

キュウリの自家中毒とその制御に関する研究

Studies on Autotoxicity and its Control of Cucumber.

浅 尾 俊 樹

1999

# 目 次

第 1 章	緒 論	1
第 2 章	養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生とその品種間差異	6
第 3 章	養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生とその原因物質の検出	15
第 1 節	キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復	15
第 2 節	キュウリ ‘聖護院青長節成’ 根の滲出物に含まれる自家中毒原因物質の同定とその物質がキュウリの生育および収量に及ぼす影響	36
第 3 節	キュウリ ‘PI 169391’ 根の滲出物に含まれる自家中毒原因物質の同定とその物質が生育に及ぼす影響	54
第 4 章	キュウリの接ぎ木による自家中毒の回避	61
第 5 章	キュウリの培養液の溶存酸素濃度が自家中毒に及ぼす影響と活性炭添加による回復	72
第 6 章	総合考察	79
	摘要	85
	引用文献	89

Summary ..... 99

本論文の基礎となった学会誌公表論文リスト ..... 105

目次

1

2

## 第1章 緒論

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) は、ヒマラヤ山脈の南部山麓のシッキム地方が原産地であろうといわれている (藤井, 1980; 青葉, 1993; 藤枝, 1993)。また、日本のネパールヒマラヤ学術探検隊もこの地方でキュウリの野生種 (*Cucumis sativus* var. *Hardwickii* Kitamura) を発見した (Imazu・Fujishita, 1956)。日本への来歴は10世紀以前とされているが、江戸時代まではあまり重要視されなかった (青葉, 1991)。当時のキュウリは華南型のもので、本来春蒔きで草勢が強く、果実は太く短く濃緑のものが多く、黒いほのものがほとんどであったが、華北型が導入されると在来種と交雑され、夏、秋キュウリの栽培の発展に貢献した (粕川, 1980)。第二次大戦前のキュウリは、典型的な夏野菜で漬物としての消費が主であったが、戦後食生活が洋風化していく過程で、野菜をサラダその他の形の生で食べる習慣が生まれ、キュウリもその中の主要な位置を占めるようになった (大久保, 1995)。さらに、品種改良、作型の分化、施設栽培の普及、栽培技術の向上等により、需要の拡大に呼応した安定的な周年供給体制が確立された。品種改良の中では、苦みのないキュウリの作出が特筆すべきものの一つである。野生のキュウリはもともと苦く、ククルビタシンといわれる苦味物質が含まれているからである (新井, 1988)。また、白色の粉状のものがキュウリの果皮表面を覆うことがあり、これを「ブルーム」と呼ぶ。この白色粉の主成分は、ケイ素とカルシウムであるが、消費者の受けが悪く、今では、カボチャ台木を使って「ブルームレス」キュウリを栽培している (板木, 1993; 山中・坂田, 1993, 1994)。

以上のように、品質の向上や収量の増大が図られ、現在では、主要野

菜の中で、作付け面積 17000ha(野菜の中で 17 位)および収穫量 823000t (4 位)となり(農林水産省統計情報部, 1998), そのうちガラス室・ハウス等の施設では 5374ha(4 位)である(農林水産省農産園芸局, 1998)が, 最近, 減少傾向がみられる. その原因として, 栽培農家数の減少等の社会的な原因も考えられるが, 作物を連作することにより収量が次第に減少する連作障害も問題になっていると考えられる.

野菜の連作障害は病害虫によるものが多いが, 必要な養分の減少および塩類集積などの忌地現象あるいは原因不明なものも含まれ, キュウリでも同様な報告がみられる(高橋, 1984). 土屋(1990)は野菜の忌地現象のひとつとしてアレロパシーについて報告している. 沼田(1977)は, セイタカアワダチソウの研究の中でアレロパシーを他感作用と訳し, アレロパシーについて紹介している. アレロパシーについては多くの定義があるが(Molisch, 1937; Grümmer, 1955; Whittaker・Feeny, 1971; Rice, 1974; 藤井・安田, 1987), 植物体からのアレロパシーの経路として, 葉からの浸出物, 揮発性物質, 植物体の残渣および根からの滲出物が考えられている(Turkey, 1969). 果樹の忌地の原因としてアレロパシーの関与が指摘されているものとして, リンゴ(Börner, 1959, 1960; 1961), モモ(平野, 1955, 1957; 初田ら, 1960; 平野・森岡, 1964; 平野・中井, 1965; 水谷ら, 1979a, 1979b)およびイチジク(平井・平野, 1949a, 1949b; 平井・西谷, 1951, 1953; 平井ら, 1952; 初田ら, 1960; 細見・内山, 1998)がある. 野菜の中では, 収穫残渣の分解物等による自作物の生育阻害作用としてのアレロパシーが働いていると推定されているものとして, アスパラガス(Yang, 1982, 1985; Young, 1984, 1986; Young・Chou, 1985; Shafer, 1986), スイカ(初田ら, 1961; 土屋・大野, 1989), トマ

ト（農技研土壤微生物研，1977；水谷，1984；Yu・Matsui，1993a，1993b），ナス（滝嶋・林，1959a；林・滝嶋，1959；Lee et al.，1967），エンドウ（滝嶋・林，1959b；平吉ら，1959，1962；二井内・興津，1965；初田ら，1963；Hatsuda et al.，1965；土屋・大野，1989；興津，1981；高橋，1981），サトイモ（宮路・白沢，1979；続ら，1995）およびミツバ（甲田ら，1977，1980）があげられている。しかし，キュウリについては十分解明されていない。キュウリのアレロパシー能については，雑草抑制を目的に Putnam・Duke（1974）が調査し，雑草抑制作用の強いキュウリを選抜した。また，Lockerman・Putnam（1979，1981a，1981b）は抑制の強いキュウリを用いて，圃場における雑草抑制作用，養分等における雑草との競合およびキュウリ各部のアレロパシー能について確認した。

以上より，キュウリには，植物体から放出される化学物質が自作物の生育を阻害する作用としてのアレロパシー，すなわち自家中毒作用が働いている可能性が考えられる。

キュウリはトマトとともに施設栽培における主要作目であるが，養液栽培での栽培面積は比較的少ない。養液栽培でのキュウリは，成長が速く，収穫開始期が早まる一方，収穫は短期間に集中するため，草勢の衰えは速く，後期の収量が低下することが知られている（佐々木，1986，1989）。その原因として，溶存酸素不足等があげられているが，まだ不明な点がある。キュウリの養液栽培での収量低下にアレロパシーが関与していることを Yu ら（1994）は示唆している。

一方，オランダで環境汚染を減少させるための閉鎖系養液栽培システムの研究が進められており（Van Os，1995），日本でも培養液をリサイクルする栽培方法を確立することが必要とされている。閉鎖系養液栽

培では、培養液を周囲の環境に排出せずに循環させ、廃液を再利用することが考えられている (Ruijs, 1994) . その場合、培養液中の無機養分の再調整や殺菌灯等による病原菌の減少は可能である (Benoit · Ceustermans, 1993 ; 松尾, 1993 ; 草刈, 1998a, 1998b, 1998c) が、植物体から放出される生育抑制物質を除去することは困難であり、培養液中に抑制物質が蓄積する可能性が考えられる . 一般的に水耕栽培の培養液は 1 作の中で全量交換することはなく、水や肥料分を追加する . このような栽培では、根からの滲出物が培養液中に蓄積し、キュウリの生育を抑制する (自家中毒) 可能性が考えられる .

そこで、本研究では、キュウリの自家中毒の発生とその品種間差異について検討し (第 2 章) , キュウリの自家中毒作用について明らかにするとともに、その原因物質を同定し、活性炭添加による回避について検討する (第 3 章) . また、接ぎ木の利用による自家中毒の回避 (第 4 章) および溶存酸素量が自家中毒に及ぼす影響について検討する (第 5 章) .

## 謝 辞

本研究の計画，実施およびそのとりまとめにあたり，島根大学生物資源科学部細木高志教授ならびに太田勝巳助教授に御指導，御助言を賜った。また，同学部稲葉久仁雄名誉教授には様々な励ましを頂いた。ここに厚く感謝の意を表します。

筆者のかつての恩師であり，現在京都大学農学部におられる矢澤 進教授には研究を始めた頃から現在に至るまで，常に研究上の御指導を仰ぎ，有意義な御助言を頂いた。ここに厚く感謝します。

実験は主に島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センターで行い，その実施にあたっては，同センター長伊藤憲弘教授，農業生産科学部門長植田尚文教授，青木宣明教授，福田 晟助教授，中野尚夫助教授，（故）宇津田嘉弘講師，山岸主門助手ならびに内藤 整（前）助手をはじめ，同センターの技官各位，蔬菜・花卉園芸研究室の専攻生諸氏の御理解，御協力を頂いた。特に，遠藤啓太氏，梅山元正氏，大谷紀之氏，清水法子氏，冨田浩平氏および大場友美子氏には多大な御協力を頂いた。

さらに，島根大学生物資源科学部松井佳久教授ならびに鳥取大学連合大学院学生 M. H. R. Pramanik 氏に GC/MS 法による分析に関して多大な御援助頂いた。ここに記して，深く感謝の意を表する。

## 第2章 養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生と その品種間差異

Putnam・Duke (1974) は、キュウリの登録種 526 種類を用いて、イヌガラシとキビを対象にアレロパシー能の有無を検定している。その結果、キュウリからの滲出物質が対象植物の生育を強く抑制したものが 1 種類、中程度抑制したものが 25 種類あった。キュウリの雑草抑制（他家中毒）に関するアレロパシー能の品種間差異が明らかになり、その原因としてキュウリから放出される抑制物質が品種により違いがあるものと考えられた。また、閉鎖系養液栽培では植物体から放出される抑制物質が培養液中に蓄積することにより、植物体自身の生育が抑制される可能性があり、その自家中毒においてもキュウリの品種間差異がみられる可能性が考えられる。

本実験では、キュウリを水耕栽培した後の培養残液に含まれるキュウリ根からの生育抑制物質のバイオアッセイをキュウリ幼苗を用いて行い、その品種間差異について検討した。

### 材料および方法

#### 1. 培養残液が同一品種のキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

バイオアッセイに用いたキュウリ品種は、‘アンコール I’、‘青大’、‘北進’、‘長日落合 2 号’、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’とした。‘PI 169391’はトルコ産の野生種であり、雑草抑制のアレロパシーを示す系統である (Lockerman・Putnam, 1979)。他の品種は栽培用として用いられてきたものである。

バイオアッセイの方法として、黒色ビニルマルチで根部だけ覆った

300ml フラスコに培養液を 400ml を入れ、播種 1 週後のキュウリ幼苗をウレタンで支持した（第 2-1 図）。蛍光灯付き培養装置で 25℃，74～81  $\mu\text{mol} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ，16 時間日長で 2 週間バイオアッセイを行った。バイオアッセイ中，培養残液への通気および培養残液の補給と調整を行わなかった。各品種とも 20 株ずつ供試し，最大葉長，最大葉幅，地上部の生体重および乾物重について調査した。

バイオアッセイに用いた培養残液は，同一品種を収穫まで圃試処方（Namiki, 1993）第 1 例 75%濃度標準液（以下，標準液とした）で 1 作栽培（ガラス温室内において，容量約 60liter のプラスチックコンテナに培養液 50liter を入れ，栽植本数を 3 本とした）したものを用いた。ただし，培養残液については，栽培中に減少した N および K をそれぞれイオンメーター（カーディ，C-141，C-131，HORIBA）で，P を比色法で，Ca，Mg および Fe を原子吸光法で測定し，それぞれ標準液と同じ濃度になるように調整した。対照区として，標準液の新しい培養液を用いた。

## 2. ‘聖護院青長節成’ 培養残液が他の品種の幼苗の生育に及ぼす影響

バイオアッセイに用いたキュウリ品種は，栽培品種 21 種，野生種の‘PI 169391’ および *Cucumis sativus* var. *Hardwickii* K. とした。なお，培養残液は，実験 1 より最も抑制程度が顕著であった‘聖護院青長節成’を夏季（6/30～9/14）に収穫まで，標準液で 1 作栽培したのものを用いた。なお，他の実験方法は，実験 1 と同様に行った。

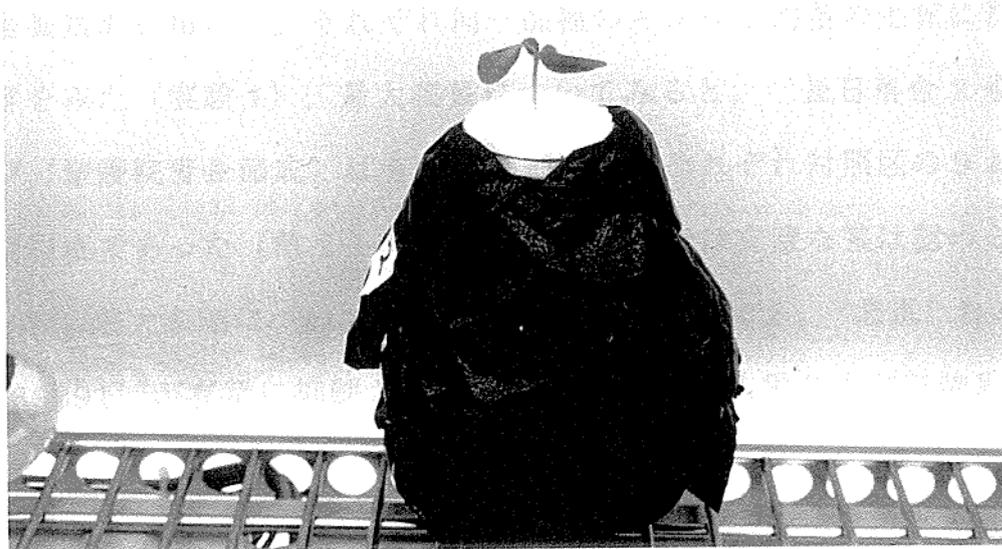


Fig. 2-1. Bioassay of nutrient solution with cucumber seedling (one week after the sowing).

## 結 果

### 1. 培養残液が同一品種のキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

‘アンコール I’， ‘青大’， ‘北進’， ‘長日落合 2 号’， ‘聖護院青長節成’ および ‘PI 169391’ をそれぞれ 1 作水耕栽培した後の培養残液を用いて，それぞれ同一品種のキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響をみた（実験 1）．最大葉長についてみると，‘長日落合 2 号’ および ‘聖護院青長節成’ は有意に抑制され，それぞれ対照区の 9 および 7 割程度であった（第 2-1 表）．他の 4 品種では有意な差は認められなかった．最大葉幅についてみると，上記 2 品種に加え，‘北進’ および ‘PI 169391’ が有意に抑制された．シュートの生体重および乾物重についてみると，‘聖護院青長節成’ および ‘PI 169391’ では抑制されたが，他の品種では有意な差がなかった．

### 2. ‘聖護院青長節成’ 培養残液が他の品種の幼苗の生育に及ぼす影響

つぎに実験 1 より最も抑制程度が顕著であった ‘聖護院青長節成’ の培養残液を用いてバイオアッセイを行った結果，最大葉長についてみると，最も抑制されたのは ‘アンコール I’（第 2-2 図）および ‘余蒔’ で，対照区の 4 割程度であった（第 2-2 表）．抑制が少なかったのは ‘PI 169391’ および ‘青大’ で，8 割程度であった（第 2-3 図）．他の品種は 2～5 割程度の抑制がみられた．また，最大葉幅についても同様の傾向がみられた．また，シュートの生体重についてみると，最も抑制されたのは ‘アンコール I’ および ‘貴婦人ニュータイプ’ で対照区の 5 割程度あった．対照区と有意な差が認められなかったのは ‘青大’ のみであった．他の品種の抑制程度は対照区の 6～8 割程度であった．また，

乾物重についても同様な傾向がみられた。

Table 2-1. Effects of the nutrient solution used once for cucumber culture on the seedling growth of the same cultivars<sup>z</sup>

Cultivar	Maximum leaf length	Maximum leaf width	Fresh wt of shoot	Dry wt of shoot
'Encore I'	99 <sup>NSy</sup>	102 <sup>NS</sup>	104 <sup>NS</sup>	100 <sup>NS</sup>
'Aodai'	108 <sup>NS</sup>	105 <sup>NS</sup>	106 <sup>NS</sup>	109 <sup>NS</sup>
'Hokushin'	97 <sup>NS</sup>	93 <sup>*</sup>	91 <sup>NS</sup>	89 <sup>NS</sup>
'Chojitsu-ochiai 2 gou'	89 <sup>**</sup>	93 <sup>**</sup>	96 <sup>NS</sup>	100 <sup>NS</sup>
'Shogoin-aonaga-fushinari'	71 <sup>**</sup>	77 <sup>**</sup>	79 <sup>**</sup>	81 <sup>**</sup>
'PI 169391'	95 <sup>NS</sup>	92 <sup>*</sup>	87 <sup>**</sup>	86 <sup>*</sup>

<sup>z</sup> Values of growth of cucumber seedlings in new nutrient solution are calculated as 100 (control).

<sup>y</sup> Significant at 5% level (\*), 1% level(\*\*) and not significant (NS) by T-test.

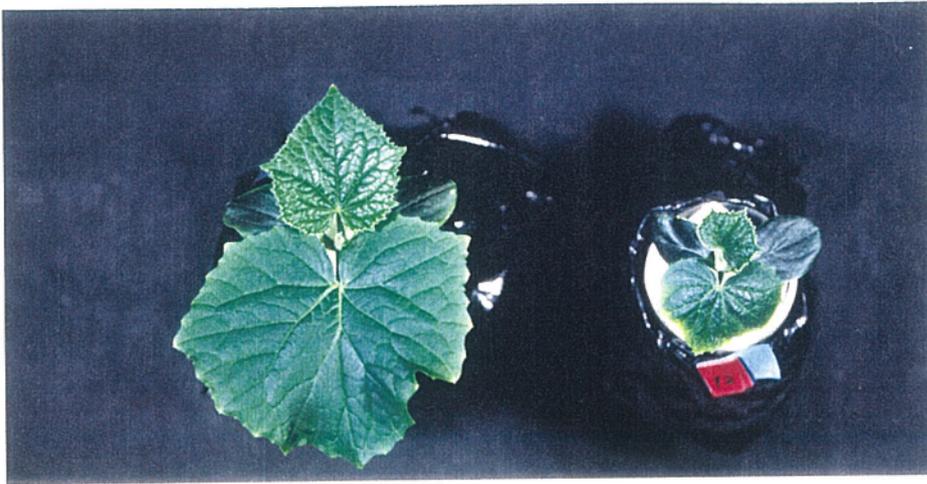


Fig. 2-2. Bioassay of nutrient solution once used for cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' with cucumber 'Encore I' seedlings (2 weeks after the start of bioassay). A plant bioassayed with fresh solution (control, left) and a plant bioassayed with solution used once (right).

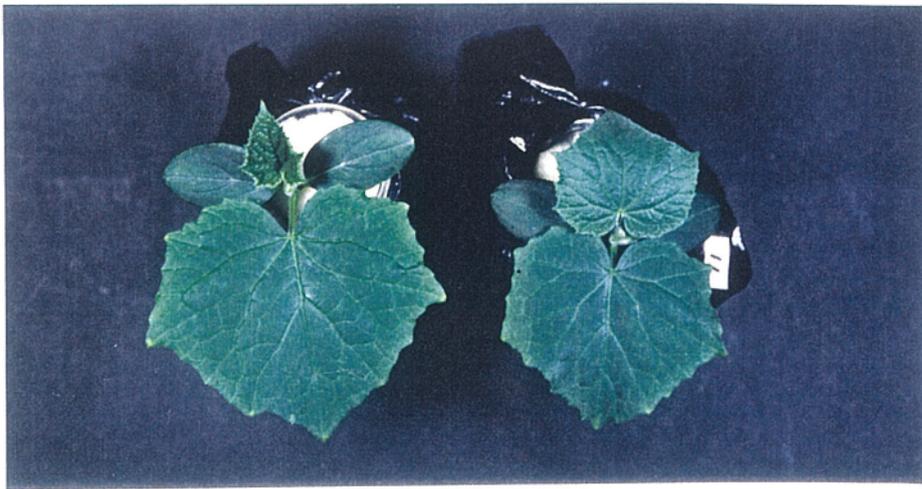


Fig. 2-3. Bioassay of nutrient solution once used for cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' with cucumber 'Aodai' seedlings.

Table 2-2. Effects of the nutrient solution used once for cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' culture on the seedling growth of various cucumber cultivars<sup>z</sup>

Group of cultivar	Cultivar	Maximum leaf length	Maximum leaf width	Fresh wt of shoot	Dry wt of shoot
Hanjiro	'Sagami-hanjiro-fushinari'	77 **y	76 **	84 *	86 *
Ao-fushinari	'Kurume-ochiai H gata'	72 **	79 **	83 **	83 *
"	'Shogoin-aonaga-fushinari'	71 **	77 **	79 **	81 **
Aonaga	'Aodai'	80 **	88 *	93 NS	89 NS
Jibai	'Shimoshirazu-zibai'	79 **	80 **	82 **	88 *
Harugata-zasshu	'Chojitsu-ochiai 2 gou'	64 **	65 **	72 **	67 **
"	'Kanazawa-buto'	65 **	70 **	71 **	74 **
"	'Kaga-aonaga-fushinari'	64 **	62 **	76 **	71 **
"	'Sharp I'	75 **	71 **	76 **	77 **
"	'Hokkyoku 2 gou F gata'	69 **	64 **	76 **	76 *
Natsugata-zasshu	'Encore I'	38 **	41 **	46 **	47 **
"	'Hokushin'	67 **	69 **	68 **	67 **
"	'Kifujin-new-type'	61 **	55 **	55 **	52 **
"	'Nankyoku 3 gou'	72 **	77 **	75 **	74 **
"	'Tokiwa-natsufushi'	76 **	80 **	76 **	65 **
"	'Yomaki'	41 **	40 **	64 **	62 **
Kahoku	'Suuyou'	63 **	76 **	79 **	78 *
"	'Chikanari-suuyou 2 gou'	61 **	68 **	83 *	75 *
"	'Asakaze'	71 **	70 **	72 **	69 **
"	'Santou-shuuyou 2 gou'	65 **	64 **	79 **	85 *
Pickle	'Mogami'	78 **	86 **	83 *	82 *
Wild	'Hardwickii'	48 **	51 **	77 **	80 *
"	'PI 169391'	83 **	87 *	82 *	79 **

<sup>z</sup> Values of growth of cucumber seedlings in new nutrient solution are calculated as 100 (control).

<sup>y</sup> Significant at 5% level (\*), 1% level(\*\*) and not significant (NS) by T-test.

## 考 察

実験 1 の結果より，‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’はそれぞれ同一品種の培養残液（以下，自家液とした）によりキュウリ幼苗の生育が抑制されたが，他の品種では抑制されなかったと考えられる．両品種とも根から出される抑制物質が多いか，それとも抑制物質に対する感受性が高いかは不明であるが，自家液による生育抑制には品種間差異が認められた．

また，実験 2 の結果より，‘聖護院青長節成’の培養残液に含まれる生育抑制物質に対する感受性には品種間差異があり，‘アンコール I’は最も感受性が高く，‘青大’は最も低かった．なお，これらの結果と藤枝（1972）が分類した品種群との関係は認められなかった．

実験 1 および 2 の結果を合わせて考えると，‘PI 169391’のように他の品種からの生育抑制物質に対して感受性が中程度で，自家液で生育抑制を示すタイプ，‘アンコール I’のように感受性は高いが，自家液で生育抑制を示さないタイプ，‘北進’および‘長日落合 2 号’のように感受性は中程度であるが，自家液で生育抑制を示さないタイプおよび‘青大’のように感受性が低く，かつ自家液で生育抑制を示さないタイプに分かれた．

以上より，キュウリ根からの生育抑制物質による自家中毒に品種間差異がみられ，閉鎖系養液栽培では，自家液による生育抑制が少ない品種が適していると考えられた．また，その場合の品種選定の手段として，本研究で行ったキュウリ幼苗を用いたバイオアッセイが有効であり，その際，直接自家液を用いる方法が適していると思われる．

## 第3章 養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生と

### その原因物質の検出

2.0 ds

#### 第1節 キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復

第2章より、自家中毒の発生に品種間差異が認められ、培養液を排出せずにそのまま再利用する閉鎖系養液栽培では、自家液による収量や生育の抑制が少ない品種が適していると考えられた。

一方、キュウリを養液栽培すると、成長が速く、収穫開始期が早まるが、収穫は短期間に集中するために草勢の衰えが速く、後半の収量が低下することが知られている（佐々木，1986，1989）。

そこで、自家液で生育抑制を示した品種および抑制を示さなかった品種を用い、キュウリの養液栽培での生育後半の収量低下が培養液の非交換により引き起こされることを明らかにするとともに、その緩和方法について検討した。

#### 材料および方法

##### 1. 培養液の交換の有無がキュウリの生育、開花および収量に及ぼす影響

供試品種として、‘北進’，‘長日落合2号’，‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’を用いた（第3-1図）。

栽培は、島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター内の約100 m<sup>2</sup>のガラス室で行った。播種は1995年3月3日、1セル容量約45mlの51穴セルトレイで行い、用土はパーミキュライトを用いた。本葉出葉期にキュウリ苗（第3-2図）をウレタン（縦23mm，横23mm，

高さ 27mm) 4 個で固定し, 容量約 60liter のコンテナに移植し, 育苗した. 培養液は園試処方標準液 (Namiki, 1993) に準じ希釈調整し, EC 2.0 dS · m<sup>-1</sup>とした (以下, 基準液とした). コンテナに培養液を 50liter 入れ, エアーポンプ (空気送風量: 3.8 liter · min<sup>-1</sup>) で連続通気した. 育苗時の栽植本数は, 1 コンテナ当たり 18 株とした. 定植は 4 月 1 日に本葉 3 枚に達した時に行った. 培養液は育苗時と同様とし, 栽植本数は 1 コンテナ当たり 3 本とした. 各処理区とも供試数を 9 株とした.

2 週毎に培養液を全量交換する区 (交換区) および 2 週毎に減少した培養液を追加し, 50liter に合わせ, その際 N, P, K, Ca および Mg を基準液と同じ濃度に調整する区 (追加区) を設けた. 培養液の EC および pH は週 1 回測定した. EC は交換区で 1.1~2.2 dS · m<sup>-1</sup>, 追加区で 1.6~2.5 dS · m<sup>-1</sup>で推移した. また, 両区とも pH は 6.0~7.7 であった. 'PI 169391' は 30 節, 他の品種は 15 節で主枝の摘心を行った. 1 次側枝および 2 次側枝はそれぞれ 1 節で摘心を行った. 収穫は開花 10~14 日後で, 果実長約 20cm に達した時に行った. なお, 'PI 169391' については果実長約 10cm に達した時に収穫を行った. 雄花および雌花の開花開始日, 開花雌花数, 実験終了時の株の生育および果実収量について調査した. なお, 実験中の日平均気温は 16.3~25.4 °C, 日平均水温は 17.8~24.1 °Cで推移した.



Fig. 3-1. Fruits of cucumber 'PI 169391' ,  
'Shogoin-aonaga-fushinari' , 'Hokushin' and  
'Chojitsu-ochiai 2 gou' (from left to right).



Fig. 3-2. Cucumber seedlings (one week after sowing).

## 2. 前作の残液がキュウリの生育，開花および収量に及ぼす影響

供試品種として，実験1と同じものを用いた．播種は1995年6月23日に行い，定植は7月14日に本葉3～4葉に達した時に行った．

実験1と同様に交換区および培養残液を用いた追加区を設け，追加区で調整する無機養分としてFeを新たに加えた．培養残液は，前作の追加区の残液（N，P，K，Ca，MgおよびFeを基準液と同じ濃度に調整）を用いた．また，培養液のECは交換区で $1.1\sim 2.4\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ，追加区で $1.4\sim 2.5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で推移した．また，両区ともpHは $5.6\sim 7.6$ であった．‘PI 169391’は主枝を20節で，側枝については，1次側枝を2節で摘心した．なお，追加区では育苗期から培養残液を用いた．他については前作に準じた．調査項目は前作と同様であった．なお，実験中の日平均気温は $24.4\sim 31.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，日平均水温は $24.1\sim 32.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ で推移した．

## 3. 培養液の交換の有無および活性炭添加がキュウリの生育，開花および収量に及ぼす影響

供試品種として，‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’を用いた．播種は1996年2月19日，定植は3月15日に本葉3葉に達した時に行った．

実験1と同様に交換区，追加区および追加区に活性炭を添加する区（活性炭区）を設けた．無機養分の調整は前作と同様で，活性炭（粒状白鷲GH2c4/8，武田薬品）は，1コンテナ当たり200g添加し，2週毎に交換した（第3-3図）．また，活性炭によりキレート鉄が吸着されるので（Yuら，1993），2～3日毎に鉄源として硫酸第一鉄を1コンテナ当たり0.75g添加した．また，培養液のECは交換区で $1.3\sim 2.5\text{ dS}\cdot$

$\text{m}^{-1}$ , 追加区で  $1.6\sim 2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  および活性炭区で  $1.6\sim 2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  で推移した。すべての区で pH は  $5.1\sim 7.6$  であった。

他については、前作に準じた。調査項目は、前作と同様で、新たに週毎の収穫果実数を加えた。なお、実験中の日平均気温は  $15.1\sim 28.6 \text{ }^\circ\text{C}$ , 日平均水温は  $16.0\sim 26.0 \text{ }^\circ\text{C}$  で推移した。

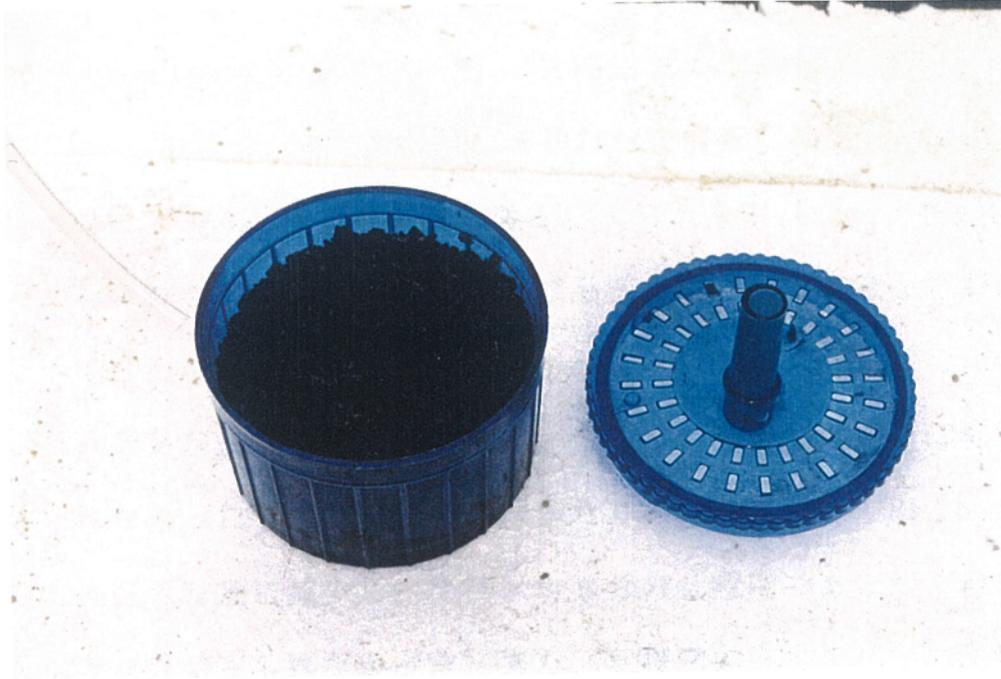


Fig. 3-3. Air filter with activated charcoal.

## 結 果

### 1. 培養液の交換の有無がキュウリの生育、開花および収量に及ぼす影響

実験終了時の生育について、主枝長および側枝長でみると、‘PI 169391’の場合、交換区に対して追加区で有意に抑制が認められた（第3-1表）。他の品種では有意な差が認められなかった。主枝、側枝、1葉重および根の乾物重は、すべての品種で処理間に有意な差がみられなかった。

雄花および雌花の開花開始日は、すべての品種で処理間に有意な差がみられなかった（第3-2表）。株当たりの雌花数は、‘PI 169391’では追加区で有意に減少し、交換区の3分の2程度であった。他の品種では有意な差がみられなかった。また、収穫開始日もすべての品種で処理間に有意な差がみられなかった。株当たりの収穫果実数は、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’で追加区の方が有意に減少した。他の品種では有意な差がみられなかった。株当たりの果実収量は、‘聖護院青長節成’では追加区で交換区の3分の2に減少し、‘PI 169391’で半分程度であった。なお、観察では‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’で果実の子房の肥大が悪く、黄化する果実がみられた（第3-4図）。他の品種では処理間で有意な差がみられなかった。

### 2. 前作の残液がキュウリの生育、開花および収量に及ぼす影響

実験終了時の生育について、主枝長をみると、‘聖護院青長節成’の追加区で有意に抑制が認められた（第3-3表）。他の品種では有意な差が認められなかった。側枝長は、すべての品種で処理間に有意な差がみられなかった。主枝の乾物重は、‘PI 169391’の追加区で有意に減少

し、側枝の乾物重は、‘北進’の追加区で有意に減少し、他の品種では有意な差がみられなかった。根の乾物重は、すべての品種で処理間で有意な差がみられなかった。

雄花および雌花の開花開始日は、すべての品種で処理間に差がみられなかった（第3-4表）。株当たりの雌花数は、‘聖護院青長節成’を除いて減少傾向にあった。収穫開始日は、すべての品種の追加区で遅れる傾向がみられた。株当たりの収穫果数および株当たりの果実収量は、すべての品種の追加区で減少傾向にあり、‘聖護院青長節成’では有意な差がみられた。

### 3. 培養液の交換の有無および活性炭添加がキュウリの生育、開花および収量に及ぼす影響

実験終了時の生育について、主枝長および側枝長をみると、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’とも有意な差がみられなかったが、‘PI 169391’では前作と同様に追加区で抑制傾向がみられた（第3-5表）。主枝、側枝、1葉重および根の乾物重は、両品種とも処理間で有意な差がみられなかった。

雄花の開花開始日は、‘聖護院青長節成’では、活性炭区で遅れる傾向がみられたが、‘PI 169391’では、処理区による差がみられなかった（第3-6表）。雌花の開花開始日は、‘聖護院青長節成’では有意な差がみられなかった。‘PI 169391’では、追加区および活性炭区で交換区と比べて有意な差がなかった。株当たりの雌花数は、両品種とも処理間に有意な差がみられなかった。収穫開始日は、両品種とも有意な差がみられなかったが、収穫終了日は、両品種とも追加区で早くなり、活性炭区で交換区と同等または遅れた。株当たりの収穫果数および株当た

りの果実収量は，‘聖護院青長節成’では，前作と同様に追加区で交換区より有意に減少し，活性炭区で追加区と比べて回復した．‘PI 169391’でも前作と同様に追加区で有意に減少し，活性炭区で追加区と比べて回復傾向がみられた．

株当たりの収穫果実数を週毎にみると，‘聖護院青長節成’では，追加区で第5週目より急激に減少し，第6週目以降の収穫がなかった（第3-5図）．活性炭区では，第2週目および第5週目での果実数の減少は追加区と比べて少し緩和され，第6週目以降の収穫も続いた．‘PI 169391’では，追加区で第2週目以降の収穫果実数が急激に減少し，第4週目の収穫がなかった（第3-6図）．活性炭区では，第2週目以降の果実数の減少が追加区と比べてやや緩和され，第4週目でも収穫がみられた．

Table 3-1. Effects of renewal of the nutrient solution on the growth of cucumber.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>z</sup>	Plant length (cm)	Length of primary lateral branch (cm)	Dry weight (g)			
				Main stem	Leaf weight of main stem per leaf	Primary lateral branch per plant <sup>y</sup>	Root
'Hokushin'	+	141.6	11.7	18.5	6.6	48.9	131.7
	-	139.9	11.2	18.2	7.0	44.3	134.0
		NS <sup>x</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
'Chojitsu-ochiai 2 gou'	+	170.1	12.7	31.9	8.8	57.5	111.3
	-	168.8	12.7	28.0	9.0	61.4	115.2
		NS	NS	NS	NS	NS	NS
'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	164.7	23.6	19.9	8.7	90.4	121.4
	-	164.8	25.5	21.9	7.7	84.4	105.8
		NS	NS	NS	NS	NS	NS
'PI 169391'	+	210.1	10.5	28.4	4.6	36.5	89.0
	-	189.1	7.1	29.1	3.9	34.6	112.1
		*	*	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> + . . . Total renewal of the nutrient solution every other week.

- . . . Only supplement of the nutrient solution which decreased during culture.

<sup>y</sup> Stem and leaf.

<sup>x</sup> Significant at 5 % level (\*), 1 % level (\*\* ) and not significant (NS) by T-test.

Table 3-2. Effects of renewal of the nutrient solution on the flowering and yield of cucumber.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>2</sup>	Dates of anthesis (month/day)		No. of flowering female flower per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
		male flower	female flower				
'Hokushin'	+	4/20	4/21	57.8	5/ 3	35.7	4411
	-	4/19	4/21	50.0	5/ 2	33.3	4194
		NS <sup>y</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
'Chojitsu-ochiai 2 gou'	+	5/ 2	4/20	32.7	5/ 2	25.4	3574
	-	5/ 2	4/21	33.2	5/ 2	24.9	3471
		NS	NS	NS	NS	NS	NS
'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	4/20	4/23	26.0	5/ 4	20.0	2919
	-	4/20	4/23	20.6	5/ 5	14.1	1895
		NS	NS	NS	NS	*	**
'PI 169391'	+	4/17	4/20	80.0	5/15	21.4	3438
	-	4/16	4/19	52.7	5/20	13.2	1839
		NS	NS	*	NS	*	**

<sup>2</sup> Refer to Table 3-1.

<sup>y</sup> Significant at 5 % level (\*), 1 % level (\*\*) and not significant (NS) by T-test.

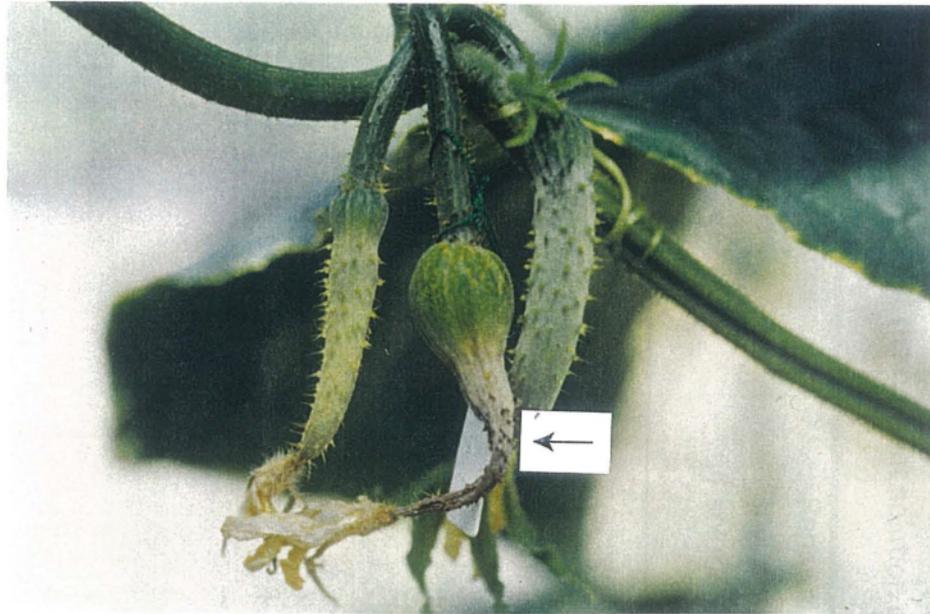


Fig. 3-4. A shrunken fruit of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' (upper, arrow) and a normally developing fruit (lower, arrow) ten days after anthesis.

Table 3-3. Effects of the nutrient solution once used for cucumber culture on the growth of cucumber in the successive culture.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>z</sup>	Plant length (cm)	Length of primary lateral branch (cm)	Dry weight (g)		
				Main stem	Primary lateral branch	Root
				per plant <sup>y</sup>		
'Hokushin'	+	135.2	15.6	21.2	102.7	110.6
	-	135.6	15.5	19.0	83.0	88.7
		NS <sup>x</sup>	NS	NS	**	NS
'Chojitsu-ochiai 2 gou'	+	152.8	14.2	25.0	84.3	100.0
	-	150.7	14.6	24.9	90.5	103.8
		NS	NS	NS	NS	NS
'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	156.8	24.7	23.0	114.6	85.7
	-	142.3	22.6	20.5	101.3	74.5
		**	NS	NS	NS	NS
'PI 169391'	+	110.2	12.4	16.7	74.5	87.4
	-	107.3	12.4	14.4	68.6	84.4
		NS	NS	**	NS	NS

<sup>z</sup>, <sup>y</sup>, <sup>x</sup> Refer to Table 3-1

Table 3-4. Effects of the nutrient solution once used for cucumber on the flowering and yield of cucumber in the successive culture.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>z</sup>	Dates of anthesis (month/day)		No. of flowering female flower per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
		male flower	female flower				
'Hokushin'	+	7/27	7/27	37.3	8/ 5	20.1	2997
	-	7/27	7/27	32.1	8/ 8	17.3	2579
		NS <sup>y</sup>	NS	**	*	NS	NS
'Chojitsu-ochiai 2 gou'	+	7/28	7/28	33.9	8/ 5	24.8	4189
	-	7/29	7/29	29.3	8/ 6	22.3	3834
		NS	NS	**	NS	NS	NS
'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	7/29	8/ 1	35.7	8/ 7	23.3	3656
	-	7/29	8/ 1	38.7	8/10	14.8	2428
		NS	NS	NS	**	*	*
'PI 169391'	+	7/26	8/ 2	20.1	8/15	3.9	802
	-	7/27	8/ 2	18.5	8/20	2.4	592
		NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z,y</sup> Refer to Table 3-2.

Table 3-5. Effects of renewal of the nutrient solution and charcoal supplement on the growth of cucumber.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>z</sup>	Charcoal supplement	Plant length (cm)	Length of primary lateral branch (cm)	Dry weight (g)			
					Main stem	Leaf weight of main stem per leaf	Primary lateral branch per plant <sup>y</sup>	Root
'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	-	153.4	14.0	19.8	8.6	77.6	132.5
	-	-	155.0	14.2	19.7	8.0	83.2	133.0
	-	+	154.8	12.0	18.7	7.5	73.2	113.8
			NS <sup>x</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
'PI 169391'	+	-	146.0	11.6	18.3	7.2	67.7	90.3
	-	-	137.6	10.0	18.1	7.6	66.1	97.0
	-	+	134.3	10.9	18.1	7.0	74.1	105.0
			NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z,y</sup> Refer to Table 3-1.

<sup>x</sup> Mean separation within columns by Duncan's new multiple range test, 5 % level.

Table 3-6. Effects of renewal of the nutrient solution and charcoal supplement on the flowering and yield of cucumber.

Cultivar	Renewal of the nutrient solution <sup>z</sup>	Charcoal supplement	Dates of anthesis (month/day)		No. of flowering female flower per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Termination dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
			male flower	female flower					
			'Shogoin-aonaga-fushinari'	+	-	4/15 b <sup>y</sup>	4/15	25.5	4/29
-	-	4/15 b		4/17	21.0	4/27	5/27c	14.4 b	1587 b
-	+	4/17 a		4/14	27.2	4/28	6/12a	24.5 a	2941 a
				NS	NS	NS			
'PI 169391'	+	-	5/14	5/15 ab	39.6	6/10	7/ 1a	10.9 a	1796 a
	-	-	5/14	5/14 b	33.0	6/ 7	6/18b	6.2 b	975 b
	-	+	5/14	5/18 a	35.5	6/ 7	6/28a	8.5 ab	1388 ab
			NS		NS	NS			

<sup>z</sup> Refer to Table 3-1.

<sup>y</sup> Mean separation within columns by Duncan's new multiple range test, 5 % level.

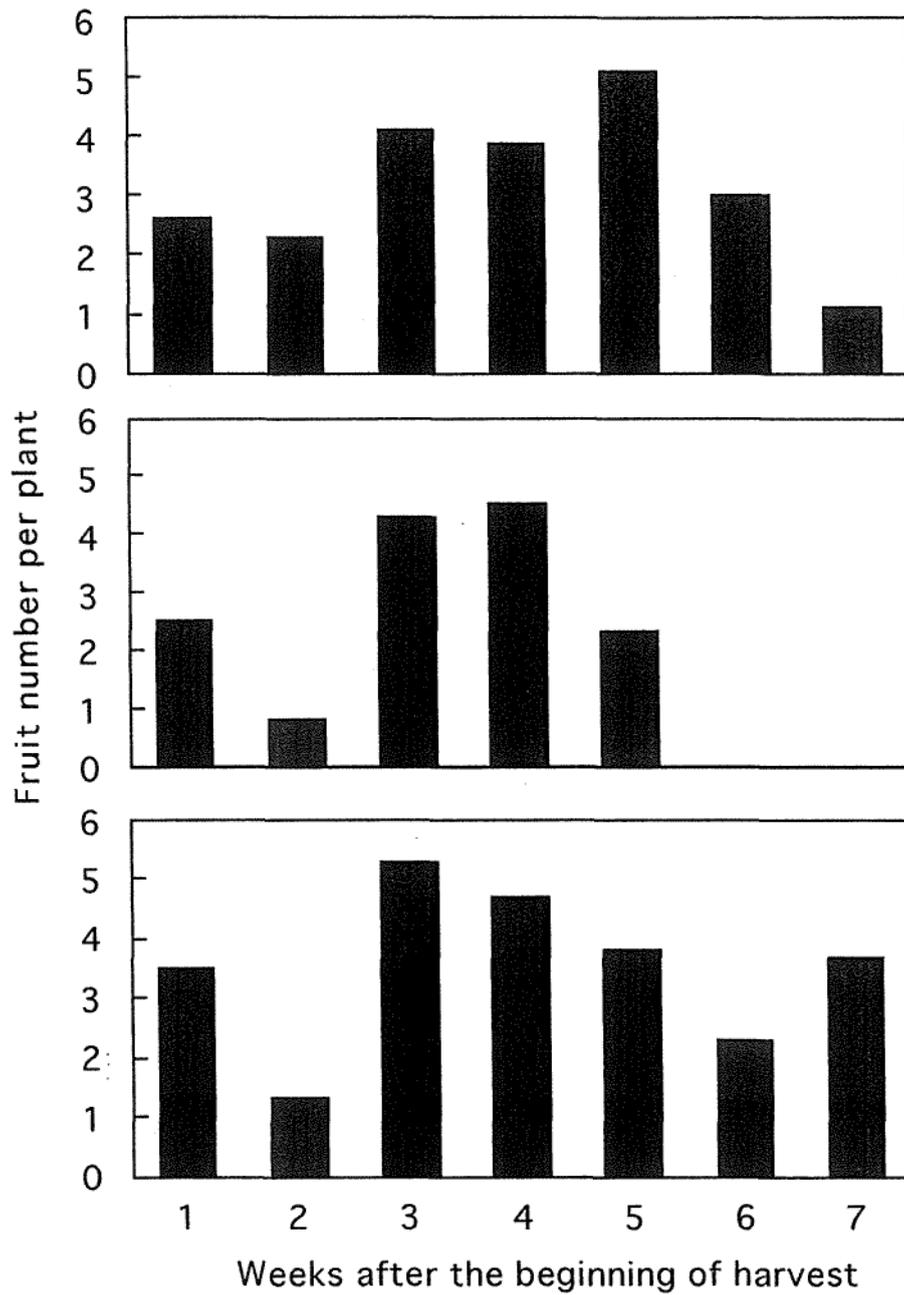


Fig. 3-5. Weekly fruit production of 'Shogoin-aonaga-fushinari' through harvest period.

Total renewal of the solution (upper)

Restoration of the nutrient solution which decreased during culture (middle)

Nutrient solution supplemented with activated charcoal (lower)

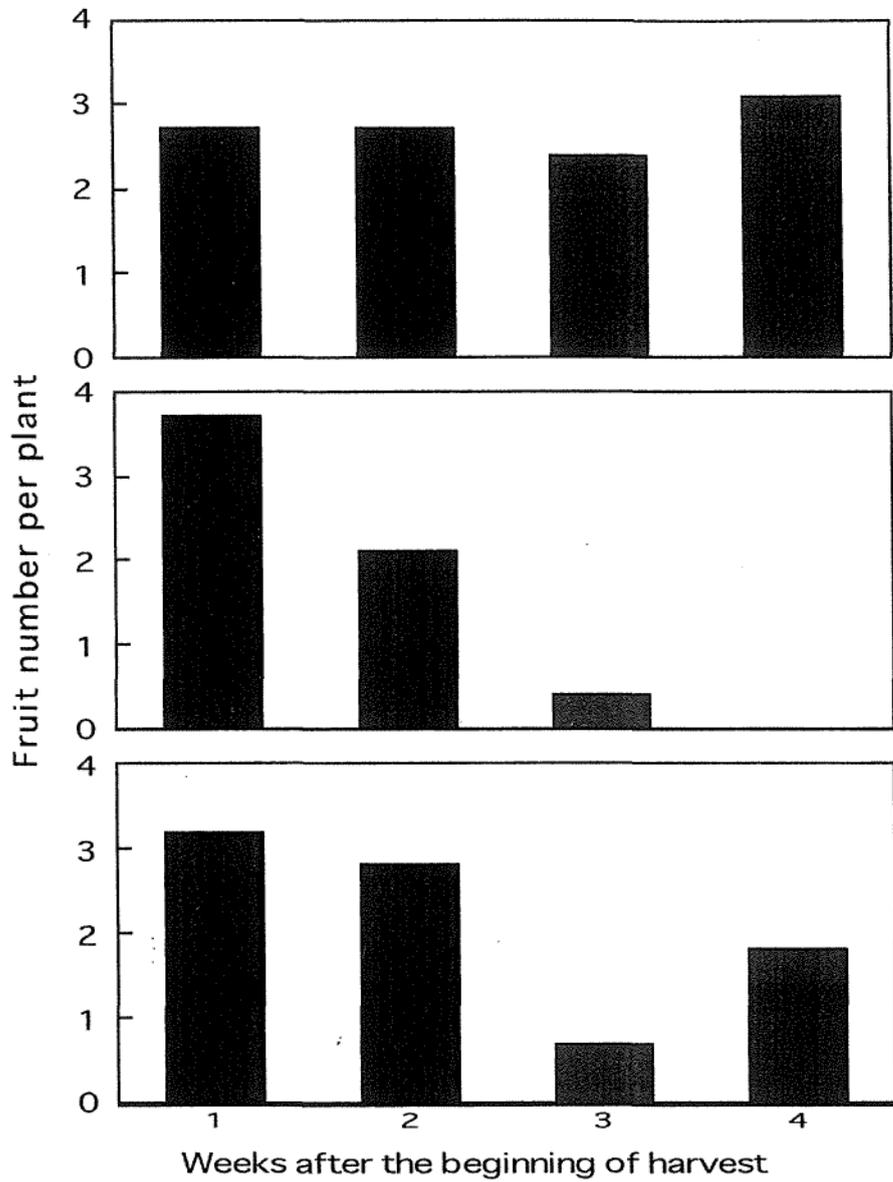


Fig. 3-6. Weekly fruit production of 'PI 169391' through harvest period.

Total renewal of the solution (upper)

Restoration of the nutrient solution which decreased during culture (middle)

Nutrient solution supplemented with activated charcoal (lower)

## 考 察

本実験の結果、実験終了時の生育については培養液の交換の有無および活性炭添加に関わらず、すべての品種で大きな差は認められなかった。一方、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’では、処理区間で果実収量に差が認められた。これらの品種では培養液の全量交換なしに栽培した場合着果は認められたが、子房の肥大が進行しなかったことが観察されており、このことが収量の減少につながったと考えられる。更に収穫果実数を1週毎にみると、追加区で後半の果実数が激減した。一般的に養液栽培では、培養液を全量交換することなく、水および肥料を追加する場合がほとんどである。佐々木（1989）はこのような方法でキュウリを養液栽培した場合、後半の収量が低下すると指摘しているが、これは本実験の結果と一致した。また、両品種とも活性炭処理によって収穫果実数が回復する傾向がみられた。活性炭を培養液に添加することにより、培養液中に含まれるであろう抑制物質が吸着され、収穫果実数低下が緩和されたと考えられる。

甲田ら（1977, 1980）は、水耕ミツバの培養液に活性炭を添加した場合生育が促進されたと報告し、ミツバの根からしん出された有機物が生育低下の原因であると推定した。また、Yuら（1993）は水耕トマトに関して追加液だけで栽培した場合と比べて活性炭を添加すると、莖葉の生長および収量が増加することを報告しているが、この場合、活性炭添加で花数が増えたのか、1果実重が増えたのか述べていない。本実験の水耕キュウリでは、追加区で子房の肥大すなわち果実の肥大が悪く、果実数すなわち収量が減少した。活性炭添加ではこの肥大の抑制がみられず、果実の肥大が回復し、収量が増えたと考えられる。前述した Yuらのトマトの実験では莖葉の生長が抑えられ、このことが収量に影響を

ぼしたと考えられる。一方、本実験の水耕キュウリでは根から滲出した抑制物質が子房の肥大に影響を及ぼしたと推定される。この抑制物質の影響は実験終了時までの茎葉の生長には現れなかった。このことの1つの理由として、本実験ではいずれの処理区でもかなりの強度の摘心を行ったことにより微量な抑制物質の効果が栄養生長に現れにくくなったことが考えられる。今後、摘心の有無やその方法と抑制物質の影響について更に検討する必要がある。

pH および EC 値は処理区による差がほとんどなかったことから、処理区による収量の差異は pH および EC 値によるものではないと思われる。また、無機養分についても N, P, K, Ca, Mg および Fe の調整を行い、活性炭で収量が回復することから無機養分の影響でないと考えられる。なお、活性炭は分子量の小さい無機養分は吸着しにくいことが報告されている（大坪，1995）。

以上の結果より、キュウリの養液栽培での後半の収量低下の原因は、着果や果実肥大を抑制する物質が植物体から出て、培養液を全量交換しない場合、後半になるとその物質が蓄積するためであると考えられる。トマトでは、Yu ら（1993）は根からフェノール物質の滲出を認めている。これは閉鎖系でも養液栽培のアレロパシーと考えられ、この回避方法として培養液に活性炭を添加する方法が有効であったと認めている。本実験のキュウリでも活性炭の効果が認められた。

また、キュウリの果実収量に対する抑制には品種間差異がみられ、第2章のバイオアッセイの結果と同様であった。品種間差異については抑制物質の株からの放出量もしくは植物体の感受性の違いが考えられる。今後は、着果や果実肥大を抑制する物質であると考えられる根からの滲出物を分析し、さらにその物質が自家中毒の原因物質であるかどうか確

確認する必要がある。

## 第2節 キュウリ ‘聖護院青長節成’ 根の滲出物に含まれる自家中毒原因物質の同定とその物質がキュウリの生育および収量に及ぼす影響

甲田ら (1977) は、水耕ミツバの培養液に活性炭を添加した場合、生育抑制が回復したことから、根から滲出した物質が生育低下の原因であると推定した。Yu・Matsui (1993a, 1993b) は、水耕トマトの培養液中にフェノール物質を含む抑制物質が蓄積し、植物体の生長と果実収量が減少することを報告した。また、第1節の結果より、水耕キュウリの培養液を交換せずに栽培すると後半の果実収量が減少し、培養液中に活性炭を添加すると収量が回復することから、根からの生長抑制物質の滲出を示唆した。

そこで、本実験では、第1節の実験の水耕キュウリで活性炭に吸着された生長抑制物質の分析を行い、検出されたフェノール物質がキュウリの生育および収量に及ぼす影響について検討した。

### 材料および方法

#### 1. 活性炭に吸着された生長抑制物質の分析

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) ‘聖護院青長節成’ の栽培実験で使用した活性炭 (収穫終了前の2週間) を分析に供した。活性炭 300g に  $0.4 \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  NaOH とメタノールを 1 : 1 に混合した液 300ml を入れ、48 時間室温 (25℃) で振とうさせた。その抽出液を  $6 \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  HCl で中和させ、エバポレータ (40℃) で 25 ml まで濃縮させた。濃縮液を第 3-7 図に示すように処理し (Yu・Matsui, 1993b) , pH 2 でジエチルエーテルに可溶性の物質 (以下, DE2 とする) を分別した。DE2 を 2 ml のジエチルエーテルに溶かし、ジアゾメタンに反応させ、メチ

ル化した。ガスクロマトグラフ・マススペクトル（以下，GC/MS とする）法（Schulz・Herrmann, 1980；Chapman・Horvat, 1989）で分析を行った。分析機器として，ガスクロマトグラフ分析計（島津製作所，GC-14A）および GC/MS 分析計（日立製作所，M-80B）を使用した。

Activated charcoal from nutrient solution  
grown cucumber plant

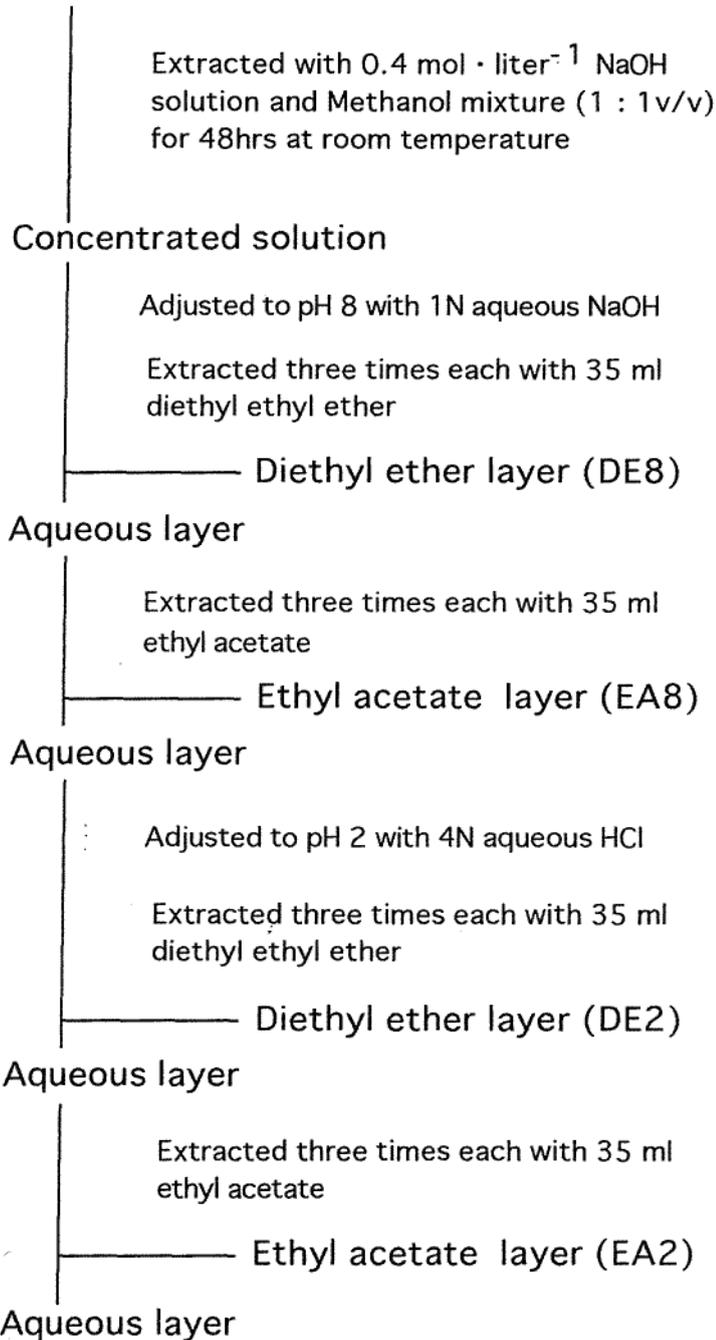


Fig. 3-7. The flow chart of extraction and fractionation of substances diffused from activated charcoal of the nutrient hydroponic solution of cucumber.

## 2. フェノール物質がキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

供試品種は，‘聖護院青長節成’を用いた．黒色ビニルマルチで根部だけ覆った 300 ml フラスコに培養液を 400 ml 入れ，播種 1 週後のキュウリ苗をウレタンで支持した．蛍光灯付き培養装置で 25℃，74～81  $\mu\text{mol} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ，16 時間日長で 2 週間バイオアッセイを行った．バイオアッセイ中，培養液への通気および培養液の補給と調整は行わなかった．供試数は 15 株とし，最大葉長，最大葉幅および地上部の生体重について調査した．なお，培養液は園試処方標準液に準じ EC 2.0 dS  $\cdot \text{m}^{-1}$ とした（以下，基準液とする）．

培養液に実験 1 で検出されたフェノール物質 Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid をそれぞれ 0, 10 および 20  $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加する試験区を設けた．

## 3. 2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの生育，開花および収量に及ぼす影響

供試品種は，実験 2 と同様であった．

栽培は，島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター内の約 100  $\text{m}^2$  のガラス温室で行った．1998 年 2 月 20 日にバーミキュライトを入れた 1 セル容量約 45ml の 51 穴セルトレイに播種した．本葉出葉期にキュウリ苗をウレタン（縦 23mm，横 23mm，高さ 27mm）4 個で固定し，容量約 60 liter のコンテナ（内寸，縦 50 cm，横 60cm，深さ 21 cm）に移植し，育苗した．培養液は基準液とし，1 週毎に全量交換した．コンテナに培養液を 50 liter 入れ，エアーポンプ（空気送風量：3.8 liter  $\cdot \text{min}^{-1}$ ）で連続通気した．育苗時の栽植本数は，1 コンテナ当たり 18 株とした．定植は 3 月 19 日に本葉が 2～3 枚に達した時に

行った。培養液は育苗期と同様とし、栽植本数は、1コンテナ当たり3本とした。各処理区には9株を供試した。

定植時にバイオアッセイで用いたフェノール物質の1つである 2,4-Dichlorobenzoic acid を 0, 0.2, 2, 10, および  $20\mu\text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加し、さらにそれぞれの区に活性炭を添加する区を設けた。活性炭は1コンテナ当たり 300g 添加し、1週毎に交換した。主枝は15節、1次および2次側枝はそれぞれ1節を残して摘心した。収穫は開花 10~18日後で、果実長約 20 cm に達した時に行った。調査項目としては、雄花および雌花の開花開始日、開花雌花数、収穫終了時の株の生育、果実収量および収穫果実数とした。

#### 4. 2,4-Dichlorobenzoic acid 添加によるキュウリ根の形態の変化

2,4-Dichlorobenzoic acid を 0 および  $20\mu\text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加し、栽培した後のキュウリの根部の観察および根部を FAA で固定し、走査型電子顕微鏡 (SEM, 日本電子 JSM-5310LV) により直接クールステージ法により観察を行った。

## 結 果

### 1. 活性炭に吸着された生長抑制物質の分析

DE2 をメチル化し、GC/MS 法で分析すると、活性炭からは Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid, Phthalic acid および 2,6-Di-*t*-butyl-*p*-hydroxycresol が検出された (第 3-8 図)。なお、2,6-Di-*t*-butyl-*p*-hydroxycresol は、抽出に用いたジエチルエーテル中に抗酸化剤として微量に含まれていたもので、キュウリから出されたものとは

考えにくい。なお、これらの物質は、未使用の活性炭からは検出されず、培養液に添加された活性炭からのみ検出された。

## 2. フェノール物質がキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

活性炭から検出された Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid をキュウリ幼苗によりバイオアッセイした結果、Benzoic acid および *p*-Hydroxybenzoic acid 添加区では最大葉長、最大葉幅および地上部の生体重について、すべての濃度で有意な差は認められなかった（第 3-7 表）。2,4-Dichlorobenzoic acid 添加区では、最大葉長、最大葉幅および地上部の生体重について、濃度が高くなるにつれて有意に減少し、 $20\ \mu\ \text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区では  $0\ \mu\ \text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区（対照区）と比べてそれぞれの値の割合が 41, 36 および 25% となった。Phthalic acid 添加区では最大葉長および最大葉幅について、全ての濃度で有意な差は認められなかったが、地上部の生体重についてのみ  $20\ \mu\ \text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区で減少した。（第 3-9 図）

## 3. 2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの生育、開花および収量に及ぼす影響

実験 2 より、キュウリ幼苗の生育抑制程度が最も高かった 2,4-Dichlorobenzoic acid を培養液に添加した結果、実験終了時の生育について、主枝長および側枝長は活性炭を添加しなかった場合、濃度が高くなるにつれて有意に減少し、10 および  $20\ \mu\ \text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区では収穫する前に全ての株が枯死した（第 3-8 表、第 3-10 図）。活性炭を添加すると、全ての濃度で有意な差は認められなかった。主枝、1 葉重、側枝および根の乾物重は活性炭を添加しなかった場合、2,4-

Dichlorobenzoic acid 濃度が高くなるにつれて減少傾向がみられ、活性炭を添加すると全ての濃度で有意な差は認められなかった。

雄花および雌花の開花開始日、開花雌花数は 2,4-Dichlorobenzoic acid 濃度 (0, 0.2, 2, 10 および  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ ) の違いおよび活性炭の有無に関わらず有意な差は認められなかった (第 3-9 表)。収穫開始日は 0 および  $0.2 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  区と比べ、 $2 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区でやや遅れ、活性炭を添加すると回復した。また、株当たりの収穫果実数および収量は  $2 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区で有意に減少し、活性炭添加区で回復した。

さらに、週毎の収穫果実数をみると、 $0 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区と比べ 0.2 および  $2 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区で収穫期間がそれぞれ 1 および 2 週間短くなり、活性炭を添加すると、対照区と同じく第 7 週まで収穫できた (第 3-11 図)。また、株が枯死した 10 および  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区に活性炭を添加しておくとも第 6 週まで収穫がみられた。

#### 4. 2,4-Dichlorobenzoic acid 添加によるキュウリ根の形態の変化

2,4-Dichlorobenzoic acid を 0 および  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加し、栽培した後のキュウリの根部を観察すると、 $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加区で主根および側根の先端部が肥大をしていた (第 3-12 図)。

つぎに SEM を用いて、主根の先端部を観察すると、根皮に障害を受けていた (第 3-13 図)。

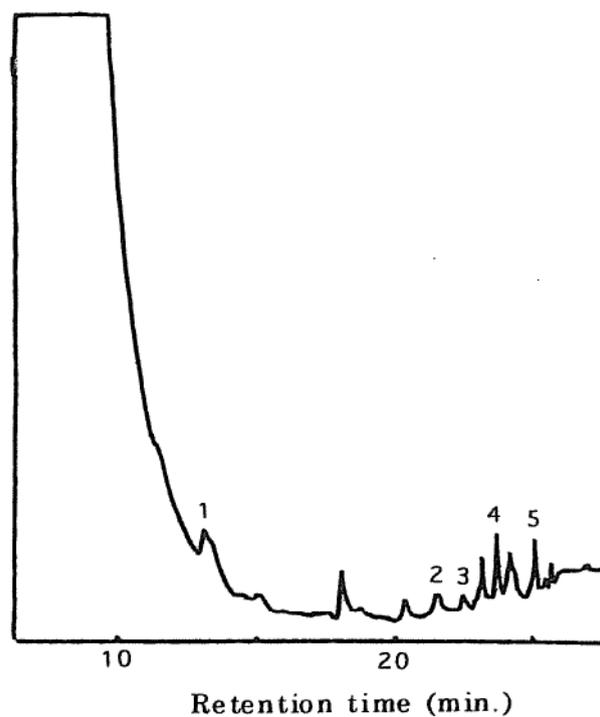


Fig. 3-8. Gas chromatogram on the acidic diethyl ether soluble fraction.

Analytical condition : Column. GL Sci. TC-5 (60m), Initial temp.  $100^{\circ}\text{C}$  for 2 min., Prog. Rate  $5^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , Final temp.  $260^{\circ}\text{C}$  for 10 min., Injector and detector temp.  $300^{\circ}\text{C}$  each, Helium gas pressure  $0.8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

Peak no. 1. Benzoic acid, 2. *p*-Hydroxybenzoic acid,  
 3. 2,4-Dichlorobenzoic acid, 4. Phthalic acid and  
 5. 2,6-Di-*t*-buthyl-*p*-cresol.

Table 3-7. Effects of phenolic compounds on the growth of cucumber seedlings.

Phenolic compounds	Concentrations ( $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ )	Maximum leaf length (mm)	Maximum leaf width (mm)	Fresh wt of shoot (g)
	0 <sup>z</sup>	83	107	2.8
Benzoic acid	2	86	107	3.2
	10	86	106	3.2
	20	87	105	2.9
	Significance			
	Linear	NS <sup>y</sup>	NS	NS
	Quadratic	NS	NS	NS
<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	2	83	104	2.9
	10	80	101	2.5
	20	80	108	3
	Significance			
	Linear	NS	NS	NS
	Quadratic	NS	NS	NS
2,4-Dichlorobenzoic acid	2	88	105	3.1
	10	58	75	1.7
	20	34	39	0.7
	Significance			
	Linear	**	**	**
	Quadratic	NS	NS	NS
Phthalic acid	2	81	104	3.1
	10	84	105	3.1
	20	79	100	2.5
	Significance			
	Linear	NS	NS	*
	Quadratic	NS	NS	**

<sup>z</sup> Control of 4 phenolic compounds

<sup>y</sup> Significant at 5 % level (\*), 1 % level (\*\*) and non-significant (NS) by regression analysis in each phenolic compound.



Fig. 3-9. Bioassay of nutrient solution supplemented with  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  phenolic compounds by 'Shogoin-aonaga-fushinari' seedlings (2 weeks after the start of bioassay). A plant bioassayed with  $0 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  phenolic compound (control), Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid and Phthalic acid (from left to right).



Fig. 3-10. Normal cucumber plants (upper) and wilt cucumber plants (lower) by culture solution supplemented with  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  2,4-Dichlorobenzoic acid (one week after treatment).

Table 3-8. Effects of 2,4-dichlorobenzoic acid on the growth of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' .

Concentration ( $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ )	Charcoal	Plant length (cm)	Length of primary lateral branch (cm)	Dry weight (g)			
				Main stem	Leaf weight of main stem per leaf	Primary lateral branch per plant <sup>z</sup>	Root
0	Control	210.1	41.0	18.7	8.9	72.2	136.3
	Added	196.9	41.1	17.8	8.1	80.3	136.1
		NS <sup>y</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
0.2	Control	197.5	44.0	15.3	7.0	63.8	116.2
	Added	205.3	39.5	17.5	8.1	64.7	122.0
		NS	NS	*	NS	NS	NS
2	Control	183.9	34.0	14.7	6.9	65.2	102.1
	Added	194.3	38.5	17.6	7.9	64.7	125.6
		NS	NS	NS	NS	NS	NS
10	Control	— <sup>x</sup>	—	—	—	—	—
	Added	197.4	40.5	18.9	8.0	80.8	126.4
20	Control	—	—	—	—	—	—
	Added	198.3	44.1	18.0	8.9	81.4	121.6
Significance							
Non-charcoal							
	Linear	** <sup>w</sup>	**	NS	NS	NS	NS
	Quadratic	NS	NS	NS	*	NS	NS
Charcoal							
	Linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Quadratic	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup> Stem and leaf.

<sup>y</sup> Significant at 5 % level (\*) and non-significant (NS) between absence and presence of activated charcoal by T-test.

<sup>x</sup> Not-investigated because the plants decayed.

<sup>w</sup> Significant at 5 % level (\*), 1 % level (\*\* ) and non-significant (NS) by regression analysis in the concentrations.

Table 3-9. Effects of 2,4-dichlorobenzoic acid on the flowering and yield of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' .

Concentration ( $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ )	Charcoal	Date of anthesis (month/day)		No. of flowering female flower per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
		male flower	female flower				
0	Control	4/ 6	4/ 6	29.7	4/23	18.9	2812
	Added	4/ 5	4/ 6	29.4	4/23	18.6	2591
		NS <sup>z</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
0.2	Control	4/ 5	4/ 7	31.8	4/24	18.4	2459
	Added	4/ 5	4/ 6	31.9	4/23	19.4	2795
		NS	NS	NS	NS	NS	NS
2	Control	4/ 5	4/ 7	44.1	4/29	10.3	1298
	Added	4/ 6	4/ 5	38.1	4/24	19.1	2934
		NS	NS	NS	**	**	**
10	Control	— <sup>y</sup>	—	—	—	—	—
	Added	4/ 5	4/ 6	38.8	4/28	14.7	2214
20	Control	—	—	—	—	—	—
	Added	4/ 5	4/ 6	18.3	4/23	17.6	2453
Significance							
Non-charcoal							
	Linear	NS <sup>x</sup>	NS	NS	**	**	**
	Quadratic	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Charcoal							
	Linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Quadratic	NS	NS	*	**	NS	NS

<sup>z</sup> Significant at 5 % level (\*) and non-significant (NS) between absence and presence of activated charcoal by T-test.

<sup>y</sup> Not-investigated because the plants decayed.

<sup>x</sup> Significant at 5 % level (\*), 1 % level (\*\* ) and non-significant (NS) by regression analysis in the concentrations.

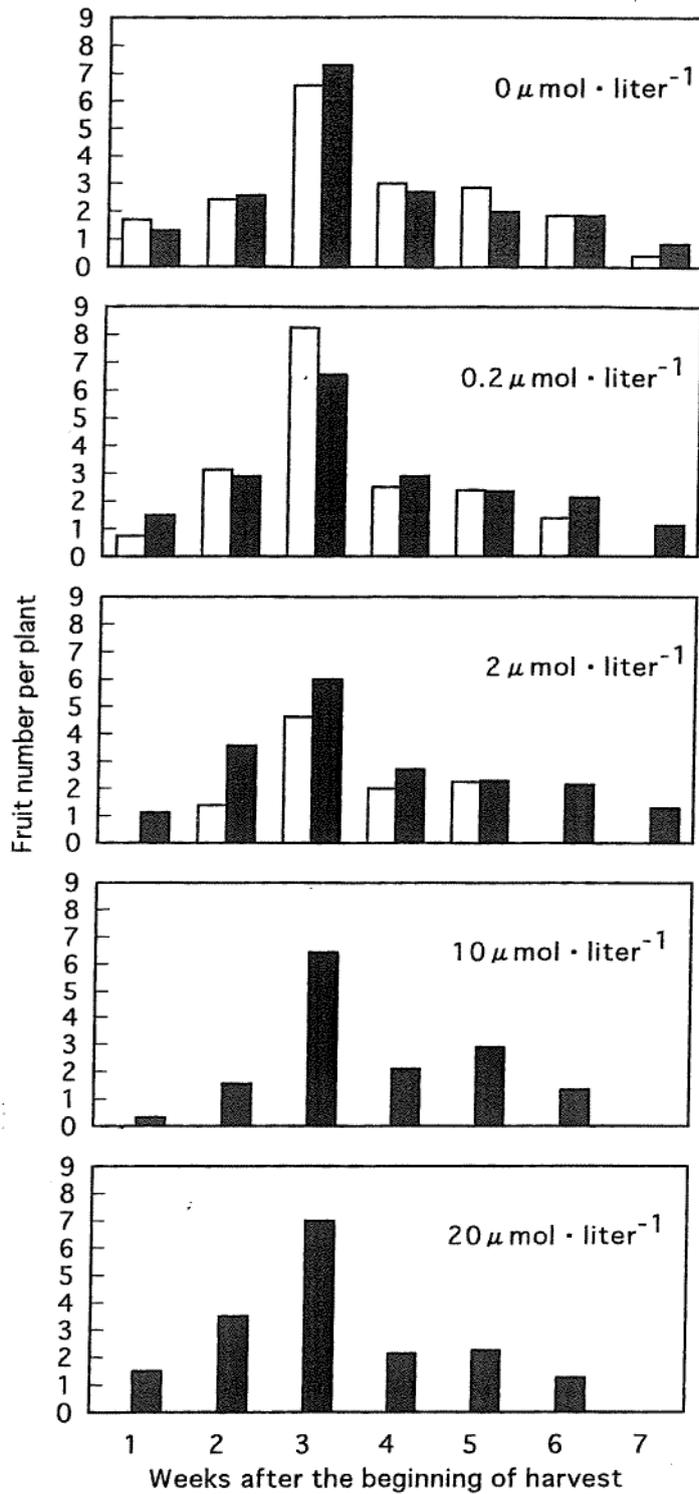


Fig. 3-11. Weekly fruit number of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' through the harvest period ; Non-charcoal (black bar), Charcoal added (solid bar). The plants in 10 and 20  $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  2,4-Dichlorobenzoic acid decayed before the beginning of the harvest.

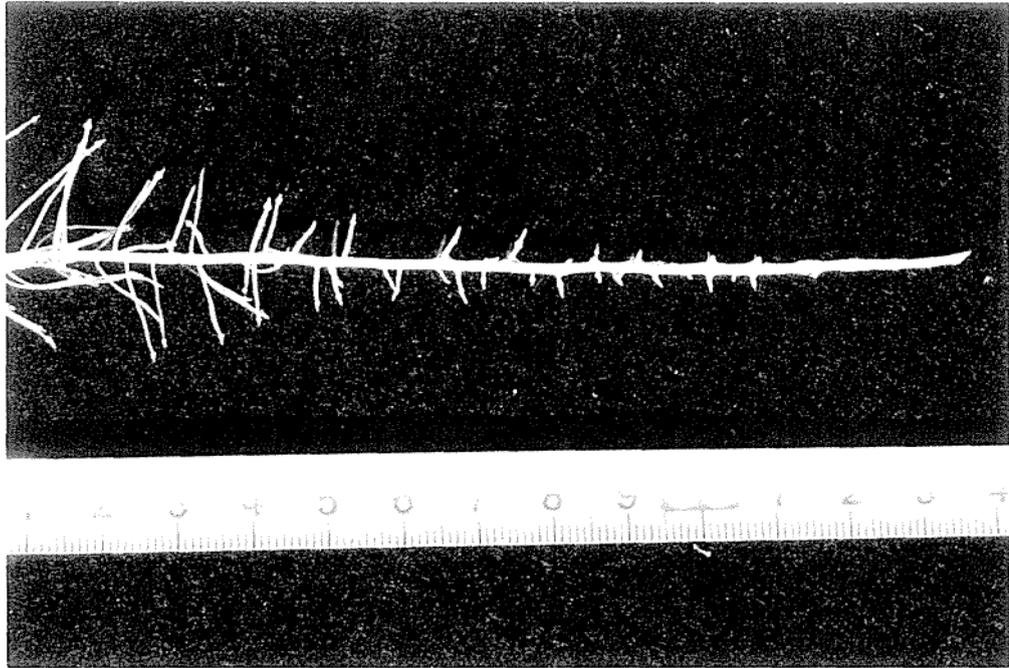


Fig. 3-12. Abnormal root of cucumber in nutrient solution supplemented  
With  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  2,4-Dichlorobenzoic acid  
(as the time of fruit harvest).

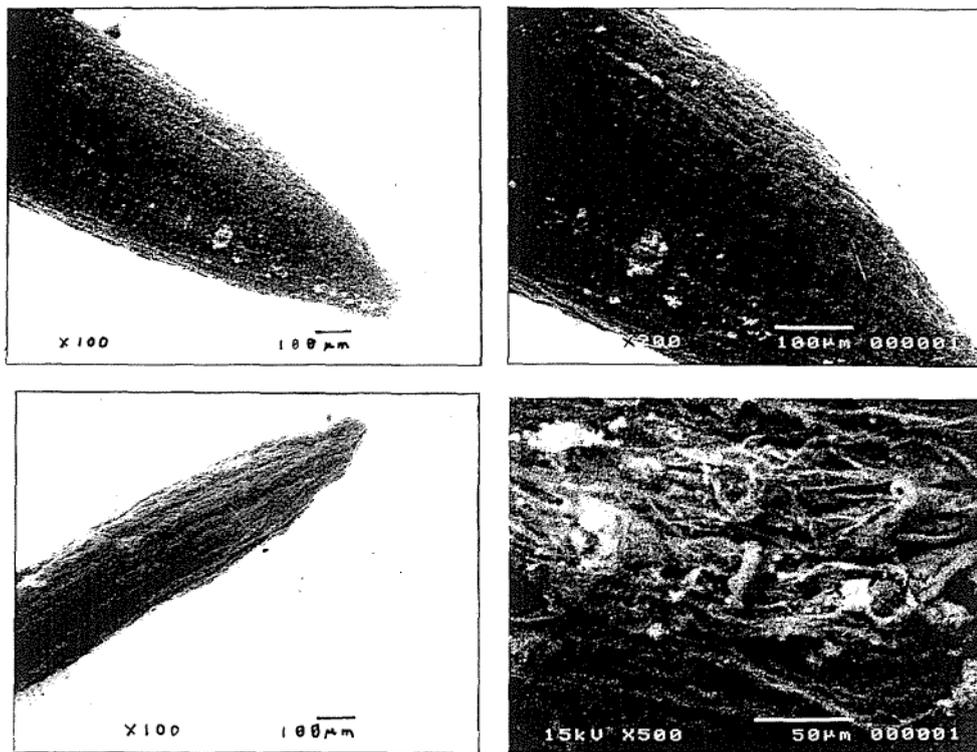


Fig. 3-13. Root of cucumber in nutrient solution supplemented  
With 0 (upper) and  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  (lower)  
2,4-Dichlorobenzoic acid (at the time of fruit harvest).  
(Photographed by SEM)

## 考 察

甲田ら (1980) は、水耕ミツバにおいて、新しい培養液と比べて培養残液に多く含まれていた有機酸に注目し、根からしん出されるプロピオン酸等が生育低下の原因物質であると推定した。また、Young (1984) はアスパラガスの根の分泌物がアスパラガスの幼苗の生育を阻害することを明らかにし、その本体がフェノール物質であることを見出した。さらに Yu・Matsui (1993b) は、水耕トマトの培養液を濃縮し、本実験と同様な方法で分別した後、トマト苗でバイオアッセイすると、DE2 に生育抑制作用がみられ、数種のフェノール物質を検出した。本実験では水耕キュウリで用いた活性炭(第1節)から抽出された DE2 を GC/MS 法で分析すると、4種のフェノール物質 (Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid) が検出された。水耕キュウリ(培養液を非交換)の培養液に活性炭を添加すると水耕キュウリの後半の収量低下が回復する(第1節)ことから、これらのフェノール物質が生育抑制物質である可能性が考えられた。なお、トマトでは、Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, Phthalic acid などのフェノール物質が検出されている (Yu・Matsui, 1993b) が 2,4-Dichlorobenzoic acid はキュウリでのみ検出された。

第2章では、キュウリ幼苗を用いてバイオアッセイすると、培養残液に含まれるキュウリ根からの生育抑制物質の検定に有効であると報告した。そこで、本実験では、検出された4種のフェノール物質のうち、水耕キュウリの生育を顕著に抑制する物質を見出すためにキュウリ幼苗を用いてバイオアッセイを行った(実験2)。その結果、2,4-Dichlorobenzoic acid を 10 および 20  $\mu$  mol  $\cdot$  liter<sup>-1</sup> 添加した区で有意にキュウリ幼苗の生育を抑制したことから、4種のフェノール物質のうちこの物質がキ

キュウリの生育を抑制する主な物質であると考えられた。

そこで、2,4-Dichlorobenzoic acid を水耕キュウリの培養液に添加した場合（実験3），生育および収量が低下するかどうかを検討した。培養液に低濃度の  $2\mu\text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加すると，栄養生長にはほとんど影響せず，果実収量の低下や収穫期間の短縮がみられた。これらの結果は，培養液を非交換栽培した場合にみられた現象（第1節）と類似していた。より高い濃度の 10 および  $20\mu\text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加した区では株が枯死したことから，水耕キュウリの培養液中にはこのような高濃度の 2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの根からしん出されている可能性が少ないと考えられる。また，活性炭を添加するとキュウリの生育が回復したのは，活性炭により 2,4-Dichlorobenzoic acid が吸着されたためと考えられる。なお，Yu・Matsui（1993b）はトマト幼苗を用いて，いくつかのフェノール物質が栄養生長を抑制するかどうかについて調べているが，本実験のように果実収量などの生殖生長については検討していない。

根部の観察（実験4）より，根皮が 2,4-Dichlorobenzoic acid の  $20\mu\text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加により障害を受けていることが明らかになった。このような高濃度の 2,4-Dichlorobenzoic acid 添加では，根皮が障害を受け，養水分の吸収が阻害され，植物体が枯死すると考えられる。低濃度では養水分の吸収阻害の程度が低く，栄養生長には顕著に影響はみられず，生殖生長すなわち果実収量の低下や収穫期間の短縮がみられたと考えられる。

以上の結果より，2,4-Dichlorobenzoic acid が水耕キュウリの果実収量低下（特に収穫後半）の原因物質の1つである可能性が示され，この収量低下は活性炭処理により回復することが明らかになった。

### 第3節 キュウリ ‘PI 169391’ 根の滲出物に含まれる自家中毒 原因物質の同定とその物質が生育に及ぼす影響

第1節では、雑草抑制のアレロパシーを示したキュウリ ‘PI 169391’ (Lockerman・Putnam, 1979) を培養液非交換で栽培すると後半の果実収量が低下することが明らかになった。また、培養液に活性炭を添加すると果実収量の低下がみられなかったことより、閉鎖系養液栽培では、根から滲出する生育抑制物質が果実収量の低下を引き起こし、活性炭添加で果実収量の低下が回復することが示唆された。

本実験では、水耕キュウリの培養液に添加された活性炭に吸着された生育抑制物質の分析を行い、検出された物質がキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響について検討した。

#### 材料および方法

##### 1. 活性炭に吸着された生育抑制物質の分析

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) ‘PI 169391’ の栽培実験で使用した活性炭 (収穫終了前の2週間) を分析に供した。以下、分析法については第2節 (実験1) と同様であった。

##### 2. フェノール物質がキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

供試品種は、‘PI 169391’ を用いた。黒色ビニルマルチで根部だけ覆った 300 ml フラスコに培養液を 400 ml 入れ、播種1週後のキュウリ苗をウレタンで支持した。蛍光灯付き培養装置で 25℃,  $74\sim 81\ \mu\text{mol}\cdot\text{S}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , 16 時間日長で2週間バイオアッセイを行った。バイオアッセイ中、培養液への通気および培養液の補給と調整は行わなかった。供試数は 15 株とし、最大葉長、最大葉幅および地上部の生体重に

ついて調査した。なお、培養液は園試処方（掘，1966）標準液に準じ EC 2.0 dS · m<sup>-1</sup>とした（以下，基準液とする）。

培養液に実験1で検出されたフェノール物質 Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid をそれぞれ 0, 2, 10 および 20 μ mol · liter<sup>-1</sup> 添加する試験区を設けた。

## 結 果

### 1. 活性炭に吸着された生育抑制物質の分析

DE2 の分析より， Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid, Phthalic acid および 2,6-Di-*t*-butyl-*p*-hydroxycresol が検出された（第 3-14 図）。なお，2,6-Di-*t*-butyl-*p*-hydroxycresol は，抽出に用いたジエチルエーテル中に抗酸化剤として微量に含まれていたもので，キュウリから出されたものとは考えにくい。なお，これらの物質は，未使用の活性炭からは検出されず，培養液に添加された活性炭からのみ検出された。

### 2. フェノール物質がキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響

バイオアッセイでは，4種のフェノール物質の内，2,4-Dichlorobenzoic acid の 20 μ mol · liter<sup>-1</sup> 添加区で，地上部の生体重，最大葉長および最大葉幅について有意な差が認められたが，他の濃度では有意な差はみられなかった（第 3-10 表）。他の3種のフェノール物質， Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid および Phthalic acid では，10 および 20 μ mol · liter<sup>-1</sup> 添加区で対照区（0 μ mol · liter<sup>-1</sup>）と比べて有意な差はみられなかった。

なお，2,4-Dichlorobenzoic acid を含む4種のフェノール物質の 2 μ

mol · liter<sup>-1</sup> 添加区では地上部の生体重がやや促進された。とくに *p*-Hydroxybenzoic acid 添加区では有意な差がみられた。

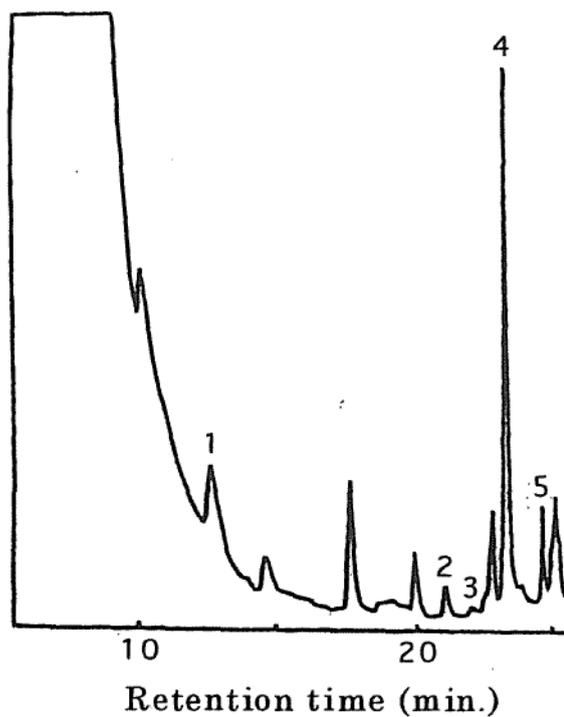


Fig. 3-14. Gas chromatograms of root exudates of cucumber accession 'PI 169391' desorbed from used activated charcoal by methanol in the alkaline media and extracted in acidic media by diethyl ether.

Analytical condition : Column : GL Sci. TC-5 (60m),  
 Initial temp. 100 °C for 2 min., Prog. rate 5 °C/min.,  
 Final temp. 260 °C for 10 min., Injector & Detector  
 temp. 300 °C each, Helium gas pressure 0.8 kg/cm<sup>2</sup>.

Peak no. 1. Benzoic acid, 2. *p*-Hydroxybenzoic acid,  
 3. 2,4-Dichlorobenzoic acid, 4. Phthalic acid and  
 5. 2,6-Di-*t*-butyl-*p*-cresol.

Table 3-10. Effects of phenolic compounds on the growth of cucumber seedlings.

Phenolic compounds	Concentrations ( $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ )	Fresh wt of shoot (g)	Maximum leaf length (mm)	Maximum leaf width (mm)
Benzoic acid	0	3.3 a	73 a <sup>z</sup>	84 a
	2	4.1 a	73 a	81 a
	10	3.8 a	75 a	82 a
	20	3.5 a	75 a	87 a
<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	0	3.3 b	73 a	84 a
	2	4.1 a	81 a	94 a
	10	3.8 b	67 a	82 a
	20	4.0 b	77 a	84 a
2,4-Dichlorobenzoic acid	0	3.3 a	73 a	84 a
	2	3.8 a	75 a	86 a
	10	3.6 a	72 a	81 a
	20	2.2 b	47 b	56 b
Phthalic acid	0	3.3 a	73 a	84 a
	2	4.0 a	73 a	85 a
	10	3.5 a	71 a	81 a
	20	3.0 a	66 a	73 a

<sup>z</sup> Mean separation within columns in each phenolic compound by Tukey test at 1 % level.

## 考 察

以上の結果より、これら4種のフェノール物質 Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid はキュウリ ‘PI 169391’ の根から滲出されたと考えられる。なお、これらのフェノール物質は、キュウリ ‘聖護院青長節成’ で検出されたものと同様であった。

Yu・Matsui (1993b) は、フェノール物質が水耕トマトの培養液中に蓄積し、トマトの生育および果実収量を低下させたことを見出した。また、多くの研究者がフェノール物質が発芽、育苗期および定植期の生育に影響を及ぼすことを示した (Demos ら, 1975; Einhellig・Rasmussen, 1978; Nandakumar・Rangaswamy, 1985; Rasumussen・Einhellic, 1977)。第1節では、培養液非交換で栽培するとキュウリの果実収量が低下し、培養液に活性炭を添加すると回復したことを示した。培養液非交換栽培で使用された活性炭はフェノール物質を吸着したためだと考えられる。それらのフェノール物質、Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid がキュウリの生育抑制に関与していると考えられる。

次にバイオアッセイより、それらのフェノール物質、Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid の中で、2,4-Dichlorobenzoic acid 添加区でのみ抑制がみられたことから、2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの生育抑制の主な原因物質である可能性が考えられた。また、*p*-Hydroxybenzoic acid を  $2\mu\text{ mol}\cdot\text{liter}^{-1}$  添加する区のみで有意な促進効果がみられた。この低濃度のフェノール物質による促進効果は、Gonzalez ら (1997) や Kuiters (1989) によっても報告されている。このようにフェノール物質の種類やその濃度によ

って、キュウリに及ぼす影響の違いがみられた。

また、Williams・Hoagland (1980) によると、フェノール物質を単独ではなく、組み合わせて与えるとより強い抑制を示したことを報告した。本研究でも 2,4-Dichlorobenzoic acid に他のフェノール物質を組み合わせて、キュウリ幼苗でバイオアッセイを行った（データ略）が、抑制効果の促進はみられなかった。実際にキュウリ根から滲出するときには、これら4種のフェノール物質は単独ではなく、混合されて培養液中に存在することから、2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの自家中毒に大きく影響していることが考えられた。

以上より、2,4-Dichlorobenzoic acid が水耕キュウリを培養液非交換で栽培する場合、生育抑制を引き起こす原因物質の一つであると考えられた。

## 第4章 キュウリの接ぎ木による自家中毒の回避

第3章では、水耕キュウリの培養液を交換せずに栽培すると後半の果実収量が減少すること、これには品種間差異が認められるが、培養液に活性炭を添加することで収量が回復することを報告した。また、キュウリを1作栽培した後の培養残液をキュウリ幼苗を用いてバイオアッセイすると、残液に含まれる生育抑制物質に対する感受性の品種間差異がみられた(第2章)。

一方、キュウリでは、耐病性、低温伸長性およびブルームレスを付加するために接ぎ木が行われている(藤枝, 1982; 小田・中島, 1989; 多々木, 1991; 山本ら, 1991; 関・加藤, 1997)。台木の特性が穂木の生育に影響することが知られている。

本実験では、培養液を交換しなくても果実収量の低下がみられない品種および培養残液に含まれる生育抑制物質に対する生長抑制程度が低い品種を台木として接ぎ木し、生育後半の果実収量の低下が軽減できるかどうかを検討した。

### 材料および方法

#### 1. 秋作実験

キュウリ品種として、穂木に‘聖護院青長節成’、台木に‘聖護院青長節成’および‘北進’を用いた。なお、‘聖護院青長節成’は栽培期間中、培養液を更新せずに栽培すると果実収量が減少した品種で、‘北進’は減少がみられなかった品種である(第3章)。

栽培は、島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター内の約100 m<sup>2</sup>のガラス温室で行った。台木に使用した品種は1996年8月

9日、穂木に使用した品種は8月15日にバーミキュライトをつめた1セル容量約45mlの51穴セルトレイに播種した。接ぎ木は8月23日に割り接ぎ法で行い、その後1週間25℃、16時間日長の室内で養成した(第4-1図)。活着後の8月30日に接ぎ木苗をウレタン(縦23mm, 横23mm, 高さ27mm)4個で固定し、容量約60literのコンテナ(内寸、縦50cm, 横60cm, 深さ21cm)に移植し、育苗した。培養液は園試処方標準液に準じ、 $EC\ 2.0dS \cdot m^{-1}$ とした(以下、基準液とする)。コンテナに培養液を50liter入れ、エアーポンプ(空気送風量: $3.8\ liter \cdot min^{-1}$ )で連続通気した。育苗期の栽植本数は、1コンテナ当たり18株とした。定植は9月10日に第3本葉が展開した時に行った。培養液は育苗期と同様とし、栽植本数は1コンテナ当たり3本とした。各処理区には9株を供試した。

接ぎ木を行わなかった区(自根区)、台木に‘聖護院青長節成’を用いた区(‘聖護院青長節成’台木区)および台木に‘北進’を用いた区(‘北進’台木区)とした。なお、培養液のECおよびpHは週1回測定し、2週毎に減少分を培養液で追加し50literとしたが、その際N, P, K, Ca, MgおよびFeを基準液と同じ濃度に調整した。ECおよびpHはいずれの処理区でもそれぞれ $1.4\sim 3.1dS \cdot m^{-1}$ および5.5~7.6の範囲にあった。主枝は15節、1次側枝および2次側枝はそれぞれ1節を残して摘心した。実験中の日平均気温は18.7~29.2℃、日平均水温波19.3~27.0℃で推移し、この条件下で開花後14~20日目には果実は約20cmの収穫果に達した。調査項目としては、雄花および雌花の開花開始日、開花雌花数、実験終了時の株の生育、果実収量および収穫果実数とした。



Fig. 4-1. Cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' seedling grafted on the rootstock of cucumber 'Hokushin' .

## 2. 春作実験

供試品種は、秋作の2品種に加えて台木に‘青大’を用いた。なお、‘青大’は‘聖護院青長節成’の培養残液に含まれる生育抑制物質に対する生長抑制程度が低いと報告した品種である（第2章）。

台木に使用した品種は1997年2月10日、穂木に使用した品種は2月17日に播種した。接ぎ木は2月25日、定植は3月21日に第3本葉が展開した時に行った。

試験区は、自根区、‘聖護院青長節成’台木区、‘北進’台木区、さらに台木に‘青大’を用いた区（‘青大’台木区）を新たに加えた。培養液のECおよびpHはいずれの処理区でもそれぞれ1.5~3.2 dS・m<sup>-1</sup>および5.2~7.9の範囲にあった。他の方法については秋作に準じた。実験中の日平均気温は15.2~27.0℃、日平均水温波17.0~25.9℃で推移し、この条件下で開花後10~18日目には果実は約20cmの収穫果に達した。調査項目としては秋作と同様とした。

## 3. 夏作実験

供試品種は、春作と同じものを用いた。台木に使用した品種は1997年5月26日、穂木に使用した品種は6月2日に播種した。接ぎ木は6月13日、定植は7月2日に第4本葉が展開した時に行った。

試験区は、自根区、‘聖護院青長節成’台木区、‘北進’台木区および‘青大’台木区を設けた。また、培養液のECおよびpHはいずれの処理区でもそれぞれ1.9~3.0 dS・m<sup>-1</sup>および6.2~7.9の範囲にあった。他の方法については春作に準じた。実験中の日平均気温は22.4~31.0℃、日平均水温波22.8~31.1℃で推移し、この条件下で開花後7~14日目には果実は約20cmの収穫果に達した。調査項目としては秋作と同様と

した。

## 結 果

実験終了時の栄養生長について、主枝長および側枝長でみると、3作とも自根区、‘聖護院青長節成’台木区、‘北進’台木区および‘青大’台木区の間で有意な差がみられなかった（第4-1表）。主枝の乾物重は、秋作では各処理区の間で有意な差がみられなかったが、春作では‘聖護院青長節成’台木区が自根区と比べてやや大きかった。また、夏作では‘青大’台木区で他のすべての処理区と比べて有意に減少した。1葉重および側枝の乾物重は、夏作の‘青大’台木区で自根区と比べて減少した。秋作および春作では各処理区の間で有意な差が認められなかった。根の乾物重は3作とも各処理区の間で有意な差がみられなかった。

また、生殖生長についても、3作とも接ぎ木の有無の間で大きな差は認められなかった（第4-2表）。株当たりの最終収穫果実数および株当たりの果実収量は、夏作の‘北進’台木区で有意に増加し、‘青大’台木区でも増加傾向が認められた。しかし、秋作および春作では、有意差は認められなかった。

つぎに、株当たりの収穫果実数を週毎にみると、秋作では、自根区および‘聖護院青長節成’台木区で第7週目には収穫が終了していたが、‘北進’台木区では第7週目まで収穫が続いた（第4-2図）。春作では、自根区および‘聖護院青長節成’台木区で第7週目の収穫果実数が減少したが、‘北進’台木区および‘青大’台木区では減少せず、第5、6週目と同じ程度に収穫果実数が得られた。夏作では、自根区および‘聖護院青長節成’台木区で第4週目の収穫果実数が急激に減少し、それぞれ第5週目および第6週日以降（収穫時期の終期）の収穫がなかった。

一方，‘北進’台木区では第5，6週目まで収穫が続いた。なお，開花雌花数は処理区により差は認められなかったが，自根区および‘聖護院青長節成’台木区では収穫期後半に肥大不良の幼果が多く，黄化する果実が観察された。

Table 4-1. Effects of grafting on the growth of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' .

Season	Rootstock	Plant length ( cm )	Length of primary lateral branch ( cm )	Dry weight ( g )			
				Main stem	Leaf weight of main stem per leaf	Primary lateral branch per plant <sup>z</sup>	Root
Autumn crop	Own-rooted (ungrafted)	170.8	54.0	18.2	6.0	107.9	79.3
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	173.6	57.5	16.0	5.2	94.2	67.7
	'Hokushin'	171.8	56.3	18.4	5.7	102.4	70.0
		NS <sup>y</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
Spring crop	Own-rooted (ungrafted)	183.7	32.1	17.8 b	8.2	72.8	94.8
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	182.9	26.8	22.6 a	9.0	72.4	102.8
	'Hokushin'	174.3	30.6	19.9 ab	8.8	91.4	101.7
	'Aodai'	175.6	25.7	17.5 b	7.9	65.0	86.3
		NS	NS		NS	NS	NS
Summer crop	Own-rooted (ungrafted)	164.0 ab	48.8	18.6 a	7.3 ab	123.5 a	77.1
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	159.3 ab	47.9	16.7 a	7.7 a	123.2 a	63.9
	'Hokushin'	167.7 a	49.0	15.7 a	6.4 bc	104.6 ab	57.5
	'Aodai'	153.6 b	48.1	12.5 b	5.3 c	86.1 b	56.8
			NS				NS

<sup>z</sup> Stem and leaf.

<sup>y</sup> Mean separation within columns by Duncan's new multiple range test, 5% level.

Table 4-2. Effects of grafting on the flowering and yield of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' .

Season	Rootstock	Dates of anthesis (month/day)		No. of flowering female flowers per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
		male flower	female flower				
Autumn crop	Own-rooted	9/26	10/ 1 b	40.1	10/17 b	17.6	2476
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	9/25	9/28 a	43.4	10/11 a	14.4	2101
	'Hokushin'	9/25	9/29 a	44.9	10/15 b	18.0	2491
		NS <sup>2</sup>		NS		NS	NS
Spring crop	Own-rooted	4/11 a	4/17 b	22.0	4/30 b	16.8	2525
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	4/14 b	4/14 a	24.4	4/28 a	19.9	3071
	'Hokushin'	4/14 b	4/15 ab	26.7	4/28 a	21.2	2999
	'Aodai'	4/14 b	4/15 ab	23.9	4/27 a	19.0	2779
			NS		NS	NS	
Summer crop	Own-rooted	7/15	7/22	39.2	7/31 b	13.2 b	2060 b
	'Shogoin-aonaga-fushinari'	7/16	7/21	28.3	7/29 ab	14.3 b	2227 b
	'Hokushin'	7/16	7/21	42.9	7/29 ab	20.6 a	3334 a
	'Aodai'	7/15	7/21	37.4	7/27 a	18.8 ab	2903 ab
		NS	NS	NS			

<sup>2</sup> Mean separation within columns by Duncan's new multiple range test, 5% level. Calculated as transplanted day being zero (month/day).

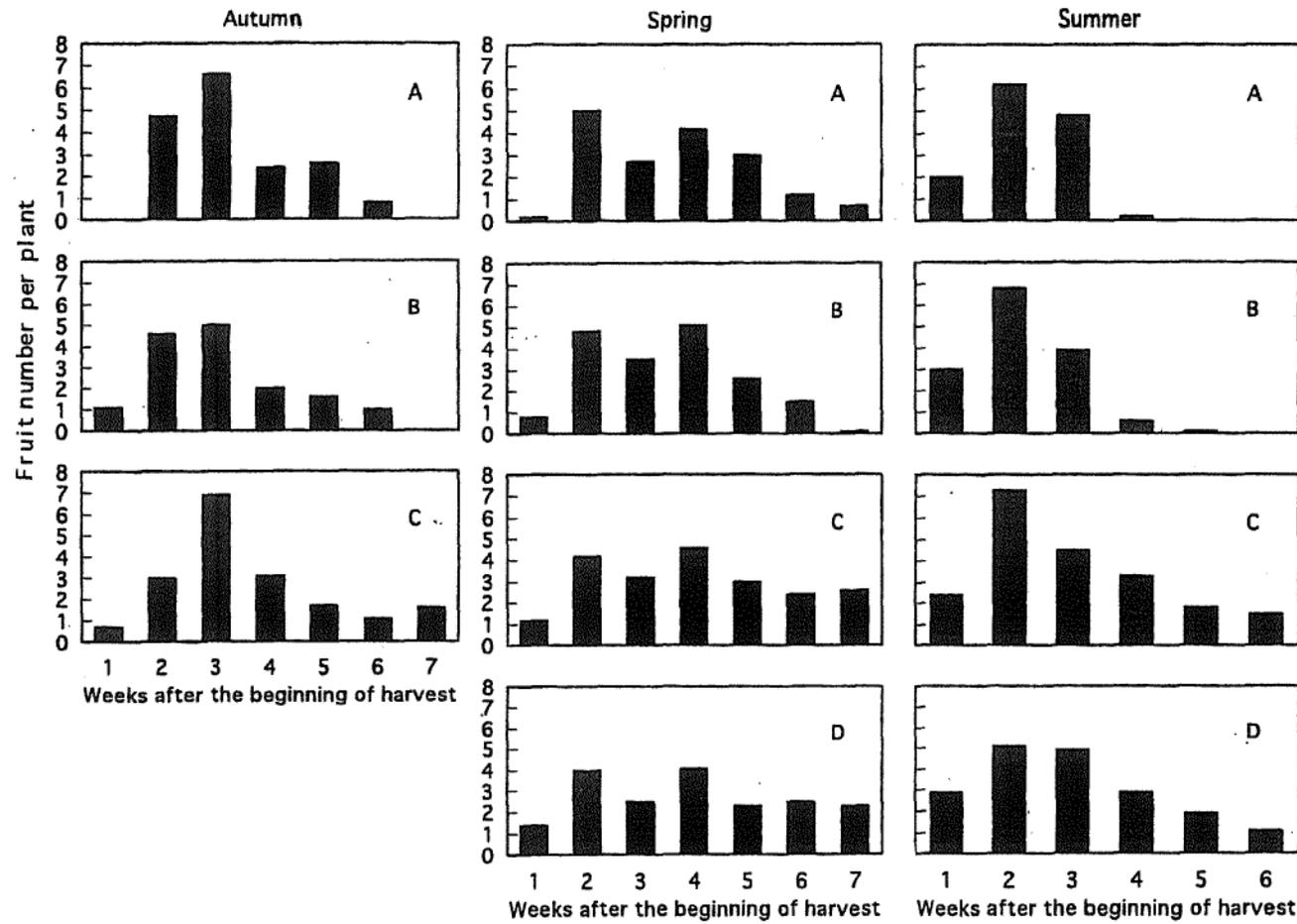


Fig. 4-1. Weekly yield of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' through the harvest period. Fruits were harvested about 20 cm long.

Ungrafted, own-rooted (A), Grafted on 'Shogoin-aonaga-fushinari' rootstocks (B),

Grafted on 'Hokushin' rootstocks (C), Grafted on 'Aodai' rootstocks (D)

## 考 察

以上の結果より、実験終了時の栄養生長については、夏作の‘青大’台木区で抑制傾向にあったが、3作ともすべての処理区間で大きな差が認められなかった。従って、栄養生長に関しては台木の影響は少ないと考えられた。

‘北進’台木区および‘青大’台木区で収穫期後半の自根区および‘聖護院青長節成’台木区と比べて収穫果実数低下の軽減や収穫期間の延長が認められた。キュウリ幼苗を用いたバイオアッセイ（第2章）や第3章において、‘北進’は同一品種を1作栽培した後の培養残液（以下、自家液とした）により生育抑制されなかったが、自家液により生育抑制された‘聖護院青長節成’と比べて生育抑制物質に対する生長抑制程度は変わらなかったことから、‘北進’の根からの抑制物質の量は少ないと考えられる。従って、‘聖護院青長節成’に‘北進’を台木として接ぎ木した場合、培養液内に抑制物質の蓄積が少なく、後半の果実収量の低下がみられなかったと考えられる。‘青大’については、抑制物質でほとんど抑制されないことから（第2章）、‘聖護院青長節成’に‘青大’を台木として接ぎ木した場合、培養液内の抑制物質が多くても、その影響を受けずに後半の果実収量の低下が少なく、収穫期間が延長したと考えられる。なお、第3章の結果から、‘聖護院青長節成’および‘北進’は培養液交換区、すなわち抑制物質が培養液に蓄積されない条件で接ぎ木をせずに栽培した場合、収穫期間に品種間差がなかった、従って、‘北進’台木区の収穫期間が伸びたのは収穫期間に関する品種特性からではなく、根からの生育抑制物質の量が少ないからであると考えられる。

キュウリでは耐病性、低温伸長性（藤枝，1982；小田・中島，1989）

やブルームレス（多々木，1991；山本ら，1991；関・加藤，1997）を付与するために接ぎ木が行われているが，本実験のように根からしん出する生育抑制物質に注目し，台木選択を指摘した例はこれまでにみられない．キュウリは根系が浅く（青葉，1982），根の酸素消費量がトマトに比べて多いことから（Gislerod・Kempton，1983），根系が大きくなる生育後半に酸素不足になりやすいと推測される．モモでは嫌気条件下で生育抑制物質が出やすく（水谷，1980），キュウリでも生育抑制物質が根から多量にしん出した可能性が考えられる．

環境汚染を回避するために，培養液を廃棄せずに循環させる閉鎖系養液栽培が必要とされている（Van Os，1995）．その場合，培養液の養分組成や培養液濃度の調整，あるいはオゾン等の物理的処理等によって病原菌の殺菌は可能であるが（Benoit・Ceustermans，1993；松尾，1993），根からしん出する生育抑制物質を除去することは困難であると考えられる．これを活性炭により除去する方法もあるが（第3章），コストや回収後の処理の点で課題が残る．従って，培養液を廃棄せずに栽培する場合，根からしん出する生育抑制物質に注目し，台木選択を行うことは有効であると考えられる．

以上より，培養液非更新栽培でも果実収量の低下がみられない品種‘北進’や培養液に含まれる生育抑制物質でほとんど抑制されない品種‘青大’を台木として接ぎ木することで，水耕キュウリの生育後半の果実収量低下を軽減させる可能性が考えられた．

## 第5章 キュウリの培養液の溶存酸素濃度が自家中毒に及ぼす影響と活性炭添加による回復

キュウリは根系が浅く（青葉，1982），根の酸素消費量がトマトに比べて多い（Gislerod・Kempton，1983）．とくに養液栽培では，高温期に培養液中の溶存酸素量が低下し，そのために生育後半の果実収量が低下すると考えられてきた．一方，第2章では，水耕キュウリの培養液を交換せずに栽培した場合，果実収量が減少し，活性炭を添加するとその減少が回復したことを示した．また，その活性炭に吸着された抑制物質は主に 2,4-Dichlorobenzoic acid であることを認めた．

本実験では，培養液の溶存酸素濃度がキュウリの自家中毒に及ぼす影響について検討した．

### 材料および方法

供試品種は，‘聖護院青長節成’を用いた．

栽培は，島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター内の約 100 m<sup>2</sup> のガラス温室で行った．1998 年 8 月 4 日にバーミキュライトを入れた 1 セル容量約 45ml の 51 穴セルトレイに播種した．本葉出葉期にキュウリ苗をウレタン（縦 23mm，横 23mm，高さ 27mm）4 個で固定し，容量約 60 liter のコンテナ（内寸，縦 50 cm，横 60cm，深さ 21 cm）に移植し，育苗した．培養液は園試処方標準液に準じ EC 2.0 dS・m<sup>-1</sup> とした（以下，基準液とする）．コンテナに培養液を 50 liter 入れ，エアーポンプ（空気送風量：3.8 liter・min.<sup>-1</sup>）で通気した．育苗時の栽植本数は，1 コンテナ当たり 18 株とした．定植は 8 月 25 日に本葉が 3～4 枚に達した時に行った．培養液は育苗期と同様とし，栽

植本数は、1 コンテナ当たり 3 本とした。各処理区には 9 株を供試した。

定植時に通気時間を 1 時間当たり 15 分（6 時間通気区）と連続通気（24 時間通気区）とし、さらにそれぞれの区に活性炭を添加する区を設けた。活性炭は 1 コンテナ当たり 300g 添加し、2 週毎に交換した。なお、培養液の EC および pH は週 1 回測定し、2 週毎に減少分を培養液で追加し 50 liter としたが、その際 N, P, K, Ca, Mg および Fe を基準液と同じ濃度に調整した。EC および pH はいずれの処理区でもそれぞれ 1.9~2.7 dS · m<sup>-1</sup> および 5.4~7.3 の範囲にあった。主枝は 15 節、1 次側枝および 2 次側枝はそれぞれ 1 節を残して摘心した。実験中の日平均気温は 18.3~29.0℃、日平均水温は 19.6~29.2℃で推移し、この条件下で開花後 10~14 日目には果実は約 20cm の収穫果に達した。調査項目としては、雄花および雌花の開花開始日、開花雌花数、株の生育、果実収量および収穫果実数とした。また、培養液中の溶存酸素量を DO メーター（HORIBA, OM-12）で週 1 回午前 10 時に測定した。

## 結果

DO 値は、6 時間通気で 1.7~3.1ppm、24 時間通気で 5.0~7.5ppm で推移し、活性炭の有無による大きな差はみられなかった（第 5-1 図）。

実験終了時の生育について、主茎長は通気時間および活性炭の有無による有意な差はみられなかった（第 5-1 表）。側枝長は、6 時間通気区と比べて 24 時間通気区で有意に大きくなったが、活性炭を添加した区では有意な差は認められなかった。主枝の乾物重は、通気時間による差は認められなかったが、活性炭を添加すると大きくなる傾向がみられた。1 葉重については、処理区による有意な差はみられなかった。側枝の乾物重は、6 時間通気区で有意に小さくなり、活性炭添加では変わらなか

った。根の乾物重は、24 時間通気区で小さくなる傾向がみられ、活性炭を添加すると大きくなった。6 時間通気区では活性炭の有無による差は認められなかった。

雄花の開花開始日は、6 時間通気の活性炭添加区で遅くなり、他の処理区は変わらなかった（第 5・2 表）。雌花開花開始日は処理区による差は認められなかった。株当たりの開花雌花数は、活性炭を添加した区でやや増加する傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。雌花の開花開始日は処理区による差はみられなかった。株当たりの収穫果実数は通気時間による差は認められなかったが、活性炭を添加すると有意に増加した。株当たりの果実収量は、6 時間通気区でやや減少する傾向がみられ、活性炭を添加すると 6 および 24 時間通気区で増加し、通気時間による差は認められなかった。

## 考 察

橘（1986）は、根の酸素不足により根の機能が低下し、キュウリの生育後半の側枝発生に影響している可能性について報告している。本実験でも、終了時の栄養生長について、側枝長および側枝の乾物重において 6 時間通気区と比べて 24 時間通気区で大きくなる傾向がみられた。なお、生育初期に関連する主茎長、主枝の乾物重および 1 葉重には有意な差が認められなかったものの、生育後半の栄養生長（側枝の伸長など）に培養液の溶存酸素濃度が影響するものと考えられた。

また、活性炭の有無による栄養生長の差は、6 および 24 時間通気区ともみられなかった。このことは第 3 章の結果と同様であった。

つぎに開花および収穫果実数については、通気時間の違いによる差はみられず、本実験で行った栽培法（整枝法等）では溶存酸素の影響は少

なかったと考えられた。なお、6 および 24 時間通気区とも活性炭添加すると、収穫果実数が増加したことから、キュウリ根からの生育抑制物質が活性炭により吸着され、収穫果実数が回復したと考えられた。

以上より、両区とも活性炭を添加すると、収穫果実数の増加がみられたことから、本実験で行った摘心法ならびに溶存酸素量の範囲等の栽培法においては、キュウリの自家中毒は溶存酸素濃度の影響は少なく、根から滲出する生育抑制物質が主要因と考えられた。

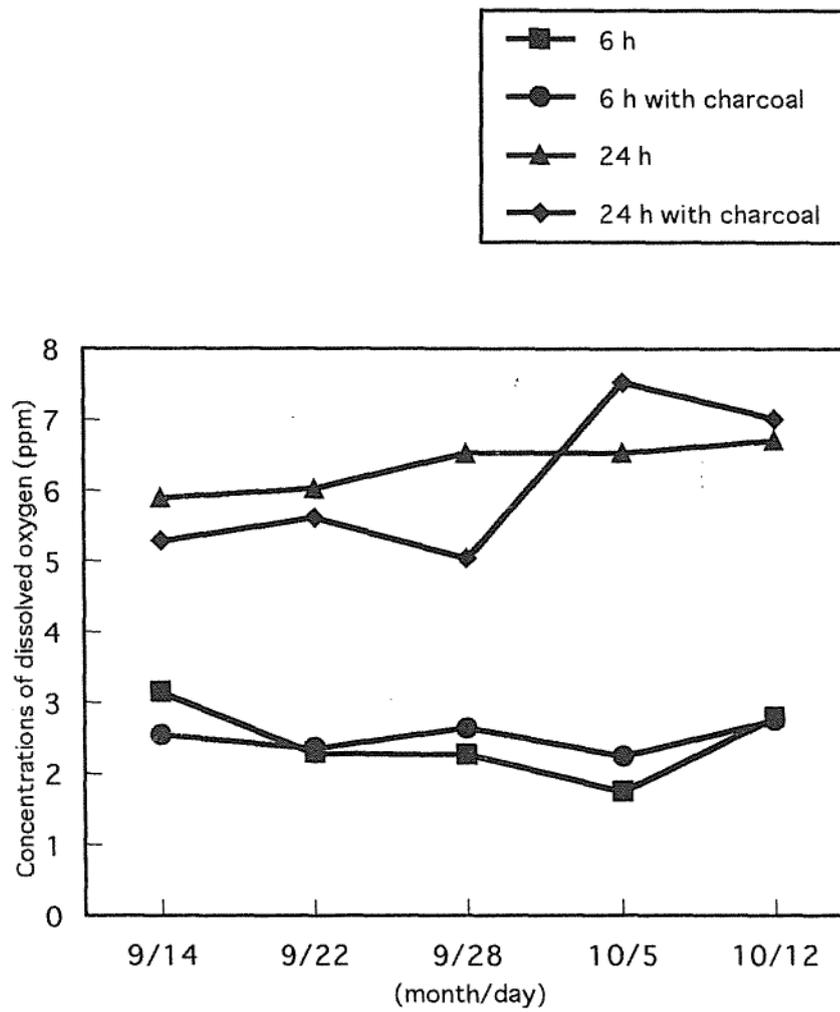


Fig. 5-1. Concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution.

Table 5-1. Effects of the concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution on the growth of cucumber.

Aeration <sup>z</sup> (hours)	Charcoal supplement	Plant length (cm)	Length of primary lateral branch (cm)	Dry weight (g)			
				Main stem	Leaf weight of main stem per leaf	Primary lateral branch per plant <sup>y</sup>	Root
24	-	159.9	51.2 a	9.4	3.1	60.0 ab	55.8 b
	+	160.1	49.7 ab	11.2	3.7	66.4 a	87.4 a
6	-	153.4	43.3 b	9.8	3.2	48.1 b	68.7 ab
	+	165.9	46.9 ab	11.5	3.1	49.6 b	62.3 ab
		NS <sup>x</sup>		NS	NS		

<sup>z</sup> Continuous aeration (24 hours) and 15th minutes per hour (6 hours).

<sup>y</sup> Stem and leaf.

<sup>x</sup> Mean separation within columns by Tukey test at 1 % level.

Table 5-2. Effects of the concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution on the flowering and yield of cucumber.

Aeration <sup>z</sup> (hours)	Charcoal supplement	Dates of anthesis (month/day)		No. of flowering female flower per plant	Beginning dates of harvest (month/day)	Harvested fruit number per plant	Total yield per plant (g)
		male flower	female flower				
24	-	9/ 8 a <sup>y</sup>	9/13	25.3	9/22	10.6 b	1844
	+	9/ 8 a	9/11	33.0	9/22	14.4 a	2007
6	-	9/ 8 a	9/13	24.0	9/23	9.9 b	1428
	+	9/ 5 b	9/13	27.6	9/21	14.7 a	2009
			NS	NS	NS		NS

<sup>z</sup> Refer to Table 5-1.

<sup>y</sup> Mean separation within columns by Tukey test at 1 % level.

## 第6章 総合考察

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) は、戦後食生活の洋風化により、サラダ等の生で食べる習慣が生まれ、さらに品種改良、作型の分化、施設栽培の普及、栽培技術の向上等により、安定的な周年供給体制が確立され、その生産量が延びていった。しかし、現在キュウリは施設栽培での主要作目でありながら、養液栽培での栽培面積は比較的少ない。露地栽培ではもちろん、施設栽培においても土耕栽培が主流になっている。

養液栽培キュウリは、成長が速く、収穫が早まるというメリットはあるが、収穫が短期間に集中するために草勢の衰えが速く、後期の果実収量が低下するために栽培面積が延びないと考えられている。その原因として、溶存酸素不足等が考えられているが、まだ不明な点がある。

キュウリは根系が浅く (青葉, 1982), 根の酸素消費量がトマトに比べて多いことから (Gislerod · Kempton, 1983), 根系が大きくなる生育後半に酸素不足になりやすいと推測される。とくに養液栽培では、高温期に培養液中の溶存酸素量が低下すると考えられる。生育後半の酸素不足がキュウリの生育に影響、すなわち果実収量の低下を招くメカニズムについては詳細には分かっていない。培養液中の溶存酸素濃度が低下し、根の吸水および養分吸収能が阻害されることで後期の果実肥大が抑制され、果実収量が低下することが推測されるが、その詳細については解明されていない。Yoshida · Eguchi (1994) によると、低溶存酸素濃度条件下において地上部環境の酸素が葉を通して根に供給され、根の呼吸が維持されるとともに吸水が改善されることを明らかにしている。また、郭・橘 (1997) は、キュウリの幼植物の栄養生長を調節する場合、培養液の DO 値を 1 ppm 以下に下げる必要があり、トマトでは 2 ppm

前後を目安にすればよいと報告している。トマトは養液栽培では主要な作目であり、実際栽培で培養液中の溶存酸素不足が原因で生育および果実収量が土耕栽培と比べて抑制されることは少ないことから、キュウリでの培養液の酸素不足が後期の果実収量低下の原因だとは考えにくい。

つぎに養液栽培は土耕栽培と比べて、キュウリが養水分を吸収しやすいために栄養生長過多「つるぼけ」が生じ、生殖生長が抑制され、果実収量が少なくなる可能性が考えられる。しかし、養液栽培でのキュウリは、生育後期に草勢の衰えを生じることから、栄養生長も抑制される。単に栄養生長過多が原因ではないと考えられる。

そこで、植物体から出される化学物質によるアレロパシーが考えられる。野菜では、収穫残渣の分解物等による自作物の生育阻害作用すなわち連作障害としてのアレロパシーが働いていると推定されているものとして、アスパラガス (Yang, 1982, 1985; Young, 1984, 1986; Young · Chou, 1985; Shafer, 1986), スイカ (初田ら, 1961; 土屋 · 大野, 1989), トマト (農技研土壤微生物研, 1977; 水谷, 1984; Yu · Matsui, 1993a, 1993b), ナス (滝嶋 · 林, 1959a; 林 · 滝嶋, 1959; Lee et al., 1967), エンドウ (滝嶋 · 林, 1959b; 平吉ら, 1959, 1962; 二井内 · 興津, 1965; 初田ら, 1963; Hatsuda et al., 1965; 土屋 · 大野, 1989; 興津, 1981; 高橋, 1981), サトイモ (宮路 · 白沢, 1979; 続ら, 1995) およびミツバ (甲田ら, 1977, 1980) があげられている。しかし、キュウリについては十分解明されていない。キュウリのアレロパシー能については、雑草抑制を目的に Putnam · Duke (1974) が調査し、雑草抑制作用の強いキュウリを選抜した。また、Lockerman · Putnam (1979, 1981a, 1981b) は抑制の強いキュウリを用いて、圃場における雑草抑制作用、養分等における雑草との競合およびキュウリ各部のアレロパシ

一能について確認した。これらの研究は、キュウリから放出された化学物質が他の植物に対する影響すなわち他家中毒について行われたものである。Yu・Matsui (1993a, 1993b) は、トマトの養液栽培での収量低下にアレロパシーが関与していることを示唆している。キュウリでも放出された化学物質が自作物に影響すなわち自家中毒の可能性が考えられる。

本研究では、キュウリを水耕栽培した後の培養液に含まれるキュウリ根からの生育抑制物質のバイオアッセイをキュウリ幼苗を用いて行った(第2章)。その結果、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’が、同一品種の培養残液(自家液)によりキュウリ幼苗の生育が抑制された。

‘PI 169391’は、Lockerman・Putnamが雑草抑制のアレロパシーを示したと報告したトルコ産の野生種であるが、自家中毒作用も示したことになる。また、‘聖護院青長節成’の培養残液に含まれる生育抑制物質に対する感受性には品種間差異があり、‘PI 169391’のように他の品種からの生育抑制物質に対して感受性が中程度で、自家液で生育抑制を示すタイプ、‘アンコールI’のように感受性は高いが、自家液で生育抑制を示さないタイプ、‘北進’および‘長日落合2号’のように感受性は中程度であるが、自家液で生育抑制を示さないタイプおよび‘青大’のように感受性が低く、かつ自家液で生育抑制を示さないタイプに分かれた。

つぎに、自家液で生育抑制を示した品種‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’、ならびに抑制を示さなかった品種‘北進’および‘長日落合2号’を用い、キュウリの養液栽培での生育後半の果実収量低下が培養液の非交換により引き起こされるかどうかを検討した(第3章)。その結果、すべての品種で栄養生長には影響がみられなかったが、バイ

オアッセイで自家液により生育抑制を示した‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’は、後半の果実収量が低下した。その原因として、着果や果実肥大を抑制する物質が植物体から出て、培養液を全量交換しない場合、後半になるとその物質が培養液中に蓄積するためであると考えられた。また、培養液に活性炭を添加すると収量が回復することから、根からの生長抑制物質の滲出を示唆していた。

生長抑制を引き起こす原因物質の解明のために、収量低下を回復させた活性炭を用い、活性炭に吸着された生長抑制物質の分析を行った。その結果、Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid が検出された。そこで、キュウリ幼苗を用い、それらのフェノール物質のバイオアッセイを行ったところ、2,4-Dichlorobenzoic acid が顕著にキュウリ幼苗の生育を抑制した。また、水耕キュウリの培養液に 2,4-Dichlorobenzoic acid を添加すると、培養液を交換しない場合と同様に後半の果実収量が低下し、活性炭添加により収量低下の回復が認められた。以上より、2,4-Dichlorobenzoic acid が水耕キュウリの果実収量低下の原因物質の1つであることが可能性が示され、この収量低下は活性炭処理により回復することが明らかになった。

第2章および第3章の結果より、キュウリの自家中毒には品種間差異がみられた。一方、キュウリでは、耐病性や低温伸長性およびブルームレスを付加するために接ぎ木が行われている（藤枝，1982；小田・中島，1989；多々木，1991；山本ら，1991；関・加藤，1997）。台木の特性が穂木の生育に影響することが知られている。そこで、本研究では、培養液交換しなくても果実収量の低下がみられない品種および培養液に含まれる生育抑制物質に対する生長抑制程度が低い品種を台木として接ぎ木し、生育後半の果実収量の低下が軽減できるかどうかを検討

した。その結果、培養液非更新栽培でも果実収量の低下がみられない品種‘北進’や培養液に含まれる生育抑制物質でほとんど抑制されない品種‘青大’を台木として接ぎ木することで、水耕キュウリの生育後半の果実収量低下を軽減させる可能性が考えられた。

水耕キュウリの生育後半の果実収量低下は、培養液の溶存酸素濃度が低下し、根からの養水分吸収が阻害されるために起きると考えられている。そこで、培養液への通気時間を1時間当たり15分（6時間通気区）と連続通気（24時間通気区）をしたものとを比べると、培養液中のDO値は、それぞれ1.7～3.1ppm, 5.0～7.5ppmで推移した。郭・橘（1997）は、キュウリの栄養生長を調節するためには培養液の溶存酸素濃度を1ppm以下に下げると報告している。本研究の6時間通気区のDO値は1.7ppm以上を示し、栄養生長に関しては、生育後半の側枝の伸長に影響していた。両区とも活性炭を添加すると、収穫果実数が増加したことから、キュウリの自家中毒は養存酸素濃度（DO値）の影響は少なく、根から滲出する生育抑制物質が主要因と考えられた。また、より低濃度の溶存酸素条件下でのキュウリの自家中毒の発生について検討すべきだと考えられる。さらに温度や日長による影響についても今後検討すべきであると考えられる。

環境汚染減少の観点から閉鎖系養液栽培の研究が進められ（Van Os, 1995）、培養液を系外に排出することなく循環させる培養法が考案されている（Ruijs, 1994）。その場合、培養液中の無機養分の再調整や殺菌灯等による病原菌密度の低下は可能である（Benoit・Ceustermans, 1993）が、植物体から滲出される生育抑制物質を除去することは困難であり、培養液中に抑制物質が蓄積する可能性が考えられる。そこで、本研究では、キュウリの根から滲出されるフェノール物質が後半の果実

収量の低下を引き起こすことを明らかにし、その除去法として培養液中に活性炭を添加し、キュウリの自家中毒を回復させることができた。また、自家中毒を起こしにくい品種を台木として接ぎ木することにより自家中毒を回避させることが可能になった。本研究での成果は、閉鎖系養液栽培におけるアレロパシー（自家中毒）の関わりのみならず、連作障害における自家中毒の関わりについても示唆を与えると考えられる。

## 摘 要

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) は、施設栽培における主要作物であるが、養液栽培での栽培面積は比較的少ない。養液栽培でのキュウリは、成長が速く、収穫期間が早まる一方、収穫は短期間に集中するために草勢の衰えは速く、後期の収量が低下することが知られている。その原因として、溶存酸素不足等があげられているが、まだ不明な点がある。

一方、環境汚染を減少させるための閉鎖系養液栽培システムの研究が進められ、培養液を周囲の環境に排出せずに循環させ、廃液を再利用することが考えられている。その場合、培養液中の無機養分の再調整や殺菌灯等による病原菌の減少は可能であるが、植物体から放出される生育抑制物質を除去することは困難であり、培養液中に抑制物質が蓄積する可能性が考えられる。一般的に水耕栽培の培養液は1作の中で全量交換することは少なく、水や肥料分を追加する。このような栽培では、根からの滲出物が培養液中に蓄積し、キュウリの生育を抑制する（自家中毒）可能性が考えられる。

そこで、本研究では、キュウリの自家中毒の発生とその品種間差異について検討し、キュウリの自家中毒作用について明らかにするとともに、その原因物質の同定、活性炭および接ぎ木による自家中毒の回避、培養液の溶存酸素量が自家中毒に及ぼす影響について検討した。

### 1. 養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生と品種間差異

‘アンコール I’、‘青大’、‘北進’、‘長日落合 2 号’、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’をそれぞれ1作水耕栽培した後の培養残液を用いて、それぞれ同一品種のキュウリ幼苗の生育に及ぼす影響について検討した。その結果、‘聖護院青長節成’および‘PI

169391’はそれぞれ同一品種の培養残液によりキュウリ幼苗の生育が抑制されたが、他の品種では抑制されなかった。両品種とも根から出される抑制物質が多いか、それとも抑制物質に対する感受性が高いかは不明であるが、自家液による生育抑制には品種間差異が認められた。

次に自家液で最も抑制程度が顕著であった‘聖護院青長節成’の培養残液を用いて、栽培品種21種、野生種の‘PI 169391’および *Cucumis sativus* var. *Hardwickii* K.のバイオアッセイを行った。その結果、‘聖護院青長節成’の培養残液に含まれる生育抑制物質に対する感受性には品種間差異があり、‘アンコール I’は最も感受性が高く、‘青大’は最も低かった。

以上より、‘PI 169391’のように他の品種からの生育抑制物質に対して感受性が中程度で、自家液で生育抑制を示すタイプ、‘アンコール I’のように感受性は高いが、自家液で生育抑制を示さないタイプ、‘北進’および‘長日落合 2 号’のように感受性は中程度であるが、自家液で生育抑制を示さないタイプおよび‘青大’のように感受性が低く、かつ自家液で生育抑制を示さないタイプに分かれた。

## 2. 養液栽培によるキュウリの自家中毒の発生とその原因物質の検出

キュウリの養液栽培での生育後半の収量低下（自家中毒）が培養液の非交換により引き起こされることを明らかにするとともに、その回避方法について検討した。培養液を2週毎に全量交換する場合と比べて培養液を追加していく場合、栽培終了時の生育には影響がみられなかったが、後半の果実収量が低下した。追加液で栽培した場合、収量低下には品種間差異が認められ、‘聖護院青長節成’および‘PI 169391’で果実収量が低下したが、‘北進’および‘長日落合 2 号’では低下しなかつ

た。培養液を追加する栽培で活性炭を添加すると、収量が低下しなかった。その現象の原因として、活性炭に吸着されるような根からの滲出物の存在が考えられた。とくにその滲出物は、若い果実に影響を及ぼすと考えられた。

キュウリ‘聖護院青長節成’の根の滲出物に含まれる生育抑制物質の検出を行った。培養液に添加し、果実収量低下を回復させた活性炭を用い、ガスクロマトグラフィ法により分析を行った。その結果、キュウリの根からの滲出物に含まれる生育抑制物質として、Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid および Phthalic acid が検出された。同定された物質の生育抑制程度はキュウリ植物体を用いて、異なる濃度 (0, 2, 10 または  $20 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ ) の物質を培養液に添加して検討した。添加した物質のうち、2,4-Dichlorobenzoic acid がキュウリの生育を顕著に抑制した。水耕キュウリの培養液に 2,4-Dichlorobenzoic acid を  $2 \mu \text{ mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  添加すると、栄養生長には影響はみられなかったが、収量は低下し、収穫期間も短くなった。この場合、活性炭を培養液に添加しておくこと 2,4-Dichlorobenzoic acid による抑制は回復した。キュウリ根からの滲出物である 2,4-Dichlorobenzoic acid が水耕キュウリにおいて収量低下の原因物質として働き、培養液への活性炭添加によりその抑制が除かれることが明らかになった。また、キュウリ‘PI 169391’についても同様なことが示唆された。

### 3. キュウリの接ぎ木による自家中毒の回避

培養液非交換による水耕キュウリ‘聖護院青長節成’の生育後半の収量低下が接ぎ木によって軽減されるかどうかを秋、春および夏作で検討した。栄養生長に関して、3作とも自根区、‘聖護院青長節成’台木区、‘北進’台木区および‘青大’台木区で大きな差は認められなかった。

従って、栄養生長に関しては台木の影響はほとんどないと考えられた。総収穫果実数は、‘北進’および‘青大’台木区にした場合、夏作でのみやや増加した。週毎の収穫果実数では、‘北進’および‘青大’台木で収穫期後半の収穫果実数に低下傾向がみられず、収穫期間が延長した。

その結果、培養液非更新栽培でも果実収量の低下がみられない品種‘北進’や培養液に含まれる生育抑制物質でほとんど抑制されない品種‘青大’を接ぎ木することにより、水耕キュウリの生育後半の果実収量低下を軽減させる方法が示唆された。

#### 4. キュウリの培養液の溶存酸素濃度が自家中毒に及ぼす影響と活性炭添加による回復

培養液の溶存酸素濃度が自家中毒に及ぼす影響について検討した。培養液の DO 値は、通気時間を 1 時間当たり 15 分（6 時間通気区）にした場合、1.7～3.1ppm、24 時間連続通気（24 時間通気区）した場合、5.0～7.5ppm で推移し、活性炭の有無による差はみられなかった。

実験終了時の栄養生長については、主莖長、主枝の乾物重ならびに 1 葉重には有意な差は認められなかったが、生育後半の側枝の生育については 24 時間通気区と比べて 6 時間通気区で抑制された。活性炭添加の有無による差はみられなかった。

開花および果実収量について、通気時間の違いによる差はみられなかったが、6 および 24 時間通気区とも活性炭を添加すると収穫果実数が増加した。

以上より、生育後半の収量低下（自家中毒）は、溶存酸素濃度の影響は少なく、根から滲出する生育抑制物質が主要因と考えられた。

## 引用文献

- 青葉 高. 1982. キュウリ=植物としての特性. 農業技術体系. 野菜  
編1 キュウリ. P.6-15. 農山村漁村文化協会. 東京.
- 青葉 高. 1991. 野菜の日本史. P.15-216. 八坂書房. 東京.
- 青葉 高. 1993. 日本の野菜. P.43-49. 八坂書房. 東京.
- 新井和夫. 1988. 野菜のはなしⅡ. 西貞夫編. P.51-54. 技報堂.  
東京.
- Benoit, F. and N. Ceustermans. 1993. Low pressure UV disinfection also  
effective for NFT-lettuce. Technical Communications European R&D  
Center, B-2860 Sint-Katelijne-Waver, Belgium, March 1993 : 9p.
- Böener, H. 1959. The apple replant problem. I. The excretion of phlorizin  
from apple root residues. Contrs. Boyce Thompson Inst. 20 : 39-56.
- Böener, H. 1960. Neuere Ergebnisse über die Ursachen der  
Bodenmüdigkeit beim Apfel (*Pyrus malus* L.). Erwerbsobstbau.  
2 : 191-195.
- Böener, H. 1961. Experimentelle Untersuchungen über die  
Bodenmüdigkeit beim Apfel (*Pyrus malus* L.). Beitr. Biol.  
Pfl. 36 : 97-137.
- Chapman, G. W. Jr. and R. J. Horvat. 1989. Determination of nonvolatile  
acids and sugars from fruits and sweet potato extracts by capillary  
GLC and GLC/MS. J. Agric. Food Chem. 37 : 947-950.
- Demos, E. K., Woolwine, M., Wilson, R. H. and Mcmillan, C. 1975. The  
effects of ten phenolic compounds on hypocotyl growth and  
mitochondria metabolism of mung bean. Am. J. Bot. 62 : 97-102.

- Einhellig, F. A. and Rasmussen, J. A. 1978. Synergistic inhibitory effects of vanillic and *p*-hydroxybenzoic acids on radish and grain sorghum. *J. Chem. Ecol.* 4 : 425-436.
- 藤井健雄. 1980. キュウリ, 「蔬菜園芸各論」. P.1-35. 養賢堂. 東京.
- 藤井義晴・安田 環. 1987. 植物間相互作用に關与する生理活性物質. *ぶんせき.* 148 : 231-237.
- 藤枝国光. 1972. キュウリ, 「野菜の生態と作型」. P.189-213. 誠文堂新光社. 東京.
- 藤枝国光. 1982. 接ぎ木の生理. 農業技術体系. 野菜編1 キュウリ. P.49-60. 農山漁村文化協会. 東京.
- 藤枝国光. 1993. 野菜の起源と分化. P.7-13. 九州大学出版会. 福岡.
- Gislerod, H. R. and R. J. Kempton. 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Sci. Hort.* 20 : 23-33.
- Gonzalez, L., Souto, X. C. and Reigosa, M. J. 1997. Weed control by *Capsicum annuum*. *Allelopathy J.* 4 : 101-110.
- Grümmer, G. 1955. "Die gegenseitige Beeinflussung höhere Pflanzen. Alleopathie." Fischer, Jena.
- 初田勇一・村尾沢夫・寺島典二・横田寿雄. 1960. 植物の忌地性に関する生化学的研究 (第1報) イチジク根皮部中の生育阻害物質. *農化.* 34 : 484-486.
- 初田勇一・村尾沢夫・寺島典二・横田寿雄. 1960. 植物の忌地性に関する生化学的研究 (第2報) 桃根皮部中の生育阻害物質. *農化.* 34 : 486-488.

- 初田勇一・村尾沢夫・西村正よう・浜崎 . 1961. スイカ根部の生長  
阻害物質について. 日本農芸化学誌. 35 : 1107-1108.
- 初田勇一・浜崎 . 西村正よう・蓮仏正義. 1963. エンドウの根部中  
の植物に対する生育阻害物質について. 日本農芸化学誌. 37  
: 262-264.
- Hatsuda, Y. et al. 1965. Inhibitory effects of some phytotoxic substances  
produced by plant roots upon the growth of higher plant seedlings  
and microorganisms. J. Fac. Agr. Tottori Univ. 4 : 183-188.
- 林 武・滝嶋康夫. 1959. 作物の忌地に関する研究 (第1報) 連作,  
残根並びに水耕廃液の生育阻害物質作用. 農業及び園芸. 34  
: 971-972.
- 平井重三・平野 暁. 1949. イチジクの忌地に関する研究 (第1報)  
忌地現象の確認. 京都大学園芸学研究集録. 4 : 96-102.
- 平井重三・平野 暁. 1949. イチジクの忌地に関する研究 (第2報)  
イチジク各部粉末が種子の発芽に及ぼす影響. 京都大学園芸学研  
究集録. 4 : 103-110.
- 平井重三・平野 暁. 1951. イチジクの忌地に関する研究 (第3報)  
イチジクの根皮粉末が植物の生育に及ぼす影響. 京都大学園芸学  
研究集録. 5 : 11-14.
- 平井重三・西谷好一. 1953. イチジクの忌地に関する研究 (第4報)  
圃場に於けるイチジクの連作障害. 京都大学園芸学研究集録. 6  
: 32-34.
- 平井重三・西谷好一・南条嘉泰. 1955. イチジクの忌地に関する研究  
(第5報) イチジク根皮加用土壌におけるイチジクの挿木試験.  
京都大学園芸学研究集録. 7 : 40-41.

- 平野 暁. 1955. 桃の忌地に関する研究 (第2報) 桃幼樹の自樹及び隣接樹に及ぼす影響. 京都大学園芸学研究集録. 7:13-17.
- 平野 暁. 1957. 桃の忌地に関する研究 (第4報) 生育地土壌及び桃葉抽出液の希釈が桃実生の生育に及ぼす影響. 園学雑. 26:261-266.
- 平野 暁・森岡節夫. 1964. 果樹における根分泌物の生長抑制作用の種類間関係について. 園学雑. 33:13-22.
- 平野 暁・中井滋郎. 1965. 果樹を密植した場合における根分泌物の影響. 園学雑. 35:1-7.
- 平吉 功・黒田佐俊・西川浩三. 1959. 植物の自家生育阻害物質に関する研究, 2. エンドウの磔耕廃液の数種作物の発芽及び幼苗の生育に対する阻害作用. 農業及び園芸. 34:1419-1421.
- 平吉 功・西川浩三・藤井敏男. 1962. 植物の自家生育阻害物質に関する研究, 3. エンドウ, 陸稲および水稲の水耕廃液から抽出した生育阻害物質. 岐阜大農研報. 16:99-103.
- 細見彰洋・内山知二. 1998. イチジクいや地圃場における生育阻害要因. 園学雑. 67:44-50.
- 堀 裕. 1966. 蔬菜・花卉のれき耕栽培. p.207. 養賢堂. 東京.
- Imazu, T. and N. Fujishita. 1956. Cucumber, Land and crops of Nepal Himalaya. Fauna and flora research society, Kyoto university. 2:213-228.
- 板木利隆. 1993. 野菜の接ぎ木苗について (1) 野菜接ぎ木苗生産の現状と技術開発の動向. 農業電化. 46:8-12.
- 郭 世栄・橘 昌司. 1997. トマトおよびキュウリ幼植物の生長と無機栄養に及ぼす培養液の溶存酸素濃度の影響. 園学雑. 66:331-337.
- 粕川照男. 1980. 野菜の科学. P.23-24. 研成社. 東京.

- 甲田暢男・萩原佐太郎・広保 正. 1977. ミツバの水耕液に対する活性炭の添加効果. 園学要旨. 昭 52 春 : 270-271.
- 甲田暢男・宇田川雄二・萩原佐太郎・広保 正. 1980. ミツバの水耕液に対する活性炭の添加効果 (第 2 報) 有機酸の影響と除去効果. 園学要旨. 昭 55 秋 : 224-225.
- 興津伸二. 1981. まめ類の生理障害. (3) エンドウ 地力維持・連作障害克服のための畑地管理技術指針. P.440-443. 農林水産技術会議事務局.
- Kuiters, A. T. 1989. Effects of phenolic acids on germination and early growth of herbaceous woodland plants. J. Chem. Eco. **15** : 467-479.
- 草刈眞一. 1998. 養液栽培の病害と除菌・殺菌技術 (1). 農業及び園芸. **73** : 991-998.
- 草刈眞一. 1998. 養液栽培の病害と除菌・殺菌技術 (2). 農業及び園芸. **73** : 1106-1113.
- 草刈眞一. 1998. 養液栽培の病害と除菌・殺菌技術 (3). 農業及び園芸. **73** : 1209-1212.
- Lee, I. K. and O. M. Im. 1967. Studies on the sick soil phenomena of *Sataria italica* and *Solanum melangena*. Nuc. Eng. Stud. Ser. 7 (No 1, Pt 2) : 39-44. (In Korea, English summary).
- Lockerman, R. H. and A. R. Putnam. 1979. Evaluation of allelopathic cucumber (*Cucumis sativus*) as an aid to weed control. Weed Sci. **27** : 54-57.
- Lockerman, R. H. and A. R. Putnam. 1981a. Growth inhibitors in cucumber plants and seeds. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **106** : 418-422.
- Lockerman, R. H. and A. R. Putnam. 1981b. Mechanisms for differential

- interference among cucumber (*Cucumis sativus*) accessions. Bot. Gaz. 142 : 427-430.
- 松尾昌樹. 1993. 養液内病原菌のオゾンによる殺菌・キュウリつる割病原菌分生胞子の場合. 農業機械学会誌. 55 : 105-111.
- 宮路龍典・白沢禾雄. 1979. サトイモの連作障害の発現と対策に関する研究. 鹿児島農試研報. 7 : 5-15.
- 水谷純也. 1984. トマトに含まれるアレロパシー物質「人間の生存と植物生産」. P.286-287. 東京大学出版会. 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 : 1-84.
- 水谷房雄・杉浦 明・苫名 孝. 1979. 呼吸阻害剤および数種の化学物質が核果類の根の cyanogenesis に及ぼす影響. 園学雑. 47 : 443-447.
- 水谷房雄・板村裕之・杉浦 明・苫名 孝. 1979. モモのいや地に関する研究 (第2報) 根に含まれる生長抑制物質としての縮合性タンニンについて. 園学雑. 48 : 279-287.
- Molisch, H. 1937. "Der Einfluss einer Pflanze auf die andere- Allelopathie." Fischer, Jena.
- Namiki, T. 1993. Hydroponics in Japan-past, present and future. Bull. Exp. Farm, Agr., Kyoto Pref. Univ. 16 : 22-31.
- Nandakumar, L. and Rangaswamy, N. S. 1985. Effects of some flavonoids and phenolic acids on seed germination and rooting. J. Exp. Bot. 36 : 1313-1319.
- 二井内清之・興津伸二. 1965. エンドウのいや地に関する研究 (第1報) いや地症状の確認ならびにその原因に関する 2, 3 の実験に

- ついて. 園芸試験場報告 D. 3 : 57-78.
- 農技研土壤微生物研. 1977. 連作障害要因に関する研究. 研究成果 98 : 110-113. 農林水産技術会議事務局.
- 農林水産省農産園芸局. 1998. 園芸用ガラス室・ハウス等の施設状況調査. 農業電化. 51 : 24-26.
- 農林水産省統計情報部. 1998. 主要野菜の作付け面積. 収穫量及び出荷量, 野菜編. 園芸統計平成9年度版. P.20-22.
- 沼田 真. 1977. 植物群落と他感作用, 化学と生物. 15 : 412-418.
- 大久保増太郎. 1995. 日本の野菜. P.52-59. 中央公論社. 東京.
- 大坪茂樹. 1995. 活性炭による用水廃水処理. 農薬. 42 : 62-72.
- 小田雅行・中島樹人. 1989. 接ぎ木植物がもつ可能性. 農業及び園芸. 64 : 1391-1399.
- Putnam, A. R. and W. B. Duke. 1974. Biological suppression of weeds : Evidence for allelopathy in accessions of cucumber. Science. 185 : 370-372.
- Rasmussen, J. A. and F. A. Einhellig. 1977. Synergistic inhibitory effects of *p*-coumaric and ferulic acids on germination and growth of grain sorghum. J. Chem. Ecol. 3 : 197-205.
- Rice, E. L. 1974. "Allelopathy". Academic Press. New York & London.
- Ruijs, M. N. A. 1994. Economic evaluation of closed production system in glasshouse horticulture. Acta Hort. 340 : 87-94.
- 佐々木皓二. 1986. 作物別養液栽培技術. キュウリ. 養液栽培の新技术. 103-105. 誠文堂新光社. 東京.
- 佐々木皓二. 1989. 養液栽培での生育と技術. キュウリ. 農業技術体系. 野菜編 12 共通技術・先端技術. 養液栽培. 99-103. 農山漁村

- 文化協会．東京．
- Schulz, J. M. and K. Herrmann. 1980. Analysis of hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids in plant material. 2. Determination by gas-chromatography. *J. Chromatogr.* **195** : 95-104.
- 関 稔・加藤 保. 1997. キュウリの台木の相違が果実ブルームの無機成分組成に及ぼす影響. *土肥誌*. **68** : 700-702.
- Shafer, W. E. and S. A. Garrison. 1986. Allelopathic effects of incorporated asparagus roots on lettuce, tomato and asparagus seedling emergence. *Hort Science*. **21** : 82-84.
- 高橋和彦. 1981. 連作障害と生理障害. 生育阻害生成物. 地力維持・連作障害克服のための畑地管理技術指針. P.38-42. 農林水産技術会議事務局.
- 高橋和彦. 1984. 野菜の連作障害. 農林水産省野菜試研究資料. **18** : 87-99.
- 滝嶋康夫・林 武. 1959a. 作物の忌地性に関する研究 (第2報) 根分泌の実体と作物水耕液の生育阻害作用. *農業及び園芸*. **34** : 1417-1418.
- 滝嶋康夫・林 武. 1959b. 作物の忌地性に関する研究 (第3報) 水耕液中の生育阻害成分の分別. *農業及び園芸*. **34** : 1573-1574.
- 多々木英男. 1991. ブルームレスキュウリの栽培管理. *農業技術体系. 野菜編1 キュウリ*. P.371-378. 農山漁村文化協会. 東京.
- 橘 昌司. 1986. 養液栽培における環境要因と根の機能. *農業及び園芸*. **61** : 143-148.
- 土屋一成. 1990. 野菜作におけるアレロパシーの諸問題. *農業および園芸*. **65** : 9-16.

- 土屋一成・大野芳和. 1989. 作物根由来のフェノール性酸による野菜の生育阻害. 土肥講要集. 35 : 109.
- 続 栄治・島崎 敦・ロサバティ ウルカラ ナイバルレブ・富山一男. 1995. サトイモの連作障害とそれに関与する要因. 日作紀. 64 : 195-200.
- Van Os, E. A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Hort. 396 : 25-32.
- Whittaker, R. H. and P. P. Feeny. 1971. Allelochemicals. Chemical interaction between species. Science. 171 : 757-770.
- Williams, R. D. and Hoagland, R. E. (1982). The effects of naturally occurring phenolic compounds on seed germination. Weed Science. 30 : 206-212.
- 山中 律・坂田美佳. 1993. ブルームレス台キュウリにおけるケイ酸の吸収特異性とマンガン過剰症. 日本土壌肥料学会誌. 64 : 319-324.
- 山中 律・坂田美佳. 1994. 培養液中の窒素濃度と窒素形態が接ぎ木キュウリのケイ酸とマンガンの吸収に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会誌. 65 : 696-701.
- 山本幸彦・渡邊敏郎・林 三徳・豆塚茂実. 1991. キュウリのブルーム発生に関する研究. 第3報 台木の種類及び栽培環境条件とブルームの発生及びケイ素含有率. 福岡農総試研報. B-11 : 15-20.
- Yang, H. J. 1982. Autotoxicity of *Asparagus officinalis* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 : 860-862.
- Yang, H. J. 1985. Autotoxic and allelopathic characteristics of *Asparagus officinalis* L. Proc. Of the sixth International Asparagus Symposium : 267-276.

- Young, C. C. 1984. Autotoxication in root exudates of *Asparagus officinails* L. Plant and Soil. **32** : 247-253.
- Young, C. C. and T. C. Chou. 1985. Autotoxication in residues of *Asparagus officinails* L. Plant and Soil. **85** : 385-393.
- Young, C. C. 1986. Autotoxication of *Asparagus officinails* L. In "The Science of Allelopathy" (Putnam, A. R. and C. S. Tang Ed.) pp.101-110. John Wiley Sons, Inc. Publishers. New York.
- Yu, J. Q., K. S. Lee and Y. Matsui. 1993a. Effects of the addition of activated charcoal to the nutrient solution on the growth of tomato grown in the hydroponic culture. Soil. Sci. Plant Nutri. **39** : 13-22.
- Yu, J. Q. and Y. Matsui. 1993b. Extraction and identification of the phytotoxic substances accumulated in the nutrient solution for the hydroponic culture of tomato. Soil. Sci. Plant Nutri. **39** : 691-700.
- Yu, J. Q. and Y. Matsui. 1994. Phytotoxic substances in the root exudates of *Cucumis sativus* L. J. Chem. Ecol. **20** : 21-31.

## Summary

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the major crop in protected culture, and its production area in hydroponics is relatively small. Compared to soil culture, the growth of cucumber in hydroponics is rapid, and time to the harvest is short. However, the decline of plant growth is rapid because the harvest period is short, and the cucumber yield in late harvest period decreases. This tendency may be due to low concentration of dissolved oxygen in the nutrient solution, but this explanation is questionable.

For the study on the closed hydroponics system to decrease pollution to the environment, it is considered that the nutrient solution do not release to the surrounding environment but recycle. It is possible to adjust nutrient levels in the culture solution and to decrease pathogens by the UV lamp. However it is impossible to remove the growth inhibitors exuded from plants. The growth inhibitors in the nutrient solution may accumulate. The common hydroponics ; the all nutrient solution is not exchanged during the culture, but only water and fertilizers are added into the nutrient solution. In these culture, it is possible that the growth of cucumber decrease by the root exudates accumulated in the nutrient solution.

Here, autotoxicity of cucumber in hydroponics and its difference of cucumber cultivars, analysis of the growth-retarding substances, growth recovery by activated charcoal supplement and rootstocks on the extension of harvest period of cucumber grown in non-renewal

hydroponics were studied. Also, effects of the concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution on the autotoxicity and effect by activated charcoal were checked.

### **1. Autotoxicity of cucumber in hydroponics and its difference of cucumber cultivars.**

Effects of the nutrient solution used once for cucumber 'Encore I', 'Aodai', 'Hokushin', 'Chojitsu-ochiai 2 gou', 'Shogoin-aonaga-fushinari' and 'PI 169391' culture on the seedling growth bioassay of the same cultivars were investigated.

The growth of cucumber 'Shogoin-aonaga-fushinari' and 'PI 169391' seedlings decreased by the culture solution used once for the same cultivars, but the other cultivars were not. It is unknown in 'Shogoin-aonaga-fushinari' and 'PI 169391' whether the amount of the inhibitors in the root exudates is large or the sensibility to growth-retarding substances is high. The difference of the cultivars in the growth inhibitors in the culture solution used once for the same cultivars was recognized.

Twenty one of cucumber, wild cucumbers, 'PI 169391' and *Cucumis sativus* var. *Hardwickii* K., were bioassayed with the nutrient solution once used for 'Shogoin-aonaga-fushinari' which decreased plant growth remarkably in the culture solution. In result, the sensibility to growth-retarding substances in the culture solution once used for 'Shogoin-aonaga-fushinari' was different among the cultivars. The sensibility of 'Encore I' is the highest and 'Aodai' is the lowest in the cultivars

used.

Thus, cucumber cultivars were classified into four types. The first type was 'PI 169391' which showed intermediate sensitivity to growth-retarding substances in culture solutions used once for different cultivars and growth reduction was found in the culture solution used once for the same cultivars. The second type was 'Encore I' which showed high sensitivity in solutions for different cultivars and growth reduction was not found in solution for the same cultivars. The third type was 'Hokushin' which showed intermediate sensitivity in solutions for different cultivars and growth reduction was not found in solution for the same cultivars. The fourth type was 'Aodai' in which sensitivity was low in that of different cultivars and growth reduction was not found in that of the same cultivars.

## **2. Autotoxicity of cucumber in hydroponics and analysis of the growth-retarding substances.**

Experiments were conducted to clarify why fruit yield decrease during the late growing-period of cucumber cultured in hydroponics nutrient solution which was not completely renewed but only restored (a non-renewal culture). Furthermore, means to recover the decrease in fruit yield in the non-renewal culture system were investigated.

Vegetative growth was unaffected by biweekly total renewal or non-renewal of the culture solution.

When the culture solution was supplemented, the yield of 'Shogoin-aonaga-fushinari' and 'PI 169391' decreased, whereas that

of 'Hokushin' and 'Chojitsu-ochiai 2 gou' did not.

No decrease in fruit yield was observed when the solution was supplemented with nutrients and activated charcoal. This result suggested that root exudates had induced the decrease in fruit yield, especially by affecting young fruits, because the decrease was reversible through removal of the root exudates by the activated charcoal.

Experiments were conducted to detect the growth-retarding substances in root exudates of cucumber grown by hydroponics. Activated charcoal was added in the nutrient solution to trap the inhibitory root exudates from the cucumber plants and then desorbed by organic solvent to analyze by gas chromatography.

Benzoic acid, *p*-Hydroxybenzoic acid, 2,4-Dichlorobenzoic acid and Phthalic acid were detected as growth inhibitors in the cucumber root exudates.

Growth inhibition of the identified compounds was also evaluated with cucumber plants using their different levels of concentrations (0, 2, 10 or 20  $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$ ) in the nutrient solution. Among the compounds, 2,4-Dichlorobenzoic acid showed strongest inhibition to cucumber seedlings in grown test.

Vegetative growth of cucumber cultured in hydroponics nutrient solution was unaffected by supplementation with 2  $\mu\text{mol} \cdot \text{liter}^{-1}$  2,4-Dichlorobenzoic acid, whereas fruit yield and harvest period were reduced by this concentration. Addition of activated charcoal into the nutrient solution eliminated the inhibition of the compound to cucumber plants.

Therefore, it appears that a strong inhibitor, 2,4-Dichlorobenzoic acid

in cucumber root exudates, could be responsible for the decrease in fruit yield of cucumber grown by hydroponics, and addition of activated charcoal in nutrient solution could eliminate the inhibition of the compound.

The same result have been admitted in another cucumber 'PI 169391' .

### **3. Effect of rootstocks on the extension of harvest period of cucumber grown in non-renewal hydroponics.**

The effect of rootstocks in non-renewal solution culture of cucumber, on sustaining yield in the late harvest period for autumn, spring and summer crops was investigated.

Vegetative growth of 'Shogoin-aonaga-fushinari' plants at the end of the experiment was only slightly affected for the 3 seasons whether they were ungrafted or grafted on seedlings of 'Shogoin-aonaga-fushinari' , 'Hokushin' or 'Aodai' . There is no evidence that rootstocks influence vegetative growth.

The number of harvested fruit of 'Shogoin-aonaga-fushinari' in the summer crop was increased by grafting on the rootstock of 'Hokushin' or 'Aodai' . The weekly number of harvested fruit which decreased in the late harvest period on ungrafted plants was not observed on plants grafted on 'Hokushin' or 'Aodai' seedlings, thereby, extending the harvest season.

Thus, the fruit yield in the closed nutrient flow system was sustained for a longer period by grafting 'Shogoin-aonaga-fushinari' on

'Hokushin' or 'Aodai' seedlings.

#### 4. Effects of the concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution on the autotoxicity of cucumber and restoration by activated charcoal.

Effects of the concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution on the autotoxicity of cucumber were investigated.

Regarding of presence and absence of activated charcoal, the values of DO in the nutrient solution with 6 hours aeration were 1.7~3.1 ppm while those with 24 hours aeration was 5.0~7.5 ppm.

Vegetative growth was unaffected by the aeration hours and the activated charcoal supplement. The aeration hours did not affect flowering and fruit yield. However, the increase of fruit yield was observed in both 6 and 24 hour aerations when the solution was supplemented with the activated charcoal.

Thus, the autotoxicity of cucumber occurred in different concentrations of dissolved oxygen in the nutrient solution and activated charcoal supplement into the nutrient solution eliminated the reduction of fruit yield.

## 本論文の基礎となった学会公表論文リスト

### 第2章

1. 浅尾俊樹・大谷紀之・清水法子・梅山元正・太田勝巳・細木高志  
キュウリ幼苗のバイオアッセイによる閉鎖系養液栽培に適した品  
種選定の可能性  
植物工場学会誌. 10:92-95. 1998.

### 第3章

1. 浅尾俊樹・梅山元正・太田勝巳・細木高志・伊藤憲弘・  
植田尚文  
水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加に  
よる回復  
園学雑. 67:99-105. 1998.
2. 浅尾俊樹・M. H. R. Pramanik・冨田浩平・大場友美子・  
太田勝巳・細木高志・松井佳久  
水耕栽培キュウリの培養液から分離したフェノール物質が果実  
収量に及ぼす影響  
園学雑. 68: (印刷中). 1999.
3. Asao, T., M. H. R. Pramanik, K. Tomita, Y. Ohba, K. Ohta,  
T. Hosoki and Y. Matsui  
Analysis of the growth-inhibiting compounds adsorbed on  
activated charcoal in the nutrient hydroponics solution of

cucumber culture and their effects on the growth of  
cucumber seedlings

J. Allelopathy. 6 : (In press). 1999.

#### 第4章

1. 浅尾俊樹・清水法子・太田勝巳・細木高志

培養液非更新水耕キュウリの接ぎ木による収穫期の延長  
園学雑. 68 : (印刷中) . 1999.