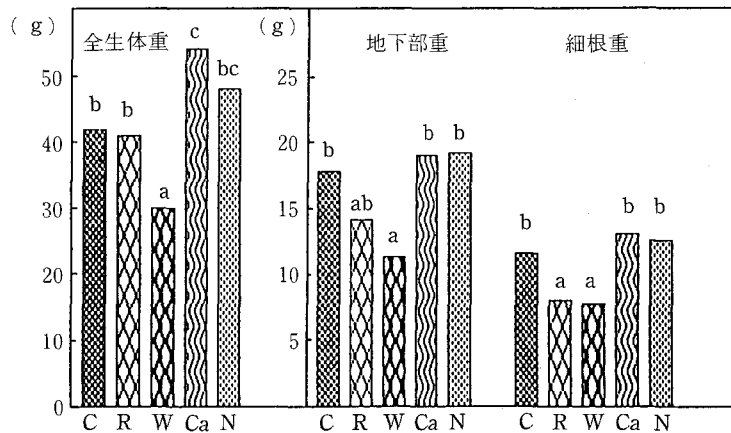
第55図 アルカリ処理したヒノキ樹皮からの温水抽出液がイネの生育に及ぼす影響

1：アルカリ無処理，2：0.1%生石灰

3：0.1%消石灰，4：0.01N水酸化ナトリウム

各アルカリ溶液（100 ml）にヒノキ樹皮（10 g DW）を1日間浸漬した後、水で洗浄し、その残さを温水（60℃）で抽出し検討した。なお、各抽出液（樹皮0.2 g DW相当）のpHは6に調整した。

図中の縦線は標準誤差を示す。なお、図中の点線は対照区（水）の標準誤差を示す。



第56図 アルカリ処理したヒノキ樹皮マルチがカラタチの生育に及ぼす影響
 C：樹皮無施用区，R：生の状態の樹皮施用区
 W：水に浸漬処理した樹皮施用区
 Ca:0.1%生石灰溶液に浸漬処理した樹皮施用区
 N：0.01N水酸化ナトリウム溶液に浸漬処理した樹皮施用区
 各ヒノキ樹皮を10アール当たり4トン相当でマルチを行った。
 マルチ開始後約5か月目に解体調査を行った。
 図中の記号はダンカンの多重範囲検定（5%レベル）の結果を示す。

第27表 アルカリ処理したヒノキ樹皮からの抽出液中のタンニン含量

処 理 区	タンニン含量 (mg/100 g DW ヒノキ樹皮)	縮合性タンニン含量
		(460 nm における吸光度/ 10 ml イソアミルアルコール・ g DW ヒノキ樹皮)
温水 (60℃)	478 a ^Z	0.234 a
0.1%生石灰	352 c	0.063 c
0.1%消石灰	378 c	0.078 c
0.01N水酸化ナトリウム	422 b	0.164 b

Z) ダンカンの多重範囲検定（5%レベル）

第4節 スギ樹皮のマルチ資材としての利用

第3章で述べたように、スギ材中には抑制物質が少なく、スギ樹皮は土壌管理の上で有効な資材となることが考えられる。生のスギ樹皮を用いて、以下の調査を行った。

材料および方法

実験1 スギ樹皮のマルチ処理と土壌混和処理

青島ウンシュウ（カラタチ台）2年生樹を用い、樹の生育や養分吸収に及ぼすスギ樹皮マルチ処理と土壌混和処理の効果について比較調査した。1987年3月26日、苗木植え付け時に1鉢（10号鉢）当たりスギ樹皮（数cmの長さに切断）300 g DW（4 tonDW/10 a 相当）を施用

した。対照区はスギ樹皮無施用区とした。なお、実験は各処理区3反復で行った。施用8か月後に解体調査を行い、全生体重、地下部重および細根（根の太さ2 mm以下）重を測定した。また、解体直前に富士グリーンメーターで葉色を測定した。

実験2 スギ樹皮マルチ処理と樹の生育

1986年4月3日、愛媛大学教育学部圃場（平地園）に宮内イヨカン2年生樹を植え付けた直後、幹を中心に半径0.7 m内にスギ樹皮を10 aで4 tonDW [1 樹当たり15kg FW] 相当をマルチ処理した。ヒノキ樹皮（未熟成状態）もスギ樹皮の場合と同様に施用し、比較調査を行った。スギ樹皮およびヒノキ樹皮の形状は製材所から入手した状態のままで使用した。対照区はくわあるいは除草剤で裸地状態とした。生育調査は1987年3月26日および1988年4月12日に行った。実験は6反復とした。

また、傾斜地園にすでに栽植されている宮内イヨカン3年生樹を用いて、前述と同様の方法で幹周辺にマルチ処理を行った。スギ樹皮の施用量は10 a 当たり4 tonDW あるいは8 tonDW （1 樹当たり15あるいは30kg FW）とし、1985年5月のみ処理の区と1985年5月および1986年4月の2年連続の処理区も設けた。対照区は除草剤による雑草管理区である。各処理区の樹の生育状態を3年間にわたって調査した。また、葉（新葉）内の無機主要5要素含量は1985年10月上旬に採葉したものを第2章第2節と同様に分析した。落葉枚数は1985年11月中旬から5か月間の落葉を調査したものである。実験は6反復とした。

なお、両調査園ともに、せん定は行わなかった。施肥は愛媛県の施肥基準を参考にして行った。

実験3 スギ樹皮マルチ処理と果実の品質

傾斜地園（宮内イヨカン高接ぎ10年生樹）および平地園（宮川早生8年生樹、南柑20号8年生樹および宮内イヨカン8年生樹）において、スギ樹皮マルチ処理がカンキツ果実の品質に及ぼす影響を調査した。傾斜地園の対照区は除草剤による雑草管理区であり、平地園のそれは、くわあるいは除草剤で裸地状態にした区である。スギ施用量は第30表および第31表に示すとおりで、各処理面積は最低40㎡（3 樹）とし、各処理区から1 樹当たり10果を採取した。なお、スギ樹皮の形状は実験2と同様である。施肥は愛媛県の施肥基準を参考にして行った。果実品質の調査は、ウンシュウミカンでは収穫直後に、イヨカンでは収穫直後と室内貯蔵後の2月中・下旬に果汁中の糖および遊離酸並びに果実の色調を調査した。糖度は屈折糖度計を用いて、遊離酸含量は0.1 N 水酸化ナトリウムで中和滴定した後クエン酸に換算して求めた。果実の色調は、果実の赤道部についてデジタルカラーメーター（東京電色社製）で測定した。

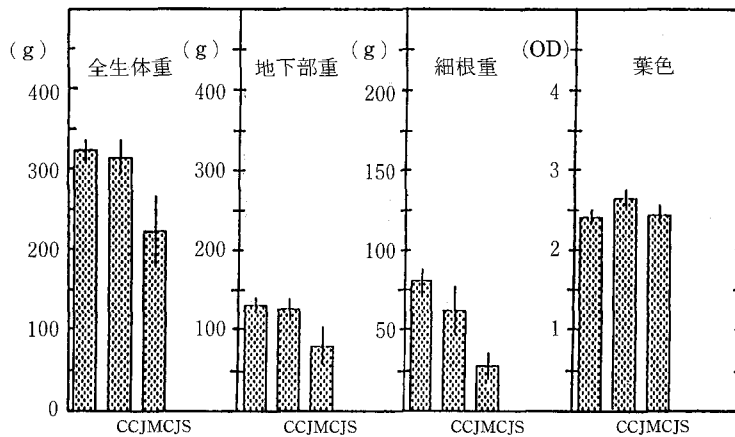
実験4 スギ樹皮マルチにおける冬季の地表周辺の気温および地温

実験2の傾斜園において、スギ樹皮マルチによる地表周辺の気温、並びに地表下5および30 cmの地温をサーミスタを用いたデータ集録装置で計測した。

結 果

スギ樹皮マルチ区および土壌混和区における樹の生育および葉色を調査した結果は第57図のとおりである。土壌混和区では葉色に差異が見られなかったが、樹体生長が抑制され、特に細

根が少なくなり、枯死根も多かった。しかし、マルチ区は、対照（花こう岩土壌のみ）区と比べて、樹体生長および葉色に差が認められなかった。



第57図 スギ樹皮のマルチあるいは土壌混和処理がウンシュウミカン（カラタチ台）の樹体生長および葉色に及ぼす影響
C：対照，CJM：スギ樹皮マルチ（300 g DW/10号鉢）
CJS：スギ樹皮土壌混和（300 g DW/10号鉢）
図中の縦線は標準誤差を示す。
葉色は富士GM1グリーンメーターを用いて吸光度(OD)を求めた。

平地園におけるスギ樹皮マルチおよびヒノキ樹皮マルチ処理がカンキツ苗木の生育に及ぼす影響を調査した結果は第28表である。ヒノキ樹皮マルチ区では樹の生育が極めて悪く、処理2年後になっても生育の回復は見られなかった。しかし、スギ樹皮マルチ区は対照区と比べて、樹高、樹冠面積、幹の太さのいずれにおいても良好であり、生育が旺盛になる傾向が観察された。また、第29表の傾斜園の場合も同様に、いずれのスギ樹皮マルチ区でも、対照区と比較して、樹高、樹冠面積、幹の太さが劣るようなことはなかった。むしろ、スギ樹皮マルチ処理は樹体生長を良好にする傾向が見られ、特に4 tonDW/10aを2年連続処理した区では顕著で

第28表 スギ樹皮およびヒノキ樹皮の植え付け時のマルチが宮内イヨカン（カラタチ台）樹の生育に及ぼす影響（平地園）^Y

処 理 区	1 年 後	2 年 後		
	樹 高(cm)	樹 高(m)	樹冠面積(m ²)	幹の太さ(cm)
対照	0.87±0.04 ^Z	1.10±0.05	0.89±0.07	3.74±0.22
スギ樹皮マルチ (4 tonDW/10a)	0.89±0.03	1.26±0.04	1.10±0.12	3.96±0.20
ヒノキ樹皮マルチ (4 tonDW/10a)	0.70±0.03	0.93±0.06	0.49±0.06	3.14±0.14

Z) 平均値±標準誤差

Y) 対照区はくわや除草剤で裸地状態とした。1986年4月3日に苗木を植え付けマルチ処理をし、1987年3月26日と1988年4月12日に調査した。

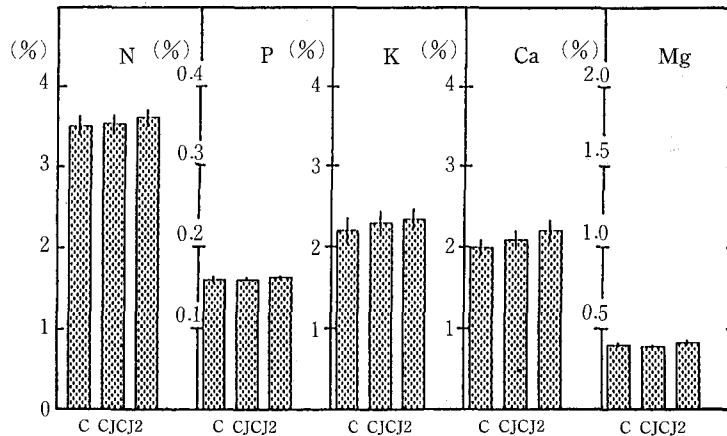
第29表 スギ樹皮マルチが宮内イヨカン（カラタチ台）樹の生育に及ぼす影響（傾斜地園）^Y

処 理 区	樹 高 (m)				樹冠面積 (m ²)				幹の太さ (cm)	
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	3 (年)
対照	0.44 a ^Z	0.79 a	0.95 a	1.14 a	0.05 a	0.26 a	0.40 a	0.54 a	1.45 a	3.73 a
スギ樹皮マルチ (1年)	0.49 a	0.95 a	1.21 a	1.28 a	0.10 a	0.45 a	0.66 a	0.71 a	1.45 a	4.53 a
(4 tonDW/10 a) (2年)	—	—	1.19 a	1.36 a	—	—	0.80 a	1.14 b	1.75 a	5.08 b
スギ樹皮マルチ (1年)	0.41 a	0.84 a	1.04 a	1.34 a	0.08 a	0.45 a	0.76 a	0.98 a	1.60 a	4.52 a
(8 tonDW/10 a) (2年)	—	—	0.91 a	1.17 a	—	—	0.63 a	0.72 a	1.38 a	4.00 a

Z) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

Y) スギ樹皮マルチ1年のみの区は1985年5月下旬に、2年連続の区は1985年5月下旬と1986年4月下旬にマルチした。対照区は除草剤で裸地状態にした。

あった。マルチ処理6か月後の無機主要5要素含量は、4 tonDW/10 a区および8 tonDW/10 a区ともに対照区と比べて差異が認められなかった (第58図)。



第58図 スギ樹皮マルチが宮内イヨカン（カラタチ台）葉内の主要無機5要素含量に及ぼす影響
 C：対照（除草剤使用裸地），CJ：スギ樹皮マルチ（4 tonDW/10 a）
 CJ2：スギ樹皮マルチ（8 tonDW/10 a）
 1985年5月にマルチを行い、1985年10月に採集し分析した。
 図中の縦線は標準誤差を示す。

スギ樹皮マルチ処理が果実の品質に及ぼす影響を調査した結果は第30表および第31表のとおりである。第30表における傾斜地園のスギ樹皮2年連続マルチ（8 tonDW + 4 tonDW/10 a）区では糖酸比が低くなる傾向が認められたが、他の施用区では平地園，傾斜地園ともに，対照区と比較して果実品質に差異が認められなかった。

第30表 スギ樹皮マルチが宮内イヨカン果実の品質に及ぼす影響（傾斜地園）^Y

処 理 区	収穫直後						貯蔵後					
	果 汁			色 調			果 汁			色 調		
	Brix	酸(%)	糖酸比	L	a	b	Brix	酸(%)	糖酸比	L	a	b
1 対照	10.7 a ^z	1.81 a	5.91 a	58.8 a	30.5 a	28.8 a	12.3 a	1.61 a	7.64 a	56.2 a	38.0 a	25.9 a
9 スギ樹皮マルチ A	10.9 a	1.81 a	6.02 a	57.7 a	33.2 a	28.2 a	12.1 a	1.56 a	7.76 a	59.9 a	39.1 a	25.5 a
8 (4 tonDW/10 a)												
6 スギ樹皮マルチ B	9.9 b	1.77 a	5.59 a	56.9 a	30.6 a	28.5 a	11.1 a	1.60 a	6.94 a	56.6 a	37.4 a	26.2 a
(8 tonDW + 4 tonDW/10 a)												
1 対照	10.1 a	1.56 a	6.47 a	61.8 a	26.6 a	30.2 a	10.9 a	1.25 a	8.72 a	57.8 a	33.2 a	27.4 a
9 スギ樹皮マルチ A	10.2 a	1.61 a	6.34 a	61.2 a	26.7 a	29.7 a	10.9 a	1.34 a	8.13 a	56.9 a	32.4 a	26.7 a
8 (4 tonDW/10 a)												
7 スギ樹皮マルチ B	10.0 a	1.63 a	6.13 a	61.7 a	26.9 a	30.1 a	10.5 a	1.47 a	7.09 a	57.5 a	33.6 a	27.0 a
(8 tonDW + 4 tonDW/10 a)												

Z) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

Y) スギ樹皮マルチ A 区は1986年5月下旬に4 ton DW/10 aを施用した。スギ樹皮マルチ B 区は1985年5月下旬に8 ton DW/10 aを処理し、さらに1986年5月下旬に4 ton DW/10 aを施用した。対照区は除草剤で裸地状態にした。

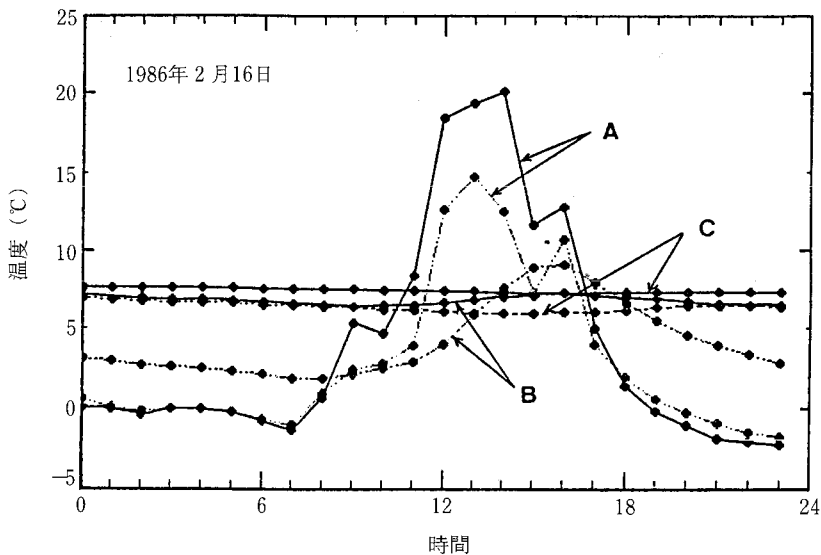
第31表 スギ樹皮マルチが宮内イヨカン果実の品質に及ぼす影響（平地園）^Y

処 理 区	収穫直後						貯 蔵 後					
	果 汁			色 調			果 汁			色 調		
	Brix	酸(%)	糖酸比	L	a	b	Brix	酸(%)	糖酸比	L	a	b
1 対照	9.7 a ^z	1.27 a	7.63 a	—	—	—						
9 スギ樹皮マルチ	8.7 a	1.14 a	7.63 a	—	—	—						
8 (2 tonDW/10 a)												
6 スギ樹皮マルチ	8.5 a	1.16 a	7.33 a	—	—	—						
(4 tonDW/10 a)												
1 対照	8.5 a	1.04 a	8.17 a	62.4 a	25.1 a	30.5 a						
9 スギ樹皮マルチ	9.4 a	1.02 a	9.22 a	62.0 a	28.3 a	30.3 a						
8 (2 tonDW/10 a)												
7 スギ樹皮マルチ	8.7 a	1.00 a	8.70 a	62.2 a	26.1 a	31.2 a						
(4 tonDW/10 a)												
1 対照	11.0 a	1.25 a	8.80 a	—	—	—						
9 スギ樹皮マルチ	11.2 a	1.31 a	8.55 a	—	—	—						
8 (2 tonDW/10 a)												
1 対照	9.1 a	1.16 a	7.84 a	60.6 a	26.6 a	29.3 a						
9 スギ樹皮マルチ	9.5 a	1.04 a	9.13 a	61.3 a	26.7 a	29.4 a						
8 (2 tonDW/10 a)												
1 対照	10.3 a	1.95 a	5.28 a	58.7 a	29.7 a	28.1 a	11.1 a	1.70 a	6.53 a	57.8 a	36.9 a	27.1 a
9 スギ樹皮マルチ	10.2 a	2.09 a	4.88 a	58.5 a	31.3 a	27.7 a	10.7 a	1.70 a	6.29 a	56.5 a	38.1 a	26.4 a
8 (4 tonDW/10 a)												
1 対照	10.2 a	1.80 a	5.66 a	62.0 a	28.7 a	30.4 a	10.4 a	1.39 a	7.48 a	57.1 a	33.5 a	26.7 a
9 スギ樹皮マルチ	9.9 a	1.73 a	5.72 a	60.2 a	27.4 a	29.1 a	10.5 a	1.44 a	7.29 a	54.2 a	34.8 a	24.0 a
8 (4 tonDW/10 a)												

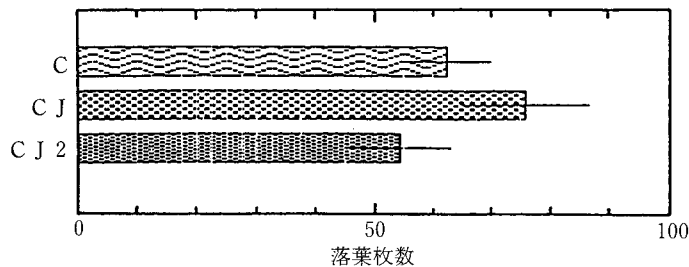
Z) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

Y) いずれのスギ樹皮マルチ区も1986年4月上旬に施用した。対照区はくわと除草剤で裸地状態とした。

冬季の地表周辺の気温や地温の変化を詳細に調査した結果は第59図である。8 tonDW/ 10 a 施用区における地表下30cmの地温はスギ樹皮マルチ区と対照区との間にほとんど差異が見られなかった。表層土近くになると、マルチ区の地温は対照区と比べて14～18時ごろ2～3℃程度低かったが、これ以外の時間帯では高く、特に夜間における両区の温度差は5℃程度もあった。同様な傾向が3月から5月にかけても観察された。地表上5cmの気温は、対照区と比べて夜間ではほとんど差が見られなかったが、日中では気温が著しく上昇した。なお、4 tonDW/ 10 a 施用区でもほぼ同様な傾向が見られた。



第59図 スギ樹皮マルチがカンキツ（宮内イヨカン）園の冬季の地表上5cmの気温および地表下5および30cmの地温の日変化に及ぼす影響
：対照（除草剤使用裸地），——：スギ樹皮マルチ（8 tonDW/ 10 a）
 A：地表上5cmの気温，B：地表下5cmの地温，C：地表下30cmの地温
 1985年5月にマルチを行い，夜間の冷却が激しかった日の1986年2月16日のデータを示す。



第60図 スギ樹皮マルチが冬季における宮内イヨカンの落葉に及ぼす影響
 C：対照（除草剤使用裸地），CJ：スギ樹皮マルチ（4 tonDW/10 a）
 CJ2：スギ樹皮マルチ（8 tonDW/10 a）
 1985年5月にマルチを行い，1985年11月中旬から5か月間の落葉枚数を調査した。
 図中の横線は標準誤差を示す。

冬季における落葉を調査した結果は第60図のとおりである。スギ樹皮マルチ処理の落葉枚数は、4 tonDW/10a区および8 tonDW/10a区ともに、対照区の場合と差異が認められなかった。

第5節 考 察

おがくずや樹皮を用いた堆肥作製について、これまでも数多くの報告がある（藤原ら，1980；井の子・原田，1980；河田，1981；西尾ら，1988；佐藤，1976，1978；吉田，1975）。本実験のように、最初の30日は55℃、次いで30日間は50℃、最後の40日間は40℃で温度をコントロールして熟成処理した場合、おがくずや樹皮中の抑制物質を分解させることができた。特に、抑制物質を多量に含むヒノキ、マツ、ベイツガなどの樹種においても有効であることが明らかとなった。これらの結果が示すように、現在市販されている堆肥において堆積期間中の温度管理が正しく行われていれば、堆積期間は3～4か月でも十分と考えられる。しかし、実際には野外などで大規模に堆積しているところでは堆積物内の温度をコントロールするのが難しく、温度のばらつきが発生し、堆肥の品質が均一になりにくいという問題がある。最近市販のおがくずや樹皮を用いた堆肥において作物の生育障害が起こっている原因には、このような堆積期間中の発熱が不十分なことによる堆肥の品質の低下が問題のように思われる。本来、抑制物質をほとんど含まないラワンやスギの材を用いる場合には3～4か月の短期間の堆積（切り返し2，3回程度）で良質な堆肥を作製するのが容易であるが、ヒノキ、マツ、ベイツガなどのような抑制物質を多量に含む針葉樹ではこの程度の期間の堆積では腐熟しにくく、品質の良い堆肥を作るのは難しい。佐藤（1976）は日本産ヒノキおがくず、米国産ヒノキおがくず、米国産マツおがくずおよび米国産ツガ樹皮を鶏ふんと混合（木質物：乾燥鶏ふん＝100：125，重量比）して堆積化したところ、100日間の高温発酵で米国産ヒノキおよび米国産マツおがくずの生育阻害効果は消滅したが、他の木質物では阻害効果が残るので、安全性から3か月以上の高温発酵と3か月以上の常温発酵を経過することが望ましいと報告している。藤原ら（1980）もラワン材を主体に少量のマツ材を含むおがくずを鶏ふんと混合（おがくず：乾燥鶏ふん＝2：1，容量比）して4か月間堆肥舎で堆肥化したものはコマツナ種子の発芽を阻害したが、この堆肥をさらに1か月間野外で堆積することによって堆肥中の微生物数が著しく増加し、種子の発芽抑制作用はほぼ消失することを明らかにしている。本実験のようにベイツガおがくずと鶏ふんを混合（おがくず：乾燥鶏ふん＝5：3，重量比）して野外で堆積した場合には、6か月の堆積期間では抑制物質を十分に消滅させることはできず、堆積9か月後になってやっと無害なものとするのが可能であった。

一方、腐熟しにくい樹種が堆肥に用いられている現在、堆肥の腐熟の程度を判定することが必要になってくる。稲わら堆肥などでは黒くなり、悪臭がなくなってくると安全なものとして容易に判定できることが経験的に知られている。しかし、おがくずや樹皮などを用いた堆肥では色が黒くてあまり悪臭がないものでもカンキツ根の生長を著しく阻害することがある。これまでに、藤原ら（1980）は走査型電子顕微鏡を用いて堆肥中のおがくずの形状の変化を観察することで堆肥の腐熟程度を判断することができることを報告している。本実験でも走査型電子顕微鏡の手法による鶏ふんおがくず堆肥中のおがくず観察は腐熟の程度を判定するのに有効であることを示している。しかし、走査型電子顕微鏡は非常に高価であること、また試料の準備

や観察などが簡便でないことから現場での利用は難しいように考えられる。この方法以外に堆肥の腐熟度判定のためにいくつかの手法（小西ら，1986；静岡県農業水産部農業技術課，1982）があるが，この中で，現在のところ幼植物を用いた生物検定法がよく用いられている。しかし，この方法は結果がでるのに1～2週間程度かかること，多数の試料を判定するのには煩雑であるなどの問題がある。

半導体ガスセンサは，現在ガスもれ警報器，アルコール検出器，センサガスクロマトグラフなどに広く使用されている（沖野，1981）。この種のガスセンサは普通，可燃性ガス，アンモニア，一酸化炭素に対して敏感である。しかし，センサ材料によっては，このようなガスに対するセンサの特性はわずかずつ異なっていることが知られている（沖野，1981）。本実験に用いた半導体ガスセンサTGS823型は，エチレンなどの低級炭化水素，エタノール，硫化水素などの還元性ガスの検知能力を高めたものである。森・木村（1984）は814D型と812型の半導体ガスセンサの中で，特に814D型センサは活性汚でいモミガラ堆肥の通気発酵過程におけるガス，特にアンモニアの消長を連続的に計測することに適していること，また堆肥の腐熟度を判定するための簡便な機器としての実用が考えられることを報告している。814D型センサは低濃度のアンモニア（30－100 ppm）に，また812型センサはアルコール，一酸化炭素などに対して高感度である。今回使用の823型センサは812型を改良したものである。814D型と823型センサを比較したとき，アンモニアの発生が多いことが予想される家畜ふん尿などを加えた堆肥の場合では両センサの感度の差異は小さかった。しかし，アンモニアの発生よりもエチレンなどの低級炭化水素やアルコール類などをよく発生する有機物の場合，814D型センサは1 ppmの低濃度のエチレンでも検出できる823型センサと比べて検知能力が劣っており，堆肥の腐熟度判定機器用のセンサとしては適さなかった。この点，823型半導体ガスセンサを用いた腐熟判定装置は堆肥の腐熟程度を知るために有効な装置であることが明らかとなった。特に，本装置と幼植物による生物検定とを併用すればさらに確実な堆肥の腐熟度判定手法になると考えられる。本装置による判定時間は試料の準備とその測定で約40分かかり，今後さらに短時間で判定できるように改善する必要があるが，このままでも計画的に分析を行うと8時間でおおよそ30個のサンプルは判定可能であった。また，本装置の基本構造は極めて簡単なので，今後野外に持ち運びできるようなものに改良していくことが可能である。

最近，マツ枯れが問題となった山林ではヒノキやスギの苗木が植林されている。このため今後，ヒノキやスギの廃材が増加することが予想され，それらの樹皮やおがくずの利用を考えておく必要がある。この点，スギ材の場合は生のままでもマルチ資材としての利用が可能であることを本実験は明らかにした。ただし，スギ樹皮マルチの施用量は10アール当たり乾物で4トン程度までとし，スギ樹皮を生のままでも土壌に埋め込めないように注意する必要がある。有機資材によるマルチは土壌の乾燥を防ぎ表層土の地温の急激な変化をやわらげて土壌微生物の働きを盛んにし，土壌構造を改善し，カンキツ樹の根圏を広げる働きがある。また，マルチは雑草の繁茂を防いだり，傾斜地園で問題となっている土壌の流亡を防止する働きがあることが知られている（千葉，1982；猪崎，1986）。さらに，スギ樹皮の場合，樹皮色が黒っぽいために樹皮が日中暖められ，冬季における夜間の地表面周辺の冷え込みによる落葉などの障害を防止する働きがあるように思われる。最近，スギ樹皮は洋ラン類の培地材料としても有効であることが報告されている（峯岸・久地井，1989）。

しかし，ヒノキ樹皮の場合には抑制物質が多量に含まれており，家畜ふん尿を混合し堆積す

る方法で腐熟化させても、抑制物質が存在しない良質な堆肥を簡便に作ることが難しい。この点、石灰溶液浸漬処理を行ったヒノキ樹皮は堆肥資材としてだけでなく、マルチ資材としても有効利用できることを明らかにした。石灰は古くから堆肥作成にあたって混入する必要があることが唱えられていた（安，1906）。これは石灰が堆肥中の微生物の活動を調整する働きがあるからである（橋元，1977；安，1906）。特に，おがくず，樹皮などの木材片のように，それらの水抽出液が一般に酸性を呈するものでは微生物の活動を円滑にさせるために石灰の混用は不可欠である。本実験ではさらに，石灰の利用は，生育阻害効果が大である縮合性タンニンなどの抑制物質をヒノキ材から取り除き無害なものにする働きを有していることを明らかにした。それゆえ，ヒノキ材などのような抑制物質の存在が問題となる樹種ではあらかじめ生石灰や消石灰溶液で処理した後に堆積化をはかることが望まれる。

第6節 摘 要

- (1) 数種類のおがくずや樹皮に鶏ふんを加えた後，堆積中の温度をコントロール（最初の30日間は55℃，次いで30日間は50℃で，最後の40日間は40℃で処理）して腐熟化を行ったとき，抑制物質の存在が問題となる材でも100日間程度の短期間で阻害作用が見られない良質な堆肥を作製することが可能であった。しかし，野外で堆肥（ベイツガおがくずと鶏ふんを混合）作製した場合には100日間程度の短期間で阻害作用のない堆肥を作ることは困難であった。
- (2) 半導体ガスセンサを用いた堆肥の腐熟度判定装置を作り，堆肥から発生する生育阻害ガスを検出することによって堆肥の腐熟程度を知ることができるか，いなかを調査した。その結果，本装置は簡便に堆肥の腐熟度を判定するのに非常に効果的であった。本装置の基本構造は極めて簡単であるので，今後の改良によっては野外での利用が可能と思われる。
- (3) スギ樹皮を生そのままに土壌に混和して使用した場合には樹の生育に悪影響を及ぼすことがある。この原因は土壌中でスギ樹皮が分解されるときに発生するエチレンが関与しているものと思われた。しかし，マルチ資材としてスギ樹皮を使用した場合には樹の生育，養分吸収，果実の品質などに悪影響を及ぼすことはなく，むしろ樹の生育が対照区と比べて旺盛になる傾向が観察された。ただし，マルチ資材としてのスギ樹皮の多量使用は果実品質を低下させる傾向があるので，使用量は10アール当たり乾物で4トンまでとする必要がある。
- (4) ヒノキ材の場合，樹皮などに生育抑制物質が多量に含まれており，家畜ふん尿を混合し堆積する方法で腐熟化させても，抑制物質の存在しない良質な堆肥を簡便に作ることが難しい。そこで，堆積前にあらかじめ抑制物質を除去する方法として，熱，酸およびアルカリ溶液浸漬処理を試みたところ，熱処理およびアルカリ溶液浸漬処理で有効な結果が得られた。特に，カラタチなどの生育を著しく阻害する縮合性タンニン含量はヒノキ樹皮を石灰（0.1％生石灰および0.1％消石灰）溶液に浸漬処理すると減少し，生育阻害効果が消失した。

第5章 有機物の炭としての利用について

炭は、冷蔵庫内などの悪臭を除去するためや水を浄化するためなど、われわれの生活の中に広く利用されている。農業面でも、古くから炭や灰を含む焼肥は有効な土壌改良資材であることが日本農業全書に記載されており（宮崎，1697），土壌の pH や通・排水性の改善，地温の上昇促進，また無機成分の供給に効果があることが知られている。

最近，炭施用は土壌中の微生物相を改善する効果があるという報告（小川，1987；杉浦・古谷，1988）があり，小川（1987）は，ダイズに炭を施用した場合，根に根粒細菌やVA菌根菌（VAM菌）がよく感染し，ダイズの生育が良好になることを述べている。VAM菌はカンキツ樹にも共生して菌根を形成し（Maeda, 1954），リン吸収を高め（Edriss ら，1984；Johnson・Hummel, 1985；Krikun・Levy, 1980；Tang ら，1984），生長を旺盛にする（Edriss ら，1984；Ferguson・Menge, 1986；石井・門屋，1989；Nemec, 1979；Tang ら，1984）ことが報告されている。筆者ら（1989）はこの菌の一つである *Glomus* 菌をカラタチ実生に接種すると，樹の生育が旺盛になるとともに，葉内糖含量が増大することを明らかにしている。

そこで，抑制物質を多量に含有する有機物でも炭にすれば，抑制物質による問題は解消されると考え，ここではモミガラ，樹皮，せん定後の枝，カンキツジュースかすなどを炭にし，これらの性質やカンキツ園の土壌改良資材としての効果，特に樹体生長，根へのVAM菌の感染に及ぼす影響などについて調査・検討した。

第1節 数種類の炭の化学的性質および形状

第32表に示す炭（ヤシガラ炭を除く）を，ドラム缶を用いた簡易な炭がまによる方法や，昔から農家で行われていた煙突を用いたモミガラ炭化法によって自作し，これらの化学的性質や微細構造を観察した。

材料および方法

炭の pH は pH 計，EC は電気伝導度計，無機成分は第2章第2節と同様な方法で分析した。また，走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて，炭の微細構造も観察した。

結 果

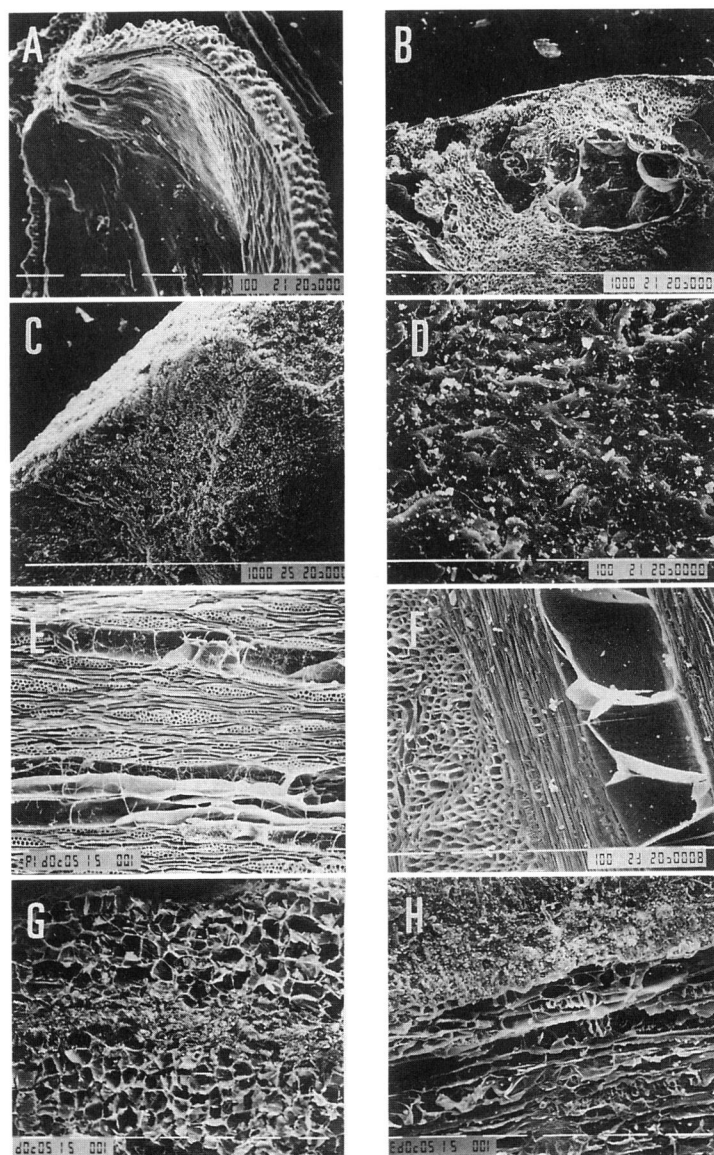
炭の pH，EC および無機成分を分析した結果は第32表のとおりである。いずれの炭も pH が高いという特徴を有していた。また，炭の種類によって無機要素含量は異なるが，P，K，Ca，Mg などの無機要素が含まれていた。しかし，Nはほとんど検出できなかった。EC も炭の種類によって違いがあり，特にベイツガ樹皮炭では EC 値が9.1 mS/cm と本調査中で最も高かった。この原因はベイツガ樹皮には NaCl が1.9%も含まれていたことに関係していた。炭の SEM 観察結果は第61図に示す。すなわち，いずれの炭においても数多くの小孔が見られ，特にヤシガラ炭では微細な孔が多かった。

第32表 各種類の炭のpH, ECおよび無機成分

炭の種類	pH ^Z	EC ^Z (mS/cm)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
モミガラ炭	8.0	0.63	0.138	0.32	0.36	0.067
ヤシガラ炭	9.8	2.25	0.038	0.78	0.06	0.036
カンキツせん定枝炭	7.6	1.40	0.111	0.37	0.70	0.063
マキ炭	7.8	0.08	0.050	0.31	0.30	0.033
ペイツガ樹皮炭 ^Y	9.3	9.10	0.120	0.27	0.68	0.281
ヒノキ樹皮炭	7.5	3.50	0.039	0.23	3.17	0.141
カンキツジュースかす炭	7.6	4.29	0.155	1.75	2.64	0.216

Z) pHとECの測定は、炭：水＝1：10（重量）の割合で行った。

Y) ペイツガ樹皮炭には1.9%の塩分が含まれていた。



第61図 炭の走査型電子顕微鏡像

A:モミガラ炭(×150), B:カンキツジュースかす炭(×50), C:ヤシガラ炭(×75)
D:ヤシガラ炭(×500), E:カンキツせん定枝炭(×100), F:マキ炭(×200)
G:ペイツガ樹皮炭(×100), H:ヒノキ樹皮炭(×150)

第2節 炭施用がカンキツ樹の生育および菌根形成に及ぼす影響

前節の調査で利用した炭の一部を用い、土壌への炭施用が樹の生育に及ぼす影響を調査するとともに、炭施用が根の菌根形成に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

実験1 ルート・ボックスでの試験

1988年4月4日、2年生の青島ウンシュウ（カラタチ台）苗木を、山砂と第33表に示す3種類の炭（ベイツガ樹皮炭は粒径1cm以下の小片に砕いたものを使用）を2 ton 施用相当（重量比）に混合したものを用い、ルート・ボックス（40×40×40cm）に植え付けた。対照区は山砂だけを用いた。なお、各処理区3反復とした。施肥については1年目は愛媛県の施肥基準どおりに行ったが、2年目はリンだけを全く施さなかった。植え付け約2か月後、いずれの処理区にも *Glomus* 菌（石井・門屋，1989）の孢子300–340個を含む培養土壌を1箱当たり50 g FW 与えた。調査期間中の根長の測定は、ルート・ボックスのガラス面に観察された根を透明のビニルフィルムに書き写し縮小した後、メディアグラフ（日本電気社製MG-10、スタイラスペン付き）を装着したパソコンで、根の長さを測定できるプログラムを開発して調査を行った。1989年12月5日に解体調査を行い、全生体重、地下部重および新しょう重を測定するとともに、採葉して葉（新葉）内のリン含量を常法で分析した。また、このとき根を採取し、Phillips・Hayman（1970）の方法を用いて、VAM菌の感染状態を調査した。

実験2 カンキツ園での試験

炭施用がカンキツ樹の菌根形成に及ぼす影響をさらに調査するために、松山市内の土壌管理法の異なる園を用いて検討した。すなわち、除草剤の使用は年1回で1樹当たり2個の穴（穴幅60×60cm、深さ30cm）にモミガラ炭6 kgを施した園、除草剤を年2回使用し雑草管理している裸地園、バヒアグラス草生（草刈り機で年1回除草）園、並びに農薬散布や施肥を全く行っていない放任園を用いた。施肥や除草剤以外の農薬散布は、放任園を除き慣行どおりに行った。各園少なくとも3か所で地表下5–10cmから根を採集し、上述と同様に Phillips・Hayman（1970）の方法を用いて、VAM菌の感染状態を調査した。また、採集時に Karnovsky（1965）溶液で根を直ちに固定後、第2章第2節と同様な方法で試料を調整し、SEM で根の表面構造や菌根菌の感染部を詳細に観察した。

結 果

実験1

栽植前の各炭施用土壌の pH（水）および EC を第33表に示した。第32表でも示したように、炭の pH がかなりアルカリ性を呈していたので、炭施用区の pH は対照区と比べてわずかに高くなり、EC はベイツガ樹皮炭施用区において高い傾向にあった。

第33表 炭施用が土壤 pH および EC , 並びにウンシュウミカン（カラタチ台）根における菌根感染率に及ぼす影響

処 理 区	pH ^X (H ₂ O)	EC ^X (μ s /cm)	菌根感染率 ^Z (%)
対照	6.4	14	6.4 \pm 1.3 ^Y
モミガラ炭	6.5	33	41.5 \pm 2.5
ベイツガ樹皮炭	7.0	180	11.2 \pm 0.2
カンキツジュースかす炭	6.6	105	12.0 \pm 1.2

Z) 菌根感染率 = (VA菌根菌によって感染された根の長さ / 観察した根の長さ) \times 100

Y) 平均値 \pm 標準誤差

X) 土壌 pH や EC の測定には重量比で炭 2 % 施用になるように山砂と各種類の炭を混合したものをを用いた。

このような土壌を用いて、ウンシュウミカン樹の生育、葉内のリン含量および根の菌根形成を調査した結果が第33表および第34表、並びに第62図である。すなわち、炭施用区におけるガラス面の根の伸長は、調査開始約 2 か月後のベイツガ樹皮炭施用区を除いて、対照区のそれと比べて著しく旺盛であった。解体直前ではいずれの炭施用区においても根長は対照区のおよそ 1.5 倍であった（第34表）。解体時の全生体重、地下部重および新しょう重はいずれの炭施用区でも対照区と比較して高かった。なお、炭の種類の違いによる生育の差異は観察されなかった

第34表 炭施用がウンシュウミカン（カラタチ台）樹の生育に及ぼす影響^Y

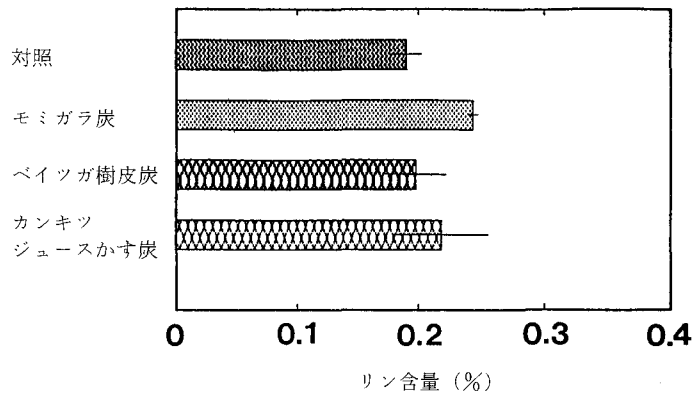
処 理 区	全生体重 (g)	地下部重 (g)	新しょう重 (g)	根長 (m) ^Z		
				25/6/1988	8/10/1988	8/11/1989
対照	713 \pm 55 ^X	284 \pm 4	102 \pm 19	3.1 \pm 0.0	8.4 \pm 0.2	12.3 \pm 2.0
モミガラ炭	1123 \pm 111	507 \pm 34	177 \pm 28	5.7 \pm 0.3	10.1 \pm 0.2	18.3 \pm 1.1
ベイツガ樹皮炭	1091 \pm 50	425 \pm 21	250 \pm 26	2.7 \pm 0.1	10.4 \pm 1.0	17.1 \pm 0.4
カンキツジュースかす炭	1150 \pm 39	511 \pm 37	208 \pm 19	3.5 \pm 0.7	10.7 \pm 0.8	19.4 \pm 0.3

Z) ルート・ボックスのガラス面に観察された根の長さを定期的に測定し、その合計値で示した。

Y) 各種類の炭を混合した山砂（重量比で 2 % 施用）を用い、1988 年 4 月 4 日に苗木を植え付けた。1989 年 12 月 5 日に解体調査を行った。

X) 平均値 \pm 標準誤差

（第34表）。根における VAM 菌の感染状態は、いずれの炭施用区においても良好であり、モミガラ炭施用区の菌根感染率は 41.5 % と特に高かった（第33表）。また、VAM 菌の感染と密接な関係があるリン吸収について調査したところ、ベイツガ樹皮炭あるいはカンキツジュースかす炭施用区の葉内リン含量は対照区と比べてほとんど差異が見られなかったが、菌根形成が良かったモミガラ炭施用区では葉内リン含量が高まる傾向があった（第62図）。



第62図 炭施用がウンシュウミカン葉内のリン含量に及ぼす影響
図中の横線は標準誤差を示す。

実験 2

土壌管理の異なるカンキツ園において根の菌根形成を調査した結果は第35表である。すなわち、VAM菌の感染率は除草剤使用裸地園が最も劣り、放任園、バヒアグラス草生園、炭施用園の順に高まった。特に、炭施用園では菌根感染率が50%以上であり、また、菌糸、のう状体などがよく観察された(第63図)。

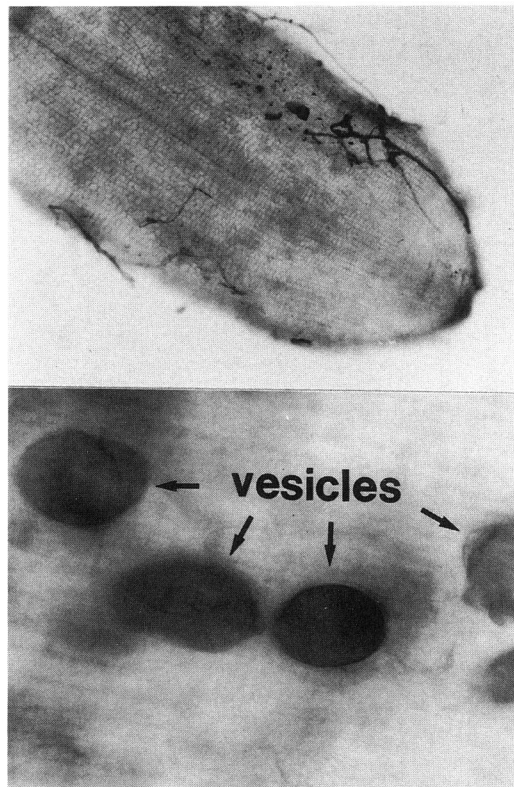
第35表 土壌管理の違いが宮内イヨカン（カラタチ台）根における菌根感染率に及ぼす影響

園 地	菌根感染率 ^Z (%)
除草剤使用裸地園	3.6 a ^Y
放任園	7.3 b
バヒアグラス草生園	16.9 c
炭施用園	52.0 d

Z) 菌根感染率 = (VAM菌根菌によって感染された根の長さ
/ 観察した根の長さ) × 100

Y) ダンカンの多重範囲検定 (5%レベル)

SEM による調査においても、炭施用園やバヒアグラス草生園ではVAM菌の菌糸がカンキツ根に取り巻いているところ(第64図)やVAM菌の根への侵入部(第64図および第65図)がよく見られ、特に炭施用園では顕著であった。

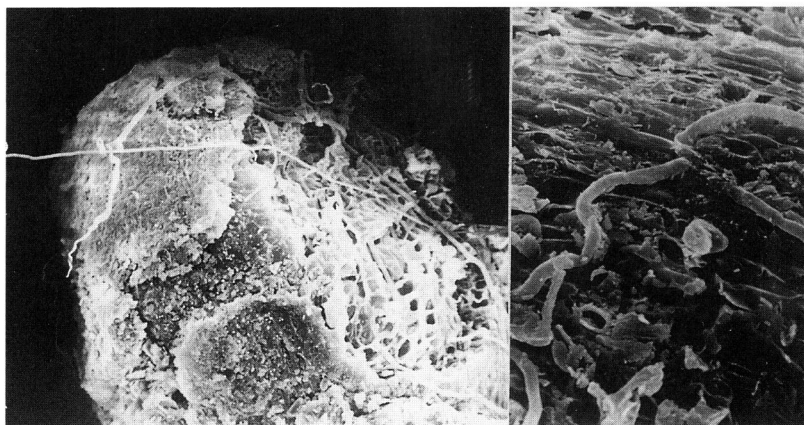


第63図 カンキツ根におけるVA菌根菌

上図：菌糸（ $\times 100$ ），

下図：のう状体(vesicle)（ $\times 400$ ）

注）トリパンブルー染色液（0.05%）を用いると
VA菌根菌の菌糸，のう状体などは青く染ま
る。



第64図 カンキツ根におけるVA菌根菌

左図：新根の先端部にVA菌根菌の菌糸がからまっており、菌糸の一部は
根内に侵入している。炭施用菌においてはこのような状態の根がよく
観察された（ $\times 200$ ）。

右図：カンキツ根へのVA菌根菌の侵入（ $\times 1000$ ）



第65図 VA菌根菌 (*Glomus* spp.) の孢子と根への侵入 (×1000)

第3節 炭施用が有機物による生育阻害の軽減効果に及ぼす影響

炭はいろいろな物質を吸着する能力を有している。そこで、炭は未熟成有機物を施用したときに問題となる抑制物質を吸着し、それによる生育障害を軽減する効果があるのではないかと考え、未熟成の有機物を施用した土壌における樹の生育阻害の軽減に及ぼす炭施用の効果を調査するとともに、エチレンやヒノキ樹皮内の阻害物質に対する炭の吸着能を検討した。

材料および方法

実験1 炭施用と未熟成の鶏ふんおがくず堆肥によるカラタチ実生の生育阻害の発現

実験に供試した有機物はベイツガおがくず 1 ton に乾燥鶏ふん600kgを混合し堆積した後、3か月目に採取し、実験に使用するまで冷凍庫に保存したものである。なお、コマツナの生物検定でこの堆肥の抑制効果を確認した。この堆肥と花こう岩土壌を1:2 (容量比) に混合した後、さらに炭 (モミガラ炭およびカンキツせん定枝炭を使用) を重量比で0, 1.5並びに3% になるように加えた培土を実験に供試した。なお、カンキツせん定枝炭は粒径3mm程度の小片に砕いたものを使用した。これらの培土を用いて、1989年4月上旬にカラタチ実生2年生樹を1/5,000 a のポットに植え付けた。対照区は花こう岩土壌のみとした。なお、各処理区4反復とした。解体調査は実験開始後5.5か月目に行った。

実験2 炭による生育阻害物質の吸着

炭施用が土壌からのエチレン発生に及ぼす影響を調査するために、エチレンを多量に発生するブドウ枯葉を用いて調査した。花こう岩土壌 (風乾後、1mmのふるいにかけたもの) 4gとブドウ枯葉乾燥粉末100mgを混合し14mlのビンに入れた後、ヤシガラ炭およびカンキツせん定枝炭 (ともに粒径3mm程度の大きさのもの) をそれぞれ120mg DW (重量比で約3%) 加え

た．その後，3 ml の水でたん水状態にした．3 日後，ビン気相部のエチレンを FID ガスクロマトグラフで分析した．分析条件は第 2 章と同様で行った．

また，炭施用が阻害物質を含む有機物による生育障害を軽減する効果を調査するために，抑制物質が多量に存在するヒノキ樹皮水抽出液を用いて検討した．ヒノキ樹皮水抽出液 20 ml に対してヤングラ炭（前述と同様の形状）2 g DW を加え，数分間振とうした後，東洋ろ紙 No. 2 でろ過した液をイネの生物検定にかけて生長抑制の程度を観察した．

結 果

実験 1

炭施用が未熟成の鶏ふんおがくず堆肥による生育障害の軽減効果に及ぼす影響を調査した結果は第 36 表のとおりである．すなわち，炭無施用区ではカラタチ実生苗の生育が著しく劣った．しかし，モミガラ炭やカンキツせん定枝炭を混合した区（1.5%，3% 施用区ともに）では生育障害が軽減され，特に 1.5% 施用区では顕著であった．

第 36 表 炭施用と未熟成のペイツガおがくず鶏ふん堆肥（堆肥）によるカラタチ樹の生育障害の発現²

処 理 区	全生体重 (g)	地下部重 (g)
対照	40.0±3.6 ^X	21.3±2.0
堆肥	14.7±4.0	8.4±2.7
堆肥+モミガラ炭(1.5%) ^Y	42.2±2.5	24.7±0.8
堆肥+モミガラ炭(3.0%)	35.7±3.0	20.9±1.9
堆肥+カンキツせん定枝炭(1.5%)	42.4±9.0	24.6±5.8
堆肥+カンキツせん定枝炭(3.0%)	34.2±2.8	20.3±1.7

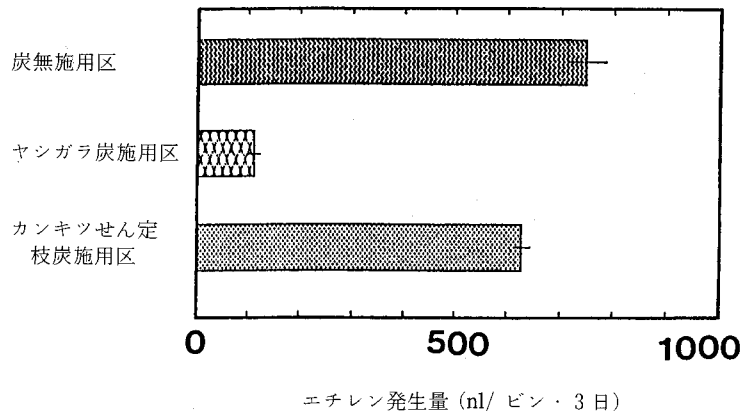
Z) 堆肥と花こう岩土壌を 1 : 2（容量比）に混合したものを用い，カラタチ実生苗 2 年生樹を 1/5000 a のポットに 4 月上旬に植え付けた．なお，対照区は花こう岩土壌のみとした．解体調査は実験開始後 5.5 か月目に行った．

Y) 炭は重量比で施し，堆肥施用土壌とよく混合させた．

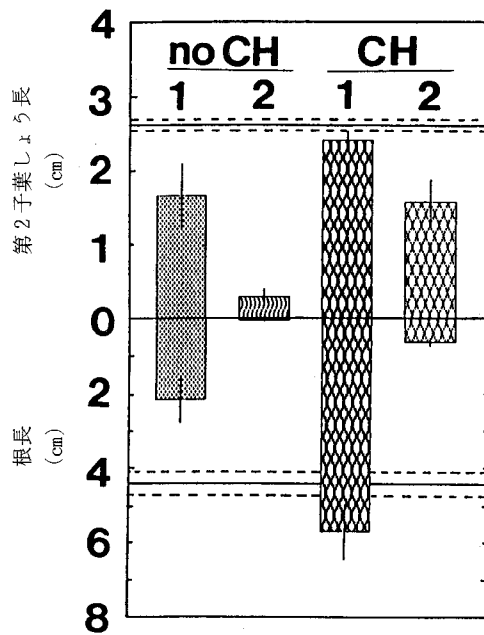
X) 平均値±標準誤差

実験 2

以上の炭施用の有効性を探るために，未熟成有機物を施用したときに問題となる抑制物質と炭施用との関係について調査した結果を第 66 図および第 67 図に示す．すなわち，ブドウ枯葉施用土壌で検出されるエチレンはヤングラ炭，カンキツせん定枝炭のいずれの処理区でも少なくなる傾向があり，特にヤングラ炭では顕著であった（第 66 図）．また，抑制物質を多量に含むヒノキ樹皮の水抽出液に炭（ヤングラ炭）を入れた区では，ヒノキ樹皮の水抽出液による生育障害を軽減する効果が観察された（第 67 図）．



第66図 炭施用が土壌からのエチレン発生に及ぼす影響
図中の横線は標準誤差を示す。



第67図 ヒノキ樹皮温水抽出物によるイネの生育阻害
と炭による阻害軽減効果
CH:炭 (ヤシガラ, 2 g DWを使用)
1:ヒノキ樹皮 (0.2 g DW) からの抽出物
2:ヒノキ樹皮 (2 g DW) からの抽出物
図中の縦線は標準誤差を示す。なお、図中の
点線は対照区 (水) の標準誤差を示す。

第4節 考 察

炭あるいは木炭は土壤改良資材として古くから使用されてきた。本実験でもその施用はカンキツ樹、特に根の生長に有効に作用した。この原因は炭施用によって土壤の理化学性が改善されたことだけでなく、土壤の生物環境が良好になったことに関係があるように思われる。炭は、本実験結果で示したような根の生長に悪影響を及ぼすエチレンなどの阻害ガスや抑制物質を吸着して土壤環境を健全にし、微生物の活動を助けているものと考えられる。一方、ダイズ根に共生する根粒細菌やVAM菌の感染が炭施用によって高まるという報告がある（小川，1987）。カンキツの場合でも、炭施用が菌根形成を促進させることを本実験は明らかにした。

菌根形成は好適な土壤 pH 条件下で促進され、反対に、窒素やリンの多量施用によって阻害される傾向がある（石井ら，1989b）。特に、リンの場合には可溶性のリン酸肥料を多量に施用すると菌根形成が阻害されやすい（Graham-Timmer，1985）。しかし、土壤中の有効態リンが不足してくるとVAM菌は菌根を形成するようになる（Edriss ら，1984）。また、農薬の中には菌根菌の胞子の発芽を阻害するものがあることが知られている（石井・門屋，1989；小林，1988；小川，1987）。カンキツの病害防除に用いられているベンレート、トップジンMなどのベンズイミダゾール系あるいはロブラルールなどのヒダントイン系の殺菌剤による阻害効果は著しい。除草剤について、小林（1988）は *Gigaspora margarita* の胞子の発芽がグラモキシソンでは48 ppm，ラウンドアップでは410 ppm で完全に阻害されたと報告している。本調査における除草剤使用裸地園の菌根感染率が放任園の場合よりも小さいのは肥料の多量施用や農薬の使用が原因であると思われる。

わが国のカンキツ園におけるVA菌根の実態を調査した研究例は極めて乏しい（石井ら，1989a，1989b；中路・村上，1989）。筆者ら（1989b）が、愛媛県下24か所のカンキツ園において菌根形成状態を詳細に調査した結果では、24園中23園で菌根形成が観察されたが、VAM菌による感染の程度は感染率が23%という高い値を示した1園を除き、極めて悪い状態であった。なお、この菌根感染率が23%の園は、ウンシュウミカンを毎年10アール当たり9-10トン生産している園であり、土壤環境も極めて良好な園である（岩崎ら，1981）。一般に、山林や非農耕地の土壤にはVAM菌の胞子が多く、また菌根を形成した植物がよく観察されることから、現状のカンキツ園の土壤管理法には多くの問題があることが推察される。しかし、カンキツ園には多くの場合、VAM菌は、その密度が少ないけれども生息しており、現在の土壤管理法の改善次第では菌根形成を高めることが可能である。この菌根形成の向上において、炭施用や草の利用は極めて有効であり、特に炭施用区では菌根感染率の増大が著しいことを本実験は明らかにした。しかし、炭は本調査結果が示すようにアルカリ性を示すので、多量に施すとカンキツ樹の生育に悪影響が出る。炭の施用には10アール当たり2トン（第34表の2%施用区にほぼ相当する）までとし、土壤と混和することで施用効果が高まる。

VAM菌はカンキツ樹以外にも数多くの植物に感染することが知られている（Maeda，1954）。カンキツ園に見られる草の中にはカンキツ根よりも菌根形成が高いものがあり（石井ら，1989a），これらの草を利用した草生園ではカンキツ樹の菌根形成が高まることを本実験で明らかにした。現在、わが国のカンキツ園の多くは傾斜地にあり、一般に土壤管理は除草剤を用いた清耕法が行われている。この管理法はカンキツ樹と草との競合が少ないという利点はあるが、

土壌流亡や有機物不足による土壌の劣化が問題となっている。この点、草生栽培は土壌流亡の防止（千葉，1982；猪崎，1986；坂本，1963；杉浦，1991），有機物の補給（千葉，1982；猪崎，1986；坂本，1963；杉浦，1991），草の根による土壌改善（坂本，1963；杉浦，1991）だけでなく，本調査ではVAM菌など有益な微生物の働きも期待できることを明らかにした。今後，草を利用した土壌管理法について再度検討する必要があるように思われる。

化学肥料や農薬を使い過ぎの傾向にある現在の栽培方法を見直し，VAM菌などの有益な微生物の働きを利用する生態を生かした栽培技術を今後早急に確立する必要があるように考えられる。この点，炭の利用はカンキツ園土壌の理化学性を改善するだけでなく，土壌の生物環境を良好にし，VAM菌の生態にとって好適な土壌環境を作り出すものと推察された。

第5節 摘 要

- (1) モミガラ炭，ヤシガラ炭，カンキツせん定枝炭，マキ炭，ベイツガ樹皮炭，ヒノキ樹皮炭およびカンキツジュースかす炭の化学的性質や走査型電子顕微鏡で微細構造を調査した。その結果，いずれの炭も pH が高く，Nを除いてP，K，Ca，Mgなどの主要な無機成分を含んでいた。本調査に用いたベイツガ樹皮中にはかなりのNaClが含まれており，この炭のECは高くなった。炭の微細構造を観察したところ，いずれの炭においても小孔が多く見られ，特にヤシガラ炭においては孔が微細であった。
- (2) 炭施用は樹の生育を旺盛にさせるとともに，根に共生し，リンなどの養分吸収に関係するVA菌根菌の感染率を著しく高めた。
- (3) 未熟成有機物（ベイツガおがくず鶏ふん堆肥を使用）施用による生育阻害の軽減作用に対する炭の効果を調査したところ，炭1.5%および3%施用（重量比）区ともに生育阻害軽減の効果が観察された。特に，炭1.5%施用区では対照（堆肥無施用）区とほとんど変わらない生育を示した。この原因として，炭が有機物に含まれる抑制物質や，それらから発生する阻害ガス，特にエチレンなどをよく吸着することと関係があるように考えられた。

総合考察

カンキツ栽培において、土壤への有機物施用は土壤を改善し、樹の生育を良好にして、毎年高品質の果実を安定して得るために必要不可欠な農作業の一つである。特に、化学肥料多投による土壤の劣化が心配されている近年、有機物施用の重要性は益々高まってきている。有機物施用の効用の一つとして、土壤の通気性改善への効果が挙げられる。カンキツ樹においては少なくとも大気中の10分の1の酸素（2% O_2 ）が絶えず供給されていなければ、根が著しい酸素ストレス状態に陥ることが報告されている（Iwasaki, 1972）。本研究では、土壤中でも長期間安定して使用できる酸素センサを開発し、このセンサを用いてカンキツ園土壤中の酸素濃度の季節的变化を計測したところ、有機物（熟成）施用による土壤の通気性改善への効用は雨の多い時期において顕著であった。特に、有機物施用区では有機物無施用区と比べて、酸素濃度が2%以下の状態にある時間が非常に短く、降雨後直ちに良好な通気状態に回復することを明らかにした。

しかし、樹園地に搬入されている有機物は多種多様で、その性状が資材ごとに著しく相違しており、また有機物の施用法、土壤条件なども極めて多様なことから、必ずしも有機物施用がカンキツ樹の生育に好影響を及ぼしているとは限らない。未熟成有機物を用いたときには腐熟過程で土壤中の酸素が消費され、樹に悪影響を及ぼすことが推察される。未熟成のカンキツせん定くずを用いた本実験の場合では、施用1週間後ごろの土壤中の酸素濃度は5%程度であり、著しい酸欠状態にあった。また、嫌氣的な土壤では、酸素濃度の低下とともに、メタンなどの低級炭化水素や硫化水素のような還元性のガスが発生することも知られている（Ponnamperuma, 1984; Russell, 1973）。そこで、これらのガスを高感度で検出する半導体ガスセンサを用いて、腐熟程度の異なる有機物を施用した湛水土壌からの還元性ガスの発生様相を調査したところ、熟成有機物施用区や有機物をほとんど含まない土壤のみの区では、センサからの出力電圧の変化が極めて小さかった。しかし、未熟成有機物を施用した区ではセンサ出力電圧が約1日でセンサの最大出力電圧（5 V）近くまで急激に増大した。このことは施用有機物を十二分に腐熟させることが大切であることを示している。

わが国のカンキツ園は傾斜地園が多く、一般に排水が良好である。しかし、傾斜地園でも排水不良な園が見かけられること、また水田転換園では過湿による害が深刻な問題となっている園がある。このような園では有機物を利用し、排水性を改善することが行われているが、有機物施用後でも水が停滞する傾向があれば、降雨期に甚だしい湿害を被ることがある。特に、未熟成の有機物を施用した土壤では慢性的な低酸素濃度状態にあり、樹が著しいストレス状態に陥っているので、エチレンなどの低級炭化水素や硫化水素のような還元性ガスも発生し、湿害の影響がさらに激しく発生することを本実験は示唆している。

未熟成の有機物を施用した土壤から発生する低級炭化水素には、メタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、iso- および n-ブタンなどが検出された。しかし、これらのガスの内でカンキツ樹の生育を著しく阻害したのはエチレンのみであった。

エチレンは植物ホルモンの一つであり、微量で植物の生育に影響を及ぼす。実際に、エチレン濃度を調整したガスを土壤に処理して、カンキツ樹の生育に及ぼす影響を調査したところ、0.05 ppm 処理区では新しょうの伸長が劣ったが、根の生長は対照区と比べてやや促進される

傾向が認められ、また光合成活性も対照区と比べて差異がなかった。しかし、0.5 ppm 以上になると光合成活性や根のコハク酸脱水素酵素活性が低下し、特に5および50 ppm 処理区では生長が著しく緩慢となり、褐変した根が多く観察された。このように、土壤中のエチレンの根への作用はある一定濃度（0.05 ppm 前後）を境に、これよりも高濃度で阻害、また低濃度で促進、特に根の伸長を促す傾向が認められた。カンキツ樹以外にも、このような傾向が観察されており、水稻では0.15 ppm 以下、トマトでは0.02 ppm で根の伸長が旺盛になるという報告がある（Konings・Jackson, 1979）。未熟成有機物を施用した土壌では、エチレン濃度が1 ppm 以上になることがあり、このときカンキツ樹の生長が阻害される傾向が認められた。しかし、これらの有機物でも十分に腐熟処理を行った場合、生育阻害作用を軽減させるだけでなく、対照（有機物無施用）区よりもむしろ根の分岐を促進させ、根重を増加させる傾向が本調査では明らかとなった。熟成有機物を施用したところでは樹の生育が良好で、細根が多いことを樹園地の根圏調査からよく経験することである。つまり、熟成有機物から発生する微量のエチレンは、一時的には新しょうの伸長を抑制するかもしれないが、根の伸長や分岐を旺盛にし、根系を広げ、その後の樹の生長に好影響を及ぼしていることが考えられる。

樹園地では、せん定後の枝葉や落ち葉などの有機物を深耕用の資材として用いることがある。しかし、これらの有機物からのエチレン発生量は有機物の種類によって異なり、ブドウ葉、カンキツ、ニホンナシ、モモおよびカキ枯葉、並びにカンキツの新鮮根ではエチレン発生が特に著しかった。このような有機物を使用するときには、あらかじめ腐熟処理を行う必要があると思われる。また、有機物からのエチレン発生は土壌の通・排水性が劣るところで高まる傾向があるので、過湿ぎみな土壌での有機物施用においては十分な注意が必要である。

有機物および土壌中の主要なエチレン発生物質は、脂質、特にグリセロール脂質やステロール脂質か、これらに糖が結合した脂質（糖脂質）がエチレン生成に重要な物質であることを本実験は明らかにした。また、エチレン発生量は脂質の量や質と密接な関係があるが、有機物の腐熟程度の違いによるエチレン発生物質の差異は、抽出脂質の全重量よりも、エチレン生成に関与するある特定の脂質の量や質の変化が関係していると推察された。土壌脂質からのエチレン生成は微生物の働き（酵素反応）による影響が大であった。しかし、非微生物作用（フリーラジカル反応、熱分解など）によってもエチレンが発生することが考えられた。これまでに土壌からのエチレン発生に関与する物質はエタノール（Goodlass・Smith, 1978 b）、酪酸（Goodlass・Smith, 1978 a）、グルコース（Goodlass・Smith, 1978 b; Lynch・Happer, 1980）、メチオニン（Lynch・Happer, 1980, 中山・太田, 1980 a）および1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸（ACC）（Frankenberger・Phelan, 1985 a, 1985 a）であるという報告がある。特に、メチオニンやACCのようなアミノ酸は植物生体内でのエチレン生成に関与する重要な前駆物質であることが知られている。しかし、有機物や土壌からエチレン発生物質を抽出して検討したところ、アミノ酸や有機酸が含まれる分画からはほとんどエチレンの発生が検出できなかった。エタノールはむしろ微生物の活動を阻害し、エチレン生成を抑制するように思われた。グルコースなどの糖類そのものからのエチレン発生はわずかであったが、それらは糖が結合していない単純脂質やリン脂質からのエチレン生成を著しく高めることを本調査は明らかにした。つまり、糖類は微生物の活動を促し、間接的に土壌脂質からのエチレン発生を助長させる役割があると考えられた。

カンキツ園土壌中のエチレン濃度の季節的变化を調査したところ、雨の多い時期に濃度が高

まる傾向が見られ、脂質が多い園で顕著であった。しかし、脂質が少ない園でもかなりのエチレンの発生が見られたことから、土壤中のエチレン濃度の高まりは脂質を含む有機物による影響だけでなく、土壤環境の変化によるカンキツや草の根などのストレスによって発生するエチレンも関与していると推察された。

最近、使用量の多い有機物が稲わらなどのような良質な資材から、おがくずや樹皮などの木材片に替わってきており、これらの木材片を用いた堆肥の場合には生育障害の事例が多い傾向にある。この主要な原因は、窒素飢餓による影響よりも、むしろ堆積期間が短いことから未熟成状態にあり、堆肥から発生する阻害ガスあるいはそれに含まれる抑制物質が関与していると考えられた。したがって、家畜ふん尿を加えたおがくず堆肥などでは、見かけ上、黒くて悪臭がなく炭素率が低くても、堆積期間が短いものを安易に園地に投入することは避けるべきと思われる。また、このような堆肥中には、海水中に貯木した材からの木材片を利用したためか、塩分が多量に含まれており、カンキツ樹の生育に悪影響を及ぼすことが考えられた。実際に、カラタチ樹に NaCl 処理した結果、0.5 g/l 処理区でも新しょう伸長や根のユハク酸脱水素酵素活性が阻害された。この濃度は本実験に用いた市販の鶏ふんおがくず堆肥の場合では2%施用区に相当する。

おがくずや樹皮中の抑制物質として、これまでにフェノール物質、タンニン、精油などが関与しているのではないかと考えられている(河田, 1981; 佐藤, 1976)。Still ら (1976) は、ポプラ、エノキ、サトウカエデおよびスズカケノキの樹皮の中で、抑制効果が見られたのはサトウカエデ樹皮だけであり、その主要な抑制物質はタンニン酸であることを報告している。しかし、わが国で今後使用量の増加が予想されるヒノキおよびスギ材中の生育阻害物質についてはほとんど解明がなされていないので本実験を行った。その結果、スギ材ではおがくず、樹皮のいずれの温水抽出物においても生育阻害作用が見られなかったが、ヒノキ材では著しい抑制作用が認められた。このヒノキ樹皮温水抽出物に含まれる主要な生育阻害物質は縮合性タンニンであることを同定した。一方、ヒノキおよびスギ樹皮から発生するガスによる影響を調べたところ、ヒノキ樹皮からのテルペン類やエチレンの発生量はスギ樹皮の場合と比較して多く、これらによる生育阻害も考えられた。テルペン類の中では特にピネンがカラタチの生育を著しく阻害する傾向があった。

以上のように、堆肥資材としてのおがくずや樹皮は未熟成の状態では決して良質な有機物とは考えられにくい。しかし、これまでよく用いられていた稲わらが不足傾向にある現状では、おがくずや樹皮を積極的に利用する必要がある。本実験では、発酵腐熟しにくいおがくずや樹皮をどのような方法で無害なものにして有効利用できるかをさらに検討を行った。

良質な堆肥の作製に当たっては堆積期間中の温度管理を徹底することが重要である。本実験でも堆積中の温度をコントロール(最初の30日間は55℃, 次ぐ30日間は50℃, 最後の40日間は40℃で処理)して腐熟化を行えば、抑制物質が多量に含まれるおがくずや樹皮でも100日間程度の短期間で阻害作用が見られない良質な堆肥を作製することが可能であった。しかし、野外で堆肥の作製を行う場合、堆積中の温度管理が難しく、一般に短期間で阻害作用のない堆肥を作ることが困難であると思われる。市販の家畜ふん尿入りのおがくずや樹皮堆肥の一部に生育阻害が発生する原因の一つには堆積期間中の温度管理が不十分で、生育阻害物質が分解されていないことによると考えられる。

腐熟しにくい有機物が堆肥資材として用いられている現在、堆肥の腐熟の程度を判定するこ

とが必要である。稲わら堆肥などでは黒くなり、悪臭がなくなってくると安全なものとして容易に判定できることが経験的に知られている。しかし、おがくずや樹皮を用いた堆肥では色が黒くてあまり悪臭がないものでもカンキツ根の生長を著しく阻害することがあった。現在、このような堆肥の腐熟度の判定のために、いくつかの手法（藤原ら，1980；小西ら，1986；静岡県農業水産部農業技術課，1982）が報告されている。この中で、現在のところ幼植物を用いた生物検定法がよく用いられている。さらに本実験では、前述した半導体ガスセンサを利用した堆肥腐熟度判定装置がおがくずや樹皮を用いた堆肥の腐熟度の判定に非常に有効であることを実証した。また、本装置の基本構造は極めて簡単であるので、今後の改良によっては野外での利用も可能と思われる。

スギ材には生育阻害物質がほとんど含まれていないことを前述した。そこで、スギ樹皮の利用を検討した。生のスギ樹皮を土壌に混和して使用した場合には樹の生育に悪影響を及ぼすことがある。この原因は土壌中でスギ樹皮が分解されるときに発生するエチレンが関与しているものと推察された。しかし、マルチ資材としてスギ樹皮を使用した場合には生の状態でも樹の生育、養分吸収、果実の品質などに悪影響を及ぼすことがなく、むしろ樹の生育が対照区と比べて旺盛になる傾向が観察された。ただし、マルチ資材としてのスギ樹皮の多量使用は果実品質を低下させる傾向があるので、使用量は10アール当たり乾物で4トンまでに抑える必要がある。最近、スギ樹皮は洋ラン類の培地材料としても有効であることが報告されている（峰岸・久地井，1989）。

一方、ヒノキ材の場合、樹皮などに生育抑制物質が多量に含まれており、家畜ふん尿を混合し堆積する方法で腐熟化させても、抑制物質の存在しない良質な堆肥を簡便に作る事が難しい。この点、石灰（0.1%生石灰および0.1%消石灰）溶液に浸漬処理したヒノキ樹皮は堆肥資材だけでなく、マルチ資材として有効利用できることを明らかにした。石灰は古くから堆肥作製に当たって混入する必要があることが唱えられてきた（安，1906）。これは石灰が堆肥中の微生物の活動を調整する働きがあることからである（橋本，1977；安，1906）。特に、おがくず、樹皮などの木材片のように、それらの水抽出液が一般に酸性を呈するものでは微生物の活動を円滑にさせるために石灰の混用は不可欠であるように思われる。本実験ではさらに、石灰の利用は、カラタチなどの生育を著しく阻害する縮合性タンニンなどの抑制物質をヒノキ材から取り除き、無害なものにする作用を有していることを明らかにした。このように、ヒノキ材などのような抑制物質の存在が問題となる樹種ではあらかじめ石灰溶液で浸漬処理した後に堆積化をはかることが望まれる。

炭や灰を含む焼肥は土壌の改良にとって有効な資材であることが古くから知られており（宮崎，1697）、土壌のpHや通・排水性の改善、地温の上昇促進、また無機成分の供給に効果がある。抑制物質を多量に含む有機物でも炭にすれば、抑制物質による問題は解消されることから、数種類の炭を作製し、カンキツ樹に及ぼす影響を調査した。その結果、炭施用は樹体生長を旺盛にさせるとともに、VAM菌根菌（VAM菌）の感染率を著しく高める傾向が認められた。VAM菌はカンキツ根に共生して菌根を形成し（Maeda，1954）、リン吸収を高め（Edrissら，1984；Johnson・Hummel，1985；Krikun・Levy，1980；Tangら，1984）、生長を旺盛にする（Edrissら，1984；Ferguson・Menge，1986；石井・門屋，1989；Nemec，1979；Tangら，1984）という報告がある。このVAM菌の感染を高める土壌資材として、小川（1987）は炭施用が有効であることをダイズを用いた試験で明らかにしている。また、炭施用は未熟成有

機物施用による生育阻害を軽減させる作用を有していることが明らかとなった。この原因として、炭が有機物に含まれる抑制物質や、それらから発生する阻害ガス、特にエチレンなどをよく吸着することと関係があるように考えられた。

化学肥料や農薬を使いすぎる傾向にある現在のカンキツ栽培方法を見直し、VAM菌などの有益な微生物の働きを利用する生態を生かした栽培技術を今後早急に確立する必要があるように考えられる。この点、炭の利用はカンキツ園土壤の理化学性を改善するだけでなく、土壤の生物環境を良好にし、VAM菌の生態にとって好適な土壤環境を作り出すことが推察された。

総 摘 要

近年、化学肥料多投による土壌の劣化が問題となっており、その改善方法として有機物施用の必要性が唱えられている。しかし、有機物の種類によっては樹の生育に悪影響を及ぼすことがあるので、有機物施用の効果的な利用方法を検討する必要がある。本研究は、カンキツ樹を用い、有機物施用の効用と弊害を、特に土壌の通気性との関係で探るとともに、有機物に由来するどのような物質が樹の生育に悪影響を及ぼしているのか、発酵腐熟しにくい有機物、特におがくずや樹皮などをどのような方法で無害なものにして有効利用できるかを明らかにしたものである。

以下に、調査結果の概要を示す。

(1) 有機物施用の効用と弊害、特に土壌通気との関係について

土壌中でも長期間安定して使用できる酸素センサを開発し、このセンサを用いてカンキツ園における有機物（熟成）施用土壌中の酸素濃度の季節的变化を計測したところ、有機物施用による土壌の通気性改善への効用は雨の多い時期において顕著であった。特に、有機物施用区では有機物無施用区と比べて低酸素状態にある時間が非常に短く、良好な通気状態に直ちに回復することが明らかとなった。しかし、未熟成有機物施用土壌では慢性的な嫌気状態にあり、樹に著しい悪影響を及ぼしていることが明らかとなった。

湛水土壌から発生するガスを半導体ガスセンサ（低級炭化水素、硫化水素などを高感度で検出可能）で経時的に調査したところ、熟成有機物施用区や有機物無施用区ではセンサからの出力電圧の変化が極めて小さかった。しかし、未熟成有機物施用区ではセンサ出力電圧が約1日でセンサの最大出力電圧（5 V）近くまで急激に増大した。未熟成有機物施用土壌から発生する低級炭化水素には、メタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、iso- および n-ブタンなどが検出された。なお、これらの内でカラタチ実生の生育を著しく阻害したのはエチレンのみであった。

(2) 有機物施用土壌から発生するエチレンとカンキツ樹の生育について

エチレンが土壌で生成されることから、土壌中のエチレンとカンキツ樹の生育との関係、エチレン生成と有機物施用との関係、有機物および土壌におけるエチレン発生物質、並びに土壌中のエチレン濃度の季節的变化を詳細に調査した。これらの結果は以下に示すとおりである。

- a) 0.05 ppm 処理区では新しょうの伸長が劣ったが、根の生長は対照区と比べてやや促進される傾向が認められ、また光合成活性も対照区と比べて差異がなかった。しかし、0.5 ppm 以上になると樹の生育や光合成活性が阻害された。特に5および50 ppm 処理区では樹の生育が著しく抑制された。エチレン処理は樹体内の無機5要素含量にも影響を及ぼした。
- b) 未熟成有機物施用土壌では土壌中のエチレン濃度がカンキツ樹の生育を阻害する程度まで高くなった。しかし、熟成有機物の場合には、エチレンによる害はほとんど観察されなかった。
- c) 土壌からのエチレン発生量は施用有機物の種類の違いによって差異があり、未熟成有機

物を施用した土壤からの発生量は多かったが、熟成有機物の場合では少なかった。エチレン発生には土壤温度、土壤水分および土壤の通気性が大きく関与していた。

- d) 有機物および土壤中の主要なエチレン発生物質は、脂質、特にグリコール脂質やステロール脂質に糖が結合した脂質（糖脂質）であった。脂質からのエチレンは微生物作用、非微生物作用のいずれによっても生成されることが考えられた。
- e) カンキツ園土壤中のエチレン濃度は雨の多い時期に濃度が高まる傾向が見られ、脂質が多い園で顕著であった。

（３）おがくずおよび樹皮を用いた堆肥施用の問題点、特に生育阻害物質の存在とカンキツ樹の生育について

おがくず、樹皮などの木材片を用いた堆肥の利用上の問題点、特に今後わが国で使用量の増加が予想されるヒノキ樹皮やスギ樹皮を中心に検討を行った。

- a) 市販の鶏ふんおがくず堆肥（堆肥）による樹の生育阻害は、窒素飢餓による原因よりも、木材片の未熟成によるエチレンなどの阻害ガスの発生やフェノール物質などの抑制物質の存在による影響が問題であることが明らかになった。また、堆肥には NaCl が乾物当たり 1 % 程度含まれており、堆肥 2 % 施用相当でもカラタチ樹の生育が抑制された。
- b) 樹種の違いによる生育阻害物質の有無をこれらの温水抽出物で検討したところ、抑制効果が見られた樹種はヒノキ、ペイマツ、アカマツ、ベイツガおよびアビトンであった。特に、ヒノキおがくずや樹皮、ペイマツおがくずや樹皮、並びにアカマツおがくずの阻害効果は著しかった。しかし、スギおがくずおよび樹皮や、ラワンおがくずではイネ幼苗の生長が全く阻害されなかった。
- c) ヒノキ樹皮の温水抽出物中の主要な生育阻害物質は縮合性タンニンであり、カラタチの生育を著しく抑制した。また、安息香酸、没食子酸などのフェノール物質も検出された。
- d) ヒノキ樹皮から発生するガスはカラタチ根の生長を著しく阻害した。しかし、スギ樹皮の場合には抑制作用が観察されなかった。この原因は、カラタチ根の生長を阻害するテルペン類（特にピネン）やエチレンがスギ樹皮よりもヒノキ樹皮から多量に発生していることによると考えられた。

（４）おがくずおよび樹皮の利用について

おがくずや樹皮を積極的に利用する上で、これらを用いた堆肥の作製法を検討したところ、本実験で用いたいずれのおがくずや樹皮においても、堆積期間中の温度を、最初の30日間は55℃、次ぐ30日間は50℃、最後の40日間は40℃で処理すると、わずか100日間で阻害作用が見られない良質な堆肥を作製することが可能であった。しかし、野外では堆積中の温度のコントロールが難しく、このような短期間で生育阻害のない堆肥を作るのは困難であると考えられた。

また、堆肥作製や利用に当たって堆肥の腐熟度を把握することは重要であるので、前述した半導体ガスセンサを利用した装置を作り、堆肥から発生する阻害ガスを検出することによって堆肥の腐熟程度を知ることができるかいを調査した。その結果、本装置は簡便に堆肥の腐熟度を判定するのに非常に効果的であることが実証された。また、本装置の基本構造は極めて簡単であるので、今後の改良によって野外での利用が可能と思われた。

スギ材には生育阻害物質がほとんど含まれていないことが明らかとなったので、スギ樹皮の

利用を検討した。生のスギ樹皮を土壌に混和して使用した場合には樹の生育に悪影響を及ぼすことがある。この原因は土壌中でスギ樹皮が分解されるときに発生するエチレンが関与しているものと推察された。しかし、マルチ資材としてスギ樹皮を用いる場合には、生のままでも樹の生育、養分吸収、果実の品質などに悪影響を及ぼすことがなく、むしろ樹の生育が対照区と比べて旺盛になる傾向が観察された。ただし、マルチ資材としてのスギ樹皮の多量使用は果実品質を低下させる傾向があるので、使用量は10アール当たり乾物で4トンまでに抑える必要があった。

ヒノキ材の場合は抗菌物質が含まれており、木材腐朽菌などによる材の腐朽が難しいと思われる。そこで、堆積前にあらかじめ抑制物質を除去する方法として、熱、酸およびアルカリ溶液浸漬処理を試みたところ、熱処理およびアルカリ溶液浸漬処理で有効な結果が得られた。特に、カラタチの生育を著しく阻害する縮合性タンニン含量は石灰（0.1%生石灰および0.1%消石灰）溶液に浸漬処理したヒノキ樹皮で減少し、生育阻害効果が消失した。

（5）有機物の炭としての利用について

抑制物質を多量に含む有機物でも炭にすれば、この問題は解消されと考え、炭施用がカンキツ樹の生育や根に共生するVA菌根菌の感染状態に及ぼす影響を調査した。その結果、炭施用はVA菌根菌の感染率を著しく高め、樹体生長を旺盛にさせる傾向が認められた。また、炭は未熟成有機物施用による生育阻害を軽減させる効果を有していた。この原因として、炭が未熟成の有機物に含まれる抑制物質や、それらから発生するエチレンなどの阻害ガスをよく吸着することと関係があるように考えられた。

引用文献

- Abeles, F.B. 1972. Biosynthesis and mechanism of action of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23 : 259-292.
- Allison, F.E., W.H. DeMar and J.H. Smith. 1963. Toxicity to garden peas of certain finely-ground wood and barks mixed with soil. *Agron. J.* 55 : 358-360.
- 天野勝司・日野昭・大東宏・倉岡唯行. 1972. 果樹の光合成作用に関する研究 (第1報). *園学雑.* 41(2) : 144-150.
- Andersen, R.A. and J.A. Sowers. 1968. Optimum conditions for bonding of plant phenols to insoluble polyvinylpyrrolidone. *Phytochemistry* 7 : 293-301.
- 浅田昭良・石橋功成・中沢光博. 1988. 防水型ジルコニア酸素センサの特性と応用. 第7回化学センサ研究発表会要旨集. p 113-116.
- Babiker, H.M. and I.L. Pepper. 1984. Microbial production of ethylene in desert soils. *Soil Biol. Biochem.* 16 : 559-564.
- Burg, S.P. and E.A. Burg. 1965. Ethylene action and ripening of fruits. *Science* 148 : 1190-1196.
- Campbell, R.B. and R.A. Moreau. 1979. Ethylene in a compacted field soil and its effect on growth, tuber quality, and yield of potatoes. *Amer. Potato J.* 56 : 199-210.
- Castle, W.S. and A.H. Krezdorn. 1979. Anatomy and morphology of field-sampled citrus fibrous roots as influenced by sampling depth and rootstock. *HortScience* 14 : 603-605.
- 千葉勉. 1982. 果樹園の土壤管理と施肥技術. p. 72-79. 博友社. 東京.
- Cook, R.J. and A.M. Smith. 1977. Influence of water potential on production of ethylene in soil. *Can. J. Microbiol.* 23 : 811-817.
- Crossett, R.N. and D.J. Campbell. 1975. The effects of ethylene in the root environment upon the development of barley. *Plant and Soil* 42 : 453-464.
- Dowdell, R.J., K.A. Smith, R. Crees and S.W.F. Restall. 1972. Field studies of ethylene in the soil atmosphere-equipment and preliminary results. *Soil Biol. Biochem.* 4 : 325-331.
- Edriss, M.H., R.M. Davis and D.W. Burger. 1984. Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(4) : 587-590.
- Ferguson, J.J. and J.A. Menge. 1986. Response of citrus seedlings to various field inoculation methods with *Glomus deserticola* in fumigated nursery soils. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2) : 288-292.
- Folch, J., M. Lee and G.H. Sloane Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226 : 497-509.
- Frankenberger, W.T., Jr. and P.J. Phelan. 1985a. Ethylene biosynthesis in soil: I. Method of assay in conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1416-1422.
- Frankenberger, W.T., Jr. and P.J. Phelan. 1985b. Ethylene biosynthesis in soil: II. Kinetics and thermodynamics in the conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1422-1426.
- 藤野安彦. 1978. 脂質分析法入門. 学会出版センター. 東京.
- 藤原俊六郎・鎌田春海・井ノ子昭夫. 1980. おが屑混合鶏ふん堆肥物の腐熟に伴うおが屑の分解走査電子顕微鏡による微細形態変化の観察. *土肥誌.* 51 : 203-209.
- 藤原俊六郎. 1986. 堆肥の品質判定. p. 61-63. 農業技術大系土壌施肥編7 (資料). 農文協. 東京.
- 深山政治・井田明・徳永美治・森哲郎・森田禧代子・赤塚恵. 1978. 全窒素 p. 177-178. 土壌養分測定法委員会編. 土壌養分分析法. 養賢堂. 東京.
- 福田秀雄. 1990. ガス状不飽和炭化水素の微生物生産と代謝. *化学と生物.* 28(8) : 506-514.
- Goodlass, G. and K.A. Smith. 1978a. Effect of pH, organic matter content and nitrate on the evolution of ethylene from soils. *Soil Biol. Biochem.* 10 : 193-199.
- Goodlass, G. and K.A. Smith. 1978b. Effect of organic amendments on evolution of ethylene and other hydrocarbons from soil. *Soil Biol. Biochem.* 10 : 201-205.
- Goodlass, G. and K.A. Smith. 1979. Effects of ethylene on root extension and nodulation of pea (*Pisum*

- sativum* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Plant and Soil* 51 : 387-395.
- Graham, J.H. and L.W. Timmer. 1985. Rock phosphate as a source of phosphorus for vesicular-arbuscular mycorrhizal development and growth of citrus in a soilless medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(4) : 489-492.
- Halliwell, B. and J.M.C.Gutteridge. 1985. Free radicals in biology and medicine. 松尾光芳・嵯峨井勝・吉川敏一訳. 1988. 学会出版センター. 東京.
- 原田靖生. 1983. 家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方. 畜産の研究. 37(9) : 1079-1086.
- 橋元秀教. 1977. 有機物施用の理論と応用. 農文協. 東京.
- Hayano, K. 1977. Extraction and properties of phosphodiesterase from a forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 9 : 221-223.
- 林真二・脇坂幸雄. 1956. 果樹の湿害について 土壌酸化還元電位の低下及び有害還元物質との関係. 園学雑. 25 : 59-68.
- 本田親史. 1978. Tyurin 法. p.120-122. 土壌養分測定法委員会編. 土壌養分分析法. 養賢堂. 東京.
- Hunt, P.G., R.B. Campbell and R.A. Moreau. 1980. Factors affecting ethylene accumulation in a Norfolk sandy loam soil. *Soil Science* 129(1) : 22-27.
- Hunt, P.G., R.B. Campbell, R.E. Sojka and J.E. Parsons. 1981. Flooding-induced soil and plant ethylene accumulation and water status response of field-grown tobacco. *Plant and Soil* 59 : 427-439.
- Hunt, P.G., T.A. Matheny, R.B. Campbell and J.E. Parsons. 1982. Ethylene accumulation in southeastern coastal plain soils; soil characteristics and oxidative-reductive involvement. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 13(4) : 267-278.
- 今村博之・安江保民・岡本一・横田徳郎・後藤輝男・善本和孝. 1983. 木材利用の化学. p.151-160. 共立出版. 東京.
- 井の子昭夫・原田靖生. 1980. 堆きゅう肥等有機物の品質に関する調査の実施について. 肥料時報. 27 : 2-16.
- 猪崎政敏. 1986. 果樹園芸. p.121-161. 地球社. 東京.
- 井上吉之・飯塚義富. 1957. タンニンの定量法. p.1092-1093. 京都大学農学部農芸化学教室編. 農芸化学実験書第3巻. 産業図書. 東京.
- 石井孝昭・岩崎一男・水谷房雄・日野昭・天野勝司. 1981. 土壌通気がカキならびにカンキツ成木樹の生長, 養分吸収, 果実発育・品質および耐凍性に及ぼす影響. 愛媛大学農学部紀要. 25(2) : 1-12.
- Ishii, T., K.Fusao, F.Mizutani, K. Iwasaki and K. Kadoya. 1982. Ethylene evolution in the rhizosphere of grapevines, and growth disorders as affected by ethylene. *Mem. Fac. Edu., Ehime Univ., Series III Natural Science* 2 : 97-111.
- 石井孝昭・門屋一臣・渡部潤一郎・秋好広明・天野勝司. 1986. カンキツ樹における湿害と有機物施用. 愛媛大学農学部農場報告. 7 : 4-50.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1987. 有機物施用による果樹の生育障害の事例とエチレン生成. 園学要旨. 昭52春 : 64-65.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1989. V A 菌根がカンキツ実生の生育並びに炭水化物含量に及ぼす影響. 園学雑. 58 (別1) : 30-31.
- 石井孝昭・辰巳賢二・門屋一臣. 1989 a. 土壌管理法の相違がカンキツ樹の菌根形成に及ぼす影響. 園学雑. 58 (別1) : 32-33.
- 石井孝昭・辰巳賢二・門屋一臣. 1989 b. カンキツ園における V A 菌根菌の分布とその生態特性. 愛媛大学農学部紀要. 34(1) : 65-71.
- 伊藤秀文. 1980. カリウム・カルシウム・マグネシウム. p.73-86. 作物分析法委員会編. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂.
- 岩切徹・松瀬政司. 1982. ミカン園における有機物施用の成功と失敗. 農業および園芸. 57(9) : 1145-1150.
- 岩切徹・松瀬政司・小野忠. 1986 a. 果樹園における有機物施用効果の解析 (第1報) 佐賀県下における施用有機物の性状. 佐賀果試研報. 9 : 1-9.
- 岩切徹・松瀬政司・小野忠. 1986 b. 果樹園における有機物施用効果の解析 (第2報) 有機物施用園の実態調査. 佐賀果試研報. 9 : 11-22.
- 岩切徹・松瀬政司・小野忠. 1986 c. 果樹園における有機物施用効果の解析 (第3報) おが屑入り牛ふん堆肥

- 施用によるウンシュウミカン樹の収量・果実品質・樹体生長への影響と樹体への窒素吸収. 佐賀果試研報. 9 : 23-45.
- 岩本敦人. 1985. 温州ミカン園に対するきゅう肥の施用効果. 今月の農薬. 6 : 47-52.
- 岩波洋造. 1986. 植物のにおい. p. 79-92. 奥田光郎・田伏淳一郎・渡辺光太郎編. 生物の機構. 弘学出版. 東京.
- 岩崎一男・小林章. 1964. 土壤 O_2 がモモ, ミカン及びカキの生育と養分吸収に及ぼす影響. 農業および園芸. 39(1) : 55-56.
- Iwasaki, K. 1972. Studies on growth and nutrient absorption of citrus trees as affected by soil oxygen concentrations. Mem. Coll. Agr. Ehime Univ. 17(1) : 1-12.
- Iwasaki, K. 1975. Flowering, fruit set, development, size and quality of satsuma mandarin as affected by oxygen content of soil atmosphere. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 44(3) : 228-234.
- 岩崎一男・水谷房雄・石井孝昭. 1981. 土壌と樹体生長. p. 42-46. 門屋一臣編. 急傾斜地柑橘園の合理的管理体系の確立に関する総合的研究. 文部省科学研究費昭和54, 55年度総合研究(A). 愛媛大学.
- Jackson, M.B. and D.J. Campbell. 1975. Movement of ethylene from roots to shoots, a factor in the responses of tomato plants to water-logged soil conditions. New Phytol. 74 : 397-406.
- Jackson, M.B. 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. Ann. Rev. Plant Physiol. 36 : 145-174.
- Johnson, C.R. and R.L. Hummel. 1985. Influence of mycorrhizae and drought stress on growth of *Poncirus* × *Citrus* seedlings. HortScience 20(4) : 754-755.
- 門屋一臣・桐野直・薬師寺克直・芳野茂樹・近泉惣次郎・松本和夫. 1980. カンキツ根の根毛観察. 農業および園芸. 55(3) : 445-446.
- Karnovsky, M.J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. J. Cell Biol. 27 : 137A-138A.
- Kates, M. 1975. Techniques of lipidology. 山川民夫・斎藤国彦・林陽訳. 東京化学同人. 東京.
- 加藤博美・早川岩夫・山川芳男・田中宏幸. 1980. 家畜ふん尿のコンポストに関する研究(第4報) おがくず入り豚ふん堆肥の熟成過程と土壤微生物相に及ぼす影響の変化. 愛知農総試研報. 12 : 380-385.
- 川口桂三郎・小島懋. 1965. 塩酸, 塩化物中の塩素. p. 104-107. 京都大学農学部農芸化学教室編. 農芸化学実験書第1巻. 産業図書. 東京.
- 河田弘. 1981. パーク(樹皮)堆肥 製造・利用の理論と実際. 博友社. 東京.
- Kays, S.J., C.W. Nicklow and D.H. Simons. 1974. Ethylene in relation to the response of roots to physical impedance. Plant and Soil 40 : 565-571.
- Kays, S.J. and C.W. Nicklow. 1974. Plant competition: Influence of density on water requirements, soil gas composition and soil compaction. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99(2) : 166-171.
- 木内和美. 1980. 全窒素. p. 63-69. 作物分析法委員会編. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂.
- 小林章. 1972. 果樹園芸総論. p. 115-124. 養賢堂. 東京.
- 小林紀彦. 1988. *Gigaspora margarita* 胞子の発芽に影響を及ぼす要因について. 土と微生物. 31 : 13-28.
- Konings, H. and M.B. Jackson. 1979. A relationship between rates of ethylene production by roots and the promoting or inhibiting effects of exogenous ethylene and water on root elongation. Z.Pflanzenphysiol. 92 : 385-397.
- 小西茂毅・若澤秀幸・青山仁子・中山元弘・山下春吉. 1986. 花粉管生長テストによる堆肥腐熟度検定法とその特徴. 土肥誌. 57(5) : 456-461.
- Krikun, J. and Y. Levy. 1980. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. Phytoparasitica 8(3) : 195-200.
- 熊田恭一. 1981. 土壌有機物の化学. p. 268-276. 学会出版センター. 東京.
- Labanauskas, C.K., L.H. Stolzy, and M.F. Handy. 1972. Concentrations and total amounts of nutrients in citrus seedlings (*Citrus sinensis* Osbeck) and in soil as influenced by differential soil oxygen treatments. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 : 454-447.
- Lieberman, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. Ann. Rev. Plant Physiol. 30 : 533-591.
- Lunt, O.R. and B. Clark. 1959. Horticultural applications for bark and wood fragments. Forest Prod. J. 9(4) :

- 39A-42A.
- Lynch, J.M. and S.H.T. Happer. 1980. Role of substrates and anoxia in the accumulation of soil ethylene. *Soil Biol. Biochem.* 12 : 363-367.
- Lynch, J.M. 1983. *Soil biotechnology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne.
- Maeda, M. 1954. The meaning of mycorrhiza in regard to systematic botany. *Kumamoto J. Sci. Series B* 3 : 57-84.
- 松本和夫. 1975. 柑橘園芸新書. p.106-107. 養賢堂. 東京.
- 陽 行・岡山清司・福士定雄. 1981. 有機物添加土壌から発生する含硫ガス成分. *土肥誌*. 52(5) : 375-380.
- 峯浩昭・小田真男. 1984 a. 温州ミカン園における表層及び下層土改良(第1報) オガクズ入鶏ふんの連用と深耕が根群分布に及ぼす影響. *大分柑試研報*. 2 : 51-68.
- 峯浩昭・小田真男. 1984 b. 温州ミカン園における表層及び下層土改良(第2報) オガクズ入鶏ふんの連用と深耕がミカンの生育・収量・品質に及ぼす影響. *大分柑試研報*. 3 : 21-48.
- 峯岸長利・久地井恵美. 1989. 杉パーク「クリプトモス」による洋ラン類の栽培. *園学雑*. 58(別1) : 466-467.
- 宮崎安貞. 1697. *農業全書*. p.94. 山田龍雄・飯沼二郎・岡光夫・守田志郎編. 1988. *日本農書全集第12巻*. 農文協. 東京.
- 水谷房雄. 1980. モモのいや地及び耐水性に関する研究. *愛媛大学農学部紀要*. 24(2) : 1-84.
- 森敏・木村郁彦. 1984. 堆肥の腐熟検定のためのガスセンサーの開発. *土肥誌*. 55(1) : 23-28.
- 森田義彦. 1955. 果樹園土壌の研究. 特に物理的組成及び土壌管理について. *農業技術研究所報告*. E 4 : 1-144.
- 中路正紹・村上義勝. 1989. 果樹園における根圏微生物の有効利用法の確立(2)熊本県下柑きつ園におけるVA菌根の実態調査. *農水省果樹試常緑樹試験研究成績概要集 土壌肥料編* : 169-170.
- 中野るり子・鍛塚昭三. 1979. 湛水土壌のエチレン生成・分解に関する研究(第4報) 植物体添加土壌のエチレンおよびメタンの生成. *土肥誌*. 50(1) : 61-66.
- 中山正義・志村清・太田保夫. 1973. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究(第4報) 根圏のエチレン処理がトマトおよびダイズの生長におよぼす影響. *日作紀*. 42(4) : 493-498.
- 中山正義・太田保夫. 1980 a. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究(第5報) 土壌のエチレン生成におよぼす水および堆肥の影響. *日作紀*. 49(2) : 359-365.
- 中山正義・太田保夫. 1980 b. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究(第6報) ダイズおよびイネ幼植物の根の生長におよぼす炭化水素とくにエチレンの影響. *日作紀*. 49(2) : 366-372.
- 中山正義・太田保夫. 1980 c. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究(第7報) 根圏土壌のエチレン生成と作物の生長. *日作紀*. 49(4) : 575-581.
- Nemec, S. 1979. Response of six citrus rootstocks to three species of *Glomus*, a mycorrhizal fungus. *The citrus industry* 5 : 5-14.
- 西尾道徳・藤原俊六郎・菅家文左衛門. 1988. 有機物をどう使いこなすか. 農文協. 東京.
- 小川眞. 1987. 作物と土をつなぐ共生微生物. 農文協. 東京.
- 岡部達雄. 1980. りん. p.69-72. 作物分析法委員会編. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂. 東京.
- 沖野一雄. 1981. 半導体ガス・センサ. *トランジスタ技術*. 4 : 1-16.
- Pazout, J., M. Wurst and V. Vancura. 1981. Effect of aeration on ethylene production by soil bacteria and soil samples cultivated in a closed system. *Plant and Soil* 62 : 431-437.
- Perret, P. und W. Koblet. 1979. Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Sauerstoff-Kohlendi-oxyl- und Äthylengengehalt der Bodenluft und dem Auftreten der Rebenschlorose. *Wein-Wiss.* 34 : 151-170.
- Perret, P. und W. Koblet. 1981. Nachweis erhöhter Äthylengehalte in der Bodenluft eines von der Verdichtungschlorose befallenen Rebberges. *Vitis* 20 : 320-328.
- Phillips, J.M. and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55(1) : 158-161.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Effects of flooding on soils. In: T.T. Kozlowski (ed.) *Flooding and plant growth*. p.9-45. Academic Press, London.

- Primrose, S.B. 1979. A review. Ethylene and agriculture: the role of the microbe. *J. Appl. Bacteriol.* 46 : 1-25.
- Rice, E.L. 1974. Allelopathy. p.243-244. p.260-262. Academic Press, New York, San Francisco, London.
- Rouser, G., G. Kritchevsky and A. Yamamoto. 1967. Column chromatographic and associated procedure for separation and determination of phosphatides and glycolipids. p.99-162. *In*: G.V. Marinetti (ed.) *Lipid chromatographic analysis*. Marcel Dekker, New York.
- Russell, E.W. 1973. Soil conditions and plant growth (10th edition). p.675-679. Longmans, London.
- 貞松光男・御厨秀樹. 1983. カンキツ樹における材質腐朽の多発事例. 佐賀果試研報. 8 : 137-139.
- 坂本辰馬. 1963. 温州ミカン園の土壤ならびにその管理に関する研究. 愛媛県果樹試験場研究報告. 3 : 1-155.
- 佐々木恭輔. 1982. 水田転換温州ミカン園土壤に関する研究. 山口農試特別報告. 27 : 1-131.
- 佐藤俊. 1976. きゅう堆肥の生産利用からみた木質物類(おがくず・樹皮)の特性. 畜産の研究. 30 : 227-230.
- 佐藤俊. 1978. 木質堆肥および家畜ふん尿木質きゅう堆肥製造の手引. 農業および園芸. 53 : 425-428.
- Sawada, S. and T. Totsuka. 1986. Natural and anthropogenic sources and fate of atmospheric ethylene. *Atmospheric Environment* 20(5) : 821-832.
- Shannon, L.M., E. Kay and J.Y. Lew. 1966. Peroxidase isozymes from horseradish roots I. Isolation and physical properties. *J. Biol. Chem.* 241 : 2166-2172.
- 下川敬之. 1969. 植物とエチレン - その生成と作用について -. 京都大学食糧科学研究報告. 32 : 56-85.
- 静岡県農業水産部農業技術課. 1982. 堆肥の簡易腐熟度判定法. p.1-66.
- Smith, A.M. 1976a. Ethylene production by bacteria in reduced microsites in soil and some implications to agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 8 : 293-298.
- Smith, A.M. 1976b. Ethylene in soil biology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 14 : 53-73.
- Smith, K.A. and R.S. Russell. 1969. Occurrence of ethylene, and its significance, in anaerobic soil. *Nature* 222 : 769-771.
- Smith, K.A. and P.D. Robertson. 1971. Effect of ethylene on root extension of cereals. *Nature* 234 : 148-149.
- Smith, K.A. and S.W.F. Restall. 1971. The occurrence of ethylene in anaerobic soil. *J. Soil Sci.* 22(4) : 430-443.
- Smith, K.A. and R.J. Dowdell. 1974. Field studies of the soil atmosphere. I. Relationships between ethylene, oxygen, soil moisture content, and temperature. *J. Soil Sci.* 25(2) : 217-230.
- Solbraa, K., M.D. Sant, A.R. Selmer-Olsen and H.R. Gislerod. 1983. Composting soft and hardwood barks. *BioCycle* 7 / 8 : 44-59.
- Still, S.M., M.A. Dirr and J.B. Gartner. 1976. Phytotoxic effects of several bark extracts on mung bean and cucumber growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(1) : 34-37.
- 杉浦明編. 1991. 新編果樹ハンドブック. p.48-61. 養賢堂. 東京.
- 杉浦銀治・古谷一剛. 1988. 木炭はよみがえる. p.166-176. 全国林業改良普及協会.
- Sutherland, J.B. and R.J. Cook. 1980. Effects of chemical and heat treatments on ethylene production in soil. *Soil Biol. Biochem.* 12 : 357-362.
- 高木信雄. 1988. 伊予柑のすべて. p.151-185. 愛媛青果連. 愛媛.
- 高井康雄・三好洋. 1977. 土壤通論. p.67-69. 朝倉書店. 東京.
- 田村太郎. 1980. 炭水化物. p.277-280. 作物分析法委員会編. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂. 東京.
- 丹原一寛. 1969. 愛媛県における柑橘園土壤の物理的性質に関する研究. 愛媛農試研報. 9 : 1-108.
- Tang, Z., Q. Zhang and S. Hou. 1984. The effect of mycorrhizal fungus on phosphate uptake by citrus in red earth. *Acta Mycologia Sinica* 3(3) : 170-177.
- 徳橋伸. 1978. オガクズ入り家畜ふん堆肥窒素の肥効に関する研究. 高知農林研報. 10 : 5-16.
- Van Cleemput, O. and A.S.El-Sebaay. 1985. Gaseous hydrocarbons in soil. *Advances in Agronomy* 38 : 159-181.
- 山尾正実. 1985. オガ屑堆肥施用土壤中のフェノール化合物の分析. 徳島果試研報. 13 : 17-20.
- 安資農夫. 1906. 堆肥肥料製造使用方法書. p.172-173. 熊沢喜久雄編. 1984. 明治農書全集第10巻. 東京.
- 吉田重方. 1975. オガクズ堆肥施用による作物の生育障害とその発生原因. 農業および園芸. 50 : 295-300.