

(千葉大学学位申請論文)

アスパラガス連作障害における活性炭を利用した
アレロパシー回避技術の確立

Development of Allelopathy Reduction Technology Using Activated Carbon for
Alleviating the Injury Associated with Continuous Cropping of Asparagus
(*Asparagus officinalis* L.)

2006年7月

元木 悟

アスパラガス連作障害における活性炭を利用した アレロパシー回避技術の確立

目次

第1章 緒言	1
第2章 沖積土壌におけるアスパラガス連作障害のアレロパシーの関与	
第1節 新植および改植圃場における生育および収量の推移	10
第2節 連作土壌のバイオアッセイ	13
第3節 連作土壌の化学性の比較	17
第4節 茎葉の生育阻害活性の評価	19
第5節 10年株の根圏土壌を用いたアレロパシー物質の単離と精製	21
第3章 沖積土壌におけるアスパラガスのアレロパシー評価法の開発	
第1節 プラントボックス法によるアレロパシー物質の評価	
第1項 1年養成株の生育ステージとアレロパシー活性の評価	32
第2項 茎葉の刈りとりとアレロパシー活性の変化	37
第3項 活性炭フロアブル剤と粉末活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力	40
第2節 改良プラントボックス法による粒状活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力	44
第3節 サンドイッチ法によるアレロパシー物質の評価	
第1項 生育ステージとアレロパシー活性の評価	48
第2項 活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力	52
第3項 活性炭フロアブル剤と墨汁のアレロパシー物質吸着性能の能力	54
第4節 新規に開発した手法を利用した根圏土壌のアレロパシー活性測定法	
第1項 土壌供試量の検討	56
第2項 根圏土壌の供試方法の検討	59
第3項 根圏土壌アッセイ法を利用した活性炭評価法の検討	62
第4章 沖積土壌におけるアスパラガスのアレロパシー回避のための活性炭の利用	
第1節 活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術	
第1項 アスパラガスの1年養成株およびレタスによるバイオアッセイ	64

第2項	7年株の改植圃場における施用効果	70
第3項	現地適応性試験	72
第2節	粒状活性炭および粉末活性炭を利用したアレロパシー回避技術	
第1項	アスパラガスの1年養成株およびレタスによるバイオアッセイ	78
第2項	pH値の高い活性炭の散布量と生育および土壌のpH値の変化	83
第3項	活性炭の散布量と栽培圃場のpH値の変化	86
第4項	6年株の改植圃場における施用効果	88
第5項	現地適応性試験	90
第5章	アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響	
第1節	生育期の施用効果	92
第2節	有機物無施用圃場における施用効果	96
第3節	処理濃度と後年への影響	98
第4節	処理時期の検討	101
第5節	株の年生と処理の効果	103
第6節	活性炭の浸透性および分散性	106
第6章	アスパラガスの育苗および定植時における活性炭の効果	
第1節	育苗における活性炭の効果	
第1項	添加量の検討	109
第2項	活性炭および育苗培養土の種類と活性炭の添加時期の検討	112
第2節	定植時における活性炭フロアブル剤の浸漬処理の効果	
第1項	1年養成株によるバイオアッセイ	117
第2項	改植圃場における処理効果	120
第7章	総合考察	
第1節	アスパラガス連作障害のアレロパシーの関与	125
第2節	アレロパシー評価法の開発	127
第3節	改植時のアレロパシー回避のための活性炭の利用	130
第4節	生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響	133
第5節	育苗および定植時における活性炭の効果	134
第8章	要約	
第1節	アスパラガス連作障害のアレロパシーの関与	137

第2節	アレロパシー評価法の開発	137
第3節	改植時のアレロパシー回避のための活性炭の利用	138
第4節	生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響	138
第5節	育苗および定植時における活性炭の効果	139
謝辞		140
引用文献		142
英文摘要		156

第1章 緒言

アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) は野菜では珍しいユリ科の多年性作物であり、特異な生理・生態反応を示す(元木, 2003b, 2006b; 八鍬, 1986)。毎年播種したり、定植したりする必要がない反面、収穫と株の維持および株養成とのバランスをとることが難しく(元木, 2003b)、改植時の連作障害の発生なども問題になっている(岸田・前田, 2004; 元木, 2002, 2003b, 2006b; 土屋, 1989, 1990; 上杉ら, 1997)。アスパラガスの原産地はヨーロッパから温帯西部アジアあるいは地中海東岸および小アジアといわれ(皆川, 1993b)、ヨーロッパでは2000年以上前からすでにアスパラガスが栽培されていたと伝えられており(高井, 1977)、冷涼で比較的乾燥した気候を好むが、高温多湿にも適応できることから、現在では南北アメリカ、ヨーロッパ、アジア、オセアニアをはじめ世界各地で広く栽培されている(Benson, 2002a)。日本には18世紀後半にオランダから伝えられ、初めは観賞用として、明治に入ってからには缶詰用のホワイトアスパラガスとして栽培されてきた(八鍬, 1986)。そして、緑黄色野菜が健康食品として注目されるようになった1970年頃からグリーンアスパラガスの生産が増え、急速に一般家庭に広まった(図1-1, 元木, 2003a, 2003b, 2006b)。さらに、新しい栽培方法である立茎栽培が1990年代に西南暖地で確立され(安部ら, 1999; 平山ら, 1995; 池内, 1998; 井上, 1996; 伊藤ら, 1994; 大串ら, 1994, 1995)、従来の普通栽培よりも高収量を得ることが可能になったため、水田転作畑を中心にアスパラガス栽培が増加した(久富, 1995)。この立茎栽培は、現在ではほかのアスパラガス産地においても立茎時期や立茎数などが検討され、寒冷地の長野県(元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2004c)や福島県(元木, 2003b)、さらには寒地の北海道(目黒ら, 2003; 白井ら, 2005)など古産地や新興産地(町田ら, 2003)にも普及してきている。最近では新品目のムラサキアスパラガス(岸田・前田, 2004; 甲村・渡邊, 2005; 元木, 2003a, 2003b; 元木ら, 2003b)や生食用ホワイトアスパラガス(北條, 2004; 地子ら, 2006; 岸田・前田, 2004; 元木, 2003a, 2003b; 元木ら, 2004b)も加わり、北海道から九州、沖縄まで広範囲にわたって栽培されている。

長野県のアスパラガス栽培は昭和初期に種子が導入され、1933年に生産が開始された(元木, 2006b)。1970年代に入り、アスパラガスの消費が大衆化するとともに生産が急増し、さらに水田転作作物としての定着とトンネル栽培および夏秋どり栽培の好成績を契機

に、北信地域を中心とした全県にわたる産地化が進んだ（元木，2006b）。最新の農林水産統計（農林水産省，2006）によると、アスパラガスの2004年の国内生産量および作付面積は28,300 tおよび6,370 haで、長野県は全国一の生産量（5,110 t）および北海道に次ぐ全国第2位の作付面積（1,520 ha）であるが、その生産量および作付面積は1988年をピーク（15,695 tおよび2,690 ha）に減少か横ばい傾向であり（元木，2006b）、九州や四国などの西南暖地の生産量が増加しているのに比べて対照的である（Sato・Motoki，2002）。長野県では、輸入の増加（図1-2，元木，2003b）による価格低迷と栽培農家のリタイア、土壌理化学性の悪化、病害の蔓延などによる反収の低下といった生産意欲を減退させる要因が考えられる（元木，2006b）。長野県と同様、寒地の北海道でもアスパラガスの単位面積当たりの収量は1981年頃から減少しつつあり、その要因は土壌理化学性の悪化、病害虫の蔓延、過度の収穫により株が弱るなど栽培管理の問題とされている（岸田・前田，2004；日笠，2000）。

ところで、アスパラガスはいったん定植すると10年以上は栽培することができ、長野県では30年以上栽培している農家も見受けられる（元木，2002；上杉ら，1997）。しかし、実際には定植後10年程度経過すると、次第に収量や品質が低下し、枯死株や生育不良株が現れ始めることから（土屋，1989；Yang，1982）、長野県など寒冷地における経済栽培寿命は十数年と考えられている（上杉ら，1997）。また、熱帯地域ではアスパラガスの生長は休止期間を持たないため、1年間を通じて収穫でき、経済栽培寿命は2～3年と短く（Onggo，2001）、台湾など亜熱帯地域では5年ほどしか収穫できない（土屋，1989，1990；Young，1986）。日本と同じ温帯地域のニュージーランドでは経済栽培寿命は12～20年程度であり（Scofield *et al.*，1997）、日本より寿命はやや長い。

長野県の2004年のアスパラガスの作付面積は1,520 haであり（農林水産省，2006）、毎年作付面積の15～30%程度が改植時期にあたる（Motoki・Araki，2001）。長野県のアスパラガス栽培における収量の年推移をみると、定植から5～6年で最高収量に達し、その後5～6年間収量を維持したあと漸減していく（元木，2002，2003b，2006b）。栽培管理が良ければより長く、高い生産能力を維持することができるが、一般に収量最盛期を過ぎた株は、施肥やかん水など栽培管理によっても大きな収量の回復は難しく、手間をかけた年々の収益は上がりにくく、生産力が低下すると改植が必要である（図1-3）。上杉（1998b）は、(1)欠株が圃場全体の15～20%生じたとき、(2)欠株は少ないが前年までの数年間の平均収量に比べて20～30%減収し、収益性が低下したとき、(3)排水対策など土壌改良を行っ

ても草勢回復が見込めなくなってきたときとしている。しかし、アスパラガスを改植して収穫を始めてみると、新植時のような収量が得られず、若年株でも欠株が発生するなど減収する場合も少なくない（元木, 2002, 2003b; 上杉ら, 1997）。

作物の連作障害（西尾, 1983）の 80%は病害虫が原因であるとされ（土屋, 1990）、古いアスパラガスの栽培圃場における減収や欠株の原因も立枯病（*Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi*）や株腐病（*Fusarium moniliforme*）などの土壌病害菌の集積とされている（Blok・Bollen, 1993, 1995, 1996a, 1996b; Endo・Burkholder, 1971; Hartung・Stephens, 1983; Johnston *et al.*, 1979; Logrieco *et al.*, 1998; Moretti *et al.*, 1997; Pontaroli *et al.*, 2000）。このため、種子の殺菌処理と圃場の土壌消毒が行われているが、それでも苗の生育停止と立枯病や株腐病は発生している（土屋, 1990）。また、同じような施肥を長年してきたことによる養分の偏りや pH 値の異常、腐植質の不足、土壌硬度の上昇、耕盤の発生などの土壌理化学性の悪化（日笠, 2000; 井上, 2005; 元木, 2003b, 2006a, 2006b; 元木ら, 2006f）、除草剤の連年散布の影響や過度の収穫により株が弱ること（日笠, 2000）なども減収や欠株の一因として考えられ、これらの問題を解決するために、生産現場では改植時になるべく前作の株周りの土壌あるいは残根をとり除き、土壌消毒や下層土までの土壌改良、有機物の施用、土壌診断に基づく適正な施肥などを行っている（元木, 2002; 上杉ら, 1997）。しかし、アスパラガスを改植して収穫を始めてみると、上記の対策をしても新植時のような収量が得られず、その原因は不明である。

このような原因不明の生育不良を伴う連作障害が何であるか分からなかったが、近年、アレロパシー物質（生育阻害物質）の存在が指摘され、アスパラガス自身が体内で生産する物質によって、自身や改植後の次世代のアスパラガスの生育が阻害される可能性が報告され始めた（Benson, 2002b; Hartung *et al.*, 1990; Hazebroek *et al.*, 1989; Keulder, 1997; Lake *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 1991; Peirce・Miller, 1993; Scofield, 1991; Scofield *et al.*, 1997; Shafer・Garrison, 1986; Yang, 1982, 1985; Young, 1984; Young・Chou, 1985; Young, 1986）。

農業生産ではアレロパシーが示唆されている現象は多く、アレロパシー物質も数多く知られているが（藤井, 1994, 2000; 藤井・土屋, 1993; 土屋, 1990）、アレロパシーは、光や水、栄養素の競合や物理的あるいは生物的相互作用との識別が難しいため（藤井, 1994, 2000）、それを的確に評価し、農業生産に役立てた研究はきわめて少ない。

作物の栽培圃場でアレロパシーが実際に作用していることを検定するためには、ほかの競合や相互作用とアレロパシーとを区別して、純粋に作物から放出される化学物質による

作用を検定する必要がある。アレロパシーを識別し証明するための栽培的手法として、付加栽培法 (Additive Design)、置換栽培法 (Substitutive Design)、階段栽培法 (Stairstep Design)、連続的根浸出液捕集法 (CRETS: Continuous Root Exudate Trapping System) (Tang・Young, 1981) などがあり (藤井, 1994, 2000; 藤井・土屋, 1993)、おもにガラス温室の規模で試験されている。しかし、多大な労力が必要なため、現在では実験室規模のアレロパシー証明法として生物検定法 (バイオアッセイ) や植物体から溶媒などで抽出した物質を用いた検定が行われることが多い。

ところで、これまでアレロパシーの 3 つの作用経路、すなわち揮発性物質による揮散 (volatilization)、根からの滲出 (exudation)、茎葉や残さからの溶脱 (浸出, leaching) のそれぞれに特異的なアレロパシー活性測定法として、ディッシュパック法 (藤井, 1994, 2000; 藤井ら, 2000)、プラントボックス法 (藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992)、サンドイッチ法 (藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004) が開発され、アレロパシー物質の存在の証明に利用されている。しかし、これらの手法によりそれぞれの作物のアレロパシーは評価されたが、実際の農業生産への応用までには至っていない。

農業生産に関わるアレロパシー回避技術として、水耕栽培では、野菜のキュウリ、サトイモ、マメ類、イチゴ、葉菜類および花きにおいて、浅尾らの研究グループによる最近の一連の報告 (浅尾ら, 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 1999d, 2000, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d, 2002, 2003b; Asao *et al.*, 1999c, 2003a, 2004; Kitazawa *et al.*, 2005; Premanik *et al.*, 2000, 2001) があり、アスパラガスでも循環型養液栽培で数例の報告があるが (浅尾ら, 2003c; 北澤ら, 2006; メリアサンディアウタミら, 2005)、土耕栽培ではアレロパシー回避技術の報告はほとんどなく (土屋, 1990)、国内におけるアスパラガスのアレロパシーに関する研究は始まったばかりである (上杉ら, 1997)。アスパラガスのアレロパシーに関する研究は、栽培の歴史が古い外国の報告が多く、以下のことが明らかにされている。

(1) アスパラガスの根からの分泌物がアスパラガスの幼苗の生育を阻害した (Hazebroek *et al.*, 1989; Young, 1984; Young・Chou, 1985)。その生育阻害は養分吸収によるものではなく、品種間差は認められなかった (Young, 1984)。

(2) アスパラガスの残さおよびその圃場へのすき込み、また根、茎およびアスパラガス生育土壌の水抽出物も、アスパラガスの幼苗の発芽および生育を阻害した (Benson, 2002b; Shafer・Garrison, 1986; 上杉ら, 1997; Yang, 1982; Young・Chou, 1985; Young, 1986)。

(3) アスパラガスの根圏土壌中から、アレロパシー物質としてフェノール性物質である

3,4-dihydroxy benzoic acid, 2,6-dihydroxy benzoic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4-dimethoxy acetophenone, β - (m-hydroxy phenyl) propionic acid を単離・同定した (Young, 1986).

(4) アスパラガスの根の分泌物から、アレロパシー物質として Caffeic acid を単離・同定した (Miller *et al.*, 1991). しかし、アスパラガスの根から単離されたアレロパシー物質 (Caffeic acid および Tryptophan) の量は、土壌抽出すると少なかったという報告 (Lake *et al.*, 1993) もある.

(5) アスパラガスの乾燥根抽出物から、アレロパシー物質として Ferulic acid, Isoferulic acid, Malic acid, Citric acid, Fumaric acid, Caffeic acid を、生の植物体抽出物から 1 オーダー活性の強い Methylene dioxy cinnamic acid を単離・同定した (Hartung *et al.*, 1990). メリアサンディアウタミら (2005) もアスパラガスの乾燥根抽出物から 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid と 3,4 methylene dioxycinnamic acid を単離・同定し、アスパラガスの循環型養液栽培の排液のアレロパシー成分であると報告した.

(6) フェノール性物質は単独ではアレロパシー活性が弱いですが、混合物になると相乗効果により強いアレロパシー活性を示すという仮説が提唱されている (Blum *et al.*, 1985). アスパラガスのアレロパシー物質である Ferulic acid と Caffeic acid を組み合わせると、それぞれのアレロパシー物質単独の場合よりもアレロパシー活性が強くなり、阻害活性は Caffeic acid < Ferulic acid < Caffeic acid + Ferulic acid の順であった (Peirce・Miller, 1993).

(7) アスパラガスのアレロパシー物質は水溶性で熱に対して安定しており、その作用は古いアスパラガス圃場で持続した (Hazebroek *et al.*, 1989; 上杉ら, 1997; Yang, 1982).

(8) アスパラガスのアレロパシー物質は、アスパラガスのほかに、レタス、ニンジン、キュウリ、ハツカダイコン、トマト、カラシナなどの幼苗の生育を阻害した (Hartung・Putnam, 1985; Hazebroek *et al.*, 1989; Shafer・Garrison, 1986; 土屋, 1990; 土屋・大野, 1992; 上杉ら, 1997; Warren・Garrison, 1986; 柳川, 1978; Yang, 1985). さらに柳川 (1978) は、アスパラガスの幼茎から単離された Asparagusic acid (Kitahara *et al.*, 1972; Yanagawa *et al.*, 1972) はアブシジン酸 (Abscisic acid) (植物ホルモンハンドブック, 1994) と同等の生育阻害活性を持ち、ナス科、イネ科、アブラナ科、ウリ科、マメ科植物では非常に強く Asparagusic acid の生育阻害を受け、ニラ、ネギなどアスパラガスと同じユリ科に属するネギ属植物では生育阻害を受けにくかったと報告した. また浅尾ら (2003c) は、アスパ

ラガスの水耕栽培で後作作物を検討し、キャベツ、ハクサイ、アスターで生育阻害が強く、これらの植物はアスパラガスのアレロパシーの影響を受けると報告した。

アスパラガス改植時の圃場には 10 ha 当たり 60 ~ 100 t 程度の地下部が残されており（上杉ら, 1997）、これを改植時にすき込んでしまうと次作に大きな影響があると考えられる。年間降水量が 2,000 mm を越える亜熱帯地域の台湾では、アスパラガスの古株を抜根した後、2 ~ 3 年以上あけて降雨によりこれらの物質を流亡させてから次作の定植を行うことが推奨されている（Young, 1986）。また、Shafer と Garrison（1986）も、アスパラガスの栽培終了時から次の作物を播種する間に適当な間隔（少なくとも 3 カ月）をあける必要があると述べている。しかし日本では、数年間ほかの作物を栽培した後にアスパラガスを定植しても、新植に比べて収量が少ないという報告もある（元木, 2002）。国内のアスパラガスの生産地は農家の経営規模が外国に比べて小さく、集約的な栽培が行われているため（元木, 2003a, 2003b）、アスパラガスの改植にあたっては長期休閑などによらない別の方法で連作障害を最小限にとどめて改植する技術の確立が求められている。

前述のように、アスパラガスは根から滲出される Caffeic acid, Ferulic acid などのフェノールカルボン酸類が土壤中に蓄積して、アレロパシーを起こす可能性が高いと報告されており（Hartung *et al.*, 1990; Miller *et al.*, 1991; Peirce · Miller, 1993; Young, 1986）、立枯病や株腐病などの土壤病害菌の集積（Blok · Bollen, 1993, 1995, 1996a, 1996b; Endo · Burkholder, 1971; Hartung · Stephens, 1983; Johnston *et al.*, 1979; Logrieco *et al.*, 1998; Moretti *et al.*, 1997; Pontaroli *et al.*, 2000）とは異なるため、アスパラガスのアレロパシーはクローリピクリンなどによる土壤消毒では防ぐことはできない（元木, 2002）。そのため、長野県野菜花き試験場で行った試験の結果、アスパラガスの改植では次のような方法がアレロパシー回避に効果的と考えられ、アスパラガスのアレロパシー回避の耕種的な改植技術として 1997 年から長野県の普及技術に採用されている（上杉ら, 1997）。

(1) アスパラガスの栽培圃場では、根の分布がうね中央とうね間で大きく異なるので、根から分泌されるアレロパシー物質も局在していると考えられる。そこでアスパラガス改植時の定植位置を前作のうね間に移す。

(2) アスパラガス改植時に根株をロータリー耕ですき込まず、抜根してできるだけ圃場外に持ち出す。Chen（1978）もアスパラガス改植時に残さを除去するとアスパラガスの幼苗の生存率が高まると報告した。

(3) アスパラガスのアレロパシー回避には、既報（Hartung *et al.*, 1990; Miller *et al.*, 1991;

Peirce・Miller, 1993; Young, 1986) のアレロパシー物質から推察すると、水のかけ流しによる除去が有効と考えられる。そこでアスパラガスの定植前に一度水田化する。湛水やかけ流しの処理期間など現段階では不明な点が多いが、水田転換畑では復田が最も良い方法と思われる。牛田と池内(2004)も、湛水およびかけ流しによるアスパラガスのアレロパシー物質の除去法を検討し、生土の水抽出物によるレタス幼根の伸長をアスパラガスの定植の判定基準とした。

(4) アスパラガスの抜根後、すぐに改植する必要が無ければ、数年間ほかの作物を栽培するか休耕する。

しかし、アスパラガスの生産現場から、(1)定植位置を前作のうね間に移動する耕種的技術は、ハウス栽培ではうね1本分の栽培面積が減少するため難しいこと、(2)長野県のアスパラガス栽培は中山間地で行われており、形状が正方形でない圃場が多いため、取付道路から圃場への出入り口や取水口などの位置を変えることができないために、現在の定植位置から通路にうねを移動することが難しいことなどが指摘された(元木, 2002)。さらに畑地の栽培圃場など水田化することが困難な場合、数年間アスパラガスを休耕しただけでは改植しても減収することも指摘されている。以上のように、アスパラガスの生産現場では普及に移したアレロパシー回避のための耕種的な改植技術(上杉ら, 1997)が十分活かされていないのが現状である。

アスパラガスは元来、ヨーロッパ南部からロシア南部にかけて半乾燥地帯の海岸や川沿いに自生している(皆川, 1993b)。世界的にみてアスパラガスの栽培が多い排水良好な砂質ないし砂壤土では、アレロパシー物質は容易に溶脱したり、通気性が良いため酸化分解を受けやすく(Young, 1986)、あまり問題になっていなかった。一方、長野県のような沖積土壌におけるアスパラガス栽培では、排水があまり良くない粘土鉱物を多く含む土壌の特性からアレロパシー物質の蓄積が連作障害の要因の一つであると考えられるが、その知見がない。

そこで本研究では、沖積土壌におけるアスパラガスの新植および改植圃場の収量および生育の推移を調べるとともに、アスパラガスのアレロパシー物質の関与による連作障害の可能性を示唆した。続いて、前述のプラントボックス法(藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992)およびサンドイッチ法(藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004)を用いてアスパラガスのアレロパシー活性を評価した。次に、そのアレロパシー物質を吸着させる資材を検討するために、アレロパシー活性と吸着資材の評価を同時にできる改良プラントボックス法を

開発した。その結果、ある種の活性炭がアレロパシー物質を吸着し、検定植物であるレタスの生育阻害を回避できることを明らかにした。さらに、アスパラガスの根から根圏土壤中に放出される物質による作用を検定する新たなアレロパシー活性測定法の開発を試みた。

これまで、アレロパシーを活性炭により制御する研究は、キュウリ（浅尾ら、1998b）、イチゴ（Kitazawa *et al.*, 2005; 西原ら、2004）、トマト（Yu・Matsui, 1993）、水耕ミツバ（甲田ら、1977, 1980）、サトイモ（Asao *et al.*, 2003a）、葉菜類（浅尾ら、2001c）、バラ（佐藤、2004）および花き（浅尾ら、2001a）の水耕栽培で報告があり、アスパラガスの水耕栽培でも報告があるが（北澤ら、2006）、土耕栽培ではほとんど研究されておらず、アスパラガスを除き、生産現場でアレロパシーによる連作障害に活性炭を積極的に利用している例はほとんどない。モモ栽培では活性炭を利用したアレロパシー回避技術が示唆され（西原ら、2006）、イチジク栽培でもアレロパシー物質であるソラーレンの活性炭への吸着が確認されるなど（森田ら、2000）、アレロパシー回避のための活性炭利用技術が研究されつつある。活性炭には原料、製造法、形状などにより多くの種類があり、原料や製造法の違いによっても活性炭の性質が変わる（大坪、1995; 真田ら、1992; 立本、1997）。そのため、開発したアレロパシー評価法を用いて、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭を選抜し、実際の改植圃場でアレロパシー回避技術を確立した。

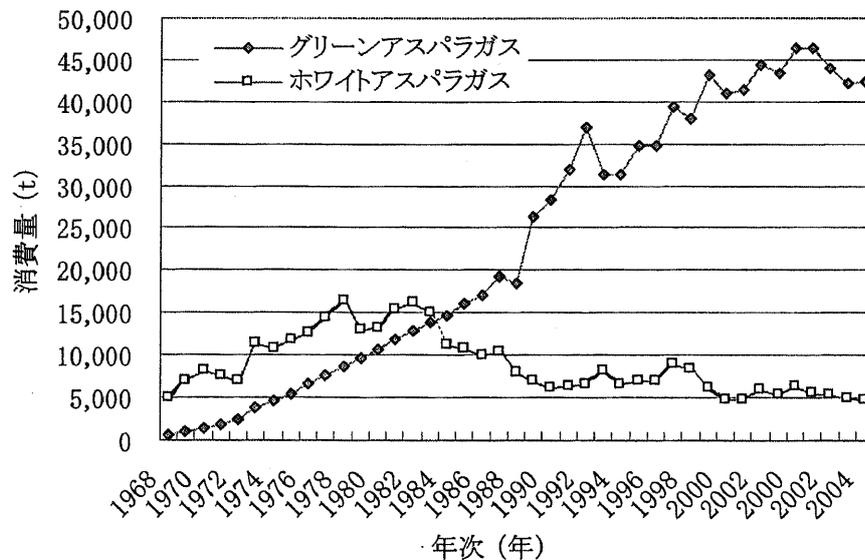


図 1-1 グリーンアスパラガスとホワイトアスパラガスの消費の推移

農林水産統計（農林水産省、2006）および財務省「貿易統計」の生鮮野菜のデータ、社団法人日本缶詰協会のデータを参考に作図した

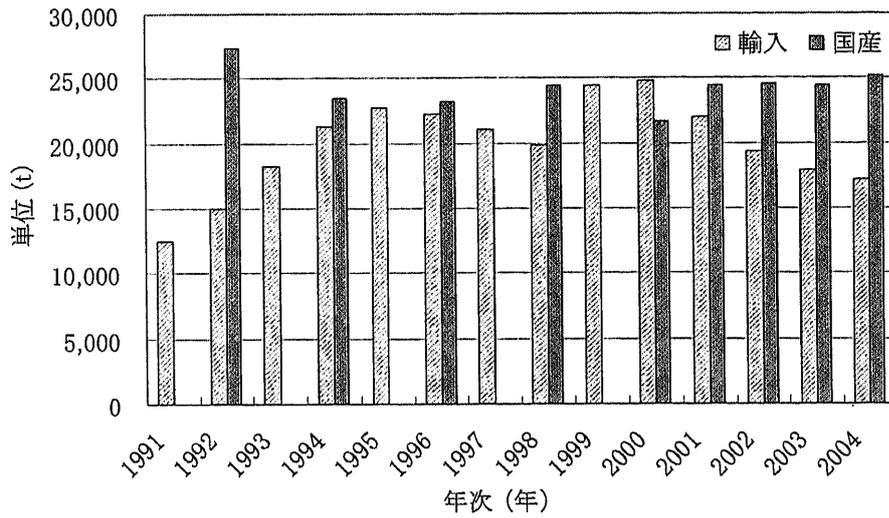


図 1-2 アスパラガスの国産と輸入の推移

国産は農林水産省「野菜生産出荷統計」のデータを、
 輸入は財務省「貿易統計」の生鮮野菜のデータを参考に
 作図した

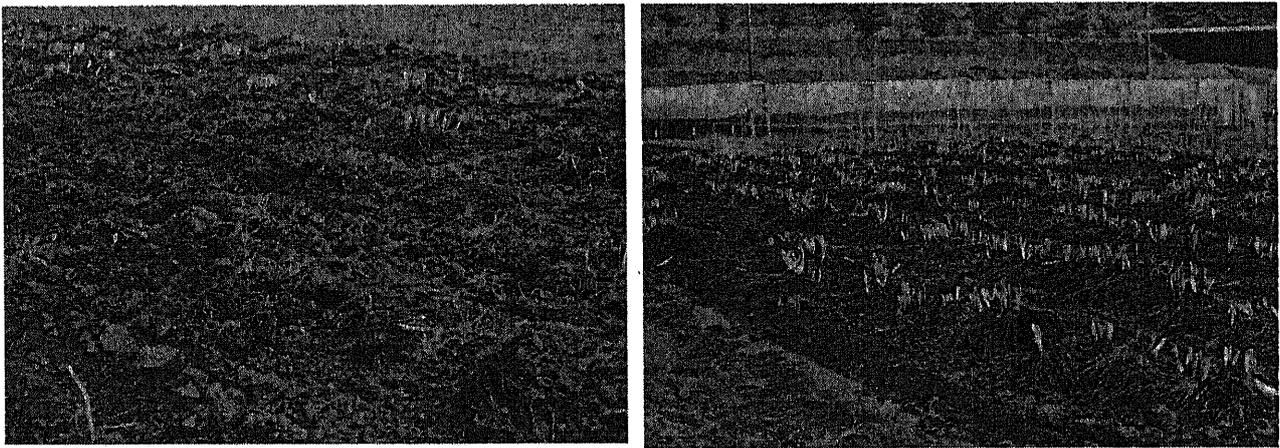


図 1-3 アスパラガスの地下部

左：収量減少期（改植が必要）、右：収穫最盛期（5年株）

第2章 沖積土壌におけるアスパラガス連作障害のアレロパシーの関与

第1節. 新植および改植圃場における生育および収量の推移

アスパラガス改植時の連作障害の発生が問題になっており（岸田・前田，2004；元木，2002，2003b，2006b；土屋，1989，1990；上杉ら，1997），その原因の一つとして，アレロパシー物質の存在が指摘され，アスパラガス自身が体内で生産する物質によって，自身や改植後の次世代のアスパラガスの生育が阻害される可能性が報告されている（Benson，2002b；Hartung *et al.*，1990；Hazebroek *et al.*，1989；Keulder，1997；Lake *et al.*，1993；Miller *et al.*，1991；Peirce・Miller，1993；Scofield，1991；Scofield *et al.*，1997；Shafer・Garrison，1986；Yang，1982，1985；Young，1984；Young・Chou，1985；Young，1986）．アスパラガスは世界的にみて排水良好な砂質ないし砂壤土で栽培されているが，長野県のような沖積土壌では，排水があまり良くない粘土鉱物を多く含む土壌の特性からアレロパシー物質の関与が連作障害の要因の一つであると考えられるが，その知見がない．そこで本研究では，沖積土壌におけるアスパラガスの連作障害が，連作土壌のアレロパシー物質により発生していることを確認するため，新植および改植圃場の収量および生育の推移を調べた．

材料および方法

試験は2000～2004年に長野県野菜花き試験場の場内圃場（標高346 m，沖積堆積土，腐植含量3.1%）で行った．2000年3月14日に‘UC157F₁’（日本名：ウェルカム）（Benson・Takatori，1978）を136セルトレイ（育苗培養土はプリティーソイルゴールドN180）に播種して育苗し，2000年6月16日に定植した．栽植密度はうね幅150 cm，株間30 cm，ベット幅80 cmの1条植え（2,222株/10a）とし，試験区は新植および改植圃場とも1区20株（9 m²）の2区制とした．改植圃場は，露地でアスパラガスを10年間栽培した後，定植4日前の2000年6月12日まで春どりを行っていた地上部および地下部をそのままトラクターで圃場にすき込み，前作のうね上にうねを作って定植した．一方，新植圃場は改植圃場と隣接し，アスパラガスの栽培前歴のない圃場に2年間野沢菜を栽培した後，改植圃場と同時期にうねを作って定植した．定植年は白黒マルチを使用した．施肥量

は、基肥として、10 a 当たり N 20 kg, P₂O₅ 20 kg, K₂O 20 kg を毎年施用した。1 年株は定植前に、2 年株以降は 3 月下旬に施用し、施用後、耕耘機で中耕した。追肥は 6～8 月の 3 ヶ月間、各月ごとに 10 a 当たり N 10 kg, P₂O₅ 10 kg, K₂O 10 kg を施用した。かん水は行わず、天水だけによった。倒伏防止対策として、立茎時に土寄せと支柱誘引を行い、地際から 50 cm の高さまで下枝かきを行った。その他の栽培管理は、当場の慣行（元木ら, 2004c）に準じた。定植年は株養成のみとし、収穫は行わなかった。2 年株は露地 2 季どり栽培とし、春どりを 14 日間行い、夏秋どりを 2001 年 7 月 2 日から 10 月 9 日まで 100 日間行った。また、3 年株以降は露地長期どり栽培とし、収穫は 3 年株が 2002 年 4 月 10 日から 10 月 7 日まで 181 日間、4 年株が 2003 年 4 月 18 日から 10 月 3 日まで 170 日間、5 年株が 2004 年 4 月 19 日から 10 月 18 日まで 186 日間行った。いずれも春どり終了後、立茎数を株当たり 6 本として順次立茎し、萌芽が停止するまで立茎収穫した。立茎方法および立茎数の考え方は、当場の慣行（元木ら, 2004c）によった。収量調査は、25 cm 以上に伸びた若茎と奇形および病虫害茎のすべてを地際から切りとって先端から 25 cm 長に調製し、茎数および茎重を調査した。生育調査のうち、貯蔵根 Brix は地下茎より 5～10 cm の貯蔵根の Brix 値を屈折糖度計（ATAGO 社製）で 12～1 月の休眠期に計測した。GI（生育指数）は地上部の生育量を評価する指標であり（元木, 2003b, 2006b; 上杉, 1998a）、地際から 20 cm 部分の茎断面積と有効草丈（群として茎葉容積の 95% の高さ）との積を調査株数（20 株）で割った値で示した。草丈および茎径は茎葉刈りとり直前の茎葉黄化期にそれぞれ 10 株ずつ調査した。

結果および考察

改植圃場は新植圃場に比べて減収し、新植圃場に対する改植圃場の収量比率は、2 年株から 5 年株の順にそれぞれ 71.1%, 66.2%, 63.9%, 69.1% であり、収穫した 4 年間では平均 32% 程度の減収になった（図 2-1）。同様に、改植圃場の 1 茎重、草丈、GI も新植圃場に比べて劣り、特に改植圃場の茎径は 4 年株以降に急激に細くなった。新植および改植圃場におけるアスパラガスの土壌病害は試験期間中の 5 年間では認められなかった。このように、アスパラガスの連作の影響は、1 年養成株の生育不良だけでなく、2 年株以降においても継続することが認められた。

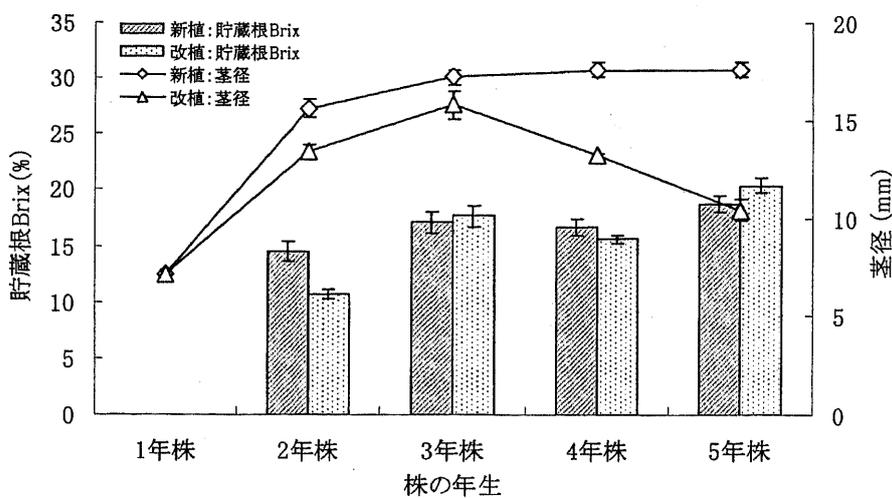
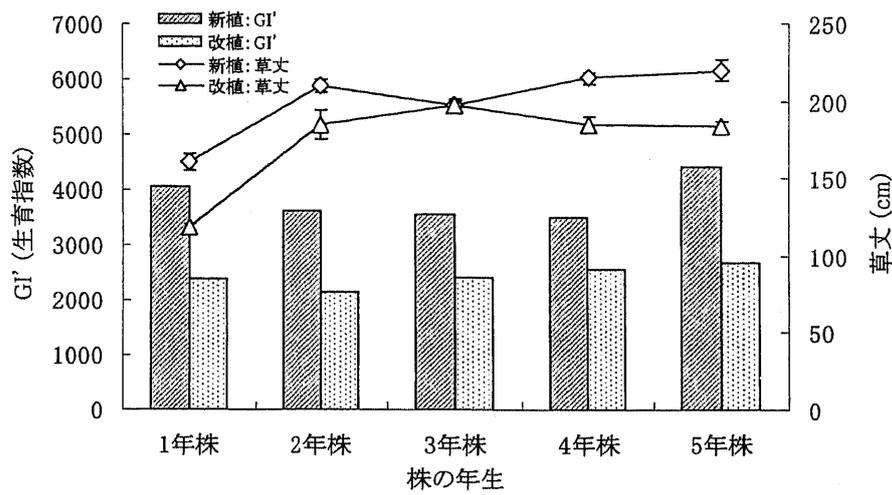
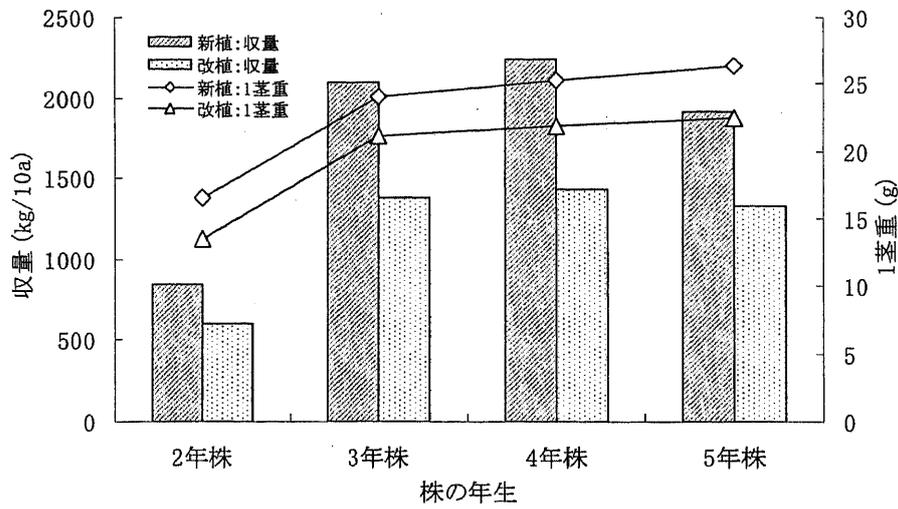


図 2-1 新植および改植圃場におけるアスパラガスの収量と生育の推移

1年株（2000年）は株養成，2年株（2001年）は露地2季どり栽培，

3年株（2002年）以降は露地長期どり栽培

図中の縦線は標準誤差（n=10）を表す

第2節. 連作土壌のバイオアッセイ

前節の結果、沖積土壌におけるアスパラガスの連作の影響は改植以後数年間のアスパラガスの生育および収量で認められたことから、長野県野菜花き試験場でアスパラガスを10年間にわたって露地長期どり栽培に供試した圃場の生育阻害活性を、アスパラガス、レタスなど数種の指標作物を用いて圃場の土壌採取場所別に確認した。

材料および方法

供試土壌は、長野県野菜花き試験場でアスパラガスを10年間にわたって栽培した圃場のうね上の土壌（深さ5～10 cm）、貯蔵根付着部の土壌を刷毛で拭き落とした土壌（以下、根圏土壌）、通路部分の土壌（深さ5～10 cm）および対照土壌として過去にアスパラガスを全く作付けしていない隣接圃場の畑作土壌（以下、輪作土壌、土壌採取年の2001年は葉菜類とネギ類を作付けた）（深さ5～10 cm）から2001年9月13日に採取し、いずれも60℃の恒温器（DK600、ヤマト化学社製）で30～60分通風乾燥させた。供試土壌のバイオアッセイには、連作した品種と同様のアスパラガスの‘UC157F₁’およびアレロパシー活性の有無の検定に一般に用いられているキク科レタス（*Lactuca sativa* L.）の‘Great Lakes 366’、ほかに後述の数種の指標作物を用いた。アスパラガスの‘UC157F₁’はアメリカ西海岸のカリフォルニア州で育成された単交配の雌雄混合品種であり（Benson・Takatori, 1978）、国内で最も多く栽培されている（元木, 2003a, 2003b, 2006b）。各土壌の根毛などを除去するために1 mmメッシュの篩（野中社製）で分けた試験土壌を、25 mL試験管（日電理化硝子社製）に20 g入れ、蒸留水を加えて水分を20%に調整後、アスパラガスおよびレタスを催芽させて移植した。移植後5 mm覆土し、人工気象器（FLI-301NH, 25℃, 明所, EYELA社製）で、それぞれ140時間および68時間培養後、地上部と地下部の伸長量を測定した。試験区は1区4個体の3区制とした。

結果および考察

アスパラガス10年株の根圏土壌は、ほかの供試土壌に比べてアスパラガス、レタスとも幼根長に強い生育阻害が認められ、輪作土壌に対する根圏土壌の生育阻害率はそれぞれ

86.0%と 80.6%であった (図 2-2)。また、根圏土壌におけるアスパラガスの地上部の生育は、幼根の伸長と同様、ほかの供試土壌に比べて強い生育阻害が認められた (図 2-3)。生育阻害活性はうね上および通路部分の土壌で弱く、根圏土壌で強かったことから、アスパラガスのアレロパシー物質は栽培圃場の貯蔵根が多い部分に局在している可能性が示唆された。この結果は、アスパラガス 1 年養成株のバイオアッセイにおいて、アスパラガス 7 年株のうね中央およびうね間の土壌では、アスパラガスの栽培前歴のない土壌に比べて生育が劣り、さらにうね中央の土壌でうね間の土壌より生育が劣ったという上杉らの報告 (1997) と一致した。

ところで本研究では、アスパラガスの連作土壌のバイオアッセイにはアスパラガス、レタスのほか、マメ科アカローパー (*Trifolium pratense* L.) の‘ホクセキ’ (カネコ種苗)、アブラナ科シロガラシ (*Brassica alba* L.) の‘きからし’ (カネコ種苗)、ヒユ科アマランサス (*Amaranthus hypocondriacus* L.) の‘関東 2 号’ (独立行政法人農業研究センター)、イネ科チモシー (*Phleum pratense* L.) (カネコ種苗)、イネ科イネ (*Oryza sativa* L.) の‘日本晴’、イネ科トウジンビエ (*Pennisetum typhoideum* RICH.) (以上、独立行政法人農業環境技術研究所所有) の 6 科 8 草種を用いたが、いずれの草種でもアスパラガスおよびレタスの結果 (図 2-2) と同様、地下部に強い生育阻害が認められた (データ省略)。また地上部でも、それぞれの地下部の生育阻害活性ほど明瞭ではないが、アスパラガスの地上部の結果 (図 2-3) と同様、いずれの草種でもアスパラガス 10 年株の根圏土壌で、ほかの供試土壌に比べて生育阻害活性が強い傾向が認められた (データ省略)。

一般にアスパラガス改植時には、アレロパシーによる連作障害を回避させる耕種的手法として、定植位置を前作の通路に移すことや根株を抜根してできるだけ圃場外に持ち出すことが生産現場で奨励されているが、その理由は明白でなく、生産現場の感覚で行っていた。本試験の結果は、アレロパシー物質がアスパラガスの貯蔵根の多い部分に局在していることを示唆し、その耕種的手法の有効性を支持するものと考えられる。

なお、検定植物の生育阻害はいずれも地上部よりも地下部に対して強く現れる傾向にあった。これは、種子を吸水させた後、最初に幼根が出現してアスパラガスのアレロパシー物質の影響を受けやすいためと考えられる。検定植物の地下部および地上部に強い生育阻害活性が認められたアスパラガス 10 年株の根圏土壌は、強いアレロパシー物質を含有している可能性があると考えられた。

本研究に供試したアスパラガスの連作土壌を採取した圃場では、アスパラガスの連作障

害の原因の一つとされる立枯病や株腐病などの土壌病害の発生が過去から現在まで確認されなかったことから、本試験のアスパラガスの連作障害はアスパラガスに特異的に病徴を引き起こさせる土壌病害菌によるものではないと考えられた。

ところで、アスパラガスの連作土壌のバイオアッセイでは、改植に直接関わるアスパラガス自身を用いて行うのが最も良い方法であると考えられる。既報でもキュウリ（浅尾ら, 1998a）、イチゴ（Kitazawa *et al.*, 2005）、サトイモ（Asao *et al.*, 2003a）、葉菜類（浅尾ら, 2001c）、トルコギキョウ（浅尾ら, 2002）、シンテッポウユリ（浅尾ら, 2002）のそれぞれのアレロパシーを評価する場合、それぞれの幼苗を検定植物としている。本研究でも、アスパラガスを検定植物とした場合、アスパラガス 10 年株の根圏土壌に強い生育阻害活性が認められ、ほかの検定植物と同様の結果が得られた（元木ら, 2002b）。しかしアスパラガスは、ほかの検定植物に比べて地下部の生育のバラツキがやや大きかった。この要因は、アスパラガスの催芽日数と移植後の評価までの期間が長く（データ省略）、ほかの検定植物に比べて、種子や若茎がバイオアッセイ中の環境の影響を受けやすいためと考えられる。一方、本試験に供試した検定植物の中では、レタスの発芽率が最も高く、催芽日数と移植後の評価までの期間が最も短く（データ省略）、ほかの検定植物と同様、アスパラガス 10 年株の根圏土壌に強い生育阻害活性が認められたことから、アスパラガスの連作土壌の検定植物にレタスを用いるのが適当と考えられた。藤井の報告（1994）でも、一般的に生育阻害物質に対する感受性が強く、多くの研究者によって生理活性物質のバイオアッセイに用いられているレタスの‘Great Lakes 366’を検定植物とすることが推奨されている。また土屋（1990）も、8 種類の野菜の茎葉と根の水抽出物についてレタスの発芽および生育に及ぼす影響を調べた結果、レタスに対する生育阻害活性はアスパラガスが最も強く、特にアスパラガスの根の生育阻害活性が茎葉より強かったことを報告している。本研究の結果およびレタスを検定植物として試験した一連の報告から、本研究ではアスパラガスの連作土壌のバイオアッセイの検定植物としておもにレタスを用いることにした。

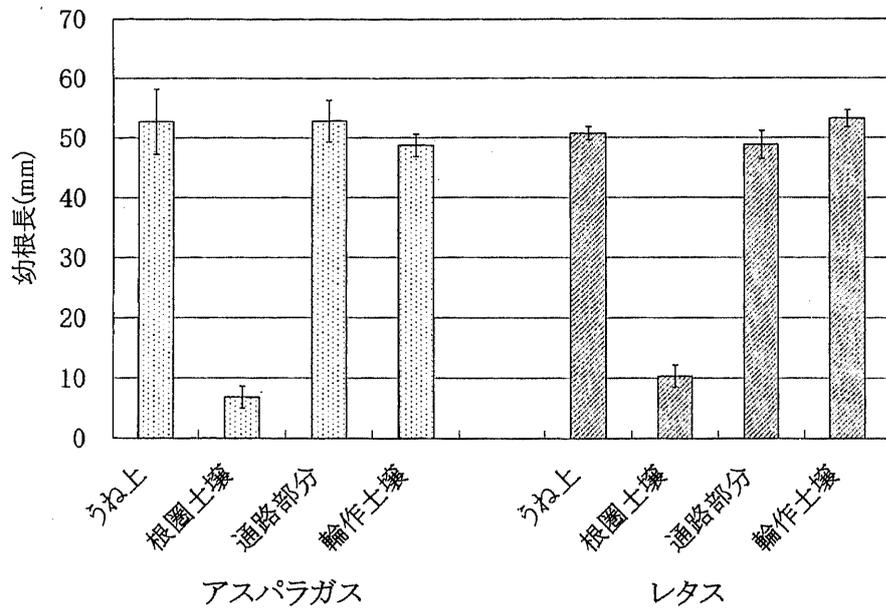


図 2-2 アスパラガスの連作土壌におけるアスパラガスおよびレタスの地下部の生育阻害

図中の縦線は標準誤差 (n=3) を表す

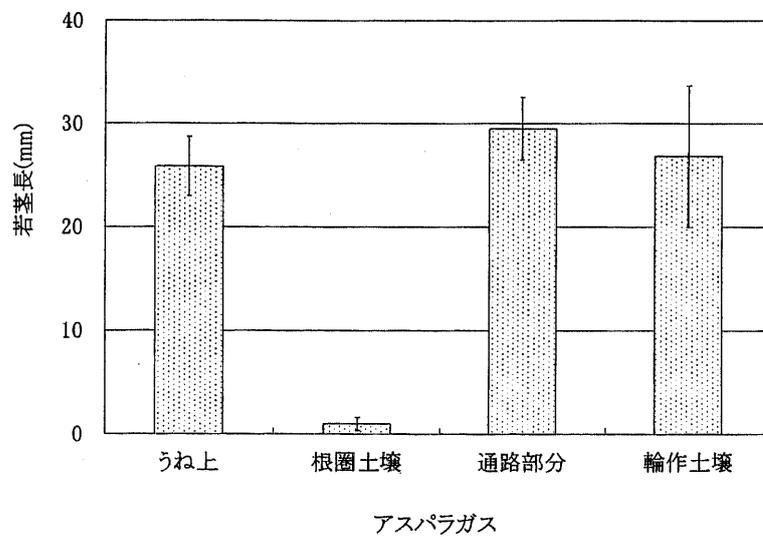
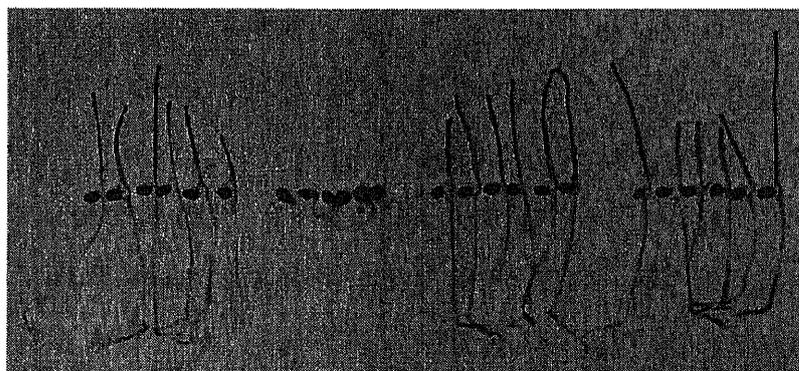


図 2-3 アスパラガスの連作土壌におけるアスパラガスの地上部の生育阻害

図中の縦線は標準誤差 (n=3) を表す

第3節. 連作土壌の化学性の比較

前節の結果, アスパラガス 10 年株の根圏土壌は, 強いアレロパシー物質を含有している可能性が示唆された. 本節では生育阻害活性の強かったアスパラガス 10 年株の根圏土壌の塩類集積や pH 値および無機養分の異常によるアスパラガスの連作障害の可能性を検討した.

材料および方法

前節で用いた各土壌の pH (H₂O), pH (KCl), EC, CEC および土壌の無機成分 (NH₄, NO₃, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO) を測定した. 土壌養分分析法 (藤沼ら, 1980; 森・嶋田, 1980) を参考に, 前節と同様に篩別した試験土壌 10 g に 2.5 倍 (25 mL) の蒸留水と 1 N の KCl 液を加え, 時々振とうしながら 24 時間放置し, 上清液をろ紙 (No.2, Whatman 社製) 1 枚でろ過した. 蒸留水で希釈した試料は分散性が高く, ろ過液が懸濁していたため, メンブレンフィルター (DISMIC-25cs, Cellulose Acetate 0.20 μm) で再ろ過した. pH (H₂O) および pH (KCl) はガラス電極式水素イオン濃度計 (HM-20E, 東亜電波工業社製) で, EC は電気伝導度計 (CM-30ET, TOA 電気社製) で測定した. CEC および土壌の無機成分 (NH₄, NO₃, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO) は, 土壌環境分析法 (2000) に従って測定した. つまり, CEC はセミマイクロ schollenberger 法, NH₄ および NO₃ は還元-水蒸気蒸留法で抽出液を得て, それを滴定した. P₂O₅ はトルオーグ法で抽出液を得て 710 nm (U-2000, 日立社製) で測定した. K₂O, CaO および MgO は, CEC 測定時に得られた 1 M 酢酸アンモニウム抽出ろ液を用いて原子吸光法 (Z-6100, 日立社製) で測定した.

結果および考察

輪作土壌の pH (H₂O) および pH (KCl) はそれぞれ 5.68, 5.02 であった (表 2-1). 一方, アスパラガスの連作土壌では pH 値がやや高く, pH (H₂O) は 6.21 ~ 6.87 の範囲, pH (KCl) は 5.19 ~ 5.46 の範囲であった. アスパラガスの最適 pH 値は 5.8 ~ 6.1 の範囲であるが (澤田, 1962; 八鍬, 1986), 本試験のアスパラガスの連作土壌の pH 値は最適値と大きく外れていなかったため, pH 値はアスパラガス改植時における生育阻害の主要因と

は考えられなかった。輪作土壌の EC 値は 0.166 dS/m で、アスパラガス連作土壌では 0.160 ~ 0.194 dS/m の範囲であった (表 2-1)。このうち、強い生育阻害活性が認められた根圏土壌でやや高い値 (0.194 dS/m) を示したが、アスパラガスの一般的な土壌改良の目標値 (0.2 ~ 0.6 dS/m) (元木, 2003b, 2006b) の範囲よりいずれも低い値であったことから、EC 値もアスパラガス改植時における生育阻害の主要因とは考えられなかった。NH₄ および NO₃ 含量は根圏土壌ではやや少ないものの、このことが生育阻害を引き起こす主要原因とは考えられなかった。また、有効態 P₂O₅ 含量はうね上および根圏土壌でほかの土壌に比べて高い値を示した。その原因は、本試験のアスパラガスの栽培圃場では、土壌採取 1 カ月前に慣行 (元木ら, 2004c) どおり追肥をうね上のみに施用したため、有効態 P₂O₅ 含量が施用位置で若干高い値を示したと考えられた。しかしながら、その値は井上の報告 (2005) と比較しても問題になる値ではなく、今回の試験で分析した値の方がむしろ低い値であった。K₂O, CaO, MgO の分析でもアスパラガスの生育を阻害させるような土壌は試験区では見当たらず、これらも生育阻害の主要因とは考えられなかった。このように、アスパラガスの連作障害は塩類集積や pH 値の変動によるものではなかったことから、根圏土壌中に何らかのアレロパシー物質の存在がある可能性が示唆された。

表 2-1 アスパラガスの連作土壌の化学性の比較

土壌サンプル位置	pH		EC ^a (dS/m)	NH ₄ (mg/100g乾土)	NO ₃ (mg/100g乾土)	有効態 P ₂ O ₅ (mg/100g乾土)	CEC (me)	交換性塩基 (mg/100g乾土)			石灰 飽和度 (%)	塩基 飽和度 (%)	石灰/苦土/加里	
	(H ₂ O)	(KCl)						K ₂ O	CaO	MgO				
うね上	6.21	5.19	0.165	0.84	3.98	88.6	21.7	70.6	317.2	74.3	52.2	76.1	3.1	2.5
根圏土壌	6.87	5.31	0.194	0.53	0.73	85.4	20.3	59.2	302.8	68.0	53.4	76.2	3.2	2.7
通路部分	6.53	5.46	0.160	0.94	5.99	69.9	20.9	82.5	267.0	67.7	45.7	70.1	2.8	1.9
輪作土壌	5.68	5.02	0.166	0.70	2.58	48.6	19.8	62.0	256.5	43.6	46.3	63.8	4.2	1.6

^aEC測定時の水温は26.0℃

第4節. 茎葉の生育阻害活性の評価

長野県野菜花き試験場のアスパラガスの改植圃場の連作障害の要因は、土壤病害または塩類集積や pH 値の変動によるものではなく、根圏土壌中に含有される強いアレロパシー物質の可能性が示唆された。ところで、アスパラガスの生産現場では、茎葉黄化後の残茎を圃場外に持ち出すか、石灰窒素を 40～60 kg/10a 程度施用してから圃場にすき込んでいる（元木，2003b）。以前はアスパラガスは茎葉黄化後に刈りにとって焼却処分するように指導されていたが（丸山，1985），茎葉を焼却すると煙霧が激しく、近年の環境問題への意識の高まりからアスパラガスの残茎の適正処理に対する要望があがっている（元木，2003b）。しかし、アスパラガスの茎葉の圃場へのすき込みがアスパラガスの生育に及ぼす影響については十分に確認されていない。本節では、アスパラガスの茎葉の生育阻害活性を評価し、茎葉の圃場へのすき込みがアスパラガスの生育阻害の原因になるか検討した。

材料および方法

アスパラガスの‘UC157F₁’を1999年3月17日に136セルトレイに播種して育苗し、1999年6月25日に1/5000 aのワグネルポット（藤原製作所社製）に定植した。栽培管理は既報（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）に準じた。処理区は、アスパラガスの‘UC157F₁’の5年株の茎葉を75℃で5日間乾燥させた後、粉砕機で粉砕した粉末を人工育苗培養土（みまき培養土，大塚産業社製）へ1ポット（育苗培養土1,000 gDW）当たり20 gおよび10 gを添加し、土壌とよく攪拌した（以下，茎葉添加区）。比較として、吸収根を含む貯蔵根を茎葉粉末と同様の手法で粉末にし、1ポット当たり10 gを添加攪拌した区（以下，根添加区）を設けた。また対照区として、茎葉粉末および根粉末を添加せずに同量の水道水を散水した区を設けた。地上部の調査は1999年10月26日に行い、地下部の調査は1999年12月14日に行った。試験区は1区10株（10ポット）で行った。

結果および考察

茎葉添加区のアスパラガスの生育は、根添加区に比べて茎重、地下部重が重く、茎数、貯蔵根数が多く、対照区と同程度の生育であった（表 2-2）。収量予測の指標である株養

成量（元木，2003b，2006b）は，茎葉添加区の 20 g および 10 g では，根添加区に対してそれぞれ 169.7% および 200.6%，対照区に対してそれぞれ 90.1% および 106.5% であり，根添加区のような強い生育阻害は認められなかった．本試験の茎葉添加区の 20 g および 10 g は，それぞれ 1,000 kg/10a および 500 kg/10a に相当するが，アスパラガス 10 年株の茎葉乾物重は 271 kg/10a（乾物率 27.3%）程度であることから（元木，未発表），アスパラガスの茎葉には，貯蔵根に多く含まれると考えられるアレロパシー物質はあまり含まれていない可能性が示唆された．そのため，一般にアスパラガスの生産現場で行われている茎葉を刈りとり，それを圃場へすき込むことは，アスパラガスの生育阻害や減収の大きな原因にはならないと考えられる．アスパラガスの栽培面積と同量または倍量の茎葉を，同じ栽培圃場へすき込んでも減収しなかったという報告（元木ら，2000）もあるが，茎枯病や斑点病などの病害茎を圃場へすき込むことは，その発病を助長する要因になるため（丸山，1985），病害茎は茎葉を圃場にすき込まず，従来どおり圃場外に持ち出すことが望ましいと考えられる（元木，2003b，2006b）．また，アスパラガスには雌雄株が 1 対 1 の割合で存在する雌雄混合品種と全雄品種の 2 種類があるが，国内の栽培品種は雌雄混合品種が主流である（皆川，1993a；元木，2003b，2006b）．雌株から落下した種子により実生が雑草化したり（Bouwkamp・McCully，1972；Ellison・Scheer，1959；Robbins・Jones，1928；園田，2003；Tiedjen，1925），その幼苗からのアレロパシー物質の滲出（元木ら，2006e）も懸念されるため，アスパラガスの茎葉を刈りとり，圃場中へすき込む時には，茎葉を堆肥化してからすき込むのがよいと考えられる．

表 2-2 アスパラガスの茎葉および根がアスパラガスの生育に及ぼす影響

処理区	茎数 (本)	最大茎長 (cm)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	最大根長 (cm)	最大根径 (mm)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^y 成量
対 照	12.1 a ²	72.5 NS	2.0 bc	9.6 bc	59.9 NS	2.9 NS	40.6 a	88.9 ab	32.9 a	29.2
根10g添加	7.0 b	69.9 NS	1.6 c	6.8 c	50.3 NS	2.7 NS	27.3 b	47.3 c	32.7 a	15.5
茎葉20g添加	11.4 ab	71.0 NS	2.3 b	11.0 ab	59.5 NS	3.1 NS	46.4 a	81.8 b	32.1 a	26.3
茎葉10g添加	14.6 a	72.8 NS	2.8 a	12.9 a	58.6 NS	3.1 NS	44.7 a	100.2 a	31.0 b	31.1

²異なる小文字間にはTukeyの検定により処理間で5%水準の有意差あり，NSは有意でないことを示す

^y(地下部重)×貯蔵根Brix/100

第 5 節. 10 年株の根圏土壌を用いたアレロパシー物質の単離と精製

生育阻害活性が強い植物体からアレロパシー物質を抽出する場合、植物体から生のままで抽出するのか、乾燥させて抽出するのかが問題になる（藤井，1994）。生きている植物体から放出されるアレロパシー物質を抽出する場合には、成分の変化を最小限に抑えるために生のままで抽出するのが適当である。しかし、植物の残さに含まれるアレロパシー物質や比較的安定したアレロパシー物質を対象にする場合には、その乾燥試料を用いることも可能である。例えば、新鮮根から強いアレロパシー物質が同定されたとしても、不安定な物質であればその作用性は低いかも知れないし、乾燥根から生育阻害活性の低い物質が同定された場合でも、その物質が大量に存在したり、安定して蓄積される可能性があればアレロパシー物質としての作用性は大きい可能性がある。

ところで、アスパラガスは改植時に 1 ha 当たり 60 ~ 100 t 程度の地下部が残されているとの報告がある（上杉ら，1997）。また、アスパラガスでは乾燥根抽出物からアレロパシー物質を単離・同定した報告（Hartung *et al.*, 1990; メリアサンディアウタミら，2005）があり、根の分泌物からもアレロパシー物質が単離・同定されているが（Lake *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 1991），これらのアレロパシー物質は、レタスやトマトなどを検定植物としたバイオアッセイの検討だけに留まっており、その量および持続性は圃場レベルで十分な検討がなされていない。そのため、これらの物質が沖積土壌で問題になっているアスパラガスのアレロパシーの直接の原因物質かどうかは明確ではない。

第 2 節の結果、沖積土壌で栽培されたアスパラガス 10 年株の根圏土壌は、アスパラガス自身を含め、数種の指標作物に対して強い生育阻害活性を示したことから（元木ら，2002b），アスパラガス 10 年株の根圏土壌からアレロパシー物質の単離と精製およびアレロパシー物質の同定を試みた。

材料および方法

第 2 節の結果、数種の指標作物に対して強い生育阻害活性を示した、アスパラガス 10 年株の根圏土壌の未風乾土を、5 倍重量の 80%メタノールに 10 °C で 48 時間浸漬した後に抽出した。抽出液およびその精製物のバイオアッセイは、25 mL 試験管（日電理化硝子社製）内で 0.75% (W/V) 寒天および 100 ppm Dimethyl Sulfoxide (DMSO) を含む 1 mL の寒

天培地に試料を溶解し、第2節の結果、アスパラガスの連作土壌のバイオアッセイで検定植物として有効であったアスパラガス、レタス、シロクロパー、アマランサスを播種または催芽させて移植後、人工気象器（FLI-301NH, EYELA 社製）の 25 °C 明所で 3 ~ 7 日培養し、地上部と地下部の伸長量を測定した。アレロパシー物質の単離は、大岳らの手法（1976）を参考に、酢酸エチルおよび n-ブタノールの溶媒抽出による分画および ODS カートリッジを用いた固相抽出法（固相抽出ハンドブック, 1986）で行った。さらに、高速液体クロマトグラフィー（HLPC）（GL-7400, ジーエルサイエンス社製）によりアレロパシー物質を単離・精製した。そして、核磁気共鳴（NMR）法（JNM-A600, 日本電子社製）と GC/MS 法（JMS-SX102A, 日本電子社製）（大岳ら, 1976）およびキャピラリー電気泳動（CE）法（Hewlett Packard 社, 現 Agilent 社製）（堀江ら, 2005; 堀江・伊藤, 2006; 酒井, 1994）によりその化学構造を解析した（図 2-4）。そして同定された物質に対して、20%ヤシ殻活性炭を液体中に分散させた懸濁剤である活性炭フロアブル剤（大塚化学社製）が、吸着できるかどうか確認した。

結果および考察

アレロパシー物質の抽出方法として、水溶性の高い物質を抽出するために水抽出を、極性の低い物質まで含めた広い範囲の物質を抽出するためにメタノール抽出を行うことが多い（藤井, 1994）。本研究では、アスパラガスのアレロパシー物質を幅広く抽出するためにまず 80%メタノールで抽出し、この抽出液をロータリーエバポレーターで乾固しない状態まで減圧濃縮した。さらにこの液を常法（大岳ら, 1976）に従い、酢酸エチルと n-ブタノールの溶媒抽出により分画した。その結果、80%メタノール抽出物（以下, AS1）および酢酸エチルの溶媒分画の水溶性画分（以下, AS3）には、アスパラガスの連作土壌のバイオアッセイ（元木ら, 2006f）と同様、アスパラガスだけでなく、レタス（図 2-5）、シロクロパー（データ省略）、アマランサス（データ省略）でも強い生育阻害活性が認められ、レタスでは発芽阻害も確認された（図 2-6）。さらに n-ブタノールの溶媒分画の水溶性画分（以下, AS3W）でも同様の傾向がみられた（データ省略）。このことから、アスパラガスの生育阻害活性はいずれも水溶性画分（AS3 → AS3W）に移動したと考えられた。そこで一般的に生育阻害物質に対する感受性が強く、多くの研究者が生育阻害活性物質のバイオアッセイに用いているレタスの 'Great Lakes 366' の幼根伸長阻害活性（藤井,

1994) をおもに指標として、この画分を固相抽出法 (固相抽出ハンドブック, 1986) の ODS カートリッジを用いて単離 (AS3W1), さらに HLPC によりアレロパシー物質を単離・精製した。そして NMR 法と GC/MS 法 (大岳ら, 1976) および CE 法 (堀江ら, 2005; 堀江・伊藤, 2006; 酒井, 1994) によりその化学構造を解析した。その結果, アスパラガス 10 年株の根圏土壌における生育阻害の主成分は酢酸 (Acetic acid, $\text{CH}_3\text{-COOH}$) である可能性が示唆された。

アスパラガス 10 年株の根圏土壌の AS1 に含まれるそれぞれの検定植物の生育阻害は, 純品の酢酸ナトリウム (分子量=136.08, 和光純薬社製) を用いても同様の傾向を示した (図 2-7)。しかし, アスパラガスの改植圃場で広く普及している活性炭を利用したアスパラガスのアレロパシー回避技術 (元木, 2002, 2003b, 2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) を実証するため, アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れると評価された活性炭フロアブル剤 (元木ら, 2006e) を酢酸ナトリウムに添加したところ, レタス幼根の伸長と発芽率は酢酸ナトリウムの濃度が高濃度ほど回復せず (図 2-8, 2-9), 酢酸ナトリウムの活性炭フロアブル剤への吸着は少ないと考えられ, アスパラガスのアレロパシー物質が活性炭フロアブル剤に吸着されることが説明できなかった。そこで AS1 に戻って, 活性炭フロアブル剤を添加すると, レタスの幼根伸長阻害, 発芽阻害とも高濃度でも回復し (図 2-10, 2-11), AS1 に含まれると考えられるアスパラガスのアレロパシー物質は活性炭フロアブル剤に吸着されたと考えられた。これら一連の結果から, AS1 まではアスパラガスのアレロパシー物質は抽出されていたと考えられ (図 2-5, 2-6), 分画後の精製物は活性炭フロアブル剤に吸着されなかったことから, アスパラガスのアレロパシー物質の主成分は酢酸ではないと推察された。また, CE 法 (堀江ら, 2005; 堀江・伊藤, 2006; 酒井, 1994) によるアスパラガス 10 年株の根圏土壌の酢酸ナトリウムの分析結果でも, AS3 以降の水溶性画分では酢酸ナトリウムに由来するピークの形状が認められるが, AS1, nAS1 では酢酸ナトリウムに由来するピークはいずれも認められなかった (表 2-3)。さらに, CE 法 (堀江ら, 2005; 堀江・伊藤, 2006; 酒井, 1994) によるアニオン分析の結果, AS3 の Na^+ はアスパラガス 10 年株の根圏土壌に比べて 1 オーダー以上高かった (元木・平館, 未発表)。これらのことから, 本研究ではアスパラガスのアレロパシー物質の単離に酢酸エチルを溶媒として分画したため, 酢酸がアスパラガスのアレロパシー物質として単離・同定された可能性が高いと推察された。

前述のように, アスパラガスでは根圏土壌中ないし根の分泌物から, アレロパシー物質

としてフェノール性物質である 3,4-dihydroxy benzoic acid, 2,6-dihydroxy benzoic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4-dimethoxy acetophenone, β -(m-hydroxy phenyl) propionic acid, Caffeic acid が単離・同定されているが (Miller *et al.*, 1991; Young, 1986), Young らの手法 (1986) はフェノール性物質を最も高い効率で抽出する Amberlite XAD-4 樹脂カラムを用いた連続的根浸出液捕集法 (CRETS: Continuous Root Exudate Trapping System) (藤井・土屋, 1993; Tang・Young, 1981) により抽出したため, フェノール性物質が大量に単離・同定されたという指摘がある (独立行政法人農業環境技術研究所の見解). 一般に上記のようなフェノール性物質がアレロパシー物質として報告されることが多いが (藤井・土屋, 1993), フェノール性物質は生態系の中に広く存在しており (藤井, 2000), 土壌中の存在量は植物の生育に影響を与えるには低すぎることから, フェノール性物質のアレロパシーへの寄与は少ないとされている (藤井, 1994). また, アスパラガスの根から単離した Caffeic acid の量は, 土壌抽出すると少なかったという報告 (Lake *et al.*, 1993) もある.

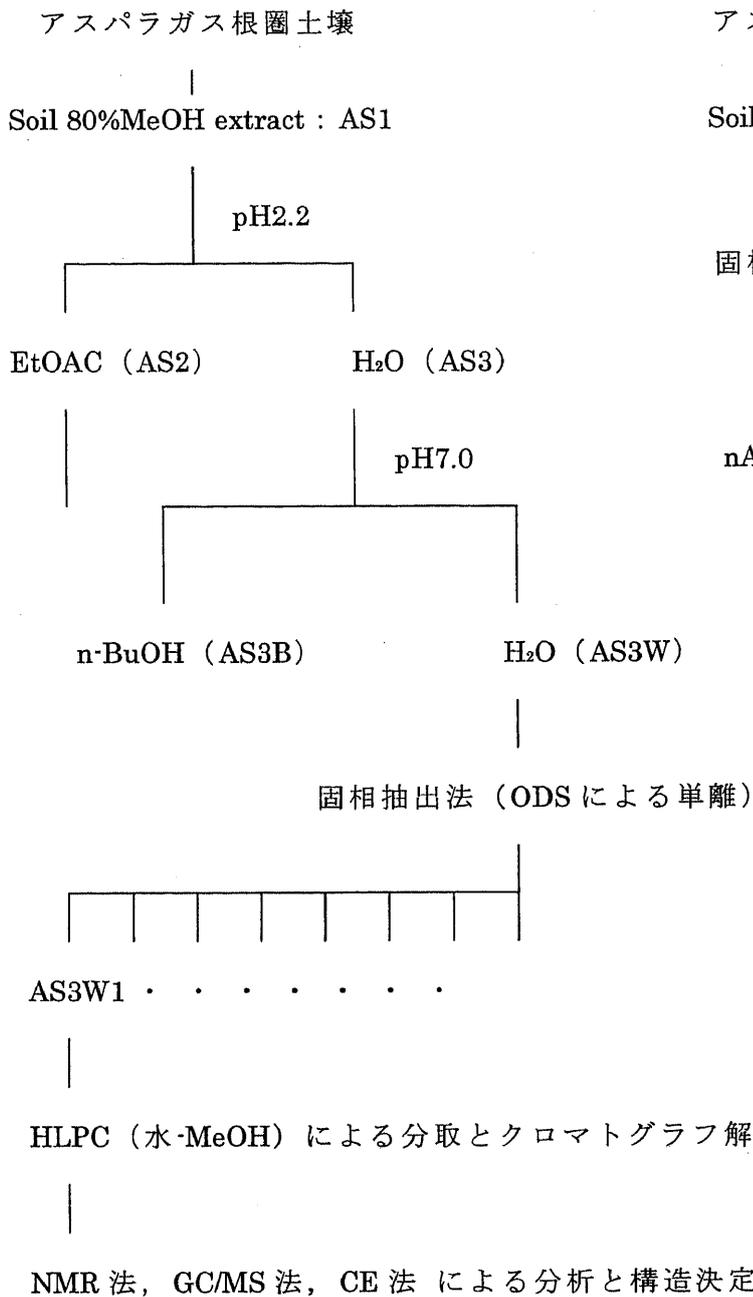
一方, 本手法 (元木ら, 2002b) では, アスパラガス 10 年株の根圏土壌からの溶媒抽出に酢酸エチルを用いたため, 前述の Young の報告 (1986) と同様, 酢酸が単離・同定されたと考えることもできる. 林ら (1996) も, 60 年間各種作物を連作した青森県農業試験場藤阪支場の黒ボク土において, ナタネがシロクローバーに対して強い生育阻害活性を示したことから, 独立行政法人農業環境技術研究所で本研究と同様の手法により連作土壌を 80%メタノールで抽出し, 酢酸エチルの溶媒抽出による分画を行い, アレロパシー物質を単離・精製したところ, ナタネのアレロパシー物質として酢酸が同定された. 林ら (1996) も, 酢酸エチルを溶媒として分画したため, 酢酸がナタネのアレロパシー物質として単離・同定された可能性が高いと考えられる. ところで, 天然物より得た粗抽出物を常法に従って分画する場合, 有機溶媒としてエチルエーテル, クロロホルム, 酢酸エチルなどを用いることが多い. しかし, エーテルでは抽出されにくい化合物が多く, 溶解性が必ずしも大きいとはいえず, またクロロホルムは高価であることから, 相当量の粗抽出物を分画する場合には通常酢酸エチルが用いられる (大岳ら, 1976). また, 酢酸エチルによって抽出されない極性の高い化合物については n-ブタノールを用いることがあるとされ (大岳ら, 1976), 本研究の分画操作は一般的な操作であったといえる. しかし, 本研究と林ら (1996) の結果から酢酸エチルの抽出溶媒による分画操作を再考する必要があると考えられる.

著者の独立行政法人農業環境技術研究所の研修期間の時間的制約と分析機器の制約上、溶媒抽出による分画の過程で、それぞれの検定植物の生育阻害活性が強いと判断した AS3, AS3W などについては、活性炭フロアブル剤をアレロパシー物質の吸着資材とする追跡試験を行うことができなかった。アスパラガスの根圏土壌のアレロパシー物質の単離・同定には、本研究の酢酸のような物質を単離・同定しないためにも、抽出および溶媒による分画の時点から、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭フロアブル剤などの吸着資材を用い、抽出物とその精製物の吸着を確認しながら分画操作を進めるというアプローチも必要であると考えられる。

ところで、根圏土壌アッセイ法（第 3 章第 4 節参照）（元木ら，2006d）を利用して、アスパラガス 10 年株の根圏土壌とその土壌の 80%メタノール抽出後残さについてレタスの生育阻害活性を確認したところ、80%メタノール抽出後残さは、抽出前の根圏土壌のようなレタスの生育阻害が認められなかった（図 2-12）。このことから、根圏土壌に含まれるアレロパシー物質は 80%メタノールで抽出することにより、その抽出物に移動したと推察され、アスパラガスのアレロパシー物質の単離と精製で 80%メタノールを用いた著者らの報告（2002b）を支持する結果が得られた。Young と Chou（1985）も、メタノールのほか、アセトンと XAD-4 樹脂を用いてアスパラガスを栽培した土壌からアレロパシー物質を抽出しているが、その抽出物はいずれもアスパラガスの幼苗の地上部および地下部の生育を強く阻害したと報告した。これらの結果から、アスパラガスの根圏土壌のアレロパシー物質の単離・同定には 80%メタノール抽出物が利用できると考えられた。

今後は抽出の有効性が確認されたアスパラガス 10 年株の根圏土壌の 80%メタノール抽出物を用いて、活性炭フロアブル剤などのアスパラガスのアレロパシー物質の吸着資材を使い、抽出物とその精製物の吸着を確認しながらアレロパシー物質を単離・精製し、さらにその精製物から同定されたアレロパシー物質の圃場レベルでの作用性を検討するとともに、その物質がほかの作物の生育に及ぼす影響を検討する必要があると考えられる。

【手法 1】



【手法 2】

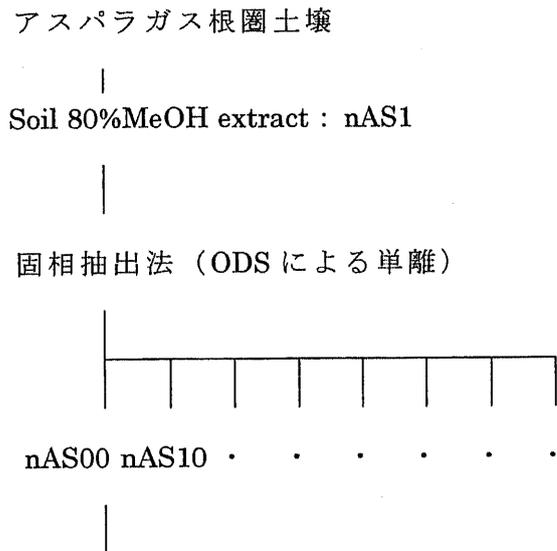


図 2-4 アスパラガス 10 年株の根圏土壌を用いたアレロパシー物質の単離と精製の試み
 (研修先：独立行政法人農業環境技術研究所，2001 年 9 月 26 日～12 月 26 日)

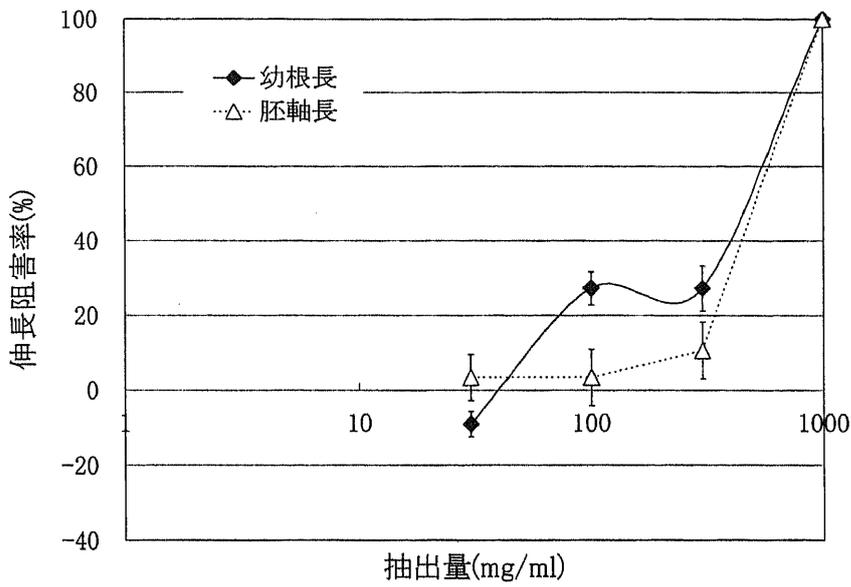


図 2-5 アスパラガス 10 年株の根圏土壌の 80%メタノール抽出物 (AS1) が
レタスの幼根長および胚軸長に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差 (n=6) を表す

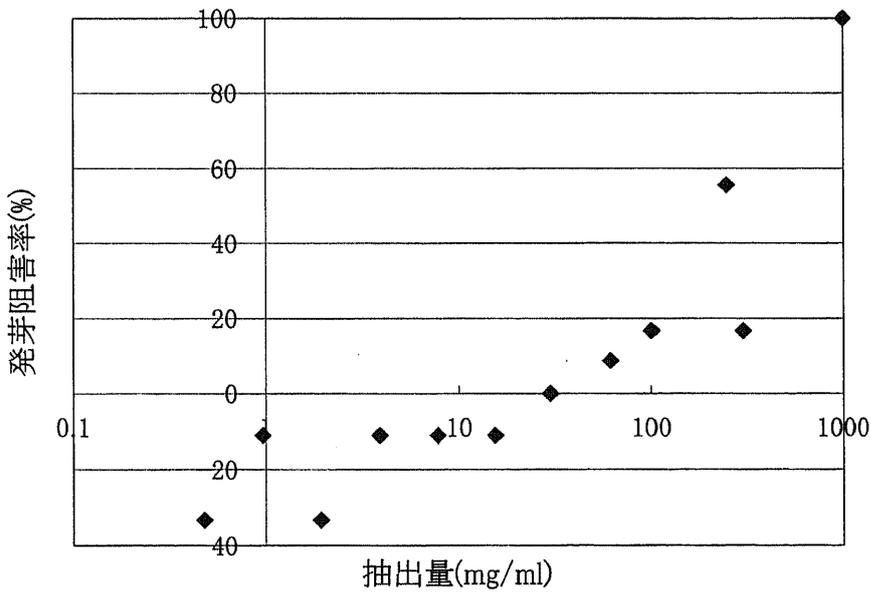


図 2-6 アスパラガス 10 年株の根圏土壌の 80%メタノール抽出物 (AS1) が
レタスの発芽率に及ぼす影響

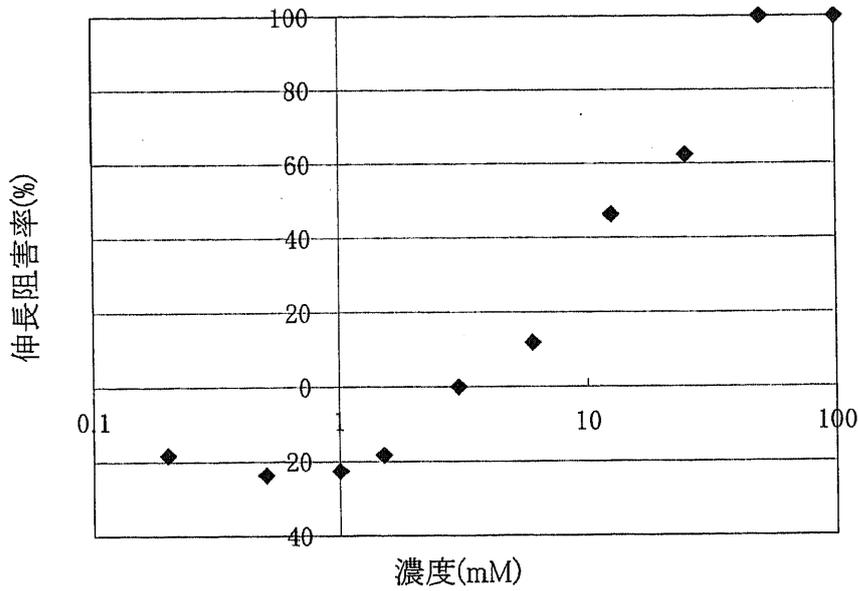


図 2-7 アスパラガスのアレロパシー物質として単離・同定された酢酸 (酢酸ナトリウム) がレタスの幼根長に及ぼす影響

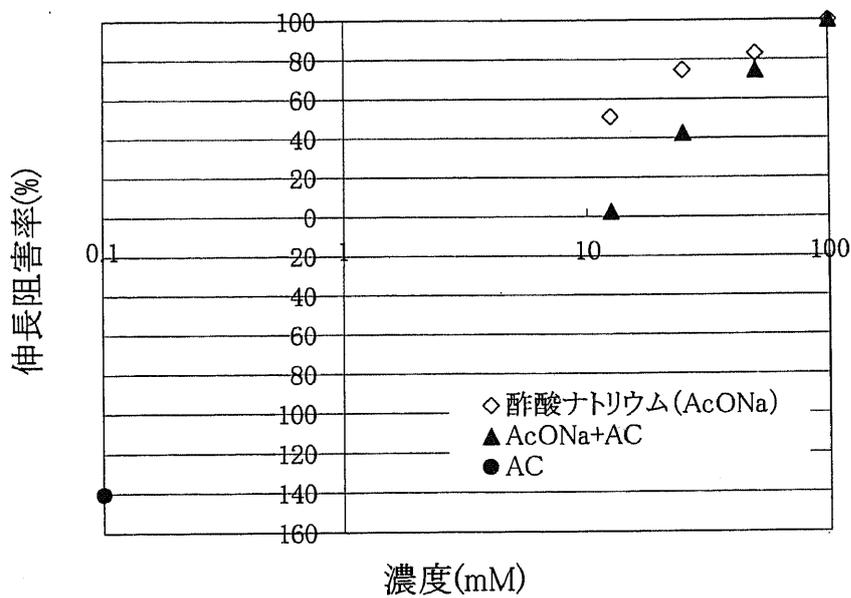


図 2-8 活性炭フロアブル剤を酢酸ナトリウムに添加した時のレタスの幼根長に及ぼす影響
ACは活性炭フロアブル剤

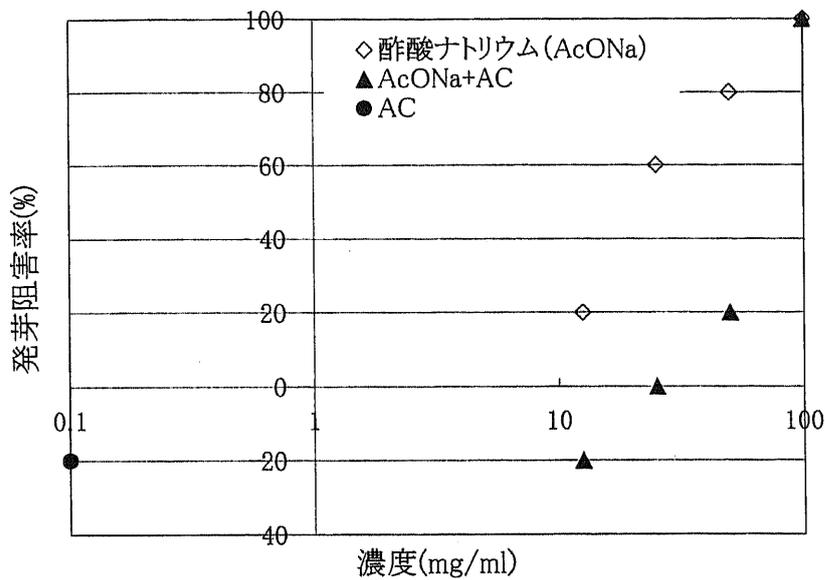


図 2-9 活性炭フロアブル剤を酢酸ナトリウムに添加した時のレタスの発芽率に及ぼす影響
ACは活性炭フロアブル剤

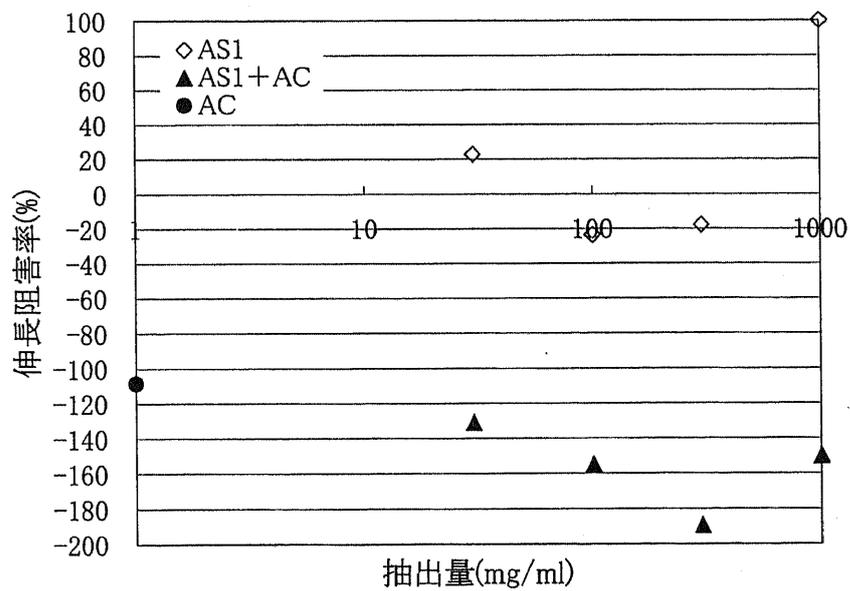


図 2-10 活性炭フロアブル剤をアスパラガス 10年株の根圏土壌の80%メタノール抽出物 (AS1) に添加した時のレタスの幼根長に及ぼす影響
ACは活性炭フロアブル剤

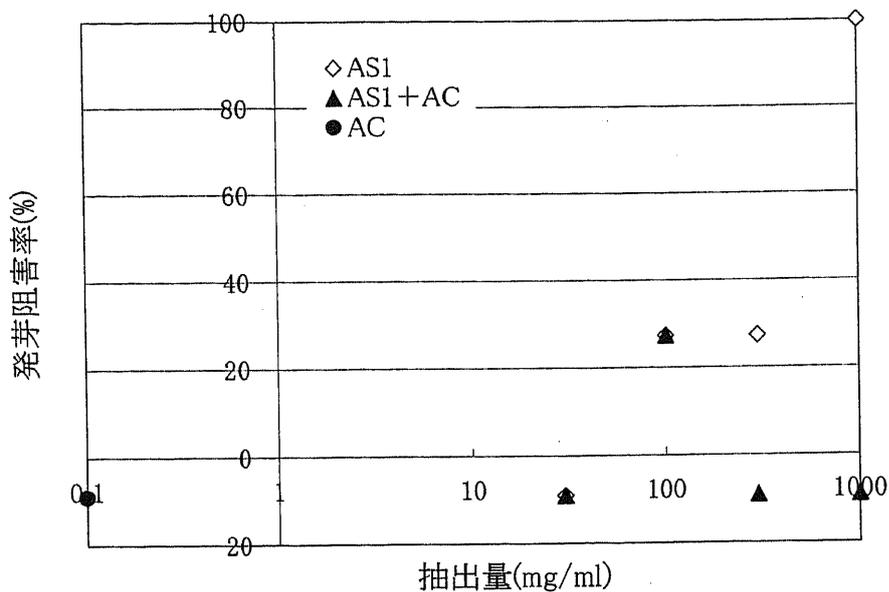


図 2-11 活性炭フロアブル剤をアスパラガス 10 年株の根圏土壤の 80%メタノール抽出物 (AS1) に添加した時のレタスの発芽率に及ぼす影響
AC は活性炭フロアブル剤

表 2-3 キャピラリー電気泳動法によるアスパラガス 10 年株の根圏土壤の 酢酸ナトリウムの分析結果

サンプル名	AcONa (mM)		
	Time (min)	Area (mAU*s)	conc (mM)
AcONa STD 1.0 mM	6.399	122.63	1.000
AcONa STD 0.3 mM	6.433	43.12	0.300
AS1 (1 g/mL)	-	0.00	0.000
AS1 (0.1 g/mL)	-	0.00	0.000
nAS1 (1 g/mL)	-	0.00	0.000
nAS1 (0.1 g/mL)	-	0.00	0.000
AS3 (1 g/mL)	6.218	1434.61	11.698
AS3W (1 g/mL)	6.098	3770.26	30.744
AS3W1 (1 g/mL)	6.219	1421.34	11.590

2001年12月18日調査

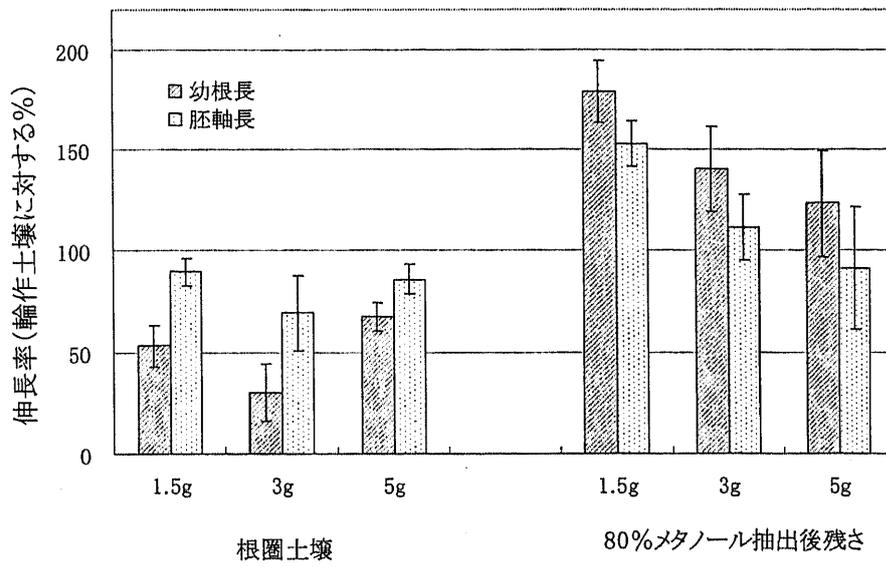


図 2-12 根圏土壌アッセイ法を利用したアスパラガス 10 年株の根圏土壌の 80%メタノール抽出後残さのレタスに対する生育阻害活性
 図中の横線は標準誤差 (n=3) を表す

第3章 沖積土壌におけるアスパラガスのアレロパシー評価法の開発

第1節. プラントボックス法によるアレロパシー物質の評価

第1項. 1年養成株の生育ステージとアレロパシー活性の評価

前章で述べたように、ユリ科の多年性作物であるアスパラガスは、改植時の連作障害が生産現場で大きな問題になっており（岸田・前田，2004；元木，2002，2003b，2006b；土屋，1989，1990；上杉ら，1997），その生育不良要因の一つとして、根から分泌されるアレロパシー物質が関与している可能性がある（元木ら，2002b，2006c）．アレロパシーは作物の生育阻害や果樹などの永年性作物の連作障害（西尾，1983）の原因の一つと考えられている．しかし，アレロパシーは，光や水，栄養素の競合や物理的あるいは生物的相互作用との識別が難しいため（藤井，1994，2000），それを的確に評価し，農業生産に役立てた研究はきわめて少ない．

ところで，寒天中に植物を混植し，生きている植物の根から滲出する物質によるアレロパシーを特異的に検出するプラントボックス法（藤井，1994，2000；藤井・澁谷，1992）が開発されている．本手法は，アレロパシーの可能性のある植物の検索とその活性の評価および作用物質の実証の点で画期的であり，本手法によりすでに500種2,000系統以上の植物のアレロパシーが評価されている（藤井，1994，2000；服部ら，2004）．本研究では，アスパラガスの生育阻害へのアレロパシー物質の関与を明らかにするため，プラントボックス法を用いてアスパラガスのアレロパシー活性を評価した．

材料および方法

アスパラガスの‘UC157F₁’（日本名：ウェルカム）（Benson・Takatori，1978）を7.5 cmの黒ポリ鉢（培地は5 mmの篩いにかけて鬼怒川の川砂）に2001年8月21日に播種し，服部らの手法（2004）に準じて，独立行政法人農業環境技術研究所内のガラス自然光温室で栽培した．施肥は500倍に薄めた液肥（N:P₂O₅:K₂O=0.05:0.11:0.05 mg/L，ハイポネックスジャパン社製）を1週間に1回10 mm/株程度施用した．試験にはアスパラガスの茎数が移植適期の3～4本になるまで（播種後約58日）栽培し，それ以降，地下部の乾物重が

50 ~ 600 mg/株程度で地上部をつけたままの株を用いた。供試材料は、水洗いの際に根が傷つき体内物質が滲出することを防ぐため、静水中で丁寧に洗浄した後、根を蒸留水で軽く洗い流し、供試するまでペーパータオル（クレシア社製）で包み、蒸留水でしめらせた。

播種後 58 日（2001 年 10 月 17 日）、79 日（11 月 7 日）、99 日（11 月 27 日）、107 日（12 月 5 日）および 114 日（12 月 12 日：茎葉黄化期）に、1 株のアスパラガスの根を前述のように水洗いして、側部にセルロース透析膜を張った直径 32 mm の筒に入れ、組織培養用プラントボックス（65 × 65 × 100 mm, Magenta 社製）の片隅に設置し、そのプラントボックスを氷の入ったプラスチック容器（35 × 25 × 15 cm）の中においた。そして、40 ~ 45 °C に調整した 0.75% (W/V) 低温ゲル化寒天（ゲル化温度 30 ~ 31 °C, ナカライテクス社製）をプラントボックス内に満たし、直ちに氷水で急冷して、寒天溶液を固化させた。10 mm 間隔の寒天上の格子点の位置に、アレロパシー活性の有無の検定に一般的に用いられているキク科レタス (*Lactuca sativa* L.) の 'Great Lakes 366' を、発根部位（先尖部位）を下にして穿刺播種した。プラントボックス内に播種したレタスの種子数は 33 粒（うち、供試材料を入れた筒内に 4 粒）とした。また対照区は、プラントボックスに寒天のみを添加後、上記と同様にレタスを穿刺播種した。そしてプラントボックスは、遮光のため根の部分の部分を黒ポリ鉢で包み、蒸発を防ぐために上部を食品包装用ポリエチレンフィルム（旭化成ライフ & リビング社製）で覆った。その後、温度勾配恒温機（BITEC-500L, 12 時間日長, 昼夜温 25/20 °C, 照度 3,000 lx, 島津製作所社製）で 5 日間レタスを発芽・生育させた。調査は、アスパラガスのアレロパシー物質によるレタスの生育阻害をみるために、プラントボックス内に播種したすべてのレタスの幼根長、胚軸長およびアスパラガスの草丈、地下部の生体重を測定し、乾燥器（DK83, ヤマト化学社製）を用いて 2 日間 60 °C で通風乾燥させた後、アスパラガスの地下部の乾物重を測定した。試験は 3 区制で行った。ところで、レタスの実用的発芽最適温度は 15 ~ 20 °C とされているが（藤下, 1981; 中村, 1977）、本試験ではレタスの発芽の迅速性を考慮して、藤井の報告（1994）と同様、昼温は 25 °C を選択した。

プラントボックス法において、レタスの生育に対するアスパラガスのアレロパシー物質の関与の有無は、アレロパシー物質検定法（藤井, 1994, 2000）に準じた。つまり、セルロース透析膜を張った筒とレタスの穿刺種子までの距離を X 軸に、レタスの幼根長を Y 軸としたグラフを作成し、一次回帰式を求めた（図 3-1）。この直線の傾きおよび筒とレタス種子までの距離 0 mm 地点のレタスの幼根長から根阻害率（%, これをアレロパシー活

性とする)を求め、その阻害の程度を比較した。

結果および考察

アスパラガスは野菜では珍しいユリ科の多年性作物で、特異な生理・生態反応を示し(元木, 2003b, 2006b; 八畝, 1986), 日本などの温帯地域では、多くの場合、定植1年目は収穫に至らず、1年間あるいは2年間の株養成を行った後に収穫になる。そこで本研究では、実験室レベルでも試験可能なアスパラガスの1年養成株を用いて、プラントボックス法(藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992)を利用して、アスパラガスの生育ステージとアレロパシー活性について検討した。

プラントボックス法では、アスパラガスの根からの距離が近いほど、レタス幼根の伸長が阻害された(図 3-1)。この時のアスパラガスからの距離を X 軸に、レタスの幼根長を Y 軸にとると、 $Y=1.63X+9.60$, $r^2=0.841$ の正の傾きを持つ回帰式が得られ、アスパラガスの根近辺ではレタスの幼根は 8 ~ 10 mm 程度しか伸長せず、アスパラガスの根からはレタス幼根の伸長を阻害するアレロパシー物質が滲出していると考えられた。レタスの根阻害率は 87.1 ~ 75.3% の範囲、胚軸阻害率は 74.8 ~ 89.3% の範囲、アスパラガスの地下部の乾物重および草丈は、生育に伴ってそれぞれ 50 ~ 590 mg および 18.0 ~ 36.0 cm であり(表 3-1)、茎葉緑色時(播種後 58 ~ 107 日)から茎葉黄化期(同 114 日)まで、いずれもアレロパシー活性が強かった。服部ら(2004)は、プラントボックス法を用いて雑草 141 種のアレロパシー活性を評価し、レタスの根阻害率が 80%以上を示すものは 31 種(全体の 22.0%)であると報告した。また藤井(2003)も、アレロパシー活性が最も強いとされるハッショウマメ(*Mucuna pruriens* var. *utilis*)の根阻害率は 87%、ヘアリーベッチ(*Vicia villosa* Roth)は 80%であると報告していることから、アスパラガスはアレロパシー活性が強い作物に分類された(図 3-3)。

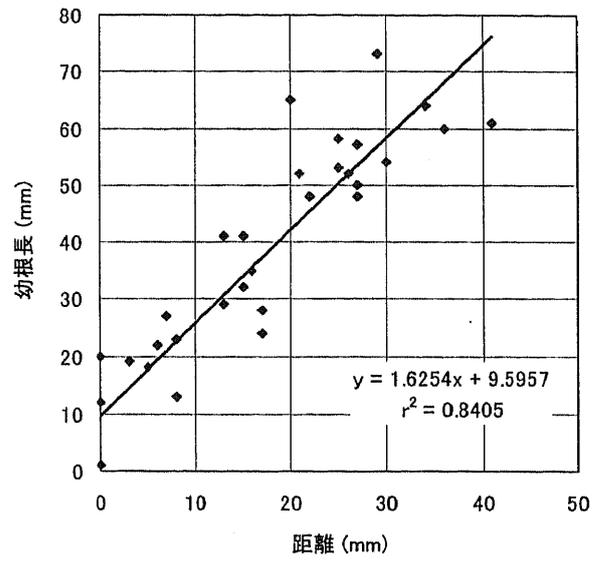
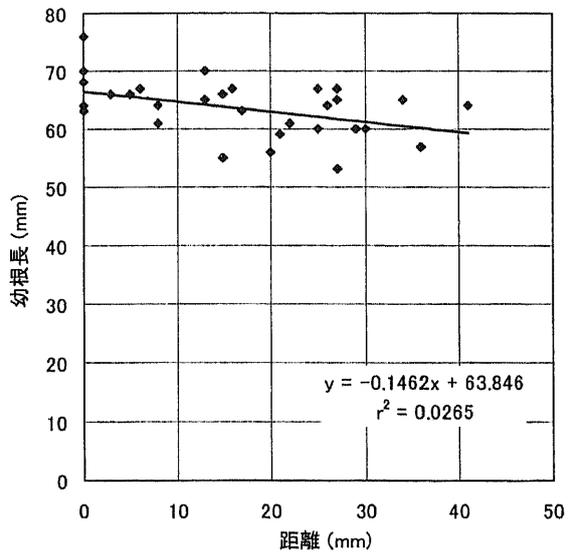


図 3-1 プラントボックス法によるレタス幼根の伸長

左：対照区，右：処理区（アスパラガス）

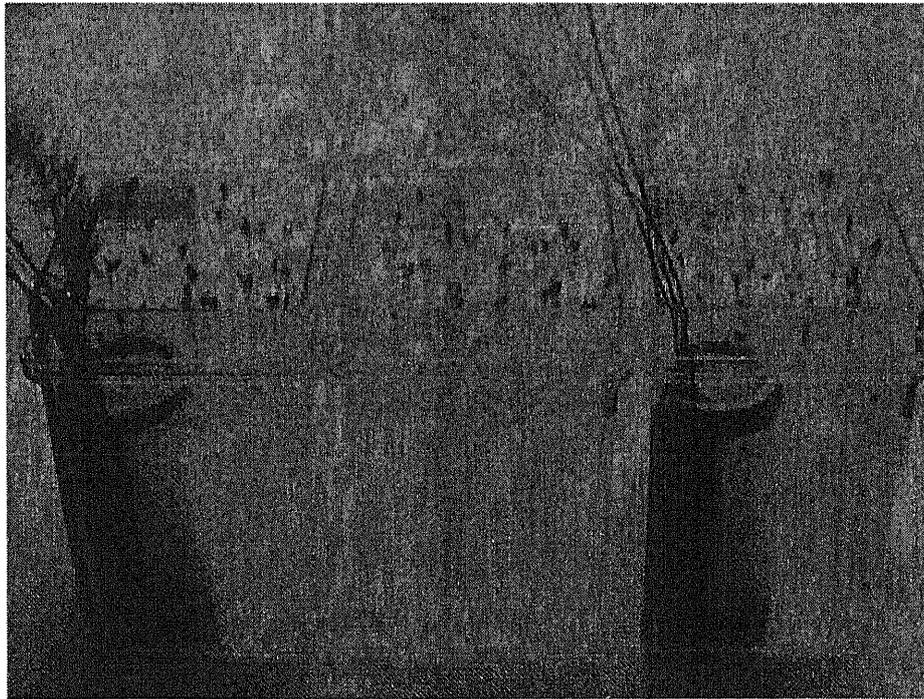


図 3-2 プラントボックス法によるアスパラガスのアレロパシー活性の評価

表 3-1 プラントボックス法によるアスパラガスのアレロパシー物質の評価

調査時期	レタス		アスパラガス	
	根障害率 ^z (%)	胚軸障害率 (%)	地下部乾物重 (mg)	草丈 (cm)
播種後 58日	80.9** ± 4.2 ^y	80.2 ± 2.2	50 ± 11	18.0 ± 1.2
播種後 79日	75.3** ± 5.1	74.8 ± 2.0	347 ± 13	26.0 ± 4.6
播種後 99日	87.1*** ± 4.4	88.8 ± 3.1	590 ± 115	36.0 ± 1.2
播種後107日	84.7** ± 3.6	82.9 ± 2.7	430 ± 35	34.0 ± 1.7
播種後114日	78.7** ± 0.6	89.3 ± 2.6	465 ± 3	30.0 ± 0.3

^z障害の尺度は藤井(2003)に準じ、それぞれの対照区に対する生育障害率を示し、*** 85%以上の障害、** 70~84%の障害、* 55~69%の障害とした

^y±は標準誤差(n=3)を表す

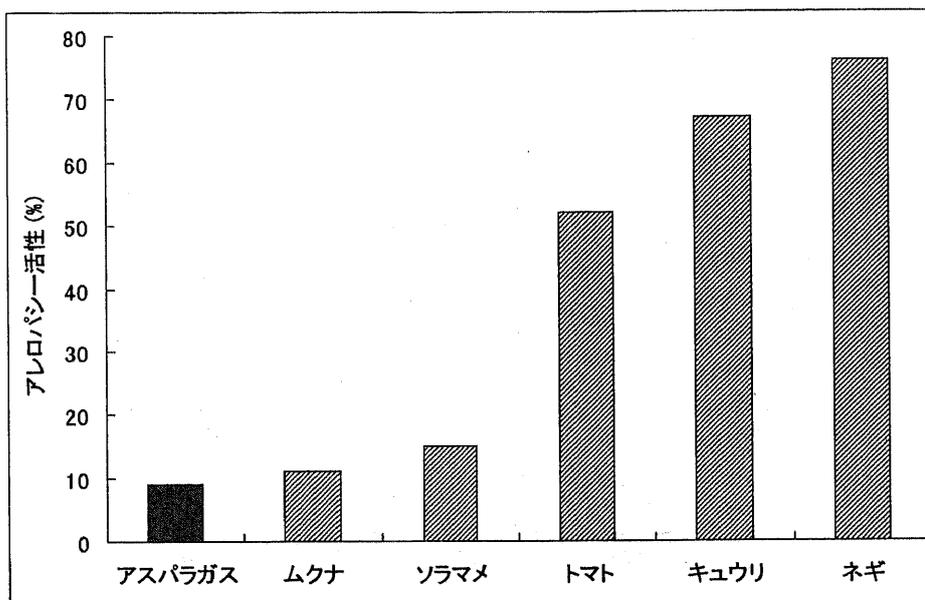


図 3-3 プラントボックス法による作物のアレロパシー活性の比較
本研究の結果と藤井の報告(1994, 2003)を参考に作図

第2項. 茎葉の刈りとりとアレロパシー活性の変化

前項では、アスパラガスの生育阻害へのアレロパシー物質の関与を明らかにするため、プラントボックス法（藤井，1994，2000；藤井・澁谷，1992）を用いてアスパラガスの1年養成株のアレロパシー活性を評価した。その結果、アスパラガスはアレロパシー活性が強い作物に分類され、茎葉緑色時（播種後58～107日）から茎葉黄化期（同114日）まで、いずれもアレロパシー活性を評価できることを確認した。

アスパラガスは茎葉の刈りとり時期が早いと減収することが知られており（元木，2003b），その要因は茎葉に蓄積された養分の転流不足と考えられている。しかし，アスパラガスが台風により倒伏被害を受けた翌年に著しく減収するという報告（元木，2003b）もあり，アスパラガスの生産現場で台風後に貯蔵根の状態を調査すると，通常年に比べて台風被害のあった年の健全根に対する腐敗根の割合が高く（表3-2），茎葉が強風で引きちぎられたことによりアレロパシー物質が土壤中に滲出して減収した可能性も考えられる。そこで本項では，プラントボックス法を応用してアスパラガスの茎葉の刈りとりとアレロパシー活性の変化について検討した。

材料および方法

前項と同様のアスパラガスを用い，2001年11月7日（播種後79日）に試験を開始した。プラントボックス法を用いてレタスを5日間発芽・生育させ，2001年11月12日にレタスの幼根長，胚軸長およびアスパラガスの草丈，地下部の生体重を測定し，2001年11月14日にアスパラガスの地下部の乾物重を測定した。試験区は，地下茎から1.5 cmで茎葉を刈りとった区と茎葉を刈りとらなかった無処理区，寒天のみの対照区を設けた。試験は3区制で行った。アレロパシー活性の評価は，前項のプラントボックス法（藤井，1994，2000；藤井・澁谷，1992）に準じた。

結果および考察

アスパラガスの茎葉を刈りとらなかった無処理区のレタス幼根の伸長は，前項と同様，アスパラガスの根からの距離が近いほど阻害され，レタスの根阻害率は75.3%であった。

茎葉を刈りとった区では、アスパラガスのアレロパシー活性が強くなり、レタスの根阻害率が 86.9%になった (表 3-3)。

アスパラガスは夏秋どり終了後、茎葉の刈りとり時期が早すぎると翌春の春どりが減収することが知られている (元木, 2003b)。この原因は、アスパラガスの茎葉を刈りとることにより、養分転流期に養分が十分転流できず、地下部に蓄積される養分が不足するためと考えられているが、本研究の結果から、茎葉を刈りとることにより環境ストレスが加わり、アスパラガスのアレロパシー活性が強くなったことも翌春の減収の一因として考えられる。藤井 (1994) も根から滲出する化学物質は酵素や土壤微生物の働きあるいは環境ストレスが加わった時に作用物質 (アレロパシー物質) に変化すると推察している。以上の結果から、アスパラガスが台風により倒伏被害を受けた翌年の減収要因は、養分転流の不足だけでなく、茎葉が強風により引きちぎられた後に根から滲出したアレロパシー物質の影響も一因として考えられる。

表 3-2 1998 年の台風 7 号被害後のアスパラガスの貯蔵根の状態

調査年	健全根数(本)						腐敗根数(本)						腐敗根 [†]
	10cm [‡]	20cm	30cm	40cm	50cm	計	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	計	割合 (%)
1998	1.5	15.2	13.0	4.8	1.5	36.0	4.9	9.7	8.5	3.3	0.5	26.9	42.8
1999	1.8	24.9	23.7	7.0	1.4	58.7	1.2	6.9	10.0	2.8	0.7	21.5	26.8
2000	4.7	22.3	25.3	11.7	4.0	68.0	5.7	8.0	6.2	2.8	0.3	23.0	25.3
2001	6.3	24.7	17.8	9.7	1.0	59.5	1.5	8.3	2.8	1.5	0.2	14.3	19.4

長野県中野市における定点調査の結果

調査方法は、平均的に生育しているところを 50 cm 角の立方体の穴を掘り、健全根と腐敗根の貯蔵根数を深さ 10 cm ごとに調査

1998 年の台風 7 号の被害により、翌 1999 年のアスパラガスの春どりが著しく減収した

貯蔵根 Brix は 1998 年、1999 年、2000 年、2001 年の順に、それぞれ 14.2%、18.3%、20.4%、18.6%

試験協力：JA 中野市、北信農業改良普及センター、長野県経済事業農業組合連合会

(現全国農業協同組合長野県本部) 北信事業所

[‡] 地表面からの深さ

[†] 貯蔵根全体における腐敗根の割合

表 3-3 プラントボックス法によるアスパラガスの茎葉の刈りとりとアレロパシー活性との関係

調査時期	レタス		アスパラガス	
	根阻害率 [‡] (%)	胚軸阻害率 (%)	地下部乾物重 (mg)	草丈 (cm)
茎葉刈りとり	89.6*** ± 3.2 [†]	86.9 ± 4.1	317 ± 29	1.5
無処理	75.3** ± 5.1	74.8 ± 2.0	347 ± 13	26.0 ± 4.6

[‡] 阻害の尺度は藤井(2003)に準じ、それぞれの対照区に対する生育阻害率を示し、*** 85%以上の阻害、** 70~84%の阻害、* 55~69%の阻害とした

[†] ± は標準誤差(n=3)を表す

第3項. 活性炭フロアブル剤と粉末活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力

アスパラガス改植時におけるアレロパシー物質の吸着資材として、ヤシ殻系の破碎状活性炭である粉末活性炭（元木，2003b）および20%ヤシ殻活性炭を液体中に分散させた懸濁剤である活性炭フロアブル剤（元木，2002，2003b，2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）が広く普及している。そこで本項では、これらの活性炭をプラントボックスの寒天に混和することにより、実験室レベルでアスパラガスのアレロパシー回避技術を評価する方法を検討した。

材料および方法

アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能の評価に用いる活性炭として、粒度およびpH値が異なる活性炭フロアブル剤（pH 6.8，大塚化学社製）および粉末活性炭 a（pH 9.9），粉末活性炭 b（pH 10.2）（以上，味の素ファインテクノ社製）を供試した（表 3-4）。活性炭フロアブル剤はアスパラガスの生産現場の手法（元木，2002，2003b，2006b; 元木ら，2001，2002a，2003a，2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）に合わせて25倍希釈液（40 mL/L）を，粉末活性炭はいずれも8 g/Lを，オートクレーブ（115℃，15分，SD-321）前の寒天に混和させた。活性炭フロアブル剤は浸透性と分散性を高めるために20%ヤシ殻活性炭を液体中に分散させた懸濁剤であるため，粉末活性炭は混和する際に活性炭フロアブル剤の20%相当量になるように調整した。第1項と同様に栽培した播種後99～114日の茎葉緑色時から茎葉黄化期のアスパラガスを用いた。試験は3区制で行った。比較として，活性炭フロアブル剤をオートクレーブ後に混和した区，2%（W/V）Polyvinylpyrrolidone K30を添加した区，活性炭フロアブル剤を混和してアスパラガスを植えない区をそれぞれ1～2区ずつ設け，アスパラガスを植えて活性炭を混和しない無処理区と寒天のみの対照区をそれぞれの試験区に設けた（図 3-4）。また，活性炭は黒色であることから，光の影響を排除するため，インキュベータの25℃の暗黒条件下でも比較した。アレロパシー活性の評価はプラントボックス法（藤井，1994，2000; 藤井・澁谷，1992）に準じた。

結果および考察

無処理区のレタスの根阻害率は 87.1%で、第 1 項と同様、アスパラガスは強いアレロパシー活性を示した (表 3-5)。活性炭フロアブル剤および粉末活性炭 a, 粉末活性炭 b のレタスの根阻害率はそれぞれ 4.6%, 6.2%, 11.6%であり、活性炭の混和はアスパラガスのアレロパシーを軽減させた (表 3-5)。特に活性炭フロアブル剤を混和すると、レタスの幼根および胚軸の生育阻害が軽減されるのと同時に生育促進効果もみられ (胚軸長のデータ省略), アレロパシーの軽減効果は安定していた。

ところで組織培養では、フェノール性物質を選択的に吸着させることにより培養苗の生育を促進させるため、Polyvinylpyrrolidone を添加する手法がとられる (Loomis・Battaile, 1966; Shepard・Totten, 1975)。アスパラガスでは根圏土壤中ないし根の分泌物から、アレロパシー物質としてフェノール性物質である 3,4-dihydroxy benzoic acid, 2,6-dihydroxy benzoic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4-dimethoxy acetophenone, β -(m-hydroxy phenyl) propionic acid, Caffeic acid が単離・同定されていることから (Miller *et al.*, 1991; Young, 1986), 本研究では Polyvinylpyrrolidone をこれらフェノール性物質の吸着資材として試験に加えた。しかし、Polyvinylpyrrolidone を添加した区のレタスの根阻害率は 95.3%であり、レタスの幼根および胚軸の生育阻害は軽減されなかった。アスパラガスのアレロパシー物質として報告されたフェノール性物質は、レタスやトマトなどを検定植物として用いたバイオアッセイの検討だけに留まっており (Hartung *et al.*, 1990; メリアサンディアウタミら, 2005; Miller *et al.*, 1991; Young, 1986), その量および持続性は圃場レベルで十分な検討がなされていない。植物が栽培されている土壤中からアレロパシー物質を抽出しようとする試みはあまり成功しておらず、これまでに報告されている例では脂肪酸関連物質とフェノール性物質がほとんどであるが、これらは土壤中で安定な物質であることが多い (藤井, 1994, 2000)。しかし、土壤中の存在量は植物の生育に影響を与えるには低すぎることから、フェノール性物質のアレロパシーへの寄与は少ないとされる (藤井, 1994)。そのため、Miller ら (1991) や Young (1986) の報告しているフェノール性物質が沖積土壌で問題になっているアスパラガスのアレロパシーの直接の原因物質かどうかは明確でなく、報告されているアスパラガスのアレロパシー物質を圃場レベルで再検討する必要があると考えられる。

また、活性炭フロアブル剤を混和する時期の影響について検討したところ、オートクレ

ープの前でも後でも、レタスの幼根および胚軸の生育阻害が軽減され（レタスの根阻害率はそれぞれ-4.2%、-4.4%）、活性炭フロアブル剤は熱に対してきわめて安定した構造であると考えられた。アスパラガスのアレロパシー物質は水溶性で熱に対して安定しているという報告（Hazebroek *et al.*, 1989; 上杉ら, 1997; Yang, 1982）があり、本研究の結果から、アスパラガスのアレロパシー物質の吸着資材として活性炭フロアブル剤の有効性が確認できた。

さらにアスパラガスの茎葉黄化期でも、活性炭フロアブル剤を混和することによりレタスの幼根および胚軸の生育阻害を軽減した（レタスの根阻害率は-10.4%）。そのため、活性炭フロアブル剤はアスパラガスの茎葉緑色時から茎葉黄化期まで、アスパラガスのアレロパシー物質の吸着資材として有効であると考えられた。また、暗黒条件下での試験結果でも、活性炭フロアブル剤を混和することにより、レタスの根阻害率は 89.8%から 4.4%まで回復し、レタスの生育阻害が軽減された。

プラントボックス法の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）を実験室レベルで評価することができた。

表 3-4 プラントボックス法によるアレロパシー評価に用いた活性炭フロアブル剤および粉末活性炭

資 材 ²	種類	原料	メチレンブルー	pH	乾燥	
			吸着性能 (mL/g)		減量 (%)	篩い残分 (%) (200 mesh以下)
活性炭フロアブル剤	フロアブル	ヤシ殻	300	6.8	-	-
粉末活性炭 a	粉末	ヤシ殻	190	9.9	47.0	90
粉末活性炭 b	粉末	木質	180	10.2	49.2	90

² 賦活は活性炭フロアブル剤、粉末活性炭とも水蒸気による

表面積は、活性炭フロアブル剤が 1,300 m²/g, 粉末活性炭 a が 1,100 m²/g 以上

活性炭フロアブル剤のヨウ素吸着性能は 1,550 mg/g

粉末活性炭の分析法は日本工業規格（日本規格協会発行, JIS K-1474, 1991）に準拠した



図 3-4 プラントボックス法を利用したアスパラガスのアレロパシー物質の吸着試験
(左：活性炭フロアブル剤，中：対照区，右：無処理区)

表 3-5 プラントボックス法による活性炭フロアブル剤と粉末活性炭のアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能の評価

供試資材	処理	レタス		アスパラガス	
		根阻害率 ^z (%)	胚軸阻害率 (%)	地下部乾物重 (mg)	草丈 (cm)
無処理	—	87.1*** ± 4.4 ^y	88.8 ± 3.1	590 ± 115	36.0 ± 1.2
活性炭フロアブル剤	—	-4.6 ± 10.5	-4.2 ± 10.4	583 ± 188	34.3 ± 1.8
粉末活性炭a	—	6.2 ± 31.5	-4.6 ± 21.6	667 ± 157	33.0 ± 3.8
粉末活性炭b	—	11.6 ± 23.4	2.2 ± 15.7	683 ± 90	29.3 ± 1.7
Polyvinilpyrrolidone K30	—	95.3***	95.8	920	34.0
活性炭フロアブル剤	滅菌前混和	-4.2 ± 10.5	-5.2 ± 9.4	583 ± 188	34.7 ± 3.3
活性炭フロアブル剤	滅菌後混和	-4.4	4.9	340	41.0
活性炭フロアブル剤	茎葉黄化期	-10.4	-4.3	440	20.0
活性炭フロアブル剤	単独	-34.1	-22.2	—	—
無処理区	暗黒	89.8*** ± 5.3	88.6 ± 4.0	937 ± 107	33.0 ± 1.7
活性炭フロアブル剤	暗黒	4.4 ± 3.3	4.2 ± 2.2	670 ± 29	30.7 ± 0.3

^z阻害の尺度は藤井(2003)に準じ、それぞれの対照区に対する生育阻害率を示し、*** 85%以上の阻害、** 70~84%の阻害、* 55~69%の阻害とした

^y±は標準誤差(n=3)を表す

第2節. 改良プラントボックス法による粒状活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力

前節の結果, アスパラガスのアレロパシー物質の関与を評価するために, プラントボックス法を用いて評価し, アスパラガスの根から分泌される物質に強いアレロパシー活性があることを明らかにした. また, プラントボックス法の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより, アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術(元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a)を実験室レベルで評価することができた.

本節では, アスパラガスのアレロパシー活性と吸着資材の評価を同時にできる評価法(以下, 改良プラントボックス法)を開発し, アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる資材を検討した. 本手法は検定する植物と影響を受ける植物との間に仕切りを作り, そこにアレロパシー物質を吸着する被検資材の層を設け, 被検資材のアレロパシー物質吸着性能を評価するものである(図 3-5). さらに本手法により, アスパラガスの生産現場で普及している粒状活性炭を利用したアレロパシー回避技術(元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2006e)を, 実験室レベルで評価した.

材料および方法

改良プラントボックスには, アクリル製の透明容器(40 × 160 × 100 mm, 容積 600 mL, 試験水量 400 mL)を用い, 被検資材の層を作るためのセルロース透析膜を張った枠(40 × 10 × 100 mm, 枠内は 28 × 10 × 90 mm)に被検資材を充填し, 枠により仕切られた部分(40 × 30 × 100 mm)に, 前節と同様に栽培した播種後 85 ~ 115 日のアスパラガスを入れた. 供試資材としては, 材料, 粒度および pH 値が異なる粒状活性炭として, 粒状活性炭 a (枠内重量 13.9 g, pH 6.8), 粒状活性炭 b (同 17.3 g, pH 10.2), 粒状活性炭 c (18.1 g, pH 6.5) および粒状活性炭 d (19.1 g, pH 7.0) (以上, 味の素ファインテクノ社製)と粒状活性炭 e (15.1 g, pH 7.3, 武田薬品工業社製), 炭化物資材として, ヤシ殻炭(20.3 g)と木質炭(8.0 g) (以上, 味の素ファインテクノ社製), さらにガラスビーズ(GSB-03, 59.2 g, 日本理化学器械社製)の 8 種類を用い(表 3-6), そのほかにアスパラガスを植えて枠内に被検資材を入れない無処理区と寒天のみの対照区を設けた. そして, 被検資材を挟んで, アスパラガスの反対側にはレタスを穿刺播種し, 対照区に対するレタ

スの生育阻害率を調査することにより被検資材のアレロパシー物質吸着性能を評価した。改良プラントボックス内に播種したレタスの種子数は 52 粒（うちアスパラガスを入れた部分には 4 粒）とした。その他については前節第 1 項のプラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）に準じた。

結果および考察

無処理区のレタス幼根の伸長は、プラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）と同様、アスパラガスの根からの距離が近いほど阻害された（図 3-5）。枠にガラスビーズを入れた場合では、レタスの根阻害率は 78.2%であり、無処理区と同様の傾向であった（表 3-7）。この結果から、アスパラガスのアレロパシー物質は寒天ゲル中を拡散する際に、ガラスビーズの影響を受けにくいと考えられた。これに対して、枠に粒状活性炭を充填した場合は、粒状活性炭 b を除き、いずれもアスパラガスのアレロパシーを軽減し、対照区に対するレタスの根阻害率は、軽減の大きい順に、粒状活性炭 a（11.2%）、粒状活性炭 e（12.4%）、粒状活性炭 c（18.5%）、粒状活性炭 d（34.3%）であった（表 3-5）。粒状活性炭 b の吸着性能が劣ったのは、製品の pH 値が高いためと考えられ、粒状活性炭 b を塩酸（35% HCl）およびリン酸（75% H_3PO_4 ）でそれぞれ pH 7.0 および pH 6.8 に中和して吸着性能を検討した結果、吸着性能は回復した（表 3-7）（元木・藤井, 2002）。活性炭は液相吸着の平衡吸着量を高めるため、pH 値の調整、塩類の添加、強酸や強塩基の添加などが行われ、さらに溶剤の変更、キレート剤の添加などが行われることがある（柳井, 2001）。本研究でも、活性炭の pH 値を調整することによりアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が高まったと考えられる。また、炭化物資材のレタスの根阻害率はヤシ殻炭が 40.4%、木質炭が 43.3%であり、粒状活性炭に比べてアレロパシーの軽減はやや劣ったが、これら炭化物資材も無処理区に比べるとアレロパシーが軽減された。これらの結果から、アスパラガスの根からのアレロパシーは、粒状活性炭および炭化物に吸着される物質により引き起こされると考えられた。したがって、特にレタスの根阻害率が低かった粒状活性炭 a などの活性炭の利用により、アスパラガスのアレロパシーが回避できると考えられた。

改良プラントボックス法によりアレロパシーによる生育阻害とアレロパシー物質の吸着資材の評価を同時に行うことが可能になり、アレロパシー物質の吸着資材を用いたアレロ

パシー回避技術（元木，2003b，2006b；元木ら，2006e）を，実験室でレベルで評価することができた。

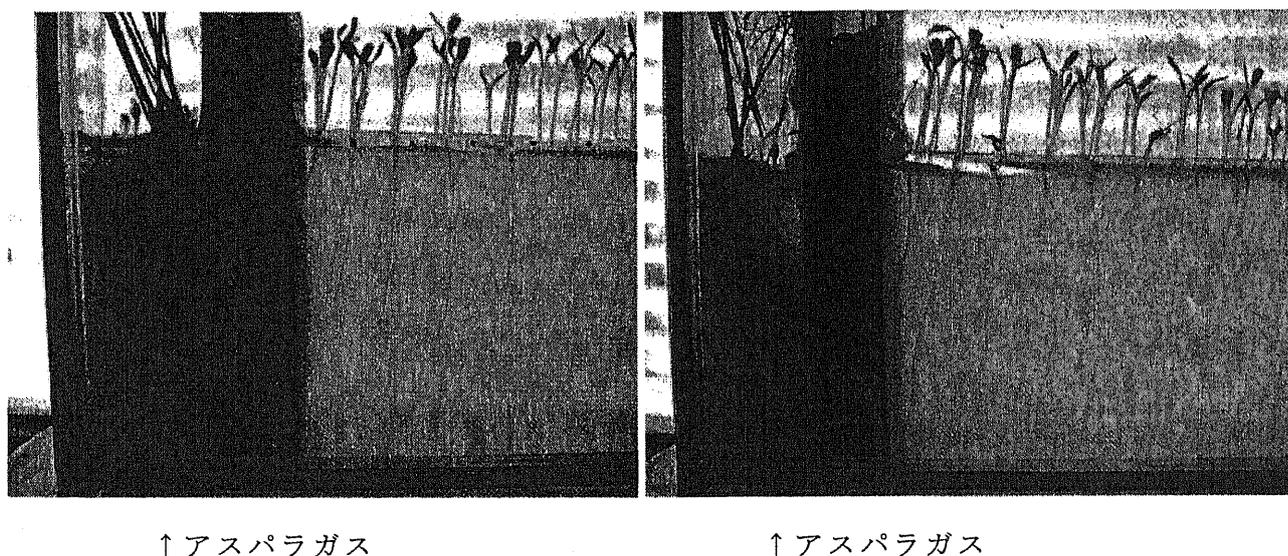


図 3-5 改良プラントボックス法を利用したアスパラガスのアレロパシー物質の吸着試験
（左：ガラスビーズ，右：粒状活性炭）
左はレタス幼根の伸長阻害がみられる

表 3-6 改良プラントボックス法によるアレロパシー評価に用いた粒状活性炭および炭化物

資 材 ²	枠内 重量 (g)	充填 原料	充填 密度 (g/mL)	吸着性能		pH	乾燥 減量 (%)	粒度 (%)
				メチレンブルー (mL/g)	ヨウ素 (mg/g)			
粒状活性炭a	13.9	ヤシ殻	0.52	190	1150	6.8	10.7	53.2 (42~80 mesh)
粒状活性炭b	17.3	ヤシ殻	0.50	210	1180	10.2	2.0	98.7 (2.36~0.50 mm)
粒状活性炭c	18.1	ヤシ殻	0.25	180	1100	6.5	65.0	- (10~32 mesh)
粒状活性炭d	19.1	石炭	0.47	180	960	7.0	-	99.0 (2.36~0.50 mm)
粒状活性炭e	15.1	ヤシ殻	0.45	-	-	7.3	-	- (4~6 mesh)
ヤシ殻炭	20.3	ヤシ殻	-	50~200	10以下	-	-	-
木質炭	8.0	木質	-	50~200	10以下	-	-	-

² 表面積は，粒状活性炭が 1,100 m²/g 以上，ヤシ殻炭および木質炭が 250 ~ 400 m²/g

味の素ファインテクノ社製の粒状活性炭はいずれも水蒸気賦活であり，分析法は日本工業規格（日本規格協会発行，JIS K-1474，1991）に準拠した

表 3-7 改良プラントボックス法による活性炭のアスパラガスの
アレロパシー物質吸着性能の評価

供試資材	レタス		アスパラガス	
	根障害率 ^z (%)	胚軸障害率 (%)	地下部乾物重 (mg)	草丈 (cm)
無処理	91.1***± 0.1 ^y	89.6 ± 3.2	1025± 95	38.0± 0.0
ガラスビーズ	78.2**	86.1	940	31.0
粒状活性炭a	11.2 ± 0.2	19.0 ± 0.5	1185±228	37.0± 1.0
粒状活性炭b	99.3***	95.7	890	34.0
粒状活性炭c	18.5 ± 5.6	17.9 ± 4.6	977±158	34.3± 0.9
粒状活性炭d	34.3 ± 4.4	34.9 ± 2.1	670± 23	32.0± 3.1
粒状活性炭e	12.4 ± 0.6	15.5 ± 1.3	660±145	37.0± 2.5
ヤシ殻炭	40.4 ± 3.1	40.9 ± 1.8	888±101	35.3± 6.3
木質炭	43.3 ± 6.4	42.0 ± 4.0	768±297	34.7± 0.3
活性炭b: 塩酸中和	11.4 ± 0.3	17.3 ± 0.9	727± 26	37.0± 1.8
活性炭b: リン酸中和	30.7 ± 7.3	26.4 ± 3.4	1045± 61	33.3± 2.0

^z障害の尺度は藤井(2003)に準じ、それぞれの対照区に対する生育障害率を示し、*** 85%以上の障害, ** 70~84%の障害, * 55~69%の障害とした

^y±は標準誤差(n=3)を表す

第 3 節． サンドイッチ法によるアレロパシー物質の評価

第 1 項． 生育ステージとアレロパシー活性の評価

サンドイッチ法は、アレロパシーの作用経路のなかでも、特に茎葉や残さからの溶脱を特異的に検出する手法である（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）． 落葉を寒天培地にサンドイッチ状に包埋し、その上でレタスなどの検定植物を栽培することによって、通常は下方向に溶脱される物質を上方向に移動させ、そこに栽培した検定植物の生育に及ぼす影響を調べることにより、アレロパシーを特異的に検出しようとするものである（図 3-6）． 本節では、サンドイッチ法を用いてアスパラガスの地上部および地下部のアレロパシー活性を評価した．

材料および方法

供試材料は、第 1 節および第 2 節でプラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）および改良プラントボックス法（元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e）によるアスパラガスのアレロパシー物質の評価に用いたアスパラガスの‘UC157F₁’を使用した． それぞれの試験で乾物重を測定した後に乾燥させたアスパラガスの地上部（茎葉）と地下部（貯蔵根および地下茎）を、それぞれ 50 mg/10cm²/10mL, 10 mg/10cm²/10mL 秤量した． サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）に準じて、オートクレーブした寒天を 6 穴の組織培養用マルチディッシュ（ヌンク社製）に 5 mL 添加して固化させ、その上にそれぞれの材料を設置した． さらにその上に、5 mL の寒天を加えて地上部および地下部をサンドイッチ状に重層包埋した（このため、本手法はサンドイッチ法と称される）． 対照として、寒天のみ 10 mL（5 mL + 5 mL）の区を設けた． そして、アレロパシー活性の有無の検定に一般的に用いられているレタスの‘Great Lakes 366’を播種し、マルチディッシュにフタをして周辺をセロハンテープで密封し、インキュベータ（FLI-301NH, 25 °C, 暗所, EYELA 社製）に 3 日間置き、レタスの幼根長と胚軸長を測定した． また第 1 節と同様、アスパラガスの生育ステージや部位による影響を調べるため、茎葉黄化期の地上部と地下部でも同様の手法で検討した． 試験区は 1 区 5 個体の 3 区制とした．

結果および考察

サンドイッチ法では、アスパラガスの地下部、地上部ともレタスの幼根および胚軸の伸長を阻害した。幼根は胚軸に比べて伸長阻害が強く、さらにアスパラガスの地下部は地上部に比べて伸長阻害が強かった。レタスの幼根伸長率は、包埋量が 50 mg/10cm²/10mL, 10 mg/10cm²/10mL の順に、地下部が 4.9%, 10.2%, 地上部が 8.7%, 24.4%であり、アレロパシー活性がいずれも強かった(表 3-6)。藤井(1994, 2000)は、サンドイッチ法を用いて約 200 種の植物の落葉のアレロパシー活性を評価し、ブナ科などの落葉広葉樹のアレロパシー活性は弱く、針葉樹(ヒマラヤシーダー, セコイア)や熱帯性マメ科植物(デイコ, ギンネム, ハッシュウマメ), 熱帯性植物(マンゴー, アブラギリ, ゴムノキ, ムクゲ, コーラ, コーヒーノキ, インドボダイジュ, オンブ, ベニノキ)のアレロパシー活性が強かったと報告した。このうち、プラントボックス法(藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992)でも、アレロパシー活性が最も強い作物とされたハッシュウマメ(*Mucuna pruriens* var. *utilis*)のレタスの幼根および胚軸の伸長率は、それぞれ 28%, 86%と報告していることから(藤井, 1994), プラントボックス法の結果(元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e)と同様、アスパラガスはサンドイッチ法でもアレロパシー活性が強い作物に分類された。なお、アスパラガスの茎葉黄化期の地下部と地上部は、茎葉緑色時と比べてレタスの幼根伸長率はやや高く、アレロパシー活性はやや弱かった(表 3-8)。ところで、本研究のサンドイッチ法の包埋量は、50 mg/10cm²/10mL および 10 mg/10cm²/10mL がそれぞれ 5 t/ha および 1 t/ha に相当する。アスパラガス 10 年株の茎葉乾物重は 271 kg/10a (乾物率 27.3%) 程度であり(元木, 未発表), ワグネルポットに茎葉粉末を添加した第 2 章第 4 節の結果では 1,000 kg/10a および 500 kg/10a の茎葉添加量までは圃場へすき込むことが、アスパラガスの生育阻害や減収の大きな原因にはならなかった。また、アスパラガスの栽培面積と同量または倍量の茎葉を、同じ栽培圃場へすき込んでも減収しなかったという報告(元木ら, 2000)もあるが、本研究の結果から茎葉でもアレロパシー活性が確認されたことから、茎葉のすき込み量が極端に多くなるとアレロパシー物質が蓄積され、作物の生育に影響する可能性が考えられる。

なお、本研究の包埋量は、実際に蓄積する落葉の量から推定した。藤井(1994)は、落葉広葉樹の落葉の量は樹種によらずほぼ一定であり、1 ha 当たり年間ほぼ 3 t であることから、包埋量を 50 mg/10cm²/10mL とするのが適当であると報告しており、本研究でも既

報（藤井，1994，2000；Fujii *et al.*，2004）を参考に，50 mg/10cm²/10mL および 10 mg/10cm²/10mL でアレロパシー活性を調べた．駒井ら（2006）も，アスパラガスのサンドイッチ法ではマルチディッシュに投入する茎葉（擬葉）量は 30 mg/10cm²/10mL が適すると報告していることから，本研究のサンドイッチ法に用いたアスパラガスの茎葉の包埋量は適量であったと考えられた．なお，アスパラガス改植時の圃場には 1 ha 当たり 60 ～ 100 t 程度の地下部が残されていることから（上杉ら，1997），本研究のアスパラガスの地下部の包埋量は，1 ～ 2 オーダー少ない量であったと考えられるが，この包埋量でもアスパラガスの地下部のアレロパシー活性はきわめて強く，サンドイッチ法によるアスパラガスのアレロパシー物質の評価には十分な量であった．

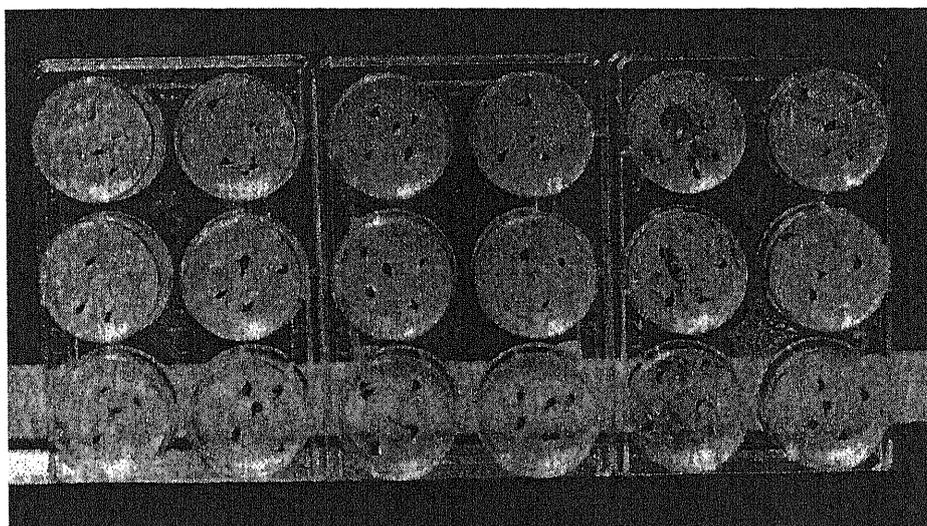


図 3-6 サンドイッチ法によるアスパラガスのアレロパシー活性の評価

1列3穴ごと，左から地下部 50 mg/10cm²/10mL, 10 mg/10cm²/10mL,
対照，対照，地上部 50 mg/10cm²/10mL, 10 mg/10cm²/10mL

表 3-8 サンドイッチ法によるアスパラガスのアレロパシー物質の評価

処理(生育ステージ)	包埋量 (/10 cm ² /10 mL)	レタス		レタス		
		幼根 伸長率 (%)	胚軸 伸長率 (%)	包埋量 (/10 cm ² /10 mL)	幼根 伸長率 (%)	胚軸 伸長率 (%)
地下部 (茎葉緑色時)	50 mg	<u>4.9[*]</u>	<u>72.7</u>	10 mg	<u>10.2</u>	<u>73.9</u>
地上部 (茎葉緑色時)	50 mg	<u>8.7</u>	<u>50.0</u>	10 mg	<u>24.4</u>	<u>78.3</u>
地下部 (茎葉黄化期)	50 mg	<u>18.9</u>	<u>39.7</u>	10 mg	<u>29.6</u>	<u>55.9</u>
地上部 (茎葉黄化期)	50 mg	<u>38.0</u>	<u>46.4</u>	10 mg	52.7	<u>71.2</u>

^{*}表中の数字は，対照区（寒天のみ）に対する%

下線を引いた基準は藤井（1994）に準じ，幼根では40%，胚軸では88%とした

第2項. 活性炭のアレロパシー物質吸着性能の能力

前項の結果、プラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）と同様、サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）でもアスパラガスのアレロパシー活性を評価できた。本項では、第1節第3項と同様、活性炭フロアブル剤を寒天に混和することにより、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）を実験室レベルで評価する方法を検討した。

材料および方法

前項と同様のアスパラガスの地下部の包埋量 50 mg/10cm²/10mL を用いた。アスパラガス改植時のセルトレイ浸漬処理（元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2002a）に準じて、活性炭フロアブル剤の25倍希釈液（40 mL/L）をオートクレイブ後の寒天に混和し、前項のサンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）に準じて、播種3日後のレタスの幼根長と胚軸長を測定した。アスパラガスの地下部を包埋して活性炭フロアブル剤を混和しない無処理区と寒天のみの対照区を設けた。試験区はいずれも1区5個体の3区制とした。

結果および考察

無処理区ではアスパラガスはアレロパシー活性が強く、レタスの幼根および胚軸の伸長率はそれぞれ4.9%、72.7%であったが、活性炭フロアブル剤を混和することにより、それぞれ49.1%、91.5%となり、レタスの幼根および胚軸の生育阻害が軽減された（表3-9）。

サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）と同様の結果が得られたことから、プラントボックス法の結果（元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e）と同様、アスパラガスのアレロパシー回避技術を実験室レベルで評価することができた。

表 3-9 サンドイッチ法による活性炭フロアブル剤のアスパラガスの
アレロパシー物質吸着性能の評価

処理	包埋量 (/10 cm ² /10 mL)	レタス	
		幼 根 伸長率 (%)	胚 軸 伸長率 (%)
地下部	50 mg	<u>4.9²</u>	<u>72.7</u>
地下部 + 活性炭フロアブル剤	50 mg	49.1	91.5
活性炭フロアブル剤 (単独)	—	112.2	125.5

²表中の数字は、対照区（寒天のみ）に対する%

下線を引いた基準は藤井（1994）に準じ、幼根では40%、胚軸では88%とした

第3項. 活性炭フロアブル剤と墨汁のアレロパシー物質吸着性能の能力

前項では、サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）と同様の結果が得られた。本項では、その結果が黒色分散液の効果であるかどうかを確認するため、黒色分散液である活性炭フロアブル剤と墨汁を用い、サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）を利用してアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能を評価した。

材料および方法

第1項と同様のアスパラガスの地下部の包埋量 50 mg/10cm²/10mL を用いた。黒色分散液である活性炭フロアブル剤の 25 倍希釈液（40 mL/L）と墨汁の 25 倍希釈液（40 mL/L, 全国書道教育連合基準品, カイメイ社製）を、前項と同様、オートクレーブ後の寒天に混和して、第1項のサンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）に準じて、播種3日後のレタスの幼根長と胚軸長を測定した。アスパラガスの地下部を包埋して活性炭フロアブル剤を混和しない無処理区と寒天のみの対照区を設けた。試験区はいずれも1区5個体の3区制とした。

結果および考察

無処理区ではアスパラガスのアレロパシー活性が強く、レタスの幼根および胚軸の伸長率はそれぞれ 4.5%, 70.8%であったが、活性炭フロアブル剤を混和することにより、レタスの幼根伸長率は 73.7%となり、レタスの幼根の生育阻害が軽減され、レタスの胚軸では 121.1%と対照区より生育が優れた（表 3-9）。一方、墨汁を混和してもアスパラガスのアレロパシー活性は強いままで、レタスの幼根および胚軸の伸長率はそれぞれ 3.8%, 70.0%であった。また、アスパラガスの地下部を加えずに、対照区に活性炭フロアブル剤を混和すると、寒天のみの対照区に比べてレタスの幼根および胚軸の生育が促進された（それぞれ 112.7%, 180.0%）が、墨汁ではレタスの幼根、胚軸とも軽い生育阻害（それぞれ 84.2%,

75.9%) がみられた (表 3-10)。

黒色分散液の 2 資材を用い、サンドイッチ法を利用してアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能を評価した結果、活性炭フロアブル剤を混和するとレタスの幼根および胚軸の伸長阻害は軽減されたが、墨汁を混和してもレタスの生育阻害は軽減されなかったことから、レタスの生育阻害の軽減は黒色分散液によるものではなく、活性炭フロアブル剤に特有のアスパラガスのアレロパシー物質の吸着によるものであると考えられた。

表 3-10 サンドイッチ法による活性炭フロアブル剤と墨汁のアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能の評価

処理	包埋量 (/10 cm ² /10 mL)	資材名	レタス	
			幼 根 伸長率 (%)	胚 軸 伸長率 (%)
地下部	50 mg	無処理	<u>4.5</u> ²	<u>70.8</u>
地下部	50 mg	活性炭フロアブル剤	73.3	121.1
地下部	50 mg	墨汁	<u>3.8</u>	<u>70.0</u>
—	—	活性炭フロアブル剤	112.7	180.0
—	—	墨汁	84.2	<u>75.9</u>

²表中の数字は、対照区（寒天のみ）に対する%

下線を引いた基準は藤井（1994）に準じ、幼根では 40%，胚軸では 88%とした

第4節．新規に開発した手法を利用した根圏土壌のアレロパシー活性測定法

第1項．土壌供試量の検討

アスパラガスの根から放出されるアレロパシー物質による生育障害への関与を検定する場合，一般的には貯蔵根付着部の土壌を刷毛で拭き落とし，根圏土壌を採土してバイオアッセイを行うが（以下，従来法）（林ら，1996；元木ら，2006d），採土には多量の貯蔵根と作業時間を要する．そこで，少量の根圏土壌でもバイオアッセイ可能な新たなアレロパシー活性測定法（以下，根圏土壌アッセイ法）（元木ら，2006d）の開発を試み，従来法と比較した．

材料および方法

供試土壌は，長野県野菜花き試験場でアスパラガスを10年間にわたって栽培した圃場（標高346 m，沖積埴壌土，腐植含量3.1%）のうね上の土壌（深さ5～10 cm），貯蔵根付着部の土壌を刷毛で拭き落とした土壌（以下，根圏土壌），通路部分の土壌（深さ5～10 cm）および対照土壌として過去にアスパラガスを全く作付けしていない隣接圃場の畑作土壌（以下，輪作土壌，土壌採取年の2001年は葉菜類とネギ類を作付けた）（深さ5～10 cm）から2001年9月13日に採取し，いずれも60℃の恒温器（DK600，ヤマト化学社製）で30～60分通風乾燥させた．その後，各土壌の根毛などを除去するために1 mmメッシュの篩（野中社製）で分級した．根圏土壌アッセイ法は，試験土壌をそれぞれ1.5 g，3 g，5 gずつ秤量し，サンドイッチ法（藤井，1994，2000；Fujii *et al.*，2004）に準じて，オートクレーブした寒天を6穴の組織培養用マルチディッシュ（ヌンク社製）に5 mL添加して固化させ，その上にそれぞれの試験土壌を充填した．さらにその上に，寒天をそれぞれ4.1 mL，3.2 mL，2 mL添加して，土壌をサンドイッチ状に重層包埋した（本手法を根圏土壌アッセイ法の三層法，以下，三層法と称する）（図3-7，3-9）．対照として，寒天のみ10 mL（5 mL + 5 mL）の区を設けた．そして，アレロパシー活性の有無の検定に一般的に用いられているレタスの‘Great Lakes 366’を播種し，マルチディッシュにフタをして周辺をセロハンテープで密封し，人工気象器（FLI-301NH，25℃，暗所，EYELA社製）に3日間置き，レタスの幼根長と胚軸長を測定した．一方，従来法（林ら，1996；元木ら，2006d）（図3-7）は，それぞれの試験土壌を25 mL試験管（日電理化学硝子社製）に

20 g 入れ、蒸留水を加えて水分を 20% に調整後、レタスを催芽させて移植した。移植後 5 mm 覆土し、人工気象器（25 ℃、明所）で 3 日間培養後、幼根長と胚軸長を測定した。試験区は根圏土壌アッセイ法の三層法が 1 区 5 個体の 3 区制、従来法が 1 区 4 個体の 3 区制とした。

結果および考察

根圏土壌アッセイ法の三層法において、アスパラガス 10 年株の根圏土壌を供試した区では、従来法（林ら，1996；元木ら，2006d）と同様、ほかの供試土壌区に比べてレタスの幼根に強い生育阻害が認められ、輪作土壌区に対する根圏土壌区のレタスの幼根伸長率は、供試した土壌量が 1.5 g，3 g，5 g の順にそれぞれ 53.1%，30.2%，67.2%（従来法では 19.4%）であった（図 3-8）。輪作土壌区のレタスの幼根長は 20～32 mm 程度であったが、根圏土壌区では土壌供試量が 1.5 g，3 g，5 g の順にそれぞれ平均 15.8 mm，9.7 mm，13.6 mm しか伸長せず、アスパラガスの根からはレタス幼根の伸長を阻害する物質が滲出し、根圏土壌に蓄積されていると考えられた。三層法において、土壌供試量の多い 5 g 区のレタス幼根の伸長が 3 g 区に比べて長かったのは、レタスの根が寒天内の土壌に進入せず、寒天と土壌上部との境界面を伸長したためであった。また、根圏土壌区のレタス胚軸にもやや強い生育阻害が認められたが、生育阻害は胚軸よりも幼根に対して強く現れる傾向にあった（図 3-8）。三層法を数回検討した結果、土壌供試量の少ない 1.5 g 区では雑菌が混入しやすい傾向があり（データ省略）、反対に土壌供試量の多い 5 g 区では、上記のように、レタスの根が寒天内の土壌に進入せず、寒天と土壌上部との境界面を伸長し、正確な測定ができなかったことから、三層法における土壌供試量は 3 g 程度が適当であると考えられた。

根圏土壌アッセイ法は、根から根圏土壌中に放出される物質による作用を検定する方法で、少ない土壌供試量でも従来法と同様の傾向を示し、植物の根から滲出するアレロパシー活性の評価法として用いることができる。しかし、微生物による影響や土壌養分、土壌物理性が影響する可能性があり、供試土壌の選択に十分注意が必要である。

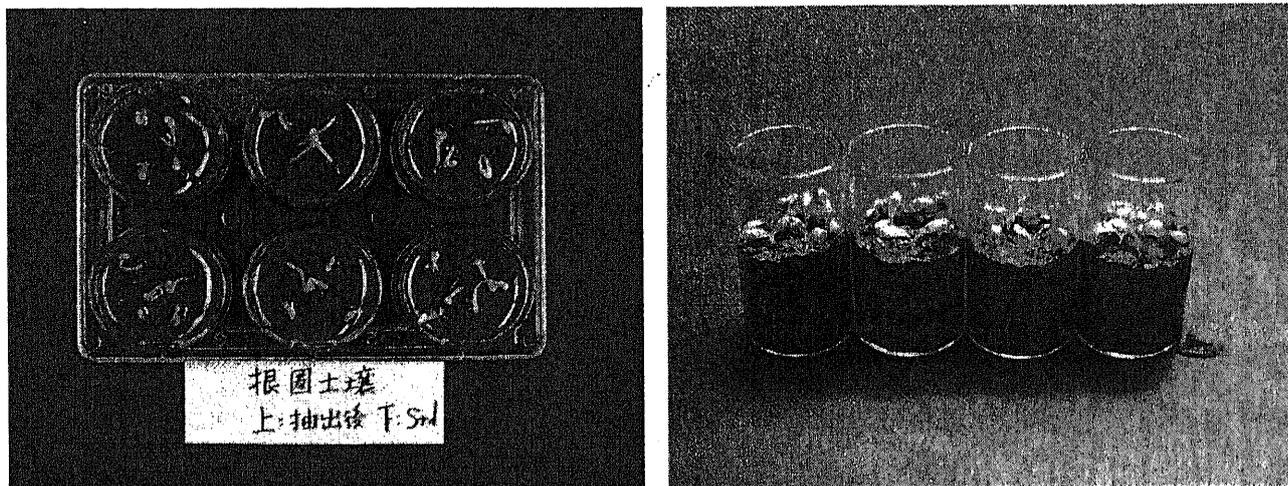


図 3-7 根圏土壌アッセイ法の三層法（左）と従来法（右）

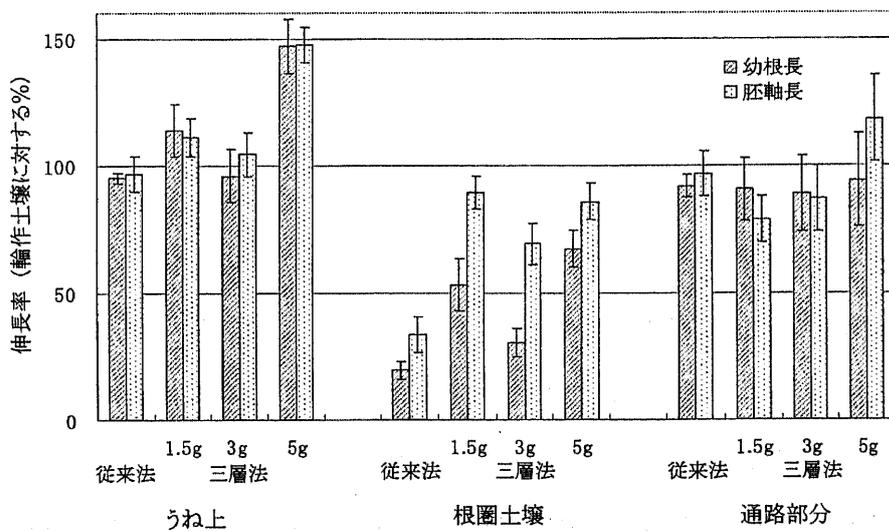


図 3-8 供試土壌の採取位置および供試量が輪作土壌区に対する
レタスの伸長率に与える影響

図中の縦線は標準誤差 (n=3) を表す

第2項. 根圏土壌の供試方法の検討

前項の結果、根圏土壌アッセイ法は、根から根圏土壌中に放出される物質による作用を検定する方法で、少ない土壌供試量でも従来法（林ら，1996；元木ら，2006d）と同様の傾向を示し、植物の根から滲出するアレロパシー活性の評価法として用いることができた。しかし、三層法では、土壌供試量が5 gと1.5 gでは正確な測定ができなかったことから、根圏土壌アッセイ法における根圏土壌の供試方法について、サンドイッチ法（藤井，1994，2000；Fujii *et al.*, 2004）に準じて寒天層の間に土壌を重層包埋する方法（三層法）と、土壌と寒天を混合して最初から流し込む方法（二層法）とでアレロパシー活性の検定精度を比較した。

材料および方法

前項の根圏土壌と輪作土壌を用い、試験土壌と寒天（5 mL）を混合して最初から流し込んで固まらせた後、その上にそれぞれの残りの寒天を加えて固化させる方法（以下、本手法を三層法に対して二層法と称する）と三層法とでアレロパシー活性を比較した（図3-9）。調査は、前項に準じて播種3日後のレタスの幼根長と胚軸長を測定した。試験区はいずれも1区5個体の3区制とした。

結果および考察

アスパラガスの根圏土壌3 gを供試した場合、二層法、三層法とも、輪作土壌に比べてレタスの幼根と胚軸に強い生育阻害が認められ、輪作土壌区に対する根圏土壌区のレタスの幼根伸長率は、二層法、三層法の順に34.3%と30.2%であった（図3-10）。一方、土壌供試量の多い5 g区ではそれぞれ6.1%と67.2%であり、輪作土壌区のレタスの幼根長は20 mm程度であったが、二層法ではレタスの幼根は平均1.0 mmしか伸長せず、三層法（11.4 mm）に比べて生育阻害が強かった。その原因は、寒天に混合した根圏土壌をマルチディッシュの下層部に固まらせて供試土壌上の寒天量を増やすことにより、前項でみられたレタスの根が寒天内の土壌に進入しない問題が改善されたためと考えられた。一方、土壌供試量の少ない1.5 g区ではそれぞれ108.4%と53.1%であり、三層法でレタスの幼根

に強い生育阻害が認められたのに対して、二層法では生育阻害が認められなかった。寒天中をムクナのアレロパシー物質である L-DOPA が移動する速度は、7 mm/day 程度とされている (Nishihara *et al.*, 2005)。このことから 1.5 g 区では 5 g 区および 3 g 区に比べて寒天の量が多いために寒天表面へのアレロパシー物質の到達時間が遅れたものと推察され、さらに寒天表面へ滲出するアレロパシー物質の量も少ないため、生育阻害が弱かったものと考えられる。

根圏土壌アッセイ法では二層法の 5 g 区がレタスの幼根の生育阻害が最も強く、3 g 区では二層法、三層法とも類似した結果が得られたが、さらに土壌供試量が少ない 1.5 g 区では三層法によるアレロパシー活性評価ができるものの、二層法では正確な測定ができなかった。

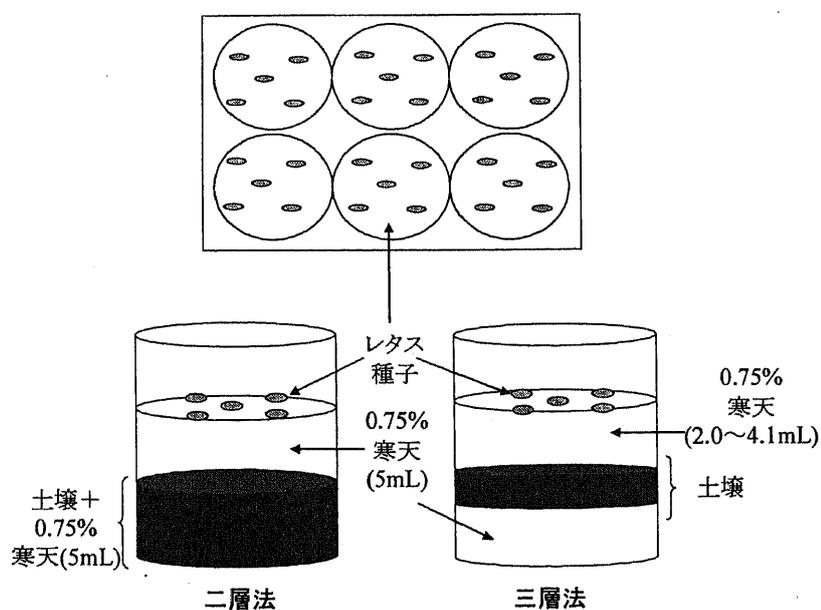


図 3-9 根圏土壌アッセイ法の二層法と三層法における土壌と寒天の混合方法の模式図

上図：6 穴のマルチディッシュ

下図：左：二層法，右：三層法

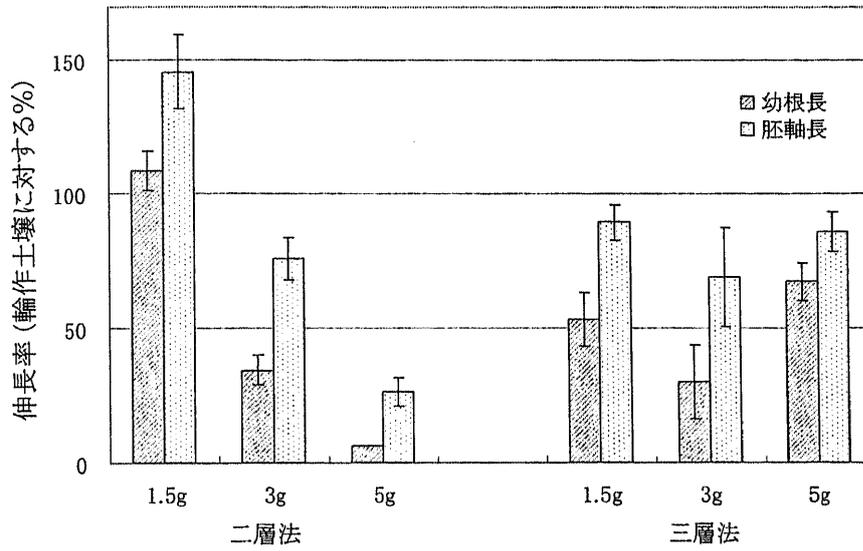


図 3-10 根圏土壌アッセイ法における根圏土壌の供試方法および供試量と
輪作土壌区に対するレタスの伸長率
図中の縦線は標準誤差 (n=3) を表す

第3項. 根圏土壌アッセイ法を利用した活性炭評価法の検討

本節で開発した根圏土壌アッセイ法を用いて、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭を利用したアレロパシー軽減技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c, 2006e; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）を実験室レベルで評価する方法を開発した。

材料および方法

アスパラガスのアレロパシー回避資材として長野県内で広く普及している活性炭フロアブル剤を第1項の根圏土壌に混和して、三層法による試験に供試し、レタスのアレロパシーによる生育阻害の回避程度の評価を試みた。アスパラガス改植時のセルトレイ浸漬処理（元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2002a）に準じて、活性炭フロアブル剤の25倍希釈液（40 mL/L）に供試土壌を浸漬し、土壌に十分にしみ込ませたあと第1項と同様に試験を行った。調査は、第1項に準じて播種3日後のレタスの幼根長と胚軸長を測定した。試験区はいずれも1区5個体の3区制とした。

結果および考察

アスパラガスの根圏土壌は、輪作土壌と比べてレタスの幼根と胚軸に強い生育阻害が認められ、輪作土壌区に対する根圏土壌区の伸長率はそれぞれ34.3%と75.8%であったが、活性炭フロアブル剤を混和することにより、レタスの幼根伸長率は95.8%となり、輪作土壌区と同程度の生育を示し、レタスの胚軸では134.5%と輪作土壌区より生育が優れた（図3-11）。根圏土壌アッセイ法により、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアスパラガスのアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）を実験室レベルで再現評価することが可能になり、活性炭の効率的な利用が図れるとともに、適切な作付けを指導できる可能性が示唆された。

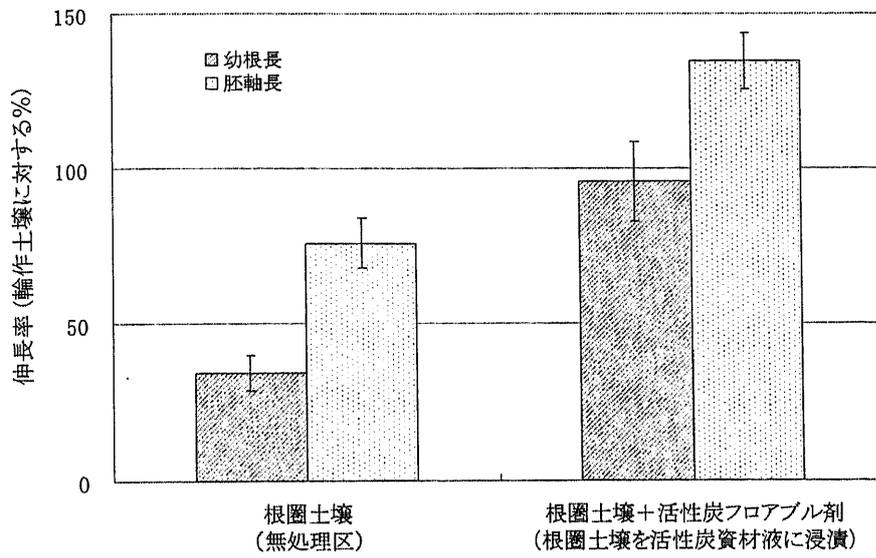


図 3-11 アスパラガスの根圏土壌によるレタス生育阻害の活性炭資材を利用したアレロパシー回避程度の評価 (土壌供試量: 3g)
 図中の縦線は標準誤差 (n=3) を表す

第 4 章 沖積土壌におけるアスパラガスのアレロパシー回避のための活性炭の利用

第 1 節 活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術

第 1 項 1 年養成株およびレタスによるバイオアッセイ

前章で、プラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）および改良プラントボックス法（元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e）を利用して、活性炭などの吸着資材のアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能を評価し、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭フロアブル剤と粒状活性炭 a および粉末活性炭 a を選抜した。本章では、これらの活性炭を利用して、アスパラガスの栽培圃場でアレロパシー回避技術を検討した。本項では、前章第 1 節のプラントボックス法でアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭フロアブル剤を利用して、アスパラガスの 1 年養成株および検定植物としてアレロパシーの有無の検定に一般的に用いられているキク科レタス（*Lactuca sativa* L.）を用いて、活性炭フロアブル剤の混合の影響を調べた。

材料および方法

(1) 1 年養成株によるバイオアッセイ

アスパラガスは、1998 年、1999 年、2000 年とも、3 月 17 日に 'UC157F₁'（日本名：ウェルカム）（Benson・Takatori, 1978）を 136 セルトレイ（育苗培養土はプリティールソイルゴールド N180）に播種して育苗し、6 月 25 日に 1/5000 a のワグネルポット（藤原製作所社製）に定植した。ワグネルポットは雨よけハウス内に肩部まで土中に埋めた。週 3 回程度かん水し、生育をみながら月 1 回株当たり N 換算で 2 g 程度追肥（N:P₂O₅:K₂O=10:10:10, 全国農業協同組合連合会長野県本部製）を行った。誘引など栽培管理はアスパラガスの当場の慣行（元木ら, 2004c）に準じた。吸収根を含む 'UC157F₁' の 5 年株の貯蔵根を 75 °C で 5 日間乾燥させた後、粉砕機で粉砕した粉末（以下、根粉末）を上杉らの手法（1997）を参考に人工育苗培養土（みまき培養土, 大塚産業社製）へ 1 ポット（育苗培養土 1,000 gDW）当たり 10 g（500 kg/10a に相当）を添加攪拌した。活性炭フロアブル剤は 1998 年、1999 年、2000 年とも、定植前日の 6 月 24 日に表 4-1 に示すそれぞれの希釈倍率液を 200 mL

散水処理し、24時間経過後の6月25日に定植した。無処理区として根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の区を、対照区として根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない同量の水道水を散水しただけの区を設けた。地上部の調査は、1998年11月24日、1999年10月26日および2000年12月5日に行い、地下部の調査は、1998年12月9日、1999年12月14日および2000年12月5日に行った。試験区は、1998年および1999年は1区10株、2000年は1区8株とした。

(2) レタスによるバイオアッセイ

藤井(1994)と土屋(1990)の報告を参考に、バイオアッセイの検定植物としてレタスの‘シナノサマー’(長野県原種センター)を用いた。1998年、1999年、2000年ともに、活性炭フロアブル剤を蒸留水に溶かして、25倍、50倍、100倍、200倍の希釈液を作成し、それぞれの希釈液に前項と同様のアスパラガスの乾燥貯蔵根の根粉末1gを加えた。無処理区として根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の区、対照区として蒸留水200mLのみの区、参考区として対照区に活性炭フロアブル剤の25倍希釈液を加えただけの区を設けた。Double Shaker R-30(106 min⁻¹, TAITEC社製)で1時間振とう後、40時間室温に放置し、3,000 rpmで15分間遠心分離させた上澄み液を抽出液とした。これらを、種子発芽試験法(藤下, 1981; 中村, 1977)を参考にろ紙(No.2, Whatman社製)2枚を敷いた直径9cmの滅菌シャーレに4mL分注した。それぞれの滅菌シャーレにレタス50粒を置床し、20℃の照明下(LPH200, 10,000 lx, 日本医化器械製作所社製)で5日間培養し、レタスの発芽率および幼根長を測定した。試験区は3カ年とも3区制で行った。

結果および考察

(1) 1年養成株によるバイオアッセイ

活性炭フロアブル剤を処理した区では、アスパラガスの根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の無処理区に比べて、茎重、貯蔵根数、地下部重などが同等か増加した(表4-2)。地下部重と貯蔵根Brixとの積で示される株養成量は翌年の収量予測に使われる指標であるが(元木, 2003b, 2006b; 上杉, 1998a)、活性炭フロアブル剤を処理した区のいずれも無処理区より大きく、水道水を散水しただけの対照区と比べても同等か優れた。活性炭フロアブル剤の最適濃度はあまりはっきりしなかったが、

活性炭フロアブル剤の施用によりアスパラガスのアレロパシー物質が活性炭フロアブル剤に吸着され、アスパラガスのアレロパシーが軽減されたと推察された。

(2) レタスによるバイオアッセイ

活性炭フロアブル剤を加えても検定植物であるレタスの発芽に影響を及ぼさなかった(表 4-3)。アスパラガスの乾燥貯蔵根の根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の無処理区では、蒸留水のみを対照区に比べてレタス幼根の伸長が阻害されたが、活性炭フロアブル剤を加えるとレタス幼根の伸長が回復し、幼根長は活性炭フロアブル剤が高濃度になるほど無処理区に比べて長くなった。活性炭フロアブル剤を加えた区のレタスの幼根長は、無処理区に比べて、1998年、1999年、2000年の順に、200倍希釈液ではそれぞれ254.9%、139.0%、183.7%、25倍希釈液ではそれぞれ817.6%、259.4%、423.9%であった。無処理区に活性炭フロアブル剤の25倍希釈液を加えた区では、対照区と同等の長さまでレタス幼根の伸長が回復し、根粉末を添加せず、活性炭フロアブル剤の25倍希釈液だけを加えた場合には、レタスの幼根長は対照区と同等かやや長くなった。前項のアスパラガスの1年養成株によるバイオアッセイと同様、レタスによるバイオアッセイでも、活性炭フロアブル剤を加えることによりアスパラガスのアレロパシー軽減効果がみられた。ところで、キク科のリーフレタス (*Lactuca sativa* L.) の‘晩抽性レッドファイヤー’ (タキイ種苗) では水耕栽培の培養液に活性炭を加えると、自家中毒が軽減されることが報告されていることから(浅尾ら, 2001c)、レタス自身もアレロパシー物質を滲出していると考えられる。本研究でも活性炭フロアブル剤だけを加えた場合にはレタスの伸長促進効果がみられ、浅尾らの報告と同様の結果が得られた。

アスパラガスの乾燥根抽出物のレタスによるバイオアッセイは過去に数例の報告(Hartung・Putnam, 1985; 土屋・大野, 1992; 上杉ら, 1997; 柳川, 1978)があり、いずれもレタス幼根の伸長を阻害した。本研究の結果から、アスパラガスの乾燥根抽出物に含まれるアレロパシー物質を活性炭フロアブル剤が吸着したと推察された。

表 4-1 アスパラガスの 1 年養成株によるバイオアッセイの試験区の構成

処 理		根粉末	散水量
(1998) ²			
無処理 ^y		10 g/ポット	200 mL/株
対照区 ^x		—	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	50倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	100倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
(1999)			
無処理		10 g/ポット	200 mL/株
対照区		—	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	25倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	50倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	100倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
(2000)			
無処理		10 g/ポット	200 mL/株
対照区		—	200 mL/株
活性炭フロアブル剤	25倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株

²栽培年

^y根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^x根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない

表 4-2 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの生育に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤処理	草丈 (cm)	最太		最太		貯蔵	地下	根数 (本)	部重 (g)	貯蔵根 [†] Brix(%)	株養 [‡] 成量
		茎数 (本)	茎径 (mm)	茎重 (g)	根長 (cm)	根径 (mm)					
(1998) [‡]											
無処理 [†]	105.0 NS [†]	10.4 NS	3.1 NS	55.2 NS	60.2 NS	3.7 ab	68.4 b	145.6 c	28.7 a	41.8	
対 照 [†]	100.0 NS	10.6 NS	3.4 NS	55.0 NS	55.8 NS	3.7 ab	64.2 b	172.2 ab	26.1 b	44.6	
50倍希釈散水	102.6 NS	12.8 NS	2.9 NS	59.8 NS	59.0 NS	3.9 a	84.8 a	180.0 a	28.7 a	51.6	
100倍希釈散水	101.4 NS	12.6 NS	3.1 NS	62.4 NS	60.8 NS	3.2 b	66.6 b	161.4 b	28.4 a	45.8	
(1999)											
無処理	69.9 b	7.0 NS	1.6 d	6.8 d	50.3 b	2.7 b	27.3 b	47.3 c	32.7 d	15.5	
対 照	72.5 ab	12.1 NS	2.0 c	9.6 cd	59.9 ab	2.9 b	40.6 a	88.9 b	32.9 cd	29.2	
25倍希釈散水	79.6 a	18.9 NS	2.6 a	19.9 a	60.1 ab	3.5 a	43.1 a	123.0 a	34.0 a	41.8	
50倍希釈散水	69.3 b	17.3 NS	2.1 bc	15.4 ab	70.1 a	3.4 a	44.6 a	109.6 a	33.2 bc	36.4	
100倍希釈散水	73.5 ab	15.4 NS	2.4 ab	13.0 bc	61.2 ab	3.3 a	47.3 a	108.8 a	33.4 b	36.3	
(2000)											
無処理	64.3 ab	13.9 NS	1.9 a	9.5 b	68.4 NS	3.1 NS	36.0 b	72.4 b	30.5 c	22.1	
対 照	55.9 b	17.8 NS	1.4 b	12.6 a	66.9 NS	3.0 NS	44.8 b	81.3 b	33.0 a	26.8	
25倍希釈散水	72.6 a	14.0 NS	2.0 a	14.3 a	66.7 NS	3.3 NS	57.4 a	120.0 a	32.0 b	38.4	

[‡] 栽培年

[†] 根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

[‡] 根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない

[†] 異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す (n=10)

[†] 屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5 ~ 10 cm の貯蔵根を測定

[‡] (地下部重×貯蔵根 Brix) /100

表 4-3 活性炭フロアブル剤がレタスの発芽率および幼根長に及ぼす影響

希釈倍率		25倍	50倍	100倍	200倍	無処理 [*]	対照 [*]	25倍
根粉末(g)	調査年 ^z	1	1	1	1	1	0	0
発芽率 (%)	1998	98	97	98	100	91	100	-
発芽率 (%)	1999	100	100	100	99	99	100	100
発芽率 (%)	2000	100	100	100	97	99	100	100
幼根長 (cm)	1998	4.17 a ^y	1.26 c	0.91 d	1.30 c	0.51 e	3.15 b	-
幼根長 (cm)	1999	4.98 a	4.21 ab	3.27 bc	2.67 cd	1.92 d	5.00 a	5.59 a
幼根長 (cm)	2000	3.90 b	3.92 b	2.48 c	1.69 cd	0.92 d	4.10 ab	5.24 a

^z1998年10月26日, 1999年3月1日, 2000年3月1日調査

^y異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり (n=150)

^{*}根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^w根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない

第2項. 7年株の改植圃場における施用効果

前項の結果、アスパラガスの1年養成株およびレタスによるバイオアッセイでは、活性炭フロアブル剤を加えることによってアスパラガスのアレロパシー軽減効果がみられた。そこで本項では、長野県野菜花き試験場のアスパラガスの露地長期どり栽培の7年株の改植圃場（標高346 m，沖積埴壤土，腐植含量3.1%）を利用して、圃場レベルで活性炭フロアブル剤の施用効果および施用量を検討した。

材料および方法

2000年6月14日にアスパラガス7年株の春どりを打ち切った後、根株すべてを乗用トラクターで圃場にすき込み、活性炭フロアブル剤の希釈液をそれぞれの濃度に調整して、ジョロで散水し、カルチで耕起後にマルチをした。改植のアスパラガスは、2000年3月17日に‘UC157Fi’を128セルトレイに播種して育苗した苗を用い、改植当日の2000年6月16日に改植前と同じ位置に定植した。施肥、誘引など栽培管理は当場の慣行（第2章第1節参照）（元木ら，2004c）に準じた。試験区は25，50，100倍希釈（原液でそれぞれ40，20，10 L/10a）の活性炭フロアブル剤を散水した3処理区と水だけを散水した無処理区を設け、いずれも定植位置に株当たり500 mLを散水した。試験区は1区10株（4.5 m²）の2区制とした。調査は、2000年12月4日に地上部の茎数，草丈，最太茎径および茎重，2001年12月13日の抜根後に地下部の貯蔵根数，地下部重および貯蔵根 Brix について行った。このうち，地上部の生育量を評価する指標である GI'（元木，2003b，2006b；上杉，1998a）は，地際から20 cm部分の茎断面積と有効草丈（群として茎葉容積の95%の高さ）との積を調査株数で割った値で示した。貯蔵根 Brix は，地下茎より5～10 cmの貯蔵根 Brix を屈折糖度計（ATAGO 社製）で計測した。株養成量は，（地下部重×貯蔵根 Brix）/100 で求めた。

結果および考察

活性炭フロアブル剤の処理区のアスパラガスの生育は，25～50倍希釈区で茎数，茎重，貯蔵根数，地下部重，株養成量，GI'が無処理区に比べて優れていた（表4-4）。

GIは生育指数とも呼ばれ、地上部の生育量を評価する指標であり（元木, 2003b, 2006b; 上杉, 1998a), 1年養成株の茎葉刈りとり時のGIと2年株の春どり, 2年株の合計収量, 3年株の合計収量, 2～3年株の合計収量との関係には1%水準の有意な相関が認められる（Motoki *et al.*, 2006b). 園田ら（2003）も, 1年養成株の生育指数から若年株（2～3年株）の収量を推定できるとしており, これら処理区では, 無処理区に比べて生育指数がいずれも優れていたことから, 翌春以降の増収が期待できると考えられた. しかしながら, 1年養成株によるバイオアッセイの結果（第4章第1節第1項）（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と同様, 希釈濃度による差が生育全体で認められないものの, 株養成量とGIの重要性を考慮すれば25倍希釈区が明らかに優れていた.

表 4-4 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの生育に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤処理	10 a 当	最太				貯蔵	地下		貯蔵根 ^z Brix(%)	株養 ^y 成量	GI ^v
	たり使 用量(L)	草丈 (cm)	茎数 (本)	茎径 (mm)	茎重 (g)	根数 (本)	部重 (g)				
無処理 ^x	—	103 b ^y	35 c	5.4 c	190 b	144 b	808 c	25.1 NS	204 c	1254	
25倍希釈	40	114 a	49 a	6.1 b	252 a	204 a	1473 a	22.0 NS	324 a	1536	
50倍希釈	20	106 b	44 b	6.8 a	240 a	156 b	1148 b	22.2 NS	255 b	1406	
100倍希釈	10	103 b	46 ab	5.2 c	188 b	161 b	827 c	24.0 NS	198 c	1495	

^x 活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^y 異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す (n=20)

^z 屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5～10 cm の貯蔵根を測定

^v (地下部重×貯蔵根 Brix) /100

^y 株当たり茎断面積 (株元 20 cm) ×有効草丈

第3項. 現地適応性試験

アスパラガス7年株の改植圃場において、活性炭フロアブル剤を処理すると圃場レベルでもアレロパシー回避効果がみられた。そこで本項では、作型、土質、気候などが異なるアスパラガスの栽培圃場を選定して、活性炭フロアブル剤を用いてアスパラガスのアレロパシー回避技術の現地適応性を検討した。

材料および方法

現地適応性試験では、JAちくま、JAグリーン長野、JA中野市、長野県経済事業農業組合連合会（現全国農業協同組合連合会長野県本部）北信事業所、長野農業改良普及センター、北信農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。いずれの試験地も活性炭フロアブル剤の25倍希釈液を用い、長野県更埴市（現千曲市）屋代、中野市平岡、中野市延徳の3カ所で、それぞれ1999年6月1日、2000年6月4日、1999年10月6日に、動力噴霧器を用いて散水した。栽培管理は試験地によって異なるが、一般的にはうね幅150～180cm程度、株間30～45cm程度で、定植年は平うねに黒マルチを張って定植した。施肥量は、10a当たりN 20～30kg、P₂O₅ 20～30kg、K₂O 25kg程度を露地普通栽培の標準とし、年生や作型によって増減させた。倒伏防止対策として、立茎時に高さ20～25cm程度の土寄せと支柱誘引を行い、地際から150cm程度の高さで摘心し、50cm程度の高さまで下枝かきを行った。その他の栽培管理については試験地の慣行（Motoki・Araki, 2001）に準じた。

(1)長野県更埴市（現千曲市）屋代

試験は、アスパラガスの‘UC157F₁’のハウス半促成長期どり栽培の13年株の改植圃場で行った。1999年6月1日に全面に散水し、カルチで耕起後にマルチをした。改植のアスパラガスは、1999年3月3日に‘UC157F₁’を128セルトレイに播種して育苗した苗を用い、1999年6月8日に定植した。試験区は25, 50, 100, 200 L/10a（原液でそれぞれ1, 2, 4, 8 L/10a）を散水した4処理区と無処理区を設け、処理面積は1区60 m²の2区制とした。生育調査は、1年養成株が1999年11月26日、2年株が2000年12月4日に1区5株の2区制で行った。収量調査は、2年株春どりが2000年4月19日から5月5日まで17日間、3年株春どりが2001年3月14日から4月20日まで38日間収穫し、1区20株の2

区制で行った。

(2)長野県中野市平岡

試験は、アスパラガスの‘メリーワシントン 500W’の露地長期どり栽培の15年株の改植圃場で行った。1999年11月10日に前作のアスパラガスを抜根後、翌2000年に活性炭フロアブル剤を処理した。散水処理区は2000年6月4日に全面に散水し、カルチで耕起後にマルチをした。改植のアスパラガスは、2000年3月に‘UC157Fi’を128セルトレイに播種し、JA中野市の種苗センターで育苗した苗を用い、活性炭フロアブル剤の処理3日後の2000年6月7日に定植した。一方、株元処理区は定植後に前項の試験に準じて、定植位置に株当たり500 mLを散水した。試験区は活性炭フロアブル剤の25倍希釈液の400 L/10aの散水処理と株元処理（原液でそれぞれ16, 40 L/10a）の2処理区と無処理区を設け、処理面積は1区126 m²とした。生育調査は、2000年11月20日に1年養成株で行い、地上部は1区5株、地下部は1区3株とした。

(3)長野県中野市延徳

試験は、アスパラガスの‘UC157Fi’の露地長期どり栽培の13年株の改植圃場で行った。1999年10月6日に活性炭フロアブル剤を全面に散水し、乗用トラクターで耕起後にマルチをした。改植のアスパラガスは1999年6月に‘UC157Fi’を128セルトレイに播種し、JA中野市の種苗センターで育苗した苗を用い、活性炭フロアブル剤処理3日後の1999年10月9日に定植した。試験区は活性炭フロアブル剤の25倍希釈液の200, 400 L/10a（原液でそれぞれ8, 16 L/10a）の2処理区と無処理区を設け、処理面積は1区300 m²とした。生育調査は、2000年11月20日に1年養成株で行い、地上部、地下部とも1区5株とした。

結果および考察

活性炭フロアブル剤を利用したアスパラガスのアレロパシー回避技術の現地適応性試験を行った3カ所の試験地のいずれでも、活性炭フロアブル剤を処理すると、アスパラガスの生育が無処理区に比べておう盛になり、特に地下部の貯蔵根数、地下部重、株養成量、GI'が無処理区に比べて優れた（表 4-5, 4-7, 4-8）。中野市平岡では、活性炭フロアブル剤の処理量が多い株元散水区（40 L/10a）が400 Lの全面散水区（16 L/10a）に比べて茎数およびGI'が明らかに優れていた（表 4-7）。中野市延徳でも処理量が多い400 Lの全面散水

区（16 L/10a）が 200 L の全面散水区（8 L/10a）に比べて茎数および GI が明らかに優れており（表 4-8）、活性炭フロアブル剤の処理量が増えると、アスパラガスのアレロパシー回避効果が高まると考えられた。また、更埴市（現千曲市）屋代のアスパラガス 2 年株の生育調査の結果、活性炭フロアブル剤を処理した地下部の生育は 2 年株でも無処理区より優れ（表 4-5）、アスパラガス改植時の活性炭フロアブル剤の処理がその後のアスパラガスの生育にも影響すると考えられた。2 年株春どりの収量は、活性炭フロアブル剤の散水量が増えるにつれて増収したが、10 a 当たり 25～50 L の散水量では無処理区より少なかった（表 4-6）。1 年養成株の生育調査では活性炭フロアブル剤の処理効果がみられたのにもかかわらず、2 年株春どりで顕著な効果がみられなかったのは、2 年株春どりの収穫期間がそれぞれの試験区の収穫開始後 2 週間程度と短かったためと考えられた。2 年株の株養成調査でも活性炭フロアブル剤処理区の貯蔵根数、地下部重、株養成量が無処理区に比べて優れ、2 年株に比べて収穫期間が長くなった 3 年株春どりでは、活性炭フロアブル剤処理区の収量、1 株当たりの収穫本数、1 茎重ともに無処理区に比べて優れた（表 4-6）。活性炭フロアブル剤の処理は、効果が現れるまでに時間がかかったが、その効果は 1 年以上継続した。3 カ所で行った現地適応性試験の結果、前項と同様、活性炭フロアブル剤は圃場レベルでもアスパラガスのアレロパシー回避効果が高いと推察された。

表 4-5 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの生育に及ぼす影響
(長野県更埴市(現千曲市)屋代)

活性炭フ ²	10 a 当			最大		貯蔵	地下	鱗芽		
ロアブル	たり使	草丈	茎数	茎径	茎重	根数	部重	群数	貯蔵根 ³	株養 ⁴
剤処理	用量(L)	(cm)	(本)	(mm)	(g)	(本)	(g)	(群)	Brix(%)	成量
(1999) ¹										
無処理 ²	-	139 ab ⁵	15.7 a	5.6 NS	2930 ab	113 b	208 c	4.0 c	22.3 ab	80
25 L散水	1	121 c	11.6 b	5.0 NS	2295 c	132 ab	618 ab	5.5 b	21.6 b	134
50 L散水	2	134 b	13.6 ab	5.2 NS	2620 b	127 ab	503 b	4.7 bc	21.4 b	108
100 L散水	4	138 ab	13.6 ab	5.6 NS	3255 a	148 a	743 a	6.8 a	23.6 a	184
200 L散水	8	145 a	16.3 a	4.9 NS	2680 b	128 ab	507 b	5.3 bc	23.1 ab	112
(2000)										
無処理	-	-	-	-	-	174 c	720 d	-	7.5 d	54
25 L散水	1	-	-	-	-	375 b	2300 bc	-	12.1 b	278
50 L散水	2	-	-	-	-	372 b	2800 b	-	10.4 bc	292
100 L散水	4	-	-	-	-	361 b	1700 c	-	8.9 cd	151
200 L散水	8	-	-	-	-	468 a	4150 a	-	18.3 a	757

²活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

¹1999 年 11 月 26 日調査, 2000 年 12 月 4 日調査

⁵活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

³異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す

(1999 年が n=20, 2000 年が n=12)

⁴屈折糖度計(ATAGO 社製)により地下茎より 5~10 cm の貯蔵根を測定

⁵(地下部重×貯蔵根 Brix) /100

表 4-6 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの収量に及ぼす影響
(長野県更埴市(現千曲市)屋代)

活性炭フ ロアブル 剤処理	10 a 当 たり使 用量(L)	規格別本数割合(%) [*]					可販 率(%)	収量 (kg/a)	1茎 重(g)	株当 本数 (本)
		2L	L	M	S	B				
(2000) [†]										
無処理 [‡]	-	-	18.6	32.0	21.5	-	72.1	17.3	11.3	6.9
25 L散水	1	-	18.2	35.6	21.2	-	75.1	13.4	10.4	5.9
50 L散水	2	-	22.4	35.8	19.5	-	77.7	14.4	12.0	5.4
100 L散水	4	-	19.8	38.5	17.2	-	75.5	18.6	11.7	7.3
200 L散水	8	-	22.3	27.0	23.6	-	72.9	18.4	11.2	7.4
(2001)										
無処理	-	2.3	17.0	16.7	21.7	15.0	72.7	35.5	12.7	12.6
25 L散水	1	17.8	49.7	13.2	12.7	3.6	96.9	135.4	36.9	16.5
50 L散水	2	9.3	43.9	19.6	13.6	7.9	94.4	117.7	29.8	17.8
100 L散水	4	6.9	46.2	18.2	13.5	6.4	91.2	104.3	27.5	17.1
200 L散水	8	17.9	38.4	13.7	14.7	4.7	98.3	122.1	34.6	15.9

[‡]活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

[†]収穫は 2000 年が 4 月 19 日～5 月 5 日, 2001 年が 3 月 14 日～4 月 20 日

[‡]活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^{*}規格 (g/本): 2L 40 ～, L 15 ～ 39, M 10 ～ 14, S 7 ～ 9, B 5 ～ 6, 格外 4 以下, 奇形等

表 4-7 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの生育に及ぼす影響（長野県中野市平岡）

活性炭フ ² 10 a 当 ロアブル たり使 剤処理 用量(L)	草丈 (cm)	茎数 (本)	貯蔵 根数 (本)	地下 部重 (g)	鱗芽 群数 (群)	貯蔵根 ³ Brix(%)	株養 ⁴ 成量	GI' ⁵
無処理 ¹	—	95	15 b ²	179 c	620 b	6.0 NS	121 b	927
400 L散水	16	100	18 b	268 a	900 a	7.0 NS	164 a	1274
株元散水	40	110	29 a	242 b	860 a	6.7 NS	166 a	1649

¹活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

²活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

³異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり,
NS は有意でないことを示す (n=6)

⁴屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5 ~ 10 cm の貯蔵根を測定

⁵(地下部重×貯蔵根 Brix) /100

⁶株当たり茎断面積 (株元 20 cm) × 有効草丈

表 4-8 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの生育に及ぼす影響
(長野県中野市延徳)

活性炭フ ² 10 a 当 ロアブル たり使 剤処理 用量(L)	草丈 (cm)	茎数 (本)	貯蔵根 ³ Brix(%)	GI' ⁵
無処理 ¹	—	105	18 b ²	1546
400 L散水	16	125	28 a	2902
200 L散水	8	130	21 b	2588

¹活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

²活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

³異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり,
NS は有意でないことを示す (n=6)

⁴屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5 ~ 10 cm の貯蔵根を測定

⁵株当たり茎断面積 (株元 20 cm) × 有効草丈

第2節．粒状活性炭および粉末活性炭を利用したアレロパシー回避技術

第1項．1年養成株およびレタスによるバイオアッセイ

本節では、前章第2節で開発した改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）でアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を用いて、アスパラガスの栽培圃場でアレロパシー回避技術を検討した。本項では、アスパラガスの1年養成株および検定植物としてアレロパシーの有無の検定に一般的に用いられているキク科レタス（*Lactuca sativa* L.）を用いて、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a の混合の影響を調べた。

材料および方法

(1) 1年養成株によるバイオアッセイ

アスパラガスは、1999年、2000年とも、3月17日に‘UC157F1’を136セルトレイに播種して育苗し、6月25日に1/5000 a のワグネルポット（藤原製作所社製）に定植した。根粉末は前節と同様、上杉らの手法（1997）を参考に1ポット（育苗培養土1,000 gDW）当たり10 g（500 kg/10aに相当）を添加攪拌した。前章第2節で開発したアレロパシー評価法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）でアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた粒状活性炭 a または粉末活性炭 a（以上、味の素ファインテクノ社製）を用いて、表4-9に示す必要量を定植前に添加攪拌し、定植後に株当たり200 mL散水した。なお、粒状活性炭 a および粉末活性炭 a の処理量は、活性炭フロアブル剤の処理量（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）に基づいて設定した。すなわち、活性炭フロアブル剤は20%ヤシ殻活性炭を液体中に分散させた懸濁剤であることから、25倍希釈液の200 mL/株に合わせて1.6 g（80 kg/10a）を、50倍希釈液の200 mL/株に合わせて0.8 g（40 kg/10a）を設定した。参考として、活性炭フロアブル剤を1999年、2000年とも、定植前日の6月24日に表4-9に示すそれぞれの希釈倍率液を200 mL散水処理し、24時間経過後の6月25日に定植した。無処理区として根粉末を添加して活性炭を加えないアレロパシーを発現する状態の区を、対照区として根粉末を添加せずに活性炭も加えない同量の水道を散水しただけの区を設けた。地上部の調査は、1999年10月26日および2000年12月5日に行い、地下部の調査は、1999年12月14日および2000年12月5日に行った。試験区は、1999年は1区10株、

2000年は1区8株とした。施肥，誘引など栽培管理は前節に準じた。

(2) レタスによるバイオアッセイ

藤井（1994）と土屋（1990）の報告を参考に，バイオアッセイの検定植物としてレタスの‘シナノサマー’を用いた。前節第2項と同様のアスパラガスの乾燥貯蔵根の根粉末1gと活性炭などの資材それぞれ1.6gを，2000年4月4日に蒸留水200mLに添加して，Double Shaker R-30（106 min⁻¹）で30分間振とう後，4日間室温に放置し，ろ紙（No.2，Whatman社製）でろ過した液を抽出液とした。これらを，種子発芽試験法（藤下，1981；中村，1977）を参考にろ紙（No.2）2枚を敷いた直径9cmの滅菌シャーレに4mL分注した。それぞれの滅菌シャーレにレタス20粒を置床し，室温で6日間生育させ，4月10日にレタスの発芽率および幼根長を測定した。試験区は，粒状活性炭a，粉末活性炭aの処理区と，比較対照区として，活性炭フロアブル剤区，炭粉末区，無処理区として根粉末を添加して活性炭を加えないアレロパシーが発現する状態の区，対照区として蒸留水200mLのみの区を設けた。試験区は3区制で行った。本試験はJA中野市と北信農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。

結果および考察

(1) 1年養成株によるバイオアッセイ

粒状活性炭a，粉末活性炭aとも前節の活性炭フロアブル剤の散水処理（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と同様，根粉末を添加して活性炭を加えないアレロパシーが発現する状態の無処理区に比べて，茎数，貯蔵根数，地下部重などが同等か増加した（表4-10）。翌年の収量予測に使われる株養成量（元木，2003b, 2006b；上杉ら，1998a）は，活性炭フロアブル剤の散水処理（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と同様，粒状活性炭aでも処理量が多い方が優れ，1999年，2000年とも，粒状活性炭aを処理した区の株養成量は水道水を散水しただけの対照区と比べても同等か優れた。2000年の試験では活性炭処理区の活性炭の処理量を合わせたか，いずれの活性炭処理区でも茎数，茎重，貯蔵根数，地下部重，株養成量が無処理区に比べて明らかに優れ，株養成量は粉末活性炭aが最も大きく，次いで粒状活性炭aであり，活性炭フロアブル剤も無処理区より大きかった。以上から，粒状活性炭a，粉末活性炭aの施用によりアスパラガスのアレロパシー物質がそれぞれの活性炭に吸着され，前節の活性炭フロアブル剤の25倍希釈液の散水処理（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と

同様、アスパラガスのアレロパシーが軽減されたと考えられた。

(2) レタスによるバイオアッセイ

レタスの発芽率はいずれも 90%以上で、活性炭や炭を加えてもレタスの発芽に影響を及ぼさなかった (表 4-11)。アスパラガスの乾燥貯蔵根の根粉末を添加して活性炭を加えないアレロパシーが発現する状態の無処理区および炭粉末を添加した区では、蒸留水のみでの対照区に比べてレタス幼根の伸長が阻害されたが、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を加えると、活性炭フロアブル剤を加えた場合と同様、いずれもレタス幼根の伸長が回復し、レタスの幼根長は対照区と同等かやや長くなった (表 4-11)。前項のアスパラガスの 1 年養成株によるバイオアッセイと同様、レタスによるバイオアッセイでも、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を加えることによりアスパラガスのアレロパシー軽減効果がみられた。

アスパラガスの乾燥根抽出物のレタスによるバイオアッセイは過去に数例の報告 (Hartung・Putnam, 1985; 土屋・大野, 1992; 上杉ら, 1997; 柳川, 1978) があり、いずれもレタス幼根の伸長を阻害した。また、アスパラガスの乾燥根抽出物から、アレロパシー物質として Ferulic acid, Isoferulic acid, Malic acid, Citric acid, Fumaric acid, Caffeic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4 methylene dioxycinnamic acid が単離・同定されており (Hartung *et al.*, 1990; メリアサンディアウタミら, 2005), 粒状活性炭 a または粉末活性炭 a がそれら化学物質あるいは同定されていない未知のアレロパシー物質を吸着したと推察される。

表 4-9 アスパラガスの1年養成株によるバイオアッセイの試験区の構成

処 理	根粉末	散布水量
(1999) ²		
無処理 ^y	10 g/ポット	200 mL/株
対照区 ^x	—	200 mL/株
粒状活性炭a 1.6 g(80 kg/10a)添加攪拌	10 g/ポット	200 mL/株
粒状活性炭a 0.8 g(40 kg/10a)添加攪拌	10 g/ポット	200 mL/株
粒状活性炭a 1.6 g(80 kg/10a)表層散布	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤 25倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤 50倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤 100倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株
(2000)		
無処理	10 g/ポット	200 mL/株
対照区	—	200 mL/株
粉末活性炭a 1.6 g(80 kg/10a)添加攪拌	10 g/ポット	200 mL/株
粒状活性炭a 1.6 g(80 kg/10a)添加攪拌	10 g/ポット	200 mL/株
活性炭フロアブル剤 25倍希釈	10 g/ポット	200 mL/株

²栽培年

^y根粉末を添加して活性炭を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^x根粉末を添加せずに活性炭も加えない

表 4-10 粒状活性炭 a または粉末活性炭 a がアスパラガスの生育に及ぼす影響

活性炭処理	草丈 (cm)	茎数 (本)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	根長 (mm)	最大根径 (mm)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^z 成量
(1999) ²										
無処理 ^y	69.9 NS	7.0 d ^y	1.6 d	6.8 d	50.3 b	2.7 c	27.3 b	47.3 c	32.7 c	15.4
対 照 ^x	72.5 NS	12.1 bcd	2.0 cd	9.6 cd	59.9 ab	2.9 bc	40.6 ab	89.0 b	32.9 c	29.3
粒状活性炭a 80 kg/10a 添加攪拌	73.6 NS	11.9 bcd	2.4 abc	11.7 bc	47.1 b	3.2 ab	48.3 a	96.3 b	36.7 a	35.3
粒状活性炭a 40 kg/10a 添加攪拌	75.0 NS	10.8 bcd	2.8 a	10.6 cd	59.8 ab	3.0 bc	44.1 a	98.3 b	30.2 d	29.7
粒状活性炭a 80 kg/10a 表層散布	76.4 NS	10.6 cd	2.7 ab	10.6 cd	72.2 a	3.3 ab	42.6 a	100.8 b	28.0 e	28.2
活性炭フロアブル剤 25倍	79.6 NS	18.9 a	2.6 abc	19.9 a	60.1 ab	3.5 a	43.1 a	123.0 a	34.0 b	41.8
活性炭フロアブル剤 50倍	69.3 NS	17.3 ab	2.1 bcd	15.4 b	70.1 a	3.4 ab	44.6 a	109.6 ab	33.2 bc	36.4
活性炭フロアブル剤100倍	73.5 NS	15.4 abc	2.4 abc	13.0 bc	61.2 ab	3.3 ab	47.3 a	108.8 ab	33.4 bc	36.3
(2000)										
無処理	64.0 bc ^w	14.0 b	—	13.0 b	68.0 NS	—	36.0 b	72.0 c	30.5 b	22.0
対照	56.0 c	18.0 ab	—	10.0 c	67.0 NS	—	45.0 b	81.0 c	33.0 a	26.7
粉末活性炭a 80 kg/10a 添加攪拌	80.0 a	20.0 a	—	17.0 a	64.0 NS	—	58.0 a	147.0 a	31.3 b	46.0
粒状活性炭a 80 kg/10a 添加攪拌	70.0 ab	19.0 a	—	12.0 bc	59.0 NS	—	63.0 a	140.0 ab	31.4 a	44.0
活性炭フロアブル剤 25倍	77.0 a	17.0 ab	—	14.0 b	66.0 NS	—	61.0 a	122.0 b	33.0 a	40.3

²栽培年

^y根粉末を添加して活性炭を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^x根粉末を添加せずに活性炭も加えない

^w異なる小文字間にはTukeyの検定により処理間で5%水準の有意差あり, またはNSは有意でないことを示す

^z(地下部重)×貯蔵根Brix/100

表 4-11 各種資材がレタスの発芽率および幼根長に及ぼす影響

資材名	粒状活性炭 ^a	粉末活性炭 ^a	活性炭フロアブル剤	炭粉末	無処理 ^z	対照 ^y
根粉末 (g)	1	1	1	1	1	0
発芽率 (%)	90	95	95	95	90	100
幼根長 (cm)	1.40	1.95	2.27	0.54	0.60	1.32
無処理対比 (%)	233	325	378	90	100	220

^z 根粉末を添加して活性炭を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^y 根粉末を添加せずに活性炭も加えない

第 2 項. pH 値の高い活性炭の散布量と生育および土壌の pH 値の変化

活性炭には原料，製造法，形状などにより多くの種類があり，原料や製造法の違いによっても活性炭の性質が変わる（大坪，1995；真田ら，1992；立本，1997）．活性炭には大きく分けて，粒状活性炭，粉末活性炭，繊維状活性炭の 3 種類があるが（真田ら，1992；立本，1997），例えば日本水道協会規格の K113 粉末活性炭の選定標準（真田ら，1992）によると，pH 値は 4～11 と幅広く定められている．ところで，アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた粉末活性炭 a は pH 値が 9.9 と高かった．また，粒状活性炭 b も pH 値が 10.2 と高く，改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）ではアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能は劣ったが，塩酸やリン酸で中和することによりその吸着性能は回復した．しかし，pH 値の高い活性炭の散布量が極端に多くなると土壌の pH 値も高くなり，作物の生育に影響する可能性があると考えられる．そこで，第 3 項および第 4 項では，pH 値の高い活性炭の散布量がアスパラガスの生育および土壌の pH 値に与える影響について検討した．

材料および方法

アスパラガスの‘UC157F₁’を 136 セルトレイで育苗し，1/5000 a のワグネルポット（藤原製作所社製）に定植した．粒状活性炭 b（pH 10.2）または粉末活性炭 a（pH 9.9）をワグネルポット（育苗培養土 1,000 gDW）当たり 0，0.8，1.6，2.4，3.2，6.4，12.8，25.6 および 51.2 g（それぞれ 10 a 当たりに換算すると，0，40，80，120，160，320，640，1,280 および 2,560 kg/10a に相当）計量し，いずれもアスパラガスの定植直前に添加攪拌した．栽培管理は前節第 1 項（Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）に準じた．試験区はいずれも 1 区 8 株とした．

(1) 粒状活性炭 b の散布量と生育および pH 値の変化

アスパラガスは 2001 年 3 月 17 日に播種して育苗し，2001 年 6 月 25 日に定植した．調査は 2001 年 9 月 11 日に行い，2001 年 10 月 12 日に採取した土壌の pH（H₂O）を調査した．土壌養分分析法（森・嶋田，1980）を参考に，1 mm メッシュの篩（野中社製）で分級した試験土壌 10 g に 2.5 倍（25 mL）の蒸留水を加え，時々振とうしながら 24 時間放置し，いずれもろ紙（No.2）1 枚でろ過し，ガラス電極式水素イオン濃度計（HM-20E，東

巫電波工業社製) で測定した。

(2) 粉末活性炭 a の散布量と生育

アスパラガスは 2002 年 3 月 14 日に播種して育苗し、2002 年 6 月 25 日に定植した。調査は 2002 年 10 月 21 日に行った。

結果および考察

(1) 粒状活性炭 b の散布量と生育および pH 値の変化

アスパラガスの地下部重は、粒状活性炭 b の散布量が 1/5000 a ワグネルポット当たり 25.6 g (1,280 kg/10a) を超えると軽くなった (表 4-12)。アスパラガスの草丈、茎数、最太茎径、茎重、貯蔵根 Brix と粒状活性炭 b の散布量との関係は判然としなかった。pH 値が高い粒状活性炭 b を添加することにより採取土壌の pH 値も高くなり、無散布区の 5.69 に比べて、散布量が 51.2 g (2,560 kg/10a) では 6.84 であった。以上の結果から、粒状活性炭 b の散布量が極端に多くなると土壌の pH 値も高くなり、作物の生育に影響する可能性 (安田, 2001) が考えられる。

(2) 粉末活性炭 a の散布量と生育

粉末活性炭 a の散布量が増えると、アスパラガスの茎数、貯蔵根数、地下部重、株養成量が増加する傾向がみられた (表 4-13)。アスパラガスの草丈、最太茎径、茎重、貯蔵根 Brix および根長と粉末活性炭 a の散布量との関係は判然としなかったが、散布量が増えると貯蔵根の根毛が多くなる傾向がみられた (達観調査)。2001 年の粒状活性炭 b は、散布量が極端に多くなると (25.6 g, 1,280 kg/10a 以上)、アスパラガスの地下部重が軽くなったが、粉末活性炭 a では散布量が多くなってもアスパラガスの生育には影響がなかった。

表 4-12 粒状活性炭 b の散布量とアスパラガスの生育および土壌の pH 値の変化

処理区	pH(H ₂ O)	草丈 (cm)	茎数 (本)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^x 成量
0 kg ^z	5.69	67.3	21.6	1.3	32.5	66.7	176.2	19.8	34.8
40 kg	5.68	75.3	11.8	1.6	26.0	54.2	158.8	16.9	26.7
80 kg	5.92	58.3	14.0	1.7	20.0	52.0	154.5	17.1	26.3
120 kg	6.21	69.0	12.6	1.8	23.8	40.0	143.7	14.9	21.3
160 kg	6.47	71.8	13.2	2.0	24.0	46.6	129.8	17.5	22.6
320 kg	6.43	68.2	15.6	2.1	29.0	57.4	140.5	18.9	26.5
640 kg	6.56	65.0	17.4	1.7	25.0	60.6	138.0	23.2	32.0
1280 kg	6.53	64.3	14.8	2.2	23.8	58.2	103.2	23.1	23.8
2560 kg	6.84	69.1	17.4	2.0	32.0	55.5	108.2	20.2	21.8
有意性 ^y	-	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	*

^z活性炭無添加, 10 a 当たり換算量

^y一次回帰分析により5%水準で有意差あり(*), NSは有意でないことを示す

^x(地下部重)×貯蔵根Brix/100

表 4-13 粉末活性炭 a の散布量とアスパラガスの生育

処理区	草丈 (cm)	茎数 (本)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	根長 (mm)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^x 成量
0 kg ^z	57.5	10.2	2.2	10.3	60.3	40.3	64.5	22.2	14.6
40 kg	62.5	7.8	2.2	11.8	64.5	28.7	59.0	22.2	12.7
80 kg	59.2	10.5	2.1	13.7	66.3	38.8	72.2	24.2	17.2
120 kg	65.0	7.7	2.3	11.5	66.7	41.0	75.5	23.4	18.0
160 kg	55.8	10.8	2.0	9.0	68.5	34.5	57.5	24.9	14.2
320 kg	63.7	14.5	2.1	20.3	60.5	52.0	98.3	22.5	21.8
640 kg	85.7	14.0	4.0	37.0	54.2	67.2	147.3	26.1	38.4
1280 kg	55.8	11.2	2.2	11.7	72.5	41.3	66.3	23.1	15.1
2560 kg	68.2	15.2	2.5	20.3	64.5	64.3	122.2	24.3	30.3
有意性 ^y	NS	*	NS	NS	NS	*	*	NS	*

^z活性炭無添加, 10 a 当たり換算量

^y一次回帰分析により5%水準で有意差あり(*), NSは有意でないことを示す

^x(地下部重)×貯蔵根Brix/100

第3項. 活性炭の散布量と栽培圃場の pH 値の変化

前項の 1/5000 a のワグネルポット試験では、粒状活性炭 b の散布量が増えると土壤の pH 値も高くなり、1,280 kg/10a 以上でアスパラガスの地下部重は軽くなった。本項では、アスパラガスの栽培圃場における粒状活性炭 b または粉末活性炭 a の散布量と土壤の pH 値の変化を、アスパラガスの生産現場の栽培圃場から採取した土壤を用いて検討した。

材料および方法

土壤養分分析法（森・嶋田，1980）を参考に、アスパラガスの生産現場の栽培圃場から採取した風乾土 10 g に、粒状活性炭 b または粉末活性炭 a を段階的に 0, 4, 8, 12, 16 および 20 mg（それぞれ 10 a 当たり換算すると、0, 40, 80, 120, 160 および 200 kg/10a に相当）添加攪拌し、さらに蒸留水 25 mL を加えて混合した。24 時間放置した後 5 時間振とうし、いずれもろ紙（No.2）1 枚でろ過して、ガラス電極式水素イオン濃度計（HM-20E）で pH 値を測定した。いずれも 3 区制で行い、JA 中野市および北信農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。

(1) 粒状活性炭 b の散布量と土壤の違いによる pH 値の変化

長野県中野市のアスパラガスの栽培圃場におもに分布する黒ボク土とグライ土から 2001 年 6 月に土壤を採取した。参考として、中野市内のアスパラガスの栽培圃場で、すでに粒状活性炭 b を 0 および 2,000 kg/10a（200 mg に相当）全面散布した土壤でも pH 値を測定した。

(2) 粉末活性炭 a の散布量と栽培圃場の pH 値の変化

土質の異なる長野県中野市内のアスパラガスの栽培圃場 3 カ所（黒ボク土、グライ土および褐色低地土）から 2002 年 6 月に土壤を採取した。

結果および考察

(1) 粒状活性炭 b の散布量と土壤の違いによる pH 値の変化

黒ボク土、グライ土とも粒状活性炭 b による pH 値の段階的な変化はなく、粒状活性炭 b を 20 mg（土壤の仮比重を 1 とすれば、深さ 10 cm の土壤で 200 kg/10a に相当）添加し

た場合でも pH 値はほとんど変わらなかった。このため、アスパラガスの改植圃場に対して 200 kg/10a 程度までの粒状活性炭 b の散布量では、土壌の pH 値に与える影響は少ないものと推察された。一方、アスパラガスの栽培圃場に粒状活性炭 b を 200 mg (2,000 kg/10a) 添加すると、pH 値は 0.3 上昇したため、前項と同様、粒状活性炭 b の散布量が極端に多くなると土壌の pH 値も高くなり、作物の生育に影響する可能性 (安田, 2001) が考えられる。

(2) 粉末活性炭 a の散布量と栽培圃場の pH 値の変化

いずれのアスパラガスの栽培圃場でも、粉末活性炭 a による pH 値の段階的な変化はなく、粉末活性炭 a を 20 mg (200 kg/10a) 添加した場合でも 2001 年の粒状活性炭 b の結果と同様、pH 値はほとんど変わらなかった。このため、アスパラガスの改植圃場に対して 200 kg/10a 程度までの粉末活性炭 a の散布量では、土壌の pH 値に与える影響は少ないものと推察された。

表 4-14 粒状活性炭 b の散布量と土壌の違いによる pH 値の変化 (長野県中野市)

種類	散布量 (mg/10g)	0	4	8	12	16	20	200
	換算量 (kg/10a)	0	40	80	120	160	200	2000
黒ボク土		6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	-
グライ土		5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	-
アスパラガス栽培土壌		5.7	-	-	-	-	-	6.0

表 4-15 粉末活性炭 a の散布量とアスパラガスの栽培圃場の pH 値の変化 (長野県中野市)

採取地 (種類)	散布量 (mg/10g)	0	4	8	12	16	20
	換算量 (kg/10a)	0	40	80	120	160	200
中野市岩井 (黒ボク土)		5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3
中野市延徳 (グライ土)		5.3	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2
中野市平岡 (褐色低地土)		6.1	6.1	6.1	6.0	6.1	6.1

第4項. 6年株の改植圃場における施用効果

第1項のアスパラガスの1年養成株によるバイオアッセイと同様、第2項のレタスによるバイオアッセイでも、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を加えることによりアスパラガスのアレロパシー軽減効果がみられた。そこで本項では、長野県野菜花き試験場のアスパラガスの露地長期どり栽培の6年株の改植圃場を利用して、圃場レベルで粒状活性炭 a または粉末活性炭 a の施肥効果および施用量を検討した。

材料および方法

2001年6月12日にアスパラガス6年株の春どりを打ち切った後、根株すべてを乗用トラクターで圃場にすき込み、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を全面散布し、カルチで耕起後にマルチをした。改植のアスパラガスは、2001年3月17日に‘UC157F₁’を136セルトレイに播種して育苗した苗を用い、改植当日の2001年6月12日に改植前と同じ位置に定植した。施肥、誘引など栽培管理は当場の慣行（第2章第1節参照）（元木ら、2004c）に準じた。試験区は粒状活性炭 a、粉末活性炭 a とともに40、80、120 および 240 kg/10a 散布した4処理区と無処理区を設け、いずれも1区10株（4.5 m²）の2区制とした。調査は、2001年11月22日に地上部の茎数、草丈、最太茎径および茎重、2001年12月3日の抜根後に地下部の貯蔵根数、地下部重および貯蔵根 Brix について行った。それぞれの調査方法は、前節第3項に準じた。

結果および考察

粒状活性炭 a 処理区では、無処理区に対して貯蔵根数および地下部重がそれぞれ106～135%、132～171%となり、特に120～240 kg/10a の散布量で、収量予測の指標である株養成量（元木、2003b, 2006b; 上杉、1998a）およびGI（元木、2003b, 2006b; 上杉、1998a）が優れた（表4-16, 図4-1）。また、粉末活性炭 a 処理区でも無処理区に対して地下部重が101～133%となり、特に40～120 kg/10a の粒状活性炭 a よりやや少ない散布量で、株養成量およびGIが優れた（表4-17）。

表 4-16 6年株の改植圃場における粒状活性炭 a の散布量がアスパラガスに及ぼす影響

処理区	茎数 (本)	草丈 (cm)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^x 成量	GI'
0 kg ^z	33.7	117.9	6.4	172	237.7	536.0	22.4	120	1232
40 kg	36.8	117.8	7.0	265	265.6	709.5	24.4	173	1822
80 kg	31.1	125.0	8.2	193	252.8	704.5	20.6	145	1434
120 kg	38.8	126.4	7.8	390	293.6	863.0	24.4	211	2536
240 kg	34.9	129.0	7.4	363	320.5	918.0	22.8	209	2103
有意性 ^y	NS	*	NS	-	*	*	NS	*	-

^z活性炭無散布

^y一次回帰分析により5%水準で有意差あり(*), またはNSは有意でないことを示す

^x(地下部重)×貯蔵根Brix/100

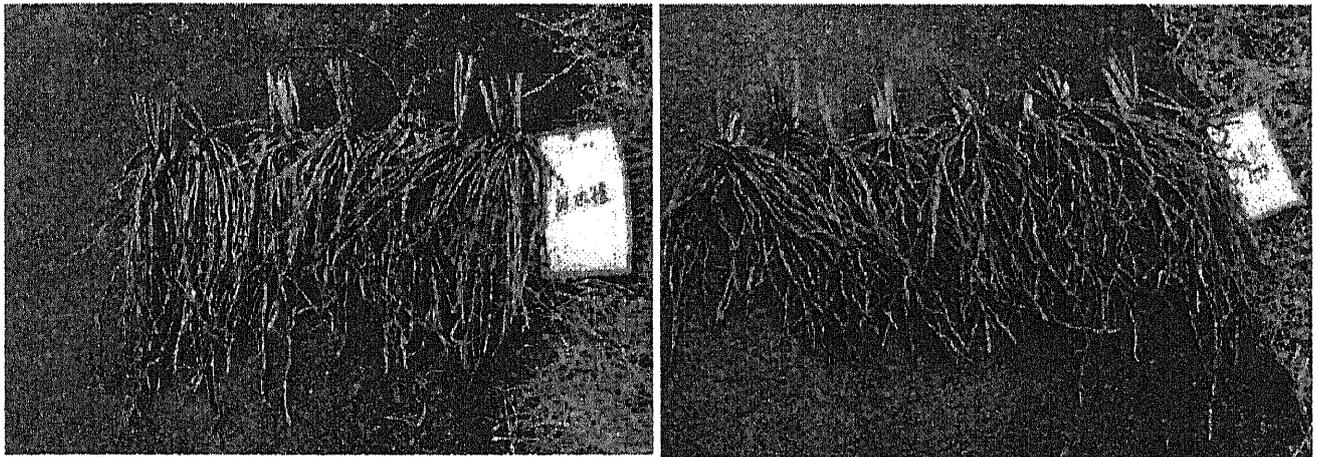


図 4-1 6年株の改植圃場における粒状活性炭 a がアスパラガスに及ぼす影響

左：無処理，右：粒状活性炭 a (120 kg/10a)

表 4-17 6年株の改植圃場における粉末活性炭 a の散布量がアスパラガスに及ぼす影響

処理区	茎数 (本)	草丈 (cm)	最大茎径 (mm)	茎重 (g)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^x 成量	GI'
0 kg ^z	34.4	110.4	6.5	246	303.9	728	22.7	165	1614
40 kg	35.9	128.5	8.0	387	300.4	966	20.9	202	2273
80 kg	36.8	126.5	8.0	368	240.8	874	22.0	192	2180
120 kg	34.9	118.9	7.6	352	256.1	902	23.3	211	2049
240 kg	44.5	124.1	6.5	259	286.9	734	23.8	175	1635
有意性 ^y	*	NS	NS	-	NS	NS	NS	NS	-

^z活性炭無散布

^y一次回帰分析により5%水準で有意差あり(*), NSは有意でないことを示す

^x(地下部重)×貯蔵根Brix/100

第 5 項. 現地適応性試験

アスパラガス 6 年株の改植圃場において、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を処理すると圃場レベルでもアレロパシー回避効果がみられた。そこで本項では、粒状活性炭 a または粉末活性炭 a を用いてアスパラガスのアレロパシー回避技術の現地適応性を検討した。

材料および方法

試験は、長野県中野市平岡のアスパラガス露地長期どり栽培の 15 年株の改植圃場で行った。1999 年 11 月 10 日に前作のアスパラガスを抜根後、前項の結果から粒状活性炭 a または粉末活性炭 a のそれぞれ 120 kg/10a 区を設け、それを 2000 年 6 月 4 日に全面散布し、カルチで耕起後にマルチをした。比較対照区として、活性炭フロアブル剤の散水処理区を設け、既報（元木, 2002, 2003b, 2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）に準じて、25 倍希釈液を動力噴霧器を用いてかん水用ノズルで 400 L/10a（原液で 16 L/10a）散水した。改植のアスパラガスは、2000 年 3 月に J A 中野市の種苗センターで‘UC157F₁’を 128 セルトレイに播種して育苗した苗を用い、活性炭の処理 3 日後の 2000 年 6 月 7 日に定植した。施肥、誘引など栽培管理は現地の慣行（第 4 章第 1 節第 3 項参照）（Motoki・Araki, 2001）に準じた。試験区は、粒状活性炭 a、粉末活性炭 a の 2 処理区と、活性炭フロアブル剤の散水処理区および無処理区を設け、処理面積は 1 区 126 m²とした。生育調査は 2000 年 11 月 20 日に 1 年養成株で行い、地上部が 1 区 5 株、地下部が 1 区 3 株とした。収量調査は 2 年株の 2001 年 5 月 18 日、3 年株の 2002 年 4 月 26 日に 1 区 10 株の 2 区制で行い、収穫した若茎のすべての茎径を測定することにより収量形質を推定する収量優劣推定プログラム（元木ら, 2005b）を用いて収量を推定した。本試験は J A 中野市、長野県経済事業農業組合連合会（現全国農業協同組合連合会長野県本部）北信事業所、北信農業改良普及センターの協力を得て進めた。

結果および考察

粒状活性炭 a または粉末活性炭 a 処理区では、無処理区に対して貯蔵根数および地下部重がそれぞれ 206%、146%および 139%、145%で有意に高く、活性炭フロアブル剤の散水

処理区と同様，収量予測の指標である株養成量（元木，2003b，2006b；上杉，1998a）およびGI'（元木，2003b，2006b；上杉，1998a）が優れた（表 4-18）．また，2年株および3年株の春どりの収量推定の結果，粒状活性炭 a または粉末活性炭 a の処理区では，無処理区に対してそれぞれ 124 ～ 165%増収し（表 4-19），アスパラガス改植時における粒状活性炭 a または粉末活性炭 a の処理は翌年以降のアスパラガスの収量にも影響すると考えられた．なお，増収は収穫茎数が増えたことによるものであり，収穫茎の規格は処理区と無処理区の間には顕著な差は認められず，3年株では処理区の平均茎径はむしろ細くなった．

表 4-18 粒状活性炭 a または粉末活性炭 a がアスパラガス改植圃場のアスパラガスの生育に及ぼす影響（長野県中野市平岡）

活性炭資材名	草丈 (cm)	茎数 (本)	鱗芽群数 (群)	貯蔵根数 (本)	地下部重 (g)	貯蔵根Brix (%)	株養 ^Y 成量	GI'
無処理	95 NS	14.6 b ²	6.0 b	178.6 c	619.6 c	19.4 NS	120 b	927
粒状活性炭a	110 NS	29.4 a	8.4 a	355.4 a	905.4 a	20.3 NS	172 a	1773
粉末活性炭a	105 NS	13.4 b	7.5 ab	248.4 b	752.5 b	20.2 NS	152 ab	1024
活性炭フロアブル	100 NS	18.4 b	7.0 ab	268.4 b	900.4 a	18.2 NS	164 a	1274

²異なる小文字間にはTukeyの検定により処理間で5%水準の有意差あり，NSは有意でないことを示す

^Y(地下部重)×貯蔵根Brix/100

表 4-19 粒状活性炭 a または粉末活性炭 a がアスパラガス改植圃場の2年株および3年株の春どりに及ぼす影響（長野県中野市平岡）

活性炭資材名	収穫茎数 (本/株)	収量 (kg/10a)	規格別本数割合 (%)				平均茎径 (mm)
			40g<	15g<39g	10g<14g	<10g, 奇形	
(2年株)							
無処理	39	170	2.6	56.4	15.4	25.6	9.7
粒状活性炭a	73	280	0.0	45.2	19.2	35.6	8.7
粉末活性炭a	58	276	3.4	58.6	25.9	12.1	10.6
活性炭フロアブル	49	240	2.0	63.3	28.6	6.1	11.2
(3年株)							
無処理	68	630	42.6	50.0	4.4	2.9	17.0
粒状活性炭a	102	781	30.4	65.7	2.9	1.0	16.2
粉末活性炭a	101	838	35.5	56.3	7.6	3.6	15.9
活性炭フロアブル	87	713	28.7	52.9	11.5	6.9	15.5

第 5 章 アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が 収量に及ぼす影響

第 1 節．生育期の施用効果

前章の結果，活性炭フロアブル剤を利用したアスパラガス改植時のアレロパシー回避技術が 2001 年から普及技術として採用され（元木，2002，2003b，2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a），一般的に行われていた耕種的な改植技術（元木，2002; 上杉ら，1997）と併用して，活性炭フロアブル剤の散水处理（元木ら，2001），浸漬処理（元木，2003b; 元木ら，2002a）およびかん注処理（元木ら，2002a）が長野県内のアスパラガスの各産地で広く行われているが，活性炭フロアブル剤の処理は新改植時に限られる（元木，2002，2003b）．そこで本章では，アスパラガスがすでに栽培されている圃場で，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響を検討した．本節では，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理，散水处理およびうね間かん水处理の効果を比較した．

材料および方法

長野県上伊那郡飯島町（灰色低地土）のアスパラガスのハウス半促成長期どり栽培の新植 3 年株を用いて，活性炭フロアブル剤（大塚化学社製）の処理を 2004 年 2 月 26 日の休眠期に行った．供試品種は‘UC157F₁’（日本名：ウェルカム）（Benson・Takatori, 1978）を用いた．試験区として，①深層処理：活性炭フロアブル剤 50 倍液の株当たり 250 mL（原液で 10 L/10a），②散水处理：活性炭フロアブル剤 100 倍液の株当たり 500 mL（10 L/10a），③うね間かん水处理：活性炭フロアブル剤 100 倍液の株当たり 1,250 mL（25 L/10a）の 3 処理区を設けた．深層処理区は，動力噴霧器を用いてそれぞれの株間の地表面から地下茎付近の深さ 25 cm の根圏土壌に，土壌かん注機を使って活性炭フロアブル剤を局所注入した（図 5-1，元木ら，2003a，2006c）．散水处理区は，動力噴霧器を用いてそれぞれの株の地表面に，ジョロの噴口を使って活性炭フロアブル剤を散水した．一方，うね間かん水处理区は，活性炭フロアブル剤の希釈液をうね間（通路）へのかん水に合わせて通水した．処理量はアスパラガスの新改植時の処理量（元木，2002，2003b，2006b; 元木ら，

2001, 2002a; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) を参考に、普及に移した場合の経済性を考慮してできるだけ少量に設定した。深層処理区とかん注処理区は同量 (10 L/10a) になるように調整したが、うね間かん水処理区はその量ではうね間全体に活性炭フロアブル剤が行き渡らなかつたため、2.5 倍量の 25 L/10a を処理した。また無処理区として、活性炭フロアブル剤を含まないうね間かん水の区を設けた。施肥、誘引など栽培管理は現地の慣行 (第 4 章第 1 節第 3 項) (Motoki・Araki, 2001) に準じた。試験区は小型ハウス (2.7 m × 50 m) ごとに設定し、処理面積は 1 区 125 株の 2 区制とした。収量調査は 2004 年 5 月 18 日 (3 年株春どり)、2004 年 10 月 19 日 (3 年株夏秋どり) および 2005 年 5 月 27 日 (4 年株春どり) に 1 区 10 株の 2 区制で行い、収穫した若茎のすべての茎径を測定し、収量優劣推定プログラム (元木ら, 2005b) を用いて収量を推定した。本試験は、J A 上伊那および上伊那農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。

結果および考察

活性炭フロアブル剤の深層処理区および散水処理区の収量は、3 年株春どりでは無処理区に比べてやや減収したものの、3 年株夏秋どりでは無処理区に比べて増収し、3 年株春どりと夏秋どりを合わせた 1 年間の収量の合計 (3 年株長期どり) でも無処理区に比べて増収した。さらに、翌年の 4 年株春どりでも無処理区に比べて増収した。一方、活性炭フロアブル剤のうね間かん水処理区の収量は、活性炭フロアブル剤の処理量を深層処理区および散水処理区の 2.5 倍量を処理したにも関わらず、3 年株春どりは深層処理区および散水処理区と同様、無処理区に比べてやや減収し、さらに 3 年株夏秋どりでも無処理区と同程度の収量で、深層処理区および散水処理区に比べて効果が劣った。しかし、4 年株春どりでは無処理区に比べて増収した。また、4 年株春どりの無処理区の L 級規格以上の割合は、活性炭フロアブル剤のそれぞれの処理区に比べて低く、活性炭フロアブル剤を処理することにより、無処理区に比べて 3 年株夏秋どりおよび 4 年株春どりの茎径は同等か太くなる傾向が見られた (図 5-2)。

アスパラガスの根の分布は広く、定植位置を基点として水平方向に幅 1.5 m 程度、垂直方向には 1 m 以上の深さに達し (元木, 2003b, 2006b; 八鍬, 1986)、アスパラガスの貯蔵根の量は 10 ha 当たり 60 ~ 100 t 程度になる (上杉ら, 1997)。しかし、その 80% 近くが地表面から 30 cm までの深さ、特に株下の部分に分布し (図 5-3)、年生の進んだアスパラガス

の栽培圃場では、根はうね中央に集中し、うね間には少ないことが報告されている（大串，1998；上杉ら，1997）。そのため、活性炭フロアブル剤のうね間かん水処理は、うね間よりうね中央の部分に多く存在するアスパラガスのアレロパシー物質の吸着が十分できなかったものと推察される。また、アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の散水処理でも、根圏土壌への深層処理と同等の収量が得られたが、その理由は試験圃場の土壌物理性が優れ（灰色低地土，30 cm 深の貫入抵抗値は 0.5 MPa/cm^2 ，土壌の仮比重は 0.95 ），活性炭フロアブル剤が根圏土壌まで浸透しやすかったためと考えられた。

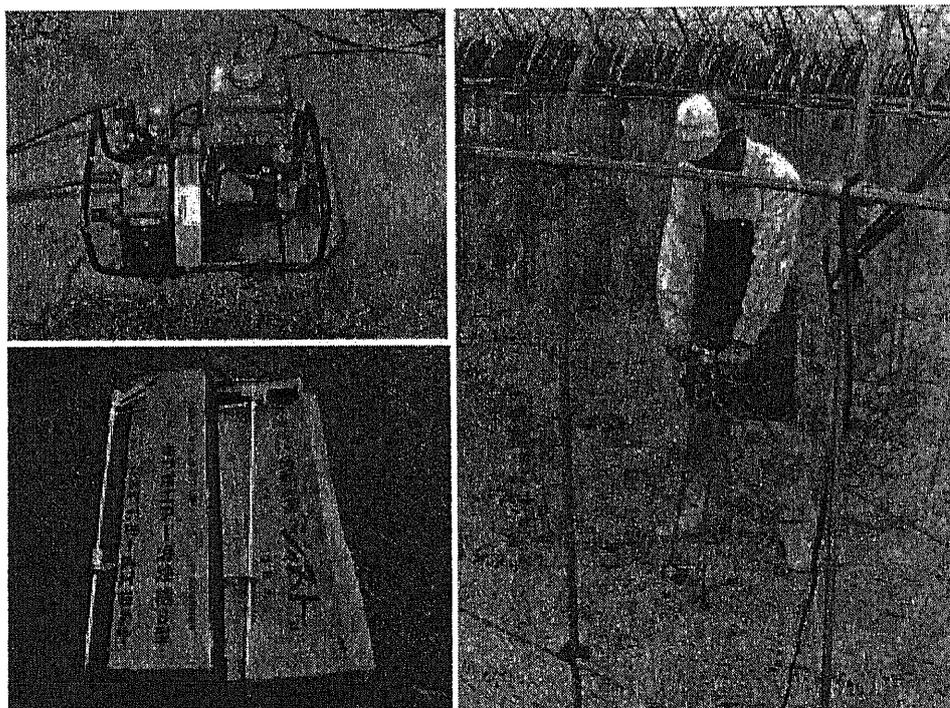


図 5-1 アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の方法
（長野市東福寺）

活性炭フロアブル剤の深層処理は、図のような動力噴霧器を用いて、それぞれの株間の地表面から、地下茎付近の根圏部に土壌かん注機を使って局所注入する（元木ら，2003a，2006c）

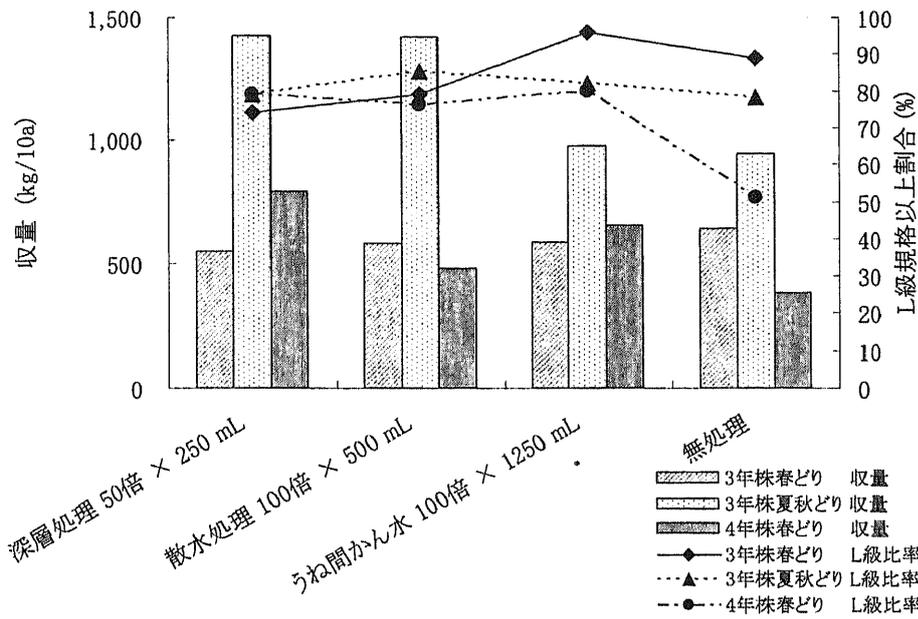


図 5-2 アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の効果
(長野県上伊那郡飯島町)

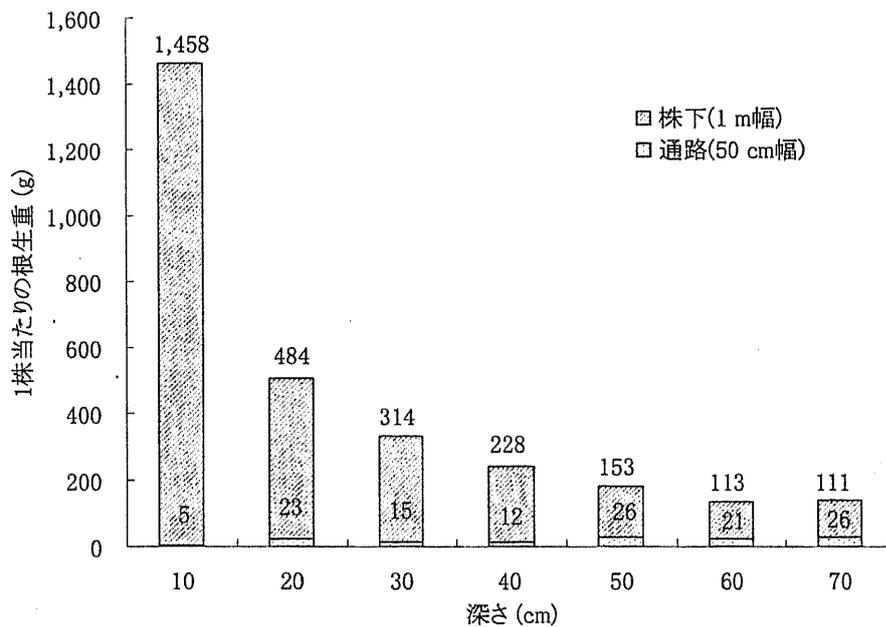


図 5-3 アスパラガス 13 年株の根群分布
長野県野菜花き試験場の場内圃場 (沖積植壊土, 腐植含量 3.1%)

第2節．有機物無施用圃場における処理効果

前節の結果，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への深層処理は，前章のアスパラガス改植時（元木，2002，2003b，2006b；元木ら，2001，2002a；Motoki *et al.*，2002c，2004a）と同様，無処理区に比べて増収した．また，散水処理でも深層処理と同等の収量が得られたが，その理由は試験圃場の土壌物理性が優れ，活性炭フロアブル剤が根圏土壌まで浸透しやすかったためと考えられた．そこで本節では，アスパラガスの栽培圃場の土壌物理性が不良な有機物無施用圃場において，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理と散水処理の効果を比較した．

材料および方法

長野県中野市日野のアスパラガスの露地長期どり栽培の改植4年株を用いて，活性炭フロアブル剤の処理を2005年6月9日の立茎時に行った．供試品種は‘グリーンタワー’（協和種苗）を用いた．試験圃場は，中野市内のアスパラガスの栽培圃場8カ所で2004年12月16日の茎葉刈りとり時に土壌検査を行った結果，圃場の土壌物理性が不良であった有機物無施用圃場（黒ボク土，30 cm 深の貫入抵抗値は1.2 MPa/cm²，土壌の仮比重は1.09）を選んだ．試験区として，①深層処理：活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり250 mL（原液で10 L/10a），②散水処理：活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり250 mL（10 L/10a）の2処理区を設けた．また無処理区として，水250 mL/株のみを土壌かん注機を使って注入した区を設けた．深層処理および散水処理の方法は前節に準じ，施肥，誘引など栽培管理は現地の慣行（第4章第1節第3項参照）（Motoki・Araki，2001）に準じた．処理面積は1区150株とした．収量調査は2005年6月9日（4年株春どり）および2005年11月1日（4年株夏秋どり）に1区10株の3区制で行い，前節と同様，収量優劣推定プログラム（元木ら，2005b）を用いて収量を推定した．本試験は，JA中野市および北信農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた．

結果および考察

有機物無施用圃場における活性炭フロアブル剤の深層処理と散水処理は，前節と同様，

無処理区に比べていずれも増収し、可販率も優れた（表 5-1）。活性炭フロアブル剤は土壌浸透性が優れ（元木ら, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a），アスパラガスの栽培圃場の土壌物理性の条件に関わらず，アスパラガス生育期の処理の効果が高いと考えられた。

表 5-1 有機物無施用圃場における活性炭フロアブル剤の生育期処理の
アスパラガスに対する効果（長野県中野市日野，2005年）

処理区	収穫 本数 (本)	平均 茎径 (mm)	収量 (kg/10a)	無処 理対 比(%)	規格別本数割合 (%) z				可販 率(%) ^y
					2L	L	M	その他	
無処理	17.5±2.2	8.4	330.3±39.0	100	0.8	45.2	27.1	26.8	67.1
かん注処理 50倍×250mL	20.5±0.9	8.1	429.4±21.0	130	0.6	38.7	30.2	30.6	77.4
散水処理 50倍×250mL	17.6±0.3	8.0	414.7±29.0	125	0.0	26.7	40.0	33.2	86.8

±は標準誤差(n=3)を表す

z 規格(g/本):2L 40以上, L 15~39g, M 10~14

y B級規格以上の割合

第3節. 処理濃度と後年への影響

第1節および第2節の結果、活性炭フロアブル剤は土壌浸透性が優れ（元木ら，2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a），前章のアスパラガス改植時（元木，2002, 2003b, 2006b; 元木ら，2001, 2002a; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と同様，アスパラガス生育期でも深層処理および散水処理により増収した。本節では，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の濃度と後年への影響を検討した。

材料および方法

長野市東福寺のアスパラガスの2作連作圃場で行い，改植2年目（2年養成株，2001年）～4年目（4年株，2003年）にハウス半促成2季どり栽培で試験した。試験圃場は，1999年に前作のアスパラガス17年株の収穫を終了した後，1年間休耕し，青刈りソルガムを栽培した。その後，2000年6月に‘UC157F₁’を定植したが，定植1年目から生育が不良であった。そこで改植2年目の2001年6月1日のアスパラガス立茎時に，第1節に準じて活性炭フロアブル剤を深層処理した。試験区として，①活性炭フロアブル剤25倍液の株当たり200 mL，②活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり400 mL，③活性炭フロアブル剤100倍液の株当たり800 mLの3処理区を設けた。活性炭フロアブル剤の処理量は，いずれも原液で16 L/10aとした。また無処理区として，水400 mL/株のみを土壌かん注機を使って注入した区を設けた。施肥，誘引など栽培管理は現地の慣行（第4章第1節第3項参照）（Motoki・Araki, 2001）に準じた。処理面積は1区600株の2区制とした。生育調査は2001年11月16日（2年株養成）および2002年11月15日（3年株）の夏秋どり打ち切り時に1区10株で行った。また，収量調査は2002年5月10日（3年株春どり）および2003年5月19日（4年株春どり）に1区10株の2区制で行い，第1節と同様，収量優劣推定プログラム（元木ら，2005b）を用いて収量を推定した。本試験は，JAグリーン長野および長野農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。

結果および考察

活性炭フロアブル剤のアスパラガス生育期の深層処理の1年目（2年養成株，2001年），

2年目（3年株，2002年）とも，アスパラガスの生育が無処理区に比べておう盛になり，特に地下部重，貯蔵根数，GIが無処理区に比べて優れた（図5-4，GI' および2001年の地下部重と貯蔵根数のデータ省略）。また，深層処理の2年目（3年株，2002年），3年目（4年株，2003年）とも，無処理区に比べて春どりが増え，L級規格以上の割合もやや増加した（図5-5）。収量から判断すると，活性炭フロアブル剤を同量（原液で16 L/10a）処理する場合には，処理濃度は100倍希釈液の低濃度で水量を多く処理するより，25～50倍希釈液の高濃度で水量を少なめに処理する方が効果が優れると考えられた。なお，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の効果は1年以上継続すると考えられた。

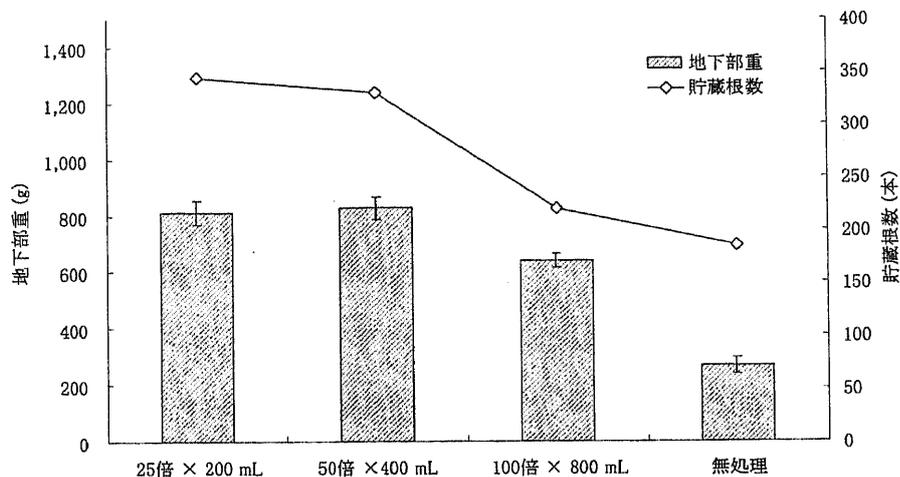


図 5-4 アスパラガスのハウス半促成 2 季どり栽培の 3 年株における活性炭フロアブル剤の深層処理と地下部重および貯蔵根数 (長野市東福寺, 2002 年)

図中の縦線は標準誤差 (n=10) を表す

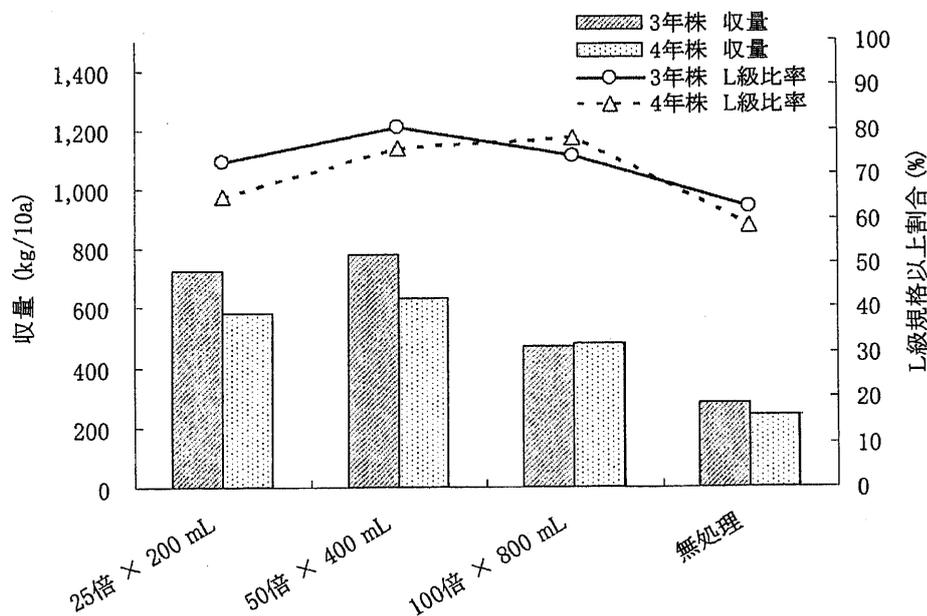


図 5-5 アスパラガスのハウス半促成 2 季どり栽培における活性炭フロアブル剤の深層処理と 3 年株および 4 年株の春どりの収量および品質 (長野市東福寺)

第4節．処理時期の検討

前節の結果，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の効果は1年以上継続した．収量から判断すると，活性炭フロアブル剤の深層処理は低濃度で水量を多く処理するより，高濃度で水量を少なめに処理する方が効果が優れると考えられた．ところで，活性炭フロアブル剤の深層処理はアスパラガスの株間に土壌かん注機を使って局所注入するが（元木ら，2003a，2006c），年生の進んだ株では休眠期には株間が判断しにくいいため，萌芽後に処理することができれば作業しやすいと考えられる．そこで本節では，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の時期を検討した．

材料および方法

長野県中野市平野のアスパラガスの3作連作圃場で行い，改植1年目（1年株養成，2002年）～3年目（3年株，2004年）に露地長期どり栽培で試験した．試験圃場は，アスパラガス1作目が10年以上栽培した後に改植，アスパラガス2作目は再び7年栽培した後に改植，アスパラガス3作目は2002年6月に‘メリーワシントン500W’（サカタのタネ）を定植したが，定植1年目から生育が不良であった．そこで，改植1年目の2002年12月19日のアスパラガス休眠期の秋処理および改植2年目の2003年5月13日のアスパラガス立茎時の春処理に，第1節に準じて活性炭フロアブル剤を深層処理した．秋処理および春処理のそれぞれの試験区として，①活性炭フロアブル剤25倍液の株当たり700 mL（原液で56 L/10a），②活性炭フロアブル剤25倍液の株当たり350 mL（28 L/10a），③活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり700 mL（28 L/10a），④活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり350 mL（14 L/10a）の4処理区を設けた．また無処理区として，水350 mL/株のみを土壌かん注機を使って注入した区を設けた．施肥，誘引など栽培管理は現地の慣行（第4章第1節第3項参照）（Motoki・Araki，2001）に準じた．処理面積は1区87株とした．収量調査は2003年5月13日（2年株春どり）と2003年11月12日（2年株夏秋どり）および2004年5月13日（3年株春どり）に1区10株の2区制で行い，第1節と同様，収量優劣推定プログラム（元木ら，2005b）を用いて収量を推定した．本試験は，JA中野市および北信農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた．

結果および考察

アスパラガス休眠期の秋に活性炭フロアブル剤を深層処理した場合、翌年の夏秋どり、翌々年の春どりが増収し、特に株当たり 25 倍× 700 mL の高濃度処理で効果が高かった。また、アスパラガス立茎時の春に処理した場合は、当年の夏秋どりと翌年の春どりが増収し、特に翌年の春どりの増収が大きかった（図 5-6）。なお、本試験の活性炭の処理量と収量とは正の相関が認められなかったことから、活性炭フロアブル剤の深層処理における処理量は、普及に移した場合の経済性を考慮すると、原液で 14 L/10a 程度でも十分であると考えられた。以上の結果から、アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の時期は、休眠期の秋処理でも立茎時の春処理でも増収したことから、年生の進んだ株では株間が判断しにくい休眠期の秋処理よりも萌芽後の立茎時の春処理が作業性に優れると考えられた。また、第 1 節および第 3 節結果と同様、本節でも、アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理の効果は 1 年以上継続した。

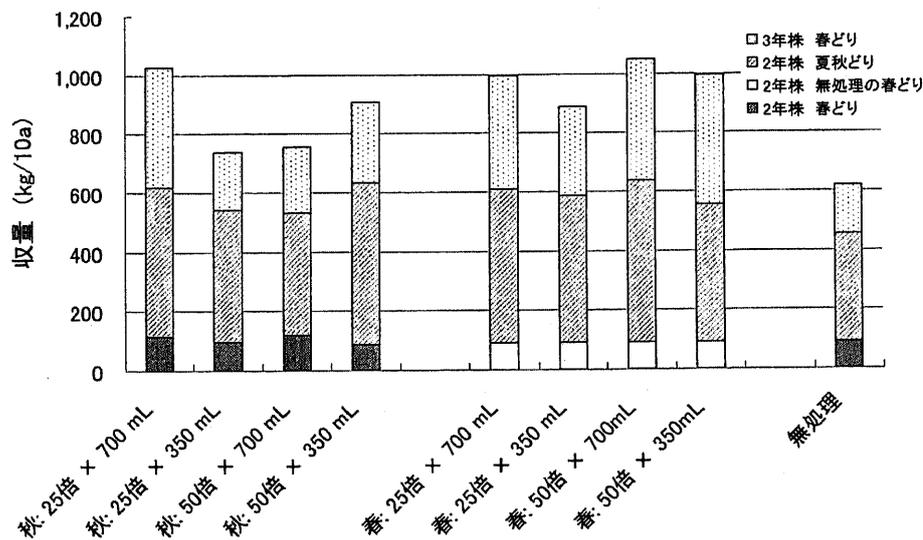


図 5-6 アスパラガスの露地長期どり栽培における活性炭フロアブル剤の処理時期および処理濃度と収量の経年変化（長野県中野市平野）

第 5 節．株の年生と処理効果

第 1 節から第 4 節の結果，アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理は，4 年株までの若年株で増収した．本節では，さらに年生の進んだアスパラガスの 6～7 年株を用い，活性炭フロアブル剤の深層処理の効果を検討した．

材料および方法

長野県野菜花き試験場（標高 346 m，沖積植壤土，腐植含量 3.1%）のアスパラガスの 2 作連作圃場で行い，2002 年（6 年株）から 2003 年（7 年株）に露地長期どり栽培で試験した．1997 年 3 月 17 日に‘UC157F₁’を 136 セルトレイ（育苗培養土はプリティーソイルゴールド N180）に播種して育苗し，前作のアスパラガスを抜根した直後の圃場に 1997 年 6 月 6 日に定植した．2 年株は除草剤試験に使用したが，以後 3 年間は露地長期どり栽培で均一栽培して本試験に供試した．試験区は 5 年株の時点ではいずれも均一な生育を示した．栽植密度はうね幅 150 cm，株間 30 cm，ベット幅 80 cm の 1 条植え（2,222 株/10a）とした．2002 年 3 月 28 日の萌芽前に，第 1 節に準じて活性炭フロアブル剤を深層処理した．ただし，アスパラガスの株間が判断できなかつたため 30 cm 間隔で処理した．試験区として，①活性炭フロアブル剤 25 倍液の株当たり 200 mL，②活性炭フロアブル剤 50 倍液の株当たり 400 mL の 2 処理区を設けた．活性炭フロアブル剤の処理量はいずれも原液で 16 L/10a とした．また無処理区として，水 400 mL/株のみを土壤かん注機を使って注入した区を設けた．施肥，誘引など栽培管理は当場の慣行（第 2 章第 1 節参照）（元木ら，2004c）に準じた．処理面積は 1 区 5 株（7.5 m²）の 3 区制とした．

調査は，萌芽日，収量および品質，可販率，病害抵抗性，草丈，茎径，茎葉重，GI（生育指数），貯蔵根 Brix について行った．収量調査は露地長期どり栽培で行い，収穫は 6 年株が 2002 年 4 月 10 日から 10 月 7 日まで 181 日間，7 年株が 2003 年 4 月 18 日から 10 月 3 日まで 170 日間行った．いずれも春どり終了後，立茎数を株当たり 6 本として順次立茎し，萌芽が停止するまで立茎収穫した．露地長期どり栽培の立茎方法および立茎数の考え方は，当場の慣行（元木ら，2004c）に準じた．収量調査は，25 cm 以上に伸びた若茎と奇形および病虫害茎のすべてを地際から切りとって先端から 25 cm 長に調製し，茎数および茎重を調査した．萌芽日は試験区の 50%以上の株が萌芽した日で示した．生育調査は，

6年株の茎葉刈りとり時の2002年12月1日に行った。このうち、病害抵抗性は既報(Motoki *et al.*, 2006b)に準じて養成茎の適正立茎数(6本)に対する茎葉刈りとり時の養成茎の残存割合で評価した。GIは地上部の生育量を評価する指標であり(元木, 2003b, 2006b; 上杉, 1998b), 地際から20 cm部分の茎断面積と有効草丈(群として茎葉容積の95%の高さ)との積を調査株数(5株)で割った値で示した。茎数および茎径はそれぞれ5株ずつ調査した。また、貯蔵根 Brix は地下茎より5~10 cmの貯蔵根の Brix 値を屈折糖度計(ATAGO社製)で6年株の2003年3月12日で計測した。

結果および考察

アスパラガスの萌芽日は、6年株では活性炭フロアブル剤の深層処理により無処理区に比べて1~2日遅れる傾向がみられたが、7年株では処理による差が認められず、無処理区と同等であった。6年株、7年株とも、活性炭フロアブル剤の深層処理による増収効果は認められず、無処理区と同等かむしろやや減収した。6年株では処理、無処理で株当本数に差はなく、深層処理区の減収要因は1茎重が軽かったことによるものであった。7年株では、深層処理区の株当本数は無処理区と同等か多かったが、1茎重は同等か軽かった(表5-2)。6年株の株養成後の生育は、活性炭フロアブル剤25倍液の株当たり200 mL区では茎径、茎葉重、GIが無処理区に比べて優れたが、活性炭フロアブル剤50倍液の株当たり400 mL区では同等か劣った。活性炭フロアブル剤の深層処理区では、養成茎の病害の発生が少ない傾向がみられ、無処理区に比べて茎葉刈りとり時の養成茎の残存割合が高かった。草丈、貯蔵根 Brix は、活性炭フロアブル剤の深層処理の影響は明らかではなかった(表5-3)。

アスパラガスの年生が進んだ株では、活性炭フロアブル剤の深層処理の効果は若年株ほど顕著ではなく、年生が進んだ株に活性炭フロアブル剤を処理する場合には、処理濃度および処理量の検討がさらに必要と考える。本試験ではアスパラガスの萌芽前に処理したため株間が判断できず、30 cm間隔で活性炭フロアブル剤を深層処理したが、鱗芽を傷つけた可能性があり、そのため減収した可能性も考えられる。年生が進んだ株では根圏部が広いいため、株間が判断しやすいアスパラガス立茎時の春処理が適すると考えられる。

表 5-2 アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理がアスパラガスの
6～7年株の収量に及ぼす影響

株の年生/ 処理区	萌芽 日 (月日)	規格別本数割合 (%) ^z					可販 ^y 率 (%)	収量 (kg/10a)	無処 理対 比 (%)	1 茎 重 (g)	株当 本数 (本)
		2L	L	M	S	B					
6年株											
無処理	4.11	20	58	12	6	4	90.0	1249	100	26.8	28.0
25倍×200 mL	4.12	17	43	21	12	8	88.8	1122	90	23.6	28.6
50倍×400 mL	4.13	10	60	17	9	5	90.6	1037	83	22.7	28.0
7年株											
無処理	4.23	12	62	18	5	4	92.7	1246	100	23.6	31.6
25倍×200 mL	4.23	11	65	13	7	4	91.6	1222	98	23.0	32.0
50倍×400 mL	4.22	8	59	18	11	4	88.8	1161	93	21.3	33.6

^z規格 (g/本) : 2L 40～, L 15～39, M 10～14, S 7～9, B 5～6, 格外 4以下, 奇形等

^y可販率 (%) : B級規格以上の割合

第 5-3 アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の深層処理がアスパラガスの
6年株の生育に及ぼす影響

処理区	草丈 (cm)	病害			貯蔵根 ^z Brix (%)	GI' ^y
		抵抗 性 (%)	茎径 (mm)	茎葉重 (g/株)		
無処理	200	80	19	419	19.3	2319
25倍×200 mL	206	97	21	499	19.7	2689
50倍×400 mL	194	97	17	293	19.3	2201

^z屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5～10 cm の貯蔵根を測定

^y(地下部重×貯蔵根 Brix) /100

第 6 節．活性炭の浸透性および分散性

第 1 節から第 5 節の結果，アスパラガスの若年株の立茎時に，根圏土壤に活性炭フロアブル剤を深層処理または散水処理することにより増収し，その効果は 1 年以上継続した．活性炭は原料，製造法，形状などにより多くの種類があり，原料や製造法の違いによっても活性炭の性質が変わる（大坪，1995；真田ら，1992；立本，1997）．本節では，第 3 章の結果，アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭フロアブル剤と粉末活性炭 a および粒状活性炭 a を用いて，それぞれの活性炭の浸透性および分散性を検討した．

材料および方法

活性炭の浸透性は，25 mm 径のガラス管（日電理化硝子社製）に 6 号珪砂（0.1～0.5 mm，竹折礦業所社製）または石英砂（0.6～0.85 mm，和光純薬工業社製）を 120 g 充填し，表面から 10 cm 浸透した時間を計測することにより比較した．粒状活性炭 a および粉末活性炭 a（以上，味の素ファインテクノ社製）は，現地での処理法（元木，2003b，2006b）に合わせて，それぞれ 2 g を表面に配置した後，蒸留水 25 mL を流した．一方，活性炭フロアブル剤は活性炭の 20% 分散液であることから，10 g を蒸留水 25 mL と混用して流した．試験区は 4 区制で行った．

活性炭の分散性は，それぞれの活性炭の成分量が 1% になるように蒸留水を加えて調整して試験した．ガラス棒でよく攪拌した後，100 mL を試験管に入れ，1 時間静置して外観の着色度を比較した．さらに，上澄み液 1 mL をろ紙（No.2，Whatman 社製）に垂らして着色度を比較した．

結果および考察

活性炭の浸透性を，充填した資材の表面から 10 cm 浸透した時間で比較すると，活性炭フロアブル剤は石英砂で 3.5 秒，6 号珪砂で 28.8 秒であった．一方，粉末活性炭 a は石英砂では 9.8 秒で浸透したものの，6 号珪砂では 10 cm まで浸透せず，粒状活性炭 a は石英砂，6 号珪砂とも全く浸透しなかった（図 5-7，表 5-4）．

活性炭の分散性は，活性炭フロアブル剤が粉末活性炭 a および粒状活性炭 a に比べて優

れ（図 5-8），1 時間静置しても蒸留水の着色は変わらず，上澄み液も着色したままであった．一方，粒状活性炭 a は分散性が劣り，蒸留水は着色しなかった．また，粉末活性炭 a の分散性は外観は粒状活性炭 a に比べて良好に見えたが，上澄み液は粒状活性炭 a と同様，ほとんど着色していなかった．

以上の結果から，活性炭フロアブル剤は浸透性および分散性が粉末活性炭 a および粒状活性炭 a に比べて優れ，土壌へしみ込みやすいことから，普及技術としてすでに採用されているアスパラガス改植期における散水処理（元木ら，2001），浸漬処理（元木，2003b；元木ら，2002a）およびかん注処理（元木ら，2002a）に加えて，アスパラガス生育期の深層処理により増収すると考えられた．

表 5-4 活性炭の浸透性の比較

資材名	石英砂 (秒)	6号珪砂 (秒)
活性炭フロアブル剤	3.5±0.5	28.8±1.5
粉末活性炭a	9.8±2.6	浸透しない
粒状活性炭a	浸透しない	浸透しない

充填した資材の表面より 10 cm 浸透した時間を計測
±は標準誤差（n=4）を表す

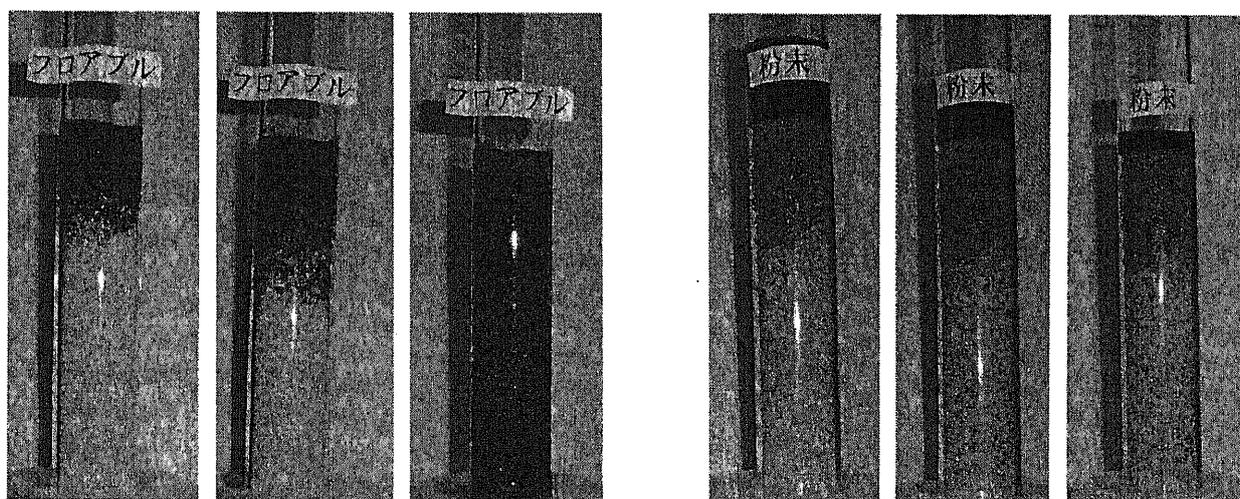


図 5-7 6号珪砂における活性炭の浸透性の比較
左：活性炭フロアブル剤，右：粉末活性炭 a
いずれも左から 5 秒，10 秒，30 秒程度

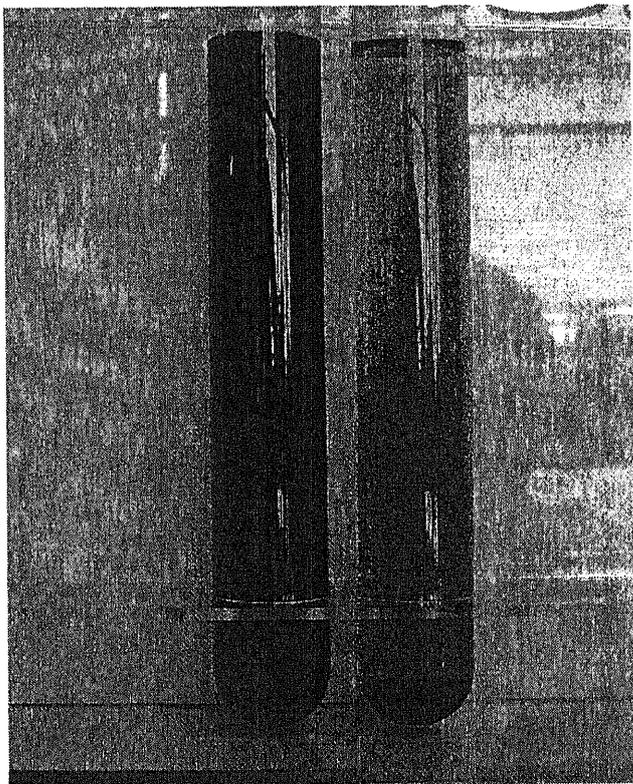


図 5-8 活性炭の分散性の比較

左：活性炭フロアブル剤，右：粒状活性炭 a

第6章 アスパラガスの育苗および定植時における活性炭の効果

第1節. 育苗における活性炭の効果

第1項. 添加量の検討

前章の結果、アスパラガス生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理により増収することが認められ、本技術は2005年の普及技術に採用された（元木ら, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a). アスパラガス改植時の活性炭フロアブル剤の処理（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)や一般的に行われていた耕種的な改植技術（元木, 2002; 上杉ら, 1997）と併用して、アスパラガス生育期に活性炭フロアブル剤を根圏土壌へ処理（元木ら, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a）することにより、アスパラガスのアレロパシーが回避できるとともに増収するため、今後全国的な普及が期待される。

ところで、プラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）から推察すると、植物の中には幼苗の段階からアレロパシー物質を滲出するものが多く、幼苗のアレロパシー活性が強いとされる野菜のアスパラガス（元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e）やキュウリ（浅尾ら, 1998b, 1999b; 藤井・土屋, 1993）、花きのトルコギキョウ（浅尾ら, 2002）やリンドウなど長期間育苗する植物では、アレロパシー物質が自身の幼苗の生育を阻害することが予測される。これらの植物では、育苗段階からアレロパシーを回避できれば、より健全な苗が確保できると考えられる。そこで本節では、アレロパシー物質吸着性能の有無を迅速に評価できる改良プラントボックス法（元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e）を利用して、それぞれの植物に対してアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭を選び、幼苗の段階からアレロパシー物質を滲出するアスパラガス（元木・藤井, 2003）の育苗培養土に活性炭を添加することにより苗の生育を比較した。

材料および方法

育苗培養土は、長野県の野菜育苗で一般的に使われている播種用育苗培養土（N:P:K=110:130:150 mg/L, クラスマン-ダイルマン社製, 以下, K培養土）およびしなのセル育苗培養土（野菜用, N:P:K=300:1000:150 mg/L, 信濃培養土社製, 以下, S培養土）

を用いた。活性炭は、改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）によりアスパラガスのアレロパシー物質に対して高い吸着性能を有すると評価した粒状活性炭 a（味の素ファインテクノ社製）を用いた。K 培養土は、粒状活性炭 a を 136 セルトレイの育苗培養土当たり 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 および 1,280 g（それぞれ 0, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960, 1,920, 3,840 および 7,680 kg/10a に相当，それぞれ育苗培養土の 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 および 128 重量%に相当），S 培養土では、20 g（120 kg/10a に相当，育苗培養土の 2 重量%に相当）を育苗培養土に播種直前に添加攪拌した。2004 年 4 月 9 日にアスパラガスの‘UC157F₁’（日本名：ウェルカム）（Benson・Takatori, 1978）をそれぞれ 136 セルトレイ 2 枚に播種して 60 日間育苗し、2004 年 6 月 8 日の定植適期に 2 枚のセルトレイから中庸な 20 株を選び、発芽率，茎長，茎数，根長，生重，乾物重を調査した。

結果および考察

アスパラガスの発芽率は、K 培養土に粒状活性炭 a を添加した量が 160 g（960 kg/10a）までは 90%以上で育苗に問題なかったが、320 g（1,920 kg/10a）以上では発芽率が徐々に低下し、アスパラガスの根が育苗培養土に進入せず表面に出てしまう異常発芽がみられた。K 培養土は、136 セルトレイ当たり 2.5 g（15 kg/10a）～160 g（960 kg/10a）の活性炭の添加量でアスパラガスの生育促進効果が高く、640 g（3,840 kg/10a）までは生重および乾物重は無添加と同等か優れた。しかし、1,280 g（7,680 kg/10a）になるとアスパラガスの生重および乾物重は劣り、生育も無添加に比べて劣った（表 6-1）。また、S 培養土に粒状活性炭 a を 20 g（120 kg/10a）添加した育苗培養土も、無添加に比べて生育が優れた（表 6-1）。なお、当場の慣行（元木ら，2004c）どおり 2006 年 3 月 17 日に播種したアスパラガスの育苗でも、S 培養土に粒状活性炭 a を 20 g（120 kg/10a）添加して育苗した区では無添加区に比べて生育が優れ、慣行より 2 週間程度早い 5 月 25 日に定植できた。7 月下旬現在も、粒状活性炭を添加した区では慣行に比べて良好な生育を示している（データ省略，達観調査）。

ところで、本試験の粒状活性炭 a の 20 g の処理量は、アスパラガスのアレロパシー回避技術として 2002 年に普及技術に採用されている粒状活性炭 a のアスパラガス改植時の 120 kg/10a 全面散布に相当する（元木，2003b, 2006b；元木ら，2006e）。播種後 58～107 日程

度の定植適期のアスパラガスの幼苗の根からもアレロパシー物質が滲出していることから（元木・藤井，2003；元木ら，2006e），育苗培養土に添加した活性炭がアスパラガスの根から分泌された何らかのアレロパシー物質を吸着してアレロパシーが軽減され，アスパラガスの幼苗の生育が促進された可能性があると考えられた。

表 6-1 アスパラガスの育苗における活性炭の添加量とアスパラガスの発芽率および生育

育苗培養土と活性炭の 添加量	発芽率 (%)	茎長 (mm)	茎数 (本)	根長 (mm)	生重 (g/株)	うち、地下部 (g/株)	乾物重 (g/5株)	うち、地下部 (g/5株)
K培養土+ 0.0 g	96.9	14.1 ±1.1	2.2 ±0.4	8.8 ±4.1	1.0 ±0.2	0.8	3.1	2.3
K培養土+ 2.5 g	99.2	15.1 ±1.5	2.4 ±0.6	8.8 ±2.6	1.1 ±0.2	0.9	3.3	2.4
K培養土+ 5.0 g	99.2	14.8 ±1.2	2.3 ±0.5	9.3 ±5.0	1.2 ±0.2	1.0	3.6	2.5
K培養土+ 10.0 g	99.2	13.9 ±0.9	2.2 ±0.4	8.3 ±2.5	1.1 ±0.2	0.9	3.2	2.3
K培養土+ 20.0 g	96.9	14.6 ±1.5	2.2 ±0.5	7.6 ±2.2	1.1 ±0.1	0.9	3.5	2.5
K培養土+ 40.0 g	100.0	14.8 ±1.2	2.3 ±0.4	7.9 ±3.6	1.2 ±0.1	0.9	3.5	2.5
K培養土+ 80.0 g	97.7	15.1 ±1.0	2.9 ±0.6	7.0 ±2.2	1.0 ±0.2	0.8	3.7	2.5
K培養土+ 160.0 g	99.2	15.1 ±1.5	3.0 ±0.7	8.3 ±2.6	1.4 ±0.1	1.0	4.1	2.7
K培養土+ 320.0 g	89.8	14.1 ±1.5	2.7 ±0.6	7.1 ±1.9	1.1 ±0.2	0.8	3.3	2.2
K培養土+ 640.0 g	76.6	13.6 ±1.6	2.7 ±0.5	8.4 ±2.0	1.1 ±0.1	0.9	3.4	2.3
K培養土+ 1280.0 g	63.3	12.2 ±2.2	2.3 ±0.7	7.4 ±1.5	0.7 ±0.2	0.5	2.3	1.5
S培養土+ 0.0 g	96.1	14.2 ±1.1	2.4 ±0.5	8.7 ±4.1	0.9 ±0.2	0.8	3.1	2.1
S培養土+ 20.0 g	98.4	14.0 ±1.2	2.4 ±0.5	8.0 ±2.4	1.1 ±0.1	0.9	3.1	2.3

±は標準偏差（n=20）を表す

第2項. 活性炭および育苗培養土の種類と活性炭の添加時期の検討

前項の結果，アスパラガスの育苗においてアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる粒状活性炭 a を添加攪拌した K 培養土では，136 セルトレイ当たり 2.5 ～ 160 g（15 ～ 960 kg/10a に相当，育苗培養土の 0.25 ～ 16 重量%）程度の活性炭の添加量でアスパラガスの生育がやや早まる傾向であった。本項では，活性炭および育苗培養土の種類と活性炭の添加時期を検討した。

材料および方法

育苗培養土は，前項で使用した K 培養土および S 培養土を用いた。また活性炭は，改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）によりアスパラガスのアレロパシー物質に対して高い吸着性能を有すると評価した，前項の粒状活性炭 a に加えて，粒状活性炭 f（NORIT 社製）および活性炭フロアブル剤（大塚化学社製）を用いた。粒状活性炭の処理量は，前項の結果から 20 g（120 kg/10a に相当，育苗培養土の 2 重量%）とした。活性炭フロアブル剤は 20% ヤシ殻活性炭を液体中に分散させた懸濁剤であるため，現地の処理法（元木，2002，2003b，2006b；元木ら，2001，2002a，2003a；Motoki *et al.*，2002c，2004a，2006a）に合わせて，25 倍液に希釈して粒状活性炭相当量を育苗培養土に散水した。試験区として前述の 2 育苗培養土と 3 活性炭，標準区として活性炭を処理しない区を設けた。また K 培養土では，活性炭の添加時期を変えて育苗培養土調整時と播種直前の 2 処理で比較した。2003 年 12 月 2 日にアスパラガスの‘UC157F1’をそれぞれ 136 セルトレイ 2 枚に播種して 90 日間育苗し，2004 年 3 月 1 日の定植適期に 2 枚のセルトレイから中庸な 40 株を選び，発芽率，茎長，茎数，根長，生重，乾物重を調査した。

結果および考察

活性炭を添加した育苗培養土では，標準区に比べてアスパラガスの生重および乾物重は同等か重く，乾物重における活性炭添加の効果は，粒状活性炭 a，粒状活性炭 f，活性炭フロアブル剤の順に，標準区対比で，K 培養土がそれぞれ 111%，144%，133%，S 培養土がそれぞれ 114%，171%，100% であり（表 6-2），特に K 培養土に比べて S 培養土では粒

状活性炭 f が標準区に比べて有意に大きかった。また、活性炭を添加した育苗培養土の茎数は、いずれの育苗培養土も標準区と同等か優れ、前項と同様、アスパラガスの生育がやや早まる傾向であった。

K 培養土を用いて試験した活性炭の添加時期は、育苗培養土調整時に比べて播種直前に活性炭を添加した育苗培養土の方がアスパラガスの生重および乾物重が優れ、生育がやや早まる傾向であった。播種直前に粒状活性炭 f を添加した K 培養土の生育が優れる原因として、K 培養土はホワイトピート、ブラックピート、バーミキュライト、パーライト、湿潤材、肥料、Clay Granule を混ぜ合わせた育苗培養土のため、育苗培養土自体または添加資材が保持する何らかの化学物質を、育苗培養土調整時に予め添加した粒状活性炭 f が吸着し、播種時に活性炭によるアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が低下したためと考えられる。

以上の結果から、アスパラガスの育苗では播種直前の育苗培養土に活性炭を添加する場合、アレロパシー物質吸着性能を十分に確保できる量を添加するか、ほかの活性炭に比べて土壌浸透性が優れる活性炭フロアブル剤（元木ら、2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a）を育苗培養土に直接散水するとアスパラガスの生育が早まると考えられる。なお、セルトレイの底面から育苗培養土中に、土壌浸透性が優れる活性炭フロアブル剤（元木ら、2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a）を混和させた水を吸い上げる底面給水法は省力的な処理法であると考えられ（図 6-1）（元木、未発表）、その処理量や効果など今後の研究が待たれる。

本研究の結果、アレロパシー評価法により選抜した、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭を用い、アスパラガスの育苗培養土に活性炭を添加することにより、幼苗の段階から滲出するアレロパシー物質を活性炭が吸着し、健全な苗生産ができると考えられる。

ところで本研究を応用して、過去の報告からアレロパシー活性が強いと報告された作物を中心に、活性炭を使用した場合に経済栽培できる可能性がある 8 科 31 品目 43 品種について、育苗培養土に活性炭を添加する手法（元木ら、2005a）を使って生育促進効果の高い作物をスクリーニングした。活性炭は、改良プラントボックス法（元木・藤井、2002; 元木ら、2006e）を用いてアレロパシー物質吸着性能を評価した結果、アスパラガス、トルコギキョウ、キュウリの 3 種の作物に対していずれもアレロパシー物質吸着性能が優れた粒状活性炭 a および粒状活性炭 f を本研究相当量の 20 g（120 kg/10a に相当、育苗培養土の 2 重量%）添加した。その結果、前述のアスパラガスのほかにも、アブラナ科キャベツ

(*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) の‘若峰’ (タキイ種苗), アブラナ科ブロッコリー (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plen.) の‘ピクセル’ (サカタのタネ) と‘ハイツ’ (タキイ種苗), ウリ科カボチャ (*Cucurbita moschata* Duch.) の‘ひかりパワーゴールド’ (ときわ研究場), ウリ科キュウリ (*Cucumis sativus* L.) の‘夏すずみ’ (タキイ種苗) と‘新北星 1 号’ (ときわ研究場), ウリ科ニガウリ (*Momordica charantia* L.) の‘太れいし’ (タキイ種苗), キク科リーフレタス (*Lactuca sativa* L.) の‘晩抽性レッドファイヤー’ (タキイ種苗), ナス科トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill.) の‘千果’ (タキイ種苗), リンドウ科トルコギキョウ (*Eustoma russellianum* G. Don) の‘長花交 28 号’ (長野県原種センター) と‘ロジーナピンクフラッシュ’ (サカタのタネ) (図 6-2) などで育苗培養土に活性炭を添加すると生育が早まる傾向が認められた (元木ら, 2005a) (アスパラガス, キュウリ, トルコギキョウ以外のデータはいずれも未発表). このうち, キュウリ (浅尾ら, 1998b, 1999b; 藤井・土屋, 1993), トルコギキョウ (浅尾ら, 2002) のほか, リーフレタス (浅尾ら, 2001b), トマト (藤井, 2000; 藤井・土屋, 1993; 水谷純, 1984; 土屋・大野, 1989; 土屋, 1990; Yu・Matsui, 1993) はアレロパシー活性が強い作物としてすでに報告されている. 一方, 比較検討したアブラナ科ハクサイ (*Brassica campestris* L.) はアレロパシー活性が弱いと報告されており (浅尾ら, 2001b), 本研究でもハクサイの‘優黄’ (タキイ種苗) は粒状活性炭 a および粒状活性炭 f の育苗培養土への添加の効果が認められなかった.

雑草や薬用植物では, アレロパシー活性に科間差異があることが報告されており (Fujii *et al.*, 2003; 服部ら, 2004; 猪谷ら, 1998), 野菜のキュウリ (浅尾ら, 1998a) や葉菜類 (浅尾ら, 2001b) の水耕栽培でもアレロパシー活性に種間および科間差異が認められている. 本研究でも数種の指標作物で科間差異が認められ, キャベツ, ニガウリなどでは種間差異も認められた (元木ら, 未発表). このことから, 本手法を用いてアレロパシー耐性系統を幼苗の段階から選抜することが可能になり, アレロパシー活性の強い作物の新たな育種の方向として, アレロパシー耐性育種の可能性が考えられる.

これら一連の結果から, ある作物が根からアレロパシー物質を滲出する場合, その作物に対してアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭を選び, 育苗培養土に活性炭を添加する方法によりその作物のアレロパシーを回避でき, 健全な苗生産ができると考えられた.

表 6-2 アスパラガスの育苗における活性炭および育苗培養土の種類と
活性炭の添加時期の影響

活性炭および育苗培養土の種類	茎長 (mm)	茎数 (本)	根長 (mm)	生重 (うち, 地下部) (g/株)		乾物重 (うち, 地下部) (g/5株)	
K培養土(標準)	27.1 ±3.6	2.0 ±0.3	7.2 ±2.4	4.8 ±0.4	1.3	0.9 ±0.1	0.3
K培養土+粒状活性炭a	27.6 ±4.0	2.1 ±0.3	6.5 ±1.6	4.8 ±0.2	1.4	1.0 ±0.1	0.4
K培養土+粒状活性炭f	29.3 ±3.9	2.2 ±0.4	6.4 ±1.9	5.5 ±0.4	1.7	1.3 ±0.2	0.4
K培養土+活性炭フロアブル剤	27.6 ±4.3	2.1 ±0.3	7.0 ±1.6	5.0 ±0.0	1.5	1.2 ±0.1	0.4
S培養土(標準)	24.2 ±3.5	2.0 ±0.2	6.0 ±1.6	3.7 ±0.4	1.2	0.7 ±0.1	0.2
S培養土+粒状活性炭a	25.1 ±2.8	2.0 ±0.2	7.0 ±2.0	4.3 ±0.3	1.4	0.8 ±0.1	0.3
S培養土+粒状活性炭f	25.2 ±3.1	2.0 ±0.2	7.0 ±1.9	4.8 ±0.2	1.7	1.2 ±0.2	0.3
S培養土+活性炭フロアブル剤	22.2 ±3.9	2.1 ±0.4	6.0 ±1.2	3.7 ±0.3	1.1	0.7 ±0.1	0.2
K培養土(育苗培養土調整時活性炭剤)	27.1 ±3.6	2.0 ±0.3	7.2 ±2.4	4.8 ±0.4	1.3	0.9 ±0.1	0.3
K培養土(播種直前活性炭添加)	28.3 ±3.2	2.2 ±0.4	6.3 ±2.3	5.0 ±0.2	1.2	1.1 ±0.0	0.4

±は標準偏差 (n=40) を表す

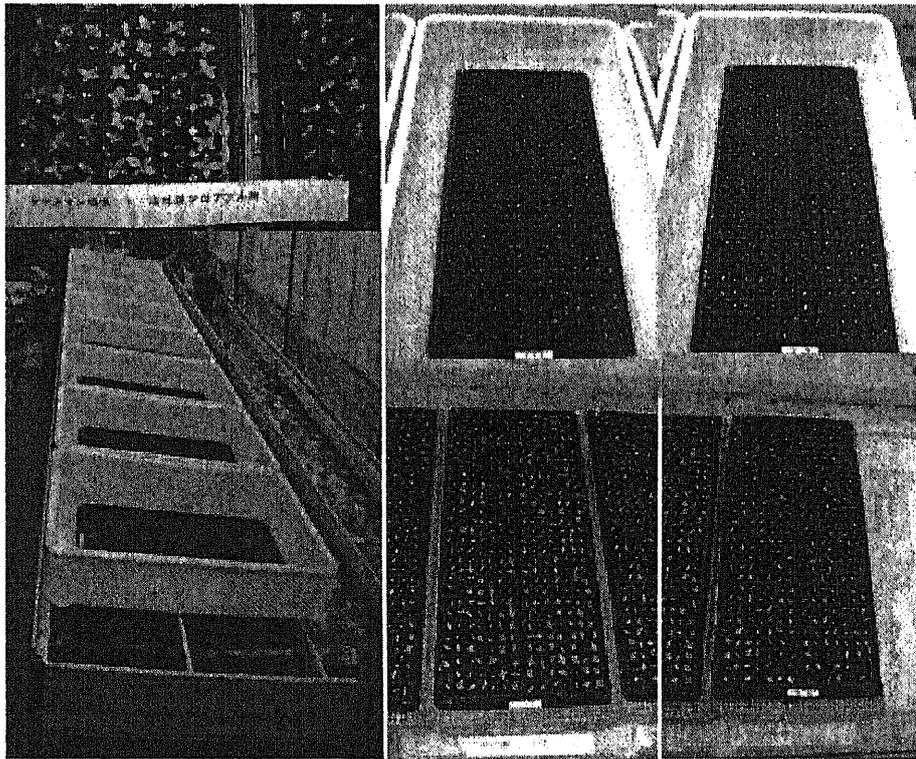


図 6-1 底面給水法を用いたトルコギキョウの育苗培養土への活性炭フロアブル剤の処理
写真はいずれも左が活性炭フロアブル剤添加, 右が無添加
右上: 播種直後, 右下: 定植時

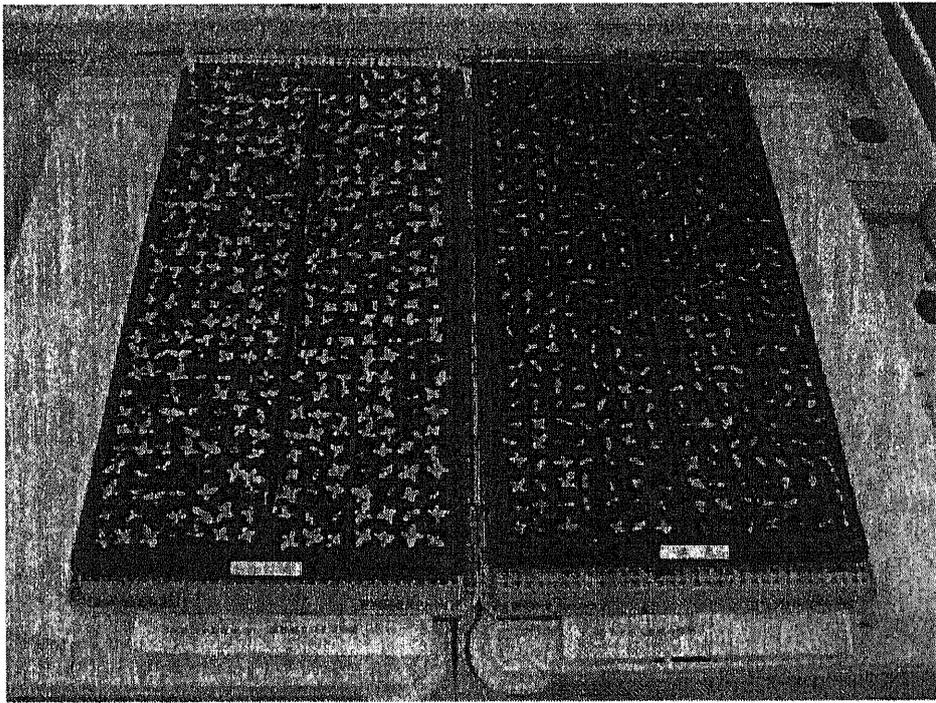


図 6-2 トルコギキョウの育苗における粒状活性炭 a の添加効果
左：粒状活性炭 a 添加，右：無添加

第2節. 定植時における活性炭フロアブル剤の浸漬処理の効果

第1項. 1年養成株によるバイオアッセイ

前節の結果, アスパラガスの育苗における活性炭添加の効果が認められた(元木ら, 2005a). 第3章第1項のプラントボックス法(藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992)によるアレロパシー活性の評価の結果, アスパラガスの播種後54~114日の茎葉緑色時から黄化期の幼苗でもアレロパシー活性が強かったことから(元木・藤井, 2003), アスパラガス定植時の幼苗の根からもアレロパシー物質が滲出されていると考えられる. そのため, アスパラガス定植時に浸透性および分散性が優れる活性炭フロアブル剤(元木ら, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2006a)を処理することにより, 定植時のアスパラガスの幼苗自身の生育阻害が軽減される可能性が考えられる. そこで本項では, 第4章第1節の活性炭フロアブル剤の処理法(Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)に準じて, アスパラガスの1年養成株でバイオアッセイを行った.

材料および方法

アスパラガスは, 2000年3月17日に‘UC157F₁’を136セルトレイ(育苗培養土はブリティーソイルゴールドN180)に播種して育苗し, 2000年6月25日に1/5000 aのワグネルポット(藤原製作所社製)に定植した. ワグネルポットには, 吸収根を含む‘UC157F₁’の5年株の貯蔵根を75℃で5日間乾燥させた後, 粉碎機で粉碎した粉末(以下, 根粉末)を上杉らの手法(1997)を参考に人工育苗培養土(みまき培養土, 大塚産業社製)へ1ポット(育苗培養土1,000 gDW)当たり10 g(500 kg/10aに相当)を添加攪拌した. 活性炭フロアブル剤の浸漬処理は, 定植日の2000年6月25日にセルトレイごと活性炭フロアブル剤の25倍希釈液に15分間浸漬した後に定植した. 参考として, 既報(Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)に準じて活性炭フロアブル剤の25倍希釈液を定植前日の2000年6月24日に200 mL散水処理し, 24時間経過後の2000年6月25日に定植した区を設けた. また無処理区として, 根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の区を, 対照区として根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない同量の水道水を散水しただけの区を設けた. 施肥, 誘引など栽培管理は既報(Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)およびアスパラガスの当場の慣行(元木ら, 2004c)に準じた.

調査は、地上部、地下部とも 2000 年 12 月 5 日に行った。試験区は 1 区 8 株とした。

結果および考察

活性炭フロアブル剤の浸漬処理区は、散水処理区 (Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) と同様、アスパラガスの根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアレロパシーが発現する状態の無処理区に比べて、茎重、貯蔵根数、地下部重などが増加した (表 6-3)。地下部重と貯蔵根 Brix との積で示される株養成量は翌年の収量予測に使われる指標であるが (元木, 2003b, 2006b; 上杉, 1998a), 活性炭フロアブル剤の浸漬処理区は、散水処理区 (Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) と同様、無処理区より大きく、水道水を散水しただけの対照区と比べても優れた。

アスパラガスの乾燥根抽出物から、アレロパシー物質として Ferulic acid, Isoferulic acid, Malic acid, Citric acid, Fumaric acid, Caffeic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4-methylene dioxycinnamic acid が単離・同定されており (Hartung *et al.*, 1990; メリアサンディアウタミら, 2005), 活性炭フロアブル剤がそれら化学物質あるいは同定されていない未知のアレロパシー物質を吸着し、アスパラガスのアレロパシーが軽減された可能性がある。また、アスパラガスの根からの分泌物がアスパラガスの幼苗の生育を阻害したという報告があり (Hazebroek *et al.*, 1989; Young, 1984; Young・Chou, 1985), アスパラガスの根の分泌物から、アレロパシー物質として Caffeic acid が単離・同定されているが (Miller *et al.*, 1991), 活性炭フロアブル剤は Caffeic acid (分子量=180.16, ナカライテスク社製) を吸着しなかったことから (元木, 未発表), 活性炭フロアブル剤がアスパラガスの根から分泌された Caffeic acid 以外の何らかのアレロパシー物質を吸着し、アスパラガスのアレロパシーが軽減された可能性がある。

表 6-3 活性炭フロアブル剤の浸漬処理がアスパラガスの生育に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤処理	草丈 (cm)	茎数 (本)	最太			最太		貯蔵 根数 (本)	地下 部重 (g)	貯蔵根 ^{*)} Brix(%)	株養 ^{*)} 成量
			茎径 (mm)	茎重 (g)	根長 (cm)	根径 (mm)					
無処理 ^{*)}	64.3 ab ^{*)}	13.9 NS	1.9 a	9.5 b	68.4 NS	3.1 NS	36.0 b	72.4 b	30.5 c	22.1	
対 照 ^{*)}	55.9 b	17.8 NS	1.4 b	12.6 a	66.9 NS	3.0 NS	44.8 b	81.3 b	33.0 a	26.8	
浸漬処理	77.0 a	16.8 NS	2.1 a	13.9 a	65.6 NS	3.4 NS	60.5 a	121.7 a	33.0 a	40.2	
散水処理	72.6 a	14.0 NS	2.0 a	14.3 a	66.7 NS	3.3 NS	57.4 a	120.0 a	32.0 b	38.4	

^{*)} 根粉末を添加して活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^{*)} 根粉末を添加せずに活性炭フロアブル剤も加えない

^{*)} 異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す (n=10)

^{*)} 屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5 ~ 10 cm の貯蔵根を測定

^{*)} (地下部重×貯蔵根 Brix) /100

第2項. 改植圃場における処理効果

前項の結果, 活性炭フロアブル剤の散水処理(元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)と同様, アスパラガス定植時の浸漬処理でもアスパラガスのアレロパシー軽減効果がみられた. そこで本項では, 圃場レベルでアスパラガス定植時の活性炭フロアブル剤の浸漬処理を検討した.

材料および方法

長野県野菜花き試験場のアスパラガスの露地長期どり栽培の7年株の改植圃場(標高346 m, 沖積埴壌土, 腐植含量3.1%)および長野県更埴市(現千曲市)屋代のハウス半促成長期どり栽培の13年株の改植圃場を利用して, 圃場レベルでアスパラガス定植時の活性炭フロアブル剤の浸漬処理を検討した.

(1) 7年株の改植圃場における処理効果

2000年6月14日にアスパラガス7年株の春どりを打ち切った後, 根株のすべてを乗用トラクターで圃場にすき込んだ. 改植のアスパラガスは, 2000年3月17日に‘UC157F₁’を128セルトレイに播種して育苗した苗を用い, 改植当日の2000年6月16日に改植前と同じ位置に定植した. 活性炭フロアブル剤の浸漬処理は, アスパラガスの定植当日に活性炭フロアブル剤の25倍希釈液(原液で1 L/10a)にセルトレイを15分間浸漬した後に定植した. 参考として, 活性炭フロアブル剤の25倍希釈液を定植位置へうね上から株当たり500 mL散水処理した区(40 L/10a)を設けた. また無処理区として, 水だけを散水した区を設けた. 試験区はいずれも1区10株(4.5 m²)の2区制とした. 調査は, 2000年12月4日に地上部の茎数, 草丈, 最太茎径および茎重, 2001年12月13日の抜根後に地下部の貯蔵根数, 地下部重および貯蔵根 Brix について行った. 調査方法は第4章第1節第3項(Motoki *et al.*, 2002c, 2004a)に準じ, 施肥, 誘引など栽培管理はアスパラガスの当場の慣行(第2章第1節参照)(元木ら, 2004c)に準じた.

(1) 13年株の改植圃場における処理効果

改植のアスパラガスは, 1999年3月3日に‘UC157F₁’を128セルトレイに播種して育苗した苗を用い, 1999年6月8日に定植した. 試験区の活性炭フロアブル剤の浸漬処理は, 定植当日に活性炭フロアブル剤の25倍希釈液(原液で1 L/10a)にセルトレイを15

分間浸漬した後に定植した。参考として、活性炭フロアブル剤の 25 倍希釈液を 1999 年 6 月 1 日に動力噴霧器を用いて全面に 25 L/10a (原液当たりでは同量の 1 L/10a) 散水処理し、カルチで耕起後にマルチをした散水処理区と水だけを散水した無処理区を設けた。処理面積は 1 区 60 m² の 2 区制とした。施肥、誘引など栽培管理は現地の慣行 (第 4 章第 1 節第 3 項参照) (Motoki・Araki, 2001) に準じた。生育調査は、1 年養成株が 1999 年 11 月 26 日、2 年株が 2000 年 12 月 4 日に 1 区 5 株の 2 区制で行った。収量調査は、2 年株春どりが 2000 年 4 月 19 日から 5 月 5 日まで 17 日間、3 年株春どりが 2001 年 3 月 14 日から 4 月 20 日まで 38 日間収穫し、1 区 20 株の 2 区制で行った。本試験は、JA ちくま、長野農業改良普及センターの協力を得て試験を進めた。

結果および考察

活性炭フロアブル剤の浸漬処理区のアスパラガスの生育は、散水処理 (元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) と同様、いずれも無処理区と同等か優れた (表 6-4, 6-5)。特に茎数、茎重、貯蔵根数、地下部重、株養成量、GI¹が無処理区に比べて優れ、活性炭フロアブル剤の浸漬処理は圃場レベルでもアスパラガスのアレロパシー回避効果が高いと推察された。これは、活性炭フロアブル剤がアスパラガス定植時の幼苗の根から滲出するアレロパシー物質 (元木・藤井, 2003) を吸着したためであると考えられ、アスパラガスの新植時にも応用できるが、改植圃場にアスパラガスを定植する場合、改植圃場に多く含まれるアスパラガスのアレロパシー物質を吸着させる必要があるため、改植圃場への活性炭フロアブル剤の散水処理 (元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) または粒状活性炭 a (元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2006e) および粉末活性炭 a (元木, 2003b, 2006b) の施用と併用して、活性炭フロアブル剤の浸漬処理を行うことが望ましい (図 6-3)。また、更埴市 (現千曲市) 屋代のアスパラガス 2 年株の生育調査の結果、活性炭フロアブル剤の浸漬処理区の地下部の生育は 2 年株でも無処理区より優れ (表 6-5)、活性炭フロアブル剤の浸漬処理がその後のアスパラガスの生育にも影響していると考えられた。2 年株春どりの収量は、活性炭フロアブル剤の浸漬処理によりやや増え、2 年株に比べて収穫期間が長くなった 3 年株春どりでは、浸漬処理区の収量、1 株当たりの収穫本数、1 茎重ともに、散水処理 (元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a) と同様、無処理区に比べて優れた (表 6-6)。アスパラガス定植

時の活性炭フロアブル剤の浸漬処理は、散水処理（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）と同様、効果が現れるまでに時間がかかったが、その効果は1年以上継続した。

表 6-4 活性炭フロアブル剤の浸漬処理がアスパラガスの生育に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤処理	10 a 当		最大			貯蔵	地下	貯蔵根 ³ Brix(%)	株養 ⁴ 成量	GI ⁵
	たり使 用量(L)	草丈 (cm)	茎数 (本)	茎径 (mm)	茎重 (g)	根数 (本)	部重 (g)			
無処理 ¹	—	103 b ²	35 c	5.4 b	190 c	144 b	808 b	25.1 NS	204 b	1254
浸漬処理	1	101 b	43 b	5.5 b	340 a	183 a	1377 a	23.1 NS	318 a	1632
散水処理	40	114 a	49 a	6.1 a	252 b	204 a	1473 a	22.0 NS	324 a	1536

¹ 活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

² 異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す (n=20)

³ 屈折糖度計 (ATAGO 社製) により地下茎より 5 ~ 10 cm の貯蔵根を測定

⁴ (地下部重×貯蔵根 Brix) /100

⁵ 株当たり茎断面積 (株元 20 cm) × 有効草丈

表 6-5 活性炭フロアブル剤の浸漬処理がアスパラガスの生育に及ぼす影響
(長野県更埴市(現千曲市)屋代)

活性炭フ ロアブル 剤処理	10 a 当			最太		貯蔵	地下	鱗芽	貯蔵根 [†] Brix(%)	株養 [‡] 成量
	たり使 用量(L)	草丈 (cm)	茎数 (本)	茎径 (mm)	茎重 (g)	根数 (本)	部重 (g)	群数 (群)		
(1999) [‡]										
無処理 [‡]	-	139 b [*]	15.7 b	5.6 NS	2930 a	113 c	208 b	4.0 c	22.3 NS	80
浸漬処理	1	146 a	20.0 a	6.0 NS	2410 b	176 a	663 a	8.3 a	22.3 NS	149
散水処理	1	121 c	11.6 c	5.0 NS	2295 c	132 b	618 a	5.5 b	21.6 NS	134
(2000)										
無処理	-	-	-	-	-	174 b	720 b	-	7.5 b	54
浸漬処理	1	-	-	-	-	305 a	2500 a	-	11.9 a	297
散水処理	1	-	-	-	-	375 a	2300 a	-	12.1 a	278

[‡]活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

[‡]1999 年 11 月 26 日調査, 2000 年 12 月 4 日調査

^{*}活性炭フロアブル剤を加えないアスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^{*}異なる小文字間に Duncan の多重検定により処理区間で 5%水準の有意差あり, NS は有意でないことを示す
(1999 年が n=20, 2000 年が n=12)

[†]屈折糖度計(ATAGO 社製)により地下茎より 5~10 cm の貯蔵根を測定

[‡](地下部重×貯蔵根 Brix) / 100

表 6-6 活性炭フロアブル剤の浸漬処理がアスパラガスの収量に及ぼす影響
(長野県更埴市(現千曲市)屋代)

活性炭フ ロアブル 剤処理	10a当 たり使 用量(L)	規格別本数割合(%) ^{*)}					可販 率(%)	収量 (kg/a)	1茎 重(g)	株当 本数 (本)
		2L	L	M	S	B				
(2000) [†]										
無処理 [‡]	-	-	18.6	32.0	21.5	-	72.1	17.3	11.3	6.9
浸漬処理	1	-	25.0	31.9	16.7	-	73.6	19.5	12.2	7.2
散水处理	1	-	18.2	35.6	21.2	-	75.1	13.4	10.4	5.9
(2001)										
無処理	-	2.3	17.0	16.7	21.7	15.0	72.7	35.5	12.7	12.6
浸漬処理	1	10.5	45.7	18.2	14.0	7.8	96.1	142.2	29.6	21.6
散水处理	1	17.8	49.7	13.2	12.7	3.6	96.9	135.4	36.9	16.5

^{*}活性炭フロアブル剤はいずれも 25 倍希釈液

[†]収穫は 2000 年が 4 月 19 日～5 月 5 日, 2001 年が 3 月 14 日～4 月 20 日

[‡]活性炭フロアブル剤を加えない, アスパラガスのアレロパシーが発現する状態

^{*}規格 (g/本): 2L 40～, L 15～39, M 10～14, S 7～9, B 5～6, 格外 4 以下, 奇形等

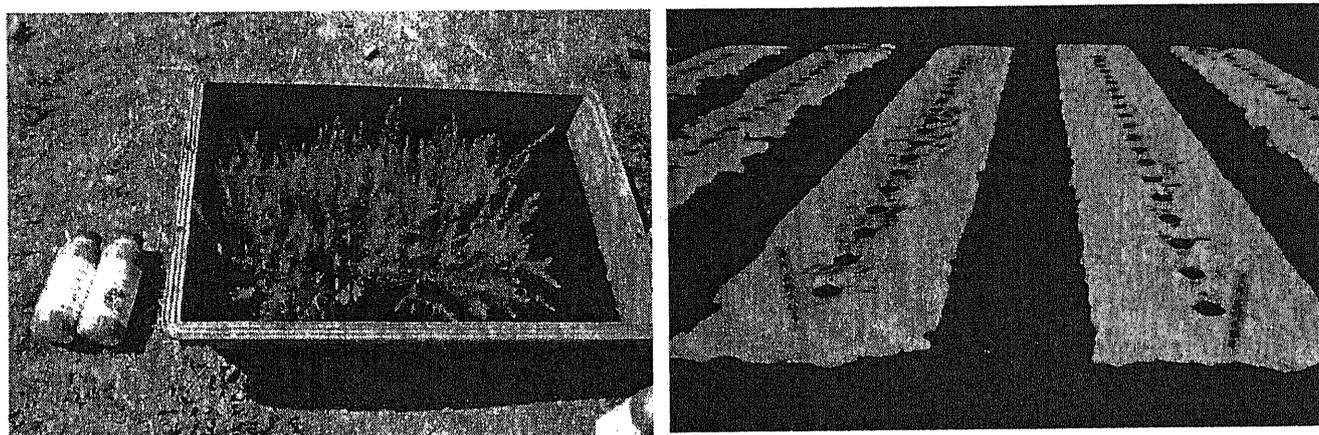


図 6-3 活性炭フロアブル剤の浸漬処理

左: 定植する苗を浸漬する

右: 改植圃場に活性炭を処理した後, 浸漬処理した苗(左図)を定植する

第7章 総合考察

第1節. アスパラガス連作障害のアレロパシーの関与

ユリ科の多年性作物であるアスパラガスは、毎年播種したり、定植したりする必要がない反面、収穫と株の維持および株養成とのバランスをとることが難しく（元木，2003b）、改植時の連作障害の発生なども問題になっている（岸田・前田，2004；元木，2002，2003b，2006b；土屋，1989，1990；上杉ら，1997）。アスパラガスはアレロパシー活性が最も強い作物の一つであり（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）、改植時の連作障害の要因の一つにアレロパシー物質の存在が指摘されている（Benson，2002b；Hartung *et al.*，1990；Hazebroek *et al.*，1989；Keulder，1997；Lake *et al.*，1993；Miller *et al.*，1991；Peirce・Miller，1993；Scofield，1991；Scofield *et al.*，1997；Shafer・Garrison，1986；Yang，1982；Young，1984；Young・Chou，1985；Young，1986）。

沖積土壌におけるアスパラガスの連作障害がアスパラガスの根から分泌されたアレロパシー物質により発生していることを確認するため、長野県野菜花き試験場のアスパラガスの新植および改植圃場（標高 346 m，沖積堆積土，腐植含量 3.1%）の収量および生育の推移を調べるとともに、数種の指標作物を用いてアスパラガスの連作土壌のバイオアッセイを行った。さらに生育阻害活性の強かったアスパラガス 10 年株の根圏土壌について、土壌病害菌の集積の可能性、塩類集積や pH 値および無機養分の異常によるアスパラガスの連作障害の可能性を検討するとともに、アスパラガス 10 年株の根圏土壌からアレロパシー物質の単離・同定を試みた。

その結果、アスパラガスの改植圃場では、新植圃場に比べてアスパラガスの生育が劣り、減収することが認められた。その原因は土壌病害菌の集積や土壌の化学性の変化ではなく、土壌中に何らかのアレロパシー物質が存在する可能性が示唆され、特にアスパラガスの根圏土壌でアレロパシー活性が強いことが明らかとなった。上杉ら（1997）は、長野県野菜花き試験場で 10 年間アスパラガスを栽培した圃場のうね中央およびうね間（通路）の土壌と、アスパラガスの栽培前歴のない（無作付け）圃場の土壌とで、それぞれアスパラガスを定植した。その結果、10 年間アスパラガスを栽培した圃場の土壌では無作付けの土壌に比べてアスパラガスの生育が劣り、うね間よりうね中央の方が生育が劣ったと報告し

た。アスパラガスの根の分布は広く、定植位置を基点として水平方向に幅 1.5 m 程度、垂直方向には 1 m 以上の深さに達する (元木, 2003b, 2006b; 八鍬, 1986)。根全体の調査では、3 年株で総根数 396 本、総根長 221 m となり (Jones · Robbins, 1924)、深さ 3 m に達するという報告 (Weaver · Bruner, 1927) もある。根の深度分布では、地表から 30 cm までに 72.4% の根が存在しているという報告 (Scott *et al.*, 1939) や 12 年株では深さ 40 cm までに 88% の根があったという報告 (八鍬ら, 1982b)、横方向の分布でも 3 年株は株から半径 80 cm にほとんど根がなかったが、6 年株では 169 本の根が伸長したという報告 (八鍬ら, 1982a) もある。また、年生の進んだアスパラガスの栽培圃場では、根はうね中央に集中し、うね間には少ないことが報告されている (大串, 1998; 上杉ら, 1997)。これらのことから、アスパラガスを長期間栽培した圃場の土壌には、根から分泌された、あるいは根の腐敗分解により滲出したアレロパシー物質が蓄積されており、その量は根の分布量が多いうね中央に多いと判断される。また、アスパラガスの茎葉を土壌中にすき込んでも生育障害や減収の大きな原因にはならなかったことから、アスパラガス自身の根から分泌されるアレロパシー物質がアスパラガス改植時における連作障害の一要因であると推察された。

ところで、アレロパシー物質に関わる報告の多くは、植物体の根あるいは茎葉の抽出物にアレロパシー物質が含まれているという報告がほとんどであり (初田ら, 1961, 1963; 水谷純, 1988; 高杉ら, 1977; 土屋, 1990; 柳川, 1978; Yanagawa *et al.*, 1972)、植物が栽培されている土壌中からアレロパシー物質を抽出しようとする試みはあまり成功していない。これまでに報告されている例では脂肪酸関連物質とフェノール性物質がほとんどであり、これらのアレロパシー物質は土壌中で安定な物質であることが多いとされる (藤井, 1994, 2000)。ササ (*Sasa cernua*) の根圏土壌中からはアレロパシー物質として *p*-coumaric acid, ferulic acid, vanillic acid, *p*-hydroxy benzoic acid, *p*-hydroxy benzaldehyde が単離・同定されており (Mizutani · Fujii, 2001)、アスパラガスの根圏土壌中からも、アレロパシー物質としてフェノール性物質である 3,4-dihydroxy benzoic acid, 2,6-dihydroxy benzoic acid, 3,4-dihydroxy phenyl acetic acid, 3,4-dimethoxy acetophenone, β -(*m*-hydroxy phenyl) propionic acid が単離・同定されている (Young, 1986)。しかし、Young の報告 (1986) や新鮮根ないし乾燥根抽出物からアスパラガスのアレロパシー物質を単離・同定した報告 (Hartung *et al.*, 1990; メリアサンディアウタミら, 2005; Miller *et al.*, 1991; Young, 1986) では、レタスやトマトなどを検定植物としたバイオアッセイの検討だけに留まっており、その量および持続性は圃場レベルで十分な検討がなされていない。そのため、これらの物質

が沖積土壌で問題になっているアスパラガスのアレロパシーの直接の原因物質かどうかは明確ではない。

そこで本研究では、最も生育阻害活性が強かったアスパラガス 10 年株の根圏土壌からアレロパシー物質の単離・同定を試みた。その結果、アスパラガス 10 年株の根圏土壌からの 80%メタノール抽出物および溶媒分画の水溶性画分にもアスパラガスだけでなく、レタス、シロクローバー、アマランサスに対して生育阻害活性が認められ、さらにレタスでは発芽阻害活性も確認された。核磁気共鳴法、GC/MS 法、キャピラリー電気泳動法により化学構造を解析した結果、酢酸の可能性が示唆されたが、酢酸は活性炭には吸着されず、アスパラガスの改植圃場で広く普及している活性炭を利用したアスパラガスのアレロパシー回避技術（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c, 2006e; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）を説明できなかったため、アスパラガスのアレロパシー物質の主成分は酢酸ではないと推察された。

根圏土壌中からアレロパシー物質を抽出し、実際の栽培圃場で作用していることを証明することは、アレロパシーを制御するうえできわめて重要である。今後は抽出の有効性が確認されたアスパラガス 10 年株の根圏土壌の 80%メタノール抽出物を用いて、活性炭フロアブル剤などのアスパラガスのアレロパシー物質の吸着資材を使いながらアレロパシー物質を単離・同定し、その物質の圃場レベルでの作用性を検討するとともに、さらにその物質がほかの植物の生育および収量に及ぼす影響を検討する必要があると考えられる。

第 2 節. アレロパシー評価法の開発

アレロパシーの作用経路には大きく分けて根からの滲出（exudation）、茎葉や残さからの溶脱（浸出, leaching）、葉などからの揮散（volatilization）があり（藤井, 1994, 2000; 藤井・土屋, 1993）、それぞれに特異的なアレロパシー活性評価法として、プラントボックス法（藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992）、サンドイッチ法（藤井, 1994, 2000; Fujii *et al.*, 2004）、ディッシュパック法（藤井, 1994, 2000; 藤井ら, 2000）が開発され、アレロパシーの存在の証明に利用されている。

アレロパシーに関する研究は、生育阻害や生育促進など現象面の観察と植物体内の成分分析が多く、両者を結びつけてアレロパシー物質が実際に圃場レベルで作用していることを証明した研究はほとんどない。作物の連作障害（西尾, 1983）の要因の一つとして、根

から分泌されるアレロパシー物質が関与している事例がいくつか報告されており（藤井, 1994, 2000）, アレロパシー物質の化学構造が特定されている事例もあるが（浅尾ら, 1999b, 2002; Asao *et al.*, 2003; 藤井, 1994, 2000; 初田ら, 1961, 1963; Kamo *et al.*, 2003; Kitazawa *et al.*, 2005; Lake *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 1991; 西原ら, 2004; 柳川, 1978; Yanagawa *et al.*, 1972; Yongqing, 2005; Young, 1986; Zahida *et al.*, 2002）, ほとんどはアレロパシー物質の量および実際の栽培圃場での作用性の十分な検討がなされていない。それは自然界ではほかの競合因子との識別が難しく（藤井, 1994, 2000）, アレロパシーを的確に評価する手法が無かったためである。そのため、藤井と澁谷（1992）の開発したプラントボックス法は、寒天中に植物を混植し、生きている植物の根から滲出する物質によるアレロパシーを特異的に検出する手法として、アレロパシーの可能性のある植物の検索とその活性の評価および作用物質の実証の点で画期的であり、本手法によりすでに 500 種 2,000 系統以上の植物のアレロパシーが評価されている（藤井, 1994, 2000; 服部ら, 2004）。

ところで土耕栽培では、アレロパシー物質を分泌する作物を連作することにより、その土壌はアレロパシー物質を含有する可能性がある。従って作付けに際しては、栽培圃場にアレロパシー物質があるか否かを知るとともに、連作障害を回避する適切な作付けを指導する必要がある。これまでのアスパラガス改植時の連作障害におけるアレロパシー回避技術としては、まず光や水、栄養素の競合、土壌病害菌の集積（Blok・Bollen, 1993, 1995, 1996a, 1996b; Pontaroli *et al.*, 2000; Endo・Burkholder, 1971; Hartung・Stephens, 1983; Johnston *et al.*, 1979; Logrieco *et al.*, 1998; Moretti *et al.*, 1997）, 養分の偏りや pH 値の異常、腐植質の不足、土壌硬度の上昇、耕盤の発生といった土壌理化学性の悪化（日笠, 2000; 井上, 2005; 元木, 2003b, 2006a, 2006b; 元木ら, 2006f）など、アレロパシー物質以外の生育不良や減収要因を排除し（元木, 2002, 2003b, 2006b）, それでもアレロパシー物質の関与が考えられる場合に耕種的な改植技術（元木, 2002; 上杉ら, 1997）を併用し、活性炭などの吸着資材の中からアスパラガスのアレロパシー物質を特異的に吸着する資材を選び、処理方法や施用量、その効果の持続性を検討し、現地適応性試験を経て、数年かけてようやく普及に移している。全国的に普及している活性炭フロアブル剤（元木, 2002, 2003b, 2006b; 元木ら, 2001, 2002a, 2003a, 2006c; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a, 2006a）, 粒状活性炭 a（元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2006e）および粉末活性炭 a（元木, 2003b, 2006b）でも、従来法を用いた場合、普及に至るまでにいずれも 3～5 年の年月を要した。

本研究では、アスパラガスのアレロパシーを評価し、アスパラガスのアレロパシー物質

吸着性能が優れる資材を、アスパラガスの生産現場に普及する時間を短縮することを目的とした。プラントボックス法（藤井，1994，2000；藤井・澁谷，1992）およびサンドイッチ法（藤井，1994，2000；Fujii *et al.*, 2004）を用いてアスパラガスのアレロパシーを評価し、アスパラガスの根から分泌される物質に強いアレロパシー活性があり、その活性は茎葉緑色時から黄化期まで強いことを明らかにした（元木・藤井，2002，2003；元木ら，2006e）。また、アレロパシーによる生育阻害を防ぐ方法として、吸着資材の利用を検討した。プラントボックス法およびサンドイッチ法の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより、アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術（元木，2002，2003b，2006b；元木ら，2001，2002a，2003a，2006c；Motoki *et al.*, 2002c，2004a，2006a）を実験室レベルで評価できた。

次に、そのアレロパシー物質を吸着させる資材を検討するために、アスパラガスのアレロパシー活性と吸着資材の評価を同時にできる改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）を開発した。その結果、ある種の活性炭がアスパラガスのアレロパシー物質を吸着し、検定植物であるレタスの生育阻害を回避できることを明らかにした。これにより、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れる吸着資材を、アスパラガスの生産現場に迅速に普及することが可能になった。

さらに、アスパラガスの根から根圏土壤中に放出される物質による作用を検定する新たなアレロパシー活性測定法の開発を試みた。開発した根圏土壤アッセイ法（元木，2006d）では、土壤に催芽移植する従来のバイオアッセイ法（林ら，1996；元木ら，2006f）と類似した結果が得られ、従来法より土壤供試量が少ない場合に有効な検定法であった。土壤も一種の吸着剤であり、たとえ植物体からアレロパシー物質が放出されたとしても、土壤粒子に吸着されて不活性化したり、作用性が低下する場合がある（藤井，2000）。アレロパシー物質が土壤中で作用する場合、土壤中の有機成分、無機成分と土壤微生物の関与も無視できない。開発した根圏土壤アッセイ法は、根から根圏土壤中に放出される物質による作用を検定する方法であり、土壤中の粘土鉱物や腐植中の有機物の関与と、土壤微生物によるアレロパシー物質の分解と変化を排除したうえでアレロパシーを評価できる。根圏土壤アッセイ法により、アレロパシーによる生育阻害の効率的な評価が可能になり、実際の栽培圃場における活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシーの回避技術（元木，2002，2003b，2006b；元木ら，2001，2002a，2003a，2006c；Motoki *et al.*, 2002c，2004a，2006a）を実験室レベルで再現評価できた。この検定法により、活性炭の効率的な利用が図れるとと

もに、適切な作付けを指導できる可能性が示唆された。

ところで Yang (1982) は、アスパラガスの地下茎+根の水抽出物のアレロパシー活性は、活性炭を加えてもオートクレーブで殺菌しても低下しないことから、アスパラガスのアレロパシー物質は水溶性で熱に対して安定しており、アスパラガスの栽培圃場でアレロパシー活性は持続すると報告した。また、Hazebroek ら (1989) および上杉ら (1997) もアスパラガスのアレロパシー活性はオートクレーブの殺菌処理で消失しなかったことを報告した。本研究でもアスパラガスの貯蔵根、茎葉、根圏土壌に熱を加えてもアレロパシー活性は強いままであり、熱に対して安定しているという点ではこれらの報告を支持した。しかし、アスパラガスのアレロパシー物質は活性炭に吸着され (元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e), Yang の報告とは結果が異なった。この理由として、活性炭には原料、製造法、形状などにより多くの種類があり、原料や製造法の違いによっても活性炭の性質が変わるため (大坪, 1995; 真田ら, 1992; 立本, 1997), Yang が試験に用いた活性炭はアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が劣る活性炭であったと推察される。キュウリの養液栽培では、N, P, K, Ca, Mg および Fe の無機養分を調整した培養液に活性炭を添加すると、生育後半の収量が回復するという報告があり (浅尾ら, 1998b), この活性炭はキュウリのアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭であったと考えられる。本研究では、活性炭によりアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が異なり、アスパラガスのアレロパシー物質を吸着しない活性炭も存在した (元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e)。西原ら (2006) もモモ (*Prunus persica* Batsch) の土壌を使った試験で、活性炭の原料によりモモのアレロパシー回避効果が異なったことを報告した。pH 値が高く、アレロパシー物質吸着性能が劣る活性炭の中には、改良プラントボックス法を用いて、塩酸またはリン酸で活性炭を中和した後にアレロパシー物質吸着性能を調べると、吸着性能が回復する活性炭もみられる (元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e), アレロパシーによる連作障害に活性炭を利用する場合には、活性炭のアレロパシー物質吸着性能の評価が重要であると考えられた。

第3節. 改植時のアレロパシー回避のための活性炭の利用

プラントボックス法 (藤井, 1994, 2000; 藤井・澁谷, 1992) および改良プラントボックス法 (元木・藤井, 2002; 元木ら, 2006e) を用いて、吸着資材のアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能を評価し、吸着性能が優れる活性炭フロアブル剤と粒状活性炭 a および

粉末活性炭 a を選抜し、実際の改植圃場でアレロパシー回避技術を検討した。

検定植物としてアスパラガスの 1 年養成株およびアレロパシー活性の有無の検定に一般的に用いられているレタスを用いて検定を行った結果、活性炭のアスパラガスのアレロパシーに対する回避効果および生育促進効果が認められた。さらに現地適応性試験でも、改植時の活性炭の処理によりアスパラガスの生育がおう盛になり、特に地下部重、貯蔵根数、株養成量、GI' (生育指数) が無処理区に比べて優れた。これらの結果から、実際の生産現場でも、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能の優れた活性炭を用い、圃場レベルでアレロパシー回避技術を立証確立できた。特に活性炭フロアブル剤の 25 ~ 100 倍希釈液の 400 ~ 1,000 L (原液で 4 ~ 40 L/10a) を散布した場合、あるいは粒状活性炭 a の 120 ~ 240 kg/10a または粉末活性炭 a の 40 ~ 120 kg/10a を散布した場合にアレロパシー回避効果が高かった。本研究の結果、活性炭を利用したアスパラガス改植時のアレロパシー回避技術は、長野県の普及技術として 2001 年より順次採用され (元木, 2002, 2003b, 2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a), 耕種的な改植技術 (元木, 2002; 上杉ら, 1997) と併用して、活性炭フロアブル剤の散水処理 (元木ら, 2001), 浸漬処理 (元木, 2003b; 元木ら, 2002a), かん注処理 (元木ら, 2002a) と粒状活性炭 a (元木, 2003b, 2006b; 元木ら, 2006e) および粉末活性炭 a (元木, 2003b, 2006b) の散布処理が全国各地のアスパラガスの各産地で広く行われている (図 7-1)。

これら活性炭の施用効果はアスパラガスのアレロパシー物質の吸着による効果であるため、使用時までアレロパシー物質吸着性能を維持するには、できるだけ定植直前に活性炭を処理するとともに、除草剤や殺菌剤などほかの資材との混用は避ける。また、粒状活性炭 a および粉末活性炭 a は土壌とよく混和させることが重要である。モモでは改植した樹の周りの土壌のアレロパシー活性が明らかに強く、深さ別では 10 cm の方が 30 cm よりも活性が強かったという報告があり (西原ら, 2006), アスパラガスでも貯蔵根の 70%以上が地表面から 30 cm までの深さ、特に株下の部分に分布し (図 5-3), 年生の進んだアスパラガスの栽培圃場では、根はうね中央に集中し、うね間には少ないことが報告されていることから (大串, 1998; 上杉ら, 1997), 活性炭の処理はアスパラガスの定植位置を中心に処理し、よく混和させるのが経済的かつ効果的である。ところで、現在使われている粉末活性炭 a は粒状活性炭に比べて粒子が細かく均一に散布しにくいのが、本研究の結果に基づいてメーカーに製品開発を提案したところ、飛散防止のために活性炭重の 50%が加水された製品が新たに開発された。この粉末活性炭は従来の製品に比べて散布しやすいため、

アスパラガスの株元を中心としたスポット処理に適すると考えられ、今後の利用法の検討が待たれる。

前述のように、活性炭は原料や製造法により性質が変わるため（大坪，1995；真田ら，1992；立本，1997），普及に移した活性炭以外は，改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）などによりアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能を確認し，さらに圃場レベルで散布量およびその効果の持続性を検討し，現地適応性試験を行ったうえで使用する．これら活性炭に吸着されるアスパラガスのアレロパシー物質は，現在のところ単離・同定されておらず（元木ら，2002b），市販されているいくつかの活性炭や炭化物，そのほかアレロパシー物質吸着性能を有すると考えられる吸着資材なども評価されていないため，今後の検討が待たれる．また，pH 値が高い粒状活性炭 a は散布量が極端に多くなると土壤の pH 値も高くなり，作物の生育に影響する可能性が考えられるため（安田，2001），使用に当たっては定められた散布量を厳守することが大切である．



図 7-1 活性炭を利用したアスパラガス改植時のアレロパシー回避

左：長野県飯山市木島，右：福島県耶麻郡山都町

第 4 節．生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤を利用したアスパラガス改植時のアレロパシー回避技術が 2001 年から普及技術として採用され（元木，2002，2003b，2006b; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a），長野県内のアスパラガスの各産地で広く行われているが，活性炭フロアブル剤の処理は新改植時に限られる（元木，2002，2003b）．そこで，アスパラガスがすでに栽培されている圃場の生育期において，活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響を検討した．

いずれのアスパラガスの栽培圃場でも，生育期に活性炭フロアブル剤を根圏土壌に深層処理または散水処理することにより増収した．深層処理は鱗芽群を避けて 30 cm 間隔で根圏部に注入し（元木ら，2003a，2006c; Motoki *et al.*, 2006a），散水処理は鱗芽群を中心にうね上に散水する（元木ら，2006c）．現地適応性試験を行った 1～4 年株では，活性炭フロアブル剤のアレロパシーに対する回避効果および生育促進効果が認められ，その効果は 1 年以上継続した．この要因は，アスパラガスの根圏土壌に高濃度で存在するアレロパシー物質（元木ら，2006f）が，活性炭フロアブル剤に吸着されたためと考えられる．しかし，6～7 年株以上の年生の進んだ株では根圏部が広いため，その効果は若年株ほど顕著ではなく，年生の進んだ株に活性炭フロアブル剤を処理する場合には，処理濃度および処理量の検討がさらに必要であると考えられた．また，活性炭フロアブル剤の処理時期は，アスパラガス休眠期の秋処理でも立茎時の春処理でも効果があったことから，株間が判断しやすいアスパラガス立茎時の春処理が適すると考えられた．

活性炭フロアブル剤の浸透性および分散性は，粉末活性炭や粒状活性炭に比べて優れ（元木ら，2003a，2006c; Motoki *et al.*, 2006a），土壌浸透性が優れると考えられるため，すでに普及に移されているアスパラガス改植時のアレロパシー回避技術（元木，2002，2003b，2006b; 元木ら，2001，2002a; Motoki *et al.*, 2002c, 2004a）に加えて，生育期の深層処理（元木ら，2003a，2006c; Motoki *et al.*, 2006a）または散水処理（元木ら，2006c）も，圃場レベルでアスパラガスのアレロパシー回避効果が高かった．

なお，改良プラントボックス法（元木・藤井，2002; 元木ら，2006e）によりアスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れると評価された粒状活性炭 a および粉末活性炭 a は，活性炭フロアブル剤に比べて土壌浸透性が劣るが安価であることから，アスパラガスの定植位置を中心に散布し，土壌とよく混和させることによりアスパラガスのアレロパシー物

質の吸着効果が発揮され、経済的かつ効果的であると考えられる。

第5節. 育苗および定植時における活性炭の効果

アレロパシー物質吸着性能を迅速に評価できる改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）を用いて，アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭を選び，アスパラガスの育苗培養土に活性炭を添加することにより苗の生育を比較するとともに，定植時の活性炭フロアブル剤の浸漬処理を検討した。その結果，アスパラガスの育苗培養土に活性炭を添加することにより，幼苗の根から分泌されるアレロパシー物質を活性炭が吸着し，健全な苗生産ができた。

アレロパシー物質を分泌する植物は，プラントボックス法（藤井，1994，2000；藤井・澁谷，1992）およびサンドイッチ法（藤井，1994，2000；Fujii *et al.*, 2004）を用いて評価でき，さらに改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）によりそれぞれの植物から滲出するアレロパシー物質吸着性能が優れる活性炭を選ぶことができる。アレロパシー活性が強いとされるアスパラガス（元木・藤井，2002；元木ら，2006e）やトルコギキョウ（浅尾ら，2001a，2002），キュウリ（浅尾ら，1998b，1999b，藤井・土屋，1993）は，改良プラントボックス法を用いて評価すると粒状活性炭 a，粒状活性炭 f，活性炭フロアブル剤の3活性炭を選ぶことができ，育苗培養土にそれぞれの活性炭を添加することによりいずれも苗の生育が早まった（元木ら，2005a）。粒状活性炭 a の場合，アスパラガスの育苗培養土への配合量は培養土に対して 0.25 ～ 16 重量%程度が適していた。また，育苗培養土への活性炭の添加時期は播種直前が適し，育苗培養土調整時に予め培養土と活性炭とを混和して貯蔵しておいた育苗培養土は，播種直前に培養土と活性炭とを混和した育苗培養土に比べて生育が劣った。これは，育苗培養土と活性炭とを混和した状態で保存することにより，育苗培養土自体または添加素材が保持する何らかの物質が活性炭に吸着され，活性炭本来のアレロパシー物質吸着性能が低下したためと考えられる。

アレロパシー物質は多くの種類があり，粒状活性炭 a，粉末活性炭 f，活性炭フロアブル剤の3活性炭がそれらの物質のすべてに対応できるわけではない。前述のように，活性炭は原料や製造法により性質が変わる（大坪，1995；真田ら，1992；立本，1997）。西原ら（2006）も，モモの土壌のアレロパシー物質は1つではない可能性があり，土壌のタイプによってアレロパシー物質の種類あるいはその量と活性炭への吸着特性による軽減効果に

違いがあると報告していることから、それぞれの植物に対するアレロパシー物質吸着性能を改良プラントボックス法（元木・藤井，2002；元木ら，2006e），根圏土壌アッセイ法（元木ら，2006d）などにより評価したうえで活性炭を利用する必要がある。

アスパラガス定植時においても、浸透性および分散性がほかの活性炭に比べて優れる活性炭フロアブル剤（元木ら，2003a，2006c；Motoki *et al.*，2006a）の25倍希釈液にセルトレイを浸漬してから定植すると、散水処理（元木，2002，2003b，2006b；元木ら，2001；Motoki *et al.*，2002c，2004a）と同様、アレロパシー回避効果が高かった。ところで、年生の進んだアスパラガスの栽培圃場の欠株部分にアスパラガスの補植苗を定植する場合にも、補植苗を定植直前に活性炭フロアブル剤に浸漬処理して定植すると活着とその後の生育および収量が優れたことから（元木ら，2002a），アスパラガスの補植苗の浸漬処理もアスパラガスのアレロパシーに対する活性炭フロアブル剤の応用技術であると考えられる。

今後はアレロパシーが指摘されているアスパラガス以外の作物（浅尾ら，1998，2001a，2001b，2003b；Asao *et al.*，2003a；猪谷ら，1998；藤井・渋谷，1992；藤井，1994，2000，2003；初田ら，1961，1963；服部ら，2004；林ら，1996；Kitazawa *et al.*，2005；水谷房，1980；水谷純，1984；元木ら，2005a；西原ら，2004；佐藤，2004；田中・加藤，2005，2006；土屋・大野，1989；土屋，1990；Yongqing，2005；Yu・Matsui，1993；Zahida *et al.*，2002）でも、アレロパシーに起因する連作障害において活性炭などの吸着資材の利用を検討していく必要がある。

実際に連作障害が起きているアスパラガスの栽培圃場において、育苗および定植から収穫、さらに改植に至るまで、活性炭の利用がアレロパシーの問題を解決しうる非常に有効な処理方法として広く利用されている。ただし、活性炭ではカリやリン酸の過剰障害（日笠，2000；元木，2003b）や土壌病害菌の集積などの問題は解決できないため、土壌消毒や下層土までの土壌改良、有機物の施用、土壌診断に基づく適正な施肥などを行ったうえで活性炭を利用する必要がある。活性炭を上手に使うことでアレロパシーを回避し、アスパラガスの生産向上を図ることにより持続的な産地化が期待できる。今までの研究成果をまとめて、経済性と作業性を考慮したアスパラガスのアレロパシー回避技術を提案した（表7-1）。

表 7-1 アスパラガスのアレロパシー回避技術

1. 改植のめやす

- (1) 欠株が圃場全体の 15～20% 生じたとき
- (2) 欠株は少ないが、前年までの数年間の平均収量に比べて 20～30% 減収し、収益性が低下したとき
- (3) 排水対策などの土壌改良を行っても草勢の回復が見込めなくなったとき

2. 改植時の減収や連作障害の要因（アレロパシーを除く）

- (1) 土壌病害菌の集積 立枯病，株腐病，根腐病など
- (2) 土壌理化学性の悪化 長年の同じような施肥をしてきたことによる養分の偏り，pH 値の異常，腐植質の不足，土壌硬度の上昇，耕盤の発生など
- (3) その他 除草剤の連年散布の影響，過度の収穫など

3. 改植時の連作障害対策

土壌消毒や下層土までの土壌改良，有機物の施用，土壌診断に基づく適正な施肥など

4. アレロパシー回避技術

(1) 改植時の耕種的技術

- ① 改植時の定植位置を前作のうね間に移す
- ② 根株は抜根してできるだけ圃場外に持ち出す
- ③ 定植前に一度水田化する
- ④ 数年間ほかの作物を栽培するか休耕する

(2) 活性炭を利用したアレロパシー回避技術

- ① 育苗^{*}
 - ・育苗培養土に粒状活性炭を添加（育苗培養土の 2 重量%程度）する
 - ・活性炭フロアブル剤 25 倍希釈液を直接散水するか底面給水する
- ② 新改植^{*} 抜根して耕起した後に活性炭を処理し，さらに 2～3 回耕起して土壌とよく混和させる
 - ・粒状活性炭または粉末活性炭の 120 kg/10a 程度を定植位置を中心に散布する
 - ・活性炭フロアブル剤 25～100 倍希釈液の 400～1,000 L/10a を定植位置を中心に散水する[†]
- ③ 定植時 活性炭フロアブル剤 25 倍希釈液にセルトレイを 15 分間浸漬して定植する
- ④ 生育期 活性炭フロアブル剤を根圏土壌に深層処理または散水処理する[†]
 - ・4 年株程度まで若年株の処理で効果を発揮する
 - ・株間を判断しやすい立茎時の春処理が適する
 - ・深層処理は鱗芽群を避けて 30 cm 間隔で注入する
 - ・散水処理は鱗芽群を中心にうね上に散水する

^{*} 粒状活性炭または粉末活性炭か活性炭フロアブル剤のいずれかの処理でよい

[†] 活性炭フロアブル剤は土壌浸透性が優れ，処理濃度が高いほど効果が高いが，処理コストを考慮して利用する

第 8 章 要 約

第 1 節. アスパラガス連作障害のアレロパシーの関与

長野県のアスパラガスの作付面積は 1,520 ha (2004 年) で, 毎年栽培面積の 15 ~ 30% 程度が改植時期にあたる. アスパラガスは改植後, 新植圃場に比べて減収したり, 若年株でも欠株が発生するなどの原因不明の生育障害が多く見受けられる. 本研究では, 沖積土壌におけるアスパラガスの連作障害の要因の一つであると考えられるアレロパシーの関与について検討した. アスパラガスの根圏土壌は, アスパラガスや数種の指標作物に対して強い生育阻害を示した. その生育阻害は, 根圏土壌の塩類集積や pH 値の変動, 無機養分の異常によるものではなく, アスパラガスの茎葉を土壌中にすき込んでも生育阻害や減収の大きな原因にはならなかったことから, アスパラガス自身の根から分泌されるアレロパシー物質によるものであると推察された.

アスパラガス 10 年株の根圏土壌からの 80%メタノール抽出物および溶媒分画の水溶性画分にもアスパラガスだけでなく, レタス, シロクローバー, アマランサスに対して生育阻害活性が認められ, さらにレタスでは発芽阻害活性も確認された. 核磁気共鳴法, GC/MS 法, キャピラリー電気泳動法により化学構造を解析した結果, 酢酸の可能性が示唆されたが, 酢酸は活性炭には吸着されず, アスパラガスのアレロパシー物質の主成分は酢酸ではないと推察された. 今後はアスパラガスのアレロパシー物質を単離・同定し, その物質が植物の生育および収量に及ぼす影響を検討することが必要である.

第 2 節. アレロパシー評価法の開発

プラントボックス法およびサンドイッチ法を用いて, 沖積土壌におけるアスパラガスのアレロパシーを評価し, アスパラガスの根から分泌される物質に強いアレロパシー活性があることを明らかにした. また, アレロパシーによる生育阻害を防ぐ方法として, 吸着資材の利用を検討した. プラントボックス法およびサンドイッチ法の寒天に活性炭フロアブル剤を混和することにより, アスパラガスの生産現場で普及している活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシー回避技術を実験室レベルで評価できた.

次に、そのアレロパシー物質を吸着させる資材を検討するために、アスパラガスのアレロパシー活性と吸着資材の評価を同時にできる改良プラントボックス法を開発した。その結果、ある種の活性炭がアスパラガスのアレロパシー物質を吸着し、検定植物であるレタスの生育阻害を回避できることを明らかにした。

さらに、アスパラガスの根から根圏土壤中に放出される物質による作用を検定する新たなアレロパシー活性測定法の開発を試みた。開発した根圏土壤アッセイ法は、土壤に催芽移植する従来のバイオアッセイ法と類似した結果が得られ、従来法より土壤供試量が少ない場合に有効な検定法であった。根圏土壤アッセイ法により、アレロパシーによる生育阻害の効率的な評価が可能になり、実際の栽培圃場における活性炭フロアブル剤を利用したアレロパシーの回避技術を実験室レベルで再現評価できた。この検定法により、活性炭の効率的な利用が図れるとともに、適切な作付けを指導できる可能性が示唆された。

第3節. 改植時のアレロパシー回避のための活性炭の利用

新規に開発したアレロパシー評価法により選抜した、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭を用いて、圃場レベルでアレロパシー回避技術について検討した。検定植物としてアスパラガスの1年養成株およびアレロパシー活性の有無の検定に一般的に用いられているレタスを用いて検定を行った結果、活性炭のアスパラガスのアレロパシーに対する回避効果および生育促進効果が認められた。さらに現地適応性試験でも、改植時の活性炭処理によりアスパラガスの生育がおう盛になり、特に地下部重、貯蔵根数、株養成量、GI' (生育指数) が無処理区に比べて優れた。これらの結果から、実際の生産現場でも、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能の優れた活性炭を用い、圃場レベルでのアレロパシー回避技術を立証確立できた。

第4節. 生育期の活性炭フロアブル剤の根圏土壤への処理が収量に及ぼす影響

活性炭フロアブル剤を利用したアスパラガス改植時のアレロパシー回避技術が2001年から普及技術として採用され、散水処理、浸漬処理およびかん注処理が長野県内のアスパラガスの各産地で広く行われているが、活性炭フロアブル剤の処理は新改植時に限られる。そこで、アスパラガスがすでに栽培されている圃場の生育期において、活性炭フロアブル

剤の根圏土壌への処理が収量に及ぼす影響を検討した。いずれのアスパラガスの栽培圃場でも、生育期に活性炭フロアブル剤を根圏土壌に深層処理または散水処理することにより増収した。深層処理は鱗芽群を避けて 30 cm 間隔で根圏部に注入し、散水処理は鱗芽群を中心うね上に散水する。現地適応性試験を行った 1～4 年株では、活性炭フロアブル剤のアレロパシーに対する回避効果および生育促進効果が認められた。しかし、6～7 年株以上の年生の進んだ株では根圏部が広いため、その効果は若年株ほど顕著ではなかった。活性炭フロアブル剤の深層処理は株間が判断しやすい立茎時の春処理が適すると考えられた。活性炭フロアブル剤は、改植時の散水処理、浸漬処理およびかん注処理に加えて、アスパラガス生育期の深層処理または散水処理も、圃場レベルでアスパラガスのアレロパシー回避効果が高かった。

第 5 節. 育苗および定植時における活性炭の効果

新規に開発したアレロパシー評価法により選抜した、アスパラガスのアレロパシー物質吸着性能が優れた活性炭を用いて、アスパラガスの育苗培養土に活性炭を添加することにより、幼苗の根から分泌されるアレロパシー物質を活性炭が吸着し、健全な苗生産ができた。アスパラガス定植時においても、土壌浸透性が優れる活性炭フロアブル剤の浸漬処理はアレロパシー回避効果が高かった。

実際に連作障害が起きているアスパラガスの栽培圃場において、育苗および定植から収穫、さらに改植に至るまで、活性炭の利用がアレロパシーの問題を解決しうる非常に有効な処理方法として広く利用されている。活性炭を上手に使うことでアレロパシーを回避し、アスパラガスの生産向上を図ることにより持続的な産地化が期待できる。今までの研究成果をまとめて、経済性と作業性を考慮したアスパラガスのアレロパシー回避技術を提案した。

謝 辞

本論文のとりまとめにあたっては、千葉大学園芸学部生物生産科学科 教授 篠原 温博士から親切なご指導・ご助言をいただくとともに、綿密なご校閲を賜った。また、同教授 田代 亨博士，同園芸経済学科 教授 鷹野征じ博士，同生物生産科学科 教授 雨宮良幹博士，同助教授 丸尾 達博士に貴重なご校閲を賜った。ここに謹んで深く感謝の意を表する。

本研究の遂行にあたり、島根大学生物資源科学部農業生産学科 教授 浅尾俊樹博士および新潟県農業総合研究所園芸研究センター環境科 主任研究員 西原英治博士には、終始親切なご助言と激励をいただくとともに、丁寧なご校閲を賜った。また、独立行政法人農業環境技術研究所生物多様性研究領域 主任研究員 平舘俊太郎博士および同上席研究員 藤井義晴博士には、アスパラガスのアレロパシー物質の単離および同定に関し、2001年9月26日から12月26日までの3カ月間、研修生として受け入れていただいたほか、アレロパシー評価法など実験手法に関して丁寧なご指導を賜った。また、味の素ファインテクノ株式会社活性炭事業本部技術部技術開発課 課長 鈴木一郎氏，同元営業部 森谷俊昭氏および湯村孝治氏，大日精化工業株式会社顔料事業本部企画室 副部長 服部俊雄氏には、活性炭の分譲と有益なご助言を賜った。中野市農業協同組合日野支所 支所長 清水敬自氏，同園芸技術課 指導開発係長 高橋一彦氏および笠原秀和氏，長野農業改良普及センター千曲支所坂城町派遣 農業技術幹 原 嘉胤氏，長野県農政部農業生産振興チーム野菜ユニット 企画員 小林安男氏には、活性炭の現地適応性試験を実施するにあたり、最初のきっかけを与えていただいたうえ、現地調査では一緒に汗を流していただいた。全国農業協同組合連合会長野県本部生産販売部園芸販売課 課長 高橋直志氏およびドイツ連邦共和国のKlasmann-Deilmann社 生産開発責任者 Hermann Limbers氏には、育苗における活性炭の添加に関して、育苗培養土の分譲と有益なご助言を賜った。また、鳥取大学大学院連合農学研究科 生物生産科学専攻生 北澤裕明氏，熊本県立大学環境共生学部植物資源学研究室 嘱託職員 近藤謙介博士には、統計処理法に関して丁寧なご指導を賜った。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所業務用野菜研究チーム 主任研究員 浦上敦子博士，広島県立農業技術大学校 助教授 甲村浩之博士，福島県会

津農林事務所会津坂下農業普及所 主査 園田高広博士，神奈川県農業技術センター野菜作物研究部 主任研究員 佐藤達雄博士，社団法人植物情報物質研究センター 主任研究員 前田智雄博士，群馬県農業技術センター中山間地園芸研究センター 副主任研究員 小泉文晴氏，長野県果樹試験場 研究員 小野剛史博士には，研究の進め方やとりまとめに関し，貴重なご助言や暖かい励ましを頂戴した。これらのご厚意に対して心から深く感謝の意を表す。

長野県農政部農業生産振興チーム技術普及ユニット 主任企画員 上杉壽和氏には，前任者として，本研究を実施するきっかけを与えていただいた。野菜花き試験場 元場長 馬場英實氏，元場長 小口伴二氏，元場長 塚田元尚氏，場長 小林荘一博士には，研究遂行上のご配慮と激励を賜った。また，同野菜部 元部長 金子 博氏，部長 白井富太氏，元主幹農林技師 内山三十里氏，主任研究員 小澤智美氏，研究員 矢崎明美氏，技師 星野英正氏，同佐久支場南佐久ふるさと応援ステーション 研究員 小松和彦氏をはじめ野菜部臨時職員諸氏，長野県農業大学校営農学部野菜花き研究科実科および指導学部専攻科の担当学生諸君ならびに現地適応性試験にご協力いただいた北信地域，長野地域，上伊那地域，下伊那地域のそれぞれの農業関係機関（農業改良普及センター，地方事務所農業自律チーム，JA），現地適応性試験担当農家の各位には，本研究の遂行上多くの便宜と多大なご協力をいただいた。今回の研究はこうした方々の助力なしには決して成し遂げられなかった。これらの関係各位に対して心より感謝の意を表す。

最後に本研究を実施するにあたり，常に心の支えとなり励ましてくれた妻友子にも深く感謝する次第である。

引用文献

- 1) 安部貞昭・甲斐寿美德・平山俊一. 1999. 半促成長期どりアスパラガスの栽培技術の確立. 大分農技セ研報. 29: 31-41.
- 2) 浅尾俊樹・大谷紀之・清水法子・梅山元正・太田勝巳・細木高志. 1998a. 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.
- 3) 浅尾俊樹・梅山元正・太田勝巳・細木高志・伊藤憲弘・植田尚文. 1998b. 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.
- 4) 浅尾俊樹・大場友美子・富田浩平・太田勝巳・細木高志. 1999a. 水耕栽培キュウリの溶存酸素濃度を異にする培地への活性炭添加が植物体の生育と収穫果実数に及ぼす影響. 園学雑. 68: 1194-1196.
- 5) 浅尾俊樹・M.H.R. Premanik・富田浩平・大場友美子・太田勝巳・細木高志・松井佳久. 1999b. 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: 847-853.
- 6) Asao, T., M.H.R. Premanik, K. Tomita, Y. Ohba, K. Ohta, T. Hosoki and Y. Matsui. 1999c. Identification and growth effects of compounds adsorbed on activated charcoal from hydroponic nutrient solutions of cucumber. Allelopathy J. 6: 243-250.
- 7) 浅尾俊樹・清水法子・太田勝巳・細木高志. 1999d. 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: 598-602.
- 8) 浅尾俊樹・富田浩平・谷口久美子・細木高志・M.H.R. Premanik・松井佳久. 2000. プルームレス台木を用いた水耕キュウリの収穫果実数に及ぼす活性炭添加の影響. 植物工場学会誌. 12: 61-63.
- 9) 浅尾俊樹・潮 和頼・富田浩平・谷口久美子・長谷川和久・末田幸夫・細木高志. 2001a. 水耕培養液非更新および活性炭の添加が種々の花卉の生育に及ぼす影響. 園学雑. 70 (別 1) : 325.
- 10) 浅尾俊樹・谷口 尚・巢山弘介・山本廣基・井藤和人・富田浩平・谷口久美子・細木高志. 2001b. 培養液に添加されたフェノール物質分解菌が水耕キュウリの栄養生長に及ぼす効果. 園学雑. 70: 392-394.

- 11) 浅尾俊樹・谷口久美子・富田浩平・細木高志. 2001c. 葉菜類の養液栽培における自家中毒の発生とその種間差異. 園学雑. 74: 519-521.
- 12) 浅尾俊樹・富田浩平・谷口久美子・細木高志・中野尚夫・M.H.R. Premanik・松井佳久. 2001d. 2,4-Dichlorobenzoic acid がスプリット・ルート法で水耕されたキュウリの収量に及ぼす影響. 植物工場学会誌. 13: 59-62.
- 13) 浅尾俊樹・北澤裕明・小林洋介・M.H.R. Premanik・松井佳久・細木高志. 2002. シンテッポウユリおよびトルコギキョウの培養液中に吸着されたアレロパシー物質の同定と同物質が幼苗の生育に及ぼす影響. 園学雑. 71 (別 1) : 311.
- 14) Asao, T., K. Hasegawa, Y. Sueda, K. Tomita, K. Taniguchi, T. Hosoki, M.H.R. Premanik and Y. Matsui. 2003a. Autotoxicity of root exudates from taro. *Scientia Hort.* 97: 389-396.
- 15) 浅尾俊樹・北澤裕明・鷲津和彦・細木高志・藤本 弦. 2003b. 水耕培養液非更新および活性炭添加がマメ類の生育および収量に及ぼす影響. 園学雑. 72 (別 1) : 255.
- 16) 浅尾俊樹・元木 悟・北澤裕明・細木高志・藤本 弦. 2003c. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 7 報. アスパラガス培養残液が後作野菜および花の生育に及ぼす影響. 園学雑. 72 (別 2) : 419.
- 17) Asao, T., H. Kitazawa, T. Ban, M.H.R. Premanik, Y. Matsui and T. Hosoki. 2004. Search of autotoxic substances in some leaf vegetable. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 247-249.
- 18) Benson, B.L. 2002a. Update of the world's asparagus production areas, spear utilization and production periods. *Acta Hort.* 589: 33-40.
- 19) Benson, B.L. 2002b. Effect of autotoxicity on the growth of cloned asparagus plants. *Acta Hort.* 589: 373-376.
- 20) Benson, B.L. and F. Takatori. 1978. Meet U. C. 157. *Amer. Veg. Grow.* 25: 8-9.
- 21) Blok, W.J. and G.J. Bollen. 1993. The role of autotoxins from root residues of the previous crop in the replant disease of asparagus. *Netherlands J. of Plant Pathol.* 99: 29-40.
- 22) Blok, W.J. and G.J. Bollen. 1995. Funji on roots and stem bases of asparagus in the Netherlands: Species and pathogenicity. *European J. of Plant Pathol.* 101: 15-24.
- 23) Blok, W.J. and G.J. Bollen. 1996a. Interactions of asparagus root tissue with soil microorganisms as a factor in early decline of asparagus. *Plant Pathol.* 45: 809-822.
- 24) Blok, W.J. and G.J. Bollen. 1996b. Etiology of asparagus replant-bound early decline. *European J. of Plant Pathol.* 102: 87-98.

- 25) Blum, U., B.R. Dalton, and J.R. Shann. 1985. Effects of various mixtures of ferulic acid and some of its microbial metabolic products on cucumber leaf expansion and dry matter in nutrient culture. *J. Chem. Ecol.* 11: 619-641.
- 26) Bouwkamp, J.C. and J.E. Mccully. 1972. Competition and survival in female plant of *Asparagus officinalis* L. *J. of the Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 74-76.
- 27) Chen, W.Y. 1978. Study on improvement of asparagus decline and production problem. Proc. 2nd Symp. Asparagus Res. p.17-25. Taiwan Natl. Chung Hsing Univ. Taiwan
- 28) 土壤環境分析法. 2000. 土壤環境分析法編集委員会編. p. 208-211, p. 247-249, p. 267-269. 博友社. 東京
- 29) Ellison, J.H. and D.F. Scheer. 1959. Selecting superior asparagus plants on basis of earliness. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 72: 353-359.
- 30) Endo, R.M. and E.C. Burkholder. 1971. The association of *Fusarium moniliforme* with the crown rot complex of asparagus. *Phytopath.* 61: 891.
- 31) 藤井義晴. 1994. アレロパシー検定法の確立とムクナに含まれる作用物質 L-DOPA の機能. *農環研報.* 10: 115-218.
- 32) 藤井義晴. 2000. アレロパシー. p. 239. 農文協. 東京
- 33) 藤井義晴. 2003. ヘアリーベッチの他感作用と農業への利用および作用成分シアナミドの発見. *農業および園芸.* 78: 958-966.
- 34) 藤井義晴・澁谷知子. 1992. アレロパシーに特異的な活性評価法の確立—プラントボックスを用いた寒天培地中の混植試験による候補植物の検索—. *雑草研究.* 37 (別): 156-157.
- 35) 藤井義晴・土屋一成. 1993. 土壌—植物系における他感物質の役割. *土壌構成成分解析法 (II)*. p. 81-125. 博友社. 東京
- 36) 藤井義晴・松山 稔・平舘俊太郎・中谷敬子. 2000. 揮発性物質の検定法と作用成分の分析法の開発. *雑草研究.* 45 (別): 80-81.
- 37) Fujii, Y., S.S. Parvez, M.M. Parvez, Y. Oumae and O. Iida. 2003. Screening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich method. *Weed Biol. and Manag.* 3: 233-241.
- 38) Fujii, Y., T. Shibuya, K. Nakatani, T. Itani, S. Hiradate and M.M. Parvez. 2004. Assessment method for allelopathic effect from leaf litter leachates. *Weed Biol. and Manag.* 4: 19-23.

- 39) 藤沼善亮・木下 彰・橋田茂和. 1980. 塩類濃度 土壤養分分析法. 土壤養分測定委員会編. p. 45-49. 養賢堂. 東京
- 40) 藤下典之. 1981. 種子の発芽. 園芸学実験・実習. 大阪府立大農学部園芸学教室編. p. 104-106. 養賢堂. 東京
- 41) Hartung, A.C. and C.T. Stephens. 1983. Effects of allelopathic substances produced by asparagus on the incidence and severity of *Fusarium* crown rot. *J. Chem. Ecol.* 9: 1163-1174.
- 42) Hartung, A.C. and A.R. Putnam. 1985. Extracts of asparagus root tissue are phytotoxic. *Proc. of the Sixth Intl. Asparagus Symp.* 258-266.
- 43) Hartung, A.C., M.G. Nair and A.R. Putnam. 1990. Isolation and characterization of phytotoxic compounds from asparagus (*Asparagus officinalis* L.) roots. *J. Chem. Ecol.* 16: 1707-1718.
- 44) 初田勇一・村尾沢尾・西村正賜・浜崎たかし. 1961. 植物の忌地性に関する研究. 第3報. スイカの根部の生長阻害物質. 農化誌. 35: 1104-1108.
- 45) 初田勇一・浜崎たかし・西村正賜・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. 農化誌. 37: 262-264.
- 46) 服部眞幸・平館俊太郎・荒谷 博・西原英治・藤井義晴. 2004. 主要な在来・帰化およびブラジル産雑草のアレロパシー活性のプラントボックス法による検定. 雑草研究. 49: 169-183.
- 47) 林 哲央・平館俊太郎・小山田善三. 1996. 各種作物の連作により黒ボク土に蓄積する植物生育抑制作用. 土肥学会講要集. 42: 97.
- 48) Hazebroek, J.P., S.A. Garrison and T. Gianfagna. 1989. Allelopathic substances in asparagus roots: extration, characterization, and biological activity. *J. of the Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 152-158.
- 49) 日笠裕治. 2000. アスパラガスにおける生育特性と根部の糖類集積特性に基づく生産の持続性に関する研究. 北海道立農試報. 94: 1-72.
- 50) 平山俊一・甲斐寿美德・一万田賢治・野口敏治. 1995. アスパラガスの半促成長期どり栽培における立茎数が収量に及ぼす影響. 九州農業研究. 57: 191.
- 51) 久富時行. 1995. アスパラガスの多収栽培. p. 131. 農文協. 東京
- 52) 北條雅也. 2004. 筒状遮光資材を用いたアスパラガスの簡易軟白栽培法の検討. 園学雑. 73 (別2) : 185.

- 53) 堀江秀樹・木矢博之・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子. 2005. キャピラリー電気泳動法によるハウレンソウ中の硝酸イオンおよび主要有機酸の同時分析. 園学研. 4: 95-98.
- 54) 堀江秀樹・伊藤秀和. 2006. キャピラリー電気泳動法による野菜中の糖分析. 野菜茶研研報. 5: 1-6.
- 55) 池内隆夫. 1998. 暖地ハウス半促成長期どり栽培. 農業技術体系 追録第 23 号. 8: 267-273. 農文協. 東京
- 56) 猪谷富雄・平井健一郎・藤井義晴・神田博史・玉置雅彦. 1998. サンドイッチ法による雑草および薬用植物のアレロパシー活性の検索. 雑草研究. 43: 258-266.
- 57) 井上勝広. 1996. 半促成長期どりアスパラガスの養分動態. 長崎総農林試研報. 23: 31-44.
- 58) 井上勝広. 2005. アスパラガス半促成長期どり栽培圃場の土壌実態と窒素の適正施用量および硝酸態窒素の簡易分析法. 長崎総農林試研報. 31: 1-13.
- 59) 伊藤悌右・今中義彦・長谷川繁樹・船越建明. 1994. 西南暖地におけるグリーンアスパラガスの栽培に関する研究. 第 1 報. 収穫と株養成を平行させる母茎立茎栽培の収量性について. 広島農技セ研報. 60: 35-45.
- 60) 地子 立・平井 剛・田中静幸. 2006. 簡易遮光を利用したアスパラガスの春季ホワイト, 夏季グリーン収穫法. 園学雑. 75 (別 1) : 172.
- 61) Johnston, S.A., J.K. Springer and G.D. Lewis. 1979. *Fusarium moniliforme* as a cause for stem and crown rot of asparagus and its association with asparagus decline. *Phytopath.* 69: 778-780.
- 62) Jones, H.A. and W.W. Robbens. 1924. Growing and handling asparagus crowns. *Calif. Agric. Exp. Stn. Bull.* 381: 1-24.
- 63) Kamo, T., S. Hiradate and Y. Fujii. 2003. First isolation of natural cyanamide as a possible allelochemical from hairy vetch *Vicia villosa*. *J. Chem. Ecol.* 29: 275-283.
- 64) Keulder, P.C. 1997. Asparagus decline and replant problem: A review of the current situation and approaches for future research. *Acta Hort.* 479: 253-262.
- 65) 岸田幸也・前田智雄. 2004. アスパラガス. 地域特産物の生理機能・活用便覧. p. 30-37. (株)サイエンスフォーラム. 東京
- 66) Kitahara, Y., H. Yanagawa, T. Kato and N. Takahashi. 1972. Asparagusic acid, a new plant

- growth inhibitor in etiolated young asparagus shoots. *Plant Cell Physiol.* 13: 923-925.
- 67) Kitazawa, H., T. Asao, T. Ban, M.H.R. Premanik and T. Hosoki. 2005. Autotoxicity of root exudates from strawberry in hydroponic culture. *J. of Hort. Sci. and Biotechnol.* 80: 677-680.
- 68) 北澤裕明・浅尾俊樹・伴 琢也・元木 悟・吉村俊弘. 2006. 残根がアスパラガスの生育に及ぼす影響. *園学雑.* 75 (別1) : 366.
- 69) 駒井史訓・口石なつき・八谷和美・平舘俊太郎・藤井義晴. 2006. アスパラガスの地上部におけるアレロパシー活性の雌雄性間差異. *園学雑.* 75 (別1) : 365.
- 70) 甲田暢男・荻原佐太郎・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.
- 71) 甲田暢男・宇田川雄二・荻原佐太郎・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.
- 72) 甲村浩之・渡邊弥生. 2005. 紫アスパラガス ‘パープルパッション’ の全期立茎栽培における生育・収量と食味・ポリフェノール含量評価. *近畿中国四国農研.* 6: 50-56.
- 73) 固相抽出ハンドブック. 1986. 加藤 肇訳. p. 122. (株)ユニフレックス. 東京
- 74) Lake R.J., P.G. Falloon and D.W.M. Cook. 1993. Replant problem and chemical-components of asparagus roots. *New Zealand J. of Crop and Hort. Sci.* 21: 53-58.
- 75) Logrieco, A., B. Doko, A. Moretti, S. Frisullo and A. Visconti. 1998. Occurrence of fumonisin B-1 and B-2 in *Fusarium proliferatum* infected asparagus plants. *J. of Agri. and Food Chem.* 46: 5201-5204.
- 76) Loomis W.D. and J. Battaile. 1966. Plant phenolic compounds and the isolation of plant enzymes. *Phytochem.* 5: 423-438.
- 77) 町田剛史・桑田主悦・宇田川雄二. 2003. 千葉県のアスパラガス半促成長期どり栽培において収穫期間, 立茎本数, 摘心, かん水が収量に及ぼす影響. *千葉農総研報.* 2: 13-20.
- 78) 丸山 進. 1985. 寒高冷地のアスパラガス栽培. 作型を生かすアスパラガスのつくり方. p. 54-161. 農文協. 東京 (絶版)
- 79) 目黒孝司・中村隆一・兼平 修・川岸康司・松本竜司・田又雪子・吉岡宏直. 2003. 道央地域におけるアスパラガスハウス立茎栽培の立茎本数と灌水開始点. *北海道立農試集報.* 84: 95-98.
- 80) メリアサンディアウタミ・砂田香矢乃・深山陽子・橋本和仁. 2005. 植物生育阻害

- 物質に対する酸化チタンの光誘起分解. 光触媒. 18: 148-149.
- 81) Miller, H.G., M. Iwata and L.C. Peirce. 1991. Caffeic acid identified as an inhibitory compound in asparagus root filtrate. Hort. Sci. 26: 1525-1527.
- 82) 皆川裕一. 1993a. アスパラガスの品種に関する諸問題 (2). 農業および園芸. 68: 894-898.
- 83) 皆川裕一. 1993b. アスパラガスの品種に関する諸問題 (3). 農業および園芸. 68: 1011-1015.
- 84) 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.
- 85) 水谷純也. 1984. トマトに含まれるアレロパシー物質. 人類の生存と植物生産. p. 286-287. 東大出版会. 東京
- 86) 水谷純也. 1988. 高等植物における防衛機構. 農化誌. 62: 983-985.
- 87) Mizutani, J. and Y. Fujii. 2001. Research on allelopathy in Japan. In "Allelopathy update" (Narwal, S.S. Ed). p. 199-220. Oxford and Ibh Publishing. Co. Pvt. Ltd., India
- 88) Moretti, A., A. Logrieco, B. Doko, S. Frisullo, A. Visconti and A. Bottalico. 1997. *Fusarium proliferatum* from asparagus, in Italy: Occurrence, fertility and toxigenicity. Cereal Res. Commun. 25: 785-786.
- 89) 森 信行・嶋田永生. 1980. 酸度 土壤養分分析法. 土壤養分測定法委員会編. p. 29-32. 養賢堂. 東京
- 90) 森田佳美・弦間 洋・藤井義晴. 2000. イチジクのアレロパシーの検証と活性炭添加による軽減効果. 雑草研究. 45 (別): 90-91.
- 91) 元木 悟. 2002. アスパラガスの改植時におけるアレロパシー軽減技術. 農業技術. 57: 77-81.
- 92) 元木 悟. 2003a. アスパラガスの絵本. p. 36. 農文協. 東京
- 93) 元木 悟. 2003b. アスパラガスの作業便利帳. p. 155. 農文協. 東京
- 94) 元木 悟. 2006a. アスパラガス. 野菜の施肥と栽培. p. 76-86. 農文協. 東京
- 95) 元木 悟. 2006b. アスパラガス. 野菜栽培指標. 長野県・全国農業協同組合連合会 長野県本部・長野県農業協同組合中央会. (印刷中).
- 96) Motoki, S. and H. Araki. 2001. Asparagus production in Nagano Prefecture. X Intl. Asparagus Symp. p. 2-4. Pre-tour joint meeting with asparagus farmers Nagano.

- 97) 元木 悟・藤井義晴. 2002. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 4 報. プラントボックス法における活性炭を利用したアレロパシーの評価法. 園学雑. 71 (別 2) : 391.
- 98) 元木 悟・藤井義晴. 2003. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 6 報. アスパラガスの生育ステージおよび茎葉刈りとりとアレロパシー. 園学雑. 72 (別 2) : 418.
- 99) 元木 悟・小澤智美・小松和彦・塚田元尚. 2000. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 2 報. 茎葉添加量とアスパラガスの生育. 園学雑. 69 (別 2) : 385.
- 100) 元木 悟・服部俊雄・小村朋三・小澤智美・小松和彦・塚田元尚. 2001. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 3 報. 活性炭フロアブル剤の現地実証試験. 園学雑. 70 (別 1) : 242.
- 101) 元木 悟・服部俊雄・岡 准慈・小村朋三・小澤智美・小松和彦・塚田元尚. 2002a. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 5 報. 活性炭フロアブル剤の浸漬処理およびかん注処理の現地実証試験. 園学雑. 71 (別 2) : 170.
- 102) 元木 悟・平館俊太郎・藤井義晴. 2002b. アスパラガスの連作障害におけるアレロパシーの関与. 土肥学会講要集. 48: 74.
- 103) Motoki, S., T. Ozawa, K. Komatsu, M. Tsukada, T. Hattori, T. Komura and J. Oka. 2002c. Allelopathy in asparagus. 1: Reduction of the allelopathic effect on asparagus by flowable agent of activated carbon. *Acta Hort.* 589: 381-386.
- 104) 元木 悟・服部俊雄・岡 准慈・小澤智美・小松和彦・矢崎明美・金子 博. 2003a. アスパラガスのアレロパシーに関する研究. 第 8 報. 活性炭フロアブル剤の生育期における深層処理の現地実証試験. 園学雑. 72 (別 2) : 185.
- 105) 元木 悟・塚田清正・小澤智美・小松和彦・矢崎明美・金子 博. 2003b. アスパラガスの新品目: 紫アスパラガスの特性. 園学雑. 72 (別 1) : 259.
- 106) Motoki, S., T. Hattori, I. Suzumura, T. Ozawa, K. Komatsu and M. Tsukada. 2004a. Reduction of the allelopathic effect on asparagus by the flowable agent of activated carbon. *Bull. Nagano Veg. and Ornam. Crops Exp. Sta.* 12: 31-36.
- 107) 元木 悟・鈴木尚俊・宮下和久・塚田元尚・前田智雄・矢崎明美・小澤智美・小松和彦・金子 博. 2004b. アスパラガス新品目: 生食用ホワイトアスパラガスの特性. 園学雑. 73 (別 1) : 303.

- 108) 元木 悟・上杉壽和・小澤智美・小松和彦・小口伴二・塚田元尚. 2004c. アスパラガスの長期どり栽培における立茎方法および立茎数が収量に及ぼす影響. 長野野菜花き試報. 12: 19-29.
- 109) 元木 悟・島田聖治・高橋直志・Hermann Limbers・若林利明・海老澤訓・小澤智美・小松和彦・矢崎明美・臼井富太. 2005a. 数種作物の育苗における活性炭添加の効果. 園学雑. 74 (別 2) :198.
- 110) 元木 悟・植竹裕三・松永邦則・小澤智美・小松和彦・矢崎明美・臼井富太. 2005b. アスパラガスの茎径調査による収量形質の推定. 園学雑. 74 (別 1) :131.
- 111) Motoki, S., T. Hattori and J. Oka 2006a. Allelopathy in asparagus. 2: Effect of injection period and concentration on deep placement method of activated charcoal flowable in growing period of asparagus. Acta Hort. (In printing).
- 112) Motoki, S., K. Matsunaga, T. Maeda and T. Kutsuzawa. 2006b. Selection of asparagus varieties for cold areas of Japan. Acta Hort. (In printing).
- 113) 元木 悟・宮下 純・小林長生・本井 浩・小澤智美・矢崎明美・臼井富太. 2006c. 活性炭フロアブル剤の根圏土壌への処理がアスパラガスの収量に及ぼす影響. 長野県園芸研究会. 37: 72-73.
- 114) 元木 悟・西原英治・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006d. 新規に開発した手法を利用したアスパラガス根圏土壌のアレロパシー活性測定法. 園学研. 5: (印刷中).
- 115) 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006e. アスパラガス連作障害におけるアレロパシー回避のための活性炭の利用. 園学研. 5: (印刷中).
- 116) 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平舘俊太郎・篠原 温. 2006f. 沖積土壌におけるアスパラガスの連作障害に対するアレロパシーの関与. 園学研. 5: (印刷中).
- 117) 中村俊一郎. 1977. 種子検査. 野菜園芸大事典. p. 691-696. 養賢堂. 東京
- 118) 西原英治・荒谷 博・小野長昭・藤井義晴・倉島 裕. 2004. イチゴの自家中毒候補物質の検索. 園学雑. 73 (別 2) :178.
- 119) Nishihara, E., M.M. Parvez, H. Araya, S. Kawashima and Y. Fujii. 2005. L-3-(3,4-Dihydroxyphenyl) alanine (L-DOPA), an allelochemical exuded from velvetbean (*Mucuna pruriens*) roots. Plant Growth Regulation. 45: 113-120.

- 120) 西原英治・中野耕栄・本間龍一・平田 武・中野太佳司. 2006. モモの自家中毒回避に向けた簡易土壌アッセイ法の開発. 園学雑. 75 (別 1) : 272.
- 121) 西尾道徳. 1983. 連作障害の発生について. 土肥誌. 54: 64-73.
- 122) 農林水産省. 2006. 農林水産統計データ. <http://www.maff.go.jp/www/info/index.html>
- 123) Onggo, T.M. 2001. Influence of harvest method and schedule on yield and spear size of green asparagus in Indonesia. Acta Hort. 589: 33-40.
- 124) 大串和義. 1998. 生育ステージと灌水のねらい. 農業技術体系 追録第 23 号. 8: 141-143. 農文協. 東京
- 125) 大串和義・田中龍臣・松尾孝則. 1994. アスパラガスの長期採り栽培に関する研究. 第 1 報. 1 年生株における施肥・灌水量の違いが収量, 品質に及ぼす影響. 九州農業研究. 56: 186.
- 126) 大串和義・松尾孝則・田中龍臣. 1995. アスパラガスの長期採り栽培に関する研究. 第 2 報. 2 年生株における立茎時期・立基本数の違いが収量, 品質に及ぼす影響. 九州農業研究. 57: 192.
- 127) 大岳 望・鈴木昭憲・高橋信孝・室伏 旭・米原 弘. 1976. 物質の単離と精製. p. 274. 東大出版会. 東京.
- 128) 大坪茂樹. 1995. 活性炭による用水廃水処理. 農薬. 42: 62-72.
- 129) Peirce, L.C. and H.G. Miller. 1993. Asparagus emergence in *Fusarium* treated and sterile media following exposure of seeds or radicles to one or more cinnamic-acids. J. of the Amer. Soc. for Hort. Sci. 118: 23-28.
- 130) Pontaroli, A.C., E.L. Camadro, F.J. Babinec and A. Ridao. 2000. Responses of *Asparagus officinalis* pollen to the culture filtrate of *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi*. Scientia Hort. 84: 349-356.
- 131) Premanik, M.H.R., M. Nagai, T. Asao and Y. Matsui. 2000. Effect of temperature and photoperiod on phytotoxic root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) in hydroponic culture. J. of Chem. Ecol. 26: 1953-1967.
- 132) Premanik, M.H.R., T. Asao, T. Yamamoto and Y. Matsui. 2001. Sensitive bioassay to evaluate toxicity of aromatic acids to cucumber seedlings. Allelopathy J. 8: 161-170.
- 133) Robbins, W.W. and H.A. Jones. 1928. Sex as a factor in growing asparagus. Soc. Hort. Sci. 25: 13-16.

- 134) 酒井恒行. 1994. キャピラリー電気泳動. 化学と生物. 32: 45-462.
- 135) 真田雄三・鈴木基之・藤元 薫. 1992. 新版活性炭 基礎と応用. p. 284. 講談社. 東京
- 136) 佐藤展之. 2004. バラロックウール循環式栽培で蓄積される生育阻害物質の影響. 園学雑. 73 (別 2) : 497.
- 137) Sato, T. and S. Motoki. 2002. Past and present Japanese asparagus production and marketing. *Acta Hort.* 589: 41-47.
- 138) 澤田英吉. 1962. アスパラガス. 蔬菜生産技術 5. p. 95-98. 誠文堂新光社. 東京
- 139) Scofield, P.E. 1991. Asparagus decline and replant problem in New Zealand. *New Zealand J. of Crop and Hort. Sci.* 19: 213-220.
- 140) Scofield, P.E., M.A. Nichols, P.G. Long and B.R. Mackey. 1997. A bioassay to monitor the autotoxin levels in asparagus replant soils. *Acta Hort.* 479: 237-245.
- 141) Scott, L.E., J.H. Mitchell and R.A. McGinty. 1939. Effect of certain treatments on the carbohydrate reserves of asparagus crowns. *South Carolina Agric. Exp. Stn. Bull.* 321: 5-36.
- 142) Shafer, W.E. and S.A. Garrison. 1986. Allelopathic effects of soil incorporated asparagus roots on lettuce, tomato and asparagus seedling emergence. *Hort. Sci.* 21: 82-84.
- 143) Shepard, J.P. and R.E. Totten. 1975. Isolation and regeneration of tobacco mesophyll cell protoplasts under low osmotic condition. *Plant Physiol.* 55: 689-694.
- 144) 白井康裕・目黒孝司・植野玲一郎・兼平 修・桃野 寛・岸田幸也・松本竜司・平田修一. 2005. 水田作経営におけるアスパラガス立茎栽培導入による経営複合化の展開方向. 北海道立農試集報. 88: 59-67.
- 145) 園田高広. 2003. アスパラガスにおける効率的育種手法の開発. 福島農試特研報. 8: 1-61.
- 146) 園田高広・大和田正幸・浦上敦子. 2003. アスパラガス育種のための簡易生育調査による早期特性検定法の開発. 福島農試報. 36: 32-48.
- 147) 植物ホルモンハンドブック 下巻. 1994. 高橋信孝・増田芳雄共著. p. 1-160. 培風館. 東京
- 148) 立本英機. 1997. おもしろい活性炭のはなし. p. 143. 日刊工業新聞社. 東京
- 149) 高井隆次. 1977. アスパラガス. 各論. 柔菜類. 野菜園芸大事典. 清水茂監修. p. 1347-1354. 養賢堂. 東京

- 150) 高杉光雄・戸田久之・高杉百合子・正宗 直・気賀沢和男. 1977. アスパラガス酸
関連化合物における構造と殺線虫活性の関連性. 北農試研報. 118: 105-111.
- 151) 田中亨勇・加藤 尚. 2005. ユズ (*Citrus junos*) 果実の絞り粕に含まれるアレロパ
シー物質. 園学雑. 74 (別 2) : 620.
- 152) 田中亨勇・加藤 尚. 2006. ユズ (*Citrus junos*) 果実のアレロパシー活性とアブシ
ジン酸-グルコシドエステル. 園学雑. 75 (別 1) : 43.
- 153) Tang, S.T. and C.C. Young. 1981. Collection and identification of allelopathic compounds
from the undisturbed root system of bigalta limpograss (*Hemarthria altissima*). Plant Physiol.
69: 155-160.
- 154) Tiedjen, V.A. 1925. Some physiological aspects of *Asparagus officinalis* L. Proc. Amer. Soc.
Hort. Sci. 21: 129-140.
- 155) 土屋一成. 1989. アスパラガスにおけるアレロパシー研究の現状. 農業および園芸.
64: 373-378.
- 156) 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.
- 157) 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.
- 158) 土屋一成・大野芳和. 1992. 野菜栽培におけるアレロパシーの解析. I 野菜栽培
におけるアレロパシーの可能性. 野菜茶試研報. A5: 37-44.
- 159) 上杉壽和. 1998a. 翌年の収量予測の試み. 農業技術体系 追録第 23 号. 8: 201-204.
農文協. 東京
- 160) 上杉壽和. 1998b. 更新の判断と方法. 農業技術体系 追録第 23 号. 8: 217-226.
農文協. 東京
- 161) 上杉壽和・小澤智美・松木宏司・小口伴二. 1997. アスパラガスアレロパシーを軽
減する改植技術. 長野野菜花き試報. 10: 35-40.
- 162) 牛田 均・池内隆雄. 2004. アスパラガスほ場の生土水抽出物とレタス幼根長との
関係. 園学中四国支部要旨. 620.
- 163) Warren, E.S. and S.A. Garrison. 1986. Allelopathic effects of soil incorporated asparagus
roots on lettuce, tomato, and asparagus seedling emergence. HortScience. 21: 82-84.
- 164) Weaver, J.E. and W.E. Bruner. 1927. Root development of vegetable crops. p. 59-69.
McGraw-Hill Book Comp. Inc. Publishers. London

- 165) 八鍬利郎. 1986. アスパラガス=植物としての特性. 農業技術体系 追録第 11 号. 8: 3-48. 農文協. 東京
- 166) 八鍬利郎・原田 隆・高橋義雄・田村春人・秋南栄一・多賀辰義・山谷吉蔵・佐藤滋樹・山吹一芳・山川 潔. 1982a. アスパラガスの性状に関する研究. 第 2 報. 3 年性及び 6 年性株の根系について. 北大農邦文紀. 13: 102-108.
- 167) 八鍬利郎・原田 隆・高橋義雄・田村春人・秋南栄一・山谷吉蔵・大矢根敏夫・佐藤滋樹・皆川裕一・山川 潔. 1982b. アスパラガスの性状に関する研究. 第 3 報. ソイル・ブロック分割法による 12 年性株の根系調査. 北大農邦文紀. 13: 433-440.
- 168) 柳川弘志. 1978. アスパラガス酸の構造と機能. 化学と生物. 16: 124-129.
- 169) Yanagawa, H., T. Kato, Y. Kitahara, N. Takahashi and Y. Kato. 1972. Asparagusic acid, dihydroasparagusic acid and s-acetyldihydro asparagusic acid, a new plant growth inhibitors in etiolated young *Asparagus officinalis* L. Tetrahedron Lett. 25: 2549-2552.
- 170) 柳井 弘. 2001. 活性炭の基礎知識とその応用技術. 水処理技術. 42: 497-504.
- 171) Yang, H.J. 1982. Autotoxicity of *Asparagus officinalis* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 860-862.
- 172) Yang, H.J. 1985. Autotoxic and allelopathic characteristics of *Asparagus officinalis* L. Proc. of the Sixth Intl. Asparagus Symp. 267-276.
- 173) 安田 環. 2001. 日本農業をとりまく環境. 環境保全と新しい施肥技術. p. 1-21. 養賢堂. 東京
- 174) Yongqing, Ma. 2005. Allelopathy studies of common wheat (*Triticum aestivum* L.). Weed Biol. and Manag. 5: 93-104.
- 175) Young, C.C. 1984. Autointoxication in root exudates of *Asparagus officinalis* L. Plant and Soil. 82: 247-253.
- 176) Young, C.C. and T.C. Chou. 1985. Autointoxication in residues of *Asparagus officinalis* L. Plant and Soil. 85: 385-393.
- 177) Young, C.C. 1986. Autointoxication of *Asparagus officinalis* L. In "The Science of Allelopathy" (Putnam, A.R. and C.S. Tang Ed) . p. 101-110. John Wiley and Sons, Inc. Publishers. New York
- 178) Yu, J.Q. and Y. Matsui. 1993. Extration and identification of the phytotoxic subatances accumulated in the nuient solution for the hydroponic culture of tomato. Soil. Sci. Plant Nutr.

39: 691-700.

- 179) Zahida. I., S. Hiradate, A. Noda, S. Isojima and Y. Fujii. 2002. Allelopathy of buckwheat: Assesment of allelopathic potential of extract of aerial parts of buckwheat and identification of fagomine and other related alkaloids as allelochemicals. *Weed Biol. and Manage.* 2: 110-115.

Development of Allelopathy Reduction Technology Using Activated Carbon for Alleviating the Injury Associated with Continuous Cropping of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.)

Satoru Motoki

1. Role of Allelopathy in Injury Associated with Continuous Cropping of Asparagus in Alluvial Soil

Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is produced over approximately 1,520 hectares (2004) in Nagano prefecture, Japan, of which about 15-30% need to be replanted every year. Replanting of asparagus often results in lower yields and extensive damage of young plants, presumably due to allelopathy. In the present study, we examined the role of allelopathy in the injury associated with continuous cropping of asparagus in alluvial soil. The presence of strong allelochemical substances, with a growth-inhibitory activity, was detected by a bioassay of rhizosphere soil around asparagus. This growth-inhibitory activity was not attributed to salt accumulation, pH fluctuations or inorganic nutrient imbalance in the rhizosphere soil. Asparagus foliage incorporation into soil did not exhibit a close relation with the growth inhibition or decreased the asparagus yield. However, a strong growth-inhibitory activity was detected in the storage roots of asparagus. It was assumed that an allelochemical exuded from the storage roots was responsible for the unsuccessful continuous cropping of asparagus in alluvial soil.

Growth-inhibitory activity in asparagus, lettuce (*Lactuca sativa* L.), white clover (*Trifolium pratense* L.) and amaranthus (*Amaranthus hypocondriacus* L.) was detected in an 80% methanol extract and the aqueous phase of the solvent fraction from rhizosphere soil of 10-year-old asparagus plants. Germination-inhibitory activity in lettuce was also confirmed. Analysis by the NMR method, GC-MS systems and capillary electrophoresis suggested that the compound was acetic acid. However, since it was observed that acetic acid was not adsorbed onto activated carbon, it was concluded that this acid could not be an allelochemical substance for asparagus. It was thus necessary to isolate and identify allelochemical substances for asparagus,

and to evaluate the effects of these substances on plant growth and yield.

2. Assessment Method for Allelopathic Effect from Asparagus in Alluvial Soil

The growth-inhibitory activity associated with allelopathy from asparagus grown in alluvial soil was studied using the 'Plant Box Method' and 'Sandwich Method' in bioassays. By these methods we confirmed that asparagus produced allelochemical substances. These methods also enabled to evaluate the effect of flowable activated carbon (activated carbon F) as one of the materials onto which the allelochemical substances were absorbed at a laboratory level. Then we developed a modified plant box method to examine the relationship between the growth-inhibitory activity and the adsorption of the allelochemical substances from asparagus onto the materials. As a result, it was found that the allelochemical substances could be adsorbed onto a type of activated carbon and that the growth inhibition of lettuce used as an assay plant could be prevented.

We developed a new method for examining the effects of allelochemical substances exuded from the roots of asparagus to rhizosphere soil. This rhizosphere soil bioassay method provided results similar to those from the conventional bioassay method in which asparagus germinates in soil. The new method was more effective than the conventional bioassay method because the soil samples could be tested using a smaller volume. This method also enabled to evaluate the effect of flowable activated carbon as one of the materials onto which allelochemical substances were absorbed at a laboratory level. Appropriate cultivation system using the rhizosphere soil assay method developed in the present study could be applied to examine the constraints on continuous cropping that may be related to allelopathy.

3. Reduction of the Allelopathic Effect on Asparagus in Alluvial Soil Using Activated Carbon

We examined the effect of activated carbon on the reduction of allelopathy in asparagus grown in alluvial soil. The results of tests using lettuce and one-year-old asparagus plants as bioassay plants showed that the use of activated carbon promoted plant growth and reduced allelopathy. Furthermore, in a field replanted with asparagus, treatment with activated carbon increased the

fresh weight of the rhizomes and storage roots, as well as the number of storage roots, the growth level and the growth index (GI'), compared to those of asparagus grown in untreated plots. It was concluded that the use of activated carbon was effective in reducing the allelopathy of asparagus grown in a replanted field.

4. Effect of Treatment of Rhizosphere Soil with Activated Carbon F during Asparagus Growth Period on Yield

In Nagano prefecture, the use of activated carbon F for the reduction of the allelopathic effect on asparagus grown in alluvial soil has been widely disseminated since 2001. Presently, the method consisting of sprinkling, dipping of nursery plants and irrigation using activated carbon F is being carried out to reduce allelopathy in asparagus. However, treatment with activated carbon F is limited to the replanted fields. In the present study, we examined the effect of the treatment of rhizosphere soil with activated carbon F during the asparagus growth period on yield. Two methods of treating rhizosphere soil with activated carbon F during the asparagus growth period can be applied: one is the deep placement method in which activated carbon F is injected into the rhizosphere in the vicinity of rhizomes at intervals of 30 cm while avoiding scaly buds, and the other is the sprinkling method in which sprinkling of the agent with water is performed on ridges, mainly on scaly buds. The results of local adaptability tests on 1-4 years old asparagus plants showed that activated carbon F (using a 25 to 100-fold dilution) was effective in mitigating allelopathy and stimulated growth in asparagus. However, in the case of 6-7 years old asparagus plants, the effect of activated carbon F was less pronounced due to the presence of a large system. Optimum period for the treatment corresponded to the mother fern standing stage because spacing between plants could be observed. For sprinkling, dipping of nursery plants and irrigation it appeared that the deep placement method of activated carbon F was effective in mitigating the allelopathy of asparagus in the present field experiment.

5. Effects of Activated Carbon on Asparagus Quality during the Period of Raising Seedlings or Planting

Activated carbon with a high ability for adsorption by the allelochemical substances of asparagus was selected, based on a new bioassay for the evaluation of allelopathic activity. The addition of activated carbon to the substrate used for raising the seedlings led to the production of asparagus seedlings with a high quality due to the adsorption of allelochemical exudates from the seedling stage. To adsorb allelochemical exudates from seedling roots before planting, immersion of nursery plants in activated carbon F with a higher soil penetration ability than that of other materials, was extremely effective in reducing asparagus allelopathy.

Activated carbon is considered to be useful for growing asparagus, in which injury associated with continuous cropping is caused by allelopathy throughout the periods covering the raising, planting, replanting and growth of the seedling. Improvement of asparagus cultivation by avoiding allelopathy using activated carbon should enable to promote continuous cropping of asparagus in growing districts.